

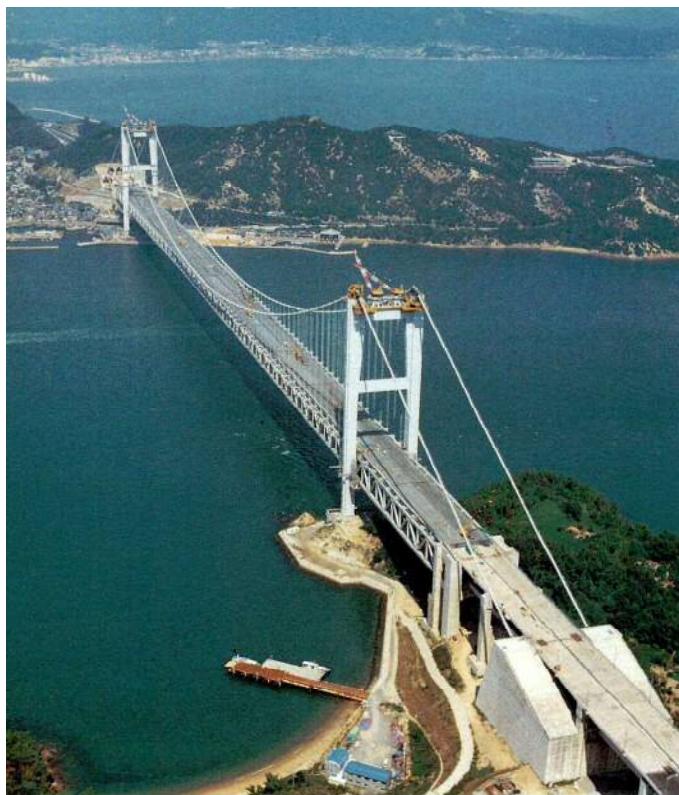
B112工区(その2)高架橋

発注者 首都高速道路公団
型式 3径間連続鋼床版
ト拉斯
工区長 355.3m
巾員 26.5m
鋼重 10564t
路線 横浜市道高速湾岸線
所在地 横浜市中区本牧埠頭
竣工 昭和64年(予定)
施工 宮地他2社
説明文 P5



霞ヶ浦大橋

発注者 茨城県道路公社
型式 3、4径間連続钣桁各4連
橋長 1015.6m (4@31.675×4+
3@42.4×4)
巾員 10.5m
鋼重 1912t
路線 主要地方道 土浦大洋線
所在地 茨城県行方郡玉造町
竣工 昭和61年
施工 宮地他3社
説明文 P5



下津井瀬戸大橋

発注者 本州四国連絡橋公団
型式 張出径間付単径間吊橋(鉄道橋併用)
橋長 1400m(100+130+940+130+100)
巾員 22.5m
路線 一般国道30号線、本四備讃線
所在地 岡山県倉敷市・香川県坂出市
竣工 昭和63年(予定)
施工 宮地外7社
本文 P 133参照

市道高速分岐3号正木(その3)工区

発注者 名古屋高速道路公社
型式 3径間連続鋼床版箱桁
工区延長 267.42m
巾員 15.022m~18.936m
鋼重 1932t
路線 市道高速分岐3号線
所在地 名古屋市中区
竣工 昭和62年
施工 宮地他1社
説明文 P 5



拝島橋

発注者 建設省関東地方建設局
型式 3径間連続鋼箱桁
橋長 527.0m
巾員 11.5m
鋼重 2156t
路線 一般国道16号線
所在地 昭島市
竣工 昭和62年
施工 宮地他2社
説明文 P 58

札幌大橋



発注者 札幌開発建設部

型式 3径間連続鋼床版 2箱桁
3径間連続鋼床版 2主鉄桁

橋長 985.3m

巾員 9.25m+2.5m

鋼重 490t

路線 一般国道337号線

所在地 札幌市当別町

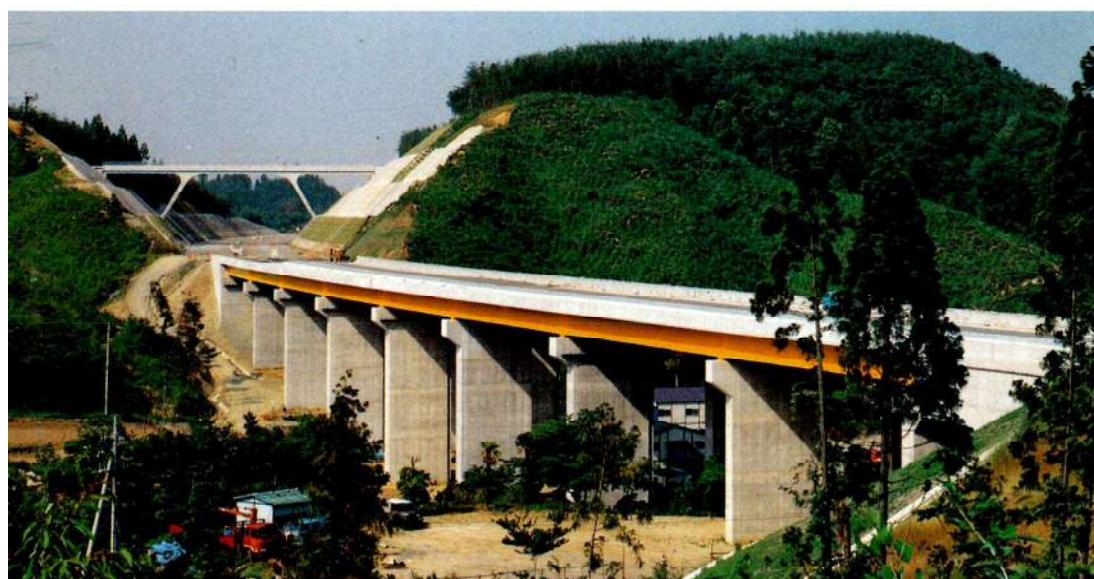
竣工 昭和62年

施工 富地他12社

説明文 P 58



中郷第二高架橋



発注者 日本道路公団
型式 連続非合成鋼桁
橋長 248m
巾員 9.25m×2
鋼重 805t
路線 常磐自動車道
所在地 茨城県北茨城市
竣工 昭和62年
説明文 P 65

国道330号橋梁

発注者 沖縄県

型式 3径間連続鋼桁
単純合成鋼桁

2径間連続鋼桁
橋長 188.5m (38.0+
48.0+34.5+21.0
+2@23.5)

巾員 5.5m

鋼重 275t

路線 県道153号線バイ
バス

所在地 沖縄県浦添市

竣工 昭和62年

説明文 P 65



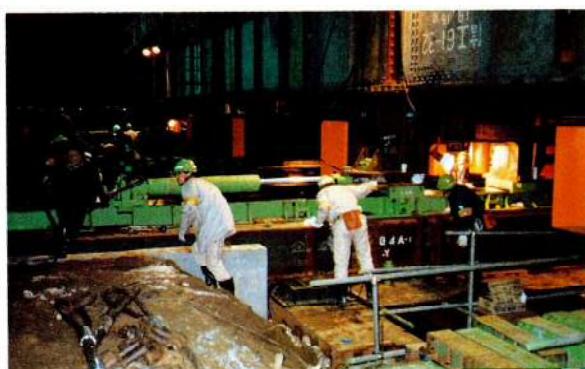
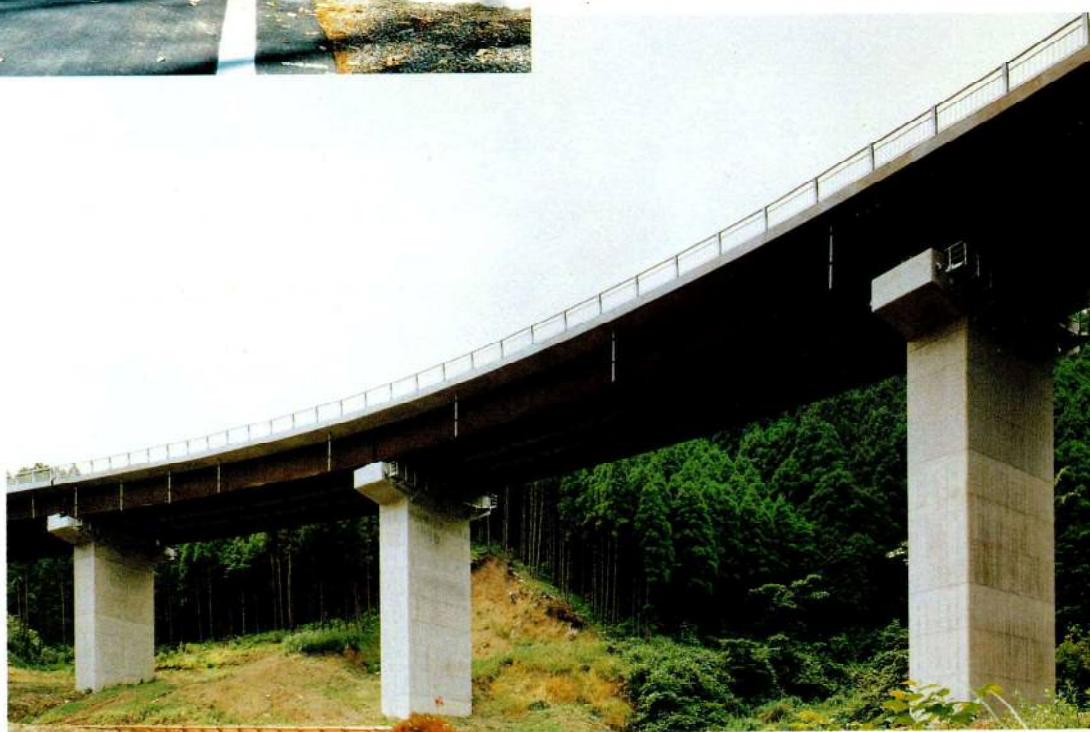


瀬戸川橋

発注者 長野県王滝村
型 式 下路式ランガーホー
橋 長 69m
巾 員 5m
鋼 重 150t
路 線 村道1号線
所在地 長野県木曽郡王滝村
竣 工 昭和62年
説明文 P100

横尾一号橋

発注者 千葉県
型 式 3径間連続鉄筋コンクリート箱桁
橋 長 125m (30.25+31+30.25+30.9)
巾 員 11.25m
鋼 重 285t
路 線 一般国道410号線
所在地 千葉県鴨川市
竣 工 昭和61年
施 工 宮地他1社
説明文 P100



箕輪架道橋

発注者 東海旅客鉄道株式会社
岐阜工事事務所
型 式 R.C.造ラーメンボックス
巾 員 25.0m
鋼 重 210t (格子桁)
路 線 東海道新幹線
所在地 愛知県安城市
竣 工 昭和62年
説明文 P104

渋海川専用橋

発注者 帝国石油(株)(住金鋼管工事株)
型式 単純3弦トラス橋
橋長 129.6m
鋼重 98.5t
路線 頚城~北長岡ライン
所在地 新潟県三島郡越路町
竣工 昭和62年
説明文 P 104



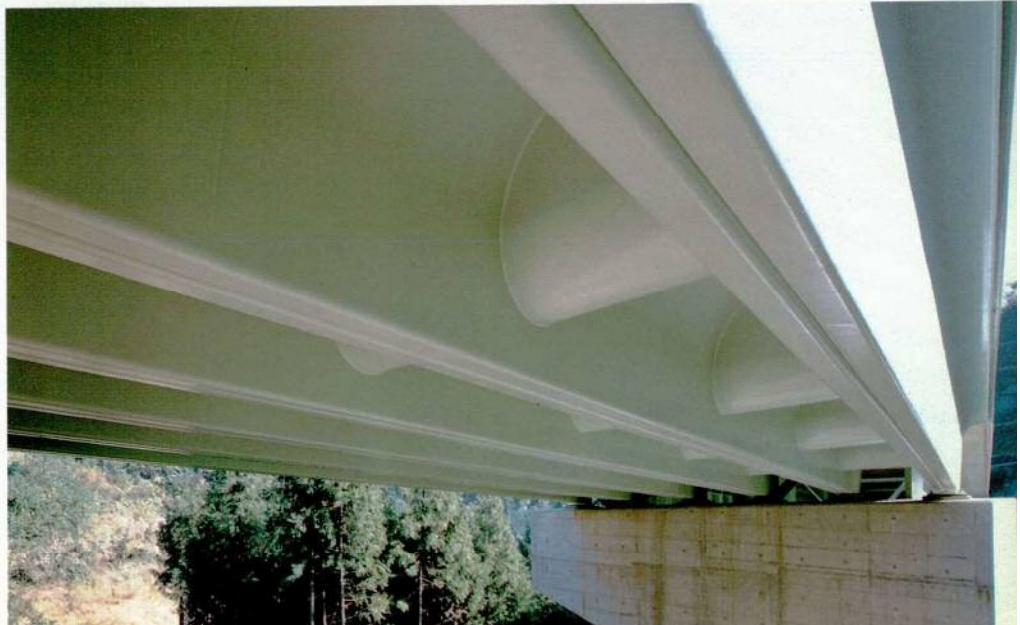
光が丘公園橋

発注者 東京都西部公園緑地事務所
型式 3径間連続ラーメン橋
橋長 61m
巾員 10m×2
鋼重 285t
所在地 東京都練馬区光が丘
竣工 昭和61年
説明文 P 104



グリーンパーク橋(鉢沢橋) たたらさわばし

発注者 鹿島建設株式会社
型式 合成型枠桁、合成板桁
橋長 57m
巾員 7m
鋼重 73t
所在地 群馬県藤岡市
竣工 昭和62年
本文 P 43参照





東京住友ツインビル

施 主 株住友倉庫、住友海上火災保険株
 設計、監理 株日建設計
 発注者 鹿島・竹中・清水・住友共同企業体
 構造 S.R.C造、地上24階、地下3階
 鋼重 18 000t
 所在地 東京都中央区
 竣工 昭和63年
 施工 宮地他8社
 説明文 P 132



電源開発本店ビル

施主 電源開発株
 設計、監理 株開発設計
 発注者 鹿島・大成・間・清水共同企業体
 構造 S造、地上15階、地下4階
 鋼重 6 500t
 所在地 東京都中央区
 竣工 昭和62年
 施工 宮地他3社
 説明文 P 162



産業文化センター(仮称)

施主 日本生命保険(相)・フジタ工業株
 設計、監理 株日建設計
 発注者 フジタ工業株
 構造 S造、S.R.C造、地上31階、地下4階
 鋼重 17 000t
 所在地 埼玉県大宮市
 竣工 昭和63年(予定)
 施工 宮地他9社
 説明文 P 132



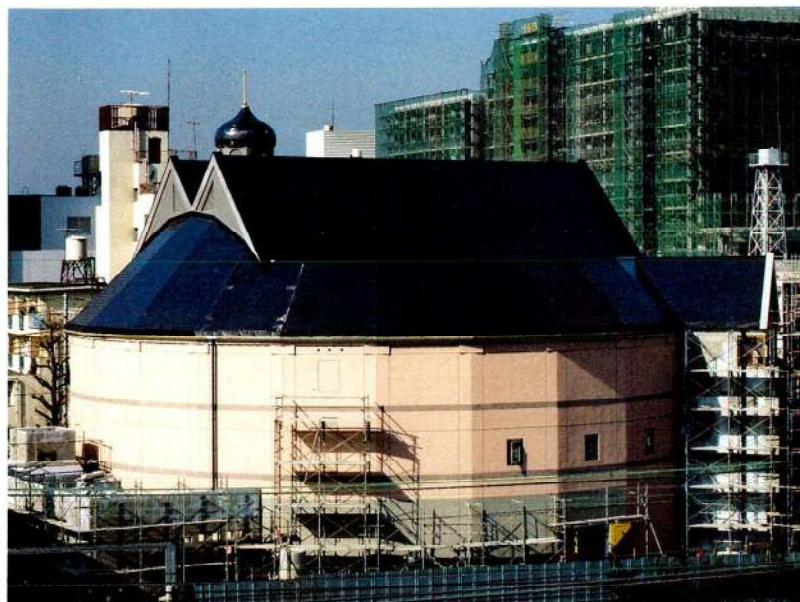
岡谷市庁舎

施 主 岡谷市
設計・監理 佐藤武夫設計事務所
発 注 者 熊谷組岡谷組共同企業体
構 造 S 造、地上 9 階、地下 1 階
鋼 重 1700t
所 在 地 長野県岡谷市
竣 工 昭和62年
説明文 P 162



浜岡原子力館

施 主 中部電力(株)
設 計 株日建設計
監 理 中部電力(株)
発注者 中部電力(株)
構 造 S 造、S.R.C 造、地上 2 階、地下 1 階
鋼 重 1000t
所 在 地 静岡県浜岡町
竣 工 昭和63年(予定)
説明文 P 170



シェイクスピアホール

施 主 新宿西戸山開発(株)
設計・監理 三菱地所(株)
発 注 者 共同企業体
構 造 S.R.C 造
鋼 重 210t
所 在 地 東京都新宿区
竣 工 昭和63年(予定)
説明文 P 162



神祇大社殿一の鳥居

施 主 神祇大社
設計・管理 全体意匠 環境設計清水研究室
構 造 構造設計社
鳥居部詳細設計 株宮地鐵工所
発 注 者 株東豆開発
所 在 地 静岡県伊東市
竣 工 昭和62年
説明文 P 170

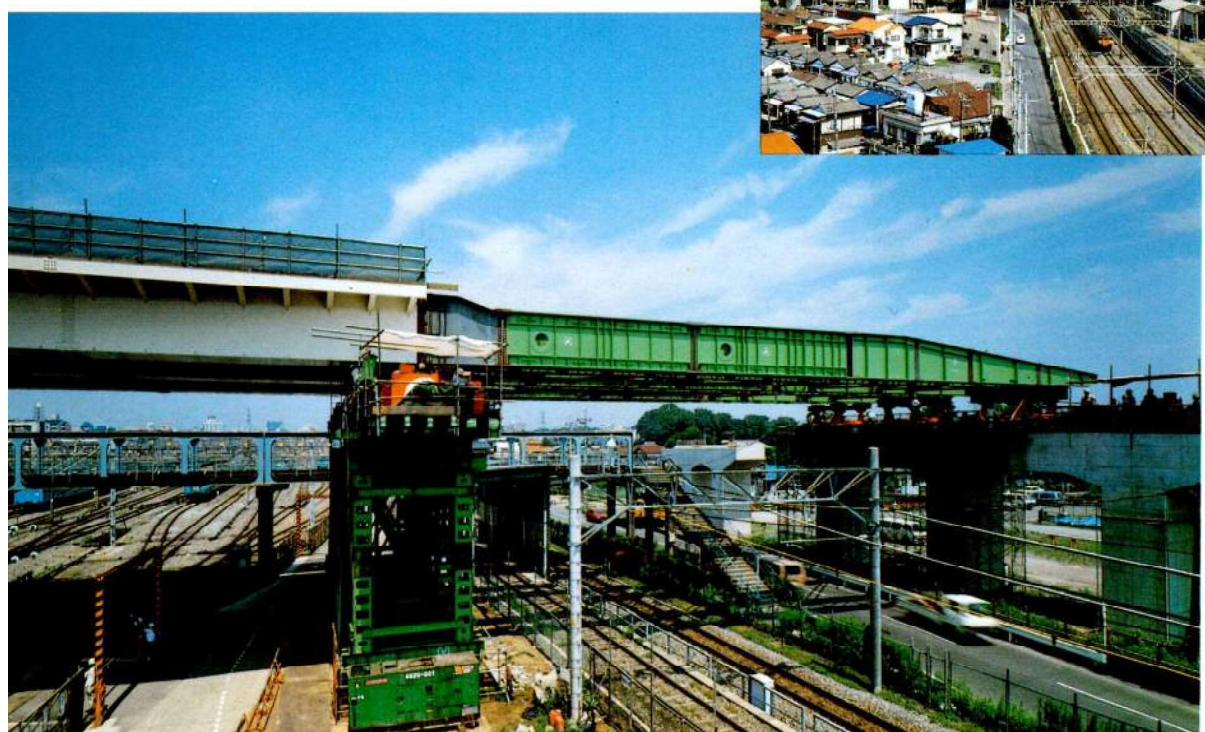


第4 保津川橋梁(架設工事)

南浦和跨線橋(架設工事)

発注者 東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所
 型式 2径間連続鋼床版箱桁(3主桁1連、2主桁3連)
 橋長 125.9m(59.4+65.5)
 巾員 16.3m~22.4m
 9.8m~16.1m } 自動車専用道
 8.3m+3.5m 国道
 鋼重 888t×1連、600t×3連
 路線 東京外郭環状道路
 所在地 埼玉県川口市
 竣工 昭和64年(予定)
 説明文 P112

発注者 日本国有鉄道大阪工事局
 型式 上路補剛アーチ桁(スラブ軌道直結式)
 橋長 128m
 鋼重 864.2t
 路線 山陰本線
 所在地 京都府
 竣工 昭和62年
 本文 P163参照



卷頭言

中小スパン鋼橋のカムバックへ向けて

大阪大学教授 福本 哲士

(社)日本橋梁建設協会では鋼橋の設計・製作の合理化への検討委員会の活動が、上前委員長のもとで現在種々行われていると聞く。その成果を大いに期待したいものである。このところ中小スパン橋梁において鋼橋のコンクリート橋に対する競争力の低下をしばしば耳にする。わが国におけるこのような不安な傾向に比べて、英、米では中小スパン鋼橋のカムバックが報じられ、コンクリート橋に対する優位性がその受注の拡大につながっている。

英国では、1980年以降、それまでコンクリートによって独占されてきた30m以下の短スパン、30~150mの中スパンにおいて、種々の技術開発の結果、鋼は市場のシェアを改善してきている。特に注目されるのは、橋梁設計に限界状態設計法が導入され、従来の許容応力度法にとって代って1983年にBS 5400が鋼橋の設計・製作示方書として出版されたことである。これによって、(1)コンパクトな厚肉断面に対して曲げによる全塑性モーメントの期待が可能となり、大形圧延形鋼の適用スパンが長くなった。(2)部材の細長比、板要素の幅厚比制限をなくし、設計に自由度をもたせた。(3)水平補剛材を大幅に省略し、設計時間、製作コストの経済化をはかった。(4)限界状態設計法への移行に際し、設計技術者の教育を効果的に行い、コンクリート橋に代って鋼橋による予備設計が容易に行えるようになった。

一方、米国では、1971年にAASHTO示方書に荷重係数設計法が導入され、鋼橋にとって有利な面が出てきた。一つは大型圧延形鋼で代表される厚肉断面の曲げによる全塑性モーメントが認められるようになった。さらに、活荷重に対する安全係数がスパン長に関係なく一定値をとった。1987年現在、各州で建設する鋼橋の2/3が荷重係数設計法によるとされている。1985年にはオートストレス法による設計を認め、鋼橋にとって有利な示方書となっている。この方法は、連続桁橋の塑性設計の一つである変形硬化（シェークダウン）設計の考え方を導入したもので、通過過大荷重による中間支点上に残留する正の曲げモーメントが後続の荷重による負のモーメントに対して有効に働くことを利用した一種の応力調整法である。これによって弾性限の向上をはかっている。この応力調整により中間支点付近の負のモーメントを減らし、この領域のカバープレートをなくし、連続桁の構造を簡単化すると同時に、カバープレート止端部の疲労問題を除いている。オートストレス法がAISCの努力により各州の鋼橋設計に導入され、大形圧延ばりのみならず、溶接プレートガーダーへの適用と実用化に向けての研究開発が活発に行われている。連邦道路庁では、主な橋梁を対象に鋼とコンクリートによる比較設計入札を義務づけており、両者は技術開発にしのぎをけざっている。また、AISC教育基金によって限界状態設計の大手における講義ノートの作成と普及に役立てている。

中小スパン規模において、鋼橋がかつての橋梁の主役の座にカムバックを果すために、材料、設計法の見直し、製作法、架設、維持管理などの面で、どのようなブレークスルー（技術突破）が期待できるか。またそのために何をなすべきか、日頃からの技術開発への努力を怠ってはならないだろう。限界状態設計法の鋼橋設計への導入も目前に迫ってきている。いま、この機会を逃せば主役の座へのカムバックは単に夢物語に終ってしまうことになりかねない。

技術評論

取締役技術本部副本部長 高野祐吉

時間はとどまることなく、人も社会も自然も移り變ります。その中で社会は人間の為に成ることを追求して発展して来ました。社会の中の会社も例外ではありません。我が社は今年、創業80周年を迎えることになりました。会社の歴史には、創業者はじめ、多くの先人の努力が込められており、企業活動の貴重な教訓、技術の蓄積等となって、今日まで受け継がれて来ています。過去を振り返ることも、現在を理解し明日の進展への足掛かりを得るために重要なことではありますが、ここでは会社の歴史には触れず、これからどうあるべきかについての考えを述べてみたいと思います。

会社は停滞することなく活動しており、社会に貢献することを目指しています。それは品質が良く、経済的で、丈夫で、美しく、快適な感じを与える構造物を提供することです。更に、時代の要請による科学と技術の粹を集めて過去に無かった構造物を造り出すことが求められます。これは社会の発展を示す具体的な要求と申せましょうか。科学と技術は人間が創り出したものであり、大勢の人々の着実な努力の賜物であり、その積み重ねの結果が今日の技術力になっています。技術を受け継ぐ者として繁栄している現状に満足することは先人の遺産を食いつぶすことであり、責務を果たさないになります。耐えず求められるものは高く、これを追求することが努力目標であり夢であります。身近な所で技術力の向上に夢をかけて努力している姿を良く見ます。これ等の人々に支えられて、構造物の技術は今日の状態にまで進歩発展したと言えましょう。過去を振り返りますと非常に豊富な研究があり、引き継がれて来ています。その中に材料の進歩があります。使用される材料は鉄、コンクリート、鋼等をはじめ、これ等材料の混用、複合、合成等があり、アルミニウム、プラスチックにまで至ろうとしています。経済的に材料の耐久力を發揮させるのが大切な技術になっています。他方で構造物の固有技術も重要であり、鋼構造物の内、特に橋梁では橋梁工学の成果を取り込んで、長い径間の橋への挑戦が行われています。

長大橋を完成させるためには、計画、設計、製作、架

設の最新技術を駆使しなければなりません。現状技術では対応の難しい所を研究の積み重ねにより解決しており、不可能を可能に変えてきています。我が国では本州と四国を結ぶ橋が関係者の夢でありましたが、完成を真近にひかえており、この夢は関係者の努力により実現できることを体験させてもらいつつあります。次なる長大橋の夢は明石海峡大橋ですが、今や何人も疑うことの出来ない段階にまで来ていることは技術開発を行って来た賜物だと思います。海外に目を転じますとメッシナ海峡大橋が計画されており、夢の架け橋として話題になっています。長大橋は洋の東西を問わず、夢の対象物であると申せましょう。観点を変えて見ますに、技術者の夢は長大橋を架け渡すことばかりではありません。現状を打破してより良いものを産み出すこともあります。身近かな所にも技術を発展させる余地が沢山残っているからです。設計技術者には合理的にして経済的、美的な使い易い設計を、製作にたずさわる技術者には設計者の意図する製品を早く、合理的に作ることを、現場で架設する技術者には安全で経済的に施工出来る技術が絶えず求められています。男子一生の業とするにふさわしい仕事と言えると思います。それは研究心を持って、本質を見極め、問題点を明らかにし、内容を整理し、科学と既存技術を駆使することで、努力の余地があるからです。実状は多くの技術者による分業で鋼構造物は作られていますので、個人の技術が全てではありませんが、一人一人の技術者が創造工夫することにより、技術の発展に寄与出来、良い結果が出せるものです。技術を大切にし、業務に誇りを持ち、情熱を打ち込んではじめて業績の向上にもなろうと言うものです。ここで、技術の発展に努めることは、個人としては現在を有意義に過ごすことになり、企業の発展に貢献することになります。夢には色々とあろうかと思いますが、日ごろの創意工夫が社会の夢、企業の夢を実現させる原動力となり、ひいては個人の夢をかなえるものと思います。

いつまでも夢は持ち続けたいものです。

箱桁全断面溶接に用いる 上向き片面自動溶接工法の開発と適用

The Development and Application of Overhead One Side Automatic Welding for Use in the Butt Joint of Box Girders

成 宮 隆 雄* 佐 藤 利四郎**
Takao NARUMIYA Rishiro SATOH

Summary

In recent years, on-site, or in-yard, butt joint welding of box girders has increased to cope with the increasing number of erections of large bridge blocks.

This report introduces the overhead one side welding system, which facilitates the butt joint welding of box girders totally from the outside and outlines a new butt joint welding method and its range of applications.

1. まえがき

鉄骨橋梁等の鋼構造物製作における工場溶接は、一般に下向き姿勢での溶接を原則としている。従って、下向き姿勢を確保するため部材の反転等のハンドリングに工夫を凝らしているが、クレーン待ちによる作業の停滞、荷扱い作業に伴う安全性およびクレーン運転手、玉掛け工の専業化による間接工数の増大等が問題となっている。

一方近年における溶接技術の向上は著しいものがあり、溶接の自動化、ロボット化により溶接継手の品質は下向き姿勢以外でも十分信頼できるようになってきた。

ちなみに、橋梁・橋脚における大ブロックヤード溶接および現場溶接では、既に横向き、立向きの片面裏波溶接を採用した実績が多い。箱桁の全断面溶接において上フランジおよびウェブは、外側より片面溶接を行なっているが、下フランジは箱桁の中から、下向き片面自動溶接を行なっていた。

そのため、下フランジの縦リブを連続溶接出来るように切り抜いておいたり、ウェブ直下は手溶接を併用したり、狭い箱桁内部へ装置を持ち込んだりしなければならなかった。これらの全断面溶接に、上向き片面溶接が可能となれば箱桁等においても全て外側から溶接施工が可能となり、ヤード又は現場溶接の効率を著しく向上させるだけでなく、溶接作業の安全施工にも寄与することができる。従来上向き溶接特に上向き片面裏波溶接は、溶滴

が重力に逆らって移行しつつ確実にビードを形成していかなければならないため、溶接条件の設定及びルートギャップに応じた溶接条件の調整が非常に困難であった。

最近㈱神戸製鋼所が、初層の片面裏波溶接での最適溶接条件下において、ルートギャップの変化に対して溶接速度を自動制御できる上向き片面自動溶接装置OH-Autoを開発した。

本報では上記OH-Autoを用いた箱桁および橋脚横梁の全断面溶接工法について報告する。

2. 上向片面自動溶接装置OH-AUTOの紹介

㈱神戸製鋼所が開発した上向き片面自動溶接装置OH-AUTOは上向き姿勢において、フラックス入りワイヤを用いたショートアーク溶接による片面裏波溶接を基本とし、適正な裏波溶接のための溶接速度自動制御、アークセンサーによる左右開先倣いおよび機械式上下倣い等の機能を有している。

図-1に同装置の概要図を、写真-1に実施工状況を、写真-2に同溶接法による溶接継手の断面マクロ写真を示した。また溶接諸元を表-1に示した。

* 千葉工場製造部長

** 千葉工場製造部生産技術課

表-1 溶接諸元

項目	内 容
溶接姿勢	上向き突合せ片面裏波溶接
溶接方法	ショートアークMAG溶接
溶接材料	ワイヤ:DWA-50(1.2φ) 裏当材:FBB-3T シールドガス:80%Ar+20%CO ₂ (インナーシールド) 100%CO ₂ (アウターシールド)
開先形状	開先角度:θ=45°±5° ルートギャップ:G=5~10mm 目違い:S≤2.0mm ルートフェイス:a≤2.0mm
標準溶接条件 (初層条件)	電流:140~150A 電圧:16V 速度:5~8cm/mm ワイヤ突出し長さ:15mm オシレート回数:3~50回分 オシレート巾:ルートギャップ程度 トーチ角度:後退角40°

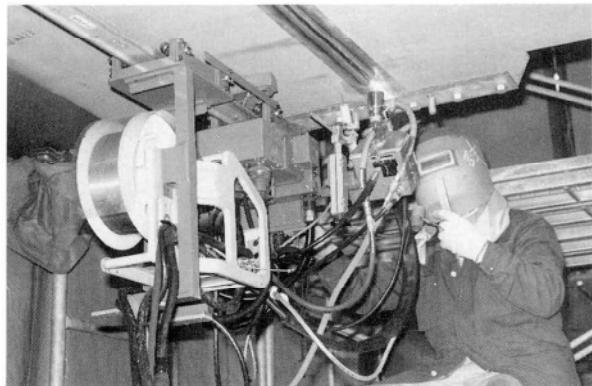


写真-1 OH-AUTO実施工状況写真

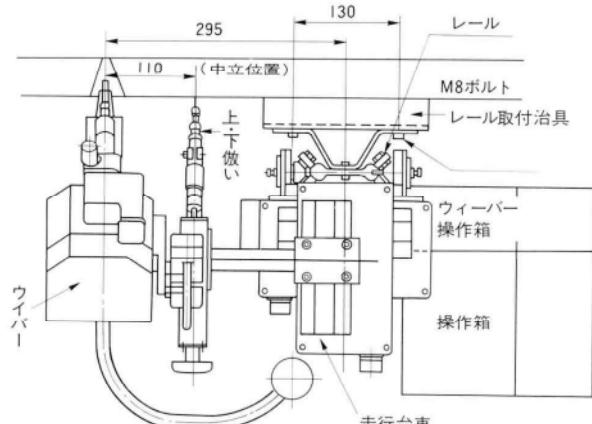


図-1 OH-AUTO概要図

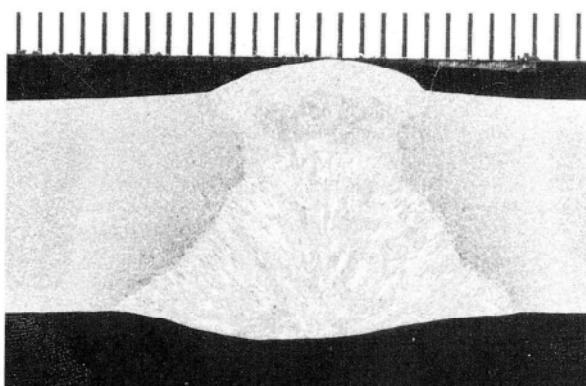


写真-2 上向き溶接継手の断面マクロ

3. 新しい全断面溶接工法（OWP工法）

従来の典型的な箱桁等の全断面溶接工法を図-2に示した。図で分るように従来法は、下フランジを箱桁内部より下向き溶接しているため、溶接機を通す部分の下縫

リブを或る範囲抜いておかなければよばならない。従って下フランジ溶接完了後、縦リブをはめ込んで溶接をしなければならないし、ウェブ直下と端部は連続溶接出来ない。更に箱桁内に入り込んで溶接していかなければならないため、排煙等安全上の問題も考慮しなければならない。

全断面溶接を全て箱桁等の外側から溶接出来れば下記のメリットが得られる。

- ① 縦リブ等が、ボルト継手にできる。（縦リブのはめ込み、溶接が不要となる）
- ② ウェブ直下も含めて連続溶接出来る。
- ③ 箱内での溶接がなくなるため、溶接装置等を箱内に持ち込まなくてよくなる。又大げさな排煙口が不要となり、かつ作業者への換気上の安全が確保される。
- ④ 上・下フランジ同時溶接が可能となり、溶接工程が短縮可能となる。

前述したOH-AUTOにより上向き片面裏波溶接が可能となり、かつ溶接継手性能が満足すべきものとなつたことにより、全断面溶接は全て箱桁等の外側より溶接することができるようになり、本工法を「外側からの全断面溶接工法」(OUTSIDE WELDING PROCEDURE FOR BUTT JOINT OF BOX GIRDER) (略称OWP全断面溶接法)と称し、図-3にその概要を示した。

4. OWP全断面溶接工法の適用例

東京都御発注の大和大橋は、3主桁3径間連続箱桁であり、各主桁は全長を3分割された大ブロック架設工法

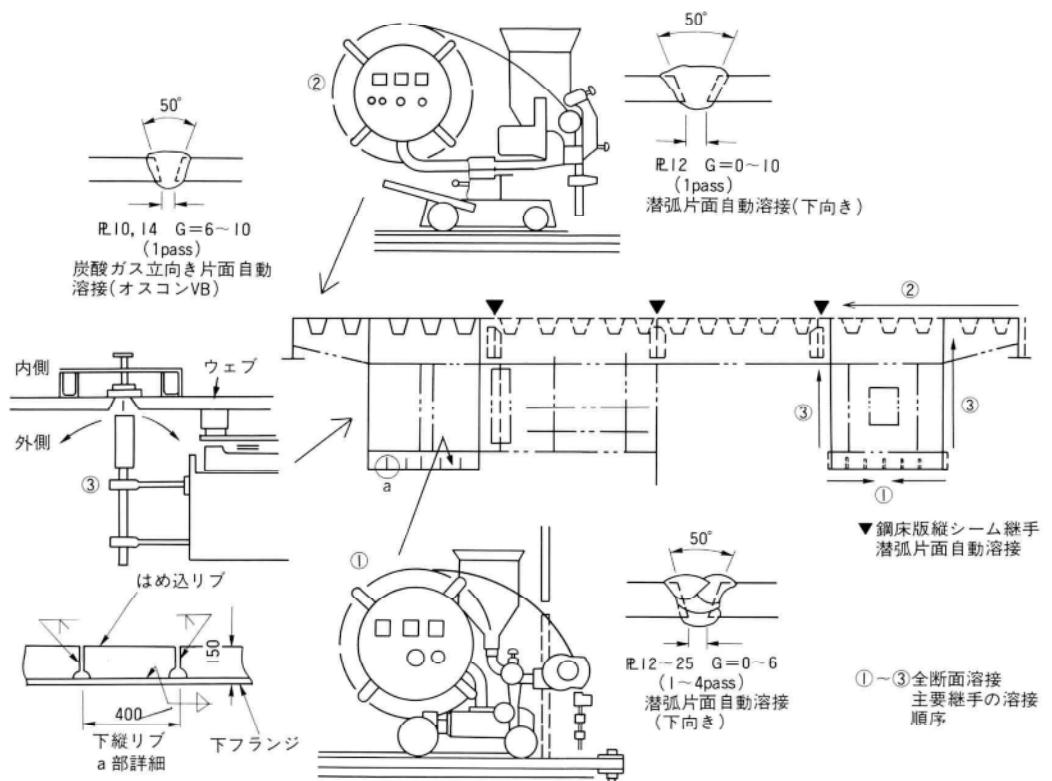


図-2 従来法の溶接方法および溶接順序

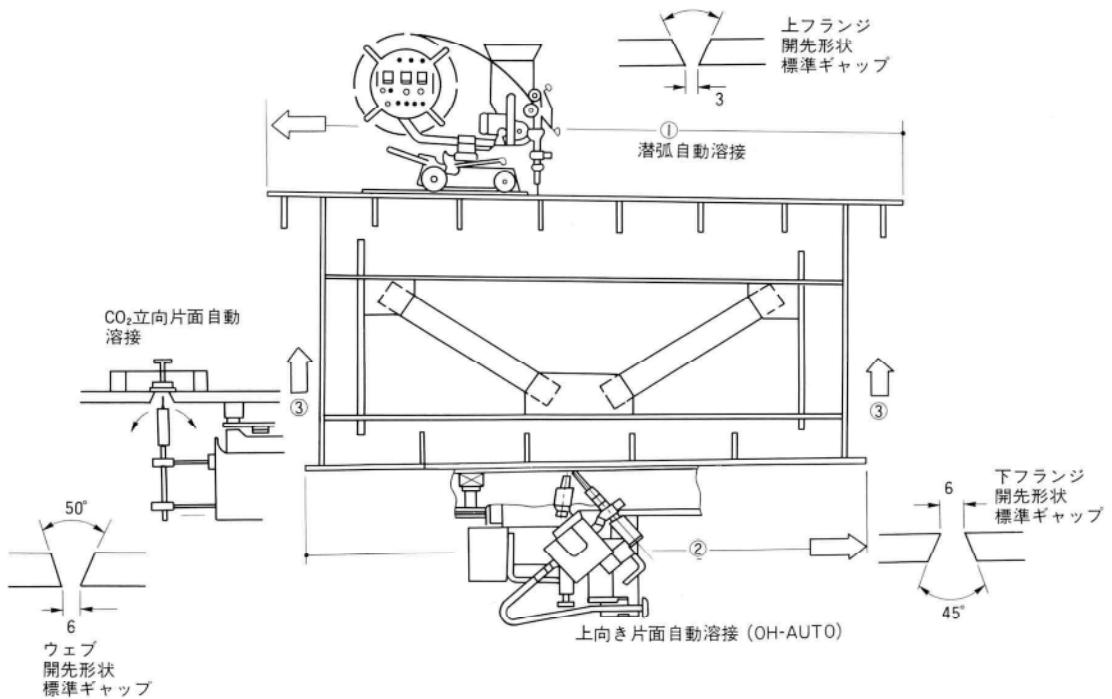


図-3 OWP全断面溶接法

で計画されている。工場製作部材（部材長17~18m）を工場ヤードにおいて地組立し、全断面溶接して51~54mの大ブロックにして工場から浜出しされる。

図-4に、大和大橋の一般図を示した。全断面溶接継手は全部で18断面継手である。溶接方法は図-3に示した方法と同じである。

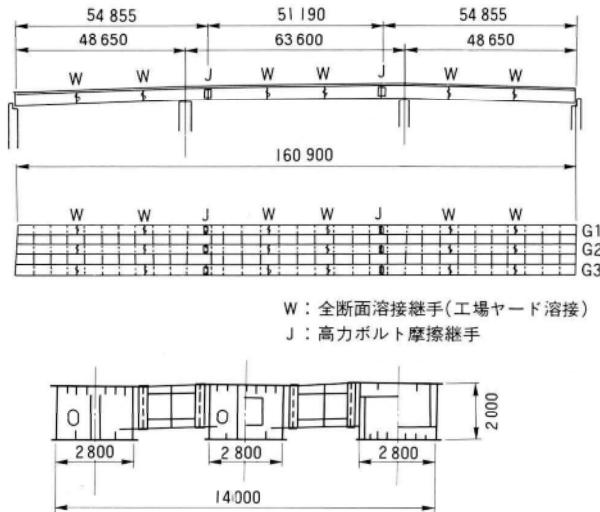


図-4 大和大橋一般図

図-5に全断面溶接継手における溶接収縮量の測定結果の一例を示した。又図-6に全断面溶接継手(16断面)における溶接収縮量の平均を、橋長寸法およびキャンバーに影響する上・下フランジについてモデル化して示した。橋長寸法によれば溶接収縮量は、1断面につき最小1.3mm、最大3.1mm考えればよい。またキャンバーに影響を及ぼす収縮量としては図-3に示した溶接順序によれば、上・下フランジ溶接後の上側と下側のウェブ開先における収縮差 ($\delta_{U-L} = \delta_L - \delta_U = 1.1\text{mm}$)である。すなわち全長 l m、ウェブ高 H m、全断面溶接数 n 、上・下の収縮の差 δ_{U-L} とすると、キャンバー変化量 ΔH は

$$\Delta H = (n \cdot \delta_{U-L} \cdot l) / 8H$$

となると予測される。本橋の場合は図-4より

$$\Delta H = (2 \times 1.1 \times 54.855) / (8 \times 2.0) = 7.5 \text{ mm}$$

ただし l は大ブロック長、 $n = 2$ でキャンバー量は大ブロック間で約7.5mmキャンバーが高くなる。しかしキャンバーの実測結果では溶接前後において著しい差は認められなかった。

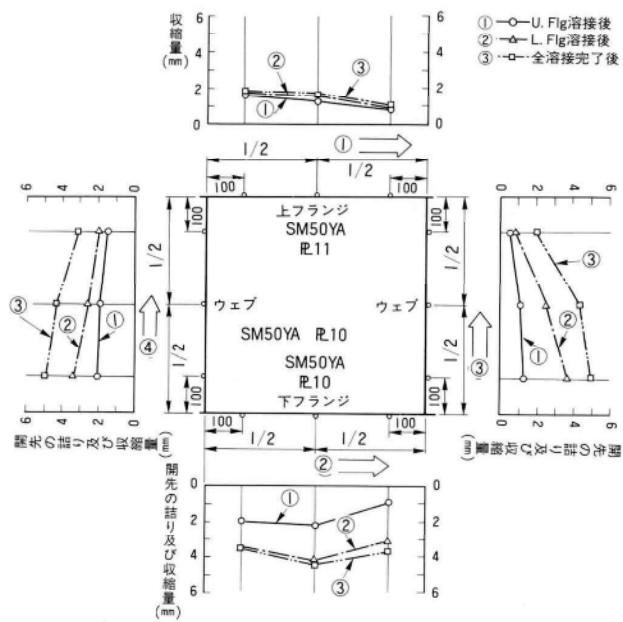


図-5 全断面溶接における開発の詰り及び収縮量の例(G2-J1)

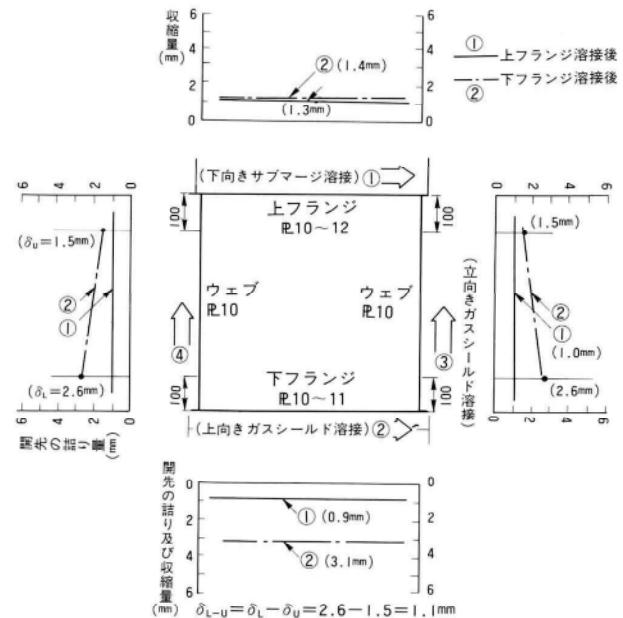


図-6 全断面溶接継手(16断面)の実測結果に基づく、溶接収縮のモデル

5. あとがき

新たに開発された上向き自動溶接装置OH-AUTOの紹介と、其を用いた新しい全断面溶接工法OWP全断面溶接法の紹介及びその適用例を報告した。

今後の溶接は自動化・装置化・NC化と共に、全姿勢溶接を可能としその継手品質を向上させることにより大きく変っていくことと思われる。その意味では、OWP全断面溶接法は、専用の自動溶接装置を用いて下向き、立向き及び上向き溶接姿勢の利点を積極的に取り入れた

工法であり、工場溶接にも大きな影響を与えるものと思われる。

本工法は、橋脚梁の現場全断面溶接にも採用する計画があり、いずれこれらの結果についても報告できるものと思われる。

最後にOWP全断面溶接法における上向き片面自動溶接の実用化に当り、(株)神戸製鋼所溶接棒事業部大久保課長および大竹氏に多大なる御協力をいただいた事を記し、感謝の意を表するものである。

グラビア写真説明

B112工区（その2）高架橋

本工事の所在地は、横浜市本牧埠頭から隣接する通称横浜ベイブリッジ迄の陸上部と海上部に位置している。路線名は「横浜市道高速湾岸線」と称し、本牧一大黒埠頭を結ぶ高速湾岸線（2.8km）と、大黒埠頭～生麦を結ぶ、高速大黒線（4.6km）からなっている。

京浜臨海地域の基幹的路線として、又在来内陸交通のバイパスとして、大量の通過交通と、臨海部で発生する重交通を円滑に処理するものと期待される路線である。

高速湾岸線の本牧埠頭～大黒埠頭間は、横浜ベイブリッジを中心に両サイドの工区に分かれ、大黒側をB131(1)工区、本牧側をB112(2)工区となっている。全て連続鋼床版トラス構造を採用し、延長1.5kmのトラスが並び、完成後は「ミナトヨコハマ」を飾るにふさわしい景観になる。（若松）

霞ヶ浦大橋

本橋は、わかさぎの帆引漁で有名な霞ヶ浦に有料道路橋として架橋されました。玉造町、出島村両住民にとって唯一の対岸への交通機関は、渡し船があるだけで車で行くにしても霞ヶ浦を遙か迂回しなくてはならないという不便さがあり、架橋に対する長年の期待は並々ならぬものでした。62年3月3日の開通式の中で親子三代による渡り初めが行なわれましたが、年老いた母を息子が背負い、孫と3人で渡るその老母の小さな背中を見た時、「息子と孫と3人で対岸に渡れるなんて、長生きして良かった。」と言っているようで何とも言えない感動を覚えました。

本橋は地域住民の生活道路という面だけでなく、県南と鹿行地区を結ぶ産業道路としても重要な役割を果しています。茨城県のシンボルの1つ霞ヶ浦、湖を渡る橋としては日本でも最大級の橋としてその美しい姿を湖面に映しています。（玉野）

市道高速分岐3号正木（その3）工区

名古屋都市高速道路の都心ループを構成する分岐3号線は、名古屋市の幹線道路である市道山王線上を東西に走る路線で、当工区は、東本願寺名古屋別院に近い山王線と国道19号線の交差点上に架かる高架橋です。

国道19号線は、1日当たり約8万台の交通量があり、また交差点は特殊なセパレート信号となっているため、架設はすべて夜間架設となりました。

63年春には開通が予定されており、当工区を含む都心ループが開通すると、名古屋の西部から都心部を経て名古屋の南部に至る、通過交通ルートが完成します。（藤原）

応急橋主桁の高力ボルト引張接合併用継手疲労試験

The Fatigue Test for the Joint Structure Using the Tensile Type Connection and Friction Grip Connection of High-Strength Bolt, for Use in the Main Girder of Temporary Bridges

鳥越弘行* 清水功雄** 佐藤徹***
Hiroyuki TORIGOE Isao SHIMIZU Tohru SATOH

Summary

To use a joint structure, using the tensile type connection and friction grip connection of high-strength bolts as a field joint for the main girder of temporary bridges to be used in disasters, we clarified the reliability of such joint structures through fatigue tests conducted on the models.

This report outlines the results of those fatigue tests.

1. まえがき

応急橋梁の現場継手構造を簡素化して、現場施工を容易にし、架設工事期間を短縮する目的で、昨年度に支圧・HTB継手および支圧・ピン継手の2種類の併用継手構造について静的載荷試験を実施して、その結果を「応急橋主桁の支圧およびピン接合継手試験」宮地技報No.3(1987)で報告した。前回の基礎的な静的試験の結果、支圧・HTB継手および支圧・ピン継手構造は、静荷重に対して耐力は十分期待出来るが、継手構造上腹板に開口部を生じる為に継手部の断面性能が減じ、桁として剛性の低下が見られた。橋梁の継手構造としては、くり返し載荷による疲労にも耐え得る構造であることと共に、母材断面と同程度の剛性を有する構造が要求されるので、継手構造に一部変更を加えて継手部の剛性を高めて、静的試験および疲労試験を実施した。

今回の継手試験の継手構造も、前回に引き続き圧縮力は支圧(メタルタッチ)で伝達するのが最もシンプルで経済的であるという考えを発展させて、圧縮フランジ部および腹板部の端部にエンドプレートを用いた高力ボルト引張接合を採用するとともに、引張フランジ部には高力ボルトマツ接合およびピン接合の2種類の併用継手構造とした。

この試験の結果、高力ボルト引張接合・マツ接合併用継手は強度・剛性・耐久性共に継手性能として良好な

結果が得られて、応急橋梁の主桁現場継手構造として十分適用可能な構造で有ることが確認されたので報告する。

2. 試験体

今回の継手試験も前回試験と比較検討する為に、試験体の主桁諸元は同じくして、継手構造のみ変更を加えた2種類の試験体とした。図-1に試験体図面を示す。

(1) 継手構造

継手構造は、圧縮フランジ部および腹板部の継手としてはエンドプレートを用いた高力ボルトの引張接合とし、引張フランジ部は高力ボルトのマツ接合およびピン接合を用いた次の2種類の継手構造とした。

- a. 引張接合・ピン接合併用継手
- b. 引張接合・マツ接合併用継手

引張接合のエンドプレートの厚さは16mmとし、高力ボルトはM16(F8T)とした。エンドプレートの接触面は特別な仕上げは行わず、一般の桁製作と同程度の歪取りで製作し、HTB M16の締付けはナット回転法により軸力9tonを目指して施工した。またエンドプレート端部の隅肉溶接は疲労を考慮して廻し溶接を行いグラインダー仕上げを行った。

引張フランジの継手は、両併用継手構造共にフランジの全強で添接した。(図-1)

* 技術本部技術開発部参事

*** 千葉工場製造部生産技術課

** 技術本部技術開発部付課長

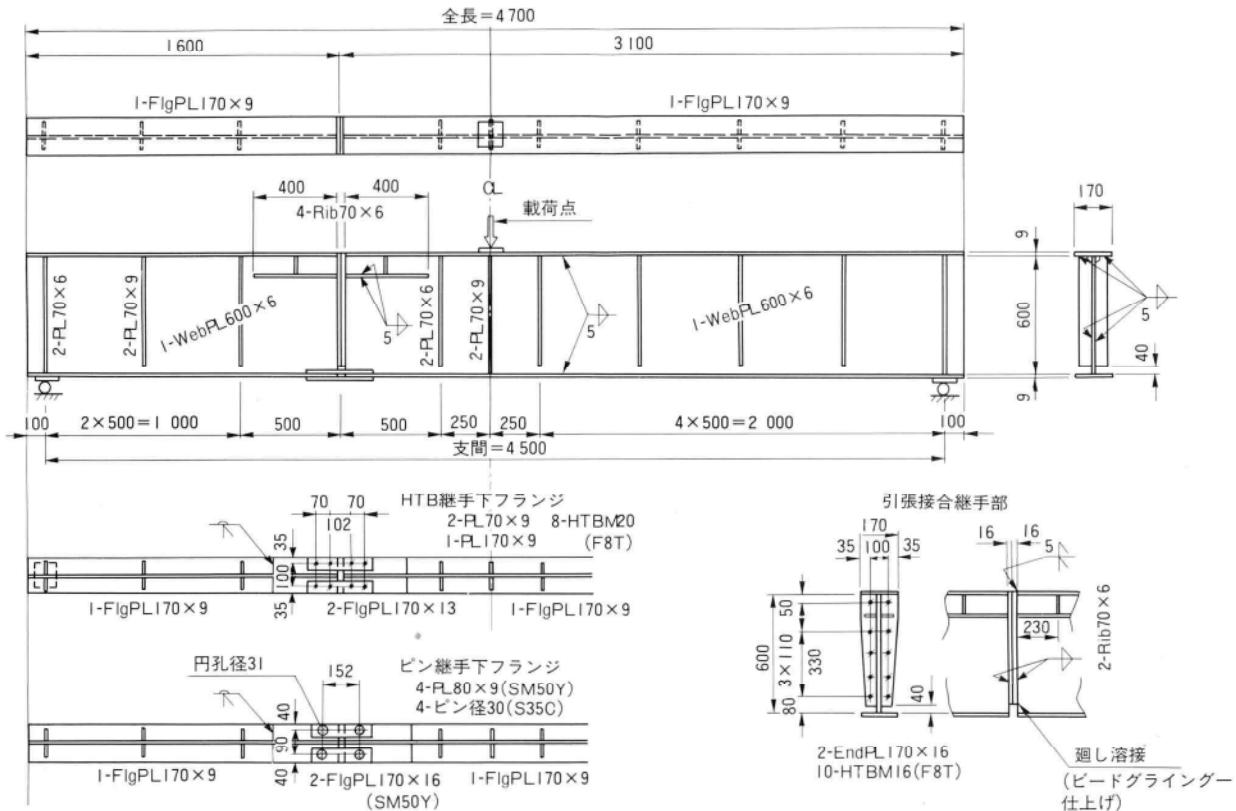


図-1 試験体

併用継手の構造を写真-1 (a), (b) に示す。

(2) 試験体の材料強度

試験体に使用した鋼材強度は表-1に示す。また製作に使用した溶接棒は、KS-300・4φ(川崎製鉄・40k鋼用)およびM-50G・4φ(日鉄溶接工業・50k鋼用)であり、使用電流は160~180Aである。

表-1 試験体の鋼材強度

材質	板厚 (mm)	引張試験			適要
		降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	
SS41	9	32	45	30	フランジ
//	6	37	47	28	ウエブ

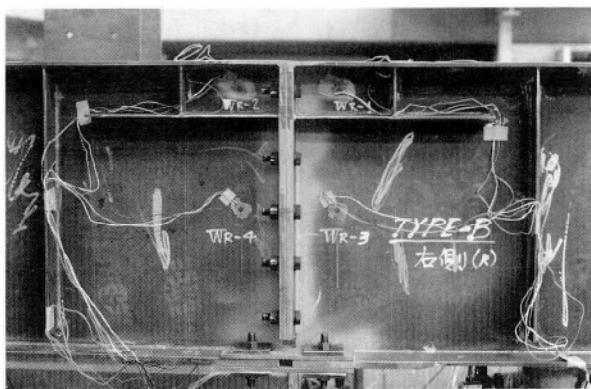


写真-1 (a)引張接合・ピン接合併用継手

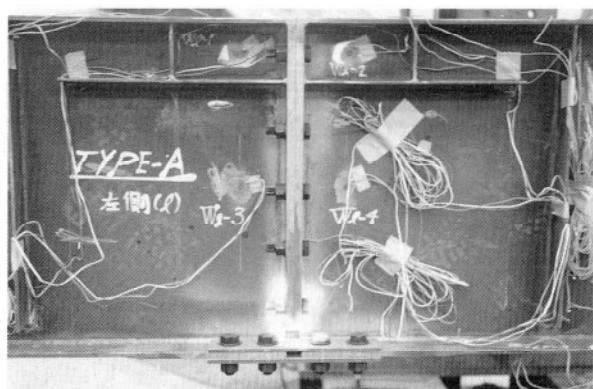


写真-1 (b)引張接合・マサツ接合併用継手

3. 試験方法

試験は、2試験体について、静的載荷試験を行い、その後同じ試験体により疲労試験を実施することにした。

(1) 静的載荷試験

載荷は中央1点載荷とし、継手部近傍のひずみおよび桁のたわみをひずみゲージ・変位計により計測する。載荷荷重は2.5ton刻みとして、最大載荷重は15tonとした。この載荷重15tonは、設計許容荷重の約20%増に相当する。

静的載荷試験の各種測定位置は図-2に示す。

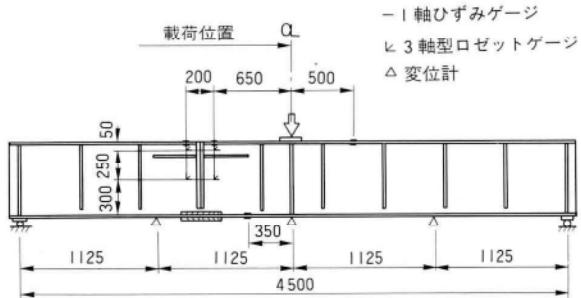


図-2 ひずみゲージおよび変位計取付け位置図

(2) 疲労試験

静的載荷試験の終了した試験体を使用して疲労試験を実施することにし、上限載荷重は10ton、下限載荷重は2tonとして載荷回数は200万回を目標とした。この上限荷重10tonは設計許容荷重の約75%に相当する。

使用疲労試験機は、下記のものを使用し、載荷サイクルは250cpmとした。

試験機本体 (AUP-100型)

油圧ジャッキ (JKD-30AS型)

脈動発生装置 (AHP-300型パルセーター)

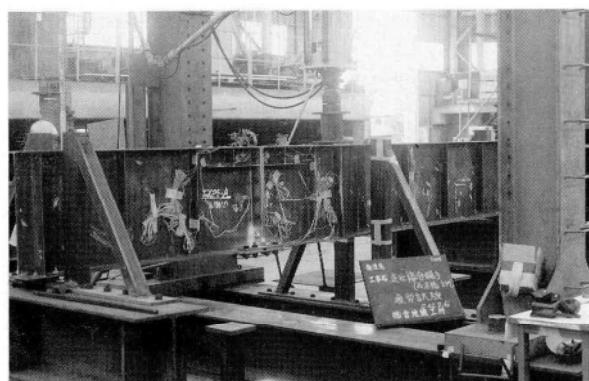


写真-2 疲労試験

4. 試験結果

(1) 静的載荷試験結果

静的載荷試験の測定結果の主なものは、次のとおりである。

(a) たわみ

支間中央における荷重-たわみ図を図-3に示す。なお、図中の理論値は、中央断面を断面とした等断面梁と考えて、継手を無視した理論値である。

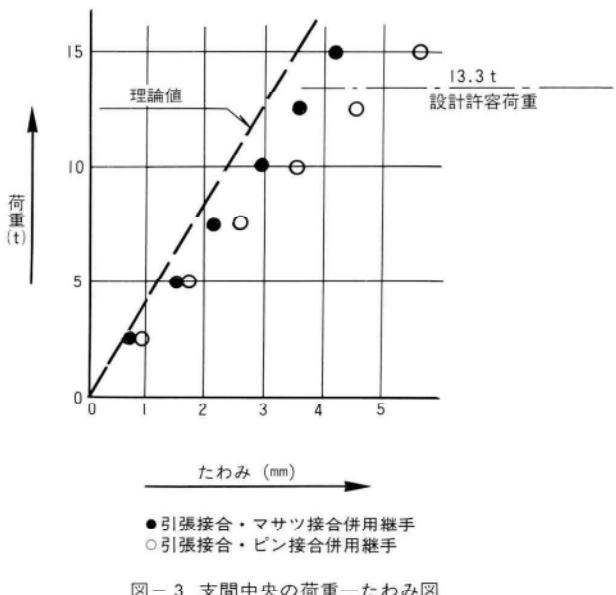


図-3 支間中央の荷重-たわみ図

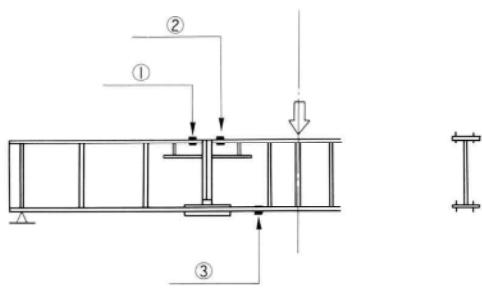
(b) フランジのひずみ

フランジの測定ひずみを、図-4に示す継手近傍箇所について図-5、図-6、図-7に示す。なお、このひずみの値は測定4点（フランジの上下・左右）の平均値であり、4点の値のばらつきは微少であった。

(c) ウエブの主応力

ウェブについては、測定ひずみから主応力を換算したものと示すこととし、載荷重15tonの場合の主応力を図-8(a)および図-8(b)に示す。

引張接合・ピン接合併用継手の主応力は、腹板中央部において、大きさ・方向共に一般の場合と大きく異なることが分かる。



●引張接合・マツ接合併用継手
○引張接合・ピン接合併用継手

図-4 フランジひずみ測定箇所

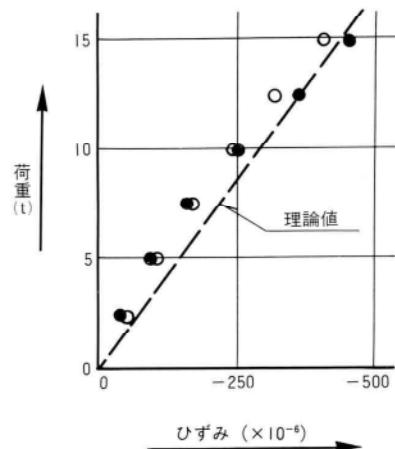


図-6 上フランジ②点のひずみ

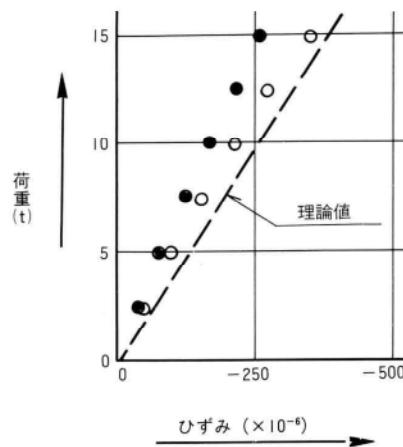


図-5 上フランジ①点のひずみ

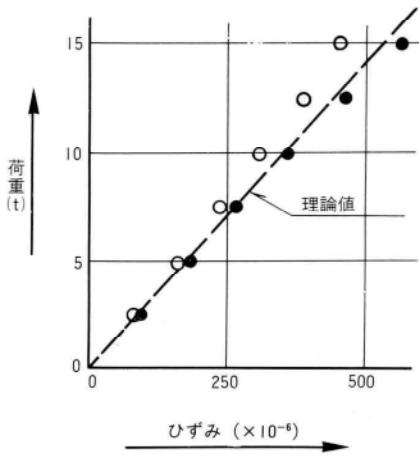


図-7 下フランジ③点のひずみ

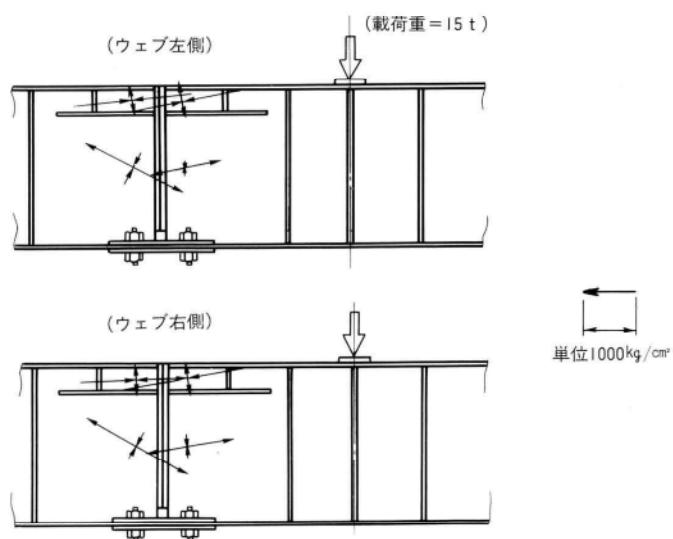


図-8(a) 引張接合・ピン接合併用継手主応力図

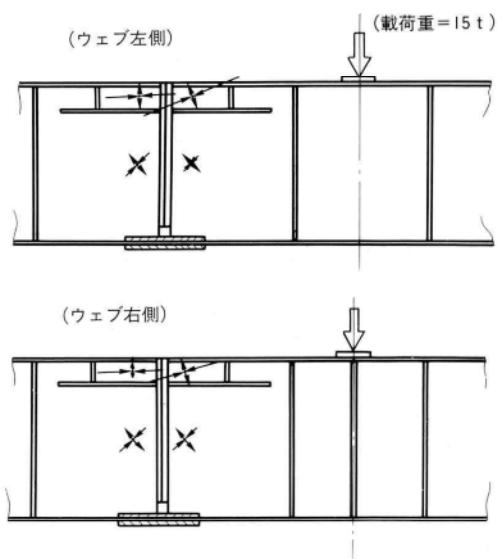


図-8(b) 引張接合・マツ接合併用継手主応力図

(2) 疲労試験結果

(a) 引張接合・ピン接合併用継手

この試験体は、載荷回数32万回で引張接合の最下端の高力ボルトが1本破断した。ボルト破断位置はネジ部であり写真-3を参照。

破断ボルトを取替えて、疲労試験を継続したが、載荷回数約40万回で継手部エンドプレート下端部のウェブとの隅肉溶接部にキレツが発生した。

そのまま試験を継続したが、キレツの増大と共にボルトが下端側から順次破断し、載荷回数62万回でキレツ長が約35mmに達すると共にボルト4本が破断して、載荷のコントロールが不能になり、試験を中止した。この時の腹板のキレツの状態は写真-4に示す。なお、載荷回数は、試験初めからの通算回数である。



写真-3 破断高力ボルト

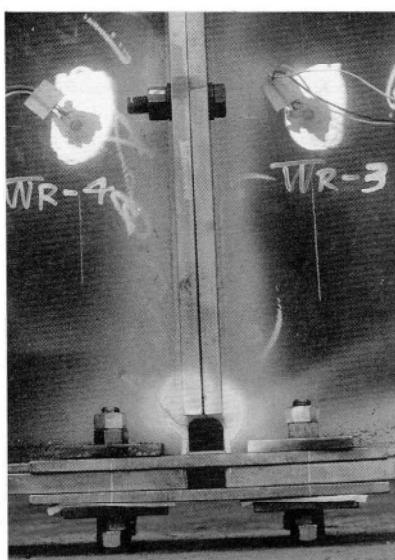


写真-4 ウエブのキレツ

(b) 引張接合・マサツ接合併用継手

載荷回数200万回まで疲労試験を実施したが、継手部およびその他試験体には全く変状は見られなかった。また、試験終了後に継手部を解体し、継手構造のエンドプレート、添板板およびその接触面、ボルト孔等を調べたが各部共に健全であり変状は認められず、継手部材としては再使用可能な状態であった。(写真-5)

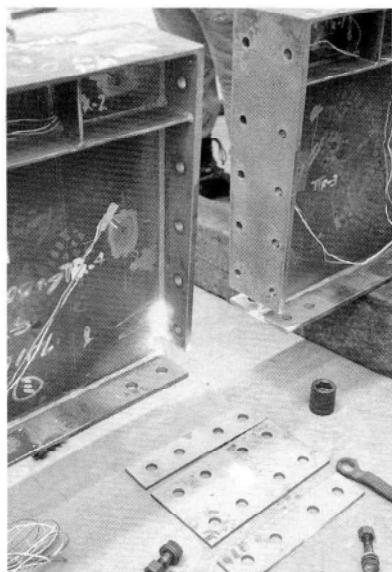


写真-5 疲労試験後の継手部材

5. 考察

これらの試験結果から、高力ボルトを使用した引張接合・マサツ接合併用継手構造の有効性が判明した。

(1) 引張接合・ピン接合併用継手

静的載荷試験のたわみ量が理論値より大きいこと、および腹板中央部の主応力が過大値を示し方向が異なることから、引張接合とピン接合が同時に有機的な作用をしていないことが判明した。この事が疲労試験で顕著にあらわれて、高力ボルトの破断およびエンドプレート下端部腹板にキレツを生じた。これらの事項は、ピン接合部のピン径とピン孔径の差（構造上必要なもの）に起因するものと想定される。したがって、同一継手において引張接合とピン接合を併用する構造は、静荷重による載荷耐力を有するが、橋梁の梁の継手構造としては不適な構造である。

(2) 引張接合・マサツ接合併用継手

載荷試験結果から、この併用継手は、高力ボルト引張接合とマサツ接合が有機的に作用している事が判明し、継手構造として剛性・耐荷力共に十分な構造であり、また、疲労試験結果より耐久性についても確証された。なお、この試験体に用いた併用継手の引張接合構造は、次の仮定により定めたものである。

- ① 継手部は、圧縮・引張フランジ共に全断面有効とし、腹板として引張接合ボルト全断面を腹板高さで除した値を仮想腹板厚とする断面性能と仮定する。
- ② ボルトの作用引張外力には、エンドプレートの剛性を考慮した挺子反力が附加される（アメリカ式）とする。
- ③ ボルトの許容引張強さは、設計ボルト軸力の60%とする。

この引張接合・マサツ接合併用構造は、引張疲労に対して敏感な高力ボルト（引張接合の引張フランジ側ボルト）を、引張フランジに高力ボルトマサツ接合を適用することにより補強され、かつ圧縮フランジは支圧で応力を伝達される構造であって効率の良い継手構造である。今後、引張接合部のエンドプレートの剛性・応力および高力ボルト軸力変動等の挙動が確められれば、応急橋梁の主桁継手構造だけでなく、一般の鋼構造物の継手構造として適用範囲の広い構造と考えられる。

6. あとがき

本試験の結果により、災害時応急橋梁の主桁現場継手箇所に高力ボルトの引張接合・マサツ接合併用構造を適用すべく現在検討中である。

ボルト締めつけによる効用を活用した引張接合は、昭和30年代後半から各方面で広く研究がなされ、建築関係では「鋼構造設計基準」（1970.6）で高力ボルトの許容引張力が定められているが、大きな荷重が繰返して作用する場合は疲労強度が大幅に低下するので注意することが指摘されている。また、土木鋼造物のうちでも特に鋼橋の継手の場合は、強度と共に剛性および疲労耐力が要求されることから、引張接合の単独使用の継手構造は使用されていない。しかし、引張接合とマサツ接合を併用した継手構造は、種々の欠点を相助け、鋼橋の継手として十分に使用可能な構造であり、現場継手の容易な構造であることから、今後この併用継手の研究・開発を進めることは意義あることと考えられる。

〈参考文献〉

- 1) 鳥越・清水：応急橋主桁の支圧およびピン接合継手試験、宮地技報No.3、1987年1月
- 2) 日本建築学会；高力ボルト接合設計施工指針
- 3) 日本鋼構造協会；高力ボルト接合、JSSC、昭和47年
- 4) 小西一郎編；高力ボルト引張接合、鋼橋基礎編I

高力ボルト摩擦接合継手の設計と耐力

Design and Yield Strength of Friction Grip Joint Using High-Strength Bolts

成 宮 隆 雄* 百瀬 敏 彦**
Takao NARUMIYA Toshihiko MOMOSE

Summary

In recent years, heavy duty rustproof coatings have been increasingly applied to steel bridges. In order to secure unified rust prevention with the heavy duty rustproof coatings, it is also necessary to apply the coating to friction grip joints which use high strength bolts and their contact surfaces. It sometimes occurs, however, that the design yield strength cannot be obtained, depending on the type of coating used on the contact surface, due to the inability to secure the coefficient of sliding friction. This report, which describes some of the factors which affect the coefficient of sliding friction, is based on the results of tension tests conducted on friction grip joints which use high-strength bolts and is based on the published date of these same sort of friction grip joints.

1. まえがき

高力ボルト摩擦接合継手の耐力は、高力ボルトの軸力（厳密には材片接触圧力）と接触面のすべり係数によって決まる。また高力ボルトの軸力は、使用するボルトの強度と締め付け軸力によって決まり、締め付け方法とその管理によって保証される。一方接触面のすべり係数は材片接触面の表面状態によって決まる。

最近は鋼橋の重防錆塗装において、防食性の一体化の立場から高力ボルト摩擦接合継手の接触面にも塗装をする場合があるが、塗膜の種類によっては、すべり係数が確保できず、設計耐力が得られないことがある。

従って高力ボルト摩擦接合継手の耐力保証には、高力ボルト締め付け管理と設計計算上のすべり係数（道路橋示方書によれば $\mu=0.4$ ）を下廻らないような接触面の処理を行うことが必要である。

一般に高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数（ μ ）は高力ボルト摩擦接合継手引張試験によって軸力（N）と継手耐力（P_s）とから下式によって求められる。

$$\mu = P_s / m \cdot n \cdot N$$

ここでm：摩擦面数 n：ボルト数

この場合軸力は高力ボルト締付け直後の軸力を用いているが、実際はボルトのリラクゼーション等により経時後には当初の軸力よりも小さな接触圧力となっていることが多い。即ち、軸力導入時期（軸力測定時期）と継手

引張試験時期が異なるとボルトの軸力減少により計算上のすべり係数は小さくなる。軸力減少がボルトのリラクゼーションだけによる場合はせいぜい2～4%程度であるが、接触面に塗膜等のある場合は、10%以上の軸力減少を生じることもある。

以上の如く摩擦接合継手引張試験から求めたすべり係数（ μ ）は多くの因子に影響があるので、継手試験の因子を十分考慮してすべり係数を評価することが重要である。

本報では筆者らが行った高力ボルト摩擦接合継手の引張試験結果および既発表^{1)～20)}のデータを基に、すべり係数に影響を及ぼす因子を整理して、高力ボルト摩擦接合継手の設計に必要なデータとしてまとめた。

2. 高力ボルト摩擦接合継手引張試験の各要因

高力ボルト摩擦接合継手引張試験において、軸力を一定と考えた時に耐力から算出される継手のすべり係数に影響を与えるであろう継手の要因は、大別すると次の通りである。

- ① 継手接触面の表面状況
- ② 材片間の肌すき
- ③ 孔径
- ④ 継手試験片の形状
- ⑤ ボルト軸力の経時変化
- ⑥ 荷重の種類（静的荷重と繰り返し荷重）

* 千葉工場製造部長

** 千葉工場製造部生産技術課

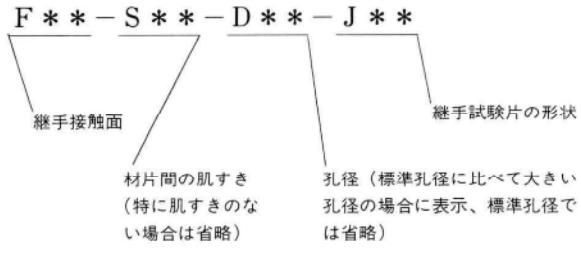


図-1 継手の整理番号のつけ方

付表-1～12に継手試験結果を示した。各継手には要因①～④の内容を示す継手整理番号をつけて、データの整理を行った。整理番号のつけ方を図-1に示した。

(1) 継手接觸面の表面状況

従来高力ボルト摩擦接合継手の接觸面は、黒皮等を除去し粗面とし塗装を行なってはならないと規定されていたが、塗装を施さないこれらの継手接合部は、出荷後輸送や屋外仮置き等の暴露によって発錆する。特に仮置き、または架設が長期にわたる場合、その発錆はかなり進行するものと考えねばならないし、当然板厚の減少及び流出した錆は一般部の塗装面を汚染させる。また架設直前における接觸面の浮錆除去は作業上あるいは管理上困難を伴うことが多い。これらのこと考慮して最近では接觸面にも塗装等を施すことが行なわれているが、塗料・塗膜厚等の慎重な考慮が必要となる。

現在採用されている接觸面の表面状況及び継手試験で試みられている接觸面の表面状況を大別すると、①接觸面が鉄面の場合（即ち接觸面に非鉄被覆のない場合）、②接觸面に非鉄被覆のある場合等に分けられる。表-1に継手接觸面の表面状況の種類と分類記号を示した。また表-2に継手記号における表面状況の表示例を示した。表-2に示したように継手接觸面の表面状況は、主材接觸面と添接板接觸面が必ずしも同一であるとは言えず、製作上の都合や架設上の制約で異った組合せとなることもある。さらに、継手接觸面の表面が鉄面の場合でも非鉄被覆のある場合でも、その表面の粗さはすべり係数に大きな影響を与える。言い換ればすべり係数が小さな非鉄被膜を接觸面にもつ継手も、その表面を物理的な方法で目荒し（表面粗さを大きくする）をしてやれば、すべり係数が飛躍的に増大する場合もある。

代表的な接觸表面の形状の測定結果を図-2に示した。すべり係数を確保するためには、ただ単にJISの表面粗さのみではなく、その形状に留意する必要がある。

表-1 継手の表面状況の分類記号

タイプ	表面状況の分類	記号	表面状況の詳細
FA	継手接觸面が鉄面の場合 (接觸面に非鉄被覆のない場合)	FA1	黒皮鋼板のまま
		FA2	グリッド又はショットブロスト面
		FA3	サンドブロスト面
		FA4	グラインダー仕上げ面
		FA5	鏡面
FB	継手接觸面に非鉄被覆がある場合	FB1	亜鉛メッキ面
		FB2	金属溶射面
		FB3	無機質ジンクリッヂ塗膜面
		FB4	有機質ジンクリッヂ塗膜面
		FB5	プライマー（ウォッシュ又はジンク）
		FB6	その他

表-2 継手接觸面表面状況の表示例

表示記号	接觸面の表面状況	
	主材接觸面(B)	添接材接觸面(S)
FA3	サンドブロスト面	サンドブロスト面
F _B A4*F _S A2	グラインダー仕上げ面	グリッドブロスト面
F _B B2*F _B A2	金属溶射面	グリッドブロスト面
FB4	有機質ジンクリッヂ面	有機質ジンクリッヂ面

F：両接觸面同じ F_B：主材接觸面 F_S：添接板(スプライス)接觸面

(2) 材片間の肌すき

材片間に肌すきがあると、その程度に応じてボルト軸力が摩擦接合面での支圧力として働くことなくなることにより、耐力が減少する。従ってボルト軸力と継手耐力から計算すると、見かけ上すべり係数が減少したことになるが実際は接觸面の摩擦係数が変化したわけではない。実際の継手では板厚差、形状段差、変形等により材片間に肌すきが生じることが多く、板厚および継手形状によ

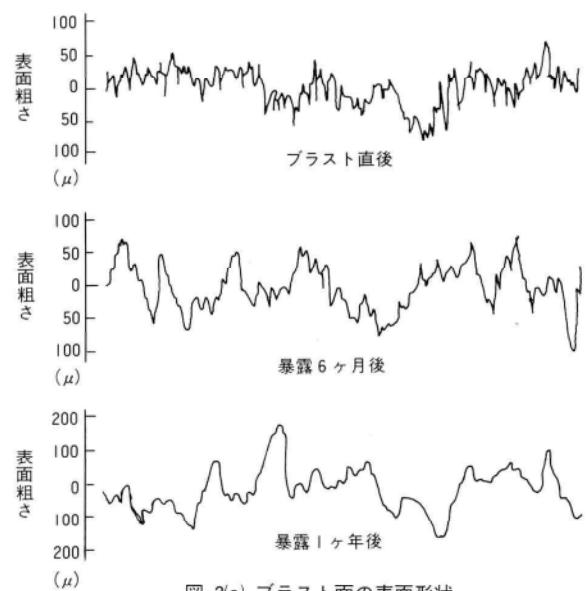


図-2(a) ブラスト面の表面形状

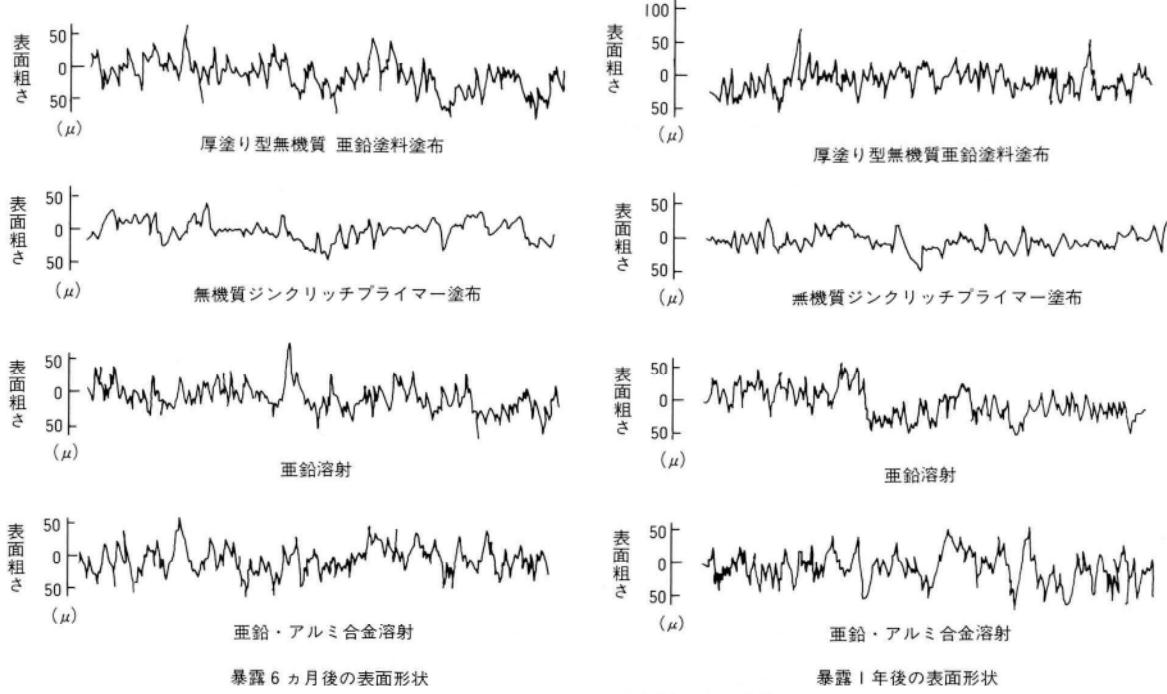


図-2(b) 塗装あるいは溶射面の表面形状

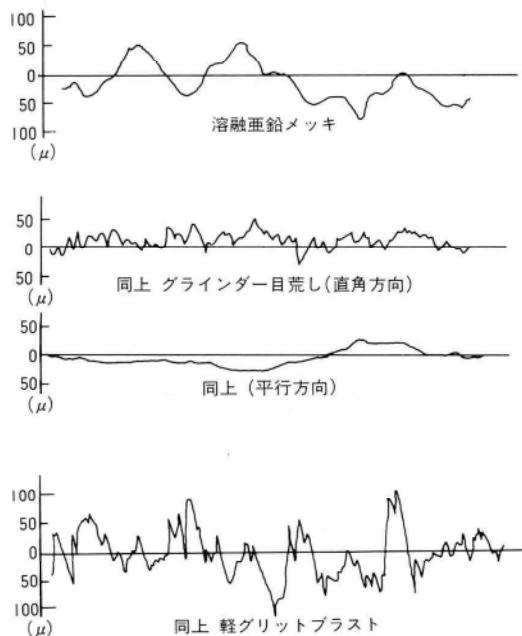


図-2(c) 溶融亜鉛メッキ面の表面形状

ではボルト締め付けによって材片の肌すきは解消されるが、実質的な材片支圧力が低下している場合が多い。これらのこと考慮して、材片の肌すきを故意に作ったり又材片の著しい場合はフィラーを入れたりした継手を作って試験を行なう場合も多い。

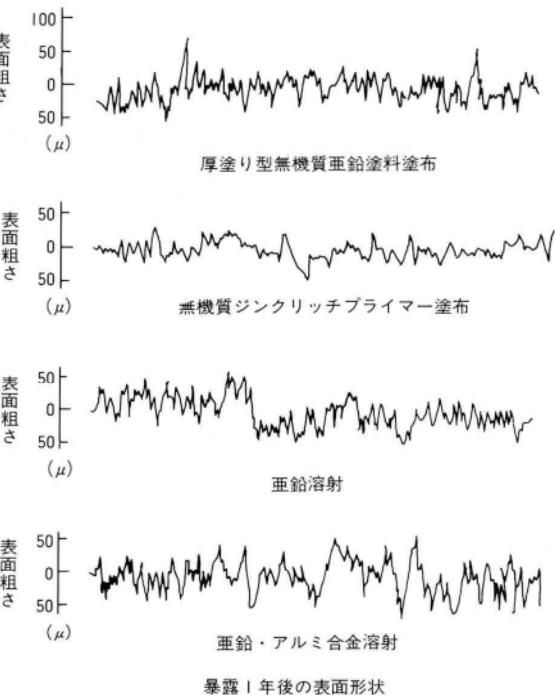


図-3 継手材片の肌すき表示例

図-3に示すように肌すきのある継手は、継手整理番号のS記号の後に肌すき量を記入する(例 S 2 : 2 mmの肌すき)。また肌すきが大きく接合面にフィラーを入れた場合はS記号の後にF 3 (3 mmのフィラー)と表示する。(例 S F 3 : 肌すきに厚さ3 mmのフィラー挿入)特に肌すきがない場合はS記号の表示はしない。

(3) 孔径

ボルト径に対する標準孔径を表-3に示した。

ボルト径に対して標準より大きな孔径をもつ継手は、D記号の後に孔径を示しその後に()してボルトの径を表示する(例 D35(22) : M22ボルトに対して35φの孔径)。標準孔径の継手はD表示を省略する。

表-3 ポルト径に対する標準孔径

ポルトの呼び(mm)	ポルトの孔の径(mm)
	摩擦接合
M20	22.5
M22	24.5
M24	26.5

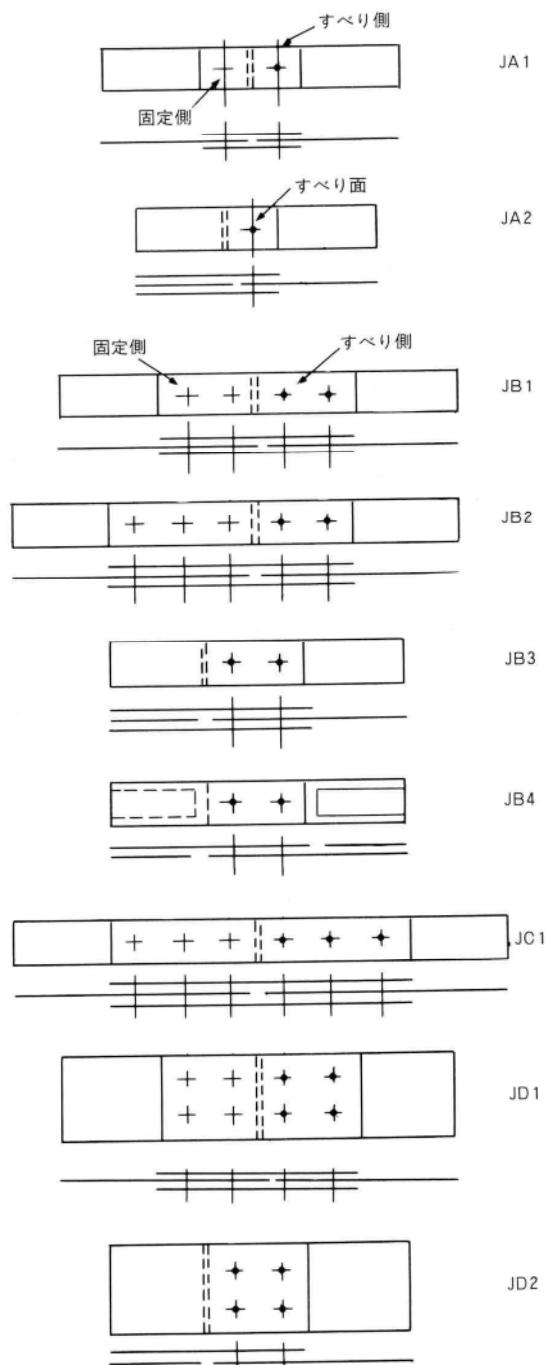


図-4 継手試験片の形状

標準孔径より大きな孔径をもつ継手いわゆるオーバーサイズホール継手は、ポルト軸力が継手接触面の支圧力として伝達されるかどうかによってその限界孔径が決められる。オーバーサイズホール継手の採用は、鋼橋等の鋼構造物の製作においての経済的な効果は非常に大きい。一般には、オーバーサイズホールは、架設時の形状、寸法確保のため基準孔（パイロットホール）と併用して使われている例が多い。

(4) 継手試験片の形状

継手試験片の形状分類は、継手のすべり面側に用いるポルトの数を基本にし、形状によって細分化した。図-4に継手形状と継手記号を示した。

(5) ポルト軸力の経時変化

高力ポルト摩擦継手のポルト締めは、一般的にはトルク制御法によって軸力の導入および管理がなされているが、最近は管理の容易な耐力点制御方式も採用されるようになってきた。いずれの場合も直接ポルト軸力を測定する方法でないため、継手試験結果を基にすべり係数を求める場合には軸力精度と信頼性に欠ける面があるばかりでなく、軸力の経時変化を測定することが出来ないため試験時の軸力を知ることができない。従って継手試験では、1本1本のポルト軸力が直接測定できるストレーンゲージ法による場合が多い。ポルトにストレーンゲージを貼る場合、ポルトの軸部にゲージを貼る方法とポルトの頭部に貼る方法がある。図-5にポルト軸部にゲージを貼り軸力を測定する方法を示した。ポルト軸部にゲージを貼る方法の方が精度と再現性が良いが、ポルトの加工等に手間がかかる。ゲージを貼り付けたポルトは、1本1本軸力計又はアムスラー引張試験機等で軸力一歪較正曲線を得ておくことになる。

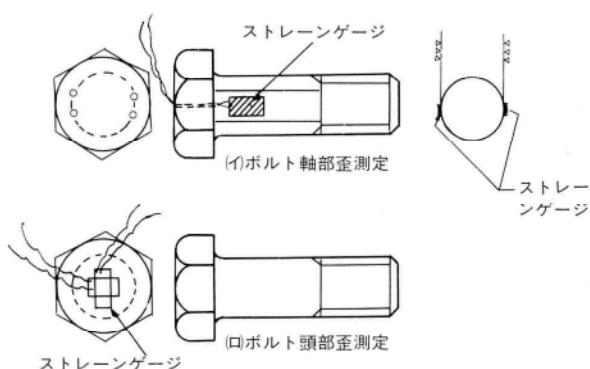


図-5 ポルト軸力の歪測定

ボルト軸力の減少は接触面が鉄面の場合も、ボルト自体のリラクゼーションにより2~3%生じるが、接触面に非鉄被覆がある場合は更に多くなる。従って継手試験の耐力とボルト軸力からすべり係数を計算で求める場合、ボルト導入軸力（初期軸力）と継手試験を行なう時の軸力（最終軸力）のいずれを軸力として計算するかによってすべり係数は異なる。前者は見かけのすべり係数であり後者が真のすべり係数となる。実際は見かけのすべり係数が用いられるのであるから、軸力減少には十分考慮する必要がある。

(6) 荷重の種類（静的荷重と繰り返し荷重）

摩擦接合継手の接触面に非鉄被覆が存在する場合、使用期間中に繰り返し荷重を受けると母材とスプライスの応力の違いによる伸びの差によって見かけ上微小なズレが繰り返し生じていることになり、接触面の非鉄被覆は繰り返せん断変形を受けることになる。このため非鉄被覆の

状態（厚さおよび物理的性質）によっては被覆が破壊されすべり耐力に影響を与える危険がある。従って、接触面に非鉄被覆を用いる場合は単に静的荷重下におけるすべり係数のみならず、繰り返し荷重によって被覆が破壊する事がないかどうか、留意することが必要である。

3. 各継手のすべり係数およびボルト軸力減少

付表-1から付表-12のデータを基に、前述した要因別にすべり係数およびボルト軸力減少についてのまとめを以下に示す。

(1) 表面状況とすべり係数

継手の各表面状況におけるすべり係数を図-6に示した。見かけ上のすべり係数が0.4以上を確保できる表面状況は、継手接触面が、鉄面の場合と金属溶射面および厚膜型無機質シンクリッヂ塗面の場合のみである。

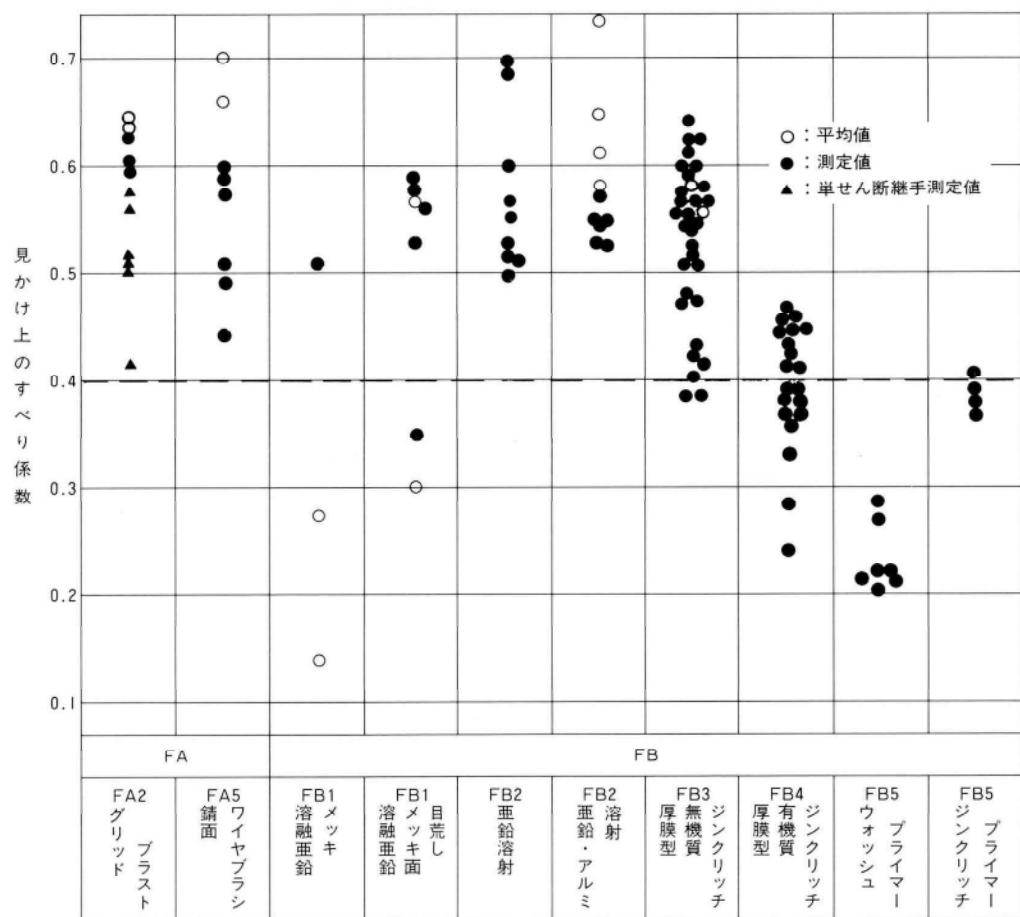


図-6 継手の各接触面の状況とすべり係数

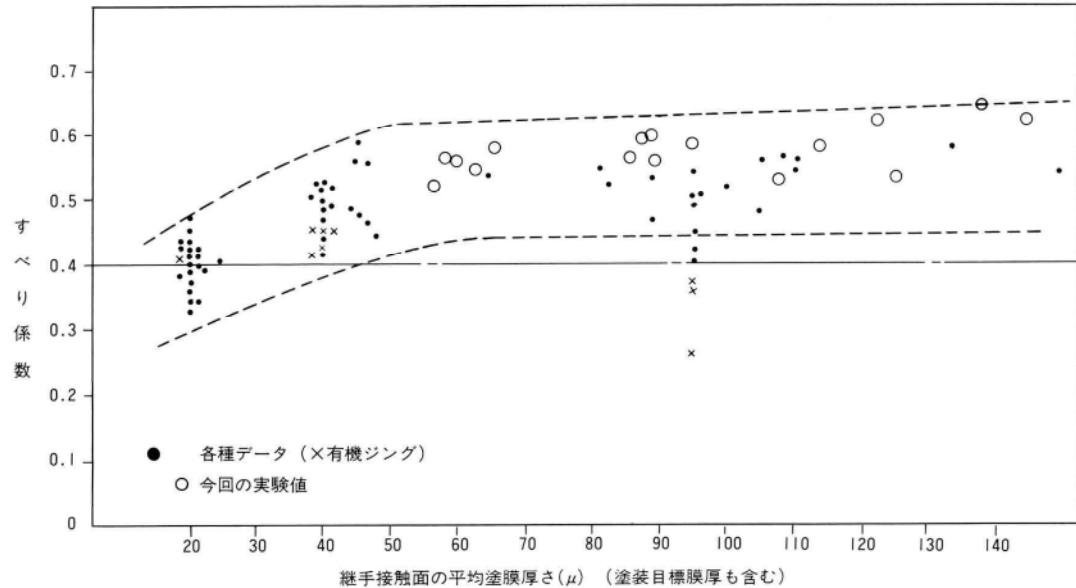


図-7 高力ボルト継手のすべり係数と接触面の各種ジンクリッヂ系塗膜厚の関係(参考文献10)

溶融亜鉛メッキ面は目荒しが必要である。

(2) ジンクリッヂ塗装とすべり係数

継手接触面に有機および無機質ジンクリッヂ塗装を施した場合の見かけのすべり係数と膜厚の関係を図-7(参考文献10)に示した。無機質ジンクリッヂ塗装を50 μ 以上の厚さが塗布されれば、すべり係数は0.4以上確保される。ただし有機質ジンクリッヂ塗膜では膜厚が70 μ 程度あってもすべり係数0.4は確保できない。

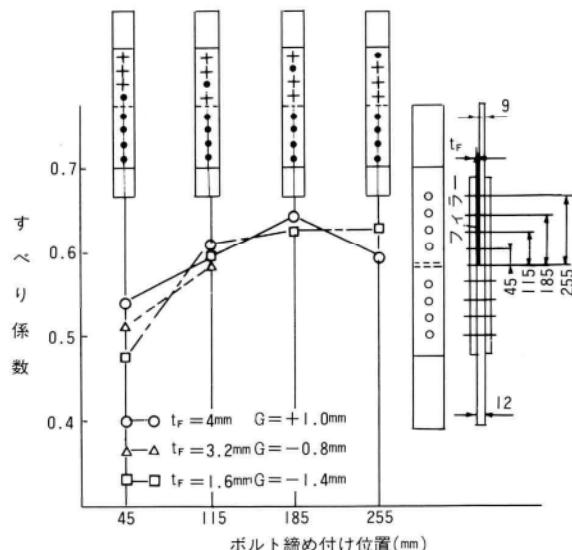


図-8(a) 材片の肌すきとすべり係数(参考文献20)

(3) 材片の肌すきとすべり係数

継手材片の肌すきによって摩擦面での支圧力がボルト軸力に較べて小さくなるため、見かけのすべり係数は減少する。図-8に肌すきと見かけのすべり係数を示した。

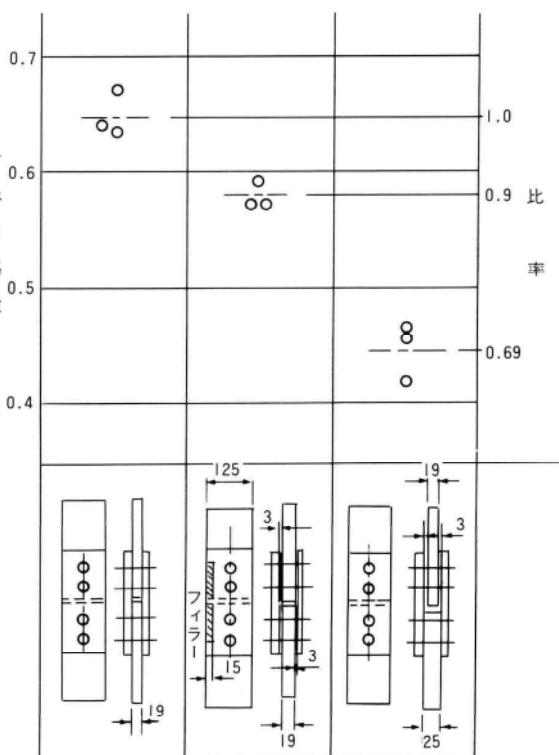


図-8(b) 材片の肌すきとすべり係数

肌すきと見かけのすべり係数の関係は、添接板の材質、板厚、孔ピッチ等多くの要因により異なるので一概には言えないが、肌すきが大きい程見かけすべり係数は減少する。しかしボルト列数の多い場合は継手全体としての減少率はそれ程大きくはならないようである。

(4) 過大孔の継手のすべり係数

高力ボルトM22に対して過大孔（オーバーサイズホール）として、 26ϕ 、 28ϕ が良く使用される。この程度の過大孔であれば継手の耐力、強いては見かけのすべり係数を低下させることはないと言われている（参考文献12、13、17、18）。しかしM22ボルトに対して孔径が28mmを超えて過大となる場合は、ボルト軸力を材片の支圧力として確実に伝えるため座金の厚さおよび寸法を考慮しなければならない。孔径が35mm程度にした場合でも座金の代りに比較的厚い鋼板に標準孔を明けた継手補助板を用いれば、見かけのすべり係数は0.4を十分確保できると報告されている（参考文献13）。

(5) 軸力の経時減少

各継手接触面の軸力の200時間後の経時減少率を図-9

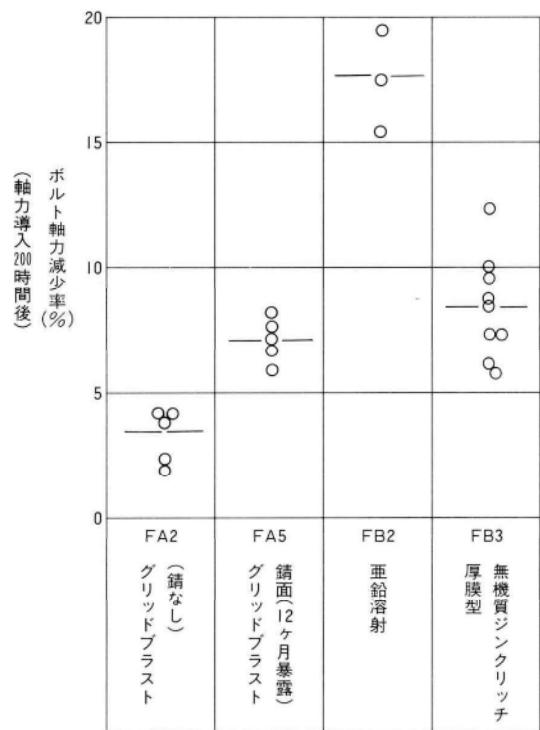


図-9 各継手接触面での軸力減少率

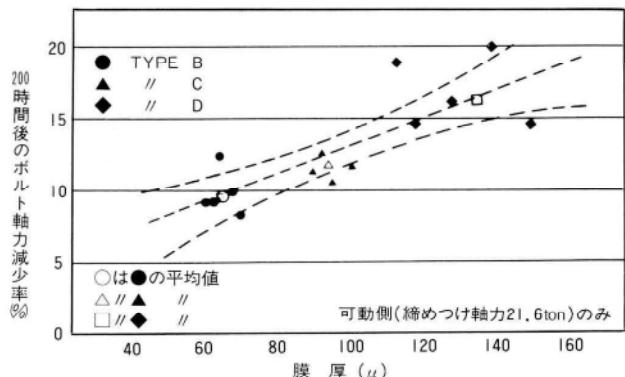


図-10 厚膜型ジンクリッヂペイントの膜厚と軸力減少率の関係 (※10)

に示した。また厚膜型ジンクリッヂペイントの膜厚と軸力減少率の関係を図-10（参考文献10）に示した。いずれの場合も軸力の減少は接触面に非鉄被覆のある場合が著しく、更に被覆膜厚の厚い程大きく最大20%程度の軸力減少を生じる場合がある。軸力減少は24時間以内で大部分が起りその後の軸力減少は非常に緩やかである。

軸力減少の大きい継手では、見かけのすべり係数が、それに対応して小さくなるので注意を要する。

(6) 繰り返し荷重がすべり係数におよぼす影響

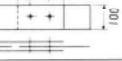
継手接触面に非鉄被覆が存在する場合は、継手部が繰り返し荷重を受けると、母材と添接板の弾性歪の違いにより継手は微小なズレが繰り返し与えられ、非鉄被覆に繰り返しせん断力が与えることになり、被覆の破壊を生じ継手のすべり係数が減少する危険がある。これらの確認のため継手に母材許容応力程度の繰り返し荷重を 10^6 回程度載荷した後継手引張試験を行った。その結果によると、見かけのすべり係数もほとんど変りなかった（参考文献6）。

4. あとがき

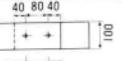
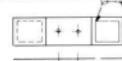
高力ボルト摩擦接合継手に関して筆者らが行なった多くの実験結果および文献調査の結果を併せて、報告と論説を行なった。

高力ボルト摩擦接合継手の性能を損なうことなく、鋼橋の防錆の一体化を計るために継手部の塗装をどうするかと言うことと、継手加工のコスト低減を計ることは重要な課題である。本報告がこれら課題解決のため少しでも参考になれば幸いである。

付表-1 高力ボルト摩擦接合継手引張試験結果一覧表(その1)

継手整理番号		FA2-JB3	FA5-JB3	FA5-JB3	FA2-JB3	FA2-JB3	FA5-JB3
継手形式			同左	同左	同左	同左	同左
鋼板鋼種・板厚		SM50A(19*9)	SM50A(19*9)	SM50A(19*9)	SM50A(25*12)	SM50A(25*12)	SM50A(25*12)
ボルト種別 ボルト径		F11T W7/8	F11T W7/8	F11T M22	F11T M22	F11T M22	F11T M22
ボルト孔径 (mm)	母材	23.5	23.5	23.5	24.5	24.5	24.5
	添接板	23.5	23.5	23.5	24.5	24.5	24.5
ボルト初期軸力N(TON/本) (ボルト本数:n)		N×n=42.5TON n=2本	N×n=42.1TON n=2本	N×n=43.2TON n=2本	N×n=43.2TON n=2本	N×n=43.2TON n=2本	N×n=43.2TON n=2本
軸力導入から試験迄の期間		未定	未定	未定	未定	未定	未定
軸力減少率(%)		ボルト6本の平均 3.5%(約200hr後)	ボルト6本の平均 4.8%(約200hr後)	ボルト6本の平均 6.5%(約200hr後)	未測定	未測定	未測定
軸力検定方法		ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定
試験荷重の種類		静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	10 ⁶ 回動荷重後、静荷重	同左
試験すべり荷重P _s (TON)		3継手平均51.9TON	3継手平均43.4TON	3継手平均47.6TON			
継手接触面の表面状況	母材	グリッドblast処理	グリッドblast処理、発錆面、ワイヤブラシ浮き落し	グリッドblast処理、発錆面、ワイヤブラシ浮き落し	グリッドblast処理	グリッドblast処理、発錆面、ワイヤブラシ浮き落し	グリッドblast処理
	添接板	同上	同上	同上	同上	同上	同上
非鉄被膜の平均厚さ(ミクロン)		—	—	—	—	—	—
継手接触面の表面粗さ(max)		75μ	135μ	241μ	109μ	109μ	150μ
継手接触面の暴露期間(月)		0ヶ月	6ヶ月	12ヶ月	0ヶ月	0ヶ月	14ヶ月
試験繰り返し数		3継手	3継手	3継手	3継手	3継手	3継手
すべり係数: μ μ=P _s /a·n·N		①0.631 ②0.595 ③0.607 平均0.611	①0.598 ②0.508 ③0.442 平均0.516	①0.587 ②0.573 ③0.490 平均0.550	平均0.65	平均0.70	平均0.64
参考文献		* 5	同左	同左	* 6	同左	同左

付表-2 高力ボルト摩擦接合継手引張試験結果一覧表(その2)

継手整理番号		FA5-JB3	FA2-JB4	FA2-D35-JB4	FA2-JA2	FA2-JB1	FA2-JB1	
継手形式					同左 35 24.5			同左
継手鋼板鋼種		SM50A(25*12)	SM50A(14*14)	SM50A(14*14)	SM50A(16*9)	SM50A(19*12)	SM50(25*12)	
ボルト種別 ボルト径		F11T M22	F10T M22	F10T M22(座全60φ)	F9T W7/8	F10T M22	F10T M22	
ボルト孔径 (mm)	母材	24.5	24.5	35—24.5	23.5	24.5	24.5	
	添接板	24.5	—	—	23.5	24.5	24.5	
ボルト初期軸力N(TON/本) (ボルト本数:n)		N×n=43.2TON n=2本	N×n=45.2TON n=2本	①40.4 ②42.5 n=2本	N×n=15.5 n=1本	N×n=43.2 n=2本	N×n=44.7 n=2本	
軸力導入から試験迄の期間		未定	未定	未定	未定	未定	未定	
軸力減少率(%)		未測定	未測定	ボルト4本の平均 2.4%(20hr後)	未測定	未測定	ボルト2本の平均 2.6%(4hr後)	
軸力検定方法		ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト頭にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト頭にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト頭にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	
試験荷重の種類		10 ⁶ 回動荷重後、静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	
試験すべり荷重P _s (TON)		3継手平均	①25.2 ②25.0	①21.0 ②21.1	2継手平均12.4TON	52.8TON	39.7TON	
継手接触面の表面状況	母材	グリッドblast処理、発錆面、ワイヤブラシ浮き落し	グリッドblast処理	グリッドblast処理	ショットblast処理	グリットblast処理	グリットblast処理	
	添接板	同上	(単摩擦面)	(単摩擦面)	同上	同上	同上	
非鉄被膜の平均厚さ(ミクロン)		—	—	—	—	—	—	
継手接触面の表面粗さ(max)		150μ	—	—	—	115μ	90μ	
継手接触面の暴露期間(日)		14ヶ月	0ヶ月	0ヶ月	0ヶ月	0ヶ月	0ヶ月	
試験繰り返し数		3継手	2継手	2継手	2継手	I継手	I継手	
すべり係数: μ μ=P _s /a·n·N		平均0.66	①0.56 ②0.55 平均0.56	①0.52 ②0.50 平均0.51	①0.394 ②0.404 平均0.399	平均0.584	平均0.44	
参考文献		* 6	* 13	同左	* 11	* 14	* 15	

付表-3 高力ボルト摩擦接合継手引張試験結果一覧表（その3）

継手整理番号		F4A-JB1	F _g A4*F _g A2-JB1	F4A-JB1	FB1-JB2	FB1-JB2	FB1-JC1
継手形式			同左	同左		同左	
継手鋼板鋼種		SM50A(19×12)	SM50A(19×12)	SM50A(19×12)	SM50Y(22×12)	SM50Y(22×12)	SM材(19×10)
ボルト種別 ボルト径		F10T M22	F10T M22	F10T M22	F11T M22	F11T M22	F10T M22
ボルト孔径 (mm)	母材	24.5	24.5	24.5	24	24	23.5
ボルト初期軸力N(TON/本) (ボルト本数:n)		N×n=45.2 n=2本	N×h=45.2 n=2本	N×h=45.2 n=2本	N×h=43.6 n=2本	N×h=43 n=2本	n=3本
軸力導入から試験迄の期間		未定	未定	未定	未定	未定	
軸力減少率(%)		未測定	未測定	未測定	約8%(50hr後)		未測定
軸力検定方法		ボルトの頭にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルトの頭にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルトの頭にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定			
試験荷重の種類		静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重
試験すべり荷重P _s (TON)		20.7	32.7	①42.7 ②50.5 ③50.4 ④40.6 4継手平均47.1	48.7	43.8	
継手接触面の表面状況	母材	有機ジンクリッヂペイントで塗装後グラインダーで塗膜を軽く除去(塗膜点残)	有機ジンクリッヂペイントで塗装後グラインダーで塗膜を軽く除去(塗膜完全除去)	有機ジンクリッヂペイントで塗装後グラインダーで塗膜を完全に除去	溶融亜鉛メッキ(300~400μ) 後表面軽くブラスト(G50#)	溶融亜鉛メッキ	亜鉛メッキ
	添接板	同上	グリットブラスト処理	同上	同上	同上	同上
非鉄被膜の平均厚さ(ミクロン)		—	—	—	300~400μ	300~400μ	—
継手接触面の表面粗さ(max)		25μ	—	40μ	140~150μ		—
継手接触面の暴露期間(日)		0ヶ月	0ヶ月	0ヶ月			0ヶ月
試験繰り返し数		1継手	1継手	4継手	3継手	1継手	4継手
すべり係数:μ μ=P _s /a·n·N		0.223	0.361	①0.472 ②0.559 ③0.557 ④0.493 4継手平均0.520	平均0.559±0.038	0.509	(文献の図からの読み取りデータ) 0.27±0.03
参考文献		*14	*14	*14	*7	同左	*8

付表-4 高力ボルト摩擦接合継手引張試験結果一覧表（その4）

継手整理番号		FB1-JD2	FB1-JD2	FB1-JD2	FB1-JB1	FB1-JB1	FB2-JB3
継手形式			同左	同左		同左	
継手鋼板鋼種		A36(3/4"×3/8")	同左	同左	SS41	同左	SM50A(19×9)
ボルト種別 ボルト径		A325 W3/4	同左	同左	F8T M22	同左	F11T W7/8
ボルト孔径 (mm)	母材				25	同左	23.5
	添接板				25	同左	23.5
ボルト初期軸力N(TON/本) (ボルト本数:n)		N×n=17.6×4=70.4 4本	N×n=16.8×4=67.2 4本	N×n=16.8×4=67.2 4本	20.2~22.0 2本	同左	N×n=42TON n=2本
軸力導入から試験迄の期間		未定	未定	未定	24hr	同左	未定
軸力減少率(%)		約10%	同左	同左	最大7%	同左	ボルト6本の平均 15.3%(200hr後)
軸力検定方法		—	—	—	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	同左	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定
試験荷重の種類		静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重
試験すべり荷重P _s (TON)		19.4	40.6	40.6	3継手平均44.9TON	3継手平均44.1TON	3継手平均52.3TON
継手接触面の表面状況	母材	亜鉛メッキ	亜鉛メッキ後 ワイヤーブラシかけ	亜鉛メッキ後 サンドブラスト	溶融亜鉛メッキ後ブラスト処理、マスキングなし(#70)	溶融亜鉛メッキ後ブラスト処理、マスキング有(#70+#50)	亜鉛溶射
	添接板	同上	同上	同上	同上	同上	同上
非鉄被膜の平均厚さ(ミクロン)		約100μ	約100μ	同左	—	—	104
継手接触面の表面粗さ(max)		—	—	—	Rmax99~113	Rmax76~86	—
継手接触面の暴露期間(日)					0ヶ月	0ヶ月	0ヶ月
試験繰り返し数		12継手	3継手	1継手	3継手	3継手	3継手
すべり係数:μ μ=P _s /a·n·N		0.14±0.02	0.30±0.03	0.34	①0.569 ②0.581 ③0.552 平均0.567	①0.532 ②0.532 ③0.574 平均0.546	①0.694 ②0.684 ③0.598 平均0.659
参考文献		*8	同左	同左	*19	同左	*5

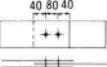
付表-5 高力ボルト摩擦接合継手引張試験結果一覧表(その5)

継手整理番号		FB2-JB3	FB2-JB3	FB2-JB3	FB2-JB3	FB2-JB3	FB2-JB3
継手形式			同左	同左	同左	同左	同左
継手鋼板鋼種		SM50A(19×9)	SM50A(19×9)	SM50A(19×9)	SM50A(19×9)	SM50A(19×9)	SM50A(19×9)
ボルト種別 ボルト径		FIIT W7/8	FIIT W7/8	FIIT W7/8	FIIT W7/8	FIIT W7/8	FIIT W7/8
ボルト孔径 (mm)	母材	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5
添接板		23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5
ボルト初期軸力N(TON/本) (ボルト本数:n)		N×n=42TON n=2本	N×n=42TON n=2本	N×n=42TON n=2本	N×n=42TON n=2本	N×n=42TON n=2本	N×n=42TON n=2本
軸力導入から試験迄の期間		未定	未定	未定	未定	未定	未定
軸力減少率(%)		ボルト6本の平均 17.0%(200hr後)	ボルト6本の平均 19.5%(200hr後)	ボルト4本の平均 6.7%(200hr後)	ボルト6本の平均 13.2%(200hr後)	ボルト6本の平均 21.6%(200hr後)	ボルト6本の平均 3.8%(200hr後)
軸力検定方法		ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定
試験荷重の種類		静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重
試験すべり荷重P _s (TON)		3継手平均43.6TON	3継手平均43.1TON	2継手平均48.3TON	3継手平均46.4TON	3継手平均45.4TON	3継手平均45.6TON
継手接触面の表面状況	母材	亜鉛溶射	亜鉛溶射	亜鉛・アルミ合金溶射	亜鉛・アルミ合金溶射	亜鉛・アルミ合金溶射	亜鉛・アルミ合金溶射
	添接板	同上	同上	同上	同上	同上	同上
非鉄被膜の平均厚さ(ミクロン)		174μ	167μ	106μ	149μ	176μ	38μ
継手接触面の表面粗さ(max)		90μ	78μ	—	105μ	95μ	—
継手接触面の暴露期間(月)		6ヶ月	12ヶ月	0ヶ月	6ヶ月	12ヶ月	0ヶ月
試験繰り返し数		3継手	3継手	2継手	3継手	3継手	3継手
すべり係数:μ μ=P _s /a·n·N		①0.511 ②0.565 ③0.561 平均0.546	①0.522 ②0.495 ③0.505 平均0.507	①0.580 ②0.575 平均0.578	①0.545 ②0.550 ③0.553 平均0.549	①0.529 ②0.527 ③0.532 平均0.529	①0.606 ②0.547 ③0.546 平均0.566
参考文献		* 5	* 5	* 5	* 5	* 5	* 5

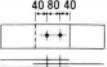
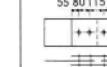
付表-6 高力ボルト摩擦接合継手引張試験結果一覧表(その6)

継手整理番号		FB2-JB3	FB2-JB3	FB2-JB3	FB2-JB3	FB3-JB3	FB3-JB3
継手形式			同左	同左	同左	同左	同左
継手鋼板鋼種		SM50A(25×12)	SM50A(25×12)	SM50A(25×12)	SM50A(25×12)	SM50A(19×9)	SM50A(19×9)
ボルト種別 ボルト径		FIIT M22	FIIT M22	FIIT M22	FIIT M22	FIIT W7/8	FIIT W7/8
ボルト孔径 (mm)	母材	24.5	24.5	24.5	24.5	23.5	23.5
	添接板	24.5	24.5	24.5	24.5	23.5	23.5
ボルト初期軸力N(TON/本) (ボルト本数:n)		N×n=43.2TON n=2本	N×n=43.2TON n=2本	N×n=43.2TON n=2本	N×n=43.2TON n=2本	N×n=42TON n=2本	N×n=42TON n=2本
軸力導入から試験迄の期間		未定	未定	未定	未定	未定	未定
軸力減少率(%)		未測定	未測定	未測定	未測定	ボルト6本の平均 10.1%(200hr後)	ボルト4本の平均 6.5%(200hr後)
軸力検定方法		ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定
試験荷重の種類		静荷重	10°回動荷重後静荷重	静荷重	10°回動荷重後静荷重	静荷重	静荷重
試験すべり荷重P _s (TON)						3継手平均48.5TON	2継手平均37.7TON
継手接触面の表面状況	母材	亜鉛・アルミ合金溶射	亜鉛・アルミ合金溶射	亜鉛・アルミ合金溶射	亜鉛・アルミ合金溶射	厚塗り型無機質亜鉛塗料 (ダイメットコートDS)	厚塗り型無機質亜鉛塗料 (ダイメットコートDS)
	添接板	同上	同上	同上	同上	同上	同上
非鉄被膜の平均厚さ(ミクロン)		125μ	130μ	110μ	120μ	49μ	48μ
継手接触面の表面粗さ(max)		140μ	140μ	150μ	150μ	—	118μ
継手接触面の暴露期間(日)		0ヶ月	0ヶ月	14ヶ月	14ヶ月	0ヶ月	6ヶ月
試験繰り返し数		3継手	3継手	3継手	3継手	3継手	2継手
すべり係数:μ μ=P _s /a·n·N		平均0.74	平均0.72	平均0.61	平均0.65	①0.607 ②0.608 ③0.604 平均0.606	①0.439 ②0.441 ③0.440 平均0.440
参考文献		* 6	* 6	* 6	* 6	* 5	* 5

付表-7 高力ボルト摩擦接合継手引張試験結果一覧表（その7）

継手整理番号		FB3-JB3	FB3-JB3	FB3-JB3	FB3-JB3	FB3-JB3	FB3-JB3
継手形式			同左	同左	同左	同左	同左
継手鋼板鋼種		SM50A(19×9)	SM50A(19×9)	SM50A(19×9)	SM50A(19×9)	SM50A(19×9)	SM50A(25×12)
ボルト種別 ボルト径		FIIT W7/8	FIIT W7/8	FIIT W7/8	FIIT W7/8	FIIT W7/8	FIIT M22
ボルト孔径 (mm)	母材	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	24.5
	添接板	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	24.5
ボルト初期軸力N(TON/本) (ボルト本数:n)		N×n=42TON n=2本	N×n=42TON n=2本	N×n=42TON n=2本	N×n=42TON n=2本	N×n=42TON n=2本	N×n=43.2TON n=2本
軸力導入から試験迄の期間		未定	未定	未定	未定	未定	未定
軸力減少率(%)		ボルト 6 本の平均 7.9%(200hr 後)	ボルト 6 本の平均 7.9%(200hr 後)	ボルト 6 本の平均 9.7%(200hr 後)	ボルト 6 本の平均 6.2%(200hr 後)	ボルト 6 本の平均 8.8%(200hr 後)	未測定
軸力検定方法		ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけ個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけ個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけ個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけ個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけ個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけ個別に測定
試験荷重の種類		静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重
試験すべり荷重P _s (TON)		3継手平均39.3TON	3継手平均32.8TON	3継手平均40.6TON	3継手平均43.0TON	3継手平均43.3TON	
継手接触面の表面状況	母材	厚塗り型無機質亜鉛塗料 (ダイメットコートD5)	無機質ジンクリッヂプライマー (SDジンクプライマーZE No100)	無機質ジンクリッヂプライマー (SDジンクプライマーZE No100)	無機質ジンクリッヂプライマー (SDジンクプライマーZE No100)	無機質ジンクリッヂプライマー (SDジンクプライマーZE No100)	厚塗り型無機質ジンクリッヂペイント
	添接板	同上	同上	同上	同上	同上	同上
非鉄被膜の平均厚さ(ミクロン)		47μ	22μ	44μ	37μ	38μ	47μ
継手接触面の表面粗さ(max)		54μ	—	—	55μ	46μ	70μ
継手接触面の暴露期間(日)		12ヶ月	0ヶ月	0ヶ月	6ヶ月	12ヶ月	0ヶ月
試験繰り返し数		3継手	3継手	3継手	3継手	3継手	3継手
すべり係数: μ μ=P _s /a·n·N		①0.402 ②0.424 ③0.550 平均0.459	①0.385 ②0.385 ③0.398 平均0.387	①0.505 ②0.472 ③0.473 平均0.483	①0.510 ②0.516 ③0.504 平均0.510	①0.501 ②0.535 ③0.477 平均0.504	平均0.55
参考文献		* 5	* 5	* 5	* 5	* 5	* 6

付表-8 高力ボルト摩擦接合継手引張試験結果一覧表（その8）

継手整理番号		FB3-JB3	FB3-JB3	FB3-JB3	FB3-JB1	FB3-JB1	FB3-JB1
継手形式			同左	同左		同左	同左
継手鋼板鋼種		SM50A(25×12)	SM50A(25×12)	SM50A(25×12)	SM50A(19×9)	SM50A(19×9)	SM50A(19×9)
ボルト種別 ボルト径		FIIT M22	FIIT M22	FIIT M22	FIIT M22	FIIT M22	FIIT M22
ボルト孔径 (mm)	母材	24.5	24.5	24.5	23.5	23.5	23.5
	添接板	24.5	24.5	24.5	23.5	23.5	23.5
ボルト初期軸力N(TON/本) (ボルト本数:n)		N×n=43.2TON n=2本	N×n=43.2TON n=2本	N×n=43.2TON n=2本	N×n=42.6TON 2本	N×n=42.6TON 2本	N×n=42.6TON 2本
軸力導入から試験迄の期間		未定	未定	未定	未定	未定	未定
軸力減少率(%)		未測定	未測定	未測定	ボルト20本の平均 9.0%(220hr 後)	ボルト20本の平均 12.2%(220hr 後)	ボルト20本の平均 16.3%(220hr 後)
軸力検定方法		ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルト頭部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルト頭部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定	ボルト頭部にストレーンゲージを貼りつけて個別に測定
試験荷重の種類		10 ⁴ 回動荷重後静荷重	静荷重	10 ⁴ 回動荷重後静荷重	静荷重	静荷重	静荷重
試験すべり荷重P _s (TON)					①46.0 ②48.75 ③43.8 ④48.3 ⑤47.0 5継手平均46.8TON	①48.4 ②47.7 ③51.0 ④50.2 ⑤50.0 5継手平均49.5TON	①46.4 ②49.3 ③50.5 ④51.8 ⑤53.4 5継手平均50.3TON
継手接触面の表面状況	母材	厚塗り型無機質ジンクリッヂペイント	厚塗り型無機質ジンクリッヂペイント	厚塗り型無機質ジンクリッヂペイント	無機質ジンクリッヂプライマー (SDジンクリッヂプライマー-ZE No100N)	厚膜型無機質ジンクリッヂペイント (OL-HB)	厚膜型無機質亜鉛塗料 (ダイメットコート 9)
	添接板	同上	同上	同上	同上	同上	同上
非鉄被膜の平均厚さ(ミクロン)		43μ	43μ	44μ	61μ	90μ	125μ
継手接触面の表面粗さ(max)		70μ	80μ	80μ	60μ	45μ	85μ
継手接触面の暴露期間(日)		0ヶ月	14ヶ月	14ヶ月	0ヶ月	0ヶ月	0ヶ月
試験繰り返し数		3継手	3継手	3継手	5継手	5継手	5継手
すべり係数: μ μ=P _s /a·n·N		平均0.58	平均0.47	平均0.55	①0.540 ②0.572 ③0.517 ④0.563 ⑤0.550 平均0.548	①0.561 ②0.561 ③0.596 ④0.596 ⑤0.588 平均0.580	①0.532 ②0.576 ③0.616 ④0.615 ⑤0.632 平均0.594
参考文献		* 6	* 6	* 6	* 10	* 10	* 10

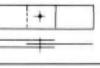
付表-9 高力ボルト摩擦接合継手引張試験結果一覧表（その9）

継手整理番号		FB4-JB3	FB4-JB3	FB4-JB3	FB4-JB3	FB4-JB3	FB4-JB3
継手形式				同左	同左	同左	同左
継手鋼板鋼種		SM50A(19×9)	SMA50(22×12)	SMA50(22×12)	SMA50(22×12)	SMA50(22×12)	SMA50(22×12)
ボルト種別 ボルト径		F10T W7/8	F10T M22	F10T M22	F10T M22	F10T M22	F10T M22
ボルト孔径 (mm)	母材	23.5	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)
	添接板	23.5	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)
ボルト初期軸力N(TON/本) (ボルト本数:n)		N×n=42TON n=2本	N×n=45TON n=2本	N×n=45TON n=2本	N×n=45TON n=2本	N×n=45TON n=2本	N×n=45TON n=2本
軸力導入から試験迄の期間		未定	未定	未定	未定	未定	未定
軸力減少率(%)		ボルト4本の平均 8.3%(200hr後)	未測定	未測定	未測定	未測定	未測定
軸力検定方法		ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定
試験荷重の種類		静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重
試験すべり荷重P _s (TON)		2継手平均33.3TON					
継手接触面の表面状況	母材	有機質ジンクリッヂプライマー (SDジンクリーマーZE No100)	有機質ジンクリッヂプライマー	有機質ジンクリッヂプライマー	有機質ジンクリッヂプライマー	有機質ジンクリッヂプライマー	有機質ジンクリッヂプライマー
	添接板	同上	同上	同上	同上	同上	同上
非鉄被膜の平均厚さ(ミクロン)		21μ	20μ	20μ	20μ	20μ	20μ
継手接触面の表面粗さ(max)		—	—	—	—	—	—
継手接触面の暴露期間(日)		0ヶ月	0ヶ月	1ヶ月	3ヶ月	6ヶ月	12ヶ月
試験繰り返し数		2継手	3継手	3継手	3継手	3継手	3継手
すべり係数:μ μ=P _s /a·n·N		①0.394 ②0.390 平均0.392	①0.41 ②0.43 ③0.39 平均0.41	①0.41 ②0.41 ③0.38 平均0.40	①0.43 ②0.41 ③0.41 平均0.42	①0.42 ②0.37 ③0.36 平均0.38	①0.42 ②0.42 ③0.44 平均0.43
参考文献		* 5	* 9	* 9	* 9	* 9	* 9

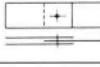
付表-10 高力ボルト摩擦接合継手引張試験結果一覧表（その10）

継手整理番号		FB4-JB3	FB4-JB3	FB4-JB3	FB4-JB3	FB4-JB3	FB4-JB3
継手形式			同左	同左	同左	同左	同左
継手鋼板鋼種		SMA50(22×12)	SMA50(22×12)	SMA50(22×12)	SMA50(22×12)	SMA50(22×12)	SMA50(22×12)
ボルト種別 ボルト径		F10T M22	F10T M22	F10T M22	F10T M22	F10T M22	F10T M22
ボルト孔径 (mm)	母材	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)
	添接板	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)
ボルト初期軸力N(TON/本) (ボルト本数:n)		N×n=45TON n=2本	N×n=45TON n=2本	N×n=45TON n=2本	N×n=45TON n=2本	N×n=45TON n=2本	N×n=45TON n=2本
軸力導入から試験迄の期間		未定	未定	未定	未定	未定	未定
軸力減少率(%)		未測定	未測定	未測定	未測定	未測定	未測定
軸力検定方法		ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定
試験荷重の種類		静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重
試験すべり荷重P _s (TON)							
継手接触面の表面状況	母材	有機質ジンクリッヂプライマー	有機質ジンクリッヂプライマー	有機質ジンクリッヂプライマー	有機質ジンクリッヂプライマー	有機質ジンクリッヂプライマー	厚膜型有機質ジンクリッヂプライマー
	添接板	同上	同上	同上	同上	同上	同上
非鉄被膜の平均厚さ(ミクロン)		40μ	40μ	40μ	40μ	40μ	95μ
継手接触面の表面粗さ(max)		—	—	—	—	—	—
継手接触面の暴露期間(日)		0ヶ月	1ヶ月	3ヶ月	6ヶ月	12ヶ月	0ヶ月
試験繰り返し数		3継手	3継手	3継手	3継手	3継手	2継手
すべり係数:μ μ=P _s /a·n·N		①0.44 ②0.44 ③0.44 平均0.44	①0.48 ②0.46 ③0.42 平均0.45	①0.44 ②0.45 ③0.45 平均0.45	①0.44 ②0.44 ③0.43 平均0.44	①0.47 ②0.46 ③0.44 平均0.46	①0.24 ②0.28 平均0.26
参考文献		* 9	* 9	* 9	* 9	* 9	* 9

付表-11 高力ボルト摩擦接合継手引張試験結果一覧表（その11）

継手整理番号		FB4-JB3	FB4-JB3	FB4-JB3	FB4-JB3	FB5-JA2	F _s A2 * F _s B5 - JA2
継手形状		55 80 (15 80 55) 	同左	同左	同左		同左
継手鋼板鋼種		SMA50(22×12)	SMA50(22×12)	SMA50(22×12)	SMA50(22×12)	SM50A(16×8)	SM50A(16×8)
ボルト種別 ボルト径		F10T M22	F10T M22	F10T M22	F10T M22	F9T W7/8	F9T W7/8
ボルト孔径 (mm)	母材	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	23.5	23.5
	添接板	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	25(固定側23.5)	23.5	23.5
ボルト初期軸力N(TON/本) (ボルト本数:n)		N×n=45TON n=2本	N×n=45TON n=2本	N×n=45TON n=2本	N×n=45TON n=2本	N×n=16.8TON n=1本	N×n=15.7TON n=1本
軸力導入から試験迄の期間		未定	未定	未定	未定	未定	未定
軸力減少率(%)		未測定	未測定	未測定	未測定	未測定	未測定
軸力検定方法		ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定
試験荷重の種類		静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重	静荷重
試験すべり荷重P _s (TON)							
継手接触面の表面状況	母材	厚膜型有機質ジンクリッヂプライマー	厚膜型有機質ジンクリッヂプライマー	厚膜型有機質ジンクリッヂプライマー	厚膜型有機質ジンクリッヂプライマー	ウォッシュプライマー	ショットブラスト処理
	添接板	同上	同上	同上	同上	同上	ウォッシュプライマー
非鉄被膜の平均厚さ(ミクロン)		95μ	95μ	95μ	95μ	—	—
継手接触面の表面粗さ(max)		—	—	—	—	—	—
継手接触面の暴露期間(日)		1ヶ月	3ヶ月	6ヶ月	12ヶ月	0ヶ月	0ヶ月
試験繰り返し数		3継手	3継手	3継手	3継手	2継手	2継手
すべり係数:μ μ=P _s /a·n·N		①0.38 ②0.36 ③0.34 平均0.36	①0.38 ②0.37 ③0.37 平均0.37	①0.38 ②0.37 ③0.36 平均0.37	①0.43 ②0.41 ③0.40 平均0.41	①0.213 ②0.215 平均0.214	①0.281 ②0.264 平均0.273
参考文献		* 9	* 9	* 9	* 9	* 11	* 11

付表-12 高力ボルト摩擦接合継手引張試験結果一覧表（その12）

継手整理番号		F _s B6 * F _s B5 - JA2	FB5-JA2	FB5-JA2			
継手形式			同左	同左			
継手鋼板鋼種		SM50A(16×8)	SM50A(16×8)	SM50A(16×8)			
ボルト種別 ボルト径		F9T W7/8	F9T W7/8	F9T W7/8			
ボルト孔径 (mm)	母材	23.5	23.5	23.5			
	添接板	23.5	23.5	23.5			
ボルト初期軸力N(TON) (ボルト本数:n)		N×n=15.7TON n=1本	N×n=15.7TON n=1本	N×n=15.7TON n=1本			
軸力導入から試験迄の期間		未定	未定	未定			
軸力減少率(%)		未測定	未測定	未測定			
軸力検定方法		ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定	ボルト軸部にストレーンゲージを貼り付けて個別に測定			
試験荷重の種類		静荷重	静荷重	静荷重			
試験すべり荷重P _s (TON)		2継手平均9.6TON	2継手平均7.6TON	2継手平均13.2TON			
継手接触面の表面状況	母材	ウォッシュプライマー塗装後、フレームブラスト	ウォッシュプライマー塗装後ディスクサンダー(#32)で研磨	ジンクリッヂプライマー			
	添接板	ウォッシュプライマー	同上	同上			
非鉄被膜の平均厚さ(ミクロン)		—	—	—			
継手接触面の表面粗さ(max)		—	—	—			
継手接触面の暴露期間(日)		0ヶ月	0ヶ月	0ヶ月			
試験繰り返し数		2継手	2継手	2継手			
すべり係数:n μ=P _s /a·n·N		①0.227 ②0.285 平均0.256	①0.210 ②0.235 平均0.223	①6.391 ②0.405 平均0.398			
参考文献		* 11	* 11	* 11			

〈参考文献〉

- 1) W.H. Munse; Static and Fatigue Tests of Bolted Connections Coated with Dimetcote. Amercoat Corporation. March 10, 1961
- 2) W.H. Munse; Static and Fatigue Tests of Bolted Connections Coated with Dimetcote 5 and 6. Amercoat Corporation.
- 3) W.T. Matthews, J.A.Cran; The Effect of Coated Faying Surfaces in Bolted Friction Joints. The Steel Co, of Canada, LTD November 1966
- 4) W.T. Matthews; The Effect of Dimetcote #3 in Bolted Friction Joints. The Steel Co, of Canada, LTD. May 1967
- 5) 石沢、多田、伊東（宮地鐵工所）；塗膜、溶射膜を接合面にもつ高力ボルト継手の耐力、土木技術28巻7号、昭和48年7月
- 6) 成宮、伊東、長尾（宮地鐵工所）；塗膜、溶射膜を接合面にもつ高力ボルト継手の耐力に及ぼす繰り返し荷重の影響、土木技術 32巻3号、昭和52年3月
- 7) 堀岡、辻、高久（日本鋼管）；高力ボルト継手の研究（第1報）、日本鋼管技報 No.63、
- 8) 山木（建設省）矢幡（高田機工）；高力ボルト摩擦接合の耐力向上の研究、道路 1972年1月
- 9) 山本、久保（建設省）；接合面にジンクリッヂペイントを塗装した摩擦接合継手の滑り試験、橋梁と基礎、1978年3月
- 10) (社)日本橋梁建設協会 高力ボルト小委員会；高力ボルトの省略的施工管理に関する研究、III接合面の処理方法とその効果に関する研究、実験担当宮地鐵工所、駒井鉄工所
- 11) 石沢、成宮、伊東；橋梁における塗装鋼板使用上の問題点、橋梁と基礎、1969年7月
- 12) 宮地鐵工所（関西道路研究会 鋼橋現場継手小委員会提出資料）；過大穴を有する継手の静的引張り耐力試験、昭和46年10月
- 13) 宮地鐵工所；オーバーサイズホールをもつ高力ボルト継手の引張り耐力試験、昭和53年6月
- 14) 宮地鐵工所；H.T.Bolts摩擦接合面に有機質ジンクリッヂ（厚膜型）塗膜をもつ継手の引張り係数とBolts締め時期について（追試 接合面の塗膜をグラインダー除去した継手の引張り係数）昭和54年2月
- 15) 宮地鐵工所；接合面に亜鉛メッキを施した高力継手の引張り耐力、昭和54年3月
- 16) 三星産業、宮地、三井、石播；高力ボルト摩擦接合すべり試験 オーバーサイズホールに関する報告書 昭和52年
- 17) R. N. Allan, J. W. Fisher; BOLTED JOINTS WITH OVERSIZE OR SLOTTED HOLES. The American Society, September 1968
- 18) Z. Shoukry, W. Thomas; BOLTED CONNECTIONS WITH VARIED HOLE DIAMETERS, The American Society, June 1970
- 19) 鎌田、青木、沓掛；溶融亜鉛メッキ橋の施工試験、宮地技報 No.2、1986
- 20) 仲・他；スプライスプレートを用いた高張りボルト摩擦接合部実験、日本建築学会関東支部、第29回学術研究発表会

錆安定化処理した鋼板の高力ボルト継手性能試験

The Performance Test of High-Strength Bolt Joints on Rust-Stabilized Steel Plates

伊東 孝* 青木 清** 百瀬 敏彦***
Takashi ITOH Kiyoshi AOKI Toshihiko MOMOSE

Summary

We tested the joint performance of the joints by using rust stabilized (weather coated) bare steel members. The result was that the decrease in axial force was nearly equal to that of other painted joints, and that the coefficient of sliding friction was above the specified regular point. In addition, the tightening of the high-strength bolts proved to be sufficient without causing co-spinning of the bolts and nuts.

From the above, we consider that there is not any significant problem in the joint performance of the joints even when applied with ordinary weather coating, and that the weather coating is an effective treatment for producing an uniform rust stabilizing effect.

1. まえがき

山陰線第2保津川橋梁は、耐候性鋼材の裸使用で、錆安定化処理方法としてウエザーコート法を採用した。

従来、ウエザーコート法において、添接板のボルト頭及びナット側（以下表面と言う）のワッシャーの当る部分は、ウエザーコート1000#を塗布し、その後ワッシャーの当る部分は約50mmφの円形テープ等を貼って、プレパレンRを塗布していた。この際テープを貼る作業が面倒で工数を要し、且つ架設完了までにプレパレンRの処理のなされていないワッシャー部分は発錆し、流出錆で周囲を汚染してしまう。さらに高力ボルトを締付けた後、ワッシャーまわりをケレン清掃してウエザーコート処理をするが、現場施工のために施工管理が難かしく、後日の安定錆発生に支障をきたすことになる。

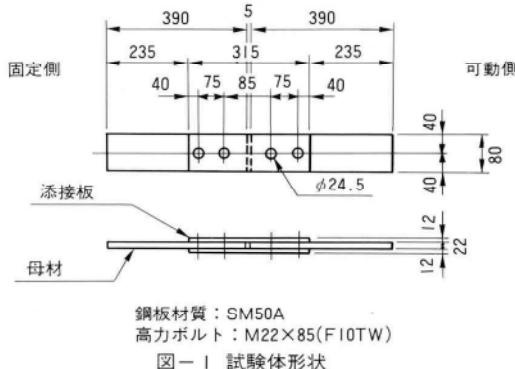
そこで、添接板のワッシャー部分も一般部と同じように、ウエザーコート1000#とプレパレンR処理を工場で処理した場合の接合部の継手性能について、試験を行なったのでここに報告する。

2. 試験体と試験方法

(1) 引張試験体形状

試験体形状を図-1に、試験体締付前後を写真-1、2

* 千葉工場製造部生産技術課長
** 千葉工場製造部生産設計課長



に示す。

(2) 引張試験方法

試験片はグリッドプラスト後、母材と添接板の摩擦接合面に厚膜型無機ジンクリッヂペイントを塗布し、添接板の表面はウエザーコート処理を施した。

塗膜乾燥後、厚膜型無機ジンクリッヂペイントの膜厚を図-2に示すポイントについて測定した。その後試験片を組合せて高力ボルトを締付け、ボルトの軸力減少を調べ、さらに辻り荷重、辻り量及び引張試験中のボルトの軸力変化を測定した。

(3) 引張試験体の種類

試験体の種類は、①として添接板表面の全てをウエザ

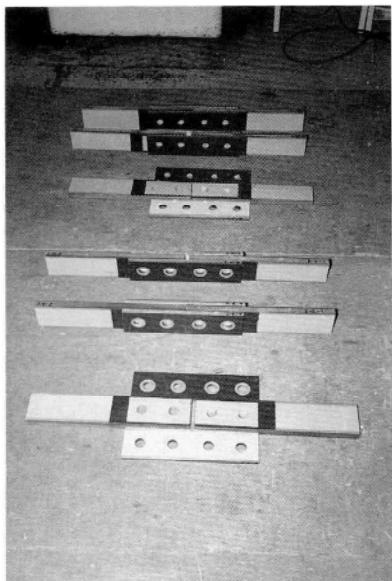


写真-1 試験体組立前



写真-2 試験体継付後

表-1 試験体の種類

試験体	摩擦接合面の処理	摩擦面 塗膜厚	添接板表面の ワッシャーまわりの処理
①	A グリッドブラスト	122 μ	グリッドブラスト
	B 厚膜型無機ジンクリッヂペイント	135 μ	+ ウエザーコート1000#
	C	135 μ	+ プレバレンR
②	D グリットブラスト	110 μ	グリットブラスト
	E 厚膜型無機ジンクリッヂペイント	132 μ	+ ウエザーコート1000#
	F	134 μ	

※ ×××印はウェザーコート1000#+プレバレンR、

▨▨▨印はウェザーコート1000#

ーコート1000#とプレバレンR処理したもの、①として、孔周辺40mmの大きさにウェザーコート1000#処理まで、他の部分はウェザーコート1000#とプレバレンR処理したもの2種類とし、それぞれ3体とした。表-1に試験体の種類と厚膜型無機ジンクリッヂペイントの平均膜厚を示す。

(4) 摩擦接合面の塗膜厚

塗膜厚測定は、ケット膜厚測定器を用いて、図-2のポイントで行なった。その分布を図-3に示す。

試験体の平均塗膜厚は、試験体①で131 μ 、②で125 μ となり、通常の摩擦接合面の塗膜厚の1.7倍程度とやや厚目である。

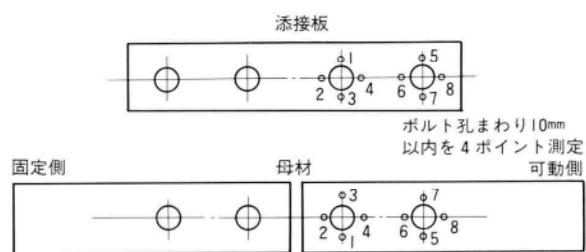


図-2 塗膜厚測定位置

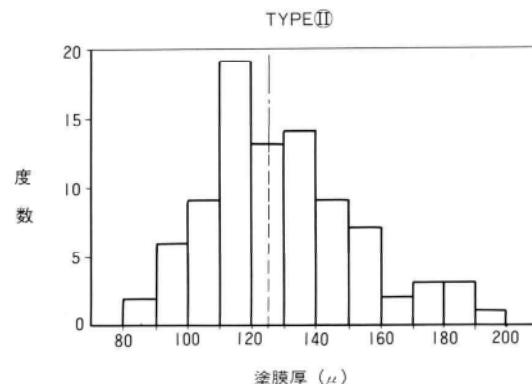
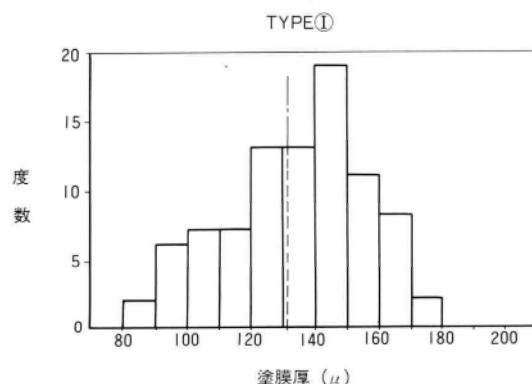


図-3 摩擦接合面の膜厚分布

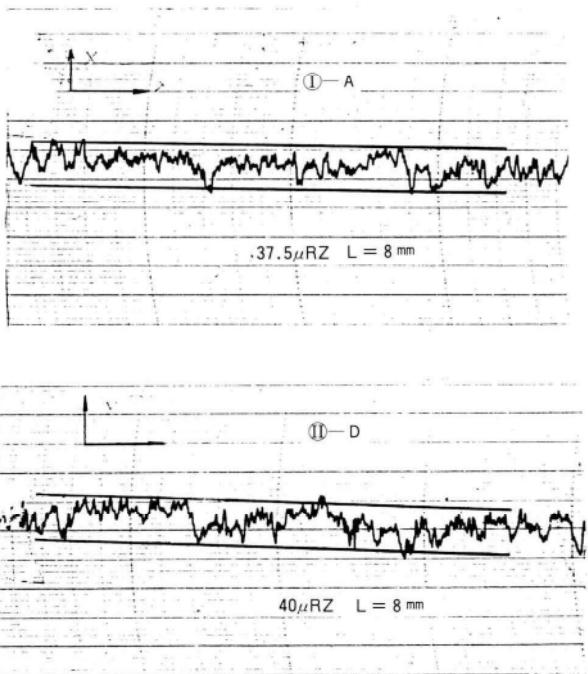


図-4 摩擦接合面の表面粗さ
(厚膜型無機ジンクリッヂペイント面)

(5) 摩擦接合面の表面粗さ

厚膜型無機ジンクリッヂペイントを塗布した表面粗さを①-A、②-Dの試験体について測定したが、①-Aで平均 35μ 、②-Dで 37.5μ となった。

一般にプラスチック面の表面粗さは $60\sim70\mu$ と言われ、今回の試験体は塗装を施したため約 $1/2$ の表面粗さとなっている。表面粗さの測定記録を図-4に示す。

(6) 高力ボルトの締付け

高力ボルトの締付けは、トルクレンチで行ない、可動側の締付軸力は 23 t とし、固定側はその 1.1 倍相当で締付けた、締付軸力は高力ボルト軸部に貼り付けたワイヤーストレンゲージの歪値より求めた。図-5に締付軸力と歪値との関係を示す。

2. 試験結果

(1) ボルトの軸力減少

(a) ボルト締付後の軸力減少

試験体①-A及び②-Fについてボルト締付後約45時間にわたり、ボルト軸力の経時変化を測定した。図-6

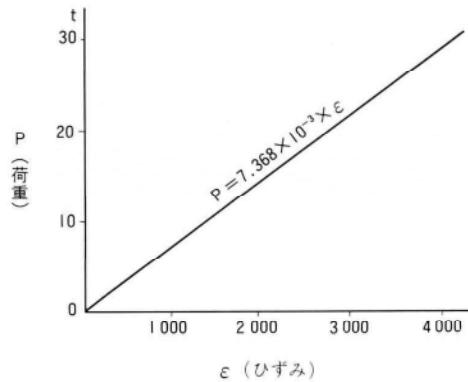


図-5 荷重-歪線図

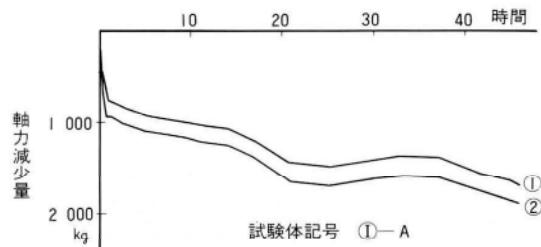


図-6 ボルト軸力の経時変化 (①-A)

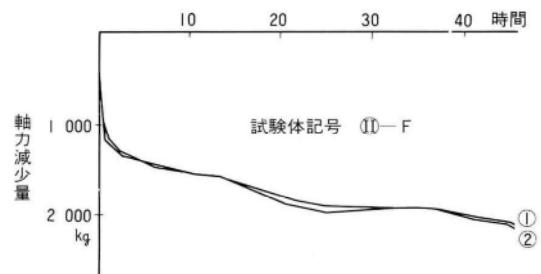


図-7 ボルト軸力の経時変化 (②-F)

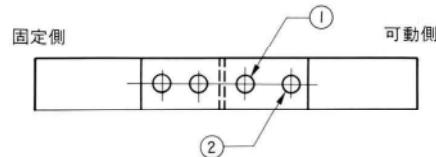


図-8 ボルト軸力の測定ボルト

表-2 軸力減少量

試験体		締付時軸力	辺り試験直前の車輪	減少量	減少率	平均減少率
①	A	① 22.089 ^t	20.416 ^t	1.673 ^t	7.6%	8.1%
		② 22.096 ^t	20.195 ^t	1.901 ^t	8.6%	
②	F	① 22.405 ^t	20.284 ^t	2.121 ^t	9.5%	9.7%
		② 22.095 ^t	19.937 ^t	2.158 ^t	9.8%	

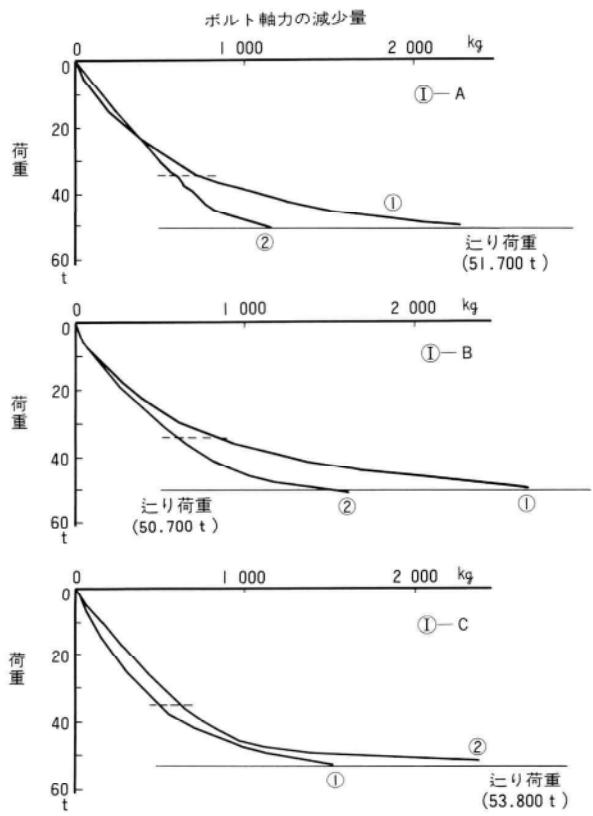


図-9 引張試験中のボルト軸力減少 (①)

と図-7にこれを示す。又試験体記号を図-8に示す。

図に見るように、減少量は締付後2時間以内に全体減少量の約50%に達し、その後は徐々に減少している。表-2に軸力減少量を示す。

ボルト軸力の減少は、継手材片の孔まわりの高応力になっている部分及びボルトのクリープのほかにボルト締付による塗膜のつぶれが原因と考えられる。

試験の結果では、試験体⑪-Fの方が減少率が大きくなっている。添接板表面の処理では、①-Aはウエザーコート1000#とプレバレンRを施こし、⑪-Fはウエザーコート1000#まであり、むしろ、摩擦接合面の厚膜型無機ジンクリッヂペイントの塗膜厚①-Aで122μ、⑪-Fで134μの差に影響されているものと思われる。

軸力減少は厚膜型無機ジンクリッヂペイントとしては、やや大きいが、これは通常の膜厚より厚いため最終軸力減少は、約10%前後と考えられる。

(b) 引張試験中のボルト軸力の減少

引張試験中のボルト軸力減少を図-9、10に示す。引張試験中のボルト軸力は、30tまではどの試験体ともほぼ直線的に減少し、その量は、400~600kgで試験体①と⑪での差は認められない。

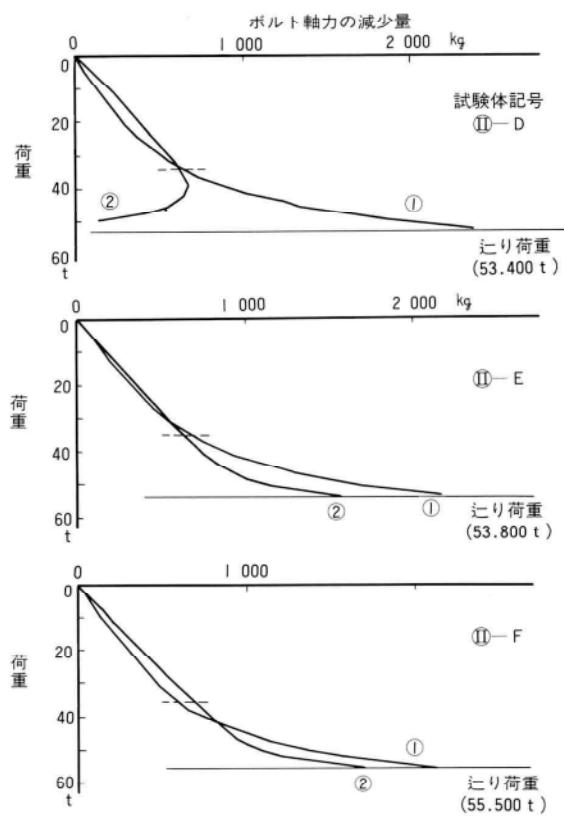


図-10 引張試験中のボルト軸力減少 (⑪)

(2) 振り係数

試験体の振り係数を、表-3に示す。

平均振り係数は、試験体①で0.639、⑪で0.667となり、いづれも規定の振り係数 $\mu=0.4$ を大きく上回っている。これは軸力減少を考慮した締付軸力で算出したもので、締付直後の軸力から振り係数を算出すると、試験体①で0.574、⑪で0.624となり、これも $\mu=0.4$ を上回っている。

写真-3、4に振り試験後の表面状況を示した。

表-3 振り係数

試験体	締付軸力	振り荷重	振り係数	平均振り係数	平均塗膜厚	摩擦面粗さ	備考
①	40.611 ^t	51.700 ^t	0.637	0.639	122μ	(L=8mm)	
	40.132 ^t	50.700 ^t	0.632		135		
	41.518 ^t	53.800 ^t	0.648		135		
⑪	40.847 ^t	53.400 ^t	0.654	0.667	110	(L=8mm)	
	40.958 ^t	53.800 ^t	0.657		132		
	40.211 ^t	55.500 ^t	0.670		134		

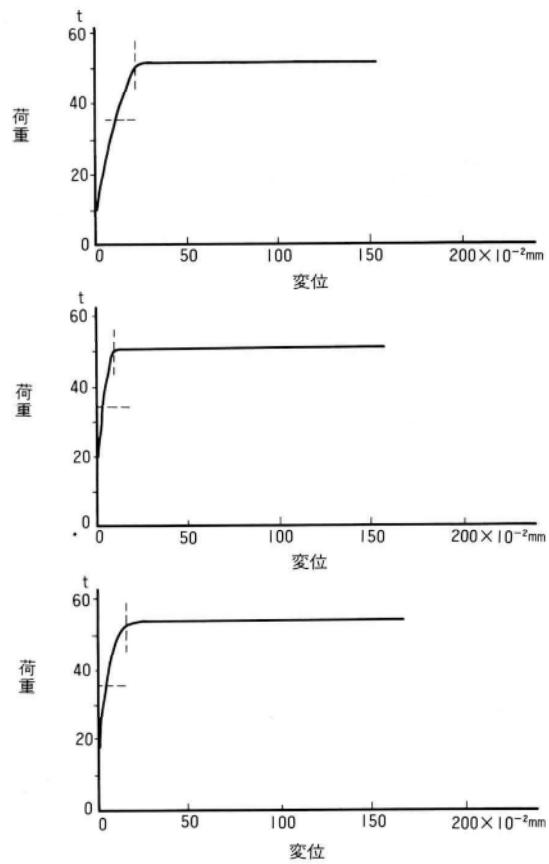


図-11 荷重-変位曲線 (I)

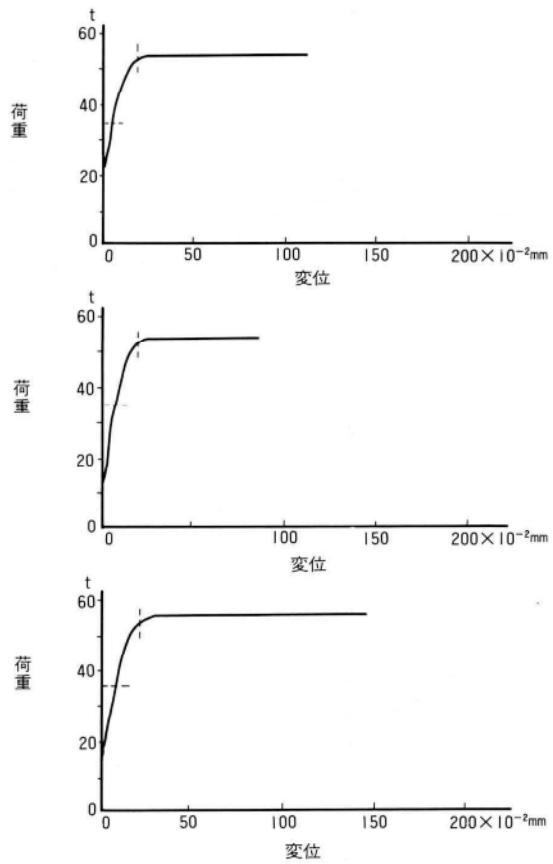


図-12 荷重-変位曲線 (II)

(3) こり性状

各試験体の荷重一変位曲線を図-11、図-12に示す。こり直前の変位量は試験体①で0.105~0.200mm、平均0.157mm、②で0.185~0.220mm、平均で0.198mmであり、試験体②が大きいが、試験体①-Bを除くといずれも変位量が0.2mm前後でこりが生じている。

(4) 共回り試験

鋼板及びボルトセット（ナットのみウォッシュプライマー塗布）にウエザーコート処理した試験体でボルトの締付時の共回りの発生状況を観察した。

試験体の形状を図-13に示す。

鋼板の両面とボルト、座金の表面処理はウエザーコート処理（ウエザーコート1000#+プレパレンR）としナットはウォッシュプライマーを塗布した。

試験方法は鋼板に高力ボルトをセットし、トルクレンチで予備締め（15kg·m）を行ない、マーキングする。その後にナットランナーでナットを60度回転させ共回りの有無を観察した。

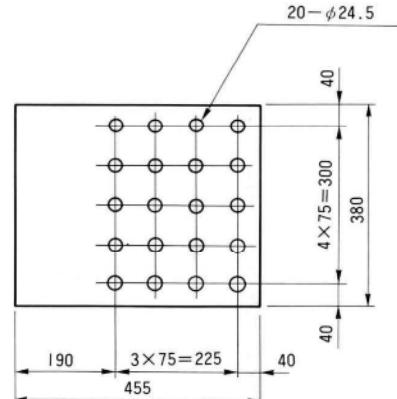


図-13 共回り試験体

写真-5、6に締付前後の状況を示した。

試験の結果は、高力ボルト20本について、予備締め及び本締め時の共回りの有無を調べたが、いづれも良好な締付けが行なわれた。

これはナットをウォッシュプライマー塗布し、潤滑効果をあげ、トルク係数値を従来のセットと同等に近い状態にしたため、今回行なったボルトセットは締付作業に問題ないと考える。

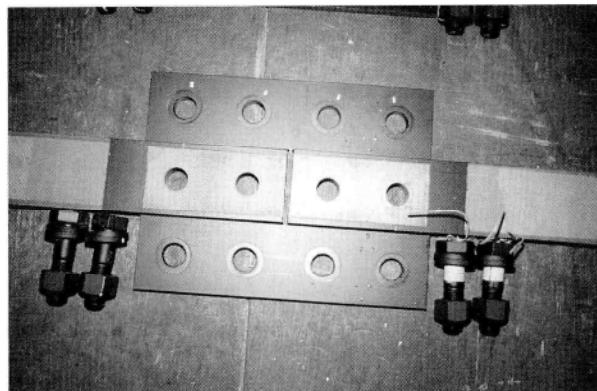


写真-3 摩り試験後の表面状況 試験体①

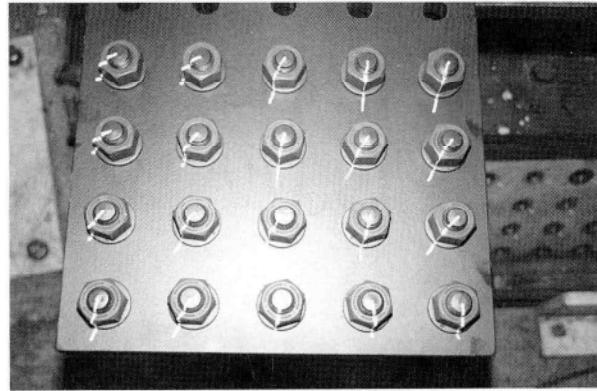


写真-5 予備締め後

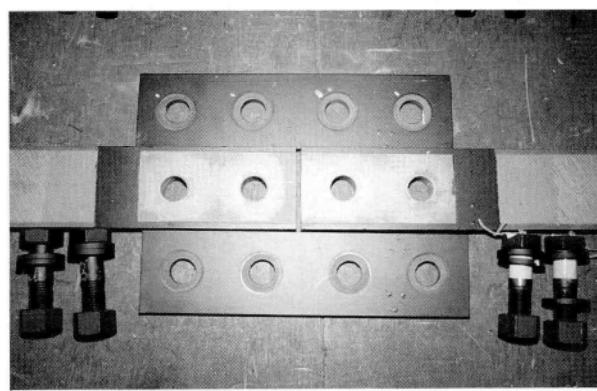


写真-4 摩り試験後の表面状況 試験体②

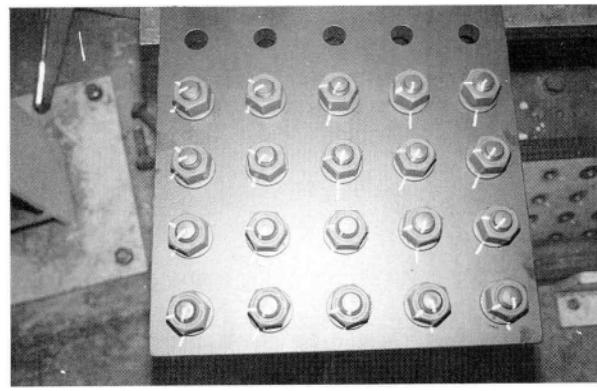


写真-6 本締め後

3. まとめ

ボルト接合部の添接板表面に、ウェザーコート1000#とプレバレンRを塗布した試験体①とウェザーコート1000#を塗布した試験体②の2種類の処理を施したもので比較試験を行なった。

- 1) ボルト締付後の軸力減少
- 2) 引張試験中のボルト軸力の減少
- 3) 摩り係数
- 4) 摩り性状

上記項目について、ボルト孔周辺の処理による差異は認められず、継手性能は良好であった。

そこで、添接板表面は、工場で孔周辺も含めて、①のウェザーコート処理することで、工場作業を簡素化し、現場作業を少なくして、均一な安定錆を生成させる有効な方法と考えられ、第2保津川橋梁に適用したものである。

なお、継手接触面は塗膜厚を充分管理し、過大な軸力減少が生じないようにする必要がある。

連続桁中間支点部の 設計曲げモーメントに対する考察

Consideration of the Design Bending Moment on the Intermediate Support of the Continuous Girder Bridge

高崎一郎* 能登宥憲**
Ichiro TAKASAKI Hiroyoshi NOTO

Summary

The section on the intermediate support of the continuous steel girder bridge is designed to provide a negative bending moment, sharp in shape and very large in absolute value. Practically speaking, however, the bending moment generated in the actual structure is considered to be reduced by various kinds of structural conditions.

This report aims at clarifying these in order to use them in deciding the girder section and section, so as to minimize the total construction costs and to make a contribution toward more positive use of steel bridges.

1. まえがき

鋼橋に於ける連続桁の中間支点部の断面は、先鋭な曲げモーメントと最大せん断力で設計される。このため、時として中間支点部の主桁断面は支間部と比べて、所要桁高が高くなり、桁高を変化させた変断面の桁を必要とすることがある。また一方、一定桁高の場合には、全体として桁高が高く、鋼重、架設、取付け道路部への影響など、不経済となることがある。

この支点部に於ける計算上の先鋭な曲げモーメントに対して、はたして実際の構造物にこのような曲げモーメントが生ずるのか、考えてみる必要がある。道路橋示方書・IIIコンクリート橋編¹⁾では、この点について範囲を限定して、低減を認める設計曲げモーメント式を与えている。

道路橋示方書・II鋼橋編²⁾では、支点部の曲げモーメントの低減に触れていない。

そこで、桁高決定を支配する中間支点部の曲げモーメントに、支持部の幅、支持方法、桁高等がどのような影響を与えるかを検討し、できれば曲げモーメントの低減を考慮した簡易式の提案を試みたいと考えている。

解析には有限要素法（以後FEMと称す）を使用する。

式の一つである2径間連続板桁とし、支間は60mに固定する。（図-1）

I型桁は腹板を平面要素とし、上下フランジ、荷重位置鉛直補剛材を棒要素とする平面内構造物としてモデル化する。

荷重の載荷は集中荷重と等分布荷重とし、前者は端支点から0.6 ℓ (=36.0m) に $P=75.0\text{ t}$ を載荷し、後者は集中荷重による支点曲げモーメントに等しい曲げモーメントが生ずるような等分布荷重 ($q=1.920\text{ t/m}$) を主桁全長に亘って載荷した。

この支点部曲げモーメントに対する桁高、支持部の幅、支持条件の影響等をみるために、下記のパラメータを設定した。

① 桁高の支間に対する比 (h/ℓ)

: 2/60, 2.5/60, 3/60, 3.5/60

② 支持部の半幅の桁高に対する比

: 0.0857, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3

③ 中間支点の支持条件

: 全幅支持と周辺幅(100mm)のみ支持
即ち、後者は中心部の下フランジと支持部の間に隙間を有する。（表-1）

2. I型桁の解析

対象とする構造形式は、一般的でかつ最も基本的な形

* 技術本部設計部長

** 技術本部設計部設計第二課課長代理

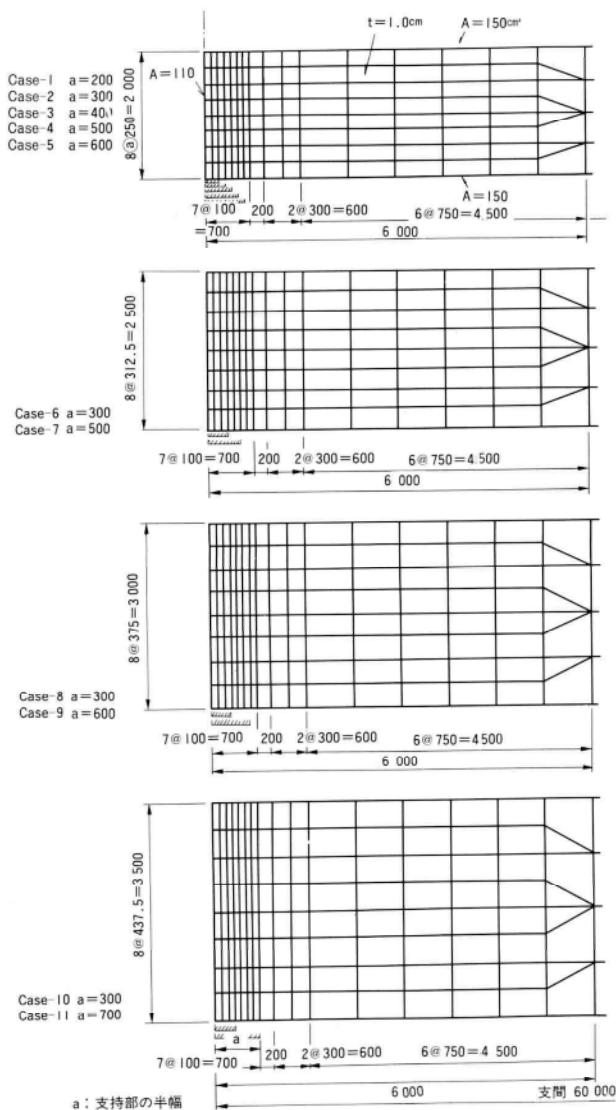


図-1 構造モデル

3. 解析結果と考察

最初に等分布荷重と集中荷重による曲げ応力度を比較し、さらに設計荷重の特性を調べ、載荷荷重を決定する。

次に、我々が設計で用いている梁理論とFEM解析による曲げ応力度の性状を調べ、比較し、梁理論の意味をも確認する。

三番目に、支点曲げモーメントが桁高、支持部の幅、支持条件等により、どのような影響を受けるかを調べる。

四番目に、支点近傍の上下フランジの曲げ応力度が桁高、支持部の幅、支持条件等によって、どのような応力

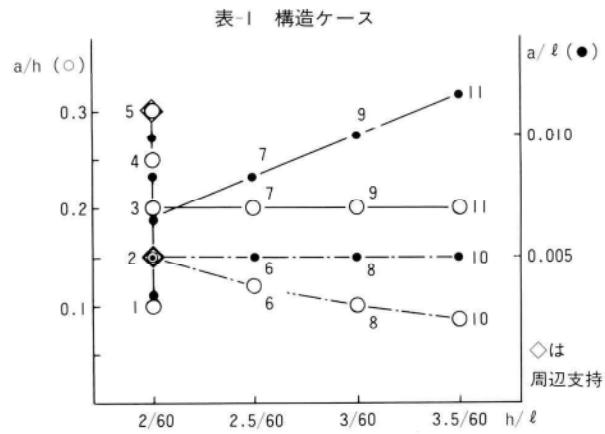


表-I 構造ケース

	ℓ	h	a	h/ℓ	a/h	a/ℓ	備考
case-1	60.0	2.0	0.2	2/60	0.1	0.00333	
2	"	"	0.3	"	0.15	0.005	case-2 は周辺支持
3	"	"	0.4	"	0.2	0.00667	
4	"	"	0.5	"	0.25	0.00833	
5	"	"	0.6	"	0.3	0.01	case-5 は周辺支持
6	"	2.5	0.3	2.5/60	0.12	0.005	
7	"	"	0.5	"	0.2	0.00833	
8	"	3.0	0.3	3/60	0.1	0.005	
9	"	"	0.6	"	0.2	0.01	
10	"	3.5	0.3	3.5/60	0.0857	0.005	
11	"	"	0.7	"	0.2	0.0117	

特性を示すかを調べる。

五番目に、支点近傍の主応力の状態を調べ、乱れの理由を知る。

六番目に、腹板のせん断応力度分布を調べ、特異点の確認を行う。

最後に、全体的な考察を行い、設計への提案を検討する。

(1) 梁理論とFEM解析による曲げ応力度

(a) 等分布荷重と集中荷重による応力度

等分布荷重と集中荷重による曲げ応力度(case-2)について、梁理論との応力比($\sigma_{\text{FEM}}/\sigma_{\text{BEAM}}$)で比較する。図-2で示すように桁長方向に全体に等分布荷重の応力比が小さめで、その値は上フランジで0.1~0.3%、下フランジで0.2~0.5%程度である。しかし、有意な差はない。

一方、支点部の曲げモーメントの先鋒度は集中荷重に比べて、等分布荷重の場合が大きい。また設計曲げモーメントに於ける荷重の比率は集中荷重に比べて、等分布荷重がはるかに大きい。

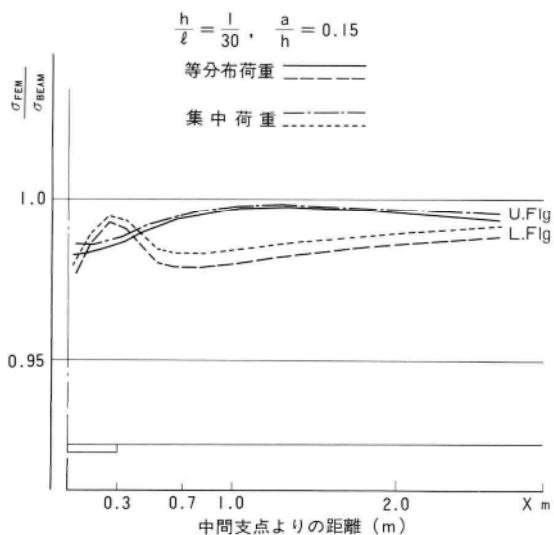


図-2 等分布荷重と集中荷重による応力 case-2

従って以後の解析は、原則として荷重を等分布荷重の場合とする。

注) 梁理論による曲げ応力度 σ_{BEAM} とは、部材の断面が平面保持をするという仮定（いわゆるペルヌイ・オイラーの仮定）のもとに計算される応力度である。

(b) FEM 解析、梁理論による曲げ応力度の分布

case-2 (図-3 (a)) の支持部中心では、上フランジの FEM による曲げ応力度は梁理論による値よりも 1.8 % 程小さく、下フランジも同様に 2.3 % 程小さい。また下

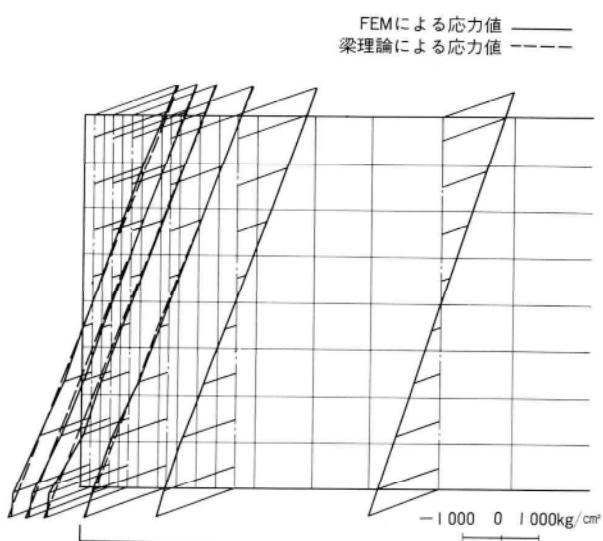


図-3(a) 等分布荷重によるFEM応力値と梁理論による応力値
case-2

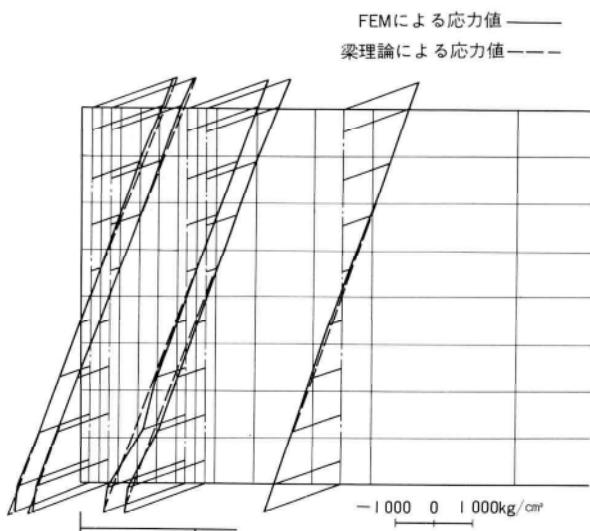


図-3(b) 等分布荷重によるFEM応力値と梁理論による応力値
case-5

フランジ側の支点部直上のウエブの曲げ応力度は FEM 値の方が 7.3~9.8 % 程大きく、支持部で突き上げられているためであろう。しかし、中立軸に向かってこの値は反転し、中立軸では殆ど差がない。

また、支持部中心から端支点側に桁高分程度移動した位置では、曲げ応力分布は良く一致している。

case-5 (図-3 (b)) の支持部中心では、FEM による値は梁理論による値よりも、上フランジ、下フランジで各々 3.2, 6.3 % 小さく、減少率は case-2 より大きい。また支持部直上のウエブの応力分布の増減も case-2 より大きい。

(2) 桁高、支持部の幅、支持条件等の支点曲げモーメントへの影響

(a) 2種類の支持幅に対する桁高変化の支点曲げモーメントへの影響

支持部の半幅 $a = 300\text{mm}$ の場合、この支持幅の範囲では、桁高が低いほど曲げモーメントの減少(1.2~2.0%)がみられる。支持部直上から離れるに従って、支持幅の範囲とは逆に、桁高が高いほど曲げモーメントの減少が大きい。そしてこの減少量は、桁長方向に桁高分以上離れてても 1 % 前後存在する。梁理論の値に対するこの減少量は支持幅の影響とは考えられず、また桁高の影響を受けているので、ディープビームとしての性状とみられる。

(図-4(a))

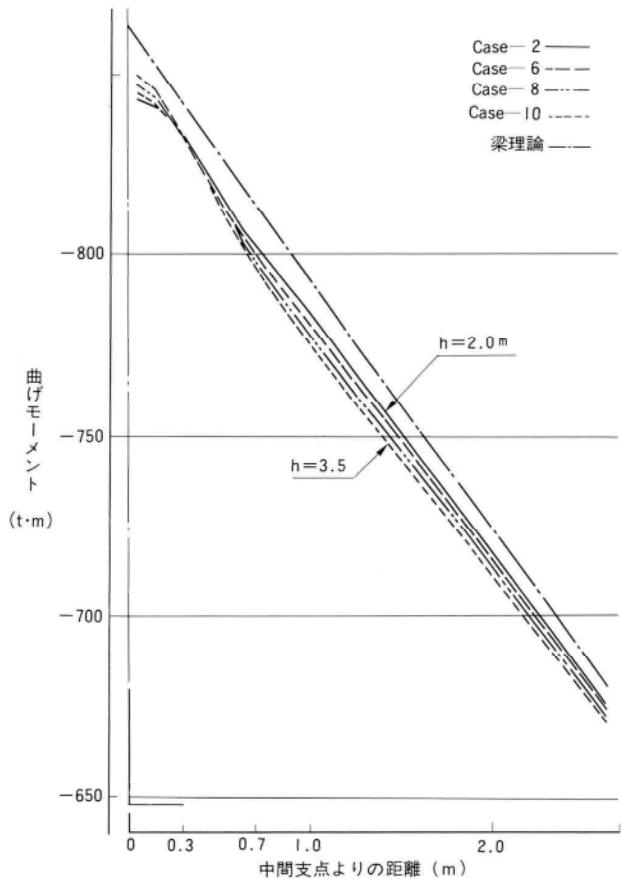


図-4(a) 桁高変化による支点部曲げモーメント, $a=300\text{mm}$

支持部の半幅600mmの場合、450mmの範囲では桁高が低いほど曲げモーメントの減少(4.2~4.8%)がみられ、 $a=300\text{mm}$ に比べて減少量が2倍以上である。支持部直上から離れるに従って、逆に桁高が高いほど曲げモーメントの減少がみられ、 $a=300\text{mm}$ の場合とほぼ一致する。これが、前述した支持部の幅に影響されないといった根拠である。(図-4(b))

注) FEMによる曲げモーメントは次式とする。

$$M = \frac{\sigma_u + \sigma}{2} \cdot W \quad (1)$$

但し σ_u , σ : 上下フランジの曲げ応力度

W : 主桁断面の断面係数

(b) 2種類の支持幅に対する支持条件の支点曲げモーメントへの影響

桁高2.0m($h/\ell = 2/60$)で支持部の半幅300mmの場合は、支持部全体で支持するか、周辺部のみで支持するかにより、支持部範囲で曲げモーメントの減少量に差を生じる。支持部中心の曲げモーメントの減少量は、支持部と桁を密着した場合、梁理論の2%、支持部の周辺のみを密着

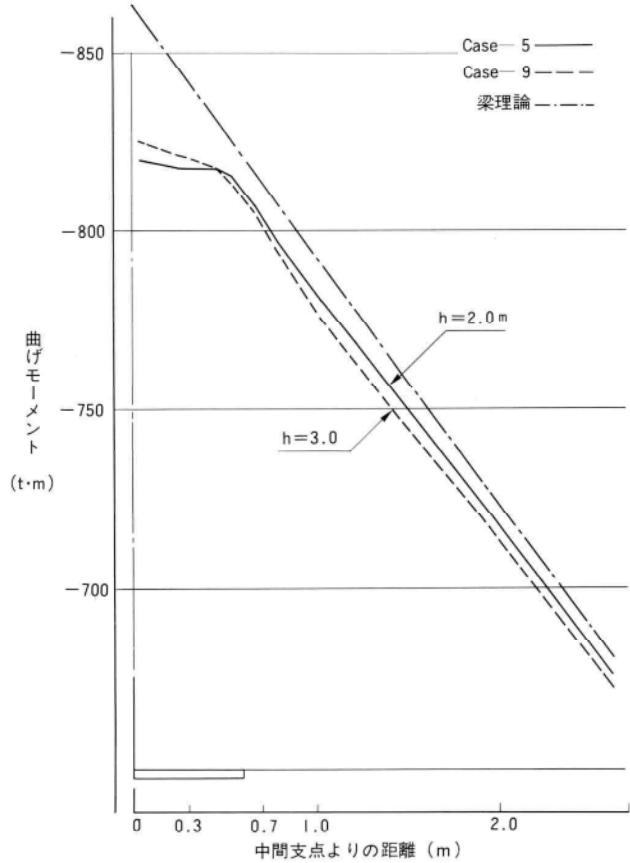


図-4(b) 桁高変化による支点部曲げモーメント, $a=600\text{mm}$

した場合は3.2%程となっている。周辺部のみを密着した方が曲げモーメントの減少量が大きい。支持範囲を超えると、両者に差はなく、また梁理論の曲げモーメントとほぼ一定の差となっている。

桁高2.0m($h/\ell = 2/60$)で支持部の半幅が600mmの場合は、支持部より少し狭い500mmの範囲まで、周辺支持の方が曲げモーメントの減少が大きい。支持部中心の曲げモーメントの減少量は支持部全体を密着した場合、梁理論の4.7%、周辺部のみを密着した場合5.5%程となり、 $a=300\text{mm}$ の約2倍となっている。支持部を超えて支持部中心から800mm以降では $a=300\text{mm}$ の曲げモーメントと一致している。(図-5)

(3) 桁高、支持部の幅、支持条件による支点近傍の曲げ応力度の特性

- (a) 支持部の幅を一定($a=300\text{mm}$)にして、桁高を変化させた場合、支点部の曲げ応力度に与える影響
- 桁高比 h/ℓ を図-6に示すように $2/60 \sim 3.5/60$ に増大させた場合、支持部中心の上フランジの応力比($\sigma_{FEM}/$

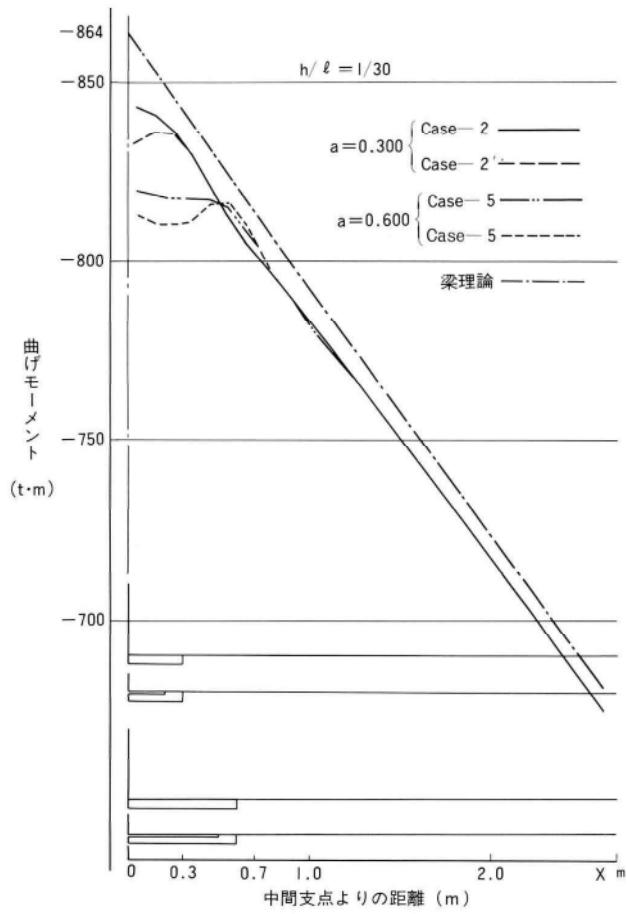


図-5 支持部の支持条件による支点部曲げモーメント

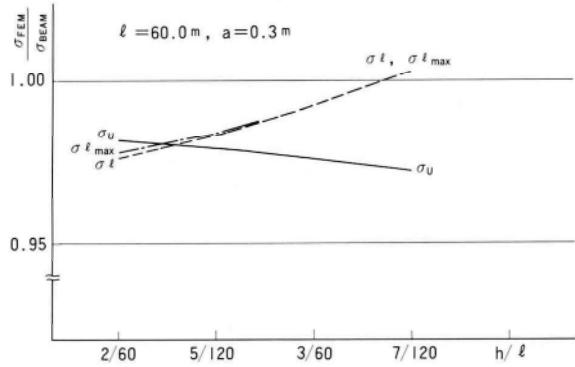


図-6 桁高が支点上の曲げ応力に与える影響

σ_{BEAM} は 0.982~0.973 に漸減している。支持部中心の下フランジの応力比は 0.977~1.003 に逆に増加している。下フランジでその変化が上フランジより顕著なのは、支持部の影響を下フランジがより受け易いからである。 $\sigma_{l\max}$ の応力比は、下フランジで最も応力比の大きい値（支持部中心に限らず、 σ_{FEM} の絶対値の最も大きいものを支持

部中心の σ_{BEAM} で除した値）を示しており、この場合は σ （支持部中心での応力）の応力比と殆ど変わらない。

(b) 桁高比または支持幅比のどちらか一方のみを変化させた場合の曲げ応力度

桁高比を $h/l = 2/60$ にして、支持幅比 a/h を 0.1~0.3 に変化させた場合、支持部中心の上フランジの応力比 ($\sigma_{FEM}/\sigma_{BEAM}$) は 0.985~0.968 に減少し、下フランジの応力比は 0.991~0.937 に大きく減少する。（図-7）

支持幅比を $a/h = 0.2$ にして、桁高比 h/l を 2/60、2.5/60、3/60、3.5/60 に変化させた場合、上フランジの応力比は順次 0.978、0.973、0.968、0.961 に、下フランジの応力比は 0.963、0.956、0.948、0.941 に減少する。（図-7）

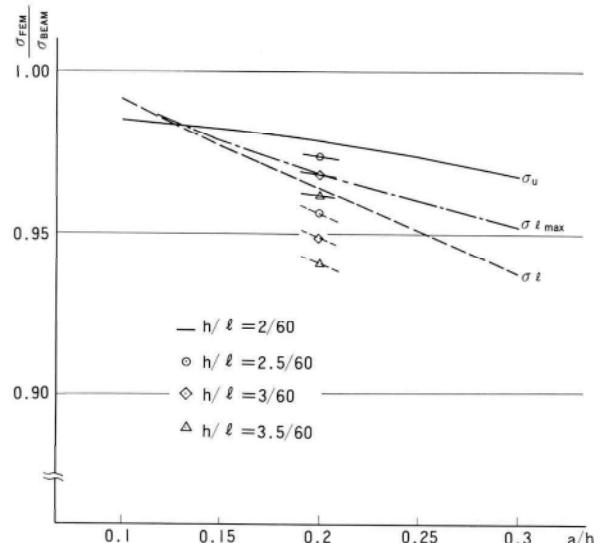


図-7 支持部の幅が支点上の曲げ応力に与える影響

(c) 桁高比と支持部の半幅を増加させた場合の曲げ応力度

桁高比 h/l が 2/60~3.5/60、支持部の半幅 a が 400~700 mm に増加した場合、上フランジの応力比 ($\sigma_{FEM}/\sigma_{BEAM}$) は 0.979~0.962 に減少している。下フランジの応力比は同様の変化に対して、0.963~0.940 に大きく減少している。下フランジの応力比は (a) 項に述べた桁高比の増加で増大していたものが、桁高比、支持幅の両方を増加させると反対に減少する。これは下フランジの応力度に与える支持幅の影響が非常に大きいことを示している。（図-8）

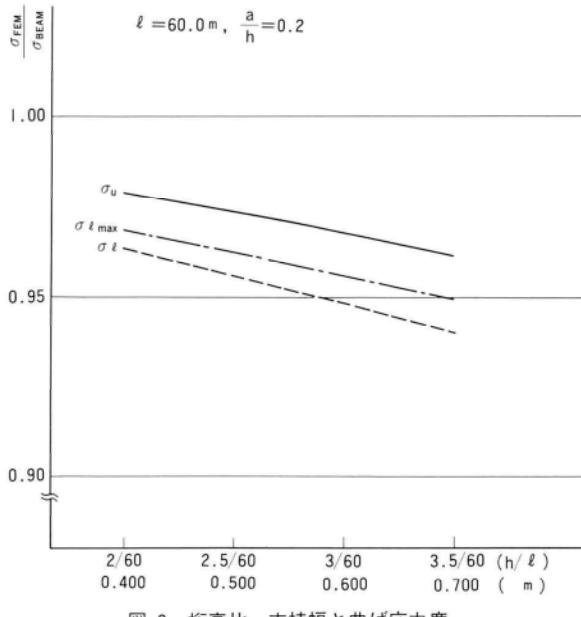


図-8 桁高比、支持幅と曲げ応力度

(d) 支持条件を変えた場合の支点近傍の曲げ応力度
桁高比 h/ℓ が $2/60$ で支持部の半幅 300mm の場合、支持部中心の応力比 ($\sigma_{\text{FEM}}/\sigma_{\text{BEAM}}$) について述べる。

上フランジの応力比は、支持部全体で支持した場合 0.983 、周辺部のみで支持した場合 0.979 と差が殆んどない。しかし、下フランジは前者で 0.977 、後者で 0.958 と 2% 程の差がある。

支持部周辺では、下フランジの応力比でも支持条件に関係せず、 0.993 程度まで大きくなる。(図-9(a))

次に桁高比 h/ℓ が $2/60$ で支持部の半幅 600mm の場合、支持部中心の応力比について述べる。

上フランジの応力比は、支持部全体で支持した場合 0.968 周辺部のみで支持した場合 0.963 と差がない。

下フランジの応力比は、前者で 0.937 、後者で 0.927 となり、両者間で 1% の差であるが、両者共梁理論と比べると $6\sim7\%$ 程減少する。

支持部の周辺では、全体支持で 0.993 、周辺部支持で 0.998 と共に梁理論の同じ位置での値に近似していく。

下フランジの応力としては、全体支持で中心部が -2200kg/cm^2 、周辺部で -2233kg/cm^2 、周辺部支持で中心部が -2176kg/cm^2 、周辺部で -2245kg/cm^2 である。梁理論による中心部の応力が 2347kg/cm^2 であるので、この値を基準にすると、

各比率は順次、 6.3 , 4.9 , 7.3 , 4.3% の減少である。
(図-9(b))

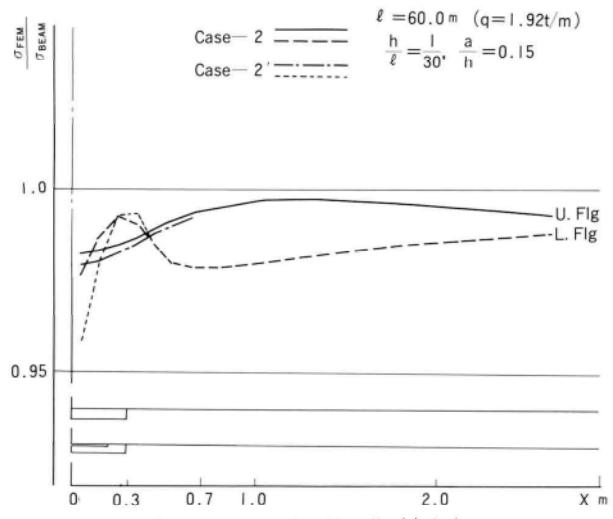


図-9(a) 支持条件による支点近傍の曲げ応力度, $a=300\text{mm}$

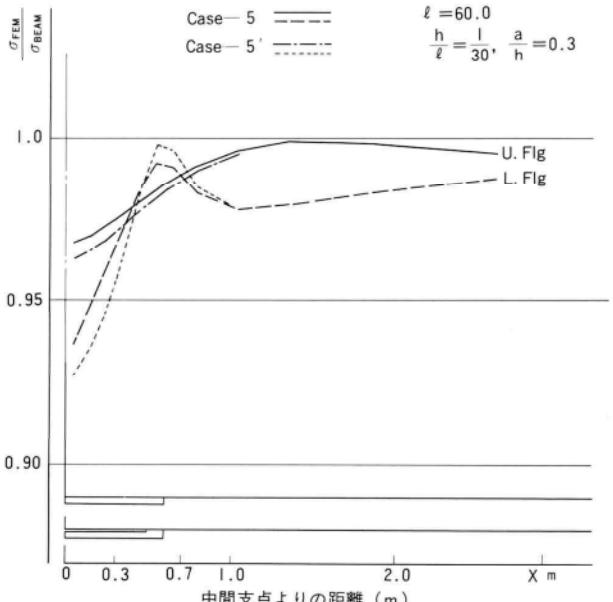


図-9(b) 支持条件による支点近傍の曲げ応力度, $a=600\text{mm}$

(4) 腹板の支点近傍の主応力分布

腹板の主応力を桁高比 $h/\ell=2/60$ 、支持部の半幅 $a=300\text{mm}$ 、 600mm の2ケースについて述べる。(図-10(a), (b))

上フランジ側の腹板の最大主応力は $a=300\text{mm}$ で $\sigma_t=2079\text{kg/cm}^2$ 、 $a=600\text{mm}$ で $\sigma_t=2030\text{kg/cm}^2$ で応力方向もほぼ桁軸方向である。FEMによる曲げ応力度は前者で 2007kg/cm^2 、後者で 1976kg/cm^2 、梁理論による値は 2053kg/cm^2 （支持部の中心の応力）とどの値もある範囲で良く整合がとれている。

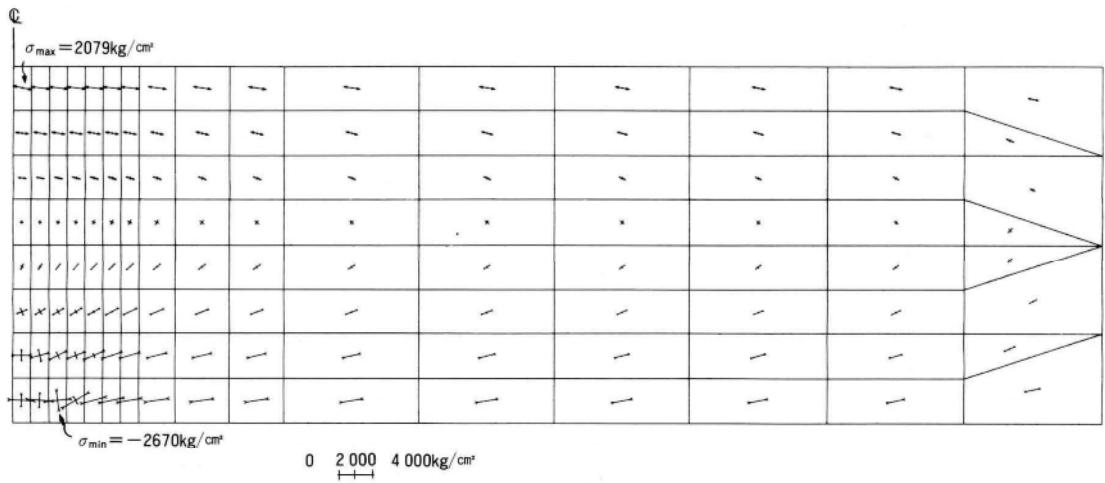


図-10(a) 腹板の支点近傍の主応力分布 Case-2

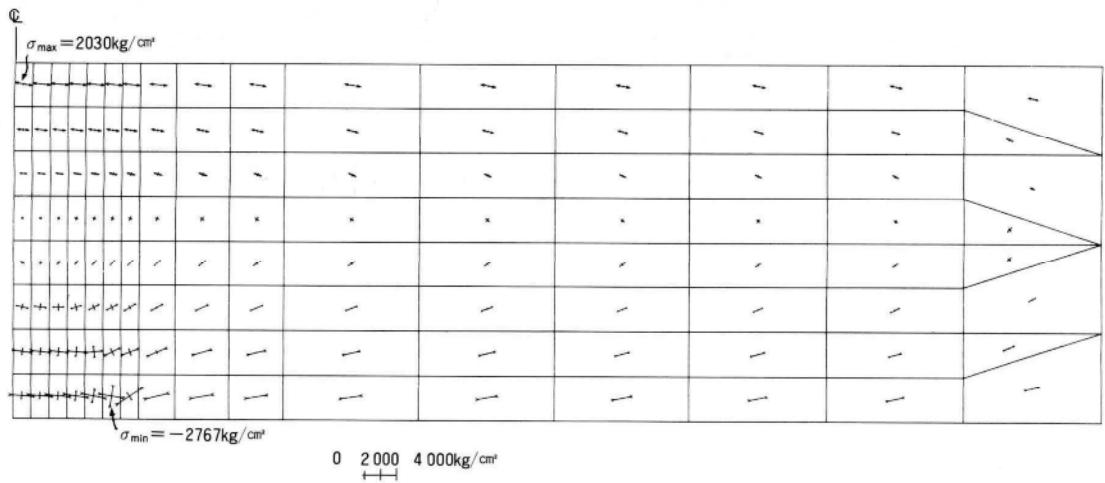


図-10(b) 腹板の支点近傍の主応力分布 Case-5

下フランジ側の腹板の最小主応力は $a = 300\text{mm}$ で $\sigma_c = -2670\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $a = 600\text{mm}$ で $\sigma_c = -2767\text{kg}/\text{cm}^2$ で支持部を離れた直後で生じている。方向も中立軸の方向に向って 35° 位傾いており、非常に局部的な現象である。支間側に 100mm 離れた位置では、主応力方向がかなり桁軸方向に修正されている。

この局部的な乱れは、支持端部に大きな反力が生じこれにより、桁高方向に圧縮応力が生じたためである。

(5) 腹板のせん断応力分布

腹板のせん断応力分布を桁高比 $h/\ell = 2/60$ 、支持部の

半幅 $a = 600\text{mm}$ のケースについて述べる。(図-11)

支持部中心では梁理論のせん断応力と大いに異なり、せん断応力の方向が桁高方向で反転している。これが支間側に桁高くらい離れると、桁高方向に放物線 ($\tau = 400 \text{kg}/\text{cm}^2$) となり、梁理論 ($\tau = 379\text{kg}/\text{cm}^2$) に近似してくる。しかし、この変化の過程の支持端部の直後の腹板下端で $\tau_{\min} = -981\text{kg}/\text{cm}^2$ という絶対値の非常に大きな応力が発生する。これは支持部中心の腹板高中央の梁理論の値の約2.5倍である。これは非常に局部的な応力であり、また支持が実橋と異なり節点であることも、この応力を助長していると思われる。設計にあたっては、局部的ではあ

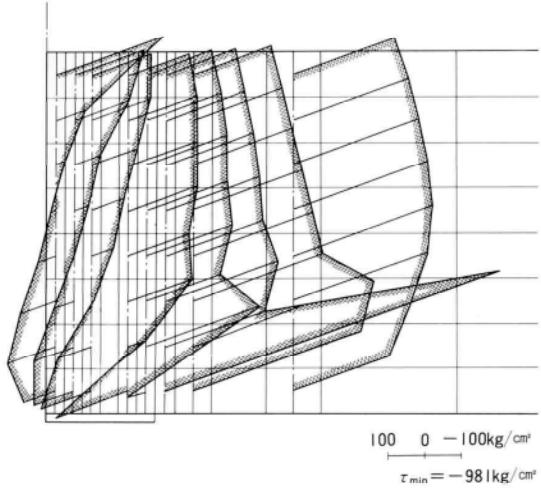


図-11 せん断応力 case-5

るが充分留意する必要があると思われる。

(6) 曲げモーメントに対する近似式

(a) 連続桁中間支点上の設計曲げモーメント式

設計パラメータを種々変化させて、下記に示す設計曲げモーメント式を満たす反力分布角 (θ°) をグラフに示すと図-12のようになる。支持部は全面支持として、各桁高支間比 h/ℓ に対し $a/h - \theta$ の直線をひくと、各直線が

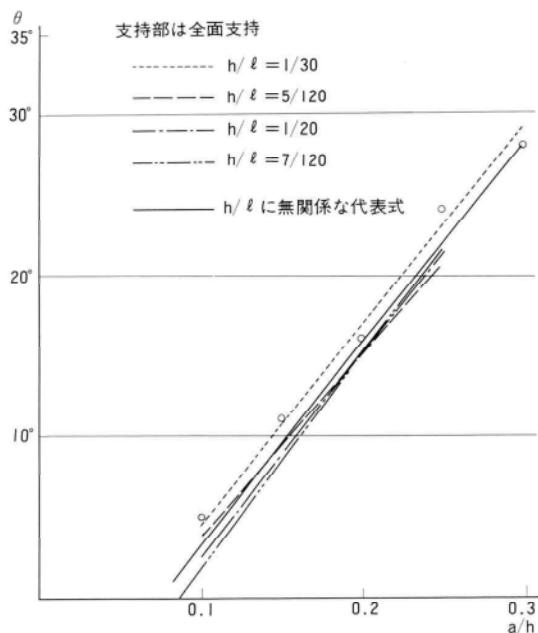


図-12 支持幅桁高比—反力分布角度 ($a/h - \theta$)

重複した形となり、近似的に h/ℓ に無関係な $a/h - \theta$ の直線が求まる。

$$M_s = M - \frac{R}{b} \cdot \frac{b^2}{8} \quad (2)$$

$$b = 2a + 2 \times \frac{h}{2} \tan \theta \quad (3)$$

$$\theta^\circ = 123.9 \times \frac{a}{h} - 9.2 \quad (4)$$

ここに、

M_s ：中間支点上の設計曲げモーメント ($t \cdot m$)

M ：骨組解析時の中間支点上の曲げモーメント ($t \cdot m$)

R ：中間支点の反力 (t)

a ：支持部の半幅 (m)

h ：桁高 (m)

θ ：鉛直軸からの反力分布角度 ($^\circ$)

b ：桁高中央での反力分布幅 (m)

(b) 中間支点上の曲げ応力度

設計パラメータを種々変化させて、下フランジから中立軸までの、みかけの距離をグラフに示すと図-13のようになる。支持部は全面支持として、各桁高支間比 h/ℓ に対し $a/h - \frac{y_\ell}{h/2}$ の直線をひくと、各直線が一点で交叉して重なりあう。そこで近似的に h/ℓ に無関係な $a/h - \frac{y_\ell}{h/2}$ の直線が求まる。

このみかけの下フランジ側縁維距離 y_ℓ と設計曲げモーメント M_s と断面二次モーメントより下フランジ曲げ応力度を求める。

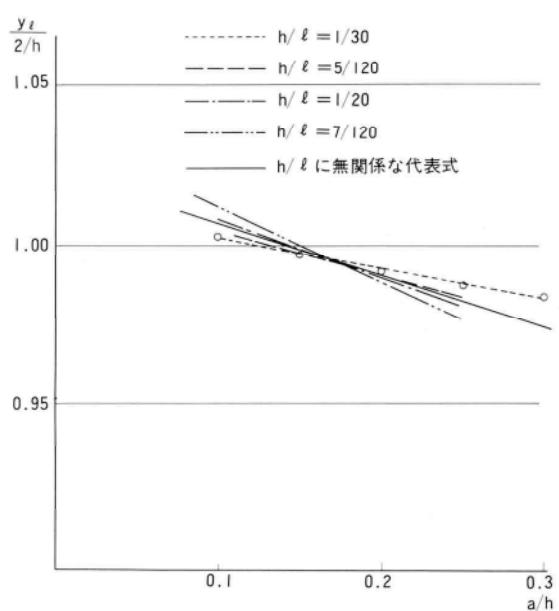


図-13 支持幅桁高比—縁維距離桁高比 ($a/h - \frac{y_\ell}{h/2}$)

$$\frac{y_t}{h/2} = -0.1591 \times \frac{a}{h} + 1.0227$$

ここに、

y_t ：下フランジ側縁維距離 (m)

h ：桁高 (m)

a ：支持部の半幅 (m)

(d) 設計曲げモーメント、曲げ応力度は各々、反力分布角 (θ)、下フランジ側縁維距離 (y_t) の 2 式を作成することにより求めた。

(e) 支持部から桁高分位離れた位置のせん断応力は梁理論の放物線分布の値と良く一致している。しかし、支持端部の直後の腹板下端で大きなせん断応力が発生する。これについては、設計時に充分留意する必要がある。

5. あとがき

4.まとめ

連続桁の中間支点部の力学的挙動、応力特性について次のことが言える。

(a) 中間支点部の断面を決定する曲げモーメントは桁高が低いほど梁理論に対する減少量が大きい。しかし、その差は顕著ではない。

(b) 中間支点部の曲げモーメントは支持部の幅による影響を最も受ける。 $h/\ell = 2/60$ の場合、その半幅が 300~600mm で減少量は梁理論の 2~4.8% になる。これを曲げ応力度でみると、上フランジで 1.7~3.2%、下フランジで 2.3~6.3% 位になる。

(c) 支持部中心の曲げモーメントの梁理論に対する減少量は、支持部を桁と密着した場合と、支持部の周辺部のみを密着した場合とでは、後者の方が大きい。故に前者の方で考えておけば、設計上安全側となる。

今回、支間 60m を固定にして、パラメータ解析をした結果、中間支点部の曲げモーメントの減少を含むいくつかの特性が把握できた。しかし、この結果により一層一般性をもたせるには他の 1, 2 の支間についても検証する必要があると思われる。今後、この検討を行っていくつもりである。

本検討で行った平面有限要素法解析は、日本電子計算(株)科学技術事業部の汎用プログラム「MSC/NASTRAN」を使用した。

〈参考文献〉

- 1) 日本道路協会；道路橋示方書・同解説・IIIコンクリート橋編改訂 2 次案、昭和 62 年 3 月
- 2) 日本道路協会；道路橋示方書・同解説・II 鋼橋編、昭和 55 年 2 月

合成型枠橋梁(QSCB)の開発と施工

The Development and Construction of the R.C. Composed Bridge Having Arch Frames

安 本 孝* 佐 藤 利四郎** 石 井 和 夫***
Takashi YASUMOTO Rishiro SATOH Kazuo ISHII

Summary

We have been seeking structural systems which can be executed more easily and safely, for facilitating the construction of medium and short span bridges: the construction control of which have often been neglected.

We have proved that the "R.C. composed steel bridge with arch type frames" has prominent features in economy and appearance as well as excellence in workability in construction through two actual constructions.

This report outlines these features.

1. はじめに

従来、中小橋梁においては、PC 或は RC 枠のいわゆるコンクリート構造が、圧倒的シェアを保っている。これらの形式が採用される主たる要因は、維持管理をも含めた経済性にあると言われている。そこで本来コンクリート枠の型枠となるべき鋼板とコンクリートを合成させることにより、より経済的で施工性に富んだ構造としたのが Quick Steel Composite Bridge (俗称: QSCB) である。

現在、当社千葉工場と群馬県藤岡の2箇所で、実用に供されている。更に3橋目は施工中であり、この機会に、QSCB の開発と施工について報告する。

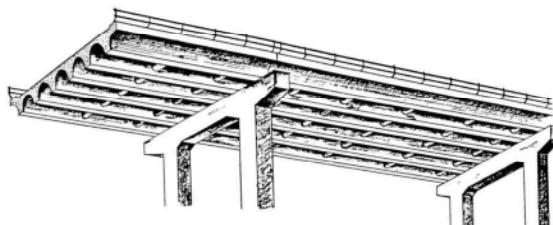


図-1 透し図

2. 構造概要

(1) 形式の特質

一般の橋は、枠の支保工設置や床版施工の足場作業等

* 技術本部技術開発部付課長 *** 宮地建設工業㈱工事部
 ** 千葉工場製造部生産技術課

のため、多かれ少なかれ枠下面での作業を伴う。これらの作業は、高度な技術を要するばかりでなく、現場工期を長くする一因となっている。

本形式は、型枠となる鋼枠を全面に張り巡らし舟状とし、これにコンクリートを充填するものであり、他の形式に比べて以下の特徴をもつ。

- 1) 現場施工が容易で、工期を大幅に短縮する。
- 2) 枠下での作業がなく、施工の安全性が高い。
- 3) 鋼板によりコンクリートの劣化が防止できる。
 (特に潮風に対して有効である。)
- 4) 外観がスッキリしていて、美観に優れている。
- 5) 在来の同規模の構造形式に比べて経済的である。
- 6) 比較的低枠高となる。
- 7) 添加物の取付けが容易である。

(2) 適用範囲

支間10m~25mの小規模な橋梁に適し、道路橋・鉄道橋の双方に対応できる。また基本ユニットの組合せにより、如何なる幅員にも対応できる。

(3) 基本形状

枠を構成する薄鋼板をアーチ形状とすることにより、床版補強の効果を高め、かつ枠自身の圧縮に対する座屈抵抗を高めている。(図-2)

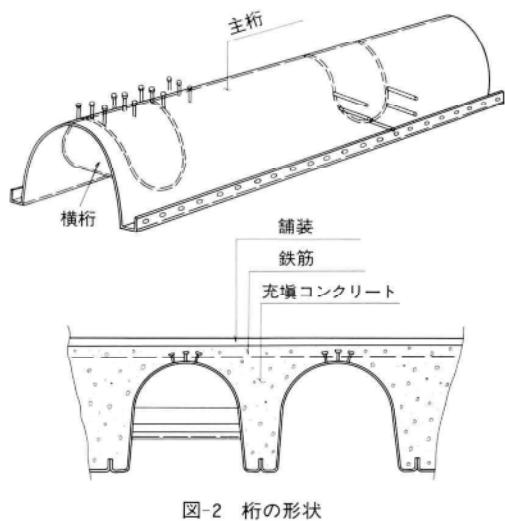


図-2 桁の形状

(4) 橋が出来るまで

架設地点の状況により、運搬荷姿等若干異なるが、概ね図-3を標準とする。

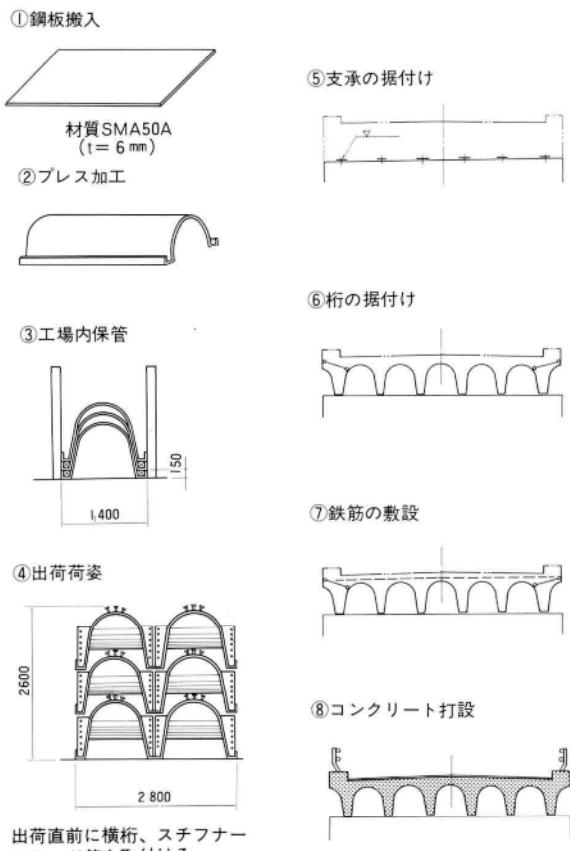


図-3 製作一架設手順

(5) 桁高と使用鋼重

桁高の低減と経済化とは必ずしも結びつかず、必要に応じ個々に対処するが、図-4に示すものを標準とする。

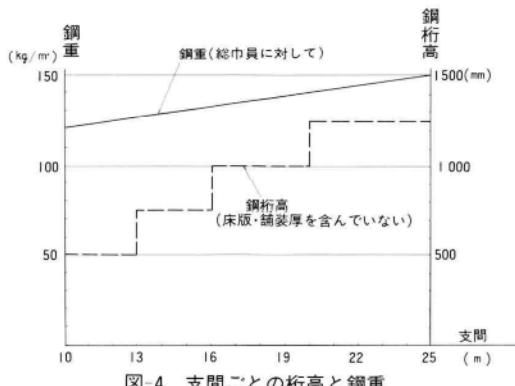


図-4 支間ごとの桁高と鋼重

3. 製 作

実物大供試体(図-5)および実施橋梁(鉢沢橋・図-6)の製作並びに事前に行われた溶接試験等を通じて確立された、製作要領を報告する。

(1) 製作手順

プレス加工以後の組立手順を、図-7のフローチャートに示す。なお、組立てからキャンバー矯正に至るまでの工程において、主桁は倒立した形にある。(写真-1～6)

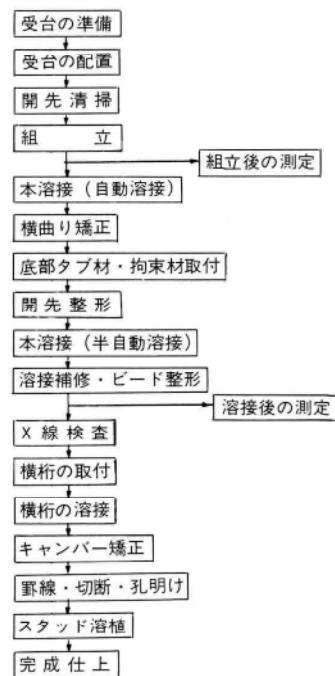


図-7 フローチャート

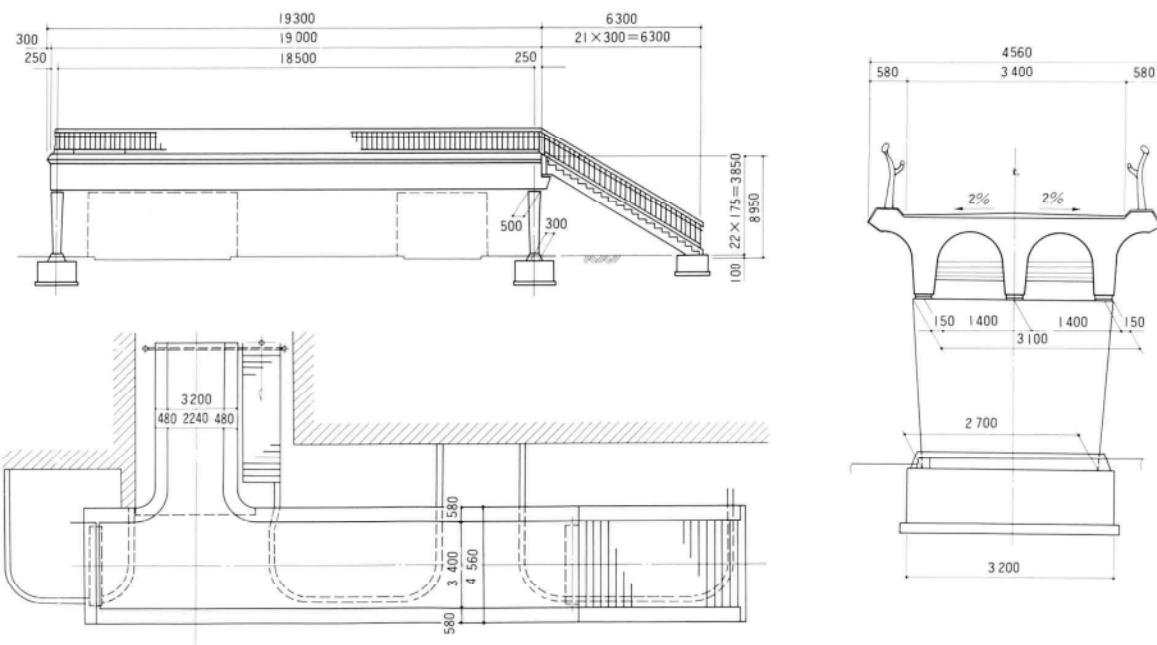


図-5 大型供試体

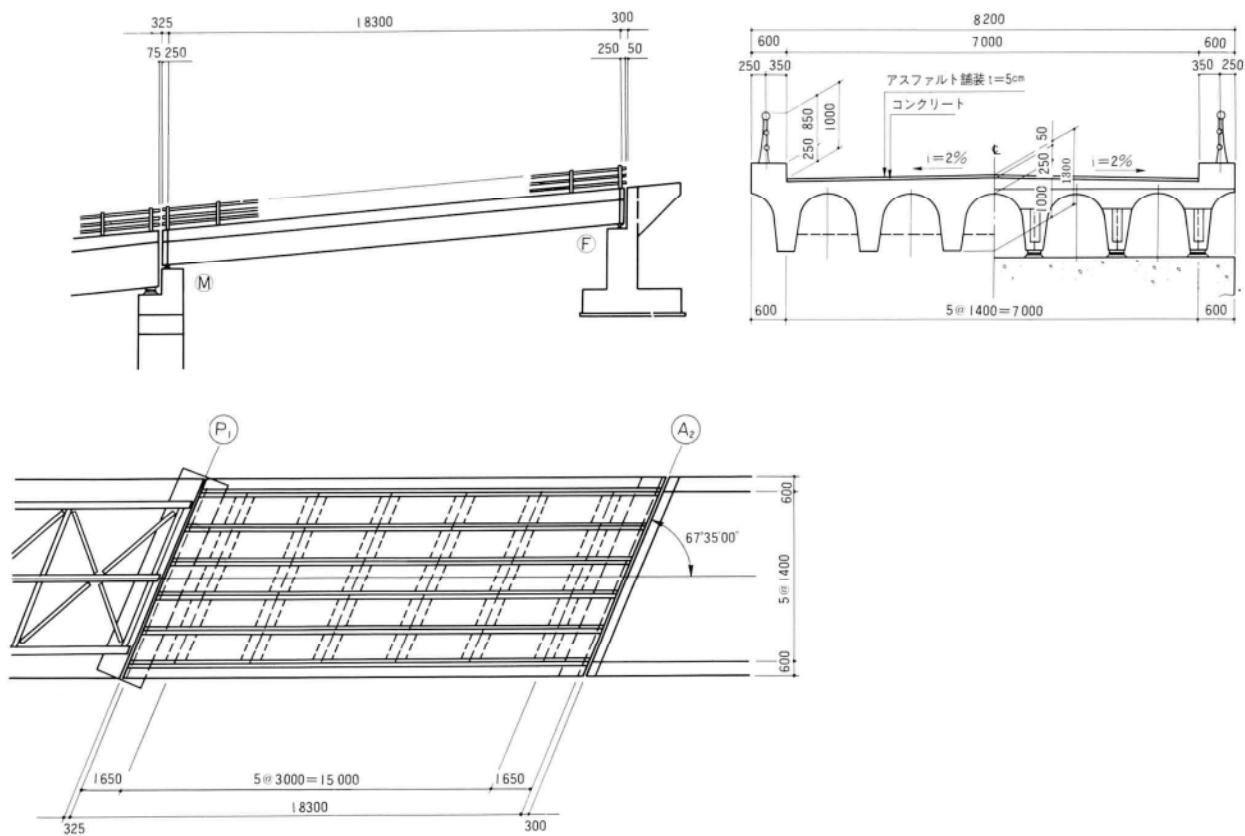


図-6 鈴沢橋

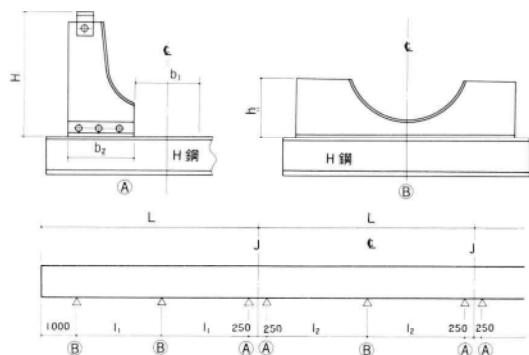
(2) 製作の準備

1) 受台の形状と配置 (図-8)

プレス加工された主桁の組立ておよび溶接作業を、よりスムーズに行なうための形状保持材である。

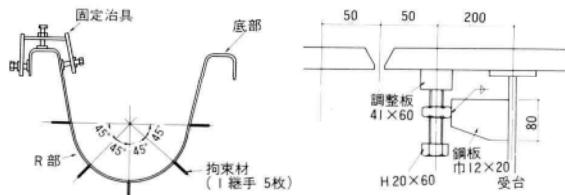
2) 組立て治具 (図-9)

組立て時の目地調整に用いるものである。



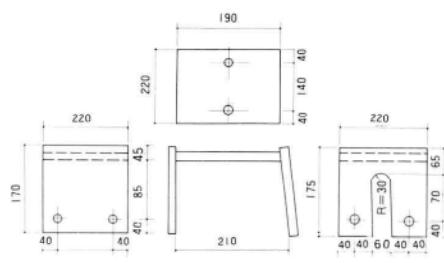
H鋼上の受台は、全体の通り（巾、高さ、倒れ）を調整してから固定する。

図-8 受台の形状と配置



目違い修正治具の配置

R部固定治具



フランジ部固定治具

図-9 組立て用治具

(3) プレス加工

いずれは押し型をつくり、一括加工（面加工）しなければならないと考えているが、当面写真に示す様な線プレスを行なっている。（写真-1～2）

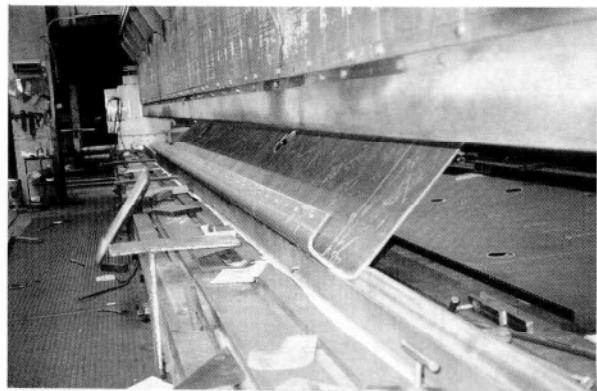


写真-1 フランジ部のプレス



写真-2 R部のプレス

(4) 組立て

1) 管理値の設定

組立てに際し、ルートギャップ、目違い、通り、等に基準値を設け管理するものとする。

2) 組立て作業

組立て前に開先部の清掃を行ない、予め用意された受台上に部材を置き、各継手について前述の管理項目を確認しながら、拘束材により固定する。（写真-3）

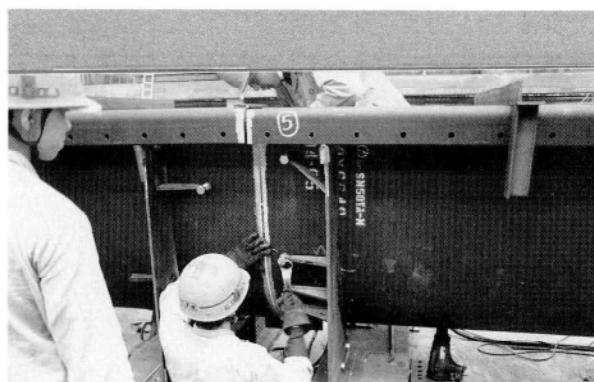


写真-3 目地調整

(5) 溶接

1) 溶接材料

ワイヤ MX-100T (メタル系フラックス入りワイヤ)

(1.2φ 20kg巻)

裏当材 F R B - 3 (15M／コイル)

シールドガス CO₂ガス

2) 溶接機

炭酸ガス溶接機 MEL-AUTO 500G

走行台車 PICOMAX-2

3) 裏当材の取付 (写真-4)

裏当材を部材の外側に貼付け、マグネットで固定する。

4) レールのセット (写真-5)

専用のガイドレールを、部材の内側にマグネットで固定する。(レールはRの内側に沿うように曲げ加工を施してある。)

5) R部の自動溶接 (写真-6)

予め設定した溶接条件表にならって自動溶接する。

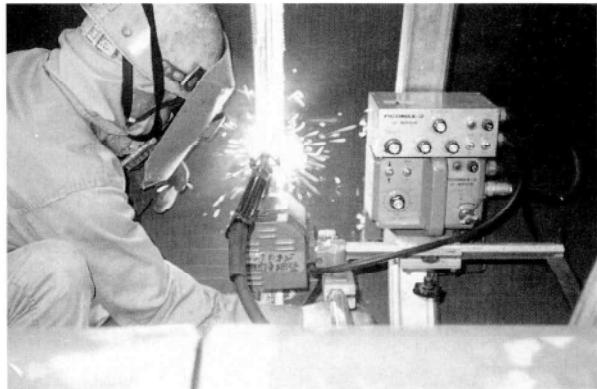


写真-6 CO₂自動溶接

6) 底部の半自動溶接

R部の自動溶接完了後、再度目違い等を修正し、R部とは別に半自動溶接を行なう。

7) 横桁の取付け

主桁のキャンバーをチェックし、主桁の捩れ・曲りを修正してから、半自動溶接により横桁を取付ける。

(6) X線検査

X線撮影要領書に従って、主桁の突合せ溶接部全量の検査を行なう。

(7) キャンバー設置

溶接完了後の主桁形状を実測し、キャンバーが規定値になるよう溶接継手部を加熱矯正する。この際、後工程（正立に姿勢を変えた後の、スタッド・補強板の取付等）による変化量を附加する。（図-10）

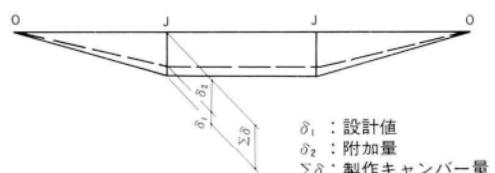


図-10 キャンバー量の設置

(8) 完成仕上

加熱矯正による焼きこげ部を、グラインダー仕上げし、フランジ部の余盛を平坦に仕上げる。（図-11）



図-11 仕上げ図



写真-4 裏当材取付

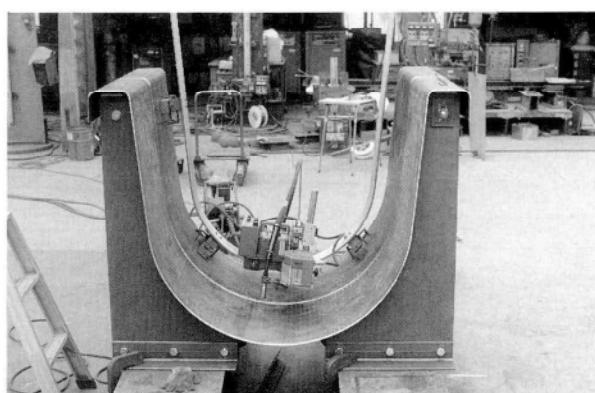


写真-5 レールフレームのセット

4. 架 設

鉢沢橋の現場施工を例とした架設要領を報告する。(寸法諸元については図一6を参照のこと。)

(1) 運 搬

一般に桁のジョイントを工場で行なうので、いきおい長い部材の現地への搬入法が問題となる。

運搬に使用する車輌は、部材形状・重量のほか、道路事情によって限られる。施工例では、ポールトレーラーを用いて思わぬ塗装補修が発生した。出来るだけ荷台式トレーラーを使用すべきであるが、やむを得ずポールトレーラーを用いる場合は、桁を保護する積載法を考える必要がある。

(2) 脊の据付

一般橋に比べて主桁間隔が狭いため支承個所が多く、桁下空間も小さいので、桁架設後においては決して作業性がよいとは言えない。他方個々の桁はねじり剛性が小さく、コンクリート打設によってなじむので、脊を先据付(固定)することが、作業性を高める上で有効である。

(3) 桁架設

自走式クレーンを用いて1主桁づつ順に並べてゆくのが一般的で、個々の作業が特に難しいということではないが、製作時の作業性も考えて、吊ピースを十分付けておくとよい。また、隣接桁とのヒボルトは、全量仮締めの後、全体形状を確認した上で本締めするとよい。

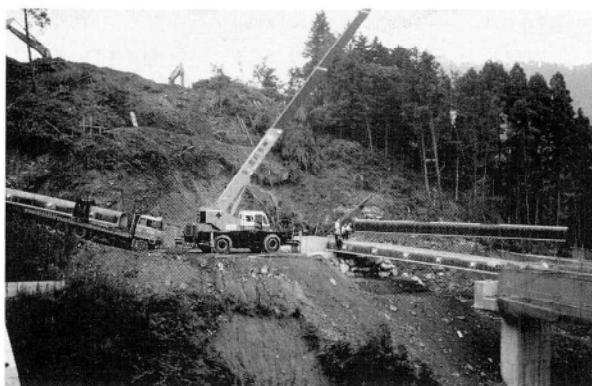


写真-7 桁架設 (40t油圧クレーン)

(4) 配 筋

床版部には、ひび割れ防止の目的で、橋軸直角方向にD13を150mmピッチで、橋軸方向に200mmピッチで配筋しているが、鉄筋の高さを確保するため主桁ジベルに溶接した橋軸方向筋(D13)をスペーサーとするのが、能率よい。(図-12)

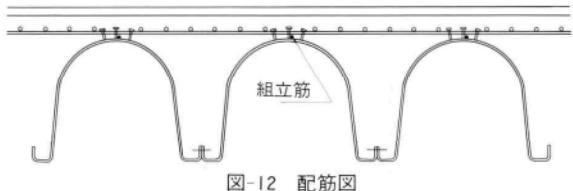


図-12 配筋図

(5) 地覆外枠の施工

コンクリート打設前に、外枠上の地覆外枠を下図の如くターンバックルを利用し通りを調整する。この時、ターンバックルは、床版打設後の再調整に利用出来るよう、床版コンクリートの上面に出る構造とした。(図-13)

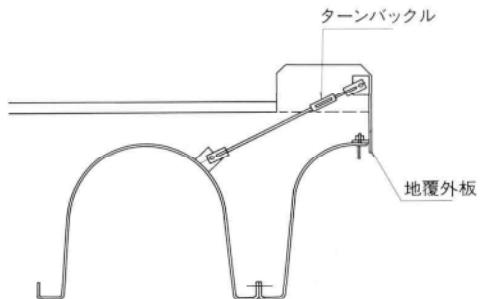


図-13 地覆外板支持構造

(6) コンクリートの打設

約100m³のコンクリート(スランプ値: 8cm、 $\sigma_{ck} > 280 \text{ kg/cm}^2$)を、打設速度・仕上げ能力等を加味し、35m³/hで計画配車した。また工事用通路ヘブーム車を設置し、ブーム車の作業半径内で打設可能なものとした。

打設の順序は、主桁間でたわみ差が生じないよう、横断方向へ順次レベルの低い方から打設した。当初心配された縦断勾配(9%)によるコンクリートの流れはさほどなく、容易に打設できた。

一部に実施された早強コンクリートの結果も良好で、ひび割れなど、目視の範囲内で欠陥は見られなかった。ただし、これは入念な施工と養生を行なっており、特別な場合を除いて普通コンクリートが望ましいと考えている。この施工例では、横桁上に孔を設けて横桁内にもコンクリートを充填したが、非常に施工能率が悪く、今後は改めたいと考えている。また、打コンによる主桁のハラミは一般主桁で全く見られなかつたが、外枠で若干生じている。これは外枠ウェブの直線部分が長いためのものであり、形状に応じて補剛材を設けるものとした。



写真-8 コンクリートの充填

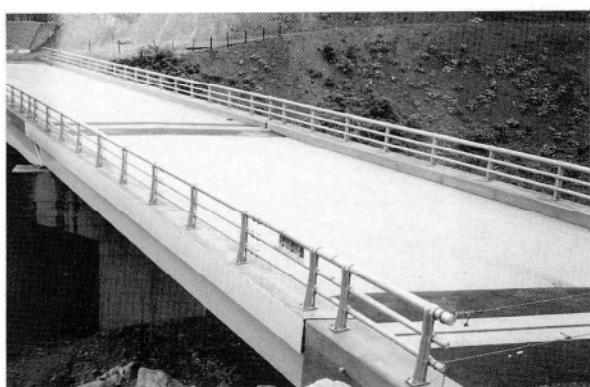


写真-9 完成状態

5. おわりに

Q S C B開発のきっかけは、中小橋梁をより安全・容易に施工したいとの期待からであった。

現場工事というものは工場製作と違って、その都度架橋条件が異なり、かつ取扱う人間も替わることが多い。

従って、より高い安全性とより良い施工性を追求してきた。

2つの実橋を経験し、道路橋としては経済的にも、他形式に劣るものでないことを確認できた。今後、剛性の大きな点を活かし、騒音対策の必要な鉄道橋・モノレールに、更には急速施工面を活かし、応急橋としても供給してゆきたいと考えている。

Q S C Bの原型となる基礎実験の結果を、土木学会で発表してから3年余りの歳月が去っている。改良を繰返し、実橋に至るまでには多くの難関があり、その都度悩み挫折・中断も度々であった。今日、実橋として採用されるに至ったのは、宇都宮大学の阿部先生・鹿島建設の白沢所長ほか皆さんの、ご指導・はげましがあってのことと心得ている。誌上を借りて感謝の意を表するしたいのである。

縮尺モデル・原寸モデル双方による載荷試験の結果については、次号に掲載する予定である。

〈参考文献〉

- 1) 上前、高野；薄鋼板を用いた新しい鋼・コンクリート合成桁、土木学会構造工学委員会・コンクリート合成構造小委員会「鋼とコンクリートの合成構造に関する調査研究報告書」昭和59年3月
- 2) 構造工学委員会、鋼・コンクリート合成構造小委員会；鋼・コンクリート合成構造の現況、土木学会、1981年9月
- 3) 高崎、原、鬼頭；縦リブを利用したずれ止め構造の耐荷力試験、宮地技報NO1、1985年3月

面外変形を有するトラフリブの力学的挙動

An Experimental Study on Mechanical Behavior of Steel-Deck with Locally Deformed U-RIB

沓掛 靖夫* 鬼頭 省吾** 佐藤 徹***
Yasuo KUTSUKAKE Shohgo KITOH Tohru SATOH

Summary

Gas flame straightening onto thin-walled U-rib causes besides local lateral imperfection on the rib.

This paper reports the test results of steel-deck with U-rib which has local lateral imperfection subjected to bending moment.

In static test, positive bending moment, which has the U-rib carry tensile stress, or negative bending moment, which has the U-rib carry compressive stress, are applied.

Fatigue strength in positive bending moment is also investigated.

1. まえがき

鋼床版の縦リブには、従来はバルブプレートや不等辺アングルなどの開断面リブが用いられることが多かったが、最近ではU形の閉断面リブ（以降の記述ではトラフリブと記す）が主流となっている。これは次のような理由からと思われる。

- ① 閉断面リブは剛性が大きいので、縦リブスパンが大きくとれる。
- ② 縦リブ内面を密閉構造とすることにより、防錆上の問題が少なくなるとともに縦リブの板厚を薄くすることができる。
- ③ 鋼重が軽くなる。
- ④ 溶接長が開断面リブの半分程度ですむとともに溶接ひずみが小さくなる。
- ⑤ トラフリブは断面成形が容易で、今では冷間成形のU形鋼が生産されている。

トラフリブ鋼床版の製作上の問題の一つとして、溶接ひずみの矯正がある。溶接ひずみは開断面リブに比べればかなり小さいが、トラフリブ側が凸になる形上に縦曲りが生ずる。この矯正は一般的には構造上プレスによることが困難であるため、トラフの底板側を加熱する方法がとられる。板厚6mmのトラフリブを加熱矯正した場合、加熱部に局部的な変形が生ずることがある。

そこでここでは、加熱矯正によるトラフリブの局部変

形が鋼床版の強度にどのように影響するかを実験により調査しようとしたものである。

2. 試験方法

(1) 試験の種類

試験の種類を表-1に示す。静的試験により静的挙動を把握した後疲労試験を行った。静的試験においては、局部的な面外変形の大きさの影響を比較するため変形量を0、2、3mmの3種類とし、各々についてトラフリブ底板の応力が引張となる場合と圧縮となる場合の試験を

表-1 試験の種類

	面外変形量 (mm)		トラフリブ 底面の応力	供体試記号
	計画値	実施値		
静的 試 験	0	0	圧縮	0-C
		2.0	引張	0-T
		2.5	圧縮	2-C1
	2	2.5	引張	2-T
		3.5	圧縮	3-C1
		3.0	引張	3-C2
疲労 試 験	3	4.2	引張	3-T
		0	応力振幅 1400kg/cm^2	0-F-T
		3.2		2-F-T-14-1
		2.1		2-F-T-14-2
		2.5		2-F-T-10-1
	2	2.0	応力振幅 1000kg/cm^2	2-F-T-10-2

疲労試験は、片振引張

* 技術本部保全技術室保全技術課長

*** 千葉工場製造部生産技術課

** 千葉工場製造部付課長

行った。トラフリップ底板の応力を引張と圧縮の両方で試験した理由は、加熱矯正をする場合縦リブの支間中央部と横リブ付近のどちらで行うのがより好ましいかを知りたいためである。

疲労試験ではトラフリップ底板に片振れ引張、振幅が 1400kg/cm^2 および 1000kg/cm^2 の応力を作用させて行った。

(2) 供試体

(a) 供試体の形状

静的試験の供試体を図-1、疲労試験の供試体を図-2に示す。静的試験と疲労試験でトラフリップの寸法およびデッキプレートの板厚が異なるが、これは材料入手の都合であって特に意味はない。

供試体はすべて支間 2300mm の梁とし、着目点に純曲げが作用するように2点載荷として設計した。支点および載荷点の荷重集中点には、局部座屈を防ぐためにリブを設けた。疲労試験の載荷点においては、トラフリップとデッキプレートとのすみ肉溶接の疲労亀裂を防止するためリブが必要であるが、リブとトラフリップとのすみ肉溶接から亀裂が生じないようにしなければならない。そこでリブの溶接止端の応力振幅が 400kg/cm^2 程度になるようリブの高さを決めた。デッキプレートに設けたハンドホールはトラフリップ内面にひずみゲージを貼るためと

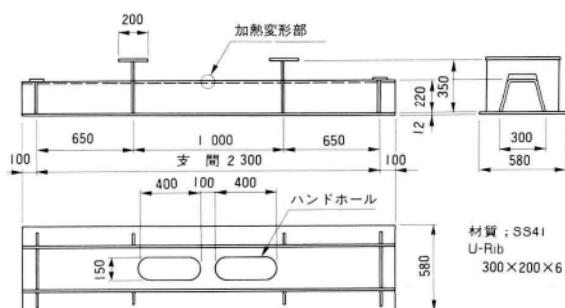


図-1 静的試験の供試体形状

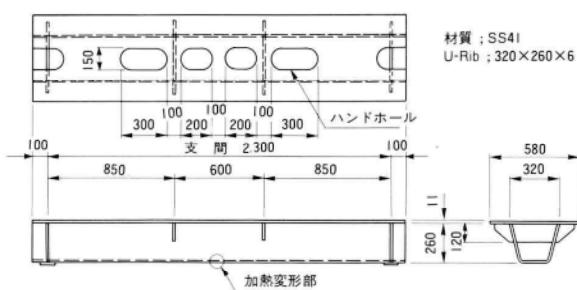


図-2 疲労試験の供試体形状

内面のリブを溶接するためである。供試体の材質はすべてSS41を用いた。

(b) 局部変形

供試体を組立て、溶接した後、支間中央部においてトラフリップの底面をガス炎で加熱して局部変形を与えた。幅方向における変形量をストレッチとすきまゲージを用いて測定した。測定結果を図-3に示す。供試体3-T

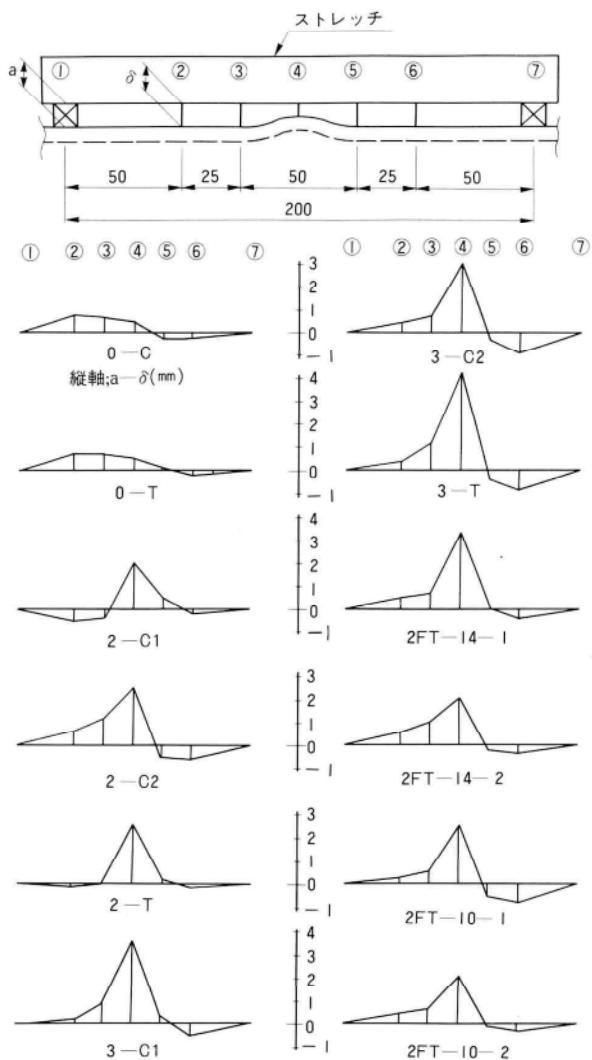


図-3 局部変形測定値

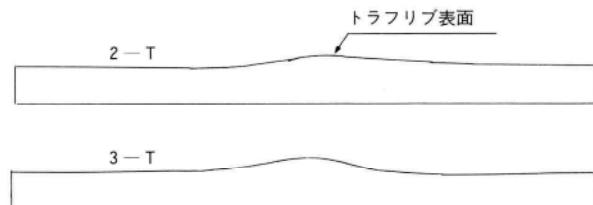


図-4 局部変形の形状 (シリコンゴムを使用)

および 2FT-14-1 は計画値より 1mm 以上大きくなっているが、加熱中に変形量をコントロールすることは難しいためそのまま試験に供した。変形の形状を見るためにシリコンゴムによる型取りを行った。この 1 例を図-4 に示す。図-3 および図-4 からわかるように、加熱部の変形はトラフリブの外側（加熱面側）が凸になっている。加熱矯正では一般に加熱面側が凹になるように変形するが、ここでは逆の現象が生じている。この理由は次のように考えられる。

- ① 加熱初期においては、加熱面側の方が温度が高いので膨張量が大きく、したがって加熱面側が凸になるような面外変形を生ずる。
- ② 板厚方向の温度分布が一様でない時点では、温度の高い側の膨張が拘束されるとともに弾性係数の低下によって圧縮の塑性ひずみが生ずる。もしここで急冷するとなれば加熱面側が凹の面外変形が残ることになろう。
- ③ さらに加熱を続けると、板厚が薄いので板厚方向の温度分布が早期に一様になり、したがって板の表裏で等しい膨張が生ずる。高温により弾性係数が低下している状態で面内の膨張が拘束されているので面外の塑性変形が生ずる。その方向は加熱初期の変形と同一である。

加熱矯正によって板厚が局部的に大きくなることもあり得るのではないかと考えたが、この試験ではそのような現象は生じなかった。

(3) 静的試験

(a) 荷重載荷

静的試験の載荷方法を図-5、試験の状況を写真-1 に示す。載荷点は横リブ上とし、載荷梁を用いて 2 点載荷とした。載荷点にはロードセルを挿入しておき、左右の荷重が等しくなるようにあらかじめ調整してから載荷した。試験中の荷重測定もこのロードセルによった。支点には水平変位がとれるように丸鋼を用いた。

図-5 に示すように、トラフリブの底面に曲げ引張応力を作用させる場合はトラフリブを下側に、曲げ圧縮応力を作用させる場合はトラフリブを上側にして供試体をセットした。荷重は 5 トンきざみで、荷重の増加にはば耐えられなくなるまで載荷した。

(b) 測定項目

各供試体について荷重ごとにひずみと支間中央のたわみを測定した。ひずみ測定位置を図-6、たわみ測定位

置を図-7 に示す。

使用機器

ひずみゲージ KFC-5-C1	(共和電業)
自動デジタルひずみ測定器 TDS-100	(東京測器)
スイッチボックス ASW-50A	(")
変位計 SDP-50C	(")
ロードセル CLP-100B	(")

測定状況を写真-2 に示す。

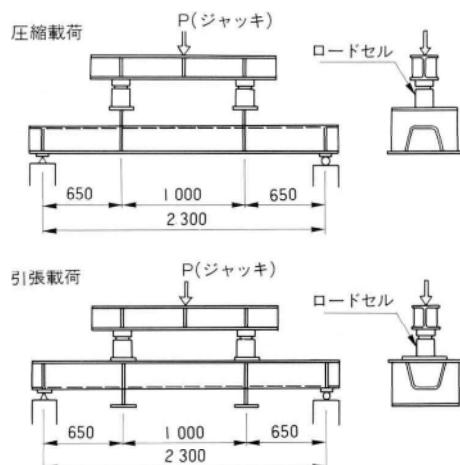


図-5 静的試験の載荷方法

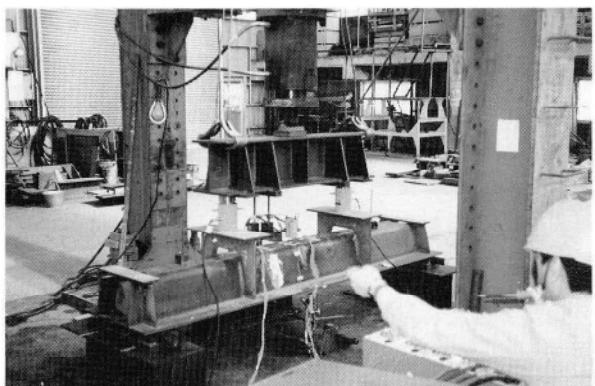


写真-1 試験状況



写真-2 荷重載荷及び測定状況

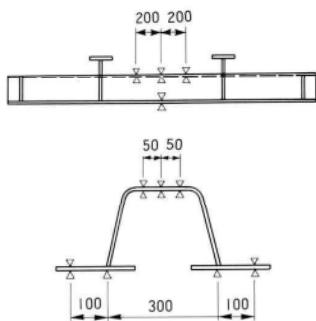


図-6 ひずみ測定位置

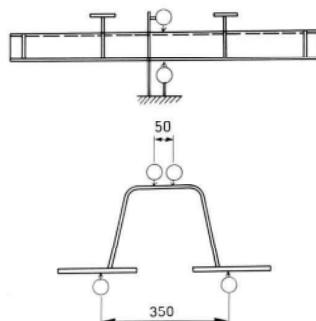


図-7 たわみ測定位置

(4) 疲労試験

疲労試験ではトラフリップ底板に曲げ引張応力が作用するように載荷した。これは静的試験の結果トラフリップ底板に作用する応力が引張である場合の方が、局部変形位置に大きな応力集中を生じさせるからである。

載荷方法は図-5の引張載荷と同様である。ただし、ロードセルは挿入していない。応力振幅は表-1に示したように 1400kg/cm^2 および 1000kg/cm^2 とした。下限荷重時に供試体に衝撃が加わらないように、下限応力 200kg/cm^2 を目標に下限荷重を設定した。下限応力はひずみゲージによって確認した。疲労試験の状況を写真-3に示す。

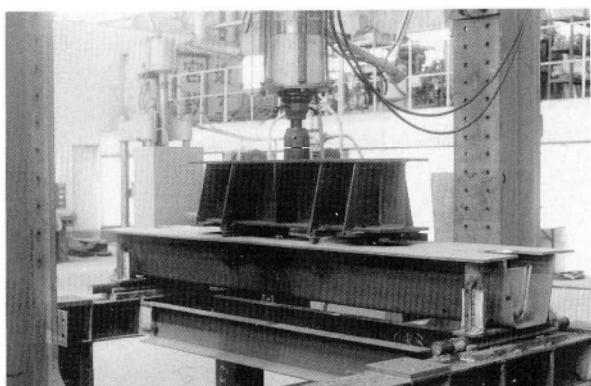


写真-3 試験状況

3. 静的試験の結果と考察

(1) 応力およびたわみの計算値

(a) 断面

フランジの有効幅は参考文献1)に示される方法によって計算する。有効幅比計算のための荷重状態は曲げモーメントの分布形状を考慮して、支点から載荷点までに対しては集中荷重、載荷点間にに対しては等分布荷重とした。有効幅の計算結果を表-2に、断面性能を表-3に示す。

(b) 支間中央の応力

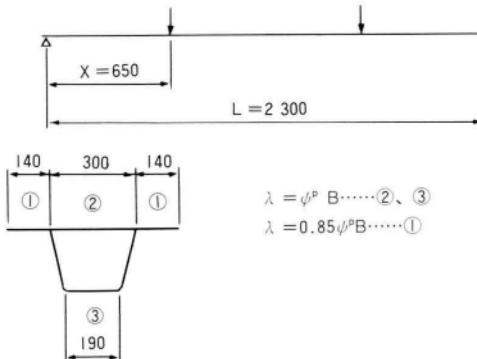
$$M = 65.0 \times P / 2 = 32.5 P \quad (\text{kg} \cdot \text{cm}) \quad P : (\text{kg})$$

$$\sigma = M / Z \text{ より}$$

$$\sigma_d = 32.5 P / 835 = 0.0389 P \quad (\text{kg/cm}^2) ; \text{ Deck PL}$$

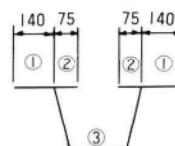
$$\sigma_r = 32.5 P / 388 = 0.0838 P \quad (\text{kg/cm}^2) ; \text{ Uリブ底面}$$

表-2 フランジの有効幅 λ



載荷点～載荷点

フランジ No.	①	②	③
有効幅比 ψ_w	0.973	0.987	0.983
有効幅 λ (mm)	116	63	187



$$\lambda = \psi_w B \dots \text{②, ③}$$

$$\lambda = 0.85 \psi_w B \dots \text{①}$$

支点～載荷点

フランジ No.	①	②	③
有効幅比 ψ_w	0.682	0.670	0.753
有効幅 λ (mm)	81	201	143

表-3 断面性能

位 置	断面二次モーメント (cm^4)	断面中心からの距離(cm)		断面係数(cm^2)		
		yd	yr	zd	zr	
支点～ 載荷点	5 494	6.77	16.43	812	334	
載荷点～ 載荷点	6 145	7.36	15.84	835	388	

(c) 支間中央のたわみ

曲げモーメントによるたわみは弾性荷重法で計算する。

図-8を参照して弾性荷重による支間中央の曲げモーメントすなわちたわみ δ_M は、

$$\delta_M = 0.0153 \times 10^{-3} P \text{ (cm)} \quad P : (\text{kg})$$

せん断力によるたわみは、

$$\delta_Q = \frac{1}{GA_w} \left(\int_0^{65} Q dx + \int_{65}^{115} O dx \right) = 0.0015 \times 10^{-3} P \text{ (cm)}$$

したがって合計たわみ δ_T は、

$$\delta_T = \sigma_M + \sigma_Q = 0.168 \times 10^{-3} P \text{ (mm)}$$

(2) 負の曲げモーメントが作用した場合の耐荷力

(a) 荷重-ひずみ、たわみ

トラフリップ底板に曲げ圧縮応力が作用した場合の荷重と支間中央におけるひずみの関係を図-9に示す。図-9のひずみは板の表裏6点の平均値であり、またリップ底板のひずみは局部変形上の値である。図中の計算値は、荷重50トンまでひずみが荷重に比例すると仮定し表裏の平均を考慮して算出した。図の錯綜を防ぐため点で示してあるが、荷重ごとの計算ひずみを見る場合はこの点と原点を直線で結べばよい。 ϵ_a 、 ϵ_y は各々許容応力、降伏点応力に相当するひずみ、 P_a 、 P_y はリップ底面に ϵ_a 、 ϵ_y を生じさせる荷重で次の計算によって算出した。

$$\epsilon_a = \sigma_a / E = 1400 / 2.1 \times 10^6 = 667 \times 10^{-6}$$

$$\epsilon_y = \sigma_y / E = 2400 / 2.1 \times 10^6 = 1143 \times 10^{-6}$$

$$P_a = \sigma_a I / \{32.5 \times (y_r - t_r/2)\} = 17034 \text{ kg}$$

$$P_y = \sigma_y I / \{32.5 \times (y_r - t_r/2)\} = 29201 \text{ kg}$$

なお、トラフリップ底板のひずみの符号はマイナスであるが図-9には絶対値で示してある。

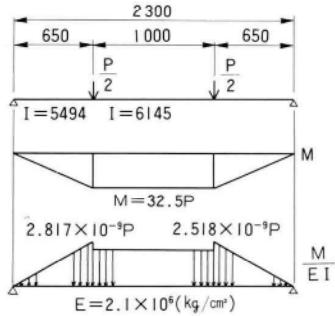


図-8 弾性荷重

図-10は荷重-たわみの関係である。たわみは供試体下面2点の測定値の平均をとった。図-10には供試体ごとのそれ以上の荷重増加に耐えられない極限荷重をも表記してある。トラフリップ底板の外面と内面のひずみを図-11に示す。外面内面ともそれぞれ幅方向3点の平均値で示している。この図から局部的な板曲げの状態を知ることができる。

(b) 局部変形がない場合

局部変形がない場合は、図-9からわかるようにトラフリップ底板のひずみは荷重にはほぼ完全に比例しており、計算値によく一致している。降伏点ひずみを越えて極限荷重に達するまで直線性を有している。デッキプレートのひずみは計算値よりやや小さい値を示しているが、これはデッキプレートの有効幅を等分布荷重状態で求めたので、実際に行った純曲げ状態の有効幅よりも小さい値を用いて計算していることになるためと考えられる。荷重とデッキプレートのひずみの関係は、荷重が30トンまでは直線性を保っているが、30トンを越えると直線性を失い次第にひずみの増加の方が大きくなる。支間中央のたわみは、荷重20トンまでは荷重と1次的な関係にあり計算値ともよく一致するが、荷重をさらに増していくにしたがってたわみの増加の方が大きくなり、極限荷重近くでは少しの荷重増加で大きなたわみ増加が生ずる不安定な状態になる(図-10)。

載荷時に供試体を観察していたところ、極限荷重の大きさはトラフリップ底板の局部座屈に支配されているようであった。局部座屈による面外変形は支間中央よりも載荷点でより顕著に生じた。図-11からわかるように、ト

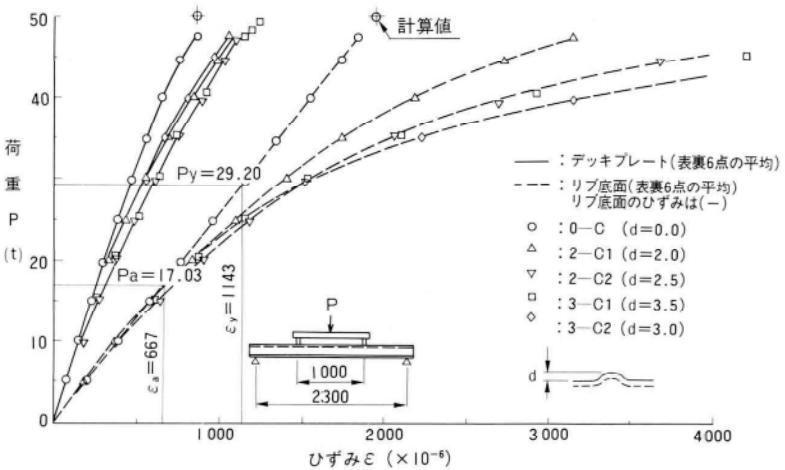


図-9 荷重-ひずみ図(負の曲げモーメントが作用の場合)

ラフリップ底板の内外面のひずみ差は、荷重が30トンまでは小さくすなわち面外変形は生じていないが、荷重が30トンを越えると急激に大きくすなわち面外変形を生じ始める。また、ひずみ差は支間中央よりも載荷点に近い方が大きく、したがってより大きな面外変形が生じており、載荷時の観察の状況と一致する。

載荷点におけるトラフリップ底板の局部座屈が静的挙動に影響すると考えて、この点の荷重-ひずみ差を図示すると図-12のようになる。図-12からわかるように、ポイント①、②とも荷重が20トンまではほぼ直線性を保っているが、20トンを越えると①のひずみ差がやや大きくなり板幅中央部で若干の面外変形が生じ始めることを示している。図-10に示す荷重-たわみの関係において、降伏点荷重に達しない20トンで直線性がなくなるのはこのためと思われる。荷重が30トン以上になるとポイント

①、②ともひずみ差は急増しており、底板全幅にわたって局部座屈が進むことがわかる。なお、板幅中央部のひずみ差が荷重が小さい範囲でも計算値より大きいのは初期不整のためと推定される。

(c) 局部変形がある場合

局部変形がある場合の支間中央におけるトラフリップ底板およびデッキプレートの平均ひずみは、荷重が15トン程度まではほぼ荷重に比例し、かつ局部変形がない場合と比べても大きな差はない。荷重が15トンを越えると荷重の増加につれてひずみ増加率が大きくなっていく。トラフリップ底板の平均ひずみは、局部変形dにかかわらず荷重が25トンまではほぼ等しいが、30トン以上になるとdによる差が大きくなる。d=2.0とd=3.0のひずみ差は大きいが、d=2.5とd=3.0のひずみはほぼ等しい値を示している。また、d=3.5よりもd=3.0のひずみの

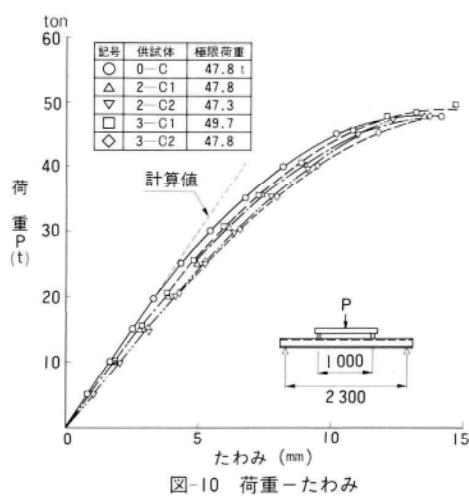


図-10 荷重-たわみ

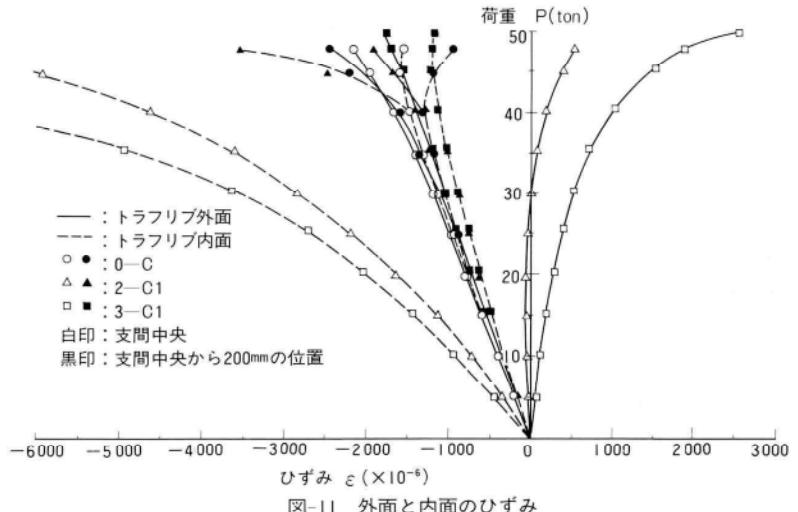


図-11 外面と内面のひずみ

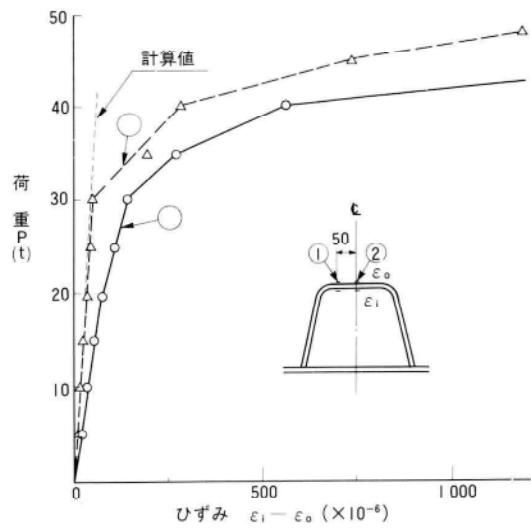


図-12 内面と外面のひずみ差(局部変形のない場合)

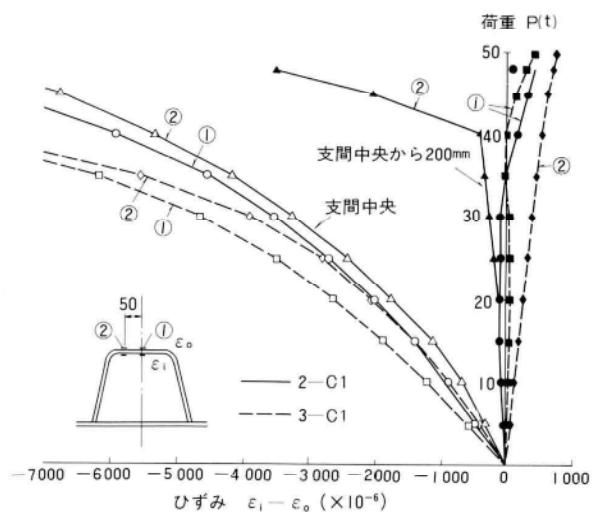


図-13 内面と外面のひずみ差(局部変形のある場合)

が大きくなっている(図-9)。

支間中央におけるたわみは局部変形がない場合に比較して荷重が小さいうちから大きいが、局部変形がない場合と同様に荷重が20トンまでは直線性を有している。局部変形dによるたわみの差はリブ底板のひずみの差ほど顕著には生じていない。局部変形が最大の3-C1のたわみが最も小さい結果になっており、dと荷重-たわみ関係の間には相関性は見られないようである(図-11)。

リブ底板の内外面のひずみは局部変形の影響がはっきりと表われている(図-11)。すなわち局部変形が凸側になる内面には大きな負のひずみが生じる。内外面のひずみ差で示すと図-13のようになる。支間中央のひずみ差は荷重が小さいうちから累進的に増加し、局部変形がない場合(図-12)のような明瞭な変局点は生じない。支間中央から200mmの位置においては、供試体2-C1では荷重が小さいうちから内面よりも外面のひずみの方が小さく、したがって外面が凸になるように面外変形が生じている。荷重が40トンを越えたところで縁端側は座屈し始めたと考えられるが、幅中央では座屈は生じていないようである。

(d) 負の曲げモーメントに対するまとめ

局部変形が与えられた場合には荷重とともに局部変形は助長されるが、図-10から判断するとそこがヒンジとなって梁が折曲るということはないと考えられる。極限荷重はいづれの供試体もほぼ等しい。このことから極限荷重はトラフリップ底板の座屈に支配され、また底板の座

屈は加熱矯正による局部変形には影響されないと思われる。

(3) 正の曲げモーメントが作用した場合の耐荷力

(a) 荷重-ひずみ、たわみ

トラフリップ底板に、曲げ引張応力が作用した場合の荷重と支間中央における平均ひずみの関係を図-14、荷重と支間中央のたわみとの関係を図-15に示す。図中の計算値はそれぞれ図-9、図-10に示したものと同じである。局部変形位置(支間中央)におけるトラフリップ底板の外面と内面のひずみを図-16に示す。

図-17は支間中央におけるデッキプレートの上面と下面のひずみ差である。デッキプレートには曲げ圧縮応力が作用しているので、この図から自由突出部に局部座屈を生じさせる荷重を知ることができる。

(b) 局部変形がない場合

トラフリップ底板のひずみは荷重が35トン(計算応力 $\sigma=2880\text{kg/cm}^2$)まで荷重に比例する。負の曲げモーメントでは計算ひずみによく一致していたが、正の曲げモーメントに対しては計算値よりやや小さくなっている。デッキプレートのひずみは荷重が25トンまでは直線性を有しているが、25トンを越えると直線性を失ないひずみの増加の方が大きくなる(図-14)。

荷重と支間中央のたわみの関係(図-15)は、荷重が35トンまでは直線性を保っており、その形状は荷重とトラフリップ底板のひずみとほぼ一致している。即ち、荷重

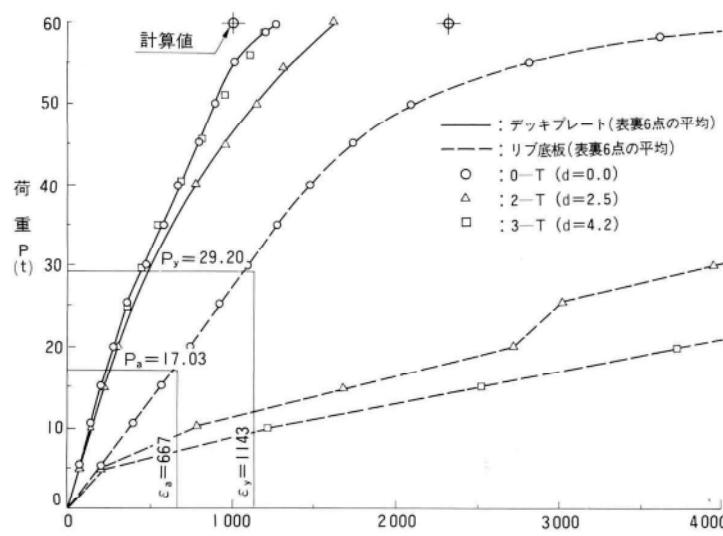


図-14 荷重-ひずみ図(正の曲げモーメントが作用の場合)

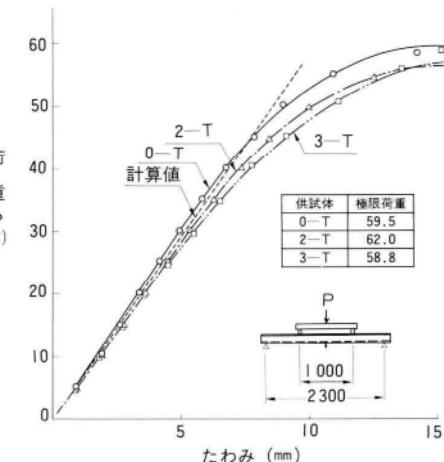


図-15 荷重-たわみ図

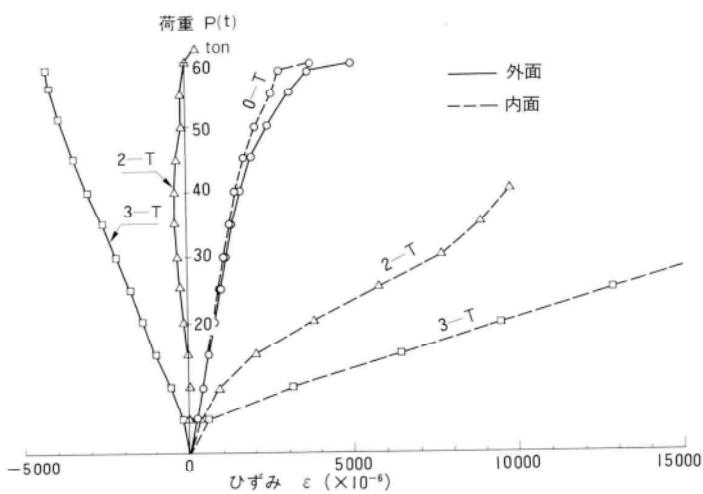


図-16 外面と内面のひずみ(局部変形位置、幅方向中央)

一たわみ挙動は、デッキプレートには関係なくトラフリップ底板の荷重ーひずみによって決まる、と考えられる。

デッキプレートの上下面のひずみ差(図-17)を見るに、荷重とひずみ差の関係は、 $P = 0 \sim 25$ 、 $P = 25 \sim 40$ 、 $P = 40 \sim 55$ 、 $P = 55 \sim 60$ トンの4段階に区分され、それぞれの区分内で直線的な関係になっている。特に荷重に対するひずみ差の増加率は $P = 40 \sim 55$ トンの方が $P = 25 \sim 40$ トンよりも小さい。局部座屈によってひずみ差が生じたとすると、図-12のように荷重の増加につれてひずみ差は累加的に増加すると思われるが、図-17はそのようにはならない。したがって、この場合は局部座屈が生じたのではなく、デッキプレートの初期不整の影響が出たものと考えられる。

(c) 局部変形がある場合

図-14からわかるように、トラフリップ底板のひずみは荷重が5トンまでは局部変形のない場合と大差ないが、荷重が5トンを越えると荷重に対するひずみの増加率は局部変形のない場合の5~7倍になる。局部変形のないものとのひずみの差は、リブ底板に圧縮応力が作用する場合は緩やかに拡大していく(図-9)が、引張応力の場合は荷重が小さいうちから急速に拡大する。

支間中央におけるたわみ(図-15)は、負の曲げモーメントが作用した場合(図-10)に比較して全体的に小さく、かつより大きな荷重に到るまで荷重と直線関係を保持している。局部変形のないものとの比較においても、負の曲げモーメントの場合よりもたわみの差は小さい。したがって、荷重ー局部変形上のひずみの関係が荷重ーたわみの関係に影響を及ぼす程大きなものではなく、局部変形の影響は局部的なものと考えられる。

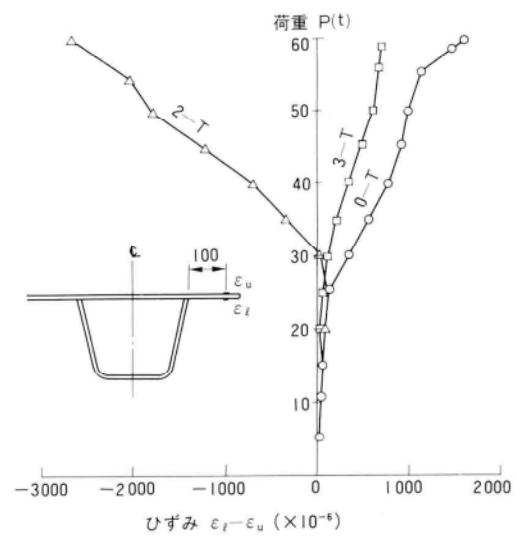


図-17 デッキプレートの下面と上面のひずみ差

局部変形上の内外面のひずみには局部変形の影響がはっきりと表れている(図-16)。すなわち局部変形が凸側となる外面には負のひずみが生じ、凹側になる内面には大きな正のひずみが生じている。正のひずみの大きさは負の曲げモーメントが作用した場合のひずみの2倍以上であり、このことは局部変形部の応力集中が正の曲げモーメントに対して、より厳しいことを示している。

(d) 正の曲げモーメントに対するまとめ

局部変形が与えられた場合には、荷重とともに局部変形が軽減されるが、これに伴って生ずる局部応力は負の曲げモーメントが作用する場合よりもずっと大きい。しかし、荷重ーたわみの関係から判断すると、局部変形が戻るまでそこがヒンジとなって梁が折曲るという程ではないと考えられる。

極限荷重は局部変形の有無にかかわらず同程度である。このことから極限荷重はトラフリップ底板の全体的な降伏またはデッキプレートの局部座屈によって決まると考えられる。

4. 疲労試験の結果と考察

疲労試験の結果を表-4に示す。今回の試験では、繰り返し回数200万回で疲労亀裂が発生するかどうかを確認することに主眼をおいたので、亀裂が発生しない場合でも250万回を目途に試験を打切った。

表-4からわかるようにいづれの供試体にも亀裂は発生せず、トラフリップに2mm程度の局部変形があっても疲労寿命を大きく減退させることはないと考えられる。

表-4 疲労試験結果

供 試 体	面 外 変形量	トラフリップ底面の応力(kg/cm^2)			繰返し回数 $\times 10^6$	亀裂
		上 限	下 限	振 幅		
OFT	0 mm				3.25	無
2FT-14-1	3.2	1570	171	1399	2.76	無
2FT-14-2	2.1				2.91	無
2FT-10-1	2.5	1169	171	998	2.98	無
2FT-10-2	2.0				2.65	無

5. 結論

鋼床版トラフリップの底板を局部的に加熱し、局部変形を与えたときの静的挙動と疲労寿命への影響を把握しようと試み、本実験を行った。この実験で得た結果を要約すると以下のようである。

(1) 局部変形直上の応力は局部変形に大きく左右される。即ち、鋼床版の横リブ付近に生ずる負の曲げモーメントは局部変形を助長し、正の曲げモーメントは局部変形を低減させる。このとき、板の面外方向に局部的な曲げモーメントが作用することになり、これによって生ずる応力は平均応力からは推定できないほど大きい。また、この局部的面外曲げモーメントによる応力は平均応力が引張のときの方がより大きく生ずる。

(2) 局部変形があるとたわみがやや大きくなり、したがって梁の曲げ剛性が若干減少する。しかし、局部変形部がいわゆる塑性ヒンジとなって梁が折れ曲るようなことはなかった。

(3) 極限荷重は局部変形の有無にかかわらずほぼ等しかった。極限荷重は負の曲げモーメントに対してはトラフリップ底板の座屈、正の曲げモーメントに対してはデッキプレートの座屈もしくはトラフリップ底板の全体的な降伏によって決まると言える。

(4) やむを得ず加熱矯正せざるを得ない場合は、負の曲げモーメントが作用する範囲内で、1箇所に集中せず分散して施工した方がよい。

この実験で、加熱矯正によるトラフリップの局部変形は静的にも疲労上も鋼床版の機能には特に問題がないことを確認した。しかし、局部変形上には大きな応力が発生するので、局部変形を与えることはできるだけ避けなければならない。

参考文献

- 関西道路研究会、道路橋調査委員会、耐荷力小委員会；
鋼箱桁橋の設計に関する調査研究、No.3、橋梁1978.5

グラビア写真説明

押島橋

国道16号線の多摩川に架かる現押島橋は、昭和29年に竣工し老朽と交通量の増大に伴い架換が計画されました。今回、現押島橋の上流側に暫定で架設され、昭和62年5月に供用開始となりました。また旧橋解体後、更に下流側に架設され交通渋滞の名所から消えることを期待します。構造は3径間連続箱桁3連で、うち左岸側の1連の製作、架設を行いました。(小林)

札幌大橋

北海道の屋根大雪山を源として流れる石狩川には、大小様々な型式の橋が架けられておりますが、この札幌大橋は河口から14.5kmの位置に、主径間部は鋼床版箱桁、側径間部は鋼床版2主板桁の型式で架けられています。架橋は、石狩湾新港開発計画の具体化に伴い広域産業路線と、地域交通の役割を担って昭和56年10月に着工し、交通供用開始は、今年の夏を予定しております。主径間部の架設はF.C(フローチングクレーン)による大ブロック架設工法で行なわれました。工場出荷時には、数日の強風雨の為、橋体の台船積込に大変な苦労があったと聞いておりますが、現地架設では天候状態に恵まれ順調な架設が行なわれました。(川村)

エレクトロガスアーク溶接による 細幅板継ぎ溶接工法の実用化

Practical Use of Narrow Steel Plates Butt Joint Welding by Using VEGAS
(Vertical position Electro-Gas Arc welding System)

成宮 隆雄* 伊東 孝**
Takao NARUMIYA Takashi ITOH

Summary

For narrow steel plates in steel bridges, such as the flanges of plate girders and longitudinal ribs of box girders, butt joint welding is inefficient because of the short length of each welding joint.

In order to avoid this inefficiency, we conducted experiments and studies on butt welding for narrow steel plates by using VEGAS (Vertical position Electro-Gas Arc welding System).

This report describes the successful results of these experiments and studies on VEGAS's practical use, especially the toughness of the welding joint and the negligible deformation, which have proved the availability of the VEGAS for practical use.

1. まえがき

橋梁製作において板桁のフランジおよび箱桁の縦リブ等細幅鋼板の板継ぎ溶接継手がかなり多く見られる。従来これらの細幅鋼板の板継ぎ溶接は、両面からのサブマージドアーク溶接が行なわれており、1継手長が短く本体を溶接しているのかエンドタブを溶接しているのか分らない状態で、溶接能率が著しく悪い。更に両面からの溶接ではあるが、溶接角変形が大きく、これらを1枚1枚機械矯正しなければならないだけでなく、細幅長尺で1部品に数ヶ所の継手がある場合があり、面内溶接変形により平面曲がり矯正が必要となることもある。

以上のように、細幅板継ぎ溶接に対してサブマージドアーク溶接は効率的な溶接工法とはいせず、細幅(800mm以下)板継ぎ溶接に適した専用溶接方法の検討を行なった。検討にあたって、特に下記事項を留意した。

- ① 両面溶接のためのワーク反転作業を行なわない。
(即ち片面溶接とする。)
- ② 板継ぎ材片組立のための仮付け溶接を行なわない。
- ③ 溶接による角変形および平面曲がりの矯正作業を行なわない。
- ④ エンドタブの取付け溶接を行なわない。
- ⑤ 溶接パス数は可能な限り少くし、出来れば1層1パス溶接(1ラン溶接)とする。
- ⑥ 継手のX線品質が十分満足出来るものであると共に

に、継手性能も所要の規格を満足するものとする。

⑦ 材質はSM58までとし、適用板厚は9mm~32mmまでとする。

これらの条件を満足させるため多くの溶接方法および工法(装置化)を検討した結果、「立向きエレクトロ・ガスアーク溶接法」が細幅板継ぎ溶接としては最適であり、この工法を「VEGAS」(立向きエレクトロ・ガスアーク溶接システム)と称し、実用化開発を行なった。

本報では「VEGAS」の実用化に目がつくと共に、細幅板継ぎ専用溶接工法として、装置化・ライン化を計ることになったので、これらの紹介を兼ねて、主として継手靱性に関する試験結果を報告する。

2. 溶接方法および溶接装置

VEGASの基本的な溶接装置は日鐵溶接工業製の「VEGA」を用いたものである。基本的な溶接法を図-1に示した。

本工法の特徴は下記の通りである。

- ① 立向き溶接のためのワークの反転は不要。
- ② 拘束治具により継手の仮付け溶接は不要。
- ③ 原則的に1ラン溶接であり、裏・表のビード幅がほぼ同じであるため溶接角変形は極端に少く、矯正作業は省略可能である。又鋼板長手方向の溶接収縮に関しては、全く無拘束な治具で鋼板をクランプし

* 千葉工場製造部長

** 千葉工場製造部生産技術課長

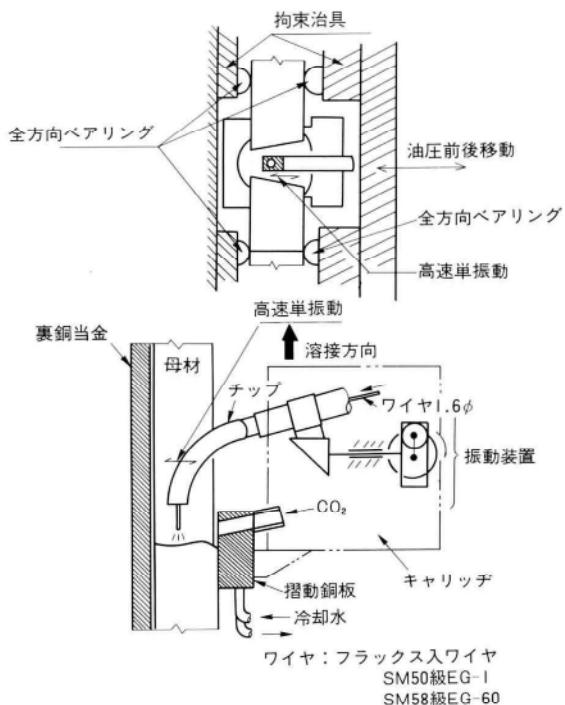


図-1 「VEGAS」溶接方法の基本原理

- ているため平面曲がりもほとんどない。
- ④ エンドタブは水冷銅板を用いるため、鋼製エンドタブの取付けは不要。
 - ⑤ 原則的には1ラン溶接である。例えば、板厚25mm板幅500mmの板継ぎ溶接の場合溶接所要時間は約5分である。
 - ⑥ 本工法の装置は作業者1名で取扱うことができる。又継手溶接能率は従来工法の5~10倍になると思われる。

3. 溶接試験結果

(1) 角変形、面内変形および収縮量の測定結果

図-2に変形・収縮測定のための試験片の形状と寸法を示した。角変形および面内変形量の測定結果を図-3に、溶接横収縮量の測定結果を図-4に示した。

1ラン溶接またはX開先2ラン同時溶接の場合は著しく小さく矯正の必要はない。一般的に矯正不要の限界角変形は1mm/1m、面内変形量は0.5mm/1mと考えている。

横収縮量は、予想に反して板厚が厚く溶接量の多い方が小さい傾向が認められたが、大略1mm程度であった。

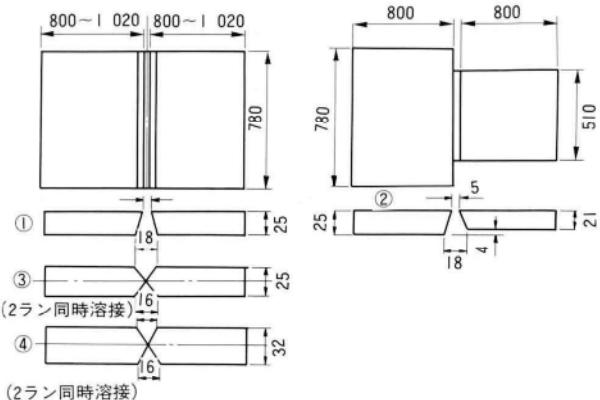


図-2 変形・収縮測定試験片の形状・寸法

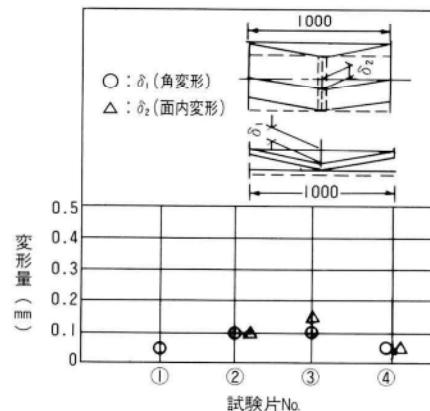


図-3 角変形および面内変形量測定結果

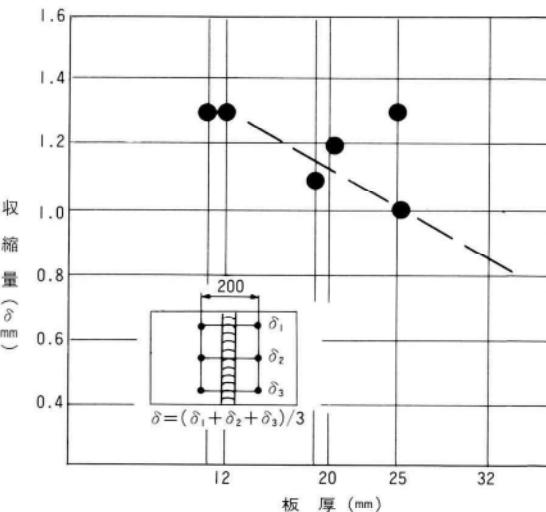


図-4 溶接收縮量測定結果

(2) SM58Q鋼の溶接継手性能試験

VEGASにおける立向きエレクトロ・ガスアーク溶接では、板厚19mm以上を1ラン溶接すると計算上の入熱

が 70 KJ/cm を超える溶接条件となる。従ってSM58Q高張力鋼における溶接継手性能のうち、溶接部の韌性については十分留意する必要があり、特に衝撃試験に重点をおいて溶接施工試験を行なった。これらの試験に用いた供試鋼材の化学成分を表-1に示した。

試験継手の開先形状は、ボンド部、HAZ部の韌性を厳しくチェックするためレ型開先(JIS 2種)とし、シャルピー衝撃試験片は図-5(b)に示す要領で採取した。ただし参考のためK形開先における継手試験も行なった。各開先形状を図-6に示した。又、ボンド部およびHAZ部の韌性低下防止対策の1つとして、溶接部周辺を水冷銅板で冷却する方法および凝固直後のビード表面をエアーにより強制空冷する方法を試みその効果を確認した。溶接部の強制冷却の具体的な方法を図-7に、継手実験計画表を表-2に示した。

表-1 供試鋼板の化学成分 (SM58Q)

板厚(mm)	C	Si	Mn	P	S	Al	Ceq
18 (13)	0.13	0.23	1.42	0.012	0.005	0.024	0.37
25	0.13	0.24	1.40	0.017	0.004	0.021	0.38

表-2 実験計画表

板厚	開先 形状	目標 入熱 (KJ/cm)	試験片 No.	冷 却 有 り X 無 し	衝 撃 試 験	冷 却 温 度 測 定	オーステ ナイト 粒度測定	備 考
13	レ	50	1	X	O	O	—	冷却の効果
			2	O	O	O	—	
18	レ	70	3	X	O	O	O	冷却の効果 試験片採取位置 表面2mm下
			4	X	O	—	—	
		70	5	O	O	O	—	
25	レ	90	6	X	O	O	—	冷却の効果 試験片採取位置 表面2mm下
			7	O	O	O	—	
	K	100	8	X	O	O	—	冷却の効果
			9	O	O	O	—	
	V	80	10	X	O	—	—	冷却の効果 冷却は水冷銅板 とビード表面強 制空冷の併用
			11	O	O	—	—	

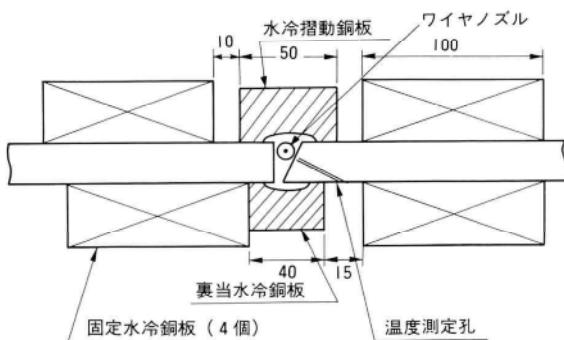


図-7(a) 水冷銅板による冷却方法

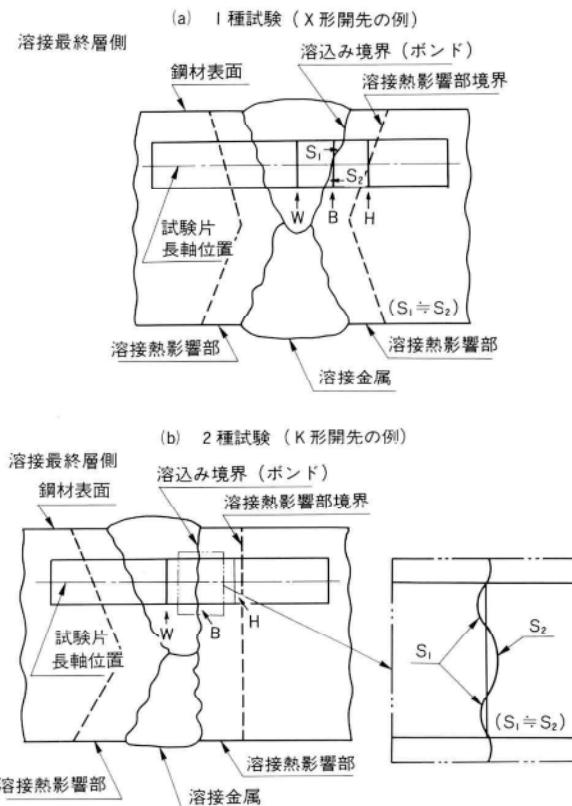


図-5 シャルピー試験片採取位置 (JIS Z 3128)

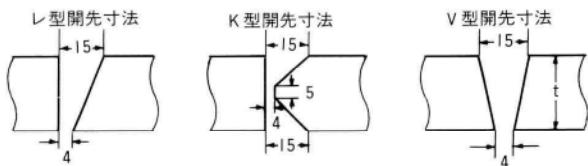


図-6 開先形状と寸法

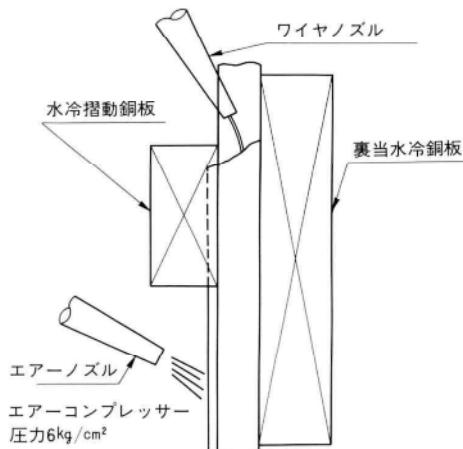


図-7(b) 強制空冷方法

(a) 継手 H A Z 部冷却時間の測定

図-7(a)に示した要領で H A Z 部の温度測定のため熱電対差し込み孔を明け、電磁オシログラフに溶接熱サイクルを記録し、800~500°Cの冷却時間を測定し図-8に示した。温度測定は板厚中央で測定したこともあり、強制冷却は冷却時間にほとんど影響を与えていない。しかしながら入熱量が増加すると800~500°Cまでの冷却時間は比例的に増加している。

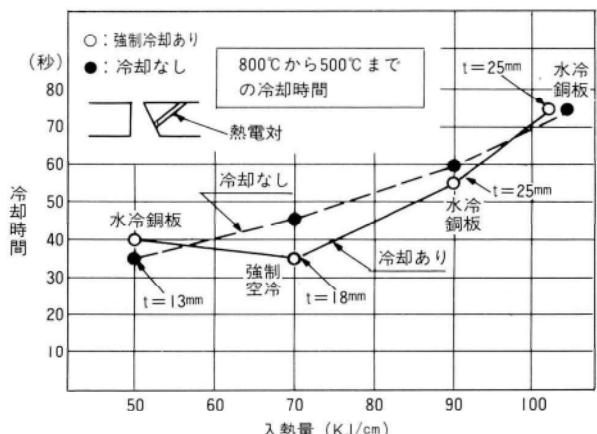


図-8 入熱量と HAZ部冷却時間

(b) 計算入熱量と実質入熱量

立向きエレクトロ・ガスアーク溶接では、溶接電流はそれ程高くないが溶接速度が遅いため計算上の入熱量はかなり高くなる。しかしエレクトロ・ガスアーク溶接は原理的には溶融金属が水冷銅板で囲まれた中で凝固するので、母材の顕微鏡組織に影響する冷却速度は、他の溶接方法での同一入熱と較べて早くなると考えられる。

参考のため H A Z 部の冷却速度の測定結果と顕微鏡組織の観察を基に、別途求められている高張力鋼のC C T 曲線図にあてはめて、フェライトの析出と成長から推定したところ、入熱量基準値設定のサブマージドアーク溶接法に較べ実質的な入熱は20~30 K J / cm 程度低くなることが分った。即ちエレクトロ・ガスアーク溶接での計算入熱10 K J / cmは、顕微鏡組織から見るとサブマージドアーク溶接での計算入熱量80~70 K J / cm位に相当すると考えられる。

(c) 顕微鏡組織試験

板厚18mm、25mmの継手について断面マクロ試片を採取し、板表面から2ミリメートルのところのボンド部、H A Z 部 1 mm、2 mm、3 mm の位置の顕微鏡組織の1例を写真-1~4に示した。HAZ部 2 mm以上に較べボンドおよび



写真-1 顕微鏡組織 (BOND部)



写真-2 顕微鏡組織 (HAZ部 1 mm)



写真-3 顕微鏡組織 (HAZ部 2 mm)

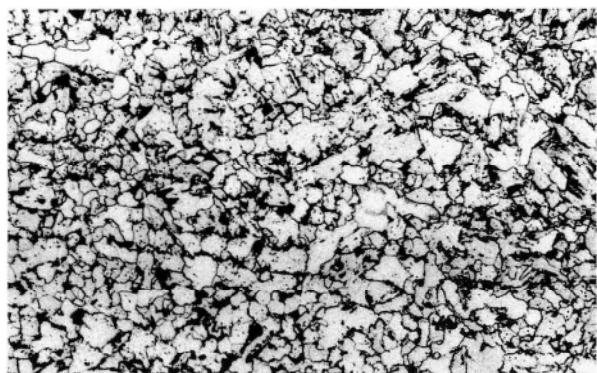


写真-4 顕微鏡組織 (HAZ部 3 mm)

HAZ部1mmでは粗粒化の傾向が認められた。

(d) 衝撃試験

各継手の溶接条件と衝撃試験結果を表-3に示した。図-9に各継手の衝撃試験結果のまとめを示した。図-10に入熱量とボンド部及びHAZ1mmでの衝撃値の関係を示した。全継手においてノッチ位置に関係なく規格値4.8kgf·mを満足できた。又板厚13mm、18mmの比較的薄板では強制冷却の効果が認められた。

入熱量と衝撃値の明確な相関は認められなかつたが、少

くとも入熱の増加によって衝撃韌性が低下している傾向は認められていない。

(e) 断面マクロ試験

各継手について断面マクロ試験を行なったが、欠陥は認められなかった。代表的な断面マクロを写真-5～6に示した。なお各継手とも継手試験片の採取に先立つて放射線透過試験を行つたが、欠陥は全く認められなかつた。

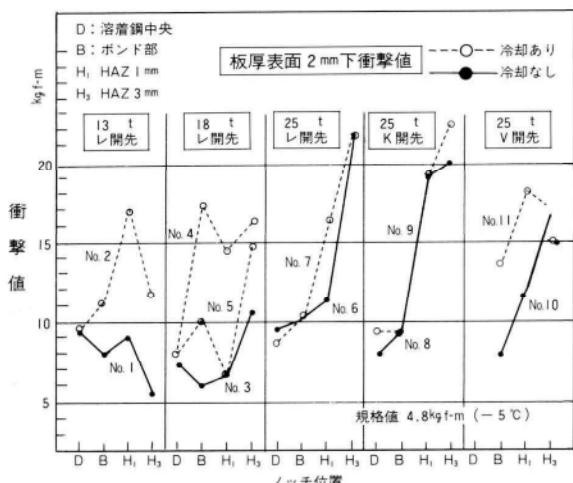


図-9 ノッチ位置衝撃試験結果

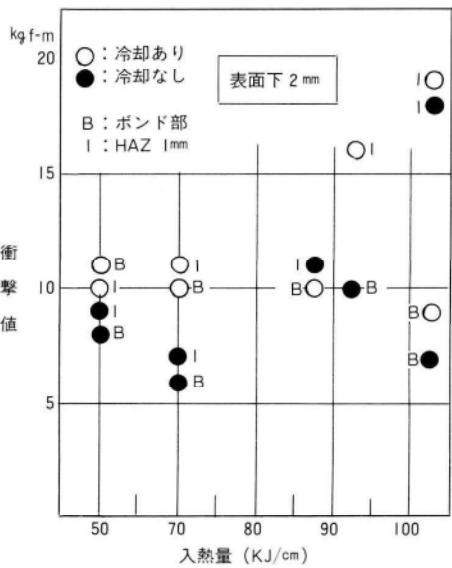


図-10 入熱量と衝撃値

表-3 溶接条件と衝撃試験結果

板厚 mm 開先 形状	No.	冷却	溶接条件				試験片 位置	衝撃値 kgf·m (試験温度 -5 °C)								
			A	V	速度	入熱量		DEPO	BOND	HAZ 1mm	HAZ 3mm	HAZ 5mm				
13 レ開先	1	なし	320	37	cm/min	10.5	表面下 2 mm	9.4 10.2 8.0	9.2 9.4 6.4	8.3 9.4 8.0	8.8 12.7 5.7	9.1 5.2 5.2	5.9 5.2 5.4	21.0 18.9 20.8	20.2	
	2	あり	320	37		50.7	表面下 2 mm	9.1 9.6 9.4	9.4 8.8 11.2	13.6 12.9 17.2	8.0 9.4 11.5	8.0 17.2 17.3	25.6 25.4 25.0	25.2		
18 レ開先	3	なし	380	39	12.5	71.1	表面下 2 mm	7.7 8.0 6.2	7.3 6.7 12.7	5.2 5.4 6.0	2.0 5.4 6.7	16.4 5.2 10.8	24.7 24.5 24.1			
	4	あり	380	39	13.3	66.9	表面下 2 mm	8.0 8.3 8.3	8.2 17.6 16.2	18.1 17.3 19.5	3.5 14.4 17.8	19.5 14.4 16.2	25.6 25.0 25.1			
	5	あり 強制空冷	38.	39	12.5	71.1	表面下 2 mm	8.6 8.1 8.1	8.3 13.1 6.2	11.7 10.3 5.2	7.0 6.3 6.3	15.4 21.1 21.1	21.3 14.9 25.8	23.8 24.4 24.4		
25 レ開先	6	なし	390	40	10.6	88.3	表面下 2 mm	9.4 10.2 9.4	9.6 14.2 6.9	9.1 10.1 7.3	15.3 11.4 11.4	18.4 20.8 22.8	26.5 25.9 26.8	26.4		
	7	あり	390	40	10.2	91.8	表面下 2 mm	8.5 8.8 9.1	8.8 14.2 6.9	9.1 10.1 6.9	15.3 15.3 6.9	22.3 20.0 20.0	20.2 21.5 22.3	20.2 19.2 21.8		
25 K開先 2バス溶接	8	なし	BP 320 FP 320	37	13.5	52.6	表面下 2 mm	6.7 8.3 8.9	8.0 4.5 15.1	10.0 9.9 18.7	19.2 19.2 21.8	19.2 19.5 21.8	24.4 25.0 24.8	24.7		
	9	あり		37	13.5	+52.6 105.3	表面下 2 mm	9.7 9.1 9.4	9.4 9.7 11.1	7.5 9.4 17.6	21.6 19.7 19.2	22.8 22.5 22.5	23.9 25.4 24.6	24.6		
	10	なし	390	40	12.1	77.1	表面下 2 mm	—	—	11.9 7.9	18.1 8.0	18.9 13.3	18.9 17.0	16.9 —	—	
25 V開先	11	あり 銅板と空冷併用	390	40	11.9	78.1	表面下 2 mm	—	—	17.7 11.3 11.0	18.9 13.2 18.9	18.9 17.3 18.3	17.0 15.0 16.2	17.1 — —		

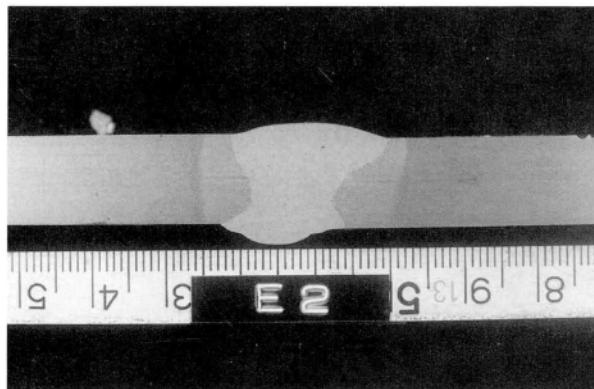


写真-5 断面マクロ（板厚13mm）

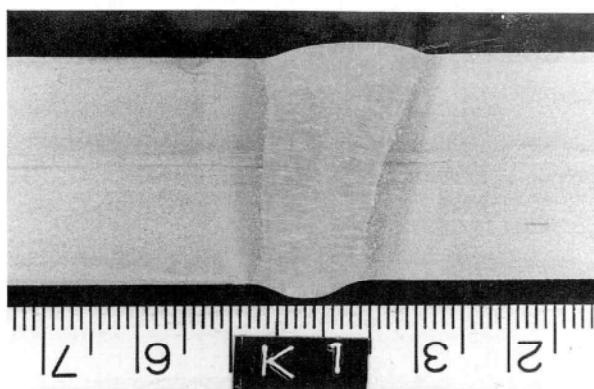


写真-6 断面マクロ（板厚25mm）

4. VEGASのライン化

細幅板継ぎ溶接の専用溶接工法として、立向エレクトロ・ガスアーク溶接システム（VEGAS）の実用化開発を行なった。これらの成果を基に千葉工場板継ぎ溶接工程に同装置を設置すると共に、板継ぎ以後の工程であるビード余盛自動仕上げ装置、幅テーパー自動切断装置および放射線透過試験装置全てをローラーコンベアで結んだ「VEGAS」ラインとして設置した。これらのラインが完全に稼働するのは63年2月の予定であるが、VEGAS溶接装置についてのみ写真-7に示した。又同装置のトーチ回りについての概略図を図-11に示した。

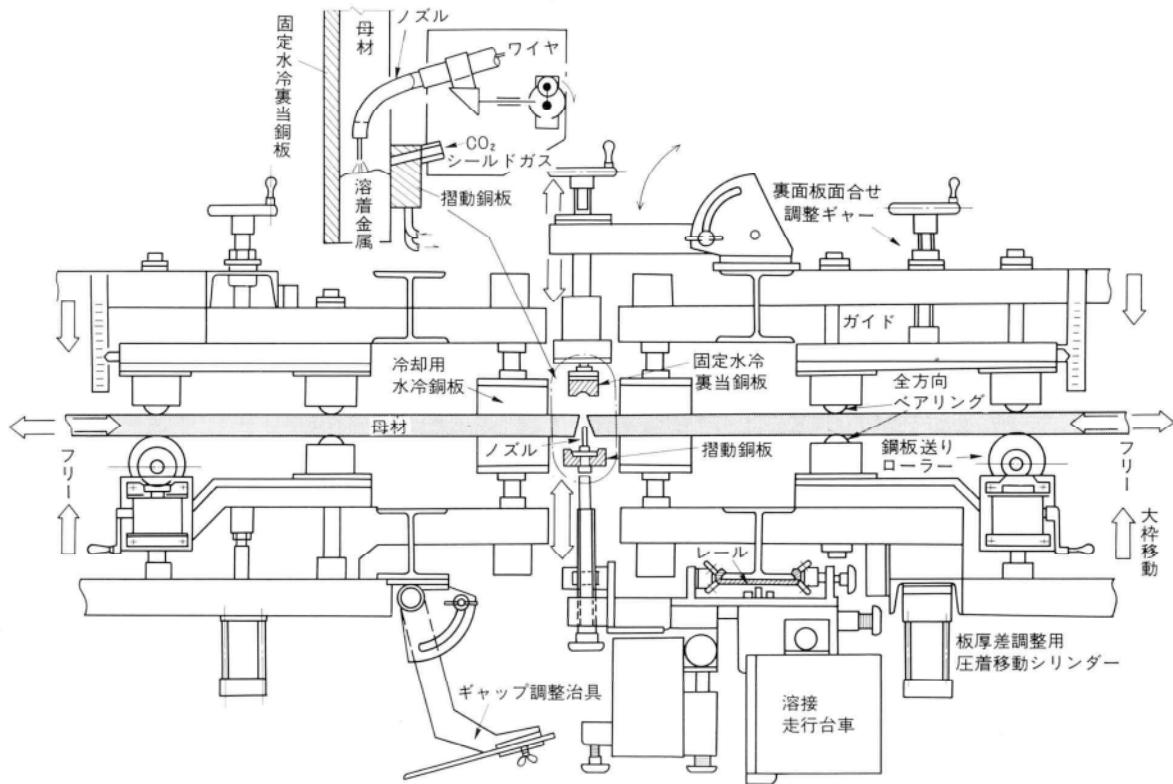
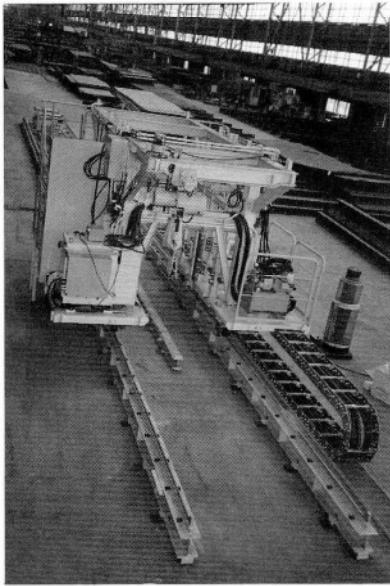


図-11 「VEGAS」溶接装置トーチ廻りの概要



写真－7 VEGAS溶接装置

5. あとがき

鋼橋に使用されている高張力鋼の溶接性に関する品質向上は著しいものがあり、最近では割れ感受性および大入熱脆化感受性の著しく低い高張力鋼TMCP鋼(Thermo Mechanical Control Process)が実用化されている。製作工法もこれらの技術革新の成果を積極的に取り入れ、鋼橋としての機能や品質に関与しない作業や工程、例えば仮付け溶接、溶接後の矯正作業等は、機械化、装置化していくとか、変形のない溶接工法をとるとかして、出来る限り省略していくことが重要であると考える。

本工法(VEGAS)は従来の考え方とらわれることなく、立向き1ラン溶接に挑戦し、十分な施工実験を基にライン化した。今後運用面での多くの改良改善を図りながら、鋼橋の精度および溶接品質の向上に努めていくつもりである。

最後にVEGASにおける本溶接工法の開発にあたっては、日鐵溶接工業㈱の多大なる御尽力がありました。紙上を借りて心から感謝の意を表するものであります。

グラビア写真説明

中郷第二高架橋

日本道路公団の常磐自動車道は、現在は日立北インターで一般道路に連絡している路線であるが、63年3月に勿来までの北伸部分が開通する予定である。中郷高架橋及び日棚高架橋工事は、この北伸部分の下り線「中郷パーキングエリア」を過ぎてすぐの山合いに位置し、3径間連続鉄骨4連づつの2橋からなる工事である。

上空から見ると、工事起・終点でS字型の美しい橋であるが、走行中にはこの景観が見えないのが残念である。騒音の中での休日ではゆっくり休養できない、と思われる方々には、今度開通する部分を利用したドライブコースを推奨したい。歴史愛好家や古い歌を愛する人々の為の「勿来の関」、童謡、唱歌愛好家には、野口雨情の「雨情記念館」、名所巡りでは、「袋田の滝」、「花園渓谷」などがあり、運転に疲れたなら温泉にでもどっぷりと浸かって、明日の英気を養うには絶好の小旅行コースとなるであろう。(藤井)

国道330号橋梁

本橋梁は、県道153号線バイパスと国道330号線とのインターチェンジであり、4本のランプウェイで構成されている。沖縄本島の中部、コバルトブルーの海岸線を見渡せる高台に位置し、付近には真久原遺跡及び牧港貝塚等の文化財も点在している。

昭和62年10月に開催された沖縄国体を目標に施行され、近い将来沖縄自動車道と西原バイパスで連結されるとともに、将来的には西海岸道路整備に連系するものである。また本橋梁は、昭和49年当社施行の浦添大橋に取付くものであり、因縁の深さを感じるとともに、床版打設後現場において行なった大鍋のヒーヤー(山羊料理)の味は格別であった。また早い時期にこのような機会に巡り合えることを願っている。(尾崎)

ロボットによる ボックス柱厚板ダイヤフラムの溶接施工

The Welding of Thick Diaphragms in Box Columns by Using Robots

田 中 一 男* 千 葉 正 幸**
Kazuo TANAKA *Masayuki CHIBA*

Summary

In the steel frames of the building, thick diaphragms of box columns were welded in multiple layers by a robot.

In developing this method, various thicknesses of plates, combined with different gaps of welding routes, were tried experimentally, and from these experiments, the welding conditions were decided.

In designing the Systems, the efficiency and the problems of the welding work were also examined. As a result, the expected welding, both in quality and economy, was obtained.

1. はじめに

近年産業界では非常に多くの分野において多種類のロボットが使用されている。

最近のロボットは単にプログラムされた通りに動く自動機械にとどまらず、センサーにより外的条件（対象物の変化等）を検知し、ロボット自身が状況判断しながら動作したり、インプットするプログラムの量を極力少なくして内部演算の機能を充実する傾向にある。

ロボットは制御技術の進歩と共に発達しており、複雑な動作をするにとどまらず、上述の様に判断能力を持った物へと進んでいる。

溶接の分野でも、自動車の生産ラインに組み込まれた大型スポット溶接から、数十ミクロンの電子部品の溶接まで、多種多様な溶接ロボットが使用されており、鉄骨橋梁業界に於いても徐々に使用実績が増加して来ている。

宮地技報 3号で、「ボックス柱自動生産ラインの実用化」として紹介したが、本報ではその中で使用されているダイヤフラムの溶接にロボットを使用し、厚板の多層盛り突合せ溶接を行なっているのでそれについて報告する。

2. システムの概要

本報で紹介するロボットは、下向姿勢で溶接する為に

ボックス柱を直立させる大型ポジショナーと、ロボットを所定の位置に上下する為のゴンドラから構成する大型装置の一部となっている。

図-1に示す様に上下移動装置の上に、ロボット本体(ARC MAN-GX 210特(株)神戸製鋼所製)と、左右移動装置(スライダー)を各々2基搭載し、4本のボックス柱のダイヤフラムを下側より順次溶接して製品を完成させる。¹⁾

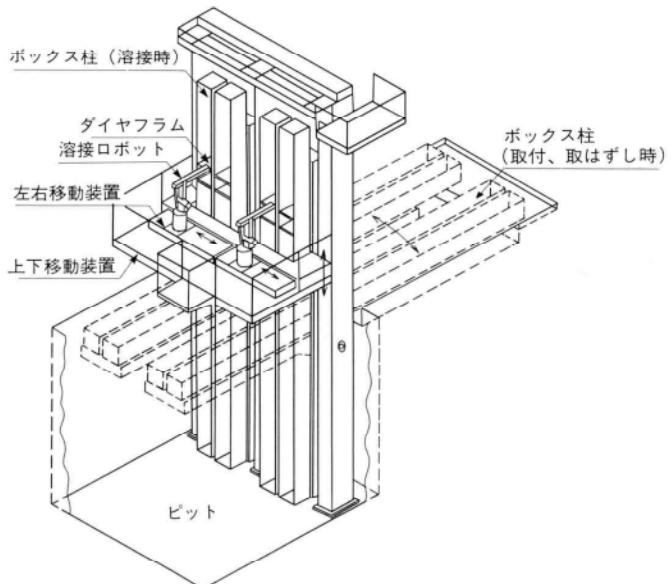


図-1 システム概要図

* 松本工場製造部副部長

** 松本工場製造部生産技術課

ロボットは、5軸多関節型のティーチングプレイバック方式であり、スライダーはロボット側からの指令により同期移動が可能である。溶接電源は600A 100%デューティーの特注仕様の物を使用している。

ロボット制御盤及び溶接ワイヤー(300kgパック巻)は、床面上に設置しており、長尺ケーブル、コンジットで連結されている。

3. 溶接条件の設定

溶接方法は、炭酸ガス溶接でフラックスコアードワイヤー 2.0ϕ 、C O₂ガス100%を使用し図-2の開先を標準的に使用している。

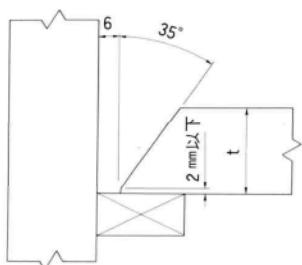


図-2 標準開先形状

(1) 多層盛り溶接

本システムの設計に当って多層盛り溶接の出来る事がロボット選定の必須条件であった。

多層盛り自動溶接は、図-3に示すごとくウェーピング振幅を除く4つの位置コントロールをし、なおかつ溶接中は

- ① 溶接電流
- ② 溶接電圧
- ③ 溶接速度
- ④ ウェーピング振幅
- ⑤ ウェーピング速度
- ⑥ ウェーピング両端停止時間

の6要素について制御しなくてはならず、合計12の要素について各層毎にロボットに指令する必要があるため、種々の板厚・ルート間隔毎に一定の組合せを実験により選定した。

この組合せは理論的には無数に存在する事になるが、電流、電圧、速度等はそれぞれあるレンジに於いて同一条件と見なす事が出来るから、実務的にはいくつかの組合せとして決める事が出来る。

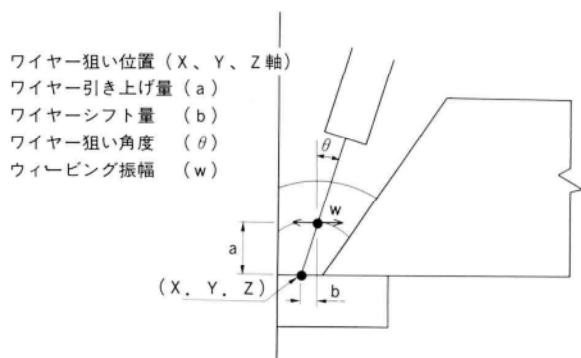


図-3 多層盛の基本形

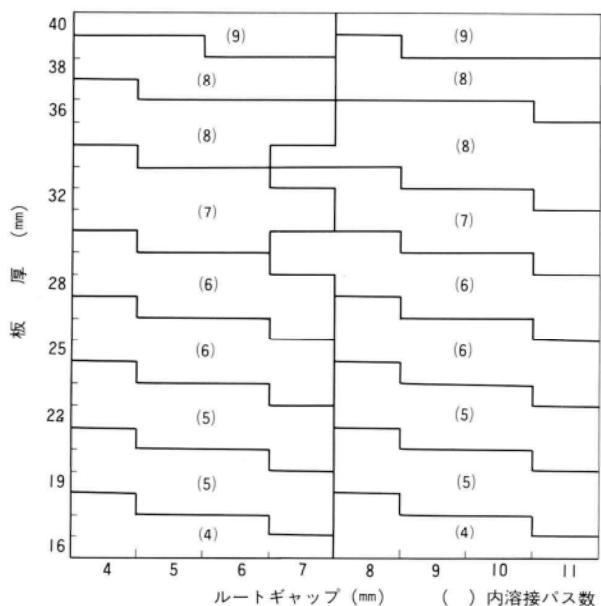


図-4 同一溶接条件適用区分

実験は、数種の板厚毎に(16mm~40mm)ルート間隔を変化させ(4~11mm)、合計48種について行なった。図-4にその結果を示す。図では板厚・ルート間隔毎に同一溶接条件で施工可能な条件を一つの枠で表わしている。

(2) ロボットの機能

実施工において、板厚・ルート間隔毎に前述の条件を教示していたのでは、ティーチング時間ばかり膨大なものになり作業効率が極端に悪くなってしまう。

ここでロボットの保有する多層盛機能について述べる。

一般に溶接ロボットは基本条件として下記の機能を具備している。

- ① X Y Zの座標認識と指令位置への移動
- ② 移動速度及び移動軌跡の制御
- ③ 手首軸の方向制御(トーチ角度制御)

- ④ 溶接電流・電圧制御
- ⑤ アークスタート・ストップ、クレーターフィラー
- ⑥ ガス流制御（プリ・アフターフロー）
- ⑦ 位置検出あるいは値い制御
- ⑧ 外部同期

この他に、最近は各種の機能が附加され、出来る限り作業性、経済性の向上を計り、適用範囲の拡大を意図して開発が進められている。

本システムでは、前述のARCMAN-GXを使用している。標準仕様の抜粋を表-1に示す。

このロボットの特徴は、厚板の多層盛り溶接が可能で、溶接条件をデーターバンクと呼ぶ記憶領域に格納し随時呼び出して使用する事が出来る。

このデーターバンクは、各層毎に表-2に示す内容を必要パス数だけ入力し、一つのDATA No.として登録

表-1 アークマンGXの標準仕様

形式		GX210	
項目			
構造	5. 自由度、間節形		
駆動方式	ACサーボモータ駆動		
位置再現精度	±0.2mm		
重量	250kgf		
表示方式	P.T.P.表示		
制御軸数	同時5軸制御		
制御方式	直線、内弧補間によるCP制御		
記憶容量	標準：1500ステップ相当 最大：6400ステップ相当（オプション）		
プログラム集	プログラム数 99 ブロック数 30 修正、追加、削除機能あり		
速度設定	エアカット区間：3~100mm/min 溶接区間：1~300cm/min		
補間機能	直線および円弧		
ウェービング機能	ソフトウェアコントロール		
溶接条件	脚長もしくは板厚の指定により最適条件が自動的に設定される。		
自動設定機能	対象開先：水平すみ肉、下向すみ肉、重ねすみ肉		
センシング機能	ワイヤアース法による溶接開始点位置検出および アークセンサーによる上下左右の溶接線値い		
オプション仕様			
データバンク機能	条件数9（25パス/1条件） 最大バス数 100		
外部記憶装置	カセットレコーダー		
周辺装置の制御	移動装置：2軸×1台 ポジショナ：2軸×2台 3台まで接続可		
周辺制御	移動装置の第2軸との同期制御、ただし溶接区間のみ		
ポジショナ連動	ポジショナの第2軸との運動制御 ただし溶接区間内の指定部のみ		
3点シフト機能	全体シフト：全プログラムのシフト プログラムシフト：指定プログラムのシフト		

表-2 データーバンク入力パラメーター

DATA NO. 1 データーバンクNo.

GROOVE J 開先種別
TOTAL PASS 6

PASS 01

1450 WELD.I	450	A	溶接電流
2097 WELD.U	97	%	溶接電圧
3035 WELD.S	35	CM/M	溶接速度
4000 WAVING			ウェービング条件
WIDTH	0	MM	ウェービング幅
NUMBER	0	/M	ウェービング速度
W.DWELL	0.0	SEC	ウェービング停止時間
500 SHIFT1	0	MM	左右シフト量
600 SHIFT2	0	MM	上下シフト量
700 SHIFT3	0	MM	アークスタート時左右シフト量
800 SHIFT4	0	MM	アークスタート時上下シフト量
9070 CRAT.T.	7.0	SEC	クレーター処理時間
A350 CRAT.I	350	A	クレーター電流

出来る機能である。（25パス/1種、25種類）

もう一つの特徴は、直径2.0φのフラックスコアードワイヤーを使用し、大電流溶接を行なえる様に電源、トーチ、ケーブル類を大容量化している事が上げられる。

図-5にロボットの系統図を示す。

（3）初層溶接の検討

欠陥の無い溶接を行う上で、初層溶接は特に重要であり、ルート間隔により溶接条件が左右され、結果にも大きく影響する。そこでルート間隔と溶接条件の関係について検討した。

ルート間隔が4mm未満の場合には、ガスノズルと開先面が接触し溶接不可能となるので修正が必要である。

ルート間隔が広い場合は、初層からウェービングが必要である事は容易に想像出来る。

図-6に初層ウェービング無しで溶接した場合の実験結果を示す。

ルート間隔4~11mmまではウェービング無しでも良好な溶接の出来る事が確認された。

電流・電圧については後述する様に溶材固有な条件として決定できる。

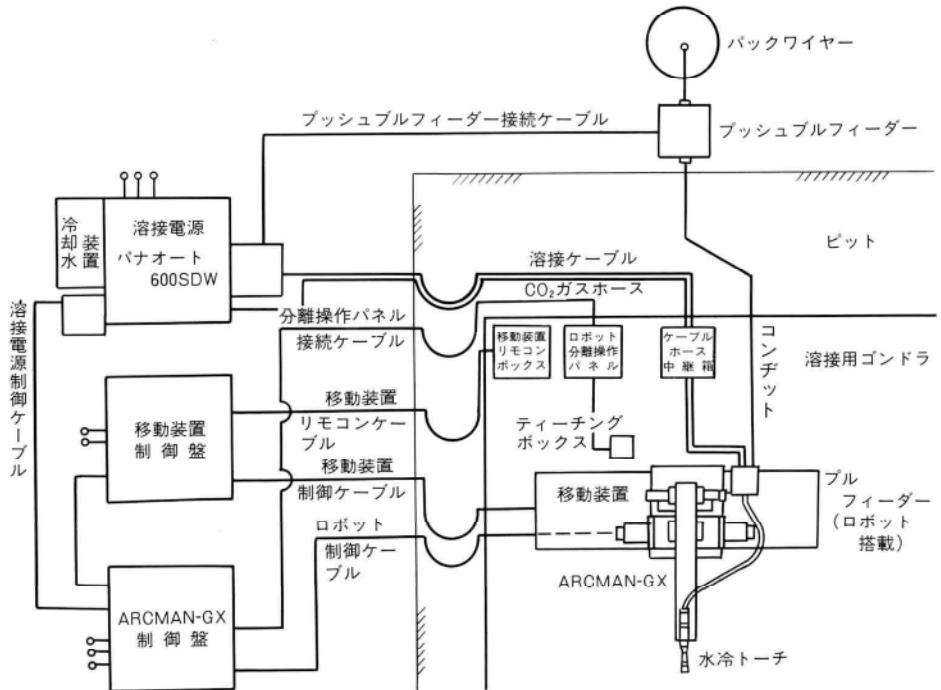


図-5 ロボット系統図

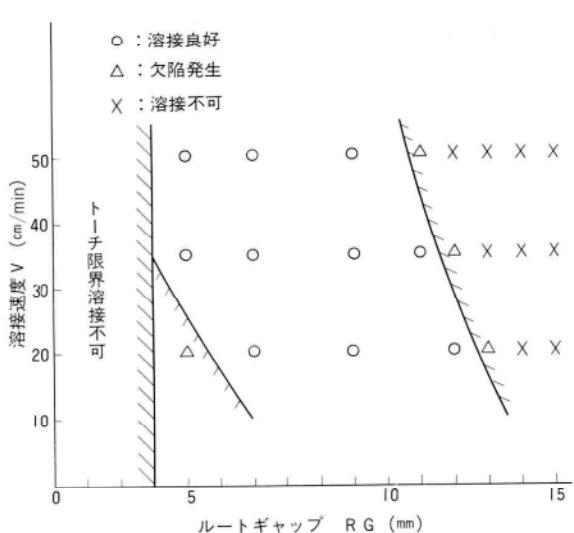


図-6 初層の溶接欠陥発生限界（ウィービング無しの場合）

(4) 各層の溶接

各層毎の溶接条件は溶接材料の種類・直径及び溶接姿勢によりおのずからある範囲に限定される。

MX-100 2.0φ下向姿勢の適性溶接条件範囲を図-7に示す。²⁾

ウィービング振幅、ウィービング回数及び両端停止時

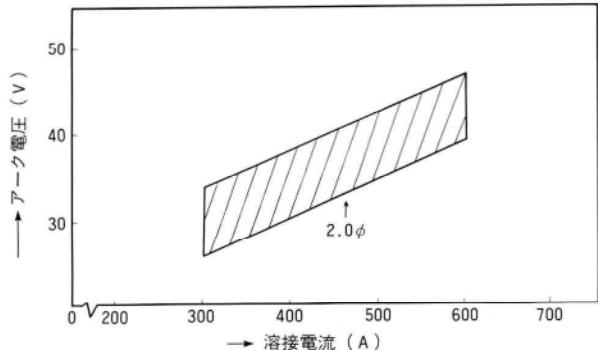


図-7 MX-100の適正溶接条件範囲

間は、開先両側の母材を充分溶融しながらアンダーカットを残さない様に一層当りののど厚を5~7mm程度になる様に決定した。

図-8に板厚25mmと40mmの場合の各層毎ののど厚の例を示す。又、図-9に板厚40mm、ルート間隔6mmの場合の各層毎のワイヤーねらい位置及びウィービング幅の例を、写真-1にマクロ断面を示す。

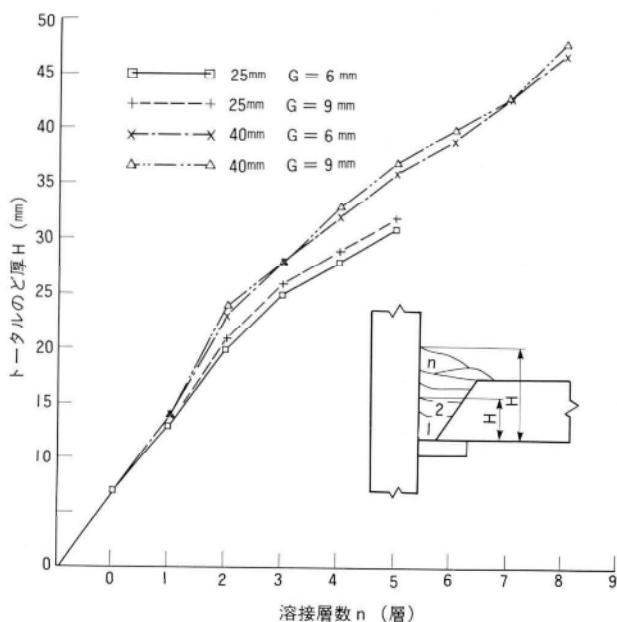


図-8 溶接層数とのど厚

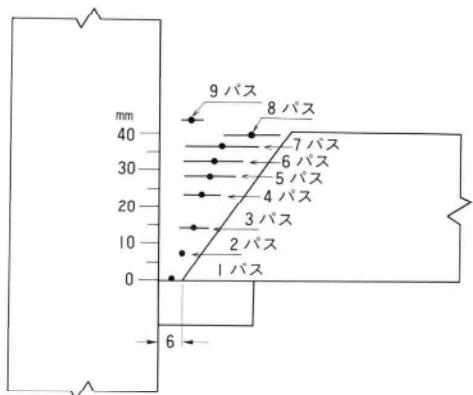


図-9 40mmワイヤー狙い位置・ウィービング幅図

(5) テーパーギャップ

実際の施工では、切断誤差あるいは組立誤差によって溶接開始側と終了側のルート間隔が異なるテーパーギャップがしばしば発生する。

ルート間隔が、4～6mm、6～9mm及び4～9mmの3種類の組合せについて実験を行なった結果、始端端でルート間隔が異なってもギャップ7mmを境にして条件を変える事によって対応出来る事が確認出来た。

写真-2にギャップ4mm～9mmに変化した場合の断面マクロを示す。

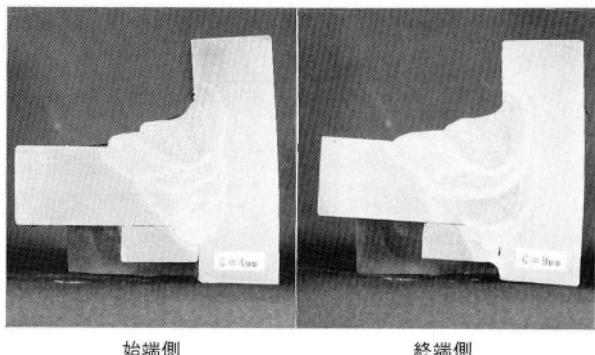


写真-2 テーパーキャップ

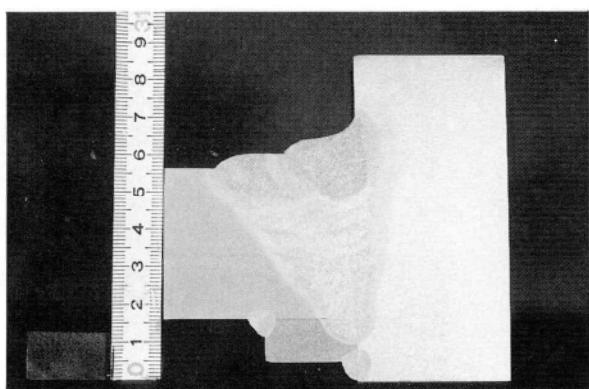


写真-1 40mmマクロ断面

4. 溶接部の機械的性能

溶接部の機械的性能は、基本的には溶接の種類が同じなら同じ性能を有するはずである。

図-10の試験体で、ロボット溶接及びCO₂ソリッドワイヤの半自動溶接で試験を行ない、その結果を表-3及び写真-3に示す。

いずれの値も規格値を満足しているが、全般にロボット溶接の場合が低い値を示している。これは半自動溶接に比べ電流が高い為、入熱量が多く一パス当たりの盛り厚が多い事に原因していると考えられる。

表-3 機械試験結果

	板厚 ルートギャップ	溶接条件	継手引張り試験			溶着金属引張り試験			曲げ試験		シャルピー衝撃試験 Kgf-m					
			降伏点 kg/mm ²	引張強度 kg/mm ²	破断位置	降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %			Depo	Bond	Haz			
									裏曲げ	側曲げ	個々	平均	個々	平均	個々	平均
CO ₂ 半自動溶接	t=25mm RG=6mm	280A 34V	40.2	58.4	母材	43.6	57.2	30.8	良	良	8.6	20.0	17.4			
											12.6	10.1	17.4	18.4	17.5	18.4
											9.2		17.8		20.2	
ロボット溶接	t=25mm RG=6mm	520~580A 42~45V	36.9	54.1	Depo	36.1	54.3	37.6	良	良	2.9	3.1	8.2			
											2.9	3.0	3.6	3.2	9.5	8.1
	t=40mm RG=6mm	520~580A 42~45V	36.7	52.5	Depo	34.1	56.1	35.0	良	良	3.1	2.9			6.6	
											3.8	4.8			15.8	
											4.0	3.6	4.6	4.7	15.8	15.5
											3.1		4.6		14.9	

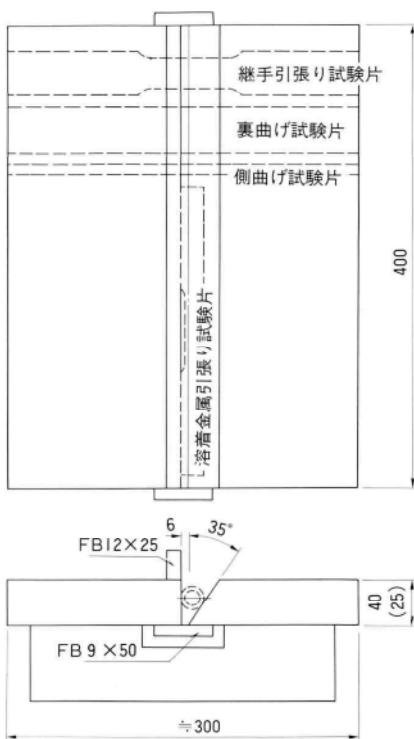


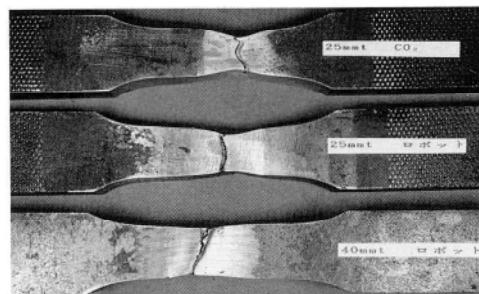
図-10 試験体形状

5. 実工事への適用

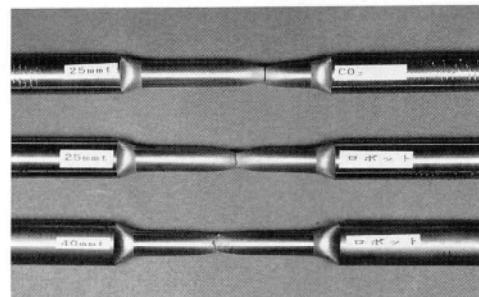
(1) ティーチング

ティーチングは、初層の溶接を行なう為の位置と板厚、ルート間隔に適合した溶接条件を格納したデーターバンクNo.を教示するのみで全層の溶接を行なえる。図-11に1台のロボットで2本の柱を溶接する時のティーチング例を示す。

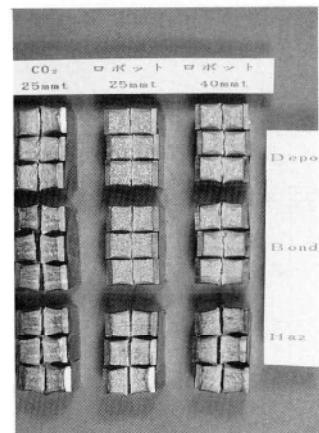
柱サイズ、ダイヤフラム板厚に関係なく30ポイント、62ステップのプログラムを入力すれば溶接可能であり、



継手引張り試験



溶着金属引張り試験



シャルピー衝撃試験

写真-3 機械試験結果

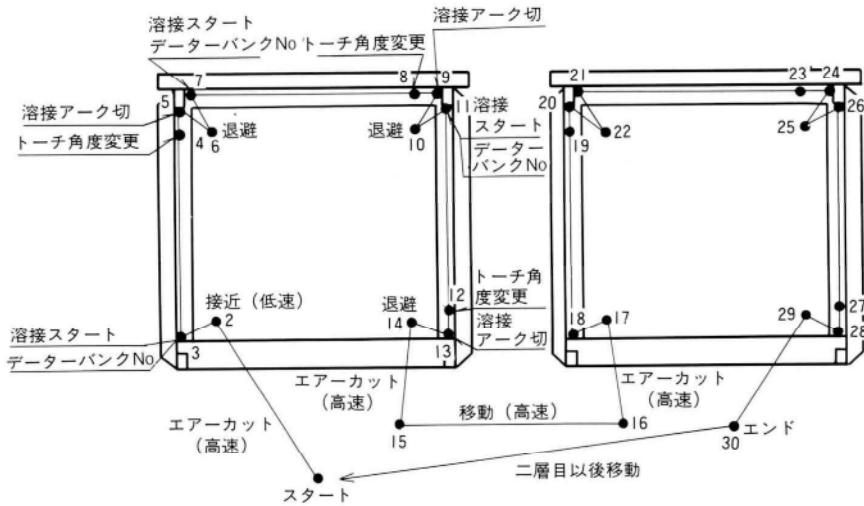


図-11 ティーチング

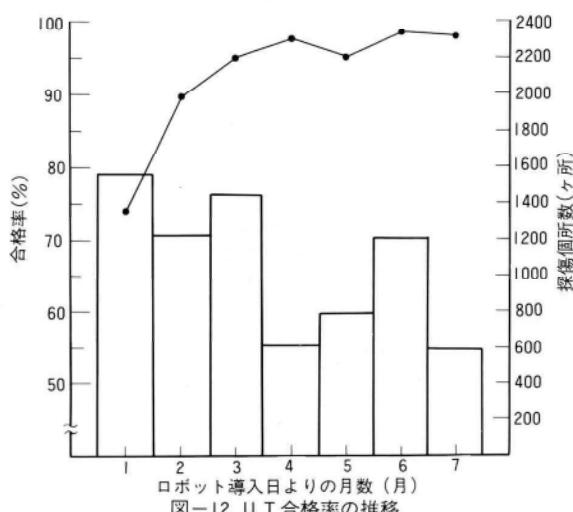
時間にして15~20分を要しており作業時間全体の約14%（柱4本ダイヤフラム枚数計24枚の場合）となっている。
(作業能率については後述する)

(2) 溶接欠陥

今まで8工事、約3200tもの施工をし約7000個所の超音波探傷検査³⁾を実施した。

その結果図-12に示す様に、導入当初は作業者の熟練度不足及び後述する問題等の為合格率70数%の低い状態であったが、現状では98%程度の合格率を維持している。

これは、一般の建築工事で品質基準の目安としている合否判定合格率の95%位を充分クリヤーする内容である。残り2%程の欠陥についても改善の努力をしているが、主としてルート間隔の狭ま過ぎあるいは、裏板取り付け不良などの組立精度不良に起因する物が多い。



(3) 作業能率

表-4に本システムで溶接した場合と、CO₂半自動溶接で施工した場合の作業能率の比較を示す。

ロボット溶接の場合、1人1時間当たり59m/Hと半自動溶接の約2.1倍の能率となり初期の目的を達している。

又一回の作業シーケンスに於ける各要素作業の所要時間の実測例を表-5に示す。

これで分かる様に、アーク発生率76%と非常に高い値を示し有効に稼働している事がうかがえる。

表-4 作業能率の比較

溶接方法 項目	CO ₂ 半自動溶接	ロボット溶接
柱本数	157	137
ダイヤフラム厚さ	19mm~40mm	
溶接個所数	3036	2736
溶接量	37617m	33392m
溶接時間	1348.4H(延人工)	566H(2台作業)
溶接能率	27.9m/H	59m/H

表-5 ダイヤフラム溶接に対するロボット溶接所要時間

対象物	柱セット数4本	ダイヤフラム6ヶ所
	板厚25mm	ルートギャップ6mm
柱取付時間	9分40秒	1.3%
ゴンドラ移動時間	3分20秒	0.2%
ティーチング時間	17分×6ヶ所×2台=204分	13.7%
溶接時間	94分×6ヶ所×2台=1128分	75.5%
タイムラグ	20分×6ヶ所=120分	8.0%
柱取はずし時間	18分20秒	1.3%
合計	1493分20秒	100%

6. 装置設計上の問題点

(1) ドーナツ角度

ボックス主材で前方・左右を、ダイヤフラムで上下を囲まれた狭隘空間で、開先内部が十分見通せない個所をロボットで溶接する場合は、いかに適正なトーチ角度を保持するかがきわめて重要な問題となる。

トーチの取付け角度は設置当初60°で設定した。しかし、ダイヤフラムの上下間隔が狭い場合ロボット第4軸と下側ダイヤフラムの一部とが当ってしまい、適性なトーチ角度を保持出来ず塗接欠陥が発生した。

そこでトーチ取付角を変更し欠陥を防止する事が出来た。(図-13)

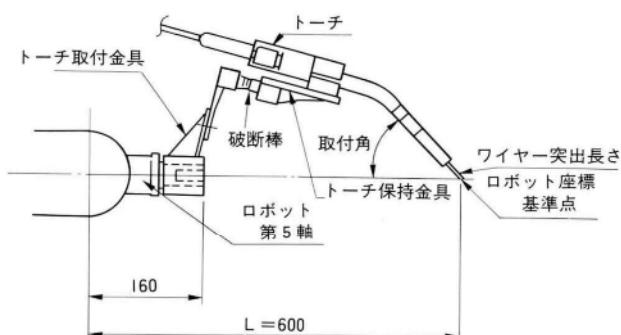


図-13 トーチ取付部

(2) 溶接輻射熱の影響

トーチの衝突などによりロボットのアームに衝撃が加わらない様にする為に、トーチ取付金具と保持金具の間をペークライト製の破断棒で連結している。

ところが、径2.0φの溶接ワイヤーを使用し、450A～550A位の高電流で溶接する為、強烈なアークの輻射熱が発生し、その熱の為に破断棒が収縮変形を起こし取付けが緩んでしまう事故が発生した。

ティーチング時に正しい狙い位置を設定しても、中間層でワイヤ狙い位置不良が原因と思われる欠陥が発生し、ひどい時はアークがずれた位置に発生する事もあった。

この対策として、輻射熱防護カバーを取り付ける事により、破断棒の温度上昇が $180^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$ あったのが、 $60^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 程度にまで下降し耐久性も一段と向上し、品質も安定する様になった。

(3) 再アークの発生

ロボットに限らず自動溶接の場合、アーク中断後再びアークを発生する場合、直前に溶接したビード表面のスラグあるいはワイヤー先端の酸化被膜の為アークが発生し難いのが普通である。特に本システムでは、フラックスコアードワイヤーを使用している為、ソリッドワイヤーに比べややスラグ量が多く再アークの発生が悪い。

この対応策として、一定回数アースタートを試みるリトライ機能を有しているロボットもあるが、今回使用したロボットにはこの機能が備わっていない。この為4～5層溶接毎にスタート部のスラグを除去せねばならず作業中断を余儀なくされている。

7. 結び

以上、溶接ロボットの一使用法について述べた。ロボットの機能面でも、装置としても今後まだ改善しなくてはならない点もあるが、溶接品質・経済性・作業性の点では当初の目的を達していると考えている。

鉄骨橋梁の生産でも、将来組立ロボット(NC組立装置)その他の物も開発され使用される様になるであろう。

はじめに述べた様に、ロボットは急速な進歩をしており、センシング技術の進歩と相まってより使い易い物が続々市販されると思われる。

今後、生産の合理化を進める中で今回の経験を生かし、自動化、ロボット化に取り組むつもりである。

最後に、本システムを製作するに際し多大な協力をいたいたいた(株)神戸製鋼所 溶接棒事業部の関係者の方々に
対し、この紙上を借りて感謝申し上げる。

〈参考文献〉

- 1) 田中; ポックス柱自動生産ラインの実用化、宮地技報No.3、1987年3月
 - 2) (株)神戸製鋼所; 炭酸ガスアーク溶接用 フラック
スワイヤMX100について、溶参資料第884号、1985年11月
 - 3) 日本建築学会; 鋼構造建築溶接部の超音波探傷
検査規準・同解説、1979

ウェブに腐食欠損を有する古桁の耐荷力試験

The Ultimate Strength Test for Aged Steel Girders with Corrosion Loss on Web.

清水 功雄* 佐藤 徹** 林 兼生***
Isao SHIMIZU Tohru SATOH Kaneo HAYASHI

Summary

The tested plate girder had rivet joints, and had corrosion loss on the bottom web throughout the span, due to continuous immersion in seawater for many years.

We examined the process of destruction and, by conducting a loading test, how the loss influenced the bearing strength of the plate girder.

We also investigated the nature and welded conditions of the steel members and the reliability of the corroded rivets as data for the maintenance of other contemporary aged steel girders.

This report outlines the test results.

1. まえがき

鋼桁の補強・補修工事の重要性は、近年特に注目されるところである。その設計にあたり、既設桁の耐荷力と材料の性質をできるだけ正確に把握する事が、安全上からも重要である。

鋼I桁のウェブが、腐食により大幅に断面欠損した事例はよく見かけるが、その計算による耐荷力の評価に関する報告は余りなされていないようである。

筆者らは、地盤沈下により桁位置が下がり、運河の干溝によりくり返し汚れた海水中に出入りした事で、I桁のウェブ下部が貫通孔を有するほど腐食したりベットI

桁を、架換工事を期に試験桁として入手した。

この昭和初期の震災復興時代に架設された鋼桁を用いて、材料の機械的性質や溶接性などを調べることで、補修を行う場合の基礎資料を得た。さらに、腐食状態を観察するとともに、工場にて載荷試験を実施し、終極荷重を求める一方、ウェブの腐食断面に着目してヒズミ測定を行い、破壊に至るI桁のメカニズムを解こうとした。

本文では、載荷試験の結果までを報告する。

写真-1に撤去前の橋梁（沢海橋・東京都江東区内）の状況を示す。**写真-2**は撤去時の損傷状況である。サビにより層間はく離している状況が解る。



写真-1 撤去前の状況



写真-2 撤去直後の桁の損傷状況

* 技術本部技術開発部付課長
 ** 千葉工場製造部生産技術課

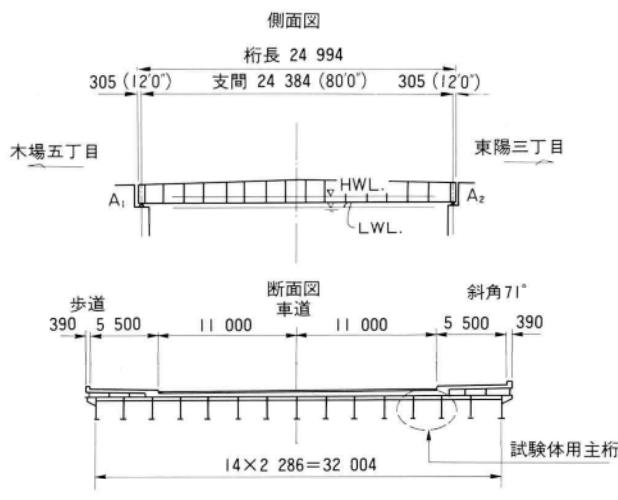
*** 宮地建設工業(株)技術部技術一課

2. 試験桁の損傷状況

(1) 旧桁の寸法諸元

供用時の I 桁の諸元は、支間24.384m(80ft)、桁高は中央で1.841m (6 1/2 in)、支点上で1.473mである。斜角71°、15主桁からなる大幅員の橋梁で主要寸法を図-1に示す。

試験に用いた桁は、外側から 3 番目 (A 桁) と 4 番目 (B 桁) の 2 本である。A・B 桁とも等断面であるが、斜角の影響で補剛材位置が半パネル分ずれており、載荷試験時に工夫を必要とした。旧桁の設計断面は図-2 に示すように、カバープレートを用いたリベット構造である。



(2) 損傷の状況

試験桁は海水により腐食した部分以外は、比較的健全である。上フランジとウェブ上部は塗膜がほとんど無いにもかかわらず、断面減少は見出せない。またリベットヘッドも良好な状態である。上フランジの断面を写真-3 に示す。ここでは、I 桁の下部に着目すると以下の様である。

(a) 下フランジ

下フランジの海水により腐食した断面を、さび落としのあとショットブラストした状況を写真-4 に示す。さらにこの断面を写し取り、板厚の測定をしたものが図-3 である。板厚の減少は、フランジの上面 (L型鋼)、下面 (カバープレート) とも 1.5mm~3.0mm 程度である。この表面の腐食状況はアバタ状の腐食孔ではなく、なめらかな断面減少になっている。この断面の状況は全長を通じて大差ない。

また板の接合面は良好な状況である。

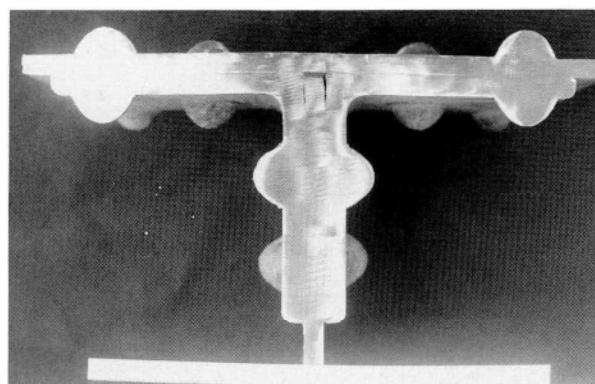


写真-3 上フランジ断面(ショットブラスト後)

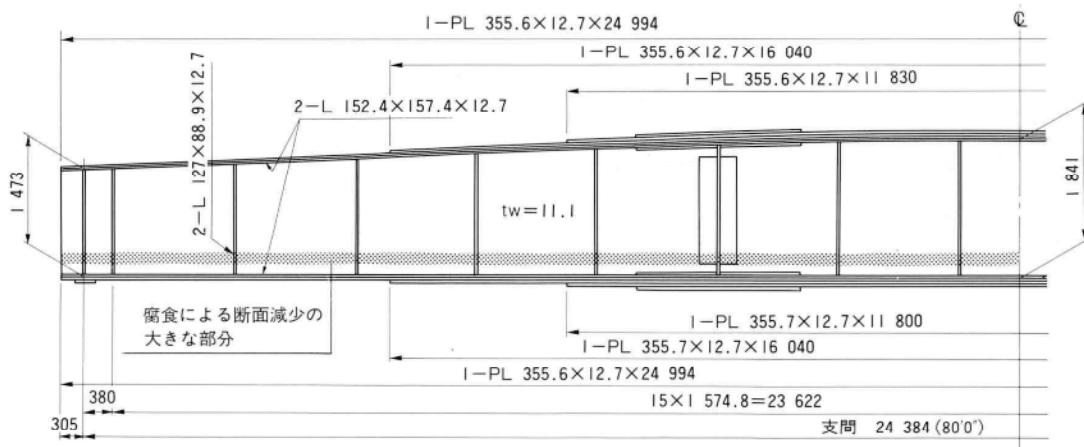


図-2 主桁寸法図

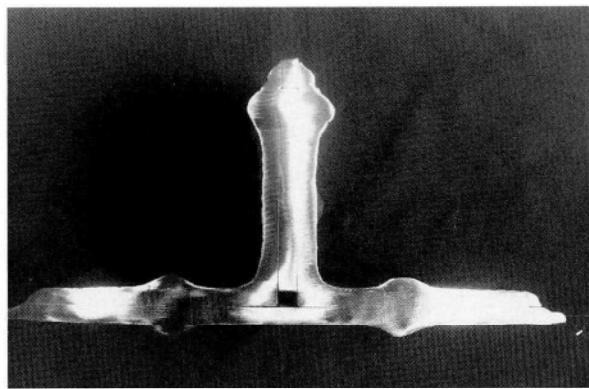
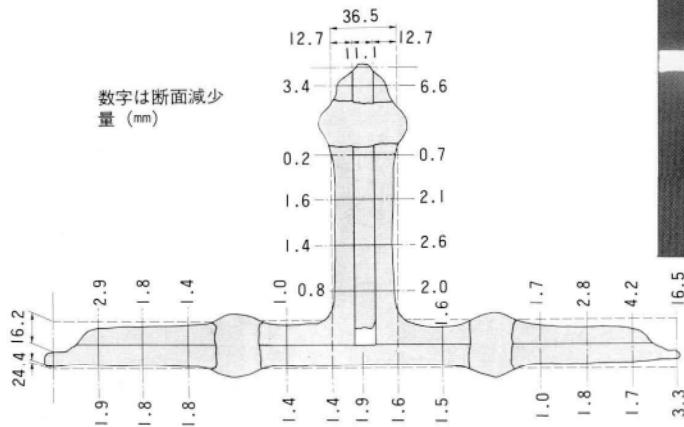


写真-4 下フランジ断面(ショットブラスト後)



(c) 垂直補剛材

写真-7 のように、補剛材（2-L127×88.9×12.7）のウェブ直角部分は下部で断面が無くなる程であるが、ウェブ付の辺は断面減少は2～3mmである。

(d) リベット

リベットヘッドは、**写真-7** のように花の咲いたようなサビの状況で、ハンマーによりほとんどヘッド部分が落ちる。サビ落しを行いショットブラスト後の状態を**写真-4**に示す。このように、リベットヘッドの部分はエッジに3mm、高さで5mm程かかっているにすぎない。

本橋の場合は、このような状況にもかかわらず、リベットのゆるみは発見できなかった。このように、リベット本来の支圧継手としての機能は、ヘッドの腐食にもかかわらず、特に危険はないようである。



写真-7 補剛材下部とリベットヘッドの腐食状況

(3) 使用鋼材の性質

使用鋼材は、L型鋼が八幡製鐵製として解っている他は、板材は不明であった。そこで、機械的強度試験と、化学分析により鋼材の性質を調べた。

(a) 鋼材の機械的性質

比較的健全な部分のウェブと上フランジから採取した板材を試験片に加工して引張試験と衝撃試験を実施した。

素材の引張試験は、ウェブ（t=11.1mm）と上フランジ（t=12.7mm）について**図-5**の試験片によった。

試験結果は**表-1**に示すように、降伏点26.7kg/cm²、引張強さ40～41kg/cm²でJISG3101のSS41の規格25kg/cm²以上、41～52kg/cm²、伸び17%以上に比べて引張強さがやや下まわるもののはばSS41に近く伸びも良好である。

衝撃試験は、0℃について行った。試験結果は**表-2**のようであり、SS41の場合は規定はないが通常SM41の

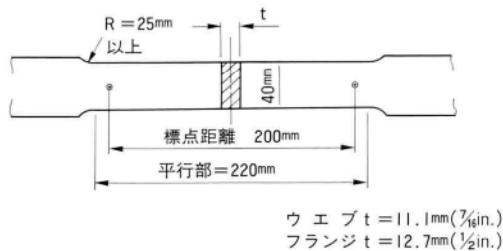


図-5 素材・引張試験片

表-1 引張試験結果

試験片 記号	断面積 (mm × mm = mm ²)	降伏点又は耐力 (kg)	引張強さ (kg/mm ²)	破断伸び (%)	位置	
					ウェブ	フランジ
F	12.7×40.1 = 513.3	13 700	26.7	20 550	40.0	B 29
W	11.1×40.1 = 449.1	11 950	26.7	18 500	41.2	B 25
参考*	SS41 t < 16		25以上	41～52		17以上

F：フランジ W：ウェブ * JISG3101

表-2 衝撃試験結果

試験片 記号	板厚 (mm)	試験温 度(℃)	吸収エネルギー(kg·m)	
			各値	平均値
F	12.7	0	1.6	1.6
			1.8	
			1.4	
W	11.1	0	2.2	3.0
			4.5	
			2.2	

2.8は確保できるので、靭性はやや低い。

(b) 鋼材の化学成分の分析試験

試料はウェブ、フランジおよびL型鋼から各25×50mmを採取した。分析する成分は主に溶接性を調べる目的から、C、Mn、P、Sの4成分とした。分析結果は**表-3**に示すように、参考値のSS41、SM41に比べて見ると、L型鋼のCが相当上まわっている他は溶接性に悪影響を与える要素はない。

表-3 化学成分分析結果

試料名 記号	分析成分	C %	Mn %	P %	S %
鋼材 F		0.18	0.43	0.011	0.028
W		0.17	0.46	0.020	0.038
L		0.32	0.65	0.020	0.034
参考 SS41		—	—	0.05以下	0.05以下
SM41 A		0.23以下	0.57以上	0.04以下	0.04以下

3. 鋼材の溶接施工性

古木の補修・補強では、ウェブへのスミ肉溶接を必要とする場合が多い。ここでは鋼材の溶接性を調べるため

に、最高硬さ試験により溶接熱影響部の硬さを測定し、溶接性を判定した。また十字スミ肉溶接・引張試験により、溶接部の強度を測定した。

(1) 最高硬さ試験

ウェブより採取した試験片に、低水素系溶接棒（S-16）と特殊系溶接棒（SM-50G）によりビードを引き図示の位置での最高硬さ（Hv）を測定したものを図-6、7に示す。この両図よりHvの分布を見ると、熱影響部のHv値が溶接金属部より高くなるような形状は示していない。

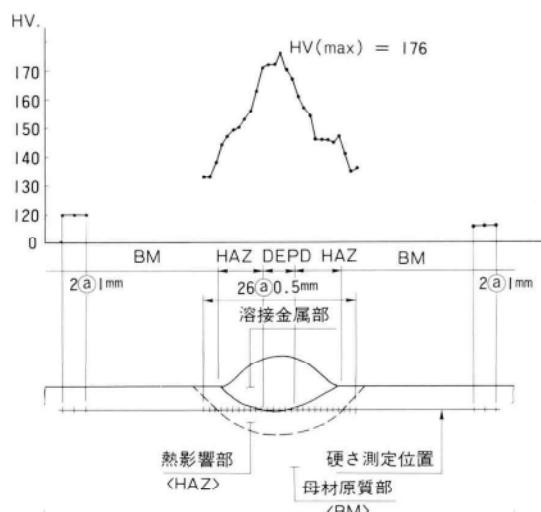


図-6 最高硬さ試験結果(低水素系)

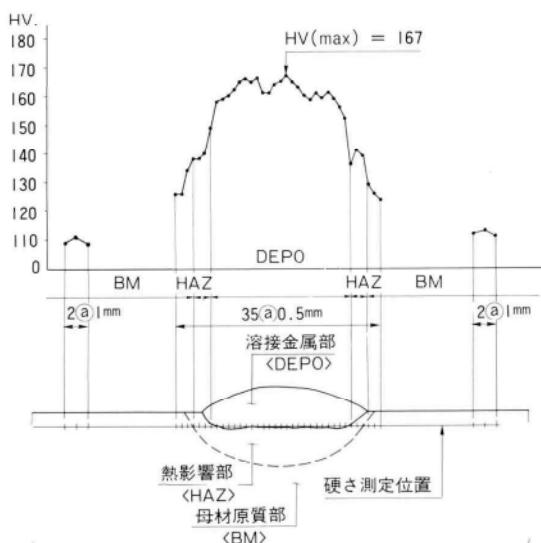


図-7 最高硬さ試験結果(特殊系)

これらの結果から、ウェブの鋼材の溶接性は低水素系溶接棒を用いる事により特に問題はない、と判断できる。

(2) 十字すみ肉溶接継手・引張試験

図-8の試験片により引張強度を測定した。試験は、古桁に新材（SS41）をスミ肉溶接する状態を想定し、図のⒶの材料を試験桁より採取した鋼材、Ⓑを新材（SS41）とした。引張試験結果を表-4に示すように、低水素系溶接棒によるビードを機械仕上げした場合でも母材で破断した。このスミ肉溶接サイズは、いずれもの厚の合計が母材厚を上まわらない事から、スミ肉溶接による施工性は問題ないと見える。

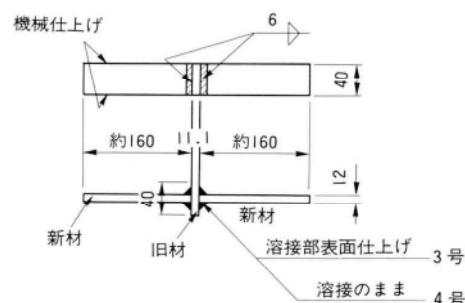


図-8 十字すみ肉溶接継手・引張試験片

表-4 十字すみ肉溶接・引張試験結果

試験片記号	脚長×長さ (mm × mm = mm ²)	最大荷重 (kg)	引張強さ (kg/mm ²)	破断位置	備考
S 1	7.8×40.0=312.0	*21 100	* 44.0	*母材	母材断面積480.0mm ²
S 2	8.1×40.0=324.0	*20 950	* 43.6	//	//
S 3	6.6×40.0=264.0	*20 950	* 43.6	//	(ビード・機械仕上げ)
S 4	7.2×40.0=288.0	*20 900	* 43.5	//	//
M 1	7.7×40.0=308.0	17 100	38.9	溶接部	
M 2	8.0×40.0=320.0	16 900	35.9	//	

4. 載荷試験

前述したような桁の損傷状況から、通常のプレートガーダーのように、フランジの局部座屈あるいはウェブの座屈により最終耐荷力を示すのではなく、別の破壊形状を示すであろう事が予測されたが、その荷重をどの程度に想定するかは予測がむずかしい。

筆者らは、フランジの状態と、補剛材がL型鋼でありラーメン構造的な挙動も合せて考えられる事から、フランジ直応力で、降伏点2700kg/m²程度を想定し、荷重200tを一応の目安として以下の試験用治具を準備した。

(1) 供試体

(a) 支間の設定

前述したように、旧沢海橋は支間24.384m、斜角71°の並列桁橋である。主桁断面は3種類あり、歩道部、車道部および旧都電部（現在は車道）に分かれている。今回は車道部の主桁を用いた。

旧橋の解体時には、作業の時間的な制約と輸送上の安全性から、桁端近くで切断して吊上げた桁を、さらに両端1.5m程を切断し桁長20mとして工場へ搬入した。桁の吊上状況を写真-8に、また吊上直後の桁の腐食状況は写真-2に示した通り表面はボロボロの状態であった。

試験桁は、支点に100t以上の反力が予想されるので、中央載荷点と端支点に溶接により補剛材を新設した。桁の状況から、支間18.327mとして、補剛材位置を決定した。また、中央載荷点は、中央パネルの局部座屈を起さないように約500mmの間隔で2点載荷とした。試験桁の諸寸法を図-9に示す。

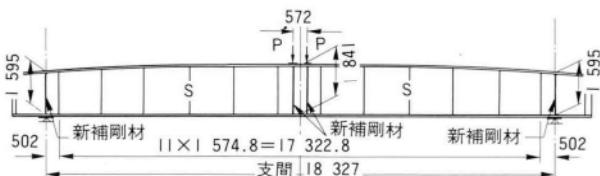


図-9 試験桁寸法図

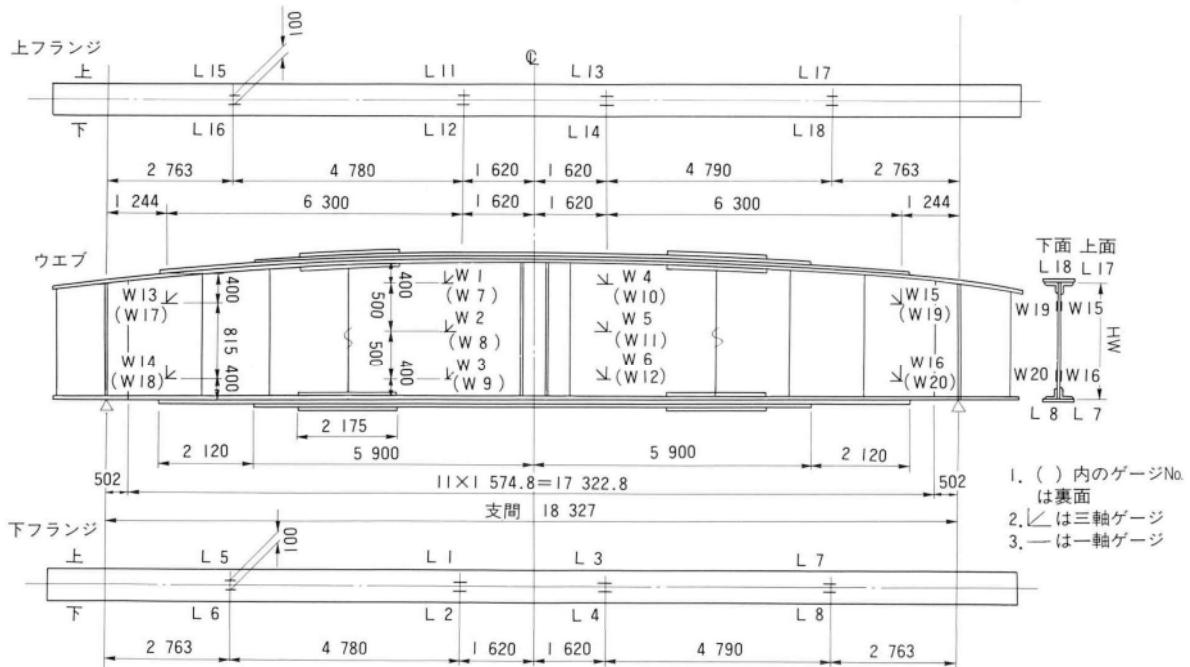


図-10 ひずみゲージ貼付位置

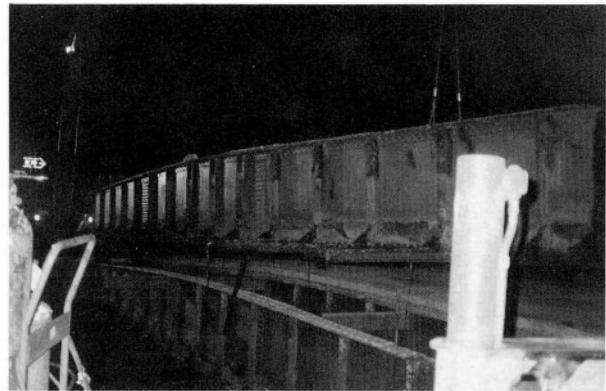


写真-8 試験桁の吊上状況

(b) 測定位置

試験は主桁のフランジ直応力と、ウェブの挙動を主な着目事項としているので、フランジには1軸ゲージを外側に各2枚、ウェブは補剛した中央パネルの隣のパネルと、端部に近いパネルの表裏に各々3軸ゲージをはりひずみを計測した。

ゲージの貼付位置は、図-10のようになる。

特に、ウェブの下側の3軸ゲージ貼付位置は、腐食の進行した位置を選定した。このため板の凹凸が大きく、曲面による誤差が生じる事が予想されたが、表裏である程度キャンセルする事を期待した。これは、ウェブ下部の断面が極端に少いか、完全に孔になってしまっていることの影響をできるだけ測定しようと考えたからである。

(2) 試驗設備

載荷荷重200t以上を想定した上で、試験は工場内のコンクリート床上に図-11のような横置の載荷治具を作り試験した。横置きにした上で、桁の横倒れ防止用フレームを十分配置できたので、安全に試験できた。ここでの問題は、反力桁も荷重に応じてたわむことで、ジャッキのストロークが長くなるが、合計たわみ量100mm以下に対して、ストローク200mmを用いることで対応した。また、桁と架台間のセリにより初期値にもどりにくい心配があったが、初期のキャリブレーションで十分スムーズな動きを示し、測定に影響は生じなかった。

使用ジャッキは、200t・ストローク200mm型2台を電動ポンプに連動させて用いた。ジャッキはあらかじめ、



写真-9 試験設備

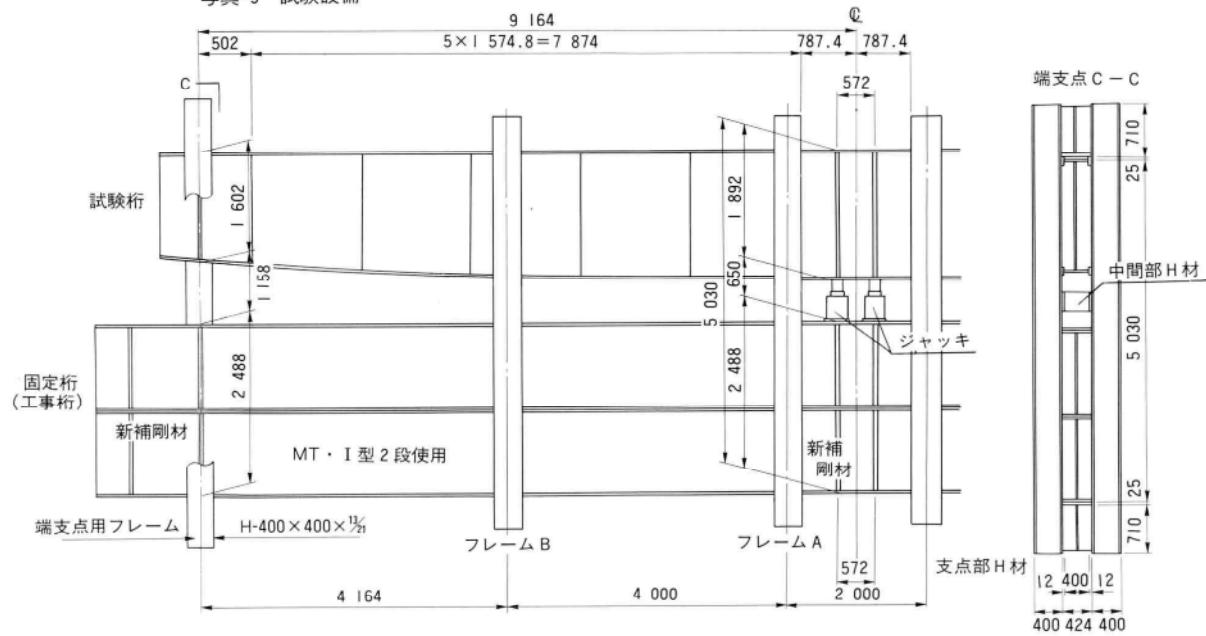


図-11 耐荷力試験設備図

アムスラーを用いてキャリプレーションを行いゲージの読みの誤差を確認した上で使用した。(写真-9)

(3) 試験の状況と結果

試験は、荷重を①0 t → 20 t → 0 t、②0 t → 20 t → 40 t → 0 t、③0 t → 20 t → 40 t → 60 t → 0 t のくり返しを行いながら20 t ずつ増やし荷重一ひずみの直線性と桁の状況を見ながら試験荷重を増加させた。

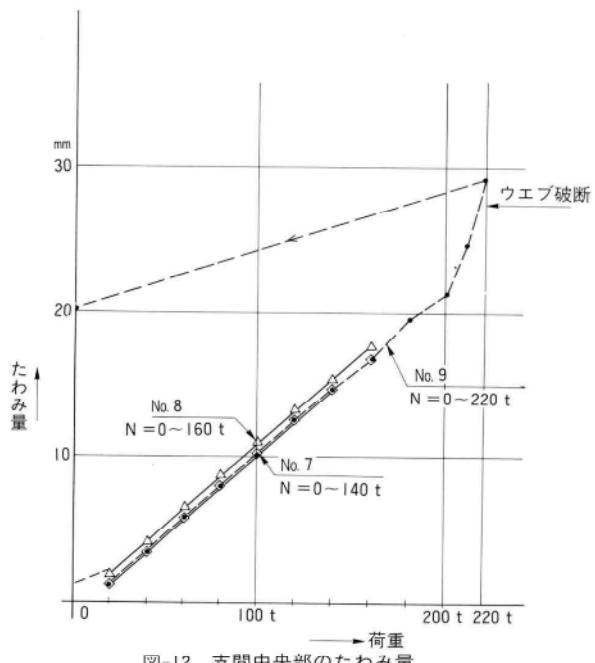


図-12 支間中央部のたわみ量

A 桁では、⑨の $0 \text{ t} \rightarrow 20\text{t} \rightarrow \dots \rightarrow 200\text{t} \rightarrow 210\text{t} \rightarrow 220\text{t}$ の時、 220t の直前で端パネルのウェブ下部の孔あき部が、バーンという音を伴って水平方向に破断した。

この時点の U 1 ~ U 4 の平均応力は 1907 kg/cm^2 、L 1 ~ L 4 の平均応力は 1852 kg/cm^2 である。中央部の荷重 - たわみを図-12 に、フランジの荷重 - ひずみを図-13・14 にまた、ウェブの主応力分布を図-15・16 に示す。

特にウェブの主応力分布は、ウェブの上下端で大きく異なり、下端は方向・大きさとも通常のプレートガーダーとは異なる興味ある結果を得た。

また、B 桁では、 240t を超える耐力を示したが、桁撤去時に、フランジを変形させた影響により、ウェブの破断より前に、上記のフランジ部が局部座屈した。

ここでは、水平方向に破断した A 桁について報告する。

(4) 破断の形状

破断後のウェブの状態を写真-10 に示す。このように端部 1 パネルの補剛材間のウェブが完全に水平方向に切斷された形となっている。

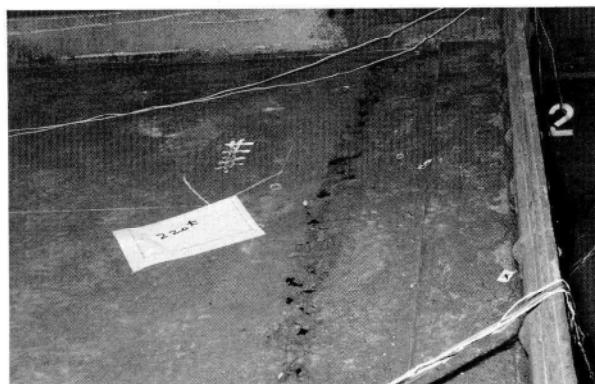


写真-10 破断後のウェブの状態

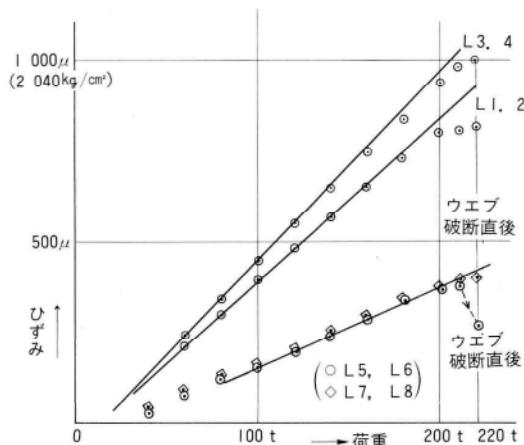


図-13 荷重-ひずみ図(1)下フランジ

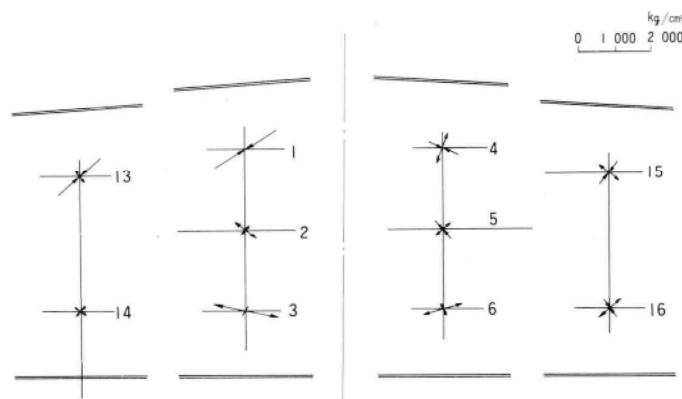


図-15 ウエブの主応力($P = 140\text{t}$)

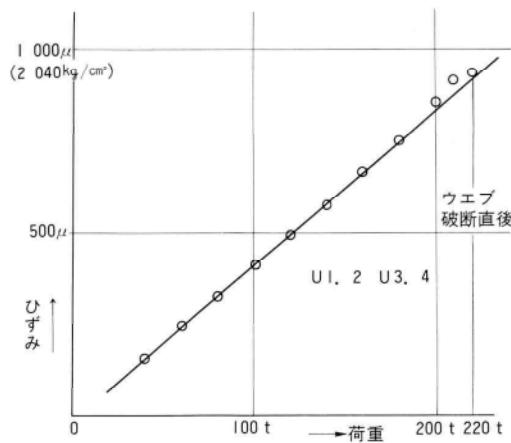


図-14 荷重-ひずみ図(2)上フランジ

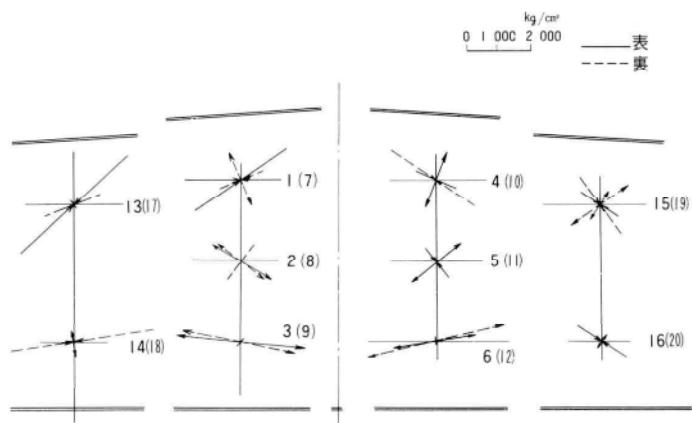


図-16 ウエブの主応力($P = 220\text{t}$ 破断直後)

この時のウェブのフクレは最大30mmになり、除荷しても、中央部の変位は25mm残っていることから、桁が完全に破断されたことが解る。

5. 考察

以上の試験結果をまとめると、この昭和初期の桁について、

- 1) 鋼板はウェブ・フランジとも、強度、化学成分とも現行のSS41材と大差なくSS41相当材として扱ってさしつかえない。
- 2) L型鋼については、試験片が採取できなかったこともあり、強度試験は実施しなかったが、特に強度が落ちるとは考えられない。
- 3) 溶接性については、最高硬さ及び成分分析の結果から、低水素系溶接棒を用いるかぎり特に新材（SS41）と同じ扱いで良い。ただし、L型鋼への溶接は、Cが多く事前に施工試験が必要である。
- 4) リベットの耐久性については、改めてその継手性能の信頼性の高さを認識した。今回の試験について言えば、ヘッドがさびていても当面安全性には問題ないと言える。
- 5) 耐荷力は、本試験のようにウェブに広い範囲に、

断面欠損部を持つ場合でも、リベット桁の場合には許容応力度程度では、安全であると考えられるが、破断に対する安全率が低下しており、破断がウェブの水平方向に突然生じて、耐力が急激に落ちるような破壊を生じているので、そのメカニズムの解明に専研究が必要である。

6. あとがき

今回の報告は、昭和初期の古桁の耐荷力を算定する上で必要となる、鋼材の基本的性質と溶接性を調べ、破壊時の主桁応力を調べた。

さらに、解析上から破断のメカニズムについて検討中なので別稿にて発表する予定である。

本試験にあたり、東京都の関係者の各位には助言と協力をいただいた。また、試験について宇都宮大学の阿部教授には、適切な指導をいただいた。紙上を借りて深謝する次第である。

〈参考文献〉

- 1) 竹名・川上・浅川・阿部；経年劣化リベットプレートガーダーの疲労強度、鉄道技術研究報告No.1339
- 2) 阿部・中村；鋼鉄道橋の耐荷力計算、橋梁と基礎
1974年10月

CADを用いた箱桁の設計システムの実用化

The Application of the CAD Using Box Girder Design System

鳥羽 勇造* 太田 貞次** 吉川 薫*** 小出 勝雄****
Yuuzo TOBA *Sadaji OHTA* *Kaoru YOSHIKAWA* *katsuo KOIDE*

Summary

Miyaji's box girder design system combines an automatic design and drawing system with a man-machine interactive CAD system and displays its generous flexibility, as a total design system, in every aspect to allow for more complete box girder designs. Moreover, when combined with a program for joint development, this system will cause the expected economic effects to be realized sooner.

1. まえがき

今から42年前、ペンシルバニア大学のJ.P.EckertとJ.W.MauchlyによるENIACが、電算機の第一号として知られている。この18000本の真空管と重さ30tの巨大な計算機の能力は、今のマイコンにもはるかに及ばないものであった。その後、電算機とその周辺は驚異的な発達を遂げ、あらゆる産業のあらゆる分野でめざましい活躍をしている。これは橋梁建設の分野においても例外でない。橋梁は公共構造物であり、高い安全性が要求されるとともに、土木分野の中でも最新技術が結集された、大型かつ精細な構造物である。その設計から竣工に至る過程には高度な技術が駆使されており、電算機の利用は急速に進んでいる。云うなれば電算機利用の絶好な舞台であるとも云える。（図-1）

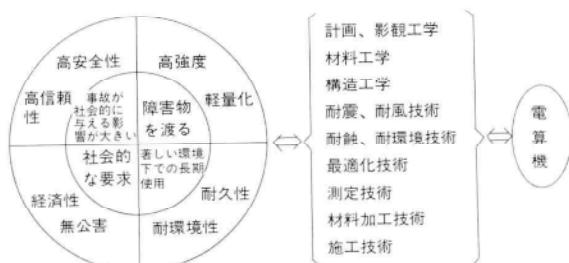


図-1 橋梁建設と電算機の係わり

* 技術本部設計部設計開発課長

** 技術本部設計部設計開発課

*** 松本工場製造部生産設計課

**** 経営企画本部企画室情報システム課

当社における電算機の利用は昭和30年代末頃、構造物の影響線を計算センターのオープン利用により行ったのが最初である。昭和46年、橋梁ファブリケータ各社に歩調を合わせるよう当社にもB-2500が導入された。当時、この最新の電算機は主記憶わずか60KB、ディスク容量2MBであった。その後、各種構造解析から自動設計、さらに生産部門での自動原寸へと利用も高まり、幾度かのハードウェア機能の向上が行われた。現在はFACOM-M360Rが稼働している。

近年、ハードウェアの大容量、高速、多機能化、さらには急激な価格低下により、データの視覚化が急速に進み、CADあるいはCAMがますますシステム化の範囲を広げている。しかし一方、視点を変えると、構造物の多様化、複雑化さらには発注者の仕様を満たす高品質、高精度化等により、電算プログラムの大型化が進み、開発費の高騰、開発フロータイムの長期化等の問題がクローズアップされている。このような背景の中で、当社では共同開発プログラムを軸に鉄道、箱桁橋の設計トータルシステムの構築を行ってきた。本報告はこの中で特にCADを全工程に取り込んだ箱桁設計システムの紹介である。

なお本文中の「システム化」とは電算機による自動化のことを指す。

2. 自動設計導入の目的

設計作業は従来、線形計算、構造解析、断面計算等、単発的に電算機を用い、各作業間は手作業により情報の整理、受渡しがなされていた。このため時間的なロスやミスが多く、さらに主作業である仮定剛度、鋼重との収束作業に多大な工数を要し、設計の効率化は遅々としていた。又、橋梁建設に伴う情報量は製作段階で最大に膨れ上がる(図-2)。製作部門の電算化に従い、膨大なデータの入力がシステム化の大きな問題となっている。自動設計の導入は設計作業の効率化を促進し、設計から生産に至る情報のデータベース化が可能となる。導入目的を図-3に示す。

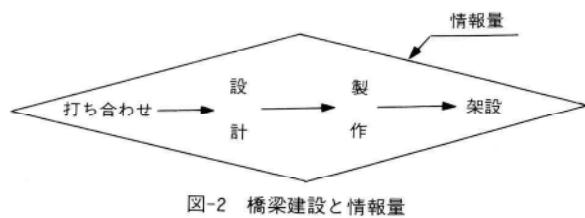


図-2 橋梁建設と情報量

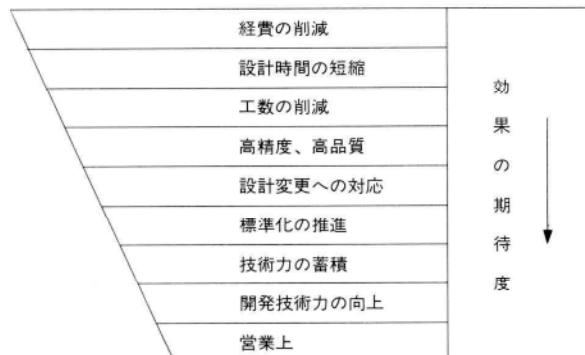


図-3 自動設計導入の目的

3. CAD導入の目的

橋梁設計の特長として次があげられる。

- ① 発注者の仕様が多様であり、標準化が困難である。
- ② 仕様に基づいて設計がその都度必要であり、流用が困難である。又、設計成果品の提出が要求される。
- ③ 定型化された設計論理だけでは処理出来ず、設計者の判断や直観が要求される。従って設計ロジックのプログラム化の難しいものが多い。
- ④ 設計段階での試行錯誤が多い。
- ⑤ 折衝段階での変更が多い。

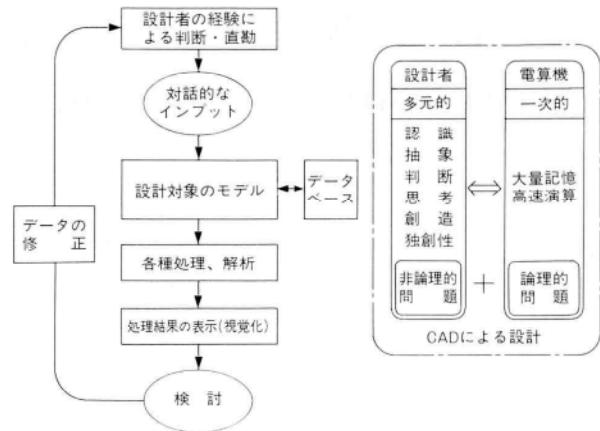


図-4 CADのイメージ

設計自動化の理想的な形は、目的に対し電算機が入力条件のもとで目的に最も近い最適化を行い、結果を打出してくれる事である。しかし将来的には人工知能等による可能性があるとしても、現在の技術では人間の思考力や熟練による直観等をコンピュータに代行させる事は不可能である。CADはこのような環境に即して、設計者と電算機がその特長を生かして、システムとして一体化され、より効率良い設計を行うため共同作業を行うものである。CADの概念を図-4に示す。

CADの導入により

- ① 発注者あるいは設計者の厳しい要求への柔軟な対応。
 - ② 設計成果の品質、完成度の向上。
 - ③ 視覚情報によるデータミスの防止。
 - ④ 設計作業環境の改善。
 - ⑤ 設計変更への即応。
 - ⑥ 電算ソフトの軽量化
- 等の効果が期待できる。

このような観点より、箱桁設計システムでは可能な限りCADを取り込みシステムの構築を行った。

4. システムの開発形態について

本システムを開発形態面により見る時、大きな特長としてシステムの主体に日本電子計算㈱、他数社との共同ソフトを組んでいる事が掲げられる。最近大規模なソフトあるいは新分野のソフト開発の形態に、共同開発が多く行われるようになった。共同開発の是非についての記述は本文の主旨ではなく、ここでは簡単に利点、問題

点を述べるにとどめる。利点としては、

- ① 開発費が安く、開発のフロータイムが短い。
- ② 参加各社のノウハウが結集されるため、実用度の高いシステムとなる。
- ③ 開発後、各社で使い込まれるためシステムの完成度が高まる。
- ④ 保守費用が分担できる。
- ⑤ 標準化やシステムの互換性が進む。

一方問題点としては、

- ① 開発主催会社の統率力によっては、一貫した思想のシステム造りが難しく、総花的となり易い。
- ② 自社計算機へのコンバージョンに手間がかかる。
- ③ 開発課題の消化が最重要視されるため、データチェック、ドキュメント類の整備等、運用面での使い易さが軽視される事がある。
- ④ 自社に合致したシステム造りが出来ない。
- ⑤ 特定のハードウェア、アプリケーション・プログラムに依存したシステム造りが出来ない。

などがある。

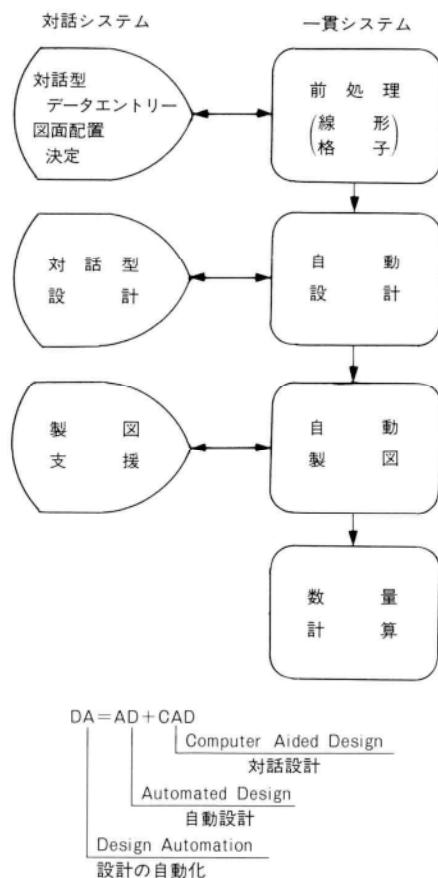


図-5 箱桁設計システムの概念図

5. 箱桁設計システムの構成

本システムは、鉄筋コンクリート床版をもつ単純合成箱桁橋、単純及び連続非合成箱桁の設計トータルシステムである。本システムの利用により、設計者はコンピュータをツールとして設計を完了させることが出来、完全な形で設計々算書、設計図、数量計算書を手にする事が出来る。本システムの概念図を図-5、処理フローを図-6、本システムの運用に使用するハードウェア構成を図-7に示す。また、CADのメニューーシートを図-8に示す。システムの特長としては

- ① 可能な限りメニュー方式による会話処理を取り込み、容易な操作で入力作業が効率良く行なえる。
 - ② 一貫処理と対話処理の結合により完成度の高いシステムを実現した。
 - ③ 構成するプログラムは1つ1つが独立したシステムとして使用できる。従って自動設計処理を行わず自動製図や数量計算が可能である。
 - ④ 拡張性の高いシステムである。多様性に富む箱桁形式の総てを包括するシステム造りは時間がかかるため、適用性の高い形式からシステム化を計り、実効を上げながら順次拡張が行なえる。
 - ⑤ データをマスターファイルで管理することにより、データは一元化されている。又システム資源の有効活用が出来る。
- 等がある。

6. 前処理

前処理システムは次の機能別プログラムより構成される。

- ① 基本条件の定義一工事情報、処理履歴、基本設計条件等の入力
 - ② 線形計算、形状認識、ハンチ計算処理
 - ③ 格子桁断面力の計算処理
 - ④ 線形図、断面力図の作成処理、図面配置決定処理
- これらの処理は実処理時間に比べ、従来は手作業による入力データ作成に多くの時間を費していた。又、データミスの発生度も高く、発見が遅れると先システムに迄影響を与えることとなる。さらに線形計算や格子桁解析は単独処理のみの使用も多い。当社ではシステムの運用は原則として設計者が行うため、入力作業効率向上のため、データ入力は会話型としている。基本条件の入力画

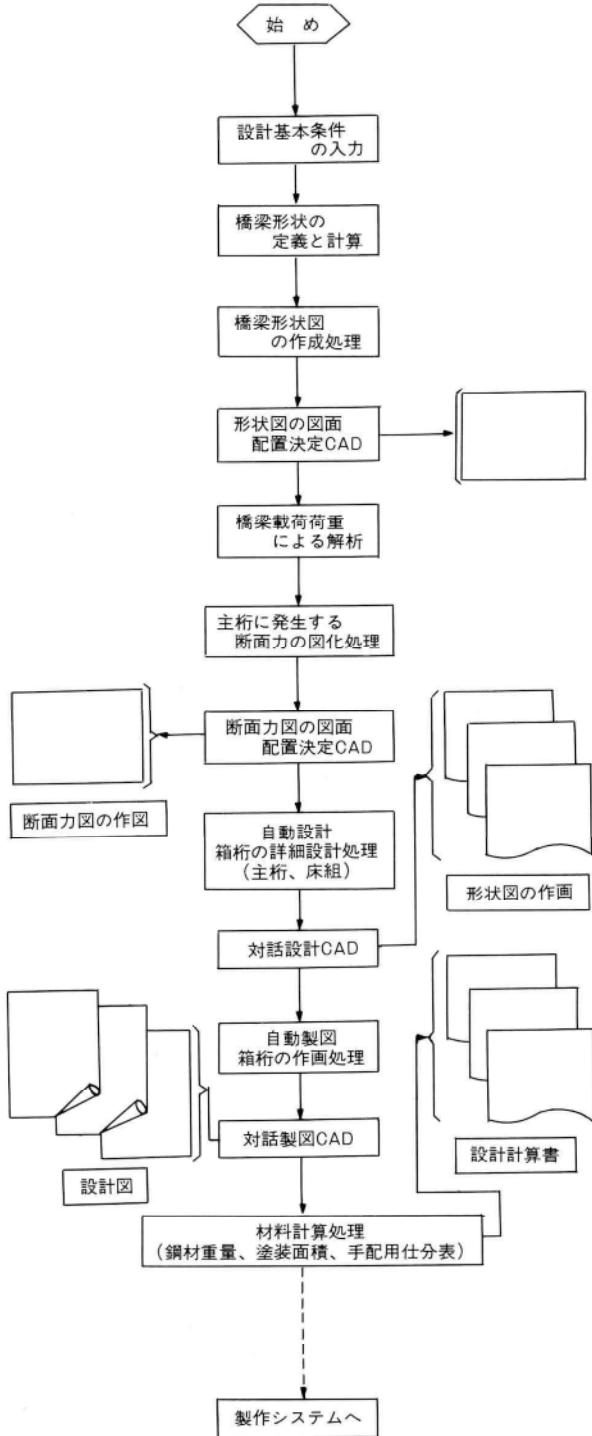


図-6 箱桁設計システム処理の流れ

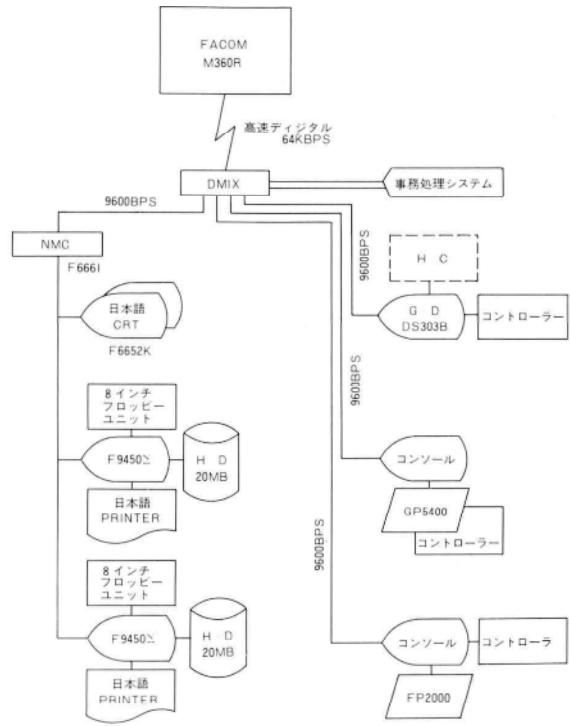


図-7 ハードウェア構成

面の一部を写真-1, 2、格子桁データの入力を写真-3, 4に示す。特に格子桁の入力は、図-9に示すように画面分割を行い、マウスによる作業コマンドの指定により入力作業が行なえる。このような入力方法の採用により、作業者の入力時の緊張感、疲労感が緩和され円滑に入力が行なえる。又視覚情報による入力ミスの発見も出来、効率の面で大きな効果がある。

写真-5は線形図の配置決定画面の一部を示す。従来、線形図や応力図の画面配置は、プロッターへの出力試行を繰返す等、勘による方法によっていた。本システムではディスプレイ上で図面の配置を会話式に確認しながら決定することができる。

以上紹介した会話機能は、パソコン独自の機能によりオフライン処理で行われる。低価格なパソコンの描画機能をフルに活用する事により、高価なグラフィック・ディスプレイを本来のCADへ専念させる事ができ、システム資源の有効活用が計れる。パソコンは汎用機と専用回線により結合されており、処理データはメニュー指定により直ちにホスト側へ送信される。

1. 工事番号	1987
2. 工事名	実地大橋第4橋 (「入力」を押して下さい)
3. 橋名	1等橋
4. 発注先	日本道路公団
5. 設計部署	設計課内局
6. 贊同者	馬場、木田、青川 (「入力」を押して下さい)
7. 設計達数	5回
8. 各分野の構造形式	
<input type="checkbox"/> Br.1 単純合成断面 <input type="checkbox"/> Br.2 2層鋼絶縁合成断面 <input type="checkbox"/> Br.3 3層鋼絶縁合成断面 <input type="checkbox"/> Br.4 2層鋼連続合成断面 <input type="checkbox"/> Br.5 単純合成断面	
修正がありますか Y/N	

写真-1 基本データの入力

ア-ク項目	入力方法	選択
剛度	<input type="checkbox"/> 1: 構架剛度 1: 一定 2: 構架強度 2: 主桁の位置 3: ハンタなし	1: 構架剛度 2: 構架強度 3: 主桁の位置以外
ハンチ位置	<input type="checkbox"/>	1: ハンタなし
ハンチ重量	<input type="checkbox"/> 1: 一定 2: 全幅載荷 3: 型枠	1: 一定 2: 構架強度 3: 全幅載荷 4: 篦/除荷幅指定
型枠	<input type="checkbox"/>	1: 型枠なし 2: 型枠
中央分離帯	<input type="checkbox"/> 1: 開放しない 3: 中央分離帯なし	1: 開放する 2: 開放
TT 4.3荷重	<input type="checkbox"/> 1: 考慮しない 3: 既存・本四公団基準	1: 考慮しない 2: 日本国際公団基準 3: 既存・本四公団基準 4: 直接載荷
等分布	<input type="checkbox"/> 1: 未入力 2: 入力済 3: 選択	1: 全幅全橋一定 2: その他 3: 無し
付加荷重	<input type="checkbox"/>	1: 未入力 2: 入力済 3: 選択
A1 A2	修正・削込	マウスでメニューをピックして下さい
A1 A2		入力

写真-4 格子解析データの入力

1. 工事	1987 實地大橋第4橋
2. 設計標準	Br.1 単純合成断面
3. 橋名	MIYAJI-Bridge
4. ファイル名	MIYAO1 (出力時の表題になります) (英数6文字に限ります)
5. 主桁本数	5本 (ひと桁の時には「入力」を押して下さい)
6. 計算項目	下記より選択して下さい
<input type="checkbox"/> 線形計算プログラム実行 <input type="checkbox"/> ハンチ計算プログラム実行 <input type="checkbox"/> 線形図作成プログラム実行 <input type="checkbox"/> 構造図(断面線形図)作成プログラム実行 <input type="checkbox"/> 斜面力図(応力図)作成プログラム実行 <input type="checkbox"/> 材子計算プログラム実行 <input type="checkbox"/> 自動設計計算プログラム実行 <input type="checkbox"/> 自動断面計算プログラム実行 <input type="checkbox"/> 材料計算プログラム実行	

写真-2 処理選択メニュー

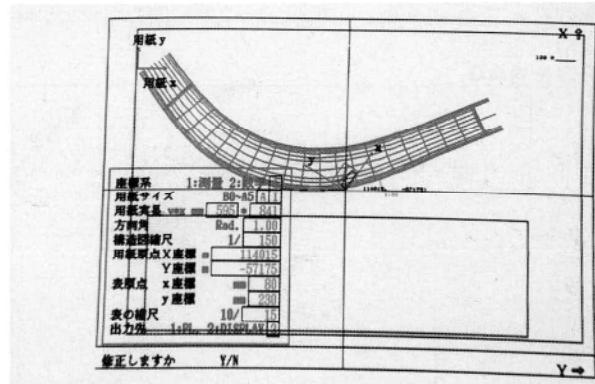


写真-5 線形図配置決定 C A D

ア-ク項目	横断寸法	単位:m	主に																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
<table border="1"> <tr> <td>全長</td> <td>1.000</td> <td>左岸～G1</td> <td>2.500</td> <td>右岸～G2</td> <td>6.000</td> <td>右岸～右端</td> <td>2.500</td> </tr> <tr> <td>左岸～左端</td> <td>1.000</td> <td>G1～G2</td> <td>6.000</td> <td>G2～右端</td> <td>2.500</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>～防風</td> <td>0.000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右岸～右端</td> <td>0.100</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右岸～防風</td> <td>0.200</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～左端</td> <td>0.000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～右端</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>右端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～防風</td> <td>0.400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>左端～右端</td> <td>0.400</td> </tr></table>				全長	1.000	左岸～G1	2.500	右岸～G2	6.000	右岸～右端	2.500	左岸～左端	1.000	G1～G2	6.000	G2～右端	2.500			～防風	0.000							右岸～右端	0.100							右岸～防風	0.200							左端～左端	0.000							左端～防風	0.000							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400							右端～右端	0.400							右端～防風	0.400							左端～防風	0.400							左端～右端	0.400
全長	1.000	左岸～G1	2.500	右岸～G2	6.000	右岸～右端	2.500																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
左岸～左端	1.000	G1～G2	6.000	G2～右端	2.500																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
～防風	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右岸～右端	0.100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右岸～防風	0.200																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～左端	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
右端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～防風	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
左端～右端	0.400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												

対話型部材設計(SB/CAD)

主桁情報の 呼び出し(GET)		地主桁からの 情報復写(COPY)		断面力の 呼び出し(MAKE)				完了 (END)	
主断面 前面・後面 二種・横 切欠き	全体	直手	垂直補剛材	水平補剛材	支点上 端子・ダイヤ	水平補剛材	支点上 端子・ダイヤ	チェック	登 録
自動決定	自動決定	縦手位置	自動決定	自動決定	自動決定	自動決定	自動決定	自動決定	自動決定
表示・変更 表示・変更 表示・変更 表示・変更 照査	角度								
剛度	剛度								
二軸	二軸								
一覧表									
項目終了	項目終了								
(END)	(END)								
共通部(COMMON)									
設計 登録	重ね合せ	位置 表示	表示 H-LINE	横断面 構成	任選断 面	0 1 2 3	A B C D E F		
構 造 部 品	前面 背面	カーブ 変化	横 リブ	柱 脚	主断面	8 9 10 11	M N O P Q R		
内 外	二種	二種	二種	二種	二種	12 13 14 15	S T U V W X		
横 リ ブ	初期 位置	初期 位置	初期 位置	初期 位置	初期 位置	16 19 22 25	Y Z () < >		
高 度	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	26 32 34 38	1 2 3 = / *		
バー ド	表示	表示	表示	表示	表示	40 45 50 130	4 5 G + -		
コ ピー						140 150 160 170	7 B 9 0 00 000		
メニ ュー	項目終了	項目終了	項目終了	項目終了	項目終了	180 190 200 210	% : 取消		
取 消	(END)	(END)	(END)	(END)	(END)	220 230 240 250	CR		
PEN									
BLOCK									
DB更新									
F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10 F11 F12	3 1 NEXT BACK 実数表示	4 2 END UP CANCEL	5 大 小	6 上下矢印	7 左右矢印	8 上下矢印	9 左右矢印	10 上下矢印	11 左右矢印

BOX CAD

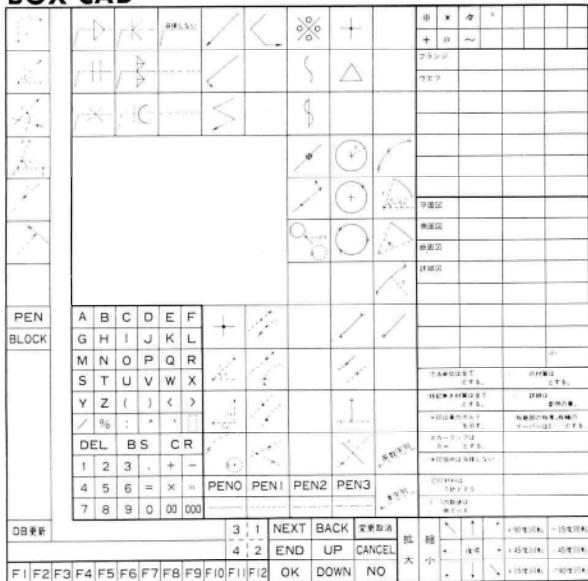


図-8 メニューシート

現在の作業項目		割込 メニュー
作業	データ入力範	
コマンド	マウスカーソル	図表示
	システムメッセージ	補助 機能

図-9 格子桁データ入力の画面設計

7. 自動設計及び会話型設計システム

(1) 自動設計処理

従来、桁の設計は格子解析による断面力を図化し、示方書、設計基準、データブック等を参照しながら断面変化位置、補剛材間隔、添接位置等をにらみつつ最適断面を決め、剛度収束迄繰返す等、手作業で行っていた。本システムは主桁のみならず、縦桁、横桁、ブレケット等の床組設計も一貫処理により数分で行なえる、処理効率の高いシステムである。しかし、断面同志の整合性、補剛材、その他各部材のグルーピング等は一貫処理の苦手とする部分であり、この部分は後述する対話設計で修正を行う。

自動設計システムの特長としては、

- ①フランジ勾配、ウェブ勾配つきの桁、腹板高の変化した箱桁が合成桁をも含み処理可能である。
- ②面外モーメント、反り捩りモーメント、反りモーメントが断面力として考慮可能である。
- ③各種の入力省略機能により、入力作業が合理的である。
- ④断面変化位置、断面構成、継手ボルト配置等、ほぼ全処理範囲について、自動決定が可能となっている、等である。システムの機能を図-10に示す。

(2) 対話型設計処理

本システムは自動設計処理された設計計算結果を、グラフィック・ディスプレイ上に表示し、設計者が対話的に検討、判断を加え、品質の高い設計計算を行うCADシステムである。又、自動設計を通さず線形、断面力ファイルの読み込みから、設計条件の定義をも含め、主桁の

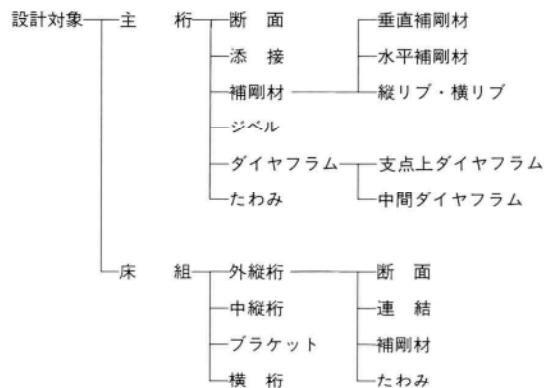


図-10 箱桁自動設計システムの機能

全設計を対話的に行うこともできる。システムの特長としては

- ① 自動設計の主桁項目については、二軸、横リブ、切欠きも含み機能面で全てを包括している。
- ② チェック機能により、板厚差、逆テーパー、ボルト最小、最大間隔、縁端距離等に抵触する時はエラー表示がなされる。
- ③ 仮定剛度と実剛度の比較、剛比チェックを行う。又格間平均、支間平均の計算が可能である。
- ④ 1断面につき、6個迄の検討断面を保持出来る。登録時、その中より最適断面を選定する。
- ⑤ 主桁断面構成、継手部ボルト配置、支点上補剛材、横リブ等を図表示する。

等が掲げられる。システムの操作は、メニュー方式を用い逐次選択方式(システムの機能を階層構造化し、画面上のメニューを逐次選択する事により目的の処理を行う)とメニューーシート方式(逐次選択メニューの中で各メニュー共通な機能や、処理途中での割込メニューを予めメニューーシートに用意し、タブレットよりスタイルスペンにより選択を行う)を併用し、操作性を上げている。メニュー方式の採用により、システムを操作する設計者は処理に必要なメニューが文章で表示されるため、特別なコマンドやオペランドを覚える必要はなく、入力効率が向上出来る。システムの機能を図-11、ディスプレイ画面の一部を写真-6、7、8に示す。又、メニューーシートについては図-8を参照にされたい。

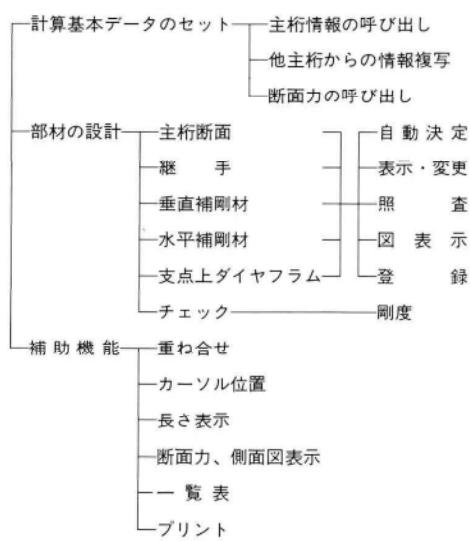


図-11 対話型設計システムの機能

8. 自動製図支援システム

(1) 自動製図処理

自動製図システムの構成は其を支援する CAD システムと深い係わりを持つ。本システムを構築する上での基本条件としては、次の項目があげられる。

- ① 適用範囲を箱桁のみに絞らず、拡張性を持たせる。
- ② 図面と材料情報の一括管理が可能とする。
- ③ レスポンス時間を保証する。

本システムの主体は、実物大の橋梁全体の二次元モデル(モデルファイル)と、このモデルからの切出しによる完成図面(パネルファイル)の二つの図面情報により成る。又、部材形状の決定ロジックを部材毎の手続きデータとしてファイル化し、プログラム外部より与える。

これにより前述の拡張性や材料との整合性が保たれ、後述するような CAD の機能が可能となる。

箱桁製図は、ダイヤフラムの横横取合内部補強構造一つを見ても、十数のパターンがあり、システム化が難しい。従って必然的に機能の圧縮がはかられ、結果として全システムを通しての制約条件がこの部分で決まると言える。図-12に本箱桁設計システム全体の適用範囲面からの概念図を示す。又本製図システムの適用範囲を図-13に示す。

(2) 製図支援処理

本システムは自動製図処理によってデータベース上に構築された図面情報に対し、対話的に修正、変更を加え図面を完成させる機能を持った CAD である。システムの特長としては

- ① 図形、材料はデータ(簡易言語)で定義されているため、変更、修正が出来、柔軟性に富む。

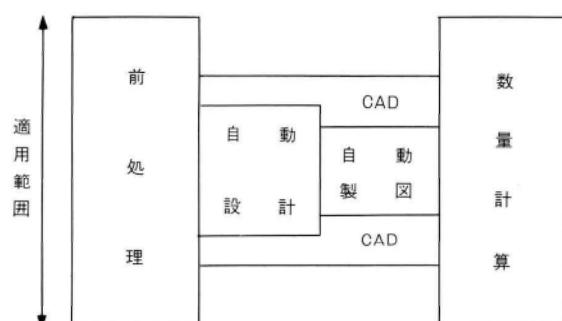


図-12 箱桁設計システムの機能範囲概念図

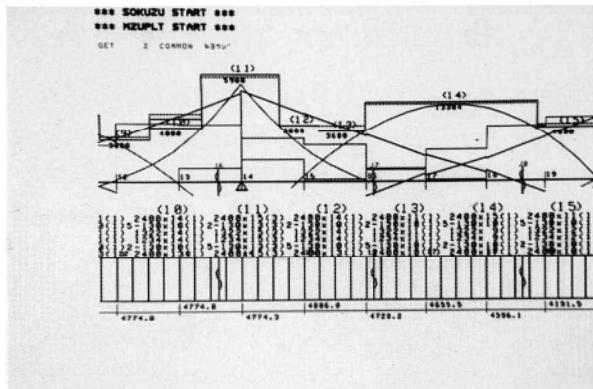


写真-6 対話設計 C A D (断面計算)

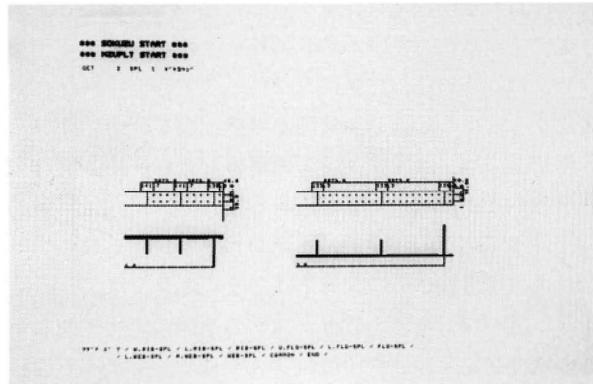


写真-7 対話設計 C A D (添接計算)

写真-8 対話設計 CAD (ダイヤフラム設計)

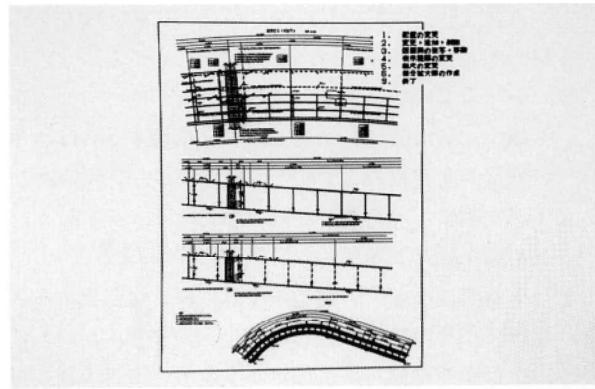


写真-9 製図 C A D

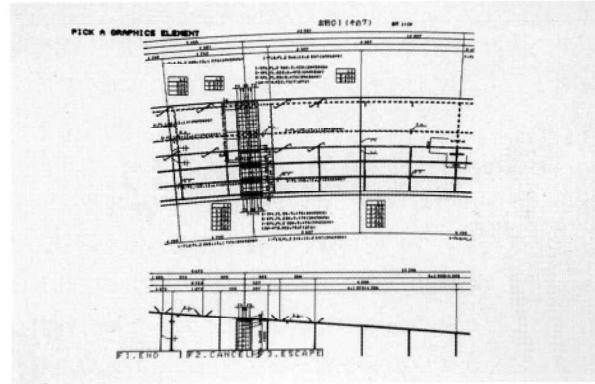


写真-10 製図 CAD (部分拡大表示)

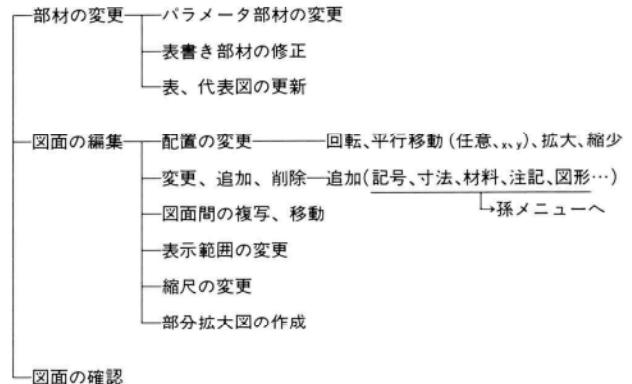
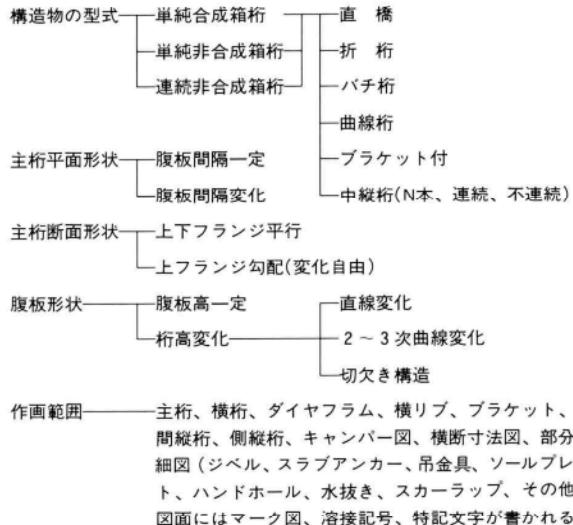


図-15 製図支援システムのメニュー

図-13 自動製図システムの機能

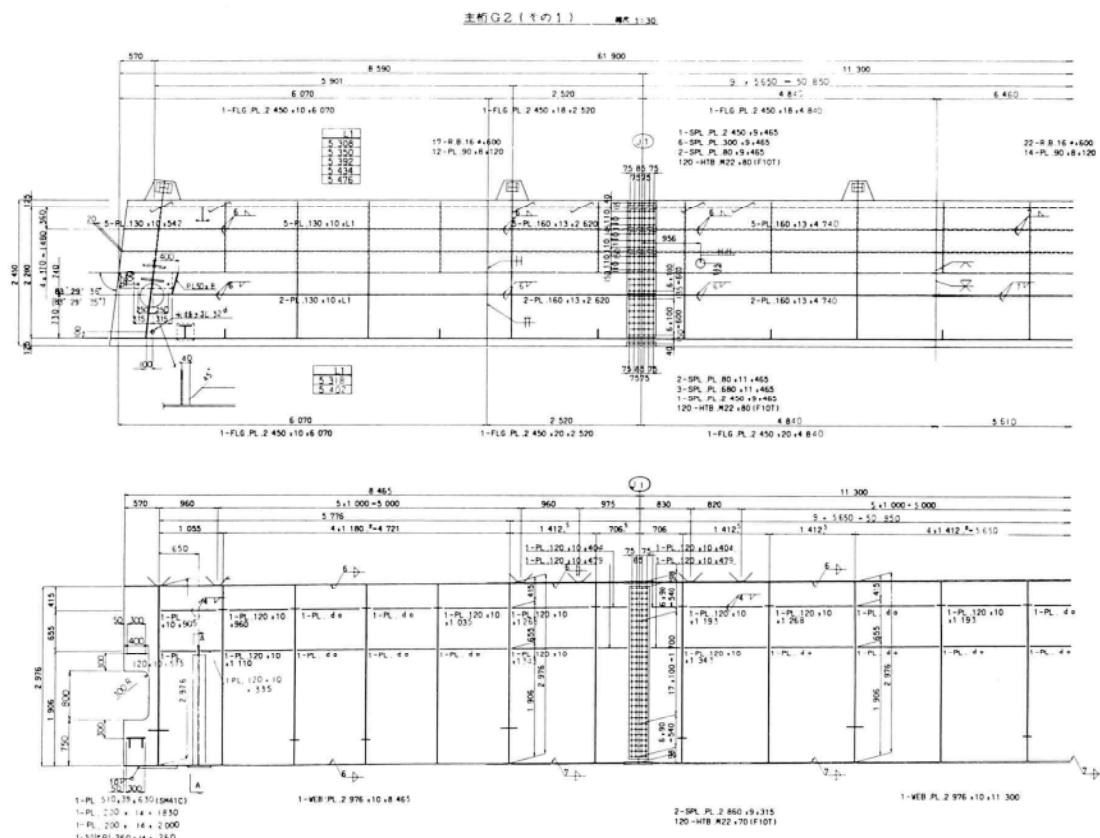


図-14 主桁設計図

- ② 操作は誘導メニューによるので、操作は容易である。
- ③ 図面上での変更は材料情報に反映されるため、図面と材料の整合性が完全である。
- ④ データ構造は階層モデル形式のデータベースであり、任意の階層へのアクセスが可能である。従って部分修正において、階層構造中のあるレベルでの修正を、自動的に下位のレベルに反映させることが出来る。
- ⑤ 部分拡大図作成、図面の他図面への移動、複写が容易に可能である。
- ⑥ 作画範囲の変更、縮尺の変更ができる。
- ⑦ 指定により Gross, Netどちらかの材料表示が選べる。

等が掲げられる。自動製図及び製図支援システムによる作図例を図-14に示す。システムの操作は、対話設計と同じ、逐次選択方式とメニュー方式両方を使いわけている。メニュー・シートは図-8を参照されたい。ディスプレイへの表示状況を写真-9、10に示す。又、メニュー体系を図-15に示す。メニュー項目により本システムの、機能の概要がおわかり戴けると思う。

9. 数量計算処理

製図情報より材料計算処理を行い、各種数量帳票を出力するシステムである。本システムはジェネレータープログラムを挟むことにより、箱桁のみならず、鉄骨や他のあらゆる形式の数量計算が可能である。出力帳票とし

ては、鋼材重量計算として重量計算書、鋼材仕分表、ボルト総括表、ブロック重量表、全体総括表がある。又、塗装面積計算としては面積計算書、ブロック別仕分表、総括表等が出力される。特長としては、

- ① 発注者の方に合った計算方法が選べる。
 - ② ネット、グロスの材料指定が可能である。
 - ③ 一部材につき6種類の塗装区分が可能である。
 - ④ 追加、削除、修正が自由にできる。
 - ⑤ 基本データは外部ファイル化しており、変更が容易である。
 - ⑥ 集計選択データにより、橋梁の任意部分の集計が可能である。
- 等がある。なお、本システムは後続の生産システムと連絡を行い、材料に関するトータルシステムの構築を現在進めている。

10. 現システムの問題点と今後の課題

本システムは既に幾つかの運用を終えており、当初の目的に対し一応の成果を見ている。一つのシステムが完成を見るのは、そのシステムが役割を終える時だと云われている。今後、信頼性の向上と機能の拡充により、完成度を高めてゆく考えである。現時点における問題点としては、

- 1) CADの応答性が悪い…

本CADシステムは多くの機能に富む反面、応答性が犠牲となり、特に情報量の多い製図システムにおいてそれは顕著である。

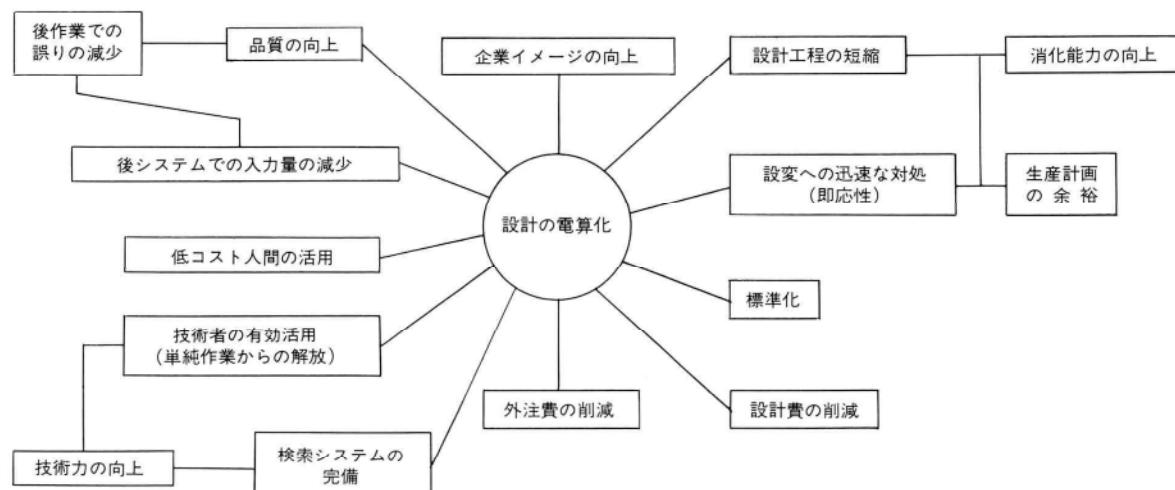


図-16 システム化の効果

2) 处理フローが円滑でない…

運用への不慣れもあるが、データミスや変更により再処理が多く、一貫システムとしての処理リードタイムがかかりすぎる。

3) プログラム機能の不足…

運用を行った橋梁が何らかの形でプログラム上の制約に抵触している。箱桁の多様性の証でもある。等である。

1) の製図 CADについては、CAD機能の実用面からの見なおしも含め、応答性の改善が急がれる。設計対話 CADについては応答性を含め操作性もほぼ満足の結果であり、設計の有力なツールとして活躍が期待出来る。

2) については、変更が局部的再処理のみで済むようなプログラム構成が出来れば理想的と云えるが、システムの基本思想に係わる問題であり、システム運用面での工夫により対応する考えである。

3) については梯形断面桁、鋼床版橋においては将来と言わず、着手容易な部分からの機能拡充は早急に必要である。又、一面、現システムが採用した標準化への歩み寄りは設計者さらには発注者へお願いするものである。

11. システムの効果

システムが完成して間もないこと、又、処理した箱桁の形態も多様であるため、省力効果、経済性を云々することは現時点では難しい。一般に自動化システムは開発投資額が高く、開発費、設備費、保守費等の累積投資と、累積利益の交点である損益分岐点迄には長期間を要すと云われている。本システムはその点、共同開発ソフトの組み込みにより全体の開発費は縮小され、早期の経済的効果が望める。又、現在整理中であるが、工程の短縮面でもかなりの効果が期待でき、その他、定性的効果も多い。システムのもたらす効果を図-16にまとめて示す。

12. あとがき

以上、当社のシステムの一端である箱桁設計システムの概略をご理解いただけたと思う。橋梁業界では、CADの歴史は浅く、まだ創世期にあると云える。従ってCADについては使って見なければわからないというのが現実であろう。本箱桁システムでは多々問題を含んではいるが、一応 CAD の有効性を確かめる事が出来た。今後、さらに設計者の意見を取り込み、機能向上を行ってゆく予定である。皆様のご批判、ご指導をお願いする次第である。

最後に私見を述べしめくくりとする。昔から現在に至る迄、図面は情報伝達の中心である。特に橋梁図面は一枚の図面に設計、生産、施工情報を積み込み、さらに発注者へ成果品の役割も兼ねた密度の濃いものとなっている。現在のシステム化は、従来からの伝統的な手作業を単にそのまま電算機へ踏襲したものが多く、計算機の出力も手書き計算書や前述した濃密度の手書き図面にいかに類似させるかを競っている。最初に述べたように、橋梁建設が電算機の絶好の舞台であるにもかかわらず、システム化は他業種程進んでいない。それは、橋梁業界が多品種少量生産の典型であるゆえに持つ要因の他に、前述のようなシステム化の方法自体にも一因があるのではないかだろうか。現在の手法を見なおし、もっとシステム化に合致した手法への改革も必要である。これは設計システムに限った事ではない。例えば前述の橋梁図面においても、自動化や CAD 化の容易な図面の機能別簡素化等の研究が必要である。又さらに図面以外のメディアによる情報伝達法の研究も必要であろう。

本システムの構築にあたり援助をいただいた関係各位に感謝の意を表するとともに、今後もより一層のご支援をお願いする次第である。

トラス橋に用いた 12径間連続鋼床版縦桁の設計と施工

The Design and Construction of the 12-span Continuous Steel Plate Deck Girder Adopted for the Truss Bridge

高 橋 亘* 引 間 隆**
Wataru TAKAHASHI Takashi HIKIMA

Summary

Generally, in the construction of the bridge floor of any long truss bridge, for economy and workability steel plate decks are adopted, and the number of stringer spans, as with the floor system, is 4-6 in many cases.

It is, however, desirable, for the travelling vehicle and the maintainance of the pavement, when the number of spans is increased to as many as possible by decreasing the number of expansion joints.

This paper gives an outline of the prior investigation and of the conditions for construction of the 12-span continuous structure which was adopted for the Bannosu Viaduct.

1. まえがき

長大橋梁における道路床組の構造形式は、全体死荷重の軽減、現場施工への配慮などから鋼床版とするのが一般的であり、又、床組としての縦桁の連続径間数は4～6径間としている事例が多い。これは主構造の面内・面外変形に対する追従性と支承構造、伸縮装置の形式および現場での取り扱い易さなどを勘案したものである。

しかしながら、車両の走行性は、路面の平坦度と伸縮装置の数に左右され、更に、橋面舗装の破損が伸縮装置の前後に発生しやすいことを考慮すると道路床組として

の連続径間数は出来るだけ多くした方がよい。

このような観点から「番の州高架橋トラス」では道路床組に10、12、10径間の連続構造を採用し、その連続径間長さは最大180mである(図-1参照)。これは主構造

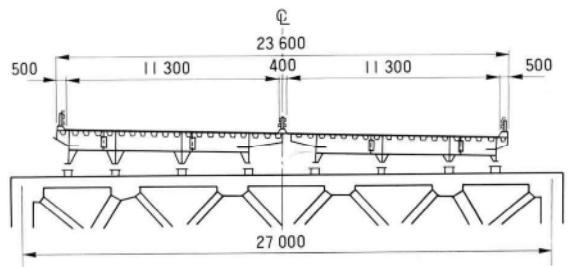


図-1-1 鋼床版床組標準断面図

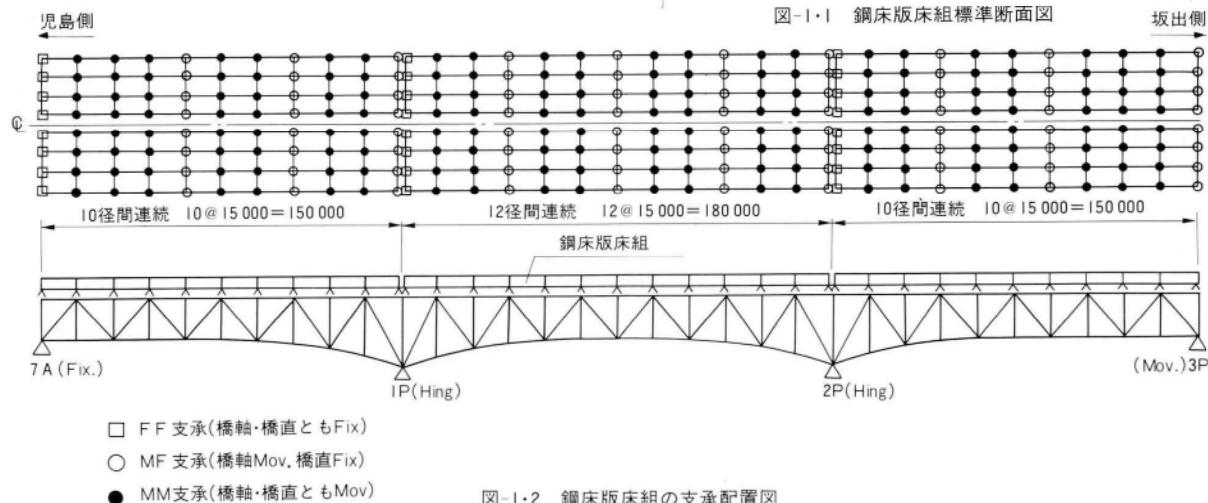


図-1-2 鋼床版床組の支承配置図

* 技術本部設計部設計第一課課長代理

** 技術本部設計部設計第二課

がトラス橋であり、吊橋などの柔構造物と異り、主構造物の絶対変形量が小さく、事前に技術的問題点を十分に検討し、更に施工条件を明確にした上で実施したものである。本文はこれらの事前検討の概要とその時点の施工条件などについて報告する。

2. 事前検討の概要

多径間連続構造案として図-2に示す3形式を考えた。各案について鋼床版縦桁に発生する応力・反力・変形などを主構造物の変形挙動に関連して事前検討を行った。

1) 第1案 全径間(32径間)連続構造

片端を固定にして、常に発生する鋼床版縦桁と主構の温度差に起因する拘束反力を解放するものである。

但し、地震時の水平力に対しては1ヶ所で抵抗することになるから支承構造の工夫と、支承から主構に水平力を伝達させるブレーキトラス等が必要となる。また、鋼床版と主構の変位差が約60mmとなり伸縮装置にこの量を見込む必要がある。

2) 第2案 10・12径間連続構造

鋼床版縦桁と主構の温度差による変位量をS=20mm程度におさえ、支承の拘束反力を緩和すると共に、施工性に留意して主構本体の橋脚位置を不連続部として全体を10径間と12径間とするものである。この場合には伸縮装置間隔は150m~180mであり車両の走行性は第3案に比べて十分に改善される。

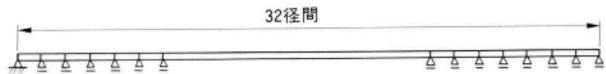
3) 第3案 4・6径間連続構造

港大橋をはじめ、長大吊橋等で採用された実績のある径間割である。支承配置を適切に選定することにより、主構造の横変形に対しても十分に追従でき現場架設、現場溶接などの施工性の面でも管理しやすい形式である。

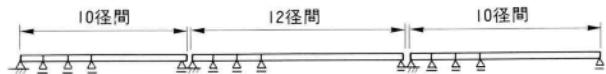
また、つぎに示す項目について事前検討を行った。

- ① 鋼床版縦桁と主構との温度差による拘束応力、相対移動量および中間部両方向可動支承の橋軸および直角方向ズレ変形量。
- ② 後死荷重（舗装・自動車防護柵・鉄道縦桁）および活荷重のたわみ変形による主構鉛直変位に対する追従性と負反力の検討。
- ③ 橫荷重（地震・風）による主構の面外変形に対する追従性。
- ④ 橋軸方向地震時水平力に対する主構トラスの補強
- ⑤ 現場溶接施工に伴う変形と拘束応力
- ⑥ 製作・架設誤差に対する考え方

第1案 全径間連続片端固定



第2案 10・12・10径間連続



第3案 4・6径間連続

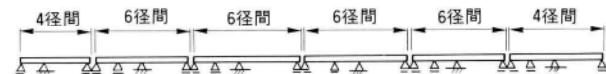


図-2 多径間連続構造案

- ⑦ 架設工法と現場継手位置および誤差調整の考え方
- ⑧ 鋼床版舗装と支承の維持管理について
- ⑨ 製作工程と架設工程の関連について

検討結果を要約すると、主構の面内、面外変形に起因する縦桁応力、鉛直反力、鋼床版の縁応力度、横方向反力などは各案とも大差なく支配要素にはならない。但し、地震時の橋軸方向水平力に対しては、固定支承の構造、対傾構上弦材の補強などの関係からできるだけ載荷点を分散した方が有利である。すなわち、主構造の変形に対する追従性の面からは径間数の違いによる決定的な差異は生じないことがわかった。そこで主として施工性と施工管理の面から最適な径間数を探ることとした。

(1) 製作誤差の推定と調整

共同企業体各社の施工範囲、主構と道路床組の製作時期の関係から、仮組立の形態は6パネル程度の部分組立である。又、鋼橋等製作基準・同解説（昭和52年3月、本四公团）に基づいて橋軸方向の長さ寸法に関する主構および鋼床版縦桁の製作誤差を整理すると表-1のとおりである。

表-1 製作誤差

単位:mm

連続径間数	ε_1	ε_2	ε_3
4	±8	±4	±8.9
6	±12	±6	±13.4
12	±17	±8.5	±19.0
32	±29.4	±14.7	±32.9

ε_1 : 主構の累積誤差 ($2 \times N$) N: パネル数

ε_2 : 鋼床版の仮組立誤差 ($1 \times N$)

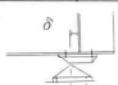
ε_3 : 相対誤差 $\sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2}$

表-2 相対誤差の調整

連続径間数	相対誤差	誤差の調整		
		支承	補剛材位置 δ	伸縮装置
4	±8.9	○	○	○
6	±13.4	○	○	○
12	±19.0	○	○	○
32	±32.9	△	○	△

○ 調整可能

△ 注意を要する。



鋼床版の現場溶接部の開先精度は非常に厳しいものが要求されるが、この件に関しては後述するとして、ここでは主として支承の移動可能量および伸縮装置の余裕移動量の面から製作誤差をどのように調整するかを主構と鋼床版の相対誤差との関係から整理すると表-2のとおりであり、連続径間数12径間までは十分調整可能である。

但し、移動量の大きい支承部では図-3に示すように補鋼材を配して相対誤差に対処することとした。

(2) 橋面舗装と支承の維持管理について

鋼床版橋梁の橋面舗装は鋼床版のたわみ変形に追従させる目的でグースアスファルトの使用が一般的である。地震時の過大な水平力等により多径間連続構造の中間支点部に破損が生じた場合、支承の取換えのため中間部の扛上操作が必要となる。この操作により舗装面はある曲

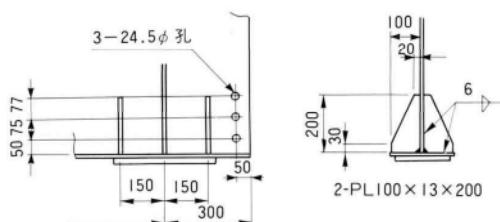


図-3 支点部の構造

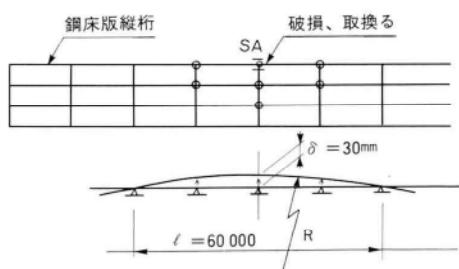


図-4 補修検討モデル

率で曲げられることになるが、その時の橋面アスファルトの限界歪を試算し安全性の確認をした。

図-4において主構の面外変形などにより、最外側のSA支承が破損した場合、両隣の白丸の杏の拘束を解放して $\delta=30\text{mm}$ 程度のジャッキアップを考える。この時のアスファルトの表面歪を曲率より試算すると $\epsilon=5\times10^{-5}$ であった。一方グースアスファルトの許容歪量の目安は $\epsilon_a=800\times10^{-5}$ 程度とされており計画値は十分に安全側の値である。

3. 施工条件との関連

多径間連続床組構造を採用するに際しての設計上の検討項目は、主橋体工の変形に対する追従性と支承構造であり検討概要は前述したとおりである。一方、製作・架設上の問題に関する基本方針を

- 1) 高力ボルトの本締めの時期をデッキ面の現場溶接完了後とする。
- 2) 鋼床版支承の現場調整は主構の出来形を実測し、結果を支承調整板の板厚に反映させることは物理的に可能である。

とした。

この基本条件に基づいて、製作キャンバーの分析と方針、構造解析系と架設系との関係、架設順序とルートギャップの関係、工場製作について、ボルトの本締めの時期、現場溶接施工に伴う収縮量の推定について、基本的な考え方をつきのように整理した。

(1) 製作キャンバーの分析と方針

鋼床版縦桁の格子解析結果では、支間中央部の死荷重による鉛直たわみは高々 $\delta_d=1.0\text{mm}$ である。したがって、鋼床版は完成時の形状で製作し、製作キャンバーを付けることとした。一方、鋼床版載荷に伴う主横トラス(上対傾構)の鉛直たわみが最大 $\delta_d=10\text{mm}$ 発生する。これを主構・主横トラスの製作寸法には考慮していない。これはトラスの出来形予測が難しいこと、支承高の調整は支承調整板($t=50\text{mm}$)を配置したこと、主構トラスの製作寸法にキャンバーを考慮しない方が製作上有利であることなどの判断によるものである。

(2) 構造解析系と架設系との関係

鋼床版縦桁の構造解析は連続格子桁とした。一方、架設構造系は図-5に示すとおり、正規の支点位置で仮受

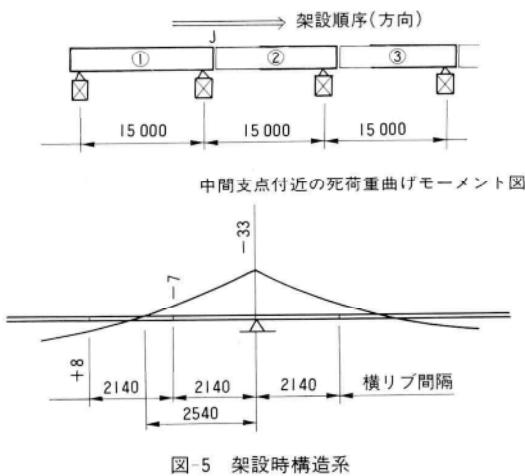


図-5 架設時構造系

けしながら逐時部材を取付けることとした。したがって、構造解析系と架設系との差異に伴う断面力性状が予想されるが、この件に関しては現場継手位置を適切な位置に設定したことにより実施工上問題ないと判断した。

(3) 架設順序とルートギャップの関係

鋼床版デッキプレートの現場溶接部の開先形状を図-6に示す。この場合ルートギャップの基準値は $3\text{ mm} \pm 3$ である。全径間に鋼床版を載荷した後に位置決めを行い、仮ボルトを取り現場溶接を行う場合には何ら問題ないが、現場工程との状況により部分載荷の状態で現場組立を完了し溶接作業を開始せざるを得ないような場合、ルートギャップにどのような変化が生ずるかを幾通りかの載荷ケースについて試算した。一例として、中央径間にのみ鋼床版を載荷した場合の鉛直変位の最大たわみ差は約95mmである。たわみ変形を円弧と仮定し、更に、鋼床版縦桁の平均桁高を $H_w = 1500\text{ mm}$ とすると、たわみ差に伴うルートギャップの変化は1継手当たり $\delta = 0.5\text{ mm}$ 程度であり、架設順序とルートギャップの関係はほとんど無視できるものと判断した。

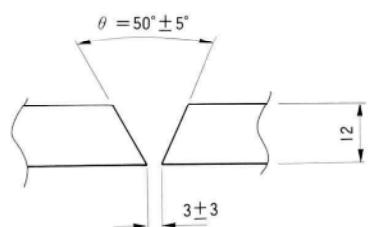


図-6 開先形状

(4) 工場製作について

主構トラスの製作誤差の許容値は、鋼橋等製作基準に準拠するとパネル当り 2 mm である。トラス本体の仮組立時に主構格間長・対傾構間隔・鋼床版の支承間隔などを実測し、鋼床版縦桁の製作、仮組立に反映することを前提とした。但し主構と鋼床版の製作範囲は必ずしも一致していないから、仮組立時の測定データを交換しソールプレートの取付寸法等に反映し、工場製作時の部材精度管理を行った。現場組立後の問題は、現場溶接に伴う実際の収縮量の予測とルートギャップの管理である。通常の溶接条件下の収縮量は $1.5\text{ mm} \sim 2.0\text{ mm}$ であるが、溶接方法・拘束の程度・仮付溶接の有無などにより変動する。更に仮組立時と現場組立時の温度変化による部材の伸縮も同程度と予想されるからルートギャップ管理は非常にやっかいである。そこで現場での開先調整を最小限にすること、工場での仮組立に支障のないことを目標にして製作寸法の検討を行った。結果的には図-7、表-3に示すように部材間の隙間と調整部の過大孔(26.5ϕ)で対処した。

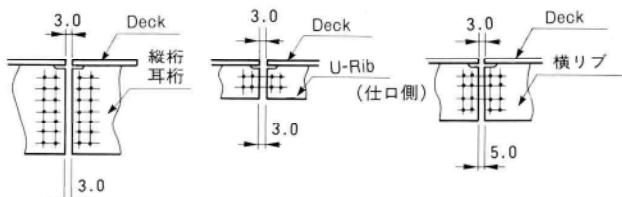


図-7 仕口部の隙間

表-3 調整部の過大孔

個所	使用ボルト径	孔径	備考
縦 桁	M22	24.5ϕ	一般部
	"	26.5ϕ (拡大孔)	3~4継手毎に1ヶ所 (溶接収縮誤差を逃がすため)
縦 リブ	"	26.5ϕ (拡大孔)	
横 リブ	"	26.5ϕ (拡大孔)	曲線桁で、かつ長大連続桁である。

(5) 高力ボルトの本締めの時期

高力ボルトの本締めの時期は現場溶接完了後とした。これは、多径間連続構造を採用したことにより発生する溶接変形量の軽減・支承の据付を容易にすることを目的としたものである。すなわち、鋼床版縦桁の腹板面・下フランジとも仮ボルトおよびドリフトピンのみであり、溶接部に対する拘束度は低い(図-8)。

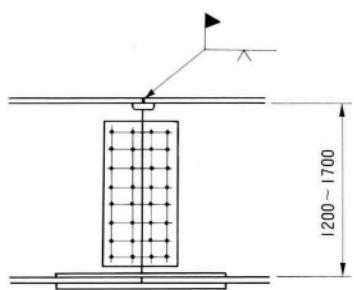


図-8 縦横継手

(6) 現場溶接施工に伴う収縮量の推定

溶接継手部では、溶接による溶着金属の収縮と溶接部付近の不均一温度分布によって生ずる塑性ひずみにより完全に冷却した後に収縮変形が発生する。

これらの溶接変形は、設計上もっとも対策のたてにいくものの1つであり継手形状・溶接方法・溶接順序・拘束の程度などにより変化する。溶接変形の形態は、横収縮・縦収縮・回転変形・角変形などがあるが、鋼床版橋梁で問題となる変形は一般的に横収縮である。横収縮に対処するために通常橋梁では1溶接継手の収縮量を予測し、収縮量に伴う幾何学的な関係による付加キャンバーをつける方法などが行われており、施工実績も多い。(図-9)

この方法は横収縮に対して拘束がない状態(下端ピン)をモデル化したもので、実際には自重、その他(高力ボルトの本締めの範囲)の拘束があり、理想的には挙動しない。

本橋の場合には、仮受点が支承(BPB)であること、

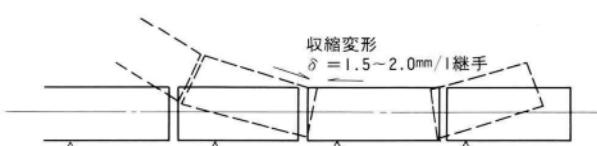


図-9 変形モデル

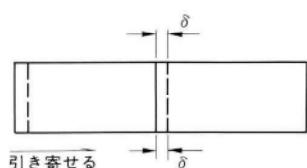
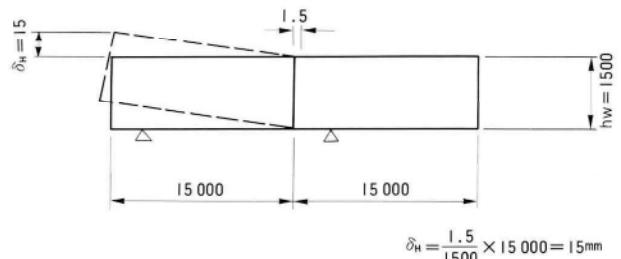


図-10 変形モデル

支間長が短いこと、溶接時には腹板・下フランジは仮ボルト、ドリフトピンのみであること、更には、大鳴門橋施工実績などから溶接変形に伴う跳上り現象は少ないと判断した。極端な場合、上下フランジの変形量が等しい場合には、キャンバー変形は発生せず全体的な横収縮のみが生ずることになる。(図-10)

次に下フランジ側をピンと仮定した状態で、横収縮量を1.5 mm/継手とした時の回転変形量(跳上り量)と自重による拘束変形を試算する(図-11)とほぼ同値であり、またその他仮ボルトなどの拘束もあるから、跳上り減少は発生したとしても微小なものであると考えた。

$\delta = 1.5 \text{ mm/継手}$ とした時の幾何変形と自重によるたわみ



鋼自重によるたわみ

$$q = \frac{2700 \text{ t}}{480 \times 2} = 2.813 \text{ t/m (片車線)}$$

$$I = 6,624,660 \text{ cm}^4 (\text{水平輪回りの断面二次モーメント})$$

$$\delta_g = \frac{q \ell^4}{8EI} = \frac{28.13 \times 1.5^4 \times 10^{12}}{8 \times 2.1 \times 10^6 \times 6,624 \times 10^6} = 1.3 \text{ cm} \rightarrow 13 \text{ mm}$$

図-11 変形試算モデル

4. 現場施工

(1) 支承の据付け・調整

鋼床版の架設は、7A～3P間の主構架設が完了してから開始するが、下路床組・付属物・仮設物などの載荷状態は、両共同企業体の架設工法のちがい、架設工程の進捗状況により暫定完成時の形状を予測するのは非常に困難ではあったが予測できる範囲内で架設条件・載荷条件を調査し、更には、製作誤差・架設誤差を考慮して調整方法を下記のとおりとした。

(a) 据付け高さの調整

鋼床版の据付け高さについては、前述した様に予め推定した鉛直変位量をもとに、横断面方向の高さ管理を行うが、予測のつかないトラスの変位、鋼床版溶接時の変形等により支承部隙間が生じた場合には図-12に示す要領で調整する。尚下沓下面の調整板は予測の鉛直変位に

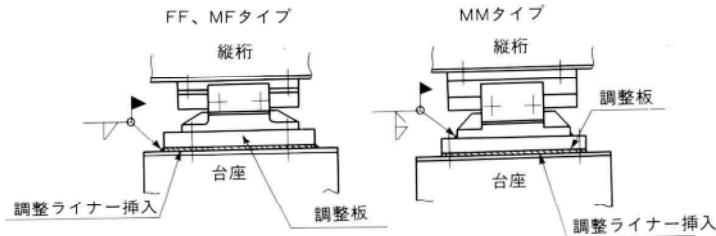


図-12 支承調整要領

ボルト径	孔径	最大調整量
M22	30φ	8mm
M24	40φ	10mm

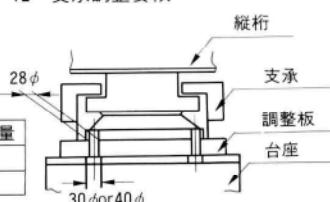


図-13 支承調整方法

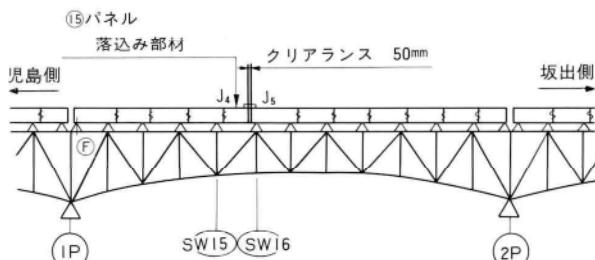


図-14 鋼床版落し込みパネル

基づいて工場にて切削加工する。又、全体的な縦断方向の高さ関係は、主構のキャンバーにより左右され、基本的には主構の形状・出来形に沿った高さ管理を行うこととした。

(b) 橋軸方向の調整

固定支承は各径間の児島側端部のみ配置され、その他は全て橋軸方向可動支承であるので、固定支承仮置の際、工場仮組時の製作誤差を考慮して正確に配置し、この支承線を基準線とした。尚、調整は台座および支承の固定ボルト孔のクリヤランスで行った。

(c) 橋軸直角方向の調整

橋軸直角方向については、架設前に各径間毎の変位量を実測し、その数値を補正して支承の据付け位置を決め、架設を行う。調整は橋軸方向の調整と同様、台座及び支承の固定ボルト孔のクリヤランスで処理する。(図-13) 橋軸直角方向ズレ量を実測し、修正方向および修正量を算出し調整可能な範囲 ($\delta = 8 \sim 10\text{mm}$) を調整した。

(2) 施工境界部分の架設

中央径間部 2P 橋脚側 7 パネルの鋼床版は図-14に示す⑯パネル鋼床版が落し込み部材となるため、あらかじめ正規の位置より 50mm 坂出側にずらして架設を行い、

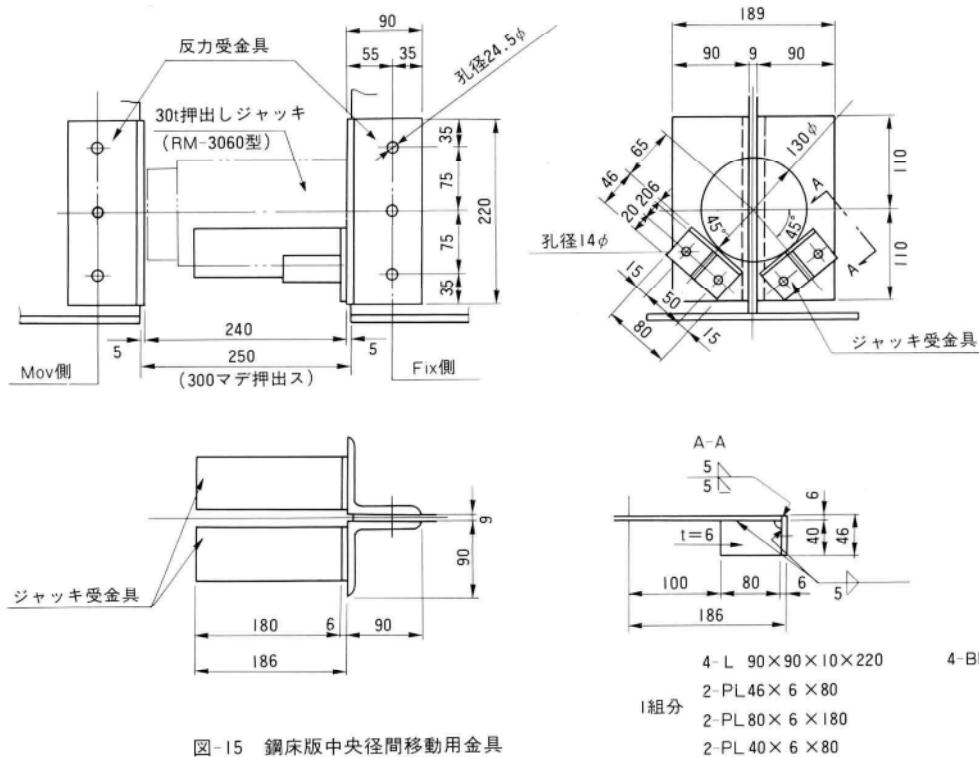


図-15 鋼床版中央径間移動用金具

鋼床版の溶接作業前に押出しジャッキ 8 台を用いて正規の位置にもどし⑯パネルの溶接をした。

5. あとがき

本橋は上乗せ形式の道路床組として、多径間連続構造を採用した。連続径間数は最大12径間である。これは伸縮装置の数を減らして車両の走行性を改善するとともに、舗装のメンテナンス上も有利であるとの判断によるものである。もちろん、多径間連続構造の採用に際しては、主構造物の変形挙動の度合い、すなわち上乗せ構造物と本体構造物の変形に対する追従性と支承構造の問題および現場施工に係る施工順序、工程上の問題があり必ずしも全ての橋梁形式に適用できるわけではなく、自ら限界があろう。本文は番の州高架橋トラスの道路床組に多径

間連続構造を採用するに際しての事前検討の概要、施工上の考え方を整理したものである。現在は施工も完了し橋面出来形等良好な結果が得られている。同種橋梁などの形式検討の参考になれば幸いである。尚、本橋は主構造の架設工法の違いにより二つの共同企業体で分割施工した。最後に本工事に際して、坂出工事々務所をはじめ本四公団の方々、共同企業体の方々、その他多くの関係者の皆様の御指導ならびに御協力を戴いた。末尾ながら心から感謝申し上げる次第です。

〈参考文献〉

- 1) 本州四国連絡橋公団；鋼橋等製作基準・同解説、昭和52年
- 2) 高橋、引間；道路、鉄道併用トラス橋の設計、宮地技報No.3、1987年1月

グラビア写真説明

瀬戸川橋

瀬戸川橋は、長野県木曾郡王滝村の愛知用水牧尾ダム右岸の一部を横断する村道1号線に架るもので、昭和59年9月14日の長野県西部地震の折りには、県道御岳王滝線の大崩壊により交通が遮断された為に、県道に変わる生活道路としての重要性が再認識されました。王滝村は木曾桧の産地として、又山岳信仰の靈峰御岳山の修験者の泊地として発足してきましたが、今後の発展のために、スキー場、キャンプ場等を造成しており、観光客の誘致に力を入れています。王滝村の玄関に位置する瀬戸川橋もその一翼を担うものと思われます。(永田)

横尾一号橋

黒潮の流れの中に遊ぶ赤・青・白・色取りどりのウインドサーフィンの帆が点在する外房を左に見て国道128号線を南下し、県道鴨川保田線から国道410号線に入ると、新緑の松の緑と県花菜の花の黄色の中にシックな焦茶色の横尾一号橋が架かっています。国道410号線は、館山市から木更津市に至る南総中央部を南北に縦断する幹線道路として昭和57年4月に開通しました。愛宕山塊から豊英ダム方面に抜ける横尾地区の一番目の橋梁として計画された1号橋は、耐候性鋼材の無塗装仕様であり将来の維持管理も考慮していると同時に、焦茶色の落ちついた色感が比に橋有りきと言う塗装色を使用する事が無くとも、年月の経過と共に自然の中に溶け込み、周囲の環境に調和した橋梁と成って行くでしょう。(谷古)

鉄骨構造VEマニュアルの作成

Introduction to the V.E. Manual for Steel Frame Structures

池 田 拓 司*
Takuji IKEDA

Summary

In order to pursue rationality and productivity in the production of steel frames for buildings and to facilitate understanding by designers and clients, with the aim of producing high-quality and economical architectural steel frames, we have prepared a V.E.(Value Engineering) manual for these architectural steel frames.

This report is an introduction to the above-mentioned manual and outlines its major contents.

1. まえがき

昨今の建設業界は貿易摩擦による内需拡大策によって公共事業が大量に発注され、都市再開発事業等と相まって過熱状況を呈している。しかしながら建築鉄骨の単価は一向に上がらず低迷を続け、採算が合わないと云う現状の要因は産業構造の変革による影響、我々の企業を含めた建設業界関連の近代化への対応の悪さ等、多くの問題が上げられる。これらの難問を解決し企業を永続、発展させるためには生産過程での徹底した合理化を推進することが前提条件となる。この合理化の一環として鉄骨構造の合理性と生産性を追求し、これを早期に実現することを狙いとして「鉄骨構造 VE(Value Engineering)マニュアル」を作成した。このうち、本稿では鉄骨構造の中で最も多用されている鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)構造において、構造上、最も重要な部位であり、また加工面からも一番製作コストのかかる柱・梁の仕口部を主にその一端を紹介する。

2. 鉄骨構造のVE的アプローチ

鉄骨は從来から製作発注であり、設計専門業者が行った基本設計(機能設計)に基づいて、生産設計(工作図)を行い製作するのが通例である。従ってVEの定義である「最低のコストで、必要な機能を確実に達成するため、

* 松本工場総務部副部長

組織的に製品又はサービスの研究を行う方法」に示すように機能まで遡って研究することは、鉄骨業者では困難なことが多い。しかしながら、この矛盾を克服しないかぎり、VEの効果はあまり期待はできない。鉄骨の機能を損なわず、設計思想を逸脱することなしに、顧客のニーズにマッチした鉄骨をVE的アプローチによって、より経済的、より合理的に製作できることを設計者や客先に理解、納得してもらうように心がけてマニュアルを編集した。VE的アプローチの着目点として次の事項について検討した。

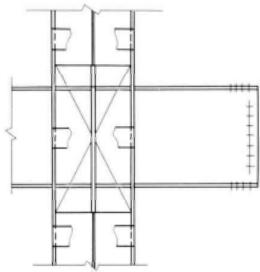
- | | |
|--|------------|
| ① 加工度を少なくするか、加工を容易にする。
② 部品数を少なくする。
③ 工程数を少なくする。
④ 部品、部材の形状寸法を統一して種類を少なくする。
⑤ 代替品を使用することでコストを削減する。
例……広幅平鋼、パラレルフランジチャンネル(PC)などの使用 | (構造、形状の改善) |
|--|------------|

3. 鉄骨構造VEディテール

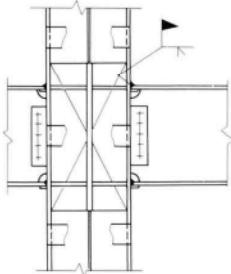
(1) SRC構造のタイプと難易比較

通常、設計されるSRC造の柱・梁仕口部は柱貫通タ

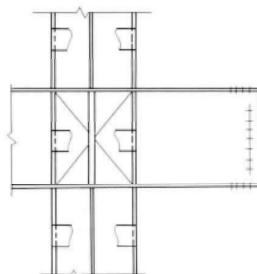
① 柱貫通 & プラケット



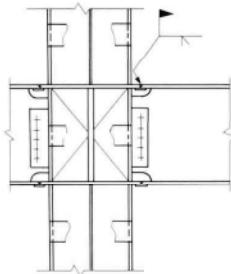
② 柱貫通 & 現場溶接



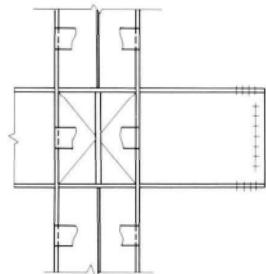
③ 梁貫通 & プラケット



④ 梁貫通 & 現場溶接



⑤ 柱貫通 & プラケット



⑥ 柱貫通 & 現場溶接

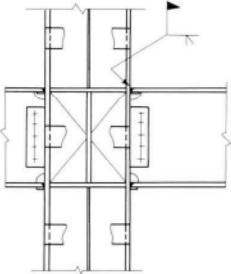


図-1 SRC構造のタイプ（十字柱）

イフ、梁貫通タイプに2分されるが、現場接合方式も含めたもので分類すると、図-1に示すとく①～⑥に分けられる。これを工程別に製作加工度を評価すると、表-1のごとくなる。現場での施工環境を初めとする諸条件により全面的に取り入れることはできないが、柱貫通現場溶接方式が、梁法兰ジのH.T.Bolt継手がなくなることも含めて、最も経済的な柱・梁仕口部のディテールと考えられる。

(2) 柱・梁仕口部ディテール

柱・梁仕口部ディテールについて、設計詳細図よりVE改善したものについて以下に記す。

表-1 タイプ別難易比較

工程	タイプ	①	②	③	④	⑤	⑥
工 作 図	○	○	○	○	○	○	○
現 寸	○	○	○	○	○	○	○
野 線	○	○	○	○	○	○	○
切 断	○	○	○	△	○	○	○
孔 明	○	○	△	○	○	○	○
組 立	○	○	○	○	○	○	○
溶 接	○	○	○	○	○	○	○
矯 正	○	○	○	○	○	○	○
仕 上	○	○	○	○	○	○	○
輸 送	○	○	○	○	○	○	○
現 場	○	○	○	○	○	○	○
総合評価順位		5	2	6	3	4	1

○ 加工性が特に良い

*総合評価の順位は当社における

○ // 良い

製作加工度の良さを表わす。

○ // 難がある

△ // 悪い

(a) 梁法兰ジの段差150mm以内の場合（図-2）

梁段差が150mm以下となるとダイヤフラムの組立及び溶接施工が著しく困難となるばかりでなく、U.T.検査なども不可能となり品質管理の面からも好ましくない。そこで図-2のごとく①、②、③案を提案している。

(b) 梁法兰ジの段差150mm以上の場合（図-3）

①案は中間ダイヤフラムを1枚物とし、パネルプレー

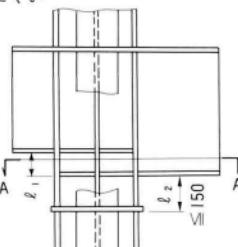
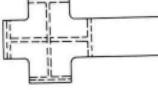
設計ディテール	VEディテール
ダイヤフラム間隔が小さく溶接しにくい	①案…ハンチにしてダイヤフラムを少なくする  A A $\ell_z \leq 150$ 45° 以内 z_2 z_1 150 VII
	②案…A-A面ウェブプレートを分割しダイヤフラムを1枚物とする 
効果	③案…A-A面の溶接が難しいので縦法兰ジを分割し外側からの溶接とする 

図-2 150mm以内の間隔で梁段差がある場合

設計ディテール	VEディテール
	<p>①案…シャフトウェブを分割してダイヤフラムを通して1枚物とする $\ell > 150$</p> <p>スカラップは開先面のみとし、裏板は2枚割りとしてスカラップはとらない</p> <p>②案…スカラップを取りないでスミ切りとする A-A面</p> <p>a部 $\ell \leq 250$ スミ切 $\ell > 250$ スカラップ</p>
効果	<p>①案…板厚の厚いダイヤフラムを通して1枚物にし、プラケットの付かない部分をスミ肉にする事で溶接量が減る。 2) 裏板を2枚割りにする事でスカラップ、スカラップのまわし溶接がなくなる。</p> <p>②案 1) スカラップをやめる事で溶接にくいまわし溶接が減る。 2) スカラップ部はスパッタが付いたり、カットが発生しやすいが、その仕上げが少なくなる。 3) プラケットのない方向はスミ肉溶接となり、溶接量が減る。</p>

図-3 150mm以上の梁段差がある場合

トを分割したもの、②案はパネルプレートを貫通させ、中間ダイヤフラムを分割したものである。これらはパネル部及びダイヤフラムのスカラップを裏板を2枚割りすることにより、極力省いたものである。スカラップを設けない溶接方式については疲労試験を行い、通常施工されているスカラップ方式と同等の強度を有することが確認されている。図中の効果の項に記すごとく、スカラップを省きまわし溶接がなくなることは、強度と施工の両面からそのメリットは大きい。

設計ディテール	VEディテール
H形鋼の突合せ（裏板付）形状	<p>①案…スカラップをやめて裏板2枚割りとする</p> <p>裏板はR曲げ加工して切断 切 RはH鋼のRに合せる</p> <p>②案…コーナー部のスカラップをやめてスミ切りとする</p> <p>裏板スミ切 スカラップ分UT外とする</p> <p>コーナー部はスミ切りにして溶接にて埋める</p>
効果	<p>①案…H鋼R部の切欠き仕上がなくなる。 ②案…スカラップのまわし、スパッタの付着等がなくなり仕上も少なくなる。</p>

図-4 H形鋼の突合せ溶接部の裏当金形状

設計ディテール	VEディテール
ℓ_2 がマイナス側の場合	<p>条件…①</p> <p>左図の場合組立不可</p> <p>条件…②</p> <p>① ℓ_1 $\ell_2 \geq 150$ スミ肉④は先溶接 レ形⑤は溶接不可</p> <p>条件…③</p> <p>ℓ_1, or $\ell_2 < 50$ スミ肉④は先溶接 レ形⑤は溶接不可</p> <p>条件…④</p> <p>ℓ_1, or $\ell_2 \geq 50 \rightarrow \ell_2$ or $\ell_1 \geq 100$ 溶接可能最低条件</p> <p>①案…条件①～③の場合は条件④に変更する</p>
効果	<p>①案…組立、溶接の出来ない条件①～③の場合、条件④に変更して施工出来る様にする。</p>

図-5 芯ずれしたシャフトの溶接施工条件

(c) 柱・梁仕口部にH形鋼を使用した場合（図-4）
H形鋼のフランジからウェブに移行するフィレット部のR部は切断、溶接、仕上等問題の出やすい所であるが、①、②の改善案により解消された。

(3) 柱シャフト部ディテール

(a) 芯ずれしたシャフトの溶接施工条件

図-5に示すとく、SRC造では採用されるケースが割合が多く、組立、溶接作業上、 $\ell_1 \text{ or } \ell_2 \geq 100$ が絶対に必要な寸法である。

それぞれに根拠もしくは理由などを付記して、活用を容易にしたつもりである。現在、鉄骨の自動製図システムが実用化され、更にCAD/CAMに向けてバージョンアップが継続される。このCAD/CAM化には、構造の標準化が不可欠であり、このマニュアルはその第一歩としての役割を果たすものである。

4. あとがき

提案された項目の大部分は今まで実際の工事で提案されてきたものであるが、更にこれらを系統的に集大成し、

グラビア写真説明

箕輪架道橋

東海道新幹線豊橋一名古屋間の三河安城新駅（予定）付近の、供用中の新幹線盛土区間において、我が国初めての架道橋新設工法による工事が行なわれた。

新工法は、格子桁を工事桁として架設した後、格子桁直下の盛土を取り除きコンクリート函体を施行する方式により行なわれ、当社施工の格子桁部分は、昭和62年3月に竣工し、全体工事としては、昭和63年1月に無事完了している。

格子桁は、盛土際にあらかじめ組立を行い、架設は夜間の列車間合（6時間30分）を利用して、格子桁850t（軌道含む）を、当社開発の水平ジャッキを使用した横取り装置で、約32mの横取り及び降下を行なった。

短時間施工のためJR東海の御指導を受け、種々の検討により、活線下で初めての試みとして、良好な結果を得ている。（菅井）

渋海川専用橋

本専用橋は、新潟県頸城郡～北長岡間に敷設される、帝国石油のLNGパイプラインの一環として、三島郡越路町、渋海川に設置された3径間の単純3弦トラス橋である。新潟県は海上部を含む沿岸で石油及び天然ガスが噴出し、特に夜の電車で、柏崎～長岡間を走っている時は、田圃の一部で噴出するガスを燃やしている光景を見る事が出来る。現在でも、一日200t程度の石油を吸い出し、月に何回か、タンクローリーで石油を買いに来るという日本最古の油井戸も所在している。本橋のすぐ側に宝徳大社があり、ここは商売の神様で、日本中の信者が月2回の祭典に集まっている。見上げるばかりの大鳥居で、靖国神社を凌ぎ、私が見ている中では、一番大きいものであり、北陸線の車窓からも一目で分かるものである。（中村（佐））

光が丘公園公園橋

光が丘公園は東京区部北西端（練馬・板橋）に造成され、区部で開園中の公園では最大となる。旧陸軍による成増飛行場の建設後、昭和22年より米軍のグランドハイツとして利用され、昭和46年に日本に返還された。現在“豊かな自然とスポーツの公園”をテーマとし、運動施設をともなう森林公园、災害時の避難場所として都民に開放されている。公園橋は公園と隣接する光が丘パークタウンと連絡する歩行者専用橋で、形式は道路との立体を考慮し連続ラーメンが採用された。対称する2橋の橋梁が並んでいる事から星座の双子座をもじって「ふたご橋」と命名された。（北村）

本州四国連絡橋大島大橋補剛桁の設計

The Design of the Stiffening Girder for the Ohshima Bridge in the Honshu-Shikoku Bridge Project

小 坪 豪* 金 原 慎 一** 與 守***
Tsuyoshi KOAKUTSU Shinichi KINBARA Mamoru KOSHI

Summary

The Ohshima Bridge is one of the Honshu-Shikoku Bridges, and the first long suspension bridge adopting the stiffening box girder in Japan.

This bridge features, in harmony with the scenery, the use of economical stiffening box girders for the steel plate deck.

This report outlines analyses of the stiffening girder and the design of the cross section, the hanger bracket, and the center-stay, which are the main points of this structure.

1. まえがき

大島大橋は、本州四国連絡橋尾道～今治ルートに属し、瀬戸内海のほぼ中央に位置する伯方島（見近島）と大島の間、宮窓瀬戸を跨ぐ中央径間560m、全長840mの単径間吊橋である。本橋の補剛桁は美観、耐風安定性、経済

性等を考慮して、本州四国連絡橋では初めての逆台形鋼床版箱桁を採用している。本橋の寸法諸元を図-1、表-1に示す。本橋は、昭和63年1月開通した。開通時点では、車道2車線、自転車歩道1車線の暫定形状、最終完成時には、車道4車線、自転車歩道2車線の計6車線を計画している。

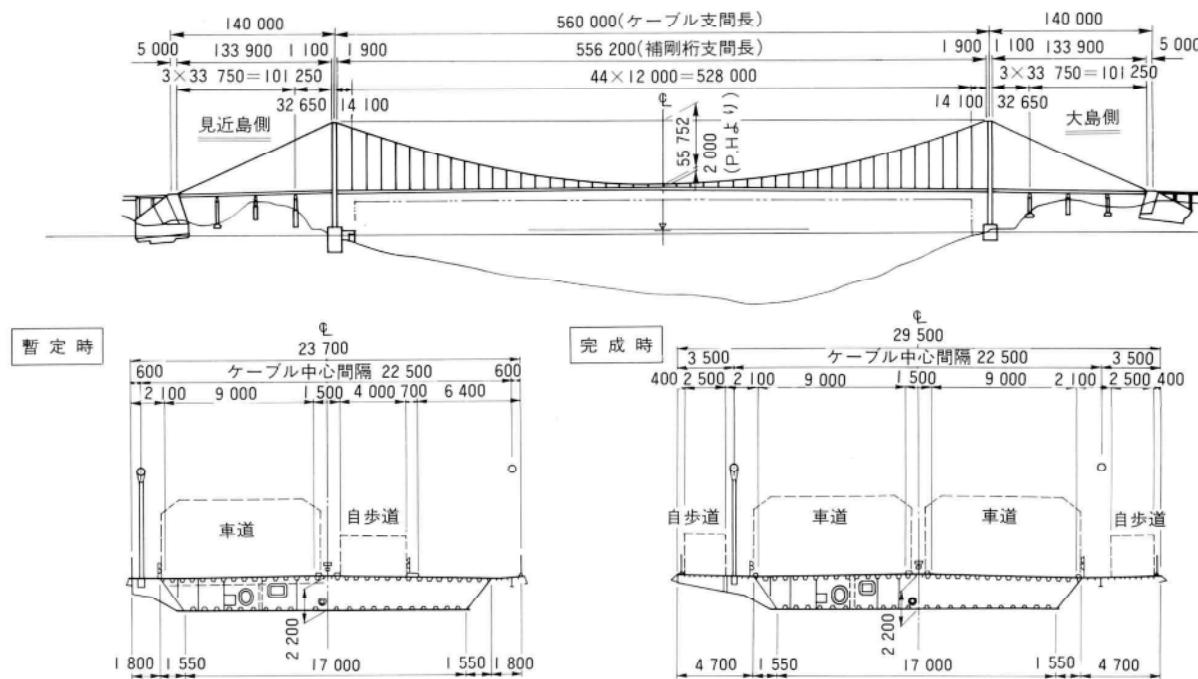


図-1 一般図

* 技術本部設計部設計第二課課長代理 *** 技術本部設計部設計第二課
** 技術本部設計部設計第三課

表-I 構造基本諸元

項目	内 容		
橋梁型式	単径間補剛箱桁吊橋		
支間割	補剛桁	556.2 m	
	ケーブル	140.0 m + 560.0 m + 140.0 m	
型式		2層ラーメン型式斜塔	
塔	塔中心間隔	塔頂 22.5 m 塔基部 25.5 m	
	塔基準高	ケーブル理論頂 TP + 96.969m 塔頂 TP + 95.000m 塔基面高 TP + 7.150m	
塔柱高		88.350m	
主ケーブル	型式	平行線ケーブル(PWS127×52ストランド)	
	素線径	5.10mm	
	直 径	471mm(空隙率20%)	
	サ グ	f = 55.752m	
中心間隔		22.5 m	
ハンガーロープ	使用ロープ	CFRC 7+6×7+6×W(19)	
	ロープ径	48φ、50φ	
	破断強度	48φ 153.0 ^t 50φ 171.0 ^t	
	使 用 本 数	4本／格点	
吊構	型 式	逆梯形2セル1箱桁	
	補剛箱桁	吊型式 ハンガープラケット型式	
	桁 高	2.2 m	
造部	床組・床版	桁 幅	完 成 時 29.5 m 暫 定 時 23.7 m
		路面工	車道部 アスファルト舗装 t=65mm 歩道部 " t=30mm
		暫 定 時	アスファルト舗装 t=65mm
	床 版	鋼床版	
	横リブ	充腹構造(ダイアフラム兼用)	

メインケーブルは、PWS127×52、素線径5.1mmで構成され、その直径は471mm、許容耐力(張力)は8 634^tである。なおハンガーロープはC.F.R.C48φ、50φを用いている。本報告は、補剛桁の解説概要と構造上の主要点である断面形状、ハンガープラケット及びセンタースティの設計について紹介するものである。

2. 補剛桁の断面形状について

箱桁の断面形状は、基本設計段階の検討をふまえて下記の理由により決定した。

(a) 桁高について

基本設計時に耐風安定性について桁高は2.2~3.0mのもので検討したが

- ① 風洞実験(部分模型)を行い2.2mのものが最も良い。
- ② 補剛桁の応力レベルは余裕がある。
- ③ 製作架設時の作業性は2.0m以上あれば良い。

以上のことから箱桁中央部の桁高を2.2mとした。

(b) ウエブの傾斜角

風洞実験でウェブの傾斜角が45°~59°の間では、耐風安定性に優位差は認められないことから航行船舶のレーダー対策上53.3°とした。

(c) 主桁断面のセル割り

主桁断面のセル割りは、モノセル、2セル、4セルが考えられるが、製作上の施工性、経済性を考慮して2セルとした。

(d) 縦リブ

鋼床版縦リブは、UリブとしJSS規格品を使用した。また、下フランジ縦リブは、基本設計では、バルブプレートで考えられていたが、詳細設計時にUリブとした。これは、主桁下フランジ厚が大部分10mmと薄く構成されている事と、バルブプレートの場合の溶接量がUリブの場合の2倍になる事により、溶接ひずみが非常に大きくなり、加熱矯正による溶接縮みが大きく発生する事が予想される。またUリブにしてもそれ程鋼重増とはならない、等の理由による。

なお実寸大の溶接比較試験体を製作した結果、溶接ひずみ、縮み量はバルブプレートの場合、Uリブの場合に比して約3倍もあった。

3. 構造解析

補剛桁は、ケーブル、塔を含む上下部一体系で解析し吊橋の変形を考慮した有限変形理論を用いた。解析モデ

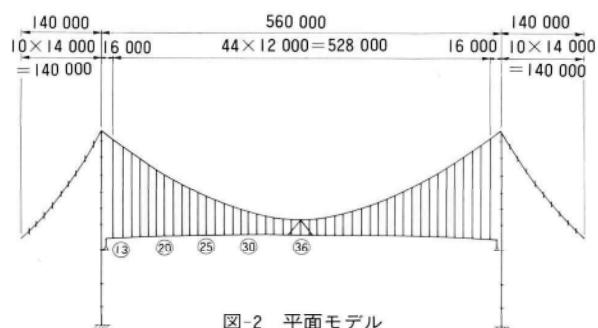


図-2 平面モデル

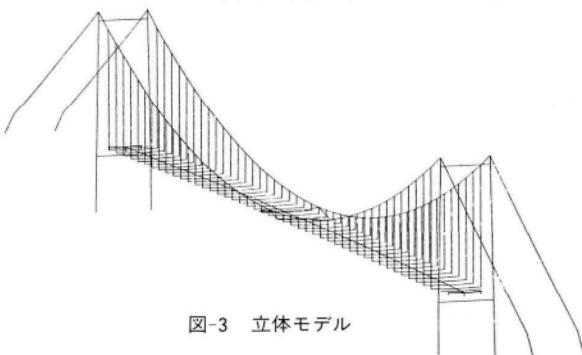


図-3 立体モデル

ルは、鉛直荷重については、平面モデルとし、(図-2)ねじり、横荷重については補剛桁を主桁とそれに直交する剛部材からなる立体モデルを用いた。(図-3)

暫定完成時は完成形状より死荷重（完成時と暫定時の死荷重の違い）を逆載荷することによりその形状を求めそれを初期形状として解析を行った。

地震時に対するは、本四応答スペクトルを用いたモーダルアナリシスにより、その断面力を求め応力、変形の照査を行った。

床組系でのハンガ一一定着ブレケット、ダイヤフラム（横桁）等の有効巾および応力集中個所の照査は、有限要素法（FEM）によった。

(1) 鉛直荷重による面内解析

鉛直荷重のうち固定載荷の出来る死荷重、支点移動、製作や架設の誤差および温度変化の影響については有限変形理論で行った。活荷重については、有限変形法では、系に同じ荷重を載荷してもそれを載荷する時の部材応力状態によって異った結果が生じる。従って種々の荷重を載荷するための影響線が定義出来ない。このことから線形化有限変形法により影響線を作成し、荷重載荷幅を求めて有限変形法により解析した。又荷重の組合せは個々の断面力を単純に加えることとした。これは吊橋の場合荷重の増加によりケーブル張力が増し剛性が高まることにより変位、断面力とも線形で考えるより小さくなり、単純に加えた方が安全側となることと、計算の煩雑さをさけるためである。但し支点反力、変位量等については順次載荷し正確を期した。

(2) 横荷重による面外解析（静解析）

吊橋における横荷重は、一般橋梁と同じく風と地震である。地震に対する扱いは全て動的解析をしているので風荷重のみとした。補剛トラスを有する吊橋では、風荷重によってその断面が決定されるが、本橋の場合偏平箱断面で面外剛度は大きく、暴露面積も小さいことからこれが支配断面力とはなっていない。

解析は3次元モデルを用い有限変形法にて行った。

(3) ねじり荷重解析

偏載荷重によるねじり解析は、横荷重と同じく三次元モデルとし、完成時活荷重の偏載および暫定時の死荷重、活荷重の偏載について行った。載荷幅は線形化有限変形法により影響線を求め、ねじり荷重載荷を行い断面力を

求めた。

(4) 断面力図および変位図

図-4～7に補剛桁の鉛直、水平両方向のたわみおよび断面力を示す。図の如く完成時は暫定時に比べ水平変位を除き全て大きい、従って断面は完成時により決定された。

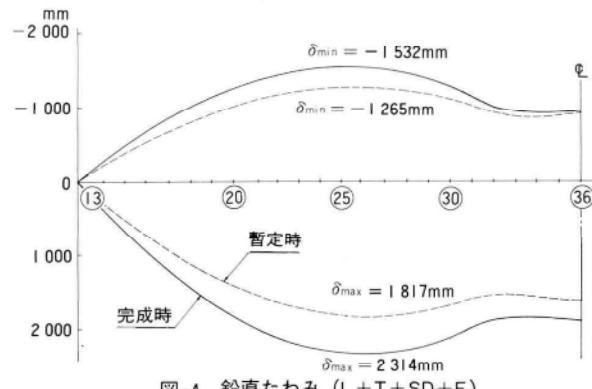


図-4 鉛直たわみ ($L+T+SD+E$)

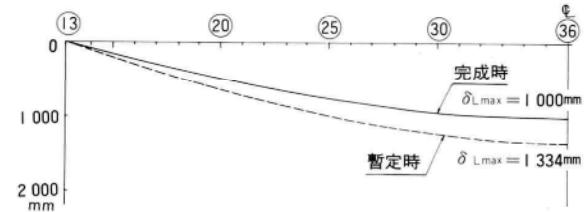


図-5 水平たわみ (W)

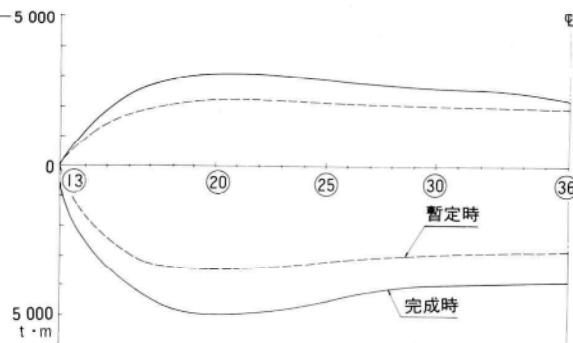


図-6 鉛直曲げモーメント ($L+T+SD+E$)

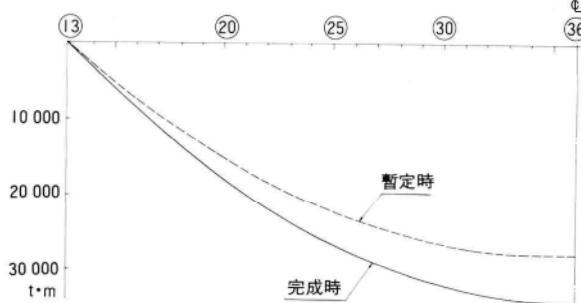


図-7 水平曲げモーメント (W)

(5) 動的解析

吊橋の構造で動的外力によるものは、風、地震、活荷重の通過による衝撃等があるが、活荷重による振動が、主構造に及ぼす影響は、風、地震に比べ問題とならない。また、風については、現時点では机上でその安全性を議論する方法がなく、風洞実験にたよらざるを得ない。架設系での耐風安定性について、全橋模型による風洞実験で確認をした。

地震応答解析は、通常時刻歴応答解析、応答スペクトル解析の2通りがある。本橋においては下記の理由により応答スペクトル解析とした。

- 1) 特定地震波を用いる時刻歴応答解析に比べて、多くの地震動を反映できる。
- 2) 時刻歴応答解析は、現実に出現した振動状態、あるいは出現するであろう状態を数理的にシミュレートするものであり、特定の地震動に対する応答特性を検討する場合には、有効な手段であるが、得られた結果で構造物の一般的な耐震性を論ずる事は難しい。

応答解析結果は表-2、3に示す。

表-2 応答加速度および応答変位

補剛桁の応答値	応答加速度			
		支点上	1/4 ℓ	中央
橋軸方向	(ステイ有)	91gal	75gal	90gal
	(ステイ無)	32gal	29gal	32gal
	鉛直方向	218gal	66gal	66gal
橋軸直角方向		459gal	179gal	281gal
	支点上	161mm	160mm	159mm
	(ステイ有)	338mm	335mm	335mm
応答変位	鉛直方向	—	130mm	121mm
	橋軸直角方向	—	467mm	595mm

表-3 固有周期

モード	橋軸方向		鉛直方向	橋軸直角方向
	ステイ有	ステイ無		
1	* 6.484	* 7.405	* 6.098	6.921
2	4.313	5.233	4.301	* 2.244
3	3.160	4.313	3.150	2.123
4	* 2.818	* 3.160	* 2.576	* 1.774
5	* 2.564	2.593	1.863	1.603
6	1.871	1.871	* 1.416	* 1.553

無印 対称モード *印 逆対称モード

4. 補剛桁の有効幅

本橋補剛桁の上下フランジ有効幅は、最大曲げモーメントの生ずる $\ell/4$ 点の部材に着目した影響線の正領域を等価支間長として、道示 8・3・4 により算出し、その結果全幅有効となった。

しかしながら、本補剛桁のように多室偏平な箱桁においては、中井等³⁾が報告しているように、偏平多室箱桁全体としてのシララグと、各セルを单一の箱断面と考えた場合のシララグの双方が作用する。このため、前記有効幅を検証する目的で、FSMによる解析を行った。

本解析では、フランジ、ウェブ、縦リブ、縦桁を断面に考慮し、要素分割を行なった。また、中間ダイアフラムは充分に剛であると考え、断面変形は考慮しない。

荷重は、上記有効幅を算出する際着目した部材の曲げモーメントが最大となる様な荷重配置と、その状態での吊橋系のハンガー張力とを同時載荷し(図-8)、フランジの応力分布を求めた(図-9、10)。

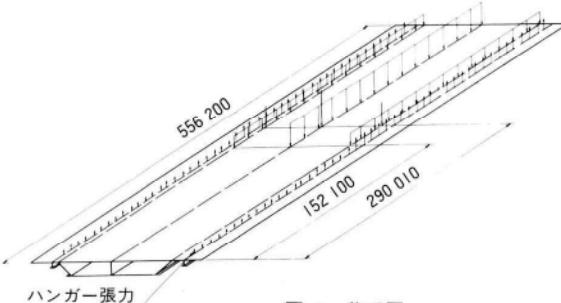


図-8 荷重図

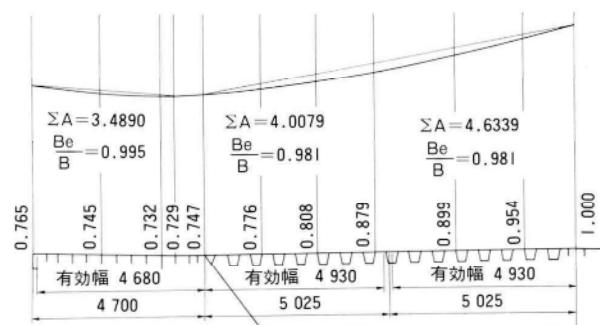


図-9 上フランジ応力分布(節点36)

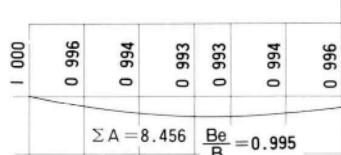


図-10 下フランジ応力分布(節点21)

この応力分布からフランジ有効率 B_e/B は、上フランジで0.981、下フランジで0.995となり、本橋の場合、全幅有効と考えても差しつかえないと考えられる。

断面計算は、上記結果により全断面有効（縦リブ、縦桁、中央隔板を含む）として曲げ応力度を求めた。せん断力ねじりモーメントは、せん断流理論により算出した。

また、斜ウェブ、下フランジの補剛材は、面内面外の荷重に対してプレートガーダーとしての腹板及び圧縮を受ける補剛板として設計した。

表-4 応力計算(完成時)

	断面力	応力度	備考
面内曲げ最大点	曲げ $M_{y \max} = 5145 \text{t} \cdot \text{m}$	$\sigma_u = -600 \text{kg/cm}^2$ $\sigma_l = 982 \text{ "}$	支店 $\frac{1}{4}$ 点 *はパネル間の付加モーメント含む
	死荷重せん断 $S_d = 86\text{t}$	$\tau_d = 133 \text{ "}$	
	活荷重せん断 $S_s = 134\text{t}$	$\tau_s = 207 \text{ "}$	
	ねじりせん断 $T = 2025 \text{t} \cdot \text{m}$	$\tau_s = 261 \text{ "}$	
	合計せん断	$\Sigma \tau = 601 \text{ "}$	
面内曲げ最小点	曲げ $M_{y \min} = -3065 \text{t} \cdot \text{m}$	$\sigma_u = 357 \text{kg/cm}^2$ $\sigma_l = -585 \text{ "}$	支間 $\frac{1}{4}$ 点
	死荷重せん断 $S_d = 86\text{t}$	$\tau_d = 133 \text{ "}$	
	活荷重せん断 $S_s = 134\text{t}$	$\tau_s = 207 \text{ "}$	
	ねじりせん断 $T = 2025 \text{t} \cdot \text{m}$	$\tau_s = 261 \text{ "}$	
	合計せん断	$\Sigma \tau = 601 \text{ "}$	
面外曲げ最大点	曲げ $M_{z \max} = 3370 \text{t} \cdot \text{m}$	$\sigma_u = -440 \text{kg/cm}^2$ $\sigma_l = 440 \text{ "}$	支間 $\frac{1}{2}$ 点
	死荷重せん断 $S_d = 86\text{t}$	$\tau_d = 89 \text{ "}$	
	活荷重せん断	—	
	ねじりせん断	—	
	合計せん断	$\Sigma \tau = 89 \text{ "}$	

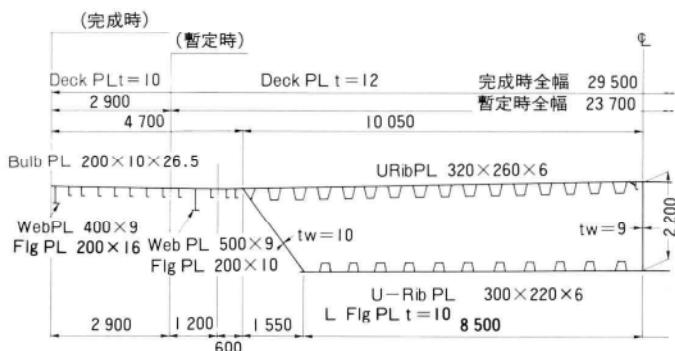


図-11 断面構成

5. ハンガー定着プラケットの構造

本橋のハンガーの定着は、箱桁本体より離れたプラケット部で行われている。この様な構造は諸外国でも箱桁形式の吊橋ではみられずウェブ直近で定着されている例が多い。本橋のような形式の特徴は定着構造が容易であり箱幅を小さく出来ることにある。但し、ハンガー軸力はプラケットを介して主桁に伝わることになりその結合部分の力の流れが複雑となる。基本設計では、このことから薄肉立体モデルでFEMにより検討しプラケット断面を照査している。しかしながら、

① 局部的に応力集中がみられ、また主桁作用との二軸応力状態になっている。

② この部分は多くの部材が集中してくるため溶接等による残留応力が懸念される。

これらの理由により、この交差部の構造詳細の決定および溶接施工性の確認の目的で実橋大の試験桁を製作し大型試験機による疲労試験を行った。

また、疲労試験と併行して試験体モデルおよび実橋モデルでのFEM解析も行った。疲労試験結果より疲労寿命曲線を作成し許容応力を求め又実橋に合わせるため、FEM解析結果での応力度から疲労許容応力を求めた。

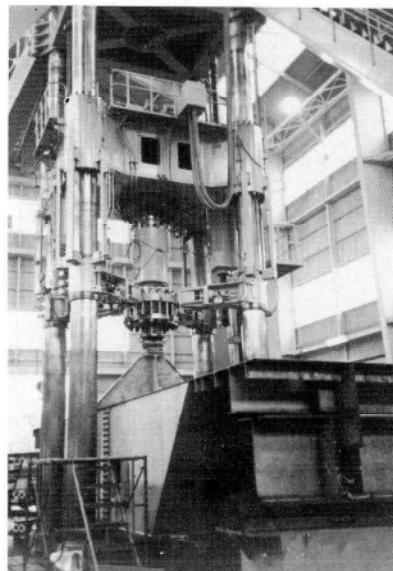
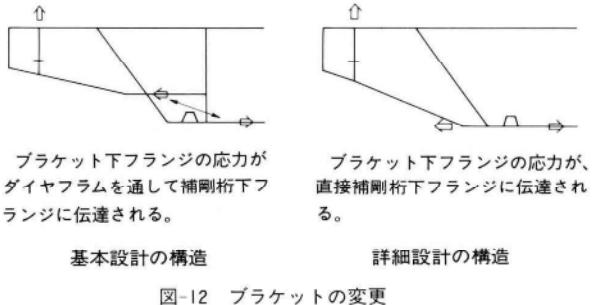


写真-1 プラケット部疲労試験

その結果、ハンガーアンダーフランジ交差部は疲労設計上安全であると評価できるものの、この部分は補剛桁で最も重要な部分であり断面急変による応力集中は残ることからプラケット形状を変更しプラケット下フランジを主桁下フランジに合わせることとした。



なお、下フランジトラフスカーラップの応力集中は避けられないことからウェブ付根より2本はダイヤフラムを優先しトラフを切ることとした。

また、上フランジトラフは、プラケット形状を変更したことにより応力集中が緩和されトラフを貫通することが出来た。

次にFEM解析で検討した結果の一部を以下に示す。

(a) プラケット形状の構造比較

- 1) トラフリブ切抜き上側の主応力は、大きく改善されている。(図-13、14中の□部)
- 2) ダイヤフラムと下フランジ連結部の主応力、最大せん断力は、同程度であり改善されていない。
- 3) 下フランジに生じていた板曲げ応力度も変わらないと判断される。

(b) 下フランジトラフの応力度の比較

全ての縦リブを貫通させた場合と2本の縦リブについて

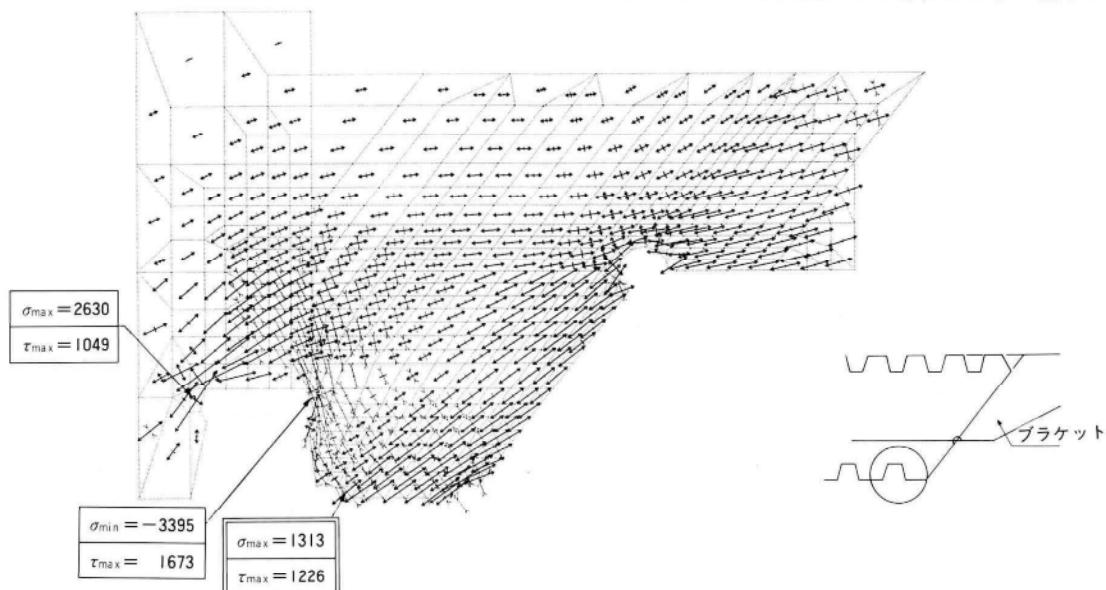


図-13 基本設計の主応力

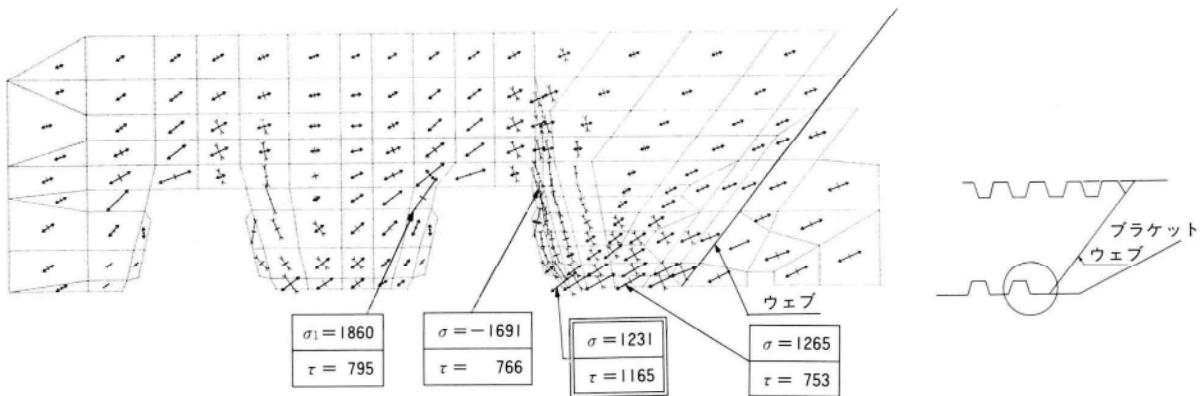
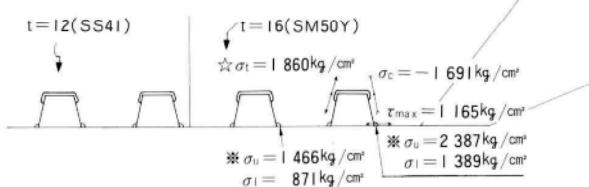


図-14 詳細設計の主応力

1) 全て縦リブを貫通した場合



2) 縦リブ2つ分ダイヤフラムを貫通した場合

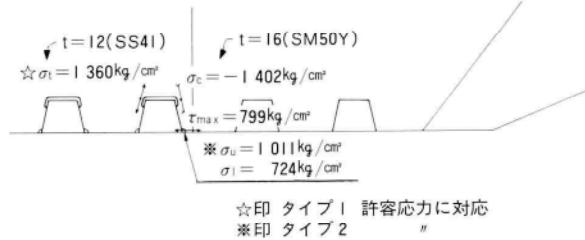


図-15 トラススカーラップ付近の発生応力比較

ではダイヤフラムを貫通させた場合の下フランジトラフの応力度の違いについて、図-15に示す。図中2)項の場合許容応力を満足する。

6. センタースティ

一般的な吊橋の橋軸方向の変位による抵抗力(復元力)は、ハンガーとタワーリンクの傾斜による水平成分の力だけである。この為、長大橋ではスティを付けることにより実用上問題ない変位としている。本橋は、美観上タワーリンクの代わりに鉛直脊を使用している。さらに本橋の補剛桁は非常に撓み易いことから常時荷重による変位が大きい。よってスティは、比較的重要な構造部分となる。

センタースティに入る張力は、常時荷重が他橋(補剛トラスを持つ吊橋)に比べハイレベルとなり、反面風荷重はこれを下廻る結果になっている。

そこで常時荷重に対して大きなセンタースティを必要とするが、これが災いして地震時に大きな応力を発生する。又地震時にも耐えうるスティにするとセンターバンド長が627mmとなりスティケーブル比 $\alpha = 627/46 = 13.6$ にもなる(通常この値は5~8倍程度としている)。

そこでスティに破断部を設けることにより暴風時には破断せず地震時に破断する構造とした。この時安全率が問題となるがこれは、表-5に示す値とした。又スティの滑り安全率は、スティ切断荷重に対して滑動しないものとし、常時 $\nu = 3.0$ 、暴風時 $\nu = 2.0$ 、地震時 $\nu = 1.5$ と設定した。

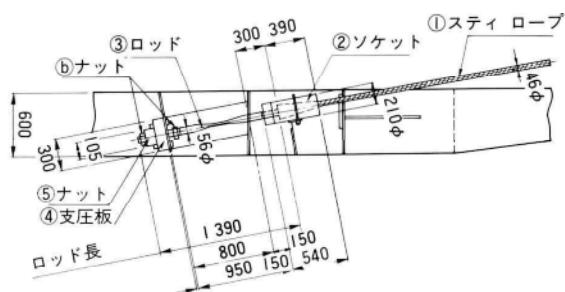


図-16 碇着構造

表-5 スティロープおよび破断部の安全率

部材	荷重状態	安全率			ν_B : 破断に対する安全率 ν_r : 降伏に対する安全率
		記号	許容値	計算値	
スティロープ	常時	ν_B	3.0	5.36	
		ν_r		4.42	
	風時	ν_B	2.0	2.76	
		ν_r		2.27	
	地震時	ν_B	1.3	1.37	
		ν_r	1.0	1.12	
破断ロッド	常時	ν_B	2.0	3.93	
		ν_r		3.52	
	風時	ν_B	1.5	2.02	
		ν_r		1.81	
	地震時	ν_B	<1.0	0.78	
		ν_r	<1.0	0.70	

表-6 橋軸方向変位量

(単位:mm)

	スティあり	スティなし
活荷重	368	438
風荷重	66	299
地震荷重	164	338

センタースティの効果を表-6に示す。表の如く橋軸方向最大変位は地震時(スティなし)より常時(常時)決まっている。

スティ碇着の設計は、慣用計算の外に三次元FEM解析を行い、計算の妥当性を確認した。

7. 耐風安定性

本橋において詳細設計に先立ち数種の風洞実験が行なわれ、箱桁完成時断面、暫定時断面とも自励振動につい

ては安定しているが、高い迎角の風に対し20m以下の風で渦励振がみられた。これは応力的にも使用性にも支障がなく、又実態としても渦励振の生ずる可能性は低いとされた。しかしこれらは、部分模型による風洞実験の結果であり、架設系については全橋模型による確認が必要と考えられ、詳細設計において架設途中の3段階（架設長で22%、54%、90%）と閉合時、すなわち暫定時断面の完成時について風洞実験を行った。その結果どの段階においても自励振動は発生しなかった。又後期段階では、部分模型の時の実験と同じく低風速で渦励振は生じたが、これも同じ理由で耐風安定性は十分であると考えた。

8. あとがき

以上、大島大橋の補剛桁についてその概要を報告した。補剛桁に箱桁を用いる構造は、その実例も少なく改良出来る余地があると思われ、吊橋の補剛桁に箱桁を使用する特徴を列挙して今後この構造が増えることを期待したい。

- 1) 桁高が低いため、非常に繊細かつ軽快な印象を与える。

- 2) 曝露面積が小さいため、風荷重により断面が決定されない。
- 3) 補剛桁は、版としての解析も必要がある。
- 4) 単純な構造のためメンテナンスが容易である。
- 5) 薄肉構造となるため、溶接によるひずみ等を十分に考慮し設計製作及び架設をする必要がある。
- 6) 添加物が箱桁内に入る所以、十分にその配置、位置等を考慮し、ダイヤフラム等の開口を考え設計する必要がある。

終りに本設計に当り本州四国連絡橋公団今治工事事務所並びに大島大橋補剛桁製作宮地・横河共同企業体及び関係各位に多大のご援助戴いた。ここに付記して深甚なる感謝の意を表する次第である。

〈参考文献〉

- 1) 中井、田井戸、林；偏平多室箱桁のシャラグ解析と有効幅の一算定法、土木学会論文報告集、昭和58年12月
- 2) 谷中、福井他；本州四国連絡橋大島大橋補剛桁の設計、橋梁と基礎Vol.21、No.10、昭和62年10月

グラビア写真説明

南浦和跨線橋

本工事は、東京外郭環状道路の東北本線、京浜東北線の跨線部に自動車専用道及び一般国道298号線の各上下線桁4連を架設するものである。

架設工法は、初めに専用道下り線桁を手延機による送り出し工法にて架設し、次にその桁上を組立ヤードとして、残り3連を縦取り組立後横取工法で架設を行った。

写真は専用道下り線桁の手延送り出し中のものであり、3主箱桁約900tを150m送り出した。作業に際しては全送り出し期間にわたって、パソコンを利用した集中計測システムにより、送り出し反力及びベント支持杭の沈下量の管理を行った。（菅井）

本州四国連絡橋大島大橋補剛桁の製作

The Fabrication of the Stiffening Girder for the Ohshima Bridge in the Honshu-Shikoku Bridge Project

沓掛 靖夫* 鈴木 富雄**
Yasuo KUTSUKAKE Tomio SUZUKI

Summary

The stiffening girder for the suspension bridge, 2.2(H)×23.7(W)×560(L), the streamlined hollow box section using butt joint welding, was fabricated in the factory by using 24m long members (approx. 220t in weight).

In the fabrication work, the two-cell section box girder was divided into 3 parts in the width direction and 2 parts in the longitudinal direction.

Then, the 6 blocks thus prepared were constructed and welded together into a box girder by yard welding, with the camber, welding shrinkage, welding distortion, etc. taken into consideration.

This report describes the above-mentioned fabrication method.

1. まえがき

本報告書は大島大橋補剛桁の制作編で昭和60年11月～昭和62年2月迄の約16ヵ月間の工場製作に関するものであり、本橋の構造特長を踏まえ、製作上留意した事項及び特記すべき製作要領等を製作フローに添って紹介するものである。

2. 構造概要

本橋は宮地・横河共同企業体が請負い、施工範囲は中央径間560m、鋼重は補剛桁約4400t、付属物約900tの合計5300tである。

構造上の特長を列記すると

- 1) 非常に偏平な逆台形鋼床版箱桁構造で、桁高と幅の比は約1:11である。(暫定時の桁高2.2m、全幅23.7m)
- 2) 設計計算上、補剛桁の応力に余裕があり、断面変化がなく、桁全長にわたり断面の板厚は最小板厚で、全体に薄板構造である。(鋼床版のデッキプレートの板厚12mm、斜腹板厚10mm、中央隔板厚9mm、下フランジ厚10mm)

- 3) 補剛桁は中央隔板1枚と両外側腹板2枚の計3枚で、外側の斜腹板は耐風安定性と航行船舶のレーダー対策上53.3度の傾きを有する2セルの箱桁である。
- 4) 製作プロック(部材長12mm)には4m間隔のダイヤフラムがあるのみで、横リブ等が一切無く、形状保持材が極端に少ない。
- 5) ハンガーフレームが箱桁腹板の近傍ではなく、ハンガープラケットの先端近くにある構造で、他に余り類を見ない。

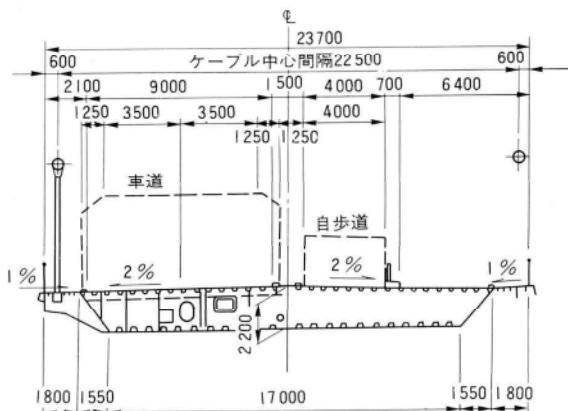


図-1 断面図(暫定期)

* 技術本部保全技術室保全技術課長

** 千葉工場製造部生産設計課

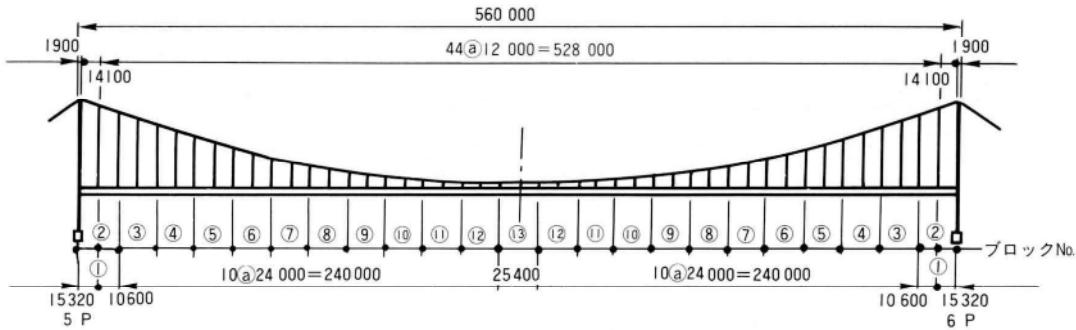


図-2 補剛桁のブロック割り

表-1 工程表

	S .60			S .61										S .62				
	3	-	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
1. 詳細設計																		
2. 材料調達																		
3. 切断																		
4. 組立・溶接																		
5. 塗装1																		
6. 仮組立																		
7. 地組立																		
8. 塗装2																		
9. 付属物 ケーブルラック・防護柵 整流板・検査車レール																		
10. 添架物工事 送水管・中国電力管 NTT管 中電角折れ装置																		
11. 架設 仮設備取付																		

- 6) 架設工法として、海面上より直接その位置にリフティングストラットで吊り上げる“直下吊り上げ工法”を採用したため、1架設ブロックは、製作ブロック（部材長12m、重量約110t）を全断面溶接で継ぎ合せた。
- 7) 工期短縮のため、製作と架設工程がある時期より平行作業となったばかりでなく、架設が潮位の影響を受けるため工程厳守を要求された。また部材長の精度には厳しい精度が要求された。（表-1）

3. 部材の製作

製作フローチャートを図-3に示す。

(1) 原寸作業

- (a) 現場溶接の縮み代を加味した、製作キャンバーの考

え方は以下の通りである。

- 1) 吊橋構造であり、自重撓みは無視出来る。
- 2) 縦断勾配はケーブル支間中央で1947mmの放物線勾配を確保する。
- 3) 現場溶接による横収縮を1溶接線当たり2mm見込み全体の収縮量を算出した。更に下フランジを基準に1/1000ラジアンの角折れ変形を考慮し、支間中央で1614mmの上げ越しを行った。現場溶接による付加キャンバーを図-4に示す。
- 4) 製作キャンバーの線形は、厳密には放物線であるが、放物線と円曲線のY方向の計算誤差が1mm以内であることを検証し、製作キャンバーを円曲線とした。製作キャンバーを図-5に示す。
- 5) 製作キャンバーが円曲線で、ジョイントの仕口を法線方向にしたことにより、部材長12mが全て同じ定規、型板が使用出来た。又断面の仕口が同一で、

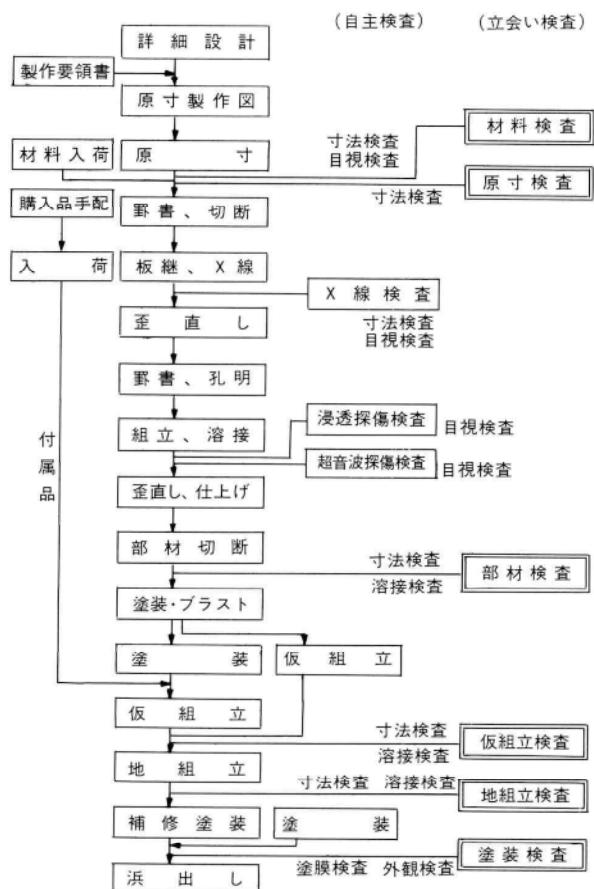


図-3 製作フローチャート

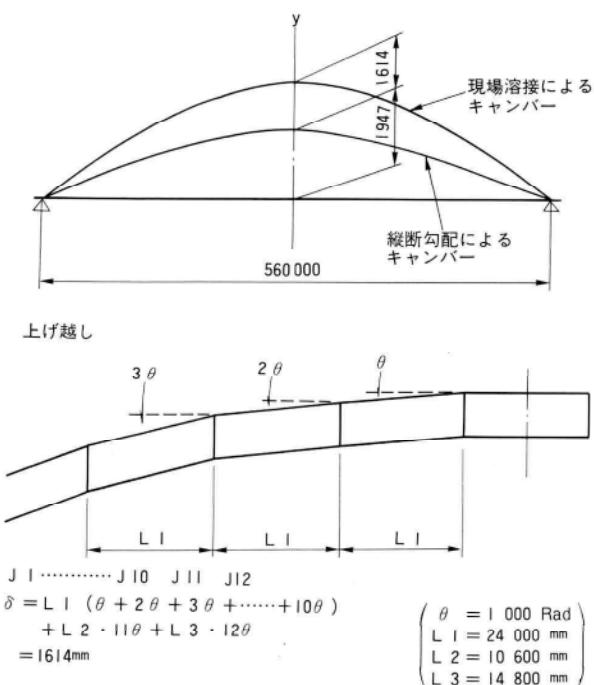


図-4 現場溶接による付加キャンバー

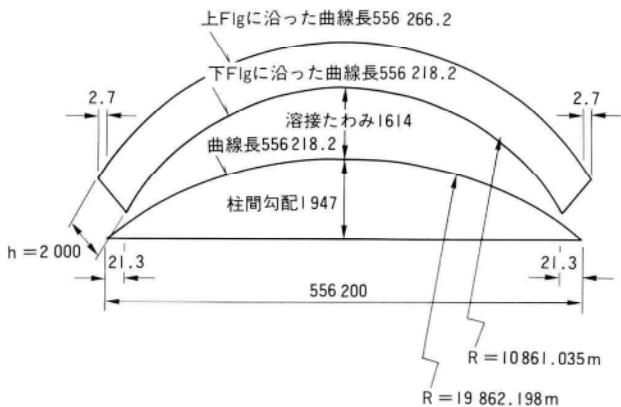
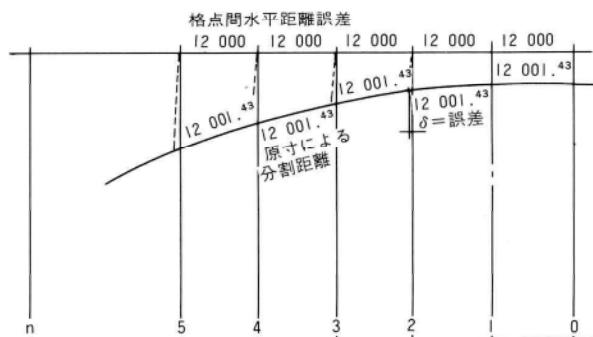


図-5 製作キャンバー

部材間の取合確認が容易で、部分仮組や重複仮組が必要であることを合せ考えると、大変な利点であった。

放物線と円曲線の差異を検証しておく。

補剛桁の両端と中央の3点を一致させた場合、円曲線はふくらむ側であり、その差異は最大でも0.2mm未満である。また設計水平長12000mmの分割は上フランジに沿った円曲線の分割で近似すると12001.4mmとなり、完成形状でも図-6に示すように、支間の1/4点で最大5mmの差異が生じたが、①桁全長の許



注) 誤差=真の曲線長-原寸上の曲線長(直線)-溶接による収縮量

単位:mm

格点番号	水平距離	誤差数	格点番号	水平距離	誤差数
1	12 000	1.4	13	156 000	5.0
2	24 000	0.8	14	168 000	4.0
4	48 000	1.7	15	180 000	4.9
6	72 000	2.4	16	192 000	3.9
8	96 000	3.0	18	216 000	3.4
10	120 000	3.6	20	240 000	2.8
12	144 000	3.8	22	264 000	-0.4

図-6 放物線を円曲線とした場合の格点の水平距離誤差

容誤差 $10 + L / 10 = 65\text{mm}$ 、②主ケーブルハンガーアンダーパーツ間隔の許容誤差 30mm 、③ハンガーの傾斜による影響が出る場合 70mm 等を総合的に考えてこの近似による円曲線で問題ないと判断した。

- 6) 原寸上での地組立溶接、現場溶接の縮み代の考え方として、①地組立時の溶接線1箇所当たり、横収縮は 3mm とした。一般には、薄板構造物を、多点支示で仮組立する場合、日照による開先の狭まりを考慮する必要があり、溶接による収縮に付加する。その見込量に対して、実施工後測定した結果、上フランジ平均 2.8mm 、下フランジ平均 3.2mm 、斜ウェブ平均 3.7mm となり、ほぼ予測通りの横収縮であった。②現場溶接線1箇所当たり、横収縮は 2mm とした。それは架設工法が直下吊り上げ工法で、既設桁の仕口に断面を合わせ、溶接を施工するため、日照による開先の狭まりを無視出来ると考えた。その見込量に対しては平均収縮量が 2.3mm となり、ほぼ予測通りの結果が得られた。

(2) 加工

補剛桁の構成は、幅方向が3分割の2セル構造である。

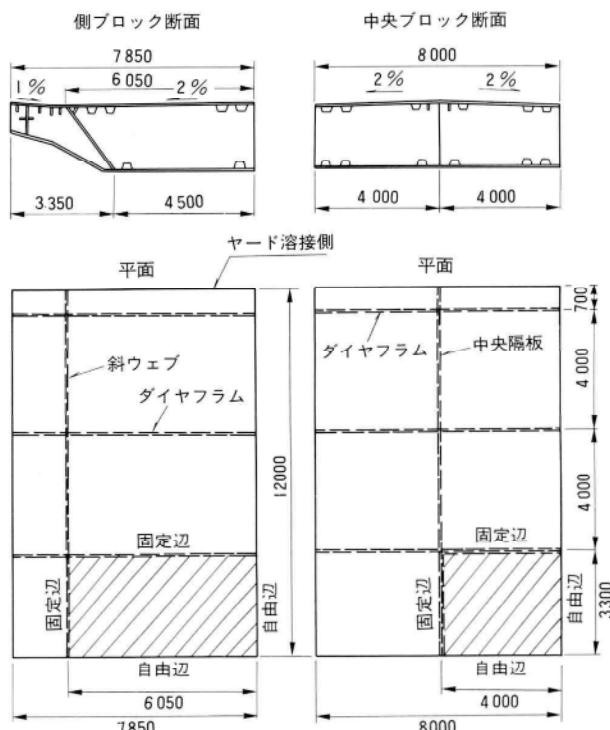


図-7 部材断面

またブロック長 12m で、重量が約 36.0t と重いため、ハンドリングが困難であることから、現場継手部の孔明け加工は先孔加工とした。図-7に部材断面構成を示す。加工上の問題点を列記すると

- ① 縦溶接線2線により3分割され、側ブロック2体と中央ブロック1体となる。
- ② 側ブロックは非対称断面で、かつ開断面である。
- ③ 側ブロックは鋼床版、下フランジ共、平面的に4辺のうち2辺が拘束のない自由端となる箇所がある。
- ④ 側ブロックの斜めウェブ側に完全溶込み溶接が偏る。
- ⑤ 側、中間ブロックのデッキプレートは横断勾配の関係で途中で折れ位置が生じた。

以上の事から溶接変形、及び矯正による縮み量の予測が困難なため、全部品に縮み量に加えて余裕量を加味した。従って大きめの部材が製作されたが、現場継手側を基準とし、他の側を後切りした。この工法は部材寸法=設計寸法となるため、製作手法としては最良であるが工数がかかり、通常は余り採用されていない。

中央ブロックの製作後、ハンガープラケットの間隔が僅か不足していることが判明した。それは中央ブロックのみハンガープラケットが2箇所あり、溶接及び矯正による縮みによってその間隔が狭まったものと考えられる。ハンガープラケットの間隔は部材精度の項目外で規定値がなく、本四公団と協議を行い、新たに規定を設け、以後の製作に反映した。

また上下フランジの拘束材が少なく、断面形状保持が困難なため、協議の上、製作上の拘束材を設けたが、それでも上下フランジが反ったため、ダイヤフラム近傍のトラフリップを加熱し、反りを矯正した。その結果トラフリップに面外変形（最大で 3mm ）が生じたため、その変形が品質に影響がないことを確認するために、静的、動的載荷試験を実施した。実験結果はいずれも安全であることが確認出来た。

更に本橋では下フランジに閉断面リブを採用することで剛性を高め、かつ溶接による変形を抑え、美観上ヤセ馬が目立たないように配慮した。

基本設計では閉断面リブを採用していたが、設計段階で閉断面リブと開断面リブの溶接変形量とヤセ馬変形量を実験により比較したところ、前者が後者の半分以下であった。また設計上も閉断面リブの方が剛性を高めることから構造上好ましく、重量的にもほぼ増減がないことを確認した。更に美観上、ヤセ馬が少ないため閉断面リ

ブを採用した。

(3) 孔明け

孔径について報告する。

通常の孔径は高力ボルトM22に対して 24.5ϕ であるが、オーバーサイズの 26.5ϕ を一部採用した。表-2に孔明けサイズ区分を示した。採用理由は

- ① 仮組時に塗装が完了していること
- ② リーマ通しの施工が狭くて困難な箇所であること
- ③ 溶接収縮によって孔径のズレが想定されること
- ④ 大ブロックの寸法精度（幅方向及び軸方向共）を確保すること

であり、オーバーサイズでもすべり係数値が確保出来ることを確認し使用した。

表-2 孔明けサイズ区分表(使用ボルトM22)

適用個所	孔径	孔明時期
鋼床版 斜めウェブ	24.5ϕ	先孔
// 下フランジ	24.5ϕ	//
// 縦リブ	26.5ϕ	//
中央隔板 ウエブ	26.5ϕ	//
張出し部アッキのプラケット	26.5ϕ	//
ダイヤフラム	26.5ϕ	//
添接板	24.5ϕ	後孔

(4) 部材組立て、溶接

本橋の部材組みに、パネル工法を採用した。パネル工法とはパネルの状態即ち版断面状態で補剛材、縦リブ等を自動化した溶接ロボットで、本溶接を施工する方法で、

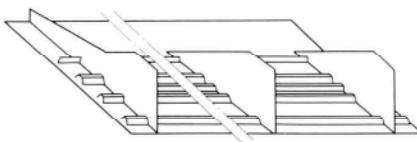
- ① 溶接の縮み量が少なく均一で安定している。
- ② 品質の標準化が図れる。
- ③ 溶接工数の低減が図れる。
- ④ 溶接による変形、収縮が少ないため、残留応力が低減出来る。

などの利点があり、溶接構造物としては好ましい。

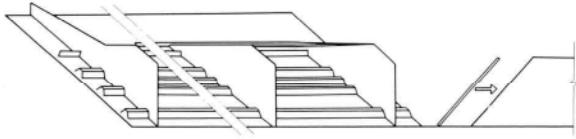
パネル部品の組立て順序を図-8に示す。パネル組立てを完了してから、版と版の交差部を手溶接で本溶接し部材を形成する。

溶接検査には超音波探傷検査、浸透探傷検査を主要部位に実施したが前者は僅かなプローホールでも欠陥として拾い出すため、溶接には慎重を要し、品質確保に努めた。

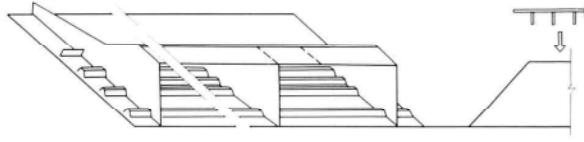
1. デッキプレートにダイヤフラムを仮付溶接にて取付ける。



2. 腹板を仮付溶接にて取付ける。

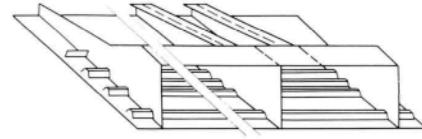


3. 下フランジを仮付け溶接にて取付ける。



レベル、下げ振りを用いて、断面形状、ねじれ等のチェックを行う。

4. 仕口を仮付溶接にて取付ける。



5. プラケットフランジを取付ける。



6. 下フランジの外側すみ肉溶接を行う。

7. 部材を回転しながらその他の部分を手溶接する。

図-8 パネル部品の組立順序

(5) 仮組立て

仮組立てフローチャートを図-9に示す。仮組手順を示すと

- ① 仮組ヤードに座標を設定する。
- ② 指示台を設置する。
- ③ 中間ブロックを仮置きする。
- ④ 側ブロックを中間ブロック側に引寄せる。
- ⑤ 幅員方向および支間方向の寸法調整をする。

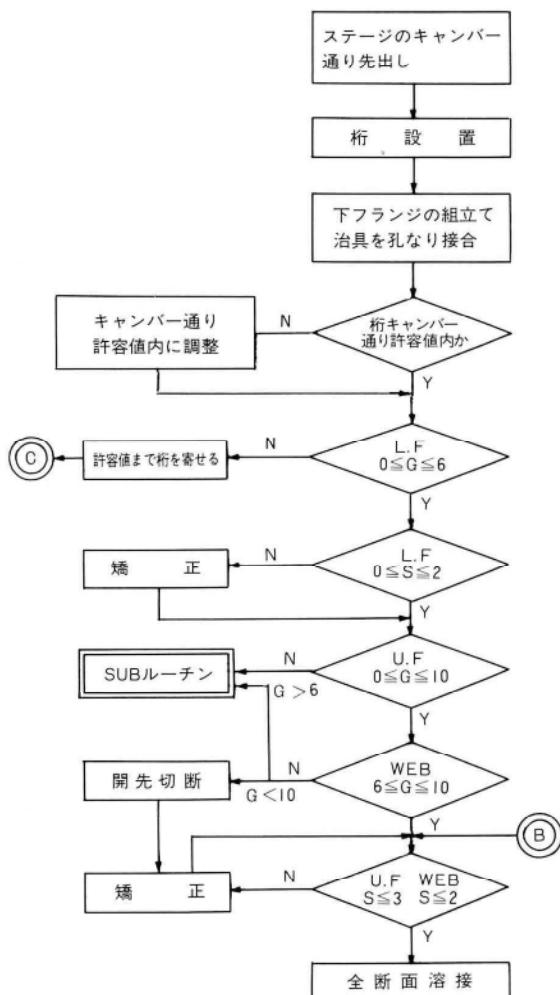
- ⑥ キャンバーの調整をする。
 - ⑦ 部材間をメッキボルト及びメッキピンで結合する。
 - ⑧ 溶接部（ルートギャップ、目違い）の調整をする。
 - ⑨ 付属物を部材に仮組する。

(6) 地組立て

地組立てのフローチャートを図-10に示す。

仮組立て検査後、全断面溶接及び縦溶接を施工する。

溶接完了後、高力ボルトの本締めを行ない架設ブロックを形成した。



L.F : 下フランジ
U.F : 上フランジ
WEB : ウェブ
G : ルート間隔 (mm)
S : 目 違 い (mm)

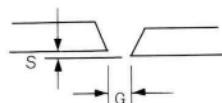


図-10 地組立フローチャート

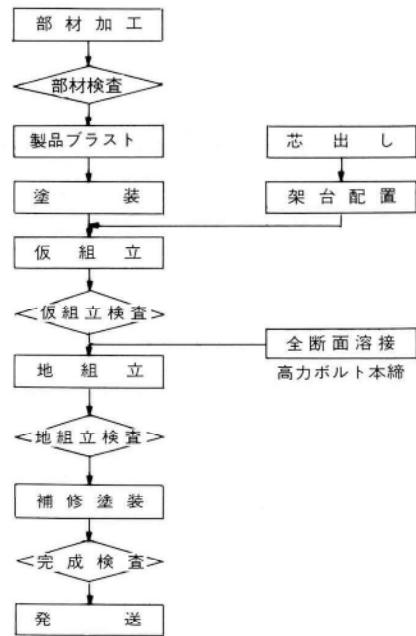
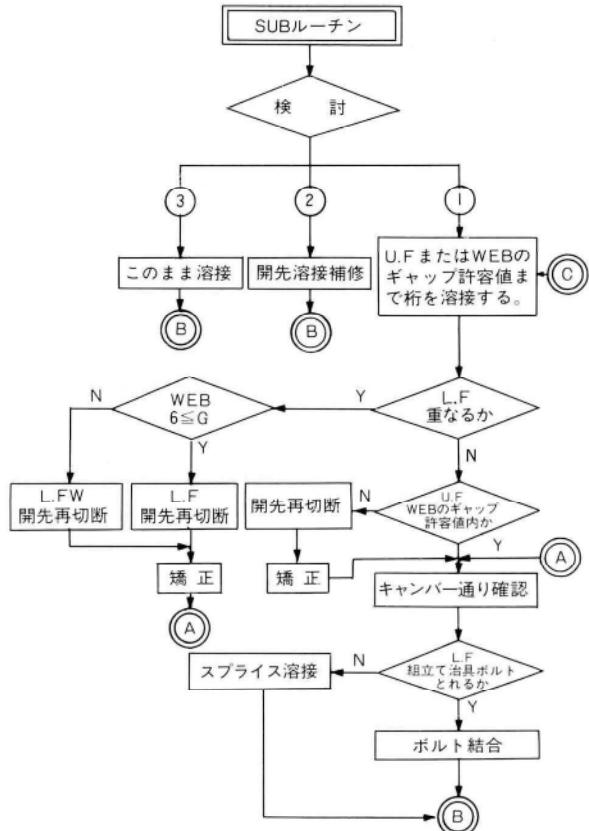


図-9 仮組立のフローチャート



118

(a) ヤード溶接

大ブロックの溶接順序及び溶接工法を表-3、図-11に示す。

全断面溶接の溶接順序は、施工手順、作業性、形状保持及び溶接残留応力等を配慮し、鋼床版、下フランジ、ウェブの順に施工した。溶接部の検査は放射線透過試験により実施した。X線撮影検査枚数は本四公団基準の鋼床版現場溶接施工要領にならい、デッキプレートは現場溶

接扱いとし、1溶接線につき15枚、下フランジは1溶接線で始端、中央、終端の3枚、ウェブは1溶接線の全線についてそれぞれX線撮影し、全て基準を満足した。

(表-4)

(b) 全断面溶接の収縮

① 橋軸方向の溶接線は、上、下フランジにそれぞれ2線あるため、横収縮2mm(1溶接線当り)を考慮して全幅で4mmを見込み製作した。その結果ゲー

表-3 溶接順序

1	鋼床版の継手方向の端部にエンドタブ溶接
2	鋼床版の継手方向の中央部のサブマージアーク溶接
3	下フランジとダイヤフラムの交差部を手溶接(継手)
4	下フランジの継手方向中央部のサブマージアーク溶接
5	鋼床版の横継手方向のサブマージアーク溶接
6	下フランジの両端部(横継手)の先行溶接(手溶接約200mm)
7	下フランジの横継手方向の中央部のサブマージアーク溶接
8	ウェブの炭酸ガス立向自動溶接(オスコンM)
9	下フランジのトラフリップの突合せ溶接を手溶接
10	下フランジのトラフリップの隅肉溶接を手溶接
11	鋼床版のトラフリップの突合せ溶接を手溶接
12	鋼床版のトラフリップの隅肉溶接を手溶接
13	ウェブの斜リップの突合せ溶接を手溶接
14	ウェブの斜リップの隅肉溶接を手溶接
15	ウェブのHステッパーの隅肉溶接を手溶接
16	ウェブスカーラップの蓋板の隅肉溶接を手溶接

表-4 全断面溶接X線検査長明細(1ブロック当り)

	溶接長	検査長					
		I継手当たり溶接長	継手数	溶接延長	I継手当たり検査長	継手数	検査延長
縦 シ ー ム	鋼床版	12,000mm	4	48,000mm	4,500mm	4	18,000
	下フランジ	700	4	2,800	600	4	2,400
	//	4,000	8	32,000	900	8	7,200
	//	3,300	4	13,200	900	4	3,600
横 シ ー ム	鋼床版	23,700	1	23,700	4,500	1	4,500
	下フランジ	4,500	2	9,000	900	2	1,800
	//	8,000	1	8,000	1,800	1	1,800
	ウェブ	2,530	2	5,060	2,530	2	5,060
合計		—	26	141,760	—	26	44,360

検査率 44,360/141,760×100=30%

注) フィルム1枚当たりの有効撮影長300mm

撮影枚数 44,360/300=140枚

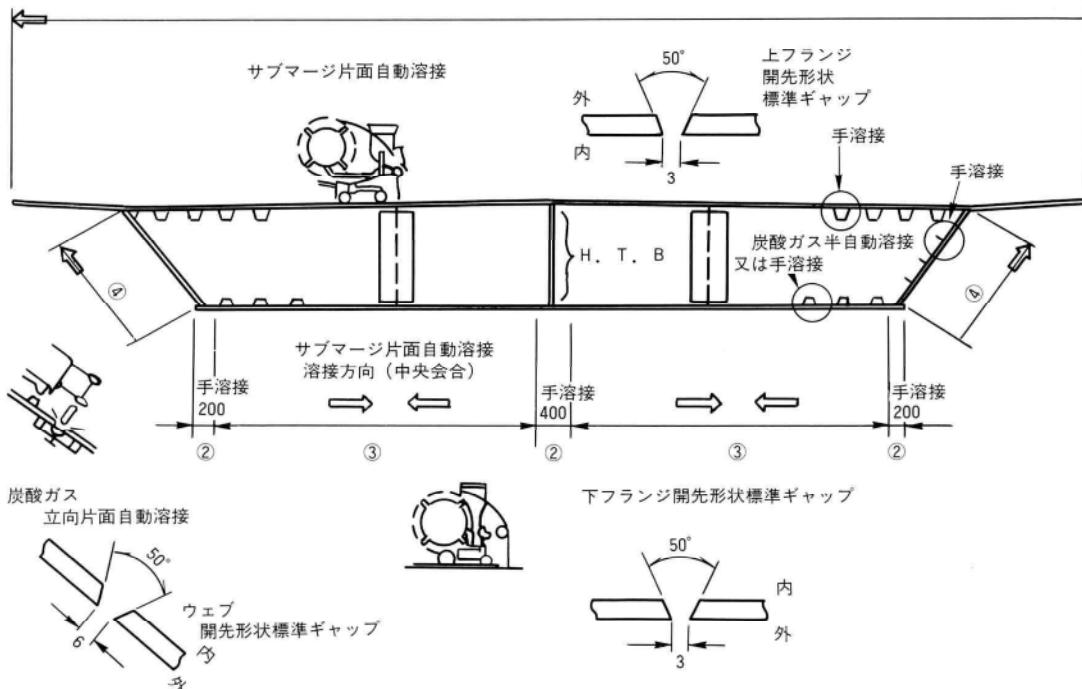


図-11 溶接工法及び溶接順序

ジレングス100mmで測定した結果、実際の収縮量は1溶接線あたり上フランジで平均2.0mm、下フランジで平均で2.3mmであり、ほぼ予想どおりであった。一方全幅では上フランジで平均4.7mm、下フランジで平均6.1mmであった。

この差については、全幅の計測を橋軸直角方向溶接線から700mmの位置で計測したため、橋軸直角方向溶接線の縦取縮の影響が加算されたことによるものと考えられる。

② 橋軸方向の収縮

橋軸方向の収縮は、橋軸直角方向溶接線の1線あたり3mmの収縮量を見込んだ。その結果は上フランジ平均2.8mm、下フランジ平均3.2mm、ウェブ平均3.7mmとなりほぼ予測値でした。

(c) 仮組形状の保持

仮組形状の保持にあたって、①外観上支障のない、内部の中央隔板とダイヤフラムは高力ボルト継手とした。②上、下フランジの突合せ部の形状保持には支持間隔が広すぎて十分ではないため、溶接用治具を設けて、仮組立時の位置決め、精度確保、ヤード溶接までの形状保持に使用した。③鋼床版の橋軸直角方向継手では日照による開先の動きが大きいので、トラフリブ2本につき1本の割合で溶接用治具を設け、溶接時には治具のボルトを取り外し拘束を開放した。

以上の結果、形状保持に対しては十分目的を達し、ヤード溶接による部材の動きは最小限に抑えられた。

4. 検査と精度

(1) 原寸検査及び精度

原寸検査の精度基準が本四公団には見当たらぬため道路公団の原寸検査基準を適用した。表-5に原寸検査基準を示す。

(2) 部材検査及び精度

部材の精度基準は本四公団の製作基準“吊橋”に倣つたが、補剛桁と鋼床版の項に各々の規定があるため、厳しい方の許容値で管理することにした。また新たにハンガープラケットの間隔を設けた。その管理目標値は、ハンガー張力への影響と、ケーブルバンドの設置誤差の実績15mm、を参考にし、その1/2の7.5mmを妥当と考え設定した。また部材完成後の下フランジの平坦度（ヤセ馬）は、薄板にもかかわらず許容値1/250に対して、実測

表-5 原寸検査基準

検査項目	検査基準		検査要領
	条件	許容誤差	
支間・全長	$L \leq 20m$ $L > 20m$ (L:支間長)	±1mm以内 10m又はその端数を増すごとに±1mmを加える。ただし±3mm以内とする。	多径間の場合は1径間ごとに測定する。 曲線桁の場合は弦長を測定する。
平面対角長 又は 曲線のシフト	$L \leq 20m$ $L > 20m$	3mm(対角線長の差) 5mm(〃)	曲線桁の場合は平面対角及び曲線のシフト量を測定する。
桁高及び 主構高		±1mm以内	桁高に変化がない場合は各支店上で測定する。 桁高に変化がある場合は、横桁及び対傾構の位置を加える。
そり、綫断勾配		±1mm以内	横桁及び対傾構位置で測定する。
主桁及び主構 間隔		±1mm以内	各支点上で測定する。ただし桁間隔に変化がある場合は、横桁及び対傾構位置を加える。
横桁、対傾構 間隔		±1mm以内	
ジョイント位 置及び部材長		±1mm以内	
詳細部		〃	添接部、桁断面、支承部、横桁及び対傾構取合部、添加物取合部、排水装置取合部、伸縮装置高欄、隅角部、検査路

表-6 部材精度基準 (表示のない場合の単位:mm)

部材名		吊		橋	
		補剛桁	鋼床版	主構	デッキプレート・縦桁
部材の寸法	条件	許容差	条件	許容差	
	H ≤ 1m	±2	H ≤ 2m	±4	
	H > 1m	±3			
	W ≤ 1m	±2	W ≤ 1m	±2	
部材の寸法	W > 1m	±3	W > 1m	±4	
	対角線長	箱断面	±3	—	—
	断面のねじれ	箱断面	±3	—	—
	一般部材	$L \leq 10m$ $L > 10m$	±2 ±3	—	—
許容差	圧縮部材の曲り		$y \leq \frac{L}{1000}$	—	—
	板の平面度	$W : リブ関係$ 又は腹板関係	$W : 300$ 但し量	$W : デッキプレート$ 又は腹板間隔	$W : 150$
		小値は3とする。		縦桁の腹板 H : 腹板高	W : 150
				フランジの直角度	I : 100

値はその半分の1/500程度で收まり、当初の目的を果すことが出来た。更に完全溶け込み溶接量が多い割に、予想された程の縮み量と変形が生じなかった。部材検査の精度基準は表-6、製作実績は表-7に示す。

表-7 部材断面の製作実績

項目	許容値	計測個数	平均値	標準偏差
部材長	±3	276	+0.7	1.8
部材高	±3	//	-0.2	1.7
部材幅	±4	552	+0.6	1.6
大曲り	<12	138	1.2	1.2
上フランジ平坦度	≤2	276	0.4	—
下//	≤2.8	184	0.4	—
ウェブ	≤4.4	81	1.8	—

(3) 仮組立検査及び精度

架設ブロックの3～4ブロックを継ぎ、重複させながら部分仮組立を実施、断面の取合いと寸法を確認し、更に前回の仮組立精度を参考に調整し、誤差を吸収させた。従って全長の誤差は1/10000程度と非常に精度の良好なる結果が得られた。仮組立検査の精度基準を表-8、製作実績を表-9、に示す。

(4) 地組立検査

地組立検査は仮組立検査後に全断面溶接と、高力ボルト本締めを行い、架設ブロックになった状態で実施した。

表-8(a) 仮組立検査基準

項目	寸法 訸容値	備考
橋長	±(10+L/10)	
支間長	±(10+L/10)	仮組単位とする。
対角線長	D ₁ -D ₂ ≤10 但し、隣り合う断面の相対差 ±3	
桁幅	鋼床版幅 ±10 主桁間 ±(3+B/2)	
桁曲り	L≤20 5 20<L≤40 10 40<L≤80 15 80<L≤200 25 L:仮組長(m)	仮組単位とする。
鉛直度	3+H/1000 5	
桁高	H=2200 ±3	
製作反り	L≤20 ±5 20<L≤40 -5~+10 40<L≤80 -5~+15 80<L≤200 -5~+25 L:仮組長(m) 隣接する格点位置での差 5	
ハンガーブラケット間隔	7.5	
隣り合う格点高さ	5	
現場継手部のすき間	±3	

表-8(b) 現場継手部の精度

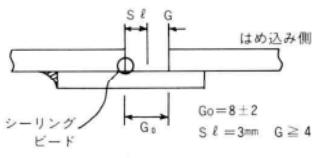
現場継手部の隙間、目違い精度				
項目	条件	許容差	備考	
隙間	設計値を基準にする。	±3		
目違い		≤1 <3 ≥3	δ=1は処理不要 δ=3mm未満はテーパーをつけて すりつける δ=3mm以上はフィラーを入れる	
強力ボルト孔の精度				
ボルト径	孔 径	ゲージ 径	許容差	備考
M22	24.5 φ	貫通ゲージ 23.0 φ	100%以上	
		停止ゲージ 25.0 φ	80%以上	
鋼床版開先精度				
		開先形状	管理目標値	
デッキ、下フランジ	ルートギャップ	3	0~10	
	目違	0	±3	
	開先角度	50°	50°±5	
ウエブ	ルートギャップ	7	4~10	
	目違	0	±3	
	開先角度	50°	50°±5	
縦リブの開先精度 Uリブ (PL.8,6)				
			はめ込み側 Go=8±2 Sℓ=3mm G≥4	

表-9 仮組立の測定項目と実績

	許容値	計測個数	平均値	標準偏差
仮組立の全長及キャンバー	表-10-1	—	—	—
上フランジ全幅	±10	41	+2.18	3.45
下//	±10	41	+2.48	2.5
上//腹板間隔	±8	34	+1.44	2.19
下//	±7.2	32	+0.55	1.94
ハンガー間隔*	±7.5	94	-0.33	—
現場溶接部ルートギャップ	-3~+7	216	+2.17	2.10
//目違い	0~+3	198	+0.64	—

*印は管理目標値とする。

地組立精度基準は仮組立検査項目と同項目とし、精度も同様に考えた。製作実績を表-10、全断面溶接の収縮量を表-11に示す。

以上の精度を集計した結果、非常に良好なる結果が得られたことは、製作手法及び工程段階毎の管理が充分であったと考える。また、今回採用した工法が全て適正であったと言える。

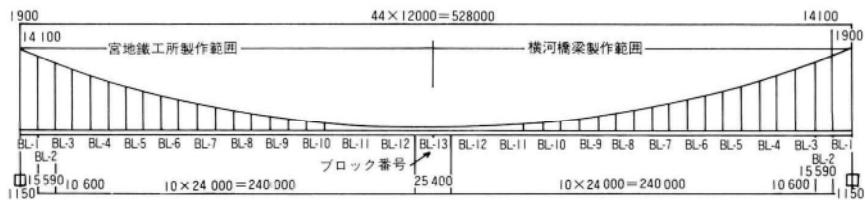


表-10(a) 地組立の全長・キャンバー・および通り

架設ブロック	BL-1,2	BL-3,4	BL-5,6	BL-7,8,9	BL-10,11、 12	BL-13,12、 11,10	BL-9,8	BL-7,6,5	BL-4,3	BL-2,1	全長誤差
下り線長さ誤差	+2	-4	+4	-5	+6	-7	+10	-1.5	+2	+2	+8.5
上り線長さ誤差	+3	-5	+3	+1	-8	-6	+2	+1	+4	+3	-2
許容値	±12.5	±14.8	±14.8	±17.2	±17.2	±19.7	±14.8	±17.2	±14.8	±12.5	±46
最大キャンバー誤差	+6	+7	+5	+12	+9	+11	+8	+14	+11	+3	
最小キャンバー誤差	-2	-1	-2	-3	-3	-5	-2	-2	-3	-6	
許容値	-5~+10	-5~+15	-5~+15	-5~+15	-5~+15	-5~+25	-5~+15	-5~+15	-5~+15	-5~+10	
通り誤差	+1	-2	+2	-5	+1	+6	+2	-6	+2	+2	
許容値	±10	±15	±15	±15	±15	±25	±15	±15	±15	±10	

表-10(b) 地組立測定項目と製作実績

	許容値	測定個数	平均値	標準偏差
地組立の全長及びキャンバー 表-10(a)	—	—	—	—
上フランジ全幅	±10	41	1.44	2.94
下 //	±10	42	0.38	2.83
上 // 腹板間隔	±8	30	+1.27	2.14
下 //	±7.2	26	-1.02	1.34
ハンガー間隔*	±7.5*	86	+0.16	4.5

*印は管理目標値とする。

表-11 全断面溶接による収縮量

(1)橋軸直角方向収縮量		測定個数	平均値	標準偏差
鋼床版	28	2.84	0.56	
下フランジ	28	3.15	0.58	
斜めウェブ	24	3.67	0.62	
(2)橋軸方向収縮量		測定個数	平均値	標準偏差
鋼床版	32	1.96	0.33	
下フランジ	32	2.30	0.58	

5. 塗装

海洋上に架橋される本橋は、常時高濃度の海塩粒子を含む自然界に暴露されるため、塗装は腐蝕性の強い塩素イオンを遮断し、防水性が極めて強力であることが要求される仕様を採用した。図-12に塗装フローチャートを示す。塗膜厚管理は、製品プラストの素地調整から実施、第一層の塗膜厚管理の平均、最少膜厚の管理と測定頻度が膨大となるため、専門の要員を常時数名配置し、塗装管理を実施した結果、表-13の塗膜厚測定結果が得られた。表-12に塗装仕様を示す。

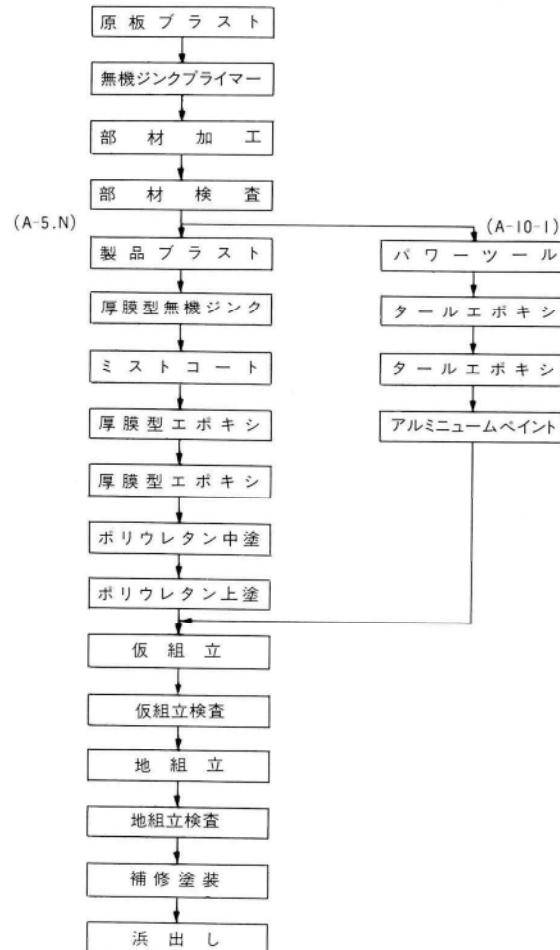


図-12 塗装作業フローチャート

表-12 補剛桁塗装仕様

単価項目 及び適用個所		素地調整		第1層 I次	第2層 2次	塗装間隔	第3層	塗装間隔	第4層	塗装間隔	第5層	塗装間隔	第6層	塗膜厚合計
		I次	2次											
工	A-5-(1) 補剛桁外面 (張出し部 含む)	原板 プラスチ	製品 プラスチ	HBS K 5603 厚膜型無機ジンク リッチペイント 75	2d 3 6m	ミストコート 以内	HBS K 5606 厚膜型エポキシ 60	1d 3 3m	同左	1d 3 3m	HBS K 5608 ポリウレタン (中塗) 30	1d 3 7d	HBS K 5608 ポリウレタン (上塗) 30	255μ
場	A-10-(1) 補剛桁内面 で天井部を 除く部分	+ HB3 K5611 無機 ジンク クリッヂ プラスチ	パワー ツール 処理	HBS K 5609 タールエポキシ 110	1d 1 10d	同左 110	同左 110	3d 3 10d	JIS K 5492 I種アルミニウムペイント 15	—	—	—	—	345μ
塗	N 補剛桁内面 天井部	製品 プラスチ	HBS K 5603 厚膜型無機ジンク リッチペイント 75	2d 3 6m	ミストコート 以内	HBS K 5606 厚膜型エポキシ 60	1d 3 3m	同左 60	同左 3m	同左 3m	同左 60	—	—	255μ
装	継手部 B 継手部母材 及び溶接板	継手部 ライマー 20	製品 プラスチ	HBS K 5603 厚膜型無機ジンク リッチペイント 75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	75μ

表-13 塗膜厚測定結果集計表

		基準値		測定結果			備考
		平均膜厚(μ)	最少膜厚(μ)	平均膜厚(μ)	最少膜厚(μ)	標準偏差	
A-5-(1)	第1層(75μ)	67.5	52.5	85.4	55.0	12.0	補剛桁外面
	最終層(255μ)	229.5	178.5	315.3	200.0	49.3	
A-5-(S)	第1層(75μ)	67.5	52.5	83.9	63.0	9.6	ハンガーロープ 定着部
	最終層(315μ)	283.5	220.5	386.8	300.0	55.9	
N	第1層(75μ)	67.5	52.5	83.3	58.0	12.1	補剛桁内面 天井部
	最終層(255μ)	229.5	178.5	315.3	210.0	46.3	
A-10-(1)	最終層(345μ)	310.5	241.5	400.6	243.0	50.7	補剛桁内面 床面部
A-6	第1層(75μ)	67.5	52.5	76.8	68.0	10.8	検査車レール (第1層:メタリコン)
	最終層(255μ)	229.5	178.5	326.1	200.0	42.8	
A-8	第1層(75μ)	67.5	52.5	78.0	53.0	14.8	桁端部
	最終層(405μ)	364.5	283.5	420.0	387.0	27.1	
A-13	第1層(50μ)	45.5	35.0	65.6	43.0	16.8	鋼床版上面
B-5-(1)	第1層(75μ)	67.5	52.5	85.3	56.0	10.8	継手部(MAX.110μ)

まとめ

本橋の製作工程は、架設工程と平行するため、遅延が許されず、品質的にも厳しい精度要求に満足出来るように工場一丸となって製作に当った結果、良好なる製品が得られた。また同種の橋梁の製作に今回採用した手法が役立つものと期待している。

最後に、本橋の製作に関与された方々の御協力に感謝致すと共に、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 本四公団；鋼床版現場溶接施工要領（昭和54.3）
- 2) 本四公団；鋼橋等製作基準（昭和52.3）
- 3) 本四公団；鋼橋等塗装基準（昭和55.3）
- 4) 福井、平野他；本州四国連絡橋大島大橋補剛箱桁の製作 橋梁と基礎、Vol.21、No.11、1987年11月

本州四国連絡橋大島大橋補剛桁の架設

The Erection of the Stiffening Girder for the Ohshima Bridge in the Honshu-Shikoku Bridge Project

南出範雄* 清宮昭夫** 太田武美*** 松田真次****
Norio MINAMIDE Akio SEIMIYA Takemi OHTA Shinji MATSUDA

Summary

This was the first experience to be had in Japan of adopting the under-lift erection method for erecting the stiffening girders of a long-span, exceeding 500m, suspension bridge.

Through this experience, we laid such construction skills as gantry crane, fixed-point pontoon mooring, etc. And thereby, we proved the effectiveness of this method, in both economy and workability, even under severe natural environment and social restrictions.

This report describes the method.

1. まえがき

大島大橋は本号の設計編に諸元を示したように、橋長840m、中央支間長560mの単径間補剛箱桁吊橋である。

補剛桁の架設工事は、昭和61年3月末から昭和63年1月までを工期とし、61年9月の補剛桁中央ブロックの架設に始り、冬期6ヶ月の架設により、62年3月に閉合完了した。

本橋は、逆台形箱断面を有する補剛桁を持つ本格的な吊橋としては日本で初めての吊橋形式である。架設工法は、本州四国連絡橋として、最初の直下吊上げ工法を採用しており、また、架設順序も中央から塔部へ向っていくなど

その工法に大きな特色がある。

本文では、主に、架設工法の選定と採用された直下吊上げ工法での重要な部分を成す輸送台船の定点係留についての試験を実施工に先立ち行ったので、この試験について記す。直下吊上げ工法による補剛桁架設概要図を図-1に示す。尚、架設工事の詳細については、橋梁と基礎（昭和62年12月号）³⁾を、また、本橋の一般図及び工事概要等については、本号の“大島大橋補剛桁の設計”を参照して頂きたい。

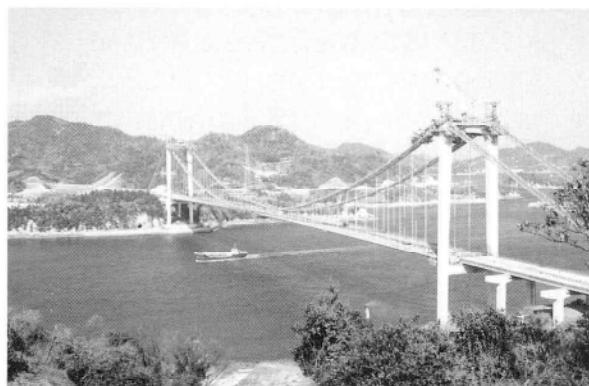


写真-1 完成間近の大島大橋全景

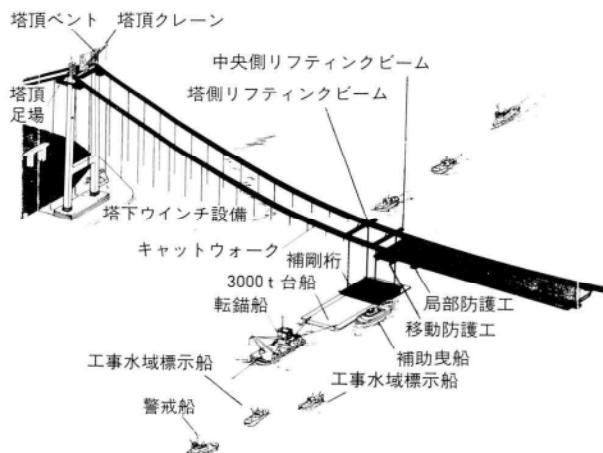


図-1 直下吊上げ工法の概要図

* 千葉工場工事部課長

*** 宮地建設工業㈱長大橋梁室課長

** 千葉工場工事部工事計画課課長代理

**** 宮地建設工業㈱工事部

2. 架設工法の選定

(1) 架設地点の状況

架橋地点の宮窪瀬戸は、来島国際航路の副航路として一般船舶の航行は、おおむね150隻／日あり、漁船も含めると300隻／日である。一般船舶はそのほとんどが499G／T型以下で、種別は貨物船とタンカーが主であり、定期航路はない。また、架設位置の東側で航路は直角に折れおり、西航船にとって見通しの悪い状況である。潮流は最強時5ノットを越し、西流時（東から西へ向う流れ、現地では引潮）が卓越し流れも複雑である。

冬期の風は西風が主で、20m/sを越す日もあり波高も高くなる。西風以外ではほとんど波はたたない。

伯方、大島大橋の位置図を図-2に示す。

(2) 工法の選定

(a) 架設工法

架設計画時に於いて、箱断面であることを考慮し、ブロック架設を前提として、海面が使用できるケースと使

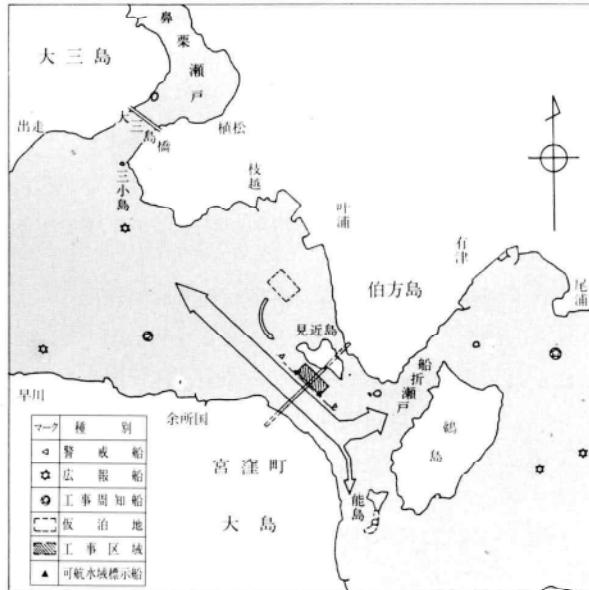


図-2 大島大橋位置図

用出来ない（航路規制が不可の場合）ケースについて以下の工法について検討を行った。

表-1 世界の主な吊橋における補剛桁施工法一覧

橋名	架設年	場所	諸元			架設工法	架設単位	部材重量	架設機材	架設方向
			支間割	桁形式	桁重量					
ジョージワシントン橋	1931	アメリカ	185.92+1066.80+198.12	トラス	18 325t	単材工法	単材	56t	移動デリック	
サンフランシスコオーランドベイ橋	1936	"	353.57+704.09+353.57	"	17 700t	直下吊上げ工法	ブロック	230t	リフティングビーム	
ゴールデンゲイト橋	1937	"	342.9+1280.16+342.9	"	22 000t	面材工法	面材		三脚デリック	
マキノ橋	1957	"	548.64+1158.24+548.64	"	19 500t	直下吊上げ工法	ブロック	125t	リフティングビーム	
フォース道路橋	1964	イギリス	408.43+1005.84+408.43	"	16 256t	単材工法	単材		三脚デリック	
ペラザノナロウズ橋	1965	アメリカ	370.33+1298.44+370.33	"	45 169t	直下吊上げ工法	ブロック	394t	リフティングビーム	
セバーン橋	1966	イギリス	304.8+987.55+304.8	ボックス	11 380t	"	"	130t	"	
4月25日橋(サラザール橋)	1966	ポルトガル	483.41+1012.85+483.41	トラス	36 300t	"	"	328t	"	
関門橋	1973	日本	178.00+712.00+178.00	"	12 000t	面材工法	面材	21t	三脚デリック	
ボスボラス橋	1973	トルコ	231+1074+255	ボックス	8 710t (中間支間のみ)	直下吊上げ工法	ブロック	約150t	リフティングビーム	
南海大橋	1973	韓国	128.00+404.00+128.00	"	1 850t	"	"	75t	"	
東大橋	1975	日本	118.00+264.00+67.00 (桁は中央径間のみ)	トラス	4 182t	"	"	112t 48t	"	
平戸大橋	1976	"	90.00+450.00+115.00 (桁は中央径間のみ)	"	2 500t	"	"	209t	"	
ハンバー橋	1981	イギリス	280.00+1410.00+530.00	ボックス	16 000t	"	"	140t	"	

海面を使用できるケース → 直下吊上げ工法
 海面を使用できないケース → 桁下運搬工法
 送り出し工法
 橋上運搬工法

これらの工法を、安全性、経済性、施工性及び工程面について検討した結果、後者のケースでは桁下運搬工法が有利となった。

幸い、関係者の理解と協力が得られて海面使用が可能となり、海上部の架設工法として最も有利な直下吊上げ工法が採用された。又、ブロック吊上げに使用する架設クレーン（正式には揚重機でありクレーンではない）は、直下吊上げ工法による吊橋のほとんどが用いている、リフティングストラット（ビームとも言う）を用いた。世界の主な吊橋における補剛桁施工法の一覧を表-1に示す。

(b) 架設方向

架設方向としては、中央から塔部へ向って架設を進め

る方法と、塔部から中央へと架設する方法がある。前者は一般的には直下吊上げ工法が前提条件となる（当社が特許申請中の摺動ビームを用いた架設工法もあるが）。後者の方法は、塔部で水切りして架設先端まで台車で運搬する方法と、架設先端直下で吊上げる方法がある。国内に於いては大型吊橋の全てが後者の方法で架設されている。しかし海外に於いては直下吊上げ工法で施工された大型吊橋の約7割が前者の方法を採用している。

本橋に於いて両ケースについて比較検討した結果、資機材の運搬及び人員の配置等に不利であるが、技術的な点を優先して前者の方法によることにした。

比較検討に用いた各々のケースの架設時断面力及び変形量の一部を図-3に示す。

なお、架設時耐風安定性は、Selbergの経験式によるフラッター限界風速が、1/4架設時に於いて前者のケースは42m/sec、後者のケースは39m/secで、前者がやや有利であったが、風洞実験により確認することとした。

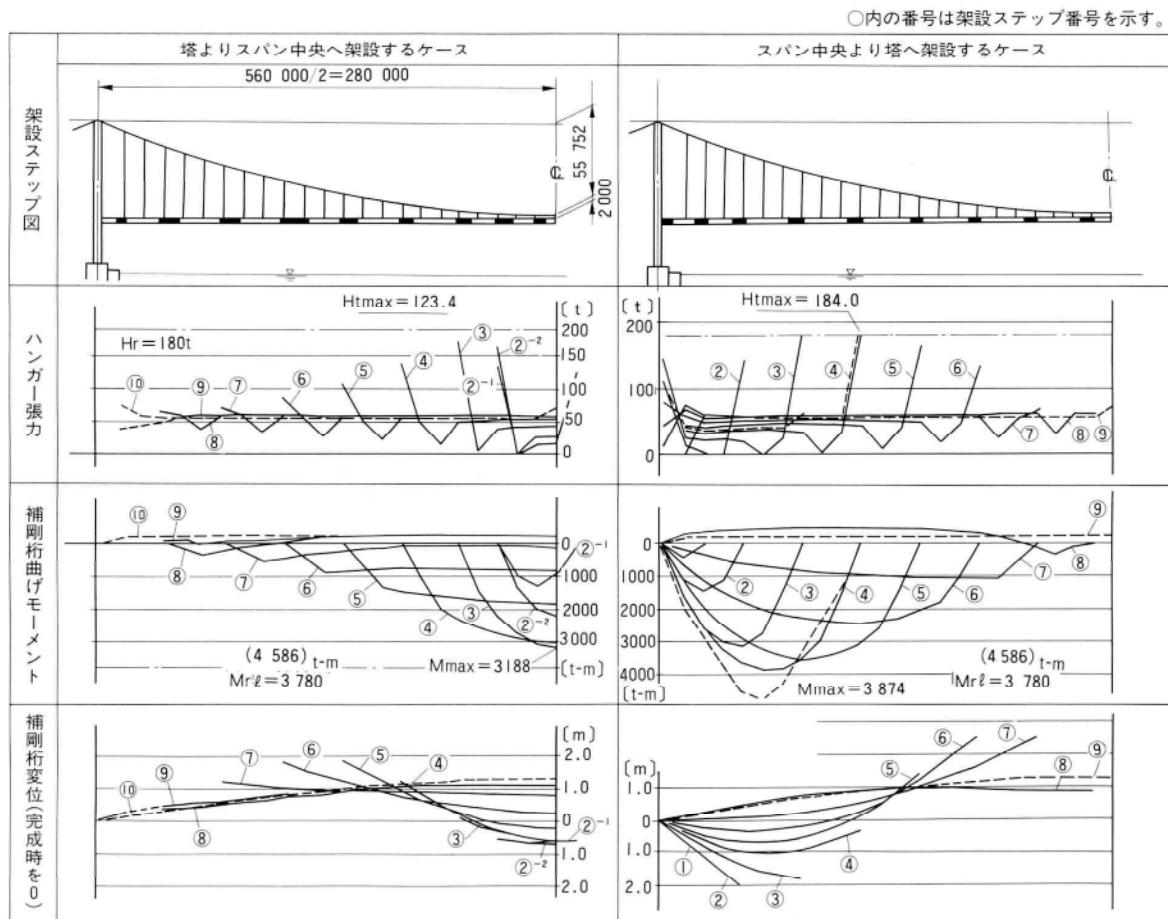


図-3 架設時断面力及び変形量

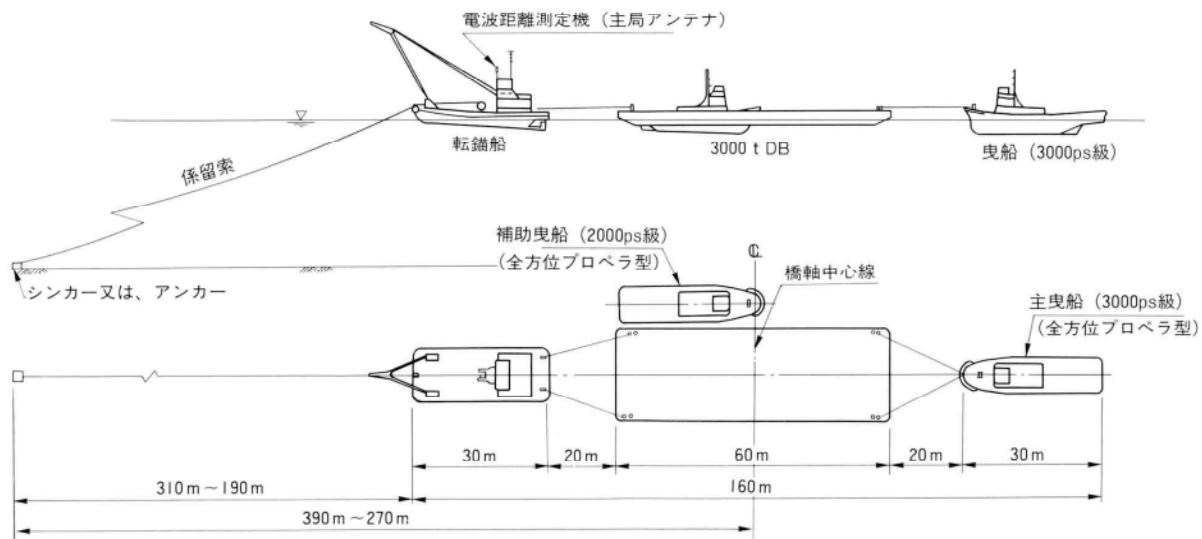


図-4 一点アンカー係留方法

(3) 台船の定点保持方法

直下吊上げ工法では、架設位置の直下に部材を搬入してから水切り完了までその台船を定点保持する必要がある。その保持方法にはアンカー方式とサイドスラスター等による無アンカー方式がある。保持の安定性は前者が優れており、その中でも多点アンカー方式は定点保持に関しては完全であるが、海面占有面積が広く、作業時間も長くなる欠点を持っている。後者においては、その占有面積も時間も少なくてすむが安定性に不安がある。ここでは使用実績があり、海面占有巾が少なくて済む1点アンカー係留方式を採用し、実施工前に現地で定点係留に関する施工試験を行うこととした。1点アンカー係留方法を図-4に示す。

3. 定点係留試験

(1) 試験の概要

定点係留試験は、補剛桁の架設に先立ち直下吊上げ作業時の航行安全の確保と、より高い作業性を得る目的で、昭和61年6月から7月にかけて現地にて行われた。

試験は以下の調査及び試験で構成されている。

(a) 船舶通航実態調査

定点係留時の警戒体制の検討資料とする、宮窪瀬戸の船舶通航状況の実態調査。

調査方法 目視観測

調査項目 船種別隻数、時間別隻数、通航区分、

船籍港、

日時 昭和62年6月6日12時～7日12時

(b) 深浅測量

定点係留時のアンカー打設位置の適否を検討するためにアンカー打設予定区域の水深及び海底状況の把握を目的として行った。

測量方法 作業船1隻を使用し、舷側に音響測深機の送受波器を装着し、陸上に設置した誘導点から電波距離測定機により作業船を誘導走行させて測深した。

日時 7月11日～7月13日、潮止り時±1ノット以下の時間帯で約2時間×2回／日

(c) 定点係留試験

補剛桁直上げ作業時における定点係留作業の施工性と台船位置決め精度の確認、把駐力試験および通信連絡体制と警戒体制の検討等多目的に行った。以下に述べる定点係留試験とは、この狭義の定点係留試験を示す。

方法 實作業に用いる作業船を使用し、実施工体制でケーブルから模擬フックを下げて行った。但し3000t台船は代船で、補剛桁ブロックの替りにバラスト積載(400t)とした。

日時 7月16日～7月19日

(2) 定点係留試験

試験項目と確認方法を表-2に示す。定点係留試験一覧表及び使用船舶一覧表を表-3、4に、試験フローチャート、アンカー設置時転錨船誘導方法及び定点保持時の位置計測方法をそれぞれ図-5、6、7に示す。

表-2 試験項目とその確認方法

試験項目		確認方法
定点保持試験	アンカー打設精度の確認	1. アンカー打設用転錨船に電波距離測定機を装備して設置位置を計測。
	定点保持精度の確認*1	1. 定点保持操船作業中の台船の挙動を電波距離測定機により連続的に計測し、その移動範囲を確認。 2. 計測位置は、台船の船首と船尾の2ヶ所。
	不具合の修正操船テスト	1. アンカーの設置位置の誤差を10m想定した定点保持。 ◎計測確認方法は*1と同様
	作業所要時間の確認	1. 各作業項目毎に所要時間を計測。 2. 作業海域占有時間の計測・確認。
	潮流と作業船の操船性	1. 転錨船、台船及び曳船の関連した動きの確認。
	把駐力試験	1. ストックアンカーと鋼製シンカーの2種類についての把駐力試験。 2. 張力計により把駐力を確認・係留の張力を計測。

表-3 定点保持試験一覧表

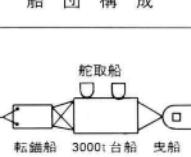
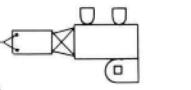
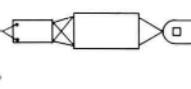
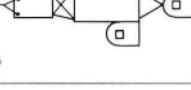
	船団構成	流向 流速	風向 風速	係留索 張力
A 5ケース		東流 0.6kt ~1.2kt 西の風 0.1kt ~0.5kt 転流時	西の風 1~4m/sec	12~20ton
B 1ケース		東流 2.2kt	西の風 1m/sec	18~21ton
C 1ケース		西流 1.1kt ~1.8kt	西の風 4 m/sec	15~16ton
D 10ケース		東流 0.1kt ~2.5kt 西流 1.0kt ~2.5kt	西の風 4~7m/sec	16~26ton

表-4 使用船舶一覧表

名称	総屯数	能 力	速力(KT)	備 考
台 船	3000T D.B	3000T 積	—	
補 助 曳 船	194.20	2600P.S	13.4	
転 錨 船	298.00	1100P.S	10.0	全方向プロペラ曳船
曳 船	199.45	2600P.S	11.0	"
筋 取 船	—	100P.S	—	
"	—	100P.S	—	
警 戒 船	14.81	290P.S	22.0	
"	13.00	660P.S	28.0	
工事区域標示船	13.00	500P.S	22.0	初回警戒演習日のみ
"	17.30	300P.S	20.0	"
"	13.00	660P.S	28.0	"
"	13.00	350P.S	18.0	"
広 報 船	6.50	250P.S	20.0	"
"	18.00	600P.S	22.0	
"	13.00	460P.S	26.0	
"	13.00	500P.S	22.0	初回警戒演習日のみ
工 事 周 知 船	81.00	200P.S	9.0	"
"	79.00	200P.S	9.0	"
漁 船 誘 導 船	—	100P.S	—	漁船4隻

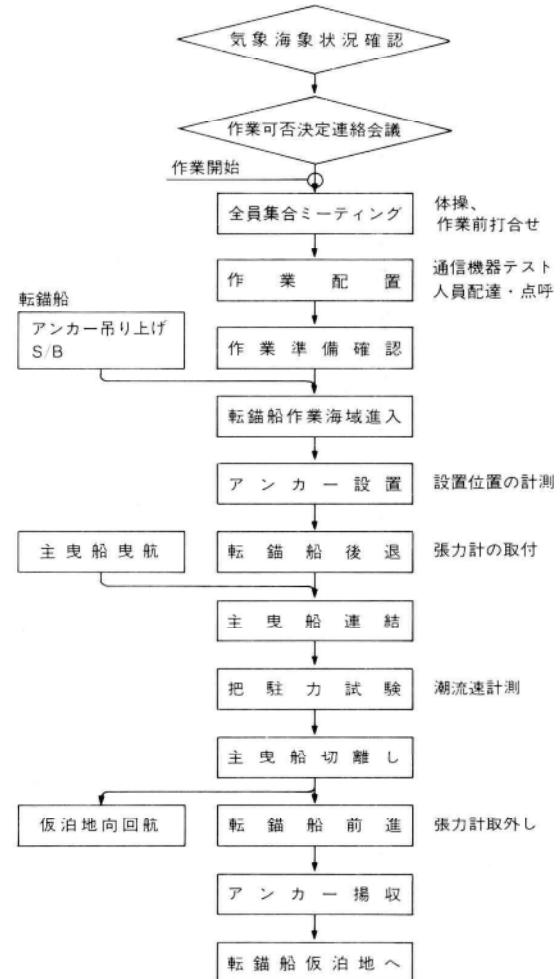
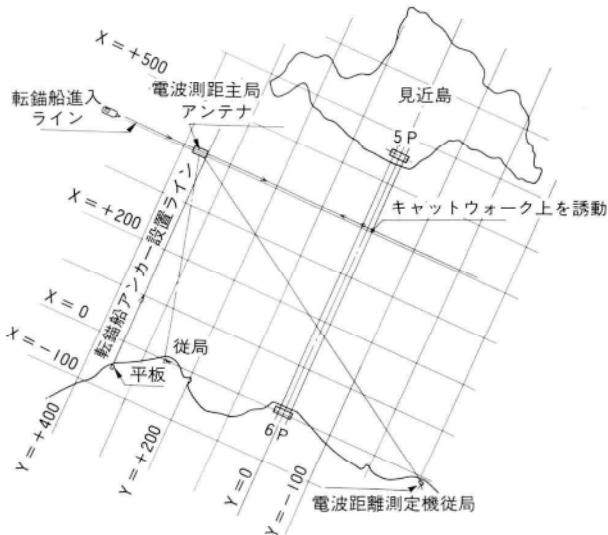


図-5 定点確認試験フローチャート



1. 橋軸直角方向の誘導はキャットウォーク上より行う。
2. 橋軸方向の誘導は大島側に平板1台を配置して設置位置の100m手前より連続して転錨船へ連絡する。
3. アンカー設置位置の計測は電波測距にて行う。

図-6 アンカー設置時転錨船誘導方法および位置計測

(3) 試験の結果

(a) アンカー打設精度

アンカー打設精度を表-5に示す。

(b) 定点保持精度

Type-A~Type-Dまでの保持精度一覧表を表-6に、



写真-2 定点保持の位置計測状況

表-5 アンカー打設精度

日付	打設ポイント	橋軸方向ずれ(m)	橋軸直角方向ずれ(m)
7/16	BC(南)	* 6Pに9.4(2.6)	西に18.7
	B(西)	* 6Pに9.4(2.6)	西に 0.2
7/17	A ₃ (西)	6Pに5.4	東に 0.5
7/18	BC(東)	5Pに2.8	東に 5.3
	B(西)	5Pに4.6	西に12.8
7/19	A ₃ (西)	5Pに3.1	西に 3.4
	A ₄ (東)	5Pに2.4	東に 8.5
平均		5.3(3.4)	7.1

*印部のずれ量は誘導ミスによるもの、その補正を行うと5Pへ2.6mのずれ量となる。

試験番号D-1-1の台船の動き図を図-8に示す。

(c) 把駐力テスト

アンカーの種類と把駐力係数を表-7に示す。

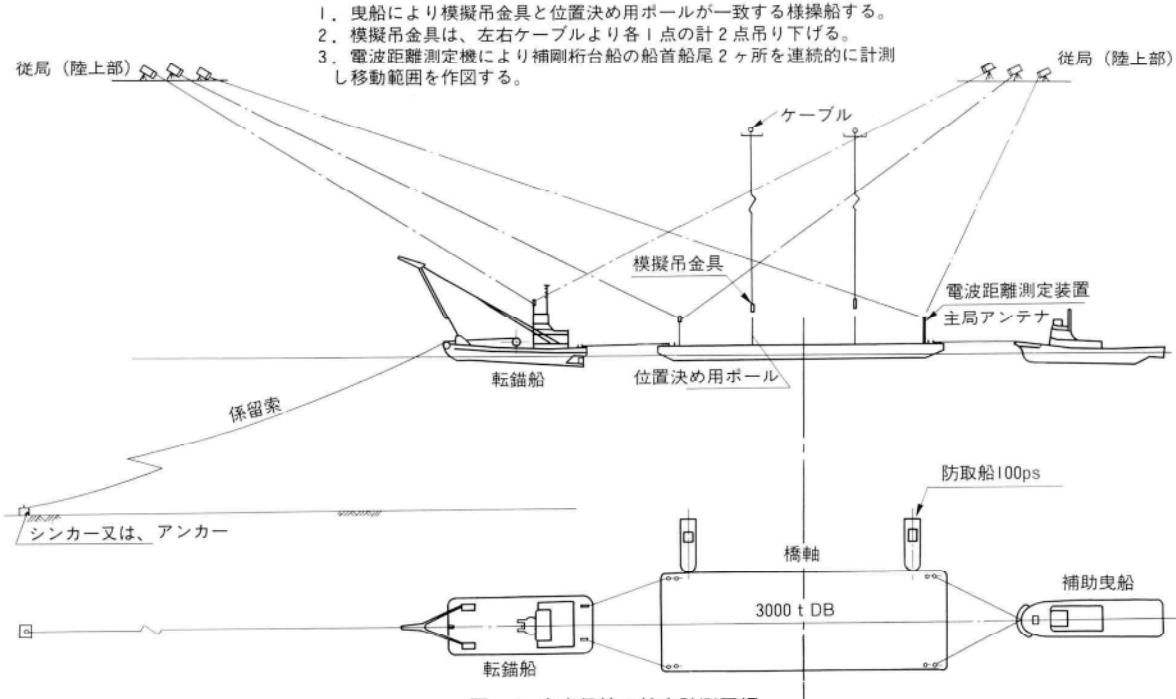


図-7 定点保持の精度計測要領

表-6 定点保持精度一覧表

試験番号 (操船タイプ)	流 向 流速 (KT)	風 向 風速 (m/sec)	保 持 時 間 (分)	係留索 張 力 (T)	定点保持精度 (m)				備 考	
					台船前部		台船後部			
					X方向	Y方向	X方向	Y方向		
A-a-1	E 0.6	W 1	15	13~15	1.1	10.0	—	—	台船の動き早い	
A-b-1	E 1.2	W 1	20	13~15	1.2	4.8	—	—	"	
A-a-2	W 0.1	W 2	10	17~19	1.1	3.3	1.1	2.2	動き小さく安定	
A-b-2	W 0.1	W 2	5	11~25	1.4	3.5	1.2	3.2	"	
A-a-3	W 0.1~0.5	W 4	12	12~14	0.8	4.9	1.0	4.6	ほぼ良好	
B	E 2.2	W 1	0	19~21	1.3	9.6	—	—	定点保持に至らず	
C	W 1.1~1.8	W 4	15	15~16	1.1	6.5	1.4	6.3	動きが大きい	
D-I-1	E 1.0~1.2	W 2	10	13~16	0.8	1.7	0.8	5.0	保持精度良好	
D-I-2	E 1.5~2.2	W 2	10	15~26	1.0	5.2	1.0	10.3		
D-I-3	W 1.6~2.4	W 7	10	23~26	1.7	11.0	1.7	9.3	補曳船にZペラ使用	
D-I-4	W 1.0~1.5	W 7	10	16~18	—	—	1.3	4.7	ほぼ良好	
D-I-5	E 0.1~0.8	W 7	20	18~20	0.9	4.1	1.3	6.3		
D-I-6	E 1.2~1.7	W 7	10	20~26	1.2	3.4	0.8	7.7	後部の動き大	
D-I-7	E 2.3~2.5	W 7	14	20~22	3.0	9.0	1.1	9.5	定点保持と至らず	
D-I-8	W 1.5~1.0	W 6	10	20~24	1.4	3.2	1.2	5.8	ほぼ良好	
D-2	W 1.7~1.2	W 6	4	16~19	0.0	6.5	2.0	10.0以上	定点保持出来ず	
D-3	W 2.5~1.5	W 6	10	14~20	1.2	10.0以上	1.2	10.0以上	定点保持出来ず	

X方向は橋軸直角方向を示す。

Y方向は橋軸方向を示す。

保持精度の数値は移動範囲を示す。

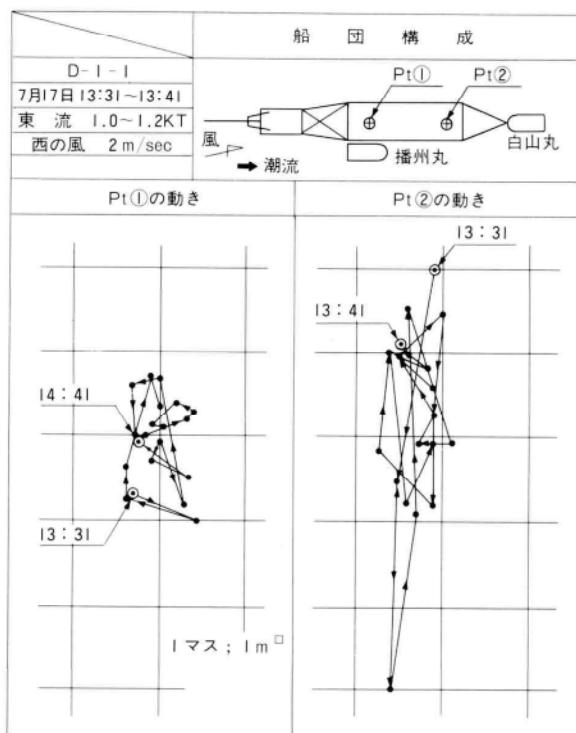


図-8 台船の動き図

(4) 考察

(a) アンカー打設精度

キャットウォーク上からの視準及び陸上部からの平板

表-7 把駐力及び把駐力係数

月日	アンカー 打設ポイント	アンカータイプ	水深	係留索 張 力	把駐力 係 数
7/16	BC (東)	13.6TON ストックアンカー	56.8m	TON 20.0	2.46
	B (西)	10TONストックアンカー + 15TON沈錐	52.7	23.0	1.28
7/17	A ₃ (西)	同 上	42.7	25.0	1.56
7/18	BC (東)	40TON鋼製シンカー	56.3	33.6	1.16
	B (西)	同 上	53.5	29.0	0.96
7/19	A ₃ (西)	同 上	43.5	31.9	1.08
	A ₄ (東)	同 上	31.7	31.0	1.04

(注) 係留索張力は、各試験毎の最小値を採用した。)

による誘動は、簡易な方法であるが実際的でありその精度は十分であった。

(b) アンカーの打設精度と定点保持精度

アンカー打設ポイントを橋軸方向に10mずらして台船の修正テストを行ったが、潮流方向や風向等複雑にかかわり合うので、それらに明確な差はなかった。

(c) 潮流速

定点保持精度に与える潮流の影響は大きく、曳船1隻のケースでは1.5ノット、曳船2隻のケースでは2.0ノットが限界と思われた。

(d) 操船方法と定点保持精度

(①) 横だき曳船1隻のケース (Type-B)

横だき曳船（シュナイダー型）1隻での定点保持

は初回最後に試みたが定点保持に至らなかった。潮流が早かった（2.0~2.2ノット）こともあったが確実性に劣る。アンカー能力に影響するが曳船をする必要がある。

② 後曳き曳船1隻のケース

① 航取船を併用したケース (Type-A)

航取船は潮の流れに直角に配置されるので、その作業限界は1.5ノット程度まで可能だが、実施工が冬期による影響を考慮する必要があり保持可能範囲は流速1.0ノット以下と考えられる。

② 航取船を使用しないケース (Type-C)

横移動が大きい。但し潮止り時は5分程度の保持は可能であった。

③ 曳船2隻を使用したケース (Type-D)

Type-Dについては、補助曳船の位置を、台船の前、中、後 (Type-D₁~D₃) と変えて操船テストを行っ

たが、Type-D₁が安定していた。又、Type-Dによる定点保持には2ノット程度まで可能と考えられるが、実際は橋軸方向の移動巾が4m以下に納まった時間の多い、流速1.5ノット以下と判断される。

ここで曳船の役割分担は、主曳船（全方位プロペラ型）はバックテンションをかけることによって台船の橋軸直角方向の位置を固定し、さらに左右の位置調整を行うことによって橋軸方向の位置を修正する。又、補助曳船（シュナイダー・プロペラ型）は台船の回転を修正し、台船の動きを緩やかにする役目をする。

(e) 作業時間

把駐力試験及びシミュレーションの合せて7回の作業時間をまとめて実施工時の計画サイクルタイムとした。

直下吊上げ作業のサイクルタイムを図-9に示す。

(f) 把駐力

今回の試験では最初の13.6tストックレスアンカーが張力20tonにて走錨し、計画の30tonを得ることが出来なかつた為、10tonストックアンカー+15ton沈錨に変更して試験を行つたが、張力23tonで走錨した。それらの把駐力係数は2.4~1.2と安定していない。

一方、40ton鋼製シンカーについて、4回の試験結果より得た把駐力係数は、1.08~0.96とほぼ安定していた。その結果、実施工時は鋼製シンカーを使用することとし、その把駐力係数は安全側にみて0.8とした。



写真-3 捕剛桁の直下吊上げ

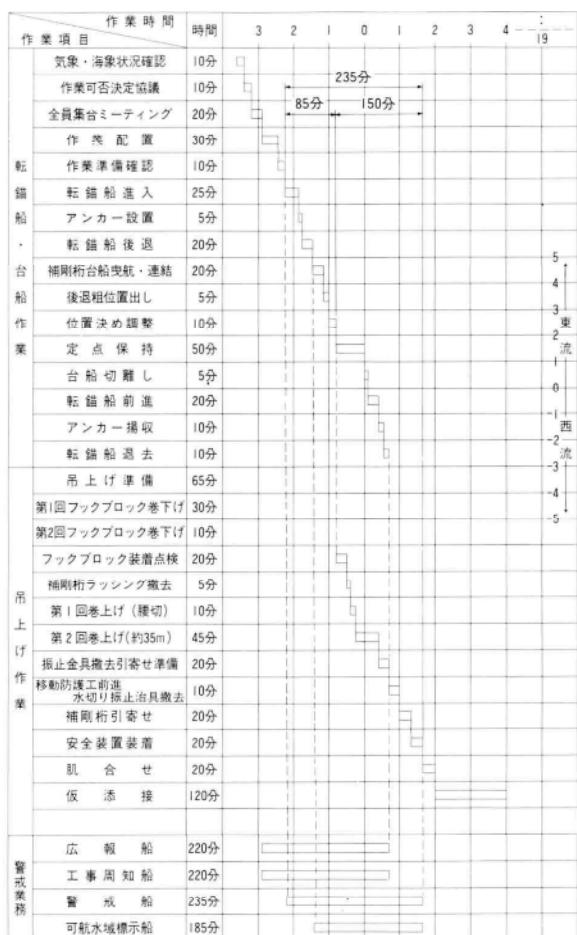


図-9 直下吊上げ作業タイムスケジュール（実施計画）

4. まとめ

リフティングストラットによる直下吊上げ工法を選定し、一般船舶の航行する海面を使用して、無事に62年3

月に補剛桁を閉合した。その中で定点係留試験は、我々に多くのものを与えてくれた。転錨船の誘導方法、定点保持するための曳船の配置と操船方法、又その動きの速さと大きさ、作業船の限界潮流速、そして把駐力の確認等実施工へ向けて技術的な問題はほぼ解決された。又、実施工に先立ち、工事関係者の作業習熟が出来た点も見逃せない。

本文に紙面の都合上載せることが出来なかつたが、通信設備と連絡体制も試験を反映して1部修正して本番を迎えた、そして通航船舶に対する工事周知及び警戒体制も現地に適した方法が確立されたと思う。

自然の海面上で、多点のアンカーを使用せずに船舶を定点に固定することは不可能である。ある程度の動きを許容しつつ、フックブロック装着作業及び水切り作業を

安全、且つスムーズに行うためには、作業の手順や補助具の使用などに工夫を要した。それら実施工の工事報告は前出の文献を参照されたい。

最後に、御指導と御協力を頂きました、本州四国連絡橋公団、第六管区海上保安本部、及びJV関係者の皆様に、紙面を借りて厚くお礼申し上げます。

〈参考文献〉

- 1) 谷中・福井他 ; 本州四国連絡橋大島大橋補剛桁の設計、橋梁と基礎 Vol21、No.10、昭和62年10月
- 2) 福井・平野他 ; 本州四国連絡橋大島大橋補剛桁の製作、橋梁と基礎 Vol21、No.11、昭和62年11月
- 3) 福井・平野他 ; 本州四国連絡橋大島大橋補剛桁の架設、橋梁と基礎、Vol21、No.12、昭和62年12月

グラビア写真説明

東京住友ツインビル

東京駅八重洲口から、東京方面に高層ツインビルを見ることが出来るようになった。周囲のビル群より一段高く頭を突き出しているのが霞んで見える。東京駅から2kmもなかろう。歩いても20分程で十分行くことができる。思えば東京駅からの至近距離に、何故今まで高層ビルがなかったのであろうか。

都の臨海部副都心再開発計画に呼応して、隅田川沿岸のかっての倉庫の立ち並んでいたこの地が、高層ビル群地域になろうとしている。隣接地にも高層オフィスビルと高層住宅棟建設の音が響いている。上流の永代橋の北ではすでに高層ビルが完成間近である。また南側佃島にも数棟の高層ビルが建設最盛期であり、日本のマンハッタンが出現するものと言われている。(西原)

産業文化センター（仮称）

産業文化センターの建設は、埼玉中枢都市圏構想として埼玉県で企画され、提案競技により事業主体（日本生命・フジタ工業）が決定された。

計画概要はセンタービル（オフィス棟・ホテル棟・低層棟）、センターホール、イベント広場その他であるが、当社はセンタービルオフィス棟の高層部を担当した。

センタービルには最新技術として、(1)TV電波障害防止に吸収壁（南面）および曲面壁（西面）の採用、(2)振動防止の制震ダンパーの採用、(3)窓清掃ロボットの採用等の他、各種のOA化やニューメディアに対応したインテリジェントビルで、省資源・省エネルギーの対応にも各種の手法が用いられている。

昭和61年1月着工以来、逆打ち工法で工期を短縮し、昭和63年4月8日オープン予定であるが、オープン後は名称を「ソニックシティ」と換え、大宮駅西口の中枢機能として大きな役割を果たすことになる。(永瀬)

下津井瀬戸大橋補剛桁の設計

The Design of Stiffening Girders for the Shimotsui-Seto Bridge

安 本 孝* 宮 崎 好 永** 柴 山 隆 義** 井 上 雅 夫***
Takashi YASUMOTO *Yoshinaga MIYAZAKI* *Takayoshi SIBAYAMA* *Masao INOUE*

Summary

Of the Honshu-Shikoku Bridges, the Shimotsui-Seto Bridge is among the three suspension bridges on D-Route. It has been noted for the features it provides, in particular, the side spans which are not suspended by hangers.

Moreover, since the bridge has an unprecedented scale, since it's also to be used as a road-railway bridge, a number of pre-studies and devices were required in selecting its various component structures.

This report describes the above-mentioned features and other relevant matters.

1. はじめに

本州と四国を結ぶ3つのルートが本州四国連絡橋公団の手によって目下建設中である。3ルート（Aルート：神戸—鳴門、Dルート：児島—坂出、Eルート：尾道—今治）のまん中、Dルートの海上部北端に位置するのが下津井瀬戸大橋である。この地は風光明媚を誇り、鷺羽山をはじめ附近一体が国立公園に指定されている。めぐまれた景色を背に、白い大橋が完成間際の化粧をしている。

この完成の期に、設計業務の4年間を振り返り、この橋のもつ特色めいたものを申し述べてみたい。

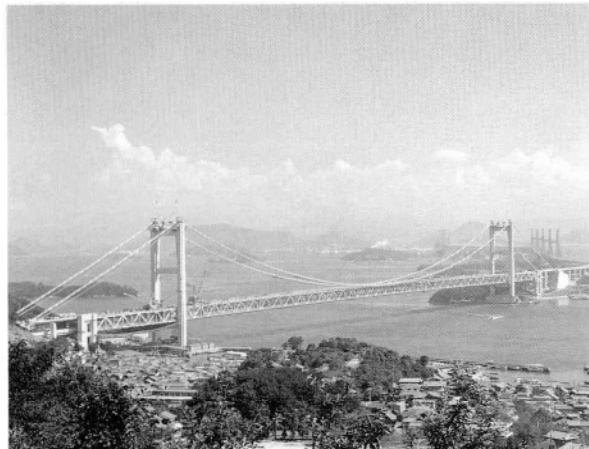


写真-I 全景

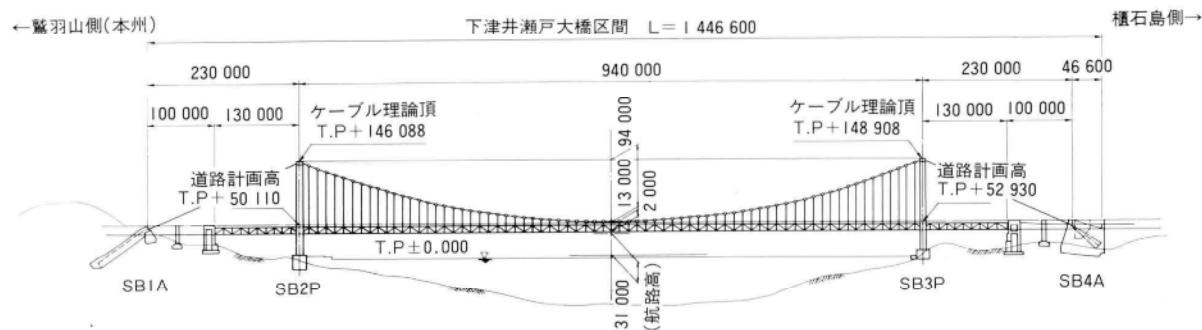


図-I 下津井瀬戸大橋側面図

* 技術本部技術開発部付課長
 ** 技術本部設計部設計第一課

*** 技術本部設計部設計第三課

2. 概要

(1) 構造概要

本橋は上路を自動車専用道路として、下路を鉄道在来線および高速鉄道（新幹線）に供用する、道路鉄道併用の吊橋で、側径間がハンガーで吊られていない等の特徴をもつ。また、補剛桁は、列車の走行性を考慮し、中間支点上（塔部）を連続した構造で渡っている。更に、塔は他の吊橋に見られる様なトラス形式を避け、美観を考慮した3層のラーメン構造となっている。

この橋の鉄道階は、将来、在来線と新幹線を共に複線で通す計画を持っているが、諸般の事情から暫定的に在来線のみに供用することになった。

(2) 架設概要

下津井側・櫃石側とともに、陸からの部材の搬入は難しく、中央径間海上部からの部材水切りが避けられない。

また、径間の中央部は多くの船舶が行き来するので、架設時の海面使用の範囲は塔近傍に限られる。このため、塔付4パネルを除いて中央径間は面材架設、張出径間は単材架設によって、塔側から径間部に向い順に桁を張出してゆく作業手順を採用した。

3. 設計上の留意点

道路・鉄道併用橋として世界最大規模のものであるだけに、その構造選定には慎重を期し、公團指導のもとに多くの検討を重ねた。これらの内容について、限られた紙面の中ですべてを記すことはできないが、設計に臨み留意した主たるもの述べる。

(1) 使用材料

併用橋であるためある程度の剛性を必要とすることと疲労に体する鋭敏度等を考え合せ、最高材質S M58とした。

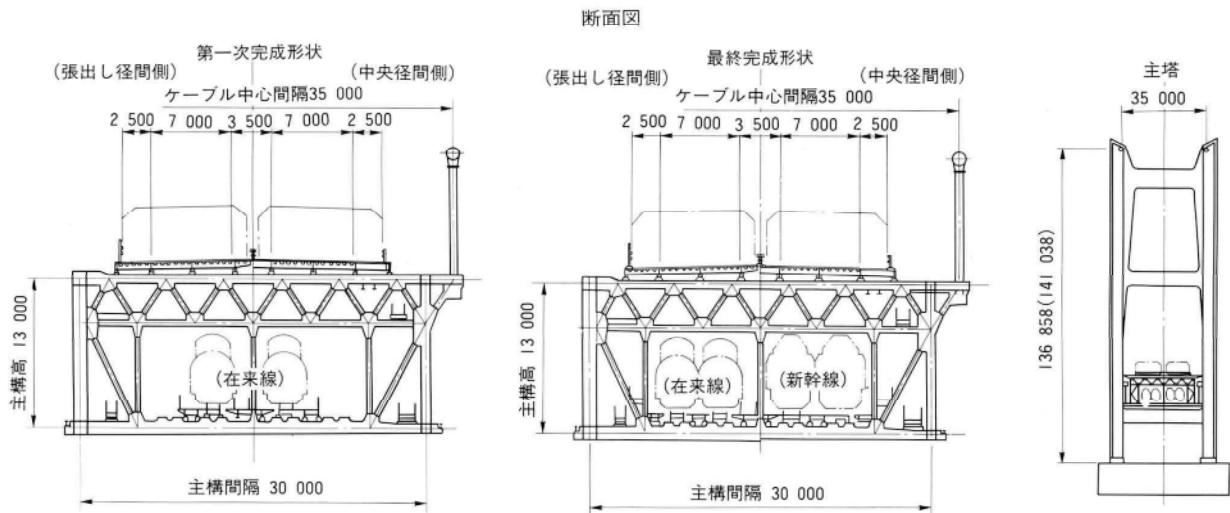


図-2 一般寸法図

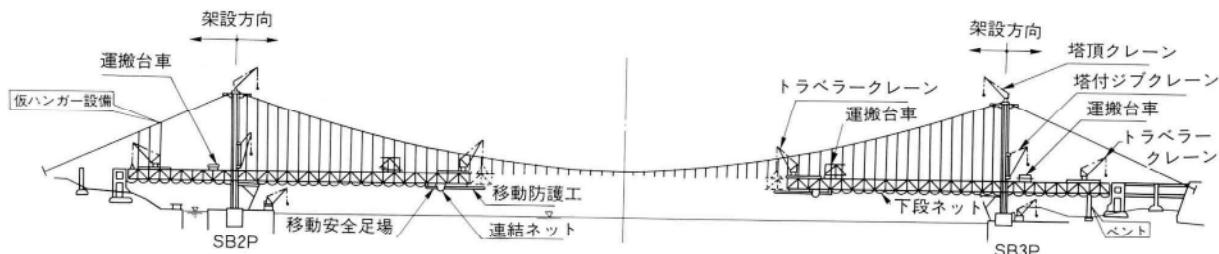


図-3 架設概要図

(2) レデュース材

連続桁であるが故に、中間支点附近での弦材軸力は中間部に比してはなはだ大きい。このため、全長を同一基本寸法で抑えることは経済的に許されず、3段階にわたりこれを変化させた。この漸変部に用いたのがレデュース材であって、要求品質を満たすためにナックル部に添接を設けた。

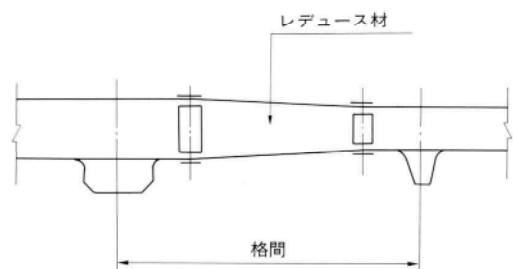


図-4 レデュース材

(3) 弦材断面とダイヤフラム

ダイヤフラム溶接による腹板の倒れ込みを抑えるため、試作の結果を踏まえて、ダイヤフラムの厚さと形状を決めた。また、弦材落し込みフランジが腹板内側に傷付けるのを防ぐため、フランジ外面とウェブ端の面をそろえた。

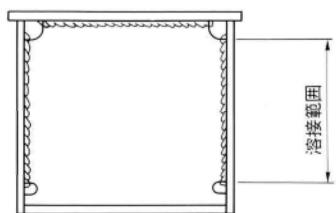


図-5 標準ダイヤフラム図

(4) ハンガーブラケットの構造

先端に前後・左右・上下と複雑に作用する力への対処と、要求品質を確保するため、FEM解析・実物大試作の結果を踏まえて、構造を決定した。

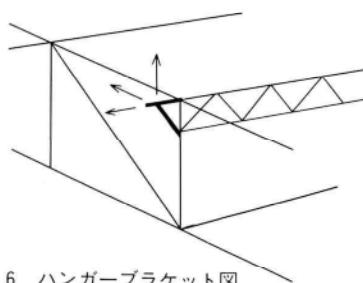


図-6 ハンガーブラケット図

(5) 鋼床版の連続径間数

自動車の走行性・維持管理の便宜を考え、多径間連続構造の可能性を検討した。風による主構の変形・地震時水平力が与える支承・伸縮継手への影響、製作・架設誤差の調整方法から、現状では6径間連続の構造が妥当であるとの結論を得た。(詳細は5-(2)参照)

(6) ピンプレートの形状

連続した補剛桁は、中間支点で4500tの反力を生ずる。この力を、支点上がセットとリンクピンの支圧を介してタワーリングに伝える必要がある。FEM解析を通じて、応力の流れを解明し、断面を決定した。また実物大の試験体を製作し、品質確保のための施工法を確立した。(詳細は7-(1)-(h)参照)

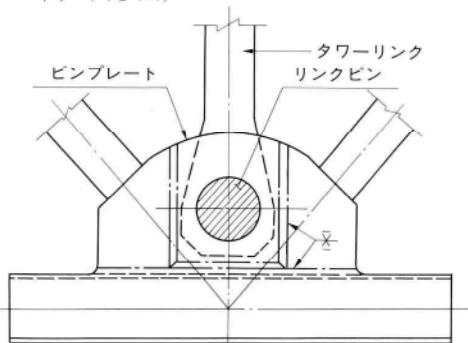


図-7 ピンプレート

(7) 中間支点部の弦材内部補強

ウインドシューの反力を、横トラス弦材に伝達するために、主構弦材内部を補強する必要があった。

この部分は、主構弦材としても、最も軸力が大きくかつ複雑な部分である。設計・製作両面からの検討を繰返し、構造を定めた。(詳細は7-(1)-(h)参照)

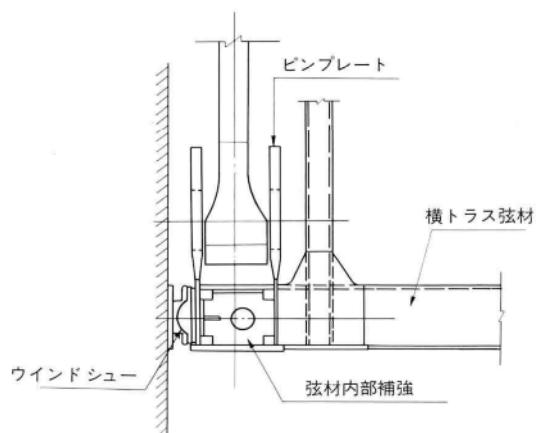


図-8 弦材内部補強図

(8) センターステイおよび水平トラス

桁に働く橋軸方向力をケーブルへ伝達する手段としてセンターステイを設けた。複雑に絡み合う選択域の中から、設定荷重のもとに、ステイの山数、破断一復旧システム等を確立した。(詳細は7-(1)-(i)参照)

(9) 支承構造

(a) エンドリンク

補剛桁の張出径間がハンガーによって吊られていないため、桁の反力は、はなはだ大きなものとなった。端支点となるエンドリンクでは、支承滑動部および柱部について、信頼性・経済性の面から検討を加えた。

(b) ウィンドシュー

桁の中間支点での反力を受ける主塔が弾性体であるための不都合を支承構造の工夫により可能ならしめた。

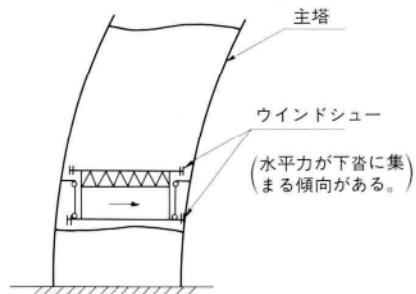


図-9 ウィンドシュー

(c) ストップバー

センターステイ破断後において生ずる補剛桁の大変位の際、橋台との衝突時の緩衝材として用いるのが、ストップバーである。形状・材質を検討した結果を踏まえて、ゴムブロック型を採用した。

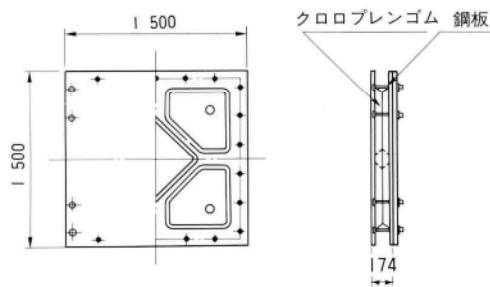


図-10 ウィンドシュー

(10) 伸縮継手

(a) 道路伸縮装置 (デマーク)

諸外国における既設のものに、不具合が発生している

のことから、その原因を究明、改善を計った。(詳細は8-(2)参照)

(b) 鉄道緩衝桁

列車が陸上高架橋部から橋梁区間に進入する際の、衝撃をやわらげる目的で、橋端に設けるものである。構造は、精巧をきわめ複雑であるため、架設前に十分なる機能確認試験を行い万全を期した。(詳細は8-(1)参照)

(11) 部材連結部応力伝達機構の解明

従来からの設計手法に疑問を抱いたため、この部分をモデル化し、FEM解析を通じて新しい設計手法を確立した。

(12) 箱形部材の内面溶接

主構及び横トラスの部材は、軸力のみならず相当の曲げ・せん断の作用を受けることは承知しており、内面溶接の是非を検討した。作用力・要求品質・溶接施工性等を勘案し、その区分けと施工法を定めた。

(13) 溶接の形状決定

吊橋の特性として、一般に部材応力の振幅が大きいことが知られている。結果として、溶接部の品質・形状が与える母材への影響が大きくなる。疲労の影響を最小限に留めるため、溶接作業性を考えた部材構成と、溶接の品質改善に務めた。

(14) 架設時応力の照査

架設手順の選定に当り、補強部材を極力少なくするよう務めた。また、手順に合った添接位置と形状、吊具の取付など、現場の施工性・安全性に十分配慮した。

(15) トラスの製作形状

径間部の作用力は均一な区間が多く、同一部材断面を広い範囲で用いている。この部分の製作キャンバーを、近似する単曲線に置換えて、製作施工性を高めた。

(16) 騒音対策

下津井・櫃石島側とも、張出径間は陸上部で住居と接近しているので、防音工・N装置の設置など必要な対策を講じた。

(17) 維持管理施設

橋体及び附属物を、長期間にわたって維持管理してゆ

表-1 橋梁基本条件

		内 容	備 考
橋 名		下津井瀬戸大橋	
路 線 名	道路	一般国道30号	
	鉄道	本四備讃線	
道路鉄道規格	道路	第一種第2級	
	鉄道	在来線Ⅰ級 新幹線	
設 計 速 度	道路	自動車 V=100km/h	
	鉄道	在来線 V=120km/h	
	新幹線	V=160km/h	
車線数 軌道数	道路	4車線	
	鉄道	在来線 複線 (第1次完成時) 在来線 新幹線 複々線 (最終完成時)	
航 路 限 界 略最高高潮面(NHHWL) TP+1.9m 上31m (TP32.9m)			
橋 梁 区 間 起点25K083.4m ~ 終点26K283.4m (L=1200.0m)			
基 本 線 形	平面線形	直 線	
	縦断勾配	道路 1%直線、R=65,000円曲線、0.4%直線 鉄道 同上	
	横断勾配	道路 2%直線勾配 鉄道 カント無	
	座 標 系	海峡部局地座標系	

表-2 構造基本諸元

項 目		内 容	備 考
橋 梁 型 式		張出径間付単径間補剛トラス吊橋	上段: 道路 下段: 鉄道
支 間 割	補剛トラス	I30m + 940m + I30m	
	ケーブル	230m + 940m + 230m	
型 式	橋軸方向	基部固定 塔頂ヒンジのフレキシブル系	
	橋軸直角方向	水平材を有する三層ラーメン系	
塔 高	SB 2P	T.P + 146.088m	理論塔頂
	SB 3P	T.P + 148.908m	理論塔頂
塔 基 部 高	SB 2P	T.P + 5.050m	
	SB 3P	T.P + 12.050m	
塔 中 心 間 隔	基部 38,800m	頂部 35,000m	(2P3P共通)
主 ケ ー ブ ル 型 式	平行線ケーブル		
主 ケ ー ブ ル 形 状	中央径間中央サグ f=94m	n = $\frac{1}{10}$	
主 ケ ー ブ ル 直 径	936mm (一般部 空隙率20%)		
ケーブル中心間隔	35.0m (東西ケーブル間隔)		
吊 枠 本 数	Q.F.R.C $\phi 68 \text{ } \phi 74$		
吊 架 構 造 補 剛 型 式	主 構	平行弦ワーレントラス (垂直材付)	
	横 構	Kトラス	
吊 架 構 造 吊 型 式	ハンガーブラケット型式 (ブラケット張出長 2.5m)		
吊 架 構 造 主 構 高	13.0m		
吊 架 構 造 主 構 幅	30.0m		
上 路 床 組	アスファルト舗装 舗装厚75mm		
下 路 床 組	縦桁合成鋼床版		
道 路 鉄 道 高 低 差	鋼桁直結軌道 III型		
道 路 鉄 道 高 低 差	PH-RL間 12.510m		

くための手段として、各種管理路を設けるとともに、点検・補修を目的とした、内・外面の作業車を設置している。

4. 設計条件

(1) 橋梁基本条件

橋梁基本条件を表-1に示す。

(2) 構造基本諸元

橋梁の構造基本諸元をまとめたものを表-2に示す。

(3) 準拠示方書

設計に用いた準拠図書は表-3の通りである。

表-3 準拠図書

基 準 関 係		
(1) 土木工事共通仕様書	昭和59年8月	本四公団
(2) 上部構造設計基準・同解説	昭和55年6月	本四公団
	(昭和56年11月、昭和57年12月、昭和58年10月一部改訂)	
(3) 耐風設計基準・同解説	昭和51年3月	本四公団
(4) 耐震設計基準・同解説	昭和52年3月	本四公団
(5) 鋼床版設計要領(案)	昭和54年7月	本四公団
	(昭和58年10月一部改訂)	
(6) 国鉄建造物設計標準解説	昭和58年5月	土木学会
(7) 道路橋示方書・同解説	昭和55年2月	日本道路協会
(8) 鋼上部構造用鋼材選定要領(案)	昭和48年9月	本四公団
(9) トラス格点構造設計指針(案)	昭和51年3月	本四公団
(10) トラス詳細構造設計マニュアル(案)	昭和56年3月	本四公団
(11) ハンガー設計要領(案)	昭和53年3月	本四公団
(12) 吊橋リンク支承構造設計の指針(案)	昭和51年3月	本四公団
(13) 鋼橋設計内規		構造物設計事務所
(14) 鋼橋直結軌道及び緩衝桁軌道伸縮装置設計要領・同解説	昭和59年3月	本四公団
報 告 書 関 係		
(1) 下津井瀬戸大橋実施設計(その2)	昭和55年1月	本四公団
(2) 下津井瀬戸大橋実施設計(その3)	昭和55年3月	本四公団
(3) 下津井瀬戸大橋塔製作詳細設計	昭和58年3月	本四公団
(4) ケーブルストランドの製作(その3)ケーブル詳細設計	昭和58年8月	本四公団
(5) 下津井瀬戸大橋 A3、A4	昭和58年11月	本四公団
(6) 鉄道床組の標準図作成	昭和57年10月	本四公団
(7) 緩衝桁伸縮装置の標準図作成(その2)	昭和58年3月	本四公団

5. 上路床組の設計

(1) 構造概要

上路床組は、自動車荷重を円滑に吊橋本体に伝達させるための構造であるが、吊橋としての死荷重を軽減させる目的で鋼床版上載せ形式を採用している。

中央径間部は、耐風安定性を考慮して中央分離帯部と路側部にオープングレーティング構造を併用した鋼床版とし、張り出し径間(100m)及び、塔より中央径間側へ約200mの部分は、道路騒音の対策上から全幅鋼床版構造とした。

上路床組の付属構造物としては、オープングレーティング及び受梁・縦桁支承・伸縮装置・自動車防護柵・排水装置・電気設備・水道設備等があるが、これらの設計経緯を紹介する。

(2) 鋼床版の連続径間数の検討

自動車の走行性及び維持管理等の面からは伸縮装置の数が少ないほど望ましいので、鋼床版の連続径間数は多いほどよいという意見がある。

- 詳細設計を着手するに当り、次の点について調査した。
- ① 主構と鋼床版の温度差とその影響
 - ② 主構と鋼床版の製作架設誤差が及ぼす影響
 - ③ 超多支承構造における鋼床版の挙動及び大移動量に整合する支承構造
 - ④ 橋端部の橋軸方向力の伝達方法
 - ⑤ 主構と鋼床版の合成構造の可能性
 - ⑥ 閉合方法及び架設工程の長期化

などである。しかしながら不確定な要因が多く、この問題を解決するには長期間の調査・検討が必要なため、今回は全径間連続構造採用は見送り、出来るだけ連続径間数を多くする方向で臨むものとした。

支承と伸縮装置の移動量、製作・架設誤差の調整方法、橋軸方向及び橋軸直角方向荷重による影響、および経済性等について検討した結果、6径間連続と4径間連続を組合せて配置するのが現実的であるとの結論に達した。

(3) 鋼床版

解析は直交異方性版理論に基づいたPelican-Eßlingerの方法により行った。

設計に用いた荷重はT-20およびTT-43で、重交通に対する割増し係数1.20および衝撃係数0.4を考慮した。

なお、疲労に対する照査では T-20 1台による応力を用い、重交通の割増し及び衝撃は考慮しないものとした。

この結果デッキプレートは $t = 12\text{mm}$ (SS 41)、縦リブは U-300×220×6-40のトラフリブを用いることとなった。

(4) 縦桁

縦桁はデッキプレートと縦リブを上フランジとするI桁と、横リブから成る格子構造として、変形法を用いて解析した。荷重としては死荷重のほか、L-20・TT-43に対する等価J荷重を用いた。また、主構変形による支点変位およびデッキプレートと縦桁の温度差15°Cも考慮した。

縦桁位置はできるだけレーンマーク下に近づけるように配慮した。また、横断方向各主桁の腹板下端を揃えたため、腹板高は幅員の中央に行くに従って高いものとなった。なお、桁端部は伸縮継手の設置、支承部の維持補修の便宜を考えて腹板を切欠いた構造とした。

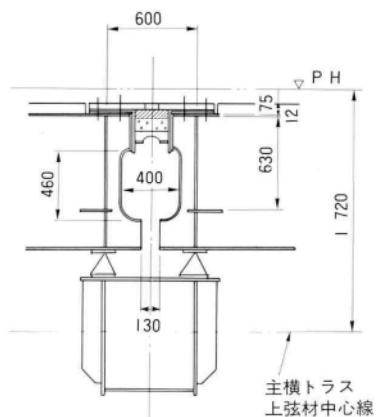


図-11 縦桁腹板切欠図

(5) 横リブ

横リブの配置は、1.9mを基本として縦桁支間（主構格間長）を分割し、格間長のちがいは端部で調整した。腹板高は、端・中間とも同一とし、材質はすべてSS 41を使用している。

支点上横リブは、架設時の支承高の調整と、維持管理のためのジャッキアップが可能な構造とし、橋端部横リブは道路伸縮装置の受梁としての強度及び剛度を確保した。

(6) オープングレーティング

オープングレーティングは、耐風性を考慮して中央径間の路側部及び中央分離帯部に配置した。

構造は主構格間を7分し、2径間と3径間連続の組合せを使用した。下面には下路床組への落下物を防止するための網を設けた。

(7) 縦桁の支承

支承形式は密閉ゴム支承板支承とし、主構の面内、面外変形による応力が縦桁に導入されないように配慮した。支承配置は図-12に示すように中央部中間支点は、橋軸方向固定、橋軸直角方向可動、端支点から1つ目の中間支点は、橋軸方向可動、橋軸直角方向固定、他の支点は橋軸方向、橋軸直角方向とも可動とした。

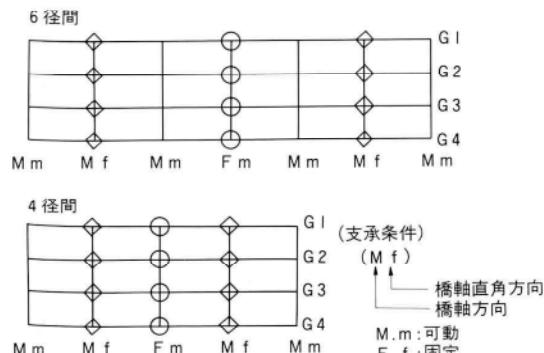


図-12 縦桁の支承配置

(8) 伸縮装置

鋼製フィンガー形式を基本に、鋼床版部は弾性シール材充填による非排水構造、オープングレーティング部は落下物防止対策としてステンレス金網を用いたものとした。

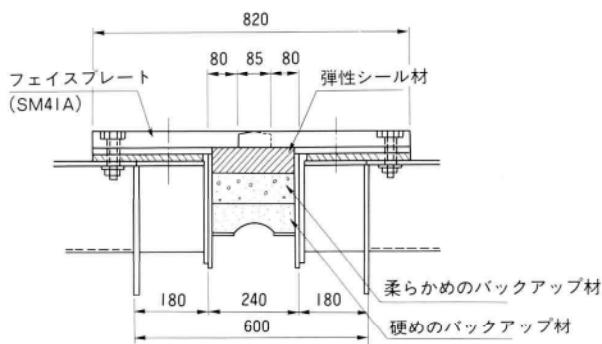


図-13 鋼床版部伸縮装置

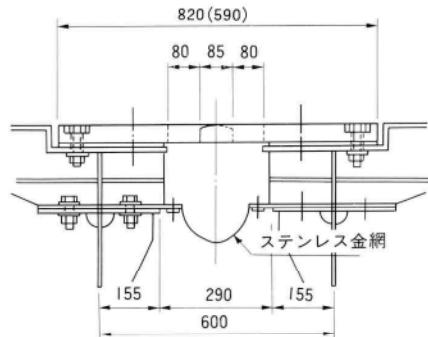


図-14 グレーティング部伸縮装置

(9) 自動車防護柵

ブロックアウト方式とし、張り出し径間部の路側部自動車防護柵は、遮音壁及び落下防止柵の支柱と兼用出来る構造とした。

6. 下路床組の設計

(1) 構造概要

下路床組は、鉄道荷重を円滑に吊橋本体に伝達させるための構造であり、吊橋としての死荷重を軽減させるために特別に開発されたレールを直接鋼桁に締結する鋼直III型を採用した。

下路床組は、段階施工を計画しており、供用開始時は在来線2線、将来は在来線2線及び新幹線2線の合計4線に移行される。

なお、下路床組は次の構造物により構成されている。

(a) 暫定2線時（第一次完成時）

- ① 在来線縦桁
- ② 下路管理路
 - 中央巡回車用管理路
 - 在来線上り・下り側管理路

(b) 完成4線時（最終完成時）

- ① 在来線縦桁（暫定2線を移行）
- ② 新幹線縦桁
- ③ 下路管理路
 - 中央巡回車用管理路
 - 軌道間管理路
 - 側部巡回車用管理路

設計上は、段階施工がスムーズに行なえるように、最終完成時への移行に際し、撤去部材が極力少なくなるように配慮した。

(2) 桁構造

下路床組を連続構造とした場合、列車走行と吊橋変形に伴い正負の交番反力が生じる。支承部に上揚力を発生させないために単純桁形式とした。

(3) 角折れ対策

縦桁を単純支持としたため列車走行時の活荷重たわみにより隣接桁間に角折れが生じる。

この角折れの発生要因は、吊橋全体系の変形に伴うものと、主横トラス下弦材のたわみによるもの及び、鉄道縦桁自体の桁端回転変位によるものである。

この角折れ値が、レール締結装置（鋼直III型）の許容値（上向き7%，下向き5%）以下とするように縦桁の剛性を確保した。

(4) 下路管理路

保守巡回車の走行が出来るように第1次完成時には、在来線上下線の中央に中央巡回車用管理路、上り下り側にも専用管理路を設けた。最終完成時には、両外側にも側部巡回車用管理路を設けるものとした。

管理路の構造形式は、主横トラス下弦材上に台座を設けて上載せする構造とした。

各種管理路の配置図を図-15に示す。

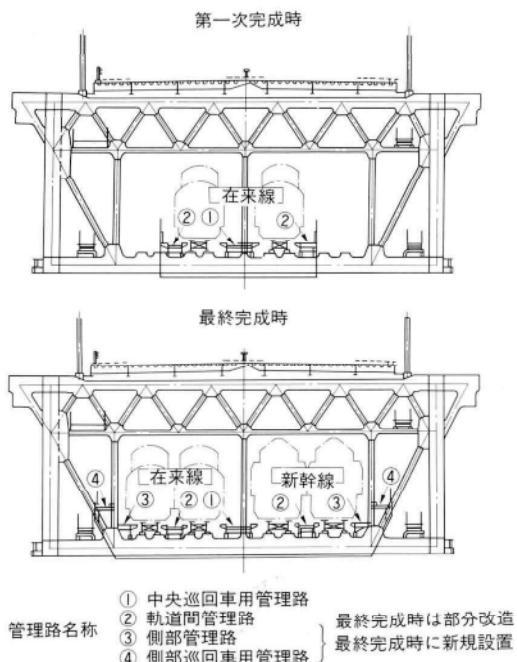


図-15 各種管理路設置状態図

7. 捕剛トラスの設計

(1) 主構

(a) 骨組構造

図-16に主構骨組図を示す。

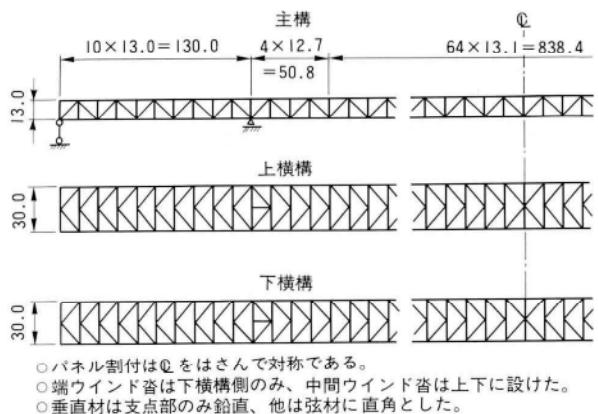


図-16 主構骨組図

(b) 荷重強度

○死荷重

死荷重のうち、張出し径間が単純梁、中央径間がパネル毎に個々のハンガーに吊られた状態に載荷されるものを前死荷重、補剛トラスが全長連続された以後に載荷されるものを後死荷重と称するが、補剛トラスの断面構成の都合および経済性等の面から、実施設計、塔詳細設計と同じくほとんどの死荷重を前死荷重として扱った。

○活荷重

自動車荷重 TL-20, TT-43 (等価L荷重)

列車荷重 第1次完成時 在来線複線又は単線載荷
最終完成時 在来線、新幹線複々線のうち、任意の2線載荷

疲労検算時 第1次完成時、最終完成時共、単線載荷

○風荷重

暴風時基本風速 43 m/s

活荷重載荷時基本風速 21.2m/s

○温度変化

基準温度20°Cに対して±30deg、但し暴風時は0~+15deg、リンク常時反力算出時は±20deg

○地震荷重

地震時最大加速度は橋軸方向水平地震動、橋軸直角方向水平地震動とも180gal

○支点移動の影響

アンカレイジの水平移動 $\pm 160\text{mm}$

○製作・架設誤差の影響

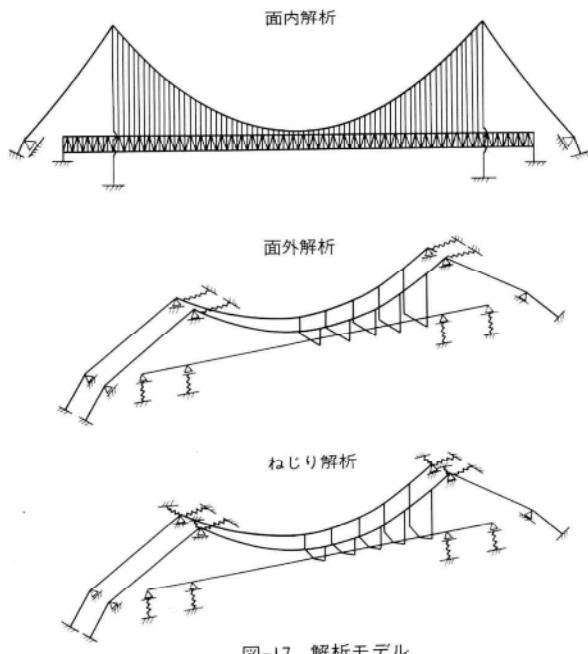
誤差換算サグ量は中央径間土94mm、張出し径間土13mmとし、それぞれ独立したものと考え最大部材力を得る様、組合せた。

(c) 構造解析

全体系の解析は表-4に示す様に各荷重を分類し、図-18に従って解析を行い、各々の断面力の編集を行った。また、地震荷重については動的解析（応答加速度スペクトルを基にした、モーダルアナリシス法による最大応答値

表-4 解析分類

	荷重分類	解析モデル	基本理論	備考
形状決定荷重	前死荷重 後死荷重（第1次、最終）			モデル選定理由 ・橋軸方向荷重による部材力が正確に算出できる
面内荷重	鉛直方向荷重 橋軸方向水平荷重 支点移動、温度変化、製作・架設誤差 その他	平面トラスモデル	有限変位理論	・荷重の上下弦材位置への載荷が可能 ・せん断変形に対する評価が正確
振り荷重	死荷重、活荷重の偏載による振り荷重	立体棒モデル	線形化有限変位理論	ずれ変形を考慮
面外荷重	風荷重等の橋軸直角方向水平荷重	"	"	ずれ変形を考慮 塔頂サドル、ウンドシュー位置の支点を連成バネで評価



下津井瀬戸大橋補剛桁の設計

解析)を行った。更に、主構部材2次応力の照査のため格点を剛結した面内モデルにて解析を行い、それぞれ部材の安全性を確認した。

(d) 断面構成

本橋は連続トラスであること、および張出し径間が吊られていないことから、中間支点近傍に極めて大きな曲げモーメントが生ずるため、上下弦材を全長にわたり同一基本寸法とすることは不可能となり、曲げモーメントの分布に合わせて箱断面外形寸法を変化させるものとした。このため断面漸変部材（レデュース部材）を配置する必要が生じたが、レデュース材の両側に継手を設けて

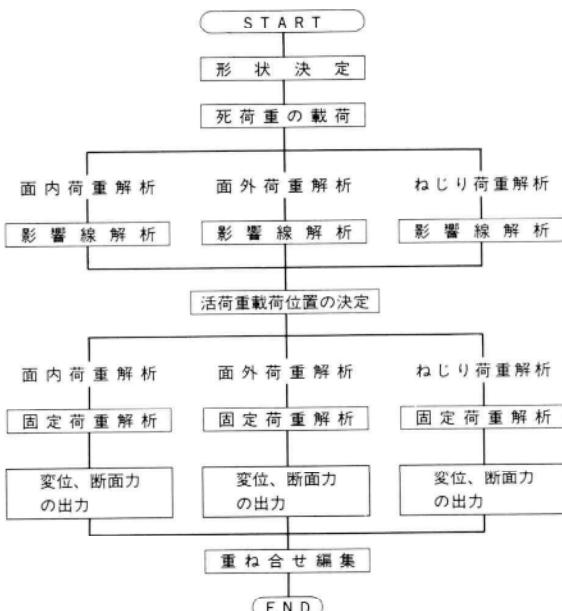


図-18 解析フローチャート

表-5 上・下弦材断面形状

種別	断面形状	断面構成			材質
		上フランジ	ウェブ	下フランジ	
上弦材	A	I-P 1390×60	2-P 1200×60	I-P 1200×60	SM58
	B	I-P 1390×54	2-P 1200×56	I-P 1200×56	"
	C	I-P 1390×40	2-P 1200×40	I-P 1200×40	"
	D	I-P 1160×42	2-P 1000×45	I-P 1000×42	"
	E	I-P 840×40	2-P 750×40	I-P 700×40	"
	F	I-P 840×28	2-P 750×28	I-P 700×28	"
	G	I-P 840×32	2-P 750×32	I-P 700×32	"
	H	I-P 840×38	2-P 750×38	I-P 700×38	"
下弦材	I	I-P 840×34	2-P 750×34	I-P 700×34	"
	a	I-P 1200×52	2-P 1200×52	I-P 1390×52	"
	b	I-P 1200×50	2-P 1200×50	I-P 1390×50	"
	c	I-P 1200×40	2-P 1200×40	I-P 1390×40	"
	d	I-P 1000×36	2-P 1000×36	I-P 1160×36	"
	e	I-P 700×30	2-P 750×32	I-P 840×30	"
	f	I-P 700×32	2-P 750×34	I-P 840×32	SM50Y
	g	I-P 700×34	2-P 750×36	I-P 840×34	"
	h	I-P 700×32	2-P 750×28	I-P 840×28	"

これを独立させ、部材内にナックルが入ることを避け、製作精度を高めることで疲労等の問題に対処した。

図-19、表-5に断面力および断面形状を示す。

(e) 疲労設計

吊橋では死荷重の大部分をケーブルが負担するため鉄道が通る本橋の様な場合には、活荷重により大きな繰返し応力が生ずる。また補剛トラスには調質高張力鋼を多用しているため、ディテールの選定に傾注した。

$$\sigma_r = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \leq \sigma_{fa}$$

$$\tau_r = \tau_{\max} - \tau_{\min} \leq \tau_{fa}$$

$$\sigma_{fa} = a \cdot b \cdot \sigma_{fo} \quad \tau_{fa} = a \cdot b \cdot \tau_{fo}$$

σ_{fo}, τ_{fo} ：基本疲労許容応力範囲（表-6）

a：累積疲労被害効果を表す低減係数（表-7）

b：設計応力範囲に占める負の成分によって割増す係数（表-8）

表-6 基本疲労許容応力範囲 (kg/cm^2)

応力の種類	等級分類	基本疲労許容応力範囲
引張・圧縮 (σ_{fo})	A	1,530
	B	1,270
	C	1,050
	D	800
せん断 (τ_{fo})	S ₁	920
	S ₂	820
	S ₃	650

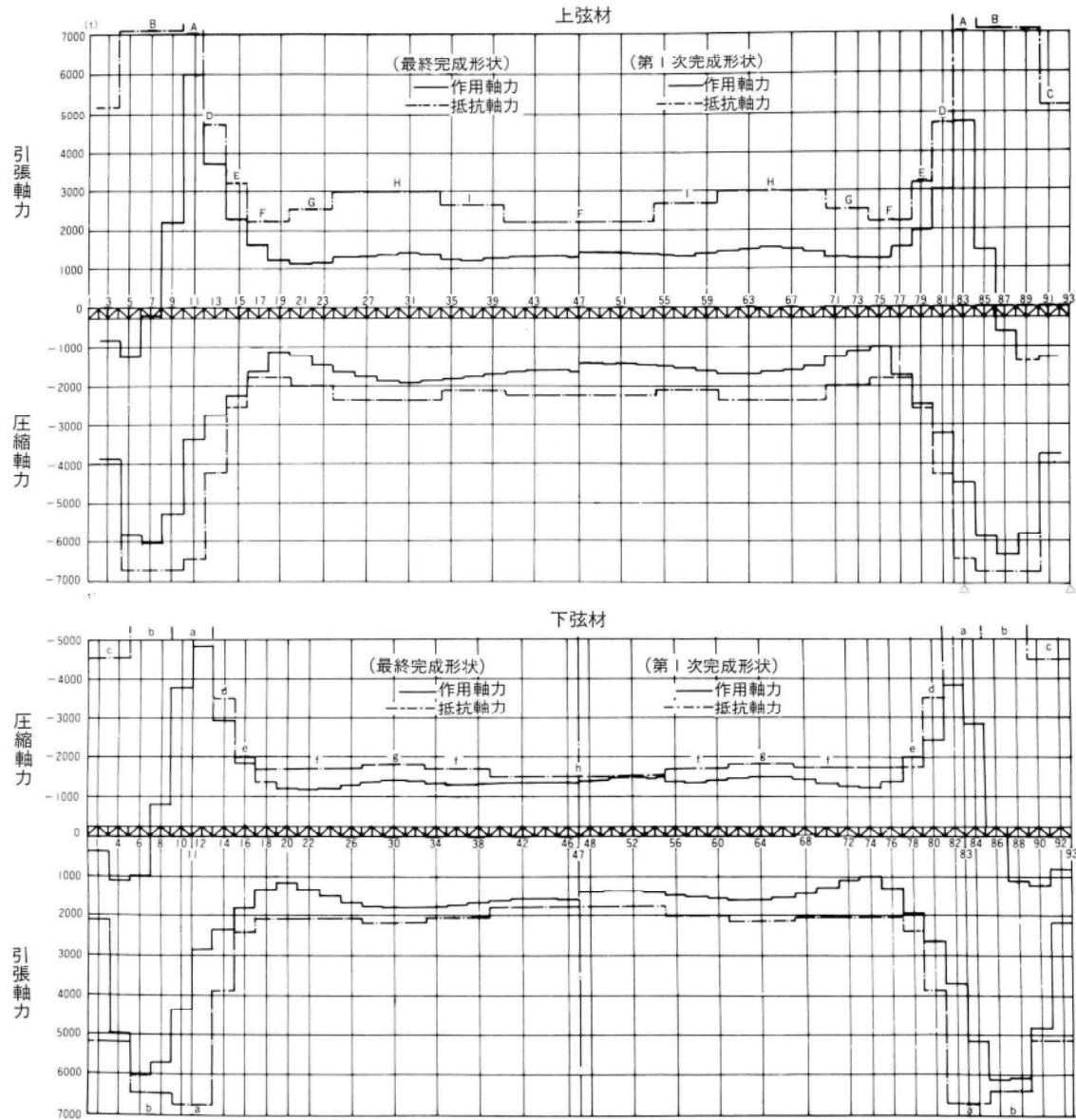


図-19 上・下弦材断面力図

表-7 係 数 (a) (児島一坂出ルート)

継手種類		溶接		非溶接
鋼種		SS41、SM41、SMA41、SM50、SM50Y、SMA50	SM58、SMA 58、HT70、HT80	全鋼種
主構	吊橋	0.70	0.65	0.75
	斜張橋、トラス	1.00	1.00	1.00
主構トラス	吊橋	0.85	—	0.90
	斜張橋	0.90	—	0.95

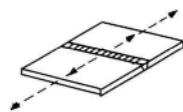
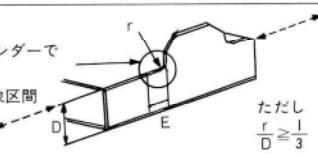
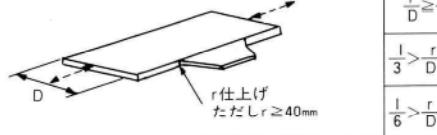
表-8 係 数 (b)

	$\Psi \leq -1$	$-1 < \Psi < -0.5$	$-0.5 \leq \Psi$
溶接継手	1.3	$\frac{13}{16 + 6\Psi}$	1.0
	$\Psi \leq -1$	$-1 < \Psi < 0$	$0 \leq \Psi$
非溶接継手	検算しなくてよい	$\frac{3}{3 + \Psi}$	1.0

ここで、 $\Psi = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max} - \sigma_{min}}$ または
 $\frac{\tau_{min}}{\tau_{max} - \tau_{min}}$

注)せん断では $\Psi < -0.5$ は存在しない。

表-9 疲労設計に関する継手分類

応力の種類	継手分類番号	継手の種類	等級分類		備考	摘要箇所	
			SS41 SM41 SM50Y	SM58			
	I		有	A	突合せ溶接の母材及び溶着金属で表面を平らに仕上げたもの。 突合せ溶接は裏はつり裏溶接を行って完全溶込み溶接をして、放射線検査を行う。 (注2)	弦材、斜材のバット溶接	
	4	 スカラップ この部分はグラインダーで仕上げ E: この継手の対象区間 $E = r + 100\text{mm}$ r 仕上げ ただし $r \geq 40\text{mm}$	有	B	C	トラスの切抜きガセットでフィレット部に接する縦ビート溶接のある母材	
引張	4	 $\frac{r}{D} \geq \frac{1}{3}$ $\frac{1}{3} > \frac{r}{D} \geq \frac{1}{6}$ $\frac{1}{6} > \frac{r}{D} \geq \frac{1}{10}$	有	B	B C	フランジにガセットを開先溶接で取り付け端部を仕上げた場合の母材	弦材に取り付く仕口のフランジ及びガセット
	6	 1)両側すみ肉溶接で取付けたダイヤフラム (スカラップ有) 2)片側すみ肉溶接で取付けたトラス引材間ダイヤフラム (スカラップ無)		C (注3)	D	1) スカラップ有りで両側すみ肉溶接でダイヤフラムを取り付けた母材 2) トラス弦材で端ダイヤフラムを片側すみ肉溶接で取付けた母材。ただしこのすみ肉溶接はシール溶接と一体に溶接しコーナー部に。あるいは始終端をつくらない事。	弦材、斜材(SM58のみ)のダイヤフラム。弦材に取り付け仕口の腹板。架設用金具等。
	8	 K溶接 すみ肉溶接		C (注3)	D	応力の方向に直角なK溶接または大きなすみ肉溶接のある母材	中間支点部の仕口等。
	20	 $\frac{r}{D} \geq \frac{1}{5}$ $\frac{1}{5} > \frac{r}{D} \geq \frac{1}{10}$	有	A	A B	一体で切出したガセットをもつ母材 (注2)	弦材の主構ガセット

注1) 検算位置: 引張・圧縮→せん断

注2) 切断面のあらさは50S以下とする。

注3) ビート形状、止端形状が特にきれいで、溶接施工試験で確認された場合とする。CDの区分は設計図上に明記す。

表-10 要求品質

材質	部位	応力範囲 許容応力範囲	欠陥の許容寸法
調質鋼	弦材直材及び主構近傍の斜材	特A $0.85 \leq \frac{\sigma_r}{\sigma_{fac}}$	1. 部分溶込みかど溶接、すみ肉溶接のプローホール I) 球状プローホール ($H/W \leq 2$ のもの) $W \leq 1.5\text{mm}$ II) バイブ状プローホール ($W \leq 1\text{mm}$ のもの) $H \leq 1\text{mm}$ 2. リブ十字溶接の止端のフランク角 $\theta \geq 120^\circ$
		A $0.6 \leq \frac{\sigma_r}{\sigma_{fac}} < 0.85$	1. 部分溶込みかど溶接、すみ肉溶接のプローホール I) 球状プローホール ($H/W \leq 2$ のもの) $W \leq 3.0\text{mm}$ II) バイブ状プローホール ($W \leq 1\text{mm}$ のもの) $H \leq 6.0\text{mm}$ 2. リブ十字溶接の止端のフランク角 $\theta \geq 120^\circ$
		B $\frac{\sigma_r}{\sigma_{fac}} < 0.6$	リブ十字溶接の止端のフランク角 $\theta \geq 120^\circ$
非調質鋼	弦材	C $0.85 \leq \frac{\sigma_r}{\sigma_{fac}}$	リブ十字溶接の止端のフランク角 $\theta \geq 120^\circ$

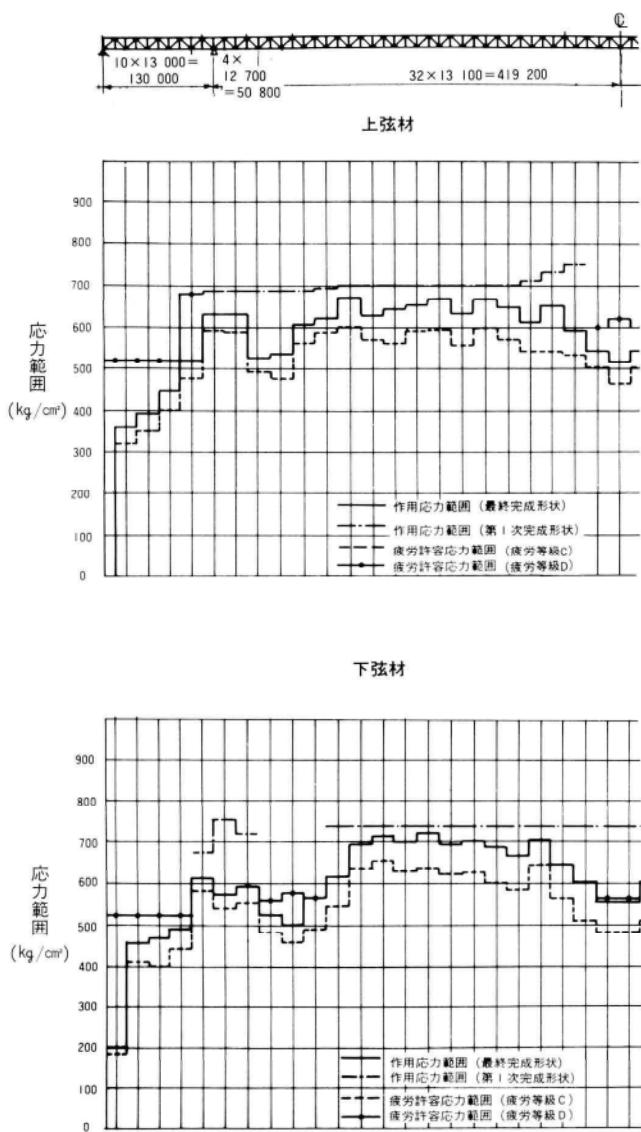


図-20 主構部材疲労等級

(f) 溶接設計

溶接設計は基本的に「トラス格点構造指針(案)(S51.3)」および「本四連絡橋の補剛トラス製作に関する検討書(S58.3)」に基づいて行った。弦材のかど溶接は一部材中で計算された最大のサイズを全長に行うものとし疲労強度に配慮したほか、格点剛結による大きな曲げを受ける部材、箱構成板厚が45mmをこえる部材、箱断面内部が非密閉で溶接ルート部よりの腐食疲労が懸念される部材等について内面溶接(7mmすみ肉溶接)を行うものとした。

(g) 橫構

横構の設計においては以下の事項を考慮した。

○解析の際、支点条件を厳密に設定したため、張出し径間や中間支点部近傍に振りの影響による上下横構の軸力アンバランス(上横構<下横構)が生じたが、全体のバランスを考え、上横構は少なくとも上下平均軸力にて設定するものとした。

○断面力の関係から、主構および主横の軸心と、横構の軸心を偏心せざるを得なかった。そのため横構には偏心による曲げが生ずるが、その値は主構全体の横剛性、ねじり剛性によりごくわずかなものとなるので、部材設計では無視した。ただし継手部においては偏心の影響を考慮するものとした。

○部材細長比 $\ell / r > 70$ を目どに自重による曲げを考慮した。

(h) 特殊構造部(中間支点部)

中間支点部は鉛直反力(4500t/リンク)、ウインドシュー反力(3700t/シュー)を受け、なおかつ弦材軸力が最大となるため、構造的な検討を行い対処するものとした。

○ピンプレート部は数種のモデルにて力の流れ、弦材・斜材との取合い等について検討し、さらには二次元F

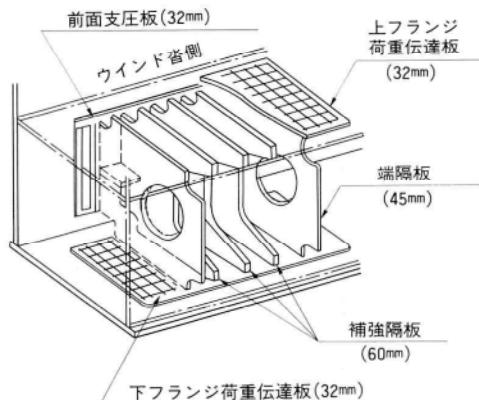


図-21 ウィンド脊補強概形図

EM解析を行い、図-8に示す様な中央部に160mm(SM 58Q)の鋼板を使用する両テーパ方式のものとした。

○ウインド彎補強部は溶接施工性等の問題から独立したブロックとして製作し、弦材内に組み込み高力ボルトにて接合する形式を採用して、溶接部の疲労に対処した。

(i) センタースティ

本橋の場合、補剛トラスの捩り剛性が大きいため最低時捩れ振動モードは対称一次振動であり、耐風安定性向上(自動振動発現の抑制)への効果はあまり期待できないが、橋軸方向力による諸事項に対する効果を期待するものである。

- 径間中央部ハンガーのハンガーカラー近傍での曲げ疲労抑止
- ハンガーからの水平力によるバンドの滑動防止
- 橋軸方向変位に対する復元力の増大

しかしながらステイを設けた場合、暴風時(設計基本風速は150年再現期待値)や地震時(100年再現期待値)の橋軸方向力がステイに集中するため、この荷重に対して設計すると非現実的な規模のものとなる。一方、ステイを一時的に失っても橋梁の機能は維持できることから橋梁使用上特に支障とならない確率以下(20年再現期待値風荷重)では破断するものとし、破断後の大きな変位に対しては橋端部ストッパーにて制御するほか、ステイは復旧可能な構造とした。

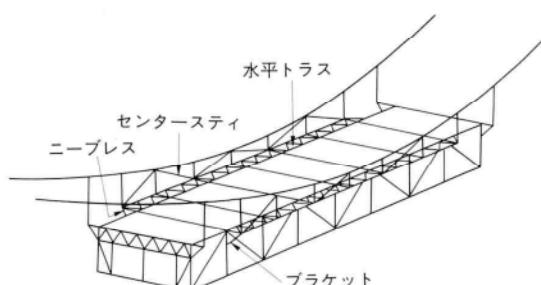


図-22 センタースティ・水平トラス配置図

(j) 水平トラス

水平トラスはセンタースティ張力を主構に伝えることを目的とするが、構造上主構上弦材軸力の一部を分担するため、ステイ張力による断面力と上弦材としての軸力双方を考慮し設計した。特にハンガープラケットについては一般部のものに比して大きい面外曲げを受けるため水平トラス端部にニープレスを設け面外曲げの軽減をはかった。

(2) 主構トラス

(a) 骨組

本橋は上路面を自動車、下路面を鉄道が通るダブルデッキ形式であるほか、鉄道は第1次および最終完成の二段階施工である。このため骨組形状は各々の完成形状に対して、鉄道の建築限界を侵さないものとした。

(b) 荷重

主横トラスが受ける荷重としては、死荷重・活荷重(自動車荷重・列車荷重)・風荷重・地震荷重・温度変化のほか、上下弦材には横構部材としての付加軸力や主構の変形に伴う付加荷重、下弦材には列車の制動・始動荷重等を載荷した。また本橋は架設用として上路側にトラベラークレーンを設置するため、この荷重についても考慮した。

表-II 荷重組合せと鋼材許容応力度の割増し係数

設計対象	荷重の組合せ	割増し係数
補剛トラス	D+L+T+(SD+E)	1.00
	D+W+T+(SD+E)	1.50
	D+W(L)+L(W)+T	1.35
	D+L(F)	1.00
	D+EQ+L(EQ)+T+(SD+E)	1.50
横構	D+L	1.00
	W	1.50
	EQ	1.50
架設	ER	1.25

記号の説明

- D:死荷重
- L:活荷重
- L(F):疲労検算用活荷重
- L(W):風荷重載荷時の活荷重
- L(EQ):地震時の活荷重
- T:温度変化の影響
- W:暴風時風荷重
- W(L):活荷重載荷時風荷重
- SD:支点移動の影響
- E:製作および架設誤差の影響
- EQ:地震荷重
- ER:架設時荷重

表-I2 主横トラスの荷重組合せと鋼材許容応力度の割増し係数

荷重の組合せ	割増し係数
D+L	1.00
D+L+T	1.15
D+L(F)	1.00
D+W(L)+L(W)+T	1.35
D+W+T	1.50
D+EQ+L(EQ)+T	1.50
ER	1.25
D+L+BK	1.25

記号の説明

- BK:制動荷重および始動荷重
- 他の記号は表-I1を参照

(c) 構造解析

○面内解析

前死荷重時における支点はハンガーワン着点、後死荷重・活荷重時の支点は主構斜材交点と考えるのが荷重分担からして妥当と考えられるため、これらの条件を基に図-23に示すモデルにて微少変形理論による解析を行うものとした。また部材高（H）と部材長（l）の関係（ $H/l > 1/10$ ）から、格子点を剛結としたモデルについても解析し、二次応力の照査を行った。

○面外解析

上中下弦材については面外力を受けるため、各々以下に示す部分モデルにて補足的解析を行った。

上下弦材…水平荷重：主構弦材位置、横構交点を支点とする2径間連続梁

捩り荷重：主構弦材位置で支持された固定梁

中弦材…水平荷重：主構位置を支点とする単純梁

捩り荷重：主構垂直材で支持された固定梁

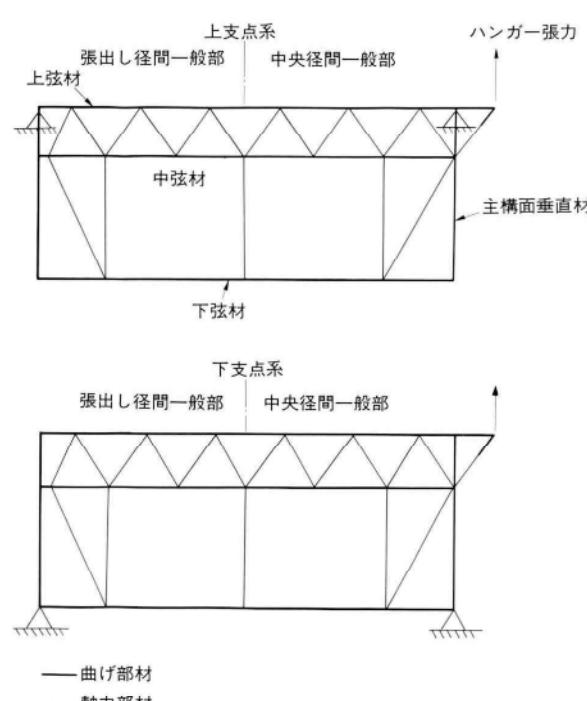


図-23 主横トラス解析モデル

(d) 部材設計

部材設計に用いる断面力は基本的に上支点・下支点双方の解析によって得られた値の大きい方を使用した。ただし上下支点系の違いにより断面力の符号（引張・圧縮）が逆転するものについては各々のものを使用した。

(e) 溶接設計

鉄道部材である下弦材は列車通過によって大きな曲げと捩りの作用を受けるため、かど溶接部に内面溶接を行うこととした。また内面溶接（7mmすみ肉溶接）を含め溶接サイズは、疲労に対しての配慮から一部材内では変化させないものとした。なお内面溶接の施工性を確保するため下弦材箱寸法は 800mm×1000mmとした。

(3) ハンガープラケット

従来の吊橋におけるハンガーは主構上弦材を直接吊る様な形式であったが、本橋の様な連続吊橋では補剛桁が塔部で連続しているため塔柱と上弦材位置をずらす必要がある。これを解決する方法としてプラケット方式、斜めハンガーワーク方式、斜塔方式などが考えられるが、塔及びハンガーの施工に問題が少ないプラケット方式が採用された。

解析モデルとしては、ハンガープラケットのみの部分モデルとせず、主横トラスを含めた全体モデルとして確度の高いものとした。また部材設計においてはハンガープラケットの重要性を考慮して、立体FEM解析を行った結果を基に応力集中係数を定め、断面計算に反映させたほか、断面中立軸の違いによる偏心モーメントや、従来の吊橋では問題とならない橋軸方向力による断面力についても考慮した。また耐疲労構造と施工性を考え、プラケット構造幅を漸変させ弦材付け根部で十分な幅を確保したほか、下フランジ側には弦材かど溶接部の補強を目的としたリブを配置した。

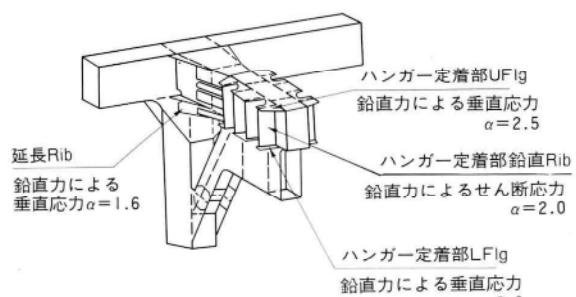


図-24 ハンガープラケット

8. 付属品の設計

(1) 鉄道緩衝桁

吊橋の特性（振動しやすい、たわみやすい、たわむことにより桁端部に大きな角折れを生ずる、桁の伸縮量が特に大きい等）は、列車走行の安全性に大きく影響する。

振動や風の影響については、別項に詳しいのでこの項目では省略するが、列車走行に十分安全な規制値が確保されている。

しかしながら、本橋のような長径間の連続補剛桁形式の吊橋の場合、表-13・14に示すように、たわみが補剛桁端部に大きな角折れを生じさせる。また、温度変化等も加わり桁の伸縮量は70cm近くとなる。これらの変位を吸収して、列車の安全走行を確保するため研究開発されたのが、1500形緩衝桁軌道伸縮装置である。

(a) 1500形緩衝桁軌道伸縮装置の構造

1500形緩衝桁軌道伸縮装置は、緩衝桁とその上に直結された軌道伸縮装置から構成されている。(図-26)

○緩衝桁

緩衝桁は、角折れ緩衝桁、差し込み桁、ガード支持桁、受け桁、及び側桁から成り、角折れ緩衝桁で吊橋端部の角折れを半減させ、差し込み桁とガード支持桁で伸縮に追随し、側桁と受け桁は、伸縮によって軌道中心がずれないよう差し込み桁とガード支持桁を案内する構造となっている。

○軌道伸縮装置

軌道伸縮装置は、レール締結装置(鋼直III形)、トンネルレール、受けレール、ガードレール、及び付属EJから構成されている。角折れに対しても、鋼直III形締結装置を用いて桁と直結する事で桁のたわみにレールを追随

表-13 補剛桁の変形量(1)最大たわみ

項目	荷重組合せ	張出し径間	中央径間	備考
鉛直たわみ	DTRQ+L+T+SD+E	0.160	4.056	()内は第1次完成系を示す。
		(0.151)	(3.984)	
水平たわみ	W	(0.015) 0.018	(4.363) 4.719	()内数値は第1次完成形状を示す。
	W(L)	(0.007) 0.007	(1.417) 1.494	
	EQ	((0.046) 0.051	(0.900) 0.930	

表-14 補剛桁の変形量(2)最大たわみ量

項目	荷重組合せ	橋台部		塔部		備考
		正の最大	負の最大	正の最大	負の最大	
鉛直たわみ角	L+T	(3.01) 3.00	(-2.98) -2.32	(7.53) 7.39	(5.15) -5.23	正の方向 ()内数値は、第1次完成形状を示す。
	W _{LL} (L)-L(W)+T	(1.50) 1.48	(1.96) -1.34	—	—	
水平たわみ角	W	(1.67) 1.52	(-1.67) -1.52	(5.01) 4.50	(-5.01) -4.50	正の方向 ()内数値は、第1次完成形状を示す。
	W(L)	(0.52) 0.48	(-0.52) -0.48	(1.62) 1.51	(-1.62) -1.51	
	EQ	(0.76) 0.84	(-0.76) -0.84	(2.81) 2.93	(-2.81) -2.93	

表-15 補剛桁の変形量(3)最大伸縮量(移動量)

①第1次完成形状 (単位: cm)					
位置	荷重組合せ	橋台部		塔部	備考
		正の最大	負の最大		
道路面	L-T	60.2	-59.1	51.9	-49.4
	W _{LL} -T*	60.7	-66.6	60.2	-63.6
	W _{LL} (L)-L(W)-T	48.7	-48.2	41.3	-39.7
	EQ-L(EQ)-T*	63.4	-63.8	57.2	-57.0
鉄道面	L-T	57.9	-56.0	57.0	-56.5
	W _{LL} -T*	61.0	-65.3	60.9	-64.7
	W _{LL} (L)-L(W)-T	47.0	-46.0	45.0	-45.2
	EQ-L(EQ)-T*	62.3	-62.6	59.1	-59.9
②最終完成形状 (単位: cm)					
位置	荷重組合せ	橋台部		塔部	備考
		正の最大	負の最大		
道路面	L-T	56.1	-54.7	47.8	-45.2
	W _{LL} -T*	61.6	-67.1	61.1	-64.1
	W _{LL} (L)-L(W)-T	47.6	-46.8	40.4	-38.4
	EQ-L(EQ)-T*	63.8	-63.4	57.4	-57.2
鉄道面	L-T	53.7	-51.7	52.8	-52.1
	W _{LL} -T*	61.9	-65.8	61.9	-65.2
	W _{LL} (L)-L(W)-T	46.0	-44.6	43.9	-43.8
	EQ-L(EQ)-T*	62.8	-62.7	59.3	-60.1

※はストッパー音を考慮した値を示す。

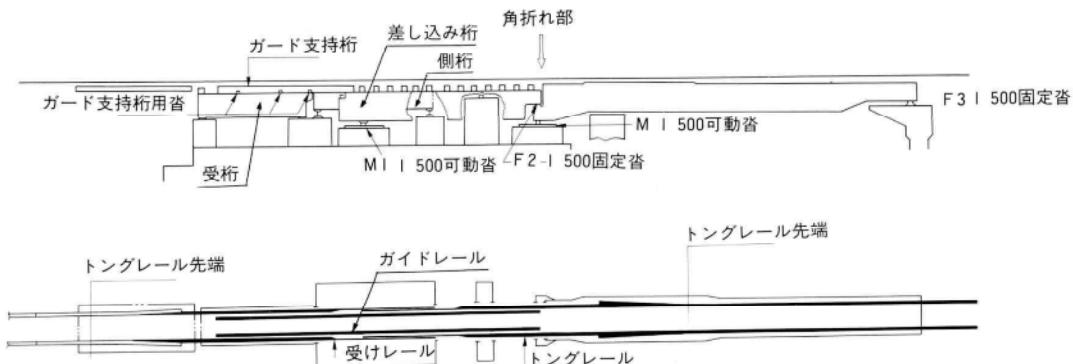


図-25 鉄道緩衝桁全体配置図

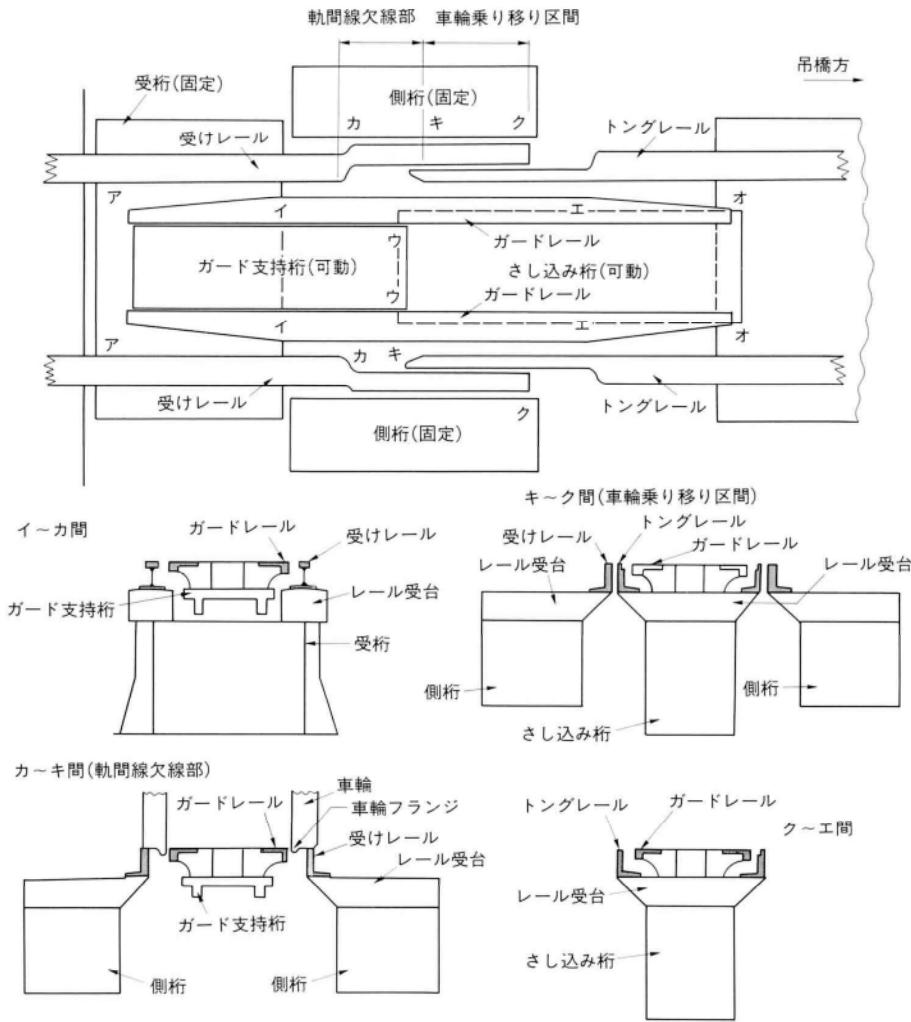


図-26 軌道伸縮装置断面略図

させ、トングレールと受けレールで伸縮を吸収する構造となっている。ガードレールは伸縮部で車輪が脱線しないよう、トングレールと受けレールの内側に配置され、車輪を案内するものである。また、ロングレールの軸力が伸縮部のレールに作用しないよう付属E Jを設けている。

(2) 道路伸縮装置

Dルート吊橋3橋の道路伸縮装置には、共通してローリングリース式いわゆるデマーク式が採用されている。この形式の伸縮装置は、ヨーロッパおよびその周辺部において最近建設されたほとんどの長大吊橋に使用されている。フォース道路橋、セバーン橋、ボスボラス橋、ハンバー橋などがその実例である。

(a) 構造概要

図-27に示すように、主な構成要素は、振子板、横移動吸収板、滑り板、舌板および支持台である。振子板、横移動吸収板、滑り板、舌板を総称して路面板といふ。

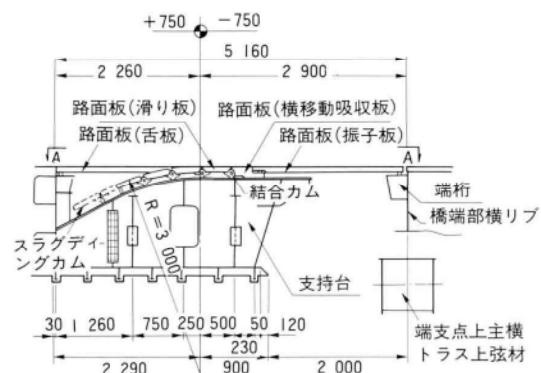


図-27 道路伸縮装置構造図

支持台は、独立した2つの部分から成り、その1つは、継手部の片側に固定された（端げたといい、吊橋端部の鋼床版横リブに取付けられている）で、振子板の一端を支持する役割を担う。このけた上にはエンドカムが溶接によって取付けられており、これが振子板の支持点となる。継手部のもう一方の構造物上（橋台）には、円柱曲面をもつ滑り支持台と舌板の一端を支持する端げたと同様に、エンドカムが取付けられている。

振子板の先端には、結合カムが溶接によって取付けられ、同じく結合カムを取付けた滑り板と結合ピンによって連結されている。滑り板の先端には、スライディングカムが取付けられている。

振子板および舌板は、路面板固定装置によって、締めつけられている。

(b) 機構

滑り支持台上面の凸型の円曲面と舌板先端下面の凹型曲面は、同心円となっているため、その間隔は常に一定に保たれている。この間に滑り板が挿入されており、滑り板は横移動吸収板とピン結合されている。このため継手部の伸縮に伴って、滑り板が滑り支持台と舌板の間を滑動するわけである。このとき、滑り支持台、滑り板および舌板は、互いに密着した状態で滑動し、舌板の表面は滑り板がどこにあろうとも、常に車道面と同じ面を保つように工夫されている。

(3) 管理路

吊橋全体の維持管理については、移動可能な外面作業車、内面作業車を主体として行うが、両作業車の補足的な役割として、各種管理路を設置した。（図-28）

(a) 管理路の種類と役割

- 電発管理路
電力ケーブルの維持管理及びその付近の補剛桁の管理
- 電々管理路
通信ケーブルの維持管理及びその付近の補剛桁の管理
- 下路管理路
鉄道の管理
- 支承点検通路
防音工設置範囲部分の下路支承等の点検
- 主桁管理路
管理路付近の補剛桁の管理及び緊急非難路等多目的通路
- 塔部階段及び橋端部階段
道路面から公共添架桁（電々、電発）を経て、主桁管

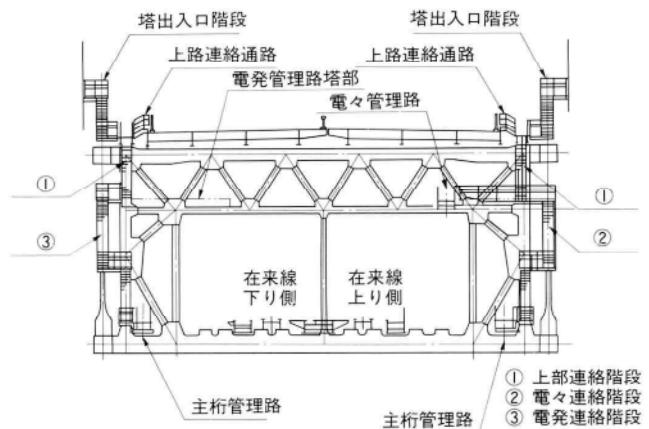


図-28 管理路網の一部(主塔部断面図)

理路に通じる。工具・塗料等の運搬への便宜。

○ 横断管理路

主桁管理路と下路管理路との連絡路で、150m以内の間隔で設置（橋台及び塔付近に各1箇所、中央径間に5箇所の計9箇所）。階段取付部以外の横断管理路からは、渡り桁を経て梯子より公共添架桁（電々、電発）に達することができる。

○ 外面作業車渡り通路

主桁管理路から外面作業車への連絡。

○ 内面作業車乗り込み口

電々側は橋端部・塔部付近を除いた全パネルの電々高欄に扉を設け乗り込み口とする。

電発側は、電々側に扉を設けられない箇所（橋端部・塔部付近）に限定して、電発高欄に扉を設け乗り込み口とする。

○ 補剛桁支承管理設備

エンドリンクに対しては、橋台部の梯子にて点検を行い、橋端部ウィンド彫には橋台前面に設置した点検通路を使用する。

塔部のウィンド彫及びタワーリングに対しては、前記の塔部階段と主桁管理路から連絡しているタワーリングの点検用通路を使用する。

○ 塔出入口階段

道路面から塔内への出入り用として設置。

(4) 下路防音工

本橋の2P側張出し径間の直下には、田の浦漁港があり周辺は人家が密集している。そのため、列車の騒音防止対策として防音工を設置することとなった。

(a) 設置範囲

当初の設計では、2P側は、暫定2線時・完成4線時共に張出し径間及び中央径間格点②までの22パネル、3P側は、暫定2線時には設置せず、完成4線時には張出し径間の10パネルのみ設置するものとした。

また、側面の防音板の高さも、R.Lより1.5mの高さで設計した（図-29）。

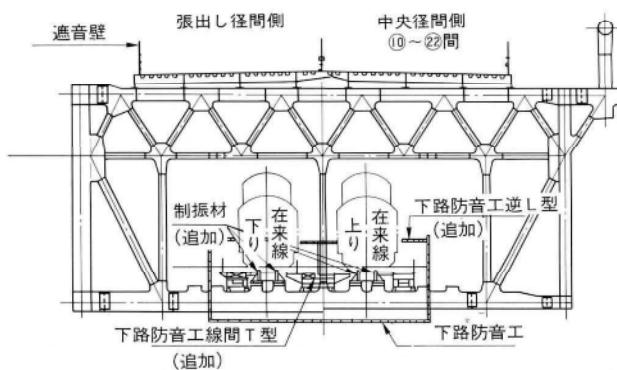


図-29 下路防音工断面図

その後、在来線2線時に防音板の高さをR.Lから3.0mにできるよう主梁と側面支柱の断面を大きくして、対応した。

(b) 構造

主横トラスの下弦材間に主梁を配置し、主梁と主梁を横梁でつなぐ。横梁間にC.T鋼を並べそれに下面用の制振石綿セメント板（t=13mm厚）を貼る構造とした。

9. おわりに

想い起せば4年前（59年1月）に本四公団より、下津井瀬戸大橋補剛桁製作（その1）を、共同企業体（宮地・三井・钢管・松尾）として受注し、設計・架設計画に従事する事務所を探し求めたのも、つい先日のような気がする。

先ずは、打合せ・設計作業の便宜を考えて、岡山駅のほど近くに事務所を構え、ほぼ2年の間ここで業務遂行に勤めた。当初9人でスタートした事務所も、作業が佳境に入るや15人に増強され、更に（その2）：日橋・トピーJV・（その3）：片山・函館JVからの応援も加わり、20名ほどの所帯となった。

他社に負じとばかり、各社優れた人をえりすぐっての20名は、大きな戦力であったが、検討事項も多く毎夜遅くまでの作業が続いた。昭和60年12月、製作物の設計がほぼ完了した時点で事務所を閉鎖した。その後も設計の変更・修正更に、架設発注物の設計と、業務が跡切れる事なく4年余り、ここに工事が無事完了したことは何よりの喜びである。

ここに、工事遂行に向けて御指導頂いた、本四公団の方々、各研究に携っておられる先生方に、誌面を借りてお礼申し上げたい。また、共にはげまし、競い合い、多くの技術情報を下さった南・北備讃JVの皆様にも感謝の意を表したい。もとより、当JV構成各社・各自の協力姿勢は、忘れることができない。

今後、更に新しい橋の建設は続くのであろうが、既設橋梁が増えるに従って、維持管理の仕事も重要なよう。下津井瀬戸大橋での経験を糧に、これらの業務にも積極的に携わってまいりたいと、願うしたいである。

下津井瀬戸大橋補剛桁の架設

The Construction of the Stiffening Girders in the Shimotsui-Seto Bridge

滝 戸 勝 一 *
Shohichi TAKIDO

Summary

The Shimotsui-Seto Bridge, one of the Honshu-Shikoku Bridges, is a combined road and railway bridge with a center span of 940m.

To erect the double-deck stiffening truss girder of this suspension bridge, a towered block (1200t) and crane (350t) were erected by using a large floating crane, and thereby the whole construction period was shortened considerably.

This paper reports, in detail, the conditions of the floating crane under flowing current.

1. まえがき

下津井瀬戸大橋は本年4月の開通を待つばかりである。本橋の補剛桁架設工事に当り、その架設工法として、関門橋・大鳴門橋など我が国の長大吊橋で実績のある、面材工法を採用しているものの、工期短縮を目的とした新しい試みが随所に採り入れられている。

補剛桁架設工事において、桁上のトラベラクレーンによる面材のサイクル架設を始める直前までを前段作業と呼び、塔付ブロックの架設、架設用クレーンの設置などをを行うもので、昭和60年11月末に着工し、61年6月末の約7ヶ月間で終了した。

本文では、この前段作業のうち特徴のある工法として、

- ① 塔付ブロックの架設も含め大型フローチング・クレーンによる架設を12回行ったこと。
- ② 台船上から、直接桁上のトラベラクレーンにより

トランセ面材の直下吊上げ架設を行ったこと。
を中心に、潮流と潮位に対する作業の状況を詳細に報告して後の資料としたい。

約800mの海峡をひとまたぎする本土側の最初の吊橋である。

下津井は、幕末から明治の初期にかけて栄えた所で、北前船の潮待港や四国の金毘羅さんと児島の由伽山を両詣りする善男善女が往来した交通の要衝地である。対岸はその昔、塩飽水軍、宮大工などで名を成した櫃石島であり、今は平和な漁村で過疎化の傾向にある。しかし供用後は海洋リクレーションの基地となる可能性を持つ島であり、両地点とも往年の繁栄は夢でないと思われる。

(2) 橋の規模

橋の構造諸元および一般図は、前出の“下津井瀬戸大橋の設計”を参照いただきたい。

本橋は児島・坂出ルート（Dルート）の3吊橋中では最小支間(940m)であるが、南・北備讃瀬戸大橋と違う点として、

- ① 鷺羽山側のアンカーは、名勝地での掘削を小さくするためトンネル式ケーブルアンカーレイジを採用する。
- ② ケーブル架設はストランドを太径に出来るエア・スピング法で行う。
- ③ 塔の骨組はトランセより美観上評価が高いラーメン型式である。
- ④ 側径間は短いのでハンガー無しの張出しトランセである。

2. 概要

(1) 地理的な状況

下津井瀬戸大橋は、岡山県の名勝地鷺羽山をトンネルで抜けた下津井港（田之浦港）から香川県の櫃石島まで、

* 千葉工場工事部付課長

⑤ 桁下航路高は小型船舶を対象に31mと低い。
などが挙られる。

(3) 架設工法の特徴

架設工法は、基本的には、従来の閑門橋・大鳴門橋で実績のあるトラベラクレーンによる面材工法を採用している。また部材供給も同じ方法によっており、図-1のような手順で、架設が進められる。

下津井瀬戸大橋で採用した工法の中で特徴的な点は、前述した他に、

- ① 側径間にハンガーがないため、中央径間とのバランスを取りながらの架設となる。

② 側径間の張出し径間のカンチレバー架設後、橋台方の仮受け点として

3P側 ベント工法
2P側 仮ハンガー工法

により各々端部閉合する。

などがあげられる。

前段作業とは面材のサイクル架設を始める直前までを指し、中央に4パネルの補剛桁を架設したあと、その上に2台のトラベラクレーンを乗せ、中央と張出し側に向って架設開始しようとする状態までをいう。本文で述べる前段作業のあとのトラベラクレーンによる標準的な架設要領を図-2・3に示す。

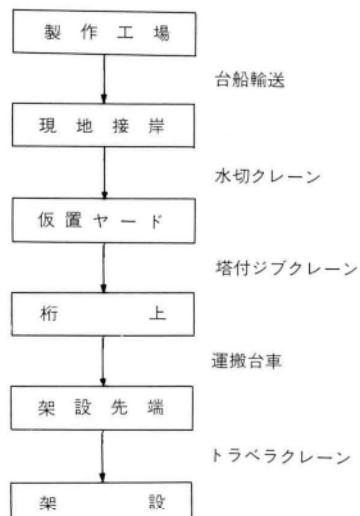


図-1 補剛桁の架設手順図

4. フローティングクレーンによる一括架設

前段作業においてフローティングクレーン（FC）による一括架設を選んだ理由を述べるとともに、係留、離脱作業の要領について、特に今後の資料になるように実績時間を入れて示すこととする。

(1) 一括架設工種

FCによる一括架設を採用した工種は表-1に示す。

(2) 選定理由

表-1における①、②の水切クレーン設置作業はケーブル工事とラップ作業になり、長期間2P、3Pの作業ヤードを占用できない。そのため工場でブロック化して現場は設置だけとする。

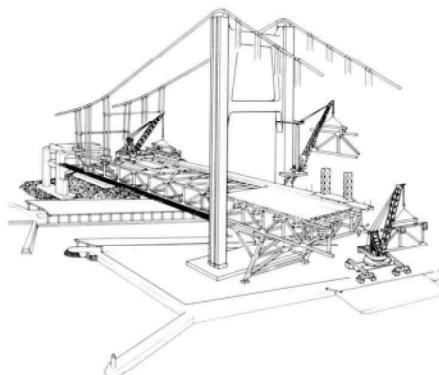


図-2 2P側架設要領図

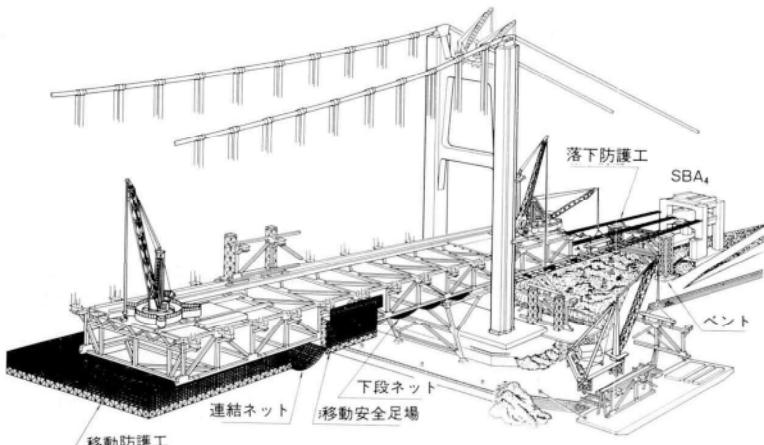


図-3 3P側架設要領図

表-1 一括架設工種と使用フローティングクレーン

No.	工種	日付	使用フローティングクレーン
①	3P 水切りクレーンの設置	61.1.11	宏栄号 600t 吊
②	2P "	1.31	"
③	3P 塔付ペントの設置	4.18	"
④	2P "	4.20	"
⑤	2P 塔付ブロックの架設(CB-I)	4.29	金剛 1600t 吊
⑥	3P " (CB-36)	5.2	"
⑦	2P " (CB-2)	5.13	長門 1300t 吊
⑧	3P " (CB-35)	5.17	"
⑨	3P 張出し径間トラベラクレーン	5.19	金剛 1600t 吊
⑩	2P "	5.21	"
⑪	3P 中央径間トラベラクレーン	5.31	"
⑫	2P "	6.3	"

他の③～⑫は面材架設までの工期短縮を目的に一括架設を選定した。

桁工事の開始時における、ケーブル工事とのラップ作業の様子を表-2の工程表に示す。

この表で分るように、ケーブル工事のバンド搬入からハンガー架設までの期間は塔頂クレーンの使用は望めないのでその期間は基礎工事にあてる。

3月15日以後、塔頂クレーンが本格的に使用できる期間に塔付ジブクレーンの組立を行う。その後FC架設が始まることになる。

(3) 使用FCの決定

表-2 補剛桁工事とケーブル工事のラップ工程表

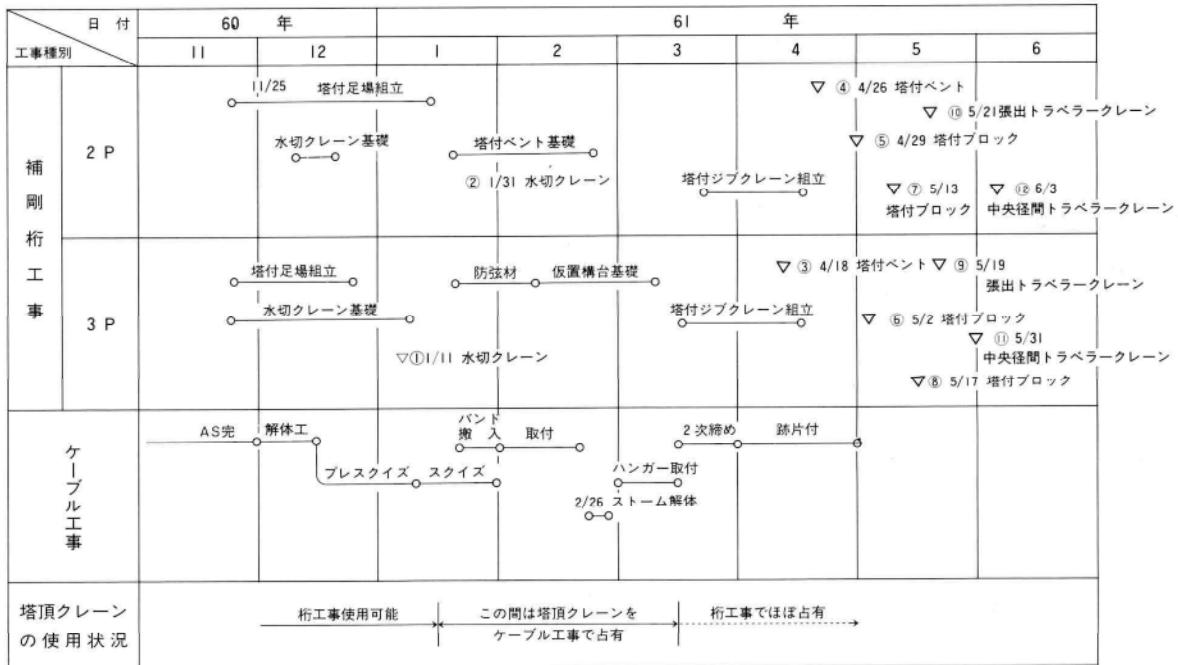


図-4 下津井瀬戸地形図

1) 使用するFCと本体のブロック長は次のような制約がある。

① 図-4の下津井瀬戸地形図に見るように地形的に橋軸方向からの架設になる。図-5に塔付ブロックの架設状況を示す。

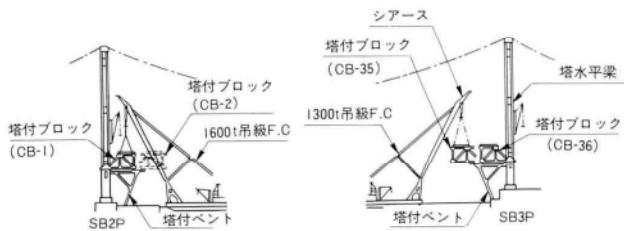


図-5 塔付ブロックの架設

- ② 塔水平梁にシアースが当たらないこと。
- ③ 水切クレーン架設時、ストームロープに接近して架設可能なこと。
- ④ 本ハンガー内にシアースが収まること。（進入部はハンガー後架設になる。）
- ⑤ トラベラクレーンは桁上へ架設するため高揚程のF.C.が必要となる。
- ⑥ 3P側は潮流が強く斜め方向に流れしており、現地に慣れた船長の実績が要求される。
- ⑦ 他工事とのローテーションを考慮して、F.C.の用船がDルートの他工事および造船所等の使用とかち合わないこと。
- 2) 塔付ブロック長のパネル数を増して大ブロック化し、更にクレーンも乗せたいが上記の①、②、④の条

件で不可能であった。

3) トラベラクレーンの架設

重量350t程度であるが⑤の理由から金剛（1600t吊）を使用する。

4) 水切クレーン、塔付ペントの設置

宏栄号（600t吊）は岩壁の既設ピットが使用可能で、ほぼ妥当と思われる。

以上のF.C.の仕様は、表-3に示す。

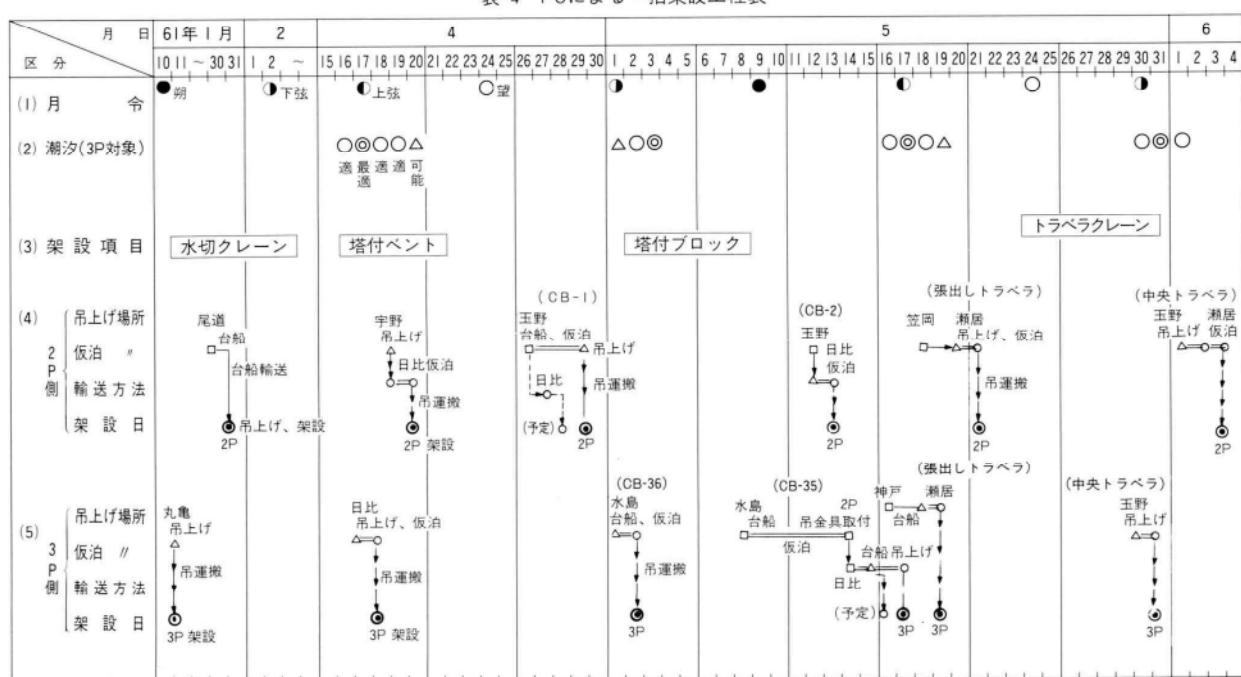
(4) 工程計画

水切クレーンの3P側据付日（1/11）は大潮の日で、東流4ノット／時の潮に乗って据付岩壁に進入できず、

表-3 使用フローチングクレーンの能力表

船名	宏栄号		長門		金剛	
船長さ	63.00m		80.00m		85.0m	
船幅	32.00m		36.00m		38.8m	
船深さ	5.00m		6.00m		6.0m	
ジブ傾斜角度	61°	29°	65°	25°	65°	25°
捲主	定格荷重	600t	220t	1300t	366t	1600t
捲揚程	70.0m	43.5m	76.8m	39.5m	81.35m	46.59m
捲張出距離	30.0m	57.5m	28.8m	68.6m	29.91m	69.34m
捲補	定格荷重	200t	200t	100t	100t	200t
捲揚程	72.5m	66.9m	97.0m	48.7m	98.17m	51.40m
捲張出距離	35.0m	62.5m	36.5m	80.3m	37.60m	80.83m
捲速度	主捲	2.2m/min		1.55m/min		1.3m/min
	補捲	2.3m/min		5.00m/min		3.0m/min

表-4 FCによる一括架設工程表



中央径間側に押し流された。曳船 2 隻(2700psと3400ps)でやっとUターンして、潮待ち後無事セットする。その後の3P側の架設は潮流のきびしい時期を避け小潮日（上弦、下弦の月令）に定め、その前後に2P側の同種作業をもつくることとした。このため2週間周期で連続して2P、3Pの架設を行う表-4の工程表に示すような工程となる。特に5月17日の小潮時は4回の過密ダイヤになった。

FC架設の工程計画は仮泊港、吊上げ港の事前調査を充分にする必要がある。今回も使用の可否が直前にならないと判明しない公共岸壁（日比港）、他JVと関連の多い瀬居基地などの条件に左右されながらの日程の決定となつた。

予定日より延期したのは、FCのエンジントラブルと強風($V_{10} \approx 20\text{m/s}$)による各1日と2回だけでツキもあつたようである。また小潮日を逃すと2週間ずらすことになり、一括架設の工程短縮効果がたちまち消滅してしまうので、工程の調整には最も苦労するところであつた。

(5) 海象・気象条件

瀬戸内の中でも最も気候に恵れた岡山ということで、この期間に3P側は、雨天3回、強風による作業中止1回、濃霧による待機1回、2P側の作業時の天候はすべて良好であった。FC作業における作業限界は表-5を目安とし、最終判断は関係者の協議により決定した。

下津井瀬戸の潮流は3P側の前面で、大潮時の約3~4ノット程度の東流が一番きつく、この間は係留・離脱をさける必要があった。

表-5 作業条件

	浜出し	吊運搬	現地据付	備考
風速	8 m/s以下	10m/s以下	8 m/s以下	平均
波高	0.5m以下	0.6m以下	0.5m以下	有義
視界	1000m以上	1000m以上	1000m以上	
雨	小雨決行	小雨決行	小雨決行	

(上記の条件は一応の目安とし、最終判断は関係者協議の上で決定する。)

(6) FCによる架設作業の内容

前述したように、3P側・2P側ともFCによる架設作業には、潮流の影響を大きく受ける。定位置への係留から離脱に至る手順と実績時間について順を追って図示する。また作業中の写真をできるだけ挿入したので参考としていただきたい。

(a) 3P水切クレーンの設置

図-6に、広栄号(600t吊FC)による水切クレーン設置時の、定位置への係留要領と離脱要領を示す。さらに、進入から離脱・回航に至る潮流と実績時間の関係についても図示した。（写真-1）また、考察欄に現場の状況を2~3記すことにした。

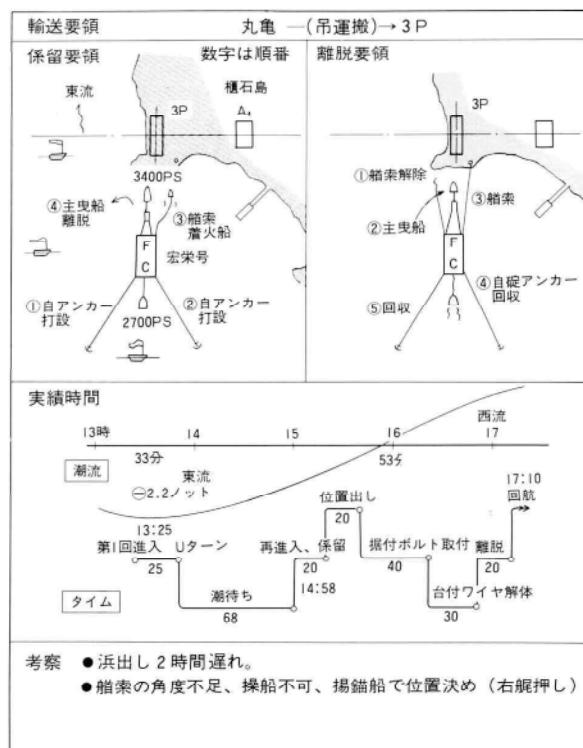


図-6 3P水切クレーン設置

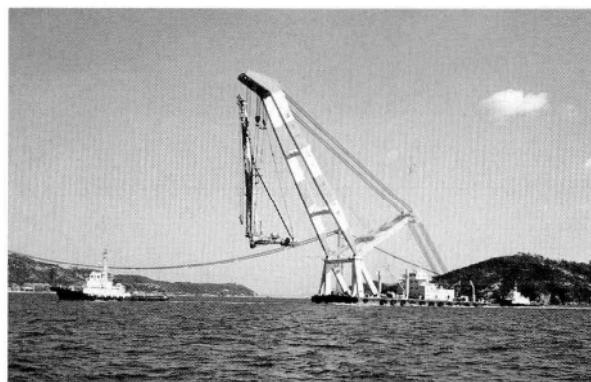


写真-1 600t吊 FC宏栄による3P水切りクレーン吊運搬状況

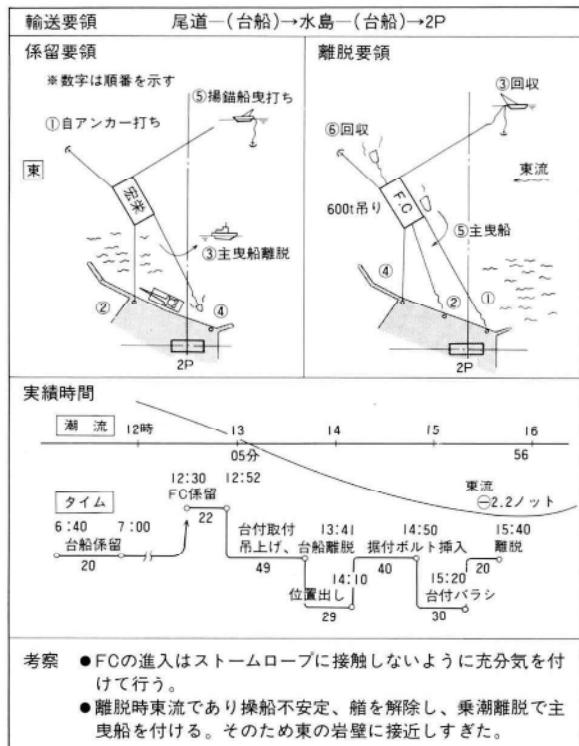


図-7 2P水切クレーン設置

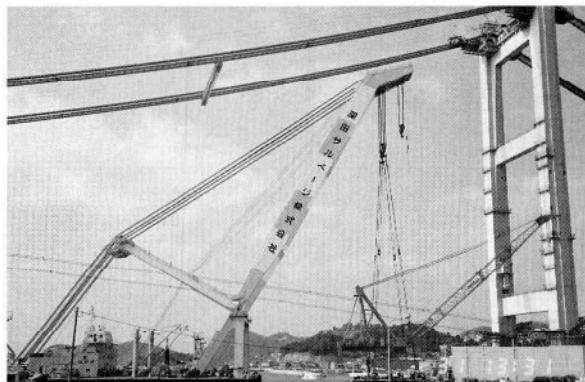


写真-2 2P水切クレーンの吊上げ

(b) 2 P 水切クレーンの設置

図-7 に作業要領と実績時間を示す。(写真-2)

(c) 3 P・2 P 塔付ペントの架設

塔付の斜ペントの架設を、宏栄号により図-8・9の要領にて実施した。写真-3にFCにより吊運搬して2Pに到着した塔付ペントを示す。

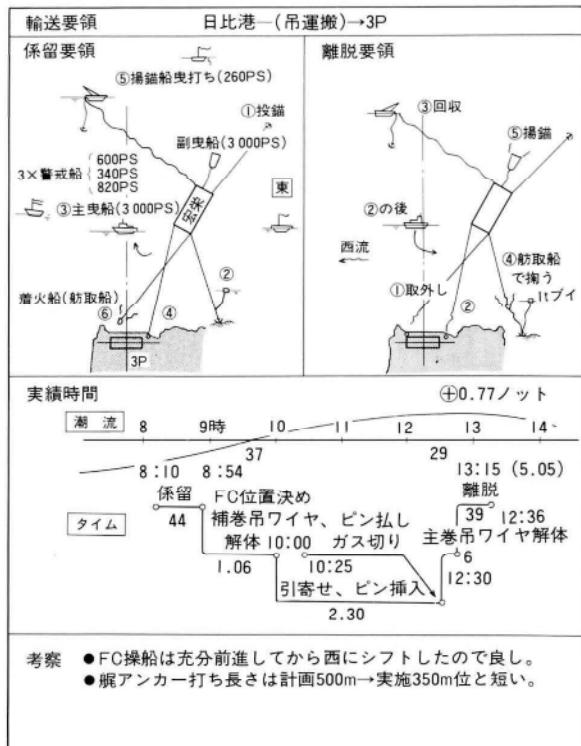


図-8 3P塔付ペント設置

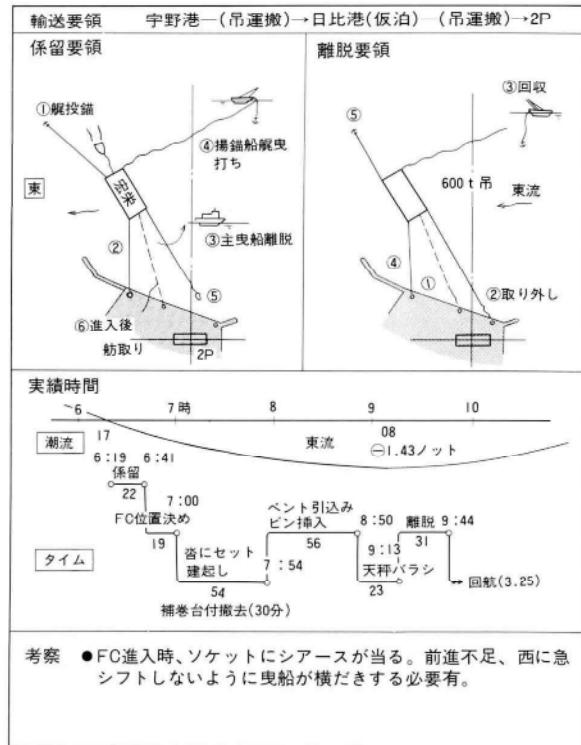


図-9 2P塔付ペンド設置



写真-3 2P塔付ベント・吊運搬して2P到着



写真-4 2P塔付ブロック 2P前面に進入

(d) 2P塔付ブロックの架設 (CB-1)

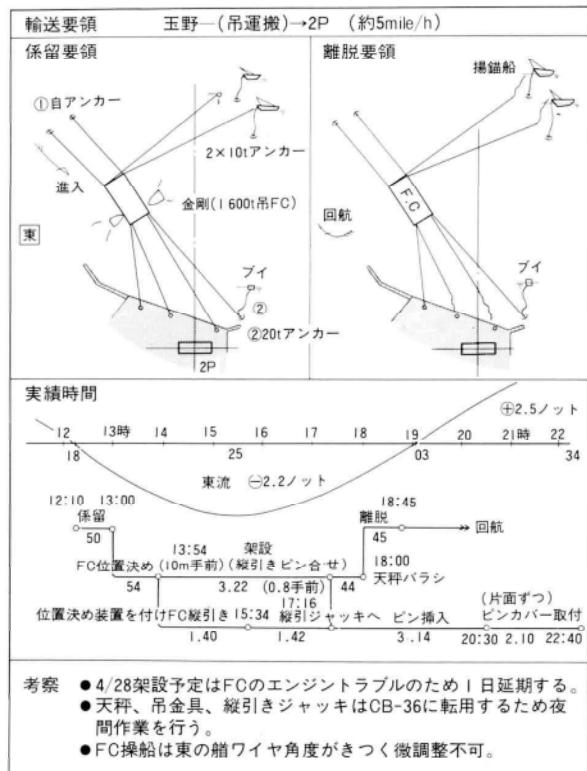
早朝塔付ブロック (CB-1) を吊運搬して工場を出発した FC・金剛 (1600t 吊) は、12時の潮止まりに写真-4 のように 2P 前面に進入した。

係留は図-10 のように金剛の自アンカーを東に投錨、西の10t アンカーは揚錨船で吊って待機している。揚錨船は着火船による FC とアンカーの結束後もアンカーからリードワイヤをとって海上係留を行う。

塔間への縦引き作業はスキ間が65mmしかなく、FCだけでは挿入が難しいので、タワーリンクのピンから10m手前で位置決め用のワイヤをつけて進入する。ベント上にはピンから0.8m手前でタッチさせ、縦引きジャッキの主動で挿入する。FCの台付をはずしてタワーリンクのピン挿入作業に入ったが治具の不具合で終了は22時40分と夜間作業になる。

(e) 3P塔付ブロックの架設 (CB-36)

CB-1 の1日遅れを取りもどすため、当初予定の日



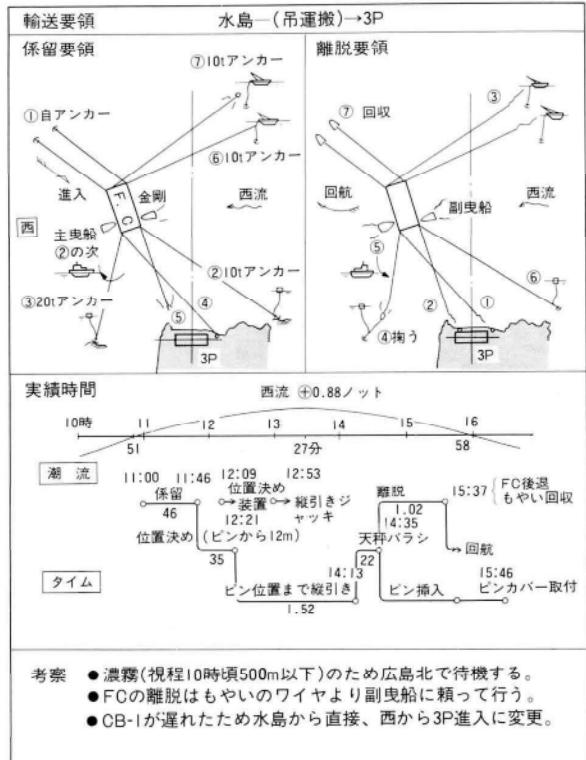


図-11 3P塔付ブロック(CB-36)の架設



写真-5 3P塔付ブロック 進入開始の状況

FCの位置決めは主曳船の離脱後にウインチ操作で行うが、その前進、横移動がはっきりしており、正確に直角に操船してくるので安心して見ていられる。曳船の力をうまく利用している点等、指示も適確である(図-12)。

添接作業は主構上弦材のTop P_Lから寄せピン・仮ボルトを入れ、次に下弦材、斜材の順とした。

引込作業は東西で2格点、各々約2mの引込を行った。

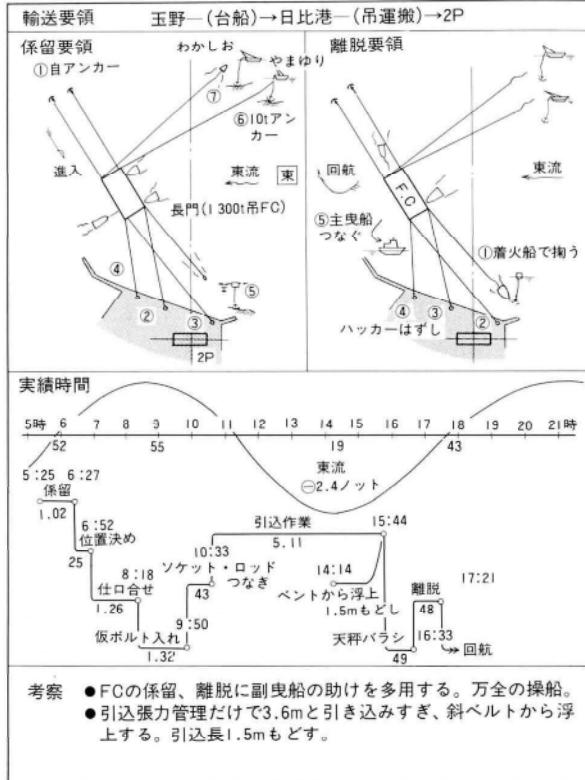


図-12 2P塔付ブロック(CB-2)の架設

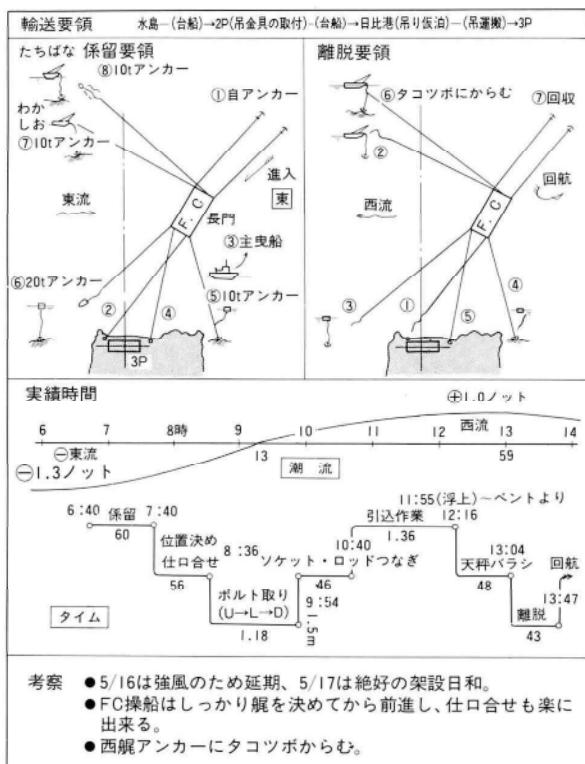


図-13 3P塔付ブロック(CB-35)の架設

(g) 3P塔付ブロックの架設 (CB-35)

FCの係留、位置決めまでを行う海上作業員と仕口合せ、ボルト取りをする陸上作業員の呼吸がピッタリ合い、自らの作業を迅速に終らせて回航を早めさせようとする様子に、思わず“ニヤッ”とさせられる。実績時間を図-13に示す。

海上作業中の揚錨船と着火船は写真-6のようである。

(h) 3P張出径間用トラベラクレーンの設置

T.P. 50m以上の橋上にクレーンを設置するため高揚

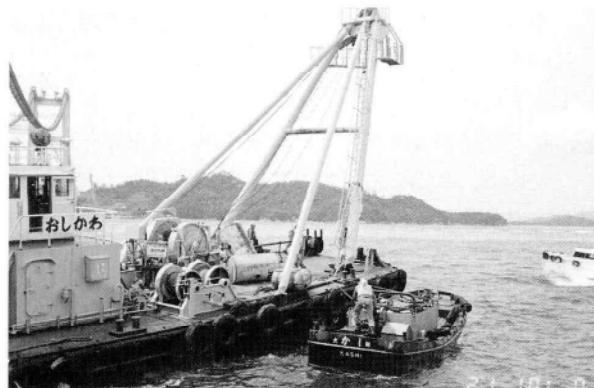


写真-6 海上作業中の揚錨船と着火船

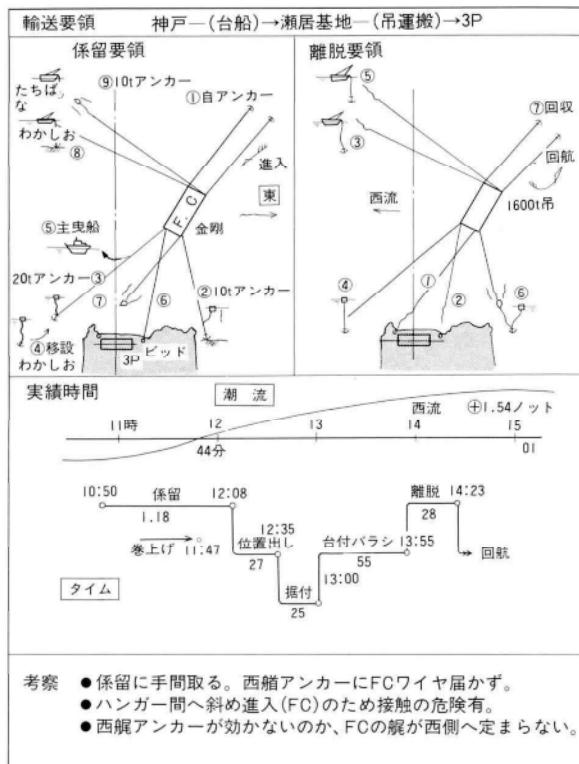


図-14 3P張出しトラベラクレーン設置

程が必要で、1600t吊FCの金剛により図-14の要領にて作業を行った。橋上にクレーンを設置しようとしている状況を写真-7に示す。

(i) 2P張出径間用トラベラクレーンの設置

3P側と同様に、図-15の要領にて作業を行ったが、



写真-7 3P張出径間用トラベラクレーンの設置

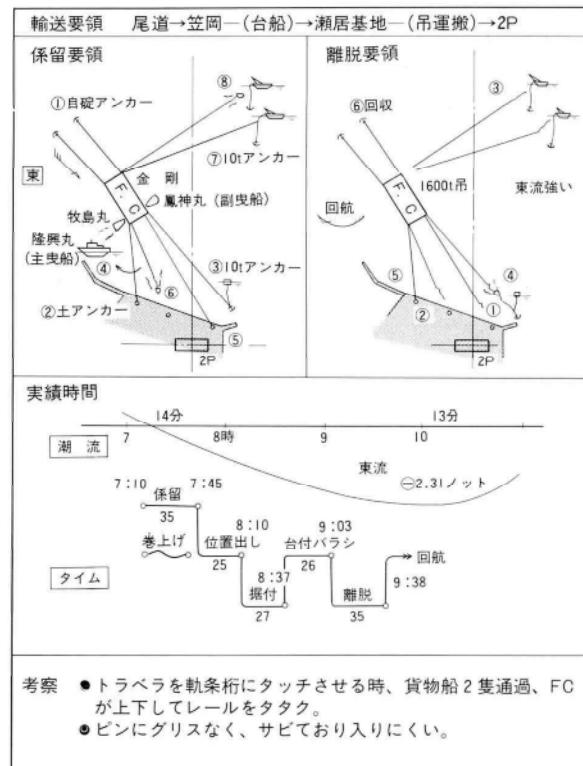


図-15 2P張出しトラベラクレーン設置

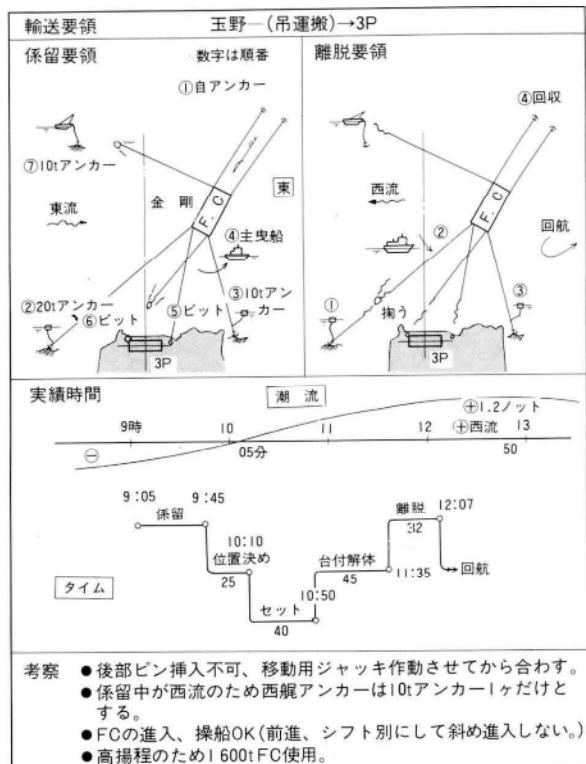


図-16 3P中央トラベラクレーン設置

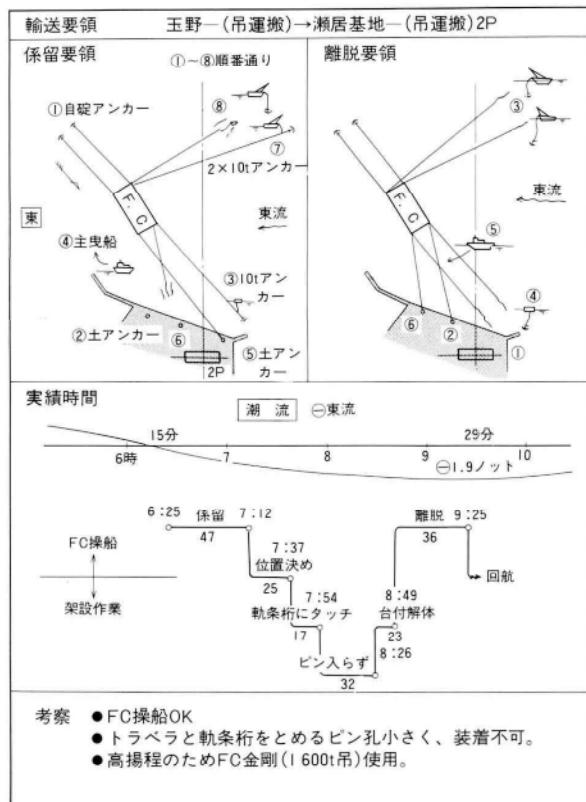


図-17 2P中央トラベラクレーン設置

現場は貨物船や漁船の通過が多いため、警戒船3隻を使用した。

- (j) 3P・2P中央径間用トラベラクレーンの設置
金剛 (1600t 吊FC) による作業要領を図-16・17に示す。

(7) 反省点

各作業内容の中で考察したので今後に生かすべき点を列挙してみる。

- (a) 海象、気象の事前調査
潮流、濃霧の発生時期、台風時期および季節による風向等の調査は、十分すぎることはない。

- (b) FC作業回数の低減
現地一括架設のため前日に別地点で吊上げ作業を行ったので、12回の倍以上のFC作業になることを配慮する必要がある。

- (c) 進入、係留要領の事前打合せの徹底

海事関係者と打合せをくり返し行っても、内容が船長以下作業員まで周知されているか確認する必要がある。

- (d) 岩壁、港の使用条件の調査

仮泊地の選定に振り回された観があり、使用可能日を入念に調べる必要がある。

- (e) 架設物の仮組立検査

予定外に時間のかかった作業は、ほとんどがピン插入などの不具合に起因したものである。

- (f) 係留、離脱の所要時間

実績時間の通り、係留は40~60分、離脱30~40分位で終るような設備（揚錨船、着火船）を海事業者は準備してくるように思われる。

5. 台船からの直下吊上げ工法

3P側の塔付ブロックを架設したものの、橋上の面積は運搬台車を乗せるだけのスペースがない（写真-8）。そこで次の面材（C B-34）架設は図-18に示すC B-34の架設要領図のように、直下に台船を係留して直接トラベラクレーンにて吊上げ架設する方法を採用する。

- (a) 輸送

千葉県の工場から3000t 艤装台船に本体を乗せ3昼夜かけて宇野港に到着する。

- (b) 水洗い

港の高水圧の用水で水洗いする。



写真-8 3P トラベラクレーン設置状況

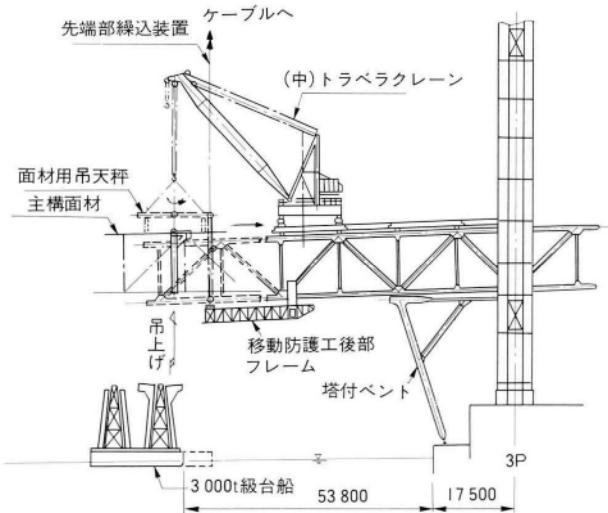


図-18 主構面材の直下吊り上げ架設 (CB-34)



写真-9 3P前面に係留した台船

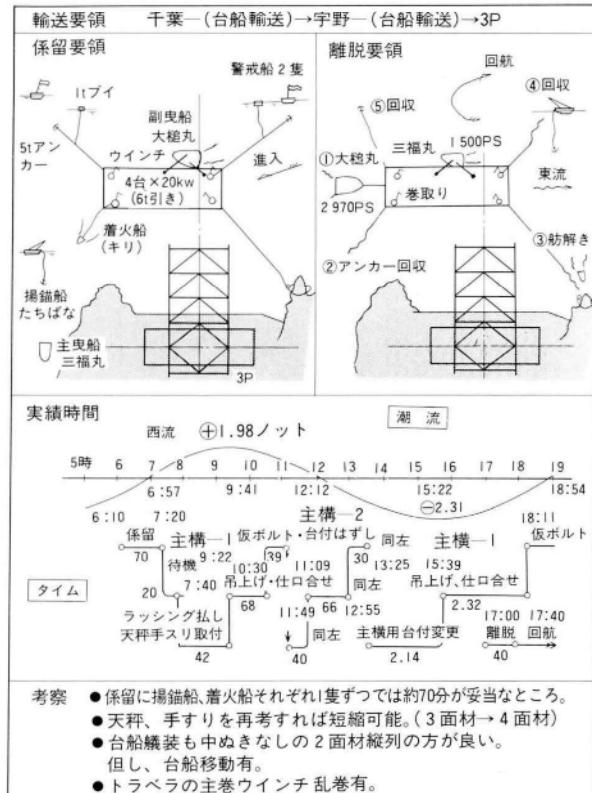


図-19 直下吊り上げ架設(CB-34)

(c) 係留、離脱

3 P 前面に係留した台船の状況を写真-9 に示す。

係留、離脱要領を図-19に示す。実績時間は揚錨船、着火船各1隻ではこの程度（係留70分、離脱40分）はやむを得ないと思う。

(d) 吊上げ架設

1 主構の面材架設は約 2 時間30分、当日は 2 主構 1 主横トラスの架設を行った。

(e) 台船の纏装

面材の積付けは並列より縦列にした方が台船の重心移動が小さく、面材地切り時吊荷の水平移動が少ない。

(f) 考察

トラベラクレーンによる直下吊り上げ工法は、水切クレーン、塔付ジブクレーンおよび運搬台車設備なしで架設出来るので前段作業の工程短縮、および各クレーン設置と並行作業が可能になる。

海面使用条件が許せば、中途半端なブロック架設によって後方クレーン（鋼床版：付属品）を要するより、トラベラクレーンの使用が多用途で経済的な工法である。

7. あとがき

下津井瀬戸大橋の前段架設工事に採用した海上作業についてのべたが、海象条件の比較的恵まれた瀬戸内海で行った点に注意して各要領、実績時間を読みとっていたい。

吊橋の架設計画は今後とも工程短縮の要請がますます

増えることは必須である中で、架橋地点の自然条件を正確に洞察し、必要最小限度の架設機材（最高級品）を選定することによって経済的な施工を今後の目標としたい。

終りに、工事遂行にあたり御指導いただいた本州四国連絡橋公団の方々、またJ V各社はじめ特に社内の関係各位には現場からの無理難題についてご協力をいただきましたことを、誌面を借りて感謝する次第です。

グラビア写真説明

電源開発本店ビル

電源開発株式会社本店社屋は、中央区銀座6丁目の通産省工業品検査所の跡地に建設された。従来は丸の内の第二鉄鋼ビルを本拠とし、各所に分散していて不便であったが、今回新社屋に統合され、昭和62年11月から営業を開始している。

電源開発は、昭和61年10月に改正電源開発促進法が施行され、藤原一郎前副総裁を初代社長とする新体制で新生電発としてスタートしたが、本店新社屋は新生電発の記念となるに違いない。（永瀬）

岡谷市庁舎

かつては蚕糸業で有名な諏訪湖畔の岡谷市が21世紀をめざした街造りの一環として、市庁舎および周辺の整備計画を開始した。全計画は設計コンペ形式で募られた一連の施設であり、周囲とのマッチングもすばらしく見事な景観を呈している。

当社は主要建物である庁舎を施行した。主体構造は、S-造箱柱で、梁続手には現場溶接が採用されている。当社の得意な構造であり、工場から近いこともある、施工は予定よりはるかに順調に進んだと思われる。

尚、当地が本州でも屈指の寒冷地であり、現場施工が一部厳寒期に当ることから、厳寒期における現場溶接作業の可否について、設計者との間に、白熱した議論のあったことが思い出される。（織田）

シェイクスピアホール

山の手線に乗って、高田馬場から新宿に向かうと、間もなく右側に3棟の天を突くような高層住宅が目に飛び込んでくる。これが抽選倍率、数百倍でマスコミを賑わした新宿西戸山タワー・ホームズである。そしてこれら住宅棟の南側にある円筒形の低層建物が、ここで述べるシェイクスピアホールである。3棟の高層住宅棟とこのホールが、どういう関係にあるのか、あるいは、名称が何故シェイクスピアなのか残念ながら聞き漏らした。聞き漏らしたというのは、実は製品がうまく納まるか否かに神経を奪われていたに他ならない。平面は円形、垂直面は兜を思わせる立体トラス構造であり、一ヶ所引張ると他方が縮み、縮んだ箇所を引張ると予期しなかった他方が縮む、といった何とも例えようのない困難が予期され、知恵の輪かジグソーパズルを解く様な心境にも陥ったものである。幸いにも、さしたる問題もなく納めることができたが、製作担当者の労を多とする工事であった。（西原）

保津川上路アーチ鉄道橋の架設

The Construction of the Hozugawa Railway Bridge

松本泰成*
Yasunari MATSUMOTO

Summary

The Hozugawa Railway Bridge is a deck arch bridge constructed in a narrow valley for San-in Lines of the Japanese Railways.

This report describes the cable crane method of using diagonally hanging construction facilities for the block weighing of more than 50 tons and the construction of an earth anchor for the cable anchor, in conjunction with the construction of the above-mentioned bridge.

1. まえがき

山陰本線の京都・園部間の複線電化工事の一環として京都保津川渓谷をまたぐ5橋梁のうち、園部方の第4及び第5保津川橋梁の架設工事を担当した。(図-1)

保津川渓谷は、京都でも有数の景勝地として名高く、景観に調和するようデザインされた橋梁の架設計画に当たっては、仮設備の設置などにもできるかぎり地形に手を加えないよう求められた。

このような自然条件から、工事は工事用道路を設げず片押しの形で進められたため、対岸での仮設備の設置はヘリコプター、仮ケーブルクレーンを用いるなど工夫を要した。

また、第4橋は国鉄初の上路式の鋼2ヒンジソリッドリブアーチであり、この大断面箱桁の架設には、吊能力30tの大型ケーブルクレーンを2系統設けるとともに、大反力の斜吊設備を必要とした。

これらのケーブルのアンカーとして、アンカーブロックは景観上からも設けられないため、地山へのアースアンカー工法を用いた。鋼桁の架設に用いたアースアンカーとしては最大級の反力をを持つ設備である。

本文では、この第4橋と第5橋の架設の特徴について報告する。

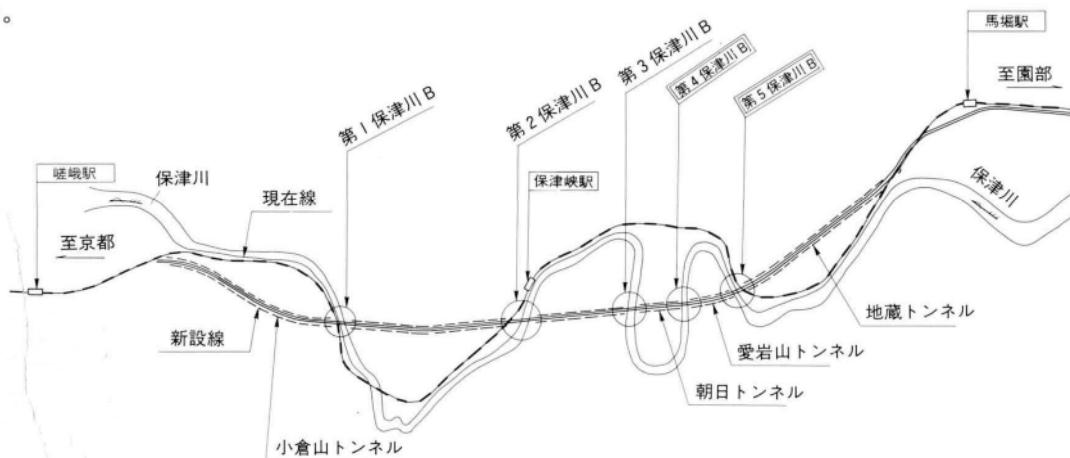


図-1 施工位置図

* 宮地建設工業機技術部技術二課

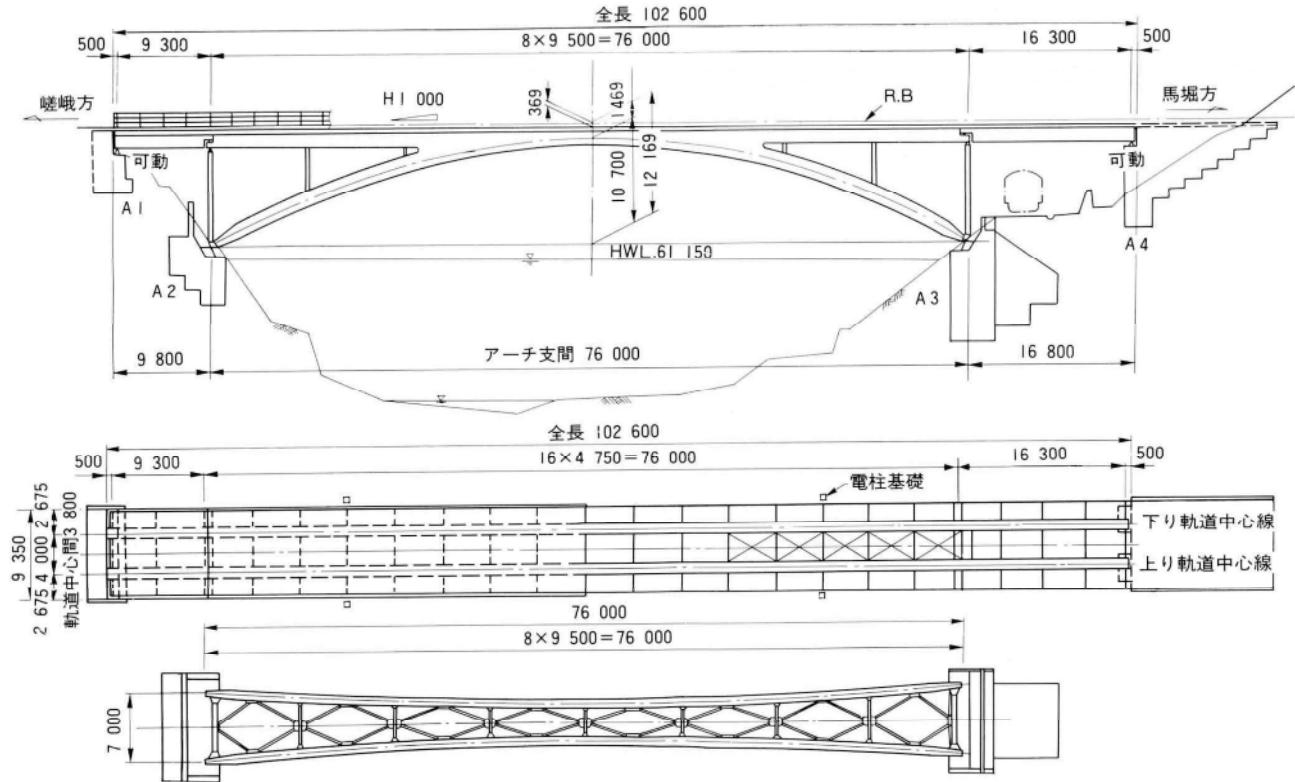


図-2 第5保津川橋梁一般図

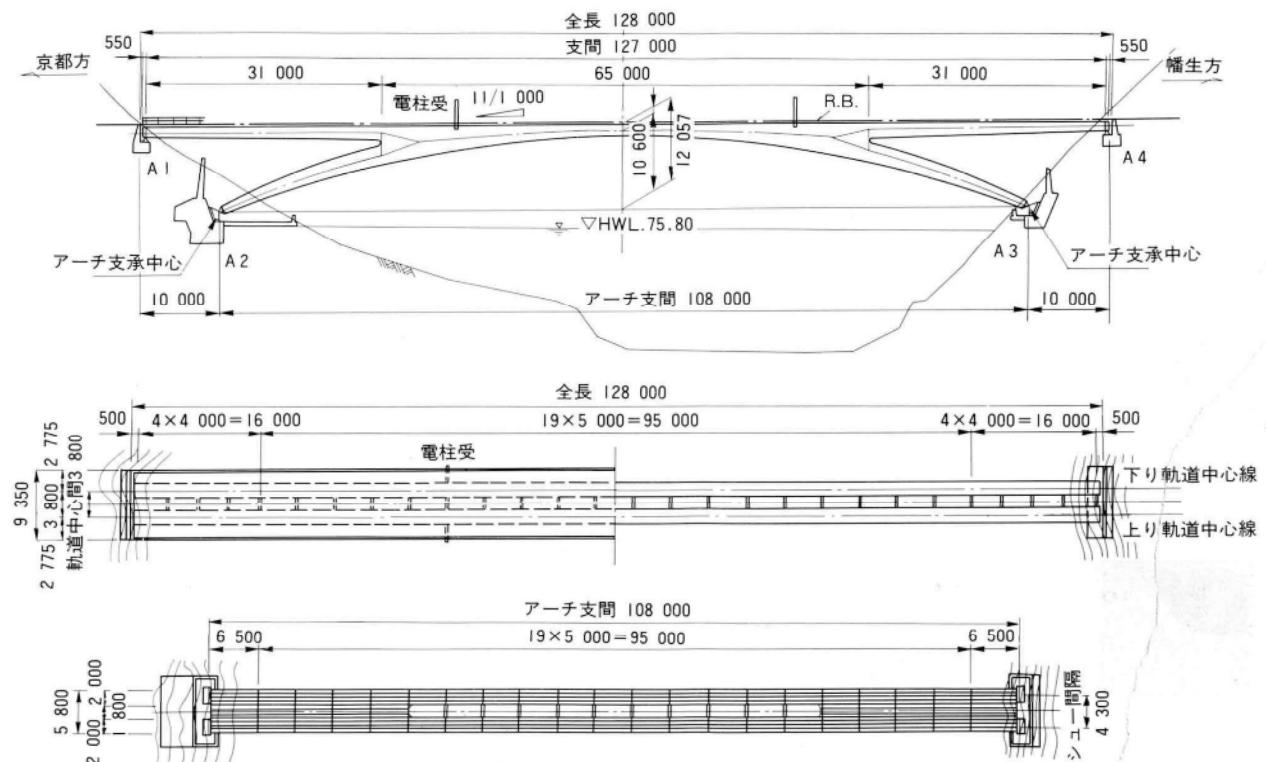


図-3 第4保津川橋梁一般図

2. 橋梁概要

表-1に橋梁の諸元を示すが、第4橋がアーチ支間108.0m、第5橋がアーチ支間76.0mという鉄道としては大型の上路補剛アーチ橋である。

また錆安定化処理をした耐候性無塗装橋梁として、そのデザインとともに景観に合うよう期待されている。両橋の一般図を図-2と図-3に示す。

表-1 橋梁諸元

	第5保津川橋りょう	第4保津川橋りょう
架橋位置	保津峡・馬堀間17.500km	保津峡・馬堀間17.073km
線路等級	2級線	2級線
設計活荷重	KS-16	KS-16
橋長	101.600m	128.000m
アーチ支間	76.0m	108.000m
橋梁型式	スラブ軌道直結式 上路補剛アーチ桁	スラブ軌道直結式 上路補剛アーチ桁
重量	530.6t	864.2t
平面線形	直線	直線
縦断勾配	11/1000	11/1000

3. 架設要領

(1) 概要

本橋梁の架設にあたっては、このルートの一連の工事が、馬堀方を基地にして、片押しでしか部材搬入が出来ないため、地蔵トンネルを工事用道路として、第5橋の架設を行い、次に第5橋を工事用道路として、愛宕トンネルの施工、さらに第4橋の架設という順にての施工となった。第5橋については、架設地点が、保津川と山陰本線を跨ぐ渓谷、また、第4橋についても保津川を跨ぐ渓谷に位置しており、2橋共に、ケーブルクレーンによる斜吊工法で架設を行なった。

(2) 架設手順

まず、第5橋についてみると、A₁、A₄側の桁架設用ケーブルクレーン（20t吊）用アンカーの施工と、A₂、A₃橋台の沓アンカーフレームの据付けは、下部工事用の簡易ケーブルクレーン（2.9t吊）を利用した。

アーチ固定沓の据付後、A₁、A₄橋台に架設用ケーブルクレーンの鉄塔の建方を行なったが、対岸に重機が入れないため、前述の簡易ケーブルクレーンで鉄塔建方用ジブクレーン（2t吊）をA₁に組立て、鉄塔材を荷捌きして、ジブクレーンで一部材づつ組立て、クライミング工法により鉄塔の建方を行った。A₄側については、構台棧橋を利用して、トラッククレーンで建方を行なった。

鉄塔建方後のアーチ閉合および高力ボルト本締めまでの架設順序は次のとおりである。

- ① ケーブルクレーン（20t吊）張り渡し、設置
- ② A₂、A₃橋台に斜吊鉄塔を設置（ケーブルクレーンを使用）
- ③ 斜吊鉄塔に斜吊設備を取付け。
- ④ アーチ部材の架設、閉合（斜吊にて逐次剛結）
- ⑤ 斜吊設備の解放、撤去（アーチ部のH.T.B本締め後）
- ⑥ 補剛桁架設
- ⑦ 吊り足場防護工の設置
- ⑧ H.T.Bの本締め

第4橋についても、同様な手順である。図-4に、施工手順図を示しておく。また、図-5に施工要領図を示しておく。

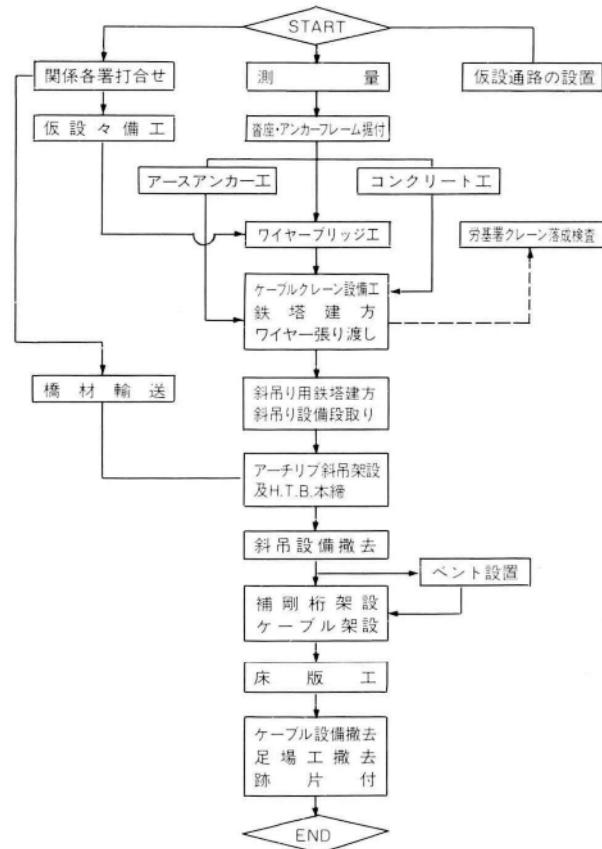
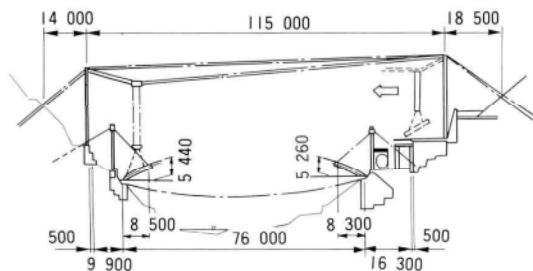
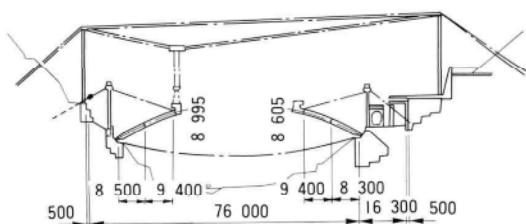


図4 施工順序図

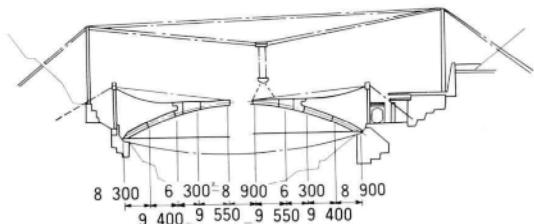
①アーチリブ斜吊架設(1)



②アーチリブ斜吊架設(2)



③アーチリブ斜吊架設(3)



④補剛桁架設

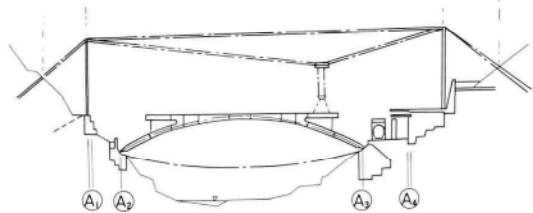


図-5 施工要領図

写真-1・2に第5橋の架設状態を、写真-3・4に第4橋の架設状況を示す。

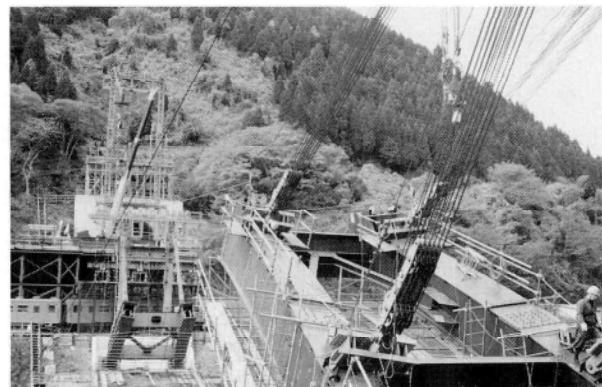


写真-1 第5橋のアーチの架設

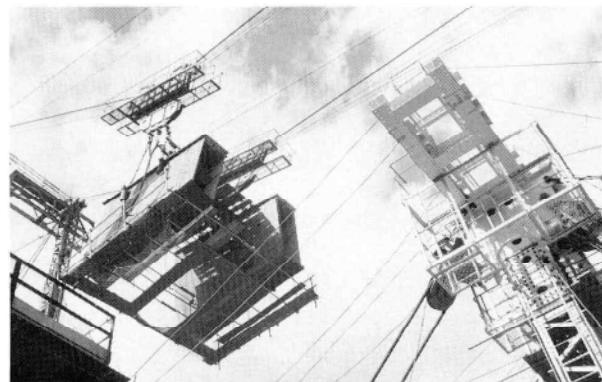


写真-2 ブロック組みしたアーチリブ



写真-3 第4橋隅角部断面の架設



写真-4 第4橋のアーチの架設

(3) 測量と沓の据付

アーチの固定沓を桁架設前に完全に固定するに当って、アーチ支間の測量精度が、橋体出来上がりキャンバー及び架設時残留応力等に直接大きな影響をおよぼすため、工場の仮組検査記録、架設時の気温等を考慮して、沓の測量と据付けを入念に行なった。測量は光波測距儀を用いて行ない、架設時点での据付け誤差は支間で第5橋については+3mm、第4橋については-5mm、鉛直方向については2橋共1mm程度であった。良好であると判断できたので橋体を仮組状態のままで架設を行なった。

(4) ケーブルクレーン設備

ケーブルクレーンの仕様と主要資材を表-2に示す。第4橋では、大断面のソリッドリブアーチの隅角部の架設ブロックが54tとなり、ケーブルクレーンは30t×2系統の設備を必要とした。これは山間部としてはきわめて大型の設備である。

表-2 ケーブルクレーンの仕様と主要資材

	第5保津川橋りょう	第4保津川橋りょう
ケーブルスパン	L=118.000m	L=146.800m
ケーブル系統	2系統	2系統
定格荷重	20.0t×2	30.0t×2
門型鉄塔	A ₁ □800×800×24.652m B=7.0m	□800×800×28.890m B=7.0m
	A ₂ □800×800×27.652m B=7.0m	□800×800×25.890m B=7.0m
中央サグ量	f=11.0m	f=13.0m
左右高低差	H=3.95m	H=20.055m
運搬索	1-66φ	2-66φ
捲上索	1-20φ	1-20φ
往行索	4-20φ	4-20φ
ワインチ	50HP複胴ワインチ×2台	75HP複胴ワインチ(油圧)
アンカー	アースアンカー	アースアンカー

保津川上路アーチ鉄道橋の架設

(5) アースアンカーの施工

ケーブルクレーンと斜吊索のアンカーは、急斜面の岩盤である事から、アースアンカー工法を採用した。工事完了後の景観上の配慮からも、的を得た工法である。

設計は“アースアンカー設計・施工基準”（土質工学会）に基づいて行った。安全率は、荷重の偏心および繰返し荷重等によるアンカー耐力の低下を考慮して、Fs=2.5とした。施工したアースアンカーの諸元を表-3に示す。

アースアンカーは検討の結果、当社では実績のない、SEEEケーブル（F360）を用いることにした。図-6にスペーサーを取付けたケーブルを示す。

表-3 アースアンカーの諸元

		計画荷重	引張鋼材 (SEEEストランド)	定着長 (M)	自由長 (M)	アンカ長 (M)	本数 (本)
ケーブル	運搬索	第5 110.0t	F-200(19×9.5φ)	13	5	18	4
	第4	75.0t	F-160	8	4	12	8
クレイン	A ₁	30.0t	F-70 (7×9.5φ)	4	5	9	2
	控索	25.0t	運搬索と兼用	—	—	—	—
斜吊り	A ₄	20.0t	F-70 (7×9.5φ)	3	5	8	2
	控索	25.0t	運搬索と兼用	—	—	—	—
A ₁ 側	第5	70.0t	F-160(7×15.2φ)	9	5	14	2
	第4	212.0t	F-360	15	5	20	4
	第5	85.0t	F-160(7×15.2φ)	10	5	15	2
	第4	212.0t	F-360	15	5	20	4

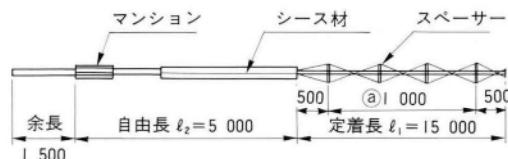


図-6 SEEEケーブル

施工に当っては、図-7の施工順序図に従い以下の施工手順によった。

- ① $\phi 45\text{mm}$ のボーリングロッドに $\phi 165\text{mm}$ のケーシングパイプを取り付け、清水を送りながら着岩するまで穿孔する。
- ② 孔壁を保護したあと、 $\phi 140\text{mm}$ のビットにて所定の深度まで穿孔する。穿孔深度は20mである。
- ③ 穿孔後、ケーブルをケーシングパイプ内に挿入。
- ④ あらかじめケーブルに取付けておいたグラウトホースに注入ホースを取り付け、グラウトポンプにより、モルタルを圧送し、孔口より注入したモルタルと同濃度のものがリークする迄注入した。セメントミル

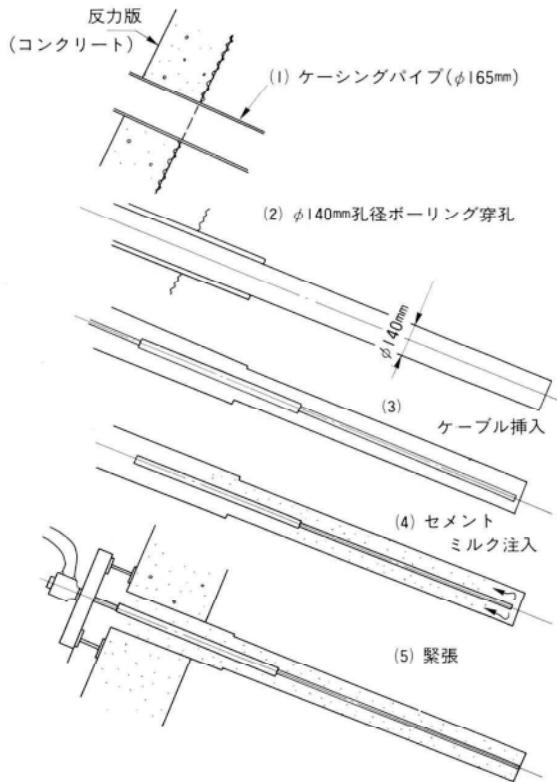


図-7 アースアンカー施工順序

クの設計基準強度は $240\text{kg}/\text{cm}^2$ として配合を行った。

セメントミルクの配合表は表-4とした。

- ⑤ 注入完了後、3日の養生期をおき、ストロングホールドジャッキにて緊張を行ない、結果を“緊張管理図”にて管理した。

表-4 セメントミルクの配合表

設計基準強度	フローの範囲	混和剤	単位量 (kg/m^3)		
			セメント	水	混和剤
$240\text{kg}/\text{cm}^2$	$14 \pm 3\text{秒}$	G F-630 C X 1%	1 370	562	13.7

アンカーの引張り試験方法については、計画引張り荷重Pに対して、

※第1サイクル $0.2P \rightarrow 0.4P \rightarrow 0.6P$

※第2サイクル $0.6P \rightarrow 0.8P \rightarrow 1.0P$

※第3サイクル $0.6P \rightarrow 0.8P \rightarrow 1.0P \rightarrow 1.2P$

の要領で行なった。なお荷重保持時間は1行程当たり10分として、除荷重時間は1分と2分、履歴内の荷重時間も1分、2分単位として試験を行なった。また試験結果の判定は次式によって行ない、実測値の伸び Δl が次式の範

囲に入っていればアンカーの状態が正常であると判定した。

F200T ($19 \times 9.5\phi$)についてみると、伸びの上下限値と実測伸びは以下のようになる。

$$\Delta l_1 : \text{下限の伸び (cm)} = \frac{(P - P_0) \times \ell_f \times 0.8}{AsEs}$$

$$\Delta l_2 : \text{上限の伸び (cm)} = \frac{(P - P_0) \times (\ell_f + \ell_a/2)}{AsEs}$$

Δl : 実測の伸び (cm)

P₁ : 設計荷重 (t) = 110 t とする

P : 緊張荷重 (kg) = $1.2P_1 = 132\text{ t}$

P₀ : 初期荷重 (kg) = $0.2P_1 = 22\text{ t}$

ℓ_f : 鋼線の自由長 (cm) = 500cm

As : 鋼線の断面積 (cm²) = 10.42cm^2

Es : 鋼線弾性係数 (kg/cm²) = $1.0 \times 10^5\text{kg}/\text{cm}^2$

ℓ_a : 定着長 (cm) = 1300cm

とすると

$$\Delta l_1 = \frac{(132-22) \times 10^3 \times 500 \times 0.8}{10.42 \times 1.85 \times 10^6} = 2.27\text{cm}$$

$$\Delta l_2 = \frac{(132-22) \times 10^3 \times (500+1300/2)}{10.42 \times 1.85 \times 10^6} = 6.54\text{cm}$$

試験結果は、表-5に示すように、平均伸び量 $\Delta l = 5.9\text{cm}$ となり $\Delta l_1 < \Delta l < \Delta l_2$ と計算値を満足する。

施工中も閉合直前には伸び量が上限値 (Δl_2)に近くなるケースもあり、載荷時の伸び量については、當時チェックを行い荷重のバランス等に十分注意して架設を進めた。試験の結果を表-5に、また、引張試験の状況を写真-5に示す。

表-5 $P=132\text{ t}$ 載荷時のワイヤーの伸び量

試験本数	1本目	2本目	3本目	4本目	平均
伸び量	5.6cm	6.1cm	5.3cm	6.4cm	5.9cm

(6) 斜吊設備

斜吊りの方法としては、前方斜吊り索と後方控索を鉄塔頂部で別々に固定する塔頂固定形、または前方斜吊り索と後方控索を1本のワイヤーで、鉄塔頂部をスライドさせてアンカー迄通す、鉄塔頂部フリー形の2形式を考えられる。前者の方法を斜吊り点数の少ない第5橋に、前者と後者の併用方法を斜吊り点数の多い第4橋に適用した。なお、斜吊りについては2点の吊点を用意し、架設は斜吊り索を盛り替えながら、常に1点の斜吊りとして計画を行った。また、第4橋の場合は閉合時のキャン

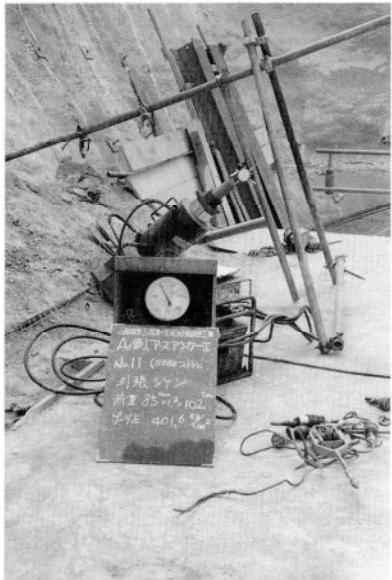


写真-5 アースアンカー引張試験

バー保持として、3段目の斜吊り索をアーチ閉合まで残して使用した。図-8、9に斜吊り段数と、計画張力を示す。

(7) リブアーチの架設と閉合

アーチリブの架設は、すべてケーブルクレーンを使用した。部材の取込みは、A₄橋台方の桁組立場でトラッククレーン（第5橋は45t吊油圧式、第4橋はクローラー

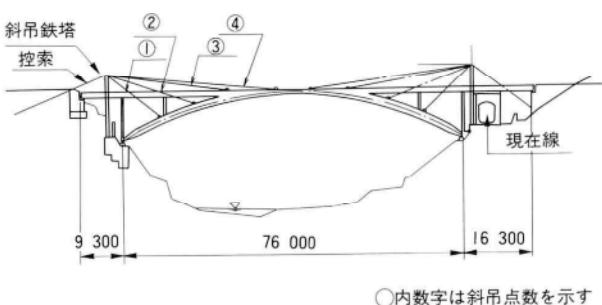


図8 斜吊り段数と張力(第5橋)

	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
斜吊索	60.2 t	59.6 t	104.2 t	120.2 t
控索	56.7 t	64.7 t	118.8 t	137.9 t
張力差	3.5 t	-5.1 t	-14.6 t	-17.7 t

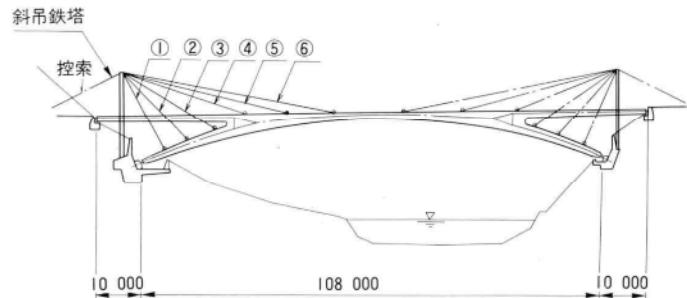


図9 斜吊り段数と張力(第4橋)

クレーン150t吊を使用)を使用してブロック組みを行ない、ケーブルクレーン2台で相吊りにより、両岸より中央部に向かい交互に架設した(図-5参照)。閉合については50mmの開きが出る計画で上げ越し量を設定し、閉合時は、後方控索のアンカー付きにセットしているシリンダーブロック(150t)を前方に繰り出す事によって閉合作業を行なった。(写真-6、7)

(8) 支柱および補剛桁の架設

中間及び端柱については、桁組立場で組立て、キャリヤー2台で相吊りにより一括架設を行なった。

第5橋補剛桁については、アーチリブより両支点に向ってペントを使用して1ブロックづつ組立てた。

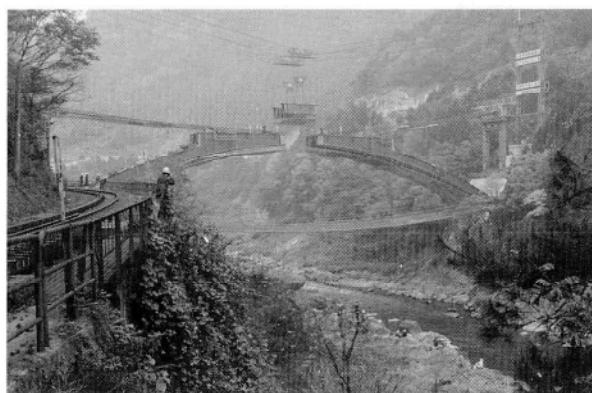


写真-6 第5橋のアーチの閉合



写真-7 アーチ部材の閉合(第4橋)

次の作業が進められている。特に、62年3月のJRへの引き継ぎ時期に重なった事で行程はもとより、関係者のご苦労は大変なものであった。国鉄の関係者をはじめ、資料の提供にご協力いただいた、飛鳥建設株式会社の関係者の方々には誌上を借りてお礼申しあげます。

また、鋼桁の製作は、第4橋は(株)横河橋梁製作所、第5橋は川崎重工業(株)である。両社の担当者にも工事にあたりお世話になりました。

住友金属工業(株)の製品ニュース110号では、耐候性鋼板橋梁として、第4橋の施工状況の写真が多数取上げられており、参考にさせていただきました。

4. あとがき

景勝地として名高い渓谷での、きびしい条件の中での架設工事も完了し、現場では本橋梁を工事用道路として

グラビア写真説明

浜岡原子力館

太平洋を前にして、東に富士、西に浜名湖、どこまでも続く白い砂丘と緑の松林、白い砂と青い空と海とのコントラストが美しいここ浜岡に、昭和51年中部電力株式会社初の原子力発電所が運転を開始しました。以来53年の2号機、62年の3号機と共に、中部地区の家庭や工場、会社へ電気を送っています。

浜岡原子力館は、原子力発電のPRのため、約20億円余をかけ発電所内に建設される建物です。展示物は実物大の原子炉の模型や、半円球型スクリーン映像などが設置されます。鉄骨は建物が大変斬新でユニークな型をしているため、柱・梁とも、共通性が少なく、曲げ加工が多く、人変複雑で難しい鉄骨でしたが、精度よく施工する事が出来ました。(田中)

神祇大社殿一の鳥居

神祇大社殿が都内から、伊豆高原サボテン公園前の広大な地に移転するに伴い、建物の他、鳥居の建立も計画された。ゆるやかな斜面に自然石を配した用地の造成がなされ、建物も木の香りのすばらしい本格的木造建築である。古来の神社建築に造詣の深い設計者も、鳥居については、大きな材木や石材の入手が困難であることに頭を痛めておられたようであった。また、当地を襲った伊豆沖地震のこともあり、構造物として十分な耐震性のチェックが必要でもあった。そこで、当初は鉄筋コンクリート構造で計画されていた模様であったが、当社の鋼製鳥居が、その耐久性、色調、構造物としての安定性等、施主・設計者の理解が得られ、ここに実現をみたものである。本件が静岡方面における実績として、今後の展望に結びつけば幸いである。(織田)

紹介

鋼床版箱桁を上弦材としたトラス構造

The Design of Truss Structure Using Steel Plate Deck Box Girder as the Upper Chord

柴山 隆義*
Takayoshi SHIBAYAMA

Summary

This bridge, the approach bridge for the Yokohama Bay Bridge, is a double-deck truss bridge for which a freeway on the upper deck and a national highway on the lower deck are planned.

The upper deck consists of steel plate deck box girders by which the upper chords of the truss and the floor system structure are unified in one body, and the lower deck consists of steel plate deck girders which are supported by lower cross beams.

Therefore, this truss bridge is a composite structure which consists of steel plate deck box girders and truss structures.

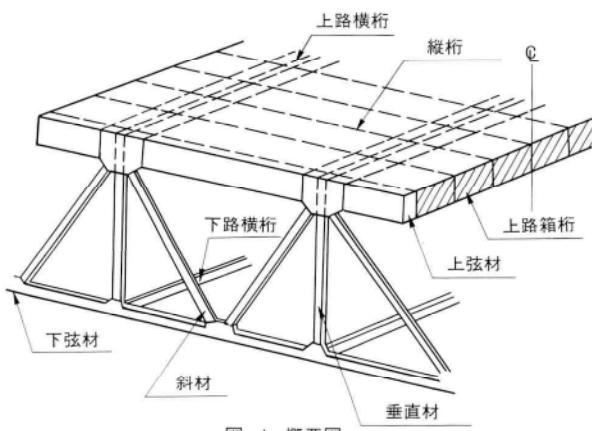
This report outlines the design of this composite structure.

1. まえがき

本橋は、施工中の横浜港横断橋（ベイブリッジ）のアプローチ橋として計画されているダブルデッキトラス橋である。図-1に示すように、上路部はトラス上弦材と床組構造が一体となった8セルの鋼床版箱桁から構成されており、下路部は鋼床版板桁を下路横桁にて支持する構造である。

また、トラスの横断面構成は、上路箱桁、垂直材、下路横桁によって構成されたラーメン構造である。

上路部を上弦材と一緒に箱形とした理由は、多数の大規模な添架物の設置が計画されており、添架物及び橋体工の維持管理と美観などを配慮したものである。



本橋の構造は、鋼床版箱桁とトラス構造とからなる複合の構造物であり、構造の特殊性から設計・施工に際して両者の特徴を充分に吟味する必要がある。

本文は、詳細設計に際して実施した構造の分割、モデル化と解析の概要について紹介する。

2. 設計概要

(1) 設計条件

設計条件のうち、主要なものを列記する、尚、下路部は2期施工になり当初は上路のみ施工される。

形式	3径間連続鋼床版トラス橋(ダブルデッキ)
橋格	1等橋 (TL-20, TT-43)
橋長	355.3m
支間割	117.65m + 117.7m + 117.2m
主構間隔	31.0m
幅員構成	上路部 地覆0.75m + 車道13.25m + 中分1.25m + 車道13.25m + 地覆0.75m = 29.25m 下路部 (地覆0.5m + 車道13.0m + 地覆0.5m = 14.0m) × 2
車線数	上下路部共 往復6車線
床版形式	上路部 合成鋼床版 下路部 非合成鋼床版

* 技術本部設計部設計第一課

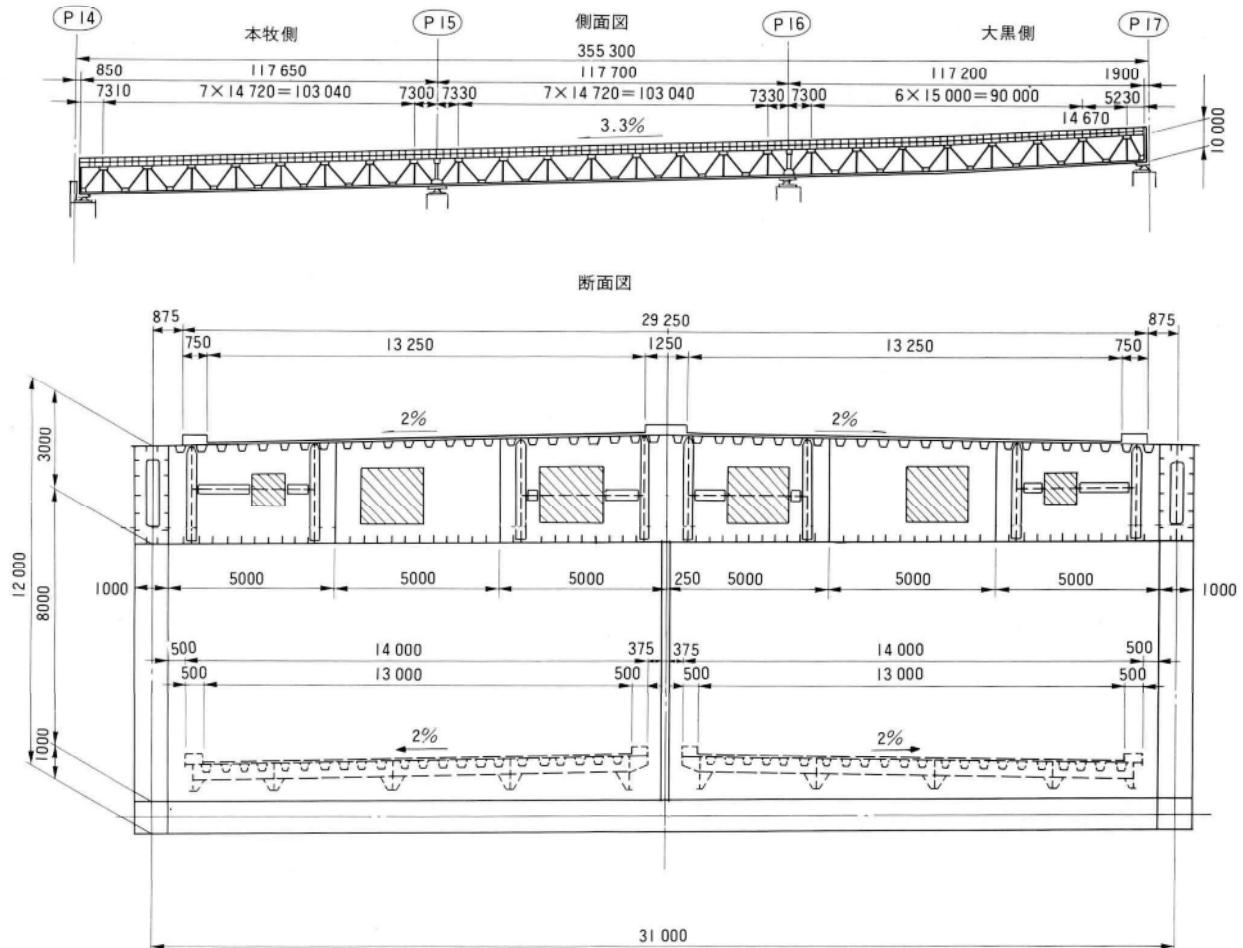


図-2 一般図

(2) 一般構造図

一般図を図-2に示す。

3. 解析方法

本橋は、上下路に道路のあるダブルデッキ構造であり、上路部の鋼床版と主構トラスを一体化した合成構造である。

横断面には対傾構に相当する部材がなく、上路横桁、垂直材及び下路横桁にて構成されるラーメン構造で横断面の形状保持を行っている。

このため、単一の解析ではなく図-3に示すような数種の解析を行い断面力の組合せをして断面決定を行った。

ここでは、構造解析手順と図-4に示すような断面決定フロー チャートによる断面決定のプロセスについて概要を述べる。

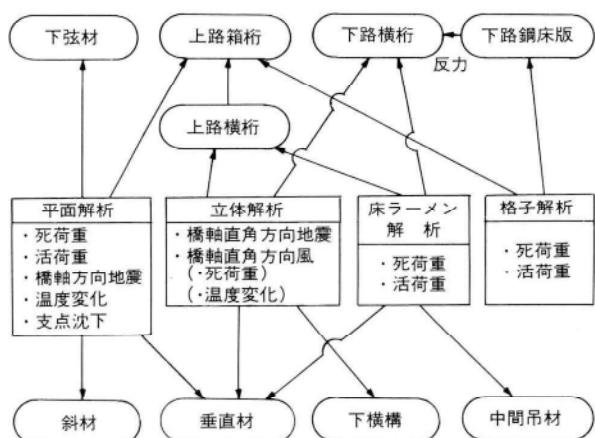


図-3 構造解析系統図

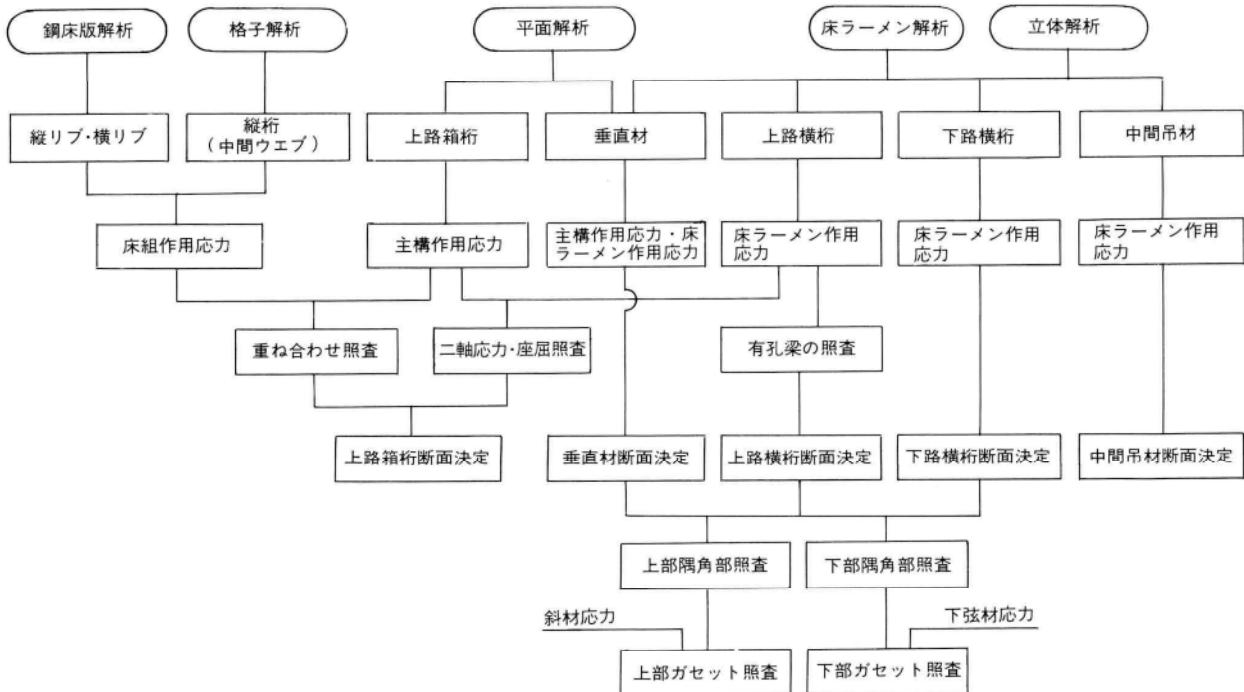


図-4 断面決定フローチャート

(1) 平面解析

1) 解析モデル

節点及び剛度の入力方法は図-5に示す。尚、節点の結合条件は全て剛結合とした。

2) 荷重の載荷方法

荷重の載荷方法は、1期施工と2期施工に分け、1期施工荷重としては、上弦材格点に自重として上路箱桁、上弦材、上路面付属物の全量と、垂直材、斜材、中間吊材等の腹材1/2を格点荷重として考え、活荷重は全て上弦材に載荷した。

下弦材格点には、自重として垂直材、斜材、中間吊材等の腹材の1/2と、下弦材、下路横桁、下横構の全量を格点荷重として載荷した。

2期施工荷重としては、下路部の鋼床版板桁に関連するもので、中間吊材を介して剛性の大きな上路箱桁にも分担されるものと考え、上弦材格点と下弦材格点に1/2ずつ載荷した。(図-6)

尚、活荷重としてはTL-20、TT-43を考慮し、TT-43の載荷方法は本州四国連絡橋公団設計基準の等価L荷重を用いた。

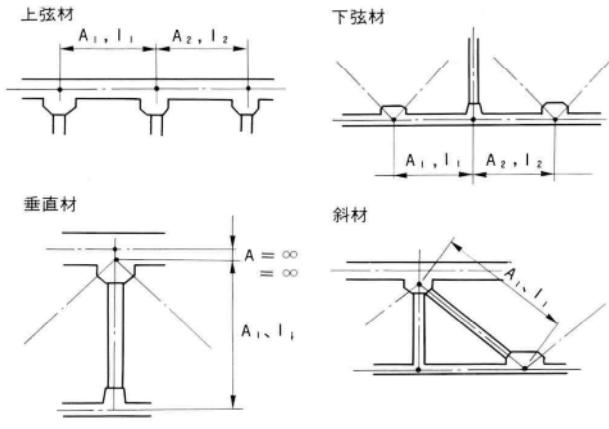


図-5 剛度の入力方法

i) 1期施工荷重

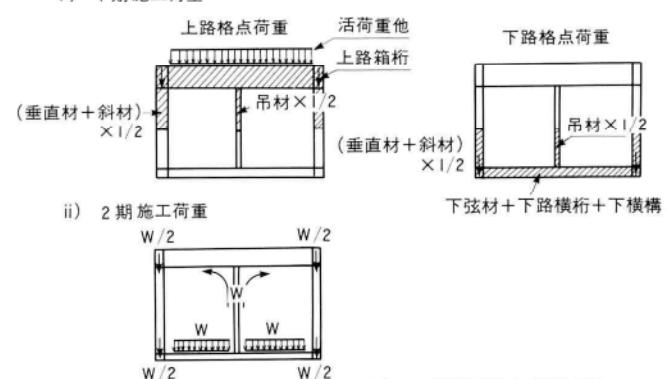


図-6 鉛直荷重の載荷方法

(2) 立体解析

1) 解析モデル

実橋にできるだけ整合させるために次の要領にて図-7に示すようにモデル化を行った。

- ① 上路箱桁は等価剛性を有する1本棒に置換し、上路横桁を介してトラス骨組と剛結合とした。
- ② 上路箱桁骨組中心と斜材骨組中心の交点とのズレは剛部材で結合した。
- ③ 支点はピン固定支持とし、橋脚の剛性も考慮した。

(3) 横荷重の伝達方法

横荷重とは、橋軸直角方向の風荷重、地震荷重であり、各荷重は上弦材部と下弦材部に分け図-8のように考え格点荷重として載荷した。

横荷重の支点への伝達は次のように考えた。

- 1) 上弦材部に作用する荷重は、上路箱桁を介して直接支点部床ラーメンへ伝達されるほか、中間部床ラーメン（垂直材、下路横桁）によって下横構を介して支点部へ伝達される。
- 2) 下弦材部に作用する荷重は、下横構を介して直接支点部へ伝達されるほか、中間部床ラーメンと斜材によって上路箱桁に分配され支点部床ラーメンを介して支点部へ伝達される。

(4) 床ラーメン解析

1) 解析モデル

解析は、平面骨組とし図-9、10のように支点部と中間部の2種について行った。

2) 荷重の載荷方法

床ラーメンの解析は、端支点部、中間支点部、支点隣接部、中間部の4種について行ない、床ラーメンの各部材の断面力が最大、最小となるよう死活荷重を上下路部に載荷した。

上路鋼床版部は、2主桁+5縦桁から構成される連続桁として挙動するため橋軸方向、橋軸直角方向とも1-0法にて荷重強度を算出した。上路死荷重に対しては、各床ラーメンの橋軸方向分担率を立体骨組モデルを解析して決定し、1-0法にて算出した荷重強度を係数倍して各床ラーメンの上路死荷重として載荷した。

上路活荷重に対しては、TL-20、TT-43の組合せを検討し、TL-20、TT-43を橋軸方向に影響線載荷して上路活荷重を決定し載荷した。

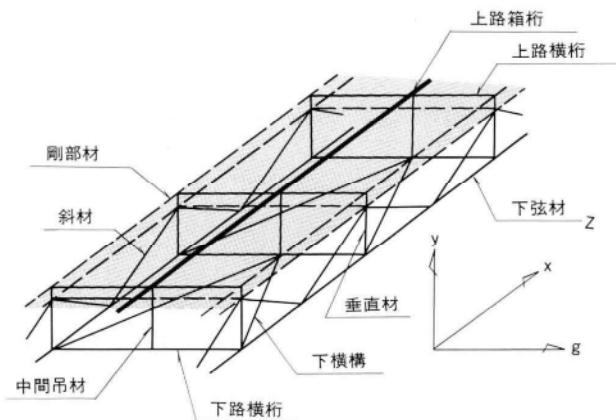


図-7 立体解析モデル

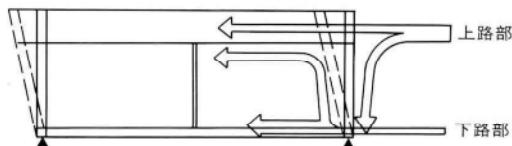


図-8 横荷重の載荷方法

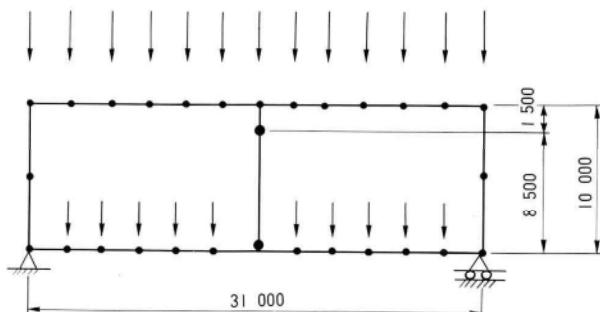


図-9 支点部床ラーメン解析モデル

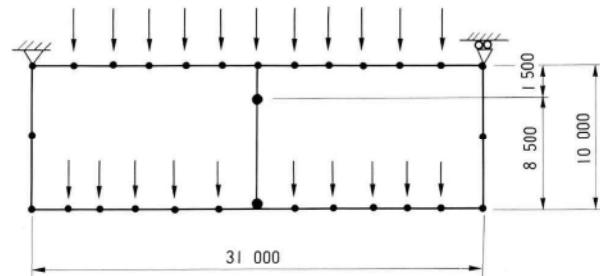


図-10 中間部床ラーメン解析モデル

下路鋼床版部は、5 縦桁から構成される7 径間連続桁の格子解析を行い、各支点の最大反力を下路死活荷重として載荷した。

(5) 格子解析

格子解析は、上路箱桁断面決定用格子骨組と下路鋼床版用格子骨組の2種について行なった。

上路箱桁断面は、主構作用と鋼床版縦桁作用の重ね合せにより決定される。このうち主構作用は平面解析によって算出されるため、鋼床版縦桁作用を算出するために格子解析を行なった。

この上路の格子解析は、上路荷重自体によるものと、

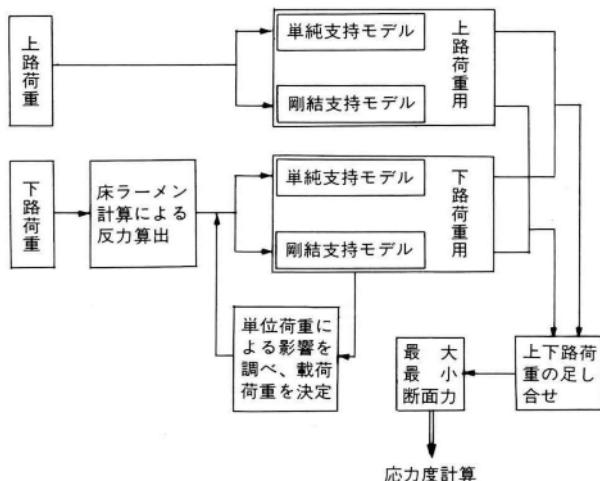


図-11 格子解析の足し合せ

垂直材及び中間吊材により伝達される下路荷重（軸力・曲げモーメント）によるものを解析し、これらを足し合せて鋼床版縦桁作用とした。(図-11)

(6) 架設解析

本工事の架設方法はP16～P17径間のP17側4.5 パネルを大ブロックのフローティングクレーン架設とし、引き続きP14側へ向けて張り出して行くトラベラークレーンを用いた、ペント併用によるカンチレバー工法（単材架設）である。

このため、架設解析としては、主構平面解析と同一モデルで次の解析を行なった。

- ① 架設順序に合わせたステップごとの平面解析
- ② 大ブロック部(フローティングクレーン架設)の平面解析
- ③ その他部分解析

4. あとがき

上層部にトラス上弦材と床組構造が一体となった8セルの鋼床版箱桁を有する特殊トラス構造の設計概要を紹介した。本橋は、横浜港横断橋の本牧側アプローチ橋であり、現在は現場架設工事も順調に進行中である。

最後に、首都高速道路公団神奈川建設局をはじめ、工事事務所の方々、並びに共同企業体の関係者の方々に御指導、御協力を戴き、深く感謝致します。

編集後記

予定より1ヶ月ほど遅ましたが、ようやく発行のはこびとなりました。

今回は大阪大学教授の福本先生より、中小スパン橋梁の分野において、鋼橋の競争力を向上させるために、技術開発によるブレークスルー（技術突破）への努力を怠たらぬように、という貴重な巻頭言をいただき、ありがとうございます。

本号より標題と概要を英訳して掲載することにいたしました。標題だけでは意を尽くせないところもあるので、概要とセットで何とか内容が言い表わせればと思っております。

また本号は前号より50ページ程増ページになりました。執筆者には実務が繁忙をきわめる中で、努力いただきました。原稿の中には、相当長文のものもありますが、企業の技報の役割として資料的なものをできるだけデータを付けて掲載することも必要であろうという考え方から、あえて長文のままで編集しております。

あれやこれや、盛りだくさんになった事が、発行の遅れた言いわけとさせていただきます。

昨年9月に、当時編集委員長であった島田常務が病魔に倒れ、急逝されました。博識で親しみやすい人柄から、皆に好かれ期待されていましただけに、残念でなりません。ご冥福をお祈りします。

本号では編集委員長はじめ、編集委員も大幅に移動がありました。事務局も原委員から宮坂委員へと若返りました。よろしくおねがいいたします。

4月になると次号の準備が始まります。より一層宮地らしい技報作りに努力するつもりでおります。

技報編集委員会

委 員 長 高 野 祐 吉

副 委 員 長 小 塚 義 夫

委 員 伊 木 達 治 伊 東 孝 菊 地 隆 三

木 越 俊 夫 椎 名 薫 高 橋 亘

永 井 英 司 能 登 宥 愿 原 昭 恵

三 木 茂 喜 清 水 功 雄* 宮 坂 瞳 夫*

*印 事務局兼務

宮地技報 第4号

発行日 昭和63年3月1日

発行所 株式会社宮地鐵工所

〒103 東京都中央区日本橋小伝馬町15番18号

(日本橋SKビル) TEL 03 (639) 2111(代)

印刷所 三好印刷株式会社