

丸子橋

発注者 東京都
形式 下路式アーチ橋
橋長 206m
幅員 25m
鋼重 3,370t
路線 主要地方道東京丸子横浜線
所在地 東京都大田区田園調布～神奈川県川崎市中原区
竣工 平成11年7月30日
本文P60参照



東浦 1号橋

発注者 愛知県道路公社
形 式 単純鋼床版鉄桁
橋 長 29.6m
幅 員 19.5m
鋼 重 315t
路 線 知多半島道路
所在地 愛知県知多郡東浦町
竣 工 平成10年2月27日
説明文 P 68



山ノ田地区高架橋

発注者 建設省九州地方建設局
形 式 3径間連続鉄桁 2連
橋 長 195.9m
幅 員 10.5m
鋼 重 440t
路 線 一般国道57号
所在地 長崎県南高来郡深江町
竣 工 平成10年5月
説明文 P 105



新国界橋

発注者 長野県
形 式 下路式ローゼ
橋 長 79.5m
幅 員 11.75m
鋼 重 480t
路 線 国道148号
所在地 長野県北安曇郡小谷村
竣 工 平成11年1月
説明文 P 73



鳴沢橋

新黒瀬川橋

発注者 建設省四国地方建設局
形式 下路式ローゼ
橋長 115.5m
幅員 8.75m
鋼重 670t
路線 国道197号
所在地 愛媛県東宇和郡野村町
竣工 平成10年5月
説明文 P106

発注者 長野県佐久市
形式 単純トラス橋
橋長 79.1m
幅員 6.5m
鋼重 445t
路線 市道31-2号線
所在地 長野県佐久市
竣工 平成10年6月
説明文 P68



第403工区（多の津）高架橋

発注者 福岡北九州高速道路公社
形式 3径間連続鉄桁
橋長 121.5m
幅員 8m
鋼重 1,320t
路線 福岡高速道路4号線
所在地 福岡県福岡市東区多の津
竣工 平成10年11月



都道414号歩道橋

発注者 大成、小田急、鉄建共
同企業体
形式 斜張橋
橋長 47.652m
幅員 5m
鋼重 55t
所在地 東京都渋谷区代々木
竣工 平成9年9月



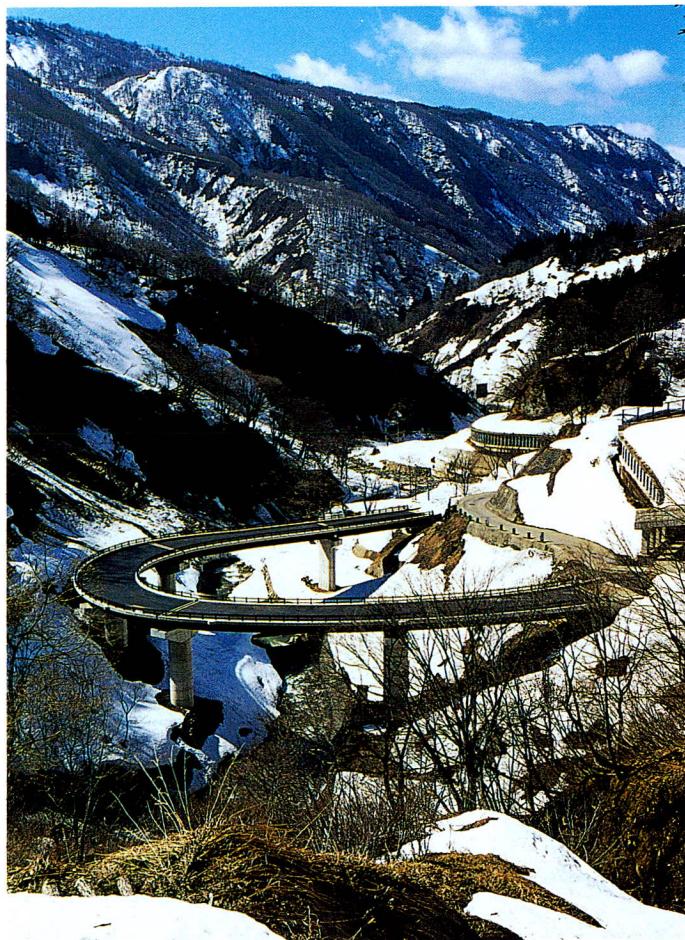
百道浜地区横断歩道橋

発注者 福岡北九州高速道路公社
形式 合成型枠橋
橋長 A橋17.4m B橋18.0m C橋18.0m
幅員 2.0m 3.0m
鋼重 35t
所在地 福岡県福岡市早良区
竣工 平成11年2月
説明文 P105



中津川大橋

発注者 埼玉県
形 式 中路式ローゼ
橋 長 207m
幅 員 12.5m
鋼 重 1,360t
路 線 国道140号
所在地 埼玉県秩父郡大滝村
竣 工 平成9年3月
説明文 P 107



小谷温泉橋

発注者 長野県
形 式 2径間連続箱桁
橋 長 60.775m (180m)
幅 員 7 m
鋼 重 143t
路 線 一般県道川尻小谷糸魚川線
所在地 長野県北安曇郡小谷村
竣 工 平成10年10月
説明文 P 80



ガイドウェイバス

発注者 名古屋市
形 式 4径間連続箱桁
橋 長 215m
幅 員 7.5m
鋼 重 550t
路 線 ガイドウェイバスシステム志段味線
所在地 愛知県名古屋市守山区
竣 工 平成10年3月
説明文 P 80



尾坂橋 1号橋

発注者 建設省関東地方建設局
形 式 ニールセンローゼ+

2径間連続箱桁

橋 長 238m
幅 員 16.7m
鋼 重 1,920t
路 線 国道145号
所在地 群馬県吾妻郡長野原町
竣 工 平成11年3月
説明文 P107

温見橋

発注者 滋賀県
形 式 単純箱桁
橋 長 35m
幅 員 8.7m
鋼 重 82t
路 線 山東本巣線
所在地 滋賀県坂田郡伊吹町
竣 工 平成10年8月31日
説明文 P106



西中 IC橋

発注者 愛知県
形 式 2径間連続箱桁
橋 長 74.62m
幅 員 8.1m
鋼 重 170t
路 線 国道419号
所在地 愛知県知立市西中町
竣 工 平成10年3月
説明文 P59





B Y 524工区(2-2)高架橋

川登橋

発注者 広島県
形 式 ラーメン橋
橋 長 77m
幅 員 11m
鋼 重 280t
路 線 国道433号
所在地 広島県山県郡加計町
竣 工 平成10年6月
説明文 P 59

発注者 首都高速道路公団
形 式 6径間連続鋼床版箱桁
橋 長 176m
幅 員 29.5m
鋼 重 1,930t
路 線 高速湾岸線
所在地 神奈川県横浜市磯子区
竣 工 平成10年1月



第403工区(戸原)高架橋



発注者 福岡北九州高速道路公社
形 式 3径間連続鋼床版箱桁
橋 長 223m
幅 員 20.4m
鋼 重 2,740t
路 線 福岡高速4号線
所在地 福岡県糟屋郡粕屋町
竣 工 平成10年11月

新三国大橋

発注者 茨城県
形 式 ニールセンローゼ
橋 長 808m
幅 員 10.5m
鋼 重 900t
路 線 国道354号
所在地 茨城県古川市牧野
竣 工 平成10年11月
説明文 P106



第207工区(御笠川)高架橋



発注者 福岡北九州高速道路公社
形 式 2径間連続鉄桁、3径間連続箱桁
橋 長 220.5m
幅 員 10.5m
鋼 重 1,370t
路 線 福岡高速2号線
所在地 福岡県大野城市御笠川
竣 工 平成10年7月
説明文 P68

卷頭言

深い谷を渡る長スパンアーチ橋の代替案の思いつき —新しい構造型式への挑戦に期待する—

京都大学大学院工学研究科教授 家 村 浩 和

学生時代はほとんど勉強もせず、卒業にあたっても我々教官の手をわざらわせたO君と、彼の卒業以来10年振りに会った。卒業後の就職は幸いにも大手ゼネコンに決まり、橋梁の担当となっていた。果たして上手くやっていけるのかといらぬ心配をしていたが、就職後はすっかり心を入れ直し、今はスパン長日本一のコンクリートアーチ橋の現場主任をやっているという。是非現場を見て欲しいという彼の要請で九州の山奥まで出かけることにした。橋梁を見てみたいと思ったのは当然だが、それ以上にO君の変身ぶりを知りたかったのである。

現場に行ってみると、深い谷を渡るアーチ部分は既に完成し上路部分の桁の建設中で、全体では約9割の工事が終了していた。彼もかなりの時間を割いて同アーチ橋の架設経過を詳しく説明してくれた。アーチが完成するまでは、張り出していくアーチ部をいかに支持するかが大変重要で、また危険な作業である。

架設中のコンクリートアーチにPCを入れたり、ステイケーブルで支持したり、最後はメラン桁材を入れて連結したりと、完成後には必要のない架設のための部材や作業が山ほどあるのである。その1つ1つの過程を熱心に説明してくれるO君の真摯な態度を見て、大いに感動した。興味とやりがいを感じた人間は、これほどまでに意欲的に仕事に取り組めるのかと驚いた。同時に、大学では我々が彼にこれほどの興味を与えるられなかったのだなという反省も沸いてきた。

アーチ橋は、完成後は確かに美しくかつ安定的に見える。しかし、架設のためには完成系とはあまりに異なる大規模な支持システムが必要である。このことがアーチ橋のコストをずいぶん押し上げているものと感じた。一生懸命説明してくれる彼には大変失礼なことだが、「架設系部材がそのまま完成系部材となるムダのない橋梁システムは何か?」と彼の説明の途中から、頭はそちらの方へと走り出した。

深い谷を渡る橋を架橋するには、足場が組めないからケーブルで吊り、少しずつ張り出していく以外に方法はない。斜張橋はこの架橋方法を採用できるという点で優れているが、深い谷の地形では側径間が中央径間と比べて極めて短くなる。従って、側径間の桁を中央径間のそれよりも重たくする必要がある。

アーチ橋の見学を終えて、約1日間ほどその代替案を考えてばかりいた。その結果をイラストにしたのが付図である。一見していただければこの構造の意とする所は明らかだが、蛇足ながら留意点を列挙すれば次の通りである。

- 1) 架設のための部材はほとんど完成系の部材となる
 - 2) 中央径間と側径間の重量差をカウンターウェイトで調整する
 - 3) 中央径間と側径間のケーブル力の合力の方向に塔を傾斜させ、塔に作用する曲げモーメントの低減を図る
 - 4) 中央径間は出来るだけ軽量な鋼(トラス)橋とする、このため逆吊橋構造とする
 - 5) 塔は出来るだけ低くして、斜張橋よりもエクストラドーズド橋に近いものとし、ケーブルのコストを低減する
 - 6) フレキシブルな中央径間には、グレイティング付き床版の採用など空力対策を施す
 - 7) モノケーブル方式とし、コストの低減を図る
 - 8) 桁は塔にも橋台にも固定せず、免震支承などによって弾性的に支持する。このことによって、桁全体がフレキシブルとなり、地震力を大きく低減できる
 - 9) コンクリートアーチ橋に比べ大きく軽量化され、基礎も小型で済む
- と、以上のように勝手に利点ばかり列挙した。建設のためのトータルコストも大幅に低減可能でないかと

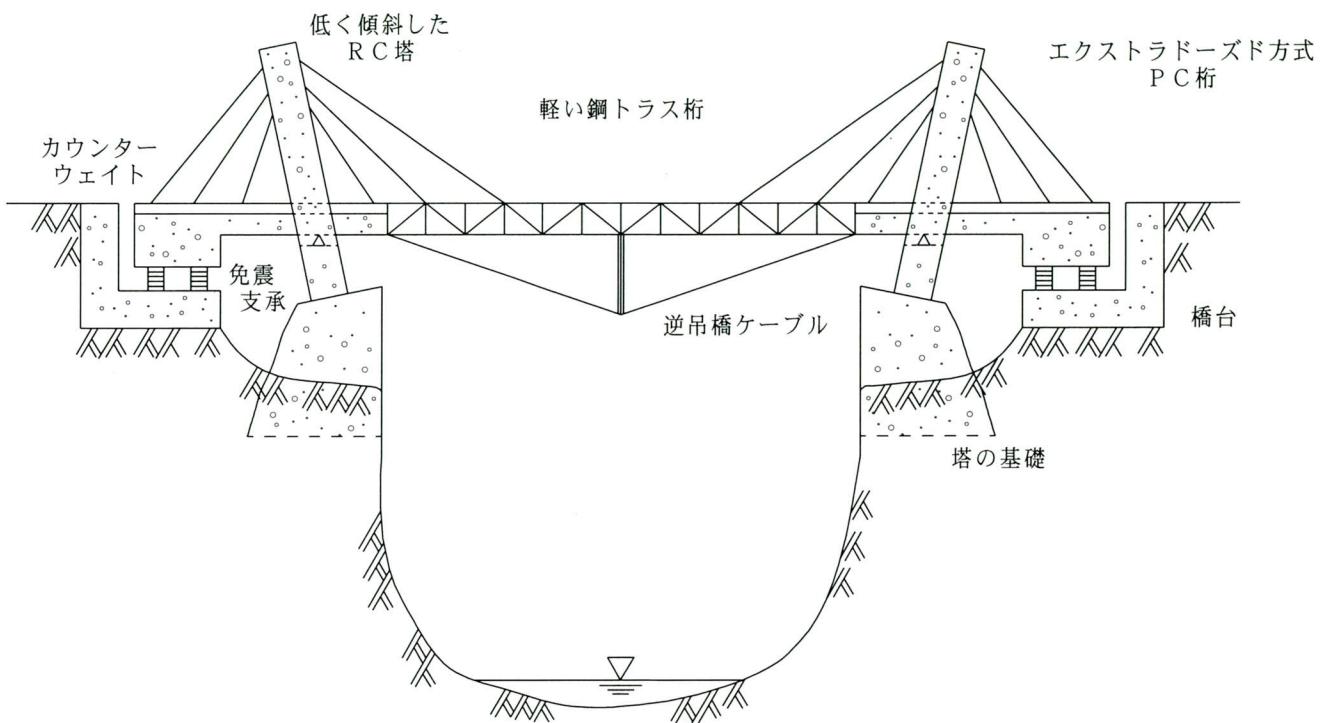
考えられる。

最近のPC技術の進歩により、長スパンのコンクリート系の橋梁が数多く建設されるようになって来ている。橋梁メーカーには橋梁を専門とする優秀なスタッフが揃っているから、より合理的な新しい構造型式の提案・開発を積極的に行っていただきたいと期待している。

地震工学が専門の著者が勝手な思いつきを書きました。ご意見ご質問は、下記までお願い致します。ホームページもご覧下さい。

e-mail : iemura@catifish.kuciv.kyoto-u.ac.jp

home address : <http://eqgate.kuciv.kyoto-u.ac.jp/Japanese/index.html>



技術評論

取締役千葉工場長 高橋陽一

私が技術に直接関わっていた昭和40年代後半の思い出として今でも鮮明に覚えているのが本州四国連絡橋に関する答申書の作成である。当時、本四架橋を前にして公団から関係各社に「自社で対応した場合に設計から架設までどのような工法で行うか」の計画書作りが求められた。我社は技術開発部を中心プロジェクトが組まれ、大鳴門橋と南備讃瀬戸大橋を選んでこれに答えることとなり、私は工場制作の部分を担当することで参画することになった。電算機(バローズB3500)が導入されて間もなくの時期で、今から考えればメモリー90KBと、玩具のようなものだがこれを駆使して応力解析等をおこなったのである。工法検討の中で議論の中心となったのが架設工法で、その可否の判別と選定が最も重要な課題となつた。大鳴門橋は面材架設工法、南備讃瀬戸大橋は補剛トラスの架設ブロックが1,000~2,000tの大ブロック工法を選択したのである。大鳴門の面材架設は、当時でも従来の架設技術の延長であり、可能性についてはそれ程問題にならなかった。しかし、南備讃の大ブロックは我社が答申の目玉とはしたもの、その大ブロックを現場の架設ピッチに合わせて工場制作する事もさることながら、架設ポイントの直下に台船で曳航してから潮流の早い中で、短時間に停止させることができると大きな問題となつた。四方にアンカーを張って台船を定点に止める方法で真剣に検討したのである。さらに、真下に止めた大ブロックを吊り上げるリフティングビーム(LB)は、ケーブル上(特に塔近くのケーブル角度が強い付近)で積載荷重に耐えて滑らずにケーブルに定着するはどうするか等解決すべき問題は山積した。今だからいえる事だが、これらの問題に対して一応の答えは出したものの、本当にこれが実現出来るかと考えると、理論的なつじつまは付けたもののまったく自信がない、これが本音であった。しかし、現在3ルートはみごとに完成し、供用されているのである。この間の技術の進歩は目覚しいものがある。架設関連技術だけ見ても、Dルート、Aルート、Eルートと進む毎に、主ケーブル上を移動して吊り上げるLB、明石海峡大橋で開発された補剛桁とLBの素早い連結で作業時間の大大幅短縮を可能にしたクイックジョイント、さらに来島海峡大橋でのコンピュータ制御による定点保持システムを搭載した自航台船など、まさにすばらしい最先端技術であり、世界に誇れる日本の

技術である。もし、本四架橋が1ルートだけで終わっていたらこれらの技術は開発されていなかつたであろう。こうした技術の結晶として完成した本四の橋々は、まさに技術大国日本の成果品である。

ところが最近の世論はどうだろう。本四架橋に付いて言えば、3ルートは無用だったとか、その他の公共投資についても無用の投資だ、無駄使いだ、等と出来上がった後の経済効果ばかり強調され、むしろ罪悪感が高まっている傾向である。こうした世論に対して私は疑問をもついている。このような巨大な国家プロジェクトはそうした目の損得だけで評価して良いのだろうか。本四の場合、それぞれのルートはその時代の日本の技術が集約された象徴であり、ある意味では民族の文化遺産として今後歴史に残るものである。価値の有無が問われるなら、こうした次世代へ技術文化を残す価値、効果がもっと大きく評価されてもよいのではないか。それくらいのゆとりがなければ技術立国日本の将来はあぶない。目前の世論に押されてこうしたプロジェクトを止めたら10年も経てばこれらの技術は衰退し、日本は後進国に成下がってしまうだろう。21世紀も技術先進国を保持するためには後世に残るようなビッグプロジェクトは必要である。それに技術者はもっと世論に反論し、訴えるべきだ。現状はと言えば、世論のままに沈黙しているように見える。

「技術者よ、もっと自信と誇りを持て」と言いたい。

一般から目を社内の技術に向けてみよう。民間企業である以上、品質は勿論の事、安く作る技術(経済性)の追求は不可欠である。その観点に立って考えてみると、真の経済性は狭義な思考、改革だけで得られるものではない。設計から架設まで一貫した中での追求が絶対に必要である。設計は、いかに簡単に作れるか、また製造は、いかに簡単に架設できるか、さらに架設は、将来いかに維持管理が容易に出来るか、を絶えず念頭においてそれぞれの分野を担当する事が大切であり、忘れてはならない。技報に発表される記事もこうした思想のなかでの成果であつてほしいものだ。特に宮地技報と言うからには、橋作りの宮地グループ相互に関連したものであつて、具体的には発表者に営業から宮地建設までの方々が連記されているようなものであつて欲しいということだ。最近の発表を見た限りではこの点多少の物足りなさを感じるが如何なものだろう。共感を頂ければ幸いである。

FM搭載接触式3次元座標計測器による部材計測 (仮組シミュレーション用計測システムの開発)

Measurement of Members by a Contact, Three-Dimensional Measuring Device —Development of a measuring system for temporary assembly simulation—

辻 幸 佐^{*1} 小 出 勝 雄^{*2} 高 橋 秀 幸^{*3} 岩 澤 彰 洋^{*4}
Kousuke TSUJI *Katsuo KOIDE* *Hideyuki TAKAHASHI* *Akihiro IWASAWA*

Summary

To better control the accuracy of bridge members during bridge construction by simulating the temporary assembly of the members, we developed a measuring system that combines a facing machine and a three-dimensional coordinate measurement device (METRECOM). The system was equipped with the ability to measure members up to 15-m long by mounting the METRECOM to the facing machine that could only measure single members up to 3.7-m diameter. In the development of the system, however, there was the problem of coming up with a common coordinate system as both the facing machine and the METRECOM had their own coordinate systems.

This paper reports on the performances of the facing machine, the METRECOM, and the method of combining them; also the coordinate synthesizing method, the simulation by three-dimensional CAD, and the resulting control of accuracy.

キーワード：仮組立シミュレーション，3次元座標計測，座標合成

1. まえがき

仮組立検査では、製作した部材を実際に連結することによって以下の確認および調整を行っている

- ① 部材継ぎ手部の精度（部材断面寸法の相対差による目違い、ボルト孔のズレ、部材間の隙間 等）
- ② 橋体の精度(長さ、幅、キャンバー、曲がり 等)
- ③ 仮組形状を架設で再現するための加工（パイロットホール、合わせ線 等）

仮組立を省略する場合は、何らかの方法で上記項目について保証する必要があると考えられ、当社では次のような工法に取り組んできた。

- ① パネル連続組立工法（フランジ・ウエブを組合せる工程で隣接部材も連続して組立てて精度を確保する）；宮地技報「箱桁製作の省力化工法」¹⁾
- ② スプライス調整工法（部材計測データをもとにシミュレーションを行い、ボルト孔間隔を調整して精度を確保する）；宮地技報「鉄骨製作の省力化工法」²⁾

その他隣接する2部材ごとに仮組立を行う仮組立の省力化を試行しており、現在までの実績を次章に示す。

パネル連続組立工法では、実際に連結して継ぎ手部の精度を確認しており、計測は橋体形状の精度推定を目的

とした横桁位置など格点のみでよいが、スプライス調整工法ではさらに部材ボルト孔の正確な3次元座標データが必要となる。当社ではNC野線・孔明け機（NCガントリー）あるいはCNCフライス汎用機（以下FMと称す）にて計測を行ってきたが、軸の移動方向が固定される装置での計測は、計測ポイントと計測器を一致させる微調整に時間を費やされていた。そこで、FMのラムに米国FARO社製の接触式アーム型3次元計測器（以下メトレコムと称す）を搭載し、メトレコム計測範囲を超える計測点はFMを移動させ、双方のデータを合成して部材の3次元座標データを求める方法を開発した。また、合成には3次元CADソフト（CAD KEY）を用いており、設計値と計測値をリアルタイムに照合し、計測漏れや計測ミスを表示するようにしたので報告する。

なお、FMの精度については、宮地技報「橋梁製作における大型CNCフライス汎用機と端面切削等の精密加工」3)に報告している。

2. 仮組立省略工事の実績

1994年に製作した八木沢高架橋を皮切りに仮組省略を過去15工事について行なってきたので、その実績を（表-1）に示す。

*¹ 千葉工場生産技術研究所

*² 千葉工場設計部設計開発資料課長

*³ 千葉工場製造部製造一課

*⁴ 千葉工場製造部製造二課

表一

No.	工事名称	橋梁形式	省 力 化 概 要	計測機器	備 考
I	八木沢高架橋	箱桁（曲）58台	・連続組立工法	マンモス	・6～7部材の連続組合せ
2	日高川橋	箱桁（曲）56台	・主桁部材完成後組合せ治具で初回3台、他2台組合せ	マンモス	
		钣桁（折）35台	・スプライス調整工法	NCガントリー	・横構に拡大孔採用
3	切山川橋上部工事	箱桁（直）110台	・スプライス調整工法	NCガントリー	・横構に拡大孔採用
4	油坂2号橋	钣桁（折）90台	・スプライス調整工法	NCガントリー	・主桁を含め全拡大孔採用
5	新宝高架橋	箱桁（曲）57台	・スプライス調整工法	FM	・省力化を目指し板厚差フィラー方式 ・添接版は本体より狭い控え方式
6	名和高架橋西工事	钣桁（直）156台	・エレクションピーススプライス調整工法	FM	・少主桁の合理化設計 ・現場溶接継手 ・ゴム支承
7	好間高架橋北工事	钣桁（折）92台	・スプライス調整工法	NCガントリー	
8	山ノ田高架橋	钣桁（折）35台	・スプライス調整工法	NCガントリー	
9	山田川	箱桁（曲）45台	・スプライス調整工法	FMメトレコム	
10	飛島高架橋	钣桁（折）281台	・エレクションピーススプライス調整工法	FMメトレコム	・少主桁の合理化設計 ・現場溶接継手 ・ゴム支承
11	殿台高架橋	钣桁（折）33台	・スプライス調整工法	NCガントリー	
12	水月橋	钣桁（直）35台	・スプライス調整工法	FMメトレコムとNCガントリー	
13	饒波高架橋	钣桁（直）21台	・スプライス調整工法	FMメトレコムとNCガントリー	・横構に拡大孔採用
14	新黒部	箱桁（直）58台	・スプライス調整工法	FMメトレコム	
15	共栄跨線橋	钣桁（折）20台	・エレクションピーススプライス調整工法	FMメトレコム	・少主桁の合理化設計 ・現場溶接継手 ・ゴム支承

3. メトレコムとFMによる計測

(1) メトレコム

メトレコムとは、アメリカ FARO Technologies社の3次元計測器の名称で、パソコンと接続することにより(X,Y,Z)座標値を取り込むことができる。660°回転する関節を6個持ち直径3.7mの範囲で計測可能である。(写真-1,2)

点精度は公称値で±0.18mm (2σ)。



写真-1

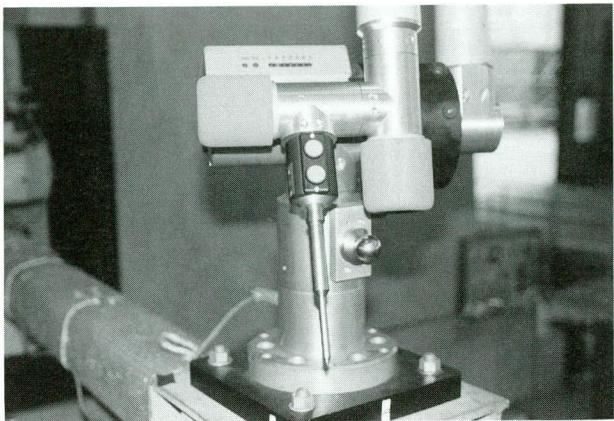


写真-2

(2) 3次元CADソフト

部材計測を行う場合は、パソコンを使用し3次元CADソフト上で動く計測ソフト Met2fm.cde”(株)ITTが作成したプログラムで、言語は C++”を実行する。

本ソフトの特徴を下記に示す。

- ① メトレコムが計測した3次元座標を読み込み、FMの3次元座標と座標軸の合成を行う。
- ② 設計値のポイントはCAD画面上の図に表示され、1ポイントずつ計測が終わると色が変わり識別できる。
- ③ 計測ポイントが、設計値とどれくらいのズレがあるかは、3次元座標 (X,Y,Z) で表示される。
- ④ 計測ポイントが、設計値に対して許容値以内であればデータ保存をする。許容値オーバーの場合は、再計測を行いポイントの確認を行う。

(3) メトレコムのキャリブレーション

キャリブレーションを行う時は、キャリブレーション用のソフト Caliper3D”を実行する。次にメトレコムの中心にある鉄のポールを、上下左右いろいろな方向からプローブ先端を接触させ27回の計測を行う。このソフトは、関節の角度とアームの長さから、自動的に補正量を求めるようになっている。なお、補正量をもとに27回のデータを再計算し、 2σ の値が表示され0.18mm以内を許容値としており、それを越えた場合は再度キャリブレーションを行う。

(4) FMとメトレコムの連動

FMとメトレコムは、パソコンを介して接続されており連動して座標が読みれるようになっている。

1) FMとパソコン

FMとパソコンが、中継BOX (LEVEL CONVERTER : FMとメトレコムとの間に位置し、FMの持つ位置情報 (X,Y,Z) の読み込みを自動的に行うための補助装置) を使用し、RS-232Cケーブルで接続する場合は、ストレートケーブル (中継BOX内でクロスしているため) を使用する。FMのプログラム O 200”でパソコンからの命令によりデータの自動読みができる。

中継BOXを使用しない直結の場合は、RS-232Cのクロスケーブルを用い、FMの O 005”プログラムで手動による読みができる。

FM側の送信パラメータは(表-2)の通りであり、パソコンをこのように設定する。

表-2 FM送信パラメーター

通信スピード	4800bps (ビット/秒)
データビット	8ビット (JIS)
パリティ	偶数
ストップビット	2ビット
フロー制御	なし

2) メトレコムとパソコン

メトレコムとパソコンは、RS-232Cで接続する。

メトレコムの送信パラメーターを(表-3)に示す。

表-3 メトレコム送信パラメーター

通信スピード	Baud Rate 19200bps (ビット/秒)
パリティ	Parameters n,8,1

計測システムの全体写真を(写真-3)に、概略図を(図-1)に示す。

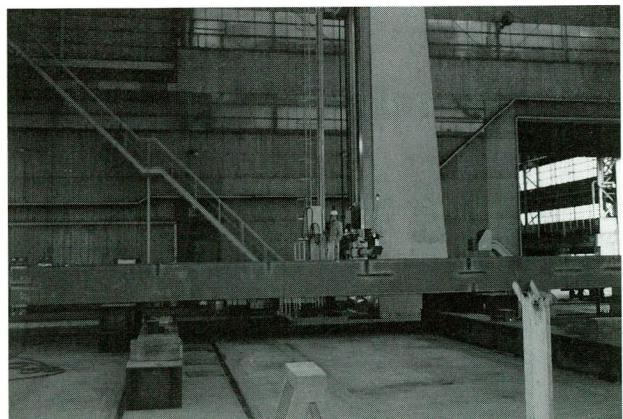


写真-3

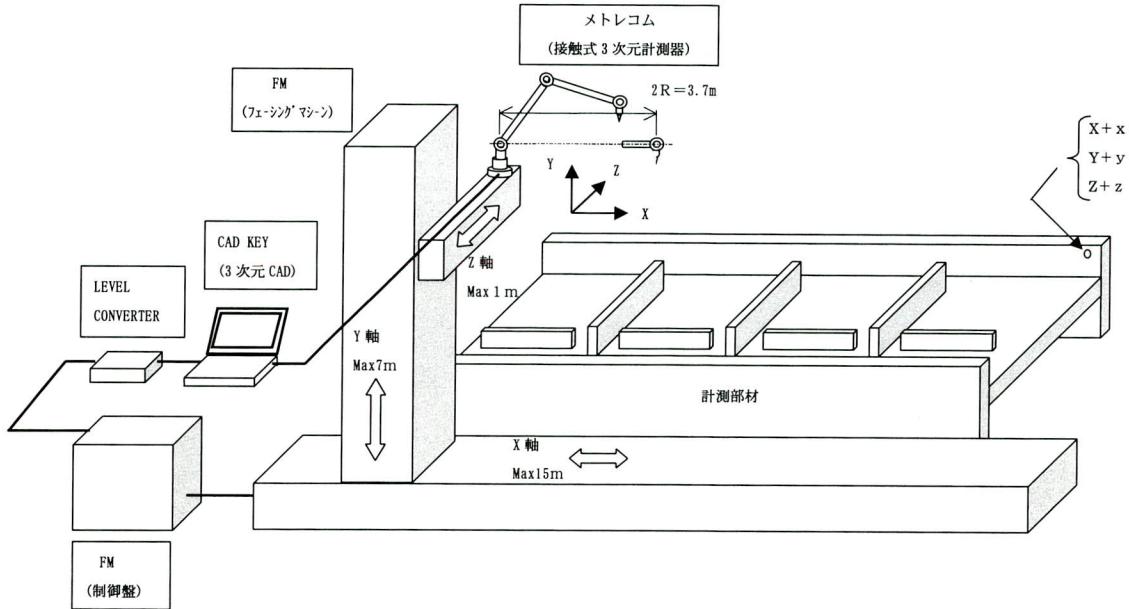


図-1 3次元座標計測システム

(5) 座標軸の合成

メトレコムおよびFMは独自の座標軸を持っているため、部材を計測するためには2つの座標軸を合成する必要がある。この座標軸の合成の方法はいろいろ考えられるが、今回行った座標軸の合成は次の通りである。

1つの固定した計測点を、各方向に移動するごとにFMに搭載したメトレコムで計3回計測することにより1つのFMに平行な面をつくり、メトレコムの座標軸をFMに一致させる。つまり、1点目を計測→FMのX軸のみ移動して1点目と同じ点を計測→FMのY軸のみ移動して1点目と同じ点を計測する(図-2参照)。これは、FMを固定してFMと平行な面の3点を計測することと同じではあるが、FMとまったく平行な面を作ることが精度的に難しい為このような方法で行っている。

(6) 計測座標と設計座標の変換

座標軸の合成が完了すると、計測する部材の座標軸を設計値の座標軸へ変換を行うために、部材の基準となる3点を計測する。

例えば、鋸歯をねかせて置いた場合は、部材端の四隅の内3点を計測し部材の基準面を作成する。基準面をもとに設計値座標に変換する。部材端の四隅を使って面を作るのは、狭い範囲であればある程、実際の部材の面との誤差が生じるからである。

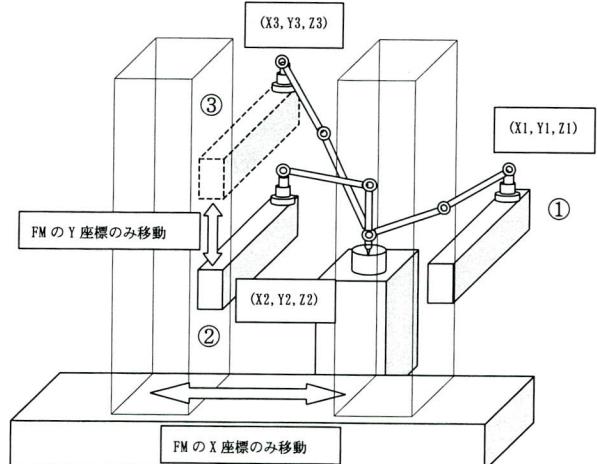


図-2 座標合成

基準3点の計測が終了すれば、どのポイントからでも計測を行うことができるようとした。設計値の中から計測値に最も近いものを選択しデータを書込むソフトとしており、計測点は計測順序に関わらず、また計測点位置を入力する必要のないものとした。部材計測の写真を(写真-4,5)に示す。



写真-4

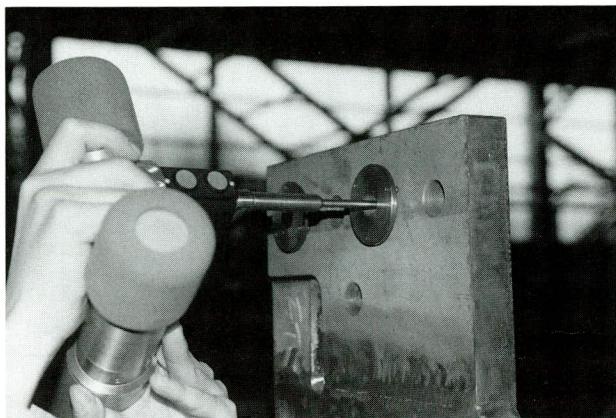


写真-5

計測範囲は、FM移動量リミット(機械座標) +3.7mである。

X軸： 0 ~ +15100

Y軸： -428 ~ +6470

Z軸： -75 ~ +1065

(7) 誤動作による計測モレや測り間違いをなくす工夫

実際に部材を計測することを考えた時に、どうすれば測りたい点を間違いなく計測できるかといろいろなケースを想定した。

実部材には、製作上の誤差の他ねじれやたわみが生じるが、各ポイントに (X,Y,Z) の各成分の想定される誤差に応じた許容値を設定するものとした。計測値と設計値の差が許容値以内であれば、そのポイントは正しく計測できたと判断し、CAD画面上の設計値白色が緑色に変化する。もし、許容値オーバーであれば白色が赤色に変化する。

化し、再計測もしくはポイント確認を業者に促すようになっている。

再計測を行なうと設計値に対する計測ポイントを1回目と2回目を比較し設計値により近い値を最終的なデータとするようにした。また、計測モレを防止するため計測データの有無によるCAD画面のポイントの色分け、および残りの計測点数を表示するようにした。

作業手順を (図-3) に示す。

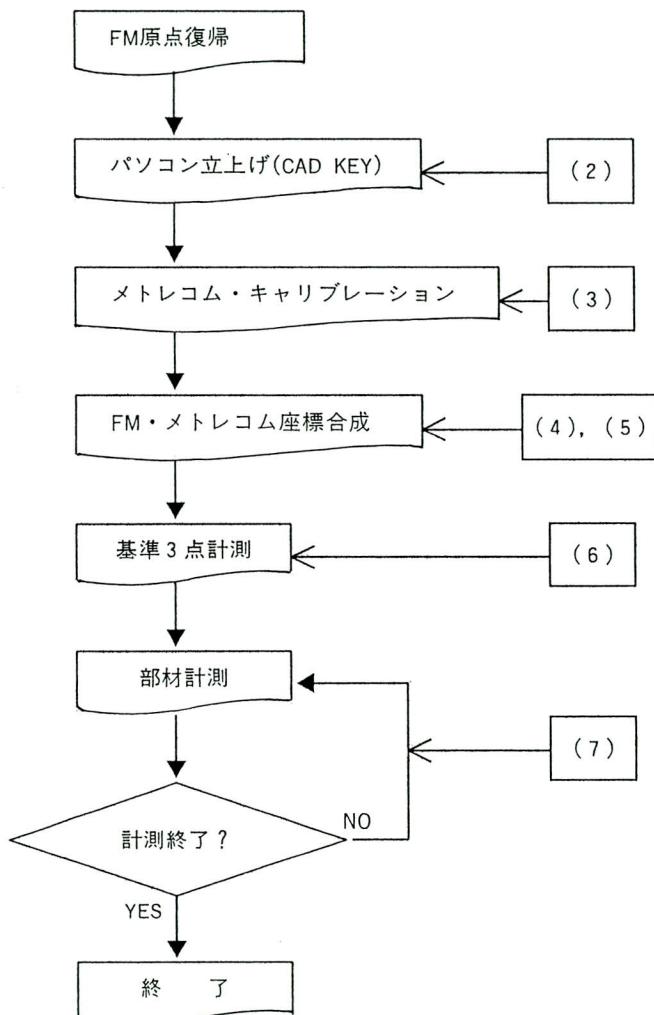


図-3 計測作業フローチャート

4. 精度確認

(1) 目的

実際の部材の計測精度と、座標合成が正しく行われているかを確認するために、原寸基準尺と校正したシナイを用いて、下記のことを計測した。(気温16°C)

(2) 方法

- ① シナイ (10m) を原寸基準尺 (張力4.75kg) で計測 (スケールルーペで目視) し、これを基準とする。
- ② FM+メトレコムでシナイ (10m) を計測する。
(最小読み取り値 1/1000mm)
②-1) FMの移動量 (10000, 0, 0)
②-2) " (10000, 1000, 0)
②-3) " (10000, 500, 500)

(3) 計測結果

- | | |
|------|-----------|
| ① | 10000.0 |
| ②-1) | 9999.941 |
| ②-2) | 10000.557 |
| ②-3) | 10000.418 |

よって、シナイを基準とすると

- 1) FMとメトレコムの合成座標によるX方向の精度
-0.1mm
- 2) FMとメトレコムの合成座標によるY方向 (1m) の精度
+0.6mm
- 3) FMとメトレコムの合成座標によるZ方向 (0.5m) の精度
+0.1mm

以上の結果を得た。

(4) 考察

基準長さの計測精度 (最小読み取り値 1/10mm) に問題はあるが、工場製作における基準である原寸基準尺を正とした場合の計測結果では、最大でも0.6mm程度の誤差と考えられ、スライス調整工法に十分適用できる精度と思われる。なお、FMの移動はなるべくX方向1軸のみとする。YおよびZ軸を移動する場合も常に同じ移動量とすることがさらに誤差を少なくする方法ではないかと考えられる。また、部材の位置をさまざまに変化させて計測し、データのバラツキ精度の確認を進めている。

5. あとがき

メトレコムは、接触式であるため信頼度の高い計測が実現でき、FMに搭載することで15mまでの部材長計測を可能にした。また、1部材50測点程度の計測を6~7台/日の効率で処理している。一方、仕口などの障害物によって計測できないポイントが生じるという「とりまわし」の問題も同時に含んでいることは避けられない(ポイントをシフトして計測する必要がある)。また、FMに搭載することでFM本来の切削作業が出来ないため、切削と計測が重なる時は工程をしっかりと管理しなければならない。

これらの問題は、新たにメトレコム専用の移動台を設置し、タンデム (2台) で計測することによって解決できると思われる。メトレコム専用の移動台と計測専用のスペースがあればメトレコムも今以上に活躍することであろう。

最後になりましたが、本システムに開発にあたり(株)ITT、(株)溝口機械製作所の関係者の方々、そして我々と一緒にになって問題解決に頭を悩ませた作業者の方々には、多大なるご協力を頂き、紙上をお借りして厚く御礼申し上げます。

〈参考文献〉

- 1) 小堀毅、森下統一、小出勝雄、伊東孝、中塚勲、茂木輝幸：連続組立工法を用いた箱桁の仮組立省略システム、宮地技報No.11, pp.160-171, 1995
- 2) 青木清、小出勝雄、堀井猛：NC機を部材計測に活用した鋸桁の仮組立省力化工法、宮地技報No.11, pp.172-179, 1995
- 3) 矢崎満：橋梁製作における大型CNCフライス汎用機と端面切削等の精密加工、宮地技報No.10, pp.139-148, 1994

1999.11.1 受付

鋼桁とRC橋脚の剛結構造に関する研究(第5報)

Rigid Structure for Joining Steel Girder to RC Pier (Part 5)

清水 功雄* 佐藤 徹**
Isao SHIMIZU Toru SATO

Summary

A hybrid rigid-frame bridge, with the steel girders rigidly joined to the piers, is attracting attention as a rational bridge structure. Hence, numerous new bridges of this type are currently being planned. The view held by the Japan Highway Public Corporation is that a standard steel bridge in the future should have two main girders. Therefore, we should establish a design method that is available and can be applied to rigid structures on a bridge with two main girders. Because of this, we did loading tests and FEM analysis of rigidly joined sections on a model bridge. Based on the experimental and analytical results, this paper discusses how to establish a design method and what tasks remain to be done.

キーワード：複合ラーメン橋，2主桁橋，載荷実験，FEM解析

1. はじめに

鋼桁とRC橋脚とを剛結する複合ラーメン橋は、耐震性に優れ、かつライフサイクルコストの縮減を図ることができる合理的な構造形式であることから、これまでに数橋の複合ラーメン橋を建設している日本道路公団をはじめとして、建設省や地方自治体においても新設橋の計画が進められており、大規模な多径間の高架橋のみならず中小支間橋梁への適用も検討されている。このように、複合ラーメン橋は今後さらに建設数が増加していく有望な鋼橋の構造形式の一つである。

このような状況に加え、日本道路公団では鋼橋の標準形式を2主桁橋と考えていることから、2主桁橋への剛結構造の適用と、様々な橋脚形状に対応するための剛結部基本構造の考え方をまとめることなどが当面の課題となっている。現行設計法¹⁾は2主桁剛結構造を考慮したものでないため、2主桁橋への剛結構造の適用を検討するに当たり、現状の問題点を整理し応力伝達と耐荷機構を明らかにして、将来の設計法に反映させるための要素実験を行うこととなった。ここでは載荷実験および実験の検証のために実施したFEM解析について、研究の概要と結果について報告し、将来の合理的な設計法の確立へ向けた課題について述べるものとする。

2. 載荷実験

(1) 実験供試体

日本道路公団の現行設計法による多主桁橋に対応した基本的な応力伝達の考え方は、主桁から横桁および横桁に設けたスタッドを介しRC橋脚へと伝達するというものである。今回の実験ではこのような考え方に基づき、主桁からRC橋脚への応力伝達経路を確認するとともに、横桁および横桁に設けたスタッドの機能を明確にすることを主な着目点とした。

横桁は橋脚の外面に配置する構造を標準と考え、横桁下フランジの向きをパラメータとした。横桁標準配置の供試体は、橋脚内にフランジを向ける内向き構造(TYPE-1C, 1C')、主鉄筋と横桁下フランジが干渉することを避け、下フランジを橋脚の外側へ向ける外向き構造(TYPE-1A, 1B)、および内向き構造でかつ横桁フランジが橋脚幅のさらに外側へ位置する構造(TYPE-3)の3種類である。また、横桁が橋脚内部に完全に埋め込まれる構造(TYPE-2)、横桁を設けず主桁フランジと同幅の補剛材のみを取り付ける構造(TYPE-1D)も合わせ、5種類のモデルを比較対象としている。

またスタッドに関しては、スタッドの許容せん断力を道路橋示方書²⁾により設計した場合(TYPE-1A)、鋼構造物設計指針³⁾による場合(TYPE-1B, 1C, 3)と設置本数を変化させ、スタッドを取り付けない場合(TYPE-

* 技術本部技術部長

** 技術本部技術部技術開発課

表-1 実験供試体の構造概要

供試体番号	横桁	横桁ウェブのスタッズ本数	横桁構造
1A	有	標準(30本)	外向き
1B	有	少数(16本)	外向き
1C	有	少数(16本)	内向き
1C'	有	無し(0本)	内向き
1D	無	—	補鋼材のみ
2	有	無し(帯鉄筋貫通)	完全埋め込み
3	有	少数(16本)	外向き

表-2 使用材料の材料特性

コンクリート	早強コンクリート 圧縮強度: $f_c=316\text{kgf/cm}^2$ 弾性係数: $E_c=2.34 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$
鋼板	SM400A材 降伏強度: $f_{sy}=3046\text{kgf/cm}^2$ 引張強度: $f_{su}=4578\text{kgf/cm}^2$ 弾性係数: $E_s=2.121 \times 10^6\text{kgf/cm}^2$
主鉄筋	SD345材 降伏強度: $f_{ry}=3807\text{kgf/cm}^2$ 引張強度: $f_{ru}=5572\text{kgf/cm}^2$ 弾性係数: $E_r=1.917 \times 10^6\text{kgf/cm}^2$

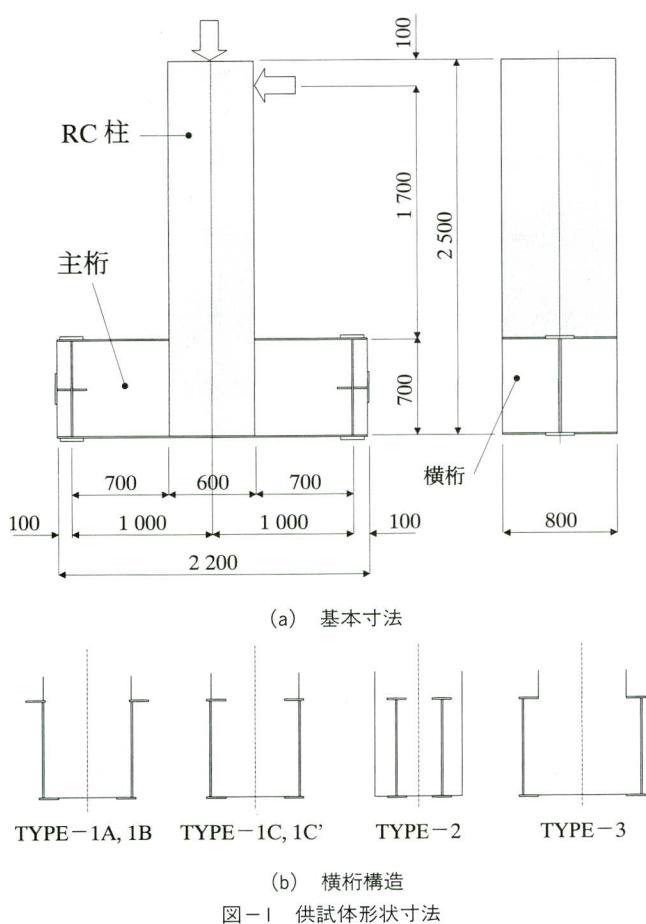


図-1 供試体形状寸法

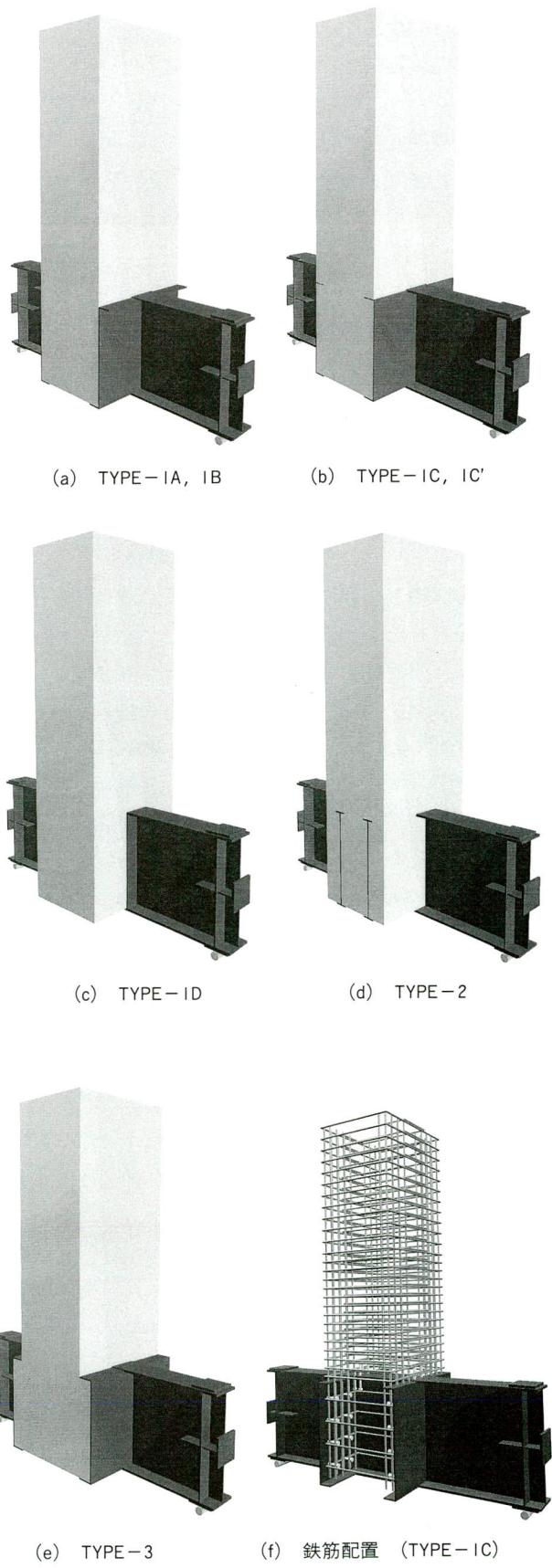


図-2 供試体構造概念

1C', 2)との比較により、応力伝達への影響を確認することにした。

供試体の鉄筋配置は原則として全て同一であるが、横桁をコンクリート内に埋め込んだTYPE-2のみは、横桁ウエブを貫通して帶鉄筋を配置している。なお、主鉄筋は横桁とスタッドの応力伝達に果たす役割がより明確となるよう、主桁フランジ幅内には配置しないものとしている。

表-1に供試体の構造概要、表-2に使用材料の材料特性を示し、供試体の基本形状寸法および横桁構造を図-1に、供試体の全体構造の概念を図-2に示す。

(2) 実験要領

供試体は実験設備の関係から水平に支持し、鋼桁端部に支点（片側固定、片側可動）を設け、RC柱端部に荷重を載荷する方法とした（図-3および写真-1）。荷重は実際の構造物と同様に、上部工の自重に相当する鉛直方向の圧縮力を柱の軸方向力として与え（柱軸方向荷重=24tf、コンクリート応力度=5kgf/cm²）、軸方向力一定下で水平荷重を与えることにより接合部に曲げモーメントを生じさせている。載荷要領は、はじめに主鉄筋に貼り付けたひずみゲージの最大ひずみが、鉄筋の降伏応力度（約3800kgf/cm²）に達するまで単調載荷を行い、このときの荷重載荷位置の水平変位を降伏変位 δ_y と定義し、 $\pm \delta_y$ を1サイクルとして $\pm 2\delta_y$ 、 $\pm 3\delta_y$ 、 $\pm 5\delta_y$ …という順序で、変位制御による交番載荷を行った。

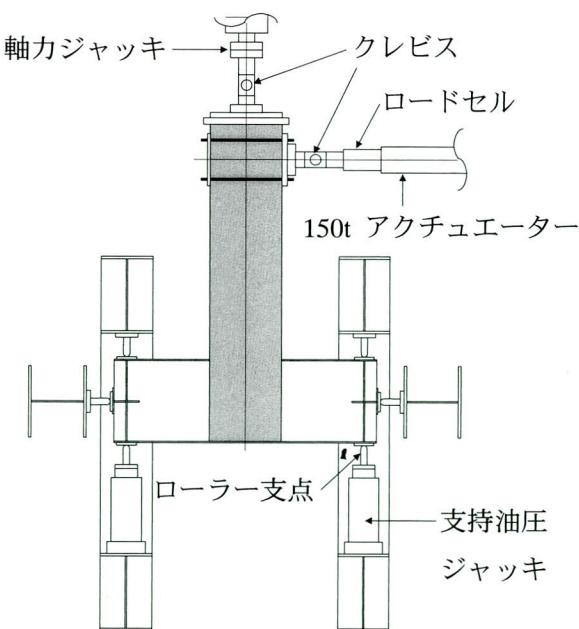


図-3 載荷要領図（平面図）

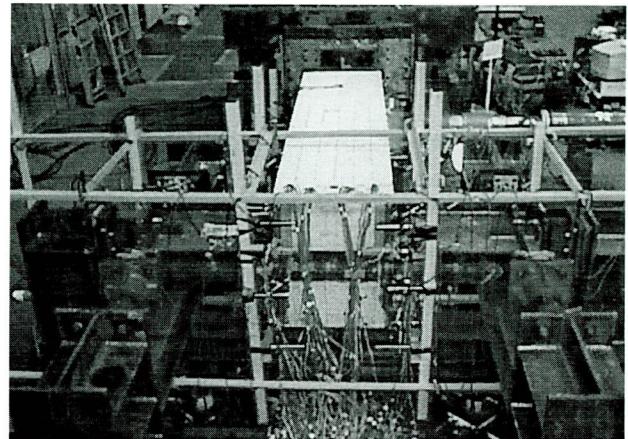


写真-1 実験状況

(3) 実験結果および考察

1) 供試体の荷重-変位関係

単調載荷実験結果から、主鉄筋降伏時の水平荷重と荷重載荷位置での水平変位量をまとめ、表-3に示す。

表-3 単調載荷実験結果

供試体番号	主鉄筋降伏荷重(tf)	降伏変位(mm)
TYPE-1A	28.90	5.77
TYPE-1B	29.85	7.61
TYPE-1C	28.30	5.97
TYPE-1C'	32.35	7.37
TYPE-1D	29.75	7.89
TYPE-2	31.10	7.99
TYPE-3	34.95	7.85

また、このときの各供試体の近似曲線により補正したP- δ 関係を図-4に示す。

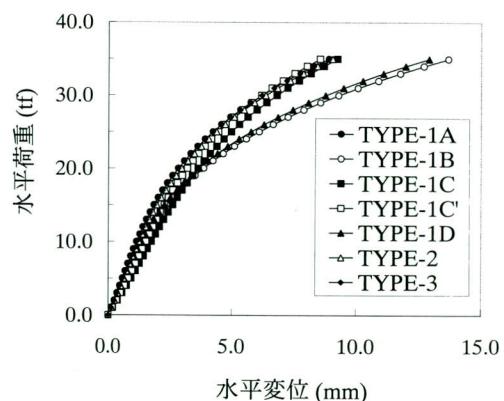


図-4 各供試体のP- δ 関係

表-3によれば、主鉄筋降伏時のRC柱の単位荷重当たり変位量は、供試体のタイプによって若干の差が生じており、スタッドを多数用いたTYPE-1Aと横桁フランジ内向き構造でスタッドを少数用いたTYPE-1Cが、他の供試体より若干小さい値であり、横桁フランジ外向き構造でスタッド少數のTYPE-1B、横桁のないTYPE-1Dおよび横桁埋め込み構造のTYPE-2が若干大きい値となっている。また図-4によれば、各供試体の初期変位勾配に大きな違いは見受けられないが、TYPE-1BとTYPE-1Dでは荷重20tfあたりから、他の供試体と比較して水平変位が増大する傾向が表れている。降伏までの荷重-変位関係を接合部の剛性と評価すれば、横桁構造やスタッド本数が接合部の剛性に影響を及ぼし、横桁フランジ内向き構造とスタッドを多数用いた場合に、剛性が高くなる傾向が窺える。

単調載荷実験に引き続き行った交番載荷実験の結果から、最大荷重と最大変位を表-4に、各供試体のP- δ 履歴曲線を図-5に示す。

表-4 交番載荷実験結果一覧

供試体番号	最大荷重(tf)	最大変位
TYPE-1A	45.90	24 δ_y
TYPE-1B	48.95	20 δ_y
TYPE-1C	45.85	23 δ_y
TYPE-1C'	44.90	20 δ_y
TYPE-1D	35.20	3 δ_y
TYPE-2	46.35	20 δ_y
TYPE-3	46.65	20 δ_y

横桁の無いTYPE-1Dを除く供試体は、最大変位20 δ_y 以上と十分なじん性を有しているが、横桁が無い構造でも3 δ_y までは他の供試体と同様の性状を示していることから、接合部内の配筋を適切に行うことで実橋に適用できる可能性は十分期待できると思われる。また、スタッド本数の違いによる影響に関しては、20 δ_y 以上については実験装置の許容変位量からの最大値であることから、供試体構造による有意差はなく、耐荷性能はほぼ同等と考えて良いと思われる。

2) 供試体の破壊形態

交番載荷実験中に生じたひびわれと、実験終了時の状況から各供試体の破壊モードを分析し、以下に整理する。

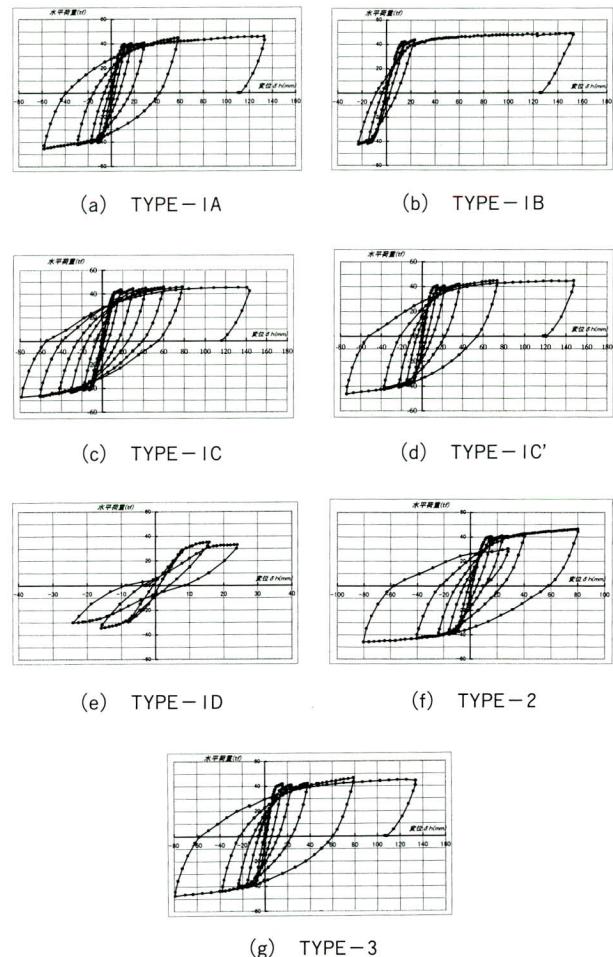


図-5 交番載荷実験によるP- δ 履歴曲線

表-5 供試体の破壊形態

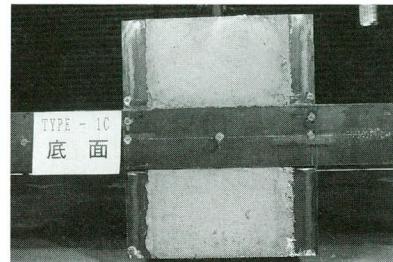
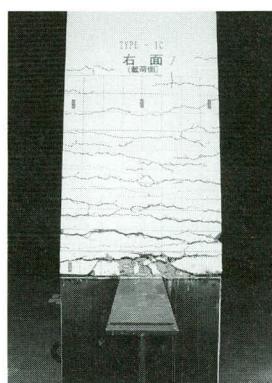
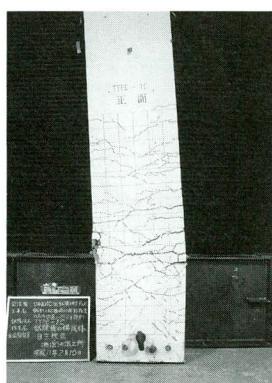
供試体番号	破壊モード	備考
TYPE-1A	RC柱曲げ破壊	
TYPE-1B	RC柱曲げ破壊	
TYPE-1C	RC柱曲げ破壊	鉄筋座屈
TYPE-1C'	RC柱曲げ破壊	せん断ひびわれ
TYPE-1D	剛結部せん断破壊	
TYPE-2	RC柱曲げ破壊	コンクリート剥落
TYPE-3	剛結部せん断破壊 RC柱曲げ破壊	3 δ_y 時せん断破壊 20 δ_y 時曲げ破壊

①RC柱曲げ破壊モード

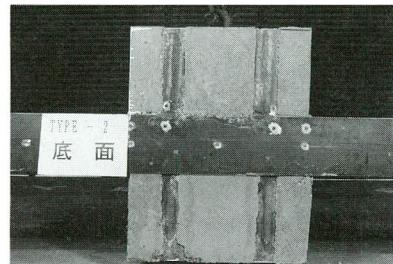
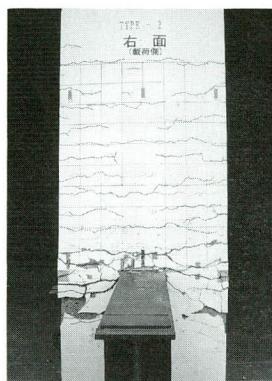
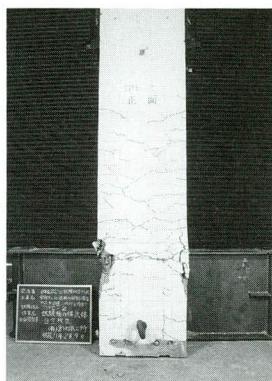
TYPE-1A, 1B, 1C, 1C'およびTYPE-2の5体の供試体は、柱部材に曲げ破壊が生じた。これは接合部の耐荷力が柱の耐荷力を上回っているためであり、横桁によって接合部の耐荷力が向上したものと考えられる。

②接合部せん断破壊モード

TYPE-1DとTYPE-3は接合部内のコンクリートにせ

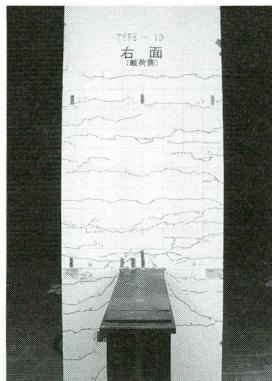
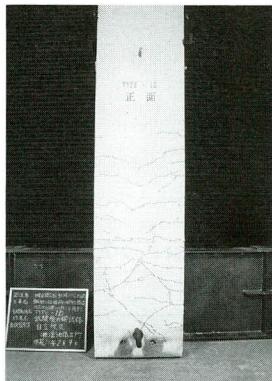


(a) TYPE-1C

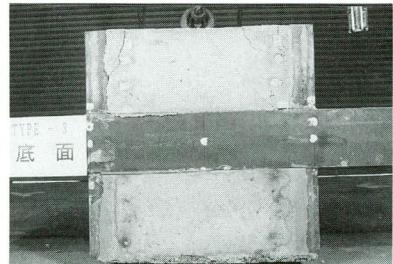
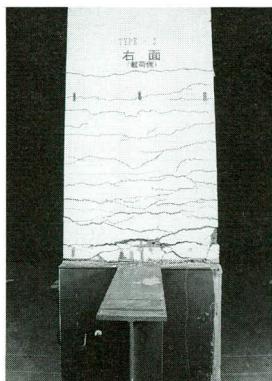


(b) TYPE-2

(A) 曲げ破壊モード



(c) TYPE-1D



(d) TYPE-2

(B) せん断破壊モード

写真-2 供試体のひびわれ性状

ん断破壊を生じた。横桁の無いTYPE-1Dは、補剛材部と外側のコンクリート間にずれが生じ、RC部材の端面には斜めひびわれが発生した。TYPE-3は横桁がRC柱厚に対してフランジ幅分外側に位置する構造であり、横桁フランジ先端位置で柱部材方向の破壊が生じた。これらは主桁または横桁によって拘束された領域と、拘束されないRC部材との耐力の差によるせん断破壊であると思われる。

以上のことから、横桁を設けた場合には接合部の耐荷力が向上することがわかった。しかしながら、TYPE-3

では横桁およびスタッドを設けたにもかかわらず、橋脚の破壊に先行して接合部内のコンクリートにせん断破壊が生じている。接合部の設計に際しては、適切な接合部構造の選定とともに、横桁およびスタッドを介した応力伝達ばかりでなく、コンクリートの破壊を予測して耐力を評価することが重要であると言える。

供試体の交番載荷によるひびわれ発生状況の代表例として、曲げ破壊モードからTYPE-1CとTYPE-2、せん断破壊モードのTYPE-1DとTYPE-3のひびわれ性状を写真-2に示す。

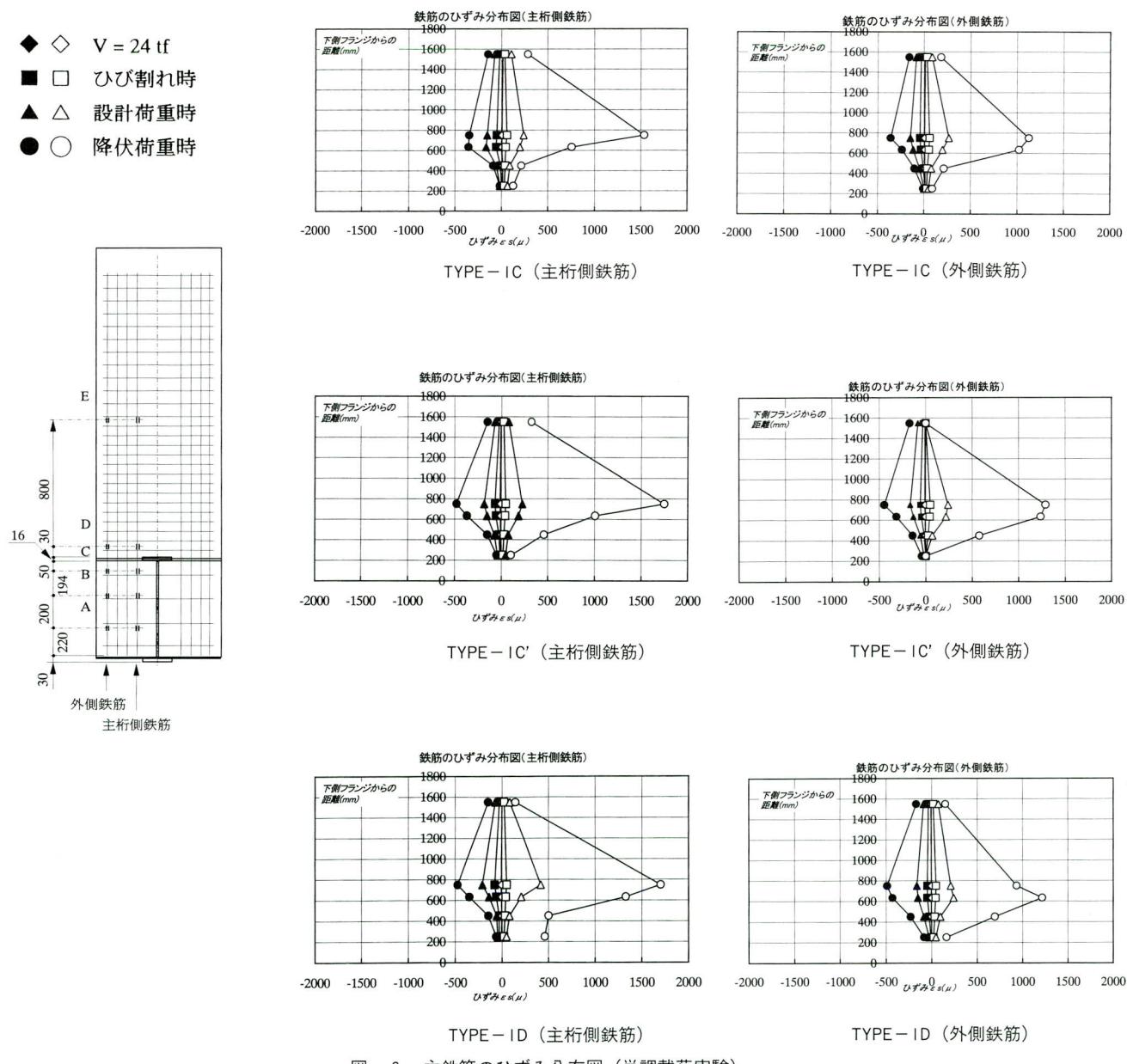
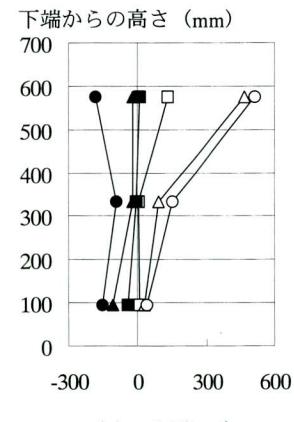
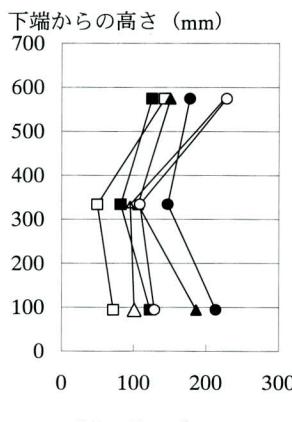
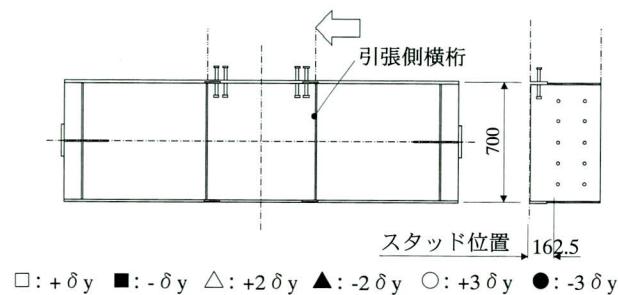


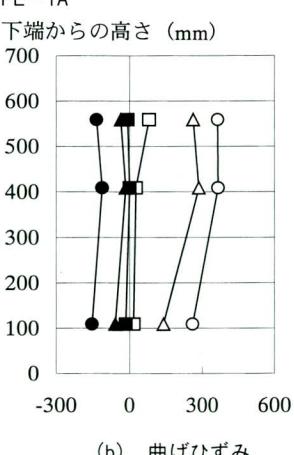
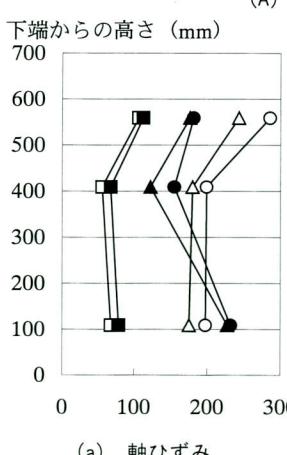
図-6 主鉄筋のひずみ分布図（単調載荷実験）

3) 主鉄筋のひずみ分布

主桁からの応力は横桁およびスタッドをRC柱へ伝達されるとした場合、主鉄筋に生じるひずみは、横桁の無い構造に比べて横桁を有する構造の方が相対的に大きな値となる。スタッドに関しても同様で、スタッドを多数用いたモデルでは少数のモデルより応力伝達が効率的に行われると考えることができる。この点に着目して、各供試体の主鉄筋ひずみ分布を比較する。代表的な結果として、同一構造でスタッド有無の違いがあるTYPE-1C、1C' と、横桁の無いTYPE-1Dのひずみ分布図を図-6に示す。



(A) TYPE-1C

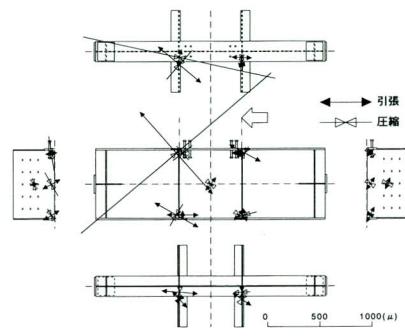


(B) TYPE-1C'

図-7 引張側横桁スタッドのひずみ分布

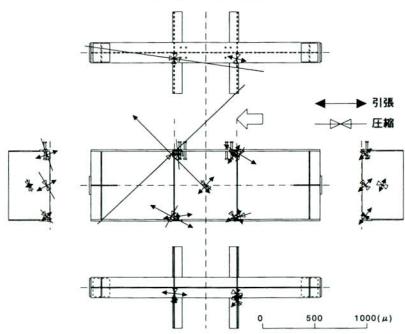
TYPE-1CとTYPE-1C'の比較においては、接合部内下フランジ側でのひずみ分布に差が認められ、スタッドを用いたTYPE-1Cが接合部内で急激にひずみが減少している様子が表れている。これはスタッドを用いた効果により、接合部内での応力伝達がより円滑に行われているためと思われる。横桁の無いTYPE-1Dでは、接合部内主桁側鉄筋先端でひずみが残留し、外側主鉄筋では最大ひずみの発生位置が下フランジ位置より接合部内に寄っている。これは横桁およびスタッドがないために、

TYPE-1A 主ひずみ分布図 (単調載荷 P = 28.9 t)



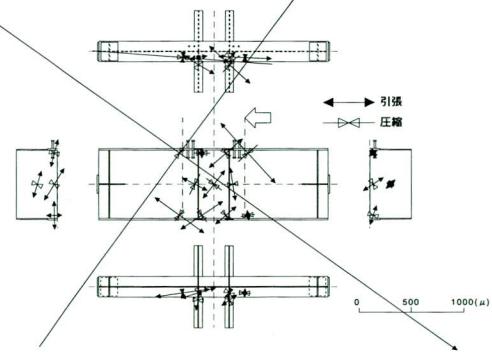
(a) TYPE-1A

TYPE-1C' 主ひずみ分布図 (単調載荷 P = 30.1 t)



(b) TYPE-1C'

TYPE-2 主ひずみ分布図 (単調載荷 P = 31.1 t)

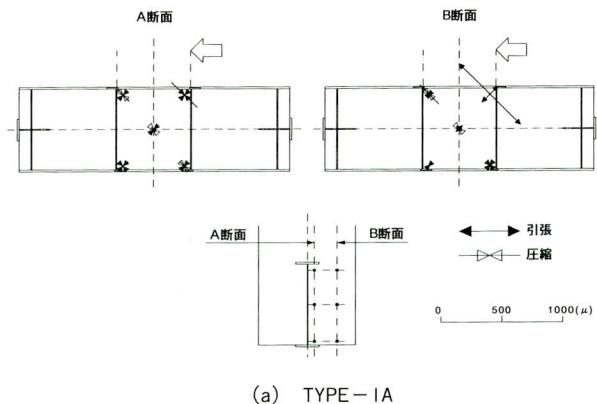


(c) TYPE-2

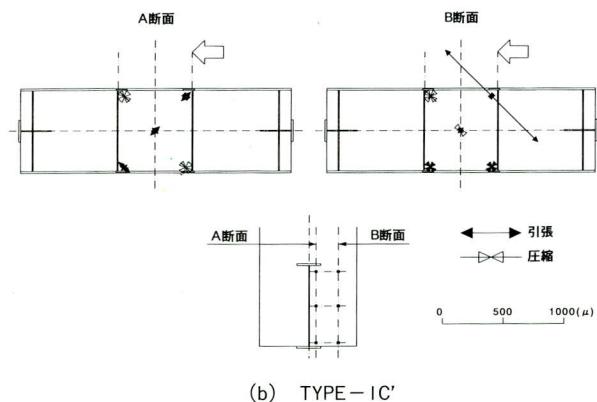
図-8 鋼桁の主ひずみ分布

接合部内での応力伝達が効率的に行われていないことを示している。ただし、横桁のない構造においても、主鉄筋ひずみは主鉄筋側、外側とも、横桁を有する構造と大差ないことから、横桁およびスタッドを介しての応力伝達ばかりでなく、主桁からコンクリートへ直接的に伝達されていると考えられる。

TYPE-1A コンクリートモールドゲージ
ひずみ分布図 (単調載荷 P=28.9tf)



TYPE-1C' コンクリートモールドゲージ
ひずみ分布図 (単調載荷 P=30.1tf)



TYPE-2 コンクリートモールドゲージ
ひずみ分布図 (単調載荷 P=31.1tf)

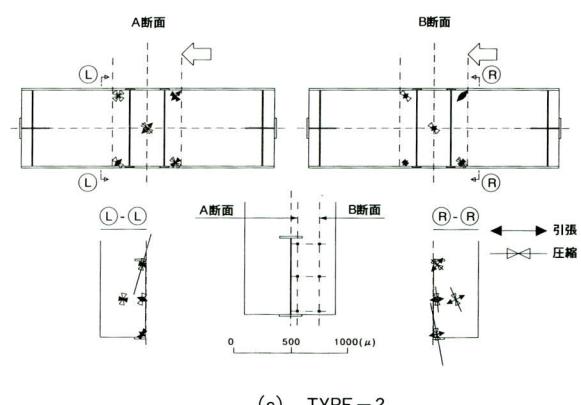


図-9 接合部コンクリートの主ひずみ分布

4) スタッドのひずみ

スタッドに生じるひずみは計算値に対して概ね小さく、交番載荷によって鋼板とコンクリート間に剥離が生じた後もひずみは増大せず、降伏するまでには至らなかった。スタッド本数による影響を比較した場合でも、供試体によって特に有意差は表れておらず、実験ではスタッドを介して応力伝達を行うという考え方の裏付けを得ることはできなかった。

スタッドのひずみ分布の例として、TYPE-1AおよびTYPE-1Cの引張側横桁での実験結果を図-7に示す。

5) 鋼桁の主ひずみ分布

主鉄筋が降伏荷重に達した時の、接合部内の主桁および横桁の主ひずみ分布を図-8に示す。標準的な横桁配置構造では、接合部内の主ひずみの方向は柱側のコーナーから圧縮応力、引張応力とも、それぞれ対角のコーナーに向かっており、接合部パネルの斜め方向に応力が伝達されている。このとき、接合部外圧縮側下フランジ近傍では既に降伏しているが、剛結部内のひずみは比較的小さい。また横桁埋め込みの場合は、接合部パネルが小さいためひずみが比較的大きく、主ひずみの方向も複雑である。

6) コンクリートの主ひずみ分布

接合部内コンクリートも鋼桁と同様に、主ひずみの方向はパネルのコーナーから対角方向へと向かっている。コンクリートひずみは相対的に小さいが、これは接合部内では鋼とコンクリートが一体化して挙動しているためであると考えられる。TYPE-1A、TYPE-1CおよびTYPE-2の主ひずみ分布図を以下に示す。

3. FEM解析

(1) 解析概要

FEM解析は当社の所有する汎用有限要素解析プログラム「MARC」を用い、図-10に示す供試体の主桁ウェブ中心線上で対称とした3次元の1/2形状モデルにより行った。

材料要素は鋼板が4節点平面シェル要素、鉄筋はトラス要素、スタッドは3次元はり要素、コンクリートは8節点ソリッド要素を用い、鋼板とコンクリートとの接合には、接触／摩擦要素を用いて面接触方向への圧縮力のみを伝達し、引張力と摩擦力は無視する条件とした。

要素の材料特性は、鋼材は素材引張試験による弾性係

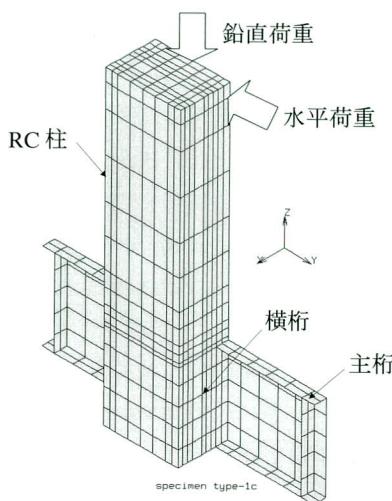


図-10 解析モデル (TYPE-1C)

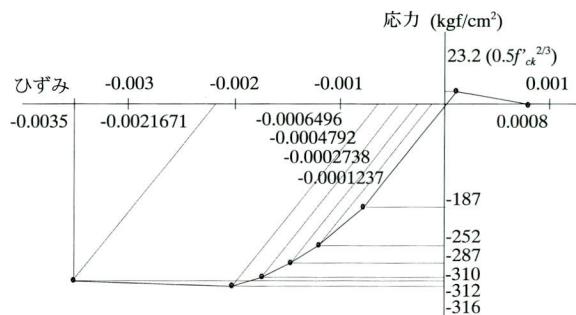


図-11 コンクリートの構成曲線

数と降伏応力度を用い(表-6)、von Misesの降伏条件による完全弾塑性体とした。コンクリートの弾性係数と強度は、圧縮試験の結果から図-10に示す応力-ひずみ構成関係を与え、Mohr-Coulomb則による破壊基準を適用した。

表-6 鋼材の材料特性

	弾性係数 (kgf/cm ²)	降伏応力度 (kgf/cm ²)
鋼板、スタッド	2.121×10^6	3026
鉄筋	1.917×10^6	3807

(2) 解析結果および考察

解析はTYPE-1B、1C、1D、2およびTYPE-3の5種類のモデルについて行った。載荷荷重は実験に合わせて、はじめに柱に鉛直荷重 (=24tf) を与え、次に水平荷重を漸増させる方法とした。まず、水平荷重と荷重載荷位置の水平変位との関係は、終局時に解析結果の剛性が若干低下する傾向にあるが、鉄筋降伏荷重程度までは実験値とよく一致している(図-12)。

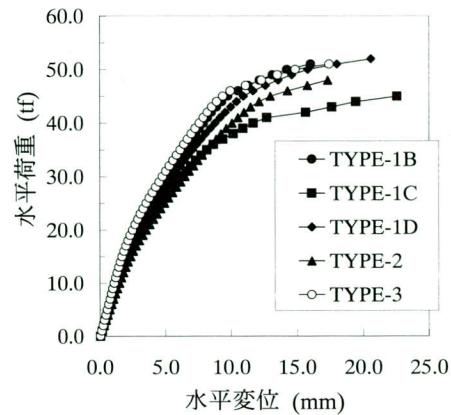


図-12 各供試体のP-δ関係

解析結果の一例として、実験における鉄筋の降伏荷重に近い水平荷重=30tf作用時の、要素全体と鋼板要素のみを取り出した状態の主ひずみセンターを図-13に示す。

要素全体においては、接合部下フランジ近傍のコンクリートに大きなひずみが生じていることがわかる。特にTYPE-2では外側のコンクリートに高いひずみの領域が表れているが、実験ではこの位置でコンクリートの剥落が生じており(写真-2)、解析結果が実際の挙動と良く合っている。鋼部材に生じるひずみでは、全体的には主桁近傍に高いひずみの領域があり、横桁には特に大きなひずみは生じておらず、横桁部材方向への広がりもあまり見受けられない。また接合部内の分布では、パネルの右上と左下に大きなひずみが表れており、実験での主ひずみと同様、パネルのコーナー部から対角方向へ応力伝達経路が確認できる。

4.まとめ

(1) 設計の基本的な考え方

今回の比較供試体を用いた載荷実験およびFEM解析の成果により、接合部における応力伝達はこれまでのような考え方によらず、鋼とコンクリートが一体となって応力伝達機構を形成するとの知見を得た。したがって、「鋼とコンクリートそれぞれの特性を評価し、予測される破壊形態に対して着目した部材の耐荷性能を照査する」ことが、設計の基本的な考え方であろうと思われる。

複合ラーメン橋は、RC橋脚と鋼桁断面の様々な組み合わせにより、接合部もまた多様な構造形態となり得るが、この考え方は構造に依存しない基本的な設計理念であると考えている。

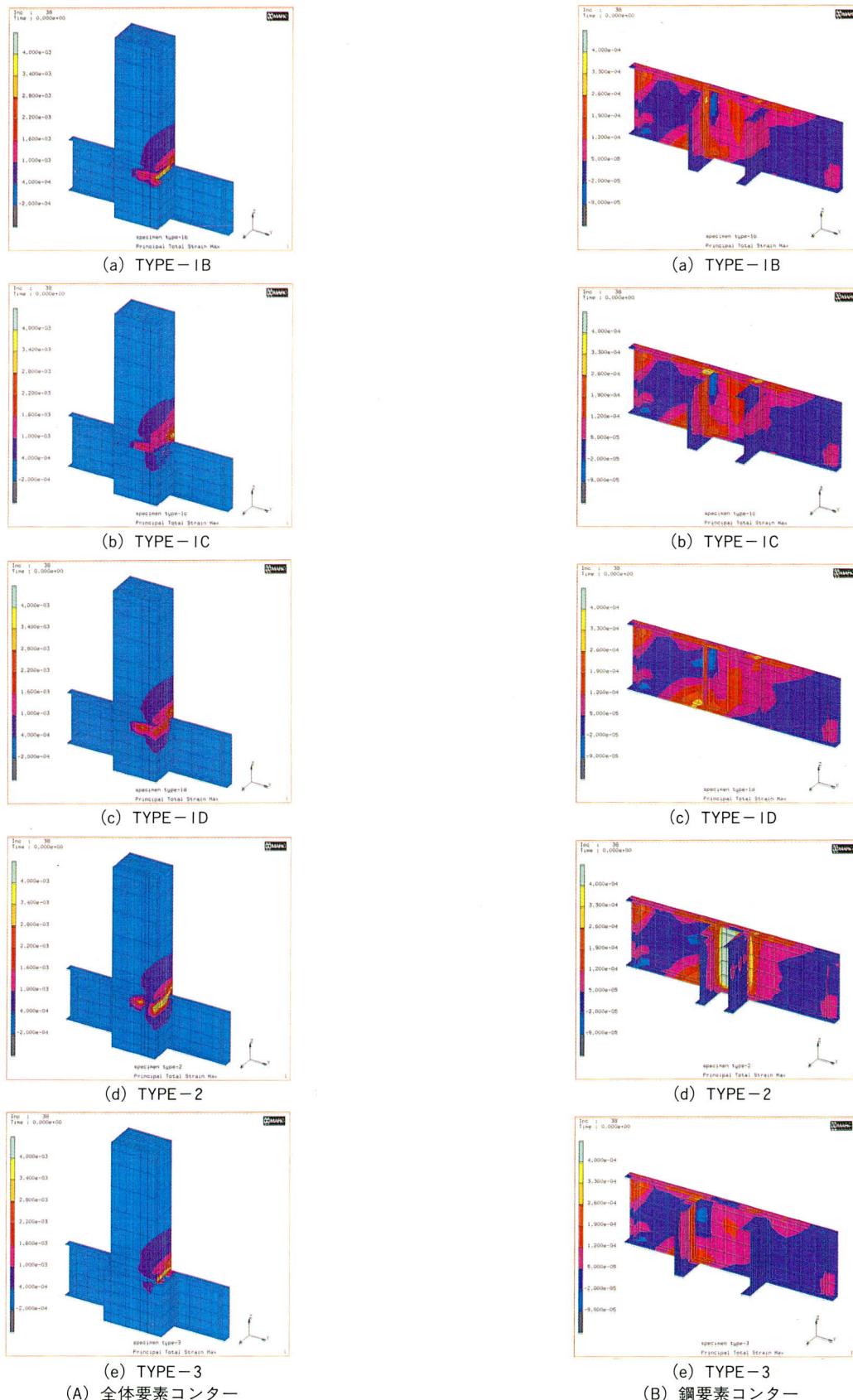


図-13 最大主ひずみコンター図

(2) 各要素部材の役割

接合部の耐荷性能の評価を検討するにあたり、本研究により明らかになった接合部を構成する要素部材の役割を述べる。

1) 横桁

横桁に生じるひずみは相対的に小さく、接合部の主要な応力伝達部材としては機能していないようである。ただし、鋼とコンクリートを一体化し剛性を高めることで、結果的に耐荷機構の一部となる要素である。

また横桁構造に関しては、終局時に接合部コンクリートのひびわれが最も少なく、性状が安定していた横桁を橋脚外面に配置する構造を標準と考えた。さらに下フランジを橋脚側に向けた場合、鋼材によるコンクリートの拘束が強まり剛結部の剛性が高る結果、他のタイプと比較してひびわれの発生が抑制されるものと思われる。したがって下フランジの向きは、施工性との兼ね合いを検討して決定すべきと思われるが、接合部の剛性を高めてより破壊を生じさせないためには、フランジを剛結部内へ向けた構造が有効である。

2) 横桁ウェブのスタッズ

横桁ウェブのスタッズは接合部の応力伝達において、横桁と同様に主要な役割を果たしているとは考え難い。スタッズによって接合部の剛性を高める効果は認められるが、スタッズを用いないTYPE-1C'でも十分な耐荷性能が発揮されていることから、設計においては鋼とコンクリート間の付着を確保し、剛性を保証する機能によって応力伝達に貢献する部材と考えることが妥当であると思われる。

3) 接合部のコンクリート

鋼とコンクリートが一体となって挙動する接合部では、パネルの対角方向へ圧縮、引張応力を伝えるというトラス機構による応力伝達経路が確認された。これにより、接合部のコンクリートは、コンクリートストラットを考えたモデル化により、圧縮力を伝達する部材として設計することが可能となる⁴⁾。

モデルを取り上げる前段の研究として、主桁がRC橋脚の中央に位置する基準モデルでの実験研究を実施した。2主桁橋を剛結する場合、橋脚幅と主桁間隔の関係により、必ずしも標準的な構造とはならないが、応力伝達機構および設計法に対する基本的な考え方は、複合ラーメン橋を計画する上で重要であり、その他各種の複合構造を設計する上でも有効なものであると考えている。

なお、本研究は日本道路公団試験研究所「鋼げたとコンクリート橋脚の剛結構造の応力伝達に関する検討」として行ったもので、実験計画の段階から橋梁研究室の安松前室長、紫桃室長、井ヶ瀬主任、長谷技師には多大な御指導をいただきました。また同時に「鋼橋の経済性に関する研究委員会」(委員長・西川 和廣 建設省土木研究所橋梁研究室長)の上下部一体W/Gとの共同研究としてW/Gのメンバーである川崎製鉄：田中氏、三井造船：小林氏、片山ストラテック：大久保氏とともに、実験を実施して頂いた川崎製鉄：熊野氏、川鉄テクノリサーチ：金子氏ら多くの御協力を得ました。また、この一連の研究には埼玉大学工学部町田篤彦教授から、多くの御助言をいただきました。ここに記して深謝いたします。

〈参考文献〉

- 1) 日本道路公団：設計要領第二集 橋梁建設編 9章 複合構造，平成10年7月
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II鋼橋編，9章 合成げた、平成8年12月
- 3) 土木学会：鋼構造物設計指針・PART B・合成構造物，平成9年版
- 4) 佐藤，清水，太田，町田：複合ラーメン橋の接合部設計法に関する一提案，構造工学論文集，Vol. 45A, 1999. 3, pp.1431~1438
- 5) 長谷，井ヶ瀬，清水，田中，小林，大久保：鋼桁とRC橋脚の鋼結部応力伝達機構に関する実験的考察，第4回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，1999年11月，pp.207~212

1999.11.1 受付

鋼2主桁橋の複合化対応を考慮し、2主桁構造の実モ

耐候性鋼材を使用した橋梁の経年調査(その2)

Periodic Examination of a Bridge Made of Weathering Steel (Part 2)

高橋秀幸* 宮坂淳一*
Hideyuki TAKAHASHI Jun-ichi MIYASAKA

Summary

In recent years, an increasing number of bridges have been given corrosion-prevention treatments designed for economy and endurance to reduce their maintenance costs. One treatment is the use of unpainted, weathering steel for bridges so they never need painting. The use of such steel for corrosion prevention assumes stabilized rust will form on its surface. This is thought to generally take about 5 years to form.

This paper reports results of a follow-up examination of an unpainted weathering steel bridge, which was made to acquire knowledge about the formation of stabilized rust.

キーワード：耐候性，安定錆，無塗装，暴露試験，腐食，防食，防錆

1. まえがき

耐候性橋梁に関する調査研究は1955年頃より始まり、JISによる無塗装用鋼材の規格化(SMA材)は1968年であった。しかし構造物としては耐候性鋼材に塗装を施したSMA-P仕様(1983年JIS改訂による)が基本であり、無塗装のSMA-W仕様はほとんど施工されていないのが現状であった。これは耐候性鋼材に塗装を併用することによって塗膜が長持ちするという考えが先行し、また無塗装による防食問題やその環境に見合った安定錆生成過程の実証データが少なかったことなどに後押しされたものと思われる。

鋼橋はコンクリート橋に比べ維持管理費が高いことから不利であると判断されることが多いが維持管理費の主なものとして再塗装が上げられる。近年、塗装費・人件費等の高騰により維持管理費の軽減が必要とされ、それを目的とした耐候性鋼材の無塗装SMA-W仕様による適用が増加する傾向になった。

そこで耐候性鋼材の無塗装の腐食問題として、長期における調査結果が製造各社から報告され、当社においても1977年以降、約30橋の耐候性無塗装橋梁の施工実績をもとに、1986年に竣工した横尾1号橋(千葉県鴨川市)の追跡調査中間報告を行った。本報告は横尾1号橋の架設後10年を経過した耐候性調査および1988年に竣工した協雄大橋(秋田県雄和町)を追跡調査した結果について報告

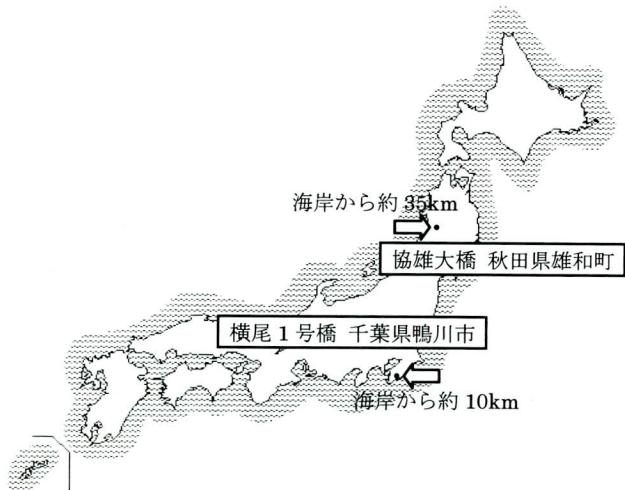


図-1 橋梁の位置

する。

2. 調査概要

横尾1号橋および協雄大橋の調査時期および調査の対象とした桁を以下に示す。また、錆の安定化に至るまでの経緯を定性的・定量的に観察することを目的に暴露試験片を取り付け調査を行った。

* 千葉工場製造部製造1課

(1) 横尾1号橋の諸元

- ① 橋梁位置：千葉県鴨川市（海岸から約10km・山間部）
- ② 調査時期：1986年～1996年
- ③ 調査対象：3径間連続非合成板桁〈A1～P3〉
単純RC床版合成板桁〈P3～A2〉
- ④ 暴露試験片調査：外観写真撮影
腐食量測定（重量測定）
減厚量測定（板厚測定）
フェロキシル試験

(2) 協雄大橋の諸元

- ① 橋梁位置：秋田県雄和町（海岸から約35km・山間部）
- ② 調査時期：1988年～1998年
- ③ 調査対象：単純合成板桁〈A1～P1〉
3径間連続非合成箱桁〈P1～P4〉
- ④ 暴露試験片調査：外観写真撮影
腐食量測定（重量測定）
減厚量測定（板厚測定）

また暴露試験片調査の他に、実橋調査として調査時点における錆の状況調査を行った。



写真-1 横尾1号橋



写真-2 協雄大橋

3. 実橋調査結果

実橋調査では主桁外面・内面の上下フランジ・ウェブおよび対傾構・横構・横桁・縦桁の、錆の色調・粗密・剥落について調査した。協雄大橋の調査結果を表-1に示す。また、錆の粗密・剥落の判定を行うための評価基準を作成し表-2に示す。

4. 暴露試験片調査結果

架設時、実橋に試験片を取付け調査時毎に取り外して、先に示した項目の調査を行う。横尾1号橋はP3支点上の各主桁にSMA490Wを取り付け、協雄大橋はA1支点上G4桁およびP1支点上G1桁に各種材質のものを取り付けた。横尾1号橋の暴露試験片取付位置を図-2に示し、協雄大橋の暴露試験片取付位置を図-3に示す。

(1) 外観写真撮影

暴露試験片の発錆状況を写真撮影し経年毎にまとめ、

横尾1号橋を表-3に示す。また、協雄大橋を表-4に示す。

横尾1号橋は設置位置が中間支点上であり発錆が一様である。暴露期間が増す毎に錆が黒褐色になり粒子も微細化していくことが分かる。協雄大橋はA1支点上に設置した試験片が暴露当初は斑な発錆であり表面が白く、徐々に変化している。これは端支点上で遊離石灰の垂れや伸縮継手からの漏水等の影響と考えられる。P1支点上は、暴露3年目までは目立った変化はみられず5年目以降で微細化しているようにみれる。

(2) 腐食量測定（重量測定）

暴露試験片の初期重量と調査毎に取り外し発錆を除いた（除錆）重量の差を腐食量とする。除錆方法は錆分析用処理液クエン酸2アンモニウム精製水溶液;10Wt%に、インヒビター住友化学製イビット#560;3%を添加した、1リットル溶液中に試験片1枚、液温90°C±5°Cで処理

を行う。

横尾1号橋の腐食量測定結果を図-4に、協雄大橋の腐食量測定結果を図-5に示す。

結果については腐食減少率(%)で表示した。横尾1号橋は暴露3年目まで直線的に増加しており、3年目以降ではほぼ横ばいになっている。暴露3年目以降で安定化していることがわかるが、桁の内外面・暴露方向（鉛直および水平）での有意差は見られなかった。暴露3年目から10年目にかけての腐食減少率は、3年目の平均値1.07%、10年目の平均値1.40%で、0.36%/年から0.14%/年とかなり減少している。

協雄大橋は耐候性鋼において暴露1年目から5年目にかけて勾配が徐々に変化しており、参考のために取り付けた非耐候性鋼(SM400A・SS400)は耐候性鋼に比べ未

だ増加していることがわかる。耐候性鋼の減少傾向は、A1支点上の暴露3年目平均値0.98%、10年目平均値1.45%で、0.33%/年から0.15%/年と減少しており、P1支点上は暴露3年目平均値1.53%、10年目平均値2.17%で、0.51%/年から0.22%/年と減少している。

表-1 実橋調査結果（協雄大橋）

調査位置	鋆の色調	鋆の粗密	鋆の剥落	写真No
主桁外 面	上フランジ 下面	黒褐色	◎	◎
	ウェブ	黒褐色	◎	◎
	下フランジ 上面	黄錆混在・黒褐色	○	○
	下フランジ 下面	黒褐色	◎	○
主桁内 面	上フランジ 下面	黄錆混在・黒褐色	○	○
	ウェブ	黄錆混在・黒褐色	○	○
	下フランジ 上面	黄錆混在・黒褐色	○	○
	下フランジ 下面	黄錆混在・黒褐色	○	○
内 面	端対傾構	黄錆（遊離石灰付着）	△	○
	対傾構	黒褐色	◎	◎
	横桁	黒褐色	○	○
	縦桁	黒褐色	○	○

鋆の粗密：緻密 ←◎○△×→粗大 鋆の剥落：剥落無し ←◎○△×→ 剥落大

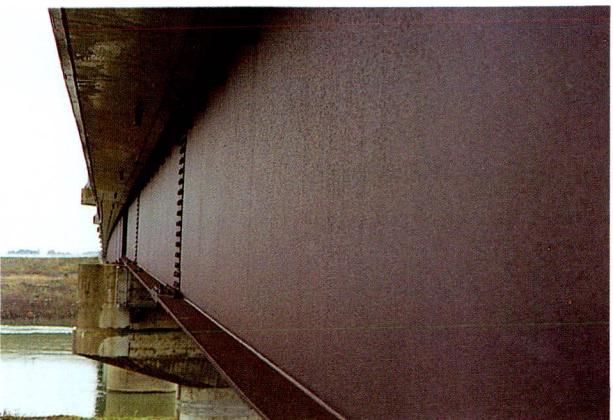


写真-3

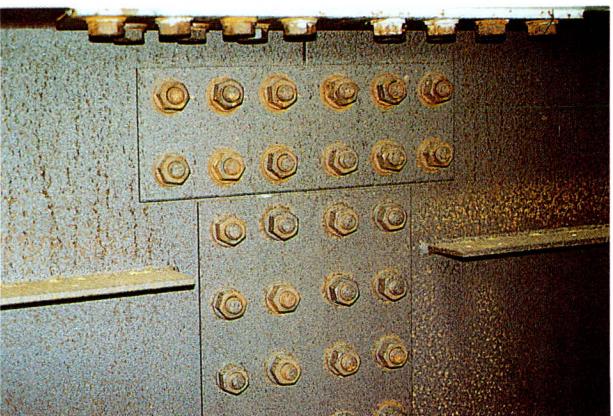


写真-4

表-2 鋆の粗密、剥落評価基準

判定	緻密（剥落無し） ←◎○△×→ 粗大（剥落大）	
鋆の程度		



写真-5



写真-6



写真-7

(3) 減厚量測定（板厚測定）

腐食量測定と同様に暴露試験片の初期板厚と調査毎に取り外し発錆を除いた板厚の差を減厚量とする。試験片

1枚につきマイクロメーターで6箇所を測定しその平均値を記録した結果を横尾1号橋について図-6に、協雄大橋を図-7に示す。

減厚量の結果は、腐食量測定結果とほぼ同様の傾向にある。横尾1号橋は暴露2年目以降で減厚量が横ばいになっており、協雄大橋は暴露1年目から3年目にかけて測定結果のばらつきが大きいがものの5年目以降で安定化の傾向を示している。

(4) フェロキシル試験

鋳の安定化を定性的に判断する方法としてフェロキシル試験がある。試験方法は緻密な定性ろ紙 (5cm^2) をフェロキシル液に浸透させ、湿ったまま発錆した試験面に約5分間貼り付ける。フェロキシル液は以下のものを使用する。

- ・フェリシアン化カリウム（黄血塩）-10g/リットル
 $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
- ・フェリシアン化カリウム（赤血塩）-10g/リットル
 $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$
- ・塩化ナトリウム -60g/リットル
 NaCl

フェロキシル試験は鋳層中のピンホールの大きさや量を調べる方法で、評価方法はピンホールが青斑点の形状・大きさと量により表示されるが、通常、鋳が安定し緻密であるほど青斑点が細かく量は少なくなる傾向にあ

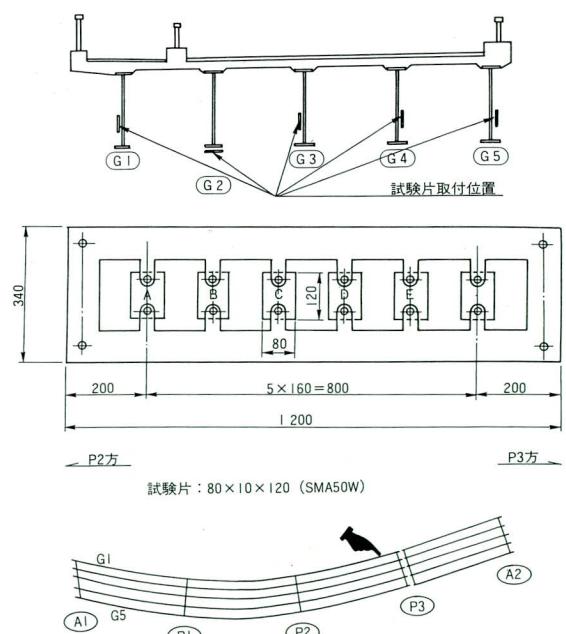


図-2 暴露試験片取付位置（横尾1号橋）

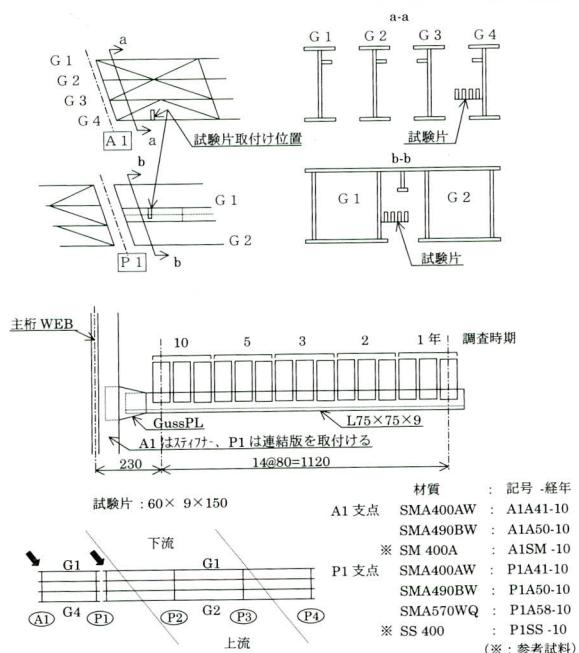


図-3 暴露試験片取付け位置（協雄大橋）

る。

試験結果として横尾1号橋のG1桁（外桁、暴露方向-鉛直）、G2桁（内桁、暴露方向-水平）、G3桁（内桁、暴露

方向-鉛直）を経年毎に表-5に示す。

G1～G3桁全てにおいて暴露5年目と暴露10年目ではっきりと有意差が認められる。定性的に暴露1年目においてかなりの発錆が進行し、以降2年目から5年目においては大きな変化ではなく、10年目で青斑点の形状・大きさが減少していることがわかる。5年目以降で鉄の表面から鉄イオンの流出量が少くなり安定化に移行したものと推定される。また、暴露方向では雨水の流れ方や剥離錆の剥落・堆積などにより結果に差がみられると予想されるが、フェロキシル試験ではそれほど変化がない結果となった。

5.まとめ

横尾1号橋および協雄大橋の耐候性橋梁を10年にわたり追跡調査したまとめとして以下のことがいえる。

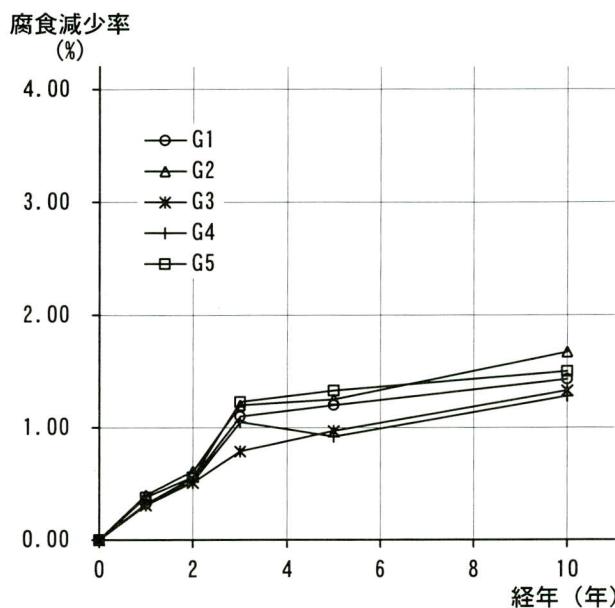
実橋調査から、主桁外面は通風性も良く雨水の流れが頻繁であることから架設後3年の時点で錆は黒色化し粒子も微細となり、外観上、安定錆に至っているようにみれる。主桁内面については端支点以外は架設後5年程度で主桁外面の表面状態に近づき、斑な錆は減少していく。端支点上は床版からの遊離石灰の垂れや伸縮継手からの

表-3 外観写真撮影（横尾1号橋）

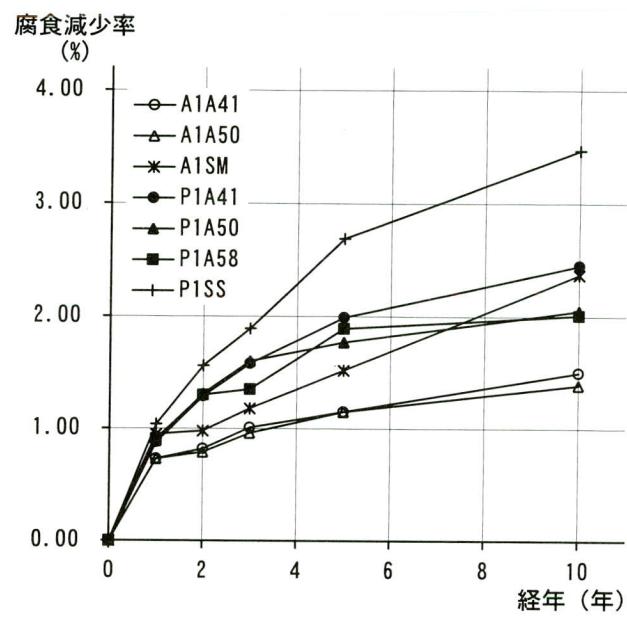
経年	1年	2年	3年	5年	10年
G1桁					
G2桁					
G3桁					

表－4 外観写真撮影（協雄大橋）

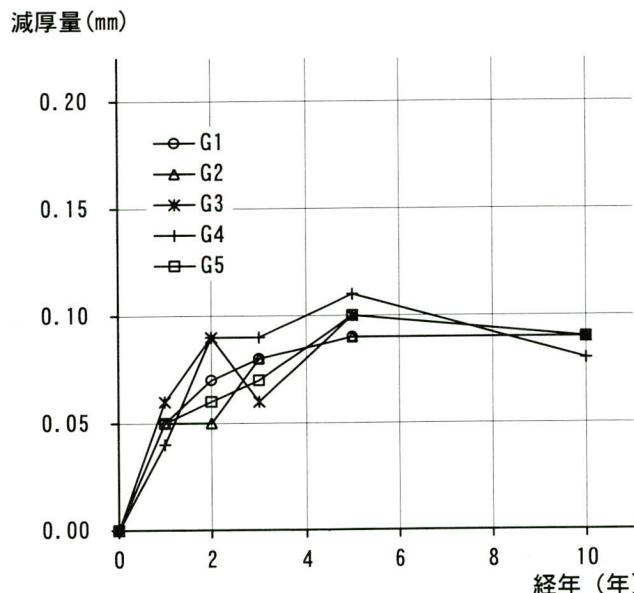
経年	1年	2年	3年	5年	10年
A 1 A 4 1					
A 1 A 5 0					
A 1 S M					
P 1 A 4 1					
P 1 A 5 0					
P 1 A 5 8					
P 1 S S					



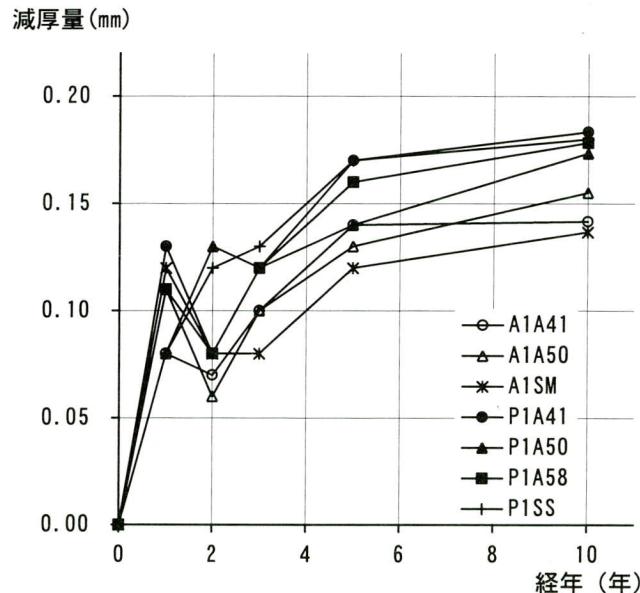
図－4 腐食量測定結果（横尾1号橋）



図－5 腐食量測定結果（協雄大橋）



図－6 減厚量測定結果（横尾1号橋）



図－7 減厚量測定結果（協雄大橋）

雨水の漏水があり、またコンクリートに囲まれ通風性が悪いため、架設後10年においても黄錆混在の斑な錆の状態の所が残る。特に端対傾構や横桁などの構造の複雑な部位は剥離錆もあり、このような個所は湿潤状態になることが予想され安定化が遅れる。しかし、それ以外の個所では横尾1号橋や協雄大橋の腐食量測定・板厚測定などの暴露試験片調査結果により、架設後13年の腐食量が微小な量であること、腐食量等の増加傾向が頭打ちとなっていることから、部位の複雑な個所においても微小な腐

食量で安定錆に移行していくものと考えられる。

架設後10年間、耐候性橋梁としての調査を行ってきたが、主要部材については架設後5年以降で安定錆に至ったものと判断した。しかし前途の通り端支点の付近の問題・構造の複雑な個所の問題などが残り、今後、耐候性橋梁を施工していく際、これらの施工時の検討が必要であることを追記し、本報告を終了する。

本調査により今後の耐候性橋梁施工に際し、何らかの参考になれば幸いである。最後に鴨川市横尾1号橋・耐

表-5 フェロキシル試験結果（横尾1号橋）

経年	1年	2年	3年	5年	10年
G 1 桁					
G 2 桁					
G 3 桁					

候性橋梁追跡調査において鴨川土木事務所の御協力を頂き、また秋田県協雄大橋・耐候性橋梁追跡調査においては秋田県土木事務所の多大なる御協力を頂いたことを付記し、関係各位に感謝の意を表する次第であります。

〈参考文献〉

- 1) 佐藤、高橋、横田；耐候性鋼材を使用した橋梁の経年調査、宮地技報 No.6 1990
- 2) 日本橋梁建設協会；耐候性橋梁データブック、1981
- 3) 建設省土木研究所、鋼材俱楽部、日本橋梁建設協会；耐候性鋼材の橋梁への適用に関する研究報告書

(I) 1983.11, (II) 1984.3, (III) 1984.3

4) 鋼材俱楽部；耐候性鋼（改訂版）、1977.3

5) 玉田ほか；耐候性鋼材使用のメンテナンスフリー橋梁、橋梁と基礎、1978.2, 3

6) 土木学会鋼構造委員会鋼材規格小委員会；耐候性鋼を用いた無塗装橋梁に関する調査研究、土木学会誌、1980.4

7) 河井、石橋；耐候性鋼材の橋梁への適用、橋梁と基礎、1981.9

8) 日本鋼構造協会技術委員会防錆防食小委員会；鋼構造物と耐候性鋼、JSSC, Vol.17, No.178, 1981.1
1999.11.1 受付

多々羅大橋上部工の架設

Erection of the Tatara Bridge' Superstructure

野澤 栄二^{*1} 佐藤 充^{*2} 鈴木 義孝^{*3}
Eiji NOZAWA Mituru SATO Yoshitaka SUZUKI

Summary

The Tatara Bridge is the worlds longest cable-stayed bridge with an 890-m-long center span. It connects Ikuchishima Island with Ohmishima Island along the Onomichi-Imabari Route, one of the routes of the three Honshyu-Shikoku Bridges. This bridge is a hybrid type; it uses prestressed concrete girders to form part of each side span to adjust the balance because the side spans are too short compared with the center span.

In the construction of the bridge, the lower part of each tower and the steel girder near the tower were first erected using a floating crane by dividing them into large blocks. Then the upper part of the tower was built of blocks using a tower crane. The PC and steel girders were then laid and connected to form each side span. The steel girders of the center span were cantilevered and added by extending the two opposite ends inward. This was done by lifting each block of the girder straight up using travelling cranes on each end.

キーワード：大ブロック架設、直下吊り架設、台風対策

1. まえがき

本橋は、本州四国連絡橋尾道・今治ルートの生口島（広島県）と大三島（愛媛県）を結ぶ斜張橋であり、中央支間長が890mで、フランスのノルマンディー橋（中央支間長856m）を抜いて、斜張橋としては世界最大級の規模である。また、中央径間に比べ側径間が短いことから側径間の一部がPC桁の複合構造形式となっている。

多々羅大橋上部工工事は、広島県側を（その1）工事、愛媛県側を（その2）工事と、2つの工事区に分けられ、当社は、三菱・川田・宮地・日立・駒井特定建設工事共同企業体として多々羅大橋上部工（その1）工事を担当した。

2. 工事概要

(1) 工事概要

工事名 多々羅大橋上部工（その1）工事
 発注者 本州四国連絡橋公団第三建設局
 工事場所 広島県豊田郡瀬戸田町大字垂水地先
 工期 平成6年1月11日～平成11年3月19日
 路線名 一般国道317号
 橋梁形式 3径間連続複合箱桁斜張橋
 ・主桁 3室箱桁
 ・主塔 逆Y型下絞り基部拡幅形式（塔高220m）
 ・ケーブル ファン型（2面21段マルチケーブル）

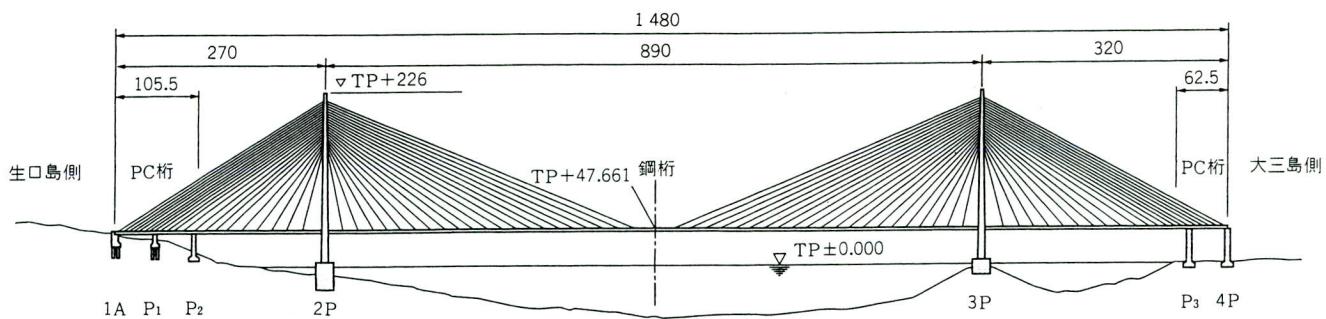


図-1

*1 宮地建設工業(株)西日本橋梁事業部工事第2部計画課

*2 宮地建設工業(株)東日本橋梁事業部MT工事部

*3 技術本部技術部技術課

主 塔 6,310t
 鋼 桁 7,760t
 ケーブル 1,880t
 橋 長 1,480m
 支 間 割 270m+890m+320m

(2) 架設概要

本工事の架設工法は、主塔は底板・塔第1段をFCによる単材架設、塔第2段から下部水平材までを一体としてFCによる大ブロック架設、塔中上部はクライミングクレーンによる単材架設で行った。鋼桁は主塔部をFCによる大ブロック架設、PC桁と鋼桁の接合部である接合桁はFCにより架設し、PC桁と一体構造とした。主塔部、接合桁架設後、側径間大ブロックをFCにより架設した。中央径間の鋼桁張り出し架設は、トラベラーカレーンによる直下吊り上げ工法で行った。

3. 架 設

(1) 塔基部コンクリート面研磨

塔基部底板下面の処理については、主塔の鉛直精度、底板と橋脚コンクリートとの密着性を確保するために研磨工法で行った。研磨作業は、走行式と旋回式の2種類の研磨機を使用して荒仕上げ・中仕上げ・精密仕上げの3段階に分けて行った。

(2) 塔基部架設

塔基部は、底板と塔柱第1段からなり、製作工場より3,000t積輸送台船で現地まで輸送し、1,300t吊FCを使用して架設した。平面据付位置の調整は油圧ジャッキを使用して行った。塔基部架設後、ボルトテンショナー(Cap

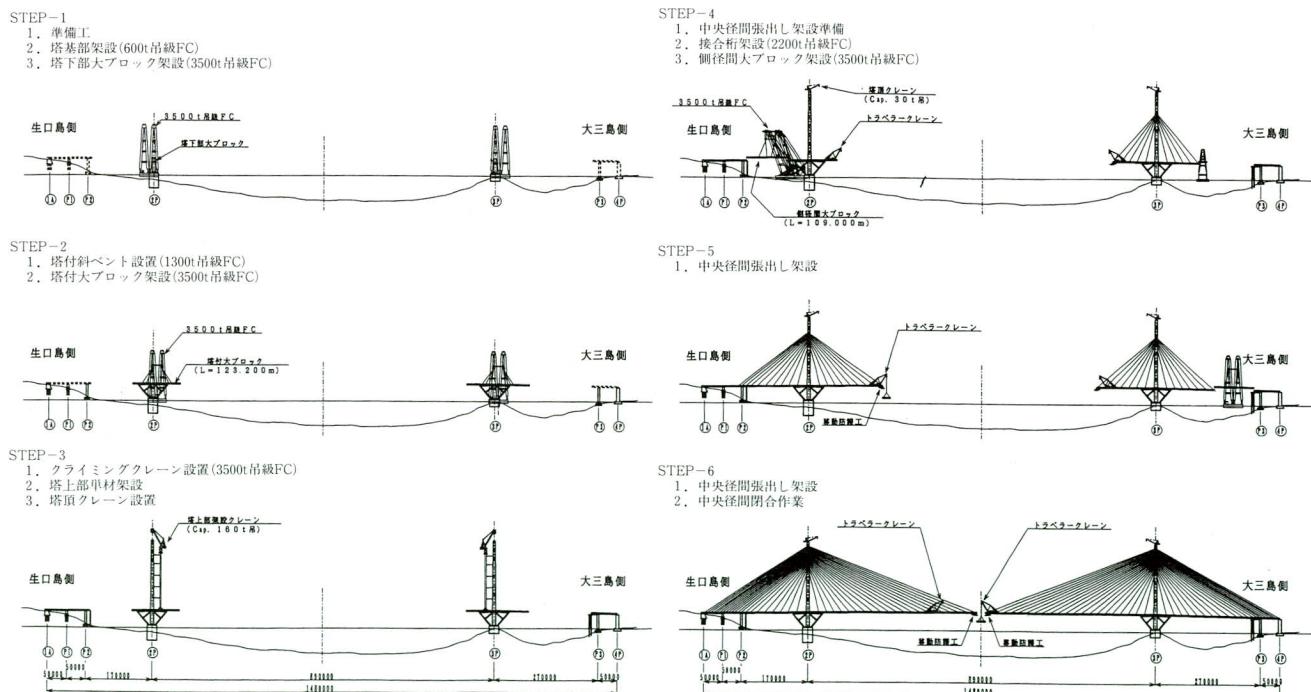


図-2 全体架設段階図

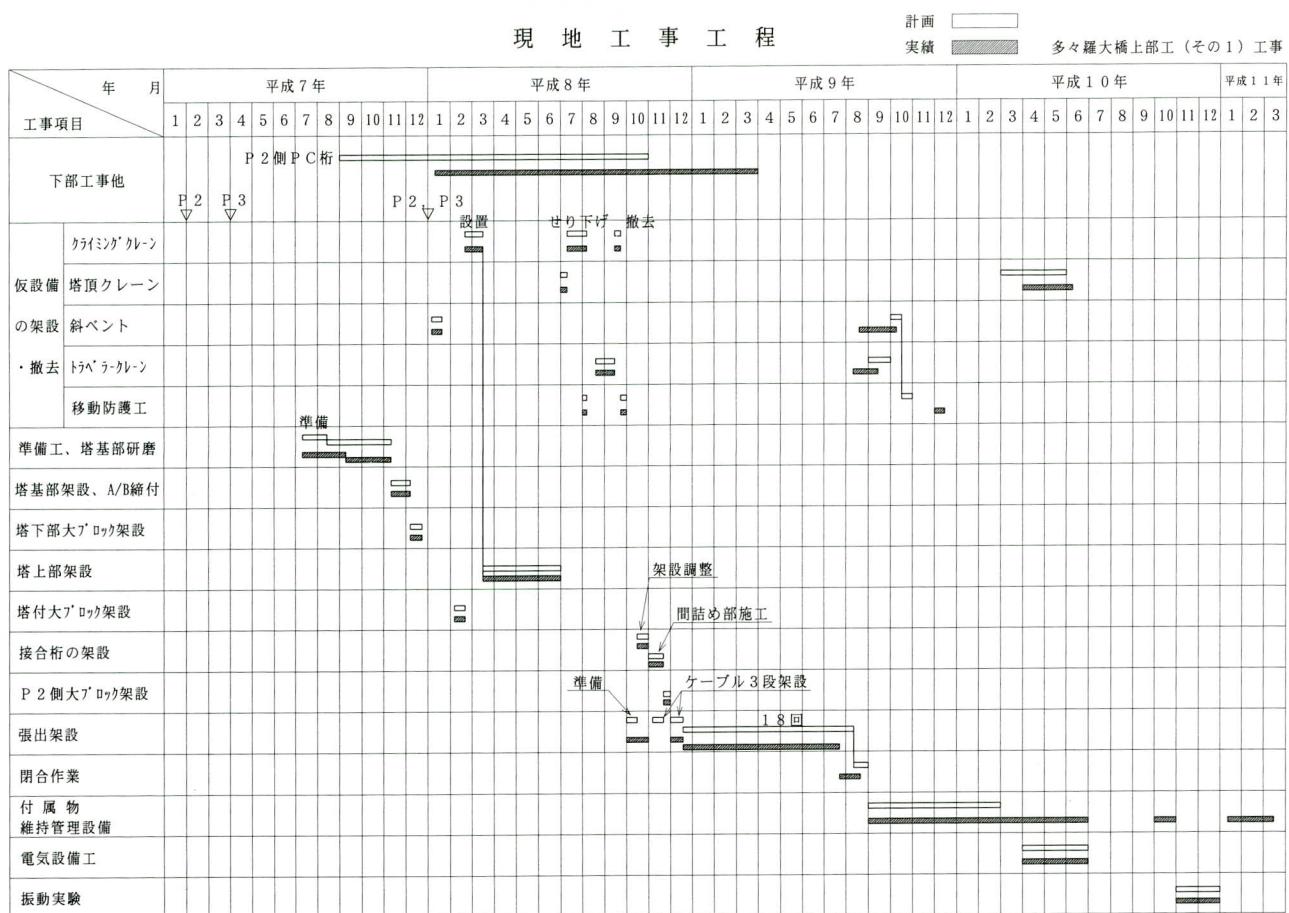


図-3 現地工事工程

650t) 2台を使用して対角線上に位置するアンカーボルトの軸力導入（設計軸力 520t）を行った。残留軸力（460t以上）の調査は、主塔架設完了時と塔架設クレーン撤去後に行い、残留軸力が509t以上あることを確認した。

(3) 塔下部大ブロック架設

塔下部大ブロックは塔柱第2段～第5段および塔下部水平材からなり、架設重量は1,500tであった。製作工場で地組立した大ブロックは16,000t積台船で現地まで海上輸送し、3,600t吊FCを使用して立て起こし、架設を行った。また、立て起こし後、自重によるタワミによりJ1仕口間隔が約2mm程狭くなるため、J1仕口上部に間隔調整設備を設置し、仕口間隔の調整を行った。

(4) 塔付主桁大ブロック架設

塔中上部架設に先立ち、架設作業スペースとなる主塔部分の鋼桁J12～J22（ブロック長L=123.2m, 架設重量W=2000t）を塔付主桁大ブロックとし、主塔部中央径間

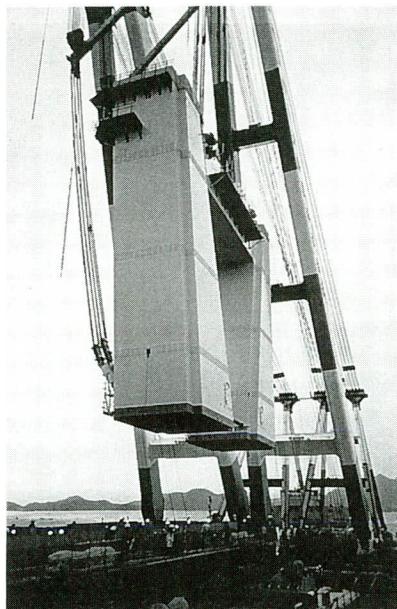


写真-1 塔下部大ブロック架設状況

側・側径間側に斜ベントを設置した後、製作工場で地組立された大ブロックを16,000t積台船で現地まで海上輸送し、3,600t吊FCにより一括架設を行った。

また、大ブロック架設位置については、後で行われる側径間主桁大ブロック架設時の作業スペースを考慮して、あらかじめ中央径間側に300mmセットバックした位置に据え付けた。

(5) 塔上部架設

塔上部部材は、第6段～第23段までの南北塔柱で計36部材あり、各製作工場より2段ずつ4ブロックを2,000t積台船で現地まで海上輸送し、塔架設クレーン(160t吊)を使用して水切り、架設を行った。主塔構造として第15段、21段の部分は、それぞれ中間水平材、上部水平材があり、南北塔柱が結合される。しかし、主塔は内側に傾斜した形状であるため、架設段階において自重により内側に倒れ込む。このため、水平材の閉合作業を容易に行うため、塔柱第10段、14段および20段に間隔調整設備を設置し、閉合時の間隔調整を行った。主塔架設時の精度管理は、工場仮組時のマーキング合わせ、メタルタッチの管理および塔の倒れ量を管理して行った。メタルタッチについては、0.04mmの空間ゲージが1/3以上入らない

箇所を密着とし、タッチ率をウェブで50%、リブで25%以上確保とした。塔倒れ量の計測は、塔体温度の安定する夜間にを行い、南北塔の橋軸、橋軸直角方向の倒れおよび塔柱表面温度を計測した。倒れ量はトータルステーションにより計測を行い、許容値は架設された塔柱高さの1/5000とした。

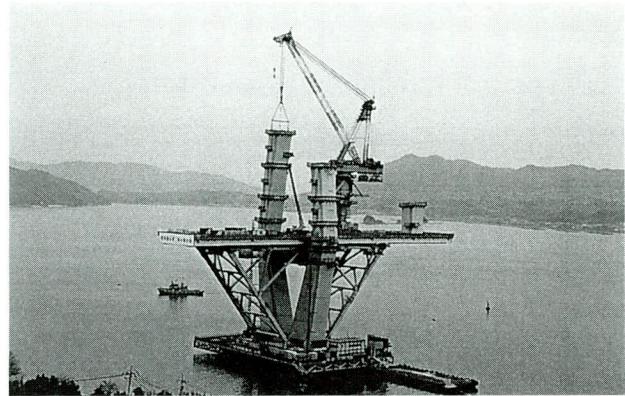


写真-2 塔上部架設状況

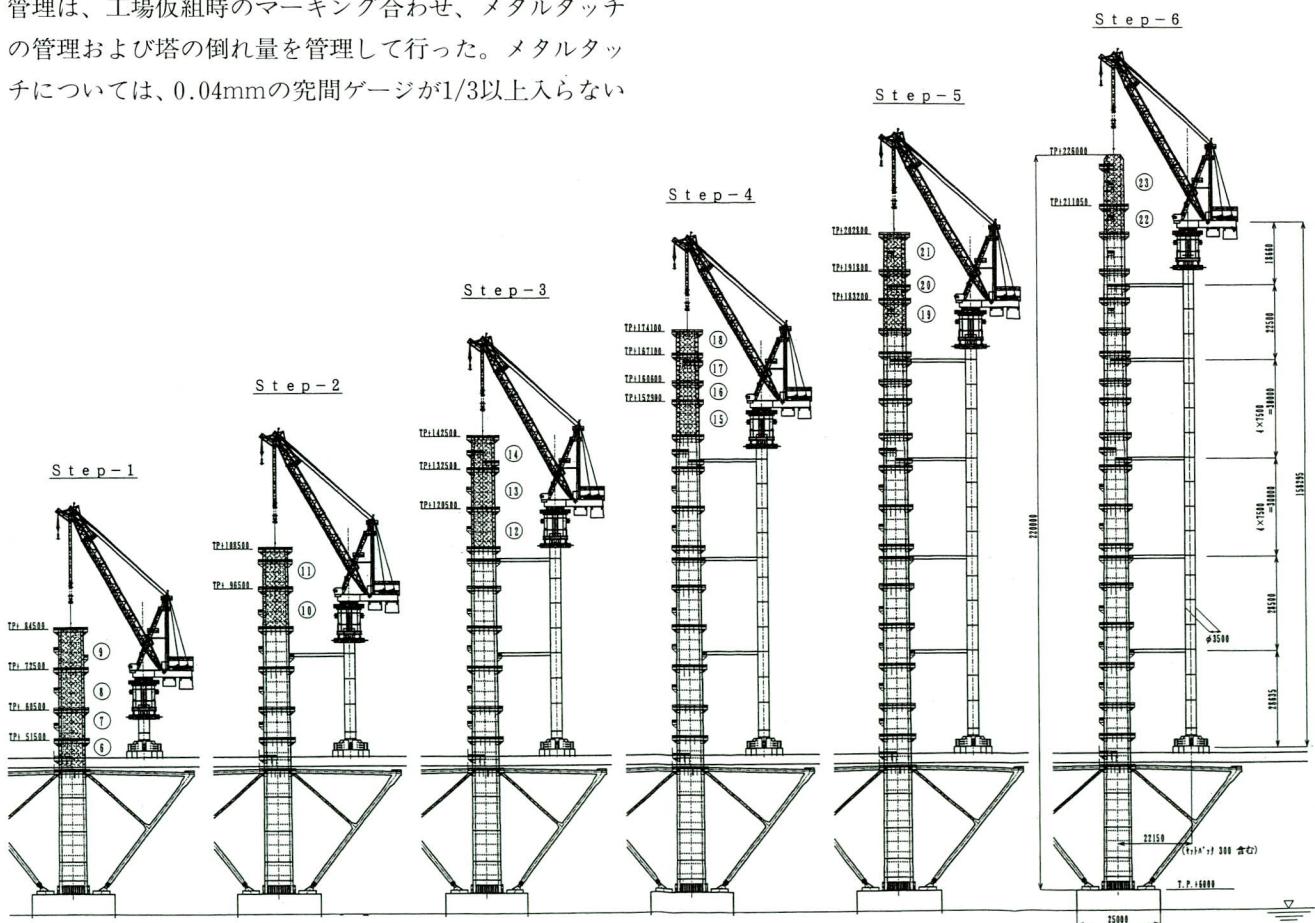


図-4 塔上部単材架設段階図

(6) 接合桁架設・剛結

鋼桁とPC桁の境となる接合桁の架設は、国道越しで架設を行うものであったため、FCの揚程、アウトリーを考慮して2,050t吊FCの補巻きを使用して行った。架設後、平面位置、高さ調整設備を使用して桁の通り、桁間距離、仕口角度について調整した。位置調整後、接合桁-PC桁間の間詰めコンクリート、接合桁内部の中詰めコンクリートを高流動コンクリートを使用して打設した。打設後、PCケーブルの緊張を行い、PC桁と接合桁を一体構造（剛結）とした。

(7) 側径間大ブロック架設

側径間側主桁のJ1～J12の部分（ブロック長L=109.0m、架設重量W=1,735t）を側径間主桁大ブロックとし、製作工場で地組立された大ブロックを16,000t積台船で現地まで海上輸送し、3,600t吊FCで一括架設した。架設作業は、FCの4フックによる8点吊とし、作業海域は水深が浅いことからFCは橋軸に対して斜め方向からの架設であったため、FCの進入角度、各フック荷重の管理を行った。側径間主桁大ブロック架設は接合桁と塔付主桁大ブロック間の落とし込み架設であるため、PC桁は施工時に1A側へ350mmセットバックした位置に施工し、塔付主桁大ブロックは、架設時に中央径間側へ300mmセットバックした位置に架設し、落とし込み時の作業スペースとした。落とし込み後、引き寄せ設備を使用して側径間主桁大ブロック-塔付主桁大ブロック間（J12）の究間を300mmに調整し、塔下部水平材上のセットバック設備（300t油圧ジャッキ：2台）で既設の塔付大ブロックを側径間側へセットバックを行った。セットバック完了後、J1側の直ベント上受点、J12側のセッティングビームに荷重を載荷させ架設を完了した。

(8) 側径間桁結合（閉合）

側径間主桁大ブロック架設後、塔付主桁大ブロック側（J12）の仕口調整を行い結合した。J12結合後、ケーブル架設、中央径間主桁単材架設を順次行い、ケーブル中央径間5段、側径間5段架設後に接合桁側（J1）の結合を行った。

塔側（J12）の結合は、仕口形状が上開きであったため、塔下部水平材上のセットバック設備で下フランジの究間調整を行い、セッティングビーム下にセットした油圧ジ

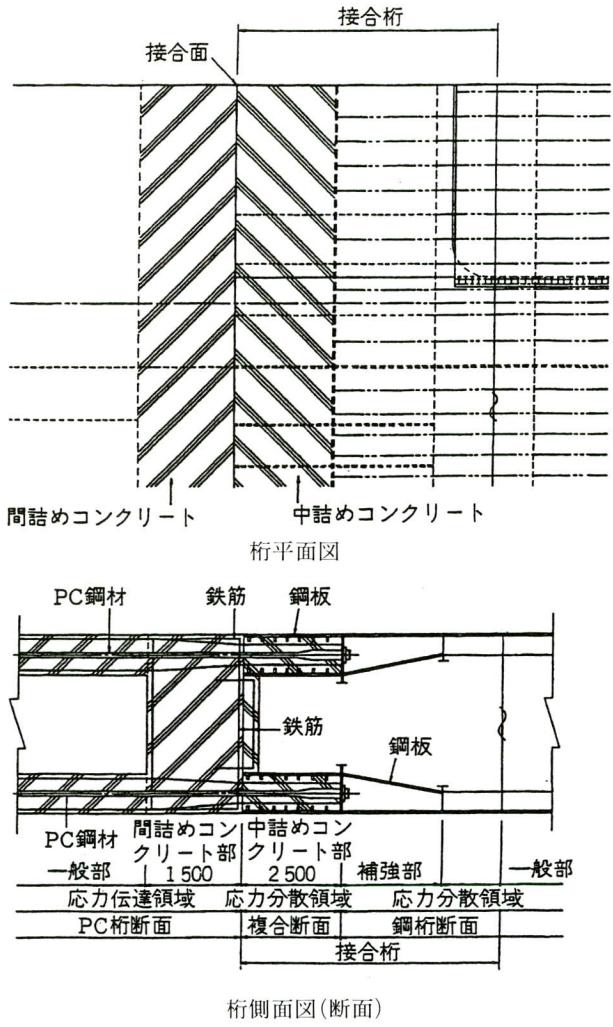


図-5 鋼桁とPC桁の接合部

ヤッキで高さ調整し、下フランジの仮締めを行った。このときの反力管理については、セッティングビーム各支点毎に行った場合では微少な支点変位で反力が大きく変化するため、外・内で運動ジャッキを使用して荷重を均等に分配させることとした。仕口角度の調整は、各ウェブ上の上フランジに設置した引き込み装置および塔弾性支承座部にあるジャッキ受架台上に設置した油圧ジャッキを使用して仕口角度の調整を行い、J12の結合作業を行った。

接合桁側（J1）の結合は、ケーブル架設をある程度進め、閉合モーメントが十分小さくなつた段階で行うこととした。架設時精算解析の結果、最適の閉合時期として中央径間5段、側径間5段のケーブル架設完了後を選定した。仕口形状が上開きであったため、塔下部水平材上のセットバック設備で下フランジの究間調整を行い、直ベント上の油圧ジャッキで高さ調整をした後、下フランジとウ

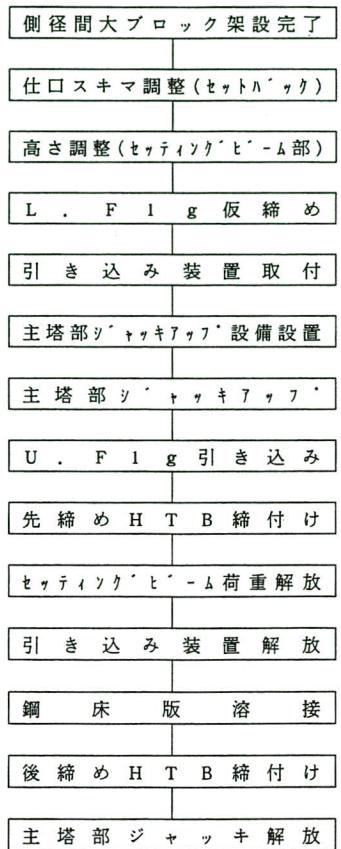


図-6 塔側（J12）結合作業フローチャート

エブ下半分の仮締めを行った。仕口角度の調整は、各ウェブ上の上フランジに設置した引き込み装置を使用して行った。J1結合作業と並行して主桁単材ブロック、ケーブル架設を行っていたため、J1仮添接時での断面力が過大となるないように橋面機材位置の調整を行った。

(9) 中央径間張り出し架設・ケーブル架設

中央径間張り出し架設は、3,000t積輸送台船を80t吊揚錨船を使用した1点アンカー方式により定点係留し、主桁上の桁架設クレーン（350t吊）を使用した主桁ブロック（長さ20m、架設重量W=300t）の直下吊上げ架設と側径間・中央径間ケーブル架設を1サイクルとして18回の架設を行った。

桁架設クレーンにより架設ブロック吊上げ後、吊具控え索のチェーンブロックを使用して桁の傾きを調整し、外ウェブの仮連結（下フランジ、鋼床版Uリブ一部含む）を行った。また、既設桁と架設桁についてはタワミ差により断面形状が異なるため、外ウェブ仮連結後、桁架設クレーン荷重を10%解放することにより、既設桁と架設

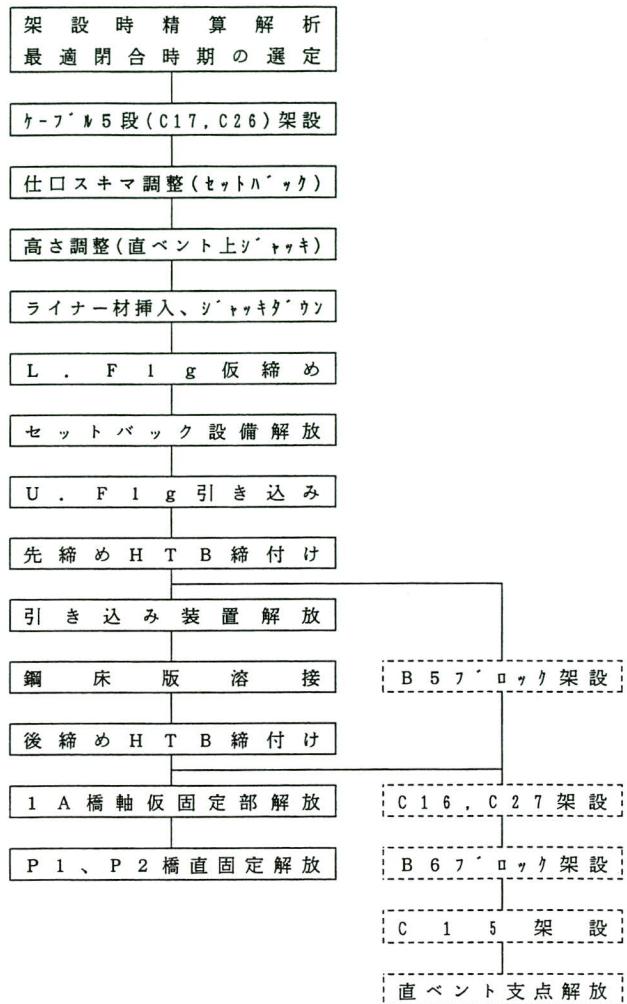


図-7 接合桁側（J1）結合作業フローチャート

桁の高低差を最小として仕口合わせを行い、HTB締付け、鋼床版溶接により剛結した。

ケーブルは、架設サイクルに合わせて13回に分割して鋼船により現地まで海上輸送し、桁上の360t吊油圧クレーンで水切り、桁上に仮置きした。架設ケーブルは、ケーブル運搬台車（トランスポーター）を使用してアンリーラー位置まで運搬し、設置した後、塔直下までケーブルの展開を行った。塔側定着作業は、塔頂クレーンによって塔側ケーブルソケットを所定の高さまで吊上げ、塔内の引き込み設備で引き込み、定着作業を行った。桁側定着作業は、ウィンチによる一次引き込み、ワイヤー・クランプジャッキによる二次引き込み、テンションロッド・センターホールジャッキによる三次引き込みで定着作業を行った。

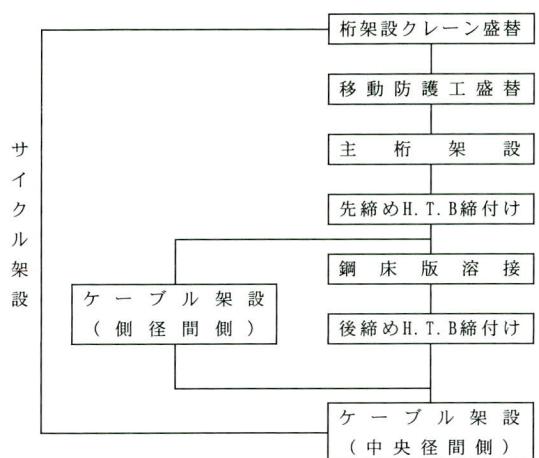


図-8 中央径間張り出し架設フローチャート

架設時の精度管理については、1架設サイクル（同段の側径間、中央径間ケーブル架設）が完了した当日の夜間にを行い、ケーブル張力、主桁キャンバー、主塔の倒れおよび橋体温度を自動計測し、管理目標値内であることを確認した。中央径間閉合は、上部工（その2）工事側で製作された閉合ブロックを上部工（その2）工事側の桁架設クレーンで吊上げ両工区の橋上機材・重機の移動、セットバック設備および閉合設備により仕口調整して先に上部工（その1）工事側の添接作業を行った後、上部工（その2）工事側の添接作業の順で行った。

4. 台風9号対策

閉合ブロック架設は、工事進捗に合わせ平成9年7月26日で計画していたが、7月22日の時点でフィリピンの東海上で発生した台風9号の進路が7月26日に中国四国地方を通過することが予想されたため、閉合ブロック架設日を延期し最大張り出し（435m）状態で台風対策を実施した。台風対策としては、水平荷重による主塔部付近の主桁鋼床版縁端の水平曲げ応力に対して縁端部に形鋼



写真-3 張出し架設状況

を取付けることによる桁補強、桁先端の水平変位を低減するため2P・3Pの桁先端をワイヤーを使用しての桁相互連結、風荷重を低減するため桁先端部の架設機材・重機の後退、中央径間の高欄・手摺に取付けてあるネット・幅木の撤去を行った。

台風9号は7月26日に架設地点付近を通過、27日は通過後の吹き返しにより平均風速15m/s、瞬間風速26m/sが架設地点で観測されたが台風による被害は無く、7月30日に閉合ブロック架設を行った。

5. あとがき

多々羅大橋は中央支間長890m、主塔高220mと斜張橋としては世界最大であり、本工事に参画できたこと、また、約3年半におよぶ現地工事を無事故・無災害で完了したことを誇りに思います。

最後に、本工事にあたりご指導を賜った本州四国連絡橋公団第三建設局向島工事事務所の方々ならびに関係各位に紙面を借りて厚くお礼を申し上げます。

1999.11.1 受付

来島海峡第二大橋補剛桁の架設

The Construction of the Second Kurushima Kaikyo Bridge

栗 田 裕 之* 西 壽**
Hiroyuki KURITA Hisashi NISHI

Summary

The Second Kurusima Kaikyo Bridge is a long-span suspension bridge (with a 1,020-m central span) over the Naka Suido, a middle waterway of the Kurushima Strait. Because the waterway is used for international shipping, erection of the stiffening girders of the bridge should be done during the limited hours. Therefore, the completion-oriented perpendicular hanger method was used to erect the stiffening girders. Also, they used new equipment developed specially for that bridge; for instance, a sailing barge capable of mooring at a specific point at sea without anchor and a high-speed lifting beam for the erection blocks.

This paper outlines the construction along with features of the equipment used.

キーワード：全ヒンジ直下吊上げ工法，縦取り工法，リフティングビーム，自航台船，クイックジョイント

1. まえがき

本橋の架橋地である来島海峡は、特有の多島美と自然景観を呈する景勝地としても名高く、瀬戸内海国立公園特別地域にも指定されている。しかしながら、島々が点在しているが故の特別な地形条件により、潮流は最大10ノットにおよび、国内でも有数の狭水域とされている。

本橋は、本州四国連絡橋尾道～今治ルート（西瀬戸自動車道=通称：瀬戸内しまなみ海道）の最も四国側に位置する世界初の3連吊橋である来島海峡大橋のうち、海峡部中水道を跨ぐルートでも最大級の長大吊橋である。

本報告は、前述の自然環境と国際航路を使用しての架設という社会的制約のもとで、特徴ある新技術を用いた、当社の携わった第二大橋支間中央より6P主塔に至る補剛桁架設工事について報告するものである。

工事名 来島大橋補剛桁（その4）工事
路線名 一般国道317号
工事場所 愛媛県越智郡大字椋名地先
～愛媛県今治市馬島（6P地点）
工期 平成7年7月～平成11年3月
橋梁形式 2ヒンジ補剛箱桁吊橋

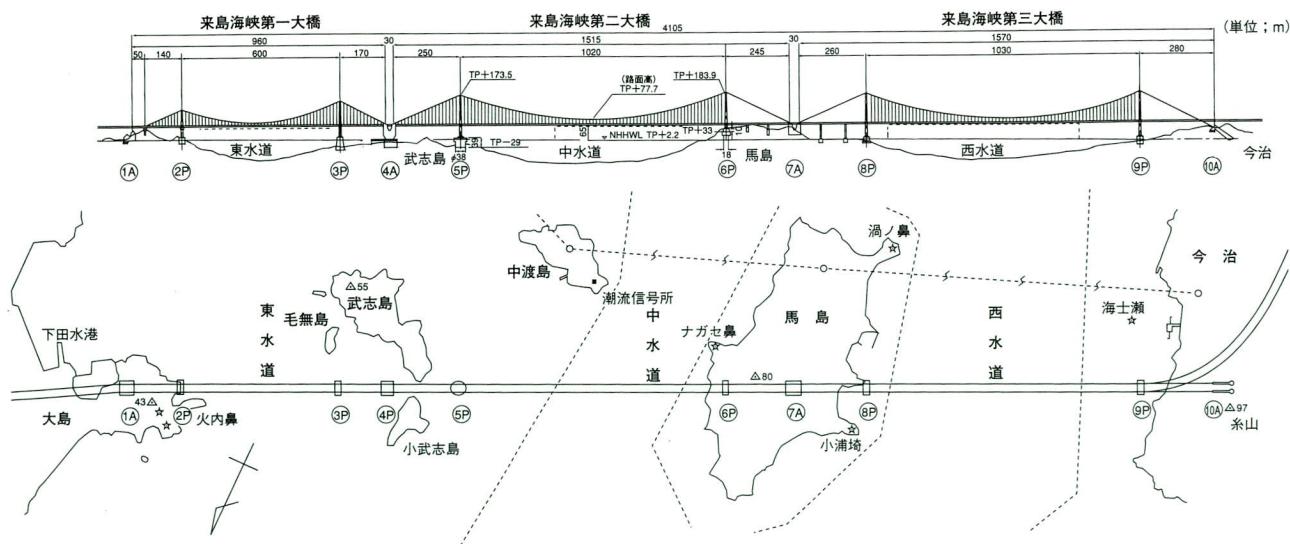


図-1 来島海峡大橋全体一般図

* 千葉工場設計部設計二課

** 宮地建設工業(株)東日本橋梁事業部橋梁計画技術部専任課長

2. 工事概要

本橋の構造的特質は、起点側の側径間にのみ吊構造部を配置した非対称な全体形状と、耐風安定性に加え景観美をも兼ね備える偏平六角形の補剛桁を有することと見える。

架設工法は、ブロック化した補剛桁を主ケーブル上に配置した巻き上げ機（リフティングビーム：以降LB）により吊上げ、架設ヒンジを介してブロック間を仮連結する「全ヒンジ直下吊上げ工法」を主工法として採用することにより、急速施工を図った。

各架設位置へのブロックの供給は、定点保持能力を有する自航台船にて行い、フック装着の自動化と装着時間短縮を目的としたクイックジョイント（以降QJ）を併用することにより、架設時の海面使用時間を最小限に抑えた。また、主塔前方にある浅瀬部への対応は、LBを用いた縦取り（スイング）工法を取り入れるなど、適宜最善の工法にて対処した。

3. 架設工法の特徴

(1) 架橋地の施工条件

来島海峡は、瀬戸内海の安芸灘と燧灘をつなぐ幅約4kmの水道で、海峡中央に位置する武志島と馬島によって大きく3つの水道に分断され、それぞれ東水道、中水道、西水道と呼ばれている。

本工事は、海峡中部の中水道を使用しての架設工事で、海上部の状況は下記の通りである。

- ①地形の影響により、航路幅は狭く屈曲している。
- ②潮流は複雑で、その速度は10ノットに達する。
- ③海上交通安全法に指定された国際航路であり、大型船に対しては、順潮航行時は中水道、逆潮航行時は西水道の指定航路内通行が定められている。
- ④航行船舶は、およそ1日1000隻である。
- ⑤工事区域周辺は、漁業操業密度が高い海域である。

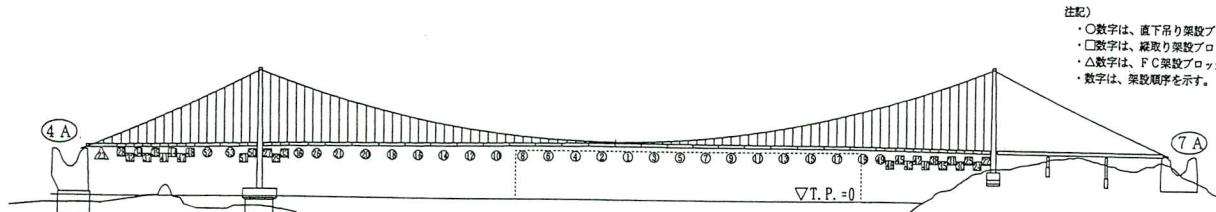


図-2 架設ブロック割り図

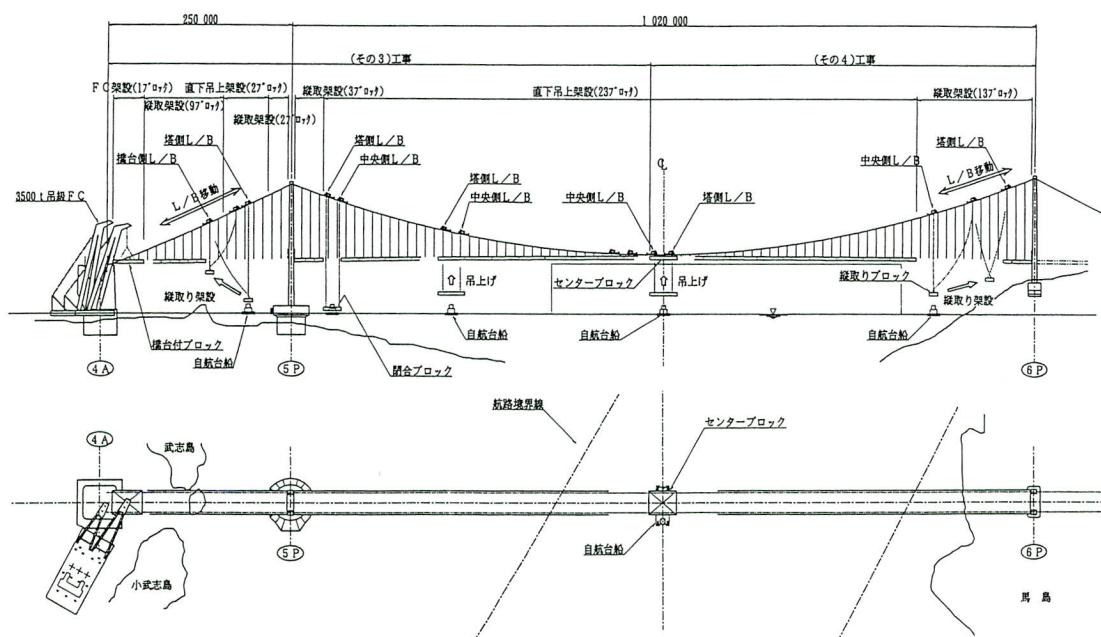


図-3 架設工法概要図

(2) 全ヒンジ直下吊上げ工法

本工法は、台船により架設ブロックを所定位置まで運搬し、上方のLBにて吊上げる国内でも比較的施工実績の豊富な工法であるが、国際航路を使用しての架設作業であるがゆえ、海面使用時間を少なくし航行船舶への影響を最小限とすることが、直下吊上げ工法を選定した本事の命題であった。

本事では、上述のような観点から、以降に示す工夫を施し、所期の目的を達成した。

1) 架設ブロックの大型化

ブロック長：36.3m(3パネル)、ブロック重量：約500tとし架設回数の軽減に努めた。

2) 自航台船の採用

定点保持能力を有する自航台船を用いることにより従来のアンカー・シンカーを用いた台船係留方式に比べ、定点保持作業の時間短縮を可能にした。

・架設時間：転流時刻前50分間を使用し、3ノット以下の潮流時に実施。

3) 架設ヒンジによる仮連結の採用

吊上げたブロックどうしを、架設ヒンジを用いて一時

的に連結することにより、架設サイクルの短縮を図った。また、この架設ヒンジが桁の面内の折れ曲がりを許容することで、ハンガー張力の不均等も解消することができた。

・架設サイクル：隣接工区と交互に1日1回実施。

4) LBの能力アップ

LB 2基を用いた4点吊りの直下吊上げ作業に際し、大きな架設ブロックを、航行する船舶に支障のない位置ま

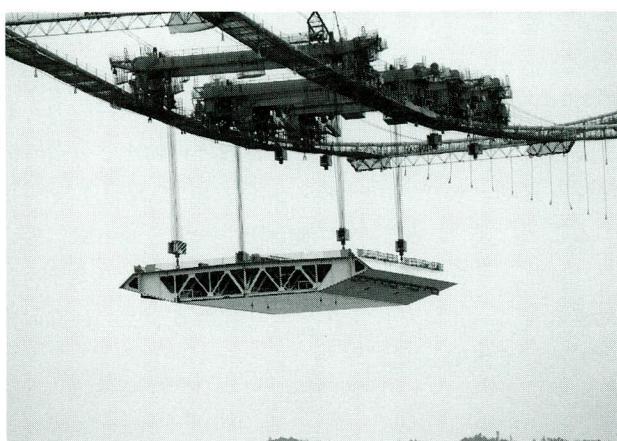


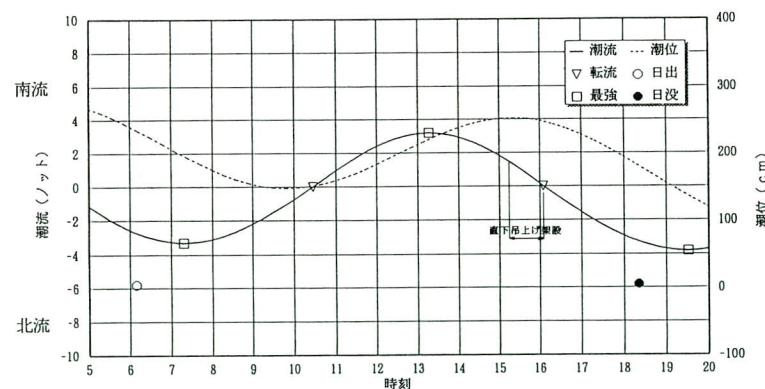
写真-1 LBによる直下吊上げ架設

平成10年03月21日

潮流		
時	流	最強
21 : 50	0 : 59	4.7
4 : 19	7 : 19	-3.3
10 : 28	13 : 17	3.2
16 : 5	19 : 31	-3.8
22 : 51	2 : 6	4.1

潮位	
時	分
3 : 47	280.8
9 : 49	147.8
15 : 20	252.3
21 : 57	86.0
5 : 10	272.2

日出	日没
6 : 10	18 : 21



項目	時刻	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	備考
1 遠方広報船																白線部は回航、ハッチ部は広報作業を示す。
2 遠方船舶警戒線																白線部は回航、ハッチ部は監視作業を示す。
3 広報船・船舶監視船																
4 作業警戒船																
5																
6 自航台船仮泊（武志島東工事区域）																
7 回航（武志島東～武志島西）準備（待機）																
8 システム確認																
9 直下吊架設																
10 回航（武志島西～武志島東）																
11																
12																

図-4 直下吊上げ架設タイムスケジュールの一例

でより速く吊上げるため、他橋の施工実績を大幅に上回る吊能力と巻き上げ速度を設定した。

(3) 縦取り工法

自航台船が吊上げ位置直下に進入できない6P主塔からの単パネル13ブロックは、進入可能な航路外位置にて吊上げを実施した後、LB間の吊荷重盛替えにより所定位へと架設ブロックを移動させる、縦取り（スイング）工法を採用した。

縦取り架設に際しては、吊荷重盛替え時のLB吊能力の制約から、架設ブロックを単パネル2点吊りとし、ブロック長：12.1m、重量：約120～280tに設定した。

また、架設ブロックの内部構造や搭載物の影響により、各々異なる重心への対応と架設制限時間内での作業効率の向上を目的に、QJを組み込むとともに勾配の調整機能

をもつ縦取り用天秤を開発し、2点吊りがゆえの諸問題を解消した。

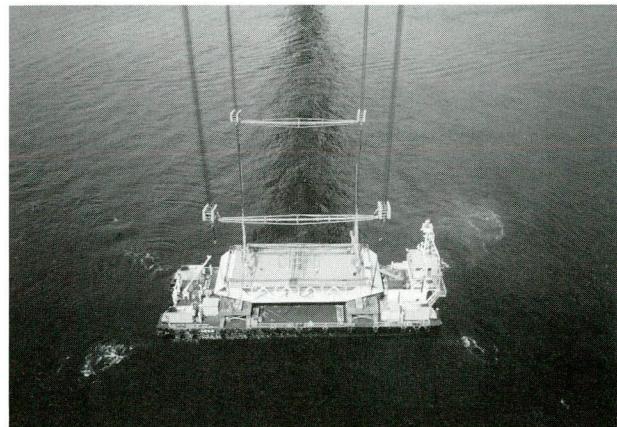


写真-3 単パネルブロック水切り状況

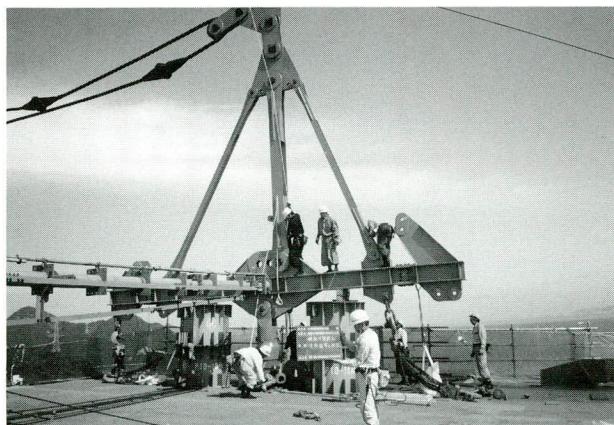


写真-2 縦取り用天秤

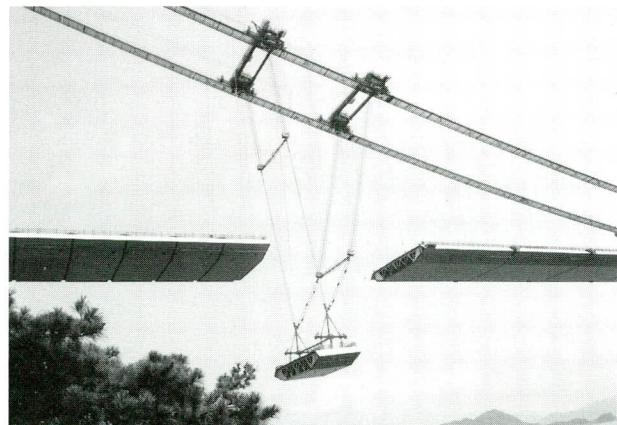


写真-4 LBによる縦取り架設

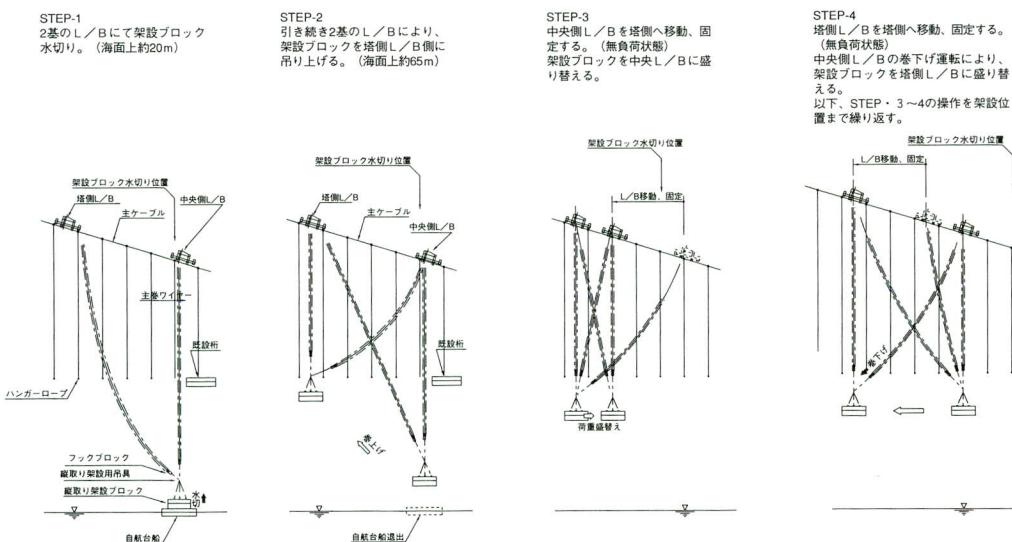


図-5 縦取り架設ステップ図

(4) 部分添接

全ヒンジ直下吊上げ工法を採用し、支間中央からのバランスング架設を行った本橋の架設時補剛桁形状は、概ね、初期：下に凸、中期：水平（レベル）、後期：上に凸（完成系）の性状を示した。吊橋の場合、圧倒的な剛性の違いにより、主ケーブルの形状から補剛桁の形状が形成されると云っても過言ではない。本橋においても例外ではなく、ケーブル張力が少ない架設初期から補剛桁の架設進捗に伴う張力の増加により、桁形状も次第に完成系へと変化して行く。架設途上における補剛桁現場継手（ヒンジ）部は、上述の架設初期～後期への形状変化の影響を受け、ヒンジの開き量が次第に減少し、後期にはブロック間の干渉を誘発することとなる。

部分添接とは、全ヒンジ特有の連結作業で、同工法のもつ諸問題の払拭を目的に、桁内下フランジ側の縦リブを添接する事を云う。

①下フランジの干渉防止

- ・架設進捗に伴う常時の干渉防止
- ・暴風時鉛直バフェッティング発生時の干渉防止

②桁外面作業車移動時のブロック間仮連結

③大型機材移動時の養生

また、部分添接の実施に際しては、下フランジにセンターホールジャッキ（最大：8台×35t）を設置し、ブロック間の引込み、遊間の調整を行った。

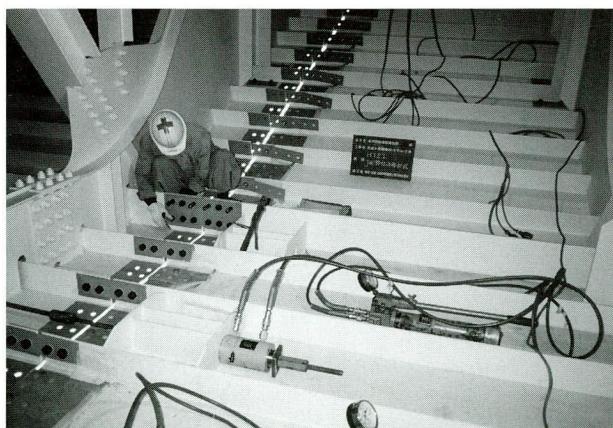


写真-5 部分添接状況

(5) 現場溶接

本橋の現場継手形式は、下記の通りである。

- ・デッキプレート：サブマージアーク自動溶接。
- ・フェアリング：CO₂半自動溶接。

・下フランジ：HTB継手

デッキプレートおよびフェアリング部の現場溶接は、補剛桁形状と全体工程の影響により架設後期に限定されたため、その施工時期は夏期に集中することとなった。

夏期の鋼床版は、晴天時70°Cにもおよび日中の開先調整是不可能であった。そこで、最適な施工時間帯を探るべく継手位置のルート間隔と目違ひ量の24時間計測を行い、温度による経時変化を明確にした。計測結果より、開先形状が許容値を満たしている時間帯は早朝に限られているため、開先調整と清掃は溶接施工日の早朝に行なった。また、間隔保持の方策として、トラフリップの添接部に50%程度の仮ボルトを挿入し、一次締めレンチ（導入軸力：約13t）にて拘束した。

現場溶接施工後の非破壊検査は、AUTを用いて行い、全線に亘っての検査の結果、手直し欠陥は見られなかった。

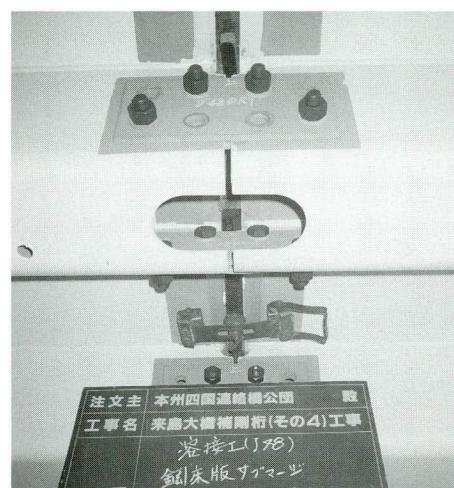


写真-6 トラフリップの一次締め



写真-7 デッキプレート溶接状況

(6) 縁切り

6P前面の地形条件（浅瀬）より、縦取り架設部が13パネルにもおよぶ当工区は、主塔部からの張出し量が最大約160mと長いため、暴風時における架設ヒンジ、部分添接、タワーリング、ウインドタングへの作用力軽減と、桁の過大変形を抑制するため、主塔のごく近傍の継手位置にてブロック間の架設ヒンジ解放：縁切りを行った。縁切り作業は、LBによる桁の巻き上げとヒンジ近傍の架設用吊金具を利用した桁の引寄せにより、架設ヒンジ部を解放した。また、縁切り後の塔付パネルは、セットバック設備を用いて主塔部に拘束し、暴風時に備えた。

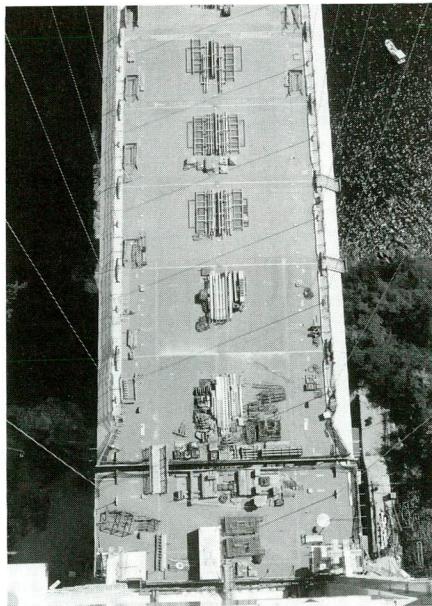


写真-8 縁切りおよびセットバック状況

(7) 閉合ブロックの架設

中央径間の閉合は、1基のLBにて単ブロックを既設桁間に挿入する方法を採った。架設時は、夏期でかつ晴天であったため、桁の全体的な伸びが大きく、架設純クリアランスは160mm/片側となった。

閉合ブロックの架設に際しては、前日に遊間計測を実施し、結果に基づきLB位置と自航台船定点座標の妥当性を検証した。また、当日はLBによって吊上げられた閉合ブロックの起点側、終点側の架設ヒンジを順次連結して作業を終了した。

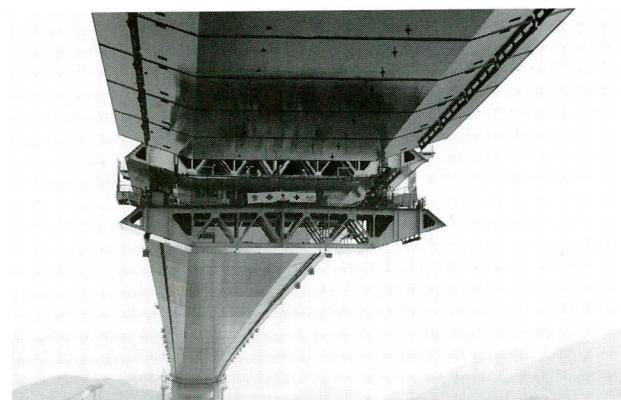


写真-9 閉合ブロック架設状況



写真-10 吊上げ完了時の既設桁とのクリアランス

(8) 最終閉合

暴風時の対策として施した縁切り箇所は、暴風時の断面力と部分添接の許容力および現場溶接の進捗状況を勘案し、その閉合時期を架設計算により決定した。

最終閉合作業は、塔付ブロックのセットバックを開放し、相互のブロックを近づけた後、発生する目違いを塔付ブロックにカウンターウエイトを載荷することにより解消し、架設ヒンジの再連結を行った。

載荷したカウンターは、約50t。そのほとんどを橋上の仮設備にて対処した。

4. 設備の特徴

(1) リフティングビーム

LBは、海面使用時間を短縮するため、従来の実績性能より下記の改善を施した。

①航路制限高さ：TP+65mまでの架設ブロック吊上げ時間を短縮するため、主巻きフックのスピードを以下の通りに高速化した。

巻き上げ速度：5m/min（負荷時）

巻下げ速度：15m/min（無負荷時）

②架設ブロックの大型化に対応して、1フック当たりの定格荷重を175tとした。

③主巻きワイヤーの切断、またはワインチの故障などの巻き上げ時のトラブルに対して、吊上げ作業を継続できるよう二重の安全対策を施した。

④主ケーブルの索線の損傷を回避するため、走行方式は従来の鼓状ローラー方式より軌条桁方式へと改良を加え、走行装置にはワイヤークランプジャッキを用いた。

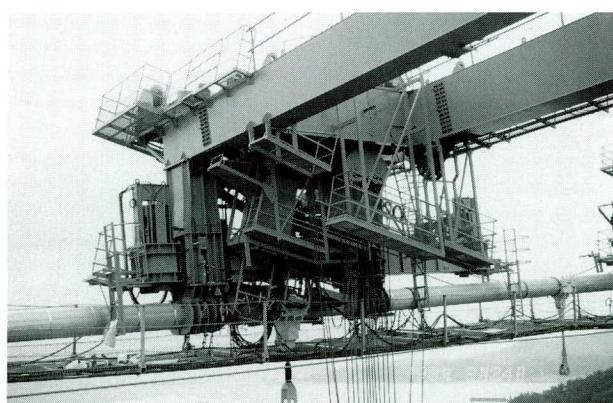


写真-11 LB走行部



写真-12 LB全景

(2) 自航台船

架設ブロックを吊上げ位置直下まで運搬し、LBの主巻きフック定着から水切りまでの間を無係留で定点保持可能な自航台船が本工事用に開発され、すべての架設ブロックの供給にこれを用いた。

当工区が用いた自航台船（しまなみ）は、以下の搭載設備により、潮流速：3ノット以下での定点保持精度： $\pm 2.5\text{m}$ が可能な性能を有する。

①台船四隅に全旋回可能な推進器各1基（650ps）。

②船位・方位を常時計測する自動追尾型光波測量装置およびジャイロコンパス。

③目標位置との偏差に対して推進器の旋回角度と推進力を常時最適値に導く自動制御装置。

自航台船の採用は、海面の占有面積を縮小するばかりでなく、台船の進入から退出までの時間を従来工法と比較して大幅に短縮することが可能となった。

（従来工法：約2時間→自航台船：約30分程度）

また、製作工場から運び込まれた架設ブロックの自航台船への積み替えは、武志島東工事区域内で600t吊級FCを用いて行った。

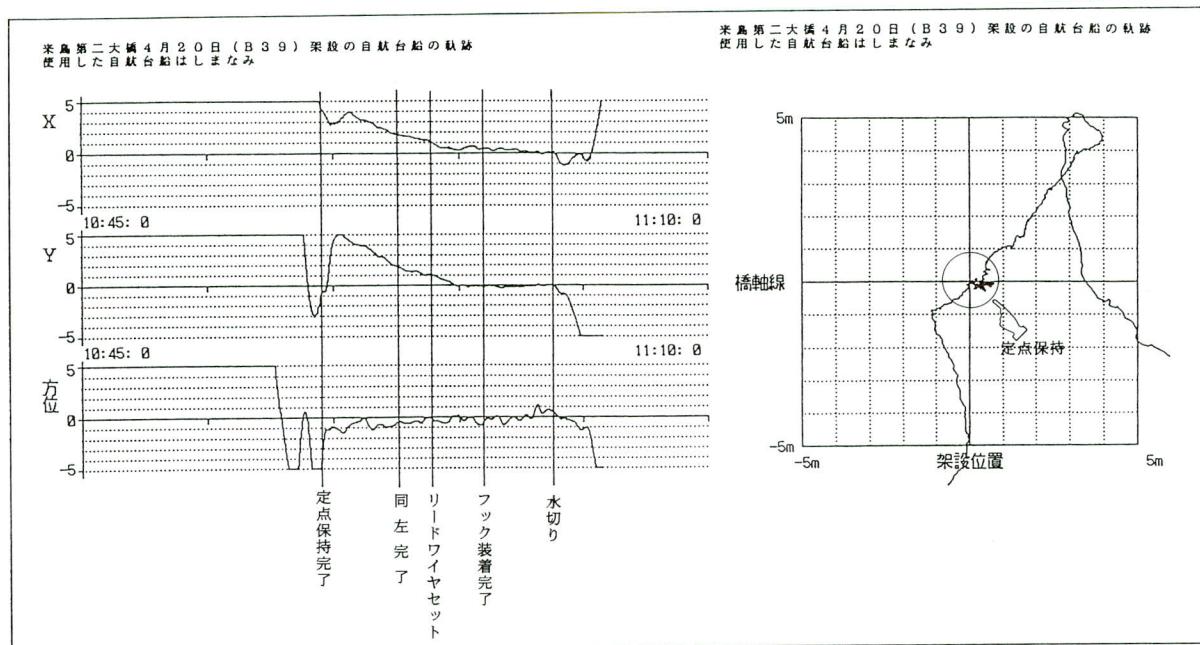


図-6 架設時の自航台船航跡図



写真-13 自航台船定点保持状況

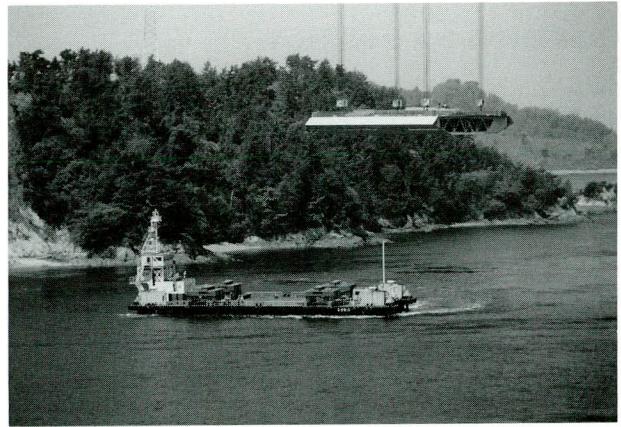


写真-14 自航台船水切り完了状況

(3) クイックジョイント

LBの主巻きフックと架設ブロック吊点の連結は、航行船舶の走行波や潮流による自航台船の動搖のなか、確実かつ短時間に行うためQJを採用した。従来、フックと吊点の連結は、基本的には人力にて行われてきたが、明石海峡大橋のケーソン工事にて実績のあるQJを本工事のブロック重量に見合うものとして新規製作し、連結作業の自動化を図った。

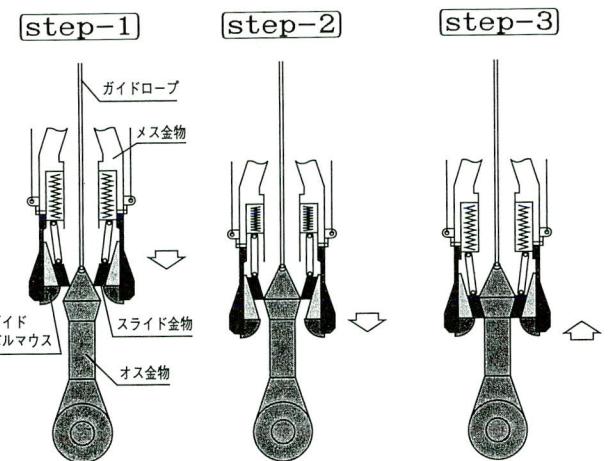


図-7 QJ連結構造概要図



写真-15 フック装着状況

5. 架設計算および形状管理

(1) 架設計算

本橋の架設計算是、下記項目の照査を目的に独自の架設計算システムを構築し、短い架設サイクルに対処した。

- ①補剛桁架設系の応力と形状照査。
- ②サイクル架設におけるLB設置位置および自航台船定点座標の算出。
- ③下フランジ引込み力およびセットバック力の算出など、架設作業への情報提供。
- ④閉合要領など架設計画立案への情報提供。
- ⑤架設時形状管理時の解析値算出。

構造解析は、有限変位理論に基づいた骨組み解析プログラムを適用し、解析モデルは、補剛桁せん断中心に桁部材を配置した魚骨モデルを用いた。

解析モデルの作成に際しては、架設ヒンジやLBをモデル化することにより、計算の高速化と作業効率の向上を図った。

→架設ヒンジのモデル化について

従来、計算実行の過程における架設ヒンジの取り扱いは、架設の進捗により刻々と変化するヒンジ部の結合条件をトライアル計算にて検証し、最終的な結合条件を決定していたが、本橋では、計算時間と労力の軽減を目的に、架設ヒンジのモデル化を行い、解析モデルに付加することにより一義的に解析し、所期の目的を達成することができた。

(2) 形状管理

形状管理は、本橋を二分する（その3）工区と共同で行い、双方の補剛桁架設毎を基本とした。

計測は、三次元座標処理能力を有するトータルステーションを用いて塔頂より行い、主ケーブルおよび橋体等の温度計測は、温度ゲージ（T型熱電対）を各部位に設置し、ケーブルスキャナーを介して小型データロガーに集積する自動計測を採用した。

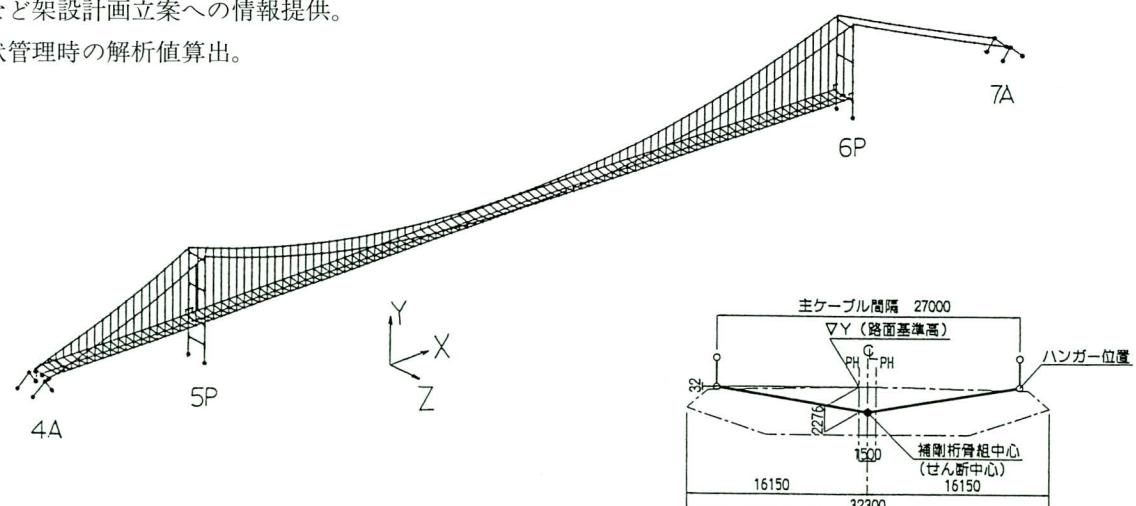


図-8 解析モデル図

・最終出来形

	実測値－管理値	摘要部位
ケーブルサグ	+ 9mm	支間中央部
補剛桁計画高	+16mm	"
補剛桁スパン長	-44mm	中央径間部

上表の値は、何れも実施設計にて考慮している製作・架設誤差の設定値より小さく、施工精度および現場出来形は良好と云える。

また、架設初期～後期においても、形状は概ね計算値どおり推移しており、架設作業に影響を及ぼすような橋体の変調は見られなかった。

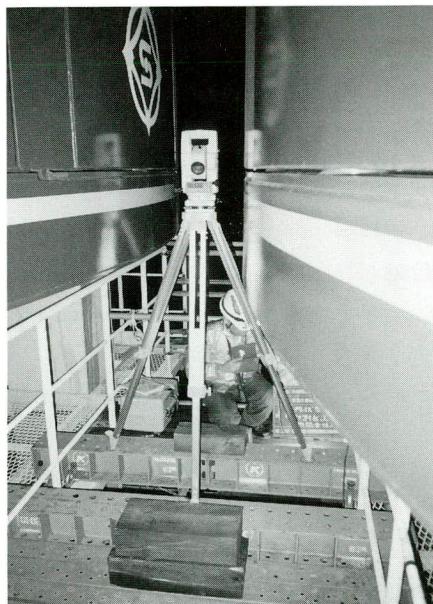


写真-16 トータルステーション設置状況

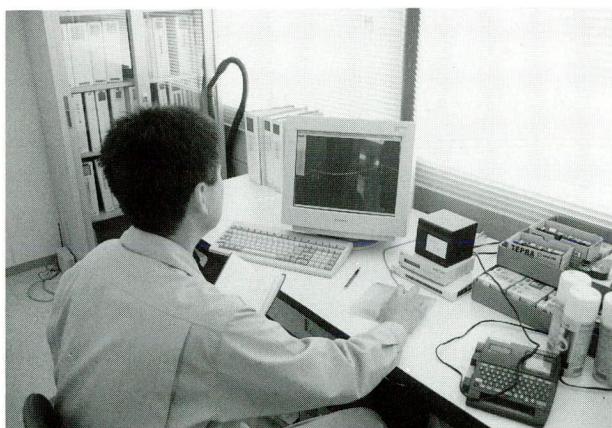


写真-17 システムを運用した計測値集計状況

6. あとがき

来島海峡大橋を含めた尾道～今治ルートは、平成11年5月1日に開通を迎えました。

補剛桁工事に関しては、平成7年より約4年間にわたり工事期間を経て、無事この日を迎えたことは工事に携わった補剛桁（その1）～（その6）工事の皆様の努力の賜物であると思います。

本報告は、工事の特徴的な部分のみの記述となりましたが、今後の長大橋あるいは、海上部を使用しての架設工事の一助になれば幸いです。

最後に、本工事の設計・製作・架設にあたりご指導を頂いた、本州四国連絡橋公団第三建設局、および今治工事務所の皆様、ならびに当社とJVを構成した住友重機械工業（株）、日本鉄塔工業（株）の関係各位に、紙上をお借りして厚く御礼申し上げます。

〈参考文献〉

1) 来島海峡大橋の技術 本州四国連絡橋公団

1999.11.1 受付

安全帯フック通過装置の開発(セーフティスルー)

Introduction of the Safety-Thru

目黒大三郎* 足立之彦**
Daizaburou MEGURO Yukihiko ADACHI

Summary

Introduced here is a new, intermediate, main-rope supporting device. Fixing this device to supports allow a worker to walk past a support without re-hooking the rope tied to one's safety belt at the support. Until now, this re-hooking has been unavoidable because a main rope is generally hitched to supports. This device is called "Safety-Thru", a name given by its developers.

After confirming the feasibility of the Safety-Thru by trial manufacture of the prototype, we successively improved the prototype into one that fulfilled its desired functions. This paper compares the prototype with the latest version and gives its history, including its practical use. The Safety-Thru has been patented as a "metallic main-rope supporting device".

キーワード：安全帯、親綱支持

1. セーフティスルーの目的と機能

土木・建築工事等の高所作業者は、自身の墜落を防止するために安全帯を使用し、そのロープ先端のフックを足場に沿って張り渡した親綱に掛けたて移動して作業を行う。長尺に張り渡した親綱の中間点は、親綱支柱あるいは構築物を利用して取り付けた留め具等で支持するのが一般的であり、そこではフックをいったん外して次の支間の親綱へ掛け替えなければならない。作業者がこの掛け替えのとき、バランスを崩して墜落することができるよう作業者に2本の安全帯を装着させ、掛け替え時でもどちらかのフックが親綱に掛かっているような安全指導が多くなってきた。

また、親綱が作業者の近くになく、盛替えのために梯子等を登り降りするなどしなければならないこともある。いずれも作業者に負担をかけることになる。このようなムダをなくすには、フックを親綱の中間支持点で通過できるようにすればよい。

セーフティスルーはこのような目的をもつ。すなわち、作業者が親綱の中間支持点を安全な状態（セーフティ）のまま通り抜ける（スルー）ことができるようにするための親綱中間支持具である。

その実用化にあたっては、次のような機能をもたせる

ように考えた。

- ①親綱に直接掛けた大径のフックを親綱の中間支持点で掛け外ししなくて通過できる。
- ②フックに手を添えなくても安全帯のロープを引張れば通過できる。
- ③支柱に取り付けても作業者の通行に支障を与えないようにする。
- ④支持具に親綱をワンタッチで安全に装着できる。
- ⑤梁などへの取り付けは、市販のバイスクランプやチーンなどを使用できる。

2. セーフティスルーの原理

図-1, 2によってセーフティスルーの原理を説明する。

自在に回転することができる円板の外周フランジに親綱をくわえた翼形の金物がぶら下がっている。この金物に固定された沓（ペアリング）は円板の外周フランジに乗っている。円板は外周の一部を切り欠いてある。

この状態で円板を回転させると、翼形の金物は止まつたままで円板の切れが円運動する。切れが沓を通過するときは一時的に沓の面圧は不均等になるが、翼形の金物が脱落しないよう円板の切れと沓の形を設計する。

* 宮地建設工業(株)MT工事部専門部長

** 宮地建設工業(株)安全技術本部元機材センター長

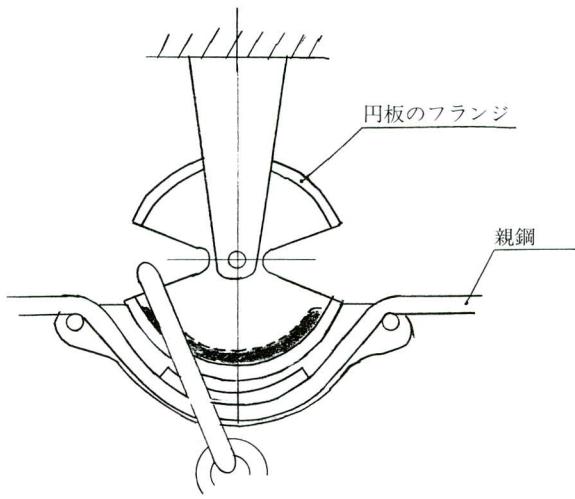


図-1 フック通過前

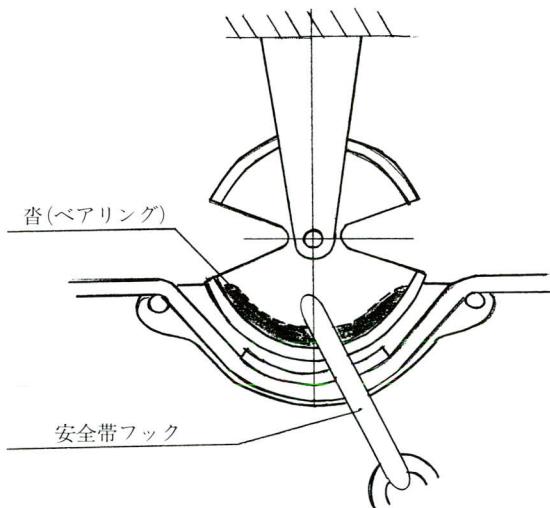


図-2 フック通過中

3. 他社の通過装置

セーフティスルーと同じ目的をもつものが既に他社で実用化されている。

筆者がカタログ等から知り得たものは次に示す5種類である。それぞれが優れた機構が使われているが、フックの通過原理はセーフティスルーと異なっている。親綱上を滑動する専用のホルダーを用いているものが多いが、安全帯の使用者にとってホルダーを持ち歩くか、ホルダーのあるところでないと使用できないので、前述した作業者の負担は完全にはなくならない。機構としてはフックの形状にとらわれないので自由性はある。

- (1) F社 ツヨロンマンセーフシステム*
- (2) SA社 タイタンセーフティスライダー*
- (3) SE社 パスピックス*

(4) SE社 パスリング

(5) SU社 命綱スルーパスホルダー

*印のものがホルダーを使用したものである。

4. プロトタイプと改良型の構造概要

(1) プロトタイプ

プロトタイプの全体図を図-3に、通過テスト中の状況を写真-1に示す。

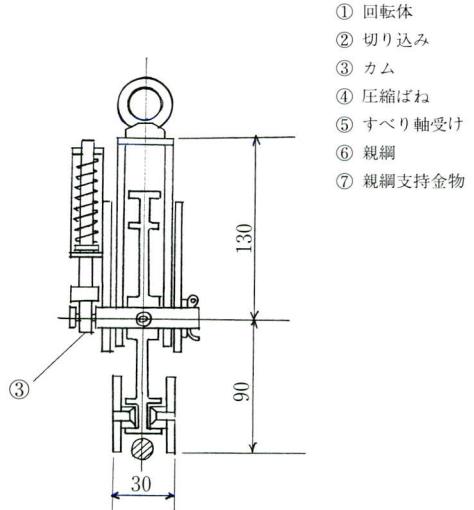
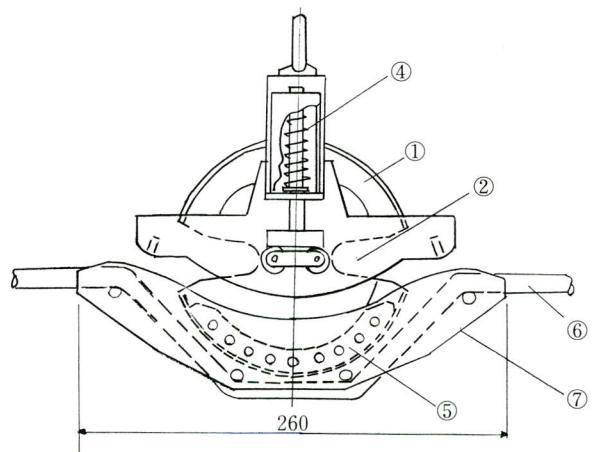


図-3 プロトタイプの全体図

(2) 改良型

改良型の全体図を図-4に、支柱に取り付けた状態を写真-2に示す。



写真-1 通過テスト中

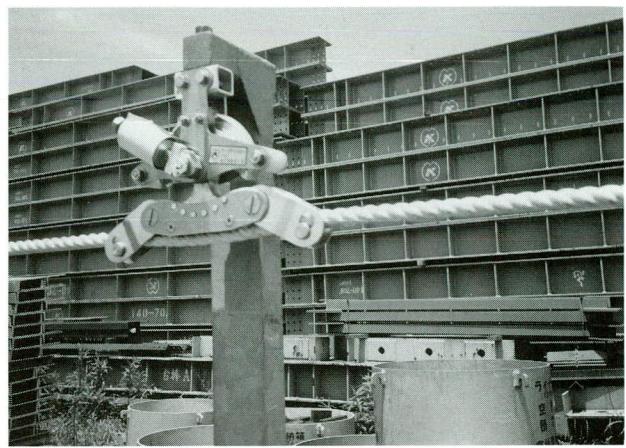


写真-2 支柱に取り付けた状態

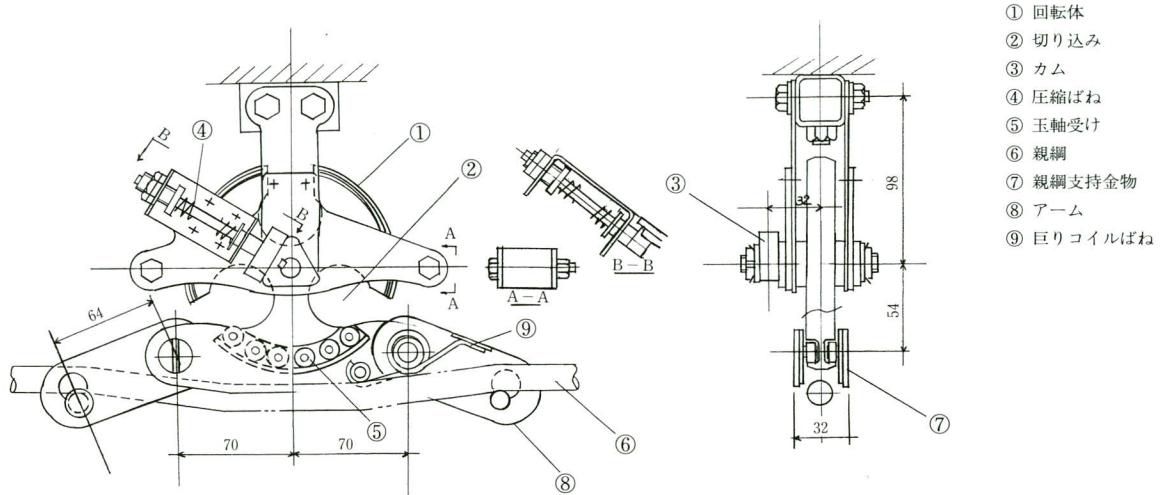


図-4 改良型の全体図

5. プロトタイプと改良型の比較

設計条件を表-1に示す。

ここではプロトタイプと最新の改良型の違いを明らかにし(表-2)、改良型の効果をそれぞれの項目についてコメントする。

(1) 親綱支持器

プロトタイプでは、親綱に張力が導入されると本器へのセットが困難である。親綱張力が支持器を開くような曲げモーメントを与えるので支持器が変形しそれに固定されているペアリングも変形して回転体との接触面圧が大きくなり回転体がスムースに回転しなくなる。

これに対し改良型では、ばねは親綱の自重によってアームにかかるモーメントを受ける。その力は回転体のスムースな回転を防げるほど支持器を変形させない。親綱張力が大きくなるほど水平に近くなる。張力がいかに大きくてもアームを押し下げて容易にセットできる。

(2) 回転体と切り込み

プロトタイプでは回転体の切り込みが2ヶ所であり、フックの通過軌跡が半円状であったが、改良型では回転体の切り込みを3ヶ所にしたことにより、フックの通過軌跡が緩い凹型曲線となり、フックの通過がスムースになった。

表-1 設計条件

親綱	直径16mm繊維ロープ(*-1)
安全帶フック	大径フック
設計荷重	900Kgfの鉛直衝撃荷重が親綱支持器の中央にかかるとする(*-2)
許容応力	引張・曲げ許容応力は材料の降伏点または耐力とし、剪断許容応力はその $1/\sqrt{3}$ とする(*-3)
目標重量(Kg)	2~4kg (ワットタイプ 6Kg, 改良型2Kg)

* -1 橋梁工事でよく使用されるロープである。ロープが鋼製の場合は曲げ剛性が強いのでプロトタイプでは使用できない。この器具の形状・寸法はロープ材質とフック形状によって支配される。

* -2 安全法「安全帯の規格」第九条によれば、フックにかかる衝撃荷重は「75Kgの砂のうを安全帯ロープの長さと同じ高さから落下させたとき 900Kgf 以下でなければならない」としている。

国内の代表的な安全帯メーカーの衝撃荷重の目標値は650Kgf程度である。

衝撃荷重の値は、ロープの伸び性質によって異なるが本器を用いて仮設工業会で行った上記「」条件での実験結果は平均 550Kgf であった。ただし安全帯ロープはショックアブソーバーなしのものであった。

* -3 安全帯より低いところにフックをかけることは各現場で禁止されているので、上記設計荷重に対して、この許容応力をとっておけば、フック形状によって生ずる不均等荷重に対しても充分対応できる。

(3) ベアリング

改良型では、玉軸受けにしたことによりフック通過時の抵抗が小さくなった。玉軸受けの必要耐力は極短期荷重に対して破損しないこととし、アムスラー引張試験機によって静的に900kgfの負荷をかけて異常のないことを確認した。

(4) 回転体位置決め装置

この器具の機構のなかで回転体位置決め装置は重要な役目をもっている。

フックが右または左から回転体の切り込みに入るとき、切り込みの位置を常に一定にしておく必要がある。そのため、カム装置を用いて位置決めを行う。

改良型では、回転板が120°回転するごとに回転前の位置に復元する。フックによって回転板を0~60°まで回転させることはできるが、残りの60~120°はフックにより回転力を回転板に与えることはできないので、0~60°回転の間に60~120°回転のエネルギーを蓄えておく必要がある。のためにカムの受動子に圧縮ばねを装着した。

回転体の初期回転力は、カムと受動子の接触点が頂点に達するまでフックによって与えられるが、以後の回転力は圧縮ばねの弾性力によって与えられる。

回転体の軸には、圧縮ばねの弾性変形、玉軸受の摩擦、回転体軸受けの摩擦によって抵抗モーメントが発生する。通過時には、このモーメントに抗ってフックを引っ張る必要がある。その力の計算結果を表-3に示す。親綱は9mスパンで張り渡され充分に水分を含むとした。実験中では抵抗はほとんど感じなかった。

表-2 プロトタイプと改良型の比較

項目	プロトタイプ	改良型
親綱支持器	親綱が逆ハの字型になる形で支持する	支持器両端にアームをピン接合しコイルばねで支持する
回転体と切り込み	外径 174mm 材質 S45C V字型切り込み：外周に180°振分けで回転軸中心に向かって2ヶ所	外径 129mm 材質 Al-YH-75 Ω字型切り込み：外周に120°振分けで回転軸中心に向かって3ヶ所
ベアリング	並列2ヶの滑り軸受 回転体との接触面半径 82mm 厚み 8mm 材質 ガラスファイバー補強4フッ化エチレン	並列6ヶの両シールド形小径玉軸受12ヶ 回転体との接触面半径 60.5mm
回転体位置決め装置	平板状直動カム 1/2回転で回転体は180°毎に位置決めされる	三角板状直動カム 1/3で回転体は120°毎に位置決めされる

表-3 通過時の必要引張力

θ (度)	抵抗モーメント (Kgf·mm)	引張力 (Kgf)	θ (度)	抵抗モーメント (Kgf·mm)	引張力 (Kgf)
60	166	4.2	-	-	-
45	201	5.0	-15	-20.9	-0.5
30	193	4.8	-30	-93.8	-2.3
15	144	3.6	-45	-134	-3.4
0	65.8	1.6	-60	-132	-3.3

(5) 親綱支持器の復元動作

改良型におけるフック通過時の模式図を図-5に示し、以下に補足説明を行う。

- ① フックが右から親綱上を本器に接近している。
- ② フックが本器に入ろうとしてアームの傾斜面を押さえて回転体の切り込みに向かう。このとき、支持器を回転体の外周に沿って角度 r 回転させ、緩やかな傾斜面をつくる。
- ③④⑤ 左側のアームは、コイルばねの弾性とフックの押しつけ力によってフックが通過する前の状態に戻り、回転体の角度 r が0となる。

(6) 安全効果

フック通過中に、衝撃荷重が本器の中央部以外にかかる場合、アームの回転がそれを外に逃がすことができる。

6. おわりに

セーフティスルーアーは、部分的に切り込みのある円（回転体）と円弧（親綱支持金物）との相対回転をその基本的な原理とする。円弧であるベアリング列と円との接触が間接的につながることによる不連続な動きや力の発生を簡単な機構で吸収することは困難である。しかし、セーフティスルーアーの通常使用時における各部の動作速度・

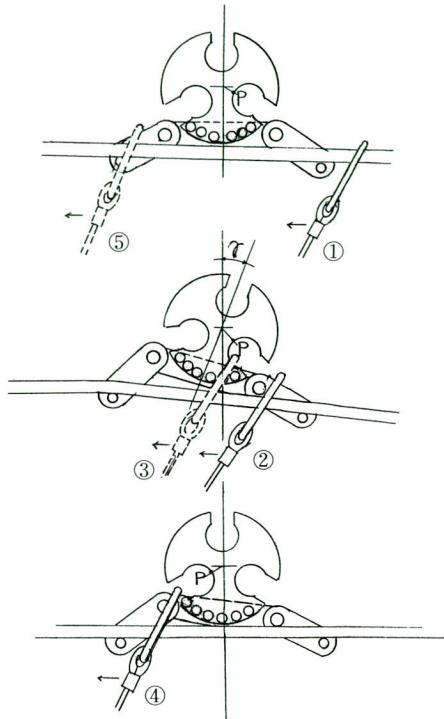


図-5 フック通過時の模式図

作用力の大きさやその頻度からみて、器具としての機能と機械としての機能をそれぞれある程度簡略化したことによって実用化の道が開けた。全体寸法・形状は、使用する安全帶フックの形状によって支配されるので足場パイプにも掛けることのできる大径フック用では、これ以上コンパクトなものにすることはできないと考える。

今後は、一つひとつの部材の材質・部材どうしの接合方法などを改良することによって、コストダウンを図らねばならない。

最後に、約5年に亘って試作費用や実験作業の面で支援を頂いた「関係各位」に厚く御礼を申し上げる。

1999.11.1 受付

紹介

活用性を追求した技術情報データベースの構築法に関する一考察

A Study on the Creation of a Practical Database for Technological Information

鳥羽 勇造* 武村 和浩*
Yuzo TOBA Kazuhiro TAKEMURA

Summary

Because advances in personal computer software has made it easy to create large databases, our company, like others, is building a technical database to help cope with rapid technological innovation. To create a database that improves the technical capacity of the company, each user of the database should understand the importance of sharing information with others. The combined use of fixed and free keywords promotes rapid retrieval of information from the database. Both the establishment of keywords and input of data demand that input rules are followed, and keywords and information are kept as concise as possible. This makes input easier and minimizes demands on the memory capacity of the hardware. This system automatically accumulates data during daily work and is ideal for the continual input of data.

キーワード：データベース、情報管理、技術情報、キーワード、文献検索

1. まえがき

土木技術は経験工学とも云われる。さまざまな技術的検討を行なながら地域や都市社会の要求する構造物を安全で経済的に、かつ自然環境と調和させながら構築しなければならない。これらの各段階でなされる技術検討は貴重な経験であり、その資料を誰もが使いやすい形で整理し、参照しやすい状態で保存され、かつ効果的活用が促進されれば、技術活動に一層の効率化と高度化が図れると期待できる。近年、公共事業の財源逼迫を受け企業間の競争が激化し、急速な技術革新の要求により特に技術分野の情報整備が急務となっている。過去に蓄積された知恵・知識・情報を集大成し死料から資料へ変えるツールとして技術情報データベースがある。

本文は当社の技術情報データベースの概要を紹介すると共に、このようなデータベース構築の経験および反省を踏まえ、データベースの検索、利用を考慮した構築時の留意事項について技術文書データベース、橋梁実績データベースを中心にまとめたものである。

2. 技術情報データベースの現状

(1) 技術情報データベースとは何か

技術情報データベースとは何であろうか。技術情報と

は研究、開発、調査または実務の過程で得られた知識や経験であり、新たな技術開発のために活用されるべきものである。このような技術情報を組織の共有物として蓄積したものが技術情報データベースである。

技術情報データベースは体系的に「技術資料データベース」と「技術文献データベース」に大きく二分される。前者には工事に係わる検討書、設計成果品、工事関係書類、施工図面、工事台帳類などがこれに含まれる。後者は内外部の技術文献、論文・報告書などが該当する。いずれも大容量の記憶装置を要するデータベースとなる。

(2) 建設工学とデータベースの整備

近年、科学技術の急速な発展に伴い、生み出される技術情報は年ごとに増加する傾向にあり、この氾濫する情報の中から必要な情報を迅速に抽出することが益々、困難となっている。

また、近年の動向として技術開発から現場施工に至る全ての段階で、自分の専門分野以外の情報入手が不可欠となっている。建設工学は他の学問分野に比べはるかに多工種を含み、その製品である建造物は現地一品生産であるため、個々は固有な情報を持つ。これに建設外分野の情報を加えると、より広範・多岐にわたる技術情報が必要となっている。

このような要求にハードウェア・ソフトウェア、LANなど、周辺技術環境の急速な発展、かつ建設CALS/EC、

* 千葉工場設計部設計開発資料課

ISOへの展開などもあり近年、各社で技術情報データベースの整備が急速に進んでいる。

鋼構造を専門とする当社においても表-1に示されるデータベースを構築している。この中で特に大きなデータベースである技術文書データベースでは最近、複合化技術に対応すべくコンクリート橋、さらに橋以外の構造物など広く技術情報の収集に努めている。

このような建設業でのデータベース構築は、情報の内容や精度が多岐にわたるため、効果的なシステム構築は容易でない。また、ベテラン技術者は経験に培われた情報を保有し、かつ個人の資産にしているため、技術情報の共有化には保守的な傾向があることもその一因である。しかし、その反面、構築した場合の活用効果は大きく、一般技術者（いわゆるベテランでない）の業務効率化とレベルの底上げという大きな成果が期待できる。

3. 技術情報データベース構築の背景

(1) データベースを取り巻くシステム環境

情報管理の重要性を表す言葉として「紙を制する者は情報を制する。情報を制する者は時代を制する」と云われる。技術情報データベースの対象となる大量の文書（紙）は文字通り膨大なデータ量を持つ。これらを扱うハード・ソフト技術の発展も、困難なシステム構築が容易となった要因である。

- ◆パーソナルコンピュータの性能向上と低価格化
 - ◆漢字を含む日本語データの入出力、文字データ処理の技術向上
 - ◆リレーショナルデータベース^{*1}の利用し易さによる普及と低価格化
 - ◆エンドユーザー指向の対話性に優れ、使いやすいWindows環境の普及
 - ◆他のデータベース・ソフト、ワープロソフト、作表などへの取り込み、移植、連携の容易化
 - ◆情報通信ネットワーク（LAN、インターネット技術）の整備
- などが挙げられる。

(2) 汎用データベースソフトの利用

従来、データベースの開発は、その核となるデータベース本体を含めトータル的に自社開発が行われていた。最近、市販汎用データベースの機能向上と大幅な低価格

化によりデータベースの核に汎用データベースを組み込む形態での開発が一般化しつつある。これは開発期間の短縮、費用の低減効果が大きい。

最近の市販汎用文書管理データベースの機能を記す。

- ◆ホストマシン、EWS専用の大型データベースがパソコンへ移植され、ほぼ同機能が利用できる。
- ◆従来、文書管理と図面管理がシステム的に分離していたが文書・図面・写真など全ての資料が扱えるトータル的なシステムが多い。
- ◆外部記憶媒体の発達と低価格化に伴い、外部記憶装置として光磁気ディスク、CD-RさらにDVD-RAMなどが用いられるが特に大容量HDの利用が多い。
- ◆ウィザードなどの機能により容易にデータベースの構築が可能となり、使い易さが最優先されている。

(3) 技術文献データベース

当社を含む多くの企業でこのような周辺環境を基盤として技術文献データベースが構築されている理由は何であろうか。

技術文献データベースとしては一般に提供される外部データベースが多く存在し（大きい物では日本科学技術情報センター（JICST）、日本特許情報機構（JAPIO）、建設分野では日本建設情報総合センター（JACIC）など）有料ではあるが広範囲な分野での検索が可能である。しかし、これらのデータベースは建設分野、まして橋梁部門など特定の技術分野に対する細目なキーワードは設定されておらず、目的の情報を容易に手にできるとは言い難い。

これに対し、自社構築の場合、自社ニーズに合ったデータの蓄積、細かいキーワード付けなどの検索情報付加が可能であることが挙げられる。

(4) 技術資料データベース

技術資料データベースの中で最もポピュラーであり、各社で構築されているものとして「橋梁実績データベース」がある。かつて橋梁台帳の名のもとに検索カードが作成された時代があった。カードの四辺周辺すべてを利用してのパンチ孔による串差し検索は、その完成度の高さから先人の苦労の跡がしのばれる。高度成長時代を経て維持管理への関心が高まり、従来の設計資料としての役割から維持管理を目的とした役割へ大きく様変わりしている。このため、維持管理関連データが多く追加され、点検情報などを絡ませた維持管理システムの一環として

表-1 宮地技術情報データベース

データベース分類	技術資料	内容
技術環境	関連法規、技術基準	公的基準、施主基準の旧版
橋梁実績	工事実績橋梁リスト 国内橋梁リスト 参考図面管理 工事パンフレット 参考計算書データベース	当社施工橋梁データ 国内の橋梁リスト 当社施工橋梁の図面（選択図面） 当社施工および著名橋のパンフレット 橋梁形式別参考計算書および旧手書き設計計算書
ISO関連文書 管理システム	ISO手順書閲覧・管理システム ISO工事記録管理	ISO品質マニアル・規定・標準類の管理・閲覧 ISO品質記録の管理システム（作成中）
技術文書	国内雑誌記事情報 国内雑誌目次情報 土木専門書検索システム	国内雑誌の橋梁に関する記事データベース 国内雑誌目次の記事データベース 設計部保有技術文書の検索システム

構築されている。加えて、従来どおり設計資料、工事記録の保存としての役割もあり、これらが構築の目的である。図面、計算書などマイクロフィルムでの保存から電子データとして高密度な媒体での保存へと変化が見られる。

4. 当社における技術情報データベースの現状と計画

(1) 当社の技術情報データベース

当社では約8年前より技術情報データベースの構築を進めている（表-1参照）。技術資料データベースとしては橋梁実績データベース、ISO工事記録管理システムにより構成される。また、技術文献データベースは、技術環境、技術文書データベースなどがある。

データベースを含む技術資料の管理は千葉工場設計部内の開発部門が担当し、登録、検索業務を行っている。

(2) 橋梁実績データベース

橋梁実績データベースは当社で施工された約4900橋のデータを蓄積する。設定された検索フィールドは約90項目（表-2参照）あり、一般図、数量総括表、架橋地点地図、竣工写真などとは現在、リンク作業を進めている。その検索状況を図-1、設計図面検索状況を図-2に示す。図面は別データベースとして構築されており図面特有のキーワード（構造種別、部材種別、特殊構造名など）が検索情報として付加されている。例えば「隅角部」で検索すれば該当する橋梁と図面が表示される。

また、別データベースである国内鋼橋リストは収録検査件数約1万4000橋に及び、検索フィールドは30項目が設定されている。

表-2 橋梁実績データベース検索フィールド

工事名称	工事コード、工事名称、橋梁名、旧橋梁名称、ふりがな
発注先	発注先種別、発注先名、建設局名、事務所名、発注先メモ
架橋位置	路線名、河川名、市街地区分、架設場所
工期	着工年月、竣工年月
橋梁種別	橋梁用途、橋床位置、跨区分、橋梁型式、鉄道橋型式
床版種別	床版種別、床版厚、舗装種別、舗装厚
施工	JV施工範囲、宮地施工範囲、全橋長、連番号、連橋長
幅員	総幅員、車線数、車道幅員
支間情報	連数、支間数、最大支間長、平均支間長
支間割り	支間1、支間2、支間3、支間4、支間5
線形	最小曲線半径、最大縦断勾配
鋼重	総鋼重、宮地分、連鋼重、m'鋼重
荷重	設計荷重、雪荷重
使用鋼材	最高鋼種、最高板厚、耐候性鋼材
桁高	変断面区分
現場溶接	現場溶接
契約	契約区分、JV構成会社、契約形態、契約範囲、契約金額
架設	架設契約有無、架設工法
製作工場	製作工場
監理技術者	工現場代理人、工主任技術者、現現場代理人、現主任技術者
VE	合理化橋梁、VE実施事項
補修情報	補修情報1、補修情報2、補修情報3、補修情報4、補修情報5
キーワード	キーワード1～キーワード10
保存情報	マイクロ、縮小版、保存資料種別、摘要
設計図所在	一般図、数量総括表、塗装仕様、図面ファイル 地図情報

(3) 技術文書データベース

技術文書データベースは橋梁に関する国内雑誌記事を主に、現在までに約8000件（7万ページ）を収集・蓄積している。当初、光ディスク、光磁気ディスクを記憶媒体に使用した電子ファイリングシステムを使用していたが、ハード、ソフトの動向を睨み、平成10年にパソコンのWindowsNT版システムへの移行を実施した。約100の

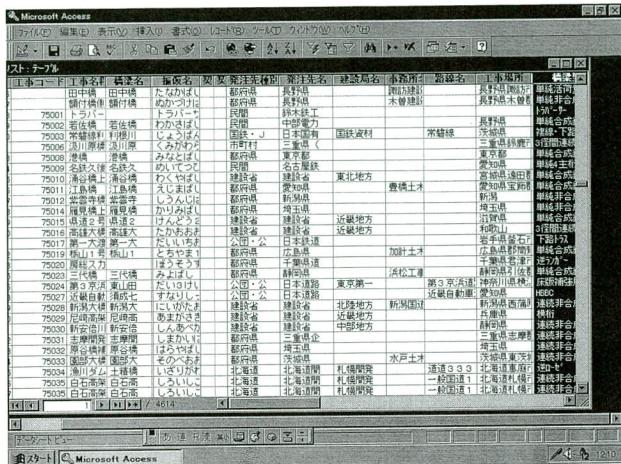


図-1 橋梁実績データベースの検索画面

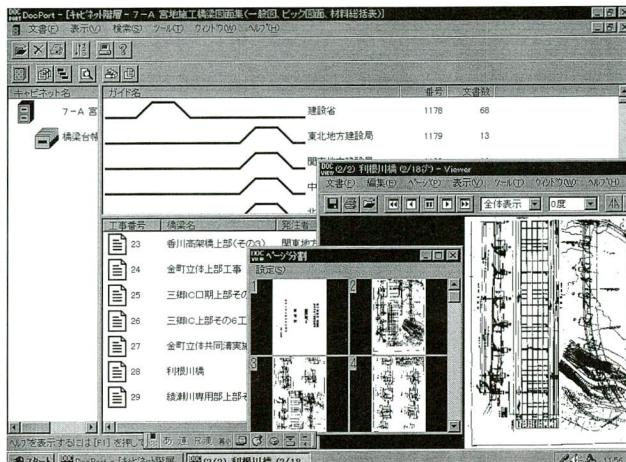


図-2 設計図面の検索画面

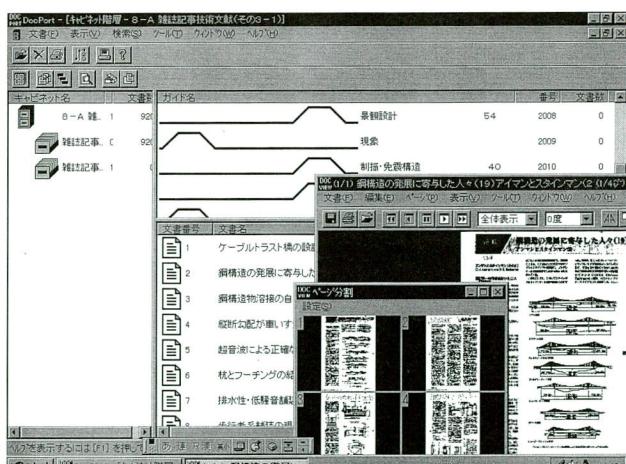


図-3 技術文書データベースの検索

カテゴリー（表-3 参照）と約230の固定キーワード（表-4 参照）が用意されている。その検索画面を図-3 に示す。キーワードとしてはこの他に記事名、雑誌名、著

表-3 技術文書データベースのカテゴリー

分類	キーワード	分類	キーワード
基準関係	示方書関連	防錆・防火・防音	塗装一般 亜鉛メッキ橋梁 耐候性橋梁 防錆・防食 防火・熱応力 防音構造
構造形式	吊橋 トラス構造 アーチ構造 鋼床版橋梁 斜張橋 曲線梁構造 斜橋 橋脚・アンカー 歩道橋 新交通システム	維持管理	維持管理システム 保全 橋の健全度 事故・災害 震災関連
	現象		制振・免震 疲労 二次応力 有効幅 応力集中 振動一般 横倒れ座屈 座屈 有効座屈長 クラック
	荷重		荷重・耐荷力 温度問題 衝撃
	解析		板解析一般 梁解析一般 応力解析一般 FEM/FSM 補剛板
	調査・設計		橋梁計画 線形計画
	製作・架設		架設一般 現場管理システム 大ブロック工法 現場溶接 応力測定 製作一般 溶接一般 検査 交通開放工事 拡幅工事 工事報告一般
構造部材	塔 床版（補修含） 継手・H T B ダイヤフラム 隅角部 異形梁柱 長柱・短柱 伸縮継手 落橋防止装置 支承 高欄・防護柵 照明	その他	特定個人論文 構造物の合理化 土木一般 震災関連 新プロジェクト 工事報告一般 橋の歴史 電算機一般 工業所有権 コンクリート工学 自動化システム 海外の橋 教育資料
	使用材料		
	設計		

者名、年月、巻、号、10個のフリーキーワードも付されており専門分野の深いレベルでの検索が可能となっている。

表-4 技術文書データベース固定キーワード

分類	キーワード	分類	キーワード	分類	キーワード	分類	キーワード
構造形式	アーチ構造 アンカー 薄肉構造 浮体構造 併用橋 応急・組立橋 海洋構造物 可動橋 曲線梁構造 基礎 橋脚 ケーブル 桁橋 格子構造 高橋脚 合成構造 新交通 斜張橋 斜橋 上下部一体 ダブルデッキ 長大橋 吊橋 鉄道橋 塔 トラス構造 特殊型式橋梁 二主桁橋 箱桁橋 パイプ構造 複合構造 歩道橋 免震橋 ラーメン橋 連続構造 ロックシェット	構造部材	補剛板 横構 落橋防止	現象	耐荷力 大変形 動的応答 熱伝導 破壊 疲労 非線形 腐食 付加応力 変形 防食 防音 有限変位 床組+主桁系 溶接割れ 練成効果	設計	橋の健全度 補修設計 免震橋
	荷重	圧力 温度荷重 風荷重 活荷重 繰返荷重 衝撃荷重 地震荷重 水圧 土圧 波力 プレストレス	材料	R R C R C S R C 金属 高張力鋼 新素材 耐候性鋼材 超高強度コンクリート P C 古桁 木材	解析	応力解析 応力法 解析手法 極限解析 構造解析 格子分配 最適化 地盤-基礎 二方向力 破壊力学 フーリエ解析 変形法 マトリックス法 F S M F E M 立体解析	製作施工
構造部材	板 異形梁柱 薄肉構造 隅角部 鋼床版 高欄 合成柱 シェル ジベル 床版 支承 伸縮継手 充填鋼管 スラブ ダイヤフラム 多室構造 鉄骨 T型断面 二次部材 柱 梁 P C 床版 変断面	機械物理	異方性 延性 開口 換算剛度 極限 切欠き 欠陥 降伏点 剛性 韌性 脆性 偏心 細長比 有効幅 有効座屈長 溶接欠陥 劣化	試験実験	計測 経年観測 光弾性試験 載荷試験 材料試験 振動実験 静的試験 走行試験 調査・診断 暴露試験 非破壊試験 疲労試験 風洞実験 模型実験 溶接試験	その他	河川 会議 下部工 開発 海外 建設 照明 J I S 受験 地震 水理 数表 積算 測量 地中構造物 駐車場 土質 鉄道 電算 統計
	現象	安定性 応力分布 応力集中 遅れ破壊 クラック クリープ 減衰 固有値 座屈 残留応力 振動 信頼性 制振免震 塑性 そり捻り 損傷度 走行振動	設計	架設設計 極限設計 計画設計 景観設計 限界状態設計法 構造設計 最適設計 示方書 設計手法 塑性設計 耐震設計 耐風設計			

本データベースには雑誌目次も収録しているが、データとして収録されているため雑誌名と年度、月

のみしか検索ができない。今後、OCRソフト^{*2}によるコード化変換により目次全文検索を可能とする計画である。

5. 技術情報システム構築のポイント

膨大な作業量を伴うデータベースの構築は多大な時間を要す。当然、構築後、利用されなくては無駄な投資となってしまう。また、継続利用には常に新しいデータ投入、場合によってはデータの更新によるデータベース活性化が要求される。技術文書のように常に新しい情報が渴望されるデータベースは特にこの傾向が強い。システム構築での配慮事項を以下に示す。

(1) 社内環境の整備

技術情報システムの構築には、情報収集と有効利用の体制を、社内全体で仕組みとして作りあげることが必要である。この運用体制は長期的観点に立って計画的に実施構築されなくてはならない。また、これらは社内標準に組み込み、定着化すると効果的である。

- ◆技術情報の共有化意識を社内で確立する。
- ◆ニーズを明確とする。ニーズが無いのではなくニーズがわかつていない事が多い。
- ◆社内における情報を体系的に整備し、情報管理の考え方を明確化する。
- ◆工事報告書などの提出を義務づけるなど情報収集体制を全社的な視野で確立する。
- ◆情報管理体制を組織化し、運用体制を徹底する。
- ◆情報有効利用の仕組みを明確にする。
- ◆ハード・ソフト、人材の育成など使いやすい環境を整備する。

(2) データベースの構築

「容器を作り、容器に詰め、容器から取り出す」これらの仕組みを効率的、有機的、調和をはかりながら作り上げる事、これがデータベースの構築と云える。

◆有効な入れ物を最小個数用意する。

キーワードを含み、検索フィールドの項目数は思い切って最小に限定する。あれこれ欲張ると後で入力に苦しみ、結局は挫折することになる。

◆入れ物にはできるだけ多く入れる。

入力情報は役立ちそうな物件を選択する。ゴミ箱としない。よって入力物件とキーワードの選定は業務経験者の従事が要求される。特にキーワード選定は全文章に目を通す必要があり、内容が理解可能な人でないと抽出ができない。

固定キーワードが整備されている場合は別としてフリ

ーキーワードを付する場合は入力規約の整備が重要となる(全角・半角の使い分け、送りがな、略称の扱いなど)。

◆入れ物から目的物を取り出せる仕組みをつくる。

検索要求の多い検索についてはそれを自動化するなどの配慮が必要である。また、操作手順など分かり易いマニュアルの作成はその効果が大きい。

(3) データの継続入力

前述したように、データベースはデータ入力の長期継続が重要であり、これを怠るとただの箱と仮す。短命のデータベースが如何に多いかの原因は一過的なデータ入力、継続性保持の欠如に起因する。継続性保持とは5(1)章でも述べたように情報収集体制の整備が大きな要となる。しかし、技術資料データベースの場合、専任部署、専任者を決めての情報収集、蓄積は膨大な作業量となる。データベース構築にあたっての最も大きな障壁は人、物、金といった経営資源に係わるものにある。しかし、“時間を創出せよ。時間がないのではなく、知恵がないと自覚せよ”という言葉もある。

例えば、業務の流れに沿い情報蓄積が自動的にできる「自然蓄積型」の仕組みをつくると効果的である。文書の作成と蓄積が同時にでき、登録作業を省略する事ができる。

このようなシステム化が難しい場合、かつ組織が無い場合はデータ入力を定常業務の中に組み込むことが必要である。また、長期に渡るとデータ入力担当者は不特定多数になる。入力規約が整備されていても個人差があるのである。極力、同一の担当者が入力する事が望ましい。なお、このような登録・運用担当者の選定に当たっては十分な配慮も必要である。

(4) キーワード

効率的な検索の実現には適切なキーワードの設定が何よりも重要となる。

1) キーワードの区分

キーワードの設定には以下に示す三種の方法がある。

(a) 全く自由な言葉をキーワードとする場合(フリー キーワードのみ)

最も簡単であるが、用いられる用語が分散し、文献の整理、検索の点から問題がある。しかし、特定分野の狭義な専門用語が記述できる利点がある。

(b) 決められたキーワードリストにある用語の他、自由な言葉を加えてキーワードとするもの((a)、(b))

の混在であり ASCE^{*3}などはこの方法)

(c) 決められたキーワードリストにある用語のみを用いる場合（固定キーワードのみ）

キーワードリストをつくる作業が膨大なる。また、場合によっては適当な用語がリストになく、キーワードが付けにくいという問題がある。反面、情報入手が効率的となり、検索ミス防止につながる。

当社の技術文献データベースは b) の方法、固定キーワードとフリーキーワードを併用している。固定キーワードのみとした場合、技術革新に従いキーワード自体が変化または新生し、固定キーワード群の更新頻度が高くなる。また、固定キーワードへの追加により語数が大きくなり入力・検索効率の低下を招くことになる。併用はこれらの解決に有効である。

2) キーワードの選定

“吊橋”や“アーチ橋”はそれ自体でキーワードとなるが“支間”、“橋長”、“橋格”などは対応する内容（数値）が無いとキーワードにはならない。技術文書は前者の形式のキーワードであり、橋梁実績データは後者の形式である。ここではキーワードが大きな要素である技術文献を対象に記する。

固定キーワードを設定する場合、最大でも500程度以内に納めるのが一般的である（ASCEなどの例より）。また、全社的な視野でのキーワード整備が好ましい。固定キーワードリストの作成、あるいはフリーキーワード選択時のポイントを下記する。

- ① データベースの扱う分野範囲によって当然、キーワードの選定は異なる。対象分野で一般的な事項はキーワードに乗せない。

例えば橋梁を対象としたデータベースでは「道路橋」は選定しないが「鉄道橋」は選定する。

- ② 狹義の言語は用いず、幅広い専門分野の用語を網羅することで表現する。

極端な例：分類名分解による表現

例1：鋼床版鋼三径間変断面曲線連続箱桁橋 は 鋼床版、曲線梁構造、連続桁構造、箱桁橋、桁高変化構造、上路橋 で表現

例2：逆ランガー橋 は アーチ構造、上路橋 で表現

- ③ 時代の要求を取り込む。

最近のキーワード：景観設計、維持管理、制振免震構造、震災関連、信頼設計、LCC（ライフサイクルコスト）など

- ④ キーワードは内容により大分類（カテゴリー）分け

けを行う。キーワードが多い場合、入力および探索時に必要である。

橋梁形式——アーチ構造、ラーメン構造、桁橋 など

⑤ 大容量データベースのデータは極力、文言の短縮による記憶容量の縮小化を目指し、無駄なデータは入れない（キーワードの性格上、正確性は問われない）。

例：本州四国連絡橋公団 は 本四公団

山下 清 は 山下清（空白も一語）

- ⑥ 送りがなも上記と同様。

例：組み合わせ は 組合せ

⑦ 技術文書の場合、文書名がやたらと長い。

題名中の用語は一種のキーワードと考えられる。題名中の用語で検索する事もあり、題名の長さを制限する事は検索効率を低下させることとなる。

例1：道路橋RC床版の経年を考慮した補強工法選定のためのエキスパート・システム 36字

例2：幾何非線形性を考慮したアーチ橋の曲げモーメントの近似計算法について 33字

- ⑧ カタカナ用語は極力略称とする。

長すぎるカタカナは半角入力か略称設定をする。

例：プレストレストコンクリート は PC

3) キーワードの入力

文書登録の際、入力キーワード抽出時の留意点について以下に記する。

① 最近、論文集など筆者が抄訳、キーワードを付加する場合が多く見られる。しかし、筆者によりキーワードの付け方に一貫性がなく、まちまちとなる傾向もある。従って登録時のキーワードはこれに縛られない方がよい。また、一文書にキーワードは10個あれば十分である。

② 題名、他の検索項目にキーワード用語が含まれている場合、検索用のキーワードとの重複は避けたい。

③ 工事記録など、複数の著者名（多い場合5から6名）が記載されている。著者名を検索項目とする場合、その目的にもよるが、通常、主たる著者のみ1、2名を入力する（最も主たる著者名は誰か不明な文献が多い）。

④ 入力者にはそれなりの知識が要求される。しかしあまりにも専門的に偏りすぎる用語の抽出も避けるべきである。

6. システムとして必要な機能

データベースシステム構築に際しその機能として付加すべき機能を以下に記す。

- ① 利用者がその文献を必要とするか否かの判断は、最終的に検索された文献の中身そのものを参照して決定される。このような意味で抄訳の有無は、大量文書からの検索時、検索時間の短縮に大きな効果がある。しかし、これを活用したデータベースの構築は大量データを扱う場合、かなり難しいと云える。また、考慮が可能な場合においても、登録者が抄訳を作成するのは現実的でなく、文書の“まえがき”、“あとがき”的利用が効果的である（できればこの部分のみでもOCRソフトによるコード化が理想的）。
- ② 登録キーワードの一覧表表示および印刷機能は必須である。検索時キーワード一覧表を見ながらの選定、登録キーワードのチェック、同義語の統一作業などに不可欠である。
- ③ 全ての検索キーワード選出（フィールド項目と指定キーワード、検索条件AND・ORなど）が一画面で設定でき確認が容易なこと。
- ④ 文書登録後に入力キーワードの修正機能ができるここと。
- ⑤ 作表ソフトなどへの書き出し機能を持つこと。登録時の入力ミス（キー入力ミス、入力規約違反など）は以外と多い。文書管理情報を外部へ書き出し、外部の作表プログラムで修正し、データベースへの再帰できる機能は便利である（反して、危険な面あり、データベース管理者などの特権とする）。
- ⑥ 同義語定義の機能
同義語置換機能（キーワードAとキーワードBおよびCは同義語なためキーワードAに置換）があるとフリーキーワードによる検索効果は飛躍的に向上する。
例：ダイヤフラム＝ダイアフラム、隔壁板
- ⑦ 写真混在文献のスキャナー設定が以外と難しい。写真部分の自動判定機能付きなどスキャナー選定との関連も大切である。
- ⑧ 検索文書名を表示後にさらに絞り込み検索を行う機能は必須である。
- ⑨ 大量文書の登録効率化には一括登録の機能（文書検索情報の一括読み込みと原文とのリンク）は必須である。
- ⑩ 大量登録時、入力データ作成は作表ソフトが最も

効率的である。データベース側でこのデータを引き込むこと。

- ⑪ 情報利用者のニーズに応じた検索結果の加工ができる（結果への編集、他ソフトへの参照など）。

7. 今後の動向と課題

現在、この種のシステムにおける検索機能は十分な効果を発揮しているとは云い難い。今後、周辺システムの進歩もありどのように展開するのであろうか。

- ◆OCRソフト技術の向上によりイメージ情報（点の集合データ）からコード情報（文字として認識できるデータ）への変換信頼性がさらに向上し、この結果として全文検索が可能となる。
- ◆全文検索が可能な場合、キーワードの自動抽出が可能となる（登場頻度などから統計的に複数を抽出できる——キーワードを使用しない全文検索は目的外の文書も多く選出され、効率が悪い）。
- ◆異種情報との有機的なリンク（文書内キーワードから別の技術資料と技術文献などへのリンク）により思考範囲の拡大がはかかる。例えば文献卷末の参考文献情報を盛り込み、リンクすることにより飛躍的に検索効率の拡大がはかかる。
- ◆リレーションナルデータベースを利用した関連用語の検索システム（類似後、同義語の入力によりキーワードの選出）の開発。

などが考えられる。一方、コンピュータ技術の発展がもたらす問題点としてデータの長期保持がある。記憶媒体の発達は急速でありその変遷は早い。新たな媒体の出現により数年単位でのデータ移行が予想され、これは宿命ともと云える。大容量データベースでは移行に多くの時間を要する事となり大きな問題である。従って特殊なOS、ファイル形式は極力避けるべきであり、その時代のディファクトスタンダード^{*4}の採用が無難である。

8. あとがき

太平洋戦争におけるパール・ハーバー奇襲を米国が予見できなかったのは情報が不足していたからではなく、無関係情報が氾濫していたからだと云われている。多くの情報の中から真に必要な情報を探し当てる難しさの一例である。

近年、各企業の持つ情報の重要性が指摘され、業務活動に伴って発生する技術資産としての情報を効果的に流通させるため、目的に応じたデータベースが構築されている。また、ISO9000S、14000Sの取得により管理すべき文書の大幅な増加を生んでいる。さらに、受注条件として技術提案型の増加により成果品管理や技術資料の管理が各社で進んでいる。

このような文書データベースは対象となるデータ量が膨大であり、これらの入力には多大なる工数と期間を要する。従ってこれらの構築には十分なる配慮が必要となる。

当社におけるこれらシステム構築の経験に基づき、若干、気の付いたことを記した。参考となれば幸いである。

〈参考文献〉

- 1) 梶田 建夫、成岡 昌夫：構造工学に関する論文のキーワード、土木学会論文集 1980年2月号
- 2) 鳥羽勇造、佐藤浩明、他：電子ファイリングシステ

ムによる技術情報データベースの作成と管理、宮地技報 1991年No. 7

* 1 リレーショナルデータベース (Relational Database) : データの関係を2次元の表として表現し、複数の異なる情報を一つの共通項目により関係づけるられるデータベース。大きな特徴としてデータを処理するプログラムとデータ群が独立していることが挙げられる。

* 2 OCRソフト (Optical Character Reader) : 印刷物、手書きなどの文字を光学的 (スキャナー) に読み取ったデータから、パターン分析する事により、イメージデータからコードデータに変換するプログラム

* 3 ASCE (American Society of Civil Engineers) 米国土木技術協会

* 4 ディファクト スタンダード (De Facto Standard) : 正式には標準と定められていないが、世の中一般に広く利用され、事実上の標準となっているもの(例えばCADのDXFファイル)。

1999.11.1 受付

グラビア写真説明

西中IC橋

愛知県三河地方の南西部に位置する、碧南、高浜、刈谷、知立及び豊田の各都市を縦貫し、衣浦臨海工業地域と自動車産業を中心とする内陸工業地帯を結ぶ主要幹線道路が本橋の架かる衣浦豊田線（国道419号）です。本橋は、一般国道23号線との接続部分におけるOFFランプ橋であります。

(加藤)

川登橋

国道433号は広島県の中山間地域を路線としているため随所で幅員が狭く、降雨・降雪により交通がマヒすることがあります。本橋の位置する加計（かけ）町は、降雨量が県内一、二を争うと共に冬期の降雪量も多く、山あいにはスキー場もみられます。また大田川水系の源流が数多く、本橋はほたるややまめ、いわなが繁殖する清流の丁（よう）川に架橋されたV脚ラーメン橋です。

製作においてはV脚の形状精度に、部材輸送には狭い幅員の搬入路をいかに運ぶか、また現地架設ではV脚の形状保持と河川や周辺の環境保護にと各担当者の気くばりの成果で美しい橋がまた一つ産声をあげました。

(加藤)

一渴水期における急速施工(丸子橋の架設)

Rapid Completion of a Bridge during the Dry Season (Construction of the Marukobashi Bridge)

國 京 一 剛* 安 中 順 策** 越 中 信 雄*
Kazutake KUNIKYO Junsaku ANNAKA Nobuo ETCHU

Summary

Because of the need to do various types of work simultaneously on the Marukobashi Bridge, our work schedule presented many challenges. This was foreseen during planning of the construction because circumstances surrounding the construction site precluded the use of large block erection of the bridge. As a result, a method was chosen in which two arch bridges are erected at almost the same time. This paper describes how the rapid completion of the bridge during a dry season was done using a bent-erection system that included a scaffold board and a crawler crane.

キーワード：渴水期施工、並行作業

1. まえがき

現在、東京都と川崎市により丸子橋の架替整備事業が行われている。丸子橋は、中原街道の多摩川横断部に位置し、鋼アーチ橋とコンクリートアーチ橋が連続する美しい橋梁であった。新橋は、その景観イメージを継承しつつ、増大する交通需要に対応できるよう計画された。

本報告は、丸子橋架替整備事業のうち、流水部上の鋼ローゼ桁橋2連を新設する「丸子橋鋼けた製作・架設工事」(東京都第二建設事務所)において、主に現場施工に関する内容を記述する。

施工に際しての主な制約条件は、以下のとおりであった。

- ・河川内の工事であり、渴水期施工となる。
(渴水期期間：11/1～5/31の7ヶ月)
- ・架橋地点が流水部上である。(多摩川)
- ・供用中の丸子橋仮橋と近接工事となる。
- ・アーチ部材のウェブ水平方向が現場溶接である。(上下分割搬入される。)
- ・周辺は閑静な住宅街のため夜間・休日は施工不可である。
- ・河川敷内に公園、ボート乗り場があり第三者が非常に多い。

このような状況下で次項に示す橋梁の新設を行った。

2. 橋梁諸元

本橋の橋梁一般図を図-1に示す。橋梁概要は以下のとおりである。

形 式	鋼ローゼ桁 2連
支 間	2@103.0m
幅 員	道路幅員 25.0m (車道：17.0m、歩道：2@4.0m)
主構間隔	19.5m
アーチライズ	17.0m
総 鋼 重	2999.3t (2連分)



写真-1 丸子橋全景

* 宮地建設工業(株)東日本橋梁事業部橋梁計画技術部

** 技術本部工事部工事課課長

表-1 実施工工程表

工事種別	平成10年			平成11年								備考
	10月 10 20 31	11月 10 20 30	12月 10 20 31	1月 10 20 31	2月 10 20 28	3月 10 20 31	4月 10 20 30	5月 10 20 31	6月 10 20 30	7月 10 20 31		
準備工	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
棧橋設備工	—	—	—	A橋側棧橋組立 B橋側棧橋組立	—	—	—	—	—	—	—	A橋側棧橋解体 B橋側棧橋解体
アーチリブ現場溶接工	地組設備組立	地組立	ウェブ溶接	地組設備解体・アーチ運搬	架設後ウェブ溶接	—	—	—	—	—	—	—
A橋	ベント設備工	—	—	地組立 杭基礎(組立)	上部工(組立)	—	上部工(解体) 杭基礎(解体)	—	—	—	—	—
東京方	桁架設工	—	—	補剛桁	垂直材・アーチ	—	—	—	—	—	—	—
歩道部架設工	—	—	—	—	—	クレーン構台組立 クレーン構台地組	—	—	—	—	クレーン構台解体 歩道部架設	—
B橋	ベント設備工	—	—	地組立 杭基礎(組立)	上部工(組立)	—	小ぼらし・搬出 上部工(解体) 杭基礎(解体)	—	—	—	—	—
川崎方	桁架設工	—	—	—	補剛桁	垂直材・アーチ	—	—	—	—	クレーン構台解体 歩道部架設	—
歩道部架設工	—	—	—	—	—	クレーン構台組立 クレーン構台地組	—	—	—	—	—	—
後片付け	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
渇水期期間	—	—	—	—	7ヶ月	—	—	—	—	—	—	—

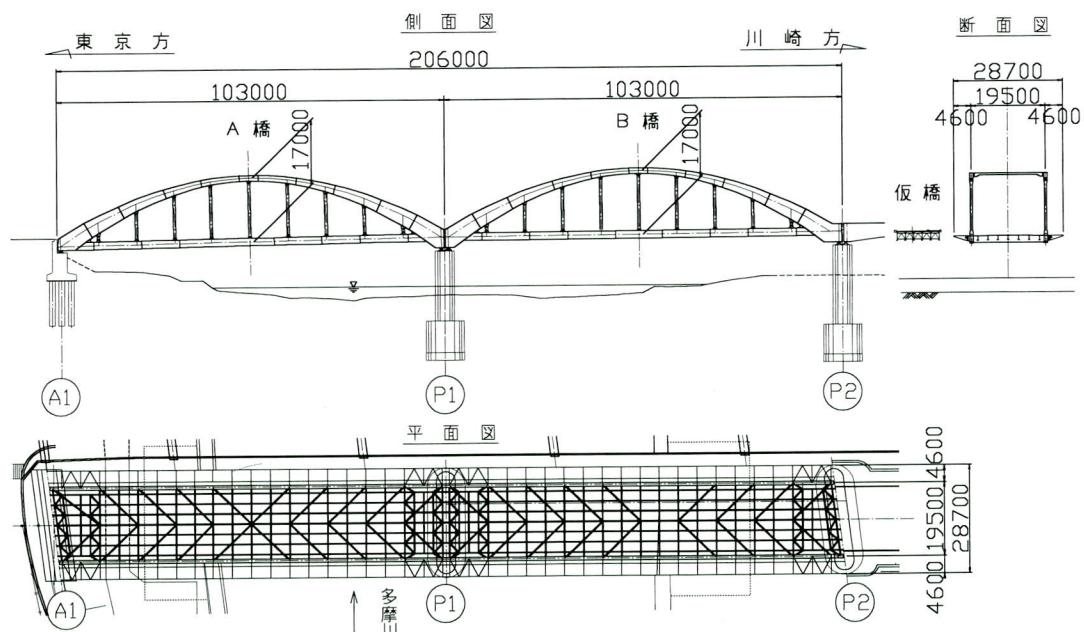


図-1 橋梁一般図

3. 架 設

(1) 工法選定

施工方法を選定するにあたり現地の状況は、以下のとおりであった。

- 流水部の水深は、1~2mと浅い。
- 架設地点の上流側に堰、下流側に仮橋があるため大型船舶の航行はない。小型ボートの航行のみ。
- A1橋台背面は多摩堤通りで供用中である。
- 既設PC桁上への車両の乗り入れは不可能。
- 上空に障害物はない。

- ・川崎方河川敷が比較的広い。
- ・河川内への車両の進入路が両岸にある。

以上の様な現地の状況下で2連ともに渕水期内に架設を終えなければならなかった。そこで、2連ほぼ同時に架設が進められるように、桁架設用クレーンの搭載、部材運搬を目的として、架設地点の上流側に棧橋設備を設置することとした。また、橋体の支持は、杭基礎構造のペント設備にて行うこととした。次項より、棧橋を用いたクローラクレーン・ペント工法による本工事の施工内容を報告する。

(2) 施工要領

1) 棚橋設備組立工

主要設備数量

基礎：杭基礎 H400×12.5m 161本

主桁：桁高2.0m区間 5主桁×120m

　　桁高1.2m区間 9主桁×40m

面積：2080m²

総鋼重：2000t (H鋼杭350t含む)

棧橋設備の組立ては、150t吊りクローラクレーン2台にて行った。また、基礎杭の打設は、バイブロハンマーでウォータージェットを併用した。棧橋設備について、構造面・施工面で特に留意した点を以下に示す。(写真-2, 3)

- ・幅員を13mとし、本工事で使用する最大の300t吊りクローラクレーンを搭載しても棧橋上への部材搬入が可能な構造とした。(2連同時に桁架設を進めるため)
- ・工期短縮のため東京方、川崎方両岸より施工し中央で閉合とした。



写真-2 棚橋設備 基礎杭の打設

- ・杭基礎部の施工中、ヤードにて棧橋上部工の工事桁等を可能な限り地組みし、架設地点へ運搬する方法をとった。
- ・杭打ち時の水質汚濁防止のため、シルトプロテクターを設置した。

表-2 主要工種施工実績

施工内容	数量・日数	備考
基礎杭打設	6~10本／日	クローラ1台当たり
上部工架設	1径間／2.5日	主桁から覆工板まで

2) ペント設備組立工

主要設備数量

基 础：杭基礎 H350×13.5m 128本

工事桁：桁高1.6m 2主桁×64m×4基

支 柱：500角ペント支柱4m~11m 32基

総鋼重：1300t (H鋼杭250t含む)

ペント設備の組み立ては、桁架設地点上流側に設置した棧橋上より、150t吊り2台、300t吊り1台のクローラクレーンにて棧橋設備と同様、杭基礎部の施工、上部工の工事桁、ペント支柱と順次行った。ペント設備について、構造面・施工面で特に留意した点を以下に示す。(写真-4, 5)

- ・阻害率の関係から工事桁を渡し、その上にペント支柱を設置する構造とした。(阻害率をP1橋脚含め28%以下とするため、杭基礎の位置を棧橋設備と合わせた)
- ・解体を考え、ペント支柱を受ける工事桁部を棧橋側へ横移動できる構造とした。
- ・工事桁部、ペント支柱を可能な限りヤードにて地組みし、架設地点へ運搬する方法をとった。

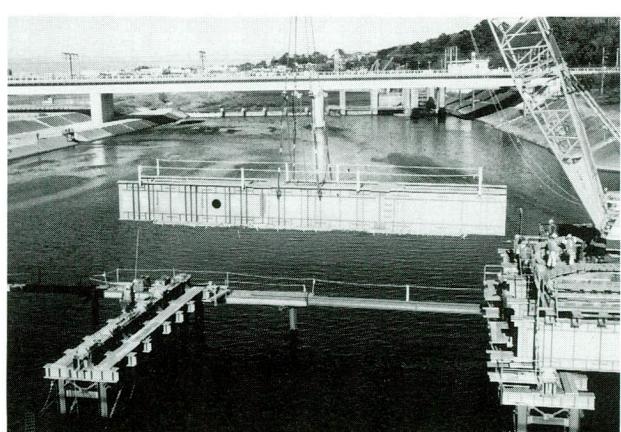


写真-3 棚橋設備 工事桁の架設

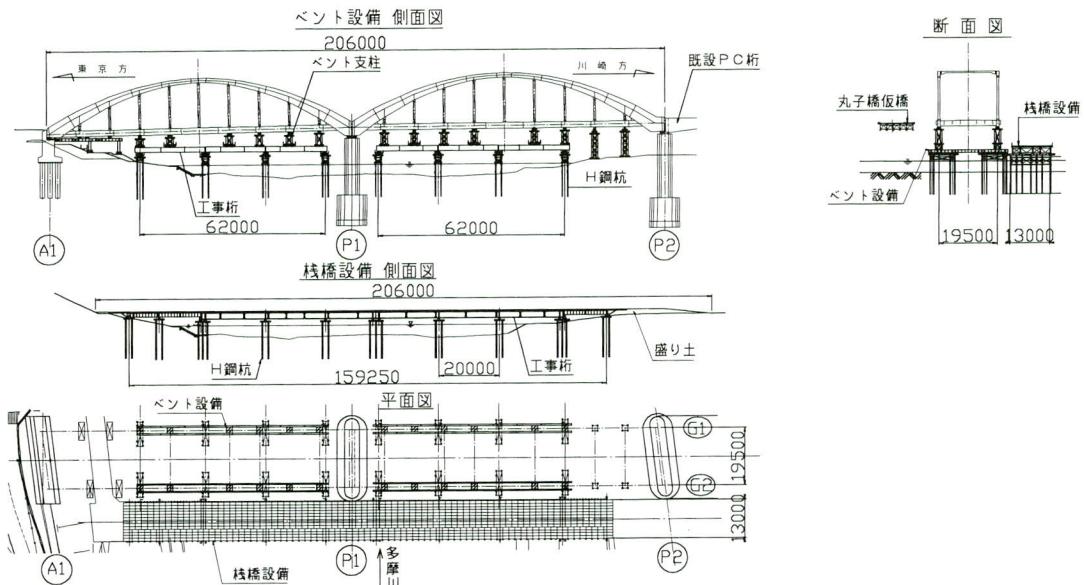


図-2 棧橋・ベント設備一般図

- 杭基礎部つなぎ材の固定（杭頭プレート以外）に万力型締付け具も使用した。（A橋のみ使用。溶接固定のB橋に比べ、1.5倍程の施工速度であった。）

表-3 主要工種施工実績 2

施工内容	数量・日数	備考
杭基礎部	15日	つなぎ材取付含む全量
上部工架設	15日	足場関係含む全量

3) アーチリブ地組立・現場溶接工

主要設備数量

地組立設備：500角ベント

総鋼重：450t

アーチ部材に輸送上の問題よりウエブ水平方向に現場

溶接箇所があるため、棧橋・ベント設備の組立てと平行して川崎方ヤードにて地組立・現場溶接を行った。（架設重量の関係から一部は分割架設し、架設後に溶接を行った。図-3）

溶接方法：CO₂片面裏波自動溶接

板 厚：22~42mm

溶接延長：505.2m（実長）

アーチリブ地組立・現場溶接工について、特に留意した点を以下に示す。（写真-6, 7）

- 架設後の現場溶接では、溶接線が約33度の勾配となるため、工場にて施工性の確認試験を行った。
- 架設後溶接の際の足場は、急勾配となることから専用のピースをあらかじめ取り付けた。



写真-4 ベント設備 工事桁の架設

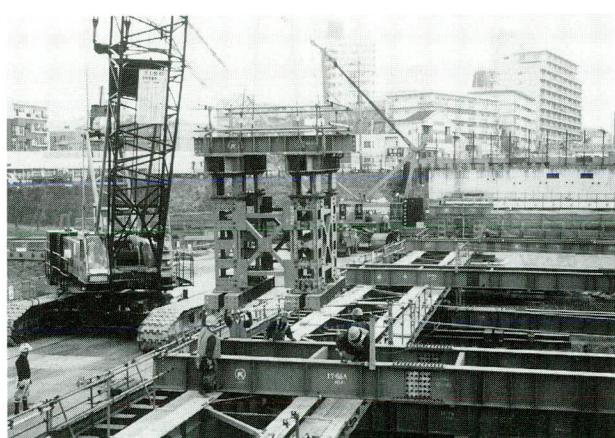


写真-5 ベント設備 支柱部の架設

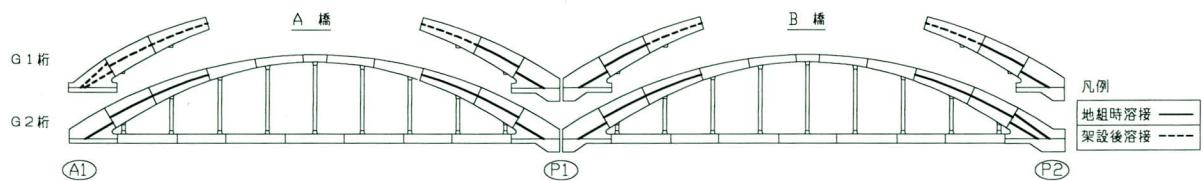


図-3 アーチリブ現場溶接箇所

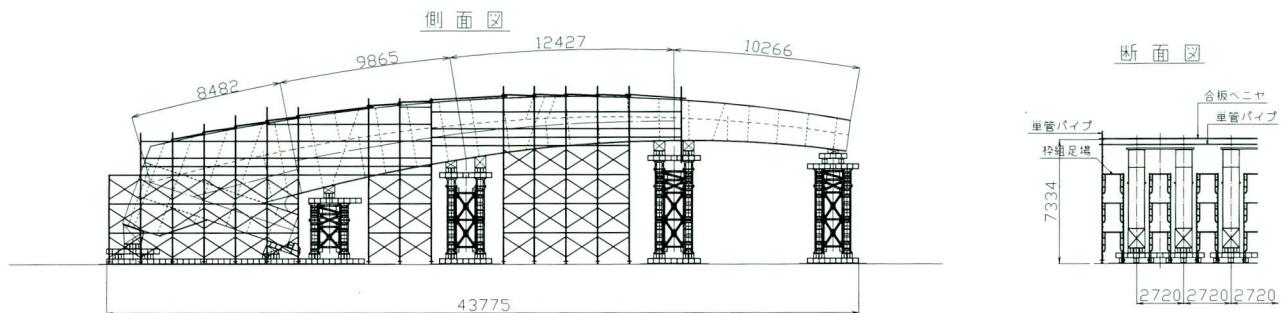


図-4 アーチリブ地組立設備

表-4 主要工種施工実績 3

施工内容	数量・日数	備 考
現場溶接	4ブロック／20日 (B橋, P2, G2側)	換算長2754m 溶接2パーティ

・溶接による部材間の収縮差を小さくするため、各支点部4ブロック(図-4)を組み立てて溶接し、完了後、単ブロックにバラして架設した。(添接部をHTBで拘束し、溶接を行った。)

4) 桁場内運搬

アーチ部材の支点部が、特殊な形状をしているため(最

表-5 自走式キャリヤ性能表

項目	性能及び規格
全長×全幅	11.99m×3.2m
全 高	1.6m±0.3m
最大積載量	165t
自 重	35.7t

大重量: 65t)、地組ヤードでの現場溶接後、架設地点までの運搬に自走式キャリヤを使用した。なお、棧橋乗り入れ部の勾配は7%とした。(写真-8, 9)

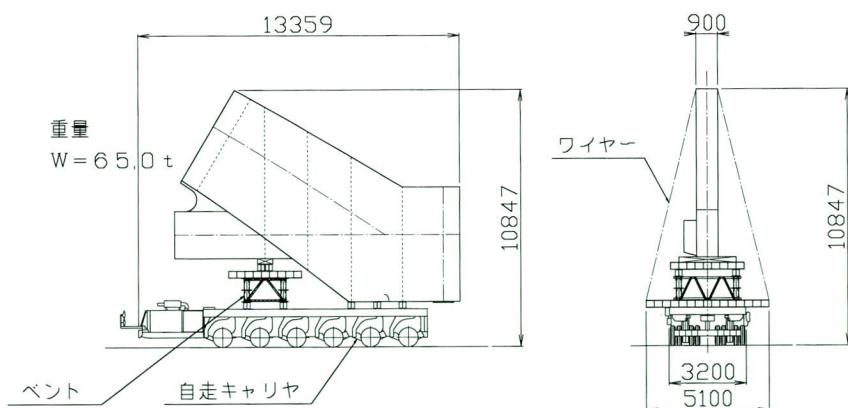


図-5 運搬時荷姿

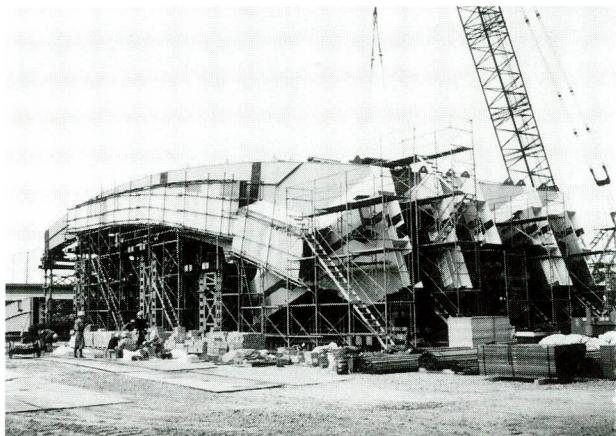


写真-6 アーチリブ地組立



写真-8 桁場内運搬状況 1



写真-7 アーチリブ地組立状況



写真-9 桁場内運搬状況 2

5) 桁架設工

桁架設は、補剛桁・垂直材・アーチリブの順で300t吊り、150t吊りクローラクレーン各2台を使用し順次行った。桁架設について特に留意した点を以下に示す。(写真-10~12)

補剛桁架設

- 工期短縮のため、両支点から支間中央に向かって架設し、中央で閉合とした。
- 支間中央で落とし込みとなるため、閉合桁両端に10mmづつクリアランスを設けた。
- 可動支承側をセットバックした。

アーチリブ架設

- 主構間隔が広く、アーチが内側に倒れる傾向にあるため、内側から押す治具を使用した。

- 支間中央で落とし込みとなるため、閉合桁両端に10mmづつクリアランスを設けた。
- 工場にて桁全体の立体仮組みを行った。

表-6 主要工種施工実績 4

施工内容	数量・日数	備考
補剛桁・床組	25日	2連分
アーチ・垂直材	15日	2連分

また、支承の固定は、ベントによる仮受けを解放し、支点支持状態における鋼重分のたわみによる移動量を確認した後、床版の自重などによる残りの移動量を残し行った。

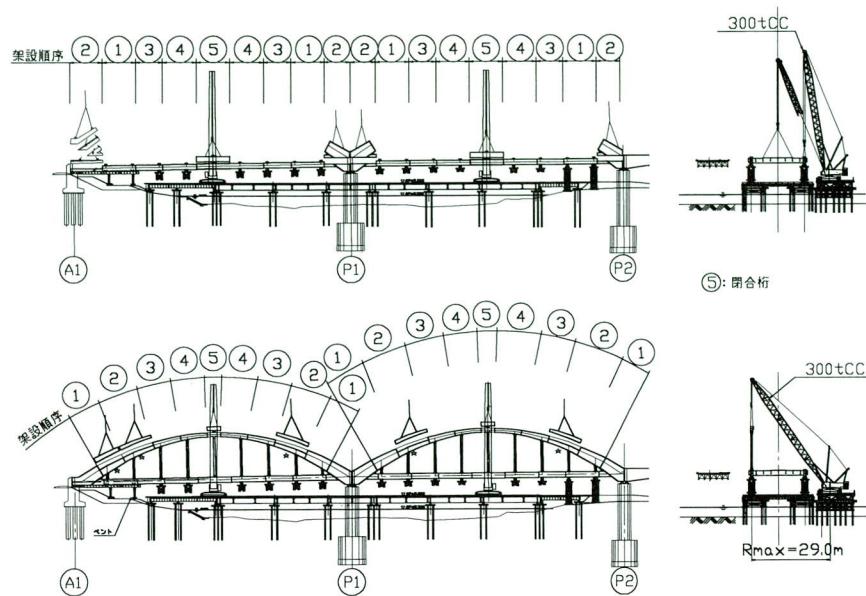


図-6 架設順序図

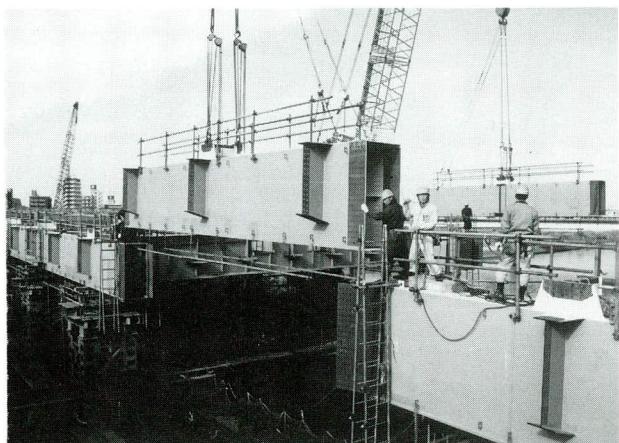


写真-10 補剛桁の架設（閉合桁）

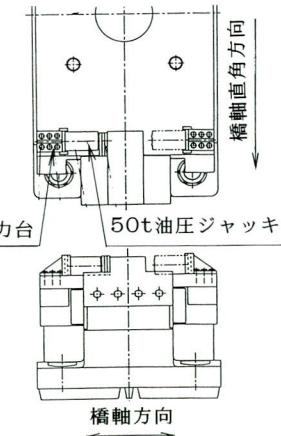


図-7 ゴム支承せん断変形装置



写真-11 アーチリブの架設



写真-12 桁架設状況全景

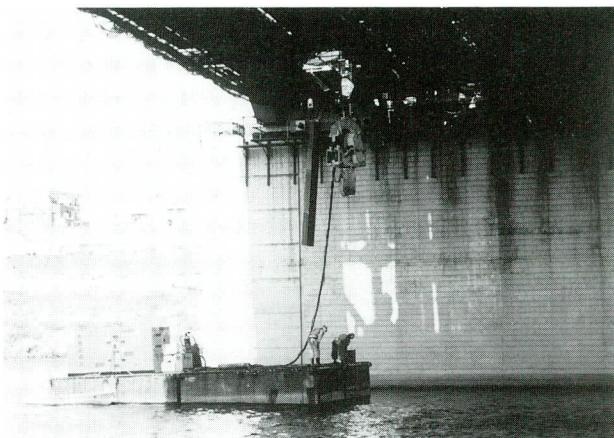


写真-13 ベント設備 基礎杭の引抜き（橋上より）

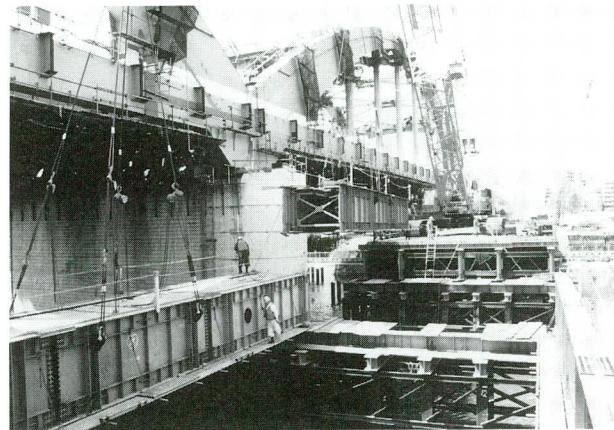


写真-14 棧橋設備解体

6) 棧橋・ベント設備解体工

渇水期中にすべての仮設備を堤外地から撤収しなければならなかった。そのため、解体は可能な限りブロックで行い、地組ヤードに運搬し小ばらしするよう努めた。以下に解体方法及び留意した点等を示す。(写真-13, 14)

ベント設備

解体方法

上部工：桟橋上に取り込み地組ヤードへ搬出

下部工：橋上に構台を設置してクレーンを搭載し、

橋上に取り込み搬出

- ・G1桁側の支柱を受けていた工事桁部は、桟橋側へ横取りし桟橋上へ取り込んだ。

- ・基礎杭の配置を橋上から引き抜けるよう計画した。
(平面的に部材をかわした)

- ・基礎杭は、2分割し、橋上へ取り込んだ。

桟橋設備

解体方法

上下部工：組立て同様

- ・組立て同様2台のクレーンを使用し、中央から両岸に向かい2手に分かれ解体した。

- ・基礎杭の上部は、すべてつなぎ材の下で切断し、つなぎ材部分もブロックで撤去した。

7) 歩道部架設工

歩道部の架設は、先に施工完了させると桟橋・ベント設備の解体に支障があることや工程的な問題から、出水期も使用できる橋上より行うこととした。ベント設備解体に使用したクレーン構台上に部材を搬入し、ラフタークレーンにて架設を行った。丸子橋仮橋と最も近接作業となるため仮橋上に保安要員を配置し、強風時を避け行った。(写真-15)



写真-15 歩道部の架設

表-7 主要工種施工実績5

施工内容	数量・日数	備考
ベント杭引抜き	5~8本／日	橋上より1台で引抜
桟橋杭引抜き	14~20本／日	桟橋上より1台当り

表-8 主要工種施工実績6

施工内容	数量・日数	備考
プラケット取付	1日	I橋の片側当たり
縦桁取付	1.5日	(100m)

4. あとがき

ここに報告してきた丸子橋の架設工事は、1渴水期に施工を終えなければならないというのが絶対条件であった。現地の状況から一括架設等は望めず、今回紹介したような工法により施工した。流水部上ということもあり、棧橋設備等の仮設備も膨大なものが必要であった。当然工期が問題となり、いかにして多工種を並行作業で進めるかが計画段階において検討された。また、工事をスムーズに進めるため、計画段階から現場施工をとおして対

外的協議関係（河川管理者・道路管理者・河川内公園管理者・漁業協同組合等）にも重点を置き、協議が順調に進んだことが非常に大きかったと思われる。幸いにも川崎方に地組ヤード（約5000m²）が広く確保できたが、それでも最盛期は煩雑を極めた。このような中で事故もなく工期内に無事施工完了できた。本工事の計画・施工に当たり監督御指導頂いた東京都第二建設事務所、同第二工区の皆様並びに協力会社の皆様に深く感謝し、紙上を借りて感謝御礼申し上げます。

1999.11.1 受付

グラビア写真説明

御笠川高架橋

福岡市内から九州自動車道路を利用する場合のインターチェンジは、太宰府ICである。途中までは都市高速道路の利用ができたが国道を経由するための行楽シーズンは勿論の事毎日インターチェンジまでの交通渋滞が避けられなかった。

本橋は福岡都市高速2号線月隈北～太宰府西間（延長6.3km）の太宰府ICに近いところに位置する。平成11年3月開通に間に合わせるために官民一体となり努力の結果、予定通り完成し、目的地までのアクセスがスムーズになった。2号線は太宰府ICに直結し、金の隈・大野城・水城・半道橋ランプが新設されより便利になった。

（矢野）

鳴沢橋

一般国道141号線は、山梨県と長野県を結ぶ幹線道路であり、上信越自動車道及び国道18号に連絡する重要路線でもあります。現道は、交通量の増加に伴い、慢性的な交通渋滞が発生する様になりました。長土呂バイパスは、現道の交通渋滞を解消する為に計画されました。

鳴沢橋は、同バイパスの延長上に位置する滑津川に架かる鋼単純トラス橋であり、上下線2橋から成ります。

この路線は、長野新幹線佐久平駅や上信越自動車道佐久ICにアクセスしており、首都圏への通勤・交通手段として、また一大レジャーショッピング地域として発展しております。同橋もその一担を担っております。

（山田）

東浦1号橋

愛知県道路公社発注の東浦1号橋は、夏季シーズンに海水浴客で賑わう「知多半島道路」の本線が県道23号（東浦名古屋線）を跨ぐ地点に架かり、東浦IC（大府ICと阿久比ICの間）の新規開設による県道23号の拡幅に伴い計画された橋梁です。

当社は平成9年度に上り線（単純鋼床版鉄桁橋）、平成10年度に下り線（単純RC鉄桁橋）の計2橋の工事に携わりました。

知多半島道路本線は平成10年度に切替開通し、また東浦ICは平成11年度に新規開設しました。

（原）

廣安大橋の主塔製作

Manufacture of the Main Tower of the Kwang-Ahn Grand Bridge

石川 洋^{*1} 古市憲男^{*2} 阿部正彦^{*3}
Hiroshi ISHIKAWA Norio FURUCHI Masahiko ABE

Summary

Our company manufactured part of the main towers of the Kwang-Ahn Grand Bridge, a suspension bridge in Korea. The octagonal section of the main tower had members that were manufactured after determining where preheating was needed. This was done by testing the weldability of their grooves. This paper describes special features in their manufacturing, such as the manufacturing method (including yard welding) and the painting specifications.

キーワード：主塔，吊橋，多角形柱，ヤード溶接

1. はじめに

廣安大橋は、釜山広域市が10年計画で進めている広域輸送網の一環で、韓国でも有数の海水浴場の一つである広安里ビーチの沖合いに建設が進められている全長7.4kmの湾岸道路の一部である。（図-1, 2参照）

本工事は、釜山広域市より発注された橋梁でその受注形態は右記のようになっている。

YOOSHINは、監理団で廣安大橋2工区の設計・製作・架設等本橋梁全般について管理している。

東亜建設産業株式会社 (DONG-AH) は、韓国内の

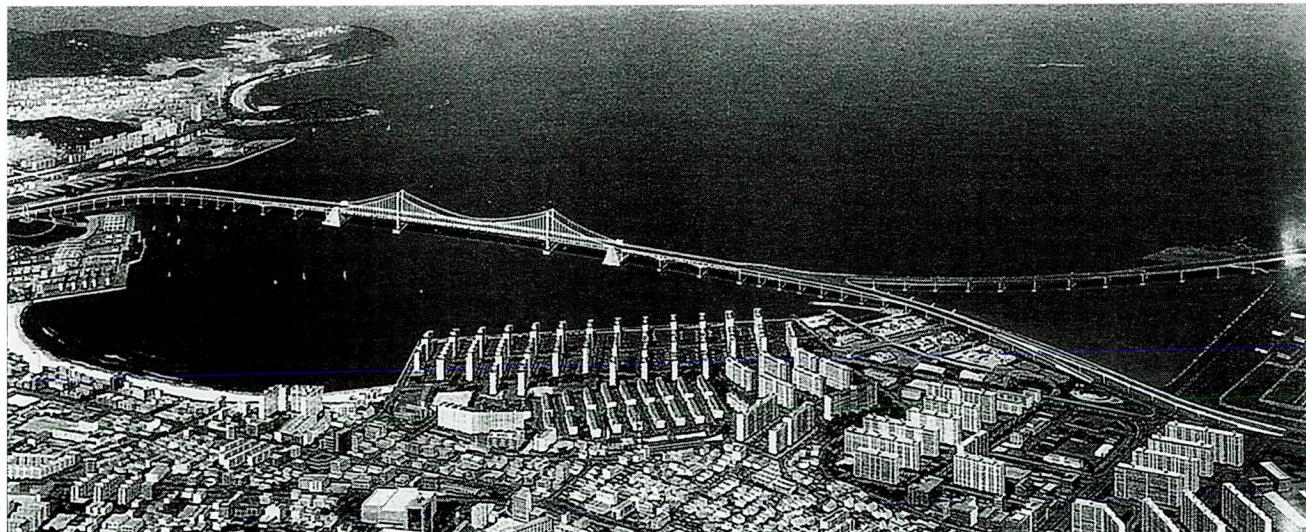
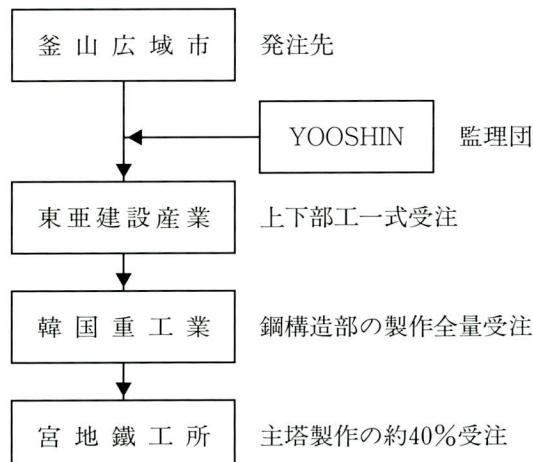


図-1 完成予想図（釜山広域市カタログより）

*1 生産事業本部事業開発部長

*2 千葉工場製造部計画課課長

*3 千葉工場設計部設計三課課長代理

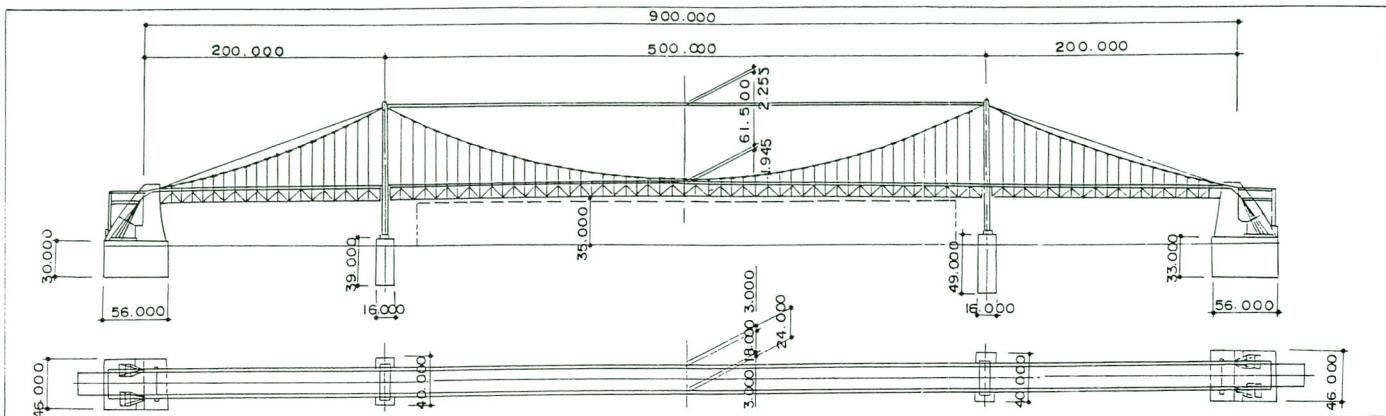


図-2 橋梁一般図

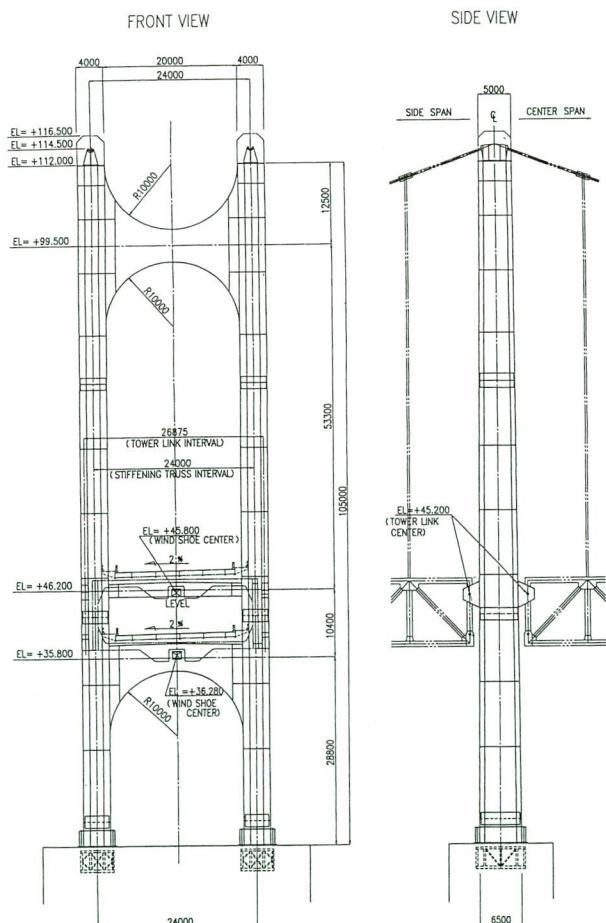


図-3 主塔一般図

大手ゼネコンで、鋼構造物製作工場も有しており橋梁も数多く手がけている。

宮地の元請けである韓国重工業株式会社(HANJUNG)は、原子力発電・船舶用エンジン・プラント等を手がける総合重工業会社である。

2. 工事概要

橋梁形式：吊橋

支間長：200.0m+500.0m+200.0m

鋼重：約2,600t（当社製作分）

当社は、主塔一般図（図-3）に示す主塔部分の下段5ブロックの製作を行った。

主塔はベースブロックとHANJUNGのヤードで3つの大ブロックに地組立されて架設される。この地組立は、韓国は地震がないということで垂直地組立で行われる。

3. 材料

鋼材・塗料等主要材料については、全て第三者機関での材料試験を行った。

4. 角溶接

当初図面では、角溶接はすべて完全溶込溶接(F.P.)であったが、下記に示す通り一部部分溶込溶接(P.P.)に変更して施工した。

(1) 角溶接について

溶接継手の溶接量は、設計上必要最小限とするのが良い。完全溶込にすれば、強度的により安全だからという理由だけで必要以上に溶接量を多くすることは、溶接による変形・収縮、及び、残留応力を多くすることになり好ましいことではない。又、必要性もなく完全溶込にして溶接量を多くすることは、経済性を著しく損ねることになる。

(2) 開先深さについて

開先深さはJSSC「溶接開先標準」にもとづき下式により決定した。

$$D \geq 2\sqrt{T} \quad D: \text{開先深さ}, T: \text{板厚}$$

応力照査は、断面決定荷重載荷ケースについて、せん断応力度と合成応力度の照査を行った。開先深さに対して不溶着部として3mm見込み、さらに、せん断応力度を1.5倍して安全率を見込んだが何れも十分満足した。

(3) F.P./P.P.

角溶接は表-1の通り施工した。

表-1 角溶接のF.P.区間

塔柱	ブロック長 (mm)	F.P.区間 (mm) 上側／下側	備考
5	6,350	全区間F.P.	タワーリング 中段水平材
4	10,000	1,000/1,000	下段水平材
3	10,000	1,000/1,000	下段水平材
2	11,000	600/600	
1	3,650	全区間F.P.	ベースブロック

(4) 角溶接の開先形状

開先形状は数種類の形状について溶接性試験を実施して比較検討を行った。開先形状の一例を図-4に示す。

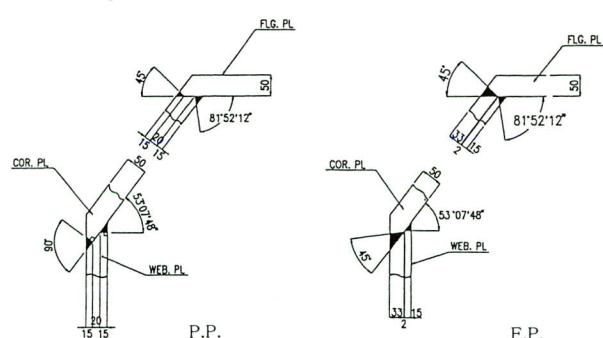


図-4 角溶接開先形状

5. ヤード溶接

主塔部材は、工場塗装完了後HANJUNGの岸壁で下段ブロック（J 1～J 4）、中段ブロック（J 4～J 8）、上段ブロック（J 8～Top）の3つの大ブロックに垂直地組立される。小ブロック間の継手はヤード溶接で、大ブロック間の継手はボルト継手である。

ヤード溶接は基本的に自動溶接を行うことを前提に、外面よりの片面裏波溶接とした。但し、水平材部のフランジは自動溶接が適用できないため、K開先として両面よりの半自動溶接とした。

ヤード溶接の開先形状を図-5に示す。

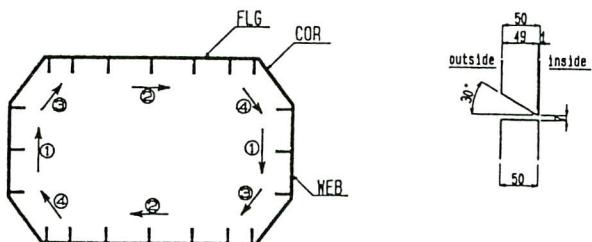


図-5 ヤード溶接開先形状

6. 予熱

本主塔にはSM570材のt=50mmが用いられている。廣安大橋特別示方書の予熱条件によると、最小予熱温度として50°Cが定められているが、下記の理由により予熱を省略した。

- ①現在最も拘束条件の厳しい試験と考えられる、Y形溶接割れ試験を行ったが、0°Cの施工条件でも割れの発生が認められない。
- ②使用されている鋼材のPCM値が、すべて0.22以下であり、これは、道路橋示方書によるとサブマージアーク溶接、及び、ガスシールドアーク溶接の場合は予熱不要である。

7. 製作

製作時に考慮した主な項目は下記の通りである。

- ①部材組立時に、部材の両端にフル断面の組立用治具を用いて断面寸法を確保した。

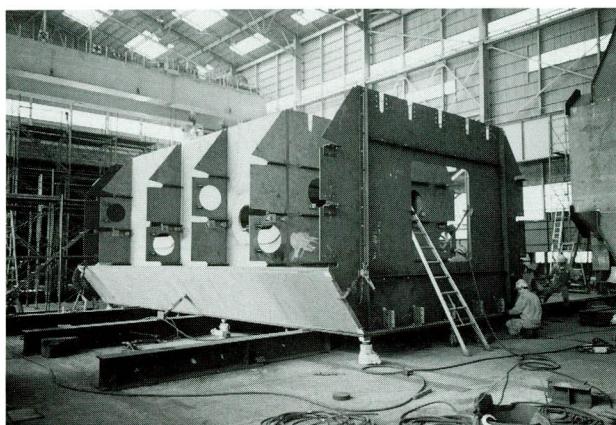


写真-1 治具材使用による部材組立

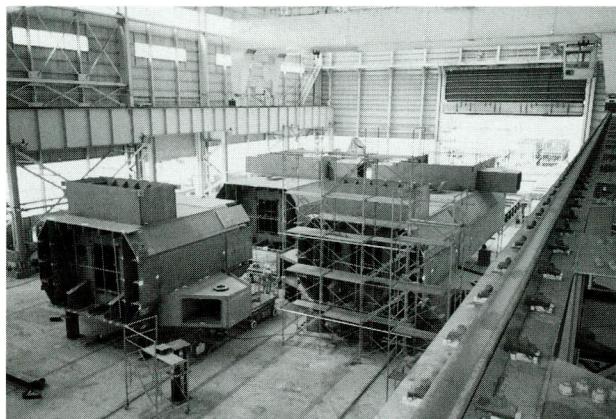


写真-2 TD4×TD5 2段仮組立

②主塔部材の板組みが図-6の通りとなっているため、ウェブ材の幅寸法の誤差がそのまま部材寸法の誤差となる。従って、ウェブ材の幅寸法を機械加工して、部材寸法精度を向上させた。

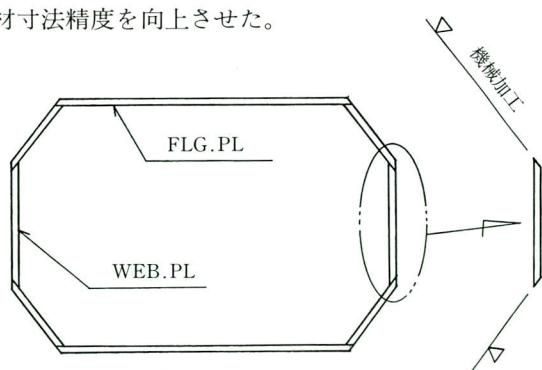


図-6 ウェブプレートの機械加工

③非破壊検査

要領は基本的に日本の道路橋示方書と同じであるが、特別示方書では主要部材のすみ肉溶接に対して全長の

10%にM.T.を行わなければならないと定められている。これは、ソウルでの聖水大橋落橋事故以降に決められたという。又、これらの溶接検査は監督員が指定した検査機関で試験を行うとの規定もある。

8. 塗装

当初の塗装仕様は、主塔の内外面とも表-2に示すIC531が用いられていた。

表-2 当初塗装仕様

工 程	塗 料 名	塗布量 (m ² /t)	膜 厚 (μ)
前処理	SSPC-SP-10		
プライマー	ICPRIME-WELD	38	15
第1層	IC531	13.6	50
第2層	IC531	13.6	50

このIC531塗料は、1970年代にアメリカのNASAで開発された水溶性ハイレシオジンクシリケイト塗料でそのカタログによる特徴としては、

- ①水溶性なので揮発性油機溶剤(VOC)を含まず、無公害型塗料である。
- ②亜鉛金属による電気防食機能が卓越している。
- ③下塗り・上塗りが必要なく1回塗り(100μ)で半永久的な寿命がある。
- ④対衝撃性・対摩耗性などが既存の塗料よりも優れていって、特に海洋環境に卓越した防食性能を持っている。しかしながら、温湿度等の施工条件は厳しく、ポットライフが短い等塗料の取扱い、及び、塗装技術的にもかなりの習熟が必要のようである。

本湾岸道路についても、他の工区はすでにこのIC531を使用した塗装仕様で完了している。

又、韓国内では、このIC531の施工実績が多々あるようであるが、韓国の道路公団でIC531は施工上問題が多いので今後使用しないようにという通達が出ているようである。

廣安大橋については、白色(N=9.0)に塗装をしたいということで、表-3の塗装仕様のように一般重防食系塗装に変更された。

塗膜厚に関しては、標準膜厚に対して上限値、及び、下限値が定められている。

表-3 実施工塗装仕様

工 程	塗 料 名	標準膜厚 (μ)
外 面 塗 装	前処理	SSPC-SP10
	第1層	厚膜無機ジンクリッヂペイン
	第2層	ミストコート
	第3層	エポキシ樹脂塗料
	第4層	ふつ素樹脂塗料
	第5層	ふつ素樹脂塗料
内 面 塗 装	前処理	SSPC-SP3
	第1層	変性エポキシ樹脂塗料
	第2層	変性エポキシ樹脂塗料

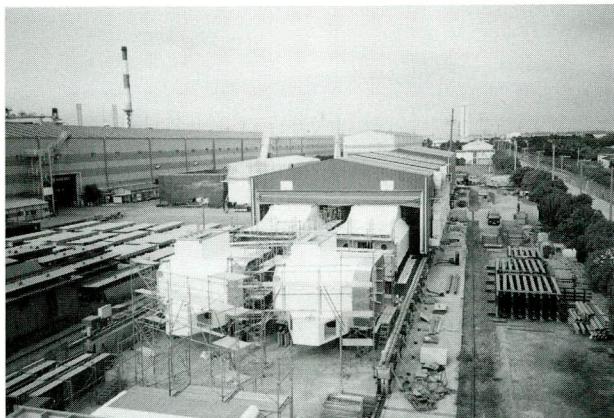


写真-1 塗装完了

9. 歩道について

本橋はダブルデッキで上下各4車線が上層階、及び、下層階に分離されている。又、本湾岸道路には歩道が設けられていないが、この2工区（吊り橋部）の上層階にのみ両サイドに歩道が計画されている。駐停車する車が交通の妨げにならないか気になるところである。

10. あとがき

以上、韓国より受注したこの橋梁の製作について述べた。初めての韓国の工事で、彼我の習慣の違いに戸惑うことも多かったが、無事工事を終了することができた。

広安里ビーチの沖合いに建設され、さらにライトアップされた本橋は、釜山広域市のシンボルとして新しい景観を創造し、市民の憩いの場となることを望むものであります。

最後に本主塔の製作に当たり、釜山広域市をはじめ YOOSHIN、DONG-AH、HANJUNGの皆様に貴重なご意見をいただきました。紙面を借りてお礼申し上げます。

1999.11.1 受付

グラビア写真説明

新国界橋

新国界橋は長野県と新潟県を結ぶ国道148号線に位置し、平成7年7月の異常降雨によって流失した小谷村蒲原沢にかかる橋梁の架け替えです。流失した橋梁は鋼方柱ラーメン橋でしたが、新橋は桁下空間を確保するために、下路式の鋼単純ローゼ橋になりました。現場は当社の架設乗り込み直前に、再度の異常降雨によって河川復旧工事施工業者が死亡するという悲劇にみまわれました。河川内の工事を避けるため架設工法を当初計画されていたペント架設からケーブルクレーン直吊工法に設計変更し無事竣工いたしました。県境に位置するため事業は長野県土木部で実施され、事業費は長野県と新潟県が折半するという変則的な事業形態となり、橋梁の色等を決めるのも2県の土木部の合意が必要ありました。また災害現場ということで官公庁や業界の注目度が大きく、通常の業務以外にも現場担当者のご苦労があったと思います。

(柏谷)

複合ラーメン橋接合部の応力伝達機構と設計法への展開

Development of a New Stress-Transfer Mechanism and a New Design Method for Joints in Hybrid Rigid-Frame Bridges

佐 藤 徹^{*1} 清 水 功 雄^{*2} 烏 越 弘 行^{*3}
Toru SATO Iiso SHIMIZU Hiroyuki TORIGOE

Summary

We propose a new stress-transfer mechanism and a new design method for joints in hybrid rigid-frame structures. The new method is an application of the reinforced-concrete-truss model; thus it differs from the conventional design method. This allows the design of reliable and economical joints in a hybrid rigid-frame bridge and reduces bridge construction costs.

キーワード：複合ラーメン橋，接合部，設計法

1. はじめに

鋼上部工を鉄筋コンクリート橋脚あるいは橋台に剛結しラーメン構造とすれば、上部工の断面力の一部が橋脚に分担され、断面の縮小が図れること、支承および伸縮装置をなくすことができ、これらの損傷に起因する維持管理費用が低減されること、また走行性も改善されることなど、従来の橋梁に見られない数々の利点を生ずる。この種の構造で必要となる鋼部材とコンクリート部材の接合工法については、橋脚の軸鉄筋を延長し、鋼桁の上下フランジ、ウェブおよびスティフナで囲まれた接合部に打ち込んだコンクリートに定着するという構造の接合工法を提案し、載荷実験およびFEM解析による研究を重ねてきた^{1)~5)}。この結果、この種の接合工法における応力の伝達機構、スタッドシアコネクターの役割、上下フランジ、ウェブ、スティフナなどの接合部を構成する部材要素の荷重分担などをある程度明らかにすることことができた^{6),7)}。これらの研究成果を基に、トラス理論によって接合部の終局せん断耐力を評価する設計法を提案し⁸⁾、この設計法に基づいた複合ラーメン鉄骨橋の構造設計⁹⁾などの成果もあげている。

複合ラーメン橋の利点が着目され、実施例が増えつつある現在、複合ラーメン構造の合理的設計法の確立へ向けて、問題点などを明確にしておく必要があることから、本報告では、筆者らの提案する接合部の応力伝達機構および応力伝達と耐荷機構から展開した設計法の考え方を

述べるとともに、今後の課題について整理する。

2. 設計における基本事項

(1) 接合部の構造

複合ラーメン橋の接合部構造は、実際の橋梁では上部工形式と橋脚断面形状によって多様な組合せとなることが考えられるが、最も基本的な構造として上部工はI桁、橋脚は壁式矩形断面の場合を想定する。横桁は耐荷機構上から橋脚外面に配置することが望ましいと考えており、接合部コンクリート打設時の型枠を兼用させる。接合部は橋脚の軸鉄筋を延長し、鋼桁の上下フランジ、ウェブおよびスティフナ（横桁）で囲まれた接合部に打ち込んだコンクリートに定着するもので、鋼桁がコンクリ

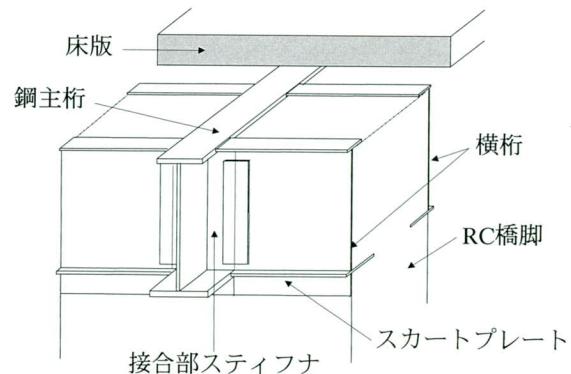


図-1 接合部の基本構造

*1 技術本部技術部技術開発課

*2 技術本部技術部長

*3 技術本部付参与

ートの変形を拘束することで一体化する接合方式である。想定した接合部構造の概要図を図-1に示す。

(2) 接合部の応力伝達機構

図-1に示した接合構造においては、橋脚に曲げモーメントが作用する場合、接合部にはコンクリートの圧縮応力（支圧応力）と鉄筋の引張応力として作用力が伝達される。上部工ではこの橋脚曲げモーメントと釣り合う曲げモーメントが生じており、鋼桁の回転変形がコンクリートの剛体回転を抑え、かつ反力を受けることになるため、支圧機構により接合部内コンクリートに圧縮ストラット（圧縮斜材）が形成される（図-2）。

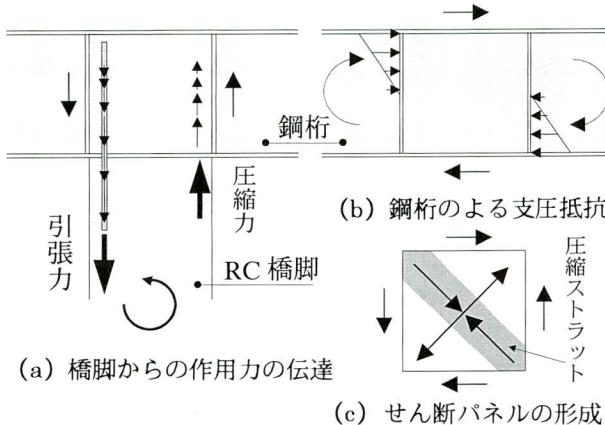


図-2 接合部の基本耐荷機構

圧縮ストラットは鉄筋コンクリートのせん断抵抗メカニズムにより、圧縮力と等価な応力場として表わしたものであり、ディープビームにみられるようなせん断破壊形式から、圧縮力が載荷点から支点に向かって直線的に流れるストラット構造の耐荷機構を想定したものである^{10),11)}。

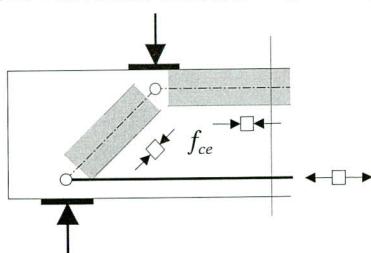


図-3 圧縮ストラットと圧縮斜材の例

複合ラーメン橋の接合部では圧縮ストラットの形成とともに、これに直交する斜張力場も形成される。この斜引張応力はコンクリートとともに接合部パネルを構成する主桁ウェブが受け持ち、パネルのせん断変形を抑えることで接合部のコンクリートにひびわれを発生させるこ

となく、その結果接合部コンクリートに定着された主鉄筋に付着応力として伝達される。最終的に外力とコンクリートの圧縮応力、鋼材の引張応力によって接合部の釣合系が成立する。このような接合部の挙動に関して、耐荷機構をより単純なモデルで表わすため、トラス理論の考え方を導入することにした。トラス理論はせん断補強鉄筋を配置したはり部材の、斜めひびわれ発生後の耐荷機構をトラスでモデル化する考え方である¹²⁾。複合ラーメン構造接合部の、トラス理論による応力伝達経路モデルを図-4に示す。

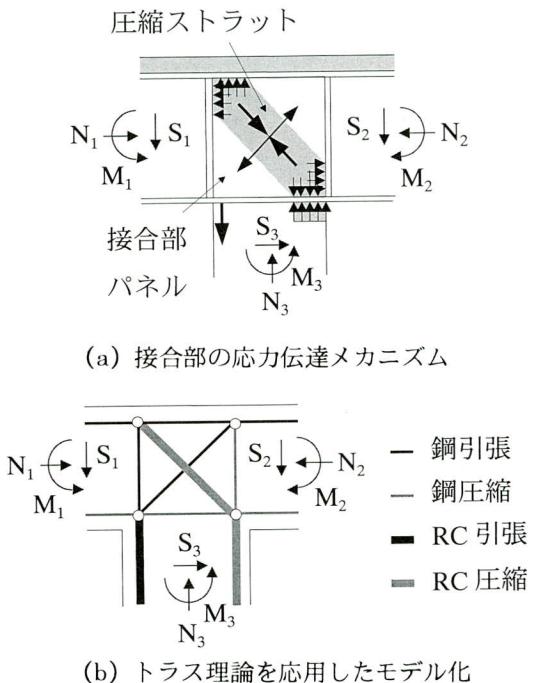


図-4 接合部の応力伝達機構

(3) 接合部の破壊形態と要求性能

接合部の設計において考慮すべき終局状態での破壊形態は、これまでに実施した実験研究においては以下のようないわゆるモードが確認されている。

① 主鉄筋の定着破壊

鉄筋の定着長は、鉄筋の降伏応力度、鉄筋径とコンクリートの付着応力度との関係によって決定される。一般的には鉄筋応力、鉄筋径が大きければ定着長は長くなり、コンクリート圧縮強度とそれに伴う付着応力度が高い場合は、定着長を短くできる。しかしながら、付着応力度が高まることによって、逆に定着破壊が生じる恐れがあり、実際に定着ひびわれの発生が実験で確認されている（図-5, (b)）。接合部内で定着破壊を生じさせないためには十分な定着長を確保する必要があり、定着長算定

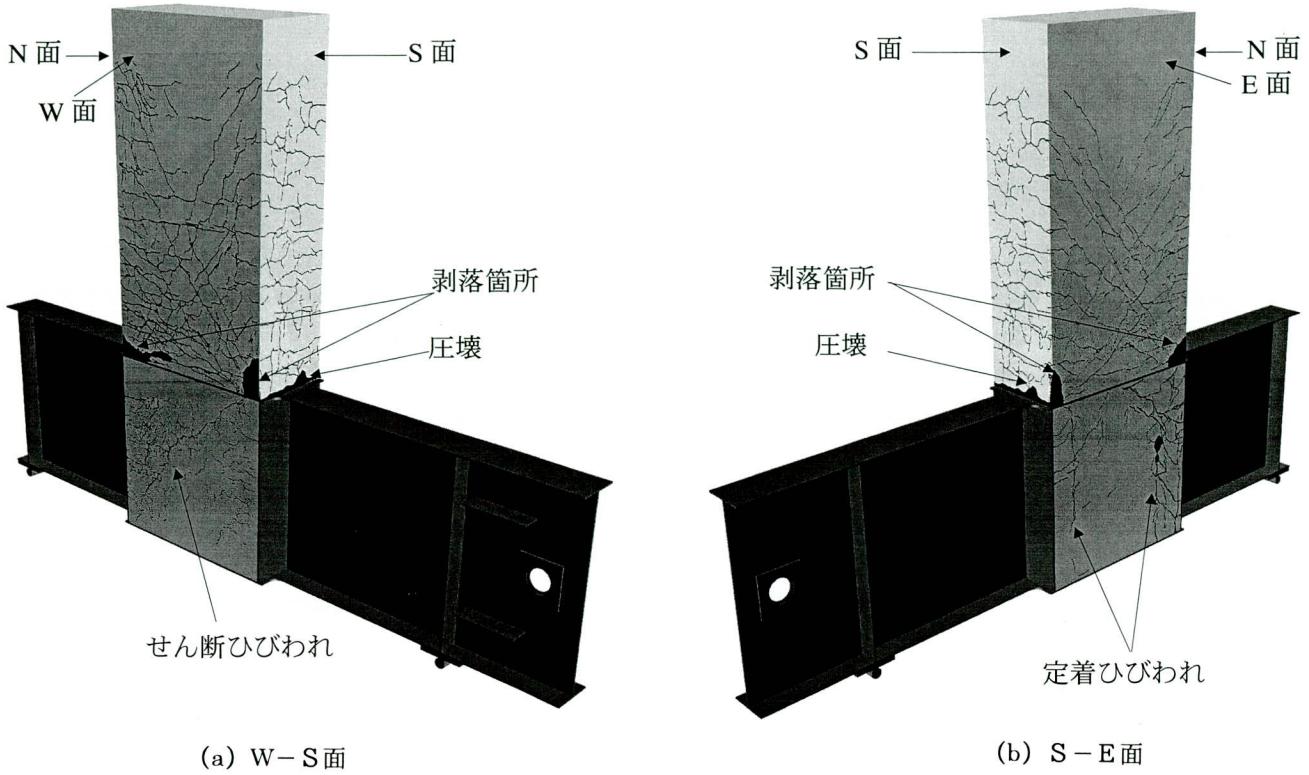


図-5 接合部のクラックパターン⁶⁾

位置の余裕長として橋脚有効高さの1/2程度を加算することで、設計的には安全側となるという知見が得られている⁶⁾。

②接合部のせん断破壊

接合部パネル内のコンクリートには、斜め方向のひびわれを生じることがある（図-5, (a)）。これは接合部パネルの周囲に作用する曲げモーメントとせん断力によってせん断パネルが形成され（図-2, (c)）、パネル内の引張主応力がコンクリートの引張強度に達したためと考えられる。接合部パネルでは、主桁ウェブがせん断補強鋼板として機能するため、せん断補強鉄筋を多量に配置したRC部材と同様の挙動となり、せん断補強鋼材が降伏する以前に斜め圧縮力によって、コンクリートが圧縮破壊を起こす場合があると考えられる¹²⁾。斜め圧縮破壊はコンクリートの破壊に起因するぜい性破壊であることから、実構造物においては、このような破壊は避けるように設計することが望ましい。

また、接合部パネル内の主桁ウェブは、コンクリートと一体化するために破壊は起こり難く、実験で破壊した例は今のところ確認されていない。現時点では接合部の終局状態が確認できておらず、耐荷機構が十分に解明されたといえる状況はないが、コンクリートとともにトラス機構を形成するものとして、せん断耐荷力を評価する設計法を考えている。

③境界部コンクリートの圧壊

鋼桁下フランジ下面とコンクリート橋脚との接合境界部には、荷重載荷によってひびわれが生じ、最終的にはかぶりコンクリートが剥落するケースが多い（図-5）。境界部でのコンクリート圧壊は、主桁フランジ部に支圧応力が集中するために生じるもので、これを防止するためには支圧応力を広く分散させる必要があり、スカートプレートを設ける構造は効果的な対策の一つであると思われる。

④境界面の開口

鋼桁下フランジとコンクリート橋脚との境界面には、はじめにヘーエクラックのような微細な隙間が生じ、柱部材の回転変形に伴って開口となっている。境界面での開口は雨水等の浸入によって鋼板および鉄筋の腐食が誘発される恐れがあり、耐久性を損なう原因となるため防止する必要がある。ただし、他の破壊モードとは異なり終局耐荷力に影響するとは考え難いため、ひびわれ幅の制御と同様に使用限界状態として取り扱い、開口の生じる恐れがある位置にはスタッドを設けるなどの対策が必要と思われる。

以上の内容をまとめ、予測される終局破壊形態と、対応する部材に要求される耐荷性能の関係として、次ページの表-2に整理する。

表-2 接合部の破壊形態と対応部材の耐荷性能

破 壊 形 態		対応部材	要求性能
①	主鉄筋定着破壊	主鉄筋	定着長
②	接合部せん断破壊	コンクリート	接合部コンクリート せん断耐力
		鋼ウエブ	接合部主桁ウエブ せん断耐力
③	境界部圧壊		橋脚コンクリート 支圧耐力

3. 設計法の概説

(1) 設計フロー

接合部の照査に着目した場合の設計手順の考え方を、フローチャートとして下図に示す。

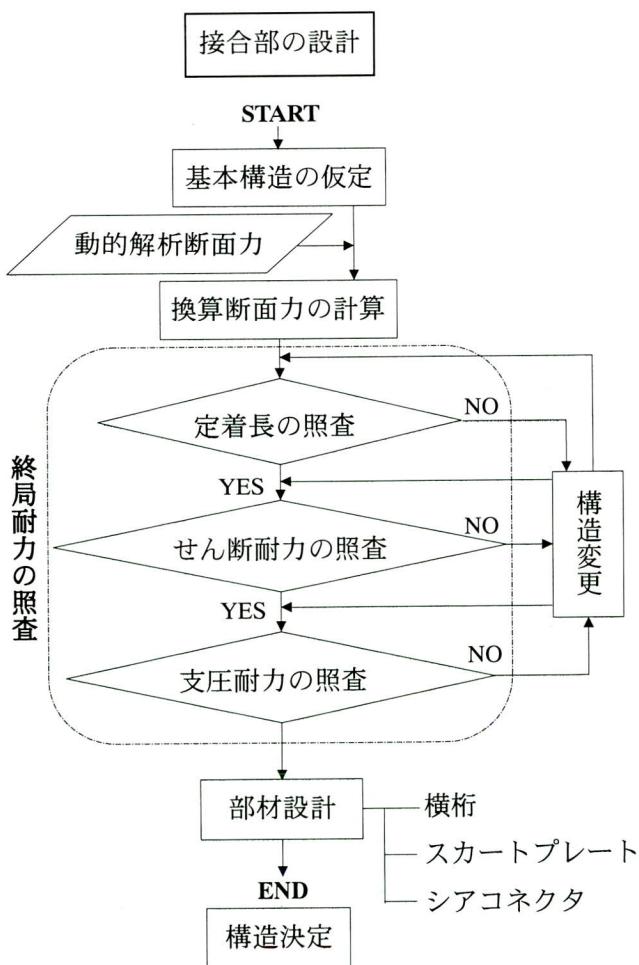


図-6 接合部設計フロー

(2) 終局耐力の照査方法

①主鉄筋定着長

橋脚主鉄筋の接合部内への定着長の計算方法は、日本道路公団の設計要領¹³⁾では道路橋示方書¹⁴⁾の考え方を基本としており、次式および図-7に示すように鉄筋許容応力度による基本定着長に、橋脚有効高さの1/2を合わせた定着長とすることを原則としている。

$$l_d = L_o + \frac{d}{2} = \frac{\sigma_{sa}}{4\tau_c} \phi + \frac{d}{2}$$

σ_{sa} : 鉄筋の許容応力度 (kgf/cm^2)

τ_c : コンクリートの許容付着応力度 (kgf/cm^2)

ϕ : 鉄筋の直径 (cm)

d : 橋脚の有効高 (cm)

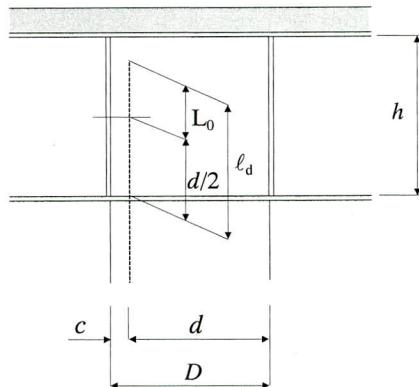


図-7 主鉄筋の定着長

しかしながら橋脚幅が大きい場合、主鉄筋に太径鉄筋を用いる場合、あるいは維持管理または床版施工上などから横横高さが制限される場合など、この計算による必要定着長では接合部内に鉄筋を定着できないことが起こり得る。現在のところは未解決の課題であるが、応力伝達上の必要定着長の算定に関する検討を行い、実際の構造物に見合った定着長と構造について明らかにしたいと考えている。

②接合部のせん断耐力

接合部パネルでは斜め方向の応力場が形成され、せん断応力状態を呈する。接合部のトラス機構により、圧縮応力に対してはコンクリートの圧縮ストラットが、引張応力に対しては鋼材が抵抗し、コンクリートに圧縮破壊が生じない限り応力伝達機構は維持される。このような耐荷機構による場合の耐荷力評価方法は、鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案)¹⁵⁾に算定式が示されており、複合ラーメン橋の接合部にも適用できると考えら

れる。この方法によれば、せん断に対する終局限界状態についてのせん断耐力評価は、コンクリートとせん断補強鋼板の累加耐力としている。

$$V_u = V_{uc} + V_{us} \text{ (tf)}$$

V_u : 接合部のせん断耐力 (tf)

V_{uc} : コンクリートのせん断耐力 (tf)

V_{us} : 鋼板のせん断耐力 (tf)

鋼コンクリートサンドイッチ構造の場合では、コンクリートの耐力は圧縮ストラットの圧壊耐力とコンクリートパネルの押し抜きせん断耐力のいずれか大きい方の値を用いることとしている。実験において接合部のコンクリートが破壊した例⁷⁾では、押し抜きせん断破壊が確認されており(図-8)、せん断補強鋼板である横桁がない場合は、棒部材として下式による耐力評価が妥当と思われる。

$$V_{uc} = f_{vud} \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{1}{\gamma} \text{ (tf)}$$

$$f_{vud} = 0.9 \sqrt[3]{f_{cd}} \cdot \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n k \text{ or } 0.6 \sqrt{f_{cd}} \cdot \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_s$$

f_{cd} : コンクリート設計圧縮強度 (kgf/cm^2)

b_w : 耐荷幅 (cm)

d : 有効高さ (cm)

$\beta_d, \beta_p, \beta_s$: コンクリート標準示方書¹⁶⁾による

γ : 部材係数



図-8 接合部の押し抜きせん断破壊

横桁を有する場合は、図-8のようなケースでも主桁フランジ幅内は健全であることから、フランジ幅を耐荷幅とした圧縮ストラットの圧縮破壊耐力までは十分期待できると考えている。この場合のコンクリートせん断耐力は、

$f_{vud} = 4 \sqrt{f_{cd}}$ であるので、 $V_{uc} = 4 \sqrt{f_{cd}} \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{1}{\gamma}$ (tf) となる。

このように、接合部コンクリートのせん断耐力は、横桁の有無、構造、さらには剛性に影響されると思われるため、現在もこれらの関係の解明へ向けた検討を行っている。

また、せん断補強鋼板のせん断耐力は、主桁ウェブ(部材軸方向のせん断補強鋼板)、横桁ウェブ(部材軸直角方向のせん断補強鋼板) および接合部内コンクリートのせん断補強鉄筋が有効と考えられる。横桁ウェブの効果に関しては、コンクリート耐力の評価方法との関連を含めて検討中であり、せん断補強鉄筋は施工性の観点からは極力配置しないこととしたい。現時点では主桁ウェブのみを有効とし、斜張力場理論によるせん断座屈耐荷力ではなく、von Misesの降伏条件によるせん断耐力評価¹⁶⁾による設計でも、十分に安全側であると考えている。

$$V_{uc} = f_{sr} \cdot d \cdot t_w \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\gamma} \text{ (tf)}$$

f_{sr} : せん断補強鋼板の降伏強度 (kgf/cm^2)

t_w : せん断補強鋼板の材厚 (cm)

③境界部の支圧耐力

鋼桁と橋脚との境界部における圧壊に対しては、支圧応力が主桁フランジ幅に集中すると仮定して照査を行う。しかしながら、実際の支圧応力の分布幅に関しては、明らかになっている状況にはないため、橋脚の圧縮力を主桁フランジ幅に等価応力ブロックとして作用させる方法が、現時点では安全側の評価方法であろうと考えている。

等価応力ブロック



実際の支圧応力分布

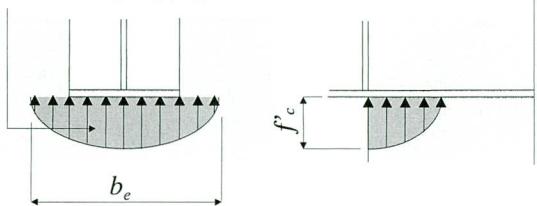


図-9 作用支圧応力の考え方

4. 接合部の有効幅

これまで述べてきた設計法の考え方は、横桁やスタッズを介さずに主桁からコンクリートへ直接的かつ短い経路でシンプルに応力が伝達されることを基本としており、主桁近傍のコンクリートが応力伝達上重要な役割を果たすと考えている。このような機構においては、コンクリートの耐荷幅の評価が重要な意味を持つことになるため、接合部コンクリートの耐荷メカニズムを明らかにすることが課題の一つである。実験では横桁がない場合、図-8に示したように鋼桁で囲まれた領域と囲まれていない領域の耐力差により、接合部コンクリートにせん断破壊が生じ耐力を失った例があるが、横桁を設けた供試体では接合部に致命的な破壊が生じたものはない。これは接合部を鋼板でせん断補強することにより耐荷幅が広がったためと考えられ、実験や解析でも主桁の近傍で応力伝達が集中的に行われている様子も確認されている。このような耐荷メカニズムの概念を模式的に表わたものが図-10であり、コンクリート橋脚を横桁で取り囲む構造を前提として、横桁構造の違いあるいは横桁剛性と耐荷幅との関係を有効幅として評価する試みを行っている。このような評価方法の確立により、更に接合部の合理的・経済的な設計に繋がるものと期待している。

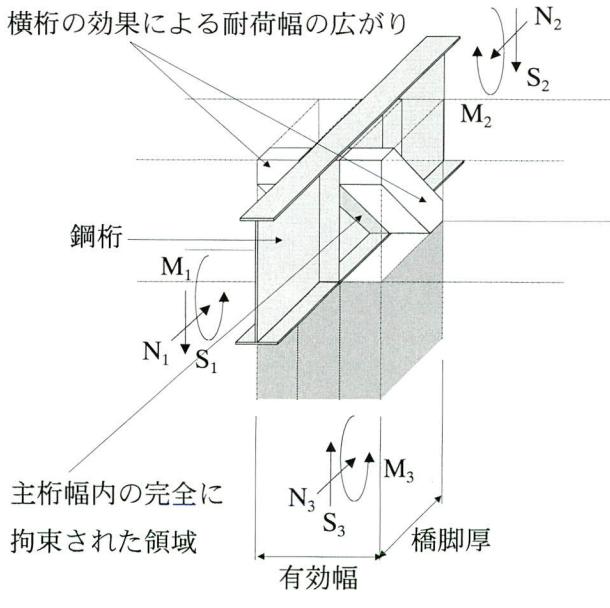


図-10 接合部有効幅の概念

5. おわりに

ここに紹介した複合ラーメン橋の接合部設計法は確立されたものではなく、実際の設計に当たっては更に検討を要する内容ではあるが、応力伝達機構から導かれた合理的な設計手法の一つであると考えている。今後の複合構造を検討する上で、この資料がお役に立つとともに、複合ラーメン構造の一層の発展につながれば幸いである。最後に、この研究にご指導いただいている埼玉大学の町田篤彦教授に、厚く御礼申し上げます。

〈参考文献〉

- 1) 清水, 鳥越: 鋼とRC橋脚の剛結構造に関する研究(第1報), 宮地技報 No.10, 1994
- 2) 清水, 鳥越: 鋼とRC橋脚の剛結構造に関する研究(第2報), 宮地技報 No.11, 1995
- 3) 佐藤, 清水, 鳥越: 鋼とRC橋脚の剛結構造に関する研究(第3報), 宮地技報 No.12, 1996
- 4) 佐藤, 清水, 鳥越: 鋼とRC橋脚の剛結構造に関する研究(第4報), 宮地技報 No.14, 1998
- 5) 清水, 佐藤: 鋼とRC橋脚の剛結構造に関する研究(第5報), 宮地技報 No.15, 1999
- 6) 杉山, Afifuddin, 町田, 佐藤: 鋼-コンクリート複合構造接合部の耐荷機構に関する研究, コンクリート工学年次講演会論文集, Vol.19, No.12, 1997年6月
- 7) 長谷, 井ヶ瀬, 清水, 他: 鋼桁とRC橋脚の剛結部応力伝達機構に関する実験的考察, 第4回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, 1999.11
- 8) 佐藤, 清水, 太田, 町田: 複合ラーメン橋の接合部設計法に関する一提案, 構造工学論文集 Vol.45A, 土木学会, 1999.3
- 9) 宮地鐵工所: 日本道路公団 東北支社 いわき工事事務所 常磐自動車道 浅見川橋(鋼上部工)工事 鋼桁剛結部設計(案), 平成11年7月
- 10) 田辺, 桧貝, 梅原, 二羽: コンクリート構造, 6. セン断耐荷力と変形, 朝倉書店, 1985年
- 11) A. Muttoni, J. Schwartz, B. Thurlimann: Design of Concrete Structures with Stress Fields, Birkhäuser, 1997
- 12) 町田, 関, 丸山, 桧貝: 鉄筋コンクリート工学, 第9章 せん断力を受ける部材, オーム社, 1997
- 13) 日本道路公団: 設計要領第二集 橋梁建設編 9章 複

合構造、平成10年7月

14) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IIIコンクリー

ト橋編、12章 ラーメン橋、平成 8年12月

15) 土木学会：鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指

針（案）、平成4年12月

16) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕平成3

年版、平成3年12月

17) 宮地鐵工所：複合ラーメン橋・設計資料（案）、Vol.1

設計編、平成10年5月

1999.11.1 受付

グラビア写真説明

小谷温泉橋

一般県道川尻小谷糸魚川線は、地域の生活道路であるとともに、(国) 148号と上信越高原国立公園や雨飾高原キャンプ場、小谷温泉などを結ぶ観光路線でもあります。

小谷温泉大橋は、この路線の中で中谷川に架かる橋梁であり、単純非合成鉄筋+単純非合成曲線箱筋+3径間連続非合成曲線箱筋+2径間連続非合成曲線箱筋の4連からなります。

この区間は、幅員が狭く、急勾配、急カーブが連続しており、自動車のすれ違いも困難なうえ、全国でも有数な豪雪地帯もあります。その為、この路線の交通事情の改善が広く要望されておりました。

小谷温泉大橋は、この様な危険を解消し、安全でかつ快適な交通環境を整備することを目的に架設されたものであります。

(山田)

ガイドウェイバス

ガイドウェイバスシステムは、「通常の平面バスと新交通システムの中間の交通需要に対応する」、「近年、交通渋滞の影響を受け、バス交通が失った都市公共交通としての機能を回復する」等の理由から考案された交通システムです。今回、名古屋市が計画をしているガイドウェイバスシステム志段味線は、東区大曾根駅（現名古屋ドーム最寄駅）～守山区志段味支所の11.3kmを結び、途中小幡緑地までを高架で、その先を平面走行するものです。そのため、使用されるバスは車輪部に格納式の案内装置が設置されており、高架、平面両方を走行できる事が大きな特徴です。

当社は、平成9年度に名鉄瀬戸線跨線部他（4径間連続箱筋橋）、また平成11年度に松川橋南交差点他（単純箱筋2橋）の計2工事に携わりました。

(原)

報告

鋼箱桁橋における拡幅桁交差部の応力解析(山田川橋)

Analysis of Stress on the Widening Section of a Steel Box Girder Bridge (Yamadagawa Bridge)

山越信也^{*1} 伊藤徳昭^{*2} 吉元大介^{*3}
Nobuya YAMAKOSHI Noriaki ITO Daisuke YOSHIMOTO

Summary

The Yamadagawa Bridge is a five-span, continuous box-girder bridge with a section widens. This widening is achieved by attaching a branch girder with I-shaped section to the box girder. The I-girder has priority over the box girder where they meet because the unilateral web of the box girder is fixed to intermediate diaphragms. The amount of stress around the above place was determined by FEM analysis because it was impractical to use plane grillage analysis in such a narrow area. The analysis showed that both the lap of the intervening web of the box girder over the I-girder and the rigidity of the intermediate diaphragms at both ends of the intervening web affected the stress at the crossing section. This information influenced subsequent changes in the bridge structure as specified by the master plan and other plans that followed.

キーワード：分岐桁、拡幅桁、FEM解析

1. まえがき

山田川橋（仮称）は、伊豆縦貫自動車道の北側（東駿河湾環状道路全長15.0km）に位置し、塙原インターチェンジ付近の山田川と三島市道が通過する谷部を横切る橋長294mの5径間連続鋼箱桁橋である。

平面線形は、クロソイド～円曲線の曲線区間であり、上り線にオフランプ、下り線にオンランプがあることから橋梁の起点側から約半分に涉って幅員が変化してい

る。

標準部は、3箱桁を道路曲線なりに平行に配置しているが、幅員変化部は箱桁から同じ桁高の鉄桁を配置して対処している。

鉄桁と箱桁を併用するケースは、幅員変化部では多々あり、箱桁の腹板（箱桁形状は変化させない）を優先し、鉄桁を張り出す構造が一般的である。

本橋の場合、鉄桁と箱桁の交差部（以下、交差部と記す）において、鉄桁の腹板を優先しているため、箱桁



図-1 位置図

*1 千葉工場設計部設計三課

*2 千葉工場技術部技術課長

*3 千葉工場設計部設計四課

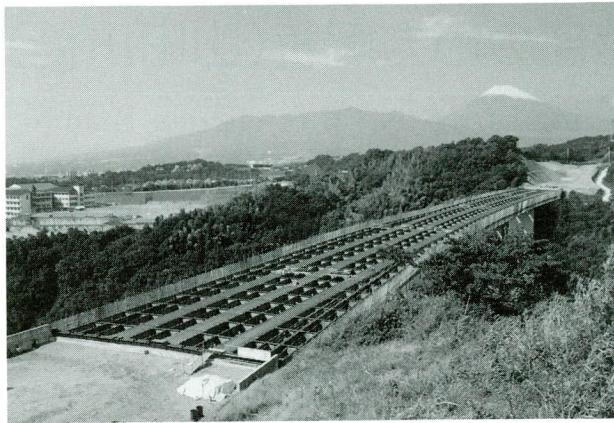


写真-1 完成写真

腹板間隔を変化させている。

この変化させている腹板（以下、中腹板と記す）は、
鈑桁の腹板が迫ってくることから中間ダイヤフラム位置
で止めている。

このような構造の場合、以下の点に留意する必要がある。

①途中で止めた中腹板（材質SM490Y、板厚11mm）の
応力が、中間ダイヤフラム（材質SS400、板厚9mm）
を介してスムースに主桁へ伝達されているか。

②交差部近傍での応力をスムースに伝達させる上で、
鈑桁と箱桁のラップ区間が十分であるか。
又、ラップ区間を延ばした場合、応力の大きさや流
れ方が、どのように変化するか。

本文では、交差部近傍（オフランプ側に着目）における
応力状態と構造上、配慮したことについて報告する。

2. 構造概要

山田川橋の橋梁緒元を以下に、橋梁一般図を図-2に示す。

路線名：東駿河湾環状道路

道路規格：本線部 第1種第3級

ランプ部 A規格

設計速度：本線部 80km/h

ランプ部 40km/h

橋梁形式：5径間連続鋼箱桁橋

橋長：294.0m

支間長：43.9m+65.0m+70.0m

+65.0m+48.7m

総幅員：30.068m~21.600m

平面線形：A=500~R=1100m

縦断線形：1.25%

横断線形：i=2.0%~±3.0%

床版：鉄筋コンクリート床版（床版厚23cm）

箱桁の標準断面は、桁高3m、腹板間隔2.4mである。

交差部においては、鈑桁の腹板が箱桁断面内にラップ
していくため、腹板間隔0.450mと1.950mの2セル構造
となる。

写真-2に交差部断面を示す。

腹板間隔0.450mのセルについては、断面が非常に狭く
なるため、中腹板に溶接作業を考慮した大きめ（幅500
mm×高さ1000mm）のマンホールをパネル毎に設け（写
真-3）、ステップも追加した。（写真-4）

溶接作業時、水平補剛材が取り付いていると作業スペ
ースにかなりの制約を受けるため本体溶接完了後、取り
付けることとし、品質の確保上、水平補剛材自身の溶接
は片面のみ（溶接姿勢の確保）とした。

又、塗装作業も困難なことから、溶接作業後、マンホ
ールを塞ぎ、密閉構造とした。

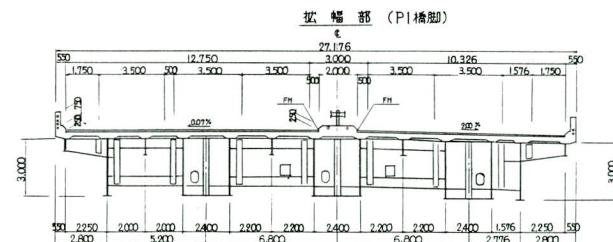


図-2-1 拡幅部断面図 (P1の橋脚)

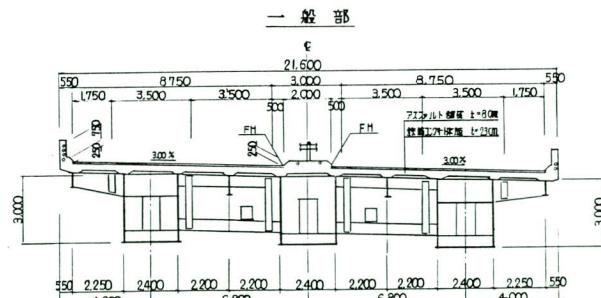


図-2-2 一般部断面図

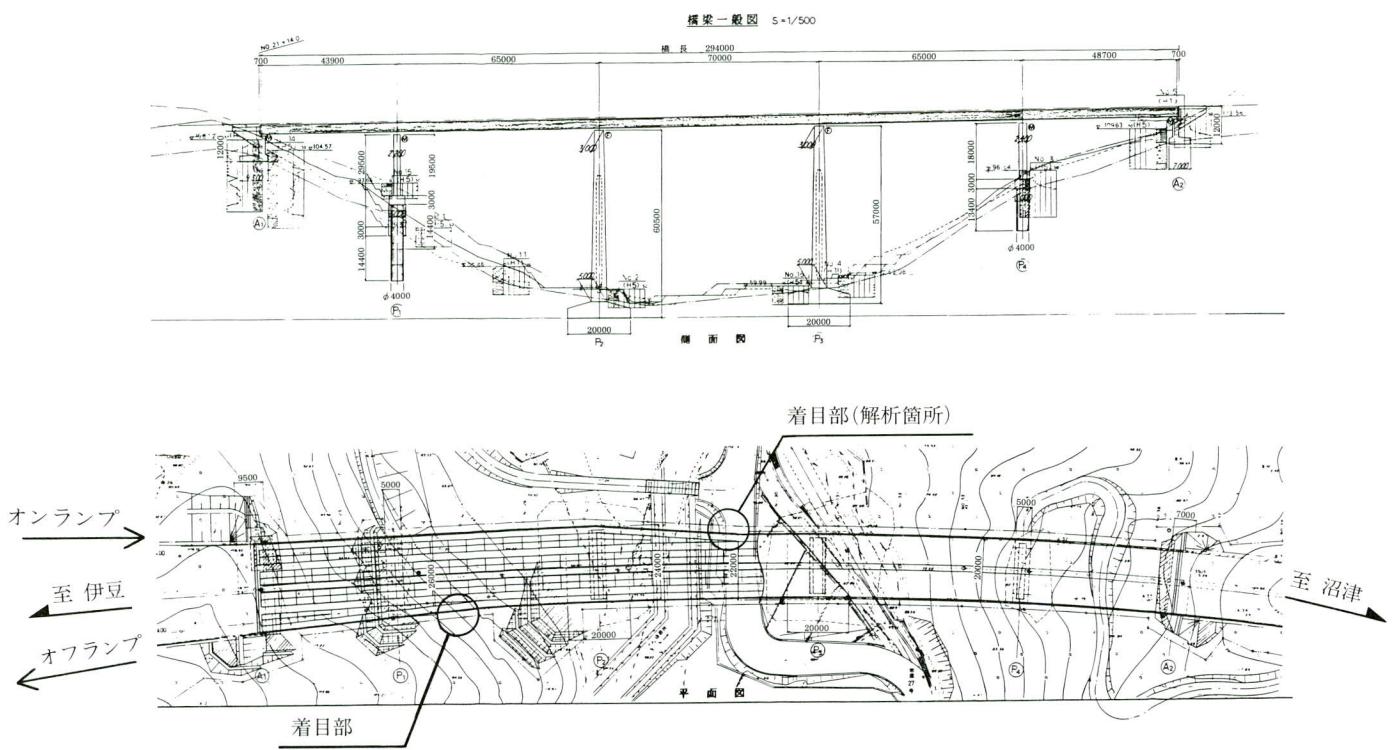


図-2-3 橋梁一般図

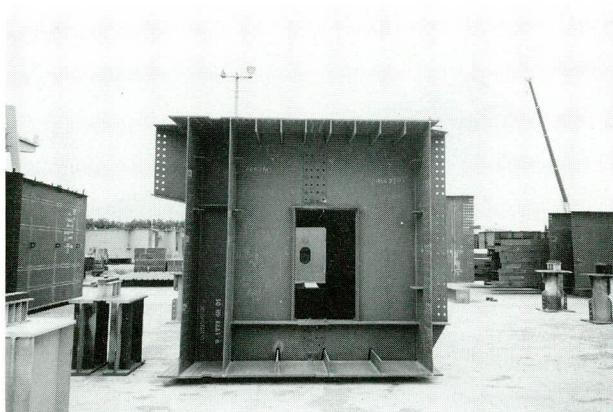


写真-2



写真-4



写真-3

3. 交差部近傍の応力解析

本橋の設計は、一般に用いられる平面骨組解析にて行っており、骨組は箱桁中心、鋸歯および横桁で作られる格子モデルである。

よって、交差部近傍のダイヤフラム、箱桁のフランジおよび腹板の応力状態を直接、把握することができない。

そのため、オンランプ部に着目して交差部近傍を立体モデル化し、FEM解析にて応力状態の確認をした。

立体モデルは、片持ち梁を想定し、途中から鋸歯を分岐させることとした。

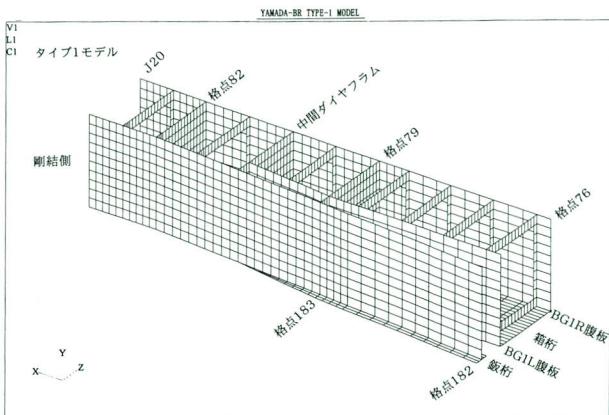


図-3-1

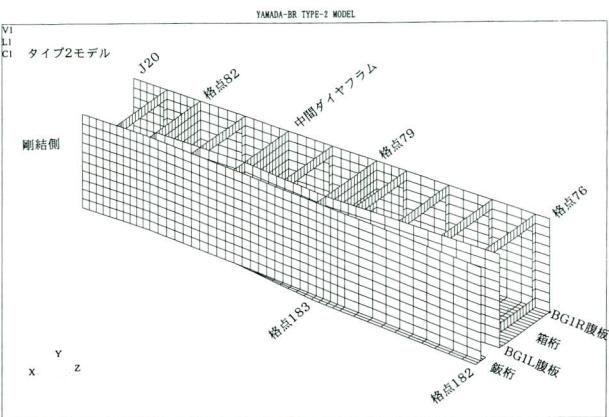


図-3-2

部材寸法は、実橋の寸法を使用した。

解析は、弾性域で行うこととし、比較する上で鋸桁と箱桁のラップ区間を1パネル（タイプ1）と2パネル（タイプ2）のモデルを用いて解析を行った。（図-3）

又、実橋では交差部を支間中央に設けているが、せん断力の卓越する中間支点近傍などに採用した場合を想定し、同一のモデルを用いて断面力（せん断力）を変えることにより応力状態を確認することとした。

立体モデルに載荷する断面力については、図-4の骨組モデルより算出した。

骨組モデルの各点184とJ20の断面力を着目し、各点182と各点76に集中荷重と曲げモーメントを載荷した。

解析を簡単にする上で、ねじり等は無視することとした。

1種類（断面力1）は、本橋の平面骨組解析状態を再現し、もう1種類（断面力2）は、せん断力が卓越している状態を再現した。

（曲げモーメントは、断面力1と同値とした）

図-4の骨組モデルより算出した載荷荷重と設計で考

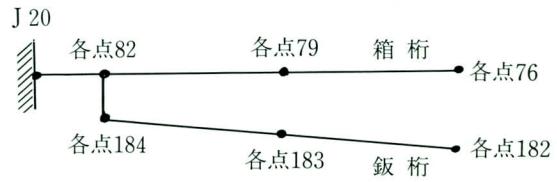


図-4

表-1 断面力

断面力	載荷荷重			設計断面力		
	格点	集中荷重 (tf)	曲げモーメント (tf·m)	格点	曲げモーメント (tf·m)	せん断力 (tf)
断面力1	182	105	1947	184	716	105
(曲げ卓越)	76	160	4022	J20	2293	265
断面力2	182	105	1947	184	716	105
(せん断卓越)	76	365	6868	J20	2293	470

慮している断面力を表-1に示す。

立体モデルへの荷重載荷は、骨組状態を忠実に再現するために剛体定義を利用し、箱桁（格点76）は箱桁中心に、鋸桁（格点82）は腹板中心とした。

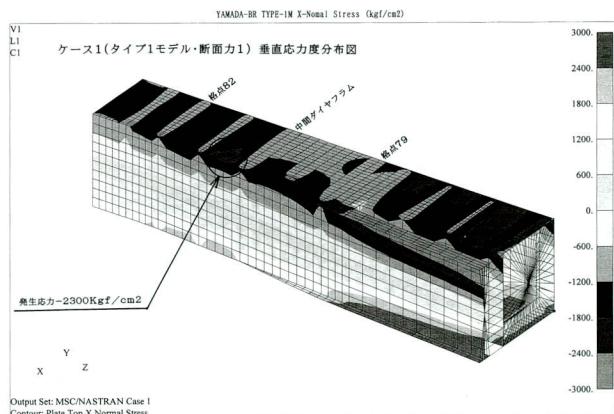


図-5-1

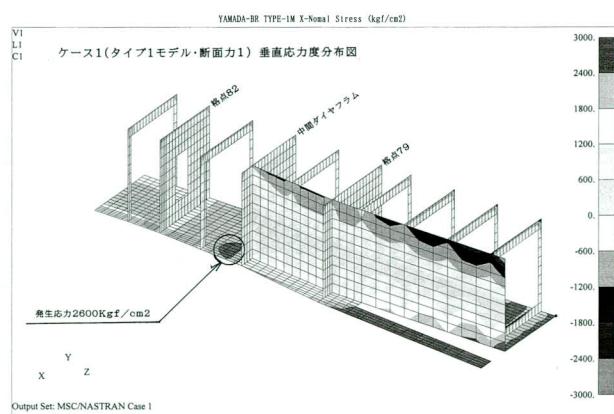


図-5-2

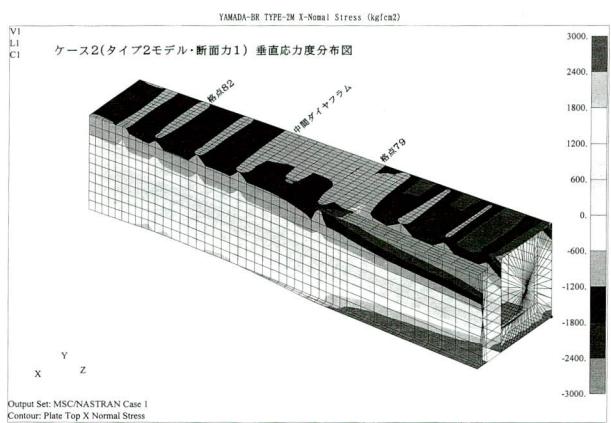


図-5-3

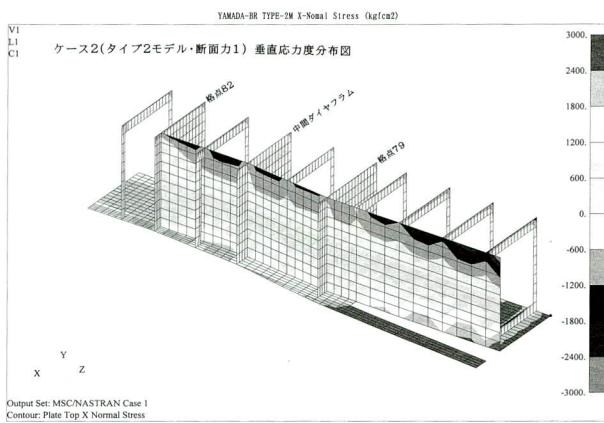


図-5-4

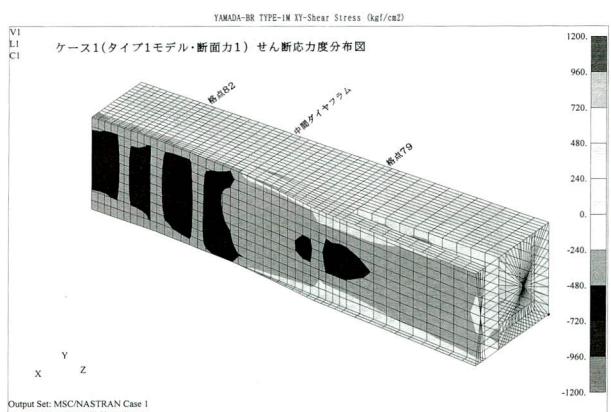


図-5-5

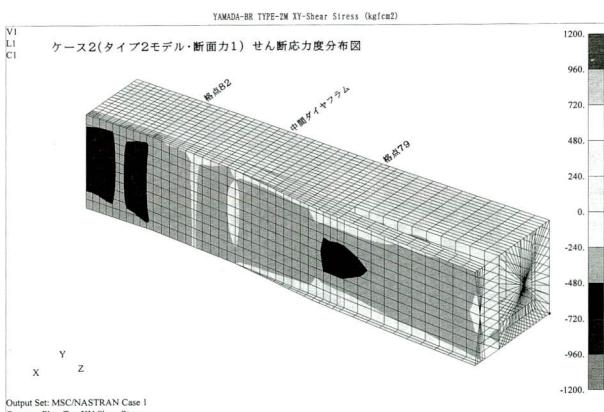


図-5-6

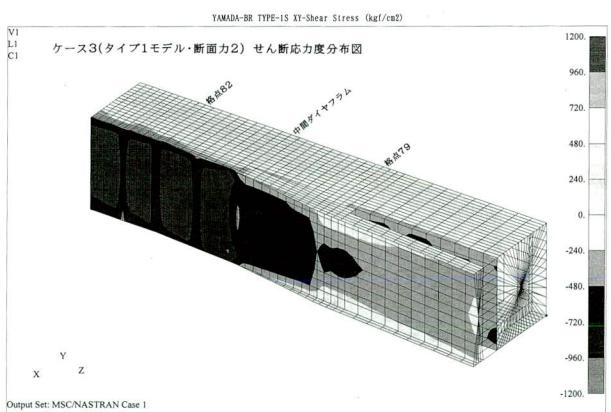


図-5-7

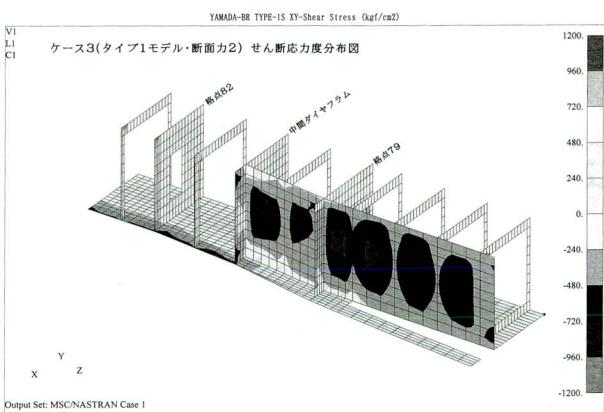


図-5-8

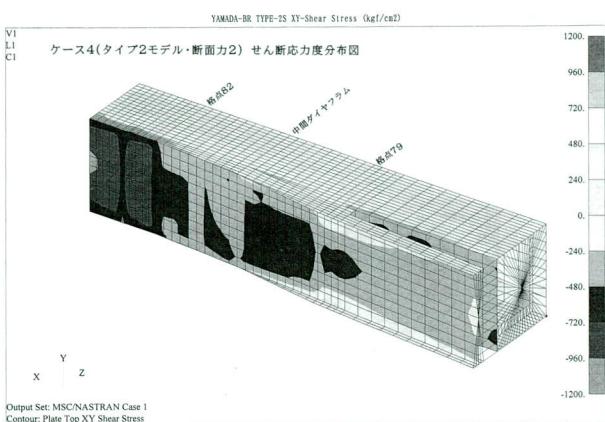


図-5-9

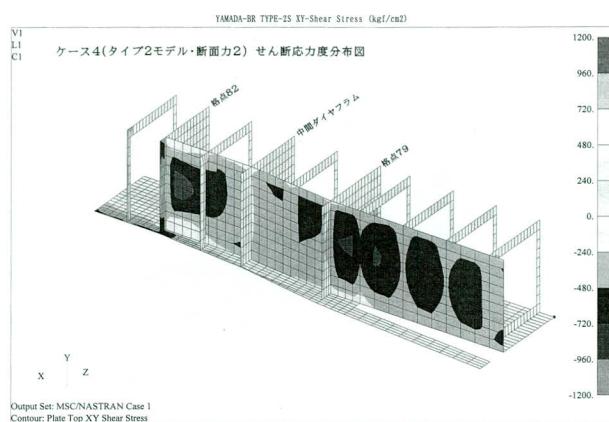


図-5-10

4. 解析結果

解析結果を評価するに当たり、荷重点近傍（格点76—79間）は、応力が乱れが生じるため、格点79—J20間のみを着目する。

FEM解析による応力分布図を図-5に示す。

垂直応力の分布に着目すると、ケース1（図5-1、図5-2）では中腹板から流れた応力が上下フランジに卓越した応力（局部的ではあるが）として生じているのがわかる。

しかし、腹板のラップ区間を延長したモデル（図5-3、図5-4）ではこの卓越した応力が生じておらず、腹板の延長区間で垂直応力がスムースに伝達されたことが確認できた。

鉄桁が取付いてこない側のBG1R腹板は、ケース1とケース2を比較すると垂直応力もせん断応力も同様な応力状態であり、腹板のラップ区間による影響はほとんどないと判断できる。

BG1L腹板の垂直応力とせん断応力も、タイプ1とタイプ2の相違は見られない。

鉄桁腹板のせん断応力は、ラップ区間が短いタイプ1（図5-5）の場合、卓越パネルが多く、ラップ区間を長くすること（図5-6）によって発生応力の低減に効果的であることが判る。

中間支点上近傍を想定したケース3、4（図5-7～図5-10）も、上記と同様の傾向を示しているが、せん断力が卓越した状態であるため、腹板全体が高い応力分布を示している。

又、中腹板を止めたダイヤフラムにおいても鉄桁腹板とBG1L腹板間で高い応力分布を示しており、ただの形状保持材として扱うのではなく、主要部材として考えて

いく必要がある。

合わせて、主桁腹板とダイヤフラムの溶接にも留意していく必要がある。

5. まとめ

処置した結果を述べる。

当初は、タイプ1の構造であったが、上下フランジに局部的な許容応力度の超過箇所があったため、腹板のラップ区間を2パネルとしたタイプ2の構造に変更した。

また、中腹板が止まる格点82ダイヤフラムの板厚（9mmから11mmに変更）と材質（SS400からSM490Yに変更）をアップして対応した。

6. あとがき

本橋の場合、交差部の配置が支間中央付近に位置していたことから曲げモーメントのみが卓越していたため、上下のフランジが一体化していれば垂直応力の伝達はスムーズである事が判明した。

線形条件の都合から交差部を中間支点近傍に配置した場合、鉄桁、中腹板そして中腹板を止めた中間ダイヤフラムのせん断応力を留意する必要がある。

しかし、ラップ区間を適正に設ければ十分採用に可能な構造と言える。

本橋の幅員は、30m～20mに変化しているため、4箱桁として計画することが一般的である。

主桁数を減らして鉄桁の枝桁で幅員の変化に対応出来れば、部材数の削減に大きく寄与し、コストの縮減が可能といえる。

1999.11.1 受付

宮地鐵工所における鋼橋のヤード・現場溶接工法の技術的変遷(その1)

Changes in Yard and In Situ Welding Technology Applied to Steel Bridges

by Miyaji Iron Works (Part 1)

成 宮 隆 雄^{*1} 村 上 貴 紀^{*2} 浪 花 勝 利^{*3}
Takao NARUMIYA Takanori MURAKAMI Katsutoshi NANIWA

Summary

Until recently, the technology of yard and in situ welding on steel bridges (hereinafter field welding) has mostly been applied to the steel plate decks to improve the durability of the pavement, to the steel piers (designed primarily to fit the landscape), and to the full-section butt welding of their main girders. However, this technology is increasingly being considered to reduce the total construction cost of these bridges.

Since the mid-1960's, our company has studied applications of field welding technology to joints in the steel plate decks, steel piers, and the main girders to improve welding quality, shorten the welding process, reduce welding costs, and establish measures against welding shrinkage and distortion. Because of this long history, extensive technical knowledge and field welding know-how have accumulated, and many problems have been solved. We summarize our experience with field welding technologies over the last 30 years to serve not only as a reference, but also as a stepping-stone for future development in field welding technology.

キーワード：現場溶接、ヤード溶接、鋼床版現場溶接、鋼脚現場溶接、主桁全断面現場溶接

1. はじめに

鋼橋設計思想において、鋼材重量ミニマムから労働量ミニマムへの最初の変換は鋼床版橋梁が比較的早く発達した西ドイツにおいて見られている。一般に鋼床版は加工度、特に溶接工数が大きな比率を占めていることから、加工法、特に溶接工法の進歩に適応した鋼床版構造の合

理化が進められてきた。西ドイツにおいて1958年頃まではどちらかというと鋼材価格の上昇率が労務賃金の上昇率を上回っていた。1958年以降、鋼材価格はほぼ横ばい状況となったが、労務賃金はさらに右肩上がりの上昇を続けることになった。図-1に1950年から1965年の15年間の西ドイツにおける労務賃金と鋼材価格の推移を示した。

このような事情から西ドイツにおいては、鋼橋の製作費、架設費等を含めた総コストの低減を目的として労働量ミニマムの設計思想が重視されるようになり、1960年には鋼材重量ミニマムを目標とした競争設計は終止符が打たれるようになった。鋼床版においては①縦リブ、横リブの断面形状、②縦リブ、横リブの間隔とその交差部の構造、③現場継手の配置、④継手構造等が重要な設計課題となつた¹⁾。

一方、日本においては1980年頃を境に、鋼材価格はほぼ横ばいになったが労務費は相変わらず右肩上がりの上昇を続け、必然的に鋼材重量ミニマムから労働量ミニマムへの移行が議論されるようになってきた。図-2に1972年から1992年の20年間の日本における労務賃金と鋼材価格の推移を示した²⁾。奇しくも20年前の西ドイツの傾向と同じような推移を示している。特にバブル崩壊以後、建設業における内外価格差問題等から公共工事のコ

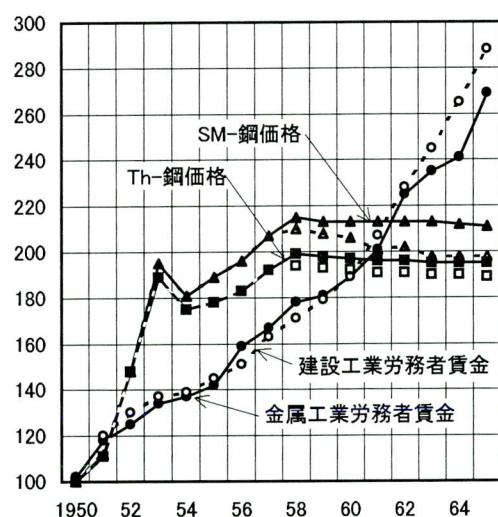


図-1 北ライン、西ファイレン地区の金属工業と建設工事における年平均熟練労務者賃金指数、およびSM、Th-鋼の型鋼と板の年平均価格指数

*1 常務取締役

*2 千葉工場生産技術研究所

*3 (株)東京フラッグ

コスト縮減が図られるようになり、1994年12月に建設省は「公共工事の建設費の縮減に関する行動計画」を策定し、本格的に鋼橋建設のトータルコスト削減に動き出した。

従来、鋼橋の積算体系は鋼重ベースであったが、1995年以降は部材、部品、素材数を減少しシンプルな構造として製作作業工程を省力化した上で製作における労働量を加味した体系へと移行することになった。鋼橋の構造をシンプルにし、部材、部品、素材数を減少させることにより必然的に橋梁部材鋼板は厚板化の傾向を示し、トータルコストの立場から現場接合への溶接の採用が積極的に検討されるようになってきた。

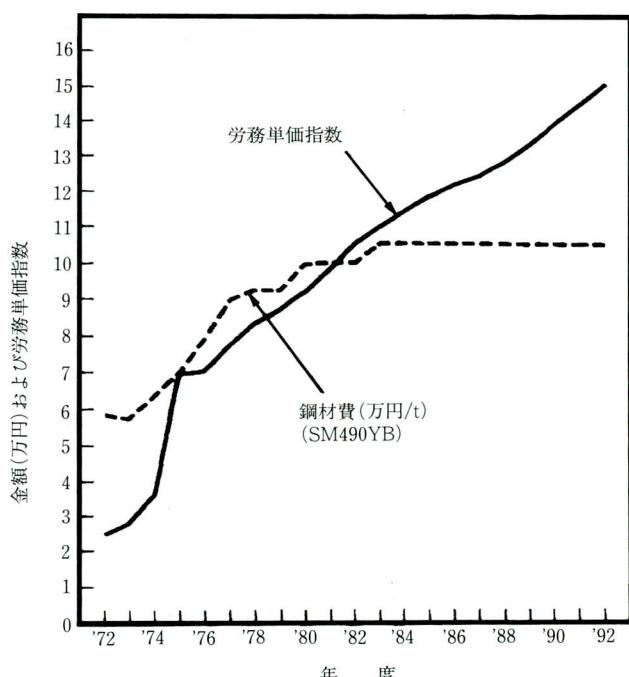


図-2 過去20年間における鋼材費と労務費の推移

日本における鋼橋の現場溶接の適用は以外に古く、リベット桁の補強に溶接が採用されており、1931年（昭和6年）に奥羽本線松山川橋梁を皮切りに終戦まで1,200連を超える橋梁に溶接補強がなされたと報告されている。鋼橋の溶接は現場溶接から始まったといえる。そのためか、新鋼橋の現場溶接が本格的に試みられたのは全溶接橋時代が到来する前であり、1950年（昭和25年）誉鳩橋（4主桁プレートガーダー）で代表される十数橋においてI桁の全断面溶接が施工されている³⁾。

宮地鐵工所が本格的な現場溶接を行ったのは1967年（昭和42年）北海道国有鉄道の月寒川橋梁鋼床版縦シーム溶接である。また1969年（昭和44年）大阪万博5号橋

（3径間連続3箱桁）のノンガスアーク溶接による全断面現場溶接を初めて実施した。

その後、鋼床版溶接、鋼脚、箱桁および板桁等のヤード・現場全断面溶接工法の開発・改善、溶接収縮・変形の対応、溶接品質の向上、および現場溶接継手の非破壊検査方法の確立等の研究を継続的に行い、多くの実績を上げてきた。1989年（平成元年）には鋼橋のヤード・現場溶接（以後特別な場合以外はヤード溶接を含めて現場溶接と称する）の増加に対応して、現場溶接施工を専門に行う関連会社を設立し、鋼橋建設における現場溶接のあらゆる技術的要請に応えられる体制を確立してきた。

本報は、宮地鐵工所における過去30数年に亘る鋼橋の現場溶接の研究と実績を基に技術的な変遷をまとめ、次代への技術継承を期すことを目的としたものである。

2. 鋼床版現場溶接の変遷

日本における最初の鋼床版箱桁は1954年（昭和29年）の中里跨線橋（板桁・東京都・平成2年に架け替えられた）といわれている。初期の鋼床版箱桁は1957年の馬橋（京都府）、西大橋（大阪府）であるが、本格的な鋼床版箱桁は1959年の城ヶ島大橋（神奈川県）であろう。

鋼床版の現場溶接が最初に施工された時期と橋名は資料がなく定かではないが、1964年～1966年にかけて、大阪市が施工した一連の鋼床版桁（田蓑橋、肥後橋、渡辺橋、新淀川橋、新十三大橋）において、裏当金を用いた被覆アーク溶接、サブマージアーク溶接による鋼床版現場溶接が施工された⁴⁾。

宮地鐵工所が施工した現場溶接は前述した通り、1967年（昭和42年）に月寒川橋梁、大崎電車区高架橋等の鉄道橋において施工された。月寒川橋梁では鋼床版縦シーム接合に高力ボルト一面摩擦接合の添接板を裏当金兼用としたサブマージアーク溶接が行われた。以後、宮地鐵工所において多くの鋼床版現場溶接が施工された。宮地鐵工所における鋼床版現場溶接の技術的な推移を図-3に示した。また宮地鐵工所の鋼床版現場溶接の実績を表-1に示した。

現在、サブマージアーク片面裏波溶接による鋼床版現場溶接工法はほぼ確立されているが、ここに至るまでの技術的変遷、特に高温割れ防止対策の経過を以下に記述する。

図-3 宮地鐵工所における鋼床版現場溶接の技術的変遷要約

年代／代表的な橋梁名称	溶接工法の技術的な特徴	技術的な問題点および変遷
昭和40年代前半 月寒月橋梁 大崎電車橋高架橋	①裏当て金を用いたサブマージアーク片面溶接	①裏当て金を用いない片面裏波溶接法の開発
昭和40年代後半 新吉野川橋	①ソフトパッキングを用いたサブマージアーク片面裏波溶接施工 ②マグネットによるパッキング取り付け ③本溶接に先立ち開先目違い等修正のための仮付け溶接施工 ④横継手と縦継手の交差部拘束溶接施工	①仮付け溶接施工のため溶接施工能率の低下 → 仮組立時および現場施工における開先目違いの加熱矯正施工 ②ソフトパッキングの取り付け 押え力の強弱による溶鋼の吹き上げと抜け落ち → 取付け方法の改善 ③高温割れ発生 → 高温割れ発生機構の解明と炭酸ガスアーケット面裏波溶接工法(S&W・CO ₂ 法)の開発 ④横継手と縦継手の交差部拘束溶接施工
吉田橋／鶴川橋 ・炭酸ガスアーケット面裏波溶接併用期	①仮付け溶接の中止試行 ②横継手に高温割れ防止溶接法(S&W・CO ₂ 法)	①多層溶接による溶接能率低下 ②防風対策とシールド不足 ③炭酸ガスアーケット面裏波溶接とサブマージアーク溶接併用による現場機材の増大
昭和50年代前半 千住新橋／新利根川橋 ・鋼床版現場溶接工法の確立 ・開先精度向上、キャンバー等の溶接 变形制御検討期	①仮付け溶接中止 ②横継手と縦継手の交差部の拘束溶接中止 ③2枚割エンドタブ使用とエンドタブ内カスケード拘束溶接による最終割れ防止	①サブマージアーク片面裏波溶接における高温割れ防止施工方法の確立 ②炭酸ガスアーケット面裏波溶接法の中止
昭和50年代後半 大鳴門橋等本四連絡橋 ・本州四国連絡橋公団「鋼床版現場溶接施工基準(案)」の制定 ・サブマージアーク片面裏波溶接法の確立 ・自動超音波探傷法の採用	①全国的に鋼床版現場溶接継手への仮付け溶接無し工法の普及 ②一部を除いてサブマージアーク片面裏波溶接施工の普及 ③キャンバー等変形制御計画の確立	①更なる効率的なソフトパッキング取付け方法の検討 ②疲労強度向上の立場から鋼床版裏面の横リブのスカラップレスの検討 ③効率的な非破壊検査の検討と自動化

(1) サブマージアーク片面波溶接における高温割れ発生機構とその防止対策の変遷

サブマージアーク片面裏波溶接の高温割れの放射線透過試験写真を写真-1に断面マクロを写真-2に示した。一般にサブマージアーク溶接等の大入熱溶接における高温割れは溶接金属における低融点不純物の凝固過程における偏析と溶接収縮等における変位(引張力)により、凝固過程中に柱状樹枝組織の会合部に発生する。従って高温割れ発生は溶接金属の低融点不純物(フィルム状偏析)の位置および溶接ビード形状(例えば梨の実状ビード)に影響される。鋼床版現場溶接でのサブマージアーク片面裏波溶接ビードはルートギャップが過大な場合を除いて特に形状的に不適切なものではなく、また原則的に1パス溶接であるため溶接収縮による引張力も大きくはない。しかしながら溶接継手が長く、かつ連続溶

表-1 鋼床版現場(地組立)溶接施工実績

施工時期	橋名	施主	橋梁形式	溶接方法
1967年	大崎電車橋新設鋼高架橋	日本国有鉄道	鋼床版箱桁	SAW(FB)
1967年	月寒川橋梁	日本国有鉄道	鋼床版箱桁	SAW(FB)
1972年	新吉野川橋	四国地方建設局	鋼床版箱桁	SAW
1972年	吉田橋	横浜市	鋼床版箱桁	CO ₂
1973年	鶴川橋	茨城県	鋼床版箱桁	横継手: CO ₂ 縦継手: SAW
1975年	市川3号水路上部工	関東地方建設局	鋼床版箱桁	SAW (一部CO ₂ 併用)
1976年	BT251工区	首都高速道路公団	鋼床版箱桁	SAW
1976年	千住新橋	関東地方建設局	鋼床版箱桁	SAW
1978年	八戸港改修臨海道路橋梁	青森県	鋼床版箱桁	SAW
1980年	新利根川橋	関東地方建設局	鋼床版箱桁	SAW
1981年	大鳴門橋	本州四国連絡橋公団	吊橋	SAW
1981年	新常願寺川橋	北陸地方建設局	鋼床版箱桁	SAW
1982年	幌向川橋	日本道路公団	鋼床版箱桁	SAW
1983年	浦安橋	東京都	鋼床版箱桁	SAW
1984年	運河工区	名古屋高速道路公社	鋼床版箱桁	SAW
1984年	浜手B.P.ミケン工区	近畿地方建設局	鋼床版箱桁	SAW
1984年	宝珠花橋	埼玉県	鋼床版箱桁	SAW
1985年	鶴川大橋	室蘭開発建設部	鋼床版箱桁	SAW
1986年	大島大橋	本州四国連絡橋公団	吊橋	SAW
1986年	下町屋高架橋	関東地方建設局	鋼床版箱桁	SAW
1987年	札幌大橋	札幌開発建設部	鋼床版箱桁	SAW
1987年	水辺の散歩道	江東区役所	鋼床版箱桁	SAW
1987年	港第二工区	阪神高速道路公団	鋼床版箱桁	SAW
1988年	Y141,Y142工区	首都高速道路公団	鋼床版箱桁	SAW
1988年	金沢シーサイド	横浜市	鋼床版箱桁	SAW
1989年	B101工区	首都高速道路公団	鋼床版箱桁	SAW
1989年	BY411工区	首都高速道路公団	鋼床版箱桁	SAW
1989年	BY552工区	首都高速道路公団	鋼床版箱桁	SAW
1989年	KE31, KE32工区	首都高速道路公団	鋼床版箱桁	SAW
1989年	大出橋	静岡県	鋼床版箱桁	SAW
1989年	大涌谷橋	神奈川県	鋼床版箱桁	SAW
1989年	閑田橋	江東区	鋼床版箱桁	SAW
1989年	中島西工区	阪神高速道路公団	鋼床版箱桁	SAW
1989年	鶴川橋	茨城県道路公社	鋼床版箱桁	SAW
1989年	D31工区	首都高速道路公団	鋼床版箱桁	SAW
1989年	関西空港連絡橋	関西国際空港㈱	トラス	SAW
1990年	言問橋石岸テラス連絡橋	東京都江東治水事務所	鋼床版箱桁	SAW
1990年	八田大橋	高知県	鋼床版箱桁	SAW
1990年	BY421工区	首都高速道路公団	斜張橋	SAW
1991年	1212工区	首都高速道路公団	鋼床版箱桁	SAW
1991年	岩倉橋	群馬県	鋼床版箱桁	SAW
1991年	鹿府戸橋	宮崎県	ヒンジアーチ橋	SAW
1991年	新万代橋	茨城県	斜張橋	SAW
1991年	高崎橋	千葉県	鋼床版箱桁	SAW
1991年	東京湾連絡橋台場海上部	東京都港湾局	鋼床版箱桁	SAW
1991年	名古屋IC	日本道路公団	鋼床版箱桁	SAW
1992年	芝浦幹線臨港道路	東京都港湾局	ローゼ橋	SAW
1993年	松丘橋	千葉県	鋼床版箱桁	SAW
1993年	OJ61工区	首都高速道路公団	鋼床版箱桁	SAW
1993年	ウェストプロナード橋	東京臨海副都心建設㈱	鋼床版箱桁	SAW
1993年	白島新交通	中国地方建設局	鋼床版箱桁	SAW
1993年	名港中央大橋	佐賀市役所	鋼床版箱桁	SAW
1994年	明石大橋	日本道路公団	斜張橋	SAW
1994年	荒川河口橋	関東地方建設局	鋼床版箱桁	SAW
1994年	幸魂橋	関東地方建設局	斜張橋	SAW
1994年	東京湾横断道路	東京湾横断道路㈱	鋼床版箱桁	SAW
1994年	生駒大橋	九十九里開発建設部	鋼床版箱桁	SAW
1994年	白鳥大橋	室蘭開発建設部	鋼床版箱桁	SAW
1995年	湘南新道橋	神奈川県	鋼床版箱桁	SAW
1995年	新狩野川大橋	静岡県	鋼床版箱桁	SAW
1995年	函館臨港高架橋	函館開発建設部	鋼床版箱桁	SAW
1995年	山城大橋	京都府	鋼床版箱桁	SAW
1995年	豊田大橋	豊田市	ニールセローゼ橋	SAW
1995年	横島橋	高知県	鋼床版箱桁	SAW
1996年	木坂陸橋	東京都	鋼床版箱桁	SAW
1996年	多々羅大橋	本州四国連絡橋公団	斜張橋	SAW
1996年	巴川高架橋	中部地方建設局	鋼床版箱桁	SAW
1997年	BY524工区	首都高速道路公団	鋼床版箱桁	SAW (SM570材CO ₂)
1997年	来島大橋	本州四国連絡橋公団	吊橋	SAW
1997年	静岡高架橋	室蘭開発建設部	鋼床版箱桁	SAW
1997年	手形山大橋	秋田県	鋼床版箱桁	SAW
1998年	BY541工区	首都高速道路公団	鋼床版箱桁	SAW
1998年	尾坂橋	関東地方建設局	ニールセローゼ橋	SAW
1998年	柴崎高架橋	東京都	鋼床版箱桁	SAW
1998年	頃野大橋	福岡県	鋼床版箱桁	SAW
1999年	香椎IC	福岡市港湾局	ハシストアーチ橋	SAW
1999年	東西水路橋	東京都	鋼床版箱桁	SAW
1999年	広島南道路	広島高速道路公社	鋼床版箱桁	SAW

SAW: 片面裏波サブマージアーク溶接
SAW(FB): 裏当金を用いた片面サブマージアーク溶接
CO₂: CO₂片面裏波自動溶接

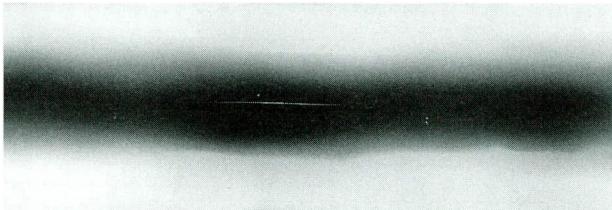


写真-1 サブマージアーク片面裏波溶接の高温割れの放射線フィルム

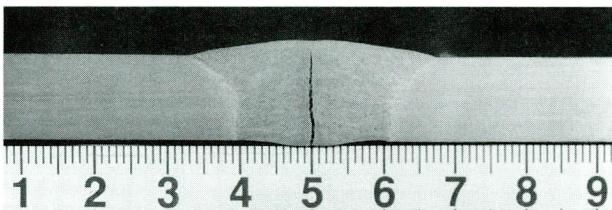


写真-2 サブマージアーク片面裏波溶接の高温割れの断面マクロ

接される大入熱溶接では図-4に示すように母材のバイメタル効果が生じ、溶接部に引き裂き力が働き、継手の拘束状態（例えば仮付け溶接ビード、交差部の拘束溶接ビードおよび溶接始終端部等）が変化すると、溶接ビードに急激な引き裂き力を生じるため、高温割れが発生し易くなる。これらの原因により発生する高温割れを始終端割れと称している。サブマージアーク片面裏波溶接における始終端割れの発生機構を図-5に示す⁵⁾。

現場継手に仮付け溶接（被覆アーク片面溶接、ビード長50mm、ピッチ300mm）を行い、ソフトバッキングを用いてサブマージアーク片面裏波溶接を施工した昭和40年代後半の鋼床版溶接では始終端割れが多発し、その手直しに多大な労力を費やした。これらの施工反省に基づき、サブマージアーク片面裏波溶接における高温割れ（特

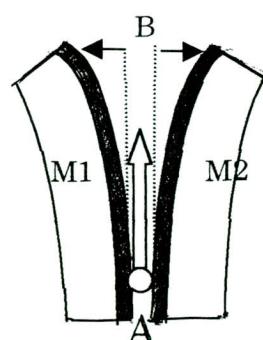


図-4 大入熱溶接におけるバイメタル作用

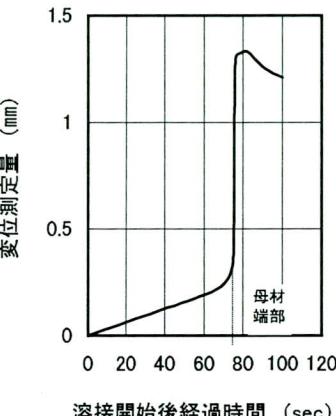
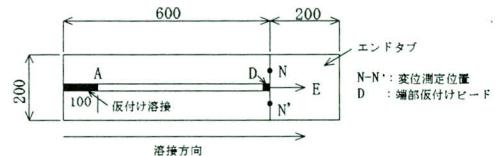


図-5 片面サブマージアーク溶接の終端割れ発生機構

に始終端割れ）防止に関する研究を行った。図-6に窓型拘束枠に試験体を取りつけた継手における高温割れ試験結果の一例を示した⁶⁾。継手直角方向の拘束距離が短い場合（S1試験体）も長い場合（L1試験体）も仮付け溶接がない場合は高温割れが発生しない。

また継手に仮付け溶接（K1,K2）を行った場合、拘束距離が短い継手（S2）には高温割れが発生しなかったが、拘束距離が長い継手（L2試験体）では高温割れが発生した。また拘束距離が短い場合でも、継手中央部に全層拘束溶接ビード（T1）を置いて母材を十分伸ばしてから仮付け溶接（K2,K3）を行い、その後拘束ビードをガウジングで除去して、これによるスプリングバックを仮付け溶接ビードに受け持たせてから、本溶接を行う（S3試験体）と高温割れが発生した。また横継手と縦継手が交差している十字継手（L3試験体）ではいずれの継手とも交差部近傍で高温割れが発生している。これらの原因は図-4～図-5で明らかなようにサブマージアーク溶接によるバイメタル作用で開先を開こうとする力が働き、これを仮付け溶接ビードで一次的に抑制すると本溶接で仮付け溶接ヒードを再溶融した時、本溶接ヒードに急激な変位を生じ、既に大部分の溶鋼が凝固し、フィルム状の未凝固の低融点不純物フィルムが存在している（アーク点より後方100mm前後）ビード中央部が開裂することによるものである。

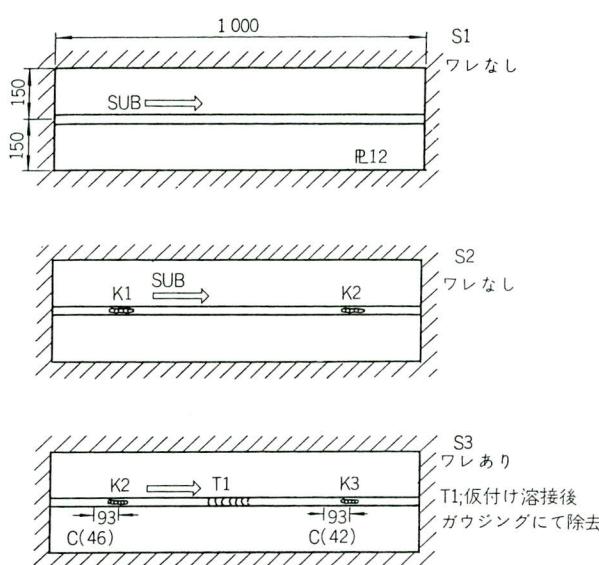


図6-1 窓型拘束枠を用いたサブマージアーク片面裏波溶接試験
[拘束距離の短い (150mm) の場合] [C : 割れ
() 内数字は割れ長さ]
仮付けビード (K) 長さ50mm、ピッチ300mm

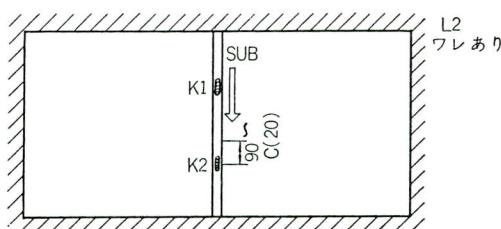
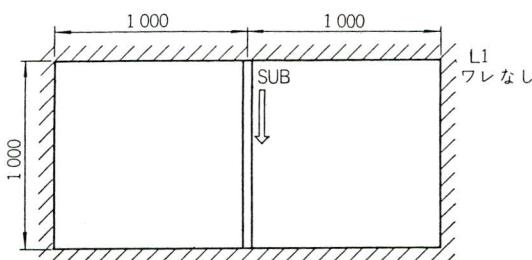


図6-2 窓型拘束枠を用いたサブマージアーク片面裏波溶接試験
[拘束距離の長い (1000mm) の場合]

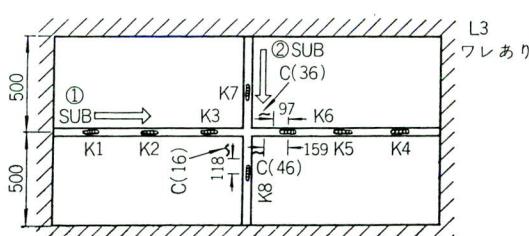


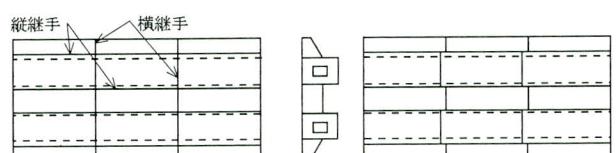
図6-3 窓型拘束枠を用いた十字継手のサブマージアーク片面裏波溶接試験

以上の知見から、拘束が強く、拘束距離が長く、かつ拘束の状態が複雑な鋼床版継手では仮付け溶接を行うと継手始終端、十字交差部等拘束状態が複雑な個所に限らず、一般部においても高温割れが発生する可能性が高いことが確認された。

1973年（昭和48年）の鰐川橋鋼床版現場溶接より、継手内への仮付け溶接を禁止し、継手の目違い等の修正は加熱矯正で丁寧に行うこととした。これによりサブマージアーク片面裏波溶接における一般部の高温割れはほとんど発生しなくなった。しかしながら継手の十字交差部および鋼床版横継手の終端部においては相変わらず始終端割れが発生することがあった。

1975年（昭和50年）の市川3号水路（千鳥大橋）では横継手と縦継手の十字交差を避けるため、図-7に示すように、横継手をシフトさせT字交差とした。しかしながら、横継手の始終端の高温割れ防止には対して効果がなく、クレーター等の始終端の処理に多大な労力を要し、また製作上も複雑となる等の難点があり、その後は十字交差方式に戻ることになった。

エンドタブが取付け可能な材端部には積極的にエンドタブを取付けてクレーター等を継手内に残さないようにするとともに、端部の拘束強化による始終端割れ防止を図った。図-8にエンドタブの形状とその取付け方法を示した。当初はa)に示すような1枚エンドタブを用いて母材に強固に取りつけたが、始終端割れ防止には効果がなかった。



a) 横継手と縦継手の十字交差方式
b) 横継手と縦継手のT字交差方式

図-7 横継手と縦継手の配置

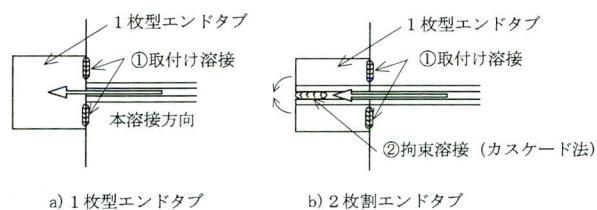


図-8 エンドタイプ取付け方法

表-2 サブマージアーク片面裏波溶接法とS & W・CO₂法の比較

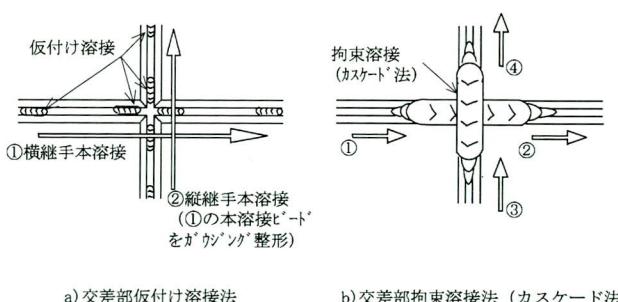
比較事項	サブマージアーク片面裏波溶接法		S & W・CO ₂ 法	
	比較	原因および対策	比較	原因および対策
高温ワレ	×	終端ワレ防止のため、シーリングビード法・エンドタブ法などの採用。 溶接ビードに引張力を生じさせないため、仮付溶接・拘束状態・溶接順序および開先矯正方法の検討	◎	初層は小電流溶接、仕上げ層はウェーピング溶接のため高温ワレは起らない 拘束溶接などまったく不要
溶落ちおよび突抜け	×	目違い、パッキングの付け方およびパッキングの継目などで溶落ちを生じやすい	○	溶接速度不適正のとき、ワイヤの突抜けを生じるが再アーク容易
溶鋼の吹上げ	×	充てん材・フラックスの吸湿および溶接条件不適正のとき、溶鋼の吹上げを生じる場合がある	◎	
ルートギャップおよび目違い許容量	×	ルートギャップ0~10mm、ギャップに応じて充てん材の量、電流および速度をかえる 目違い0~4mm	◎	オシレートウェーピング法採用によって、ルートギャップ1~15mmただし、2mm以下では裏波出にくい。オシレート幅および速度の調整のみ。目違い0~5mmギャップ、目違いの局部的変化に対して適応大
溶接能率	◎	1層20~30cm/min	×	2層・各層6~20cm/min
熟練度	○	ルートギャップに応じて溶接条件を適正に保つだけで簡単	×	良好な裏波およびワイヤの突抜けを起きないため、アークの監視に熟練を要する
防風対策	○	簡単(ほとんど必要なし)	×	十分なる対策が必要
連続溶接	○	制限なし	×	ノズル内へのスパッタ付着のためガスシールド効果低下するため最大5mが限度
開先の清掃	×	丁寧に	○	やや簡単でよい
溶接材料費	×	ワイヤ、フラックス、充てん材、パッキング	○	ワイヤ、パッキング、シールドガス2~3割安価
耐ブローホール、ウォームホールおよびバイア	○	開先の清掃不十分、溶接材の吸湿など、施工管理で防止可能	×	シールド効果の低下、アーク不安定など対策たてにくい

◎非常に有利 ○有利 ×不利

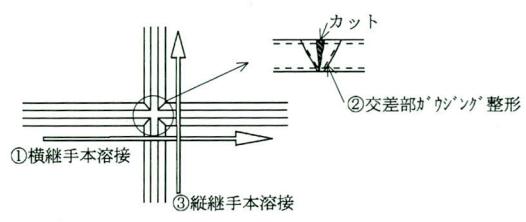
そこで図-8のb)に示すような2枚割エンドタブを別々に取付け、エンドタブの先端約半分に小入熱のカスケード拘束溶接(段々畳状に積層する)を行い、拘束溶接による開先収縮力をを利用して本溶接の開先バイメタル作用を吸収するようにしたところ始終端割れは激減した。

図-9に横継手と縦継手の交差部処理方法の変遷を示した。a)の交差部仮付け溶接法は仮付け溶接の有害性が判明した時点でお中止し、b)の被覆アーク溶接または炭酸ガス溶接によるカスケード拘束法をしばらく採用したが、昭和50年度後半の千住新橋以降はc)に示したように、仮付け溶接も、交差部拘束溶接も一切行わない直接本溶接法を採用するようになった。初期においては、仮付け溶接が現場溶接全工程の1/2程度の日数および工数がかかっており、現場溶接は工期が長くなる原因の一つとなっていた。サブマージアーク片面裏波溶接の高温割れを防止するための合理的な施工法研究が最終的には工期短縮、工数低減に寄与した典型的な例であり、ここに至りサブマージアーク片面裏波溶接による鋼床版現場

溶接法が確立した。



a) 交差部仮付け溶接法 b) 交差部拘束溶接法(カスケード法)



c) 直接本溶接法

図-9 横縫手と縦縫手の交差部処理方法

筆者らの1人はその後、本州四国連絡橋公団より委託された土木学会における「鋼床版現場溶接施工基準(案)」⁷⁾の作成委員会に参加して鋼床版現場溶接法の確立を図ることができた。また、大鳴門橋鋼床版現場溶接には仮付け溶接を中止したサブマージアーク片面裏波溶接法が採用され、ようやく全国的に認知された施工方法となった。

(2) 鋼床版現場溶接における炭酸ガス片面裏波自動溶接工法の開発

大入熱のサブマージアーク片面裏波溶接において始終端割れと称する高温われが発生していた昭和40年代後半に、その防止研究と並行して高温割れ発生の危険がない溶接工法の開発に着手した。サブマージアーク片面裏波溶接に代わる自動溶接法として炭酸ガスアーク溶接が考えられたが、炭酸ガスアーク溶接でも入熱を大きくして鋼床版の板厚12~14mmを1パス溶接した場合、高温割れを皆無にすることは難しいと考えた。またサブマージアーク片面裏波溶接は溶接能率が抜群であるが、ルートギャップ許容値が0~8mm程度で比較的許容範囲が狭く、例外的なルートギャップ対応が難しかった。鋼床版橋梁の工場仮組立時と現場溶接時の温度差が大きい場合は鋼床版の伸縮により、現場溶接時のルートギャップが許容値に入らない場合もあり、ルートギャップ許容範囲の大きい溶接工法が望まれていた。高温割れ防止とルートギャップが大きい場合の対応が容易な溶接工法として初層の裏波溶接を炭酸ガスショートアーク溶接(1.2φソリッドワイヤ、溶接電流200A前後)、二層目を比較的大電流(1.6φソリッドワイヤ、溶接電流250A前後)で行う溶接工法(S & W・CO₂法)を開発し、1972年(昭和47年)吉田橋(2径間連続鋼床版箱桁中路橋)の鋼床版縦継手に採用した⁷⁾。S & W・CO₂法は初層を炭酸ガスショートアーク溶接によるため、ウイビングの採用により、ルートギャップ15mm程度の大ギャップにも対応可能となつた。本法は2層溶接のため高温割れはまったく発生しないが、溶接能率はサブマージアーク片面裏波溶接に比べ著しく低下した。**表-2**にサブマージアーク片面裏波溶接とS & W・CO₂法の比較を示した。

写真-3にサブマージアーク片面裏波溶接施工状況写真を、**写真-4**に局部防風装置をつけたオスコンFB(日鉄溶接工業製)によるS & W・CO₂法施工状況写真を示した。その後、しばらくの間S & W・CO₂法とサブマージアーク溶接法の併用期が続いたが、サブマージアーク片面

裏波溶接工法における高温割れ防止が確立された昭和50年代後半以降は能率の良いサブマージアーク片面裏波溶接法(仮付け溶接、拘束溶接無し)に戻ることになった。

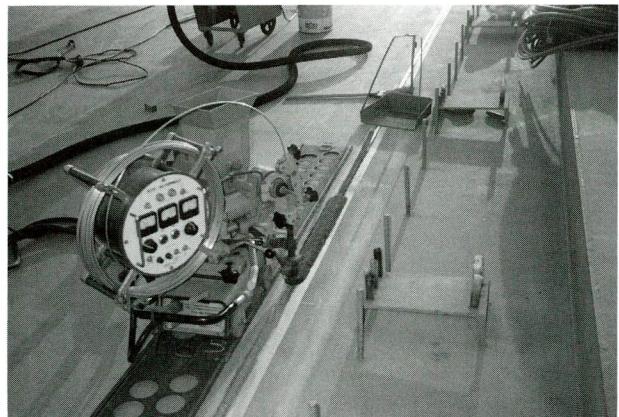


写真-3 サブマージアーク片面裏波溶接施工



写真-4 S & WCO₂法施工状況

3. 鋼脚の現場溶接の変遷

宮地鐵工所における鋼脚の現場溶接で記録に残っているものとしては1977年（昭和52年）の首都高速道路公団925工区高架橋上部工Y橋脚現場溶接であり、図-10にその一般図を示した。本橋脚は矩形断面で、最大板厚36mmの現場溶接継手をK開先の被覆アーク両面溶接で施工した。どういうわけか裏ガウシング施工の両面溶接でありながら標準ルートギャップを2mmとし、鋼脚の鉛直度とルートギャップ修正をジャッキで行うため脚内4箇所にジャッキ受けを設けた。また本溶接に先立ち仮付け溶接を行ったが、本溶接時の全線同時予熱（線状ガスバーナー）により仮付け溶接ビードが割れたことを記憶している。同じ頃、名古屋高速道路公社市道2号味鋤工区鋼脚において丸鋼脚（ 2000ϕ 、SMA50B、 $t=25$ ）のK

開先被覆アーク両面溶接を施工したが、鋼脚内部での溶接量を少なくするため内側の開先深さを小さくし、外面にエレクションピースを取付けた以外は前述の925工区Y橋脚とほとんど同じ施工条件であった。ただし両橋脚とも仮付け溶接および初層溶接には軟質の極低水素系溶接棒を用いて、予熱とともに低温割れ防止に配慮した。

昭和50年代前半になって、首都高速道路公団の葛飾江戸川線において鋼脚の現場溶接が本格的採用されるようになった。鋼脚の現場接合継手は高力ボルトと溶接の併用から、全継手が現場溶接となり、溶接継手数も増大した。継手数が多くなるに従い、溶接能率の向上から炭酸ガスアーク溶接が検討されるようになったが、狭い脚内での炭酸ガスアーク溶接は作業者の安全上の問題もあり、かつ自動化も脚内では難しく、外側からの炭酸ガスアーク片面裏波自動溶接工法の開発が望まれた。

宮地鐵工所は1982年（昭和57年）に首都高速道路公団KE53工区（その2）、KE54工区高架橋橋脚構造新設工事（矩形橋脚）を受注し、新たに開発した炭酸ガス片面裏波自動溶接工法により現場施工を行った。図-11に小型走行台車（PICOMAX-2型、神戸製鋼所製）を用いた炭酸ガス片面裏波自動溶接（フラックス入りワイヤ）工法の概略図を示した。また、この時より予熱による不必要な温度上昇と熱応力の導入を避けるため、予熱温度管理を的確に行うことのできる温度センサー付きの電気ヒーターを用いることにした。片面裏波溶接では溶接時のルートギャップ確保が重要な課題であり、架設時に仮組立

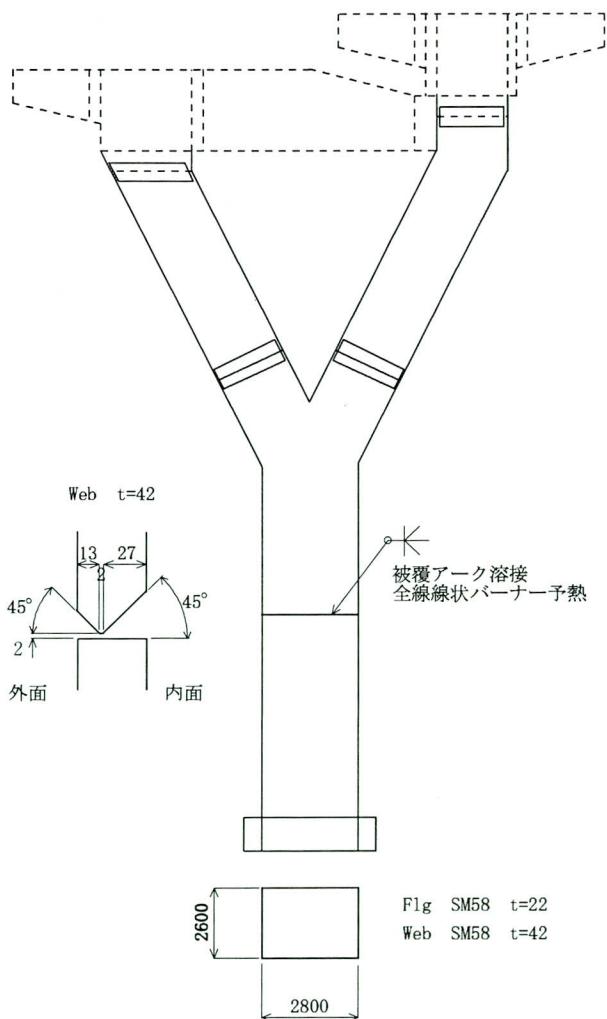


図-10 Y鋼脚現場溶接(925工区その2)

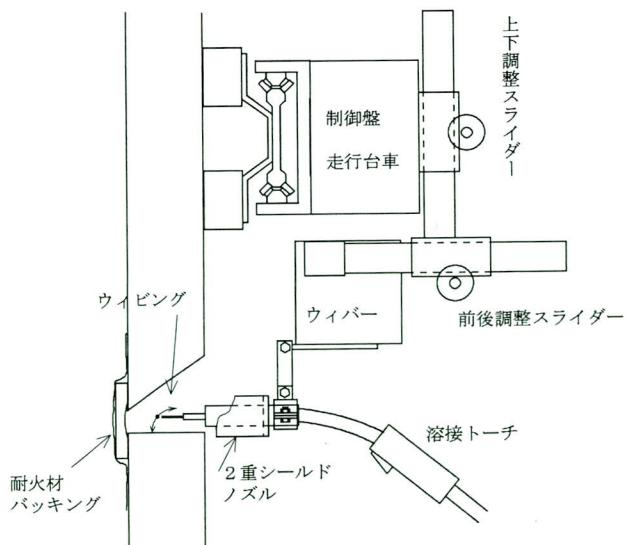


図-11 横向き炭酸ガスアーク片面裏波自動溶接法概略図

時のルートギャップおよび橋脚の鉛直度を確保するため、図-12に示した要領で角部開先内に架設時メタルタッチする当たり面を設けることにした。本工事の実施工に先立ち、実断面の試験体を製作し、施工試験を行って溶接施工条件および溶接収縮、変形計測および鋼脚縦リブの高力ボルト締付け時期の検討等を行った。なお、施工試験は屋外で行い、最大風速8mの送風機を配置し、防風対策の有効性の確認も行った⁸⁾。本工事の施工により横向き炭酸ガスアーケット片面裏波溶接施工法を用いた全断面現場溶接施工法が確立された。

昭和50年代後半より架設の合理化を目的とした大ブロック架設が増大し、工場ヤード等での大ブロックヤード溶接が行われるようになった。1989年（平成元年）に関西国際空港株式会社空港連絡橋のフーチング一体型鋼製橋脚の大ブロックヤード溶接を施工した。写真-5に地組立後のフーチング全景写真を、図-13にフーチング付き鋼脚大ブロックのスケッチ図を示した。フーチングは工場でパネル製作し、工場岸壁ヤードで組立・溶接を行った。鋼脚大ブロックは工場で単部材製作を行い、同ヤードにおいて横置き地組立後、全断面溶接を行った。フーチングの内部隔壁板のT型完全溶け込み継手は最大板厚34mm、継手長さ6mの立向き溶接であり、通常の両面溶接では溶接足場等の作業性確保が難しいことおよび溶接量が膨大となるため、エレクトロガスアーケット自動溶接によるK開先継手の両面2パス溶接（片面1パス）を採用し、溶接能率の向上を図った。なお実施工に先立ち大

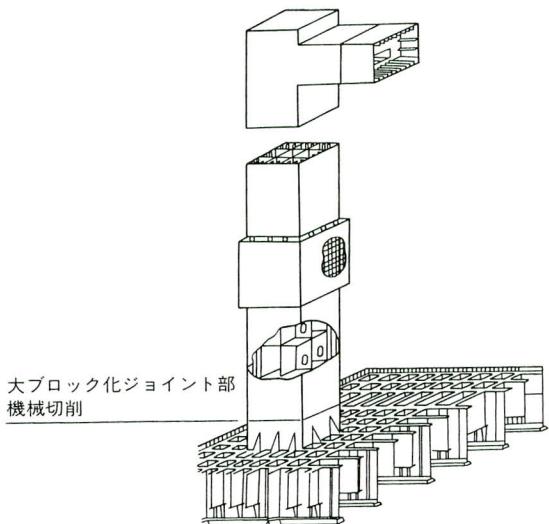


図-13 フーチング付き鋼脚概略図（関西空港連絡橋）

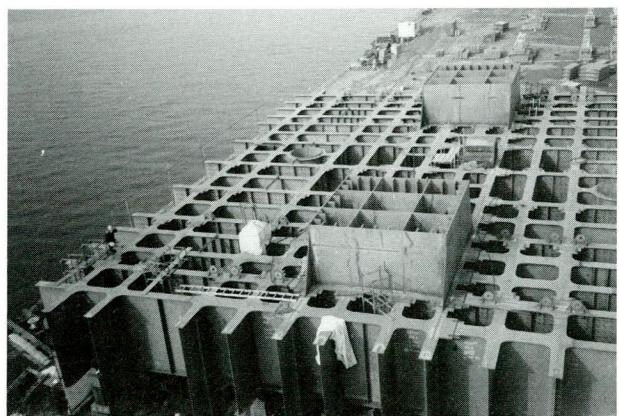


写真-5 関西空港連絡橋のフーチング全景写真（地組立後）

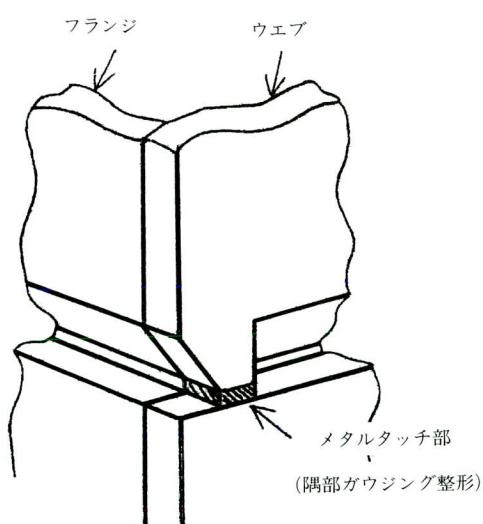


図-12 矩形断面鋼脚の現場溶接継手限部のメタルタッチ部



写真-6 エレクトロガスアーケット自動溶接状況

表-3 主桁全断面現場(地組立)溶接施工実績

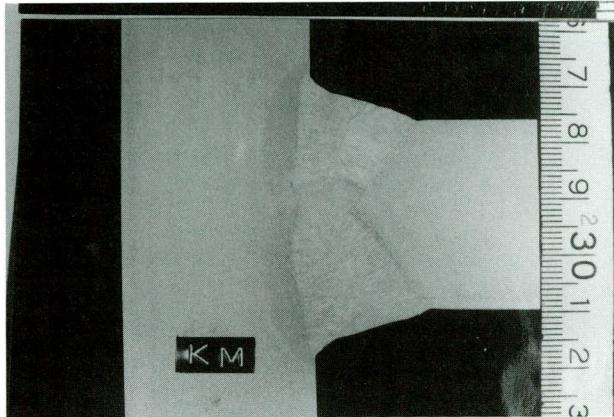


写真-7 エレクトロガスアーク自動溶接による断面マクロ（T継手）

型試験体による溶接施工試験を行い、溶接施工条件、溶接品質および継手性能の確認を行った。**写真-6**にエレクトロガスアーク自動溶接状況写真を、**写真-7**に同溶接継手のマクロ写真を示した。

鋼脚の全断面ヤード溶接は横置き地組立状態で、全て外側からの溶接とし、下向き、立向きおよび上向きでの全姿勢片面裏波自動溶接(4.主桁全断面溶接の変遷参照)で行った⁹⁾。1992年(平成4年)には阪神高速道路公団の鳴尾沖工区鋼製橋脚(ラーメン橋脚)の鋼脚全体大ブロッパー括架設におけるヤード全断面溶接の立向き継手の一部にエレクトロガスアーク溶接が採用された。

その後東京湾横断道路P7橋脚の変形6断面大ブロックヤード溶接（下向き、斜め下向き、縦向き、斜め上向きおよび上向き姿勢）¹⁰⁾、名港中央大橋東塔下段水平梁の大ブロックヤード溶接（横向き、下向き、縦向きおよび上向き姿勢）¹¹⁾等の多くのヤード溶接施工を実施した。これらの一連の実施工により、部材形状、材質、板厚、溶接姿勢および継手条件等を勘案し、サブマージアーク片面裏波溶接、下向き・上向き・横向きCO₂（またはMAG）片面裏波溶接、エレクトロガスアーク片面裏波溶接等の中から、継手の形式、現場およびヤード溶接条件に最適な溶接法を採用する技術が確立された。

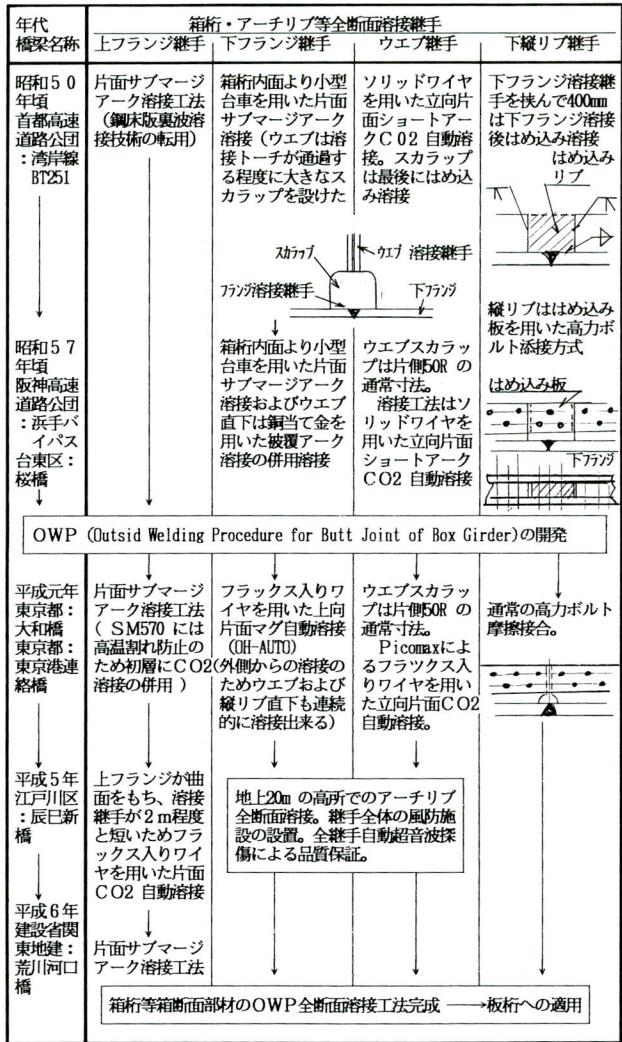
4. 主桁全断面現場溶接の変遷

宮地鐵工所が施工した主桁全断面現場溶接の実績を表-3に示した。また、主桁全断面溶接工法の技術的変遷を図-14に示した。

施工時期	橋名	施主	橋梁形式	接方法
1969年	万国博5号橋	(財)日本万国博覽会協会	非合成箱桁	UF下向き／ガス半自動(FB) LF下向き／ガス半自動 W立向き被覆アーフ(FB) UF下向きSAW LF下向きSAW W立向きCO.自動
1976年	BT251工区	首都高速道路公団	鋼床版箱桁	UF下向きSAW LF下向きSAW W立向きCO.自動
1978年	八戸港改修臨海道路橋梁	青森県	鋼床版箱桁	UF下向きSAW LF下向きSAW W立向きCO.自動
1981年	新永安橋第4工区	岡山県	非合成箱桁	UF下向きSAW LF下向きSAW W立向きCO.自動
1981年	隅田公園歩行者専用橋	東京都台東区役所	非合成箱桁	UF下向きSAW LF下向きSAW W立向きCO.自動
1984年	浜手B.Pメリケン工区	近畿地方建設局	鋼床版箱桁	UF下向きSAW LF下向きSAW W立向きCO.自動
1986年	大島大橋	本州四国連絡橋公団	吊橋	UF下向きSAW LF下向きSAW W立向きCO.自動
1987年	港第2工区	阪神高速道路公団	鋼床版箱桁	UF下向きSAW LF下向きSAW W立向きCO.自動
1988年	大和大橋	東京都	非合成箱桁	UF下向きSAW LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1989年	KE31、KE32工区	首都高速道路公団	鋼床版箱桁	UF下向きSAW LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1989年	中島西工区	阪神高速道路公団	鋼床版箱桁	UF下向きSAW LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1991年	東京湾連絡橋台場海上部	東京都	鋼床版箱桁	UF下向きSAW LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1990年	言問橋右岸テラス連絡橋	東京都江東治水事務所	鋼床版箱桁	UF下向きSAW LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1991年	東京湾連絡橋台場海上部	東京都港湾局	鋼床版箱桁	UF下向きSAW LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1993年	辰巳新橋	東京都江戸川区	ニールセンローゼー桁	UF下向きSAW LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1993年	荒川河口橋	東京都江戸川区	鋼床版箱桁	UF下向きSAW LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1994年	BY551工区	首都高速道路公団	非合成箱桁	UF下向きSAW LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1995年	大島・小松川公園橋梁	東京都	非合成箱桁	UF下向きCO.自動 LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1996年	豊田大橋	豊田市	ニールセンローゼー桁	UF下向きCO.自動 LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1996年	盛岡駅西口1号線交通広場	盛岡市	人工地盤	UF下向きCO.自動 LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1997年	名和高架橋西	日本道路公団	板桁(省力桁)	UF下向きCO.自動 LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1997年	来島大橋	本州四国連絡橋公団	吊橋	UF下向きSAW LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1998年	飛島高架橋西	日本道路公団	板桁(省力桁)	UF下向きCO.自動 LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1999年	香椎IC	福岡市港湾局	ハーランドストアーチ橋	UF下向きSAW LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動
1999年	東西水路橋	東京都	鋼床版箱桁	UF下向きSAW LF上向きCO.自動
1999年	広島南道路	広島高速道路公社	鋼床版箱桁	UF下向きSAW LF上向きMAG自動 W立向きCO.自動

ノーガス半自動：ノーガス半自動片面裏波溶接(FBは裏当金)
被覆アーチ：被覆アーチ溶接(FBは裏当金)
SAW：サブマージアーク片面裏波溶接
CO₂自動：CO₂片面裏波自動溶接
MAG自動：MAG片面裏波自動溶接
CO₂半自動：CO₂片面裏波半自動溶接

図-14 宮地鐵工所における箱桁の全断面溶接工法の変遷



(1) 箱桁の全断面溶接の変遷

宮地鐵工所が主桁の全断面現場溶接を初めて実施したのは1969年(昭和44年)、財団法人日本万国博覧会協会発注の万国博5号橋主桁全断面溶接(主桁断面1300mm×500mm、SS41最大板厚14mm)である。全断面溶接はノーガス半自動および被覆アーク溶接により、下フランジは内面からの片面裏波溶接、ウェブおよびめ込みフランジ部は外面からの鋼製裏当を用いた片面溶接を行った。**写真-8**に現場溶接前の主桁組立状況を示した¹²⁾。ノーガス半自動溶接は現場溶接に適した溶接工法であるが、溶接金属の靭性確保にやや問題があるとされている。万国博5号橋は主桁の材質がSS41であり、施工試験による確認を経て採用された。余談であるが、筆者らの一人が1994年(平成6年)に橋建協を代表して欧州の鋼橋の設計・製作・架設の実情視察をした際見学したハンブル

グ市に架設中のワーレントラス鉄道橋の全現場溶接接合における架設状況を**写真-9**に示したが、トラス弦材の全断面現場溶接工法は25年前に施工した万国博5号橋の施工方法とほとんど同じであり、歴史や技術における保守と革新のバランスに対する彼我の差に複雑な感慨を得たことが思い出された。

1976年(昭和51年)に首都高速道路公団湾岸線BT251工区構造新設工事の3径間連続鋼床版箱桁橋主桁(主桁断面2.0×2.19m)の全断面ヤード溶接による大ブロック施工を行った。溶接施工は上下フランジをサブマージアーク片面裏波溶接、ウェブを炭酸ガスアーク片面裏波溶接で行った。下フランジのサブマージアーク片面裏波溶接は内面より小型のサブマージアーク自動溶接機を用いた。下フランジ側ウェブは溶接機の一部が通過しウェブ直下も連続溶接できるようウェブに大きな切り込みを入れ、ウェブ継手溶接後に切り欠き部のはめ込み溶接を行

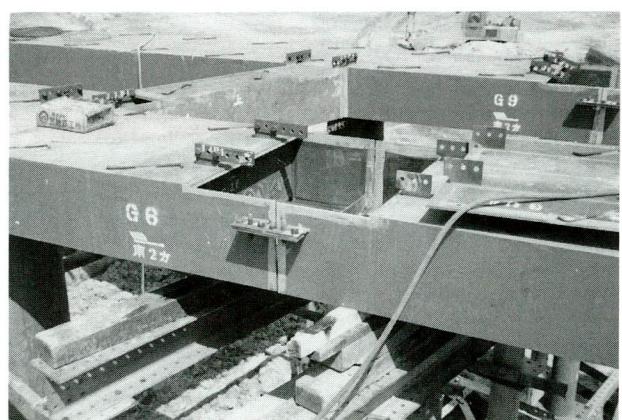


写真-8 万博5号橋の主桁組立状況



写真-9 ハブルグ市鉄道橋（ワーレントラス弦材）の全断面現場継手

った。実施工に先立ち、屋外において実断面試験体による施工試験を行い、溶接施工条件、溶接収縮、変形、キヤンバー変化、残留応力、継手品質および継手性能等の確認を行った¹³⁾。下フランジを内面より下向き自動溶接で施工するには溶接継手部の縦リブおよびウェブ直下対応が必要であり、ウェブはめ込み溶接の品質、下フランジの溶接作業性、工期等の面からの問題が残った。なお、参考のため下フランジを自動溶接する場合の継手部縦リブ処理方法を図-15に示した。

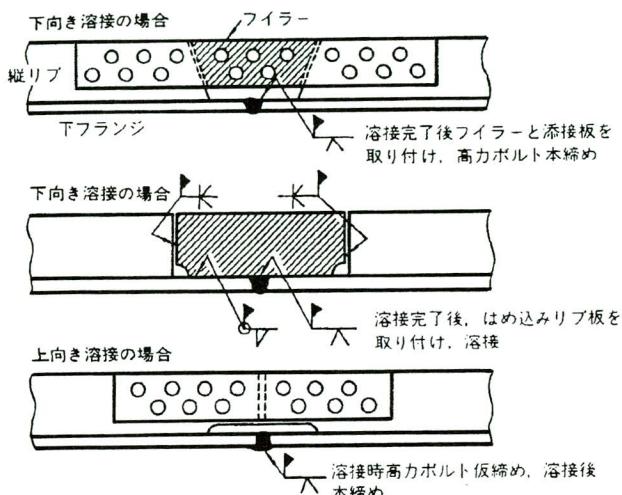


図-15 箱桁下フランジ縦リブの処理方法

1978年（昭和53年）に青森県から発注された八戸港改修臨海道路橋（3径間連続鋼床版箱桁）の中央径間の一部に大ブロック架設が行われ、大断面主桁（主桁断面5m×4m）の全断面溶接を行った。下フランジ以外は前述のBT251施工法が踏襲されたが、下フランジはウェブ直化のウェブの大きな切り欠きをとることは中止し、下フランジのコバは外側より被覆アーク溶接を行い、内面のみサブマージアーク片面裏波溶接を採用した。また、縦リブのはめ込み溶接は被覆アーク溶接棒を用いたI開先1パス自動溶接法（GEOM溶接：神戸製鋼所製）の開発を行い、本工事に始めて採用した。なお、本橋の支点上部材（8台）は最大高さ6.5mあり、当時の東京工場から隣接する運河を通しての海上輸送が困難のため、工場ではフランジ・ウェブのパネル製作を行い、岸壁のある大ブロック地組立場において、パネル組立・溶接を施工した。図-16にパネル組立概略図を示した。ヤードにおけるパネル組立後の溶接は部材の反転作業を行わず、正立状態で全姿勢溶接を行ったが、上フランジとウェブの外

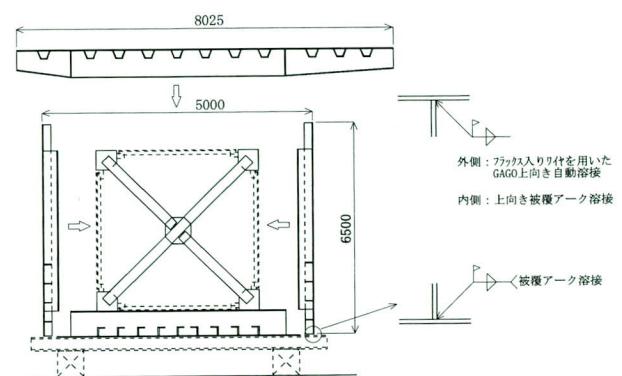


図-16 パネル組立概略図（八戸港改修臨海道路橋）

側角継手のすみ肉溶接はBAGO台車を用いてフラックス入りワイヤによる上向き自動溶接を開発し、採用した。BAGO全姿勢台車を用いた上向きすみ肉自動溶接装置はその年の全世界のユーザーを対象としたBAGOコンクールで3等に入賞し、記念品と賞金\$500（当時で約11万円）を貰ったことを憶えている。千葉工場製作において箱桁のフランジ、ウェブのパネル組立・溶接工法が本格的に採用されたのは1986年（昭和61年）からであり、既に8年前には箱桁のパネル組立・溶接工法をヤードにおいて実施していたことになる。今後ヤードにおけるパネル組立・溶接工法は陸送制約のある大型箱桁の製作方法として注目される工法になるものと思われる。

1988年（昭和63年）東京都発注の大和大橋（3径間連続3箱桁、主桁断面3.5×2m）が全橋長3分割の大ブロック架設で計画された。これまでの箱桁全断面溶接は下フランジを内面より下向き溶接する施工法が取られていたが、本橋の施工を契機にウェブ直下の溶接品質の向上、継手部の縦リブ処理（図-15参照）の省略および全断面溶接に関する諸作業の効率化を図るために、シンプルな形で全ての溶接を箱外面より施工できる「外側からの全断面溶接工法」（OWP工法：Outside Welding Procedure For Butt Joint of Box Girder）の開発、特に上向き片面裏波自動溶接法の実用化開発を行った。外側からの全断面溶接（OWP工法）のメリットを纏めると下記のようになる。

- ① 下フランジの縦リブの切り欠きおよびはめ込み溶接が不要となり、縦リブは通常の高力ボルト継手にできる。
- ② ウエブ直下も連続溶接ができ、溶接継手の信頼性が向上する。
- ③ 箱桁内での溶接が不要となり、箱内に溶接装置等を

持ち込む必要がなくなる。また構造的に現場溶接用排煙口等の設置が不要となり、かつ作業者への換気上の安全が確保される。

- ④ 箱内溶接がなくなるため、箱内部の塗膜の損傷が少なくなる。
- ⑤ 上下フランジの同時溶接が可能となり、溶接工程の短縮がはかれる。

OWP工法での上向き溶接は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MAG自動溶接法であり、上向き専用自動溶接装置OH-AUTO(神戸製鋼所製)により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が付与されている。図-17に大和大橋に適用したOWP全断面溶接工法の概要図を示した。また写真-10にOH-AUTOの施工状況写真を示した¹⁴⁾。これ以降OWP工法は宮地鐵工所における箱断面構造主桁、および横置き鋼脚における全断面溶接の標準的な工法となった。

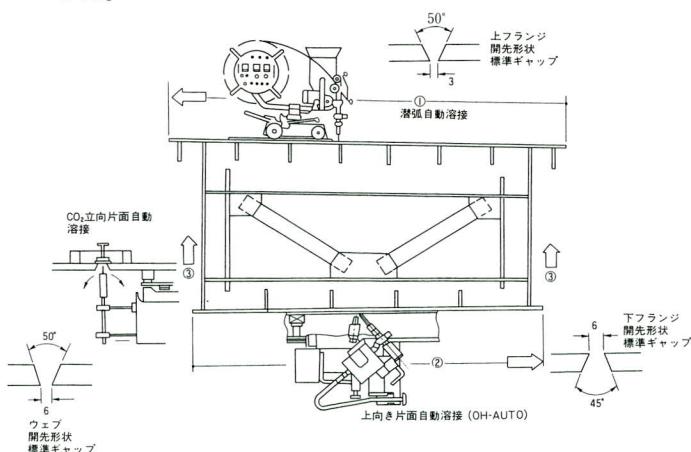


図-17 OWP全断面溶接工法



写真-10 OH-AUTOによる上向き自動溶接の施工状況

1993年（平成5年）江戸川区発注の辰巳新橋（ニールセンローゼ鋼床版橋）アーチリブの全断面現場溶接を施工した。辰巳新橋は景観を考慮した橋であり、現場継手のほとんどが現場溶接であり、アーチリブはウエブの傾きが20°、かつ上フランジは曲面を有する菱形箱断面（断面約1.9m×1.4m）である。アーチリブの全断面溶接にはOWP工法が採用されたが、小型断面であることおよび現場架設用エレクションピース（エンドタブ兼用）の関係上、ウエブ継手の現場溶接を最初に行っている¹⁵⁾。このような断面寸法の小さく、かつ変形した複雑な条件の継手の全断面溶接はOWP工法以外では為し得ないものである。

（2）板桁の全断面溶接の変遷

前述した通り、日本における板桁の全断面溶接の施工は以外に古く、本格的な全溶接橋梁での製作が確立する前の1950年（昭和25年）に、誉鳩橋（4主桁プレートガーダー）で代表される十数橋において全断面溶接が施工されている。誉鳩橋Ⅰ桁の全断面溶接の施工は①ウエブの片側溶接②上下フランジの片側溶接、続いて裏面のガウジングおよび溶接③ウエブの裏面溶接、の順序で施工したところ、ウエブが面外に大きくはらみ出し、関係者一同大いに困窮し、その後の現場溶接敬遠の素地を作ってしまったと報告されている³⁾。宮地鐵工所におけるⅠ桁の全断面溶接は確かな資料がないが、筆者の記憶によると昭和40年代末にクレーンガーダーのⅠ桁梁を当時の東京工場第3工場で行っている。図-18にその施工要領を記憶により再現したが、本工法は①全ての溶接が同じ高さでかつ足場の要らない地上で施工できること②溶接量の多いフランジを両フランジを同時溶接できること。またフランジに溶接能率の良いエレクトロガスアーク溶接が採用可能であること③溶接線の長いウエブ継手

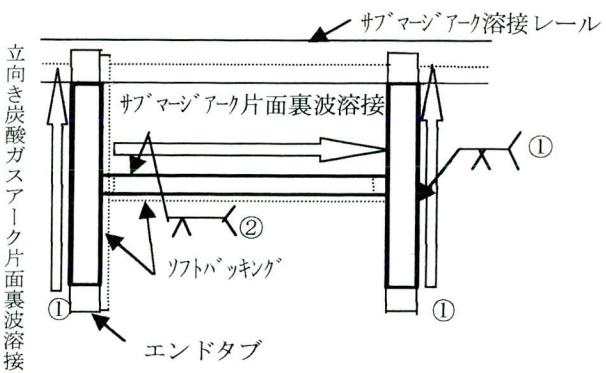


図-18 Ⅰ桁の横置き全断面ヤード溶接法

にサブマージアーク片面溶接が使えること ④各継手を連続溶接できること 等ヤードにおけるI桁全断面溶接工法としては今考えても合理的な施工法であったと思われる。

宮地鐵工所が本格的にI桁の全断面溶接を施工したのは日本道路公団が省力桁によるトータルコスト縮減に取り組み、現場溶接をトータルコスト縮減の選択肢とした第二東名高速道路建設以降となる。1996年（平成8年）に同公団名古屋建設局から受注した名和高架橋西（3主桁11径間連続板桁）において全断面現場溶接を施工した。宮地鐵工所は箱桁の全断面溶接で確立したOWP工法の技術を基に、上フランジは溶接長が短く、かつ高所で作業スペースの狭いことを考慮し、自動溶接機器が軽量で簡便な炭酸ガスアーカー片面裏波溶接、下フランジは連続溶接可能な上向きMAG片面裏波溶接、およびウェブは立向き炭酸ガスアーカー片面裏波溶接による全姿勢のI桁全断面溶接工法を採用した。本省力桁のフランジ最大厚は75mmであり、上向き溶接でのパス数は膨大となるが、下向きでの溶接ではウェブ直下で溶接が不連続となり（いわゆる棒継ぎ）、溶接品質を確保のため溶接始終端の処理に多大な労力を要する。宮地鐵工所は、溶接特に多層溶接での品質確保は1継手を連続溶接し、溶接始終端を継手内に残さないことが重要との信念から溶接工法を開発してきた。名和高架橋西ではウェブ上下にスカラップを設けている。引張サイドのスカラップは埋め戻す場合もあり、スカラップレスの施工法を検討してきたが、名和高架橋西には間に合わなかった。なお、本橋は11径間連続で橋長は610mもあり、現場溶接継手における収縮、変形が支間長やキャンバー等の全体寸法、形状に及ぼす影響が大きいため、現場施工に先立ち、予め長めに製作した部材を用いた実部材溶接施工試験を行い、溶接施工法の確認および収縮、変形等の基本データを得て、実施工に反映させた。

1998年（平成10年）に同じく日本道路公団飛島高架橋西（3主桁連続板桁等）においてI桁の全断面現場溶接を施工した。基本的な溶接工法は名和高架橋と同じであるが、下フランジ側のウェブはスカラップレスとし、下フランジとウェブ溶接交差部の溶接品質の向上と現場溶接作業の簡潔化を図った。図-19に飛島高架橋西でのスカラップレスの溶接手順を示した。スカラップレス工法は箱桁全断面溶接技術の延長線にあるものであり、溶接交差部に溶接始終端を残さない工法として非常に優れたものであると自負している。しかしながら、現在のI桁全断

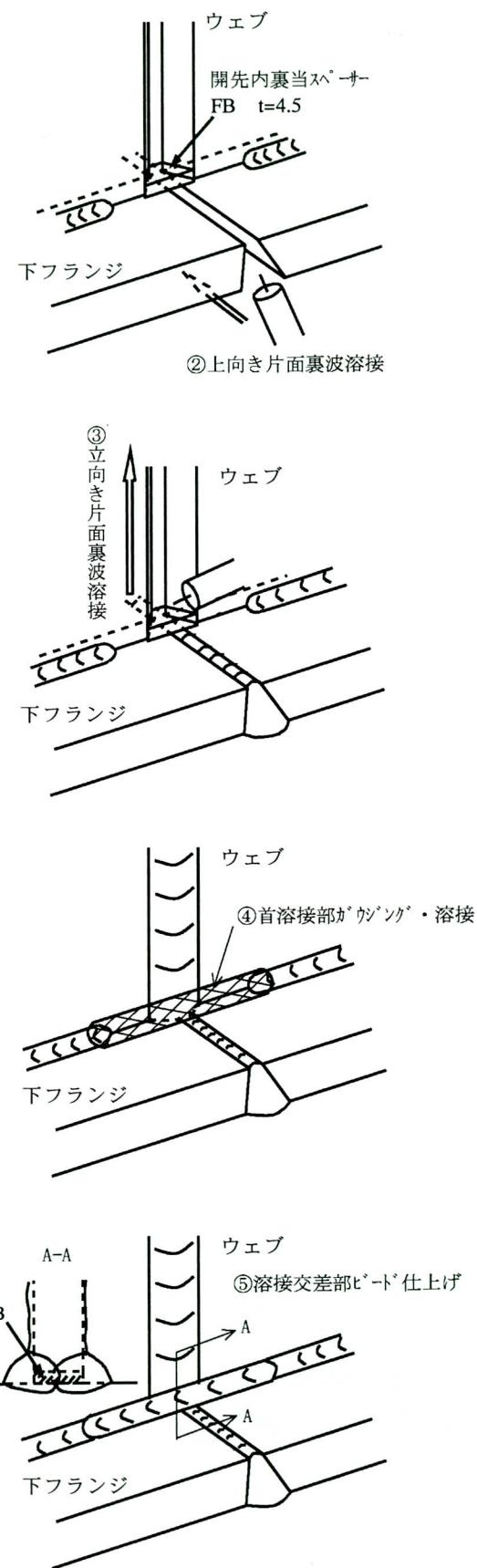


図-19 スカラップレス I 桁全断面溶接工法(飛島高架橋西)

面溶接法は全ての継手が一断面上にきており、架設保持材としてのフランジのエンドタブ兼用エレクションピースはフランジ厚が極厚の場合、かなりの大きさと重さとなる。十分な配慮をして施工しているが、溶接完了後のエレクションピースの切断は高所作業となることもあり安全上憂慮すべき点がある。次回計画しているI桁全断面溶接施工ではフランジ厚が極厚の場合エンドタブ兼用エレクションピースの板厚は必要最小限としている。また、比較的薄板であるウェブ継手の目違い合せのため、写真-11に示すように、ウェブにかなりの拘束材を配置している。

現在、名和高架橋西、飛島高架橋西の施工反省に基づき、I桁の現場溶接継手を図-20に示すように各継手をシフトさせた完全スカラップレスI桁全断面溶接工法の開発に取り組んでいる。継手シフト完全スカラップレスI桁全断面溶接工法は、①架設における断面合せを容易にし、かつエレクションピース、拘束材を極力少なくする②上下フランジ同時溶接施工時の作業上の安全性を確保する③非鋼製エンドタブの適用を可能とする④将来のウェブ溶接に消耗ノズルを用いたエレクトロガスアーク溶接によりウェブの一気通間連続溶接を可能とする等を考えている。

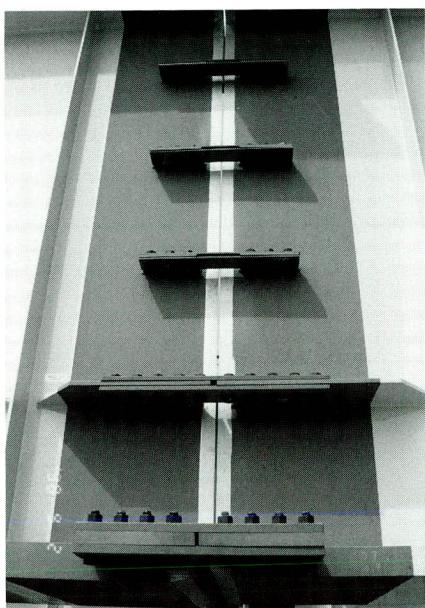


写真-11 I桁全断面溶接ウェブ継手の拘束材

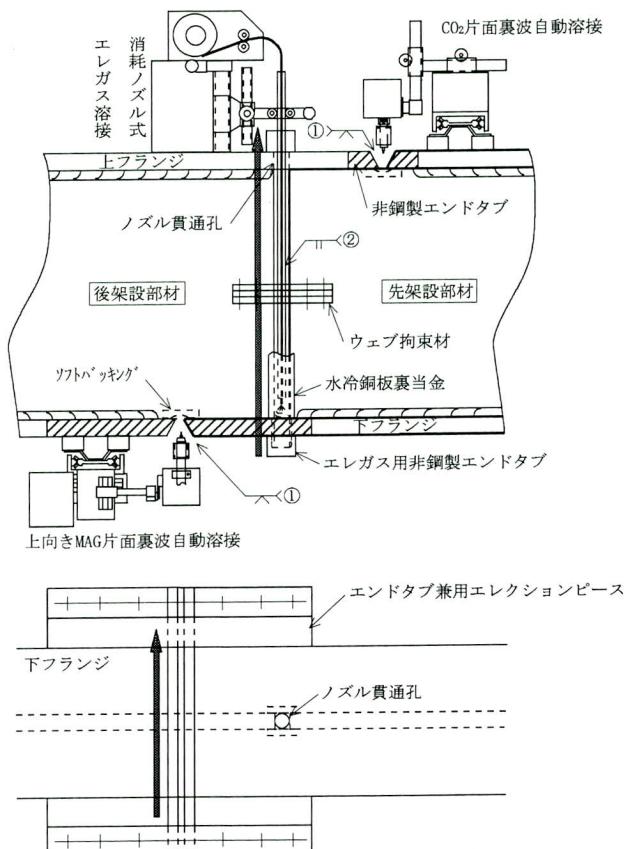
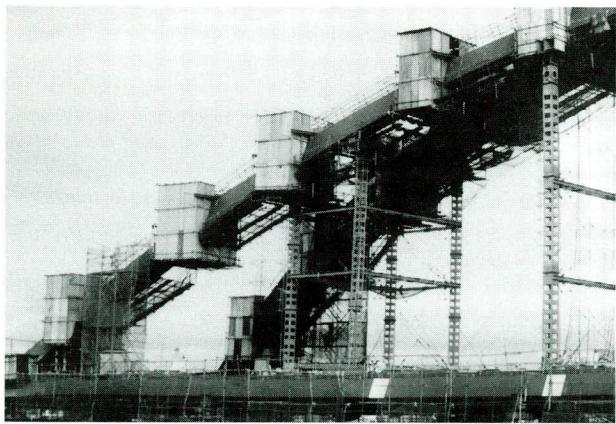
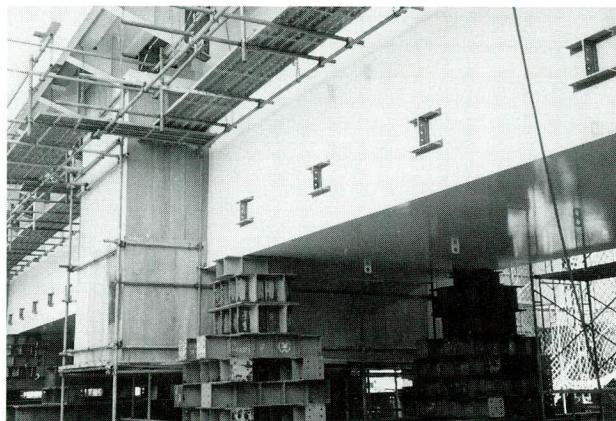
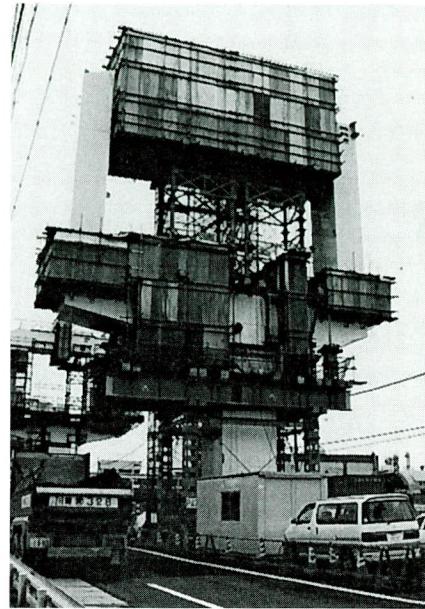


図-20 継手シフト・スカラップレス I 桁全断面溶接工法の構想図

5. 現場溶接における足場および防風設備

ガスシールドアーク溶接を用いた現場溶接では溶接品質を確保するため、風防の問題は重要であるとともに、現場溶接費用および現場工期にも影響する。また高所に全断面溶接継手のあるI桁およびアーチリブの全断面現場溶接では安全な溶接作業および付随作業をするため、堅固な作業足場の設置が欠かせない。

I桁の全断面溶接の風防装置は写真-12に示すように、鋼製の移動型風防装置を製作して溶接の進捗状況の応じて移動して対応している場合が多いが、1機100万円単位の設備費を要する。一般には写真-13~15に示すようにベニヤ板を用いて継手毎に風防装置を設置している。今後、風に強い溶接工法（図-20のエレクトロガスアーク溶接）または鋼床版継手のガスシールドアーク溶接で指向したような、大型の風防装置の要らない局部風防装置を用いた全断面溶接工法の開発が望まれる。



6. 現場溶接継手性能に関する留意点

全姿勢でのガスシールドアーク溶接は同じ溶接材料を用いても、上向き溶接と立向き溶接では溶接入熱がかなり異なるため、板厚および溶接層間温度に応じて継手性能が著しく変化する。その一例として、図-21に60キロ級フラックス入りワイヤを用いた炭酸ガスアーク溶接における溶接姿勢、溶接入熱、板厚と溶接金属の引張強度の関係を示した¹⁶⁾。

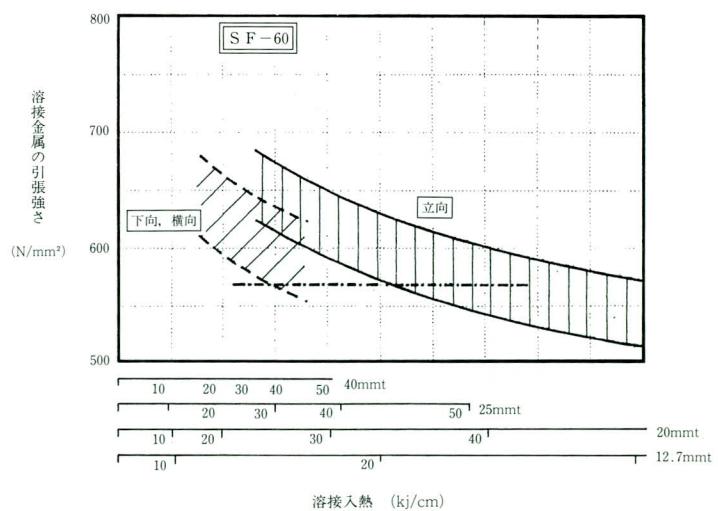


図-21 SF-60継手溶接金属の引張強さ溶接入熱との関係
(バス間温度100°C, 突合せ溶接の場合)

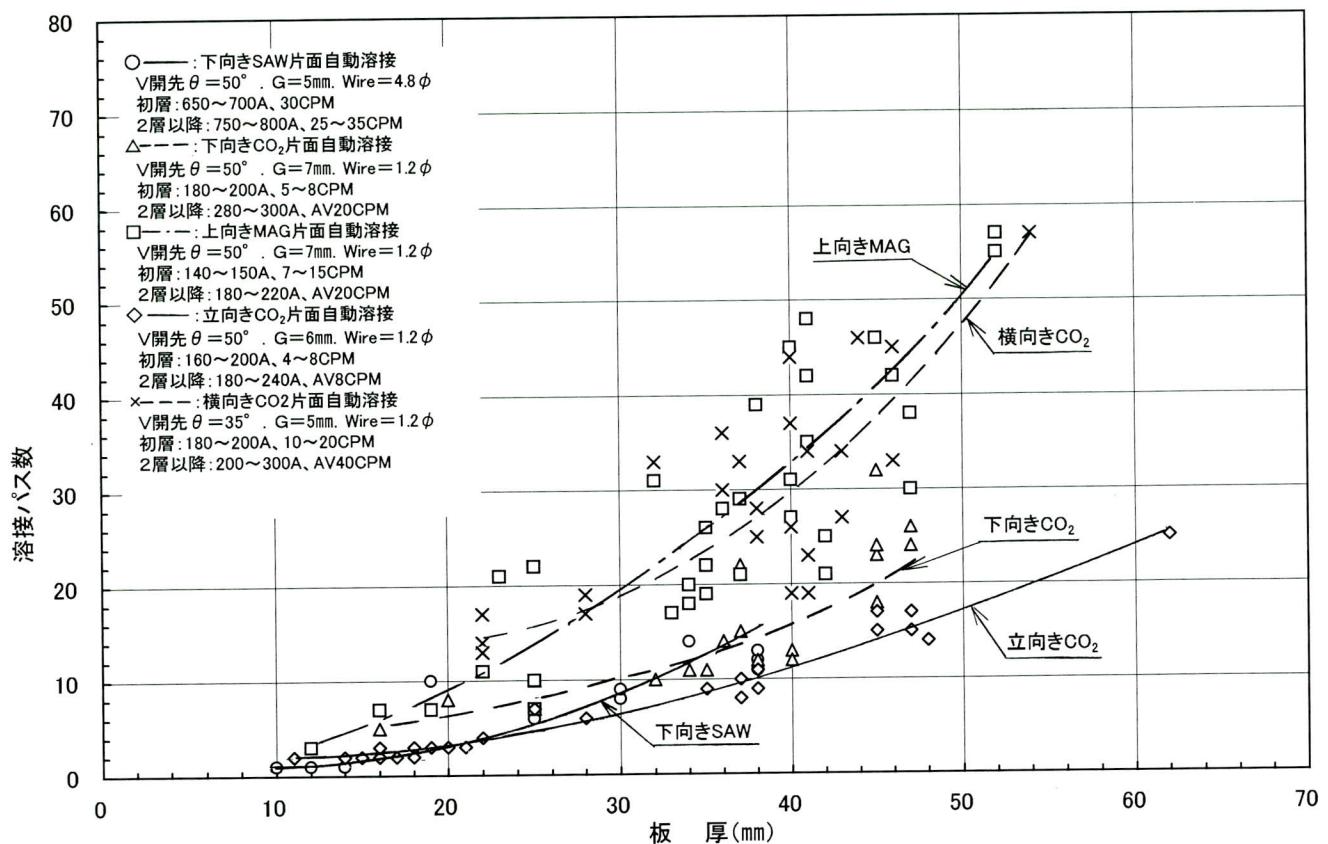


図-23 各溶接方法、溶接姿勢における板厚とバス数の関係

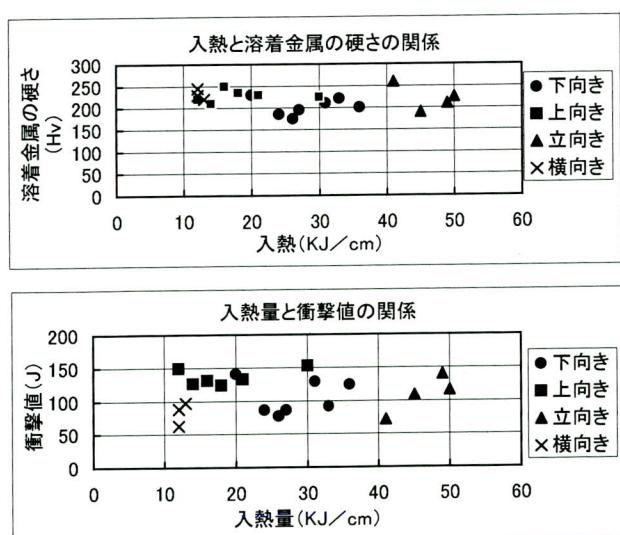


図-22 全断面溶接継手(SM570)の溶接金属の入熱と硬さおよび韌性

ガスシールドアーク溶接の場合入熱が15KJ/cmから100 kJ/cm (エレクトガスアーク溶接) の広範囲の入熱になるため、継手強度のアンダーマッチングおよびオーバーマッチングへの対応および溶接部の靭性に対して、入熱に応じた溶接ワイヤの使用および必要に応じてTMCP鋼を使用する等の配慮が必要である。また、継手の強度が極端にオーバーマッチングの場合は溶接金属の低温割れの恐れもある。図-22に宮地鐵工所が施工した現場溶接の溶接施工試験 (SM570Q) における各溶接姿勢毎の入熱と溶接金属の硬さおよび靭性の関係を示した。いずれも継手部の機械的性質は適正な範囲に収斂している。

7. 現場溶接における溶接能率

実施工における溶接管理シートからプロットした下向き、横向き、立向き炭酸ガス片面裏波溶接および上向きMAG片面裏波溶接の板厚とパス数の関係を図-23に示した。片面裏波溶接ではルートギャップによって開先断面積が大きく変化するため、実施工ではデータそのもののバラツキも大きいが、目安としての板厚とパス数の相関曲線が求められる。各板厚におけるアークタイムT(継手1mの溶接に要する時間)は図-23から求められるパス数Nと平均的な溶接速度S(cm/min)から、 $T(\text{hour}/\text{m}) = [5N/3S]$ として算出される。図-24に横向き炭酸ガスアーク片面裏波溶接における標準開先、標準溶接条件での板厚、開先断面積、パス数およびアークタイムの関係の実験値を示した。例えば図-23で求めた板厚40mmにおける横向き炭酸ガスアーク片面裏波溶接のアークタイムTは $T = 1.25\text{hours}/\text{m}$ (N=30、平均溶接速度40cm/min)となる。一方図-24での実験値はアークタイム $T_0 = 1.42\text{hours}/\text{m}$ (パス数No=31、平均溶接速度40cm/min)であり、それほど大きな差ではなく、概略目安としては妥当なところであろう。また図-23から溶接能率W(m/day)を求める場合はアークタイム率 $\alpha\%$ 、8hours/dayとすると、 $[W(\text{m}/\text{day}) = 8 \times \alpha / 100T = (6S \times \alpha) / 125N]$ となる。仮に板厚40mm(N=30)、一辺が2.5m正角橋脚(継手実長10m)を2台の溶接機を用いて横向き片面裏波溶接(S=40cm/min)を行う場合、アークタイム率 $\alpha = 50\%$ として計算すると、1断面の所要日数Dは $[D(\text{day}) = (2.5 \times 4) \times 125N / 6S \times \alpha = [(10 \times 125 \times 30) / (6 \times 40 \times 50T)] / 2 = 1.6\text{day}/\text{断面}]$ と算出される。

現場溶接継手の設計に当たって、溶接姿勢に応じた効率的な溶接方法を採用することが必要であるが、極厚継手では開先形状、開先角度を工夫して開先断面積ができるだけ小さくするための溶接技術の開発が重要となる。一般に現場施工の工期は現場の天候、段取り時間、装置の設置および移動時間、エンドタブの取付け・取り外し等の付随作業時間で決まるアークタイム率によって左右される。天候は別としてそれ以外の付随作業時間を少なくし、アークタイム率を上げることが、現場溶接施工のノウハウとなる。

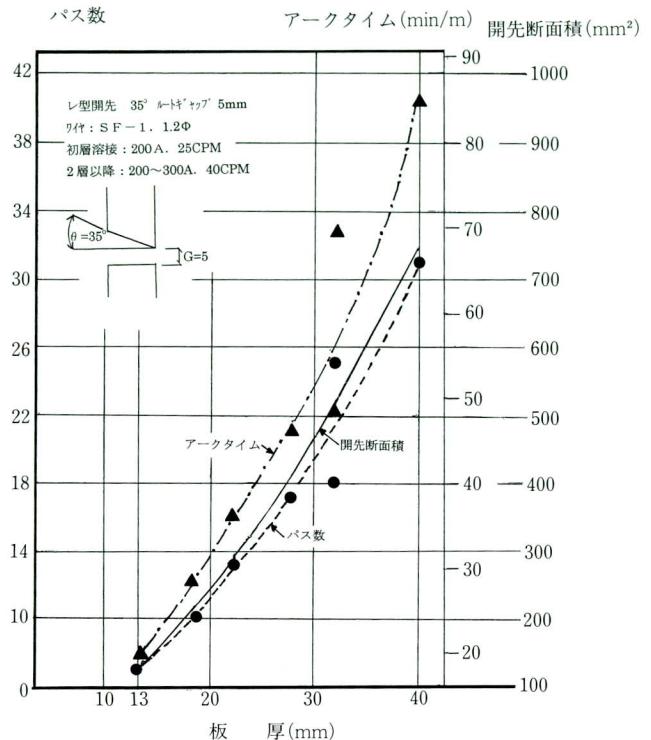


図-24 横向きCO₂片面溶接における板厚と開先断面積、パス数、アークタイムの関係

8. おわりに

従来、鋼橋の現場溶接は主として景観上の理由から採用されることが多かったが、昨今は鋼橋建設におけるトータルコストの低減策として見直されるようになってきた。現場溶接は工場溶接に比べて作業環境は良くないが、鋼床版および全断面溶接では溶接継手が類似しており、溶接の自動化が積極的に推進されている。従って溶接そのものが溶接作業者の技能に依存する度合いは少なく、溶接品質のバラツキは少ないが、今後、継手精度確保の製作技術は益々重要となる。また、溶接施工条件は工事毎に著しく変わるため、緻密な施工計画が非常に重要な課題となる。

本報では宮地鐵工所が1/4世紀に亘り施工してきた鋼橋の現場溶接施工の技術的な変遷を中心に、新たな21世紀への技術継承を果たす目的をもつて纏めた。ここに至るまで多くの諸先輩たちの地道な努力に感謝と敬意を表するとともに、今後も絶え間なく切磋琢磨して、さらなる現場溶接技術の向上を願うものである。

なお次号には現場溶接の非破壊検査、溶接取縮、変形等について実績データを基に纏める予定である。

〈参考文献〉

- (1) 西村：調査研究報告書，関西道路研究会「第7章鋼床版に関する研究」，1970
- (2) 成宮：鋼構造技術総覧「5.1溶接接合」，日本鋼構造協会，技報堂出版
- (3) 明石：製作工法の発達，橋梁と基礎，81-8
- (4) 関西道路研究会接合小委員会資料
- (5) 安藤他：片面自動溶接における終端割れの発生機構，溶接学会誌，vol39, No8
- (6) 成宮他：鰐川橋鋼床版現場溶接，橋梁と基礎，75-2
- (7) 本州四国連絡橋公団「鋼床版現場溶接施工基準(案)」
- (8) 社内報告書，KE53(その2)，KE54工区高架橋橋脚一現場溶接施工試験(その2) 大型試験対現場溶接実験報告書，1983年2月
- (9) 鈴木他：フーチング一体型の大型鋼製橋脚(関西国際空港連絡橋)の製作と組立，宮地技報，1991，No7
- (10) 青木他：景観を考慮した曲線橋脚(東京湾横断道路P7橋脚)の設計と製作，宮地技報，1992，No8
- (11) 松枝他：名港中央大橋東塔の下段水平梁の製作，宮地技報，1995，No11
- (12) 社内報告書，万国博5号橋上部工現場溶接施工に関する報告とその考察，1970.6
- (13) 成宮他：箱桁橋の全断面溶接—首都高速旧江戸川橋梁，橋梁と基礎，78-7
- (14) 成宮他：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，宮地技報，1988，No4
- (15) 森下他：全断面溶接を用いたニールセンローゼ橋，橋梁と基礎，94-12
- (16) 570N/mm²クラス高張力鋼用シームレスフラックス入りワイヤ SF-60の使用条件，日鐵溶接工業(株)技術資料，1991.5

1999.11.1 受付

グラビア写真説明

山ノ田地区高架橋

長崎県内の一般国道57号は、島原半島地域と諫早市及び大村市(長崎空港)等を結ぶ幹線道路として重要な役割を果たしてきました。しかし、198年ぶりの雲仙・普賢岳の噴火に伴う災害、土石流に対し安全な構造の高架橋道路が必要になり島原市から深江町までの延長約4.6kmの内、終点側に近い深江町に本橋は位置しています。

島原深江地区の安全な通行を確保し、更には本地域の復興の核となる本格的な幹線道路の一橋として期待されていると信じます。

(矢野)

百道浜地区横断歩道橋

福岡都市高速1号線を百道ランプで降りると博多湾に面し、近未来型の海浜都市として天神と並ぶ人気エリアのシーサイドももち海浜公園がある。周囲には海浜タワーとして日本一の高さ234mの福岡タワー、日本初の開閉式屋根を持つ福岡ドーム、博多湾に突き出した形のウォーターフロントのマリゾンがある。博多湾沿いにある人工海浜公園の中にある風の公園と呼ばれる風光明媚な場所にウレタン充填タイプの百道浜歩道橋があり、福岡市民の憩いの場になっています。

(矢野)

グラビア写真説明

温見橋

本橋は、滋賀県坂田郡伊吹町曲谷に位置し、緊急地方道路整備工事の一つとして位置づけられた事業です。伊吹町は岐阜県と県境にあり、県道40号線（山東本巣線）は南北に走る路線で、道路幅員の狭い区間が多く、今まで各地で改良が進められて来ました。今回改良された区間は本橋を含め3橋あり、架橋地点付近が絶壁地域の為、下には姉川も流れおり、自然を損なわないよう注意しながら、特に架設に留意致しました。

本橋が完成し、橋名も「温見橋」と命名され、地元住民の方々からも愛着を持たれていると聞いていますが、この路線の奥には滋賀県でも有名な奥伊吹スキー場もあり、本橋の開通でこの改良道路を利用するスキーヤーを初めとし、この橋を利用される全ての方が、「便利になったなあ」と感じられれば幸いです。

(三橋)

新三国橋

新三国橋は、一般国道354号整備の一環として、茨城県古河市牧野と埼玉県北埼玉郡北川辺町を結び、渡良瀬川をわたる橋梁です。渡良瀬川は川幅が広いため、橋長137mのアーチ橋5連という長大橋となります。橋の構造は地域のシンボルになることが予想されるため景観に配慮し、主部材にケーブルを使用したニールセンローゼ桁が採用され、又アーチは内側に傾くバスケットハンドル型となっており優美さを引出しています。新三国橋の完成により茨城、埼玉、群馬の3県にまたがる広域幹線が形成され、地域の発展につながり、又総合公園の利用、渡良瀬遊水池の様々なレクリエーション、バードウォッチングを楽しめるなど生活に潤いをもたらし、人々の交流を深めるものと思われます。

(宮本)

新黒瀬川橋

本橋の形式において特徴的なのは、片側が中路式、もう片側が下路式となっている変形中路ローゼ桁である事です。

国道197号線のうち本橋を含む区間は、鹿野川道路と呼ばれ、平成11年6月に開通しました。これにより、高知県須崎市と愛媛県大洲市の区間すべてで改良が完了した事になり、2県の行き来が大変便利になりました。

本橋の位置する愛媛県野村町付近は、ダム湖とその支流に多くのアーチ・トラス橋が架橋されており、トンネルも多くなっています。

架設にあたっては地形の制約上、ケーブルエクション（斜吊）工法をとっています。

(藤田)

グラビア写真説明

中津川大橋

一般国道140号は、埼玉県熊谷市を起点とし、花園町、秩父市、大滝村等の市町村を経て山梨県三富村に入り、牧丘町、山梨市、石和町、甲府市を経て終点の南巨摩郡増穂町に至る、延長180kmの幹線道路です。しかし、県境にある雁坂峠は日本三大峠のひとつに数えられる難所。これをはさんだ約10kmの区間は長い間自動車の通行ができず、俗に「開かずの国道」と呼ばれてきました。この難所の雁坂トンネルの完成とともに埼玉・山梨県民をはじめとする悲願が達成されました。

中津川大橋は、大滝村の風光明媚な中津川渓谷に架かる橋で、経済性、構造性、景観性により中路式鋼ローゼ橋を採用しました。特徴として、V字谷の地形に対する力学的特性とアーチの曲線による美観性に優れています。

(関根)

尾坂橋 1号橋

尾坂橋は、八ツ場ダム関連道路対策として国道145号の最初の工事で、地域高規格幹線道路として、4車線にて整備します。

本橋は、一級河川の吾妻川に架かり、その源は群馬・長野県境の鳥居峠に発します。

また、西吾妻観光地域にふさわしい景観に配慮した形式として2連のアーチ橋を採用しました。主な特徴は、第一に、アーチの曲線がやわらかいイメージを与え、かつモニュメントとしての役割も果たしています。第二に、鋼橋の採用により、周辺環境に調和した色彩を選ぶ予定です。第三に、橋脚形状も曲線部を設け景観に配慮しています。

(関根)

編集後記

今号では巻頭言に、京都大学の家村先生から、深い谷に架ける新しい橋梁形式に関するアイデアをご披露いただきました。新しい構造形式などの提案が少ない鋼橋業界への叱咤激励であると重く受け止めています。誌面を借りまして厚く御礼申し上げます。

鋼構造物の製作は、主に切断と孔明けならびに溶接です。構造物全体の強度は継手部の強度に左右されることが多く、設計で想定した性能を持つ溶接を行うことが、とりわけ重要です。しかし、溶接は施工条件に敏感で、微妙な違いによっても性能が大きく変わってくることがあります。したがって、しっかりと溶接を行うには、溶接工法ごとに試験のデータなどを数多く蓄えておく必要があり、当社においても溶接技術向上のため地道な積重ねを行っています。今号には、その一部である鋼橋のヤード・現場溶接工法の技術的変遷を掲載しました。今後の溶接技術向上につながることを願う次第です。

技報編集委員会

委 員 長	高 崎 一 郎
副 委 員 長	成 宮 隆 雄 太 田 武 美
委 員	石 川 通 陽 伊 藤 徳 昭 金 原 慎 一 桑 山 豊 六* 小 林 稔 佐 藤 徹*
	坪 井 幹 男 内 藤 章 吾 永 見 研 二*
	西 垣 登 能 登 宥 愿 長 谷 川 宜 宏
	牧 野 克 彦 松 本 泰 成 森 下 統 一
	吉 川 薫

*印 事務局兼務

宮地技報 第15号

発行日 平成11年12月25日

発行所 株式会社宮地鐵工所

〒103-0011 東京都中央区日本橋大伝馬町7番5号

(豊和大伝馬町ビル)TEL03(3639)2111(代)

印刷所 望月印刷株式会社