

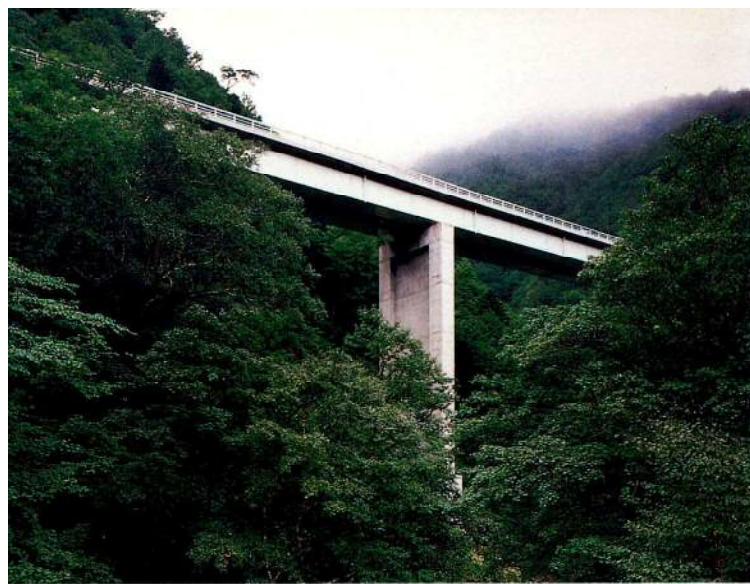
### 神田大通り第2橋梁

発注者 東日本旅客鉄道(株)  
型 式 単純合成箱桁  
橋 長 60m (57.427m)  
幅 員 11m  
鋼 重 402t  
路 線 東北新幹線(国道17号線オーバー)  
所在地 東京都千代田区  
竣 工 平成2年  
説明文 P9



### 青森ベイブリッジ

発注者 青森県  
型 式 3径間連続鋼床版箱桁  
橋 長 232m (60.4 + 110.0 + 60.4)  
幅 員 10.75m  
鋼 重 1150t  
路 線 臨港道路2号線  
所在地 青森県青森市  
竣 工 平成2年  
施 工 宮地他5社  
説明文 P9



豊美大橋

発注者 帯広開発建設部  
型式 3径間連続非合成箱桁  
橋長 337.6m (3×62.6×2連)  
幅員 8m  
鋼重 1314t  
路線 一般国道236号線  
所在地 北海道広尾郡広尾町  
竣工 平成2年  
施工 宮地他3社

説明文 P 22

川津大橋

発注者 奈良県  
型式 ニールセンローゼ  
橋長 201m (199.45m)  
幅員 7m  
鋼重 1135t  
路線 一般県道川津高野線  
所在地 奈良県吉野郡十津川村  
竣工 平成3年  
施工 宮地他1社  
本文 P 82参照

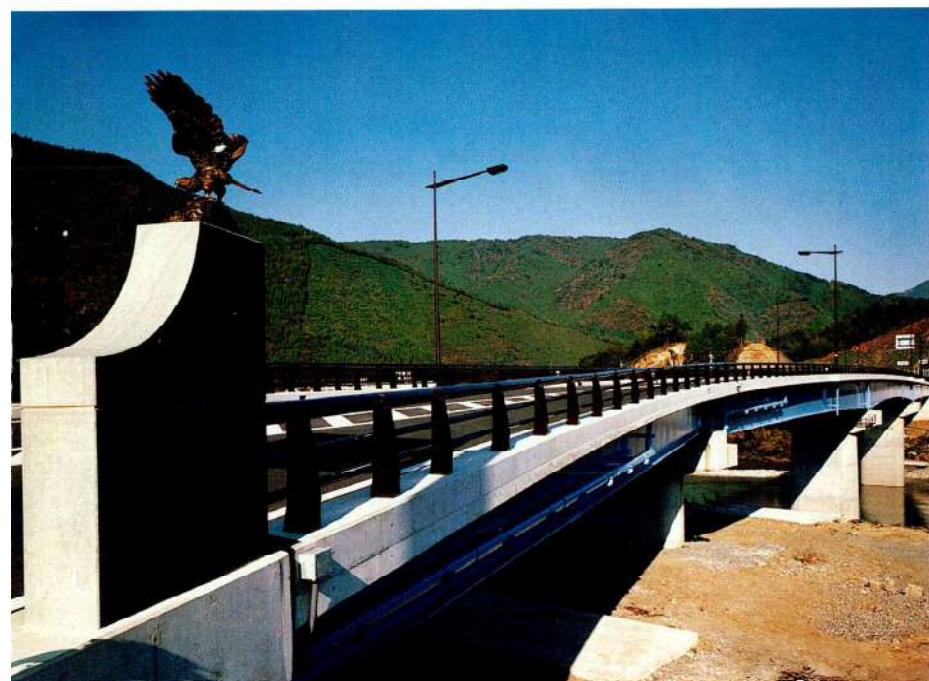


矢作川大橋(新棚尾橋)

発注者 愛知県  
型式 2径間連続非合成箱桁、  
3径間連続非合成箱桁  
橋長 486m (2×68.91×2連、3×68.92)  
幅員 10.25m  
鋼重 2020t  
路線 一般国道247号線  
所在地 愛知県碧南市  
竣工 平成元年  
施工 宮地他2社  
説明文 P 22

## 花畔大橋

発注者 札幌開発建設部  
型式 2径間連続鋼床版箱桁斜張橋  
橋長 230m(140.4+87.8)  
幅員 16.5m×2  
鋼重 5010t  
路線 一般国道231号線  
所在地 北海道石狩郡石狩町  
竣工 平成2年  
施工 宮地他1社  
説明文 P 57



## 丹生谷橋

発注者 徳島県  
型式 3径間連続非合成钣桁、単純合成钣桁  
橋長 206m(3×58.0、31.8)  
幅員 9.75m~12.46m  
鋼重 516t  
路線 一般国道195号線  
所在地 徳島県那賀郡那賀町  
竣工 平成2年  
施工 宮地他1社  
説明文 P 57

## 蔵屋敷高架橋(柴生第2高架橋)

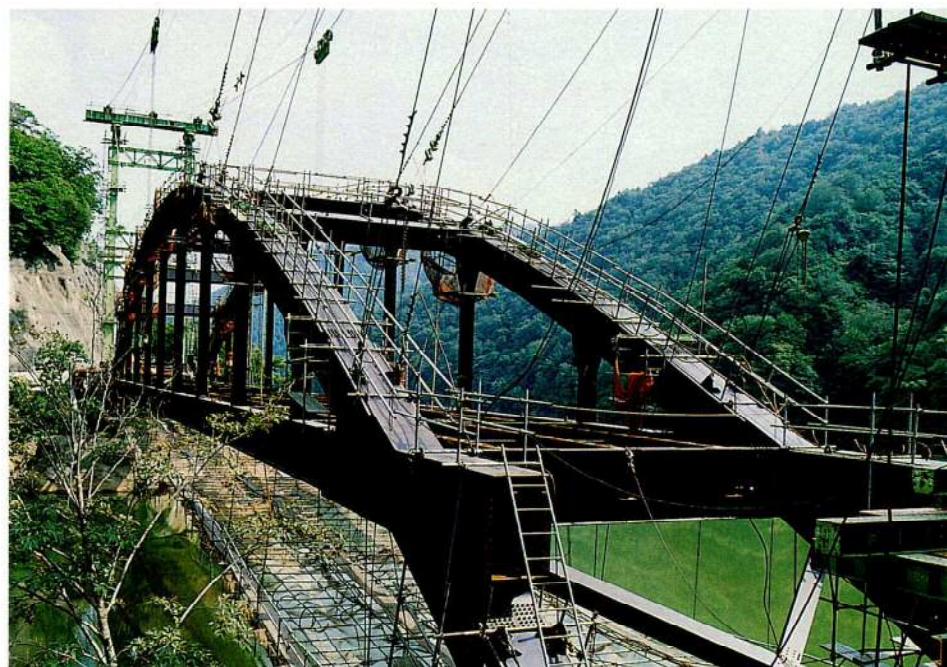
発注者 日本道路公団  
型式 3径間連続非合成钣桁、  
単純合成箱桁  
橋長 413m(41.5+41.5+42.0)  
×2連、(34.0+41.0)×2連、  
49.75)  
幅員 9.0m~16.4m、10.7m  
鋼重 1134t  
路線 四国横断自動車道  
所在地 愛媛県川之江市  
竣工 平成2年  
本文 P 30、38、47参照





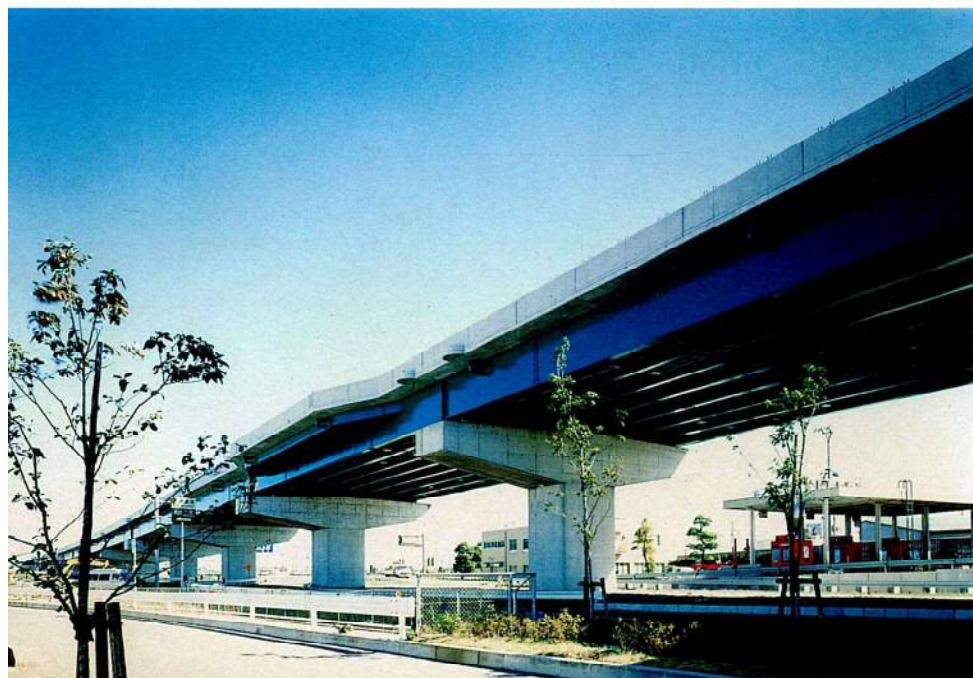
八千代橋

発注者 中国地方建設局  
型式 3径間連続非合成箱桁  
橋長 312m (42.1+56.4+56.4、  
56.4+56.4+41.8)  
幅員 13m  
鋼重 1269t  
路線 一般国道9号線  
所在地 鳥取県鳥取市  
竣工 平成2年  
施工 宮地他1社  
説明文 P 76



芦沢橋

発注者 水資源開発公団  
型式 中路ローゼ  
橋長 123.2m  
幅員 6m  
鋼重 417t  
所在地 群馬県利根郡水上町  
竣工 平成2年  
説明文 P 76

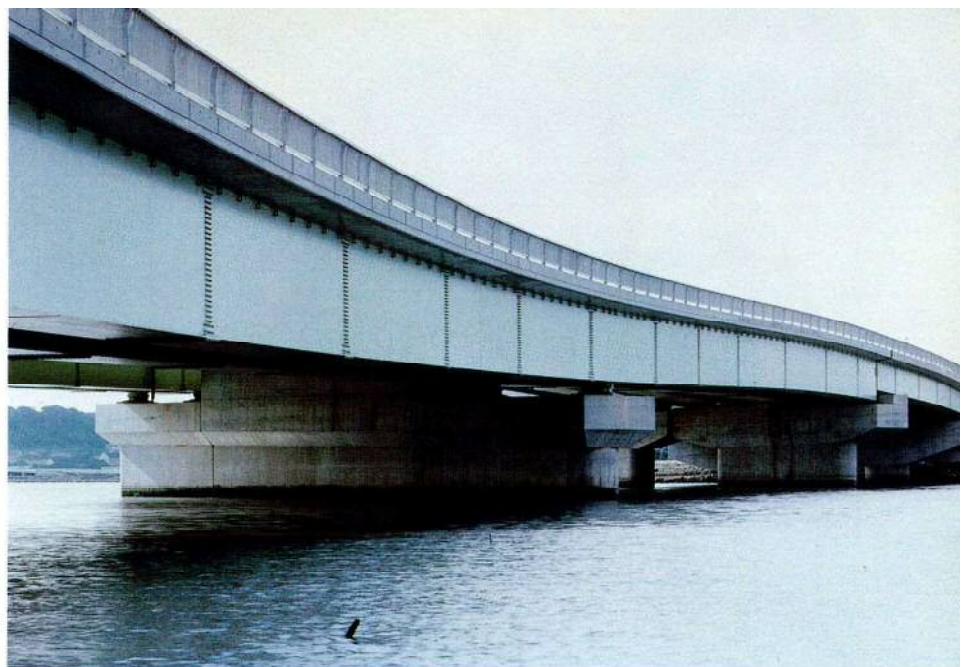


浮野高架橋

発注者 日本道路公団  
型式 2・3・4径間連続非合成鉄筋  
単純非合成箱桁  
橋長 1125m  
幅員 8.65m~18.34m  
鋼重 5978t  
路線 東名自動車道  
所在地 愛知県西春日井郡～名古屋市  
竣工 平成2年  
施工 宮地他1社  
説明文 P 76

### 新那霸大橋

発注者 沖縄総合事務局開発建設部  
型 式 2径間連続非合成箱桁  
橋 長 146.786m (66.262+79.475)  
幅 員 15m~17.75m  
鋼 重 545t  
路 線 那覇東バイパス  
所在地 沖縄県那覇市  
竣 工 平成2年  
施 工 宮地他7社  
説明文 P 81



### 鹿ヶ城大橋

発注者 宮城県  
型 式 3径間連続非合成鉄桁  
橋 長 128m (38.0+51.0+38.0)  
幅 員 14m  
鋼 重 376t  
路 線 都市計画道路北方中田線  
所在地 宮城県登米郡迫町  
竣 工 平成2年  
施 工 宮地他1社  
説明文 P 81



### 平瀬橋

発注者 島根県  
型 式 3径間連続非合成箱桁  
橋 長 155m (52.2+52.2+49.2)  
幅 員 9.2m~9.7m  
鋼 重 441t  
路 線 主要地方道浜田美都線  
所在地 島根県美濃郡美都町  
竣 工 平成3年  
説明文 P 90





大森地区再開発計画A 1 ビル(仮称)

施 主 いすゞ自動車株、第一生命保険相互会社  
設計・監理 株山下設計  
発注者 清水・間・大成・鹿島・五洋・九進・  
佐川建設共同企業体  
構 造 SRC造、S造、地下3階、地上18階  
鋼 重 8 800 t  
所 在 地 東京都品川区  
竣 工 平成3年  
施 工 宮地他3社  
説明文 P 108



(仮称)北品川ONビル

施 主 小野田不動産株・日本生命保険相互会社  
設計・監理 株大林組  
発注者 株大林組他共同企業体  
構 造 S造、地下2階、地上22階、PH1階  
鋼 重 4 300 t  
所 在 地 東京都品川区  
竣 工 平成2年  
施 工 宮地他2社  
説明文 P 108



プッシュアップ工法

大空間構造物建方用に開発した  
プッシュアップ工法による、実  
物大構造物架構実験状況  
(当社栗橋機材倉庫)  
本文 P 23参照

## カナダ大使館

施 主 カナダ国、三菱信託銀行  
設計・監理 清水建設(株)  
発注者 清水建設(株)  
構造 SRC造、S造、地下3階、  
地上8階  
鋼重 2100 t  
所在地 東京都港区  
竣工 平成3年  
施工 宮地他1社  
説明文 P108



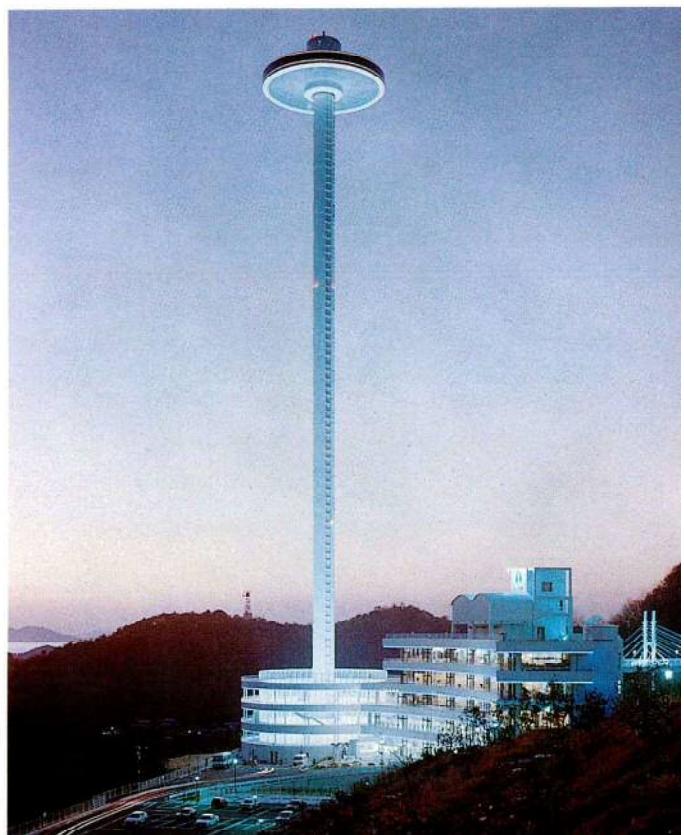
## センチュリータワー

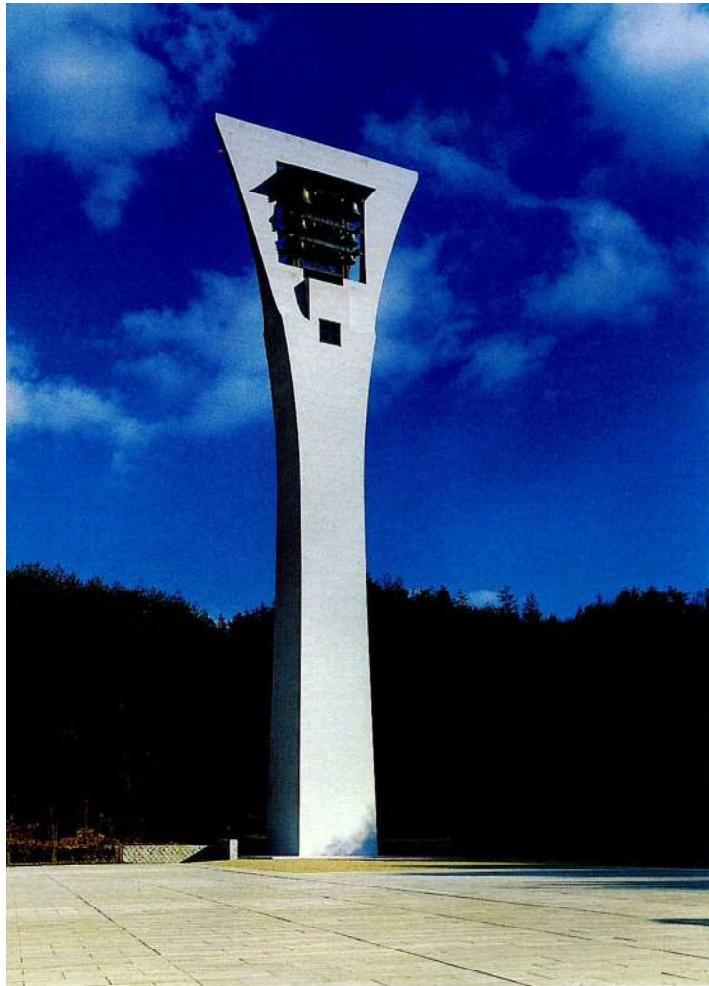
施主 ファーイーストリアルエステートオペ  
レーションズ(旺文社グループ)  
設計・監理 フォスター・ソシエイツ、(株)大林組  
発注者 (株)大林組  
構造 SRC造、S造、地下3階、地上21階  
鋼重 6500 t  
所在地 東京都文京区  
竣工 平成3年  
施工 宮地他3社  
説明文 P121



## 児島タワーレストラン・スカイタワー

施主 三精輸送機(株)  
設計・監理 三精輸送機(株)  
構造 S造 主塔高さ 地上133.5m  
総高さ 地上148.0m  
主塔断面  $\phi 3800 \times 50 t \sim 19 t$   
鋼重 700 t  
所在地 岡山県倉敷市  
竣工 平成2年  
説明文 P121





カリヨン塔

施 主 宗教法人神慈秀明会  
基本設計 PEI COBB FREED & PARTNERS Architects  
構造設計 坪井善勝研究室  
全体設計 (株)日本設計  
発注者 清水建設(株)  
構 造 RC造、S造、地上60m  
鋼 重 220 t  
所 在 地 滋賀県甲賀郡信楽町  
竣 工 平成2年  
説明文 P134

アサヒビール茨城工場 屋外ビールタンク

施 主 アサヒビール(株)  
発注者 三菱重工業(株)  
構 造 500kl貯酒タンク(60基)  
500kl発酵タンク(28基)  
所在地 茨城県北相馬郡守谷町  
竣 工 平成2年  
説明文 P134



橋梁用自走作業床

一般橋梁用に開発した、移動式の  
作業足場による塗替塗装作業  
(大船渡市川口橋)  
本文 P17参照

## 卷頭言

### 適材適所

埼玉大学教授 田島二郎

安芸の宮島・巣島神社には3つの国の重要文化財の木橋がある。そのひとつ反橋は、本殿に向って右の西回廊の端から島に渡る。上卿参向の時に使用されたもので勅使橋とも云う。朱塗の高欄、擬宝珠がある大きな橋で、観光客にもすぐ目につくし、しばしば写真で紹介されており、巣島神社の趣を伝えるひとつのポイントともなっている。床板の裏には寄進した者の名が書かれており、大阪府の誰それなどと読めるものもあるので、この部分は大分とり替えられている様である。橋脚の根元は腐るため、継ぎ木をして補修している。擬宝珠には弘治3年（1577年）の銘がある由。この橋の建設年代とされている。織田信長の時代である。

他は長橋と揚水橋の2橋。前者は本殿の右・内侍橋から西回廊にまがる角で島に渡る高さの低い長い橋（20径間位）だが、人目はそれ程ひいていないようである。揚水橋は本殿に向って左、東回廊から内侍橋にまがる角にあり、手水鉢に渡る3径間の小さな橋である。この大きな手水鉢には天正廿壬辰年と刻銘があり、外国人観光客にもガイドが子細らしく説明していた。渡り廊下としての橋もその時とすれば1592年となるが、桃山時代とのみされ、何年と特定されていないようである。時は豊臣秀吉の時代となっている。この2橋の橋脚は赤間石で、その上部では左右の橋脚を木の貫でつないでいる。腐り易い橋脚には耐久性のある石が用いられている橋で、反橋の根元も、木と石の連結に工夫があれば、さらに良い構造が採れるわけである。

606～615年の間に建設、東洋最古と云われている中国石家庄の石造アーチ趙州橋のアーチリブは約1mの厚味があり、厚さ約31.5cmの石材を28本並列し、アーチリブはところどころ鍛鉄の棒で横締めしている。鉄と石との協同も古く構造技術として存在していた。

近代構造物の進展は、鋼とコンクリートとの採用によって生み出された。引張に弱いコンクリートは、RC、SRC、PCと鋼材との複合によってそのジャンルを大きく拡げている。

関東大震災の経験から、SRCの構造が進んだ。宮地鐵工所の社史「50年の歩み」（昭和33年10月）のp.p.65～80にある写真の中にSRCビル、メラン式アーチときいている聖橋や総武線お茶の水・秋葉原間の当時としては非常に高さの高いSRC高架橋などの写真が見られる。いずれも昭和一桁の時代の工事である。東海道新幹線建設の際、現在横須賀線が走っている品鶴貨物線の上にSRC橋脚を用いた1.8kmの直上高架橋の設計をした頃をなつかしく思い出す。SRC構造は橋梁にもすっかり定着している。

鋼とコンクリートを適宜組合せた複合構造のうち、合成桁は昭和30年代から急速に拡まった。しかし、鋼部材とコンクリート部材とを連結して構造を組立てる他の形式の発展はいま一歩の感がある。昭和38年に自ら図面を書いて、鋼梁・コンクリート梁の軸方向連結部の実験を行った。さらに41、42年にはL形の供試体によって、ラーメンを構成できるようにと隅角部の検討も実施した。それによって常磐線綾瀬・亀有間の直上高架橋を建設したが、構造の特徴を認められて田中賞を頂戴した（土木学会「橋・1968～1969」p.p.26～31参照）。当時継手部についてはまだ今日のような詳細な解析が出来なかつたが、昭和56年度から大学で再び同じような実験を始め、解析もいろいろと出来るようになった。この成果は本州四国連絡橋公団の生口橋斜張橋（工事中）、日本道路公団の東北横断道仙台・酒田間のラーメン橋笹谷橋（昨年開通した区間、橋名は竣工後阿古耶橋となった）に生かされている。

上記の夫々の継承はいずれもプレストレスを用いる方法で、十分信頼性のある連結部が得られているが、さらに設計・施工を容易にできる合理化の道も考えられている。

鋼橋、コンクリート橋という枠に固まらず、適材を適所に用いた構造により、創意ある構造が生み出されることを期待したい。また、鋼、コンクリートと云わず、それぞれ特徴のある各種の材料の活用も考えたいところである。

## 技術評論

取締役技術本部副本部長 浅野 茂

近年のわが国の橋梁技術の進歩には全く目覚ましいものがあります。そして、これには高規格幹線道路や都市高速道路などをはじめとする道路の整備促進に負うところが大きいと考えます。

わが国の道路整備が本格的に始まったのは、昭和29年に第1次道路整備五箇年計画が策定されて以来であり、現在の第10次五箇年計画まで道路の整備は着実に進展してきました。それに伴い、道路橋の整備も急速に進み、とくに地形条件や道路線形からくる斜橋や曲線橋、あるいは海上や湾岸部に架かる長大橋など高度の技術を要する形式の橋梁も数多く建設されてきました。

橋梁の技術上の水準を示す一番の目安は支間長であります。長支間となりますとその主役はやはり吊橋であります。わが国における近代吊橋への足がかりとなった若戸大橋(支間長367m)は昭和37年に建設されました、それから関門橋(712m)、大鳴門橋(876m)などを経て、昭和63年に支間長1100mの南備讃瀬戸大橋が完成します。この間わずか30年足らずであり、そしてあと数年後には明石海峡大橋(1990m)の完成によりハンバー橋(1410m)を抜き、いよいよわが国の橋梁技術は名実ともに世界のトップに躍り出ることになります。

また新しい橋梁形式として、かつしかハーブ橋や横浜ベイブリッジなど優美な姿を誇る斜張橋も次々と建設され、今やブームともいえる盛況で、支間長も年々更新されており、現在事業中の多々羅大橋(支間長890m)が完成すればこれも世界一となります。

このようにわが国の橋梁技術の進歩をもたらせた要因の第一は電子計算機の活用であります。すなわち、電子計算機の大型化、高速化によって高次不静定など解析困難な構造をもつ橋梁の設計や耐風、耐震設計における動的解析が容易に行えるようになったことであります。また橋梁設計の自動化はもとより、最近ではNC機械と組合わせたCAD/CAMも開発されて来ています。

さらに、鋼材やケーブルなど材料に関する多彩な技術開発も一役買っています。すなわち、鋼材については高張力鋼の開発が進み、60キロ鋼から70キロ、80キロ鋼の使用が一般化しつつあります。さらにケーブルワイヤー

の強度の増加は支間長の長大化をもたらせています。

そして長大橋をはじめ、多くの橋梁を建設可能にしてきた橋梁下部工の建設技術も見のがすわけにはいきません。基礎工法の進歩によって以前は回避された軟弱地盤にも架橋されることが多くなりました。また、これにより連続橋の建設も増加しています。さらに、渡海橋の基礎として設置ケーソン工法が開発され、その真価を發揮しています。

また、施工面について見ますと架設工法の進歩が著しく、大ブロック架設工法が多く用いられるようになりました。とくに海上部の長大橋では大型のクレーン船が活躍し、省力化、工期短縮に偉力を発揮しています。

一方、ソフト面で見ますと最近では橋梁の景観への配慮が重視されるようになって来ています。近年、環境保全の観点から橋梁の設計にあたっては周囲の景観と十分調和させるか、さらにはそれを誘導する方向に変って来ており、そのため橋梁形式や色彩のみならず、照明灯や高欄の形式、路面まで配慮したものが見られるようになって来ています。

以上のように、最近の橋梁技術は長大橋を中心に設計、製作、施工の各面にわたり年々発展を遂げ、これまで種々のニーズに対応した橋梁の建設を可能にして来ています。

わが国の道路整備は、欧米先進諸国に比べまだまだ遅れており、引き続き整備を図らなければなりません。これに合せて、橋梁の整備もまだまだ必要であり、とくにビッグプロジェクトについて見ましても現在進行中の本州四国連絡橋、東京湾横断道路等をはじめ、第2国土軸構想など計画、構想段階のものも含めればまだまだ数多くあります。これらの実現には財政、経済面の問題もありますが、技術面で多くの困難さを伴っています。過去の例にも見られるごとくこれに挑戦していくことが、また新たな知識と技術を生み出し、技術水準のさらなる向上をもたらせていきます。今や世界の最高水準に達したわが国の橋梁界の一層の発展のために、私ども鋼橋メーカーのものもそれぞれの分野において、イノベーションに向って努力を重ねて行かねばならないと思います。

# 軽量充てん材を使用した合成型枠橋の開発

## Development of Composite Formwork Bridge with Hard Urethane Used as Light Filler

太田 貞次\* 宮坂 瞳夫\*\* 岩崎 富雄\*\*\*  
*Teiji OOTA Mutsuo MIYASAKA Tomio IWASAKI*

### Summary

The concrete in the sectional tensile region in a composite slab bridge made of steel and concrete does not contribute mechanically to the beam rigidity in design. As a result, it has been possible to develop a composite slab bridge in which hard urethane is used instead of concrete. The features of this technique are (1) the ability to make the height of the bridge lower by reducing dead load, (2) the promotion of rust prevention by bringing the hard urethane into close contact with the steel plate inside, and (3) greater durability against repeated loading and unloading owing to the nonuse of concrete in the sectional tensile region.

### 1. まえがき

コンクリート床版打設時の型枠に鋼板を使用してこれを強度部材とする、いわゆる鋼・コンクリート合成型枠橋について、当社では両者を合成させる簡易的なジベル構造の研究に統いて沖縄県を中心に7橋の施工を行う等の開発を進めてきた<sup>1)~6)</sup>。しかし、コンクリート重量が大きいため、支間が大きくなると死荷重による断面力が急激に増加するという欠点を有しており、適用は小支間橋梁に限られるのが実情である。

前記問題点に対し、設計上断面引張域のコンクリートが橋梁の剛性に寄与しない点に着目し、この部分のコンクリートを軽量な硬質ウレタンと置き換えることにより解決を計った「軽量充填材を使用した合成型枠橋」を開発したので、ここに報告する（図-1）。

- 本橋梁の特徴には、つぎのようなものが挙げられる。
- ① 断面引張域のコンクリートを硬質ウレタン（0.04 tf/m<sup>3</sup>程度）と置き換えるため、死荷重が大幅に軽減され経済的であるとともに橋高を低く抑えられる。
  - ② 硬質ウレタンが鋼板に密着し、また透水性がほとんどないため水や空気が鋼板と接触せず、防錆に優れている。
  - ③ コンクリートを断面の引張域に使用しないため、繰り返し荷重に対する耐久性に優れている。
  - ④ 硬質ウレタンの支持力が大きい（3 kgf/cm<sup>2</sup>程度）た

め床版コンクリートの耐力が増す。

以下において、軽量充填材を使用した梁試験体に対する強度試験の結果ならびに沖縄県に施工した本形式橋梁の概要について報告する。

### 2. 硬質ウレタンの特性

軽量充填材として使用している硬質ウレタンは、T液（ポリメチレン・ポリフェニル・イソシアネート、変性

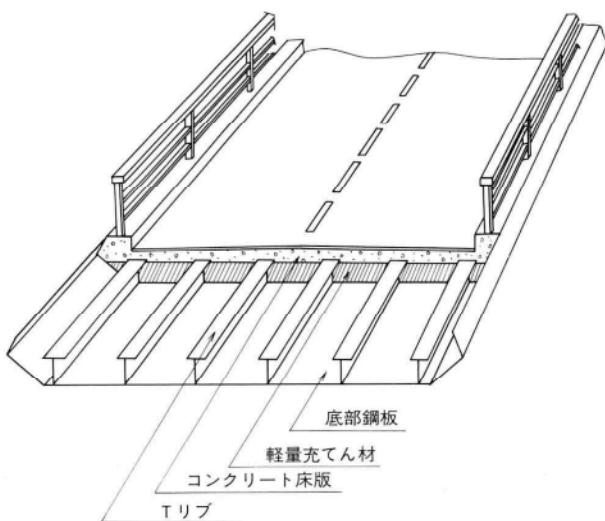


図-1 合成型枠橋概念図

\* 技術本部技術開発部技術開発課係長

\*\*\* 千葉工場製造部生産設計第2課係長

\*\* 松本工場品質管理部品質管理課長

剤)とR液(ポリエーテル・ポリオール、触媒、界面活性剤、発泡剤)の二成分を接触することにより生成される。硬質ウレタンの特性を表-1に記す。

### 3. 梁試験体に対する静的載荷実験

#### (1) 試験体および実験方法

硬質ウレタンを使用した試験体ならびに、比較のために全てコンクリートを充填した試験体と硬質ウレタン部分を空洞とした試験体を各1体製作し、耐荷力実験を行った。実験方法ならびに各試験体の断面形状をそれぞれ図-2、図-3に示す。

試験体に使用した材料ならびにその特性はつぎのとおりである。

- 底部鋼板およびTリブ…S41材( $t = 9\text{ mm}$ )
- コンクリート…早強コンクリート(スランプ $10\text{ cm}$ 、現場養生7日強度 $340\text{ kgf/cm}^2$ )
- 軽量充填材…硬質ウレタン(2. 参照)

荷重強度の管理は、荷重載荷位置にセットしたロードセルで行った。また、支間中央のたわみは支間中央断面下フランジの左右両端にセットした変位計で測定し、さらに、コンクリート上面、Tリブ上フランジ上面、ウエブ、下フランジのひずみをひずみゲージで計測した。

なお、各試験体とも鋼とコンクリートとの合成の手段として、腹板上部に $22\phi$ の孔を $150\text{ mm}$ ピッチで明け、これ

にD19の鉄筋を通している。この鉄筋のせん断抵抗ならびにTリブとコンクリートとの接触面における付着により合成床版として挙動することを期待した。

#### (2) 実験結果

各試験体に対し終局状態となるまで荷重を載荷し、それぞれの剛性の変化、破壊形状、耐荷力を調べた。

##### 1) 剛性の変化ならびに耐荷力について

3種類の試験体における荷重一寸間中央のたわみ曲線を図-4に示す。図より、全てコンクリートを充填したタイプ(II)は荷重が小さいうちは変形が小さいが、 $20\text{ tf}$ を超える付近から他の2タイプより変形が大きくなり、耐荷力も $67.9\text{ tf}$ と3者の中で最も小さい。それに対し、タイプ(I)、(III)では $55\text{ tf}$ 程度まで荷重一寸間中央のたわみ曲線が比例直線関係を保ち、軽量充填材を使用したタイプ(I)では $73.8\text{ tf}$ で、軽量充填材部分を空洞としたタイプ(III)では $71.6\text{ tf}$ で終局状態となる。

なお、3体とも終局状態になるまで圧縮側の鋼とコンクリートとの付着が切れず、最後まで合成梁として挙動しており、腹板を貫通した鉄筋のせん断抵抗ならびに腹板、上フランジとコンクリートとの付着が鋼・コンクリート間のコネクターとして充分に機能していた。

##### 2) 破壊形状について

1)で剛性の変化と耐荷力について述べたが、ここでは荷重の増加に伴う各試験体の性状の変化と終局時の破壊形状について述べる。

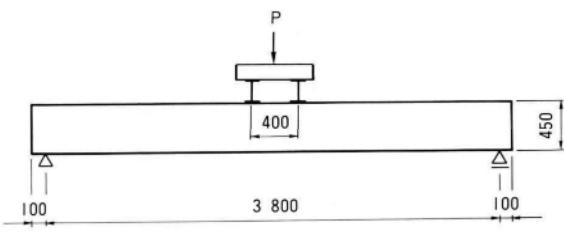


図-2 実験方法

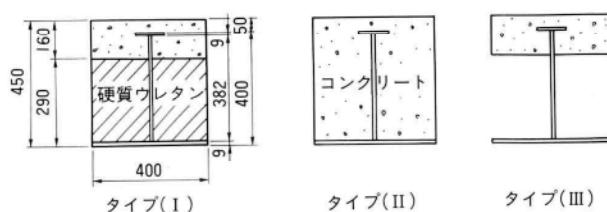


図-3 梁試験体形状

表-1 硬質ウレタン特性

項目	単位	測定方向	物性値	
			平均値	範囲
芯密度	$\text{kgf}/\text{m}^3$	—	38	33-43
熱伝導率( $0^\circ\text{C}$ )	$\text{Kcal}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{C}$	—	0.016	0.014-0.018
独立気泡率	%	—	90	85-95
吸水率(1day)	V%	—	1.8	1.5-2.0
線膨張係数(-50~ $23^\circ\text{C}$ )	$\text{—}$	—	$4.8 \times 10^{-5}$	—
ヤング係数	$\text{kgf}/\text{cm}^2$	 +/-	$1.1 \times 10^3$	—
圧縮強度	$\text{kgf}/\text{cm}^2$	 +/-	2.5 1.2	2.0-2.9 1.0-1.6
引張強度	$\text{kgf}/\text{cm}^2$	 +/-	— 3.0	— 2.6-3.3
曲げ強度	$\text{kgf}/\text{cm}^2$	 +/-	2.0 —	1.5-2.4 —

||:層方向、+:層鉛直方向

(a) タイプ( I )

軽量充填材を使用したタイプ( I )では、29tfでウレタン内部に初めてキ裂が入り、42tfで底部鋼板が降伏応力に達する。その後、底板のひずみは急激に増加するが荷重の増加に対する抵抗力を保持し続け、最大荷重73.8tfでコンクリート上面が圧壊し支持力を喪失する（写真-1）。

(b) タイプ( II )

全てコンクリートで充填したタイプ( II )では、タイプ( I )と同様なひずみ増加を示し、38tfでスパン中央付近3ヶ所にコンクリート下面底部鋼板位置から鉛直上方にクラックが発生した。更に荷重を増加すると60tfを過ぎる段階で底部鋼板とコンクリートとの付着が切れ、ひずみが急激に増加するなかで73.8tfでコンクリート上面が圧壊し支持力を喪失する（写真-2）。

(c) タイプ( III )

軽量充填材の部分を空洞としたタイプ( III )では、弾性域内ではタイプ( I )とほとんど同様な挙動を示すが、これを過ぎると底部鋼板のひずみ増加が大きくなり、底板の変形が大きくなる中で終局状態を迎える（写真-3）。このときのコンクリート上面の圧縮応力度は253kgf/cm<sup>2</sup>であり、コンクリートの圧縮強度340kgf/cm<sup>2</sup>よりかなり小さな値となっている。

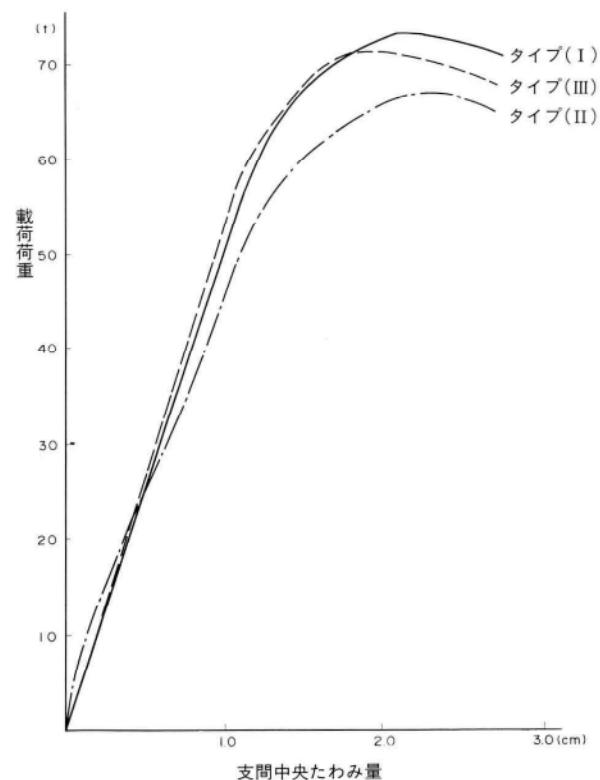


図-4 荷重－支間中央たわみ曲線

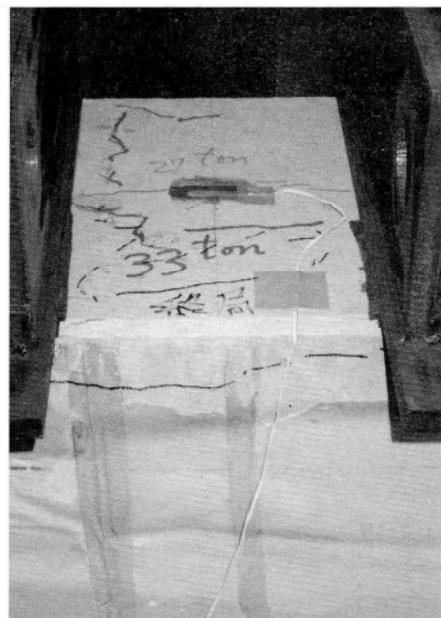


写真-1 終局状態（タイプ( I )）

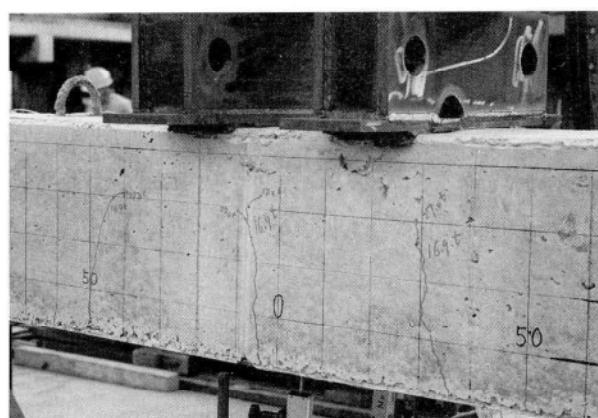


写真-2 終局状態（タイプ( II )）

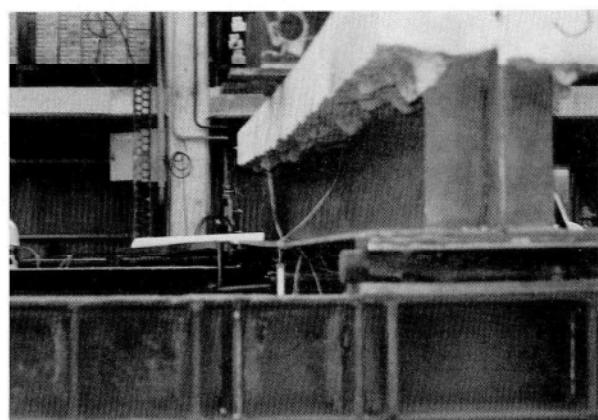


写真-3 終局状態（タイプ( III )）

### (3) 実験結果に対する考察

3種類の試験体に対する静的載荷試験結果から、タイプ(I)、(II)ではコンクリート上面の圧壊で、タイプ(III)では底部鋼板の塑性化で、それぞれ終局状態となることがわかった。また、耐荷力としては、タイプ(I)が最も大きく、タイプ(III)、タイプ(II)と続くとの結果が得られた。

実験結果からは、全てコンクリートを充填したタイプ(II)が他の2タイプより強度が劣ることになるが、ヤング率の小さな材料に置換えた試験体がそうでない試験体より耐荷力が大きくなるとの結果に疑問が残るため、その原因を調べることにする。

軽量充填材を使用したタイプ(I)と、全てコンクリートとしたタイプ(II)の断面内のひずみ分布を図-5に示す。図より、タイプ(II)がタイプ(I)より中立軸が上にあるため、特に底部鋼板が降伏域に入つて以降のコンクリート上面の圧縮応力度の増加が大きくなっている。そのため、タイプ(I)が先にコンクリート耐力の上限に到達し、圧壊したものと思われる。

しかし、試験体が各1体と少いこと、またひずみゲージによる計測位置が4ヶ所と少ないとから実験結果に対する信頼性に欠けるため、引き続いて梁試験体を用いた実験を行い、軽量充填材を使用した場合の耐荷力、設計法について確認していきたいと思う。

## 4. 梁試験体に対する繰り返し載荷実験

### (1) 試験体および実験方法

静的載荷実験で使用したタイプ(I)、(II)と同一形状の試験体を各1体製作し繰り返し載荷実験を行った。

実験方法は、静的載荷実験同様支点間隔3.8mで試験体を支持し、中央2点載荷で毎分200回、200万回になるまで荷重を載荷した(写真-4)。

載荷荷重については、タイプ(I)、(II)とも底部鋼板の応力度が最大800kgf/cm<sup>2</sup>となるように、タイプ(I)では最大18t、タイプ(II)では最大20tとした。そのときのコンクリート上面の応力度は、それぞれ76kgf/cm<sup>2</sup>、80kgf/cm<sup>2</sup>である。また、最小荷重は疲労試験機の制約から、タイプ(I)、(II)とも2tとした。

### (2) 実験結果

#### 1) 繰り返し載荷実験

タイプ(I)、(II)の試験体を用いて200万回繰り返し載荷実験を行ったが、タイプ(I)では実験前後で外観的には全く変化が見られなかった。それに対し、タイプ(II)では実験開始して間もなく荷重載荷位置2ヶ所でコンクリート下面から鉛直上方にクラックが入り、それが進展する中で実験を終了した。200万回載荷後のタイプ(II)試験体を写真-5に示す。

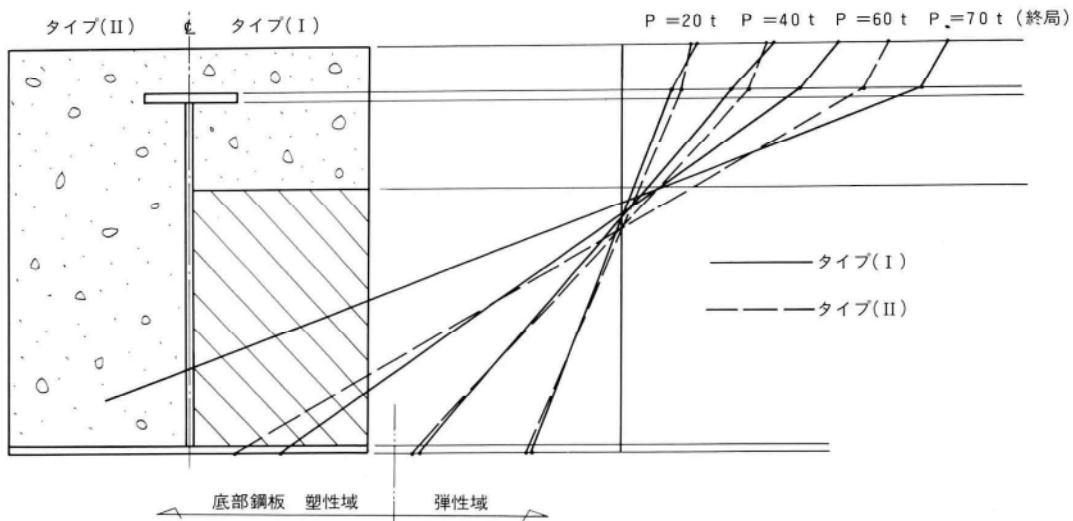


図-5 断面内ひずみ分布

## 2) 耐荷力実験

繰り返し載荷実験終了後両試験体に静的に荷重を載荷し、各試験体の終局耐力を調べた。

2つの試験体における荷重ー支間中央のたわみ曲線を図-6に示す。図中短い直線は繰り返し載荷実験前に弾性域内で静的に載荷した結果を示している。ここでは、タイプ(I)がタイプ(II)より剛性の大きいことが見てとれる。それに対し、繰り返し実験終了後の静的載荷実験ではタイプ(II)に剛性の低下が見られるが、タイプ(I)では実験前後で剛性の変化はほとんど現れない。また繰り返し載荷実験終了後の耐荷力を見ると、両試験体とも70t程度とほとんど同じ値となっている。

### (3) 実験結果に対する考察

底部鋼板の最大応力度を800kgf/cm<sup>2</sup>として200万回繰り返し載荷実験を行い、断面の引張域に軽量充填材を使用したタイプ(I)では試験体に変化を生じないが、全てコンクリートを充填したタイプ(II)では荷重載荷後すぐに鉛

直クラックが入り、載荷回数の増加に伴って圧縮域まで進展するとの結果が得られた。また、繰り返し載荷実験前後の試験体の剛性を見ると、タイプ(I)ではほとんど変わらないが、タイプ(II)では剛性が低下している。

上記実験結果から、断面の引張域に硬質ウレタンを使用することにより、コンクリートにひび割れが発生しないのみならず繰り返し荷重による耐力の低下が見られないとの利点が確認された。

なお、全てコンクリートを充填する場合には防水対策を十分に行なうことが必要である。

## 5. 施工報告

硬質ウレタンを使用した合成型枠橋を沖縄県恩納村かりゆしビーチにあるリゾートホテル内に本年3月に施工したので報告する。

橋梁の諸元を図-7に示す。本橋においては、鋼とコンクリートとの合成にスタッドジベルを使用しており、

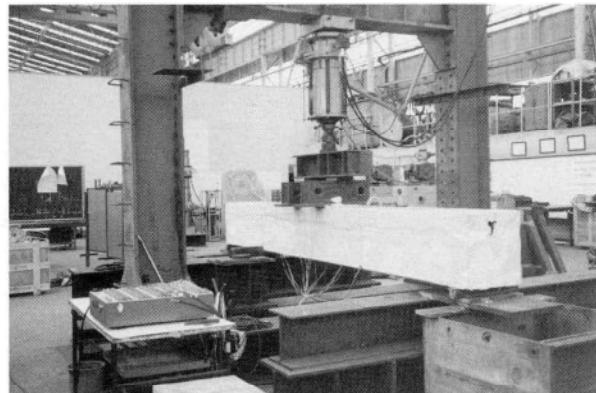


写真-4 繰り返し載荷実験

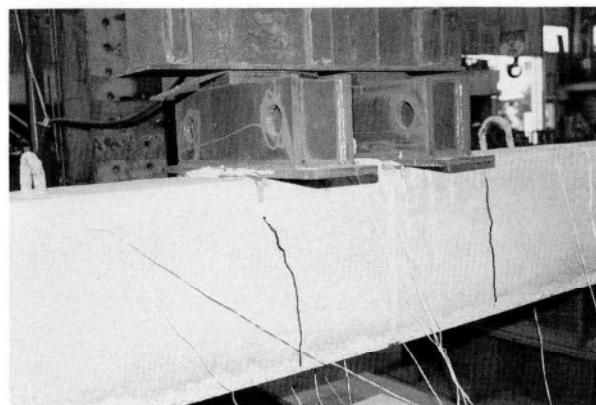


写真-5 200万回載荷後試験体 (タイプ(II))

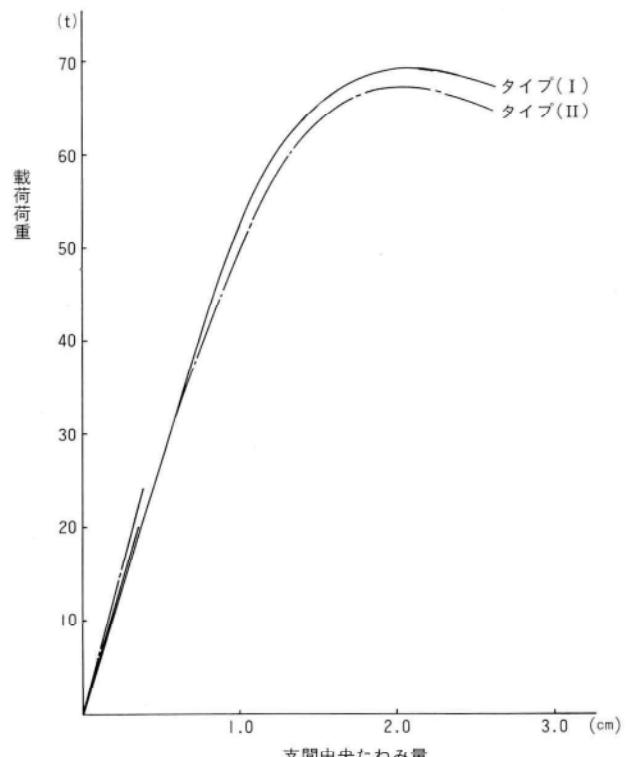


図-6 荷重ー支間中央たわみ量曲線(疲労実験後)

梁の強度試験で使用したジベル構造は採用していない。

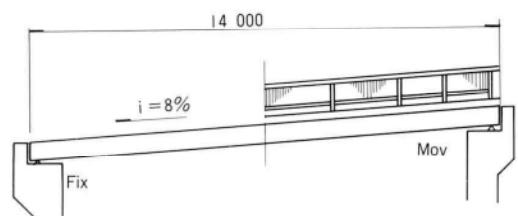
硬質ウレタンの施工は現場で吹付け発泡させる方法を用いており、天気が良ければ2日で充填可能である。硬質ウレタン施工中ならびに完成写真をそれぞれ写真-6、7に示す。なお、将来的には工場で硬質ウレタンの施工まで行い、現場での施工を極力少くしていきたい。

## 6. あとがき

コンクリート床版打設時の型枠に鋼板を使用してこれを強度部材とする鋼・コンクリート合成型枠橋の引張域コンクリートが設計上断面剛性に貢献しないことに着目し、コンクリートの代わりに軽量充填材を使用した合成型枠橋を開発した。軽量充填材として発泡性の硬質ウレタンを使用することにより、

- ① 死荷重の軽減に伴う低橋高化、
- ② コンクリートを断面引張域に使用しないことに伴う繰り返し載荷に対する耐久性の改善、
- ③ が計られるのみならず、
- ④ ウレタンが鋼板に密着することによる防錆効果、
- ⑤ ウレタンがコンクリートを支持することに伴う床版コンクリート強度の増加、

側面図



断面図

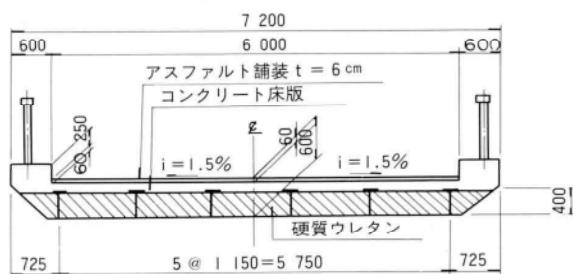


図-7 かりゆし橋一般図

という利点を得ることができた。

本報告は、軽量充填材を使用した合成型枠橋の施工を前にして、橋梁の一部を梁試験体として取り出して強度実験した結果について述べており、供用時の安全性に対する確認はできたが、軽量充填材を使用した構造系の挙動、設計法等に対する検討としては必ずしも充分なものとは言えない。また、軽量充填材にウレタンを使用したことによる利点を設計や現場施工の簡易化に活かすためには、更に踏み込んだ検討が必要となる。今後本形式の橋梁の特長を充分に活用するために、実験等検討を続けていきたい。

最後に、「軽量充填材を使用した合成型枠橋」の開発に際し、旭化学工事株式会社山田専務ならびに日清紡化成品事業本部春宮氏には多大の協力を頂きました。また、かりゆし橋施工では金秀建設株式会社鉄構事業本部具志部長にいろいろ御配慮頂きました。ここに、御礼申し上げます。

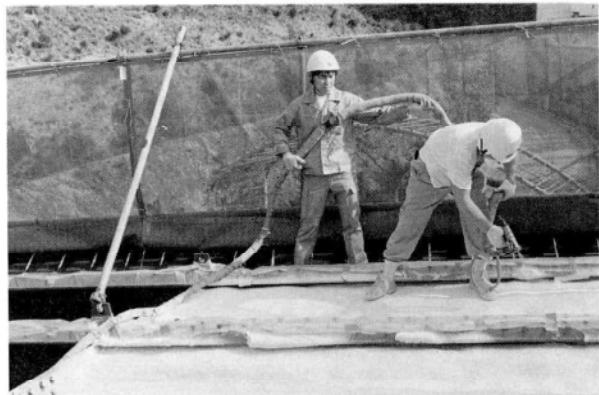


写真-6 硬質ウレタン施工



写真-7 かりゆし橋竣工

## 〈参考文献〉

- 1) 高崎、原、鬼頭；縦リブを利用したずれ止め構造の耐荷力試験、宮地技報No.1、1985
- 2) 高崎、原、鬼頭；縦リブを利用したずれ止め構造の耐荷力試験（疲労試験）、宮地技報No.2、1986
- 3) 高崎、原；薄鋼板と鉄筋を併用した合成梁の特性について、宮地技報No.2、1986
- 4) 高野、原；埋込み式合板桁の構造試験、宮地技報No.3、1987
- 5) 安本、宮坂；合成型枠橋梁（QSCB）の開発と施工、宮地技報No.4、1988

- 6) 安本、宮坂、佐藤；合成型枠橋梁（QSCB）の静的試験と疲労試験、宮地技報No.5、1989
- 7) 原、太田、阿部；新しい型のずれ止め構造の耐荷力試験とその合成床版への応用、土木学会第42回年次学術講演会、昭和62年9月
- 8) 宮坂、安本；合成型枠橋の疲労試験、土木学会第44回年次学術講演会、平成元年10月
- 9) 太田、宮坂、山田、具志；軽量充てん材を使用した合成型枠橋の開発、土木学会第45回年次学術講演会、平成2年9月

1990.10.31受付

## グラビア写真説明

### 神田大通り第2橋梁

東北上越新幹線上野駅より東京駅乗り入れに伴い、JR京浜東北線に沿って延伸工事が行われた。本橋梁も、その一環工事として、JR神田駅際に、国道17号線上を跨ぐ架道橋として、平成元年9月より製作・架設工事が発注され、平成2年12月に無事竣工を見ました。架設工事は、神田駅前、国道オーバー、他工区との競合など、いくつも厳しい条件下の元に、桁組立は夜間作業、桁送り出しは昼間作業で「手延機による送り出し工法」にて架設を行った。

又、他工区の兼合いにより、桁降下を大型クレーンの相吊りにて、夜間上下線2回に分けて行った。（管井）

#### 相吊りの概要

- ・桁重　量 220.0 t × 2回
- ・使用クレーン 300 t 吊油圧クレーン（NK3000）  
360 t 吊油圧クレーン（NK3600）
- ・所要時間 （横取り、ペント撤去などを含む）  
下り線——9時間  
上り線——8時間

### 青森ベイブリッジ

青森港はJR東日本青森駅を中心にして東西に分かれた形で発展し、現在に至っています。当港の貨物は木材・セメント・石油等の生活関連資材が多く、背後圏も青森市を中心に津軽一円、秋田県北と広範囲にわたっています。このため背後圏への輸送や本港地区と沖館地区との連絡貨物は、国道4号、7号および280号線を利用して輸送されており、これが交通混雑の要因ともなっています。この交通混雑を緩和して港湾施設の一体化・物流の円滑化を図ることを目的として、市街地を通過せずに青森駅構内を跨いで東西の港湾施設間を連絡する橋である。青森ベイブリッジは、全長1219mのうちJR東日本青森駅構内および隣接する港湾施設を跨ぐ位置我が国最大級のP C斜張を中心に平成4年度暫定2車線完成に向けて急ピッチで工事は進行中である。（田村）

# 斜張橋架設時の精度管理システムの開発

## Development of Quality Control System for Cable-Stayed Bridge during Construction

能登宥原\*  
Hiroyoshi NOTO

### Summary

The optimum cable prestress in cable-stayed bridges is determined at the time of design to achieve the mechanical and economic objectives, and efforts are made at the time of actual construction to build the structure according to the design. However, at each of the stages of design, manufacture, and construction, various errors creep into the structural shape, the cable tension, the member strength, and the reaction of the bridge.

The present quality control system uses real-time optimum determination of cable shim thicknesses to maintain the above errors within allowable limits in a well-balanced manner, contributing to the improvement of safety and quality and to the speedy progress of construction.

### 1. まえがき

橋梁の架設時の品質と安全の管理は、工程の管理と相俟って、架設の3本柱である。ここで報告する精度管理システム（または形状管理システムともいう）は主に品質と安全の管理に主眼を置いているが、工程のスムーズな進捗にも良い影響を与えているものと思われる。

対象とする橋梁形式はケーブルを有する斜張橋、ニールセン橋等が考えられるが、ここでは斜張橋を対象とした精度管理システムについて述べるものとする。

### 2. 概要

斜張橋はケーブルを有する高次不静定構造物であると同時に、自由度の高い構造物であるので、設計段階で経済性等を目指した最適プレストレスの選定が目論まれており、張力・形状とともにその再現が必要不可欠である。そこで設計・製作・架設の各段階で精度確保のためのシステムティックな管理を必要とする。しかし、設計時に想定したケーブル張力・部材力・構造形状に対して各段階で精度向上を図っても、ある程度の誤差が生ずるのは避けられない。設計段階では構造モデル化、荷重、剛性等、製作段階では部材寸法（ケーブル長も含む）、部材相互間の寸法、角折れ、仮組検査時の温度影響等の誤差がある。また架設段階では組立方法・その順序、仮設材の

\* 技術本部長大橋業務部付課長

重量・載荷位置、仮設時強制外力の導入およびその残留、温度影響等、さらに架設途中の管理のための計測にさえも誤差が生じている。これら各種の誤差が影響の大小を取り混ぜて、構造物の形状・応力に影響を与えており。その結果、設計段階で目標としたこれらの弾性諸量に誤差が生ずる。本システムではこれらの誤差を許容される範囲内にバランスよく収めるために、ケーブル定着間距離とケーブル長の相互関係を調整する方法を示している。また架設時の作業の効率、安全性の確保を最大限に図る役目も担っている。このためにコンピュータシステムによるリアルタイム処理の精度管理システムが必要となる。

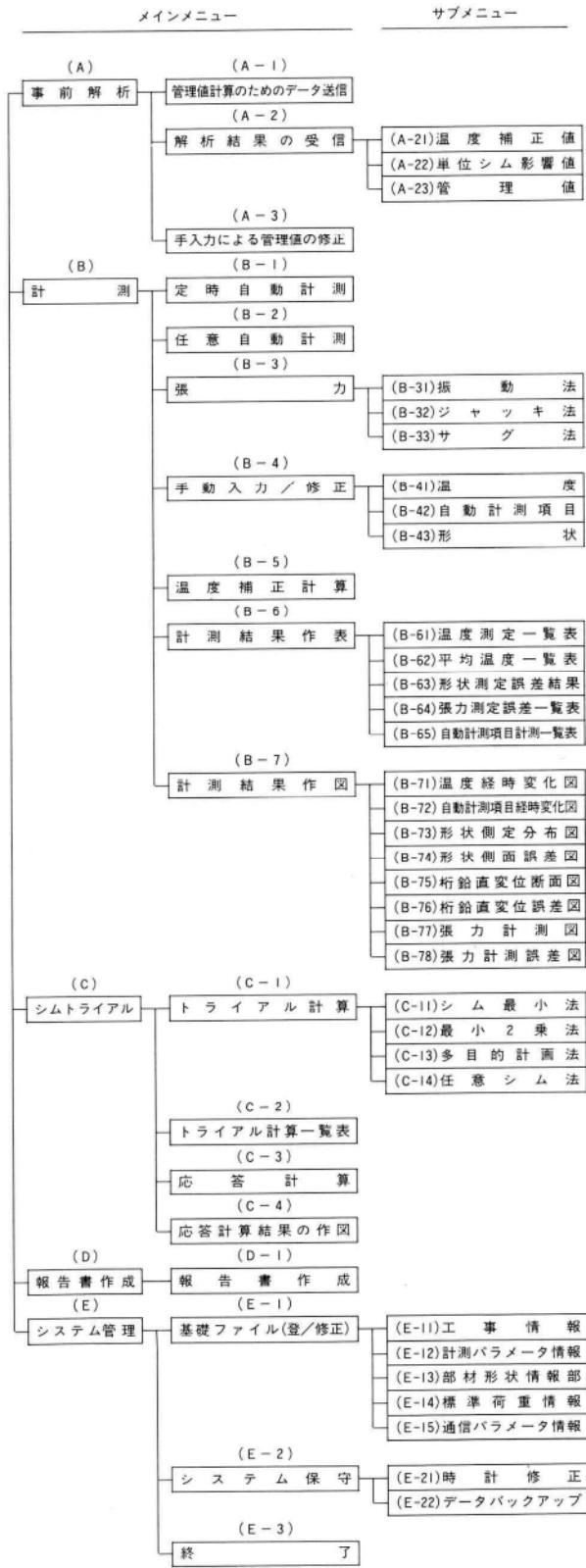
### 3. システムの構成

システムは事前解析・計測・シムトライアル・報告書作成・システム管理の5つの大項目から成り立っており、細項目は図-1に示すようにツリー状になっている。

このシステムを構成する基本機器とその役割は図-2に示す通りである。

現場での計測に先立って、事前に汎用計算機で管理値・影響値を計算する。この管理値が計測当日になんらかの理由で変更になった場合、パソコンを使ったオンラインによりファイルの送受信・再計算を行う。オンラインの方法については図-3に示す。

計測に各種計測値取り込みのためのセンサー・変換器、



その記録に各種レコーダ、処理およびその結果の出力装置としての機器等が配置されている。

これらの機器はMS-DOS上で稼働する各種のプログラムによって制御され、必要に応じて計測・記録・処理・計算・出力等を行う。

#### 4. システムの内容とその流れ

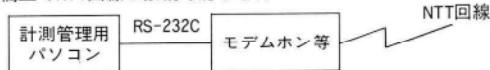
システムの内容とその流れは、図-4、図-5に示すように管理値の算定・計測・最適シム決定・シム調整となっている。しかし、この流れに入る前に構造特性の調査がある。

各種の誤差が張力・形状等の弾性諸量にどのような影響を与えるか、また逆に弾性諸量の誤差がどの誤差要因から発生しているのか等をこの調査から明確にすることができます。この調査結果を利用して、管理値・影響値計算を行う。即ち設計・製作・架設の各情報を、その影響度を考慮して精度のレベルを決め、当該架設ステップの管理値の計算と単位シム量・単位温度・部材断面内の単位温度差・単位荷重による影響値の計算を行う。

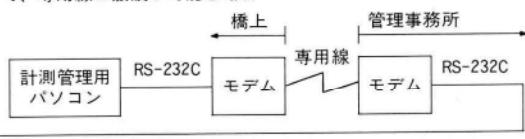
ここまで事前検討を行ったうえで、現場に臨む。

現場では荷重等について管理値に変更がないかどうか、

a) 橋上でNTT回線と接続可能な場合



b) 橋上でNTT回線と接続不可：管理事務所でNTT回線と接続可能の場合で、専用線の敷設が可能な場合



c) b)で専用線の敷設が不可能な場合

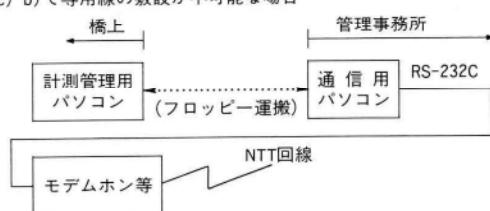


図-3 オンラインの方法

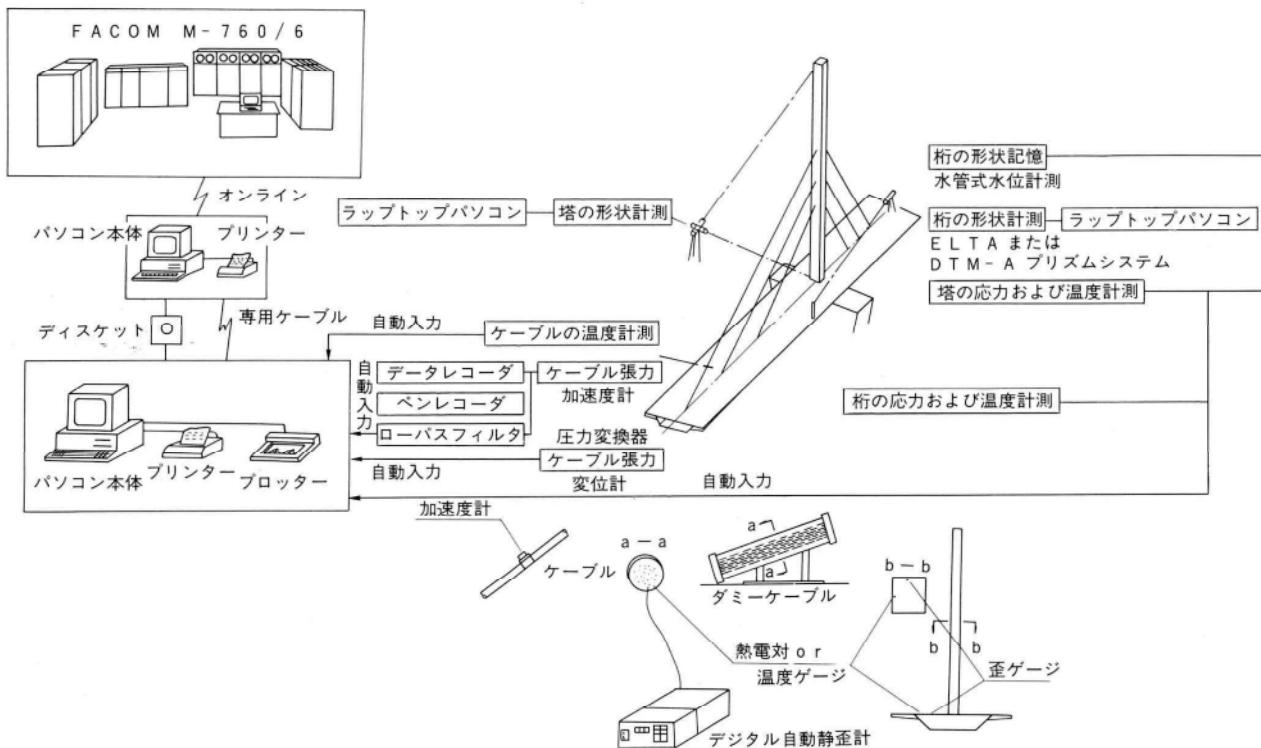


図-2 精度管理システムの概略

変更があれば、汎用計算機とのオンラインで再計算を行う。

構造物は原則として設計シム量(標準シム量ともいう)で組立てられる。第1回目の計測でこの状態を計測し、誤差量を確認する。この誤差量の良否(管理基準値または許容値との対比)をみて、判定が否であれば、構造特性調査等も参考にして、最適シム決定を行う。決定されたこのシム量の組み合わせに従ってシム調整を行い、調整の良否を確認するために第2回目の計測を行う。この段階で特殊な構造物を除いて、誤差量は満足される値に収まるものと思われる。

### (1) 管理値・影響値

橋梁の完成状態を解析始点とし、解体計算により任意の架設状態の計算を行う。その結果を管理値とする。この構造モデルは重要な意味をもつて、構造特性・載荷状態を良く考えて、モデルの平面・立体、支持条件等の決定を行う。解析理論は実際の構造物になるべく忠実に、柔ケーブル部材を考慮した有限変形理論とする。また影響値計算も同様とする。しかし、構造形状によっては、微小変形理論でも十分である。

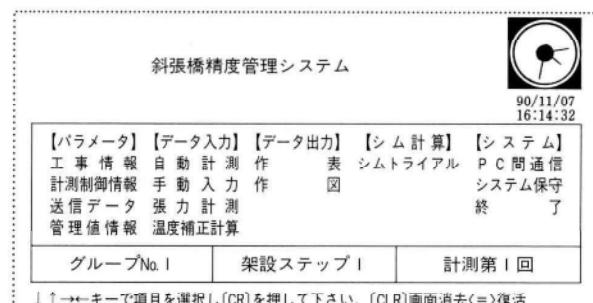


図-4 メインメニュー

### (2) 計測

#### 1) ケーブル張力

ケーブル張力の計測には、計測が容易で、使用実績も多い振動法を中心にして、3つの方法が用意されている。

##### (a) 振動法

ケーブル振動の加速度波形を抽出し、パソコンに組んだA/D変換ボードに取り込み、デジタル変換し、高速フーリエ変換(FFT)プログラムでスペクトル解析し、固有振動数を求め張力を計算する。

または、FFTアナライザーに加速度波形を取り込み、固有振動数を求めて張力を計算することもできる。

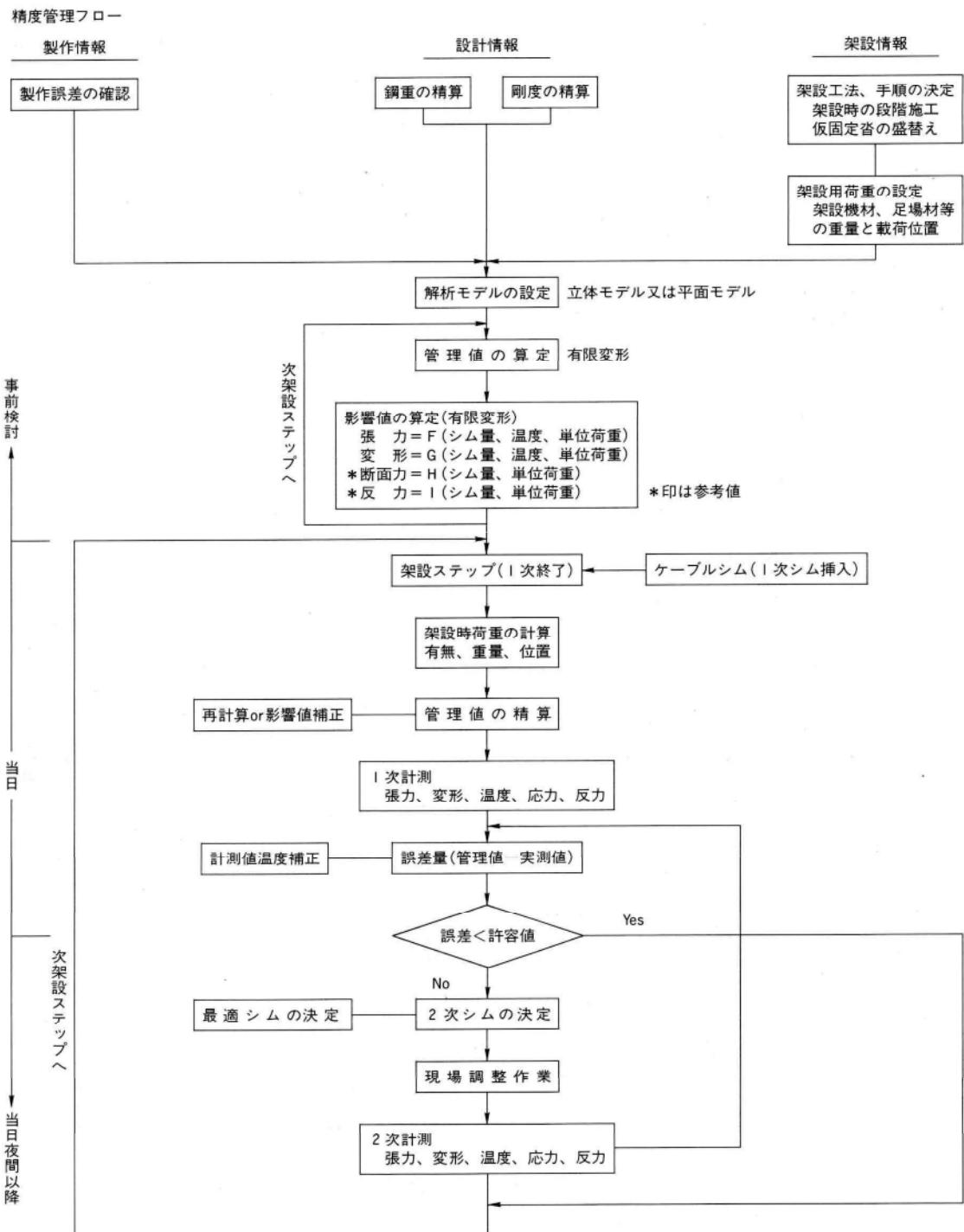


図-5 精度管理フロー

### 張力算定式

$$T = \frac{4W}{n^2 g} (f \cdot \ell)^2 D$$

### 対称1次振動

$\Gamma \geq 3$  (サグの小さい場合)

$$3 \leq \epsilon \leq 17$$

$$D = 0.857 - 10.89 \left( \frac{c}{f} \right)^2$$

$$17 \leq \epsilon$$

$$D = 1 - 2.2 \frac{c}{f} - 2 \left( \frac{c}{f} \right)^2$$

### 逆対称1次振動

$\Gamma < 3$  (サグの大きい場合)

$$\epsilon \geq 10$$

$$D = 1.02 - 6.26 \frac{c}{f}$$

ここで

$$f : \text{固有振動数} \quad \ell : \text{ケーブル斜長}$$

$$w : \text{ケーブル自重} \quad EI : \text{ケーブル曲げ剛性}$$

$$g : \text{重力加速度} \quad A : \text{ケーブル断面積}$$

$$\theta : \text{水平からのケーブル傾斜角}$$

$$c = \sqrt{\frac{EIg}{w\ell^4}}, \quad \epsilon = \sqrt{\frac{T}{TI}} \cdot \ell \quad \delta : \text{サグ比} (= \frac{s}{\ell})$$

$$\Gamma = \sqrt{\frac{w\ell}{128EA\delta^3 \cos^5 \theta}} \left( \frac{0.31\epsilon + 0.5}{0.31\epsilon - 0.5} \right)$$

### (b) ジャッキ法

ジャッキの油圧を用いてソケットを引張り、圧力変換器・変位計を読み、その値から最小二乗法で近似直線を書き、変位が今まさに生じようという荷重をもって張力とする。

またこの方法は、振動法の補正係数算定にも使用される。(図-6)

### (c) サグ法

サグ量をピアノ線等を使って計測し、サグと張力の式から、ケーブル下端の張力を求める。

$$T = \frac{w}{2} (\ell \coth \psi - y)$$

ここで

$$\psi = \ell \ln \frac{1+2\delta}{1-2\delta}$$

$$y : \text{鉛直座標成分}$$

但し、説明のないものは前出に倣う。

2) 構造形状 (桁のキャンバー・塔の倒れ) の計測  
橋長により光学器機を使う方法と水管を使う方法等が

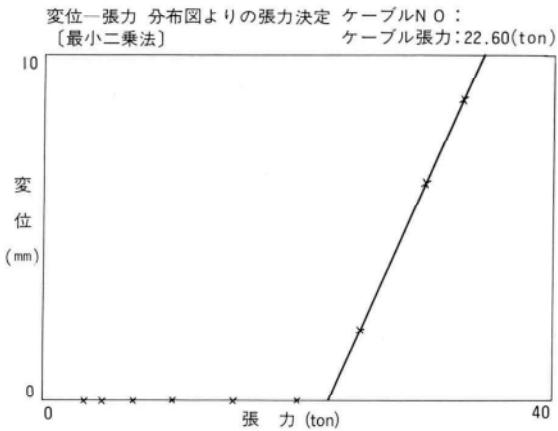


図-6 ジャッキ法による張力決定

ある。

### i) 光波式測角測距儀 (トータルステーション)

不動点に器械を据え、計測位置に反射プリズムをセッティングし、光波の反射を利用して、座標X、Y、Zを求め、標高を計算する。

### ii) 水管式変位計測

計測位置の水位差 (圧力水頭の変化) を直に変換し、RS422の端子を介してパソコンに取り込み、標高を計算する。

塔の倒れは、i) の方法等により塔頂の橋軸方向変位を計測する。

### 3) 温度

計測に入る前に部材温度・外気温度の経時変化をとり、構造物の温度特性・計測時間 (桁断面内の温度差の少ない時間) の確認、設定に用いる。また張力・形状に及ぼす温度分布の影響等を補正するため、同時に計測を行う。

### (3) 管理値と計測値の対比

計測当日の最終決定した荷重に対する管理値と温度補正後の計測値の差が誤差量となる。この誤差量と完成時の許容値を比較して、シム調整をするかしないかを決める。このとき当該架設ステップの誤差の特性を類推し、完成時にどのような誤差量になるのか、誤差量の移動を見極めておく。

### (4) 最適シム量の決定とその調整

構造形状・剛性等非常に特徴のある構造物を含めて、全てを一つの最適手法で対応するのが最も効率が良いとは思えないし、また良い結果が得られないこともある。

しかし、実務的な面からみれば張力・形状等の意味の

異なる諸量を重みで評価した最小二乗法による方法が使い易いと考えられる。

ここではシステムに含まれる4つの方法について述べる。

### 1) シム量最小法

ケーブル張力に許容誤差(制約条件)を設定し、その範囲内で無数に存在するシム量の組み合わせのうちから、調整量の二乗和を最小にする張力誤差の組み合わせを決定する最適化問題を解いて、調整量を決める。調整量の二乗和を目的関数にとると、共役勾配法により解が求められる。

$$\Delta \mathbf{S} = \mathbf{X}^{-1}(\Delta \mathbf{T} + \boldsymbol{\varepsilon}) = \mathbf{D}(\Delta \mathbf{T} + \boldsymbol{\varepsilon})$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \{ \varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n \}^T \quad |\varepsilon_i| \leq \varepsilon_{\max}$$

$$f = \Delta \mathbf{S}^T \cdot \Delta \mathbf{S}$$

$$= \Delta \mathbf{T}^T \cdot \mathbf{D}^T \cdot \mathbf{D} \cdot \Delta \mathbf{T} + 2 \Delta \mathbf{T}^T \cdot \mathbf{D}^T \cdot \mathbf{D} \cdot \boldsymbol{\varepsilon} + \boldsymbol{\varepsilon}^T \cdot \mathbf{D}^T \cdot \mathbf{D} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}$$

ここで、

$\Delta \mathbf{S}$ ：シム調整量  $f$ ：目的関数

$\Delta \mathbf{T}$ ：目標張力と計測張力との差

$\mathbf{X}$ ：単位シム量変化による張力の影響行列

$\boldsymbol{\varepsilon}, \varepsilon_{\max}$ ：許容しうる張力誤差とその許容値

### 2) 重み付き最小二乗法

張力・形状の誤差の二乗和を最小とするシム量の組み合わせを得る目的関数を適用する。管理項目全体の残留誤差応答をバランスよく減少させるため、シム量・張力・形状にそれぞれ重み係数を導入し、誤差応答の二乗和をシム量で偏微分して零とおき、目的とするシム量が求められる。

$$(\mathbf{K}_T \mathbf{f} \mathbf{K} + \rho_0 \mathbf{E}) \Delta \mathbf{S} = \mathbf{K}_T \mathbf{f} (\mathbf{z} + \mathbf{r})$$

$$f = \sum_{i=1}^m \rho_i \cdot (zi + ri)^2 + \rho_0 \cdot \sum_{i=1}^m S_i^2$$

ここに、

$\Delta S, S_i$ ：シム調整量の行列と  $i$  番目要素

$\mathbf{K}, \mathbf{K}^T$ ：張力・形状に対応する影響行列と転置行列

$\rho, \rho_i, \rho_0$ ：張力・形状の重みの  $m$  行  $m$  列の対角行列とその  $i$  番目要素、シム量の重み係数

$\mathbf{z}, \mathbf{r}, zi, ri$ ：シムによる応答と誤差応答の行列と各  $i$  番目要素

$\mathbf{E}$ ： $n$  行  $n$  列の単位行列

$f$ ：目的関数

### 3) 多目的計画法

張力・形状の各  $n, m$  個の残留誤差と  $n$  個のシム量を目的関数とし、実用上可能なシム調整量の  $n$  個の上下限の制約条件で目的関数の最適化を図る。この多目的問題は満足度  $D_i$  を導入することにより、単一目的の問題に置換され、次のように定式化できる。

目的関数  $F = D_i$  (  $D_i$  の最大値) → 最小化

制約条件  $D_i \leq D$  ( $i = 1, 2, \dots, n+m$ )

$$\Delta \ell_{L,i} \leq \Delta \ell_i \leq \Delta \ell_{U,i} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$\text{ただし, } D_i = (f_i - f_i^*) / (\hat{f}_i - f_i^*)$$

ここで

$\Delta \ell_{L,i}, \Delta \ell_{U,i}$ ：第  $i$  ケーブルのシム調整量の下、上限値

$f_i$ ：張力・キャンバーの残留誤差とシム調整量

$f_i^*$ ：各目的関数  $f_i$  の理想点(十分小さい値)

$\hat{f}_i$ ：各目的関数をどこまで実現したいかその水準で希求水準という

各種方法に対して、算出されたシム量で調整した場合の応答予測値が出力され、誤差量の調整状況をみてシム量を決定する。このとき調整量が応答予測値にあまり影響を与えない程度のものは零と考え、調整量および調整箇所数を最終決定し、任意シム法で応答予測値を計算して確認する。調整量零の箇所を設けることにより、ジャッキを使用した調整の工程短縮ができる。

### (5) 結果の出力

出力される主なデータを表-1に示す。

これらのデータには最終の結果に至る迄のものと、最終結果とがある。いずれにしても報告書にそのまま入ってくるので、統一した形式をとっている(図-1～図-9)。

表-1 出力図表

	表	図
温 度	温度測定一覧表 平均温度一覧表	温度経時変化図
張 力	張力測定誤差一覧表	張力計測図 張力計測誤差図
形 状	形状測定誤差結果	形状測定分布図 形状側面誤差図 主桁鉛直変位断面図
応 力	応力測定一覧表	応力経時変化図
反 力	軸力を反力の測定誤差一覧表	軸力(リンク)および反力図 軸力(リンク)および反力誤差図
シム応答	シム応答一覧表	張力応答誤差図 形状応答誤差図

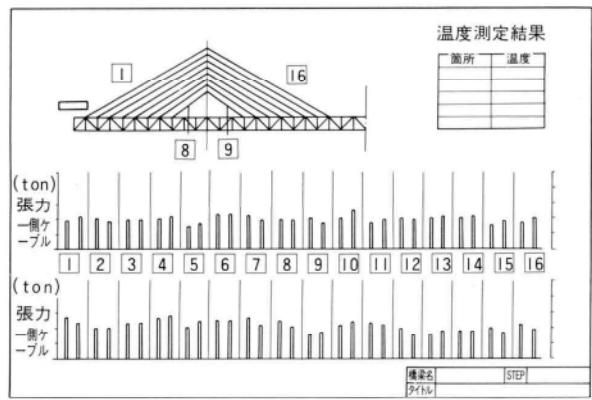


図-7 ケーブル張力

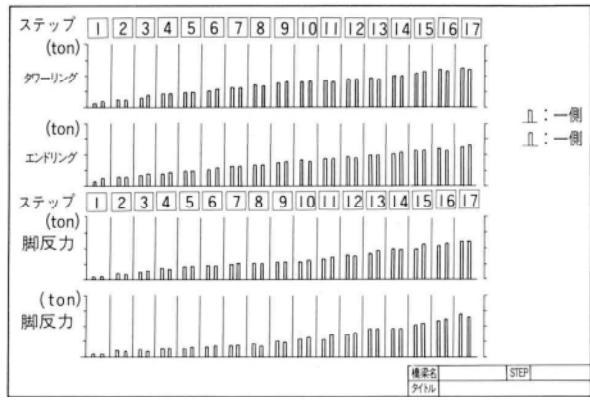


図-9 軸力および反力

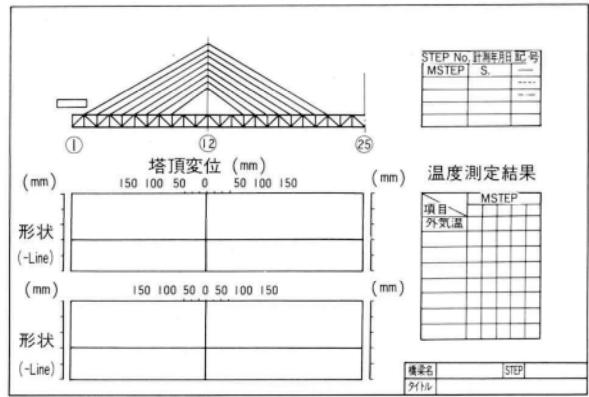


図-8 形状

## 5. まとめ

本システムを稼働するためには、ここでは説明をしていない支援プログラムとして、完成系設定・解体計算プログラム、計測システムに渡すデータのファイルの再編集、補足計算を行う編集プログラム等がある。これらは全て事前に汎用計算機で処理を行う。ところでシステムとしては作業性・機動性の良いパソコンを使っているが、計測直前に先ほどのファイルの一部に変更が生じた場合、オンラインにより汎用計算機の力を借りることになる。現場での計測、温度等による補正計算、シム量の最適化計算、応答計算はパソコンで処理する。但し、シム量最

適化計算のうち多目的計画法は、構造モデルがある程度大きくなると、パソコンの容量では対応できなくなり、汎用計算機に処理を委ねることになる。

## 6. あとがき

本文では斜張橋の精度管理システムについて述べた。

これと同様なシステムとしてニールセン橋対応のものがあり、現在川津大橋で稼働している。またパソコンの容量に対する問題については、エンジニアリングワークステーション等を使用すれば解決でき、さらに現場だけでクローズしたシステムにすることができる。

### 〈参考文献〉

- 新家、広中、頭井、西村；振動法によるケーブル張力の実用算定式について、土木学会論文集294号、昭和55年2月
- 松村、新家、頭井、寺西；斜張橋のケーブル張力計測と張力調整、橋梁と基礎13巻9号、昭和54年9月
- 藤沢；斜張橋架設時のシム量決定方法、橋梁と基礎18巻9・10号、昭和59年9月・10月
- 古川、井上、中山、石堂；多目的計画法を用いた斜張橋の架設時精度管理システムに関する研究、土木学会論文集374号、昭和61年10月

1990.10.31受付

# 橋梁用自走作業床の開発

## Development of Traveling Platform for Bridges

清水 功雄\* 有安 輝夫\*\*  
Isao SHIMIZU Teruo ARIYASU

### Summary

Scaffolding and descudding in the construction and maintenance of bridges are dangerous works which require a high degree of skill. The authors, in cooperation with Mitsui Miike Machinery Co., Ltd., have successfully developed a traveling platform which can replace conventional scaffolds in order to improve the safety and efficiency of works. This paper outlines the development work and the traveling platform itself.

The platform hangs from the bridge surface and can move around piers—a feature which has not been available until now—and is expected to have wide applications.

### 1. まえがき

橋梁の架設工事あるいはメンテナンス工事に必要な、作業用の足場防護工の組立・解体は、作業員の高度な技術を要する危険な作業である。

この足場の組立・解体作業をより安全で能率的に行うためには、機能的な移動式作業床を用いることが有効であることはよく知られており、写真-1のように吊り橋等の長大橋では、架設時に移動足場防護工を設置し効果をあげている。

長大橋の足場防護工は、通常、径間ごとに設置され、検査車レールを走行レールとして、架設先端の下面と側面を覆い転落防護と落下物の防護用として、必須なものとなっている。

一方通常の規模の橋梁で移動式の作業床を利用するには、多径間の橋梁で連続使用できることが、作業能率と経済性からも欠かせない条件である。

これまでに実用化されている移動式の作業床としては径間ごとに設置される型式か、トラッククレーンベースの点検車が利用されている程度で、専用のレール設備を持たずに中間橋脚をかわしながら走行できる、汎用型の作業床は実用化されていないようである。

筆者等は今後ますます熟練作業員の不足による作業条件の悪化を考えると、高度な熟練作業が不要な移動式の足場防護工が必要となると考え、株三井三池製作所と共に

同で、一般橋梁で利用できる汎用型の移動式の作業床の開発を進めていたが、工場での作動試験に続き、現場での塗装塗替えの作業に用いることにより、実用化のめどが立ったので、その基本的な構造と特長について報告する。

### 2. 設計の概要

#### (1) 設計にあたっての基本的なコンセプト

- ① 標準的なプレートガーダー橋で用いる。
- ② いったん組み立てると、中間橋脚を簡単な操作で通過できる。



写真-1 長大吊橋の移動足場防護工

\* 技術本部技術開発部技術開発課長

\*\* 千葉工場工事部付課長

- ③ 台車により路肩を自走する。道路占有幅は、車両の通過に支障を来たさないように、できるだけ狭くする。
  - ④ 橋梁の外面にレール等の設備を必要としない。
  - ⑤ 走行台車を路肩走行させるので、照明ポール、標識柱を簡単な操作で通過できる。
  - ⑥ 作業床は塗装作業の床として、あるいは吊り足場の組立・解体に利用するので十分な広さを確保する。
  - ⑦ 本体の組立・解体が簡単に短時間で行える。
- この様な、コンセプトを満足するために、構造の研究を行い、システムの中心をなす中間橋脚の通過方法に、新しいアイデアで実現できる見通しがついたので、以下の設計条件を設定した。

### (2) 試作機の設計条件

試作機（実用機）の設計・製作に当たっては2車線の標準的な橋梁で利用できる汎用機を想定し設計条件を設定した。

- ① 作業床・型式 : 吊り下げ式
- 広さ : 床版全幅(最大幅9m)×8m
- 高さ : 衍下より75cmを標準
- 主桁の衍高 1.2m~2.5m
- 防護工 : 全面防護工
- ② 台車 : タイヤによる自走式
- ③ 橋脚をかわす方法 : 2組の伸縮フレーム方式
- ④ 照明ポールをかわす方法 : 支持梁のスライドによる
- ⑤ 荷重 : 本州四国連絡橋公団 移動足場等設計基準（案）を準用する
- ⑥ 路面勾配 : 縦断勾配 ±6%
- 横断勾配 6%
- ⑦ 安全設備 : 過走防止、切り離し時のリミッターを含む安全システム

### (3) 基本形状

試作機の基本形状を図-1に示す。

## 3. 自走作業床の機能と特長

本機の特長は、いったん組み立てると、多径間橋梁の中間橋脚をかわしながら、橋梁全長にわたり連続使用できる機能を備えていることである。

さらに、移動は路肩に設置した台車のゴムタイヤによる自走を標準としているので、レール等の本体以外の設

備を必要としない。

従って高架道路上での作業の場合でも、組立・解体時と中間橋脚の通過時に、高架下の街路を短時間交通規制を必要とする以外、通常は常に作業床直下を交通開放できるので、夜間作業が大幅に減少できる。

#### 1) 中間橋脚の通過

写真-2のように、作業床は伸縮フレームと呼んでいる可動部と中間床部に分かれており、橋脚の通過時には、中間床部を片付けた状態で、橋脚側の伸縮フレームが、中央より外側に開き橋脚をかわす。

この伸縮フレームは任意の位置でロックできるので、道路幅員に合わせて作業床の幅を自由に設定できる機能を持つ。

伸縮フレームの一方が開いている状態での構造モデルを図-2に示す。ここで生じるアンバランスモーメントは、フレーム全体のねじり抵抗で支持させる。

伸縮フレームはモーター駆動式とし、中央での連結はピンのワンタッチ式である。

橋脚通過時の作業のフローを図-3に示す。

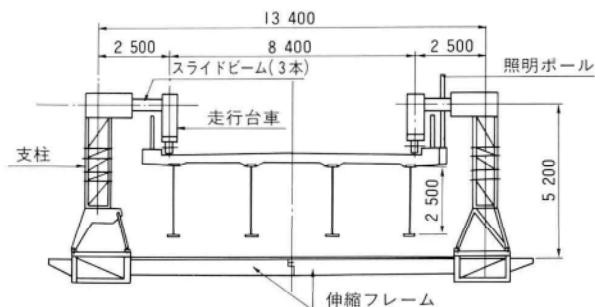


図-1 試作機の基本形状

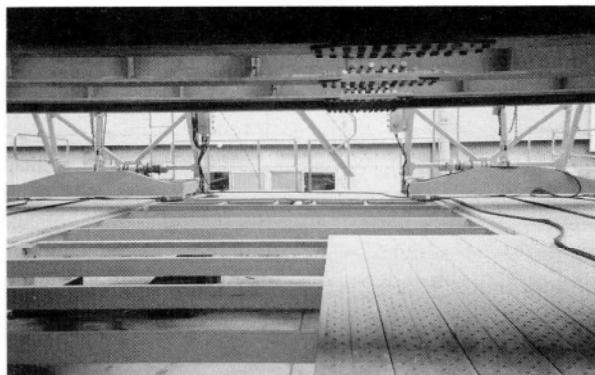


写真-2 作業床(中央部の足場板をはずした状態)

## 2) 自走台車

発電機（10kVA）を搭載し、自走する。車輪はウレタン製。走行は台車上の操作盤での連動運転を標準としている。特に、走行開始と停止時に吊り下げた作業床部を振動させないように、スロースターター機構を内蔵する。

台車の路肩の占有幅は66cm、従って路面幅員の内作業床による路面を1.5m程度占有すればよいことになる。

## 3) 照明ポールの通過

走行台車が路肩を走行するので、橋上の照明ポールあるいは標識柱をかわす機能が必要になる。

そこで台車と支持フレームの間に、写真-3のような3本のスライドビームを設計し、一本ずつ順に引き抜く事により、簡単にポールを通過できる構造とした。

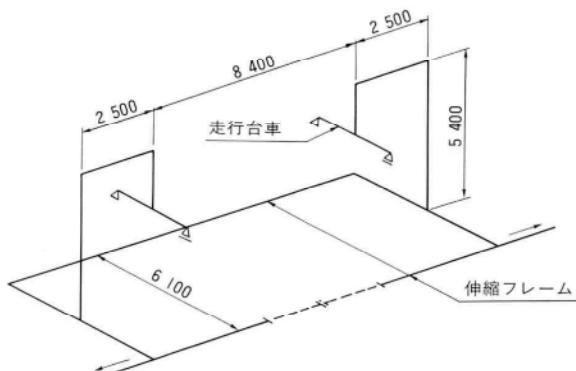


図-2 伸縮フレームが開いている状態の構造モデル

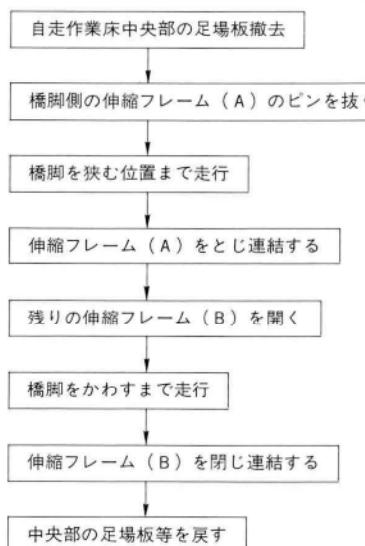


図-3 橋脚通過時の作業手順

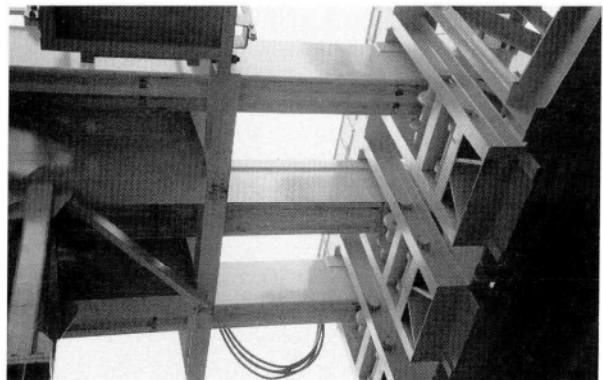


写真-3 3本のスライドビーム

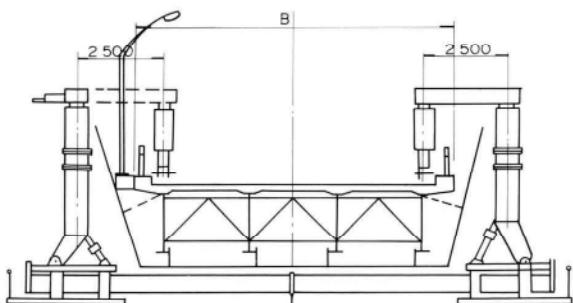


図-4 吊足場防護工の組立・解体作業の足場として

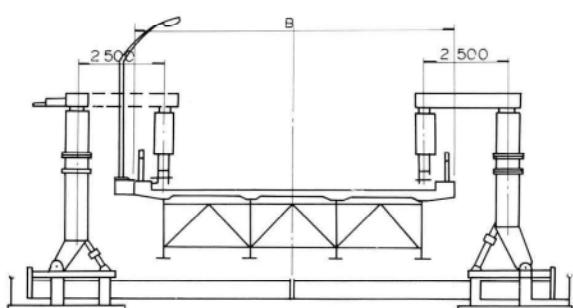


図-5 橋梁調査・メンテナンス作業の足場として

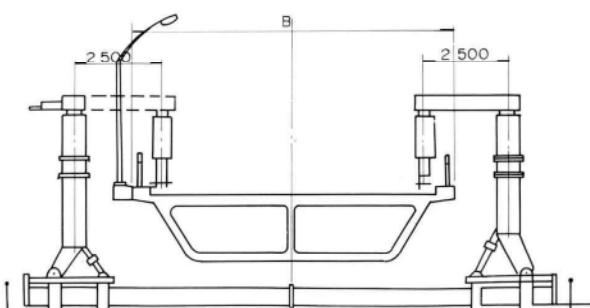


図-6 PC・RC橋の調査・補修・塗装工事用足場として

#### 4) 操作性

本機の運転には専任のオペレーターが操作するのではなく、足場を使用する塗装工や作業員が、簡単な講習により運転できることを前提としているので、走行部分を含む可動部分の安全装置には十分配慮した。

特に床あるいはスライドビームなど、切断連結を繰り返すので、不安定な形ではリミッターが作用し走行できないシステムとした。

#### 5) 設計時に想定した自走作業床の使用状況

- ① 架設工事、補修工事での足場防護工の組立・解体を自走作業床上で行う(図-4)。架設時の組立作業では、鉄輪で桁上のレールを自走することもバリエーションの一つとして考慮している。
- ② 橋梁調査・メンテナンス作業の足場(図-5)
- ③ PC・RC橋の調査・補修・塗装工事用足場(図-6)

### 4. 工場での作動試験

試作機の基本性能を試験するために、当社の千葉工場内に全長22m、幅員8mの仮橋を組み立て、作動試験を実施した。

試験は平成2年7月～8月にかけて行い、合わせて見学者に公開した。試験に用いた仮橋と本機との関係は写真-4のようである。

工場での実施した作動試験のうち主な項目について述べる。

#### 1) 組立・解体

現場での組立・解体作業能率の決め手となる、現場接合部の接合のしやすさと正確さを重点にチェックした。

- ① 伸縮フレーム等の連結に用いたピン接合部の精度と施工性を、移動させながら繰り返しチェックした。
- ② 伸縮フレームの支持枠に採用した、伸縮フレームの位置調整装置(回転および先端の上下)の機能の確認。
- ③ 走行輪および水平ローラー反力のバランス
- ④ 電気系統、特に切り離し部分の配線状況

#### 2) 走行試験・橋脚通過試験

電気系統の調整完了後、仮設橋の覆工版上の走行テストを実施して、フレーム全体のなじみ、揺れ、左右の運動状況、および水平ローラーのガイドとしての機能などの確認を行い、当初心配していたガタツキなどが生じる事なくスムースに運転できることが確かめられた。

橋脚通過試験は、仮設橋の中間に脚を想定した枠を設

けて、関連装置の作動状況の確認と変形のチェックを実施した。

写真-5は伸縮フレームを開いて走行する時の状況で、この状態での走行が最も変形が大きく不安定になるので走行時のバランスと、水平ローラーの反力の状態に注目したが、実橋でもこの状態での走行はせいぜい4～5m程度と短いこともあり、変形の影響は見いだせなかった。

フレーム全体の変形の状態は良好であったが、伸縮フレーム接合ピンの挿入時の調整に手間どることがあり、ピン形状の変更など今後の課題とした。

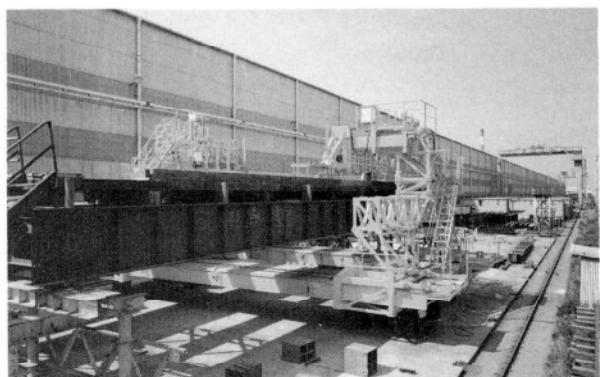


写真-4 工場での作動試験に用いた仮橋と自走作業床



写真-5 伸縮フレームを開いた状態での走行テスト

## 5. 現場での自走作業床を用いた施工状況

工場での一連の作動試験により、実橋で用いることに問題はないとの判断だったので、大船渡市の川口橋（単純逆台形箱桁：支間51.0m×3連）のうち2径間約100mを自走作業床により、塗装塗替とコンクリート床版のライニングの施工を行った（グラビア参照）。

現場での組立・解体、作動状況、作業性さらに、台車の走行する路面の交通に与える影響などについて調査し、次のような結果を得た。

### 1) 輸送・組立

現場での組立作業の負担をできるだけ軽減させるために、輸送時の部材寸法はできるだけ大ブロックとした。

今回は大型トラック6台を使用し、橋詰めの堤防上を組立ヤードとして、架設ブロックに組み立てた。

作業は、荷下ろしと整理に1日、組立に1日を要し、夜間交通止めにより据え付けを行った。据え付けに要した時間は、約5時間であった。

据え付けは、60t吊り油圧クレーンにより橋上で連結したブロックを吊り下ろし固定した。

据え付け作業の様子を写真-6に示す。

### 2) 自走作業床上での作業

作業床上での作業は、

① コンクリート床版（張出し部）下面の、鉄筋露出部などの損傷の激しい部分の補修およびコンクリート表面の樹脂ライニング（コテ塗り）

② 箱桁外面の塗替え塗装（ケレン、下塗り2回、中塗り、上塗り）

が主なもので、施工時間に余裕がないので、足場を移動して作業を進めながら、作業性と作業工程を調査した。

従来と作業手順が異なるので、始めは作業員がとまどった様子で、能率も上がらなかったが、慣れるに従い吊り足場と比べて余り差のない工程で作業できるようになった。

現場で最も問題になったのは、タイヤの接地圧が高く長時間一か所に停止すると、アスファルト塗装を凹ませる事があるので、30cm角程度の鋼板を敷いたが、その敷設作業に手間だった。

この点に関しては、重量の軽減とタイヤ数を4輪にするなどにより、十分対応できると考えている。

設計上の誤算は、現場の地覆の立ち上がり高さが、20mm～70mmと極めて少ないと想定していた。このため、水平

ローラーを改造するなどの変更をせざるを得なかった。

作業状況を簡単に記す。

- ① 照明ポールの通過：約1時間
- ② 橋脚の通過：床上のビティ足場のかたずけ等を含め6時間程度
- ③ 塗工作業：照明ポールの間隔を基準として、ケレンから中塗りまでを施工し、最後に全長にわたって上塗りを施工

### 3) 交通規制

写真-7のように、8m幅員の内走行台車により1.5m程を占有したので、大型車のみ交互通行を要請した。地元の協力もあり渋滞などの支障をきたす事はなかった。



写真-6 クレーンによる据付作業



写真-7 作業中の路面占有状況

4) 労働基準監督署への手続き  
通常の足場の設置届けとして受理された。

## 6. あとがき

工場での一連の作動試験と現場での実施工により、この型式の作業床が、十分実用に耐えうることがわかった。

また、細かな改良が必要な箇所もあるが、基本機能としては安全で、十分満足のいくものであった。

ここに紹介した照明ポールを通過できる型式をM型シリーズ呼び、主に路面を開放する必要のある、メンテナンス工事等での利用を前提としており、路面開放の必要のない場合、あるいは架設用としては、軽量で機構のよりシンプルな、E型シリーズを予定している。

今後、より自走作業床の完成度を高める努力と、プロジェクトの道路構造にあわせて、4車線用を含むより大型への対応を考えている。

本機の開発にあたっては、多くの方々の協力をいただいた。見学いただいた技術者の貴重な助言も多く、参考にさせていただいた。

本機の開発は、共同開発のパートナーである、株式会社三井三池製作所の田原開発担当部長をはじめ関係者の努力によるところが大きく、また、社内外の関係者からも多大な協力をいただいた。また川口橋での本機の使用にあたり、大船渡市役所建設課の皆様には、大変お世話になりました。誌上をかりて深謝するしだいです。

1990.10.31受付

## グラビア写真説明

### 豊美大橋

国道236号に位置する本橋の架橋地は、北海道を南北に縦走する峻険な日高山脈を襟裳岬の先端少し手前で横断し、帯広市から広尾町～浦河町に至る山岳道路に、S字型カーブで優雅な曲線橋で架かっております。

路線の経過を伺いますと、明治末より地元の有志によって実地踏査が行われ、大正時代には鉄道省による鉄道敷設の実地測量も行われましたが、満州事変の為中止という経過をたどり、昭和45年より工事着工し、57年に国道昇格となりました。

橋梁、トンネル工事も多数計画され、完成し先人達の長い歴史の中で当社の工事実績も北海道の開発にたずさわっている実感を思い知らされました。(川村)

### 矢作川橋

本橋は、名古屋市から豊橋市に至る延長約174kmにおよぶ一般国道247号バイパスの中ほどに位置する矢作川に計画され、昭和55年度からの橋梁整備事業として完成し、現棚尾橋の交通混雑の緩和と歩行者の交通安全に大いに寄与するところとなりました。

さて、このバイパスは更にルートを東へ延伸され、尾張と三河の臨海工業地域をつなぐ大動脈の結節点として地域発展になお一層貢献するものと期待されています。今回2車線で供用しておりますが、交通需要の増加に応じ、将来は4車線に拡幅する計画もあります。

また、直ぐ下流に河口堰事業があり、それと相まって本橋護岸でも水との『ふれあい』を重んじた工夫がされています。(須賀)

# 大空間構造物の建方に用いる プッシュアップ工法の開発

**Development of Push-up Method Used in Erection of Framing for Structures with Large Spaces**

足立之彦\* 中野和生\*\* 小池芳彦\*\*\* 西垣登\*\*\*\*  
*Yukihiko ADACHI Kazuo NAKANO Yoshihiko KOIKE Noboru NISHIGAKI*

## Summary

We tested a new erection method which we call Push-Up System. This is considered as an effective and safe way for an erection of a large space structure such as a gymnasium, exposition hall etc..

More than four pushing PU apparatuses lift a structure which is combined on the ground to the level where the structure shall be fixed.

The apparatus has a pantograph mechanism driven by hydraulic power.

Through repeating erection tests of pipe trusses of an area of 1000m<sup>2</sup>, we are certain that the push-up system can be applied at construction sites.

## 1. まえがき

わが国のめざましい経済発展により国民の日常生活は安全、便利性といった面では豊かさがもたらされたが、精神的豊かさや時間的、空間的な豊かさにおいては西欧先進国にくらべ、いぜん大きな格差がある。

そのため生活基盤の環境整備や充実を求める声はますます大きくなっている。そういった社会背景のなかで、スポーツ・リクリエーション・イベント用などの大空間施設の建設があいついでいる。

その構造も従来の労働集約的な方法で生産されるタイプから、造形の自由性にも柔軟に対応でき、かつ省力化されたシステムで生産されたシステムトラス構造などが採用されるようになってきた。現場施工においても今後ますます深刻化が予想される技能労働者不足、安全短期施工の要求が強まりつつある。

当社はこの分野で豊富な実績のある太陽工業㈱と共同して大空間構造物建方用のプッシュアップ（以下PUと記す）工法を開発した。また、実物大構造物の架構実験を行ったので、それらのあらましについて報告する。

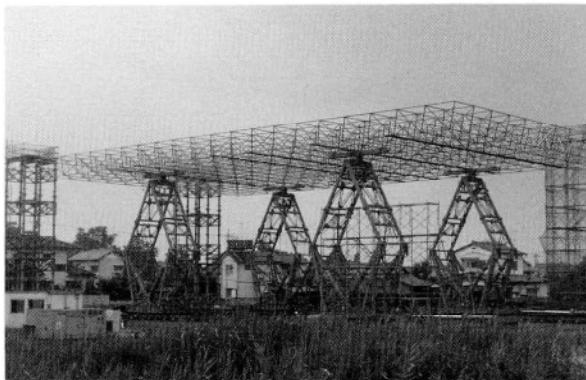


写真-1 実物大構造物架構実験状況

## 2. PU工法の概要

### (1) 従来の建方工法

大空間構造物建方の既存工法としては、総足場工法、スライド工法、ブロック工法、リフトアップ工法などがあるが、設計・施工条件の制約から総足場工法での施工がほとんどである。

総足場工法は、図-1に示すように、大空間構造物が建方途中において変形しやすいため、全節点を仮受けする必要があり、建方用機材を大量に使用するので手間がかかるうえに高所作業になる。

\* 宮地建設工業(株)技術開発部部長

\*\* 宮地建設工業(株)技術開発部技術開発室長

\*\*\* 宮地建設工業(株)東京支店工事第一部工事課課長補佐

\*\*\*\* 宮地建設工業(株)東京支店工事第二部計画二課課長補佐

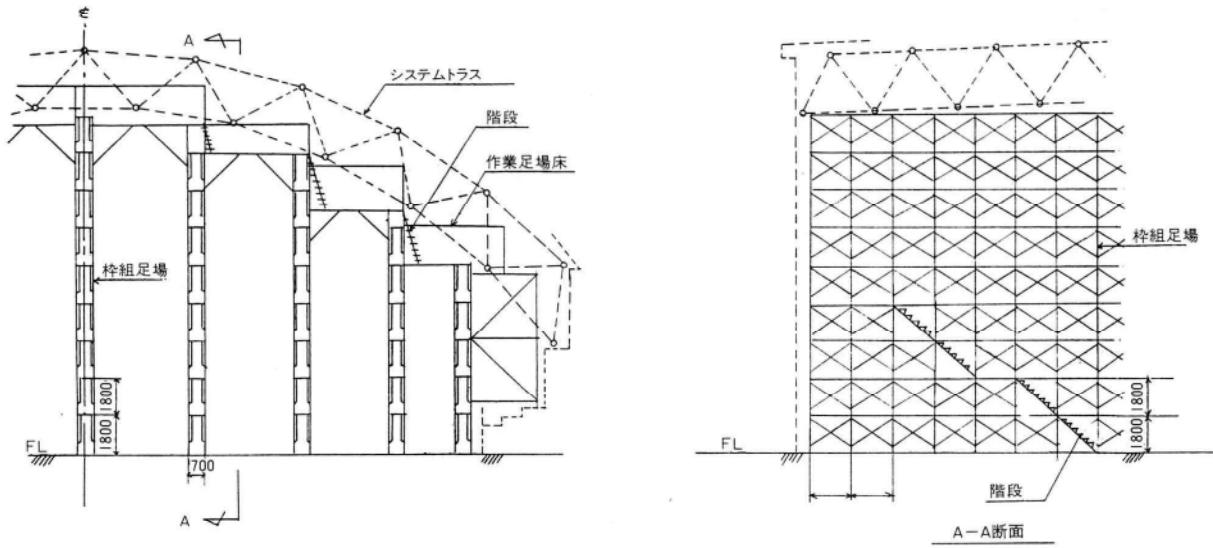


図-1 総足場工法図

## (2) PU工法の概要

「プッシュアップ」と名づけたこの工法は、従来の総足場工法の欠点を無くするために開発したものである。

油圧で駆動されるパンタグラフ式のリンク機構よりなるPU装置を用いる。パンタグラフが縮んだ状態で地上部に設置した複数台のPU装置上で構造物を組立て、組立が終ったらパンタグラフを伸ばし構造物を押し上げていくため、足場の組立に多くの人手を要した総足場工法とちがって、PU工法の場合は屋根トラスなどの構造物を地上で組立てて必要な足場だけで済み、労務工数や建

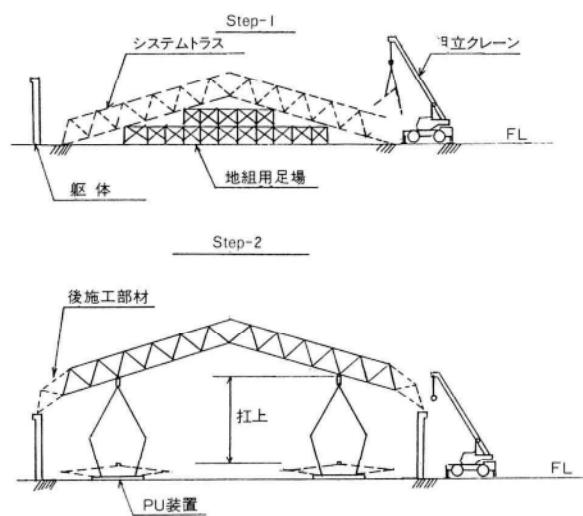


図-2 PU工法による建方順序

方機材が大幅に削減できる。

標準的なPU工法の建方順序と作業フローを図-2、3に示す。

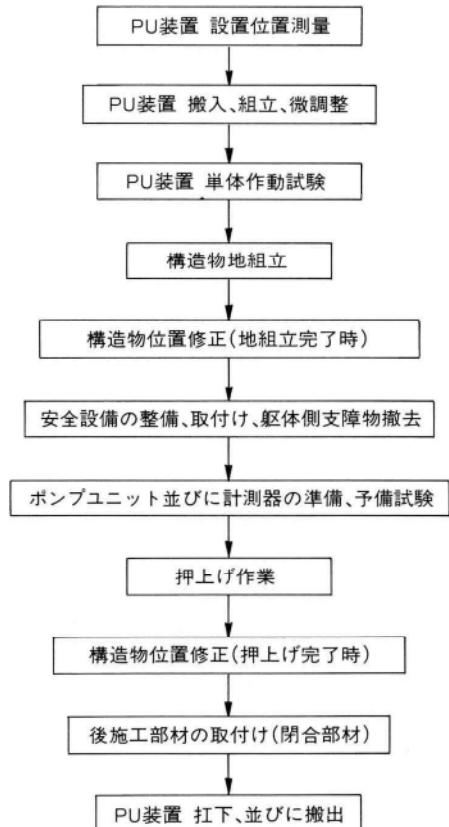


図-3 建方フローチャート

PU装置は最低4台構成とする。これを予め検討した位置に据付ける。つぎに構造物の部材を地組用足場などを利用して組立を行い、完了後、4連動異荷重油圧ポンプの流量制御によってPU装置に内蔵された補助鉛直ジャッキとテンションシリンダーを操作して所定の高さまで扛上する。

構造物の位置修正をした後、閉合部材を取り付けPU装置を打下して解体搬出する。

### (3) PU工法の特徴

- ① 従来工法に比べて、大部分が地上作業となるため仮設並びに安全設備などの施工量が大幅に軽減できる。
- ② 車体工事のほか、仕上げ工事の屋根・天井・塗装・設備などが地上でも可能であり、また、扛上作業の

後上下のラップ作業が安心にできる。

- ③ 従来工法に比べて、工期短縮とコストダウンが図れる。

## 3. PU装置

### (1) メカニズム

PU装置は電車のパンタグラフと同じ菱形のリンク機構である。テンションシリンダーが左右のリンク交点を中央に向かって引き込むようになっている。

テンションシリンダーは、一菱形面内に相対向して付いている。PU装置は、二つの菱形面を持っているのでテンションシリンダーは4台付いている。

菱形の頂上を鉛直に真っ直ぐに昇降させるために、4

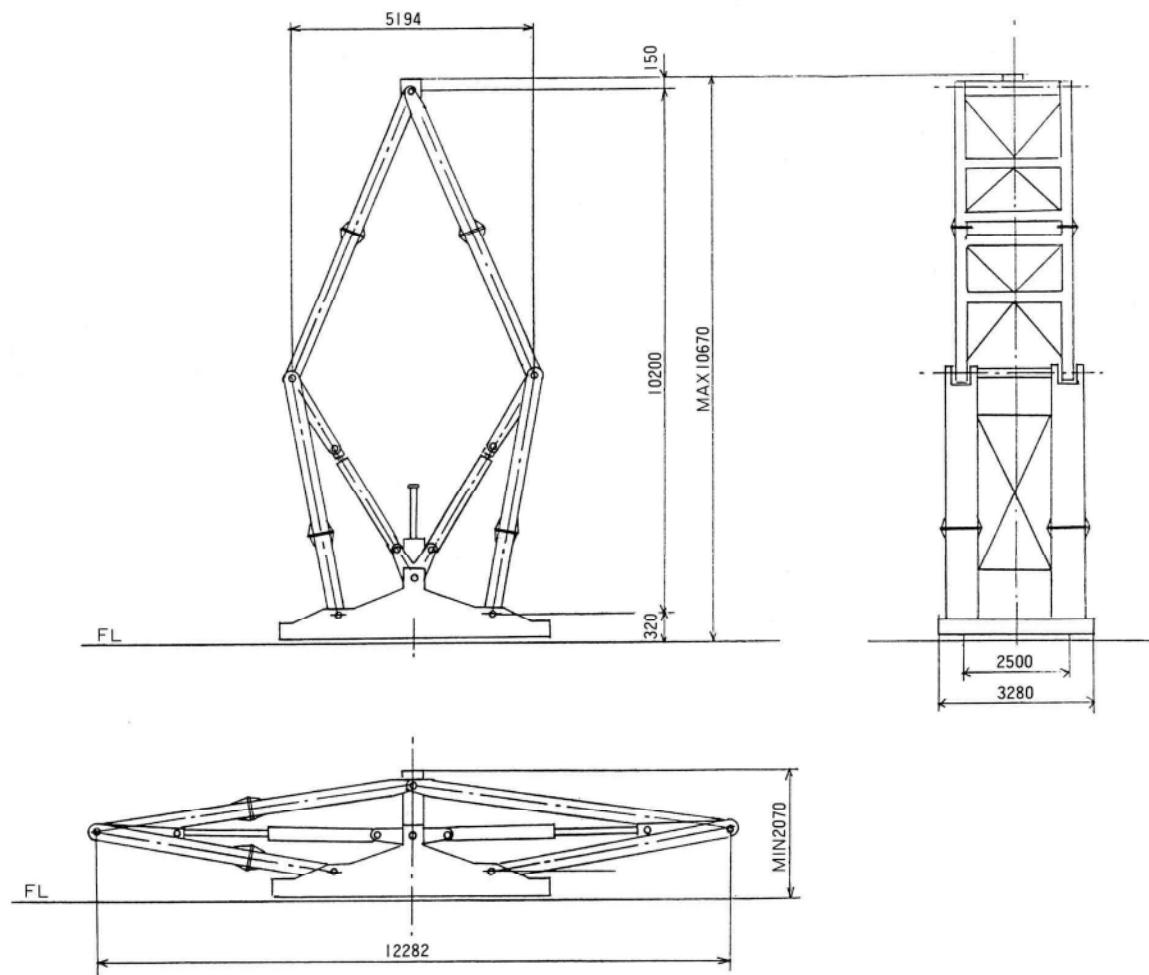


図-4 PU装置一般図

台のテンションシリンダーのストロークを常に合わせておく必要がある。各テンションシリンダーへの送油は同じ形式の油圧ポンプを用いて、on-offのタイミングを合わせることにより各シリンダーのストロークを同じになるようにしている。

また、何らかの異常時に備えて各シリンダーにはストロークゲージを取り付け、その読みを装置運転台にミリ単位で表示しチェックできる二重安全対策を設けている。

テンションシリンダーの負荷は、装置に載せる重量と菱形の形状によって異なる。

菱形の天端が最も低い位置にあるとき、負荷が最も大きくなる。このため天端がこの位置から2m高い位置に来るまで別に補助鉛直ジャッキを用いて天端を昇降させるようにしている。

昇降速度は、油圧ポンプの吐出量によって異なる。

荷重を目的の高さまで持ち上げた後、据付調整のために前後左右に動かしたいときに備えて装置の荷重受け部にスライド式の調整ジャッキを設けている。

荷重を持ち上げたまま長時間放置するときは、油のリークなどによりテンションシリンダーのストロークが変化する可能性があるためにシリンダーの両側に設けたテンションバーを締め付ける。

この装置を輸送するときは据付場所の条件を考慮して、一台ずつトレーラーに載せるか、リンクのボルト接合部をばらしてユニーク車に分散して載せられるようにしている。

なお、PU装置は地上で組立てた構造物を取付け高さまでブッシュアップするのを目的としているので、装置の最低高さをできるだけ低くし、しかもブッシュアップできる高さをできるだけ高くできるような機構にしなけれ

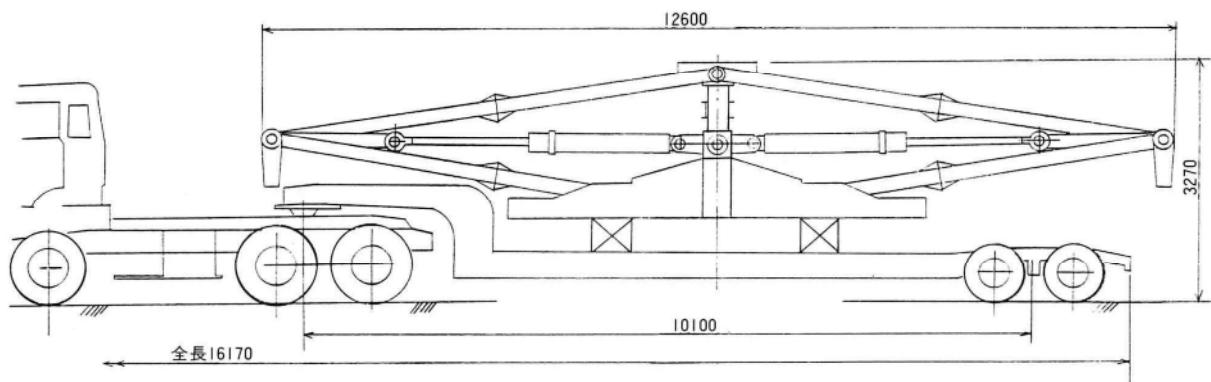


図-5 一括輸送荷姿

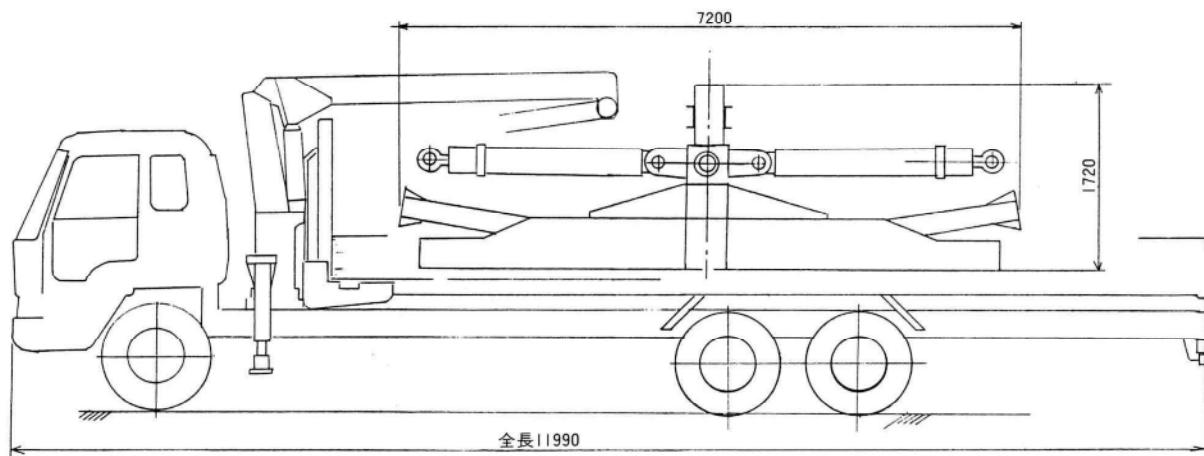


図-6 分割輸送荷姿

ばならない。

このような目的には、菱形のリンク機構が一番適している。また、同じような目的の応用例が多重菱形リンクの高所作業車であるが、この構造は重量の大きいものに對してまだ開発されていない。

油圧クレーンのブームを用いたとしても3段位の伸縮機構になっていて、下のものほど長さが大きく装置の最低高さを低くすることが困難である。

また、短尺の柱を尺取式に何段も積み重ねていく方法は多大な時間を必要とする。

### (2) 労働安全衛生法との関係

PU装置と構造的に関係のある、クレーン・ゴンドラ・建設用リフト・高所作業車についての法での定義を調べてみたが、PU装置はこれらのどの装置にもあてはまらない。

しかし、装置が立ち上がってリンクに作業者が猿梯子を上り下りするときはロリップや安全帯を用いるなど作業安全上の注意事項はまもらなければならない。

### (3) PU装置の仕様

#### ① 型式

油圧駆動パンタグラフ式揚重機

自重：18ton/台

設計押上力：30ton/台

機高：3500mm

機幅：3280mm

機長：12282mm

#### ② 油圧テンションシリンダー

能力：引90ton

ストローク：1550mm

作動圧力：284kg/cm<sup>2</sup>

テンションバー：36φゲビンデスター

補助鉛直ジャッキ

能力 1段目：30ton

2段目：22.9ton

ストローク 1段目：1020mm

2段目：980mm

作動圧力：289kg/cm<sup>2</sup>

#### ③ ストロークケージー

巻込式デジタルポイントスケール、および、カウンターユニット

## 4. PU装置の試験

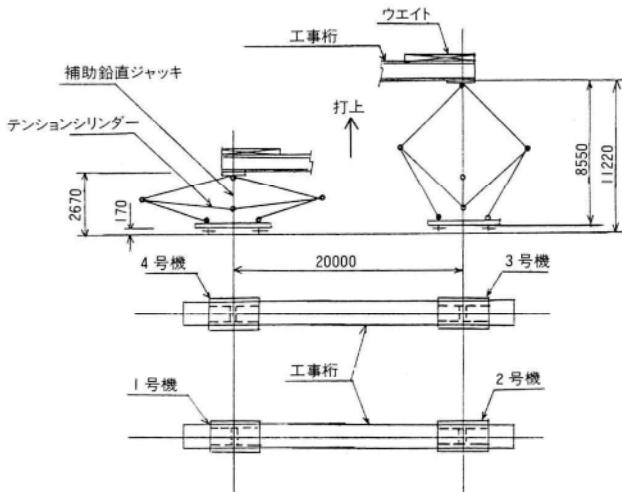
### (1) 試験概要

#### • テスト①（単体無負荷試験）

無負荷状態においてテンションシリンダーストロークと油圧力並びに打上量などの性能、設計値との差異を確認した。

#### • テスト②（2台での負荷試験）

単体を2台使用して①と同様の性能を確認した。



(注) テストは1号機と2号機、3号機と4号機2回に分けて実施した。

図-7 テスト②要領図

#### • テスト③（4台での負荷試験）

単体を4台使用して、実物大構造物の扛上、扛下、縦移動テストを行った。

その構造物にイベントなどリース用として太陽工業㈱が保有しているシステムトラス(TMトラス) 1008m<sup>2</sup>(重量50ton)を用いて地上より11.35m打上するとともに、今後、実際使用するとき想定される水平方向(X・Y)移動試験も合せて実施し極力実現場の状態を再現した。

なお、構造物重量は使用押上力の1/2であるが試験目的には十分であるとした。

試験では、打上所要時間、装置4台運動時構造物四隅4点の打上高誤差と構造物X・Yの水平ズレ変位の相関関係を確認した。

また、構造物荷重が小さいのでテンションジャッキストローク並びに油圧力の計測は省略した。

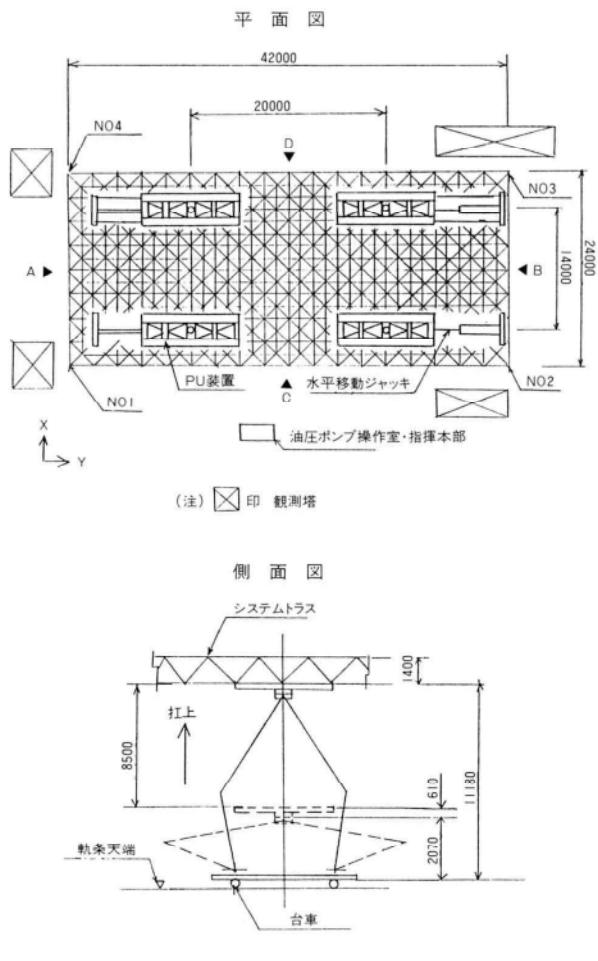


図-8 テスト③要領図

## 5. 試験結果

### (1) テスト①

計算値によれば、ストローク1520mmで打上量は8589mmであるが実測打上量値は約60mm大きくなっている。テンションシリンダーの先後端間の有効距離がその自重によって設計値より短くなることが原因であると考えられる。

表-1 打上量(8648mm)時の油圧・ストローク実測値

テンション シリンダーNo.	油圧 (t)	St (mm)
No. 1	6.3	1511
No. 2	6.3	1510
No. 3	6.3	1512
No. 4	6.3	1514

(注) 油圧はテンションシリンダーの引力ならびにStは収縮長を示す。



図-9 テスト③フローチャート

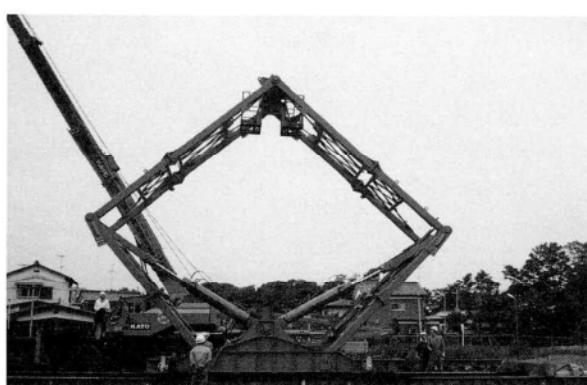


写真-2 テスト①状況

### (2) テスト②

補助鉛直ジャッキ伸長完了直後（打上量2000mm）にテンションシリンダーの設計数値以上の実油圧力を示しているが、これは補助鉛直ジャッキとテンションシリンダーの合計力である。

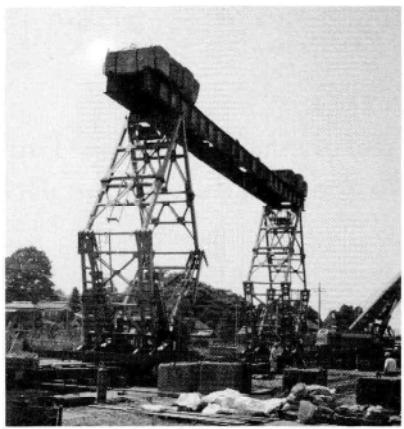


写真-3 テスト②状況

また、扛上中のジャッキ、シリンダー、各ヒンジピン部などについて異音の発生もなくスムーズな動きであることを確認した。

なお、扛上時の変位については設計値より大きな値を示したが、テスト①に記した原因によるものと思われる。

表-2 扱上量と油圧・ストローク(St)実測値

打上量 (mm)	1号機		2号機		3号機		4号機	
	油圧	St	油圧	St	油圧	St	油圧	St
2000	93	178	90	178	94	178	95	170
5000	59	571	58	563	61	567	61	567
7000	39	970	38	963	41	970	41	965
8550	22	1490	21	1490	24	1490	24	1490

### (3) テスト③

テストは、構造物四隅のNo.1を基準に計画した手順で扛上を行ったが、扛上高の測定をナイロン製テープを用いて目視で行ったため、構造物の水平ズレや風の影響などで、各測点実測高に大きな誤差が発生した。

表-3 扱上時誤差

計画打上高 (mm)	タイム (分)	打上実測高 (mm)				水平ズレ変位 (mm)			
		No.1	No.2	No.3	No.4	A	B	C	D
2000	3	1900	1867	1789	1948	-14	+3	+5	+6
		0	-33	-111	+48				
4000	4	3970	3855	3935	3879	-3	+4	+12	-11
		0	-115	-35	-91				
6000	5	5995	5984	5979	6005	0	+5.5	+22	-3
		0	-11	-16	+10				
8550	6	8490	8504	8507	8479	0	+8	+25	-11
		0	+14	+17	-11				
所要時間	18	(注) ※: 測定ミスと推定される (参考値)							

表-4 X方向水平移動時間

移動距離	タイム
500mm	2分
1000	2
1500	2

今後、PU装置を実際にするときでも、この測定は二重安全を確保するために有効と確認ができた。しかし簡単に精度よく測定できるよう改善することが課題となる。

扛上時間の18分については、予想したものであった。

水平ズレ変位については、実際工事に使用する場合の必要精度からみて許容範囲に入るものであった。

X方向水平移動について問題になることはなかった。

### 6. あとがき

当工法は本年7月12日、埼玉県栗橋町において太陽工業株主催で公開実験が行われ「これまでの架構法の概念とは異なる世界初の工法」としてPRされた。

当面、ポールジョイント方式によるTMトラス（システムトラス）向けの架構法として施工実績を重ねて予定であるが、一般鉄骨造など大空間構造物建方や橋梁工事（図-10参照）など幅広く用いられる可能性は十分である。

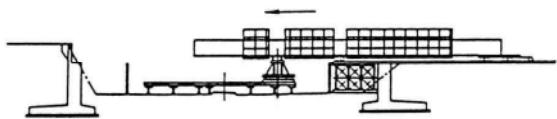


図-10 移動台車による主桁の架設

人手不足に悩む建設業界においては、省力化を目的とした技術開発が急務であるが、当工法もその一端であり、今後、装置の運転システムの改良など応用面でのシステム開発に取組んでいかねばならない。

終わりに、この工法の開発にあたって御指導ならびに御協力を頂いた社内関係各位および協力会社の皆様に厚く御礼申しあげます。

1990.10.31受付

# 溶融亜鉛めっき箱桁橋梁の熱応力・変形に関する検討

(川之江西ジャンクション橋の設計)

**Analysis of Elastoplastic Thermal Stress and Deformation of Hot-Dip Galvanized Box Girder Bridge (Design of Kawanoe-Nishi Junction Bridge)**

伊藤徳昭\* 土屋匡寛\*\* 磯上洋\*\*  
Noriaki ITOH Masahiro TSUCHIYA Hiroshi ISOGAMI

## Summary

Although hot-dip galvanizing is an effective means of preventing rust and erosion, the process is still associated with problems of stress behavior in the galvanized part, member deformation, cracks, etc. Hot-dip galvanizing has been applied to many steel bridges, and especially to their plate girders. Recently, its application to a plate box girder bridge was tried for the first time. This article reports on those matters concerning galvanizing which were closely examined and which were taken into consideration in the design of the bridge, with emphasis on elasto-plastic thermal stress analysis.

## 1. まえがき

鋼の防錆・防食方法の一つとして溶融亜鉛めっきがある。橋梁本体工における溶融亜鉛めっきの施工実績は最近10年間で急増し、昭和60年には近畿自動車道天理吹田線に本格的に採用されている。そして昭和63年現在では物件数として約500例（総鋼重7万t）となっている。

しかしながらこれらの施工実績は、めっき槽の寸法的制約やめっき変形等からそのほとんどが鋼桁橋である。箱桁橋への適用例としては、昭和61年に建設省中部地方建設局で施工した土橋橋側歩道橋があるのみである。この橋の場合には、主桁断面が（幅）1.4m×（高さ）1.2mであることから閉断面状態で亜鉛めっきが施されている。

川之江西ジャンクション橋は、四国縦貫自動車道と四国横断自動車道の分岐点（川之江市）に架かる橋長51mの単純非合成箱桁であるが、高速道路本線を跨いでいることおよび桁下空間に余裕がないこと等から将来的なメンテナンスフリーをめざして溶融亜鉛めっきが採用された。本格的な道路箱桁橋への適用としては過去に例のないものである。

大型溶接鋼構造物のめっきに際しては、その防錆・防食効果は大いに期待されるものの、

- ・めっき槽の寸法的制約
- ・めっき時の熱応力、変形と矯正

・溶融亜鉛ぜい化

・材料の機械的性質の変化

等種々の問題がある。本橋ではこれまでの鋼桁等における施工実施や実験結果を踏まえ、新たに施工実験および解析検討を行って実施に踏切った。本報告書はこの内、設計上の解析、検討事項について記すものである。

本橋の一般図、設計諸元および標準断面を表-1、図-1、2に示す。

表-1 設計諸元

道路規格 第Ⅰ種A 規格ランプ																	
橋格	一等橋(TL-20、TT-43)																
橋長	51.000m																
支間長	49.750m																
幅員	10.700m																
形式	単純非合成曲線箱桁																
斜角	$A_1 90^\circ, A_2 \text{右} 61^\circ 34' 53''$																
平面線形	$R=100m$																
縦断線形	3.22% 4.60% V.C.L. 160m																
横断線形	9%																
舗装	アスファルト舗装 75mm																
床版	RC床版	220mm															
鋼重	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td>塗装仕様</td> <td>メッキ仕様</td> </tr> <tr> <td>40K鋼</td> <td>37.3</td> <td>44.1</td> </tr> <tr> <td>50K鋼</td> <td>146.8</td> <td>161.6</td> </tr> <tr> <td>他</td> <td>5.8</td> <td>12.3</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>189.9t (100%)</td> <td>218.0t (115%)</td> </tr> </table>			塗装仕様	メッキ仕様	40K鋼	37.3	44.1	50K鋼	146.8	161.6	他	5.8	12.3	合計	189.9t (100%)	218.0t (115%)
	塗装仕様	メッキ仕様															
40K鋼	37.3	44.1															
50K鋼	146.8	161.6															
他	5.8	12.3															
合計	189.9t (100%)	218.0t (115%)															

\* 技術本部設計部設計第1課係長

\*\* 技術本部設計部設計第1課

## 2. 溶融亜鉛めっき施工上の問題点

### (1) めっき槽の大きさからの制約

大型の溶融亜鉛めっき槽は、関東に1社、関西に2社あるが、その寸法および重量制限は表-2に示すとおりである。めっき部材の寸法は作業上の余裕をみてこれより若干小さくなる。

### (2) めっきによる部材変形と割れ

めっきによる部材変形および割れ要因としては、  
・浸漬時に生じる熱応力に起因するもの  
・部材中の残留応力に起因するもの  
の2つに大別されようが、これらはめっき温度や浸漬時間と密接な関わりがある。これをめっき過程に沿って説明すれば次の様になろう。

- ① 鋼と亜鉛の比重が近いため、めっき槽への浸漬に

はある程度の時間を要する。(鋼；7.85、亜鉛；7.14)

- ② めっき部材の初期温度は約70°Cであるが、めっき温度は440~460°Cである。
- ③ 部材の浸漬過程では①、②により、既に浸漬している部分とそうでない部分に温度差を生じる。(熱応力の発生)
- ④ 部材には板厚差があるため熱容量が各部位で異なる。
- ⑤ 部材の温度上昇と共に、鋼のヤング係数や降伏耐力の低下が生じる。熱応力が耐力を上まわれば塑性ひずみの発生や座屈(板の面外変形)が生じる。
- ⑥ 部材内には溶接や加熱矯正によって残留応力が存在する。(通常は内部応力がバランスされて形状保持されている。)浴槽内の高温保持による降伏耐力の低下に伴ない、残留応力のレベルによってはその応力が一部開放される。
- ⑦ 水冷過程では、部材はめっき浸漬時の様な温度差は受けずに一気に冷却される。⑤、⑥で生じた塑性ひずみは部材の変形として残存する。
- ⑧ めっき温度や浸漬時間、熱応力や残留応力等により溶融亜鉛ぜい化が生じ、その結果溶接部に割れが生じる。

めっきによる変形及び割れについては、鉄橋による実験、実績等からその要因や対策が明らかにされてきている。しかしその定量的な把握は充分にはなされていない。特に残留応力の影響については、橋梁部材が複数部品の溶接接合となっているため現実には把握しきれない。

さらに今回はこれまでにほとんど実績のない箱桁橋への適用であり、変形や割れ要因の推定とその対策には施工実験が必要不可欠である。

表-2 メッキ槽の寸法

	メッキ槽寸法(m)			部材寸法(m)			部材 重量(t)
	幅B	高さH	長さL	幅B	高さH	長さL	
関東 A 社	2.1	3.3	16.5	1.8	2.8	15.5	10
関西 B 社	1.8	3.6	16.5	1.5	3.0	15.5	10
関西 C 社	1.8	3.6	16.0	1.5	3.0	15.0	10

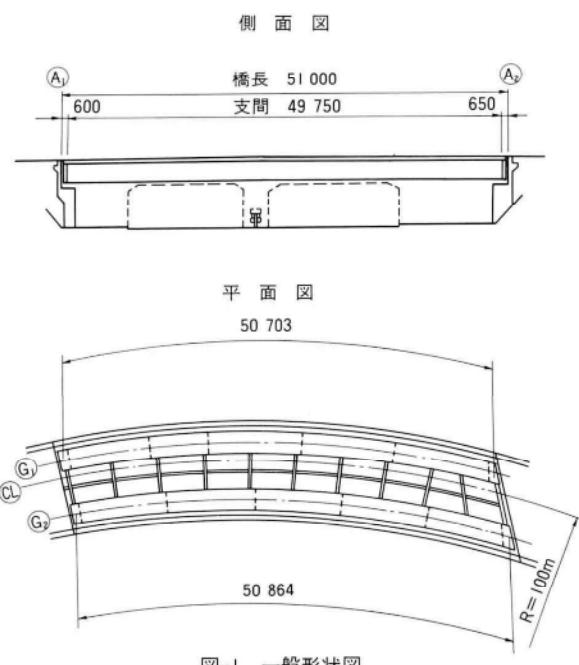


図-1 一般形状図

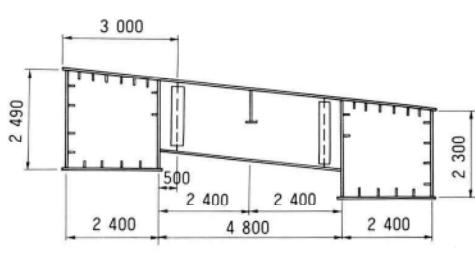
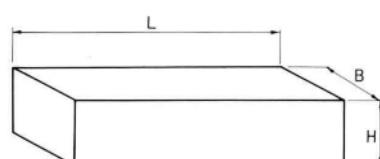


図-2 標準断面図



### (3) めっきの仕上り

めっき仕様においては、前述の構造物としての機能に関わる因子と共に、耐食性や見映え等めっきの仕上りについても同時に配慮してゆく必要がある。めっき欠陥としては、

- ・耐食性に影響を及ぼす欠陥  
——きず、不めっき、かすびき、変色など
  - ・耐食性には影響のない欠陥  
——白さび、やけ、ざらつき、たれなど
- が挙げられる。

閉断面構造の場合には、特にめっきのまわりを良くすることが欠陥防止上重要となる。そして部材全体を速やかに浸漬できれば、変形や割れの度合も低く抑えることができる。

また浴槽中の保持時間は、めっきの付着量から構成部材中の最大板厚で経験的にきめられる。したがって構成部材の板厚差はできるだけ少ない方が望ましい。

## 3. 箱桁の分割方法

主桁の最大幅は、曲線桁としてのライズおよび横桁仕口を加味すれば、約3.2mとなってめっき槽に入らない。したがって橋軸方向に分割しなければならないが、その方法としては、1シーム、2シームの2案が考えられる。

表-3 主桁分割案比較

	1シーム	2シーム
断面形状 (ブロック幅は平 面ライズを含む)		
単部材の対称性	コの字型(非対称)	I形に近い(ほぼ対称)
単部材重量	重い	軽い
浸漬速度	おそい	早い
引上げ速度	おそい	早い
プレス矯正	不可	可能
ダイヤフラムの剛性	高い	低い
部材数	少ない	多い
鋼重	2シームに比べて軽い	Iシームに比べて重い (16トン増)
特色	極力部材数を少なくし、 亜鉛メッキ槽寸法に対し ギリギリの寸法とし、鋼 重の増加を少なくした	極力板桁に近い構造とし、 残留変形に対しては、ブ レスにて矯正する

この得失比較を表-3に示す。

上記比較の結果、箱桁としての形状を有しかつ全体鋼重が軽減できる1シーム案にて試験体を製作し、実際にめっき施工するものとした。1シーム案での部材分割の留意点をまとめると次の様になる。

- ① めっき槽の寸法およびクレーン能力から、最大幅1.8m、最大部材重量10tとする。
- ② 支点部では、ダイヤフラムや補剛材と干渉しない様、支点手前に横シームを設けて小ブロックとする。
- ③ 架設時のベント位置の制約があるためこれを配慮する。
- ④ 縦シームのボルトは工場締めとし、閉断面にて輸送・架設する。

## 4. 立体FEM弾塑性熱応力解析

めっき中の応力挙動、最終的な部材変形を予測する目的で立体FEM弾塑性熱応力解析を行った。ここで対象としたモデルは、実物大パイロットメンバー(内桁中央部)であり、めっき施工実験との対比を行うものである。また他部材の変形予測を行うため、フランジ厚の違いに着目した解析も行っている。パイロットメンバーの施工実験に先立って、コの字断面の変形形態を把握するため1/2スケールの試験体にて予備実験を実施した。これらの解

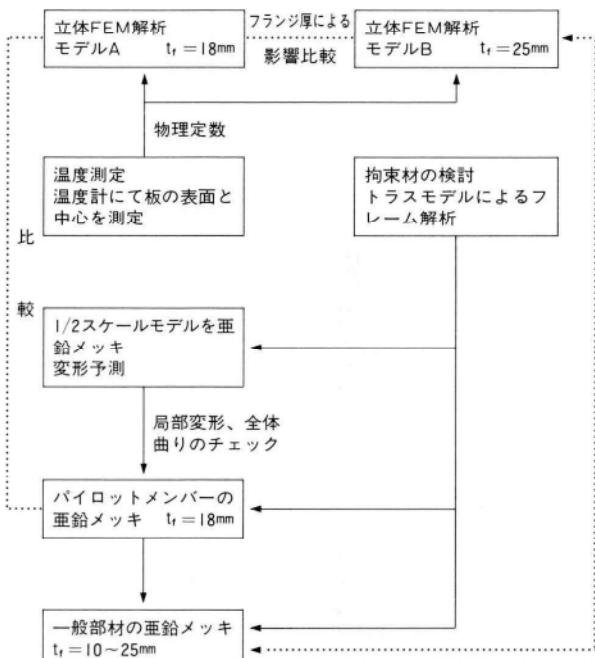


図-3 各種実験と解析

析と施工実験の関係を図-3に示す。

なお本解析では、溶接残留応力等部材の初期応力についてはその設定が難しいことから考慮せず、熱応力のみに着目して解析している。

### (1) 解析モデル

解析モデルを図-4に示す。モデルはフランジ厚の異なる2ケースとし、橋軸方向にはセンターのダイヤフラム位置で対称として扱う。

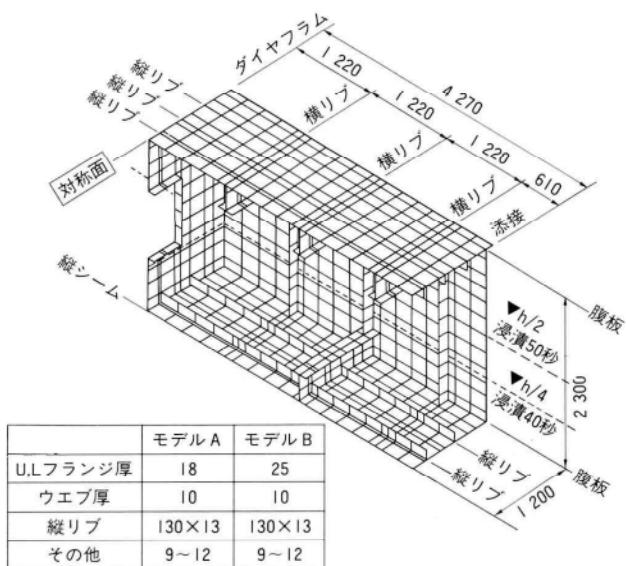


図-4 解析モデル

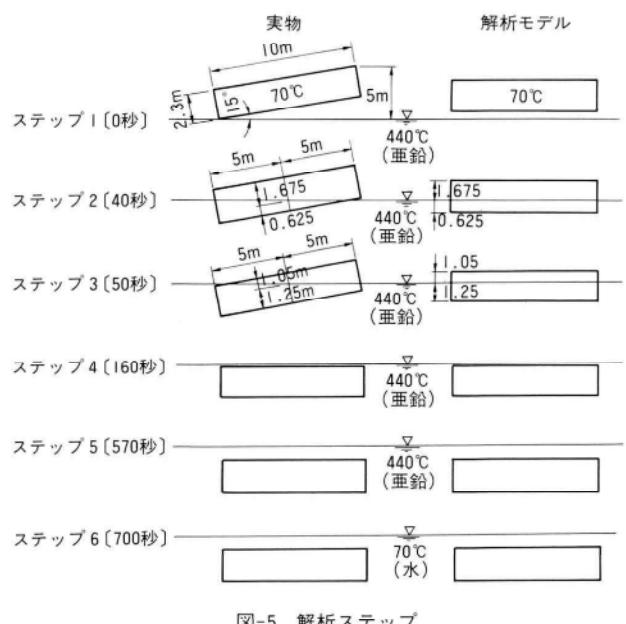


図-5 解析ステップ

ム位置で対称として扱う。

モデルA；パイロットメンバーをモデル化し、施工実験結果と比較する。フランジ厚： $t_f = 18\text{mm}$

モデルB；モデルAにおいてフランジ厚のみ $t_f = 25\text{mm}$ とする。板厚差による熱容量の違いが応力および変形に及ぼす影響を調べる。

### (2) 解析ステップ

解析ステップを図-5に示す。実際のめっき浸漬過程は連続的なものであり、部材への入熱量は時間積分となるが、今回は6ステップとして扱うものとした。また、部材は現実には15度程度の浸漬角度をもつが、計算の簡便化のため解析上は0度としている。浸漬時間については1/2モデルによる実験結果等をもとに推定したものである。

### (3) 解析方法

解析は各ステップごとに熱伝導解析を行い、その要素温度をもとにFEMにて弾塑性解析を行うものとした。解析に用いた諸定数を表-4に示す。鋼材のヤング率は温度によって変化するが、最終結果に及ぼす影響は小さいと考え一定値とし、降伏耐力の低減のみを考慮するものとした。また熱伝達率および熱伝導率は、小材片による温度測定実験で得た温度上昇カーブ（図-6）等をもとに求めたものである。ここで熱伝達率は亜鉛から鋼材表面に伝わる単位時間当たりの熱量であり、熱伝導率は鋼材表面から鋼材内部へ伝わる単位時間当たりの熱量である。

### (4) 解析結果

表-5、6に各解析ステップごとの応力度（ $\sigma_1, \sigma_2$ の最大値と最小値）および変形量を示す。全体的な挙動を記せば以下になる。

① ウエブでは、浸漬初期段階で降伏点を越える様な

表-4 解析に用いた諸定数

#### ★物理定数

	比重 $t/m^3$	熱膨張 係数	融点 °C	比熱 Kcal/kg°C	ヤング率 $t/m^2$
鋼材	7.85	$12 \times 10^{-6}$	1536	0.111	$2.1 \times 10^{11}$
亜鉛	7.14	$33 \times 10^{-6}$	420	0.214	—

#### ★鋼材の降伏耐力

	20°C	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C
$\sigma_y \text{ kg/mm}^2$	36	34	31	26	25	22

応力が発生し、浸漬が進むにつれて漸減してゆく。そして水冷後(700秒)では2000kgf/cm<sup>2</sup>程度の応力が残留することになる。

- (2) フランジでは、浴槽中に保持している段階(570秒)で最大応力が生じるが、水冷後にはかなり小さな応力レベルに止まる。これは上下フランジに共通する傾向である。
- (3) 最終的な部材変形量は、当初予想よりかなり小さいものであると言えよう。浸漬初期では主に下フランジが熱せられることにより、部材全体としては下に凸形状となる。その後浸漬が進むことによって上下フランジ共に同程度の伸び(橋軸方向)を示し、鉛直曲りは解消される。平面曲り値は部材が縦シームを開く方向にそることを示している。これは下フランジとウェブとの溶接部近傍で、ウェブ側に塑性

表-5 応 力 度

		モデルA						モデルB	
		40秒	50秒	160秒	570秒	700秒	700秒		
上フランジ	max	538	255	412	-882	256	894		
	min	-1561	-824	-482	-3163	-295	-598		
腹 板	max	4109	3383	2573	1053	2498	2239		
	min	-3405	-2459	-2234	-3620	-2042	-1750		
下フランジ	max	1758	1532	-110	-952	275	937		
	min	1453	-739	-466	-3178	-384	-437		

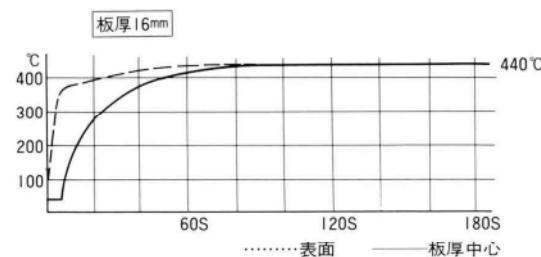
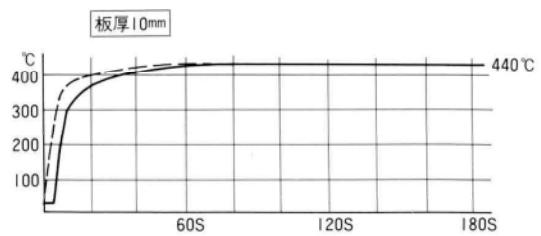
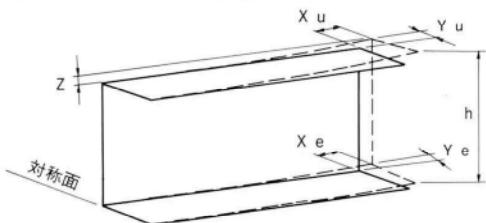
表-6 部材の変形

		モデルA						モデルB	
		40秒	50秒	160秒	570秒	700秒	700秒		
上 Flg	平面曲り	Yu	6	4	2	4	(6) 0	1	
	部材の伸び	Xu	0	0	20	11	(-) 2	3	
下 Flg	平面曲り	Ye	3	3	0	6	(4) 2	4	
	部材の伸び	Xe	18	20	20	11	(-) 2	3	
鉛直曲り		Z	20	20	0	0	(2) 0	0	
自由端の開き		△h	20	12	4	-10	(-4)-4	-10	

上図に示す方向を正とする。

△hは、上下フランジ間が広がる方向を正とする。

( )内はパイロットメンバー実測値

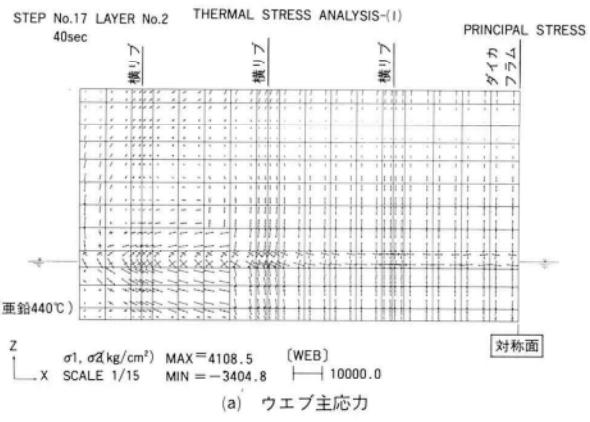


温度上昇カーブから下記の値を求めた。

$$\text{熱伝達率} = 1.5 \times 1.0^{-4} \text{Kcal/cm} \cdot \text{Sec} \cdot ^\circ\text{C}$$

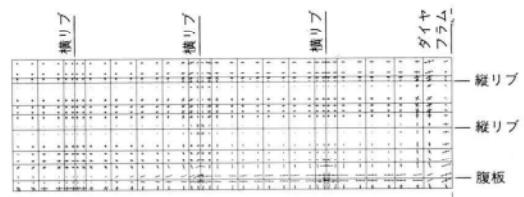
$$\text{熱伝達率} = 0.25 \times 1.0^{-4} \text{Kcal/cm} \cdot \text{Sec} \cdot ^\circ\text{C}$$

図-6 温度測定結果



THERMAL STRESS ANALYSIS-(I)

STEP No.17 LAYER No.2 40sec PRINCIPAL STRESS



Y  $\sigma_1, \sigma_2 (\text{kg}/\text{cm}^2)$  MAX= 1757.9 [L-FLG]  
X SCALE 1/15 MIN = -1453.2 H 1000.0

(b) 下フランジ主応力

図-7 モデル A ステップ 2 (浸漬40秒)

ひずみが生じることによるものと考えられる。またフランジ自由端では、上下間隔が狭まる方向に変形している。

モデルBについては、途中経過の傾向はモデルAと同一であるため最終結果のみを掲載する。フランジの応力が若干高めではあるが、変形もモデルAと大差ないものであると言えよう。

図-7～図-9に代表的な浸漬ステップの解析結果を示す。

#### 1) 浸漬40秒—図-7

下フランジでは、ウェブとの交点で橋軸方向に圧縮応力が生じており、自由縁で引張に転じている。ウェブではめっき面（浴槽表面）を境にして浸漬部で圧縮、未浸漬部で引張応力が生じている。又自由縁側と対称面（ダイヤフラム）側では応力の流れが急変しているが、これは中央の横リブが他の横リブに比べて剛（下フランジも拘束したタイプ）であることによると考えられる。なお矢線のスケールはフランジとウェブで異なっている。

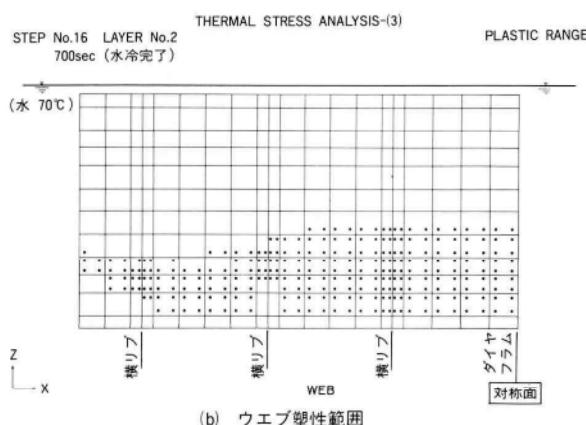
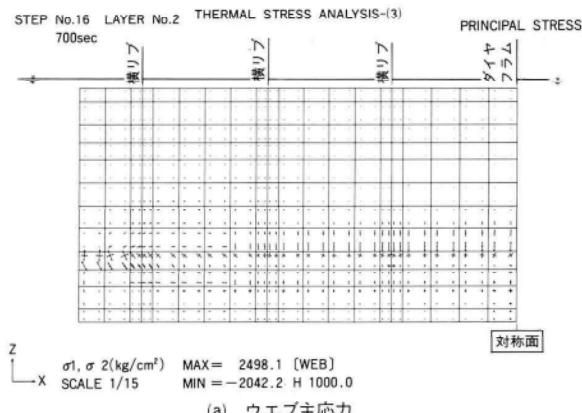


図-8 モデルAステップ6(水冷完了)

#### 2) 水冷後(700秒)—図-8、図-9

モデルA、B共にウェブの応力を示す。いずれも浸漬40秒時点でのめっき面の上下に生じた応力が残留していることを示しており、塑性域図からも明らかである。なお応力レベルは全体的に浸漬40秒から半減しており、めっき面より上側ではほとんど消失している。

#### (5) バイロットメンバーとの比較

解析上多くの仮定を含んではいるが、モデルAとバイロットメンバーの最終変形の比較を表-6に示す。変形量自体が小さいこともあるが、両者はよく一致している。当初最も懸念された縦シームの口開き（添接不可能）は解消された。

#### 5.まとめ

ここでは、各種施工実験および解析検討を通じ、本橋の設計に反映させた主な事項についてまとめる。

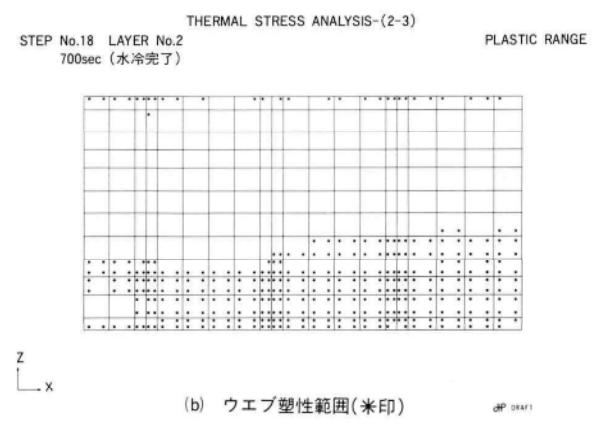
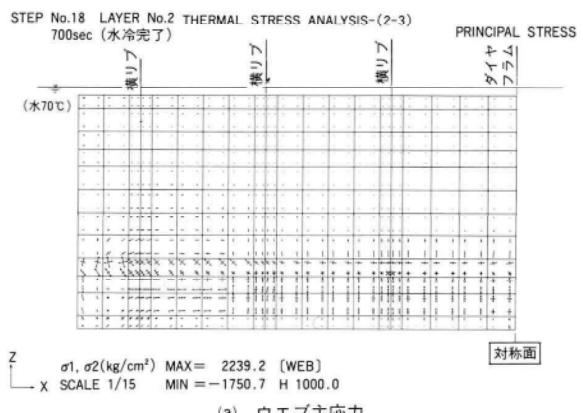


図-9 モデルBステップ6(水冷完了)

## (1) 使用材料

基本的には発注先である日本道路公団の仕様（設計要領第二集）に沿ったが、フランジとウェブについては、めっきの仕上りに影響があるシリコンを規定( $\text{Si} \leq 0.2\%$ )し、耐割れ性能の高いTMCP鋼（Thermo-Mechanical Control Process）を用いた。

## (2) 最小板厚

钣桁橋の実績では、はらみ防止のためにウェブ厚を塗装桁として設計する場合より1mm増厚しているが、今回は増厚していない。各部の最小板厚は設計より求まる値として、

- ・フランジ；10mm
- ・ウェブ；10mm
- ・その他；9mm

を採用した。

## (3) 水平補剛材

1/2モデルによる施工実験から、ウェブのはらみ防止のため、設計上2段の水平補剛材を4段（外観から、両壁高欄側ウェブのみ）とした。

## (4) 構造詳細

めっきの仕上り、浸漬速度アップ等のため、各部の構造詳細を工夫した。その主な点を図-10に示す。

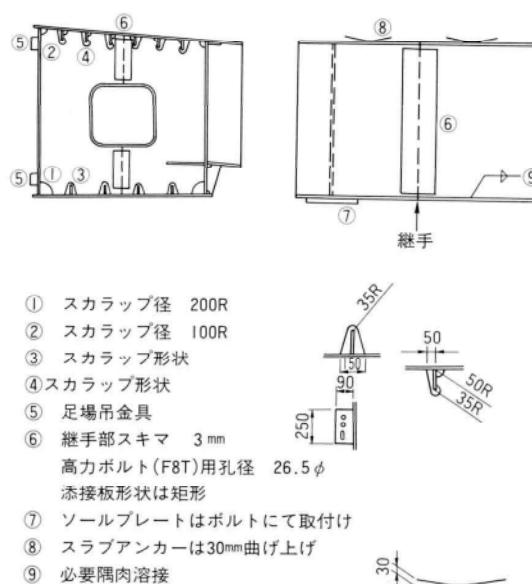


図-10 構造詳細

## 6. 考察

### (1) FEM解析について

今回の解析結果では、ウェブ面の下フランジ側に広範囲に塑性域が生じているが、そのほとんどは浸漬40秒の段階で生じたものである。この塑性域の発生は次の理由によるものと考えられる。

① 解析ステップの粗さ——浸漬時間と部材の入熱量の関係は図-11の実線で考えられるが、解析上は破線として扱っているため実際の2倍程度の熱応力を与えていることになる。

② 今回の解析では座屈解析をしていない。——このため補剛材で囲まれたパネル全幅に塑性域が及んでいるものと考えられる。

③ 浸漬時間——解析上浸漬開始から浸漬完了までの時間を160秒としているが、パイロットメンバーでは90秒で浸漬を完了している。浸漬速度が早い程熱応力を低減できる。

したがって、解析上上記以外に幾多の仮定を設けてはいるものの、今回の様な部材形状でも、熱応力によって解析結果にみられる様な塑性域が発生することはほとんどないものと考えられる。

また、解析上の最終変形はほとんど無視し得るものであり、パイロットメンバーに生じた変形は、部材の非対

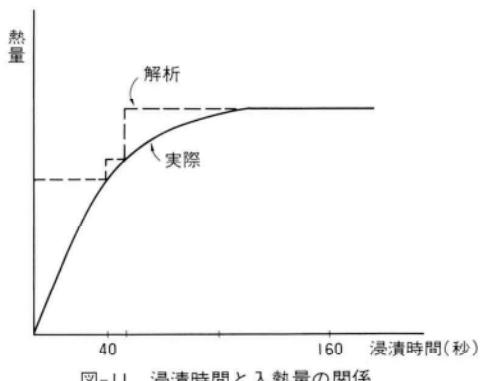


図-11 浸漬時間と入熱量の関係

称性および残留応力に起因するものであると推定される。製作ではフランジ、ウェブのパネル組立後、ローラー矯正で残留応力を除去を行っているが、このことが部材変形を抑える上で大きな効果を示したものと考えられる。

## (2) 構造詳細その他

- ① 縦シーム面の拘束材の検討については本稿で触れていない。しかし、めっき部材がコの字型の非対称断面であることから、何らかの拘束が必要であろうと考えられた。したがって解析上拘束材は無視しているが、めっき部材には橋軸方向に L-75×75×9 をプレース状に組んで取付けている。この効果について明確ではないが、部材のねじり変形防止に対して有効であったと考えられる。
- ② スカラップは通常の塗装桁に比べればかなりのオーバーサイズである。これは、めっきのまわりや浸漬速度を配慮したものであるが、パイロットメンバーの浸漬状況からみて採用値よりやや小径のスカラップで充分であったと思われる。

## 7. あとがき

めっき槽の寸法的制約から、箱桁を分割してめっきした場合、どの様な変形性状を示すか予想し難い所があった。そこで、予備実験と解析を行い、更にその結果を踏まえた実物大パイロットメンバーのめっき施工により、1シームの分割で施工可能であることを確認した。

今回の実験および解析から、

- ① 浸漬速度を早める（構造上の工夫をはかる）、
- ② 残留応力度を低減させる製作方法をとる、
- ③ ねじり変形を防止する為に拘束材を設ける、等の

対策を施せば、箱桁であっても防錆処理方法の1つとしてめっきを選択出来ると言える。

めっき橋は、塗装仕様と比べ初期コストは高くなるが、高い防錆機能と、維持管理面からの要求により、今後増加する事が予想される。鋼橋への要求が多様化していく中で、亜鉛めっき箱桁がその選択肢の1つとなり得るものと信じている。

最後に、本橋のめっき施工に当って、日本道路公団高松建設局、伊予三島工事事務所ならびに、めっきを担当された新星工業株式会社の方々に御指導、御協力を戴いた事を深く感謝致します。

## 〈参考文献〉

- 1) 日本道路公団大阪建設局；近畿自動車道天理吹田線溶融亜鉛めっき橋梁工事報告書、昭和63年3月
- 2) 金沢、山下、家沢、征矢；溶融亜鉛めっき橋梁の研究（I）、巴組鐵工所技報No.1、1987年
- 3) 金沢、山下、家沢、征矢；溶融亜鉛めっき橋梁の研究（III）、巴組鐵工所技報No.3、1989年
- 4) 日本橋梁建設協会；溶融亜鉛めっき橋 設計・施工マニュアル（案）、1990年1月
- 5) 藤本、古村、安部；高温度における構造用鋼材（SM 50）の第一期クリープに関する実験、日本建築学会論文報告集、昭和56年8月
- 6) 鎌田、青木、杏掛；溶融亜鉛めっき橋の施工試験、宮地技報No.2、1986年
- 7) 伊藤、荒井；溶融亜鉛めっき曲線箱桁の設計、土木学会第45回年次学術講演会、平成2年9月
- 8) 鈴木、福田、青木；溶融亜鉛めっき曲線箱桁の製作、土木学会第45回年次学術講演会、平成2年9月

1990.10.31受付

# 溶融亜鉛めつき箱桁橋梁の製作に関する 検討とその成果

## Discussion on Manufacture of Hot-Dip Galvanized Box Girder Bridge

鈴木富雄\* 青木清\*\* 中塚勲夫\*\*\*  
Tomio SUZUKI Kiyoshi AOKI Isao NAKATSUKA

### Summary

Hot-dip-galvanized plate box girders have not been used for bridge construction because of dimensional limits of plating baths, while I-girder have been much used.

However, in the construction of Kawanoe junction bridge, curved plate box girders which were hot-dip-galvanized by separating the girders into two asymmetrical channel-shaped parts have been employed.

This paper presents the deformation prevention measures adopted for the manufacture and construction of the above girders. These measures were determined after a study executed prior to the start of construction. Also, presented are the results of an investigation on the amount of deformation which actually occurred after galvanization.

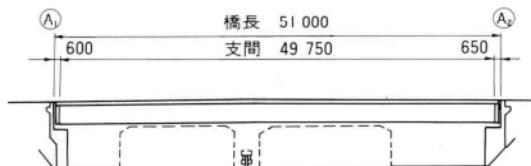
### 1. まえがき

川之江ジャンクション橋は、供用中の高松・松山自動車道と建設中の高知自動車道の分岐点に建設される鋼単純非合成箱桁である。鋼製桁橋の防錆処理としては、塗装仕様が一般的であるが塗装時の足場が必要となる。本橋は供用中の本線を跨ぐジャンクション橋で、その桁下空間は建築限界H=4.5mに対して、H=4.76mと余裕がない。この為架設時の本線への影響と、将来の維持管理を考え、塗装塗り替えを必要としない溶融亜鉛めっき仕様が採用された。溶融亜鉛めっき橋の実績は、多数残されているが、その大多数がI桁橋であり箱桁橋としては、めっき槽の寸法上の制約から殆ど例を見ない。本橋は、

現行のめっき槽の寸法制限を上回る断面形状を有しており、箱断面を分割することにより、めっき施工を行った。今回のように箱断面をコ形に分割し、左右非対称断面にて、めっき施工した例は過去に例が無い。

本文は、その分割方法および製作方法について報告するものである。

側面図



平面図

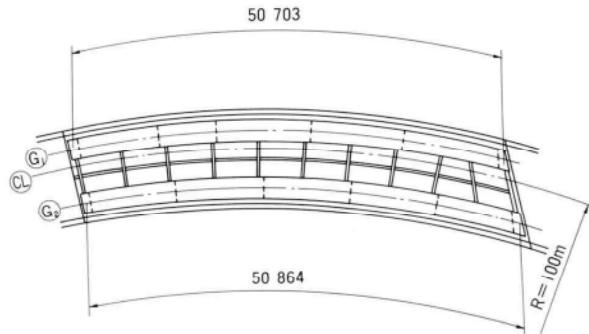


図-2 一般形状図



図-1 川之江ジャンクション橋位置図

\* 千葉工場製造部生産設計第1課課長代理

\*\*\* 千葉工場製造部製造第2課担当上席課長

\*\* 千葉工場製造部次長

## 2. 工事概要

川之江ジャンクション橋の一般形状図を図-2に、断面形状を図-3に、また、主要諸元、工事工程を表-1、表-2に示す。

## 3. 亜鉛めっき槽の大きさと箱桁の分割形状

現在保有されているめっき槽の寸法および能力を表-3に示す。箱桁の分割形状は、図-4の3案を考えた結果全体鋼重が軽く経済性に優れ、且つ、外観的にも優れた①案の縦1シーム案を採用した。①案は、左右非対称断面となるため、亜鉛めっきによる変形対策を十分に検討し、実施工にあたることとした。

一般的な溶融亜鉛めっき順序および条件を表-4に示す。

## 4. 製作上の検討と製作方法

亜鉛めっき施工は、約440°Cのめっき浴槽内に部材を浸漬して行われるため、温度応力の発生による部材の変形、溶融金属脆化による廻し溶接部の割れが問題となる。特に今回は、コ形の左右非対称部材となるため、変形の出ることがあらかじめ予想された。部材全体の平面的な変形はその変形量が大きいと箱断面への組み上げが出来ない

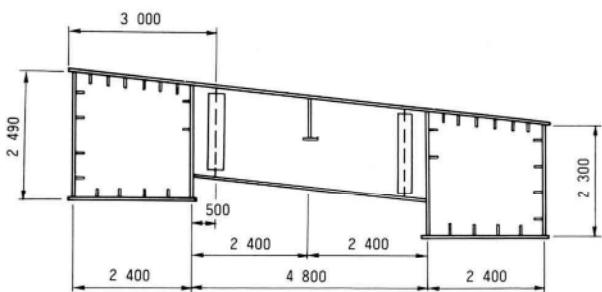


図-3 断面形状

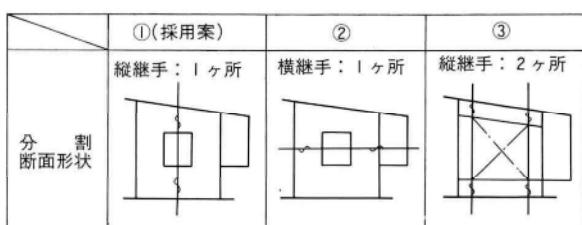


図-4 断面形状分割案

表-1 川之江ジャンクション橋主要諸元

構造形式	鋼単純非合成曲線箱桁橋
橋長	51.00 m
有効幅員	10.70 m
平面線形	R=100 m
横断勾配	9.0%片勾配
縦断勾配	3.22% ↗ 4.60%
製作鋼重	218t

表-2 工事工程

工事発注	平成元年3月28日
本体パイロットメンバーめっき	平成元年10月12日
全 体 仮 組 立 完 了	平成2年3月7日
架 設 完 了	平成2年4月12日
橋 面 橋 完 了	平成2年6月

表-3 亜鉛めっき槽の寸法及び能力

	亜鉛めっき槽の寸法(m)			めっき可能部材寸法(m)			部材重量(t)
	幅:B	高さ:H	長さ:L	幅:B	高さ:H	長さ:L	
a	2.1	3.3	16.5	1.8	2.8	15.5	10
b	1.8	3.6	16.5	1.5	3.0	15.5	10
c	1.8	3.6	16.0	1.5	3.0	15.0	10

表-4 溶融亜鉛めっき順序及び条件

	項 目					条 件
	1 脱脂	2 水洗	3 酸洗	4 水洗	5 フラックス処理	
1 脱脂	アルカリ濃度	10±5%				
	温 浸 渡 時 間	80±10°C				20~30分
2 水洗						
3 酸洗	塩酸濃度	15±5%				
	温 鐵 浸 渡 分 間	常温				130g/l以下
4 水洗						
5 フラックス処理	フランクス濃度	28~35%				
	温 塩化亜鉛・塩化アンモニウム鉄 浸 渡 分 間	65±5%				1:2(モル比)
		6g/l以下				
	PH	3~6				
	浸 渡 時 間	3~5分				
6 めつき	亜鉛槽組成度	亜鉛97.5%以上				
	温 浸 渡 時 間	436°C				
	引上速度	1~3m/min				
	速 度	8分				
	度	1.5~3~2m/min				
7 水冷	温 浸 渡 時 間	55°C~65°C				
	温 浸 渡 時 間	6.5m/min				
		2分				

い状態、また、腹板の面外変形（やせ馬）が大きいと座屈の危険が生じる。部材の変形性状や変形量を事前に把握するため、図-5の作業フローの如く、小型縮小体（1/2モデル）試験、FEM解析等を行った。

小型縮小体の形状は、図-6に示す形状とした。変形性状を見るため、フランジ、ウエブの板厚比率を実橋と合わせることおよび板厚が薄過ぎると実橋とそぐわないこと等を考え、フランジは $t=19\text{mm}$ 、ウエブは $t=9\text{mm}$ とした。また、温度変形は、亜鉛めっき浴槽内への浸漬速度引き上げ速度に関係することと、実橋部材の浸漬・引き上げ速度の想定を行うため、50秒、150秒、250秒の3種の浸漬・引き上げ速度とした。溶接完了後、加熱矯正後、亜鉛めっき後の測定結果を表-5に示す。また、

表-5 小型縮小体の測定長とめっき浸漬速度

(単位:mm)

	測定長	溶接完了後	加熱矯正後	めっき後	めっき浸漬速度	浸漬時間
①	UL1	-5.0	-6.0	-9.5	50秒	638秒
	UL2	+1.0	-5.0	-5.5		
	LL1	-2.0	-3.0	-6.0		
	LL2	+1.0	-2.0	-3.0		
②	UL1	-6.0	-6.0	-10.0	150秒	613秒
	UL2	-0.5	-6.5	-5.0		
	LL1	-3.0	-3.5	-6.0		
	LL2	+2.0	-1.0	0.0		
③	UL1	-4.5	-5.5	-3.0	258秒	615秒
	UL2	-0.5	-5.5	-4.0		
	LL1	-4.0	-5.5	-10.5		
	LL2	+0.5	-4.0	-2.0		

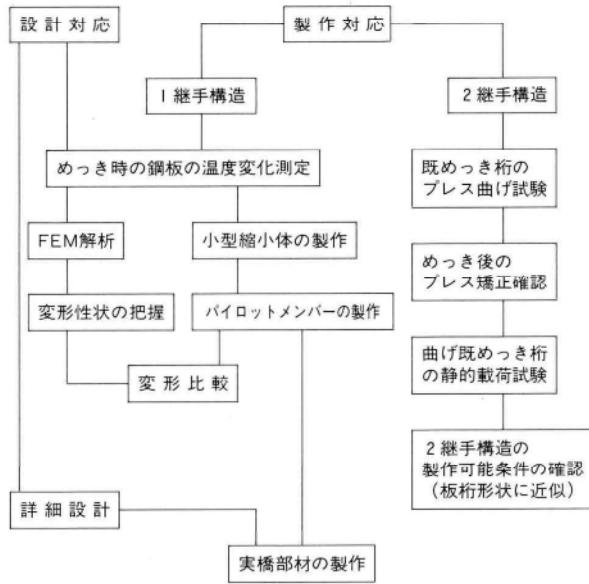


図-5 作業フロー

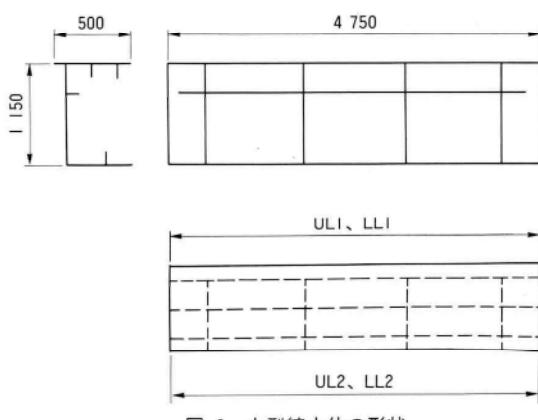
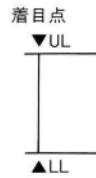


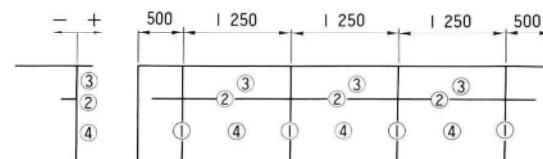
図-6 小型縮小体の形状

小型縮小体の平面曲がり

	平面曲がり	溶接完了後	加熱矯正後	めっき後
①	UL	-12.0	-1.5	-10.4
	LL	-3.0	-1.3	-3.8
②	UL	-8.1	-1.3	-9.0
	LL	-7.0	-1.3	-7.7
③	UL	-6.0	-1.2	-13.1
	LL	-5.0	-0.5	-10.2



小型縮小体ウエブの面外変形



	500	1250	1250	1250	500
①(50S)	①	-1	-6	-4	-2
	②	-2~-2	+3~-7	+2~+3	
	③	-3~-4	+6~-8	+4~-5	
	④	+10~+13	-8~-+10	-9~-+13	
②(150S)	①	-5	-9	-9	-4
	②	+2~+2	0~-10	0~+3	
	③	+4~-5	+3~-10	+4~-5	
	④	+13~-9	-8~-+10	-10~-+15	
③(250S)	①	+6	-4	+2	-4
	②	-6~-6	-6~-8	-3~-0	
	③	-4~-5	-5~-7	-2~-+1	
	④	-16~-+10	-11~-+9	-7~-+7	

亜鉛めっき後の形状を写真-1に示す。この結果に基づき、めっき施工で発生する変形を抑止するために行った検討と製作上の配慮を以下に述べる。まず、亜鉛めっき時に於ける問題点とその軽減方法を考えると表-6に示すようなものが考えられる。

### (1) 残留応力に起因する変形について

一般に、部材の組み立て時に発生する初期不整を矯正する方法としては、加熱矯正が行われる。この方法では部材内に、加熱による残留応力の発生・蓄積が形成される。残留応力が存在する部材を高温のめっき浴槽に浸漬した場合、応力の開放が起こり、これがめっき後の変形に影響を与えることが縮小体により確認された。

この対策として、溶接による初期不整を押さえることと共に、不整除去の方法として加熱矯正以外の矯正方法を検討した。

#### 1) 自動溶接工法と機械矯正方法の採用

フランジ、ウエブには、パネル自動溶接工法を使用し、縦リブ、水平補剛材、垂直補剛材の溶接を行い、溶接入熱、ビード形状の均一化を図り、廻し溶接部にも自動溶接を行った。部材パネルに発生した初期不整は、可能な限りローラーによる機械的な転圧矯正を行い、極力加熱矯正を避け、溶接残留応力の軽減に努めた。

#### 2) めっき前部材精度の確保と初期不整の軽減

めっき前の部材精度確保のためフランジをパネルの段階で仮ボルトにて一枚板とし、主桁断面形状に組み立てた後首溶接を両側同時に自動溶接で行い、溶接入熱の均一化を図り、初期不整の軽減に努めた。

### (2) 構造物の形状に起因する変形について

めっきを行う部材の非対称性およびフランジ、ウエブの板厚差等に起因し、高温のめっき槽に部材を浸漬していく過程で部材各部の応力状態が異なるため、部材に均一な変形が生じない。また、変形を補剛材で拘束されているウエブは、板の座屈による面外方向の変形という形で応力が解放される。コ形断面の部材は、その非対称性から図-7の如くウエブのある側に変形する性状を有している。そこで写真-2に示すような拘束材を取り付け、平面変形・捩れ等の防止対策を行った。

ウエブの面外変形に対しては、パイロットメンバーで水平補剛材を4段配置した部材と2段配置した部材を亜鉛めっきした結果、4段配置ではほとんど変形が生じず、2段配置でも特に問題となる値では無かったため、景観

表-6 亜鉛めっき時の問題点及び軽減方法

問 領 点		軽 減 方 法
変形要因	残留応力	a. 鋼材のロール工程 b. 鋼材のガス切断 c. 溶接順序、溶接方法 d. 矫正方法
	形状特性	a. 板厚 b. 非対称性 c. 補剛材の配置 d. 桁高、部材長
	作業・条件	a. 浸漬、引上げ速度 b. めっき温度 c. 部材の操作 d. 冷却
	廻し溶接部の割れ	溶融金属脆化による廻し溶接部のめっき割れ
		①パネル自動溶接工法 ②箱形状首溶接の同時溶接 ③ローラーベンディング工法
		①Fig、Web板厚差を小さく ②対称性を持たせる ③バランス配置 ④めっき槽の余裕
		①速度は早く ②なるべく低く ③細部構造の工夫 ④拘束材の取り付け
		①脆化感受性の低い鋼材の採用 ②ビード止端形状の仕上げ ③溶接及び矯正方法



図-7 めっきによる変形

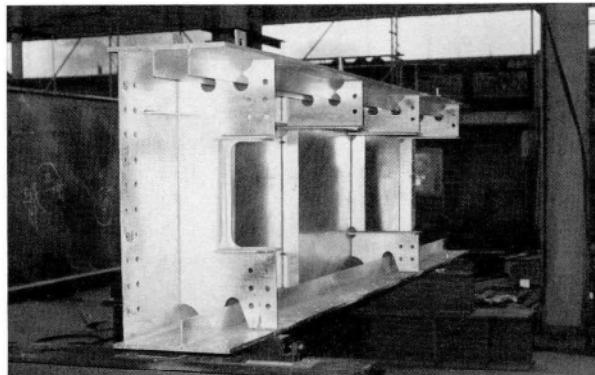


写真-1 小型縮小体形状

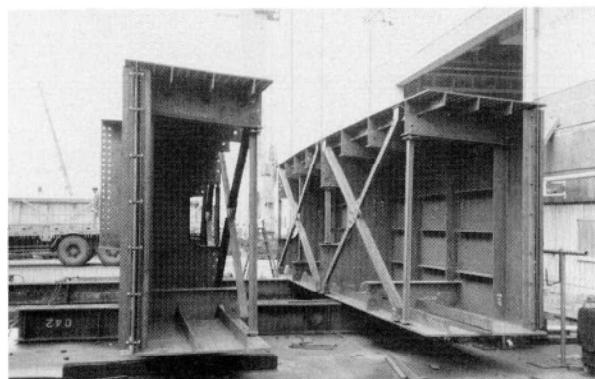


写真-2 拘束材取付

上と経済性から走行車より視認出来る外側ウエブのみ、図-8の如く、4段配置とした。

### (3) めっき浸漬速度に起因する変形について

部材のめっき槽への浸漬速度は、鋼の比重( $7.85 \text{ t/m}^3$ )と亜鉛の比重( $7.14 \text{ t/m}^3$ )が近いためと、断面形状がコ

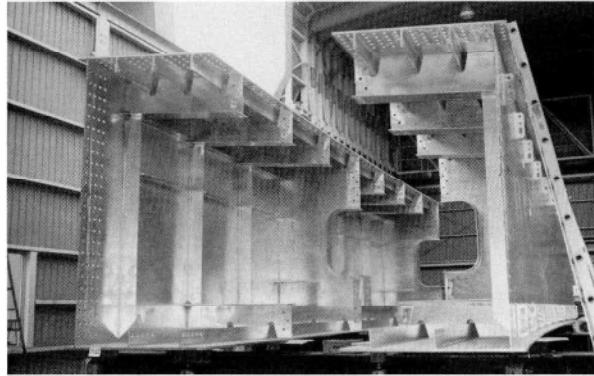


写真-3 パイロットメンバー

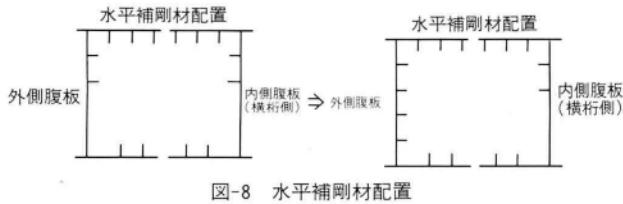


図-8 水平補剛材配置

表-7 めっき施工時間(平均時間)

作業項目	作業時間	備考
投入時間	82秒(1' 22")	投入開始～投入完了
浸漬時間	549秒(9' 09")	全體浸漬
引上げ時間	91秒(1' 31")	引上げ開始～引上げ完了
空冷時間	68秒(1' 08")	空气中放冷
水冷時間	216秒(3' 36")	水冷開始～水冷完了
合計	1006秒(16' 46")	

今回使用めっき槽寸法： $2.1 \text{ m} \times 3.3 \text{ m} \times 16.6 \text{ m}$  (W×H×L)  
めっき部材の最大寸法： $1.94 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} \times 10.9 \text{ m}$  (W×H×L)

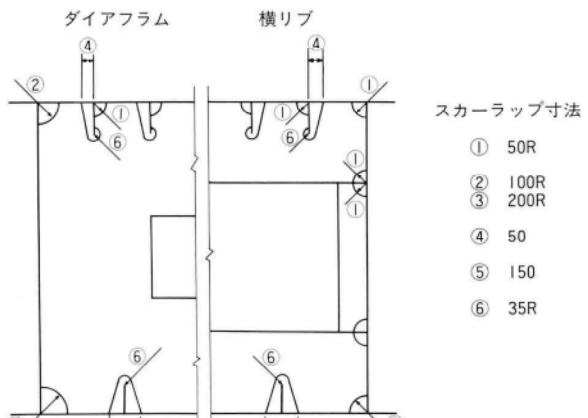


図-9 スカララップ形状

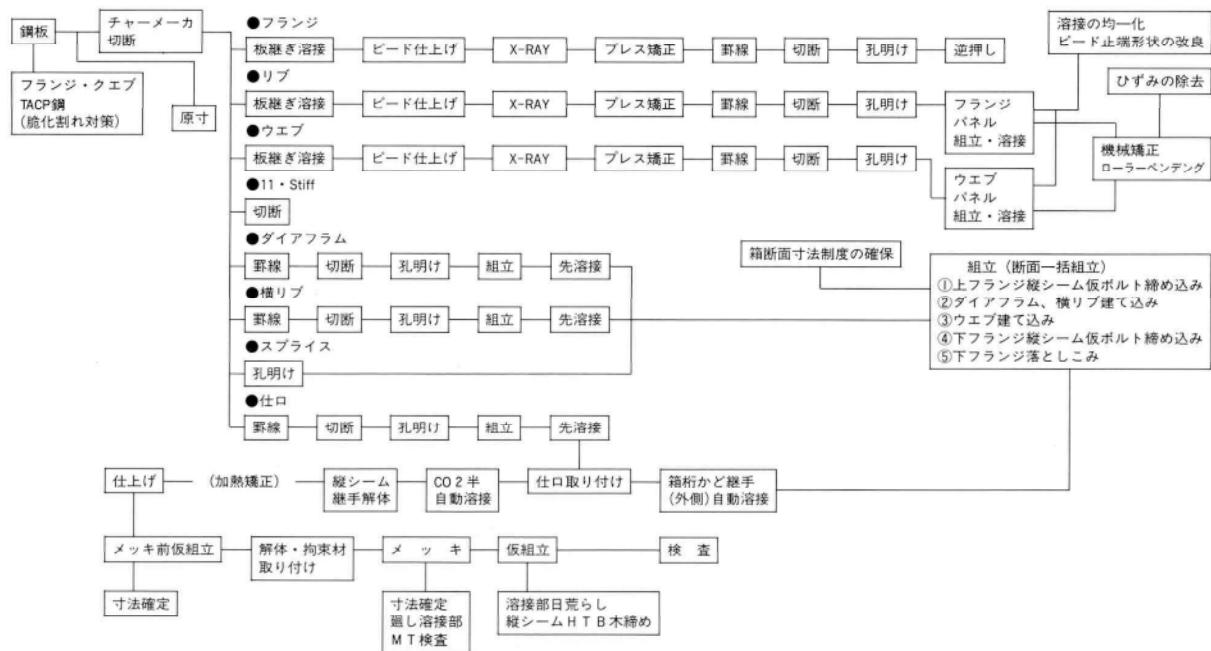


図-10 溶融亜鉛メッキ箱桁製作・メッキフローチャート

形で浸漬時めっき浮力により傾き、且つ、めっき槽に余裕がなく上方へのめっきのまわりが悪く、I型断面に比べ浸漬速度低下の一因となっている。

浸漬速度が遅いと、亜鉛に浸漬した高温部と外気に接している低温部との温度差により熱応力が生じ、これが部材変形に起因すると考えられる。この対策として浮力の発生の防止と亜鉛の流れを良くするために、各部に通常より大き目のスカラップを採用した。

スカラップの形状を図-9に示す。

#### (4) 部材箱形状組み立てのための施工対策

以上の変形対策考慮を事前に行っても、まったく変形を無くすることは出来ず、全体の組み立てが困難な場合が想定される。そこで組み立て時の作業性を考え、M22のボルトに対し、オーバーホールサイズ(26.5φ)を採用した。(通常孔径M22ボルトに対しては、24.5φである。)採用に先立ち、溶融亜鉛めっき面オーバーホール孔のすべり試験を実施し、接合面の施工性、すべり係数に問題の無いことを確認し、実施工に使用した。

母材の接合面は#30の砥石でグラインダー目荒しを行い添接板はプラスト処理にて目荒しを行った。試験は、所定軸力導入後、60時間放置し、引張試験機により各試験体のすべり係数を確認した。初期導入軸力の減少は、約7%ですべり係数値は $\mu=0.46$ であった。

### 5. めっき箱桁の実施工と出来形

#### (1) めっき施工結果

図-10に今回のめっき箱桁製作のフローを示す。また、表-7にめっき施工時間(実績平均時間)を示す。

めっき槽への投入・引上げ時間は約90秒で当初目標を満足するものであった。

#### (2) 部材の出来形

##### 1) 平面曲がり変形

めっき施工後、ウェブのある側に平均 $\delta=7\text{ mm}$ 程度変形した(図-11、表-8)。

##### 2) 部材長への影響

表-9に測定結果を示す。めっきによる収縮量を2mm見込んだが見込み通りの結果となった。

##### 3) キャンバーへの影響

全体キャンバーは支間中央で20mm(1部材2mm)の上

げ越しを見込んだ。めっき後のキャンバーも満足の行く結果となった。

#### 4) ウエブの面外変形

測定箇所および測定結果を図-12に示す。

面外変形は、水平補剛材を挿入しなかった内面⑤がやはり大きく最大で11mmを超える面外変形が出た。水平補剛材の追加を行い、変形を拘束し、押えることが面外変形には有効であることを裏付けた。なお、桁端、横桁仕口腹板、ダイアフラムにも変形が生じたが、その変形量は、最大10mm程度であり部材の組み立て締付け上は、問題とならなかった。

#### 5) めっき後の箱断面の組み立て

めっき完了後、コ形断面部材を箱桁形状に組み上げた。

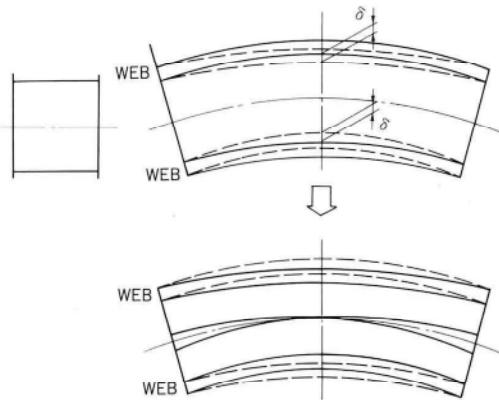


図-11 平面曲がり形状

表-8 実橋部材の平面曲がり

平面曲がり	溶接完了後	矯正後	めっき後
内	UL -5.5	-1.8	-6.5
	LL -3.0	-1.5	-3.3
外	UL -5.4	+0.6	-8.5
	LL -3.9	-0.2	-0.5

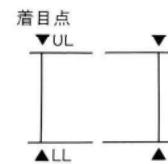
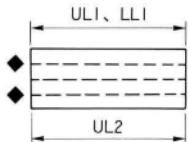


表-9 実橋部材の測定長

測定長	溶接完了後	矯正後	めっき後
内	UL1 -1.5	-0.5	-6.0
	UL2 +0.5	-3.0	-2.0
外	LL1 -3.5	-3.5	-6.5
	UL1 -3.5	-5.5	-9.5
	UL2 0.0	-2.0	-1.0
	LL1 -4.0	-4.0	-4.0



平面変形の少ないものは中央から寄せピンにて組み上げ、変形の大きなものは簡単な引き寄せ治具により、コ形部材断面をとじあわせた。

組み上げ後の断面における隙間は、4mm程度であった。

## 6. 溶融亜鉛めっきによる廻し溶接部の割れ

### (1) めっき割れ対策

板桁等の全めっき桁に於いて、廻し溶接止端部に溶融金属脆化による割れ（めっき割れ）が発生することが、これまでの溶融亜鉛めっき施工で確認されている。

今回、このめっき割れを極力押さえる意味で、割れ感受性の低いTMCP鋼（Thermo Mechanical Coutorol Process）をウェブ、フランジに採用した。この鋼材は、溶接硬化性を押さえるために、炭素当量（Ceq）が0.34以下となっている。

### (2) めっき割れの検査方法

めっき割れの非破壊検査方法と特徴を表-10に示す。また、疲労試験にて発生させた割れ試験片をめっきしたものについて浸透探傷検査（PT）の2回洗滌後の写真例および湿式磁粉探傷検査（MT）の写真例を示す（写真-4）。この非破壊検査試験に基づき今回は、湿式磁粉探傷法を採用した。

### (3) 検査結果

めっき完了後、主桁24台、横桁11台、縦桁10台の廻し溶接部約6000ヶ所について、めっきによる割れ発生の有無を検査した。割れの発見されたのは、横桁仕口リブに4ヶ所、水平補剛材に5ヶ所、ダイアフラムのスカラップに7ヶ所の合計16ヶ所であった。割れ発生箇所を図-

表-10 溶融亜鉛めっき割れの非破壊検査方法

検査方法	内容
目視検査	開口した大きな割れ以外発見不能。
浸透探傷検査（PT）	（JIS Z 2343）表面開口の割れは発見可。 めっき塗膜割れ、塗膜ピンホールからも指示模様有。2回洗浄方法が比較的有効。
磁粉探傷検査（MT） *注)	めっき塗膜は非磁性体の為、塗膜割れは検出しないで母材割れのみ検出。めっき塗膜割れ・塗膜欠陥に影響されないので母材割れには最も適当と思われる。 (めっき塗膜割れ、アンダーカット等の溝内に残留した場合は、注意を要する。)

\*乾式と湿式では湿式の方が良い。

13に示す。これらの割れの発生は、いずれの場合もリブ側、ダイアフラム側、水平補剛材側の母材と反対側の溶接部から亀裂の発生を見た。亀裂面を点検の結果、リブダイアフラム部は、多少アンダーカットぎみ、水平補剛部材は、面外変形の数値の大きな部位に見受けられ、金属脆化と変形とが複合して影響を与えたものと思われる。めっき割れの発生率は、0.27%であった。



測定位置	<-5	-5~4	-4~-3	-3~-2	-2~-1	-1~0	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	計
補剛材上 ①	—	—	4	1	10	22	22	19	10	2	—	90
②	—	1	3	5	5	13	5	5	5	—	—	42
外面 ③	—	—	2	1	6	12	5	6	3	—	—	35
内面 ④	—	1	1	0	3	3	3	1	1	0	1	14
⑤	*2	1	0	1	0	2	0	0	1	—	—	7
合 計	2	3	10	8	24	52	35	31	20	2	1	188

\*は-6.5mm、-11.3mm

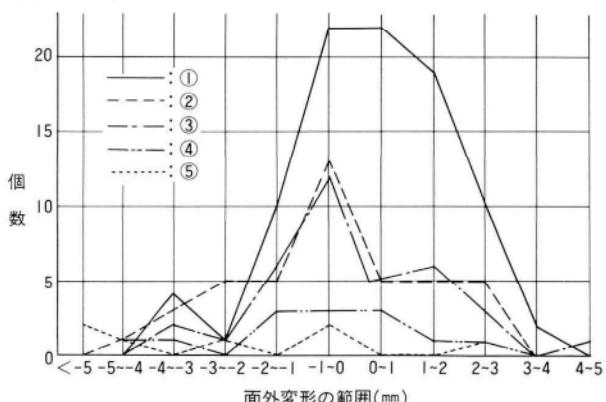


図-12 ウエブの面外変形

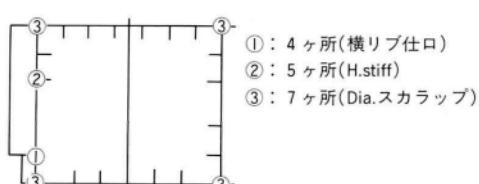


図-13 割れ検出位置図

#### (4) めっき割れの補修

めっき割れ部はグラインダーにて削り取り、発錆の原因となる削り粉を除去した。その後めっきの変質を防止するため裏面を流水または、濡れ布で冷却しながら手溶接で補修した。補修部はビード整形後ワイヤーブラシで十分清掃後、ローバル（亜鉛めっき補修用塗料）にて補修した。

#### 7. めっき膜厚の測定

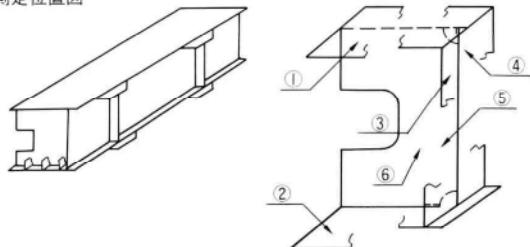
めっきの完了した部材の膜厚測定を行った。測定機器は、電磁膜厚計LE-200型を使用し、上・下フランジ、腹板、ダイアフラム面を測定し、同時にテストピースによる亜鉛付着量の測定もあわせ行った。図-14に測定位置と測定結果を示す。

#### 8. 溶融亜鉛めっき箱桁の経済性について

本橋に於いては、分割構造による添接板や高力ボルト等の増加により、鋼重が約15%増加している。これは、過去に於ける亜鉛めっき鉄橋の例が3~6%程度であるのに比べ、10%程度多い。しかしながら本橋のように桁下空間のない曲線箱桁の場合、塗装足場が建築限界を

測定機器：電磁膜厚計 LE-200型

測定位置図



	測定値						平均値
	①	②	③	④	⑤	⑥	
A	175	232	205	181	251	249	215.5 $\mu$
B	172	229	235	260	263	225	230.7 $\mu$
C	248	281	243	229	269	276	257.7 $\mu$
D	234	247	225	257	263	242	244.7 $\mu$
E	172	264	240	236	253	236	233.5 $\mu$
							236.4 $\mu$

尚、TP材による平均亜鉛付着量は、  
2.435g/m<sup>2</sup>であった。

図-14 めっき膜厚測定表

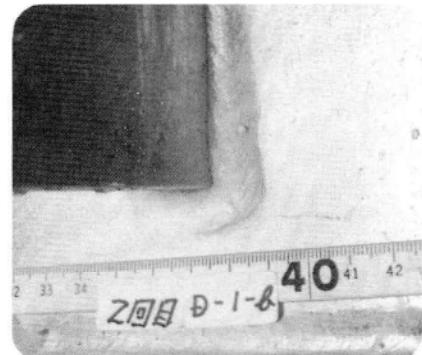


写真-4(a) 浸透探傷写真(2回洗浄後)

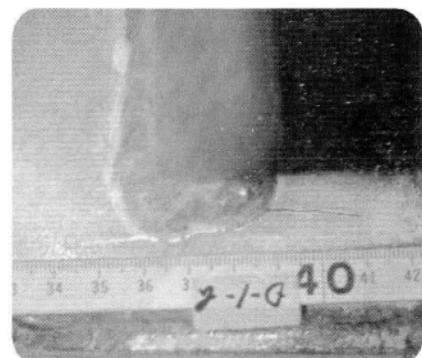


写真-4(b) 湿式磁粉探傷写真

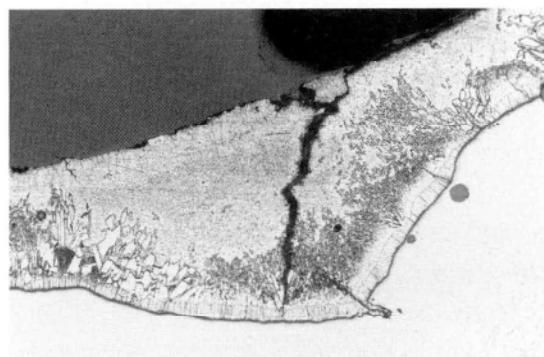


写真-4(c) メッキ割れマクロ

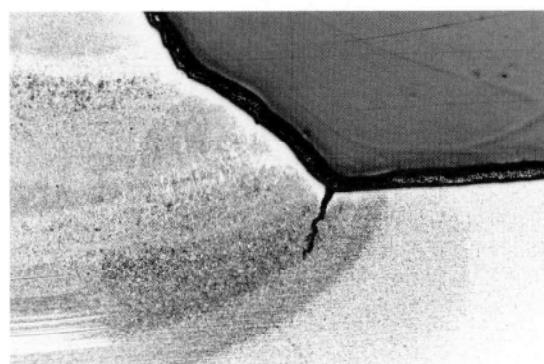


写真-4(d) 母材割れマクロ

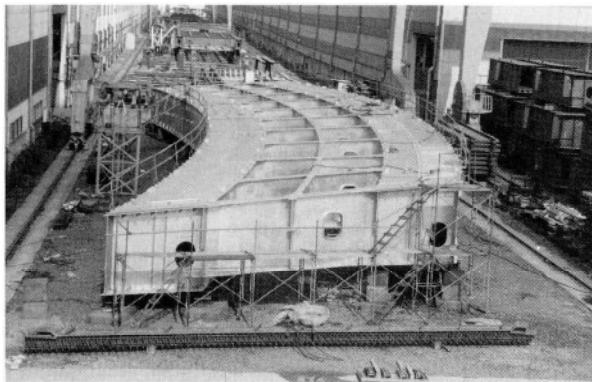


写真-5 工場仮組立



写真-6 現場仮設

侵すことによる通行車輛および塗装作業員に対する安全性の問題、塗装足場の設置・撤去時の通行止め等の本線規制の必要性による将来のメンテナンスの面からめっき橋の採用がなされたが、現地架橋環境を考えれば長期防錆が期待出来るので、初期投資の効果は得られるものと思われる。今後の追跡調査を待ちたい。

## 9. あとがき

今回の溶融亜鉛めっき箱桁橋は、部材の大きさ、めっき槽の制約上から箱桁断面を分割し、左右非対称なコ型断面でめっき加工を行った。既往の鋼桁橋等のめっき報告から変形等の予想は出来るが、コ形断面の実績データは皆無であることから手探りの状態から検討を始めた。平面変形による曲率の狂い、腹板の面外変形等、全体を箱桁状に組み合わせたとき、規定の曲線形状が再現出来るのか不安視された。

箱桁形状への組みあわせは、ピンを使用しコ形断面を箱部材に組み上げ後、めっき高力ボルトへの盛り替えを行いつつ、全体形状を組み上げた。当初心配された曲率の狂いもなく、所定の精度で無事全体仮組立が完了した。

めっき後の工場仮組立形状、現場架設状況を写真-5、

6 に示す。本橋は、平成2年4月に架設を完了、平成2年6月に橋面工を完了した。

この工事にかかわり、貴重なる御意見をいただきました皆様に誌上を借り、謝意を表します。

## 〈参考文献〉

- 1) 日本道路公団大阪建設局; 近畿自動車道天理吹田線 溶融亜鉛めっき橋梁工事報告書、昭和63年3月
- 2) 金沢、山下、家沢、征矢; 溶融亜鉛めっき橋梁の研究 (I)、巴組鐵工所技報No.1、1987年
- 3) 金沢、山下、家沢、山戸、井上、金谷; 溶融亜鉛めっき橋梁の研究 (II)、巴組鐵工所技報No.1、1987年
- 4) 金沢、山下、家沢、征矢; 溶融亜鉛めっき橋架の研究 (III)、巴組鐵工所技報No.2、1989年
- 5) 西川、河野、池田、村井; 20年を経過した溶融亜鉛めっき橋梁の現況、橋梁と基礎、1988年
- 6) 鎌田、青木、沓掛; 溶融亜鉛めっき橋の施工試験、宮地技報No.2、1986年
- 7) 鈴木、福田、青木; 溶融亜鉛めっき曲線箱桁の製作、土木学会第45回年次学術講演会、平成2年9月

1990.10.31受付

# 溶融亜鉛めっき箱桁橋梁のめっき割れ防止に関する検討とその成果

## Discussion on Crack Prevention in Hot-Dip Galvanized Box Girder Bridge

成宮 隆雄\* 森下 統一\*\* 林 文男\*\*\*  
Takao NARUMIYA Touichi MORISHITA Fumio HAYASHI

### Summary

It is known that hot-dip galvanizing of steel girders involves the phenomenon of liquid metal embrittlement and that this embrittlement causes galvanization cracks on the girders. To prevent hot-dip galvanization cracks from occurring, it is essential not only to use steel which has a low susceptibility to embrittlement, but also to reduce thermal stress and stress concentration.

This paper presents concrete measures for the prevention of hot-dip galvanization cracks and describes the actual state of the cracks on the box girder members based on the results of real sectional specimens and an investigation of an actual bridge.

### 1. はじめに

溶融亜鉛めっきを施した鋼桁橋梁において、水平スティフナーの廻し溶接止端部等にめっき割れが発生することが知られているが、具体的な報告例は比較的少ない。また、橋建協塗装部会めっき橋ワーキンググループの実施した「溶融亜鉛めっき橋に関するアンケート調査」結果によると、溶融亜鉛めっき橋施工における技術的問題点として「めっき施工時の割れ」を挙げたのは、66社中5社であった<sup>1)</sup>。

一方、送電鉄塔においてはその大型化に伴い、60キロ級以上の高張力鋼の使用が要請され、溶融亜鉛めっき時の脆化（液体金属脆化）とそれに伴うめっき割れ防止の研究が行われ、溶融亜鉛脆化特性値( $S_{LM}$ )および溶融亜鉛割れ感受性当量(LMECe<sub>q</sub>)が提唱され溶融亜鉛脆化対策鋼が開発された<sup>2)</sup>。その後、上記送電鉄塔溶融亜鉛対策鋼の技術を引き継ぎながら、ZE研究会において、主として鋼桁橋梁における溶融亜鉛脆化の防止の立場から、「溶融亜鉛めっき橋梁の研究」がなされた<sup>3)</sup>。

弊社は平成元年度に、日本道路公団 高松建設局殿より、柴生第2高架橋他1橋（鋼上部工）工事を受注し、その内1橋が溶融亜鉛めっきを施した曲線箱桁橋梁であった。本橋は主桁断面が(2490H×2400W)であり、めっき槽の寸法的制約により種々検討の結果縦2分割とした。

従ってめっき施工時の部材は、]型断面の非対称部材で

\* 千葉工場製造部長

\*\*\* 千葉工場製造部生産技術課

\*\* 千葉工場品質管理部付課長

あり、かつキャンバーと曲線ライズが付いた複雑な構造となった。

これらの製作施工に当たり、大きな検討課題は① めっき時の熱応力による]型断面部材の縦反り、横反り、捩じれ等の変形防止、② めっきによるウエブ等の面外変形防止および熱収縮による部材寸法精度の確保、③ 良好なめっき外観の確保、④ 溶融亜鉛脆化とめっき割れの防止、等であった。

これらの内、①～③までの検討結果と製作施工結果について、別報にて報告した<sup>4)5)</sup>。

本報では主として④の溶融亜鉛めっき割れの防止の検討結果と製作施工結果を報告する。

### 2. 溶融亜鉛めっき脆化とめっき割れの防止対策について

ある固体金属が別の液体金属環境下において引張応力が作用すると脆化する現象は「液体金属脆化」(LME:Liquid Metal Embrittlement)と呼ばれている。鋼と溶融亜鉛との脆化に関して詳細な研究結果が報告されており、その特徴を要約すると下記の通りである<sup>3),6)～11)</sup>。

- ① 溶融亜鉛脆化は主に溶接部止端で生じる。
- ② 割れの形態は鉄の結晶粒界に亜鉛が拡散することによる粒界破壊である。
- ③ 溶融亜鉛脆化は止端部での応力および鋼材の合金成分の組み合わせの中で生じる。
- ④ 溶融亜鉛脆化対策鋼の開発により、溶融亜鉛脆化

を防止することが可能である。これらの知見に基づき、下記のめっき割れ防止対策を行った。

- ① 使用鋼材として、溶融亜鉛脆化特性値 ( $S_{LM-400}$ ) が42%以上のものを用いる。

(または溶融亜鉛めっき割れ感受性当量  $LME_{ceq} \leq 0.28\%$  の鋼材)

注)  

$$S_{LM-400} = \frac{\text{溶融亜鉛中の切欠破断応力}}{\text{亜鉛のないときの切欠破断応力}}$$

$$= 226 - 667C - 25Si - 58Mn - 122Cr - 72Mo$$

$$- 230V - 273Nb - 130Ti - 600B$$

$$LME_{ceq} = C + \frac{1}{27} \cdot Si + \frac{1}{12} \cdot Mn + \frac{1}{6} \cdot Cr + \frac{1}{9} \cdot Mo + \frac{1}{3} \cdot V$$

$$+ \frac{1}{2.5} \cdot Nb + \frac{1}{6} \cdot Ti + 9B$$

この条件を満足させるため、フランジ、ウェブとともに TMCP 鋼を用いた。

- ② 溶接残留応力および初期変形の低減を計るため、フランジおよびウェブとも、リブやスティフナーを先溶接しローラーベンディングで機械矯正するパネル組立工法を採用した。
- ③ パネル製作時の溶接（フランジとリブ、ウェブとスティフナーのすみ肉溶接）は自動溶接による両側すみ肉同時溶接、廻し溶接も含めた連続溶接を行った。
- ④ 廻し溶接止端部の応力集中を低減するため、止端部は滑らかな形状になるよう留意した。特にウェブと水平スティフナーの廻し溶接止端部はグラインダー仕上げ等により、積極的に滑らかな形状とした。
- ⑤ 製作において、変形防止に十分留意し、できる限り加熱矯正を行わないようにした。

### 3. 亜鉛めっき割れ発生機構について

亜鉛めっき割れの発生機構に関しての定説は確立されていない。文献<sup>3)</sup>によると下記の3つの可能性が提言されている。

- ① 液体金属 (Zn) が割れに先行して粒界に拡散して粒界強度低下をもたらし、作用している応力のもとに割れに至る。従って、鋼材の亜鉛めっき割れ性は粒界への液体金属の拡散能に左右される。
- ② 液体金属 (Zn) の粒界への浸入速度と割れの進展速度が同じで常に割れの先端に亜鉛が存在している。従って亜鉛めっき割れ性の差は先端への亜鉛が供給

される難易度、あるいは亜鉛存在下での割れ先端部の結合力に左右される。

- ③ 溶融亜鉛めっき温度 (450-470°C) で鋼材そのものの粒界脆化が起こり亜鉛は単にこれを促進するだけである。従って鋼によって亜鉛めっき割れ性が異なるのは鋼材自体の高温における粒界脆化度が異なるためである。

これらの仮説について、種々実験的検証を行い①の割れ発生機構であると、結論している。

筆者らは、かつて溶融亜鉛めっき鋼構橋梁のパイロットメンバー製作実験時に発見された、ウェブとガセットの廻し溶接止端部のめっき割れのマクロ写真および顕微鏡写真の観察結果から、①+②の割れ発生機構によるものと考えている。

**写真-1** にウェブとガセットの廻し溶接部（レ型すみ肉溶接）断面マクロ写真を、**写真-2** にめっき割れの拡大写真を、**写真-3** に大きなめっき割れから枝分かれした微少割れ、**写真-4** に同じ微少割れの顕微鏡写真を示した。

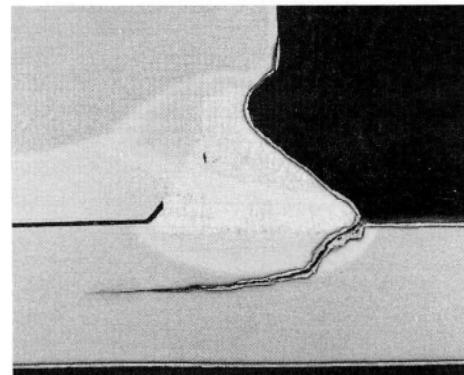


写真-1 めっき鋼構ウェブとガセットの廻し溶接部の止端部に発生しためっき割れの代表例

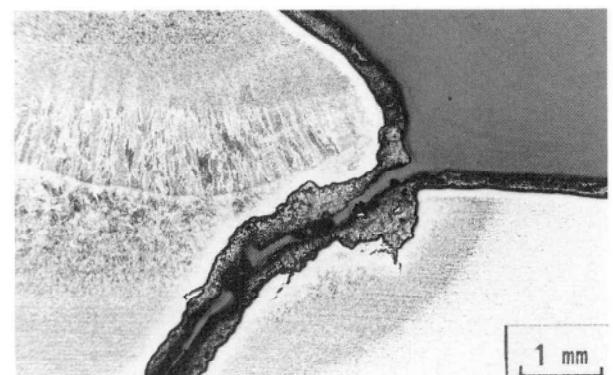


写真-2 同上のめっき割れ発生部（溶接止端部）の拡大写真

これらの観察結果は以下の通りである。

- イ) 写真-1から分かるように、廻し溶接止端部より発生しためっき割れは亜鉛合金層、溶接熱影響部をとおって、母材に進展している。
- ロ) 写真-3、4で分かるように、亜鉛合金層、溶接熱影響部には止端部からの連続した割れ以外にも、近傍に独立した微細な粒界割れが数多く見られる。従って、メインのめっき割れは、亜鉛の粒界への拡散が進行し応力の大きい廻し溶接止端部に割れが発生し、そこに亜鉛が浸入して更に亜鉛の粒界への拡散が進み割れ先端の応力集中と相俟って割れが進展していくものと思われる。この際、メインの割れ周辺にも亜鉛が拡散し組織、粒度、応力の状況に応じた微細な割れが発生するものと思われる。

これらの考察から、初期の亜鉛めっき割れを防止するため、溶接止端部の形状を滑らかにし、残留応力およびめっき時の熱応力の集中をできるだけ少なくすることが重要と考えた。

一方、鉄桁めっき時のウェブの面外変形によりウェブとスティフナーの溶接継手の廻し溶接止端部にめっき割れが多く発生することが知られている。これらのめっき割れの発生機構については、多くの研究報告がなされているが、金沢ら<sup>12)</sup>の垂直スティフナーを節としためっき前後のウェブ面外変形の反転（変形の飛び移りと称している）による2次応力の発生とめっき脆化説が妥当なようである。図-1に2次応力発生機構の模式図を示した。これらの変形とめっき割れ発生の相関に関する図-2の報告がなされている<sup>12)</sup>。

橋梁部材のめっき割れに関して以上のような知見に基づき、2分割非対称箱桁部材のめっき割れ防止に関して、実験的研究を行い、実際の部材製作、めっき後の結果をまとめて報告する。

#### 4. めっき割れの非破壊検査方法

実部材においてめっき割れ防止対策を施して万全を期したとしても、割れの検査方法を確立しておかないと、結果を把握できない。

めっき割れの非破壊検査方法として最も簡単な方法は目視検査と浸透探傷（以下PTと称す）である。目視検査は余程大きな割れでないと検出しにくい。まためっき被膜はマクロ外観上滑らかで、かつ均一の被膜を形成しているように見えるがミクロ的に見ると多くの欠陥を有し、

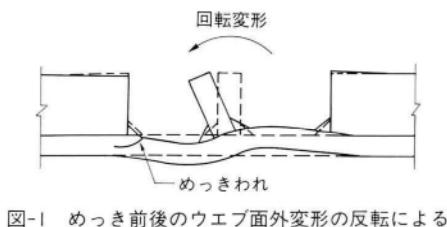


図-1 めっき前後のウェブ面外変形の反転による2次応力の発生機構<sup>12)</sup>

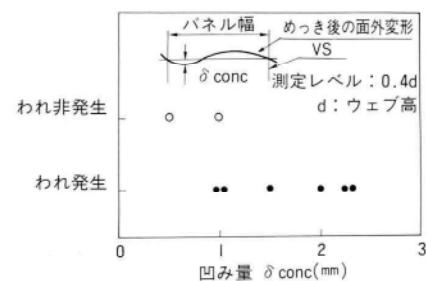


図-2 めっき後におけるウェブの凹み量とめっき割れの関係

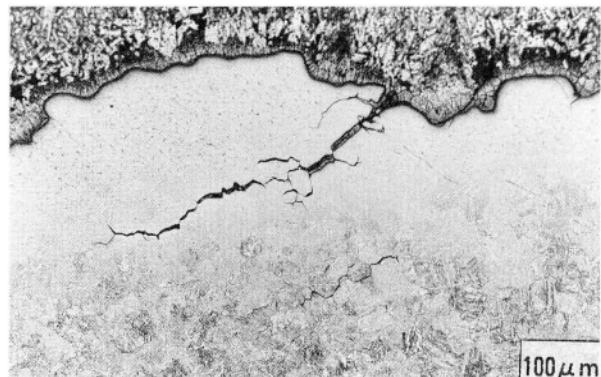


写真-3 ウエブとガセットの廻し溶接部の止端部のめっき割れから枝分れして発生しためっき割れ(ミクロ割れ)

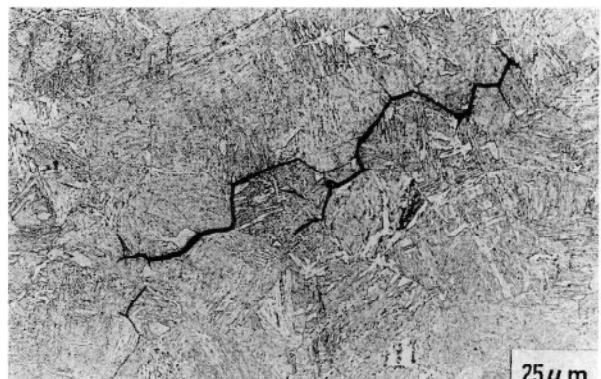


写真-4 同上のめっき割れ近傍の独立しためっき割れ(ミクロ割れ)

不均一な組成を有しているため母材に割れがなくともPTではいろいろな指示模様を示すことが多い。特に溶接ビード止端部では、めっき被膜厚の局部的不均一部において亜鉛の凝固過程における収縮により微細なめっき被膜割れが発生するため、PTでは被膜割れか母材の割れか識別できない場合が多い。

一般にめっき被膜の割れは、めっき被膜の割れと母材の割れとの組み合わせで下記の3通りのケースを考えられる。

- ① めっき被膜と母材の両方が割れている場合（主としてめっき割れ）
- ② めっき被膜だけが割れている場合
- ③ めっき被膜は健全であるが母材が割れている場合（溶接ミクロ割れ）

めっき割れの非破壊検査方法としては②のめっき被膜割れを排除し、①のめっき割れおよびできれば③の溶接割れが検出できるものが望ましい。

以上の観点からめっき割れの非破壊検査として、目視検査、浸透検査（PT）および磁粉探傷（MT）の有効性について実験を行った。

#### （1）めっき割れを有する小型試験体の製作

図-3、4に示す試験体を作成し、めっきを行ってめっき割れを発生させた。

#### （2）めっき割れの探傷試験方法に関する実験結果

図-3、4のめっき割れ試験体を用いて、目視検査、浸透探傷試験および磁粉探傷試験を行い、それぞれの結果と断面マクロ試験の結果を対比させ、表-1に示した。

##### ① 目視試験結果

目視試験では、かなり大きく開口した割れ以外は検出できなかった。実橋においてどの程度の割れが発生するか、未知であるが検査方法としては必ずし

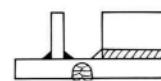
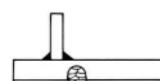
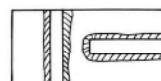
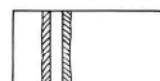


図-3(1) A試験体  
(すみ肉溶接部)

図-3(2) B試験体  
(廻し溶接部)

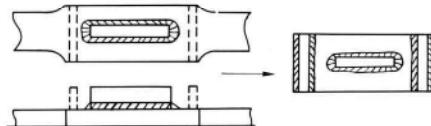
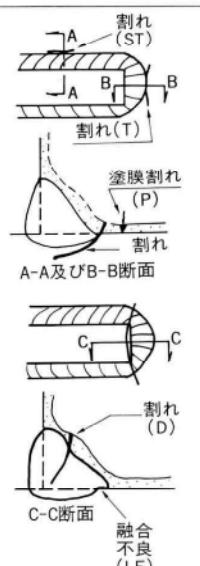


図-4 D試験体(疲労試験による廻し溶接部の微細キレツ発生試験)

表-1 小型試験体めっき割れ非破壊検査結果

試験体番号	めっき割れ注目部	目視検査(VT)	浸透探傷(PT)			磁粉探傷(MT)			破壊試験(断面マクロ試験)		
			1回洗浄	2回洗浄	乾式	湿式A	湿式B	塗膜割れ	母材割れ	割れ寸法	
A-1	すみ肉溶接止端部	×	○	×	×	×	×	○	×	-	
A-3	すみ肉溶接止端部	×	○	○	○	○	○	○	○	7.7(D) 2.7(ST)	
B-1	すみ肉・廻し溶接止端部	×	△	×	×	×	×	×	×	LF	
B-3	すみ肉・廻し溶接止端部	×	△	×	×	×	×	○	×		
B-4	すみ肉・廻し溶接止端部	×	○	○	○	○	○	○	○	5.5(D),LF	
B-5	すみ肉・廻し溶接止端部	×	△	×	×	×	×	○	×		
B-6	すみ肉・廻し溶接止端部	×	△	×	-	×	×	×	×		
B-7	すみ肉・廻し溶接止端部	×	△	×	-	×	×	×	×		
B-8	すみ肉・廻し溶接止端部	×	○	×	-	×	×	×	×		
B-9	すみ肉・廻し溶接止端部	×	△	×	-	×	×	×	×		
D-1-a	廻し溶接止端部	○	○	○>	-	○	○	-	-		
D-1-b	廻し溶接止端部	○	○	○	-	○	○	○	●		
D-2-a	廻し溶接止端部	×	○	-	-	○	×	-	-		
D-2-b	廻し溶接止端部	×	○	○	-	×	×	○	●		

注記) ×: 検出できず。△: 明確には判定できない(指示模様あり) ○: 検出可能  
●: 初期キレツ確認後メッキ



も妥当とはいえない。

### ② 浸透探傷試験

JISZ2343に示されたPTの手順で行うと、一般母材面でも多くの指示模様が認められる。表-1で明らかなように、ほとんどの試験体に割れまたは割れらしいものが存在すると判定され、過剰検出となる。前述したように、新しいめっき被膜には、ピンホール、被膜割れ等多くの微細欠陥がある。写真-5、6にめっき被膜断面に認められためっき被膜の割れの顕微鏡写真を示した。

めっき被膜の割れ等の被膜欠陥は深さが浅いことから、浸透液を散布後2回に亘って洗浄液で表面近くの浸透液を洗い流す方法（2回洗浄法）を用いれば、比較的深い母材割れを検出することが可能である。ただし検査の手間は非常に掛かる。

### ③ 磁粉探傷試験

一般に乾式と湿式がある。湿式は磁粉を粗粒度（湿式A）と細粒度（湿式B）を用いて行った。螢光磁

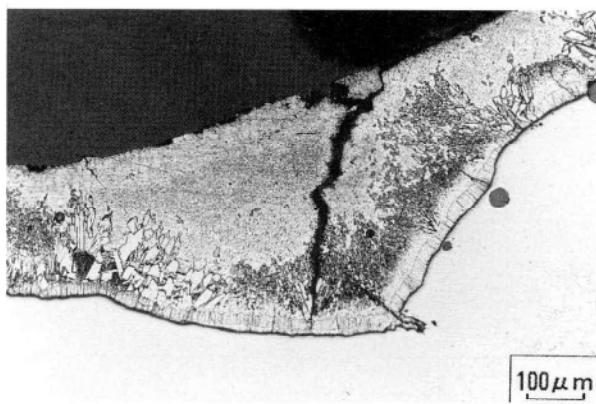


写真-5 めっき被膜割れの顕微鏡写真

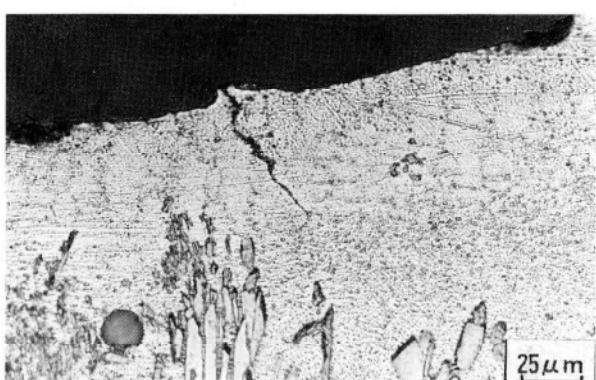


写真-6 めっき被膜表面の微細割れ

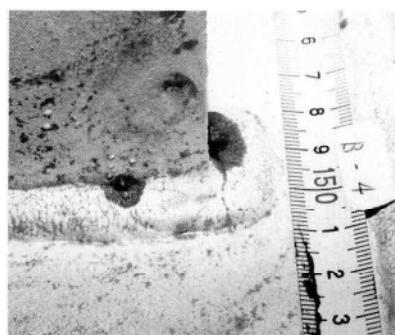


写真-7 B 4 試験体の浸透探傷（1回洗浄法）

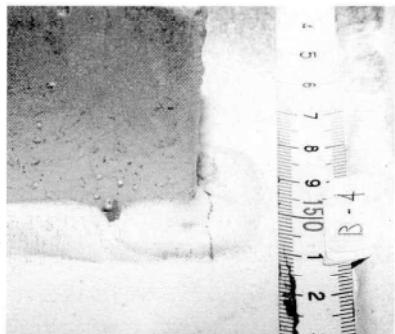


写真-8 B 4 試験体の浸透探傷（2回洗浄法）

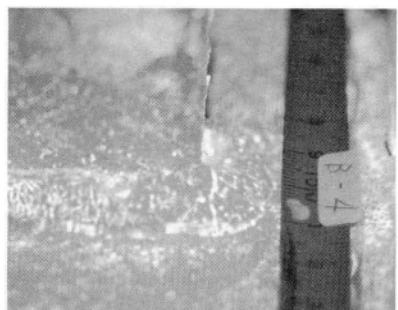


写真-9 B 4 試験体の磁粉探傷

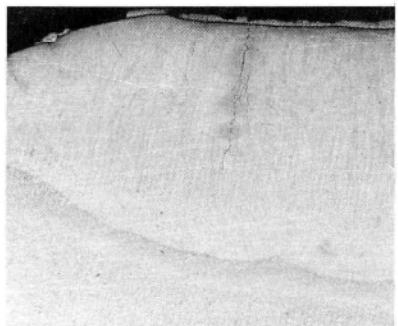


写真-10 B 4 試験体の断面マクロ写真

粉であるため、探傷検査はある程度暗くする必要がある。いずれにしても、検出能力は割れに対して直角に磁極をセットできるかどうかによって大きく変わる。これは探傷部位の空間的制約条件による。めっき被膜そのものは、非磁性体であり、被膜割れは検出しないのでPTのように判定に悩むことは少ない。乾式よりは、湿式の方が扱い易く、判定もし易い。磁粉の粒度の有意差は認められなかった。

**写真-7～写真-10**に、B4試験体のPT(1回洗浄法)、PT(2回洗浄法)、MTおよびその割れの断面マクロ写真を示した。めっき割れ試験方法としては、浸透探傷2回洗浄法か湿式磁粉探傷法が妥当なようである。

## 5. 各種試験体および試験結果

### (1) 1/2縮小断面試験体

実橋は縦2分割の曲線箱桁で、めっき時の部材形状はJ型断面の非対称部材であり、めっき変形およびめっき時の亜鉛浴の浮力によるめっき浸漬時間管理等に関するデータが少なく、実断面施工前に予備実験として図-9の実橋断面および長さの1/2の縮小試験体(J型断面但し板厚はすべて9mm、材質SS41)3体によるめっき試験を行った。

めっき割れに関係がある結果のみを下記に示す。

- ① めっき前後におけるめっき収縮量はJ型断面においてフランジ自由端よりウエブ側が大きい。従って部材の平面変形は、ウエブ側に凹になるように変形する。本試験体は全体的に部材の剛度は小さい。
- ② めっき後のウエブの面外変形は、フランジと垂直スティフナーまたはダイヤフラムで囲まれるパネルの変形パターンが図-5のように類型化された。水平スティフナー位置における橋軸方向のウエブの面外変形は部材自体の剛度が小さいため、平面曲りの影響が多くめっきによる変形の反転は認められなかった。水平スティフナーと下フランジの中央位置では図-5(1)に示したような山型変形およびS字変形が認められた。
- ウエブパネルの変形形状は部材全体の変形抵抗力によって異なるようである。
- ③ ウエブ材質がSS41にも拘らず、またウエブ板厚9mmと薄くウエブの面外変形も非常に大きかったにも拘らず、めっき割れはまったく認められなかった。

全体的な変形が支配的で、すみ肉溶接ビードの止端部に大きな応力が掛かる局部的変形が少なかったことによるものと思われる。

### (2) 実断面パイロットメンバー

実橋の製作、めっき施工に先立ち、実断面のパイロットメンバーを製作し、めっき施工を行い、磁粉探傷によるめっき割れ検査を行い検討結果の検証を行った。

パイロットメンバーの形状、寸法は図-9の実橋と同じとした。

#### ① 鋼材

めっき割れの防止対策として、溶融亜鉛脆化特性値( $S_{LM-400}$ )を0.42以上とするためフランジおよびウエブにTMCP鋼を用いた。まためっき焼け防止のためSiを0.20程度に抑えた。

TMCP鋼の化学成分を表-2に示す。

#### ② 製作方法

イ) フランジは板継後孔明けを行い、縦リブを先溶接し、ローラーベンディングで溶接角変形と縦ソリを矯正しパネルとした。

ロ) ウエブは孔明け後、水平スティフナーのみを先溶接し、ローラーベンディングで矯正し、その後

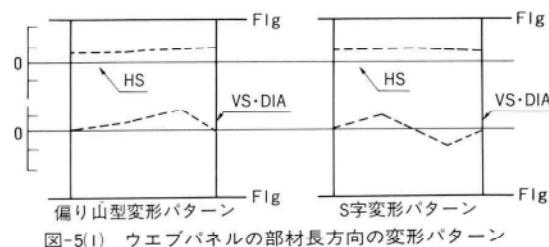


図-5(1) ウエブパネルの部材長方向の変形パターン

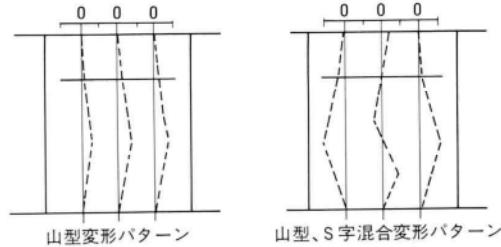


図-5(2) ウエブパネルの高さ方向の変形パターン

表-2 主要部材鋼材の化学成分(%)  
(SM50Y)

	板厚	C	Si	Mn	P	S	Ceq	$S_{LM-400}$
フランジ	18	0.15	0.18	1.12	0.012	0.003	0.34	56.49
ウエブ	10	0.15	0.20	1.13	0.014	0.003	0.35	55.41

垂直スティフナーを取り付け、溶接してパネルとした。

ハ) 組立は2分割フランジを添接し、箱断面として行い、角溶接およびダイヤフラム等の溶接も箱断面状態で行った。

ニ) 主桁端部添接部の加熱矯正、仕上げ等を行い、2分割部材として溶融亜鉛めっきを行った。

ホ) 亜鉛めっき完了後は一切矯正を行わなかった。

#### ③ めっき前後のウエブの面外変形

パイロットメンバーは実橋と同じ構造としたためウエブ外面に仕口、ピース等の取り付けがあり、ウエブの面外変形を測定できない箇所もあるが、主として水平スティフナーの位置で、めっき前後のウエブ面外変形を測定し図-6に示した。

鉄桁の場合は、フランジと水平スティフナーに囲まれたウエブ面が変形モデルのパネルとなるが、箱桁ではどちらかというと、フランジとダイヤフラムに囲まれたウエブ面が変形モデルのパネルとなる。

図-6によると、ダイヤフラム位置およびパネルの中央の垂直スティフナーの位置での水平スティフナーの廻し溶接部におけるめっき前後のウエブ面外変形の反転はそれ程著しくはない。すなわちめっき前後のウエブの面外変形は比較的少なく、逆に水平スティフナーの中央位置でのめっき前後の変形が大きい箇所が認められている。ウエブに水平スティフナーを

溶接後ローラーベンディングで矯正した際、ウエブに導入された溶接残留応力が解放されたことがめっき後の面外変形を少なくしていると思われる。一方、水平スティフナーの中央部での変形はスティフナー自由端のガス切断の残留応力の解放または溶融亜鉛めっき時の温度勾配による熱応力によるものと思われる。

これらの結果から水平スティフナー廻し溶接部のめっき割れは少ないことが予測された。

#### ④ めっき割れの検査

めっき割れの検査方法に関する予備試験結果を表-1に示したが、実橋部材での検査手順と施工性を確認するため、改めてPTおよびMTによる検査を行った。検査箇所はウエブ、フランジの廻し溶接部の他、ダイヤフラム、ブラケット等仕口の廻し溶接部515箇所全てとした。部材の廻し溶接部の構造、形状のディテールとその位置表示記号を図-7に示した。これらの結果を表-3に示した。

PT(1回洗浄法)では、めっき被膜割れによる欠陥指示模様として膨大な量が認められた。MTで慎重に検査した結果めっき割れと思われる欠陥は6箇所であった。なお、PT(2回洗浄法)も行ったが、洗浄程度の加減が難しくまた再現性に乏しく、手間も非常にかかることから途中で中止した。

これらMTで検出されためっき割れの詳細箇所は下

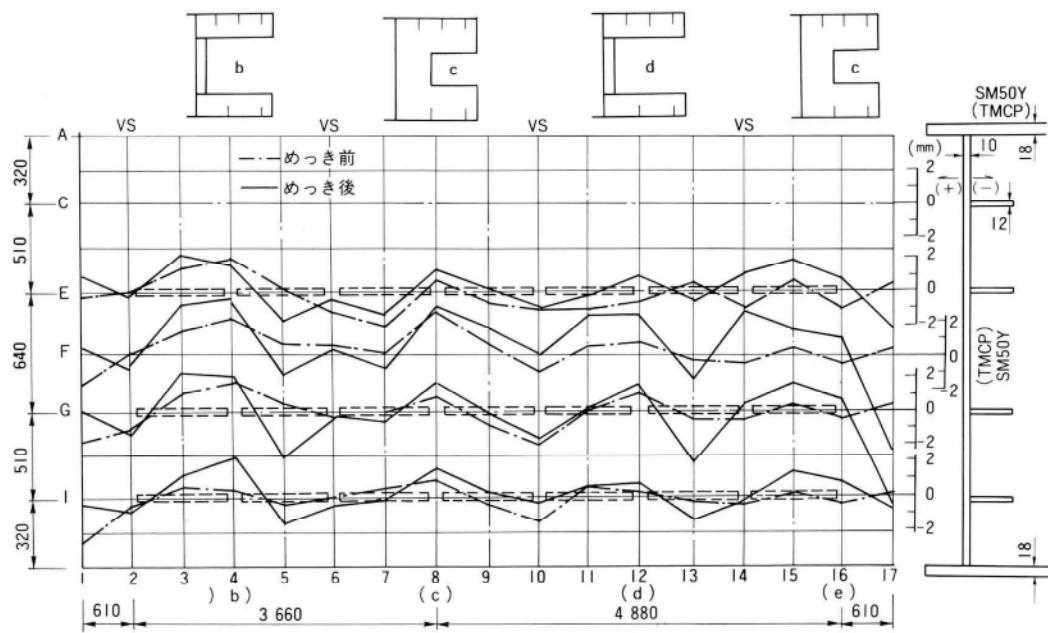


図-6 パイロットメンバーウエブ面外変形測定結果

記の通りである。

- めっき割れM 1 : 水平スティフナー2段部材の上から2段目の水平スティフナーの廻し溶接のウエブ側溶接止端部（割れ発生位置記号①）割れ
- M 2 : 水平スティフナー4段部材の上から4段目の水平スティフナーの廻し溶接のスティフナー止端部から溶着金属に入った（位置記号③）割れ
- M 3 : 水平スティフナー4段部材の上から3段目の水平スティフナーの廻し溶接のスティフナー止端部から溶着金属に入った（位置記号③）割れ
- M 4 : 上フランジ側横リブのウエブと上フランジの廻し溶接部の溶着金属に入った（記号③）微細な割れ
- M 5 : 上フランジ側横リブの縦リブスカラップの上フランジとの廻し溶接部（図-7 S II C箇所）の横リブウエブ側止端部から溶着金属に入った（記号③）割れ
- M 6 : ダイヤフラムと下フランジの廻し溶接部（図-7 S I D）のダイヤフラム側止端部から溶着金属に入った（記号③）割れ

これらのめっき割れの内、M 3 めっき割れのMT指示模様を写真-11に示した。またM 3 めっき割れの発

生した廻し溶接部の断面マクロ試験片を切り出し、断面マクロおよび顕微鏡試験を行った。

スティフナー板厚中央での断面マクロを写真-12に示した。MTで検出した割れはB部であるが、ウエブ側止端部（A部）に微細な割れが認められた。前述したようにウエブとスティフナーの廻し溶接は2台のロボットによりスティフナーの両側より同時溶

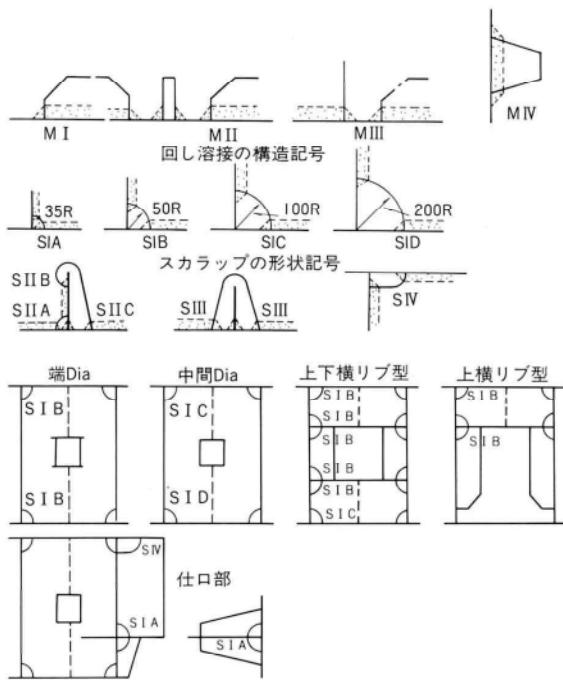


図-7 部材の廻し溶接部の構造・形状のディテールと表示記号

表-3 バイロットメンバー非破壊検査結果

構造・形状 記号(*1)	廻し溶接部位	浸透探傷（1回洗浄法）					湿式磁粉探傷			
		①	②	③	④	欠陥無し	①	②	③	④
M II M III	Hスティフナーとweb	35	1	22	0	26	1	0	2	0
M III	横リブFLGとWEB	6	0	12	0	20	0	0	0	0
M I	VスティフナーWEB	4	0	1	0	3	0	0	0	0
SIA. B	Vスティフナーと横リブFLG等	13	1	53	0	58	0	0	0	0
SIC	ダイヤフラムとWEB, FLG	5	3	37	0	125	0	0	0	0
SID	ダイヤフラムとWEB, FLG	2	0	5	0	1	0	0	1	0
S III	LF側横リブ等の縦リブスカラップ	15	0	10	0	7	0	0	0	0
S II	縦リブとUF側横リブ・ダイヤグラム	11	0	28	0	9	0	0	2	0
S IV	仕口ウェブとUF	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	合 計	91	5	168	0	251	1	0	5	0

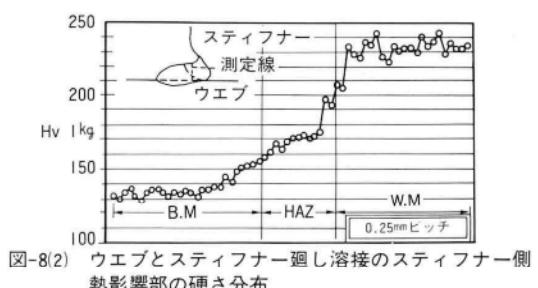
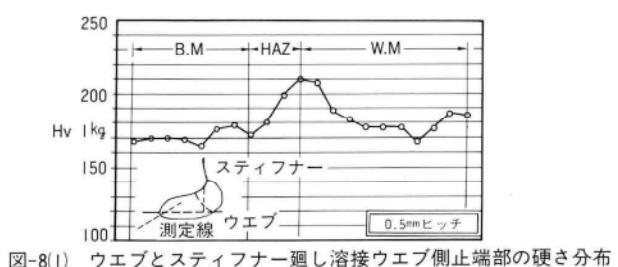
接し、スティフナー端部で2プール会合している。従って写真-12の断面マクロはスティフナー側へ溶け込んだ溶接金属とすみ肉ビードを形成している溶着金属とが認められる。B部の割れはスティフナー側に溶け込んだ溶接金属のデンドライトの会合部に沿っており、一見高温割れのように見受けられる。デンドライド会合部に偏析された低融点化合物への溶融亜鉛の拡散の難易および脆化促進の程度については今後の課題となるが、もともと会合部は脆化しており、めっき時の熱応力により割れが発生したことも否定できない。今後の課題としたい。

また、A部の割れは0.3mmの微細な割れであり、且つ写真-13で分かるようにめっき被膜の割れの上に、亜鉛槽より引き上げた時流れたと思われる亜鉛が割れ口を塞いでおり、磁粉液が浸透できず、MTで検出できなかったものと思われる。

**写真-12、13**で分かるように、普通鋼材のスティフナーの熱影響部の粒度に比べTMCP鋼のウェブ熱影響部の組織粒度は非常に小さい。

##### ⑤ 回し溶接部の硬さ試験結果

写真-12の断面マクロ試験片を用いた、回し溶接部のウェブ止端部とスティフナー熱影響部の硬さ試験結果を図-8に示した。ウェブ(TMCP鋼)の熱影響部の最高硬さはHv210、スティフナー(SS41)の熱影響部の最高硬さHv243であり、回し溶接部に拘らずウェブ熱影響部の硬さは良好であった。



## 6. 実橋のめっき割れ検査結果

実橋部材の1例を図-9に示した。製作した2分割部材は全部で20部材であり、これら全ての廻し溶接部についてMTを行った。検査箇所は全部で6000箇所にも及んだ。これらの結果を表-4に示した。

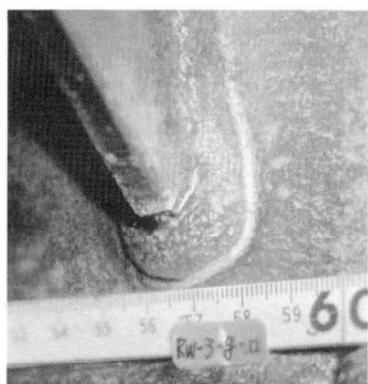


写真-11 めっき割れM3のMT結果

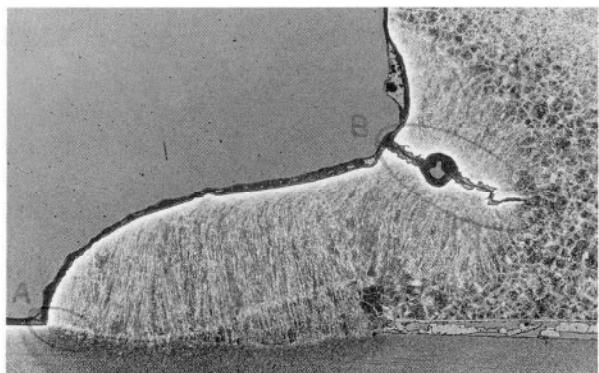


写真-12 めっき割れM3発生廻し溶接部の断面マクロ写真

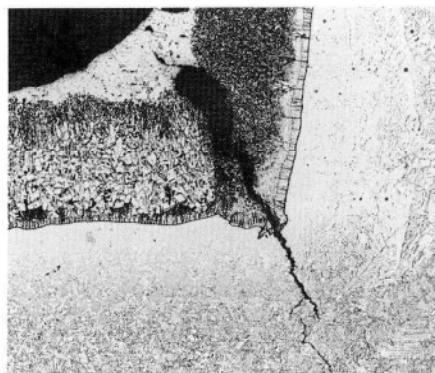


写真-13 ウエブ止端部に発生した微細割れのミクロ写真

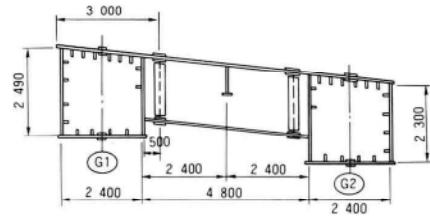
めっき施工は平成2年2月5日～2月13日まで行われたが、最初の日に行われた6部材のめっき割れが比較的多い。めっき施工条件等は別報「溶融亜鉛めっき箱桁橋梁の製作に関する検討とその成果」<sup>5)</sup>に詳しく示したが、なぜ2月5日のめっき施工部材にめっき割れが多かったかは明らかでない。

実橋に認められためっき割れでTMCP鋼を用いたフランジ、ウエブの溶接止端部に発生したものは、3件であり、非常に少ない。普通鋼を用いたダイヤフラム、横リブ等のスカラップの廻し溶接部の止端部または溶接金属に発生しためっき割れが以外に多い。

## 7.まとめ

曲線箱桁2分割非対称部材のめっき施工に当たって、めっき割れ防止に最大限の対策を検討し、実施した。めっき割れの検査も膨大な努力を払い実橋においては、実に6000箇所の探傷を行った。その結果めっき割れが多かったか、少なかったかは評価を待つとして、筆者らはこれらの検討結果が非常に有効であったと確信している。

特に、危惧していた水平スティフナーとウエブの廻し溶接のウエブ側止端部に発生しためっき割れが非常に少なかったことは、①TMCP鋼を用いて溶接熱影響部の硬化、組織的粗粒化を防止したこと。②ウエブ、フランジ



横断面図



側面図

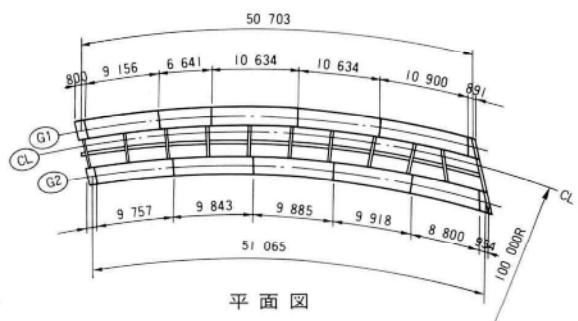


図-9 一般形状図

表-4 実橋の磁粉探傷結果

(探傷箇所約6000)

部材番号	めっき施工日	欠陥番号	構造・形状記号(*1)	廻し溶接部位	割れ発生位置記号(*2)
GI-5	2/5	N1	MII	2段目のHスティフナーの廻し溶接ウエブ止端部	①
GI-5	2/5	N2	SIB	ダイヤフラム上コーナー部スカラップ 廻し溶接部	③
GI-5	2/5	N3	SID	ダイヤフラム下 コーナー部 スカラップ 廻し溶接部	③
GI-6	2/5	N4	SIB	ダイヤフラム上コーナー部スカラップ 廻し溶接部	③
GI-6	2/5	N5	SIB	ダイヤフラム上コーナー部スカラップ 廻し溶接部	③
GI-6	2/5	N6	MT	横桁仕口補強リブ廻し溶接部	③
GI-6	2/5	N7	M I	横桁仕口補強リブ廻し溶接部	③
GI-4	2/6	N8	MII	2段目のHスティフナーの廻し溶接ウエブ止端部	①+④
GI-4	2/6	N9	MII	2段目のHスティフナーの廻し溶接ウエブ止端部	③+④
GI-4A	2/6	N10	SIB	ダイヤフラム上コーナー部スカラップ 廻し溶接部	③
GI-2	2/7	N11	M I	横桁仕口補強リブ廻し溶接部	②
G2-5	2/8	N12	SIB	ダイヤフラム上コーナー部スカラップ 廻し溶接部	②
G2-5	2/8	N13	M I	横桁仕口補強リブ廻し溶接部	②
G2-2	2/9	N14	MII	2段目のHスティフナーの廻し溶接ウエブ止端部	①+④
G2-3A	2/9	N15	MII	4段目Hスティフナーの廻し溶接ウエブ止端部	②
G2-3A	2/9	N16	SID	ダイヤフラム下 コーナー部 スカラップ 廻し溶接部	③

(\*1) 図-7参照 (\*2) 表-2付図参照

(めっき施工日2/5～2/13)

をパネル方式とし、スティフナー、縦リブ溶接後ローラーベンディングにより変形矯正し、その際に溶接残留応力の開放が行われたこと。③ウエブと水平スティフナーの廻し溶接をロボットで行ない止端部形状が良好だったこと。また止端部形状改善に積極的にグライインダーを掛けたこと。④溶融亜鉛めっきによる面外変形を非常に少なくすることができたこと。⑤めっきの施工管理をパイロットメンバー等の検討を通して適切に行なったこと。等による総合結果と思われる。一方、溶着金属のめっき割れについて今後の研究が必要であることが分かった。

本報で得られた知見は今後のめっき橋梁のめっき割れ防止に役立てば幸である。最後になったが、本研究を行うに当たり、新日本製鐵君津製鐵所渡辺部長代理をはじめとし、新日本製鐵には一方ならぬ御協力を頂いた。まためっき施工をお願いした新星鋼業にも多大なご協力頂いた。ここに深く感謝の意を表したい。

### 〈参考文献〉

- 1) (社)日本橋梁建設協会 塗装部会めっき橋ワーキンググループ；溶融亜鉛めっき橋に関するアンケート調査
- 2) 送電鉄塔用新HT60開発委員会；JSSC Vol.21、No.221、1985
- 3) 溶融亜鉛めっき橋梁の研究（溶融亜鉛ぜい化の防止について）、ZB研究会報告書、平成元年12月
- 4) 伊藤他；溶融亜鉛めっき箱桁橋梁の熱応力・変形に関する検討、宮地技報No.7、1991
- 5) 鈴木他；溶融亜鉛めっき箱桁橋梁の製作に関する検討とその成果、宮地技報No.7、1991
- 6) 菊地；溶融亜鉛による鋼の液体金属ぜい化とその対策、金属、1985.5
- 7) 菊地他；溶融亜鉛中における鋼の液体金属ぜい化割れに関する研究、日本造船学会講演会、昭和56年5月
- 8) 内川他；鋼の溶融亜鉛めっきによる溶融金属脆化割れに関する研究（第1報）、溶接学会全国大会講演概要35集、1984.10
- 9) 内川他；鋼の溶融亜鉛めっきによる溶融金属脆化割れに関する研究（第2報）、溶接学会全国大会講演概要35集、1984.10
- 10) 金沢他；溶融亜鉛めっき橋梁用高張力鋼の研究（その1）、巴組鐵工所技報No.1、1988.3
- 12) 金沢他；溶融亜鉛めっき中での応力拳動の研究（その2）、巴組鐵工所技報No.2、1989.3
- 13) 金沢他；溶融亜鉛めっき中での応力拳動の研究（その3）、巴組鐵工所技報No.3、1990.3

1990.10.31受付

### グラビア写真説明

#### 花畔大橋

札幌市北部郊外に隣接する石狩湾新港のアクセス道路として、又道央圏の交通需要に対応する為、国道231号の新ルート改築の一環として石狩川水系茨戸川に架かるハーブ型の斜張橋です。

古くは、架橋地の石狩町周辺には馬車鉄道が通っていた歴史のある道ですが、現在はその面影もなく、近くには当社も施工致しました札幌大橋、石狩河口橋等数橋の長大橋が架けられております。

約5年の工事期間を要し平成2年11月に開通し、夜にはライトアップをされ美しい姿を見せております。

工事の思いとして、仮組立、輸送工事で知恵を絞った様に工事関係者から伺っております。（川村）

#### 丹生谷橋

丹生谷橋は、昭和13年12月に開通し、当時の工費として、121,000円をかけて施工され、この橋が開通するまでは、渡し舟による交通のみで大水のたびに川留めとなり通行が途絶し、そのため、この地方は当時「大津か、草津か、仁宇の津か」と云われ30軒を越える宿屋や、料理屋で繁盛をきわめたが、橋の開通とともにそれらの店は次第に店をたたみ、今はその面影もない。開通当時「この橋を一パンは通らんと極楽に行けん」と用もないのに行ったり来たりする者が後をたたなかつたと云う、エピソードを地元の古老が語ってくれた。

平成の新橋となり、親柱には丹生谷の鷺敷町や各町村の新たな発展とその歴史を刻もうと飛上がろうとしている「鷺」を飾っている。（古市）

# 大入熱溶接を用いたボックス柱角継手 熱影響部の超音波探傷による欠陥特性

**Ultrasonic Flaw Detection of Defects of Heat-Affected Zone in Dadoed Box Column Corner Joint Shown when Heat-Welding Is Applied**

中野秀二\* 田中一男\*\* 大月真一\*\*\*  
*Shuji NAKANO Kazuo TANAKA Sinichi OHTSUKI*

## Summary

Minor defects are sometimes found by ultrasonic flaw detection in the zones of thick-plate box column corner joints affected by welding heat after two-electrode submerged arc welding has been employed. Though the occurrence of defects is rare and the defects themselves are minor because of the plate thickness the correction of the defects greatly affects productivity and production processes.

Thus, first, the causes of the defects were investigated by collecting defective samples and examining them; and secondly, the inferred causes were quantitatively verified by controlled defect reproduction tests using model specimens and in which the extent of the causes (internal quality of the steel and diffusive hydrogen content in the deposited metal) were varied.

## 1. はじめに

建築鉄骨に四面溶接構造のボックス柱が使用されてから久しいが、当初に比べると対象量が飛躍的に増大し、使用される板厚も大幅に厚くなるなど、部材製作の生産性向上は必須であった。

この背景の下に、ここ数年の間にボックス柱の角溶接作業は、これまでのサブマージアーク溶接（一電極）やガスシールドアーク溶接との組み合わせ溶接に代わり、多電極サブマージアーク溶接が、広く用いられるようになった。

従来に比べて使用される鋼板の内質は改良されて來ているが、二電極サブマージアーク溶接を適用して製作する角継手部にごく希ではあるが、超音波探傷検査により欠陥エコーが検出される場合がある。この種の欠陥は溶接部フュージョンラインから溶接熱影響部、場合によっては母材部にかけて発生するものである。発生頻度は少ないが、発生した場合は同一母材、同一溶接条件に集中するケースが比較的多い。日本建築学会の超音波探傷規準で判定すると、その程度は軽微であるが、溶接ビード長手方向に断続的に発生する為、その補修作業は工数・工程等生産への影響が大きい。この種の欠陥は発生要因がつきとめられておらず、またその構造耐力への影響も明確にはなっていない。

そこで実際にボックス柱製作中に遭遇したいくつかの

欠陥事例を検証して発生要因を抽出し、モデル化した試験体を用いた再現実験により欠陥発生メカニズムを解明すると共に、防止対策等についての検討を実施した。

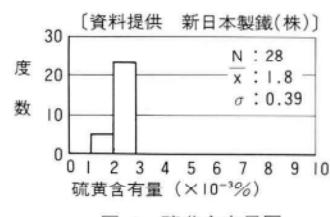
本報告では、これまでの欠陥事例を紹介し、基礎的な再現実験結果について報告する。

## 2. 発生事例

### (1) 欠陥の発生状況

欠陥の発生は、通常の管理された生産状況下で起り、規則性が無く偶発的とも言える状況である。その発生頻度は年間数例程度（平成元年度）であるが、発生する場合は同一母材、同一溶接条件に集中し、その補修作業は生産へ大きく影響する。

その際の鋼材（ボックス柱用50キロ高張力鋼）は硫黄含有量が図-1に示すようにJIS規定値をはるかに下廻り極めて清浄な鋼材である。欠陥は大電流サブマージア-



\* 松本工場製造部生産技術課係長

\*\*\* 松本工場製造部生産技術課

\*\* 松本工場製造部長

試験条件: 10%ナイタール  
倍率: ×1

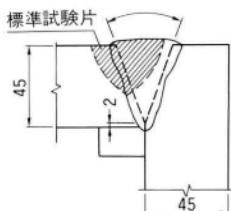
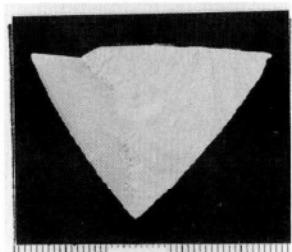


写真-1 欠陥部サンプル写真

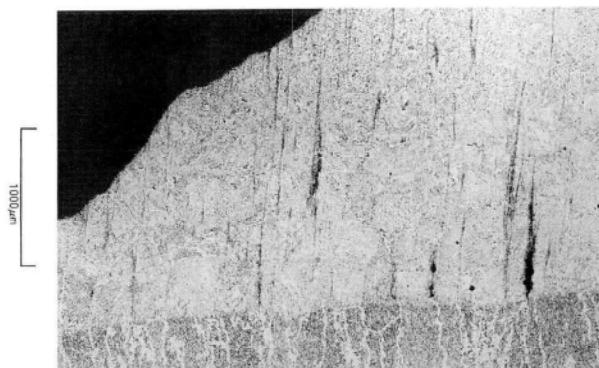


写真-2 拡大写真

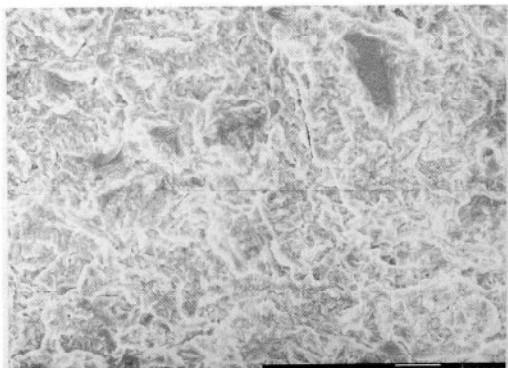


写真-3 破面写真

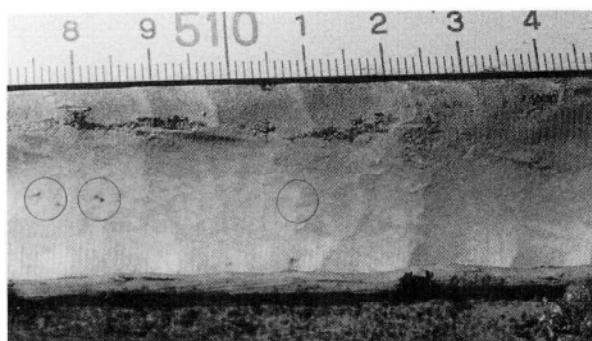


写真-4 浸透探傷写真

表-1 成分表

(Wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ceq
	×100			×1000		—
取鍋成分分析	17	40	140	14	2	0.42
チェック分析(1)	18	41	142	13	1	0.44
チェック分析(2)	16	41	140	11	1	0.41

表-2 溶接条件表

バス数	L or T	電流(A)	電圧(V)	速度(cm/min)	入熱(KJ/cm)
1	L	1850	38	27	295
	T	1300	48		
2	L	1100	36	32	173
	T	1100	48		

ワイヤーY-A 6.4φ フラックス NSH-52

ク溶接により施工した角継手部のフランジ側、ウェブ側いずれにも発生する事が確認されているが、炭酸ガス溶接で施工した場合は、この種の欠陥は発生していない。

## (2) 欠陥の事例

- ① 実製品 (□-900×900×45材質SM50B) で発生した欠陥部をトレパンソーで採取した。その試料のマクロ組織を写真-1に、部分拡大したものを写真-2に示す。
- ② 欠陥の破面を写真-3に示す。
- ③ 欠陥部をアークエアーガウジングを行い、浸透探傷した結果を写真-4に示す。
- ④ 鋼材の成分分析値を表-1、溶接条件を表-2に示す。

この他にも数例の同種欠陥を発見し調査したが、いずれも同様の欠陥性状である事が確認された。

## (3) 欠陥および発生状況の特徴

- ① 欠陥は微小なもので発生頻度はごく少ないが、ある生産ロットに連続して発生する。
- ② 欠陥は目視検査では発見し難く、50倍程度に拡大してようやく確認できる程度である。
- ③ 欠陥の形態は、顕微鏡で拡大して観察すると割れが認められる。実製品の欠陥を浸透探傷検査で確認できたものも同様であり、溶接線方向に断続的にある範囲に発生している。

- ④ 欠陥はフュージョンライン直近あるいはやや離れた部位から溶接熱影響部にかけて発生しており、この部分は再結晶粗粒域にあたる。
- ⑤ 欠陥発生は鋼材の厚さによる違いはあまり無く、フランジ側、ウェブ側いずれにも発生し、その発生頻度は同程度である。また、ダイヤフラム取り付け位置に特に多いという傾向は見られず、特に収縮応力が支配的な要因とは考えられない。
- ⑥ 欠陥部の破面は、水素性の脆化破面であり、部分的に非金属介在物が認められる。
- ⑦ 欠陥の発生は大電流（二電極）サブマージアーク溶接に集中しており、炭酸ガス溶接では発生していない事から、拡散性水素量あるいはそのトラップ等の挙動と密接に関係しているのではないかと推測される。
- ⑧ 鋼材の化学成分値を見ても、全く不具合な点は見当らない。特にここに示した発生事例のように硫黄が0.001~0.002%程度の良好な鋼材でも欠陥が発生している事、0.006~0.008%程度の鋼材の場合に必ずしも欠陥が発生していないことから、単に硫黄の含有量と欠陥の発生とを結び付けられるものではないと考えられる。

### 3. 再現実験

#### (1) 実験計画

前述の事例のように、多くの要因が考えられるが、第一段階として、その中で大きな影響を与えると思われる次の二点に着目して再現試験を実施し、原因およびその程度を把握する事にした。

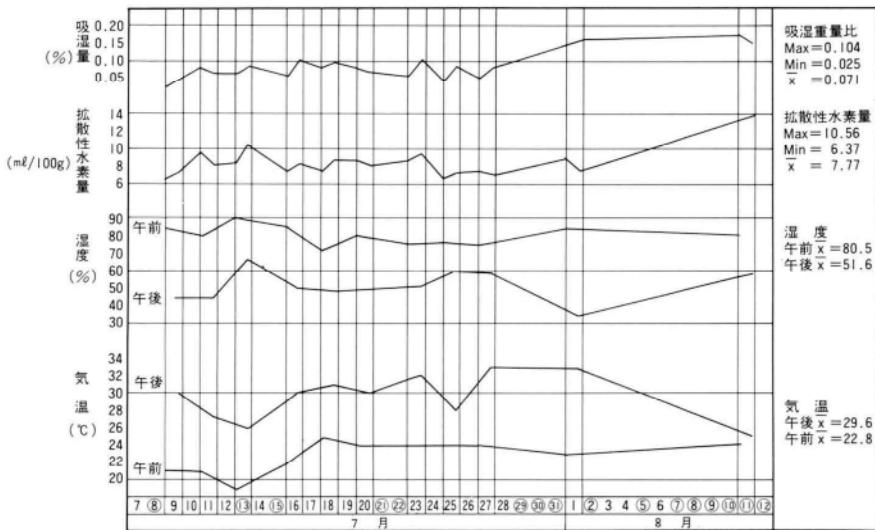
① 鋼材の内質（清浄性・均質性）のレベル

② 溶接金属の拡散性水素量レベル

供試鋼材はSM50A厚板35mm（メーカー新日鐵）で、非金属介在物の形態等を制御して内質レベルを変えた4種類とした。

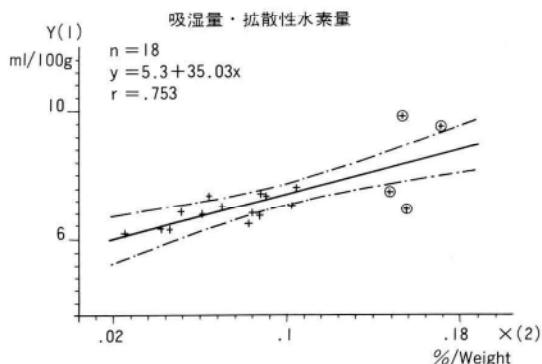
溶接金属の拡散性水素量は、実施工時の状態を基準にする事とした。フラックスの吸湿程度により拡散性水素量が左右される事に着目し、工場で使用中のフラックスを最も吸湿しやすい散布ホース口で採取しその吸湿量と溶接金属の拡散性水素量を測定（JIS Z3118鋼溶接部の水素量測定方法に準拠）した結果を図-2に示す。

その結果、吸湿量（重量比）は0.05~0.1%、拡散性水素量は7~8mL/100gであった。図-2中の日付けの○印は溶接作業の実施されなかった日を示す。その翌日の測定値はやや高目になる傾向が見られる。特に8月11日は数日間溶接作業を実施しなかった為増加傾向が顕著で



- 1) フラックスは散布ホース口より約2000g採取した。
- 2) 気温・湿度の測定は午前8時及び午後1時。
- 3) 吸湿重量は採取したフラックス40gを電気炉(350°C h)で乾燥して測定した。
- 4) 拡散性水素量の測定はJIS Z3118鋼溶接部の水素量測定方法に準拠した。
- 5) 日付の○印は溶接作業の実施されなかった日を示す。
- 6) 平均値等は8月1、11日を除く。

図-2 気温・湿度及び使用フラックス吸湿重量・拡散性水素量測定図（1990年7~8月）



1) 図-2 の吸湿重量・拡散性水素量のプロットである。  
2) ○印は図-2 中 8月1日及び11日の数値であり実使用とは異なる。

図-3 吸湿重量・拡散性水素量相関図

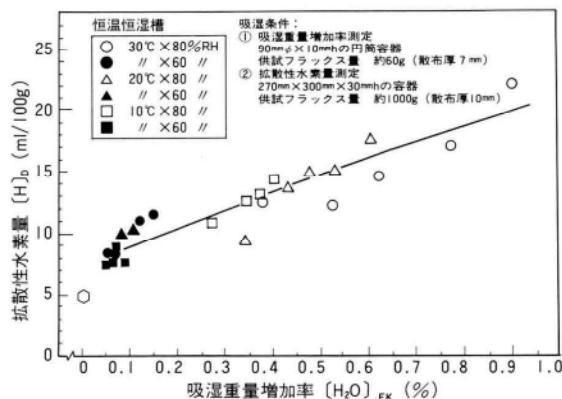


図-4 フラックス吸湿重量増加率と拡散性水素量の関係  
〔資料提供 日鐵溶接工業(株)〕

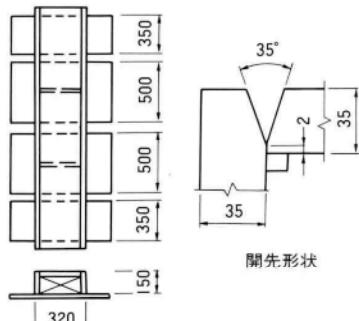


図-5 試験体形状図

表-3 拡散性水素量規格値表

JIS規格	規 格 名	規 格 値 (ml/100g)
Z 3211 D 4316	軟鋼用被覆アーク溶接棒 低水素系	≤10
Z 3212 D 5016	高張力鋼用被覆アーク溶接棒 低水素系	≤10
Z 3313 YFW 25	軟鋼及び高張力鋼用アーク 溶接フラックス入りワイヤ	≤8.5

表-4 供試鋼材成分表

(Wt%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ceq	備考
	×100	×1000			—		
鋼板A	17	39	140	17	4	0.42	一般材
鋼板B	15	46	144	10	1	0.41	内質対策-I
鋼板C	15	43	143	11	1	0.41	内質対策-II
鋼板D	13	27	135	11	2	0.37	内質対策-III

表-5 溶接条件表

バス数	L or T	電流	電圧	速度	入熱
		(A)	(V)	(cm/min)	(kJ/cm)
		L	1650	36	28
T		1200	47		248

あった。

その吸湿量と拡散性水素量の相関を図-3に示すが、  
 $[H] = 35.03 \times [H_2O] + 5.3$  ( $\gamma = 0.753$ )

$[H]$  : 拡散性水素量 ml/100 g

$[H_2O]$  : 吸湿量 (%)

である。

また、乾燥したフラックスによる吸湿量、拡散性水素量の相関を調べた結果を図-4に示すが、吸湿量0.1%前後では前述の図-3と良く一致している。

参考の為に他の溶接方法の拡散性水素量の規格値を表-3に示す。

これ等を参考に、供試フラックスは吸湿あるいは乾燥させる事により調整し、実際の施工状態での平均的拡散性水素量レベル 7 ~ 8 ml/100 g とその上下の 3 レベルとした。

再現試験は前述の 4 種類の供試鋼材と、これ等 3 種類の供試フラックスを組み合わせて実施した。

試験体形状は、図-5 に示す如く U 型とし、中間に 2 箇所板厚 25 mm のダイヤフラム（3 方向完全溶込み溶接）を取り付け、裏面は主材と同厚の鋼板で拘束した。なお、鋼板 B はボックス柱用として特に内質対策が取られている鋼板であり、通常その適用も多いため、試験体の数量を各々 2 体とし、その他は各々一体とした。

## (2) 試験結果

再現実験に用いた供試鋼材の化学成分（取鍋分析値）を表-4、溶接条件を表-5 に示す。得られた実験結果を以下に述べる。

① 各種の超音波探傷検査 (70 度斜角探傷、垂直探傷、

表-6 超音波探傷結果表(斜角探傷)

鋼板 レベル	拡散性水素量レベル											
	少 ←			2			→ 多					
	マーク	1or2	F	W	マーク	1or2	F	W	マーク	1or2	F	W
鋼板 A	A 1	1	○	○	—	—	—	—	A 3	1	×	×
		2	○	○						2	×	×
鋼板 B	B 1	1	○	○	B 2	1	○	○	B 3	1	○	○
		2	○	○		2	○	○		2	×	○
	B1R1	1	○	○	B2R1	1	△	○	B3R1	1	△	○
		2	○	○		2	△	○		2	○	○
鋼板 C	—	—	—	—	C 2	1	○	○	C 3	1	△	△
						2	○	○		2	△	○
鋼板 D	—	—	—	—	D 2	1	○	○	D 3	1	○	○
						2	○	○		2	△	△

凡例 1or2 1 : 第一溶接ビード 2 : 第二溶接ビード  
F, W F : フランジ側 W : ウエブ側  
記号 ○ : 欠陥無 △ : 欠陥有(合格) × : 不合格

合否判定は建築学会規準による

表-7 超音波探傷結果表

探傷 の 方 法	欠陥位置(mm)			エコー高さ $\epsilon h$ (%)	備考
	X	Y	d		
斜角探傷*1	全線	22	19	30	領域II
垂直探傷*2	15 65 85 110 130 175 375 400 50 100 130 48 200 350 400	17 17 20 17 17 25 25 18 50 47 48 46 45 50	21 20 20 19 20 20 19 19 17 17 17 17 17 17	B B C C C C C C D C C D D C	—
Cスキャン 探傷	図-7 参照			図-8 参照	—

\*1 : 70° 斜角探傷

\*2 : STB V2の欠陥エコーをCRT 80%に設定  
(STB V2の2mmφ平底穴のエコー高さは建築学会基準の3.2  
mmφ横穴(ARB)エコー高さより5dB低い)  
エコー高さ A :  $\epsilon h \leq 10$  B :  $10 < \epsilon h \leq 30$   
C :  $30 < \epsilon h \leq 80$  D :  $80 < \epsilon h$

Cスキャン超音波探傷) の内、斜角探傷検査の結果を表-6 に示す。

- ② 拡散性水素量レベル3の溶接においては、鋼板A(一般材) はいずれの部位でも不合格である。鋼板B(内質対策-I) の一体は不合格、もう一体および鋼板C(内質対策-II)、鋼板D(内質対策-III) は合格ではあるが欠陥が発生している。

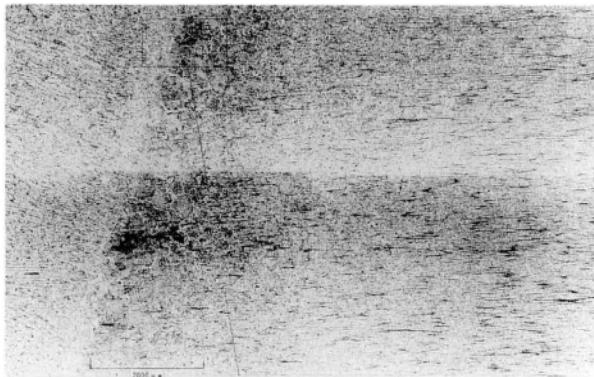


写真-5 拡大写真

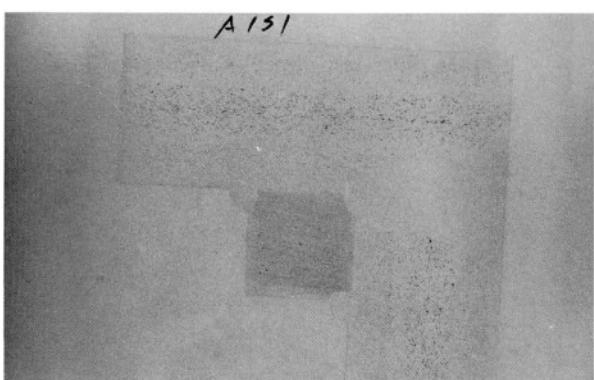


写真-6 サルファプリント写真(鋼板A)

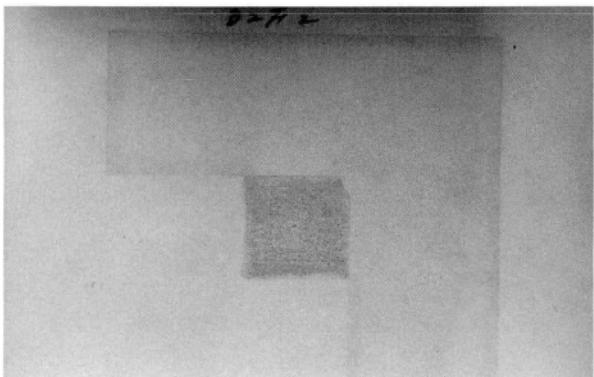


写真-7 サルファプリント写真(鋼板B)

- ③ 拡散性水素量レベル2の溶接においては、鋼板B(内質対策-I) では、2体の内一体は合格欠陥が発生し、もう一体および鋼板C(内質対策-II)、鋼板D(内質対策-III) は欠陥は全く発生していない。  
④ 拡散性水素量レベル1の溶接においては、いずれの鋼板にも欠陥は発生していない。  
⑤ 鋼板B(内質対策-I) と拡散性水素量レベル3

の組み合わせ試験体（マークB3）から採取した欠陥を調べると（写真-5）、実工事での発生事例に類似している。また、破面観察でも水素性の脆化破面を呈しており、今回の試験は「2. 発生事例」を良く再現している。

- ⑥ B3試験体で実施した斜角探傷、垂直探傷、Cスキャン超音波探傷検査の結果を表-7に示し、その斜角探傷と垂直探傷の欠陥位置のプロットを図-6、Cスキャン超音波探傷の出力図を図-7に示す。（Cスキャン超音波探傷検査の概要を図-8、図-9に示す。）

- ⑦ 鋼板A、鋼板Bの溶接部のサルファプリントを写

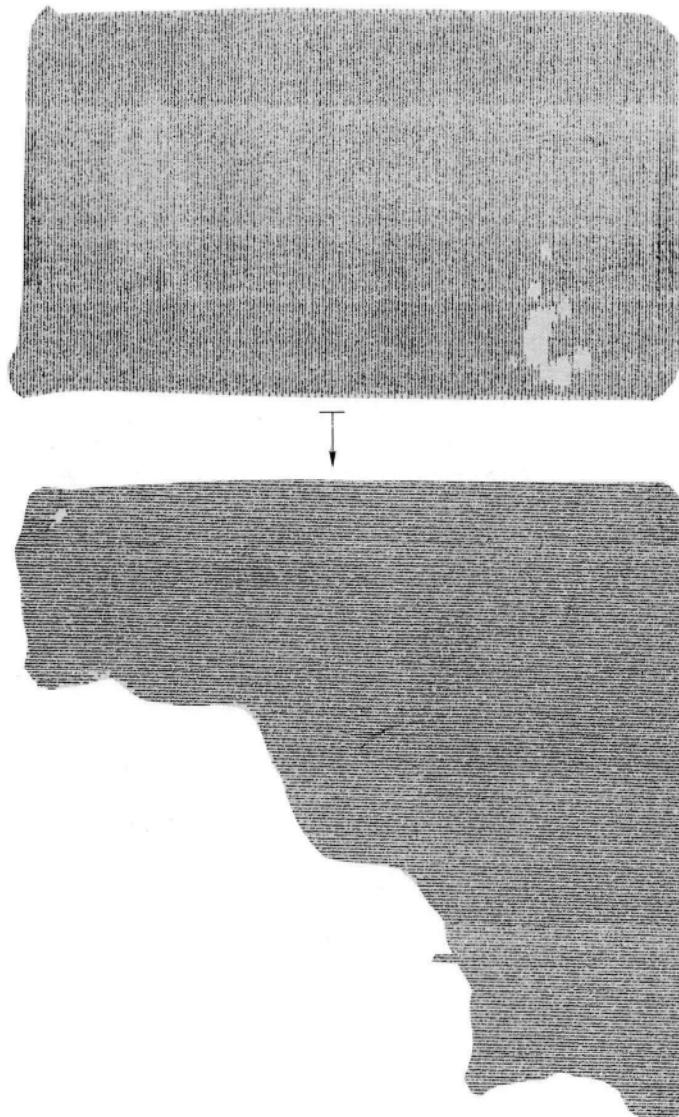


図-7 Cスキャン出力図

真-6および写真-7に示したが、いずれもサルファバンドは極めて軽微で良好である。

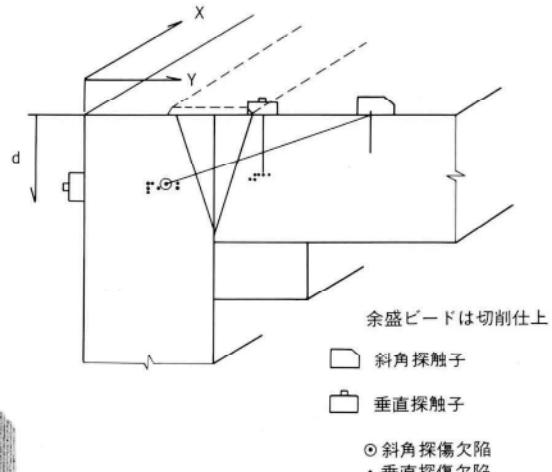


図-6 超音波探傷測定要領図

## 4. 考察

本実験の結果をまとめて述べる。

- ① 拡散性水素量レベル3（フラックスを強制的に一定量吸湿させたもの）においては、
  - 鋼板Aでは建築学会超音波探傷規準の判定で不合格となる。
  - 鋼板Bでは一体は部分的に不合格欠陥が検出されおり、もう一体および鋼板C、鋼板Dは一部にご

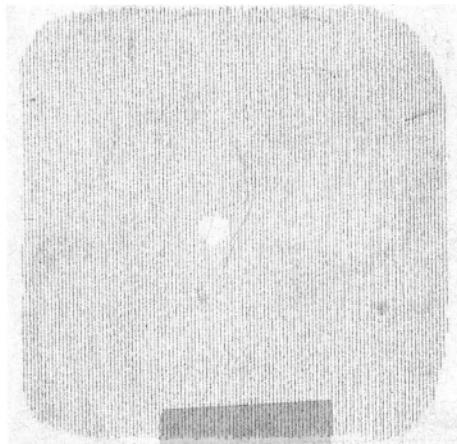


図-8 探傷感度設定図

く低い欠陥エコーが検出（表-6中△印）されているものの合格であるが、この組み合わせは注意を要する。

- 従って鋼板A、鋼板Bは拡散性水素量レベル3では適當と言えない。また、鋼板C、鋼板Dもその他の条件によっては不合格になる危険性があると考えられる。
- ② 拡散性水素量レベル2（実施工状態のもの）においては、
  - 鋼板Bでは一体は全くエコーが検出されず合格であり、もう一体は合格であるがごく低い欠陥エコーが検出（表-6中△印）されている事より、今回の再現実験以外の条件によっては、不合格になる危険性があると考えられ、今後の課題である。
  - 鋼板C、鋼板Dでは全くエコーが検出されず合格であるが、この鋼板が今回の実験のために特に製造されたものであり、使用するに当たっては鋼板Bと同様に、経済性とのバランスを考慮する必要がある。
- ③ 拡散性水素量レベル1（フラックスを『JIS Z3118鋼溶接部の水素量測定方法』の規定により乾燥したもの）においては、
  - 鋼板A、鋼板Bともエコーが検出されず合格である。
  - この状態のフラックスを使用すれば、通常の一般材でも問題なく使えると思われる。しかしこのフラックス状態は、実験室では達成可能であるが実作業でこの状態を維持する事はむずかしく今後の課題である。
- ④ 超音波探傷検査について

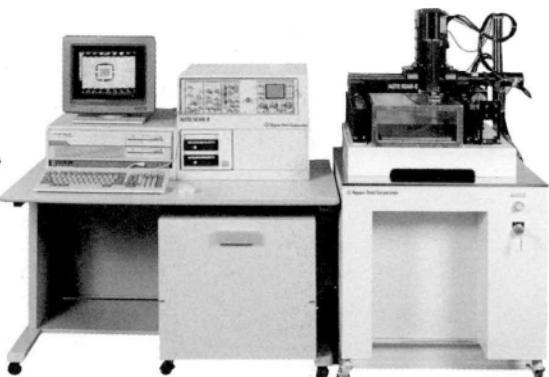
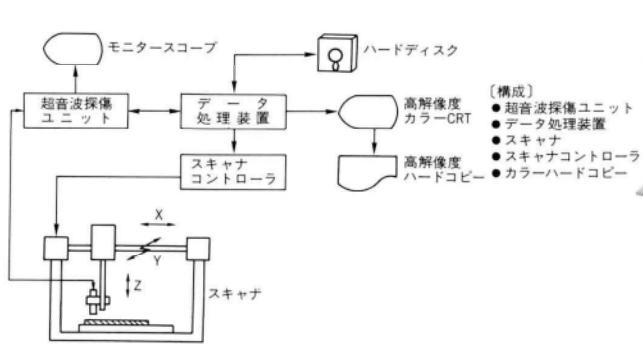


図-9 システム構成図 [資料提供 日鐵テクノス(株)]

- 同一欠陥部位に斜角探傷、垂直探傷、Cスキャン超音波探傷検査の3種類を実施したが、斜角探傷と垂直探傷・Cスキャン超音波探傷検査とは必ずしも一致した結果となっていない。
- これは今回のように**微小な欠陥の場合**、斜角探傷検査においては、形状や方向によっては、欠陥の検出が困難な場合がある為と思われる。しかし、この点については一般的にも言われている事であり、更にデータを積み重ねて確認する必要がある。
- しかし垂直探傷、Cスキャン超音波探傷検査を実施する為には余盛ビードの切削除去や探傷機器の制約があり、現在の斜角探傷検査にかえて実際のボックス柱角継手に適用することは極めて困難である。

## 5.まとめ

実施工においては、炭酸ガス溶接で欠陥が発生していない事、および、今回の試験でも拡散性水素量が少ない場合には発生していない事から、拡散性水素量が要因の一つである事がわかった。また、同一拡散性水素量においては、鋼材の内質レベルと欠陥の発生程度に相関がある事から、この点も要因である事が確認できた。

これ等から、欠陥の発生メカニズムは以下の様に推定される。

溶接中、フェュージョンライン近傍から溶接熱影響部に再結晶粗粒域が形成され、その部位に存在する微小な非金属介在物に水素が凝集し、溶接収縮応力と相まっていわゆる水素割れが発生する。この非金属介在物等の内質の程度は、サンファプリントや清浄度の評価では差異は認められず、その分布状況および形態により左右されているものと考えられる。この他に要因として開先形状、溶接金属の形状、溶接積層状況に起因する力学的な事項が関係しているとも考えられ、今後の検討課題である。

今回はU型試験体による再現実験であったが、これまで定性的に言われてきたこの種の欠陥発生の要因について鋼材内質程度と、溶接金属の拡散性水素量の相関について、ある程度定量的に把握することができた。しかし、その限界についてはまだ明確にされておらず今後の課題である。

なお、本論の目的ではなかったが実験の段階で従来より言っていた斜角探傷と垂直探傷の欠陥検出能の差も確認できた。この種の微小欠陥を評価する場合には注意を払う必要がある。

最終的には、強度試験を実施してこの種の欠陥が構造耐力に与える影響を確認する必要がある。

## 6.今後の課題

今回の基礎的な再現実験結果を踏まえて、実作業規模での実験を実施し、さらに欠陥発生の要因追究、防止対策を講じたい。今後の課題を以下に述べる。

- ① 鋼材の内質程度と欠陥発生の拡散性水素量の限界について確認する。
- ② 発生事例から収縮応力を支配的要因と考えず、U型試験体による再現試験を実施したが、実構造物がボックス柱である事を考慮し、実大ボックス柱による実験により、欠陥の発生状況を確認する。
- ③ 溶接入熱（電流・電圧・速度等）、開先形状、溶接金属の形状、積層状況等他の溶接方法を含めた条件の違いによる影響についての検討をする。
- ④ この種の欠陥が強度（構造耐力）にどの程度影響を及ぼすか確認する。

以上で報告を終了しますが、本実験を実施するに当り、新日本製鐵株式会社、日鐵溶接工業株式会社、日鉄テクノス株式会社殿に御協力戴きました事に対し心より感謝致します。

## 〈参考文献〉

- 1) 森田、江波戸、舟橋、小南、里見、小坂；溶接組立箱型断面柱のかど溶接に関する研究 日本建築学会学術講演梗概集 1989 10月
- 2) 黒木出版社；溶接部組織写真集
- 3) 田中、中野、望月、渡邊；二電極サブマージアーク溶接を用いた厚板ボックス柱角継手熱影響部の超音波探傷欠陥について（その1）、日本建築学会関東支部研究報告集、1990年度
- 4) 日本建築学会；鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準・同解説、1989

1990.10.31受付

# 構造用に用いたステンレスクラッド鋼の施工試験

## Working Test on Stainless Clad Steel Plates Used as Structural Components

中野秀二\* 鳴沢明雄\*\* 田中浩\*\*\*  
*Shunji NAKANO Akio NARUSAWA Hiroshi TANAKA*

### Summary

Stainless clad steel plates were used in a building recently constructed by our company. This is the first time such plates have been used as a structural material in a building.

Working tests were performed prior to the manufacture of the stainless clad steel plates to determine their weldability, their ultrasonic flaw detecting characteristics, and their heat straightening characteristics and to understand the working conditions for their manufacture. The results of the tests are presented in this paper.

### 1. まえがき

このたび、当社においてステンレスクラッド鋼板を建築物に採用した工事が実施された。

ステンレスクラッド鋼板が、建築物の構造材に使用されるケース（ただし合せ材部は構造材としていない）はまれである。用いられた背景には、ステンレスクラッド鋼板は、無垢のステンレス鋼板に比べ経済的である事はもちろんであるが、

- ① 降伏点が明確で、構造材として使い易い。
- ② 母材側の溶接方法が従来の普通鋼材と同一でよい。
- ③ ステンレスの溶接部に比べ超音波探傷検査の信頼性が高い。

等のメリットによる。

反面、今回の工事のクラッド鋼板は、意匠上ののみならず、母材が構造部材であるため、合せ材側の溶接部は耐食性に関して合せ材のそれらと同等以上である事はもちろん、母材継手部の機械的性質についても十分な性能が要求され、溶接作業にかなりのむずかしさがある。

超音波探傷についても、明確でない点があり、それらの特性を試験体で十分に確認しておく必要がある。

また、溶接等の加工途中で生じた歪の、加熱による矯正は、母材と合せ材では、熱処理の条件が異なるため、その取り扱いがむずかしい等、従来の普通鋼材とは異った加工上の問題点がいくつかある。

\* 松本工場製造部生産技術課係長

\*\*\* 松本工場製造部生産技術課課長代理

\*\* 松本工場製造部生産技術課長

これらの施工条件、検査条件を確認するために実施した施工試験

- ① 溶接施工試験
- ② 溶接部の超音波探傷試験
- ③ 加熱矯正施工試験

について報告する。

今回の施工試験に用いたクラッド鋼板は、母材を鋼材25mm、36mm (SM50B)、合せ材としてオーステナイト系ステンレス 2 mm (SUS304) を用いた、JISG3601 (ステンレスクラッド鋼) の圧延クラッド鋼 1 種 (記号RI) である。そのミルシートを表-1 に示す。また、対比のために実施した普通鋼材28mm (SM50B) のミルシートも合せて示す。

### 2. 試験計画

実施した各種の施工試験の試験計画を順をおって説明する。

#### (1) 溶接施工試験

溶接施工試験については、溶接工事の施工にあたり、採用する継手形状が

- I ) 突合せ継手
- II ) 十字継手 (部分溶込み仕様)

に大別されるので、それらの継手に対して、クラッド鋼

と、それと同形状の普通鋼材の試験も実施し、両方を対比しながら試験を進めた。

また、クラッド鋼の角継手の仕上溶接においてステンレス鋼帶状電極肉盛溶接方法(以後バンドアークという)を採用するため、それらの施工条件についても試験を実施して条件の把握をした。

溶接施工試験の試験体形状、試験片採取要領を図-1に示す。

溶接工は、普通鋼の有資格者(JIS Z3801及びJIS Z384 1)でかつステンレス鋼の資格(JIS Z3821)も有する者が従事した。

また、試験に用いる溶接材料、とりわけ合せ材のステンレス部においては、耐食性、耐割れ性等を考慮して、

表-I 供試鋼材のミルシート (wt%)

鋼種	板厚mm	材質	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	衝撃値 kgf·m	降伏点 kgf/mm <sup>2</sup>	引張強さ kgf/mm <sup>2</sup>	伸び %
			×100	×1000	×100	—	—	—	—				
ステンレス クラッド鋼	27	SUS304	2	41	155	35	1	940	1855	17.5	33	53	32
		SM50B	18	38	133	10	3	—	—				
	38	SUS304	1.1	35	146	35	1	927	1868	24.1	38	55	34
		SM50B	16	34	134	10	2	—	—				
普通鋼	28	SM50B	16	44	143	20	8	—	—	19.5	36	53	28

低C(炭素)、高Cr、Ni(クロム、ニッケル)の溶接材料を選択した。それらの使用溶接材料を一覧にして表-2に示した。

クラッド鋼の溶接時の予熱については、母材側は、その予熱基準に従い、合せ材(SUS304オーステナイト系ステンレス)においては、予熱は行わないものとした。

## (2) 溶接部の超音波探傷試験

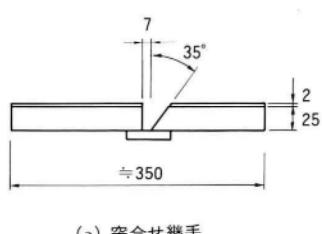
ステンレスクラッド鋼の溶接継手に超音波探傷検査を

表-2 溶接材料一覧表

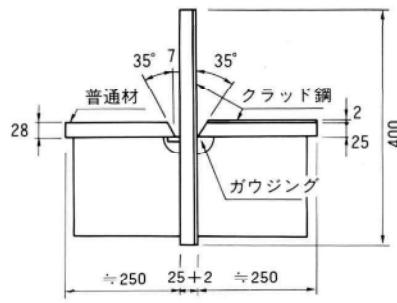
	部位	規格	銘柄
突合せ継手	SUS部分	JIS Z3323 YF309LC	SF-309L 1.2φ
	普通鋼部分	JIS Z3312 YGW11	YM-26 1.2φ
十字継手	ハサミ板 SUS側	JIS Z3323 YF309LC	SF-309L 1.2φ
	ハサミ板 普通鋼側	JIS Z3312 YGW11	YM-26 1.2φ
角継手	SUS仕上げ (バンドアーク)	JIS Z3322 YB304	NS-309 0.4×50 NB-12
	SUS下盛り	JIS Z3323 YF309LC	SF-309L 1.2φ
	普通鋼部分	JIS Z3312 YGW11	YM-26 1.2φ

削除	30	600
継手引張	65	
表曲げ	55	
側曲げ	25	
衝撃試験片 (溶接金属)	60	
衝撃試験片 (熱影響部)	60	
衝撃試験片 (ボンド部)	60	
成分分析	30	
継手引張	65	
表曲げ	55	
側曲げ	25	
マクロ	40	
削除	30	

削除	55	600
継手引張 (はさみ板付)	65	
表曲げ	55	
衝撃試験片 (溶接金属)	60	
衝撃試験片 (熱影響部)	60	
衝撃試験片 (ボンド部)	60	
成分分析	30	
継手引張 (はさみ板無)	65	
表曲げ	55	
マクロ	40	
削除	55	



(a) 突合せ継手



(b) 十字継手

図-I 試験体形状及び試験片採取要領

導入する目的で超音波特性を調べる。本工事で使用する鋼板厚さを表-3に示す。

本試験に使用した鋼板は38mmであるが、ステンレス厚の実測値は3mmであった。

超音波探傷を本鋼材に導入することに対する一番の問題点は、「ステンレス部による音響減衰がどの程度あるか。つまり感度補正值はいくら必要か。」である。

そこでSTB-A2試験片とステンレスクラッド鋼の感度補正值を測定することとした。測定には、探触子を2個使用したV透過法を採用する。最初に図-2の①～②の配置で透過パルスの高さおよびビーム路程を測定する。透過パルスの読み取りは透過パルスの高さが50%になるときのゲインのdB値とする。次に探触子を①～③の配置に移動し同様の測定を行う。以上の試験を、感度調整用試験片STB-A2と厚さ38mmのステンレスクラッド鋼に対して行う。両者を比較することにより感度補正值が判る。

また、平板継手溶接部試験片（図-3）の表裏を研磨加工し、各部を超音波が透過するときの特性を確認する。確認試験の探触子配置は試験結果の項に示す。この試験にもV透過法を採用することとした。

### (3) 加熱矯正施工試験

クラッド鋼の加工上で、その機能に影響をあたえ、むずかしい点として、前項で述べた合せ材部分の溶接の外

表-3 鋼板の基本厚さ

(単位:mm)

全厚	母材厚 (SM50B)	ステンレス厚 (SUS304)
24	22	2
27	25	2
30	28	2
38	36	2

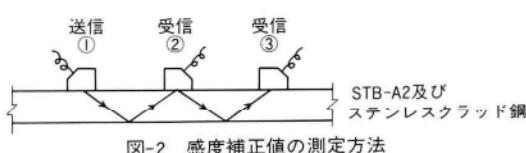


図-2 感度補正值の測定方法

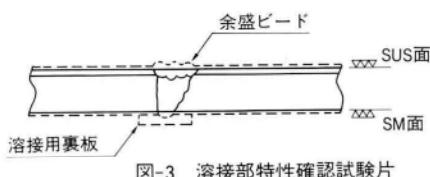


図-3 溶接部特性確認試験片

に加工途中で発生した歪の加熱矯正がある。機械矯正が望ましい訳であるが、その製品の形状、大きさによっては、機械矯正が不可能な場合が生じ、加熱矯正によらねばならない。

クラッド鋼における熱処理の条件は、母材と合せ材では異なるため取り扱いがむずかしい。即ち、オーステナイト系ステンレス鋼は、600°C近辺の温度域では、結晶粒界にCr炭化物(Cr<sub>24</sub>C<sub>6</sub>)が析出して、粒界内側に沿ってCr欠乏層が発生し、ステンレス鋼の耐食性が劣化するので、鋭敏化温度域をさけるため、加熱後の急冷が望ましい。

一方、母材の鋼材SM50Bは高張力鋼であり、加熱後の急冷は避けるべきで、空冷もしくは、650°Cまで空冷後、水冷すべきである。

これらの点を踏まえ、本工事の施工に際して加熱矯正条件を把握するため、次の表-4に示した加熱矯正施工試験を実施した。併せて試験番号K1,N1においては、リブプレート溶接による歪(曲り)の発生状況も測定した。

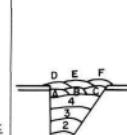
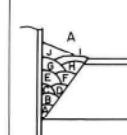
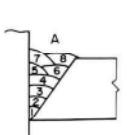
### 3. 試験結果及び考察

実施した各種の施工試験の試験結果について説明する。

表-4 加熱矯正施工試験一覧表

マーク	試験概要	試験片採取要領
K1	● クラッド鋼を、表面温度900°Cで加熱矯正して空冷する。 ● 热伝対で温度分布を測定する。 ● リブプレート溶接による曲りを測定する。	<p>JIS G 0575 硫酸・硫酸銅試験 I 500</p>
N1	● 普通鋼で、K1と同様の試験を実施する。	K1に同じ (JIS G 0575 硫酸・硫酸銅試験は除く)
K2	● クラッド鋼を、表面温度900°Cで加熱後、650°Cまで空冷後、水冷する。	<p>I 500 KLT KLS KB KM I 700</p>
K3	● クラッド鋼を、表面温度900°Cで加熱後、直ちに水冷する。	K2に同じ
凡例  引張り  ロール方向  母材(非加熱部)  ロール直交方向  加熱矯正部		

表-5 溶接条件一覧表

	クラッド鋼	バス	電流	電圧	普通鋼		バス	電流	電圧
					A	B			
突合せ 断手		I	300	30			I	300	30
		3	//	//			3	//	//
		4	//	//			10	//	//
		A	170	26					
		3	//	//					
		C	//	//					
		D	190	29					
		3	//	//					
十字 継手		F	//	//					
		A	230	35			I	280	31
		A	//	//			3	//	//
		J	//	//			8	//	//
		A	210	33			I	280	31
		B	//	//			B	//	//
		3	//	//			3	//	//

## (1) 溶接施工試験

突合せ継手、十字継手の溶接条件を表-5に示した。この表中の電流、電圧値からも解るように、突合せ、十字継手共に合せ材側の溶接、特に突合せ継手の第一層目は、普通鋼からの炭素の希釈率を低くするため比較用に実施した普通鋼材28mm(SM50B)に比べて低電流になつておらず、従つて積層形状からも溶接バス数が多くなっていることが判る。

これらの試験体より採取した各種の試験片の機械試験の結果を表-6に、代表的なマクロ試験片、引張試験片を写真-1に示した。

これらの結果より

- ① 合せ材のハク離等もなく、十分な引張強度を確保している。
  - ② いずれの曲げ試験においても欠陥は発生しておらず、良好な結果である。
  - ③ いずれのマクロ試験においても欠陥は発生していない。
  - ④ 衝撃試験においては、判定基準値2.8kgf·mを十分満足し、良好な値である。
  - ⑤ 合せ材部の成分分析値は、判定基準を満足し、また、フェライト量も割れ防止には最適量といえる。
- ここで、合せ材部の成分分析値の判定基準について述べる。

表-6 溶接施工試験の機械試験結果一覧表

	クラッド鋼 試験結果								普通鋼 試験結果										
	引張り	マーク	降伏点kgf/mm <sup>2</sup>	引張強さkgf/mm <sup>2</sup>	破断位置		引張り	マーク	降伏点kgf/mm <sup>2</sup>	引張強さkgf/mm <sup>2</sup>	破断位置		引張り	マーク	降伏点kgf/mm <sup>2</sup>	引張強さkgf/mm <sup>2</sup>	破断位置		
突合せ継手		T 1	38.6	56.8	Depo～BM			T 1	37.8	56.6	BM			T 2	39.4	56.4	BM		
		T 2	35.8	56.6	Depo～BM														
曲げ	表曲げ		良	側曲げ		良	曲げ	表曲げ		良	側曲げ		良						
衝撃	Depo	5.1	HAZ	9.3	Bond	17.6	衝撃	Depo	12.4	HAZ	17.2	Bond	16.6						
SUS部成分分析	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	フェライト量											
	0.03	0.42	1.31	0.021	0.003	12.00	22.92												
マクロ	良								マクロ	良									
引張り	マーク	降伏点kgf/mm <sup>2</sup>	引張強さkgf/mm <sup>2</sup>	破断位置		引張り	マーク	降伏点kgf/mm <sup>2</sup>	引張強さkgf/mm <sup>2</sup>	破断位置		引張り	マーク	降伏点kgf/mm <sup>2</sup>	引張強さkgf/mm <sup>2</sup>	破断位置			
十字継手	引張り	T 1	49.1	57.3	ハサミ板BM			T 1	39.9	57.8	レ形開先例BM			引張り	T 2	39.1	58.6	//	
		T 2	—	58.6	SUS側BM														
	曲げ	良								曲げ	良								
	衝撃	Depo	4.0	HAZ	5.8	Bond	5.1	衝撃	Depo	5.4	HAZ	14.0	Bond	13.0					
	SUS部成分分析	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	フェライト量										
		0.03	0.41	1.38	0.022	0.002	12.15	21.80											
	マクロ	良								マクロ	良								

今回用いた溶接材料SF-309 L(規格JIS Z3323YF309LC)は異材継手用でNi,CrがSUS304用の溶接材料(規格JIS Z3323YF308LC)の基準よりやや高いため、その判定においては、表-7の如くとした。フェライト量の算出においては、JIS G0601のフェライト量算定組織図によるが、一般に5%~10数%のフェライト量が、溶接金属の高温割れには有効であると言われている。

以上の溶接施工試験より、実工事における母材部と合せ材の異材継手部の溶接施工に伴う留意点として次に列挙する事柄が整理できる。

- ① 適切な溶接材料の選定
- ② 希釈率をできるだけ低くする溶接条件の選定
  - イ) できるだけ、低電流を用いる。
  - ロ) アーク長を短く保つ。
  - ハ) ストレートビートとし、過大なウィーピングを避ける。
  - 二) 層間温度はできるだけ低くする。
- ③ 溶込みを低くしている関係から、前層のスラグを巻込みやすいので、十分にスラグ除去を行う。
- ④ 母材側の溶接金属で、合せ材を溶融しないこと。
- ⑤ 母材側の溶接金属は、写真-1(a)に示す如く、合せ材手前1~2mmとする。
- ⑥ 写真-2に示すような、合せ材部に、母材側の溶接金属が、とび出した形状は、耐食性能を著しく劣化させる要因となる。このような形状の場合は、母材側溶接時に、最終層をグラインダーがけもしくは、ガウジングにより、下盛りの形状を整えることが大切である。

その他、普通鋼材の溶接時の注意事項である。開先内の清掃、適切なねらい位置の確保等については当然のことである。

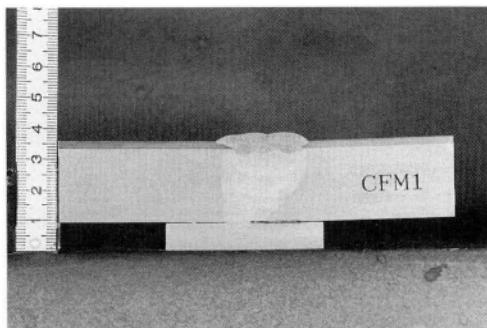
次に、クラッド鋼の角継手に使用する、バンドアーク溶接について述べる。

この部位については、継手性能としては、部分溶込み仕様であり、その試験目的を、合せ材の耐食性能および仕上り外観とした。

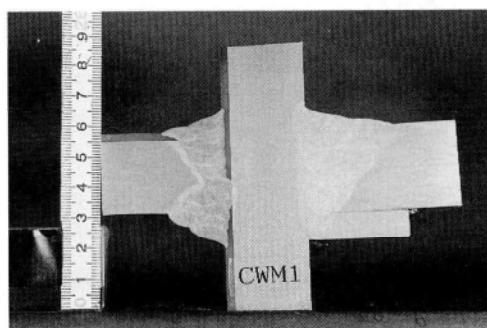
それらの、マクロおよび外観を写真-3に示した。いずれも、内部欠陥もなく、外観も良好であり、成分

表-7 SUS溶接部の成分分析判定規準 (wt%)

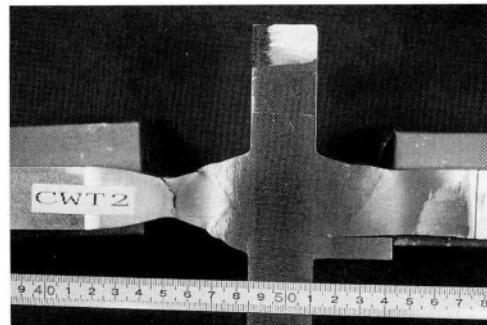
成 分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
判定規準	$\leq 0.08$	$\leq 1.00$	0.5 ~2.50	$\leq 0.04$	$\leq 0.03$	9.0 ~14.0	18.0 ~25.0



(a) クラッド鋼突合せ継手マクロ試験片



(b) クラッド鋼十字継手マクロ試験片



(c) クラッド鋼十字継手引張試験片

写真-1 マクロ及び引張試験片

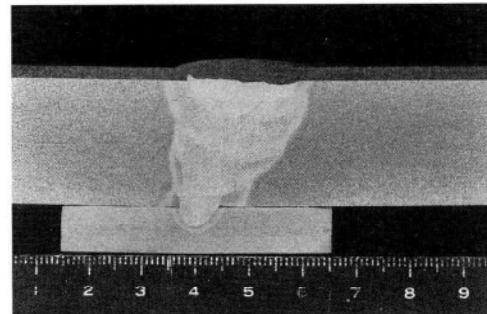


写真-2 クラッド鋼突合せ継手マクロ試験片

分析値も前述した突合せ溶接継手と同様、判定基準を十分満足していた。

このバンドアークの特徴として

- ① 母材の希釈率が低い。
- ② 仕上面の外観が優れている。
- ③ 施工能率が良い。

等があり、実工事のクラッド鋼の角継手の仕上溶接として採用する事とした。

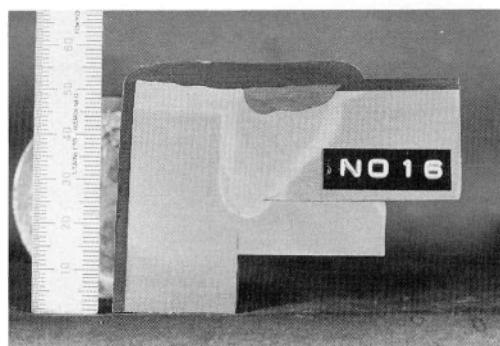
表-8 感度補正値の測定結果

試験片	探傷面	スキップ数 項目	ビーム路程[mm]				
			0.5 <sup>§</sup>	1.0 <sup>§</sup>	1.5 <sup>§</sup>	2.0 <sup>§</sup>	2.5 <sup>§</sup>
STB-A2	—	ビーム路程(mm)	44(22)	88(44)	132(66)	175(88)	219(110)
		透過パルス(dB)	11.5	14.5	17.0	19.5	22.0
	SUS面	ビーム路程(mm)	111(56)	222(111)	333(167)	444(222)	—
		透過パルス(dB)	15.5	21.0	26.5	31.0	—
クラッド鋼 38mm	SUS面	ビーム路程(mm)	111(56)	222(111)	333(167)	444(222)	—
		透過パルス(dB)	15.5	22.0	26.5	31.0	—
	SM面	ビーム路程(mm)	111(56)	222(111)	333(167)	444(222)	—
		透過パルス(dB)	15.5	22.0	26.5	31.0	—

使用探触子 5Z10×10A70(AS5299、AS5613)、実屈折角：共に70.0°  
探傷器 USK7-S、室温：20°C



(a) 2バス仕上外観



(b) 1バス仕上マクロ試験

写真-3 バンドアーク溶接

## (2) 溶接部の超音波探傷試験

感度補正值の測定試験結果を表-8に示す。

これをグラフ化すると図-4のようになる。これから判かるようにビーム路程110mmまでは透過パルスの最大差が1dBである。110mmは38mmの試験材を屈折角70度の斜角探傷するときのダイレクト探傷最大ビーム路程とほぼ一致する。つまり、ステンレスクラッド鋼をダイレクト探

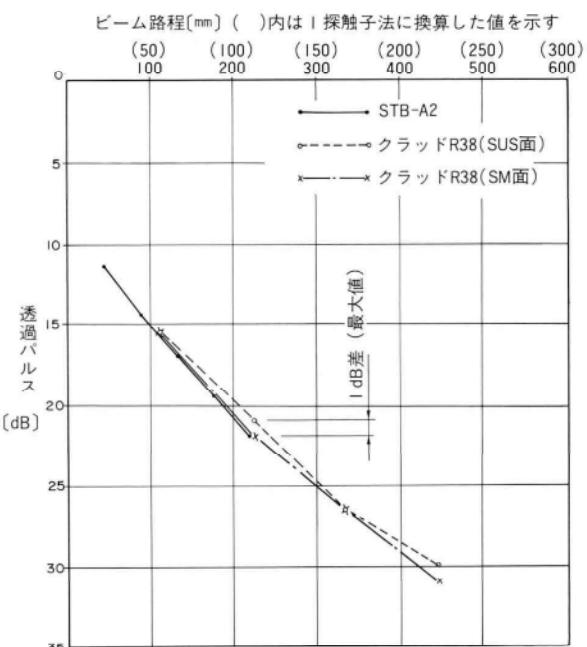


図-4 感度補正值の測定結果

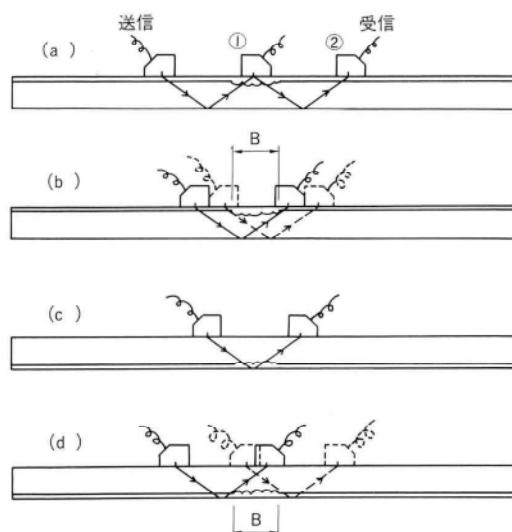


図-5 平板継手溶接部の透過特性確認試験方法

傷する範囲では、STB-A2との感度差は最大でも1dBであり、感度補正の必要がないことになる。

注) JISZ3060付属書1「平板継手溶接部の探傷方法」では「求めた感度補正量が2dB以下の場合には、感度補正する必要はない」としている。

次に平板継手溶接部の透過特性の確認試験結果について記す。図-5(a)、(b)はステンレス面よりの送受信であり、(a)は溶接部で受信または溶接部でスキップする場合の試験を示す。(b)はステンレス溶接部の影響を受けない範囲の試験を示す。(c)、(d)は母材面からの試験であり、(e)は溶接部でスキップする場合を示す。(d)はステンレス溶接部の影響を受けない範囲の試験を示す。

試験の結果、図-5(b)および(d)の場合ほとんど減衰なし、(a)および(e)の場合20dB以上減衰するということを確認した。これは(b)および(d)は普通鋼材と同一に超音波探傷を適用できるが、(a)および(c)の場合は超音波探傷の適用はできないということを意味する。しかし、母材溶接金属とステンレス溶接金属部との境界はエコー形状で明確に識別できた。

また、十字継手（部分溶込み継手様）のUT特性を確認するために図-6に示すようなT字試験体についての超音波探傷試験を行った。A面から欠陥1の探傷は（データNo.1）は幾何学的に不可。あとの3つも林状エコーが多く識別しにくいが、欠陥エコーと思われるものを記録した（表-9）。データNo.2、3はエコーが低くほとんど判別がつかない。データNo.4は領域IIIまで上るが欠陥が見えない実探傷では判別できにくいと考えられる。

### (3) 加熱矯正施工試験

クラッド鋼を加熱矯正する場合は、できるだけ母材側から加熱する事が望ましいが、実際の製品加工では、歪の発生状況により、合せ材側よりの加熱が考えられるので、今回の施工試験では不利な条件として、合せ材側からの加熱とした。

試験番号K1、K2、K3、N1の各種の機械試験の結果を表-10硬さ分布図を図-7に示した。

これ等の、機械試験の結果より、最後まで空冷した試験体(K1)および650°Cまで空冷後、水冷した試験体(K2)においては、引張り強さ、衝撃値、硬さ分布は、非加熱部の値に近い事が分かる。

しかし、加熱後ただちに水冷した試験体(K3)においては、表面直下の硬化が著しく、加熱部より採取した引張試験片（マーク：KCT）における引張強さは、規格

値上限の値（61.6kgf/mm<sup>2</sup>）を示している。反面、衝撃値は、母材の規格値は満足するものの、非加熱部の値に比

表-9 T字試験体超音波探傷結果

データNo.	探傷面	欠陥	Y	W	d	$\Delta Y$	領域	F/STB(dB)
1	A	I	—	—	—	—	—	—
2	A	2	46	40	14	8	I	-16
3	B	I	64	65	5	3	I	-21
4	B	2	28	29.5	17	0	III	-6

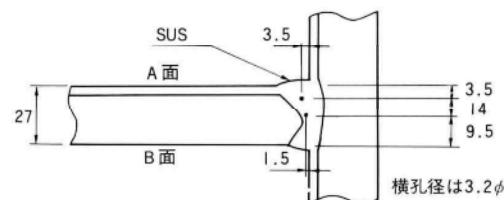


図-6 超音波探傷T字試験体

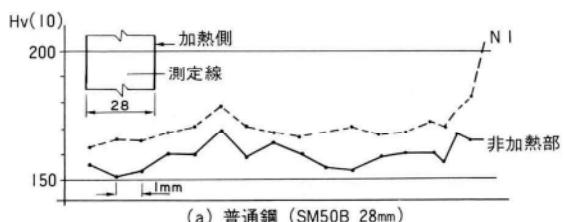
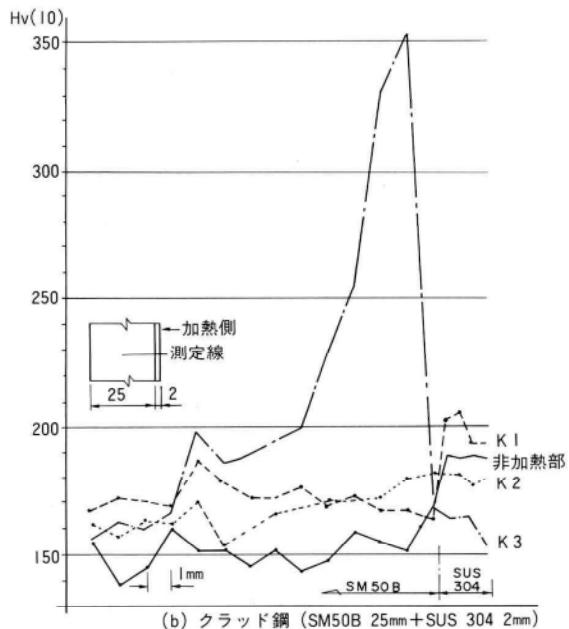


図-7 加熱矯正の硬さ分布図

べて、かなり低い値を示し、伸びは規格値を下回る結果(17.9%)となっている。

一方、加熱による、ステンレス鋼のCr炭化物の析出の程度は、K1試験体より採取して実施した、JIS G0575(ステンレス鋼の硫酸、硫酸銅腐食試験方法)の、鋭敏化処理を施した曲げ試験片でも粒界腐食による欠陥が生じていない事から問題ないものと言える(写真-4参照)。

また、参考として、写真-5に示した、非加熱部写真(a)、空冷K1写真(b)、650°Cまで空冷後水冷K2の写真(c)の境界部に顕著な相異は無い。この事は図-8に示した空冷(K1)の加熱時の温度分布図を見ても、600°C近辺の鋭敏化温度域が、およそ1分未満である事と合致している

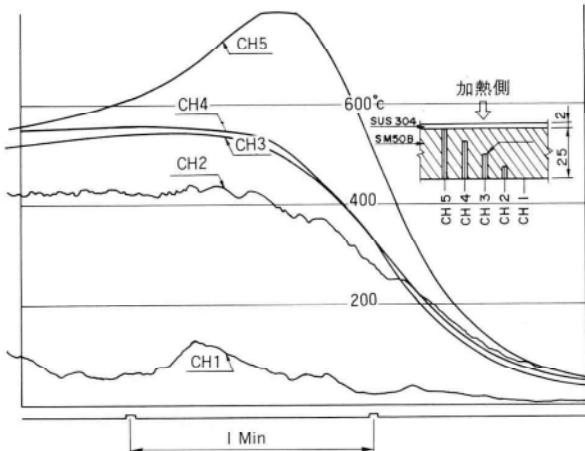
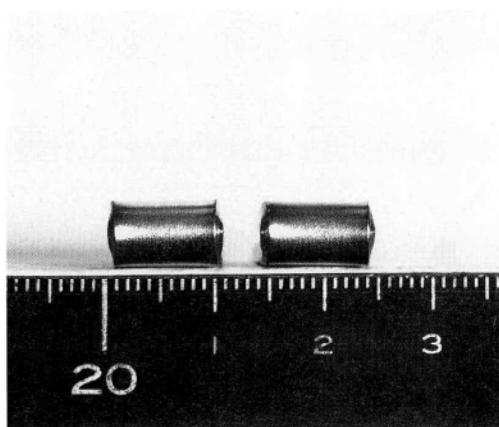
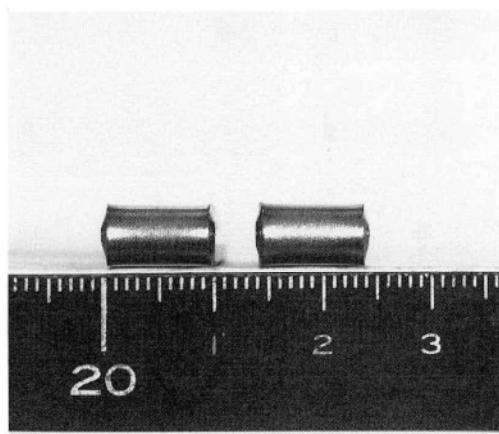


図-8 K1 加熱矯正時の温度分布図



(a) 鋭敏化処理なし



(b) 705°C・24時間処理

写真-4 硫酸・硫酸銅腐食試験片

表-10 加熱矯正試験の結果一覧表

		K1			K2			K3			N1			
試験の種類	加熱・冷却の方法	クラッド鋼を、表面温度900°Cで加熱矯正して空冷する。			クラッド鋼を、表面温度900°Cで加熱矯正後、650°Cまで空冷後、水冷する。			クラッド鋼を、表面温度900°Cで加熱矯正後、直ちに水冷する。			普通鋼を、表面温度900°Cで加熱矯正して空冷する。			
引張試験	採取部位	マーク	降伏点 kgf/mm²	引張強さ kgf/mm²	伸び %	降伏点 kgf/mm²	引張強さ kgf/mm²	伸び %	降伏点 kgf/mm²	引張強さ kgf/mm²	伸び %	降伏点 kgf/mm²	引張強さ kgf/mm²	伸び %
	非加熱部	BLT	33.6	53.7	30.9	—	—	—	—	—	—	40.6	56.4	29.8
		BCT	34.2	53.6	29.6	—	—	—	—	—	—	41.3	56.3	27.3
	加熱矯正部	KLT	32.9	53.9	24.9	35.2	55.5	24.9	32.4	54.4	23.0	41.1	56.8	24.9
		KCT	34.4	57.7	25.0	37.7	54.9	27.5	21.7	61.6	17.9	45.2	60.5	23.6
衝撃試験	非加熱部	BLS	17.3 kgf·m			—			—			24.4 kgf·m		
		BCS	10.7			—			—			13.6		
	加熱矯正部	KLS	18.1			10.9 kgf·m			4.9 kgf·m			21.1		
		KCS	9.5			—			—			12.4		
曲げ試験	非加熱部	BB	良			—			—			良		
	加熱矯正部	KB	良			良			良			良		

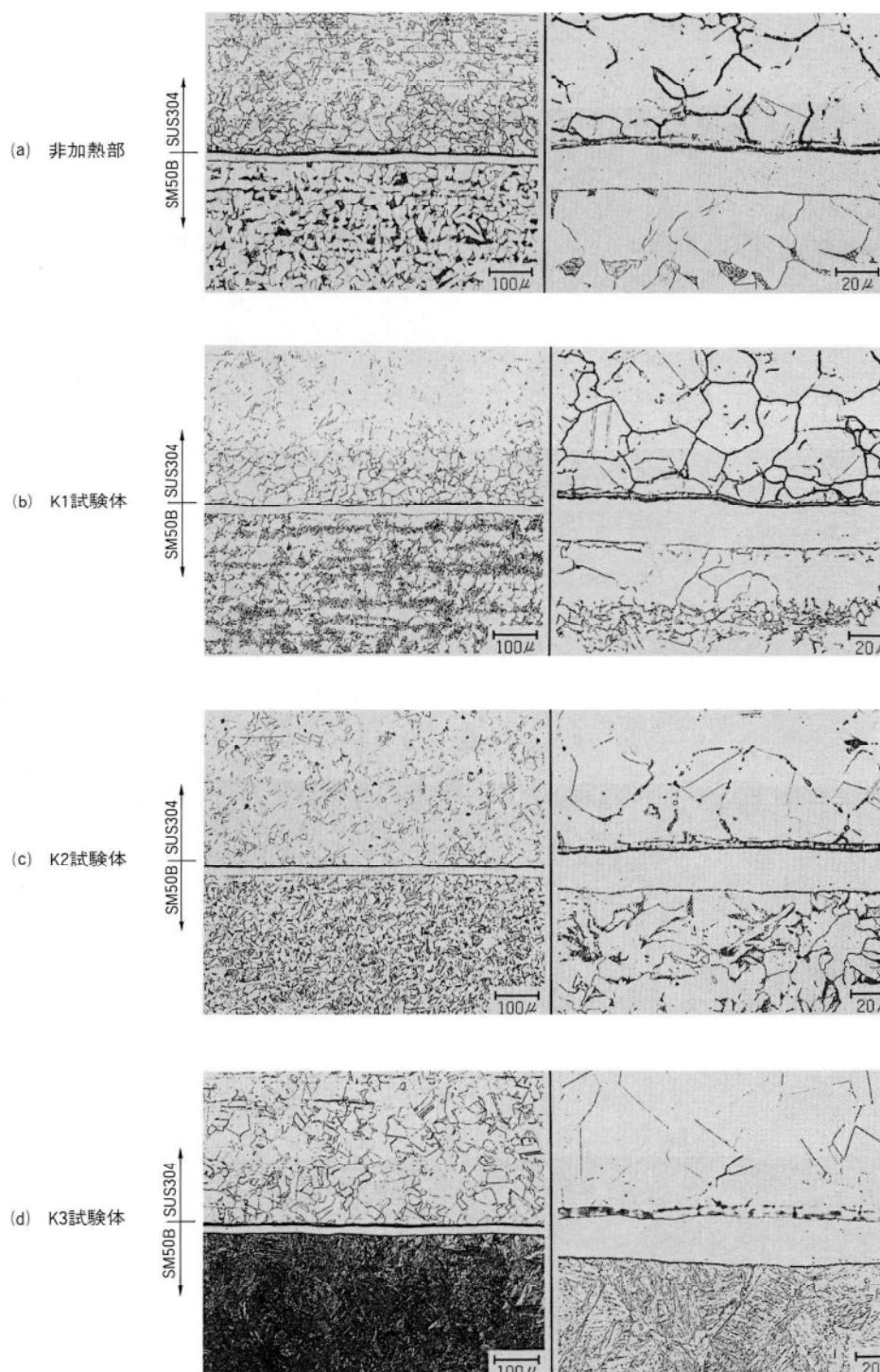


写真-5 加熱ミクロ写真

(Cr炭化物の析出による粒界腐食の発生は、鋭敏化温度域での保持時間が少なくとも数~10数時間以上である)。

これら実施した一連の加熱矯正試験より、今回のクラッ

ド鋼の加熱による歪矯正は、母材(SM50B)の熱処理条件を適用することが望ましいと考えられる。

次に、極めて単純にモデル化した試験体K1とN1のリブ

表-11 歪測定表

断面	鋼種	歪量
①	クラッド鋼	+ 8 mm
	普通鋼	+ 6
②	クラッド鋼	+1.5
	普通鋼	0

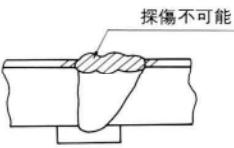
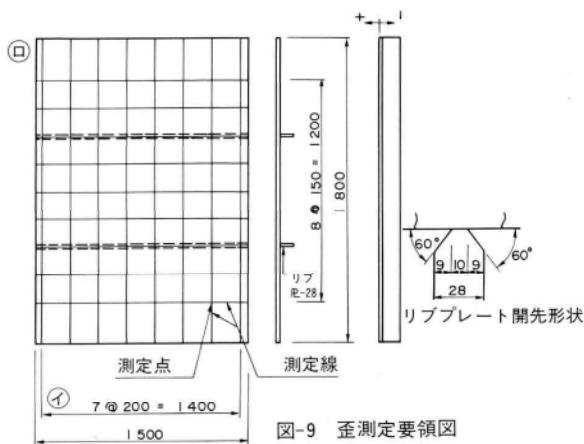


図-10 UT 可能範囲



図-11 境界部欠陥例

プレート溶接時の歪の発生状況であるが、その結果は、図-9、表-11のようになっている。

クラッド鋼の物理的性質が、熱伝導率において、炭素鋼の1/3、熱膨張率は、1.5倍であることから、より大きな変形になっているものと思われる。

#### 4. まとめ

実施した一連の施工試験の結果を報告したが、実際の

製品加工を踏まえて以下にステンレス(SUS-304)クラッド鋼を加工する上での留意点を、簡潔にまとめる。

#### 溶接について

クラッド鋼の溶接のむずかしさは、その母材と合せ材の境界部であり、クラッド鋼の耐食性、構造材としての継手性能を満足させる事にある。留意点をまとめると、

- ① 適切な溶接材料の選定。
- ② 母材希釈の少ない溶接方法、条件の選定。
- ③ 内部欠陥を残存させない事。
- ④ 境界部の良好な下盛り形状の確保。

である。

#### 溶接部の超音波探傷試験

本工事に使用した、母材厚さ、およびクラッド比のクラッド鋼の範囲においては、図-10に示す溶接部の探傷において斜線部を除けば感度補正なしで斜角探傷(屈折角70度)できる。また、図-11に示すような母材とステンレスの境界部の欠陥はエコー高さ、エコー形状から明確に識別できることも確認した。また、十字継手(部分溶込み仕様)の探傷はT継手試験片で試験した結果から判かるように実探傷には導入できないと考えられる。

従って、この様な超音波探傷検査のできない継手形状は、設計図、工作図等の段階でよく検討し、例えば、板の通し方向を変える、あるいは、合せ材を削除し、普通鋼板の継手に変更すると言った考慮が必要になる。

#### 矯正について

- ① 可能なかぎり、機械矯正する。
- ② 加熱矯正する場合は、できるだけ、母材側より加熱する。
- ③ 合せ材からの加熱矯正においても、その熱処理条件は、母材の条件に従う。

以上、大きく分けて三項目について、それらの施工試験の結果をもとに報告した。また、本工事においてもこれらの基本事項を厳守し、仕事を進めてきた。

なお、クラッド鋼の工場加工については、これ以外にも、特に防錆の問題から、その運搬、仮置き、曲げ、切断等についても、普通鋼とは異なった管理が必要である。

それらは、ステンレス協会の施工基準、ロールメーカー、溶接メーカーの加工ハンドブック等により、容易に確認できる事項であるので、本報告では記載を省略するが、実際の加工面では重要な点であり、よく確認し、指示を徹底する事が大切である。

以上で報告を終らせていただくが、本工事の施工試験、製品加工に当たり、御指導を頂いた株式会社坪井研究室

殿、清水建設株式会社殿ならびに、試験、資料提供等で多くの御協力を頂いた住友金属工業株式会社殿、日鐵溶接工業株式会社殿に紙上を借りて心より感謝する次第であります。

#### 〈参考文献〉

1) 日本規格協会; JISハンドブック 鉄鋼、1990

- 2) 日本規格協会; JISハンドブック 溶接、1990
- 3) ステンレス協会; ステンレス鋼溶接施工基準、昭和63年
- 4) 日鐵溶接工業㈱; ステンレス鋼の溶接
- 5) 住友金属工業㈱; ステンレスクラッド鋼の溶接

1990.10.31受付

### グラビア写真説明

#### 八千代橋

本橋は、鳥取県鳥取市の千代川に架る。市の中央部を北流する千代川により、市域は二分されている為一般国道9号の橋として昭和6年に架設され、市街地への交通要衝として大きな役割を果たして来た。しかしながら、40年以上も経過し、老朽化が進み、車両の大型化、交通量の増加に対応できず現在では交通の隘路となっていた。そこで建設省では、昭和48年より事業化、62年より橋梁工事に着手し、平成3年度の完成をめざして開始された。この起点に位置する八千代橋は、千代川で二分されている安長町ないしその付近の住民にとっては、唯一の国道橋であり電気、電話、水道というライフラインも添架され、鳥取市の発展かつ内陸部の交通緩和に大きく寄与する事になる。また、本橋の特徴の中で、特に高欄、親柱歩道部に工夫をこらし、市民に親しまれるよう装っている。(三橋)

#### 芦沢橋

利根川は群馬、新潟両県境の山岳部に源を発し、銚子で太平洋に至る。その最上流に多目的ダムとして造られたのが矢木沢ダムである。この地域は内陸にありながら裏日本型の豪雪地帯であり、年積雪量が20m近くなる年もあるそうである。下流の須田貝ダム（洞元湖）からダムサイトまで、湖沿いに管理用道路が設けられている。旧芦沢橋はしばしば雪崩に会い、危険であったため、架橋地点を移して架けられたのが芦沢橋である。

付近はブナやナラ林の多い自然性の高い環境にある。ニホンザル、ツキノワグマ、ニホンカモシカが多く生息しており、工事中にも猿や熊に出くわした。

美しく、厳しい自然とさび安全化処理のされた橋けたの重厚な姿がバランスを割りだしてている。四季おりおりの橋の姿を見てみたい。(千代)

#### 浮野高架橋

本橋は既に開通している東名阪自動車道清洲東インターから平成3年春開通予定の勝川東インターまでの区間のうち清洲東インター附近より延長1,125mにのぼる連続鉄骨橋を主体とする高架橋である。この路線は平成5年春には東名自動車道の名古屋インターまで開通し、注目の名港大橋が完成すると名古屋市外周部の外環状道路（環状2号線、延長66.2km）として形成される事になる。

この道路は単に自動車専用道としての役割を持つばかりでなく歩行者や自転車の専用道、植樹帯が設けられ、沿道との調和をはかる環境づくりも重視している。(玉野)

# ひずみゲージによる測定値の変動に関する基礎実験

## Fundamental Experiment on Variation in Values Measured by Strain Gauges

高橋秀幸\* 百瀬敏彦\*  
Hideyuki TAKAHASHI Toshihiko MOMOSE

### Summary

Strain measurement implies using a bridge circuit to measure variations in resistance values due to the expansion and contraction of a gauge, the measured values being the resistance values of the strain gauge and the lead wire. The values read are very misleading because apparent resistance values change due to the changes in the location and temperature of the lead wire and in the temperature of the gauge.

Therefore, an experiment, though very basic, to determine how the apparent resistance values vary has been performed and the results are reported in this paper.

### 1. まえがき

日本におけるひずみゲージによる測定方法は、戦後その技術が導入されたものである。その原理はゲージの伸縮による抵抗値の変化をブリッジ回路により読み取るもので、そこに生じている応力、荷重、変形状態を知ることができ、これらを応用することにより温度などの測定もできる。

この利用範囲は広く、土木、建築、造船、機械など多方面に亘り、特に鋼板への適用については精度の高い結果が得られる。

古くは、ブリッジ回路に組み込まれた可変抵抗を手で操作して、ブリッジのバランスを取り、その可変抵抗の変化量から、ひずみゲージの抵抗値の変化を知っていたが、現在では複雑な回路を組み、即座にその値を知り、自動記録ができるようになり、ますます適用例が増えている。

しかるに、この計測法における抵抗値はひずみゲージとそのリード線からなる回路の抵抗値で判断するものであるから、ひずみゲージに結線したリード線の移動やリード線さらにはひずみゲージの温度変化によっても見掛上、回路の抵抗値が変わり、測定しようとする応力などが変わったものと誤った判断をすることになってしまう。

この度、財團法人鉄道総合技術研究所『古材に対する現場継手試験作業』の委託研究において軸力試験経時変化を測

定中、データ異常が発生した。軸力の管理はひずみゲージによるものであり、データ異常は上記の影響ととらえ、今後測定を行うにあたり見掛けひずみを定量的に把握することが必要となる。そこで測定に使用したひずみゲージ付高力ボルトを使い、実際的に影響を及ぼすと思われる温度変化やリード線移動等の基礎的な実験を行ったので報告する。

### 2. 測定概要

#### (1) 使用ひずみゲージ

“ボルト締付軸力測定用ゲージ” BTM-6 C

ゲージ長：6 mm

ゲージ抵抗： $120 \pm 0.5 \Omega$

ゲージ率：2.1

接着材：BTMシリーズ A-2

〈株東京測器研究所〉

#### (2) ひずみゲージ取り付け状況

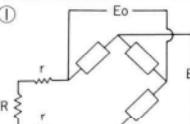
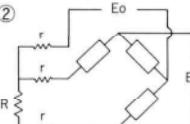
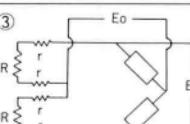
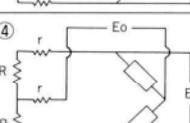
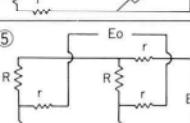
高力ボルト軸芯に孔径2.0 mmをあけ、ひずみゲージを埋込式で取り付けた。取り付け状況を図-1に示す。

#### (3) 結線方法

ひずみゲージの結線方法は表-1のように分類できる。

\* 千葉工場製造部生産技術課

表-I ひずみゲージの結線方法

結線法	備考
① 	1ゲージ法 2線式 (1G 2W) アクチブゲージ以外のブリッジ辺は、内蔵の固定抵抗を共通に使用し、ブリッジを構成しています。 ゲージまでのリード線の抵抗は、アクチブゲージにのみ直列に入りますので細い線や、長いリードを使用しますと初期平衡調整がとれなかったり、温度変化によりゲージはもちろん、リード線の抵抗変化が、そのまま見かけひずみとして測定値に混入してきます。
② 	1ゲージ法 3線式 (1G 3W) 1の接続法のリード線の温度補償を行うための方法で、ゲージの接続には3平衡線を使用します。リード線の抵抗が内部の固定抵抗を用いたダミー辺側にも入りますので、リード線の温度補償ができるわけです。ただし、ゲージの温度補償は行えません。
③ 	2ゲージ法 4線式 (2GCD) リード線の長さが同じならば、ダミーのリード線をアクチブゲージと同じ長さ、同じ場所を通るようにすれば、かなりの温度でリード線は温度補償されます。 また、ダミーゲージをアクチブゲージの接着場所と同じ温度変化を受ける場所で、同じ材質のものに接着しますとゲージの温度補償も行えます。
④ 	2ゲージ法 3線式 アクチブ及びダミー以外の辺は、内部の固定抵抗を共通にし、ブリッジを構成します。 ゲージ接続に3平衡線、同一ロットのゲージを使用すれば、リード線とゲージの温度補償を行えます。
⑤ 	4ゲージ 内蔵抵抗を使用せずに、ひずみゲージのみでブリッジを構成する方法です。この場合、ひずみゲージを接着した場所でブリッジを組んでリード線を延長する事が大切です。

e : ひずみ K : ゲージファクタ R : ゲージ抵抗  
 $\gamma$  : コード抵抗 [Ω] Ei : ブリッジ電圧 [V] Eo : ブリッジ出力電圧

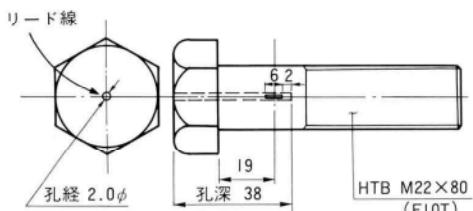


図-I 実験ゲージのボルトへの埋め込み

軸力試験に使用した結線方法は2GCD法であり、比較のため代表的な結線方法である1G 2 W法、1G 3 W法を加え、3種類について実験を行った。

1G 2 W法とは1本のひずみゲージに2線のリード線を結線して測定する方法であり、そのため、ひずみゲージやリード線の見掛けひずみを直読してしまう。1G 3 W法は1本のひずみゲージに3線のリード線を結線するものでありブリッジ回路内でリード線の見掛けひずみを除去する方法である。2GCD法はアクティブゲージとダミーゲージを使用して測定するもので、ひずみゲージとリード線の温度影響による見掛けひずみを理論上、除去する方法である。

#### (4) 使用機器

基礎実験を行うにあたり下記の機器を使用した。

デジタルひずみ測定器 : TDS-301

スイッチボックス : ASW-50 A

〈株東京測器研究所〉

データ採取用コンピュータ : PC9801VX

外部GP-IBコントローラ : GP-IB

〈NEC〉

### 3. 実験結果

ひずみゲージの値に影響を及ぼす因子として、温度変化、リード線の移動、測定器の電圧変動に着目して実験を行い基礎的な特性を調べた。

#### (1) 温度変化による見掛けひずみ

ひずみゲージに結線するリード線に細経 (0.2φ) および太経 (0.8φ) の2種類を使用し、各結線方法に対して約50°Cの温度変化を与えたときのひずみ変化量を測定した。結果を図-2、図-3に示すが、ひずみゲージおよびリード線の温度補償を行った場合、ひずみ変化量は約0.001%である。

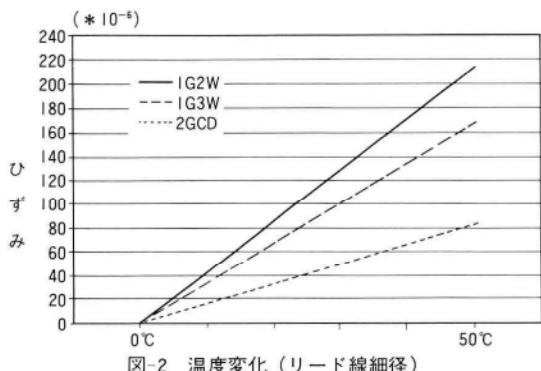


図-2 溫度変化(リード線細径)

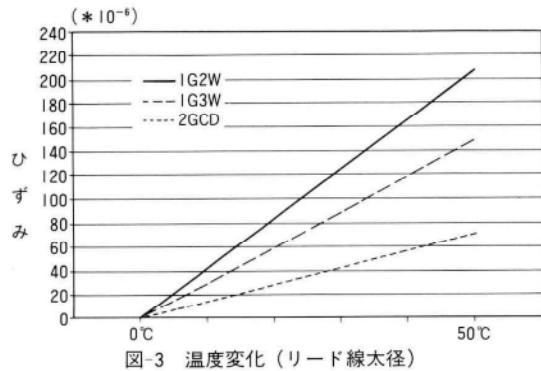


図-3 溫度変化(リード線太径)

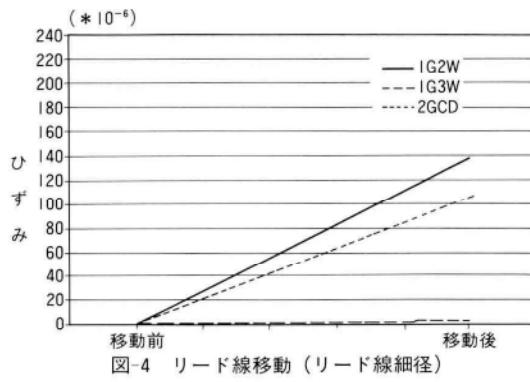


図-4 リード線移動(リード線細径)

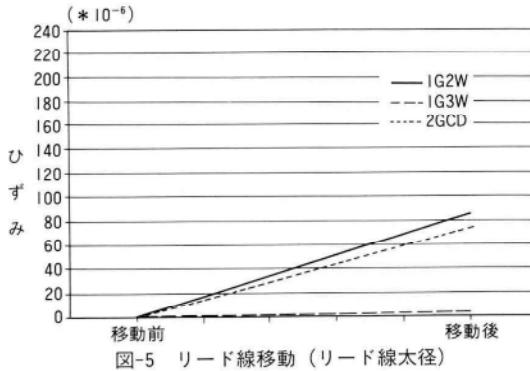


図-5 リード線移動(リード線太径)

ド線の温度が変わると、1 G 2 W法、1 G 3 W法、2 GCD法の順に顕著に見掛けひずみが発生してしまう。1 G 2 W法はひずみゲージおよびリード線の抵抗値が変わるのでブリッジ回路としての抵抗値が変わりひずみ値が変化することは解るが、リード線の影響を除去している1 G 3 W法において大きな変化をすることは予想外であった。これは実験ゲージが自己温度補償型(ひずみ変化 $\pm 1.8 \times 10^{-6}/\text{°C}$ )でないことに起因していると考えられる。また、2 GCD法は、リード線の温度変化は除去していると思われるが上記と同様に自己温度補償型でないためアクティブゲージとダミーゲージの間に差が生じてひずみ値が変化したものと考えられる。

リード線の太さも多少影響され必要な太さを有しないと問題となるひずみ値になることが推定される。

## (2) リード線移動にともなう見掛けひずみ

温度変化の測定と同様に2種類のリード線を結線し、それらをリード線の届く範囲(5 m)で移動を行い、その内のひずみ変化最高値を測定した。結果を図-4、図-5に示すが、この実験から1 G 3 W法は実験的証明がなされていることがわかった。1 G 2 W法は、リード線移動により抵抗値が変化していることが解り、2 GCD

表-2 1次電圧変動  
( $\times 10^{-6}$ )

結線方法	100 V	90 V	110 V
1G2W	0	2	3
2GCD	0	1	3

法はダミーゲージを移動させなかつたため、1 G 2 Wと同様の傾向を示している。このことにより軸力試験経時変化測定は細径のリード線を使用し2 GCD法の結線方法であるため、データ異常はこのリード線移動時の抵抗値変化であることが考えられる。

## (3) 1次電圧変動にともなう見掛けひずみ

スライダーを用いて測定器TDS-301の電圧を、100 V → 90 V → 110 Vに変動させたときのひずみ変化量を測定した。結線方法は1 G 2 W法、2 GCD法の2種類とし、結果を表-2に示す。

電圧変動後のひずみ値の変化は極く小さく、一般の工場電源でも問題はない。これは測定器TDS-301内の定電圧装置( $100V \pm 10\%$ )が正常に働いていることによる。

## (4) 気温変化とひずみ値

24時間の気温変化を測定し、それにあわせ1 G 2 W法、

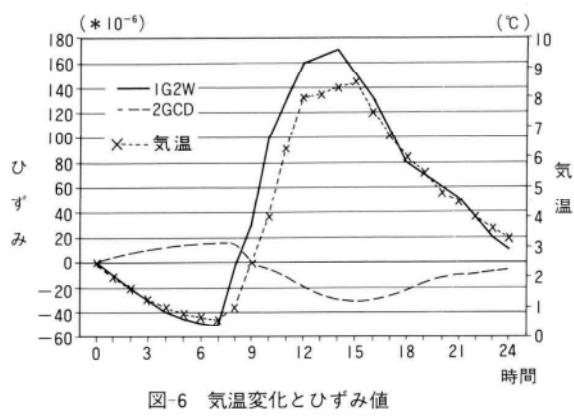


図-6 気温変化とひずみ値

2GCD法のひずみ値変化を測定した。測定結果を表-3、図-6に示す。1日の気温変化は約8°Cでありこのとき1G2W法で大きなひずみ値を示しており、これは(1)温度変化にともなう見掛けひずみの結果と同様のものである。2GCD法はわずかに変化しており自己温度補償型のゲージでないためアクティブゲージとダミーゲージの間に差が生じたものと考えられる。

#### 4.まとめ

以上、ひずみゲージ読み取り値に及ぼす温度変化、リード線移動、1次電圧変動の影響について述べたが、今後のひずみ測定における結線方法の選択について整理すると以下のようになる。

##### (1) 1 G 2 W法

ひずみゲージおよびリード線の抵抗値が温度変化により変化しひずみ値に直接加わるため温度変化のないようにする（測定を短時間に終わらせる）。また、温度変化と同様にリード線移動による抵抗値変化もひずみ値に加わるためリード線移動は行わない。

この結線方法はなるべく使用せず、1G3W法または2GCD法を使用する。

##### (2) 1 G 3 W法

リード線の抵抗値変化を補正する方法であるためリード線の温度変化や移動による抵抗値変化は消去できる。ひずみゲージの抵抗値変化については補正を行わないため長時間の継続測定を行う場合は自己温度補償型ゲージを使用する。

表-3 気温変動とひずみ値

(\*10<sup>-6</sup>)

時 間	1 G 2 W	2 GCD	温度(°C)
0	0	0	2.5
1	-10	4	2.0
2	-20	7	1.6
3	-30	10	1.3
4	-40	12	1.0
5	-45	14	0.8
6	-49	15	0.7
7	-51	16	0.6
8	-5	15	1.0
9	30	0	2.5
10	100	-5	4.0
11	130	-10	6.3
12	160	-20	8.0
13	165	-25	8.1
14	170	-30	8.3
15	150	-32	8.5
16	130	-30	7.5
17	105	-27	6.7
18	80	-22	6.0
19	70	-17	5.5
20	60	-12	4.8
21	50	-10	4.5
22	35	-8	4.0
23	20	-7	3.6
24	10	-6	3.3

##### (3) 2 GCD

温度によるひずみゲージおよびリード線の抵抗値変化をアクティブゲージ全てについて1本のダミーゲージで補正する方法であるため、局所的な温度変化やリード線移動がないようにする。

長時間の継続測定は可能であり、この結線方法については自己温度補償型ゲージでなければ使用できない。

#### 5.あとがき

本実験は温度変化、リード線移動、1次電圧変動等の影響による見掛けひずみを定量的に把握することを目的で行ったものであるが、発生量は結線方法やひずみゲージ種類選択等により左右されることがわかり、ひずみ値の零点移動やデータのバラツキもこれらに含まれてくるものと考えられる。

今後、ひずみ測定を行う上でリード線移動を余儀なくされるときや、日照や冷暖房器具で局所的な温度変化を受けるとき及び長時間をする測定など、その都度検討の上、結線方法、ひずみゲージ種類選択等を想定するこ

とが必要である。

簡単な実験報告であるが、今後の参考になれば幸いである。

1990.10.31受付

## グラビア写真説明

### 新那覇大橋

沖縄県は人口百二十四万人、なかでも県都那覇市は人口三十一万人を数え、沖縄海洋博・沖縄国体を経て、目覚しい発展をとげている。

沖縄は、戦前は軽便鉄道が走っていたが、現在は沖縄新交通が計画されているものの、電車がなく、まったくの車社会それもアメリカ型車社会と言える。

現国道329号は、那覇市街地を通過、南部地域からの交通を受けるとともに、昭和62年の沖縄自動車道の開通に伴い、交通事情は悪化を極め、朝夕のラッシュ時には車線変更規制を行って対処しているが、主要交差点の渋滞は非常に厳しいものとなっている。

本橋はまた、漫湖公園・奥武山公園に隣接し、野鳥の楽園（夏には黄足シギ、子アジサシ、キジバト、冬にはムナグロ、浜シギ、小鴨等30数種類）もあり、自然保護と景観が重視された。

本橋の延長には、沖縄県内で初めての斜張橋も計画、工事着手されており、那覇東バイパス・漫湖局改の一日も早い完成により、交通渋滞の緩和と市民に親しまれる憩いの場所として期待されている。（尾崎）

### 鹿ヶ城大橋

宮城県は、「行政の文化化」の一環として、同県の豊かな自然と歴史的、文化的風土と調和した景観づくりを行っていく方針を固め、土木部が中心となり地域の特徴を表現した土木構造物を造る手始めとして鹿ヶ城大橋を完成させた。鹿ヶ城大橋は、迫川に飛来するハクチョウのはばたく姿をイメージした六基の高欄（高さ8メートルが特徴）歩道の4ヶ所にはバルコニーを張り出させ、ベンチも置いた。高欄やバルコニーの分だけ費用は割高になった。だが土木部では費用が掛からず丈夫なものを造ればいいという発想を捨て美しい魅力ある橋を完成させた。

鹿ヶ城大橋は宮城県を代表する美しい橋の一つである。（田村）

# 長支間ニールセン橋(川津大橋)の設計と施工

## Design and Construction of Long-Span Nielsen Bridge (Kawazu-Ohashi Bridge)

星野 実\* 阿部 幸夫\*\* 河西 龍彦\*\*\* 能登 有 愿\*\*\*\*  
Minoru HOSHINO Yukio ABE Tatsuhiko KASAI Hiroyoshi NOTO

### Summary

Kawazu-ohashi bridge is a steel through bridge of the Nielsen Lohse girder type. It has an effective span of 199.450 m, which is very rare in Japan. The construction of the steel girders for this bridge, across a reservoir in the mountains, was completed very recently by fully utilizing our company's accumulated expertise in Nielsen bridges as well as by adopting several new technologies.

The report on the construction of the Kawazu-ohashi is divided into two parts, the first being included in the present paper, while the second part will be included in the next issue. The first part presents an outline, the design method, the construction plan, and the actual construction process of the superstructure (steel girders) of the bridge. The second part is concerned with camber and cable tension adjustment and the management of the bridge.

### 1. まえがき

新幹線を京都で降り近鉄の特急で50分、大和八木駅でバスに乗り換える。途中、五條市と谷瀬の吊橋で有名な上野池の2回の休憩をはさんで3時間半、奈良県十津川村の現場に到着する。天誅組や十津川郷士などで歴史に名高いこの村は、いわゆる秘境としての神秘性も併わせ持っている。切り立つ山々は鋭角で高く、下に新宮川の流れる谷は実に深い。

新宮川を塞き止めて作られたのが風屋ダムで、ダム湖を渡り高野へ出る道が県道川津・高野線である。昭和30

年代に当社で架設した(旧)川津大橋は、スパン180mの3角トラスを補剛桁とする日本でも珍しい型式の単純吊橋であるが(写真-1)、前述の県道で風屋ダム湖を渡れ

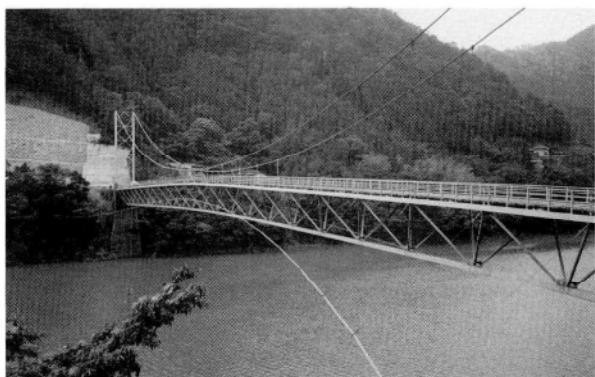


写真-1 現橋写真

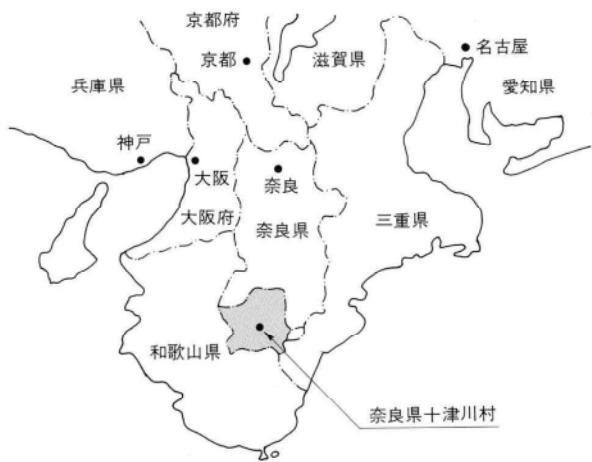


図-1 位置図 (紀伊半島略図)



写真-2 新橋写真

\* 技術本部工事部工事計画課課長代理  
\*\* 技術本部工事部工事課係長

\*\*\* 技術本部設計部設計第2課  
\*\*\*\* 技術本部長大橋業務部付課長

る唯一の橋であり、特産の材木を山積みした大型トラックの交通量が当初予定していたものより遥かに増大したこともあり、200m程上流に、新橋の架設が計画されたのである（写真-2）。

さて本報告は、この（新）川津大橋建設工事について、今回と次の2回に分けて主に架設工事に着目して述べるものである。今回は、本橋の設計と架設設計画の説明および上部工（鋼桁）の架設までの施工報告を行い、次回ではニールセンや斜張橋などのケーブル構造物特有の問題としていわゆる形状（張力）管理の問題を取り上げ、当社で独自に開発したリアルタイム処理方式の形状管理システムを用いた施工管理報告を行う予定である。

## 2. 設計

### （1）本工事の概要

本工事は奈良県五條土木事務所より、橋梁整備工事2

として、宮地・瀧上建設工事共同企業体で受注した。施工範囲は、上部工（鋼ニールセン系ローゼ桁×1連）の設計照査、製作、輸送、架設、現場塗装、床版、舗装等の一式である。詳細設計と架設検討については、発注前にコンサルタントと日本橋梁建設協会で既に実施されていたが、本工事の受注に伴い設計照査と詳細の架設設計を行った。一般図を図-2に、設計条件や橋梁諸元、数量等については、表-1、2にまとめた。

### （2）型式選定

前述のように本橋の架設地点は、ダム湖を渡る関係で支間長が200m必要であり、かつ中間橋脚を建設することが不可能であること、橋台前後の取り付け道路部が切り立つ山々の急斜面との関係で急カーブとならざるを得ず、サイドスパンがまったくとれないのと同時に架設工法選定上の限定条件ともなること、現場への輸送経路として考えられる国道168号、および前述の県道の幅員が狭いことやトンネル等による輸送高制限を受けることから部材

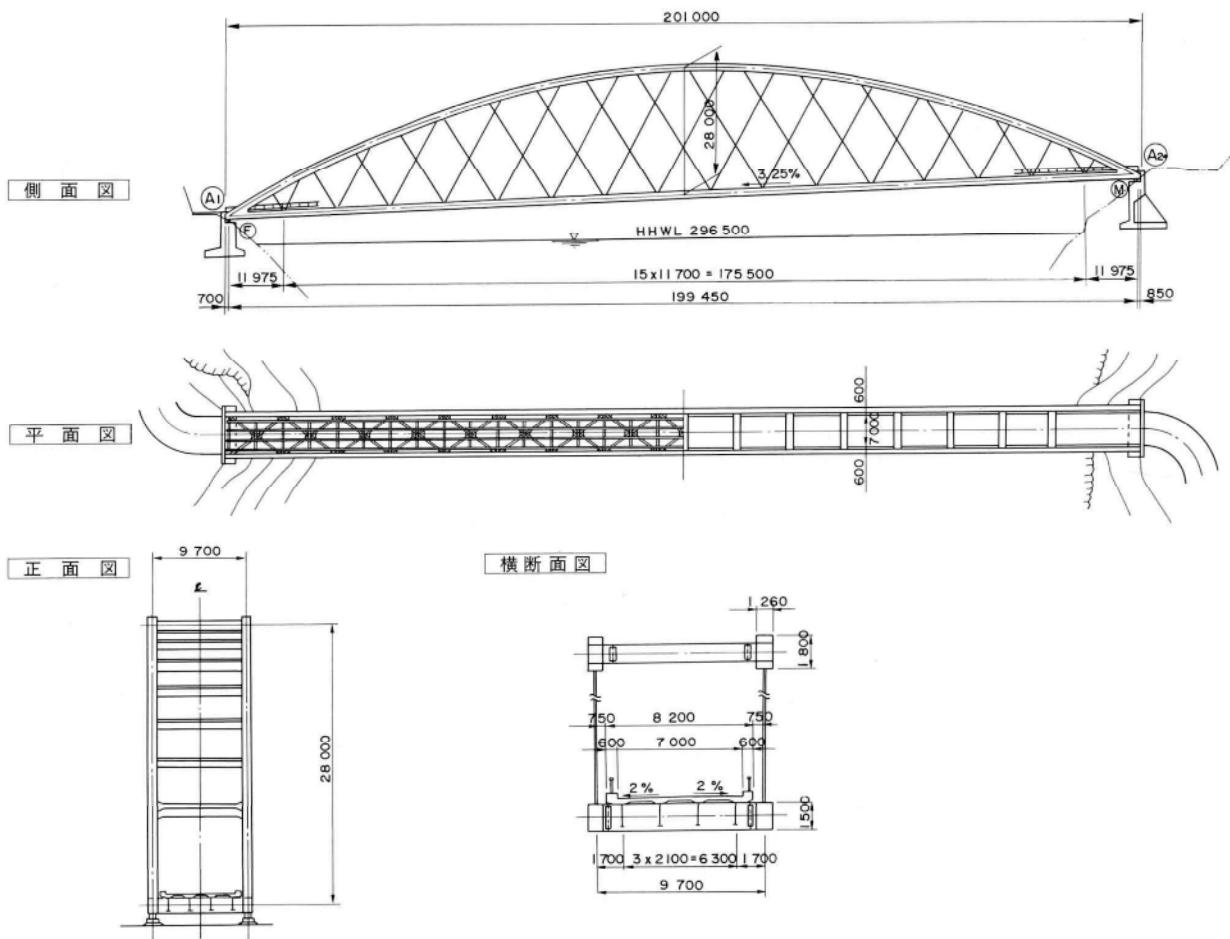


図-2 一般図

のプロポーションに制限を受けること等の地形的要因と、経済性、景観、施工性等を考慮した型式比較検討がコンサル設計段階で実施されている。

その結果、2ヒンジ補剛吊橋、PC斜張橋片持梁複合

表-1 設計条件等諸元

工事概要	工事件名	橋梁整備工事2(川津大橋)
	路線名	一般県道 川津高野線(3種4級)
	河川名	一級河川 新宮川(風屋貯水池)
工事場所	奈良県吉野郡十津川村川津	
工期	自:昭和63年7月15日 至:平成3年3月20日	
施工内容	鋼道路橋の設計照査、製作、工場塗装、運搬、架設、現場塗装、および床版、舗装、他一式	
発注者	奈良県(五條土木事務所)	
受注者	宮地・瀧上建設工事共同企業体	
設計条件等	橋格 橋梁構造形式 橋支間長 全幅員 有効幅員 主構間隔 ライズ 設計震度 架設工法 平面線形 斜縦断勾配 横断勾配 舗床 使用ケーブル 現場手 使用鋼材 準拠示方書	一等橋(TL-20) ニールセン系ローゼ桁(下路式) 201.000m(完成時) 199.450m(〃) 8.200m 7.000m(車道のみ、歩道はなし) 9.700m $f = 28.000\text{m}$ 、 $f/L = 1/7.123$ (完成時) $K_u = 0.18$ ケーブルクレーンを用いた斜吊り工法 $R = \infty$ 90° 3.25%直線一定(片勾配) 2%直線(振分)但し、端部では6%(片勾配)にすりつけ アスファルト舗装6.0cm 鉄筋コンクリート床版18.0cm (一方向当り計画大型車両交通量500台未満) ロックドコイルロープD56 ボリエチレンコーティング3mm厚仕上げ 高力ボルトM22(F10T) SM50Y、SS41、他 道路橋示方書・同解説(S55、日本道路協会)他

表-2 数量等総括

	単位	数量	備考
鋼材重量	上弦材	t	455.334
	下弦材	〃	294.818
	上支材	〃	78.163
	床組、下横構	〃	227.142
	吊材	〃	44.382 LCR, D56
	付属物	〃	43.512 道、Exp.、排水、高欄、その他
	合計	〃	1143.351
塗装面積	一般外面	m <sup>2</sup>	10 493
	箱桁内面	〃	10 415
	高力ボルト本数	本	約 55 000
	ケーブル延長	m	約 1 400
	床版工数	コンクリート体積	m <sup>3</sup> 413 $\sigma_{cx} = 240\text{kg/cm}^2$
	型枠面積	m <sup>2</sup>	1 784
	鉄筋重量	t	72.194 D19, 16, 13 (SD30A)
アスファルト舗装面積	m <sup>2</sup>	1 400	t = 6 cm

橋、ニールセン系ローゼ桁の中から本型式が採用された。なお、支間長199.450mはニールセン系ローゼ桁としては国内最長クラスである<sup>1)</sup>。

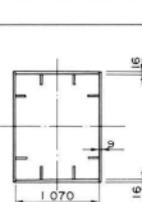
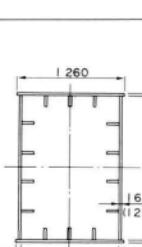
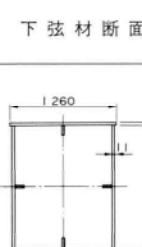
### (3) 構造解析

主構の構造解析は、図-3に示すように架設ステップを考慮した3つの系に対し、微小変形理論による平面骨組構造物として解析された(表-3)。この際縦断勾配は計算上無視しているが、後述する形状管理時の規定値を定める際には縦断勾配を考慮して計算をやり直した。

上・下弦材の剛結部については隅角部としてのFEM解析を実施して、発生応力度の安全確認が行われている<sup>1)</sup>。

また計算された変位量と縦断勾配による伸び量とを考慮してアーチの製作キャンバーを決定しており、最小二乗法にて補間した3次曲線を製作形状に定め、詳細設計図もこの曲線寸法で作図された。例えば支間長は、完成

表-3 主要断面応力表

支材断面	端部		(一般部)
	SM50Y	SS41	
	M [tm]	539.7	299.1
	S [t]	111.3	61.7
	$\sigma$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	1 697	1 167
	$\alpha$ [〃]	2 100	1 400
	$\tau$ [〃]	368	204
	$\tau_a$ [〃]	1200	800
	隅角部 (支間中央部)		
	SM50Y	SM50Y	
	N [t]	-1 405.4	-1 338.0
	M [tm]	368.1	55.2
	S [t]	1.4	4.5
	$\sigma$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	1 050	1 324
	隅角隣接部 (一般部)		
	SM50Y	SM50Y	
	N [t]	1 247.9	1 241.0
	M [tm]	148.0	67.6
	S [t]	5.3	14.4
	$\sigma$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	1 685	1 867

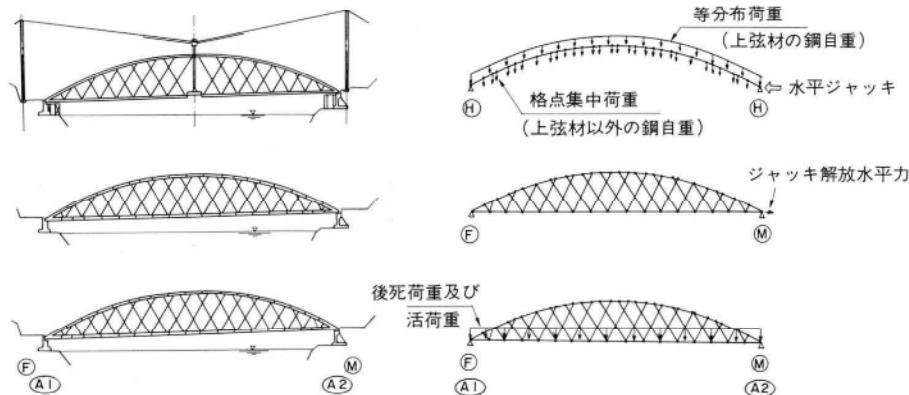


図-3 架設ステップを考慮した構造解析系

時199.450mに対し、製作時支間長は199.410mである。しかし上・下弦材別個に各々の製作キャンバー量を決定していたことにより、剛結部において完成時の出来形形状に若干の影響がでた。

#### (4) 特徴的な構造詳細

##### 1) 平行弦

コンサルタント設計の段階でバスケットハンドルと平行弦との形状比較検討が実施されている。本橋の場合、主として架設条件および経済性より平行弦の構造とし、強固な横構等で横力に抵抗させるものとされた<sup>1)</sup>。

##### 2) 上横構の形状

上横構の型式としては、一般によく用いられる横構を使用したダブルワーレン型を採用せず、景観設計上軽快な印象を与えるフィーレンディール型とした。このため橋門構は省略している。

##### 3) ケーブル

使用したケーブルはLCR D型 56φで、防錆処理としては素線溶融亜鉛メッキ+ポリエチレンコーティング3mm厚仕上げ（ケーブル製作工場にてコーティング加工）を用いている（図-4）。

ケーブルの張り方は、横桁位置を格点とした60°の角度一定方式である。右下がりと左下がりの各ケーブル間は300mmの間隔をあけており、交点部はクリップで固定している。

##### 4) ケーブル定着構造

図-5に本橋で採用したケーブル定着構造を示す。下弦材側は支圧板を用いた定着方法であるが、上弦材側はソケットに切った外ネジに定着調整用ナットを組み合わせた定着構造が採用されている。ケーブルの長さ調整はシム板を使用することなく、ナットを回転させることで

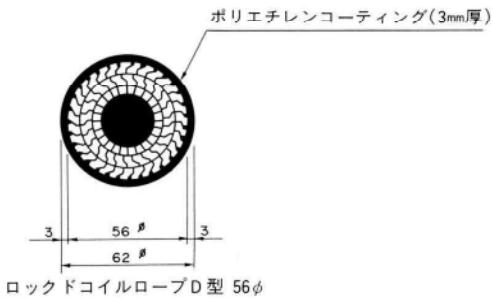


図-4 ケーブル断面図

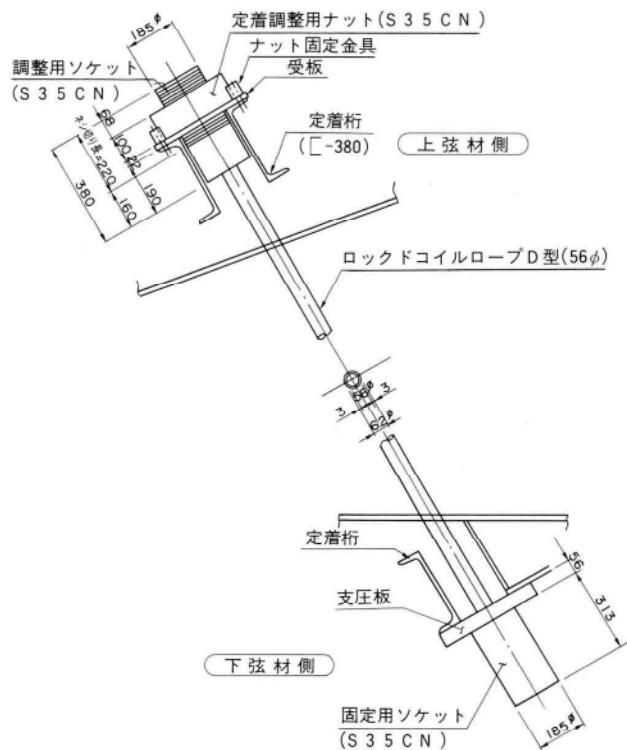


図-5 ケーブル定着構造

対応する。実際の調整可能量は±50mmを確保しているが、ケーブル製作時（ケーブル長決定時）には、工場仮組立出来形精度も反映して極力誤差の発生を押えるように努めた。当社でこの方法を本格的に用いたのは初めてであるが、シム板厚調整の手間が省ける利点はあるものの、実際のナット回転作業が大変であったり、ネジ部のメンテナンスなど今後改良の余地は大きいと考えている。

### 5) 部材長

前述の輸送条件より、主構の部材長は最大12m程度に押えている。最長は下横構の部材で、13.830mである。

### (5) 形状管理

ニールセン橋は斜張橋と同様にケーブルを有する高次不静定の柔構造物であり、ケーブル長を調整することによって任意の部材応力および形状を作りだすことが可能な自由度の高い構造物である。しかし実際には、設計、製作、架設の各段階で各種の誤差が入り混じり、目的の応力、変形状態とは異なった状態になっているであろうと考えられる。そこで実際の応力、変形等を所定の範囲内にバランスよく収める必要が生じる。

本橋では、この作業効率や安全性を最大限に図ることを考え、当社で開発したコンピューターシステムを用いたリアルタイム処理の形状管理システムを導入し、構造系、荷重が大きく変化する全鋼重載荷の閉合時と、全死荷重載荷の完成時の2回、現場実測・調整作業を実施した。この件については次回に詳しく報告する予定である。また上記形状管理システムの内容等については、本号の「斜張橋の架設時の精度管理システムの開発について」を参照されたい。

## 3. 架設

### (1) 架設計画条件

橋台前面の数mを除き、支間のほぼ全長が水面であるため桁下の利用が困難である。

取付道路は橋梁とT字型に交差し、橋梁延長線上の山腹は急峻な斜面であるためコンクリートアンカー等大規模な土木工事が困難である。

工事用道路としてはA1橋台後方の取付道路が路盤工迄施工済で利用可能であるが、対岸(△2)へは現橋(制限荷重: 6t)を渡る必要がある。

契約工期と製作工程の関係から現場工程は約15ヶ月間

である。

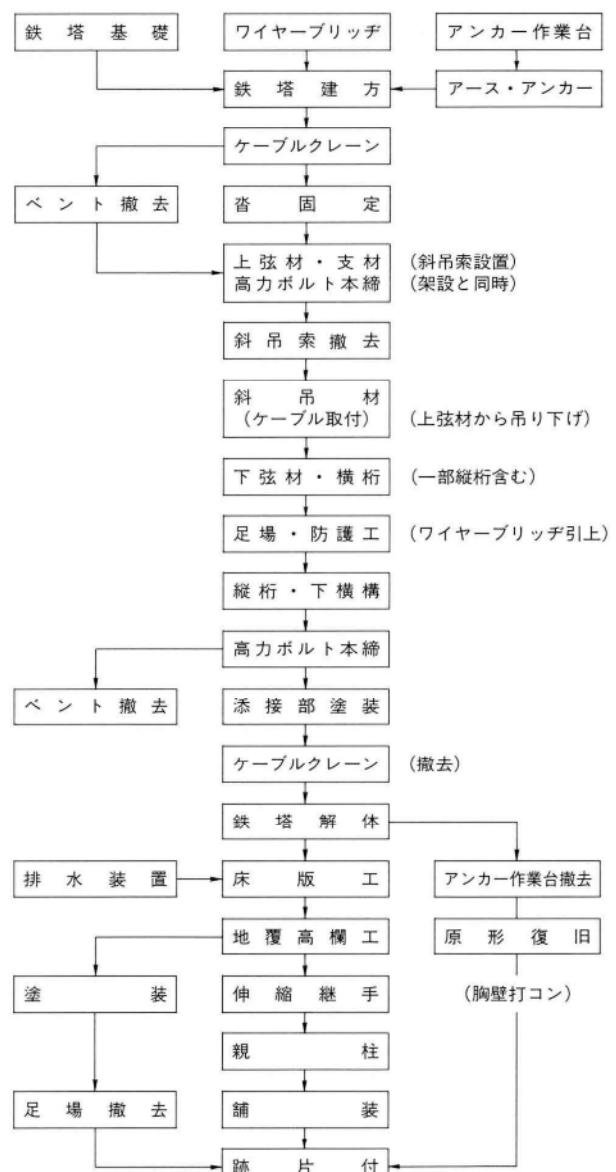
最大部材重量は約14.5tである。上弦材と支材(アーチ)の合計は約550tである。

### (2) 架設工法の選定

架設地の地形条件と橋体の型式から「ケーブルエレクション斜吊り工法」とした。対案は考えられない。

図-6に架設計画一般図を、また表-4に施工順序を示す。

表-4 施工順序



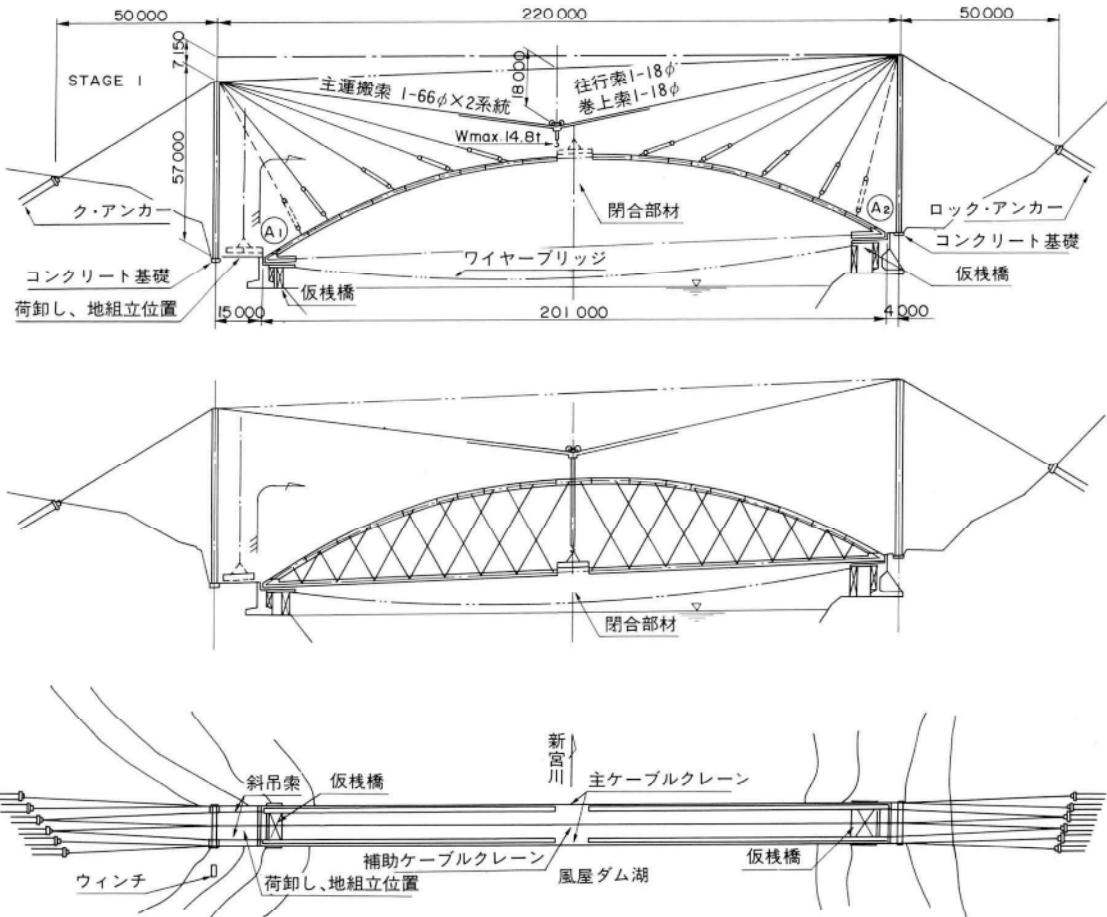


図-6 架設計画一般図

### (3) 工法の概要

#### 1) アンカー

アンカー予定地は民有地で杉、檜の植林が成されており、急斜面で機械による土木工事が困難であること、また、地質調査の結果アースアンカーでの対応が可能であることからアースアンカーを採用した。アースアンカーの設計は「土質工学会アースアンカー設計・施工基準」に基づいて実施した。安全率は同基準によると、仮設構造物に対し1.5であるが、工法の特性から最も重要な仮設であるため永久構造物と同等以上と考え3.0とした。アースアンカーの荷重と使用引張材を表-5に示す。

#### 2) 鉄塔

アーチクラウンのライズが28mの下路橋でありケーブルクレーンの必要サグ等から総高57m、反力260t/1柱の鉄塔となった。当社での最高値であり主断面は4-H. 300×300×10×15の8号鉄塔を一部追加製作して使用した。

A1方は工事用道路が整備されていることからトラッククレーン(127t吊)により組立てた。鉄塔の最大部材重量が約4tあることから、A2方へは4t車により現橋を経由する小運搬を行った。しかしながら大型車の現橋通行に問題があるため組立てはエレクターを使用した。エレクターの組立てと鉄塔基部の架設には、現橋の耐力照査を行い、総重量20t以下のトラッククレーン(15t吊)を使用した。

表-5 アースアンカーの荷重と使用引張材(1ヶ所当たり)

荷重 (t)	使用引張材(SEEEストランド)					
	呼名	本数	構成	P <sub>u</sub>	P <sub>y</sub>	P <sub>a</sub>
主ケーブルクレーン	F-160	1	Φ15.2×7	161.7t	137.9t	97.0t
斜吊設備	F-130	2	Φ12.7×7	130.9t	113.3t	78.5t
副ケーブルクレーン	//	1	//	//	//	//
控索	F-70	1	Φ9.5×7	72.8t	62.0t	43.7t

注) P<sub>u</sub>:引張強度、P<sub>y</sub>:降伏強度、P<sub>a</sub>:許容強度 = 0.6・P<sub>u</sub> or 0.75・P<sub>y</sub>

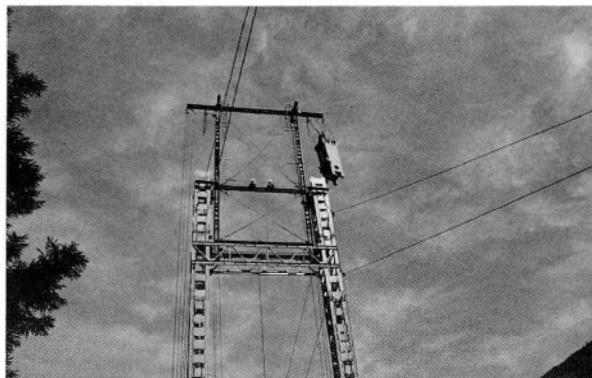


写真-3 A 2 方鉄塔組立

表-6 現橋耐力照査結果

部 位	$P_a$ 後輪荷重	$W = P_a / 0.4$ 総 重 量	摘 要
床 版	t 4.267	t 10.667	木材の許容応力度は破壊強度の1/5としているため、実際には損耗を考慮しても、かなり耐力がある。
縦 枠	6.650	16.652	載荷位置の指定により、 $P_a = 11.2t$ 、 $W = 28.0t$
床 枠	8.274	20.685	
補剛構 吊 索 主 索	昭和48年度の照査でL-14に耐える。と報告されているため、 今回は照査せず。		

注) 床版・床組については、架設荷重として、許容応力度を25%割増し、又、工事用車両1台のみ載荷。分布荷重は考えない。

### 3 ) ケーブルクレーン

最大部材を1台で吊り上げ可能なキャリヤー(15t吊)を両弦の外側に各々1条、計2条設置。主構間隔が9.7mと広いため橋梁中心線上に6.5t吊り1条を設置し、支材の架設等に使用した。

### 4 ) 支承の据付

斜吊り工法による架設では支承部に大きな水平反力を生じる。上路式アーチではピン支承や固定アーチとなっているため架設に先行して支承を固定し、水平力を受けることが多いが下路式アーチでは架設前に可動支承を固定することが出来ない。

このため基本設計段階で次の対策が成されていた。可動側の胸壁を後施工とし、胸壁の背面に反力板を下部工と同時に施工する。可動支承の上部構造は水平力を受けられる形状である。下部の固定はベースプレート方式で現場溶接によるものである。架設時の最大水平力は約500t/1弦である。

これらの条件から、本橋では固定支承は架設前に固定してアンカーボルトで抵抗させ、可動支承はアンカーボルトとベースプレートのみを固定し、下部は治具と溶接

で仮固定した(図-7参照)。一方、無応力状態での支間長と鋼桁閉合時の支間長の差が大きく、支承の移動可能量を超過するため下部サイドブロックを一時的に小さいものと交換して移動可能量を大きくすることとした。

### 5 ) ベント

支点上の上弦材は下弦材と一体構造で、下弦材の先端をベントで支持する必要がある。A1方は用地的な理由で斜ベントを設け、A2方は直ベントを設置した(図-8お

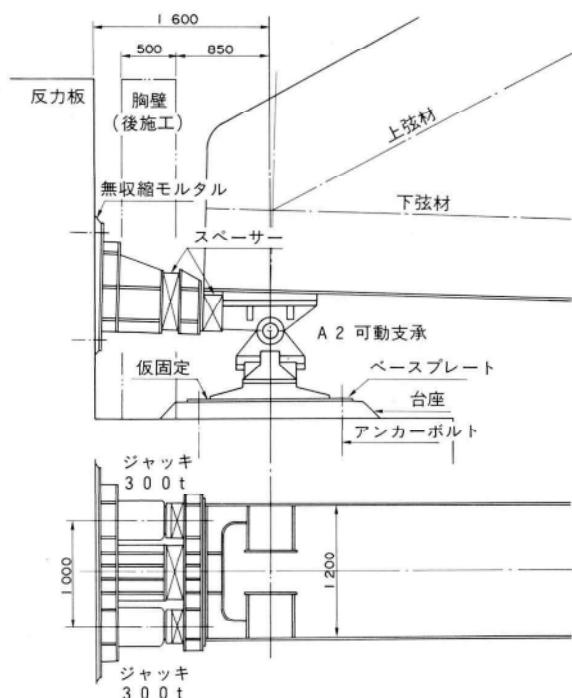


図-7 可動支承の水平反力受け

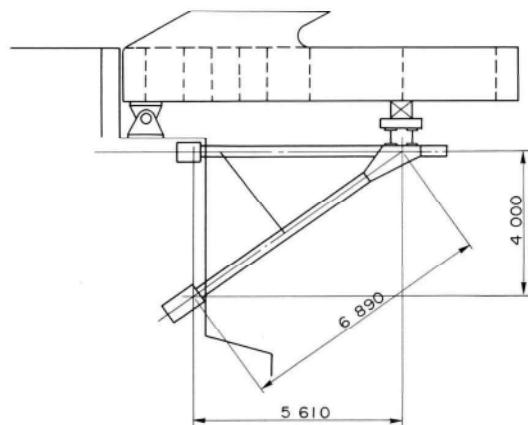


図-8 A 1 方斜ベント

および写真-4 参照)。

#### 6) 上弦材の架設(グラビア参照)

両支点から支間中央へ向けて、一部材づつ斜吊設備を転用しながらケーブルクレーンで架設を行った。本来、左右の弦と支材、横構を地組ヤードで組立てた面材を2台のケーブルクレーンで相吊り架設する方法が作業性、安全性、迅速性に優れるが、地形上の制約から地組ヤードが採れないことと、上横構がない構造であることから単材架設とした。支材は上弦材の架設に対応して取り付けた。

#### 7) 斜吊材(ケーブル)の取り付け

両弦外側の主ケーブルクレーンで作業床(ゴンドラ)を吊り、作業床を利用して斜吊材を上弦材に取り付けた。上弦材から鉛直に吊り下げた斜吊材は、風による振れを防ぐため、ワイヤープリッジとロープで結束した。

#### 8) 下弦材・横桁の架設

上弦材と同様、両支点から支間中央へ向けて、一部材づつ架設した。支点寄りの継手を添接した後、ケーブルクレーンで斜吊材を引き寄せて取り付けた。従って、下弦材1格間長は一時的に片持ち状態となる。このため各部材の支間中央寄りに、仮吊材を設ける予定で金具を設置したが、仮吊材を使用するに至らなかった(写真-6)。

横桁は下弦材の架設に対応して取り付けた。また、下路面の安全通路を設置する必要から、幅員中央部の縦桁2列を横桁の架設に対応して取り付けた。残りの縦桁および小物部材は弦材の閉合後に架設した。

#### 9) 斜吊材の調整

本橋の斜吊調整構造は調整ナット方式で、その調整可能量は±50mmである。調整の詳細は「施工報告(その2)」で行う予定である。ここでは、上弦材側定着構造と定着機材の配置図を添附する。



写真-4 端部架設写真(斜ペント)



写真-5 斜吊材の取り付け(ケーブル架設)



写真-6 下弦材・横桁の架設

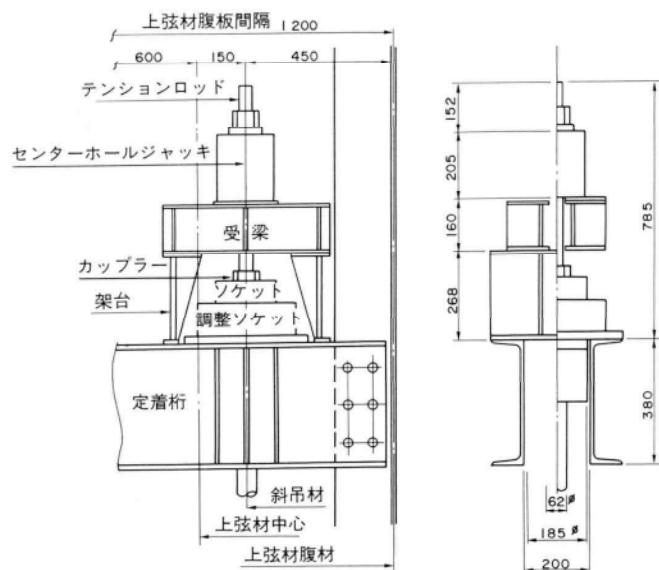


図-9 上弦材側定着部

表-7 全体工程表

	昭和63年						平成元年						平成2年						平成3年																	
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3			
設 計	■	■																																		
材料原寸			■																																	
製 作				■	■	■																														
仮 組 立					■	■																														
工場塗装							■	■	■																											
仮 設 備													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
架 設															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
床 版																																				
現場塗装																				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
跡 片 付																																		■		

#### 4. 工程

表-7 に全体工程表を示す。

本報告を終えるに当り、奈良県五條土木事務所はじめ多くの方々のご協力に感謝致します。

#### 〈参考文献〉

#### 5. あとがき

川津大橋の現地では、平成3年春の供用開始を目指し、橋面工、塗装工および付属物工を施工中である。考察は竣工を待つこととし、残りの工程の無事故完工を祈念する。

- 1) 川津大橋 橋梁整備工事（設計委託）報告書；奈良県五條土木事務所、株阪神コンサルタンツ、昭和59年3月

1990.10.31受付

#### グラビア写真説明

##### 平溢橋

本橋は、島根県美都郡美都町の板井川に架る。この町は、道路改良に伴なう要望が明治初めより出されておりこれらの情勢に備える為、(主)浜田美都線道路改良工事として昭和56年より着手し、沿道地域の交通サービスと発展に貢献しようとするものである。本改良工事は、美都町板井川を起点とし、美都町宇津川を終点とする延長約2.4kmの路線である。本路線は、大峰トンネルを中心に、平溢橋を含む5橋が有機的に連絡し合い、本橋も地元の期待を仰ぎながら、美都町の日常生活、産業活動の発展に大いに拍車をかける事となる。架設工事の特色は、急陵地形部に計画されている為、脚高30m近くの高橋台上に架設する事から、クローラークレーンを桁上に乗せ張出す工法で行なわれた。また積雪寒冷地の為、工程調整が難しく冬期間の施工を余儀なくされる中で合理的、安全性、高品質な施工を要求されている。尚本橋は、板井川の森林に面している為、四季折々の風景が楽しめ地元住民はもとより観光客からも新しい時代に対応すべく美都町の玄関口として愛され、期待される橋となりそうである。(三橋)

# 3径間連続鉄道併用トラス(関西国際空港連絡橋) の大ブロック架設

**Large-Block Erection of Three-Span Continuous Truss Bridge for Combined Expressway and Railway Use (Access Bridge for Kansai International Airport)**

阿部 敏\* 後藤 隆二\*\*  
Takeshi ABE Takaji GOTOH

## Summary

The Access Bridge for Kansai International Airport links the man-made airport island, which is 5 km offshore from Senshu, in the southeastern part of Osaka Bay, with the mainland. The bridge carries an expressway and a railway and is 3.75 km long. This paper describes the field construction works of a 450 m subsection nearest to the island which is part of the total of 2.7 km continuous truss bridges located in the center of the entire bridge. This subsection has three spans, each 150 m long.

On the basis of the geographical conditions, economy, workability, and safety of works, the large-block erection method using large floating cranes was used for the construction of the subsection.

After three separate blocks of the three-span continuous truss bridge subsection had been assembled at the factories and brought from the quay, they were transported aboard barges and placed in position by means of large floating cranes with capacities of 3,500 to 4,100 t.

## 1. まえがき

関西国際空港連絡橋は、大阪湾南東部の泉州沖約5kmに造成された空港島と陸部を結ぶ連絡施設で、高速道路と鉄道機能を併せ持つ全長3.75kmの橋梁である。

本稿では、この連絡橋の中央部2.7kmのトラス橋のうち最も空港島側に位置する、橋長450m、支間長150mの3径間連続トラス橋の現地架設工事について報告を行う。

架設工法は、地理的条件、経済性、施工性、安全性等を考慮し、大型フローチングクレーンを用いた大ブロック一括架設工法とし、3径間連続トラス橋を3つのブロックに分け、各製作工場の地組立場より浜出しの後、台船

により海上輸送し、3500t～4100t吊りの大型フローチングクレーンにて架設を行った(図-1)。

## 2. 工事概要

発注者：関西国際空港株式会社

工事名：空港連絡橋鋼トラス製作その3工事

工事場所：大阪府泉州沖海域

工期：自 平成元年8月1日

至 平成2年7月31日

構造諸元：

形式：道路・鉄道併用鋼床版合成3径間連続ダ

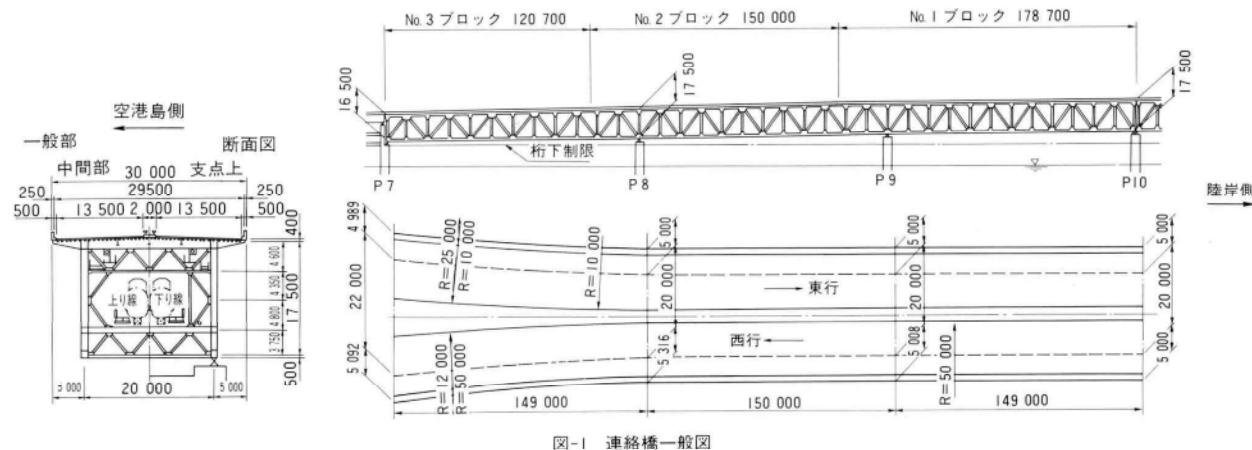


図-1 連絡橋一般図

\* 宮地建設工業(株)東京支店工事第1部長

\*\* 宮地建設工業(株)大阪支店工事部課長補佐

ブルデッキトラス橋	
橋 長	450m
支 間 割	149m + 150m + 149m
主 構 高	16.5m ~ 17.5m
主構間隔	20m ~ 22m
線 形	平面……直線 縦断……1.7%直線勾配 横断……2.0%直線勾配
支承形式	中 2 脚固定系
伸縮装置	ダクタイル式ブロックタイプ
連 結	高力ボルト M24 (F10T)
	鋼床版、現場溶接

施工数量概要：ブロック架設数量（表-1）参照

### 3. 架設概要

本橋は、構造物の設計段階から、現地の施工条件等を反映して、設計、製作、架設輸送の各部会間で種々の検討を行った後、現地架設工事に取りかかった（図-2）。

架設作業は、その大部分が海上で行われるため部材は可能な限り工場地組立時に取り付けることを指向した。単材架設となる後架設部材、付属物等および架設後現地にて使用する重機、トラック、発電機、仮設事務所等は、あらかじめ地組立時に搭載し、大ブロックと同時に海上輸送した。

架設作業の詳細検討においては、本工事より約半年早く、鋼トラス製作（その1）、（その2）工事が現場施工を着手していたため、その経験談を教材として大いに利用させていただいた。ただし、本橋の架設上の特徴とし

て、構造上、P<sub>7</sub>～P<sub>8</sub>橋脚の間において主構間隔が20.0m～22.0mに広がっているため、橋体の吊金具取付位置が一定でなかった。そのため、橋体架設用の吊天秤を一部改造する（吊天秤に間詰材を挿入して対処した）必要があった。

また、No.3 ブロックの架設作業は、No.2 ブロック継手仕口端と P<sub>7</sub>橋脚の壁面との間に橋体を落とし込む作業が生じ、本橋の構造設計段階から検討の結果、落とし込み作業時に支障となる鋼床版部を一部切欠き、後架設部材とする構造の変更を行った。その際、最終段階での現場継手部のセッティングの時は、P<sub>7</sub>橋脚と橋体端部との余裕が約13cm程度での架設作業であった。

大ブロック架設中の桁間の連結方法には、モーメント連結法、セッティング連結法の2種類があり、いずれの工法にも利点、欠点はあるが主構本体、架設機材、治具等を比較検討すると、明らかに前者の方が経済的であり、また、本工事において現場施工が可能な事から前者を採用するものとした大ブロックのモーメント連結工法を図-3に示す。

この方法は、桁をFCによって吊り上げた状態で継手部

表-1 ブロック架設数量

	No.1 ブロック	No.2 ブロック	No.3 ブロック	合 計
鋼 構 造 物	4 129.62	3 501.41	2 704.60	10 335.63
転 用 機 材	11.40	70.80	70.00	152.20
大ブロック吊環	5.47	5.26	5.26	15.99
桁 付 足 場	34.75	57.00	32.53	124.28
重 機 類	95.10	95.10	7.80	198.00
そ の 他 資 機 材	25.40	20.40	20.70	66.50
橋 体 塗 装	32.40	28.30	23.30	84.00
ワイヤリング	288.35	288.35	315.28	891.98
合 計	4 622.49	4 066.62	3 179.47	11 868.58

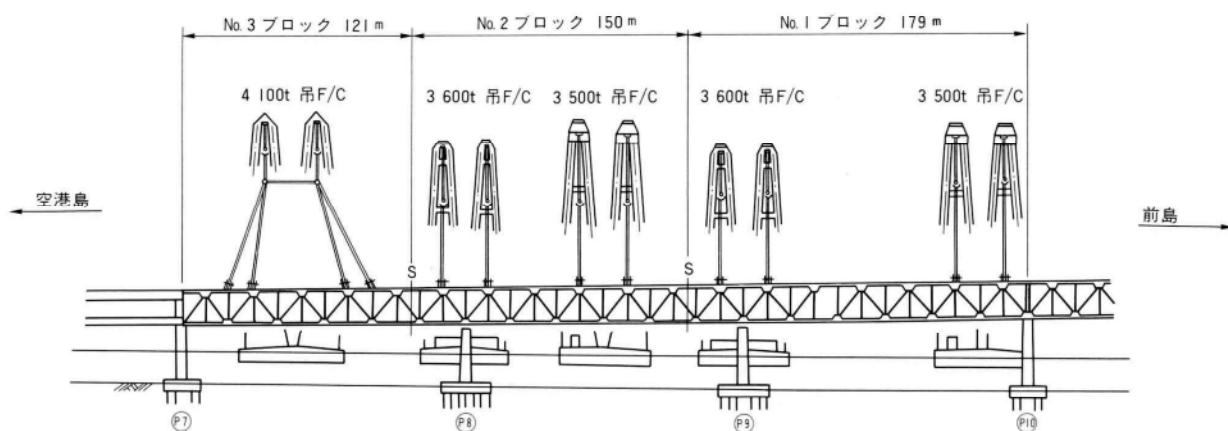


図-2 架設要領図

仕口を合わせ、無応力状態で添接を行い、逐次剛結するもので、既設桁の仕口勾配に合わせて吊り桁を傾斜連結するもので、通常の様にFCの離脱後に全反力を負担させる様な大規模なセッティングビームは不要であるが、FCが動搖する中での添接作業は難しい。しかし、橋体に大きな動搖がなければ、添接部仕口が離れない程度の簡易なセッティングガイドおよびセッティングピンを用いて架設することができる。

架設途中においては、温度変化による脚の変形、キャンバーの変化等による継手部仕口の変動に対処するために、No.2 ブロック本体にセットされた固定沓（P<sub>8</sub>橋脚）を一時仮可動化した。基本計画では、調整プレート上面と沓下面との間にテフロン板をセットし、仮可動化する方法を検討したが、鋼トラス製作（その1）、（その2）工事にて検討、実績のある摩擦係数を低減させる事の可能な潤滑剤を塗布する潤滑材方式を採用した。

本橋の全体の架設実績を表-2に示す。

#### 4. 架設フローチャート

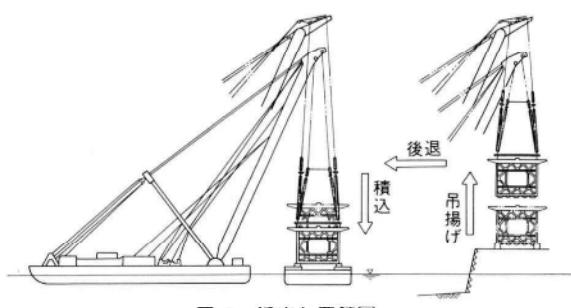
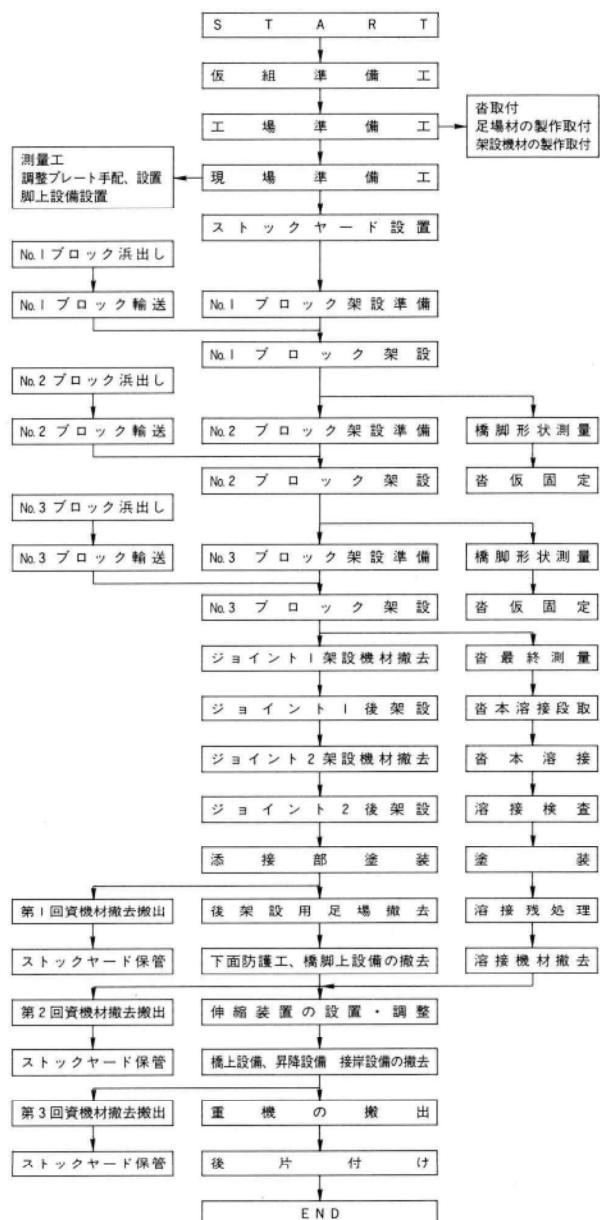
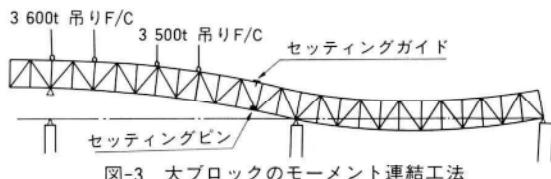
架設フローチャートを図-4に示す。

#### 5. 浜出し、輸送

本工事の浜出し、輸送の計画、実施に当たっては、関係各所との綿密なる打合せを繰り返し、作業項目のチェックを行い、設備、段取り等にモレのない事を確認した後作業にとりかかった（図-5）。

表-2 大ブロック浜出し、架設実績表

ブロック	No.1 ブロック	No.2 ブロック	No.3 ブロック
浜出し場所	大阪府堺市築港新町2丁 帝人埠頭ヤード	岡山県玉野市玉3丁目 三井造船㈱深井岸壁	愛知県半田市 西5号岸壁
浜出し日	平成元年10月27日	平成元年11月6日	平成元年11月21日
架設日	平成元年10月31日	平成元年11月12日	平成元年11月26日
使用 F/C	第50吉田号(3500t吊り) 武藏(3600t吊り)	同 左	海翔(4100t吊り)
使用 D/B	第2芳洋(I3600t積み)	同 左	同 左



浜出し作業は、陸上と海上の作業者の連携プレーのため、両者の意志疎通を図った。浜出しの前日には、フローティングクレーン（以下FCと記す）、デッキバージ（以下DBと記す）ともに岸壁に係留し、試験吊りを兼ねた予行練習を行い、関係者各人が役割を熟知した状況で翌日の浜出し作業に備えた。浜出し当日は、作業の無事完了を願い安全祈願祭を取り行い、タイムスケジュールにそって、FCの稼働を始め橋体の吊り揚げを開始し、橋体が架台上1.5mまで吊り揚げられた状態で橋体の地組立時の支持部の補修塗装を行い、台船に積込を行った（写真-1）。

浜出し、輸送の際の確認、点検事項は、以下の如く行った。

#### 1) DBの設備の確認事項

- ① 橋体振れ止め索の設置状況の確認
- ② 橋体搭載用架台上の高さ調整プレートの配置および橋体搭載位置マーキングの確認
- ③ デッキバージの設備（発電機、ワインチ、係留資材等）の数量および機能の確認

#### 2) 橋体への搭載物の状態確認事項

- ① 架設用足場、防護ネット、昇降設備等の取付状態の確認
- ② 大ブロック架設時の引込み設備の取付状態の確認
- ③ 後架設部材、搭載物（コンテナハウス、トイレ、重機類等）の固縛状況の確認
- ④ 架設時の橋体位置決め用の橋軸中心のマーキングの確認（トランシットで規準し、架設時、橋体の位置を確認し、FCを誘導するために、橋軸中心位置を橋体端部に、リボンテープを貼りつけた。）

#### 3) 係留設備の確認事項

- ① 浜出し場所の岸壁の水深、ならびに岸壁の係留設備の位置、規模等の確認



写真-1 No.1ブロック浜出し

- ② FC相吊り時のディスタンスバージの位置、固定状態の確認

#### 4) 橋体本体の確認

- ① 吊具の確認（浜出し前日の試験吊りにて、50%まで負荷をかけて、ワイヤリング、吊具、ピン等の確認をした。）

- ② 支承の固定状況（セットボルトの締付状況、上、下脅固定用のターンバックルの締付状況、可動脅の形状保持材の取付状況等）の確認

- ③ 橋体全体の塗装外観の確認

橋体の輸送は、大型船舶の航行となり、特にNo.2ブロックは明石海峡を、また、No.3ブロックは、伊良湖水道、友ヶ島水道を、また、工事海域付近は、大阪湾の中でも有数の漁場であることから一般航行船舶への安全確保に努めた。

No.3ブロックの輸送においては、外洋を航行することから、台船のピッチングが激しいと予想し、また、トラスその2工事にて同じ径路を輸送した実績を踏まえて、台船に設置した橋体のズレ止め用のストップバーを縦方向に増設し、横方向は補強をした。図-6にブロック曳航要領図を示す。

## 6. 架設

本工事の大ブロック架設作業は、No.1を平成元年10月31日、No.2を同年11月12日、No.3を同年11月26日に行なった。関係者の作業打合せは、浜出し時と同様綿密に行い、特に架設当日の応援者（JV関係者および協力業者等）には、各人の役割を充分認識させた上、作業に取りかかった。

架設前日までに事前準備作業として以下の項目を行った。

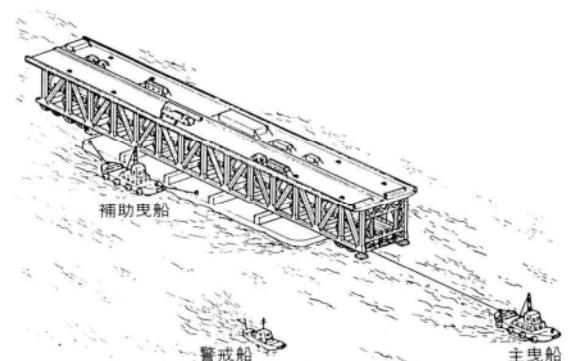


図-6 鋼トラス橋大ブロック曳航

- ① FC・DB現地係留用アンカー(15t ×12ヶ所)の設置
- ② FCの現地係留
- ③ ディスタンスバージのセット(FC相吊り時のみ)
- ④ DBの現地係留
- ⑤ 吊具のセット(写真-2)
- ⑥ 30%負荷、試験吊り
- ⑦ 吊具等の点検

大ブロックの架設作業は、日の出時刻を目安に前日の30%負荷より巻き揚げを開始し、橋体をDB架台上1.5mまで吊り揚げた後、橋体支持点の補修塗装を行った。補修塗装の検査終了後、DBのラッキングをすべて開放し、再び橋体を約10m程吊り揚げ、DBの出域準備を行った。FC

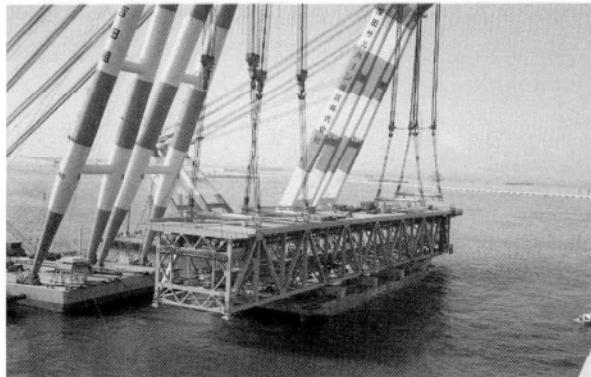


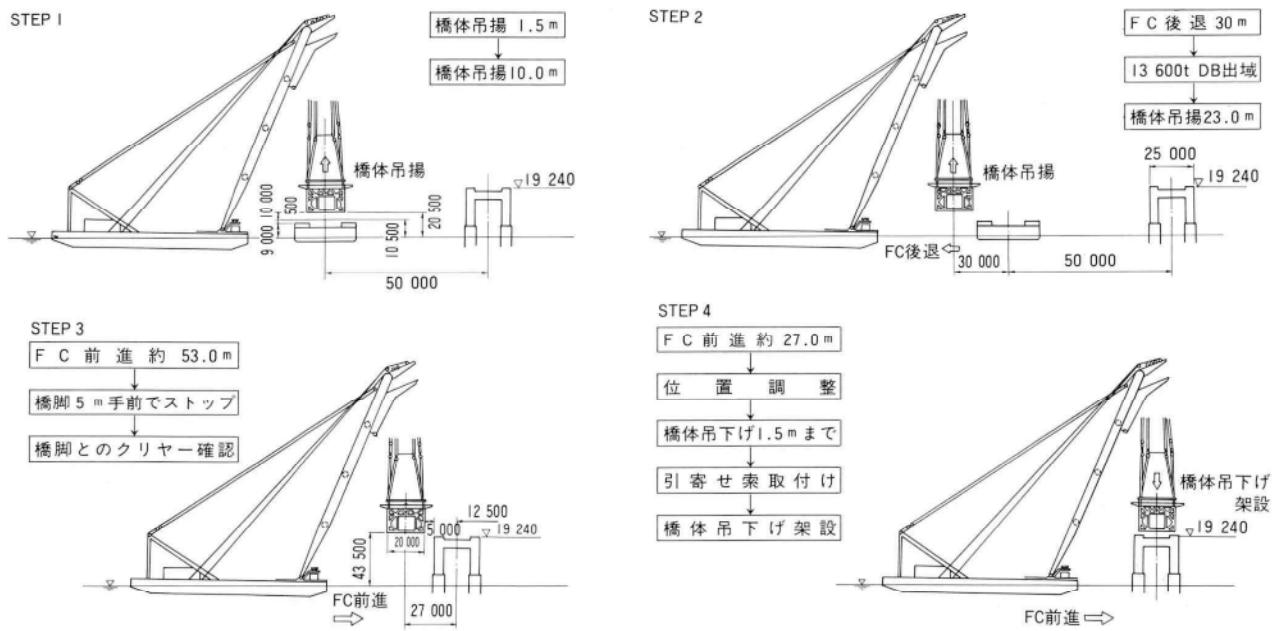
写真-2 吊具セット

を約30m後退させ、橋体がDB上をクリアした後、DBの曳船を筋取りし、DBの出域を行った(写真-3)。DBの出域次第、橋体を既設桁をクリヤーする高さまで約23m程吊り揚げ、既設桁と架設桁の高さ、位置関係を目視確認し、FC(橋体)の前進を約53m行う。

この状態で再度橋体位置を確認し(特に下段ネット、添接用足場、通路等が支障していないか確認した)、再び橋軸中心位置まで前進約27mを行い、橋軸方向、橋軸直角方向の微調整をFCの移動により行った。橋体位置の確認後、橋脚上約1.5mまで巻き下げ、橋脚より橋体呼び込み索をセットしFCの微調整により橋体を脚上約0.3mまで巻き下げ、再度位置の確認をし、据付を行った。図-7に大ブロック架設作業のステップ図を示す。



写真-3 DB現地離脱



以下に各ブロックの架設におけるポイントを記す。

No.1 ブロックにおいては、P<sub>9</sub>とP<sub>10</sub>橋脚の中心線と橋体の沓中心線の位置合せ作業がポイントであり、No.1 ブロックの据付精度が本橋全体に影響するため、あらかじめ工場地組立時の橋体の出来形を現地に反映し、各橋脚上に中心線をマーキングした。

橋体が橋脚に接近した後、橋脚より呼込み索をセットし、初めにP<sub>9</sub>橋脚側を下げるFC荷重を10%放荷し、沓の中心線と脚上の中心線を調整した。最終微調整は、油圧ジャッキを沓の4方向にセットして行った。P<sub>9</sub>沓の仮固定完了後、P<sub>10</sub>側を下げる同様に微調整後据付を行った（写真-4）。

No.2 ブロックにおいては、継手部の添接作業があり、また、P<sub>8</sub>橋脚の固定沓を仮可動化する事がポイントであった。

橋体に呼び込み索をセット後、橋体を巻き下げ、P<sub>9</sub>側の上弦材のセッティングガイドで橋体の橋軸直角方向の位置を誘導し、下弦材のセッティングピンで橋軸方向の位置を誘導した。所定位置に橋体を誘導した後、セッティングピンにFC荷重を約10%（約100t程度）放荷し、添接部の仕口状態を確認し、添接作業を行った。

添接作業の時、仕口形状の管理は、各ブロックの製作出来形寸法を反映したにもかかわらず添接部の架設基準値以内にセットする作業に最も時間を費した。添接作業完了後、P<sub>8</sub>橋脚の仮可動沓の据付を行った。仮可動沓とするため橋軸方向は、フリーとし、橋軸直角方向の

みジャッキにて仮固定した。ただし、ジャッキ頭部のサンドルの接触面は、潤滑材を塗付し、スライド可能な構造とした。

No.3 ブロックにおいては、添接作業は、No.2 と同様であったが、No.2 ブロック継手部の仕口面とP<sub>7</sub>橋脚の壁面との間にNo.3 ブロックを落とし込む作業、ならびに橋体の全体据付位置の確認がポイントであった。

No.3 ブロックの継手側の仕口の形状は、通常のトラス構造で、その端部は、主構端より、斜材端が余分に長くなっている。更に、P<sub>7</sub>橋脚は、腰掛け形式の脚で壁となっている。そのため、No.3 ブロックを通常位置では、落とし込みが困難のため、設計段階で検討の末、鋼床版を一部切欠き、その部分を後架設部材とし、斜材が鋼床版をかわる位置まで落とし込みを行い、その後、FCのシャースを倒す事により橋体を所定位置にセットした。

継手部のセッティング作業を行う時のNo.3 ブロック橋体とP<sub>7</sub>橋脚の余裕は、約13cmとなり、橋体の縦断勾配が1.7%あり、所定勾配を確保するため、FCの左右のシャースの調整（勾配調整、並びに荷重調整）を慎重に管理した。

添接作業の終了後、FCの吊荷重を放荷し、P<sub>7</sub>橋脚の沓の据付を行った。P<sub>7</sub>橋脚付近の概念図は図-8 のようである。

3 ブロックの架設作業は、ともに天候に恵まれ、うねり、風等による橋体の動搖はなく、橋体の据付、添接作業が順調よく進んだ。



写真-4 No.1ブロック架設

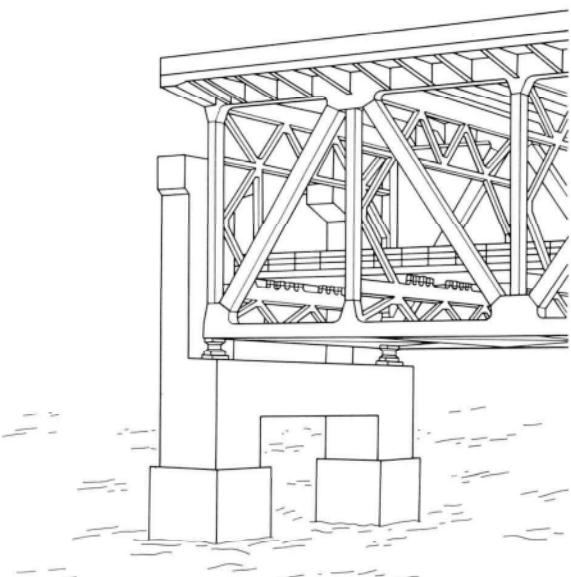


図-8 P7橋脚付近概念図

## 7. 浜出し、架設時の計測管理

浜出し、架設時において、FCの吊荷重、FCの位置、方向等の計測を行った。計測、管理項目は、以下の如くである。

### (1) FCの吊荷重の管理

FCの吊荷重は、あらかじめ電算により算出し、その値と実際の差がない事を確認し、相吊りに伴う荷重のアンバランスがないことを確認した。

### (2) 橋体の吊り揚げ高さの管理

浜出し時の橋体の吊り揚げ開始時、支持点の地切り状況を確認した。同様に、DB架台上に橋体を搭載する時ならびに、現場でDB上より橋体を吊り揚げる時の架台上でも同じく管理した。架台上1.5m吊り揚げ後、勾配調整を行った後、FCの揚程計をゼロに設定し、その後の吊り揚げ高さ管理を行った。尚、確認として、主構、下弦材より、計測テープを下げて、吊り揚げ高さを確認した。

### (3) FCの移動量の管理

FCの橋体吊り揚げ後の移動（後退、前進）の管理は、浜出し時は岸壁よりFCまで、また、架設時は橋脚よりFCまで計測テープを張り渡し、その移動量を読みとめて行った。

### (4) 橋体据付位置、浜出し時のFC係留位置の確認

浜出し時、橋体の中心位置に、FCのシャース中心をセットするために橋軸方向および橋軸直角方向より、FCのシャース中心をトランシットで視準し、その位置に誘導した。

架設時は、橋軸中心線上の既設ブロック上と隣接の橋脚上にトランシットを据え付け、架設桁の両端に取り付けたりボンテープを視準して、FCの移動量を指示した。

## 8. 大ブロック架設に伴う構造上の問題点と対策

本橋は、トラス構造のため、現場継手部が、上、下弦材、斜材の計6ヶ所あり、それら仕口部の地組立時の全体出来形精度は、各ブロックとも地組立場所の違いにより、その値は微妙に違いが生じている。地組立時、その精度を詳細に測定し、架設現場の状況に合わせて対処するが、大ブロック吊り揚げ時の形状変化、既設桁の温度、また、架設途中の製作キャンバーの変化等により、継手仕口部の形状に変化が生じ、地組立時のデーターと一致しない。そのため、現地での継手部の添接作業に時間を費した。

本工事においては、形状保持材として、上、下弦材の間隔保持材、斜材の形状保持材を取り付けたが、現地では、その調整に苦労した。

今後、同種の工事が生じた時、設計段階で、継手部にジャッキング設備用のコネクションピースを設置し、仕口部の微妙な肌合せは、ジャッキ操作で処理出来るよう検討が必要と思われる。

## 9. おわりに

本工事は、大ブロックの架設後、架設機材の撤去、継手部の部材の架設、支承ならびに鋼床版の現場溶接、鉄道緩衝桁ならびに伸縮装置の据付と続き、これらの作業は、気象、海象条件の厳しい冬期に施工し、工程的に少し遅れぎみとなったが、平成2年7月31日、無事工事を完了する事が出来ました。現場施工に当たって御指導いただいた関西国際空港株式会社岸和田建設事務所の監督員の皆様方、ならびに御協力いただいた関係各位皆様方には、深く感謝の意を表わすとともに、紙上をもって御礼を申し上げ、本報告を終りとします。

1990.10.31受付

# 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

Manufacture and Assembly of Large Steel Piers with Unified Footing  
(Access Bridge for Kansai International Airport)

鈴木富雄\* 川名英雄\*\* 佐藤利四郎\*\*\*  
Tomio SUZUKI Hideo KAWANA Rishirou SATOH

## Summary

The Access Bridge for Kansai International Airport, linking the new Kansai airport to Izumisano City, is used for both road and railway and has an overall length of 3,750 m, most of which consists of a truss bridge.

The piers of this truss bridge are of composite structure. They were manufactured at the factories so that the foundation and the substructure are combined into one and are mounted on steel pipe piles set into the sea bed. The assemblage of piers and piles was then solidified by placing concrete to make one unit.

This paper presents a summary of the manufacturing, the field assembly, and the transportation from the quay of the piers as well as a summary of the quality control, to which much attention was paid during the manufacture of the piers.

## 1. まえがき

関西国際空港連絡橋は、関西新空港と泉佐野市を結ぶ全長3750mの道路・鉄道併用のトラス橋を主体とした橋梁である。このトラス橋の橋脚は、工場にてフーチング部と橋脚部分とを一体化した構造として製作し、海中にあらかじめ施工されている鋼管杭上に据付け、コンクリート打設により、鋼管杭と一体化し、合成される合成構造物である。

この橋脚の一部が関西国際空港株式会社から、空港連

絡橋下部第五工区工事として、前田・戸田・日本国土開発建設工事共同企業体にP18~P23の6基発注され、その内の1基P21橋脚の工場製作を当社が前田建設工業株式会社より受注し製作を行った。

ここに、その製作概要を報告する。

## 2. 構造概要

P21橋脚は、2基の橋脚基部にI型の大梁・小梁を格子状に組み合わせたフーチング部(大梁高5.1m、小梁高3.5m、鋼重約1200t)と門型ラーメン構造の鋼製橋脚部(箱断面5.0m×5.0m 9セル鋼重約900t)が一体となった構造である。P21橋脚の一般寸法および構造概要を図-2、3に示す。なお、使用主鋼材はSS41~SM58Q、板厚12mm~43mmである。

## 3. 製作基本方針

工場製作にあたっては、部材の大きさ及び重量の上から橋脚部は通常の製作ラインにのらない為、大型工場での製作を考えた。(橋脚ブロック最大8.0m×5.0m×8.0m 重量約145t)

部材の製作は、フーチング部と橋脚部に分割、通常製作ラインと大型工場にて各小ブロックを組立・溶接し、ブロック完成後ヤードにて組立て一体化する方法をとった。

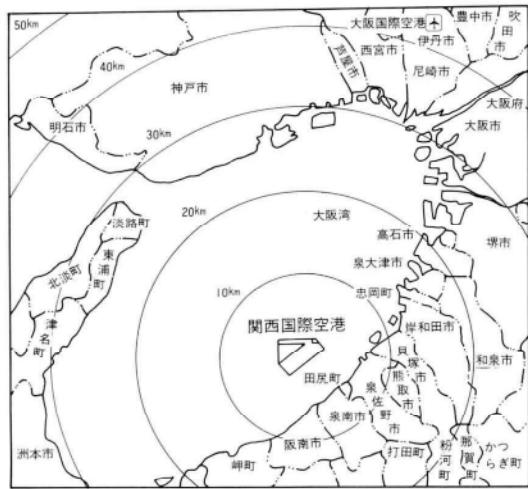


図-1 位置図

\* 千葉工場製造部生産設計第1課課長代理

\*\*\* 千葉工場製造部生産技術課係長

\*\* 千葉工場製造部部付課長

た。図-4に作業フローチャート、図-5に部材組立て形状を示す。

本工事は大ブロック一括架設であり、配筋、コンクリート打設管をはじめ、脚内・外の梯子等付属物一斉を組み込むことになる。

設計上はフーチング上・下フランジに板継ぎ溶接部が多くなっているが、部材精度向上を主眼とし、歩留りを犠牲にして板継ぎ省略を行い、大板から井型形状の板の切り出しを行った。

フーチングのスタッドジベル(19φ×150)は、15000本を超え、中ブロック以降では水平打ちとなるため、ヤード溶接に支障のない範囲は単材のうちに下向にて溶接した。単材完成後、フーチング外板はblast処理後厚膜型無機ジンクリッヂペイントを塗布した。脚柱について

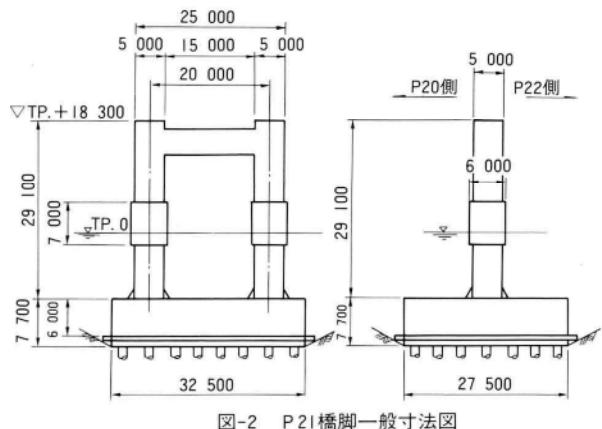


図-2 P21橋脚一般寸法図

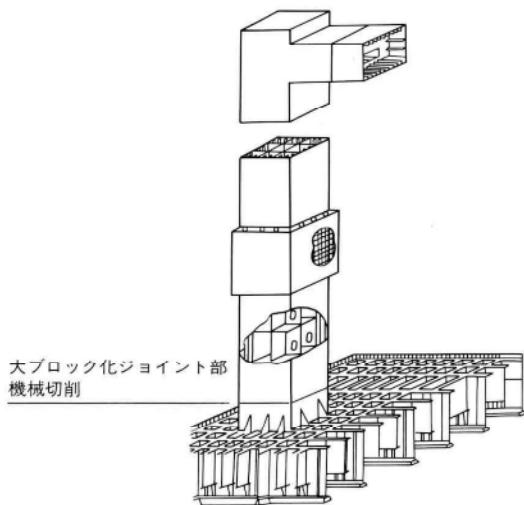


図-3 P21橋脚図解図

は、ヤード溶接部を除き部材完成後上塗り塗装まで、本塗装を行った。但し、犠牲鋼板部の超厚膜型エポキシ樹脂塗装は、中ブロック完成後本塗装を行った。

今回、工場内管理に主眼を置くためフーチング部と脚柱部を分割して中ブロックとした。脚柱基部および他の脚柱部材についても単材の時点で機械切削を行い、中ブロックの段階でも逐次計測し、フーチングの先行出来形を脚柱出来形に反映した。

ヤード施工に於いて、仮組・矯正・溶接など高所作業

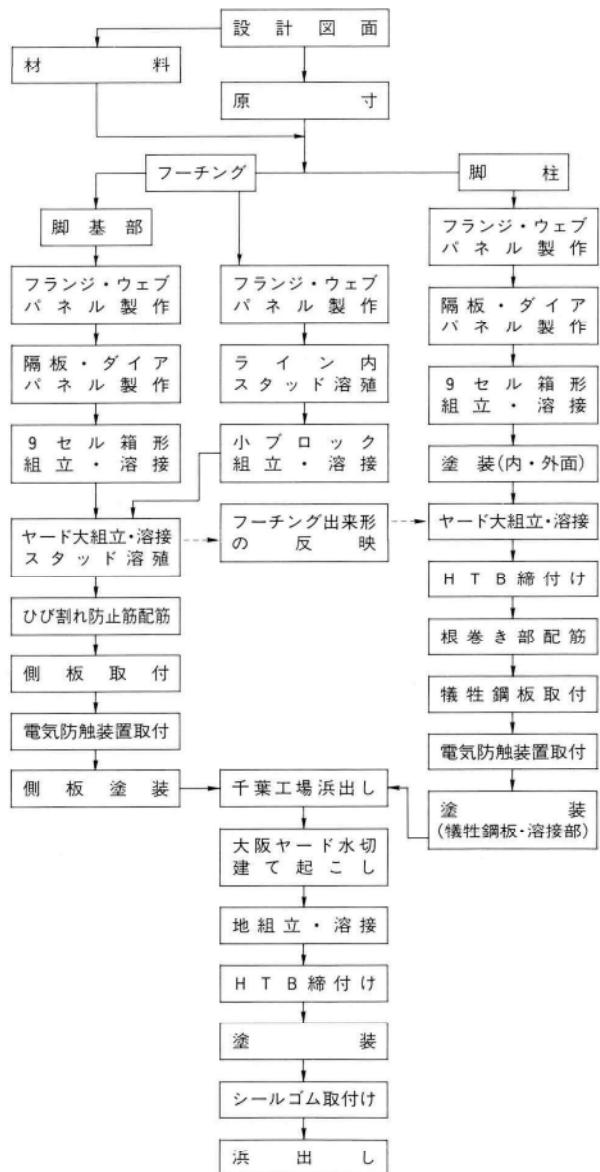


図-4 P21橋脚製作概要工程

が多く、特に低所から高所まで連続施工となるフーチングのウエブおよび脚柱の立向溶接では、油圧シリンダー式の高所作業車を使用した。フーチングの受台は、仮組立のための仮受点とひび割れ防止筋配筋時の本受点に種別し、ヤード溶接完了後仮受点を本受点と入替え、配筋やコンクリート漏洩防止受材の取付けが可能になるよう配置した。

#### 4. 部材ブロックの製作

##### (1) フーチング部のブロック分割

フーチングのブロックは、10-タイプ・22ブロックに分割した。分割法を図-6に、ブロックの大きさおよび概算重量を表-1に示す。フーチングブロックは通常製作ラインにて製作したが脚柱基部は重量120tと重い為、大型工場にて部材製作を行った。(①ブロック)

##### (2) フーチングブロックの製作

フランジ材は井型形状をしている為、シャーメーカー先切断により、井型形状にくり抜き切断を行い工場に搬

フーチング大組立  
(千葉工場)

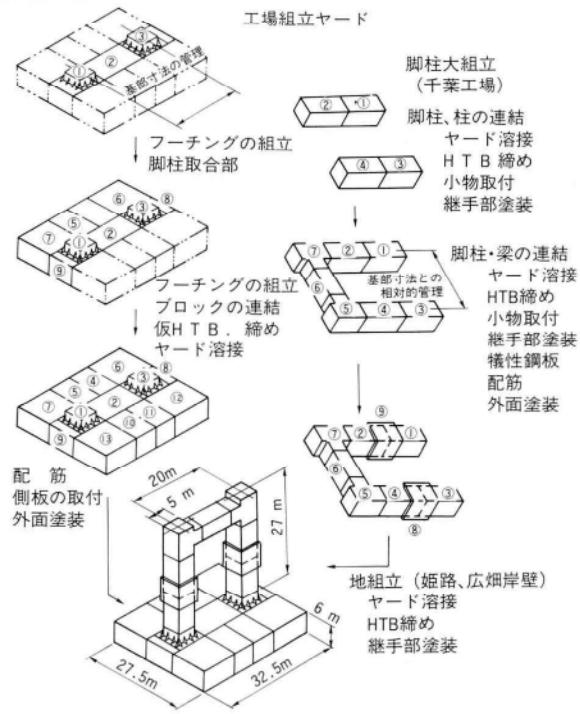


図-5 部材組立流れ図

入した。ヤード溶接部にあたる部分には、エンドタブ兼用のエレクションピースとしてT型に切断、ヤード溶接時ボルトにてセットが出来るようにした(写真-1)。

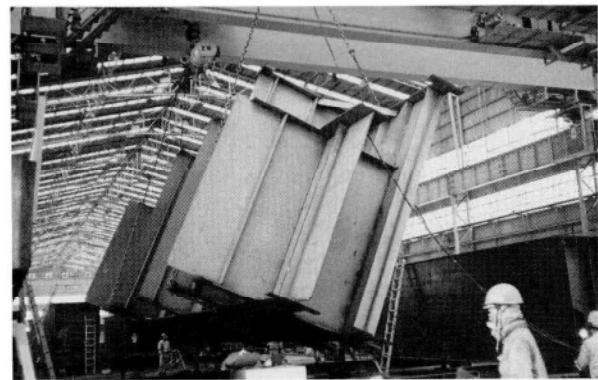


写真-1 フーチング部材

表-1 寸法及び概算重量

タイプNo.	個 数	ブロック概算重量(t)	ブロック寸法(mm)
①	2	120	4 350×5 700×10 650
②	2	25	3 150×5 200×6 200
③	1	59	3 500×5 200×13 800
④	1	52	2 700×5 200×13 800
⑤	4	58	4 350×5 700×10 650
⑥	4	46	3 800×5 200×10 650
⑦	4	46	3 850×5 200×10 650
⑧	2	39	3 750×5 150×10 650
⑨	2	55	4 750×5 150×10 650

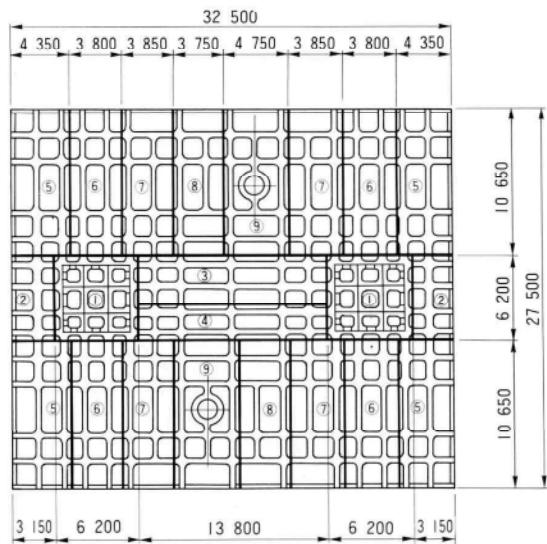


図-6 フーチングブロック分割形状

フーチング部のフランジ長さ方向の板継ぎによる収縮量は約2mmの収縮量を見込み、板継ぎ完了後の出来形確保の為の余裕を最外縁およびヤード溶接部に設けた。なお、部材長手方向の溶接収縮量としては、1-溶接線0.4mm/mの収縮量を見込んだ。

### (3) 脚柱基部

9部屋を形成する隔壁パネルは、幅・長さ・高さの各方向共+2mmを見込み、基部の長さ方向には脚柱ブロックとの取合い精度向上の為、フェーシング加工代として、約10mmを見込み脚基部部材完成後、フェーシングマシンにて所定寸法に仕上げた。なお、溶接の収縮量としては、橋軸方向・橋軸直角方向共、1-溶接線0.43mm/mの収縮量を見込んでいる。

### (4) 橋脚部ブロックの分割

橋脚の分割法を図-7に、その概算数量を表-2に示す。ブロックのタイプは柱・梁で構成され、柱は隅角部を含み左右対称に各3タイプ、梁ブロックをあわせ7ブロックとなった。これら柱のブロックは全て100tを超える為、大型工場にて部材製作を行った。

### (5) 橋脚部ブロックの製作

9部屋を形成する隔壁パネルには、幅・長さ・高さの各方向に+2mm、フランジ・ウェブの長手方向については0.4mm/m、断面方向には4mmの収縮量を見込んだ。また、各々のヤード溶接部には、ヤード溶接収縮量として各ブロック長手方向に+2mm見込み、ヤード溶接部に支圧密着部を4点設置、フェーシングマシンにて一平面になるように仕上げた。図-8に組立手順図を、脚ブロックを写真-2に示す。

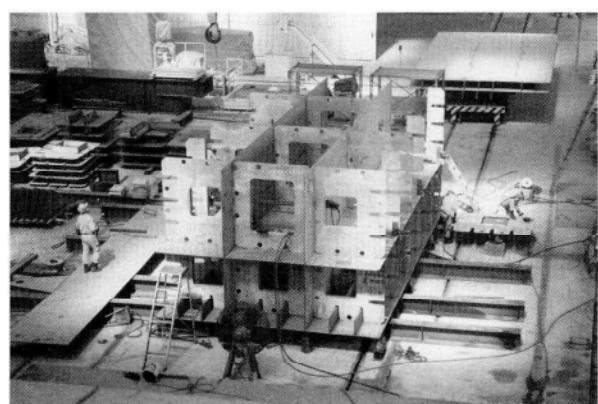


写真-2 橋脚ブロック

表-2 橋脚概算重量・脚柱ブロック詳細

ブロックNo.	個数	概算数量(t)	ブロック寸法(mm)
①	2	116	5 000×5 000×9 650
②	2	109	5 000×5 000×9 350
③	2	151	8 000×5 000×8 000
④	1	36	4 000×5 000×9 000

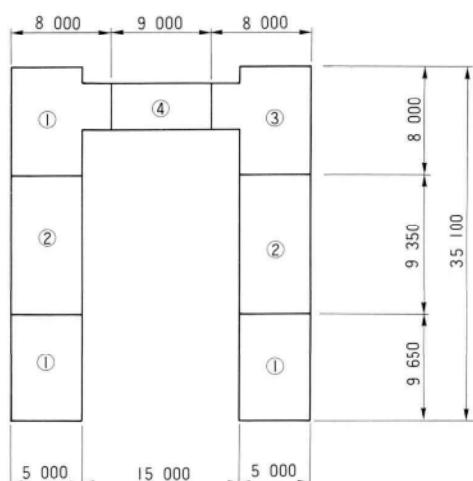


図-7 橋脚分割図

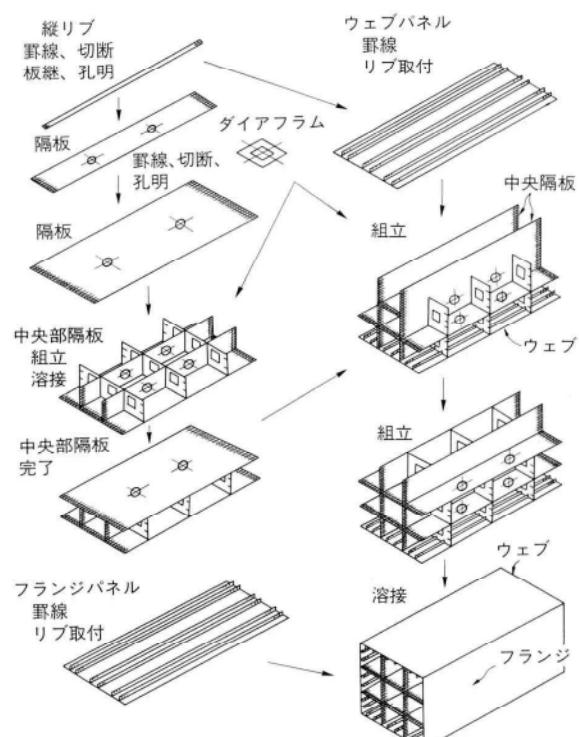


図-8 脚柱ブロック組立手順図

## 5. 大組立

### (1) フーチング部の大組立

工場ヤードにおける支持架台位置を図-9に示す。大組立位置は、フローティングクレーンによる搬出、岸壁の地耐力を考え各々直角に配置出来る場所とした。ブロックの組上げは、エンドタブ兼用の連結板を使用し、ボルトにて各ブロックを組上げていった(図-10、写真-3)。

フーチングブロックは22個の小ブロックに分割されている為、組上げの仮受台を62台、ヤード溶接後の本受台を38台、合計100台を用意し2基の橋脚基部を中心に順次時計回りに小ブロックをつなぎ、溶接を行っていった。

### (2) フーチング部の溶接方法

本工事全体を左右する2基の脚基部のセッティング・中央小ブロックとの組上げを慎重に行い、出来形を確認・溶接施工を行った。この基準部材に順次廻りの小ブロックを肉付けしていった。

フーチングヤード溶接部の主な使用鋼材は、SM58、SM50YB、SM50YA、SM41Bの板厚16mm～43mmであった。

溶接方法は、溶接長が400mm、600mmと短い上・下フランジには半自動MAG溶接を用い、溶接長が3500mm、5100mmと長い腹板にはエレクトロガス自動溶接と半自動CO<sub>2</sub>溶接を組合せて使用した。開先形状は上・下フランジはレ形、差込み腹板はレ形およびK形、突合せ腹板はV形開先とした。溶接箇所数は全量で107箇所、小梁部54箇所、大梁部差込み部36箇所、直継ぎ部17箇所であった。各溶接方法の開先形状と施工量を表-3～5に示す。

採用した溶接方法が防風対策を必要とする為、フーチング外周にシートとネットで全面を覆い、更に溶接各部

の全面をシートで防護した。

溶接継手部の非破壊検査については、各々の溶接部位により、放射線透過検査・超音波探傷検査・浸透探傷検

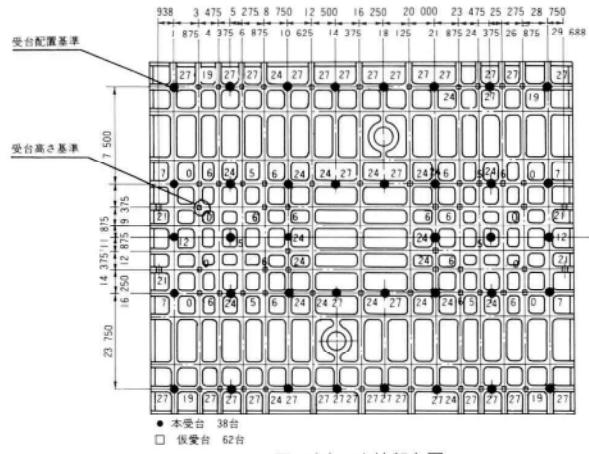


図-9(a) 支持架台図

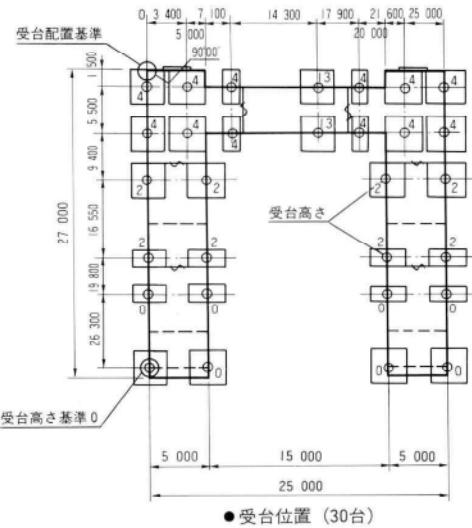


図-9(b) 橋脚受台位置図



写真-3 フーチングブロック連結部形状

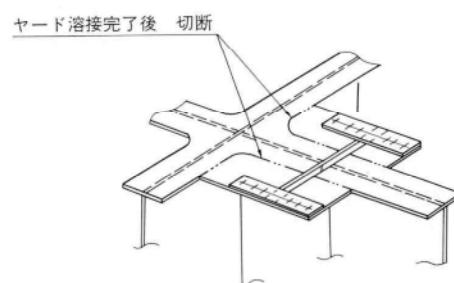


図-10 フーチングブロックヤード溶接連結部形状

表-3 フランジ継手下向炭酸ガスシールド半自溶接の開先形状と施工量

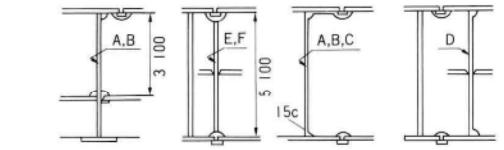
継手区分	溶接方法	下向炭酸ガスシールド半自溶接							備考
		開先形状	板厚 t1×t2	材質	継手数 継手長さmm 400 600	板厚 t1×t2	材質	継手数 継手長さmm 400 600	
フーチング大梁ヤード溶接	G=6.5、θ=35°、α=1	16×16	SM41A	20	22×22			12	
		24×19		4	32×22			4	
		33×24	SM50YB	2	36×36			4	
		38×22		8	36×37			8	
		38×38		5	43×22			4	
		43×38		8					
		43×37	M58Q	4	43×38	M58Q	4	8	
		43×43		4					
		43×22	M58Q × SM50YB	4	43×37	M58Q	4		
		G=6.5、θ=35°、α=1							
フーチング大梁ヤード溶接	G=6.5、θ=35°、α=1	16×16	SM50YA	6	19×17	SM50YB ×SM41A	4		
		19×19		3	24×17		4		
		22×22	SM50YB	6	22×19	SM50YB	2		
		37×22	SM58Q	12	37×37	SM58Q	8		
		43×22	SM50YB	4	43×43			4	
		16	SM41A	20	36			4	
		19	SM50YB	10	37	SM58Q	4		
		22	SM41B	8	38			8	
		G=6.5、θ=35°、α=1							
		G=6.5、θ=35°、α=1							

表-5 脚のフランジウェブ継手ヤード溶接の開先形状と施工量

継手区分	開先形状	板厚 t1×t2	材料	継手数×継手長さ (mm)	溶接方法	備考
脚柱ヤード溶接	フランジ両側	板厚差内にげ G=6、θ=46°、α=1	30×28	SM58Q ×SM50YB	4×5000	立向炭酸ガスシールドアーク自動溶接
			28×23	M50YB	4×5000	
			23×16	SM50YB ×SM41A	4×5000	
	ウエブ上側	板厚差外にげ G=6、θ=46°、α=1	30×28	SM58Q ×SM50YB	2×5000	下向サブマージアーク自動溶接
			28×26	SM50YB	2×5000	
			26×17	SM50YB ×SM41A	2×4000	
	ウエブ下側	板厚差外にげ G=6、θ=46°、α=1	30×28	SM58Q ×SM50YB	2×5000	上向MAG自動溶接
			28×26	SM50YB	2×5000	
			26×17	SM50YB ×SM41A	2×4000	
	フランジヤード溶接	板厚差内にげ G=6、θ=35°、α=1	30×34	SM58Q	4×5000	横向炭酸ガスシールドアーク自動溶接
			30×30	SM58Q	4×5000	

表-4 ウェブ継手立向エレクトロガスアーク溶接の開先形状と施工量

区分	タイプ	開先形状	板厚 t	材質	立向エレクトロガスアーク溶接		備考
					継手数	継手長さmm	
フーチング・ヤード溶接	A		19	SM41B	14	8	カウジング要領は技術資料による
			19	SM50YB	19	25	
			21		4		
	B		22	SM58Q	4		
			26	SM58Q		4	
			29		8		
	C		34	SM58Q		4	
	D		19	SM50YB		9	
	E		30×24	SM58Q		4	
	F		30×19	SM58Q		4	



査を行った。検査区分表、溶接方法・溶接材料を表-6、7に示す(写真-4~7)。

### (3) 脚柱部の大組立

脚柱は岸壁に横置きして組上げた。一番重量の重い偶角部は6点にて支え、他の部材は4点で支えた。支持点の合計は30点となった。支持点にはセット時の微調整が可能なようにテフロン板を挿入し、滑動防止用としてロープを設置した。

部材の製作順序により、脚基部取合部材が早く、偶角部材が最後となった為脚基部取合部材より組立てを開始、各部材が結合される度、基部取合部の寸法確認を行い、フーチング脚基部間隔を橋脚に反映し、微調整を行いながら組上げていった。

表-6 検査区分表

部材		適用箇所	検査方法	検査率	判定基準
フーチング	工場内製作	大梁、小梁、フランジの板継	RT	1/2継手	2級以上
		大梁、小梁、ウェブの板継	RT	1/1継手	2級以上
		大梁、小梁、T継手 (FPの表示あり)	UT	10%	2級以上 (M検出レベル)
		大梁、小梁、T継手 (PP)	目視		
	ヤード溶接 (ブロック組立)	大梁ウェブの板継	RT又はUT	1/1継手 (注)	2級以上
		大梁、小梁、フランジの板継	UT	箇所数の40%UT (注)	2級以上 (M検出レベル)
		大梁、小梁、T継手 (FPの表示あり)	UT	10%	2級以上 (M検出レベル)
		大梁、小梁、T継手 (PP)	目視		
	ヤード溶接 (大組立)	大梁ウェブの板継	RT又はUT	1/1継手 (注)	2級以上
		大梁、小梁、フランジの板継	RT又はUT	1/1継手 (注)	2級以上
		大梁、小梁、T継手 (FPの表示あり)	UT	10%	2級以上 (M検出レベル)
		大梁、小梁、T継手 (PP)	MT又はPT	10%	
脚柱	工場内製作 (1筋以降)	フランジ、ウェブの板継	RT	1/1継手	2級以上
		縦リブの板継	RT	1/5継手	2級以上
		犠牲鋼板の板継	RT	1/1継手	2級以上
		角継手、T字継手 (FPの表示あり)	UT	1/1継手 (注)	2級以上 (M検出レベル)
		角継手、T字継手 (PP)	MT又はPT	1/1継手 (注)	
		耐水圧溶接部 (FPの角溶接)	UT	1/1継手	2級以上 (M検出レベル)
			MT又はPT	100% (外周部のみ) (注)	
	ヤード溶接大組立、 立体組立	フランジ、ウェブ板継	RT	1/1継手	2級以上
	脚柱基部とフーチングとの溶接部 について (ブロック単位)	フランジ、ウェブ板継手	RT	100%	2級以上
		他の継手 (FPの表示あり)	UT	100%	2級以上
		他の継手 (PP)	MT又はPT	100%	

RT：放射線透過検査 UT：超音波探傷検査 MT：磁粉探傷検査 PT：浸透探傷検査  
(注) 検査長の1単位を約300mmとする。

表-7 溶接方法

#### (4) 脚柱部の溶接方法

狭隘箇所の多い隅角部ブロックも溶接姿勢がなるべく下向・水平姿勢となるように大型部材工場にて部材を反転しながら行った。溶接部の主要鋼材はSM50Y材で板厚は19mm～42mm、溶接方法はサブマージアーク溶接、自動CO<sub>2</sub>溶接、半自動CO<sub>2</sub>溶接の3者を併用して行った。

部材ブロックの製作完了後、岸壁ヤードに部材を搬出し、脚基部取合部より大組立作業を開始した。溶接順序・溶接方法は、平面組みの状態で溶接変形を極力おさえる為、側面を同時溶接、次に上面・下面の順序とした。

溶接は側面を自動CO<sub>2</sub>溶接機(ピコマックス)2台で同時に立向溶接を行い、上面はサブマージアーク溶接・自動CO<sub>2</sub>溶接下向の併用、下面は自動上向溶接機OH-AUTO(CO<sub>2</sub>溶接)を使用してMAG片面裏波溶接を行った。

溶接部の防風対策は、ベニヤ板とシートを使用し溶接部全面を覆い、風の影響を受けないようにした。溶接継

適用区分	溶接方法	材質	溶接ワイヤ		裏当材 フラックス		使用ガス	備考
			銘柄	径	銘柄	径		
フーチング ウェブ	エレクトロガス アーク溶接(立向)	50キロ鋼 60キロ鋼	EG-1 DWS-60G	1.6 1.6	FB(当金) t=9-16	CO <sub>2</sub> 100%	日 神	
脚柱 中ブロック	OH-AUTO (上向溶接)	50キロ鋼 60キロ鋼	DWA50 DXA60B	1.2 1.2	FBB-3 (T600)	MAG (Ar80+ CO <sub>2</sub> 20)	神 神	
脚柱 中ブロック	PICOMX-2 (立向溶接)	50キロ鋼 60キロ鋼	SF-1 SF-60	1.2 1.2	SB-41	CO <sub>2</sub> 100%	日 日	
脚柱 大ブロック	PICOMX-2 (横向溶接)	60キロ鋼	SF-60	1.2	SB-41	CO <sub>2</sub> 100%	日	
フーチング フランジ	炭酸ガス溶接 (下向)半自動溶接	50キロ鋼 60キロ鋼	YM-26 YM-60C	1.2 1.2	SB-41	CO <sub>2</sub> 100%	日 日	
脚柱 中ブロック	SAW(下向溶接) (サブマージアーク溶接)	50キロ鋼 60キロ鋼	Y-D <sub>LU</sub> Y-DM	4.8 4.8	YF-15A YF-15K	20×200		日 日
フーチング 外板他	手溶接	40キロ鋼 50キロ鋼 60キロ鋼	⑤-16 L-55 L-60	3.2 1 6.0				日

日：日溶工 神：神戸製鋼

手の非破壊検査は、放射線透過検査と超音波探傷検査を併用して行った。

## 6. 千葉工場浜出し

工場から地組立場への浜出し計画は、関東在船のフローティングクレーン(F/C)の使用を考え、1200tのフーチングブロックは、F/C 2船の相吊りで計画したが(関東地区在船F/C翔鶴、最大吊能力1050t)、工場浜出し時期には吊能力2050tのF/C金剛の手当がつき、16,000t デッキバージにフーチング・脚の順に積込んだ。

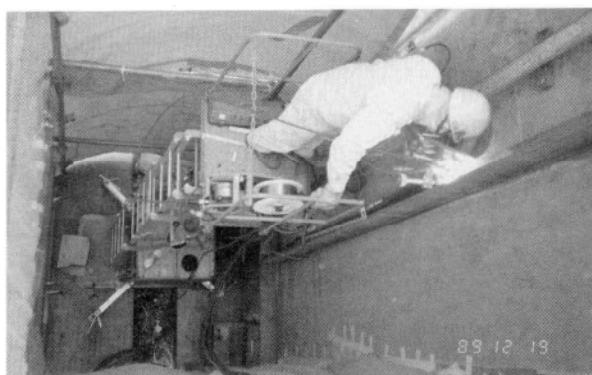


写真-4 エレクトロガスヤード溶接



写真-5 フーチング全景

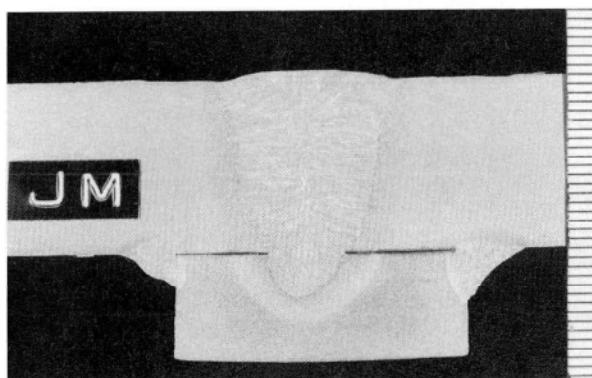


写真-6 エレクトロガスアーク溶接直継手断面マクロ写真

フーチング架台は、バージ上にガイド杭部を貫通するパイプ柱を取付けて置き、位置決めを行いフーチング・脚の順に固定した。積込みは平成2年5月10日に完了、5月13日に千葉を出航し、地組立場である姫路新日本製鐵広畠工場東浜に5月16日に無事接岸した(写真-8)。

## 7. 地組立場における水切り、建て起こし

地組立場には、事前にフーチング・橋脚重量に耐える10点の受台を設置した。受台配置、受台の大きさを図-11に示す(写真-9)。

5月17日にまずフーチングを水切り、10点の受台上に設置し、平坦度の調整・測定を行い、5月18日に橋脚の水切り、建て起こし、フーチング部との一体化作業を行った。橋脚部材の水切り、建て起こしには関西国際空港(株)所有の吊天坪2基(1基約30t)を使用し作業を行った。

作業に使用したF/Cは、吊能力3000tの吉田号を使用、フーチングの据付け、脚の建て起こしおよび一体化の作業を行った(写真-10)。一体化作業にあたり、最も留意

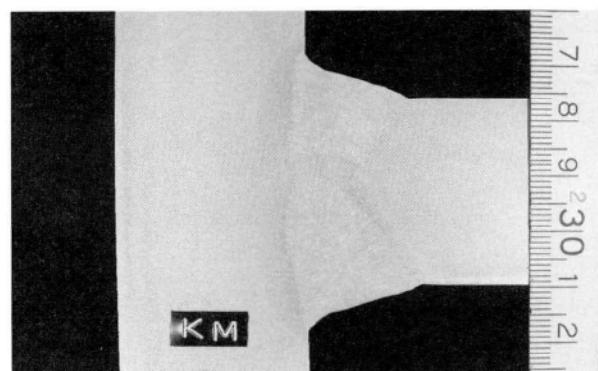


写真-7 エレクトロガスアーク溶接T継手マクロ写真



写真-8 バージ上架台

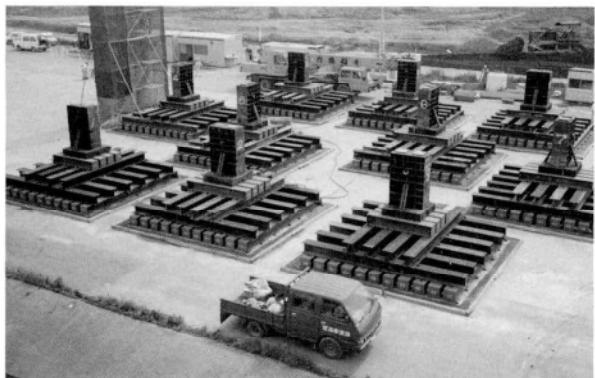


写真-9 地組場受台

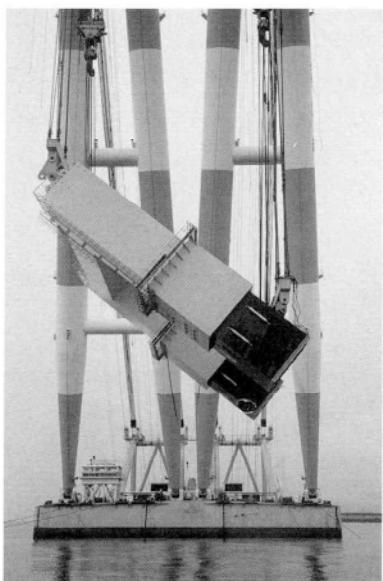


写真-10 脚建て起こし

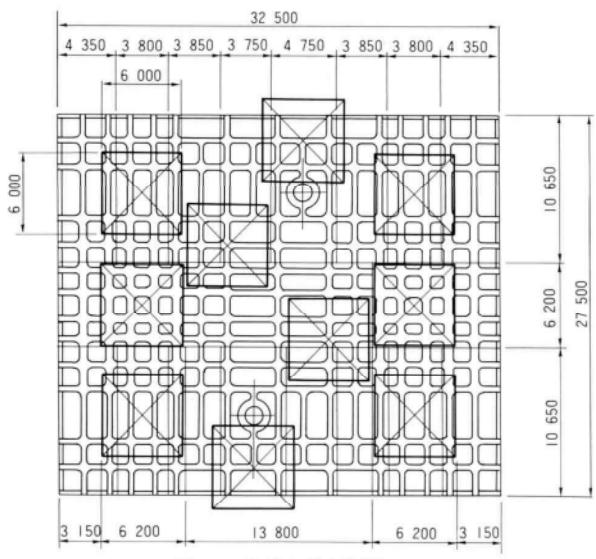


図-11 地組立受台配置

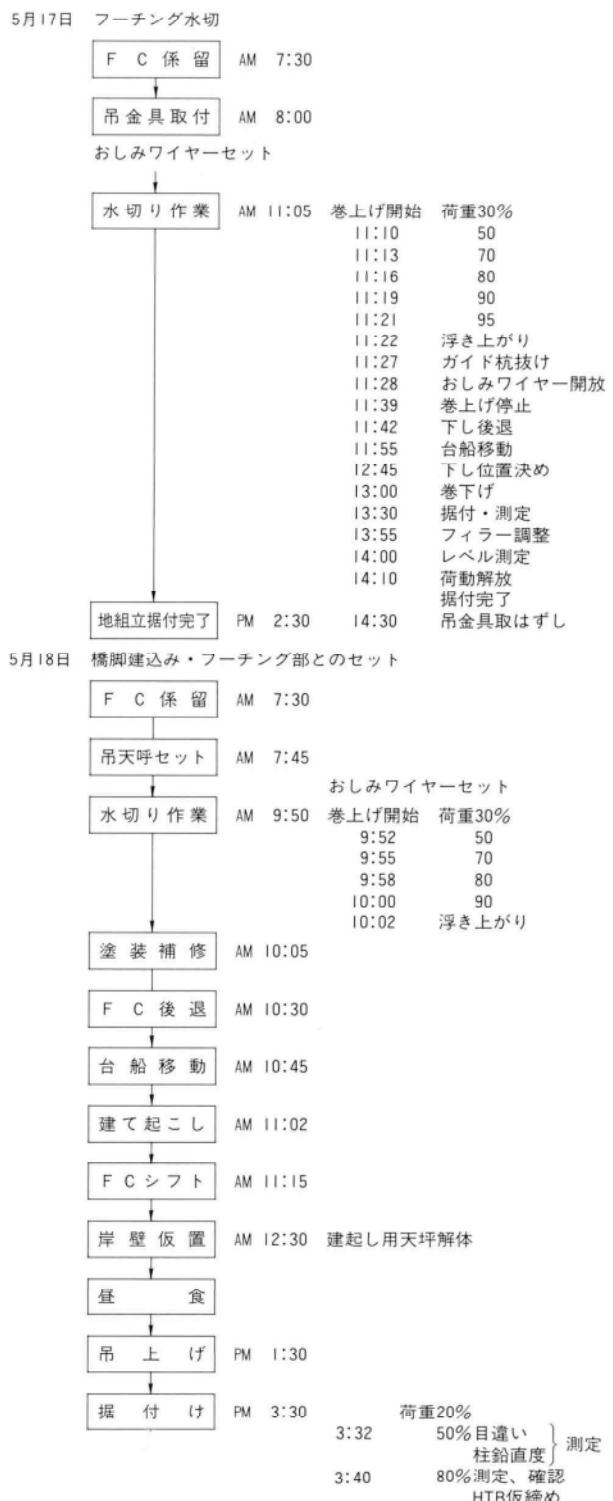


図-12 フーチング・脚水切り作業手順

した点は両者の接合部における目違いおよび鉛直度の確保であった。この為、脚柱基部面および橋脚接合面をフェーシング加工し、水平面を確保、目違いについては、部材ブロック時点からの断面寸法の管理、フーチング形状・橋脚形状の大組立時の寸法管理に留意し、据付一体化時に橋脚ブロックがスムースに収まるよう脚柱基部4面にガイドを設置した。以上の管理により、据付一体化作業はF/C吊下げ1回の作業で鉛直度・目違い共、高精度にて完了した。作業手順を図-12に示す。

鉛直度については、橋脚正面で傾き“0”側面でN柱が左へ4mm、S柱が右へ3mm相対誤差は7mmであった。

目違いについては、N柱・S柱共4面28点の計測結果N柱で最大+2.8mm、S柱で最大-2.6mmであった。測定結果を図-13に示す。

## 8. 地組立溶接

溶接方法は自動CO<sub>2</sub>溶接法(ピコマックス)の水平溶接を用いた。溶接変形を押さえる為、フランジ面、ウェブ面の順で各2面ずつ同時溶接を行った。ウェブ面には裏当併用の支圧タッチ面を4カ所設置、防風設備は周囲にビティ足場と単管パイプを組み、ベニヤ板とシートにて全面防護し風の影響を受けないようにした。

非破壊検査は、放射線透過検査と超音波探傷検査を併用して行った。

## 9. P21橋脚の出来形

橋脚・フーチングの出来形は、製作途上寸法の出来映え、特に工場ヤード組立時の傾向がそのまま最終形状に

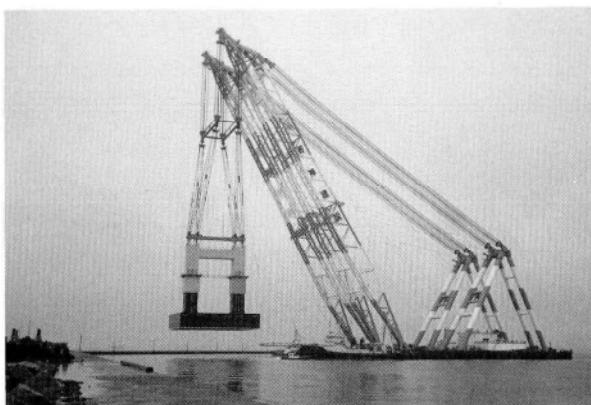


写真-11 地組立場水切



写真-12 現地据付

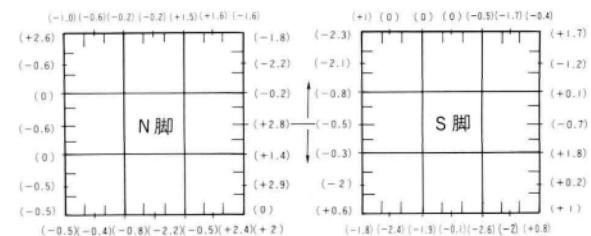


図-13 目違い測定結果

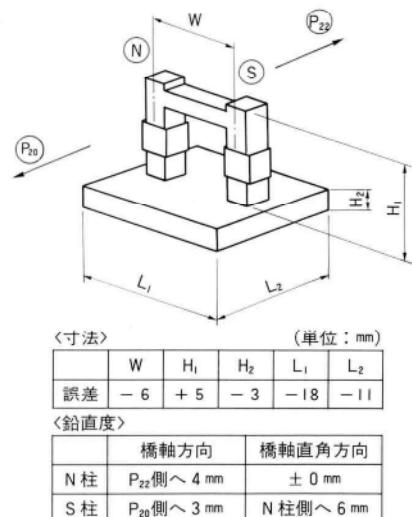


図-14 鋼製橋脚P21脚の出来形数値

反映された。部材の許容値としては問題となる数値ではないが、フーチングの寸法は全体としてマイナス傾向、脚柱はN柱、S柱の倒れが橋軸方向にプラス・マイナスとなった。出来形数値を図-14に示す。

工場製品については、工場での精度管理が大切である旨を痛感した次第である。

## 10. あとがき

橋脚の製作は、当社においては数多く製作してきていくが、基礎フーチングと橋脚が一体構造となった構造物は、今工事が最初の形態のものである。また、橋脚断面5m、重量1ブロックで100tを超す大型部材は従来の当社の製作ラインでは製作不可能であった。

計画段階では、いろいろと紆余曲折はあったが、吊能力300tの大型部材工場の完成、大型フェーシングマシンの導入等、今後の宮地鐵工所の将来を担う設備を駆使して無事橋脚を完成させた。今後も鶴見、東京湾、明石と大型工事も目白押しであり、これらの部材製作に大きな力を発揮するものと思う。

本橋脚は、7月3日に地組場より浜出し、7月5日に現地所定位置に無事据付けを完了した。9月~10月にかけての残工事も全て完了した(写真-11、12)。

本工事において、終始指導、御便達をいただいた関西国際空港株式会社ならびに前田建設工業株式会社、および関係各位に紙上を借りまして謝意を表します。

1990.10.31受付

## グラビア写真説明

### 大森地区再開発計画 A 1 ビル

東京のオフィスビルの需要は、年々益々増大していくようである。丸の内、新宿、池袋、渋谷とターミナル駅付近には以前から大規模ビルが建設されてきたが、今や大森駅にも及んできた。大森駅南口から歩いて2分のところに、大型車で有名な、「いすゞ自動車」の本社があるが、この地が大規模再開発により、高層ビル3棟の一大オフィス地区に変わろうとしている。ビル建設もかつては、敷地に1つ超高层あるいは高層ビルを建てるという事であったが、近年は、1つの敷地に複数のビルを建て、ビルの間をアトリウムと称する広場を設けて、コミュニティー空間を作ることが一般的になってきた。当地区の再開発は、その意味で新しいビル建設の端緒になるのではなかろうか。(西原)

### 北品川ONビル

このビルは、大林組で自社の設計施工で計画している大型プロジェクトのうち、最初のテストケースとして建てられたビルです。場所は大崎と品川の中間に位置し、付近は御殿山と呼ばれる所で大使館もあり、閑静な住宅街の一画です。

また、このビルの特徴は、ボックス構造で、柱のスキンプレートにTMC P鋼を使っている事、外装にはアルミニウムウォールを前面に使い、コバルトブルーの反射ガラスは新幹線の車窓からも良く見え、ビル全体を一際引立てています。(大月)

### カナダ大使館

国道246号線を車に乗って、赤坂から青山に向かうのは仲々いいものである。長い坂道を車が快調に登っていくと、車窓の側には、緑豊かな赤坂御所の風景が続く。高層ビルの立林する東京にあって、広い空の開ける数少ない場所である。左側もまた、ハーフミラーをめぐらしたエレガントなビルが目に入ってくる。この坂を登りきったところに、三角屋根の新しいビルが仲間入りした。カナダ大使館である。三角の屋根のデザインは他に例を見ない斬新なものである。材料もまた、ガラス状のもので出来ており、太陽光を取り入れて空調を自然エネルギーで行おうという試みのようである。機能的にもまた斬新である。5階までの外装には、みかけ石をふんだんに使い、重圧感をかもし出している。斬新かつ重厚なビル、大使館にふさわしく、また、ここ青山通りにもふさわしいビルが出現した。(西原)

# 交通開放下での橋梁架替工事

## Bridge Replacement Work with Traffic on Bridge Maintained

興 守\* 池 田 博\*\*  
Mamoru KOSHI Hiroshi IKEDA

### Summary

Damage to a heavily and widely used bridge has a serious impact on the local social life, and must be repaired as soon as possible.

The authors have recently been engaged in the restoration of such a bridge. The work involved repairs to the approach of the Kohoku bridge, which was damaged by a truck crane. The simple composite-girder bridge was replaced with a new steel plate deck girder bridge by field work, with a reduced traffic flow being maintained during the repair work.

This paper describes the procedure used in the rapid restoration work and the design considerations.

### 1. まえがき

江北橋は一級河川の荒川に架かる橋梁であり、右岸側は単純鉄筋コンクリートアーチ部を有している。このアーチ部の一つである単純合成鉄筋コンクリートアーチ下を通過した重機搭載のトレーラーにより本体に著しい損傷を受けた。本路線は主要地方道に当るため、交通量が多く早急に交通開放を図るために、新橋の急速施工が要求された。

本報告は、交通開放しながら旧橋を撤去し、新橋に架け替える急速施工手順ならびに急速施工に伴う新橋の形

式選定と設計方法について紹介するものである。

### 2. 旧橋の概要および破損状況

#### (1) 旧橋の概要

路線名：主要地方道 王子・金町・江戸川線(第307号)

個所：東京都足立区宮城一丁目38番地  
型式：単純合成鉄筋コンクリートアーチ

橋長：20.500m (支間 20.000m)

有効幅員：11.500m (4車線)

添架物：ガス・水道・通信

主要鋼材：SS41・SM50

#### (2) 破損状況

大型車両の衝突による破損状況を把握するため、橋梁本体と付属物について調査を行った。調査は東京都定期点検要領を基本にし、損傷の著しい箇所(溶接部)については浸透探傷試験により行った。

##### 1) 調査箇所

- ① 主桁亀裂部
- ② 床版・舗装
- ③ 橋脚
- ④ 付属物(支承・高欄)



図-1 位置図

\* 技術本部設計部設計第2課

\*\* 宮地建設工業(株)東京支店工事第1部工事第2課長

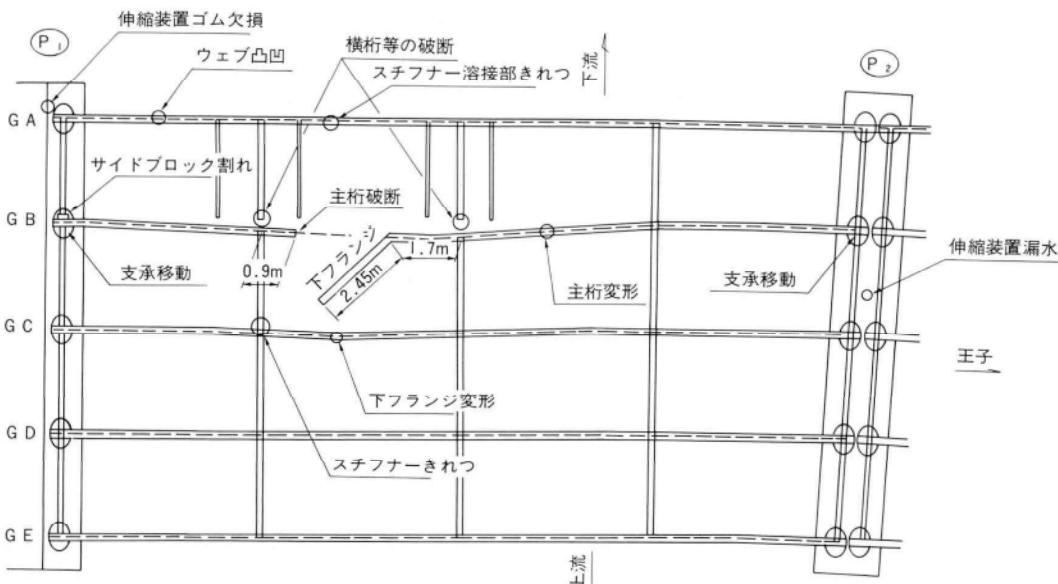


図-2 破損状況図



写真-1 GB桁下フランジ



写真-2 GB桁下フランジ

## 2) 調査結果

橋体の破損状況を図-2に示す。

### (a) 主桁亀裂部

主桁亀裂は衝突時の衝撃によるもので桁が上流側に湾曲している。GB桁に至っては完全に下フランジが切断されている。GC桁については、浸透探傷試験の結果、上下フランジ共に亀裂は見られなかったが、横桁取付部のスチフナーに亀裂が発見された。

### (b) 床版および舗装

床版は以前に鋼板接着により補強を施されたものであり、全体としてはほぼ良好と判断できる状態ではあるが、GB桁においてハンチ部がはく離していて、主桁上フランジとの間にすき間が生じていた。

橋面舗装については、上流側は良好であったが、著しい損傷を受けたGB桁上で橋軸方向には支間の3/4ほどひび割れが発生していた。

### (c) 橋脚

P 1 および P 2 ともに健全であった。

### (d) 付属品

支承については沓座モルタル部にひび割れが見うけられた。また、GB桁の両支承については事故に際し、ソールプレートが変形して支承のサイドブロックが破損し、かつ沓座との間にすき間が生じたと思われ、支承が移動したことを表わしている。

### 3. 新橋の設計

#### (1) 形式の選定

新橋の形式の選定にあたっては、次の点に配慮して、単純鋼床版鉄桁を採用した。

- ① 新橋の架設方法は、旧橋の部分撤去を行いながら部分架設をしてゆくため、車線の盛替えがあり、橋面工の工程短縮が可能な形式でなければならない。
- ② 桁下の建築限界を現在の4.3mから少なくとも4.5mにするため、桁高を低くすることができる形式でなければならない。

#### (2) 主構造の設計

形式が単純鋼床版鉄桁であるため、格別に特徴のある設計項目はないが、いくつか取り上げると下記の通りである。

##### ① 主桁本数と縦継手の位置

旧橋は5本主桁であるが、新橋においては6本主桁

にすることも考えられた。しかし、車線の盛替え・架設方法・添加物の位置等の関係から隣接主桁と同じ5本主桁として設計を行った。

鋼床版の橋軸方向の縦継手は、車線の盛替え方法および架設が隣接する歩道橋越しになることから、従来の一般的な設計より箇所数を多くした。

##### ② デッキプレート厚

デッキプレート厚は14mmとし、縦リブにU・Ribを用いることで剛性を高めた。

##### ③ 線形の決定

旧橋の設計図書が乏しかったため、旧橋の形状を現場測量し、線形を予想して新橋の設計を行った。

#### (3) 付属物の設計

##### ① 支承

旧橋の支承はアンカーボルト1本を有する線支承であったが、新設の支承は支承板支承とし、新たにアンカーボルトを新設した上でベースプレートを介して下部を現場溶接するタイプに変更した。

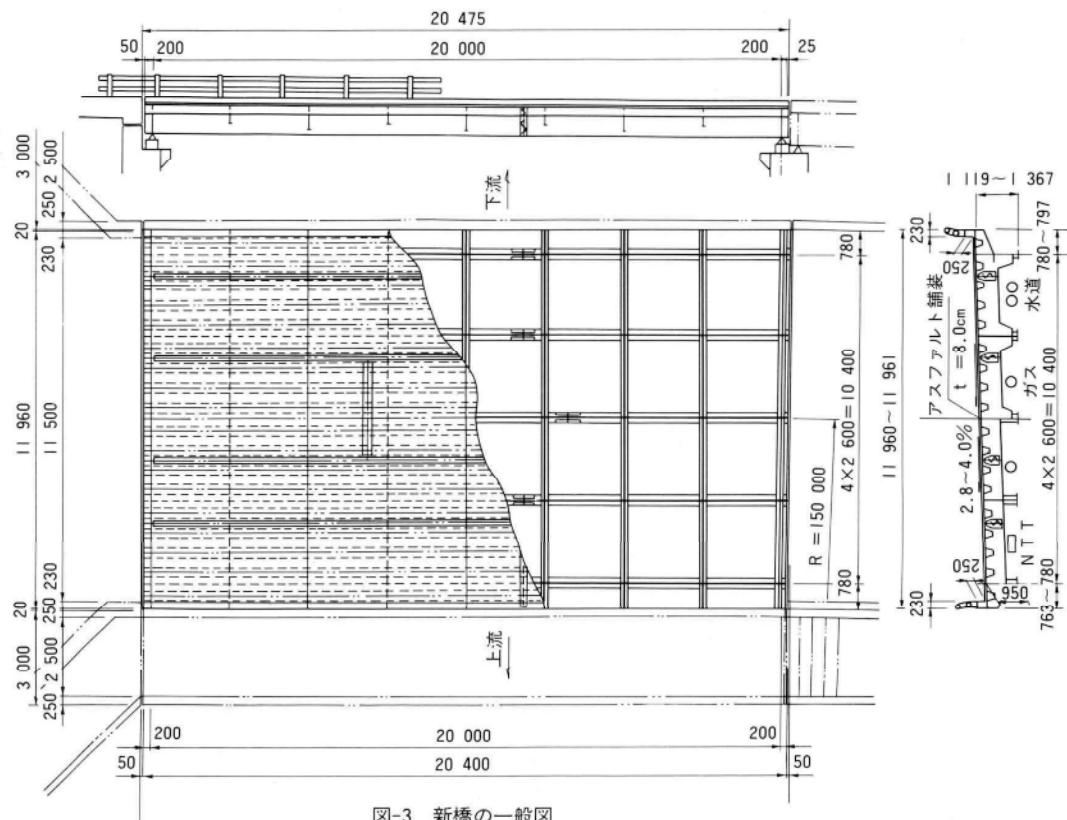


図-3 新橋の一般図

## ② 橋脚天端の拡幅工

既設の橋脚天端の構造は、道示に示されている桁端から下部構造頂部縁端までの桁の長さ（SE）を満足していないため、将来の維持管理上も必要と考えられることから、橋脚天端に拡幅工を設けた。

拡幅工は工期短縮から鋼製のブレケット構造とし、橋脚天端の前面と樹脂を注入したアンカーボルトにより定着した。

## ③ 落橋防止

新橋の落橋防止の設置位置はP1、P2の両支点とし、P2の落橋防止は隣接桁のウェブと連結板方式にて取り合う構造とした。

## 4. 施工

### (1) 事故後の応急対策

事故による橋体の破損状況は前述した通りであるが、本橋が主要な地方道に当たることおよび国家的行事の日が近づいていたため、至急2車線の交通開放をする必要があり、とりあえず旧橋の補強を行い車両の通行を可能にした。

#### 1) 補強方法

破損状況でわかるように、5本主桁の内、上流側の2主桁が健全であると思われるため、この2主桁および破損した中桁の計3主桁で2車線の幅員を確保するように考えた。

補強方法は以下の通りである。

#### ① 桁下にペントを設置

破損した中桁にも車両の荷重が載荷されるため、車両通行上の安全性を確保する意味でペントを設けて橋体への負担を軽減した。ペント設置位置は、地下埋設物のないことを確認した上で、支間中央と破損箇所付近の横桁位置の計2ヶ所とした。

#### ② 下横構の設置

破損した中桁は捩れながら面外方向へ大きく変形していることから、橋体全体の捩れ剛性が低くなっていることが予想された。したがって、下横構を設置して剛性を高めた。

#### ③ 対傾構の設置

中桁の破損箇所は横桁と横桁との間にあり、下フランジおよびウェブが面外方向へ大きく変形している。

ペントを設置することで破損箇所に作用している応



写真-3 ベントの設置



写真-4 横構・対傾構の新設

力を軽減しているが、変形の進展を防止する目的から損傷部付近に対傾構を設置した。

上記の補強方法の内、本体に取付部材のある②、③の方法については、本体とは現場孔明け後、高力ボルト締付で行うこととし、短期間に施工を行うこととした。

また、②、③の補強は、予定されている旧橋の部分撤去時に形成される3主桁状態での安全性を増すためにも有効だと考えられた。

#### 2) 橋面仮設物

本来4車線であった橋面を2車線に規制して使用するため、下記のものを橋面に配置し、円滑な交通の流れに努めた。

#### ① 仮設高欄および防護フェンス

#### ② 防護缶

#### ② 旧橋の撤去および新橋の架設

#### 1) 施工順序

施工は旧橋の床版、鋼桁撤去を昼間に、新橋架設では

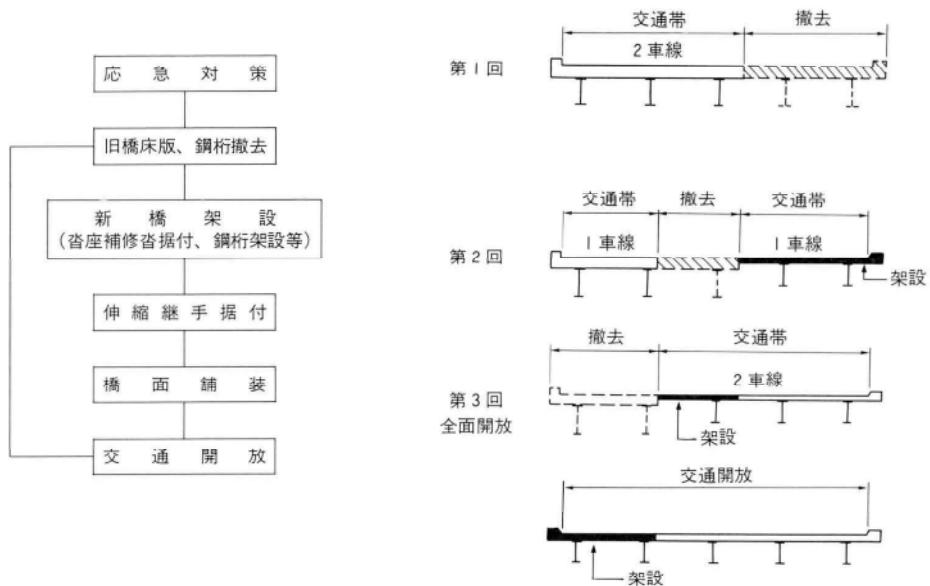


図-4 施工順序図

鋼桁架設作業を夜間、他の工事は昼間に交通規制をし、車両の全面交通止めをせず上下線一車線を確保し、3回に分けておこなった。図-4に施工順序を示す。

#### 2) 旧橋の撤去

床版コンクリートの取り扱いは昼間作業にて、橋面にジャイアントブレーカーを乗せ、また細部はハンドブレーカーにておこなった。鋼桁はガス切断しクレーンにて取り卸した。研り作業中は研り時のコンクリート片、塵埃の飛散防止として上・下面共にシートにて覆った。

#### 3) 脱の据え付け

支承のアンカーボルトは旧橋および新設のもの2本にて固定する。その為位置修正が容易に出来るよう、ベー

スプレートと脱本体が分割されている。この為、既設構造物に四周を囲まれ、特にクリアランスの少ない本工事では、位置修正が容易であった。また脱ベースプレート下面は補強鉄筋施工の為約120mm程研り、施工のし易い無収縮グラウト材を注入した。写真-5に脱据付状況を示す。

#### 4) 新橋架設

主桁、鋼床版が一体となった鋼桁の架設は、部材同士の添接にやや不安があったが問題無く施工出来た。また、3分割施工で既に交通解放した活荷重載荷の橋桁との接続は架設桁側の若干のジャッキ操作によりおこなった。

写真-6に夜間桁架設状況を示す。

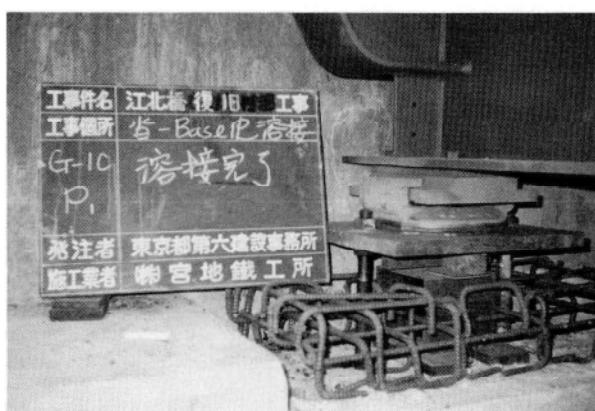


写真-5 脱据付状況

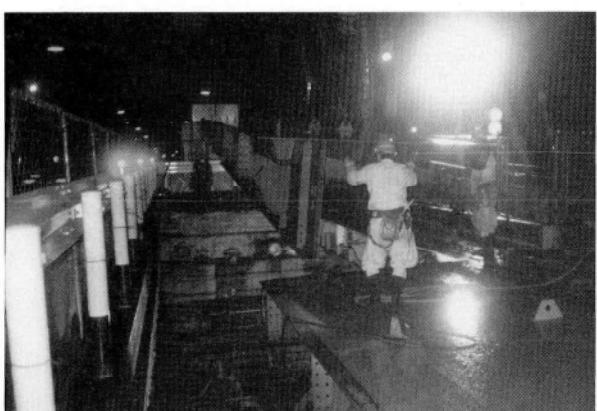


写真-6 夜間作業状況

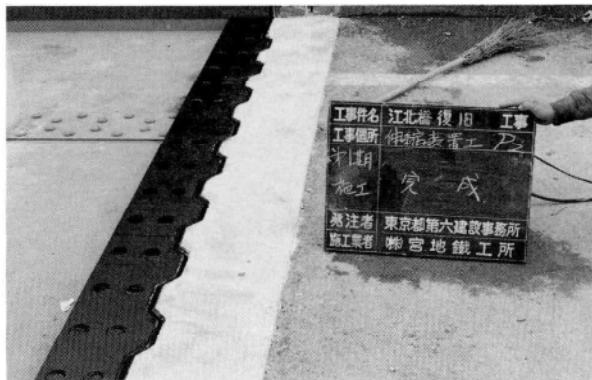


写真-7 伸縮装置据付状況

### 5) 鋼桁調整

架設点（新橋）の両側には歩道橋があり、幅員方向で15mm程のクリアランスであった。従って第1回目の鋼桁架設後に再測し、据付位置を修正し架設桁と歩道橋とのクリアランスを、今後の架設誤差を見越し5mmとした。また鋼桁高さは、既設舗装版面とすり合うように調整した。

### 6) 伸縮装置の施工

伸縮装置は新橋が鋼床版、既設橋がRC床版で構造が異なる為、早くしかも分割して施工が可能なガイドトップジョイントが選択された。特にRC床版側は早強、速乾性のジェットコンクリートを使用し既設橋舗装版とのすり合せも容易であった。写真-7に伸縮装置据付状況を示す。

### 7) 橋面舗装

舗装は鋼床版面を防水処理した後、グースアスファルト（厚40mm）、表層舗装（密粒①樹脂入厚40mm）の2層である。特に施工温度が約240°Cと高いグースアスファルト

表-1 実施工工程表

日付	平成元年							
	2	3	4	5	6	7	8	
工事種別								
補修工事(応急対策)	■							
新橋 設計、製作		■	■	■	■	■	■	
旧橋床版、鋼桁撤去	■				■	■		
新橋架設			■	■	■	■	■	
舗装			■	■	■	■		
附属物取付					■			

の塗装に与える影響が心配されたが、塗膜のふくれ、剥離等は見られなかった。また表層舗装はグースアスファルトの硬化を待って、中1日置いておこなった。

### (3) 実施工工程

復旧工事の実施工工程を表-1に示す。

### 5. あとがき

本工事の急速施工について記述致しましたが、無事に工事が完了し、今后この種の災害が発生する可能性も十分に考えられる折、本報告書が今后の参考になれば幸いと考えます。なお本工事施工に当って、東京都第六建設事務所のご指導および西新井警察署のご協力をたまわり、順調に作業が遂行できたことを感謝致します。

1990.10.31受付

# 道路併用水管橋(菊池川水管橋)の架設

## Construction of Aqueduct Bridge Combined with Highway (Kikuchigawa Aqueduct Bridge)

松 本 泰 成\* 寺 本 義 次\*\*  
Yasunari MATUMOTO Yoshitsugu TERAMOTO

### Summary

A feature of this aqueduct bridge is that it is also used as a road bridge. The cable erection method was adopted for this structure because of the conditions of the site and because it is a deck Langer bridge. However, the bridge was constructed using an unusual process, in which vertical members and arches were hung from the stiffening girders after the girders had been set by means of vertical cable erection. For structural reasons, the normal vertical cable erection and diagonal cable erection methods could not be used.

This paper presents the points which were examined before the start of construction and describes the actual work performed.

### 1. まえがき

菊池川水管橋は、熊本県菊池市の菊池渓谷の一部に位置し、九州農政局より発注された昭和63年度菊池台地農業水利事業の一環として、東部幹線水路の菊池川に架かる水管橋で、道路を併用した上路式ランガー型式の橋梁である(図-1)。この架設工事を中心に概要を報告するものである。

### 2. 工事概要

工 事 名：昭和63年度菊池川水利事業、東部幹線水路、  
菊池川水管橋架設工事

工事場所：熊本県菊池市大字重味地内

橋 長：L=150.0m

支 間：28.5m+100.0m+28.5m

形 式：上路式ランガー橋

荷 重：一等橋(T L-20)、水道管2000φ1条添加

有効幅員：車道6.25m+歩道1.50m

横断勾配：2%屋根形勾配

縦断勾配：Level

主要鋼材：SMA41W、SMA50W

鋼 重：530t(水道管110tを含む)

### 3. 架設工法の選定

本工事は、地形的条件、環境的条件より、ケーブルエレクションの工法で指定された。本工法は斜吊り工法と垂直吊り工法の2案が考えられる。斜吊り工法の場合はアーチ部材が閉合直前で強度不足となり、設計協議を行ったが、桁の先行製作等で構造上の変更は不可能となり、直吊り工法で行うこととした。本工法の吊り込み方式は、アーチ部を受け梁を用いて受ける受梁方式と、補剛桁を直接に吊り込む方式が考えられた。アーチ部、垂直材、補剛桁の組立手順となる受梁方式は、橋梁形式が逆ランガーであるため、

- ① 垂直材の長さが一般のトラス構造に比べ非常に長く、アーチ部から独立で建つために、架設段階における、面外方向の転倒防止対策、
- ② 補剛桁の取合部が最後まで決まらず、閉合するまで添接部のヒンヂ対策と既架設桁の形状保持対策、
- ③ 渓谷上に架け渡されるため、突風に対する耐風対策、

等を処置しなければならないと考えた。

一方、横桁、補剛桁、垂直材、アーチ材の架設手順で行う後者の方程式は、今まで実績の少ない変則的な方法となり、組立施工性、作業の安全性に欠ける方式と云えるが、架設途中の構造安定性を重視して、後者の横桁を介して補剛桁を直接に吊り込む方式を採用した。

\* 宮地建設工業(株)大阪支店工事部計画課課長補佐

\*\* 宮地建設工業(株)大阪支店工事部係長

## 4. 施工

架設計画要領を図-2に、また施工フローチャートを図-3に示す。

### (1) 仮設備の施工

#### 1) アンカー工

両岸のアンカーは重力式コンクリートアンカーで、左岸は取付道路に入るため、ケーブルクレーンとエレクション用の上・下流側をまとめた共有アンカーとした。アンカー形状は、深さ5m、長さ5m、幅11mとなり、素掘

りができないため、シートパイルの土留め工を行い、ユンボとブレーカーで掘削した。右岸は平面線形上、取付道路内に入らず、斜面がきつい山の中腹となった。このため、アンカーを一体とすると掘削量とコンクリート体積が大きくなり、不経済となるため、上流側と下流側を分けた単独アンカーで施工した。

#### 2) 門型鉄塔の建方

##### (a) 基礎の施工

左岸側は水道管の埋設が未施工のため、基礎位置として問題がなかったが、右岸側は水道管(Φ2000)の埋設が完了していたことから、水道管に土圧をかけない

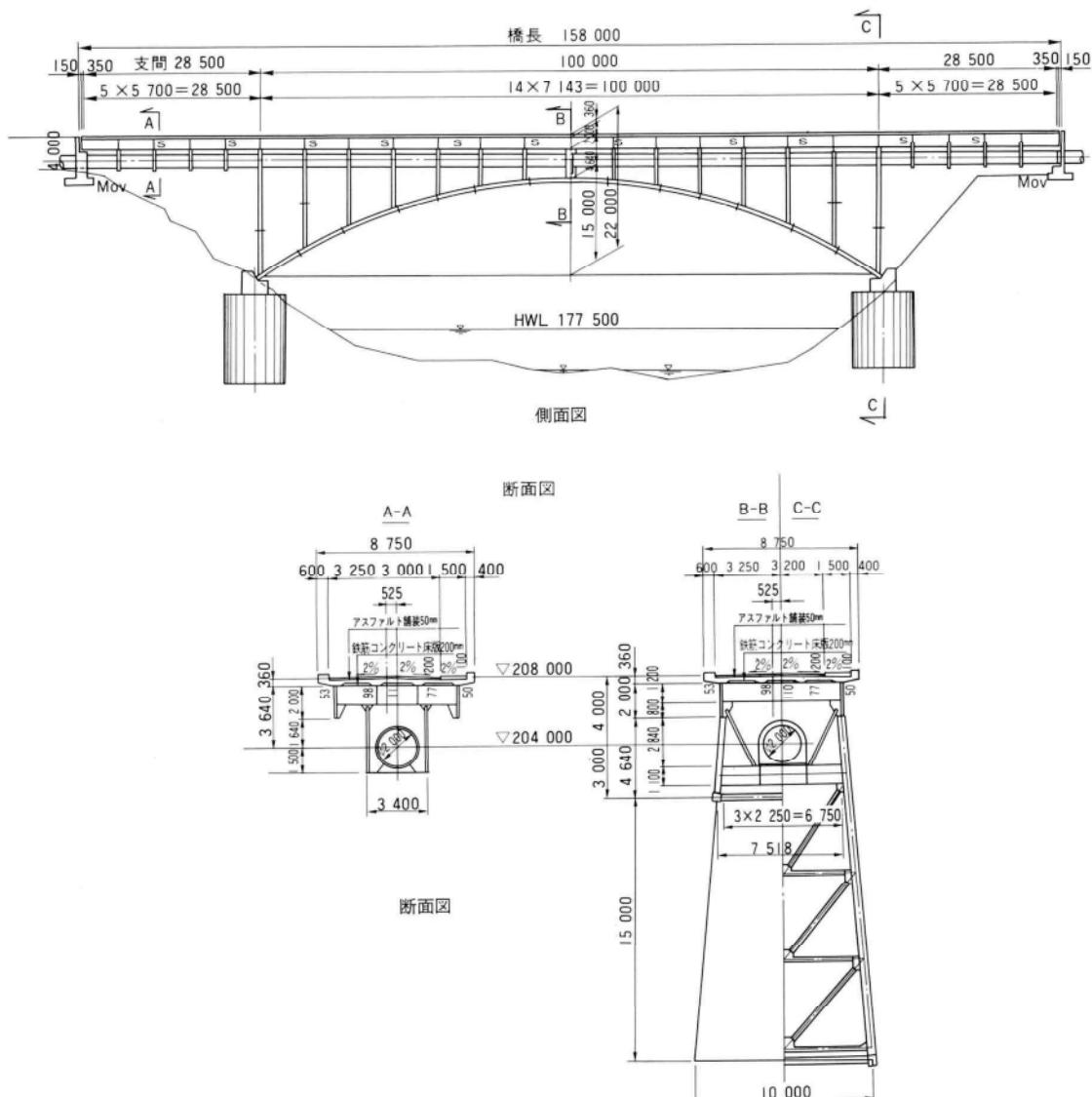


図-1 橋梁一般図

ように、水道管の底部(図-4参照)まで、地盤を掘り下げ施工した。

(b) 門型鉄塔の建方

左右両岸に設けた高さ32.0m、幅7.0mの門型鉄塔は、両取付道路へ重機搬入が可能であったため、トラッククレーン(45t吊)で一節( $\ell = 8.0\text{m}$ )づつ建方を行った。

### 3) ケーブルクレーン設備

最大吊荷重12.0 t のケーブルクレーンを2系統と2.9 tの中央ケーブルクレーン1系統を設置した。

#### 4) エレクション設備

主索は $\phi 66\text{mm}$ のワイヤー(IWSC 7×37)を片側2条づつ張り渡し、吊索設備は、PC鋼棒( $\phi 22$ )を用いた調整装置付き(30.0 t用)を使用した。

## 5) 主索のマーキング方法

基本的には主索にマーキングしたものを張り渡す方法が理想であるが、現地にワイヤーの展張スペース等が確保できなかつたため、Φ18のワイヤーにマーキングしたもの

のを張り渡し、これを主索に添わせてハンガーの位置出しを行う間接的手法を用いた。

## 6) 構台設備

今回の架設方法では、垂直材、アーチ材等の全ての部材が先行架設した補剛桁下面下での組み立てとなる。単材部材とした場合は、垂直材、アーチ材の支材および対傾構の取り付けが困難となるほか、作業性、安全性からみても好ましくない。幸いに架設時期が渴水期であったため、橋梁下の河川内に幅10.0m、長さ20.0mの構台を設け、この上で各部材の面組立を行い、ケーブルクレーンで相吊りする方法とした。構台は蛇かご、土のうを使用した基礎とし、その上にH鋼梁（H-300）を架け渡し足場板を敷設する簡易な構造とした。

## (2) 构架設

## 1) 端柱の建方

構台上で面材に地組立した端柱は、2台のケーブルクレーンで構台上に設備している回転治具を使用して立て

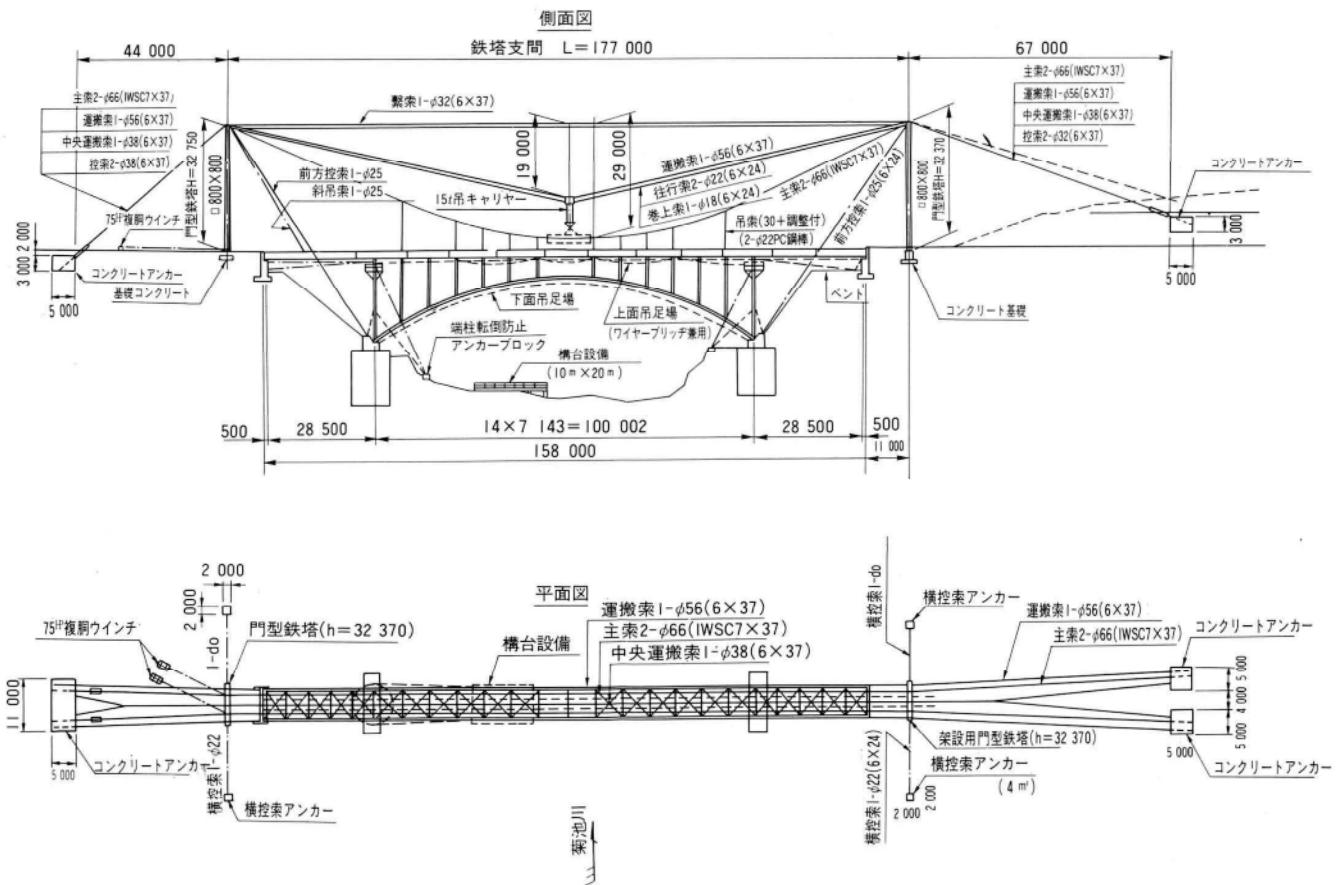


図-2 架設計画図

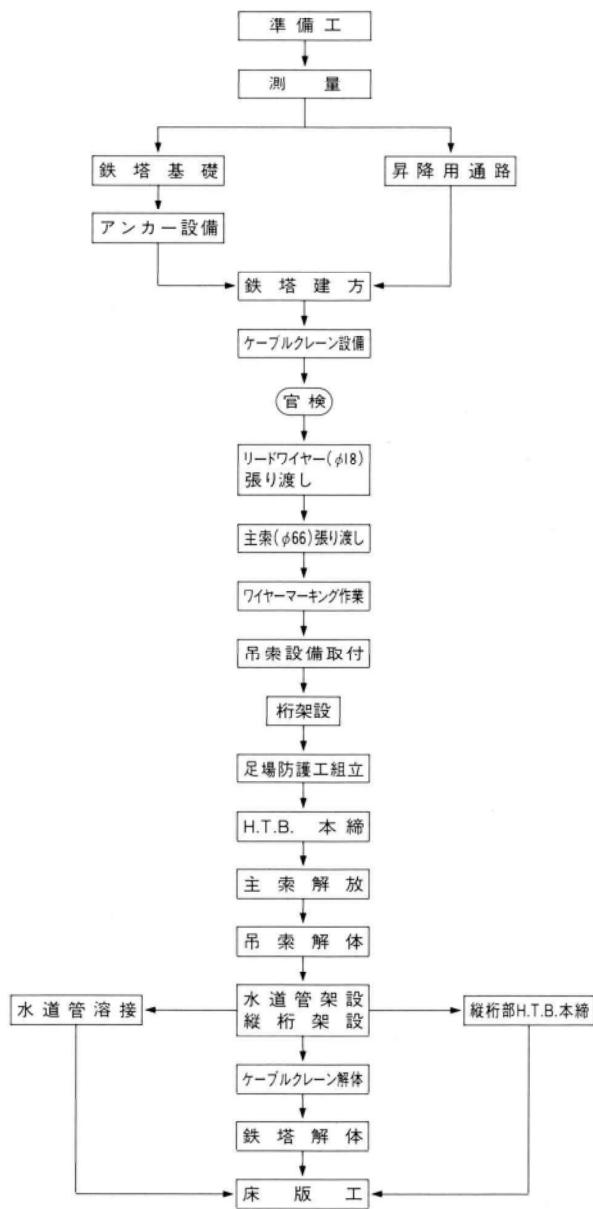


図-3 施工フローチャート

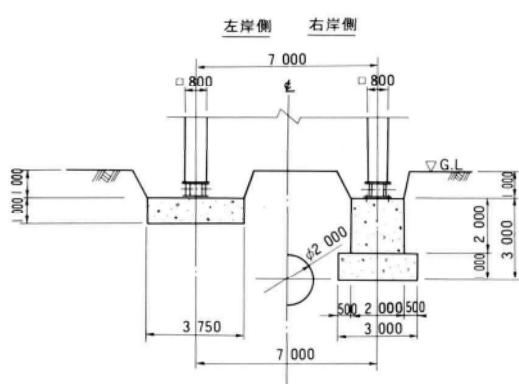


図-4 鉄塔基礎図（断面図）

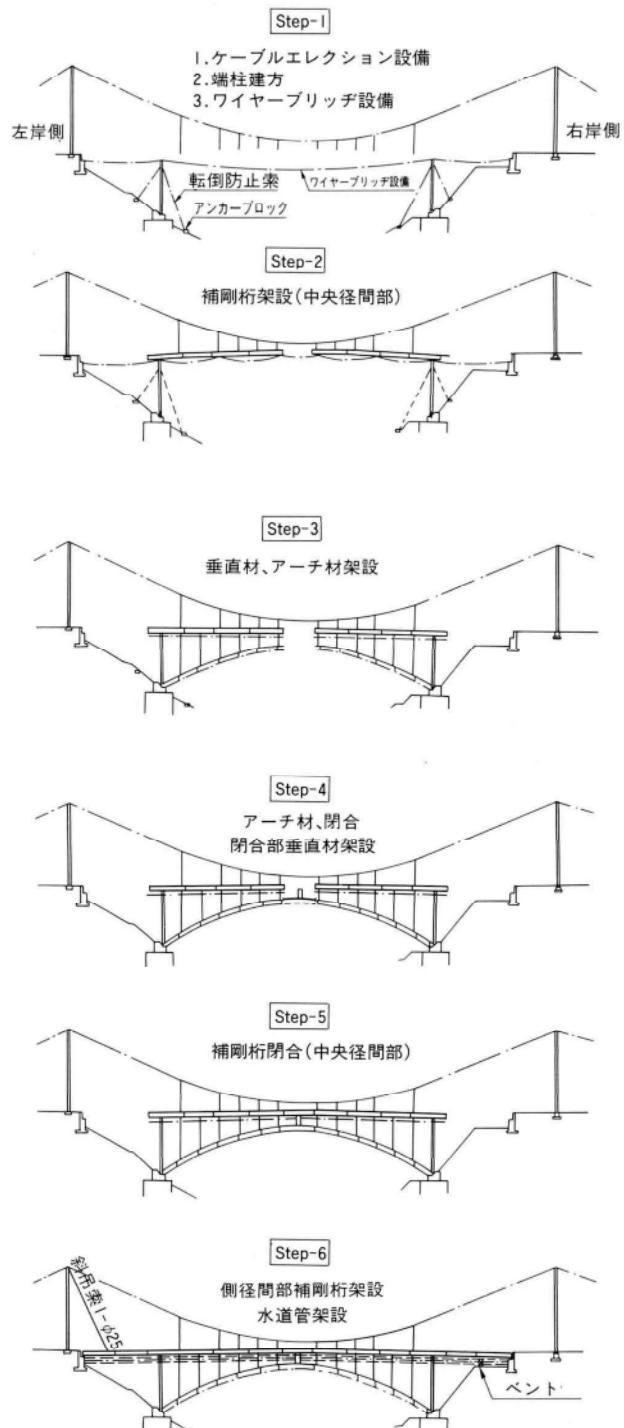


図-5 桁架設順序図

起こし、建方を行った。端柱の建方後は沓がピン構造のため、自立できないことから、端柱建方後の転倒防止対策を行った。転倒防止の方法は、既設橋台と河川内にアンカーコンクリートブロックを設置し、橋軸方向の前後にトラワイヤーロープを張った。また、架設段階での形状に合わせて、端柱はセットバックしておいた。

### 2) 補剛桁の架設

補剛桁の架設は、ケーブルエレクションの形状安定を考えて、中央より両端部に向けて行った。最初の架設部材は、足場の不安定な場所での架設となるため、横桁と補剛桁を面材に地組立し、左右一体のブロック架設とした。他は横桁を先行して吊索に吊り下げた後、補剛桁は横からの払い込み架設を行って、横桁と連結した。端柱上の補剛桁部材は、ケーブルエレクションの吊索より吊らず、端柱上に直接組み立てる架設形状とした。このため架設段階の形状に合わせて端柱と補剛桁が一体となって変移できるよう、前に記した端柱のトラワイヤーはこの時点で解放した。また、補剛桁の添接部は下フランジだけをボルトで取り、腹板部と上フランジ部の添接板は狭んでいるだけの状態で中央部の閉合部材を残して、垂直材、アーチ材の架設に移った。

### 3) 垂直材とアーチ材の架設

右岸側に搬入された部材は、一旦単材で荷取りし、河川内に設置している構台設備上まで横持ちした。そこで各ブロックに面組みし、H.T.Boltの本締めまで行った。面材にした部材はケーブルクレーン2台の相吊りで吊り上げ、取付地点まで移動し、垂直材、アーチ材の順で中央部（閉合部材を除く）より両端に向けて架設を行った。なお、垂直材には昇降用の垂直タラップ、アーチ材には下面足場を面組み時に取り付けておいた。補剛桁、垂直材、アーチ材の各継手構造は図-6に示すように、補剛

材と垂直材はフランジ継手、垂直材とアーチ材はガセット継手であった。組立順序は図-7に示すように、

- ① 垂直材の取り付け、
- ② アーチ材の取り付け、
- ③ 既設アーチ材への引き込み、

の手順で行った。これらの施工時は完成系でないため、完全な添接が行えない。このため、垂直材とアーチ材の連結は、垂直材のフランジ継手部を緩めた後、強制的に仮連結しなければならなかった。この時のフランジの継



写真-1 アーチ材の架設(アーチ部分)



写真-2 アーチ材の架設(桁部分)

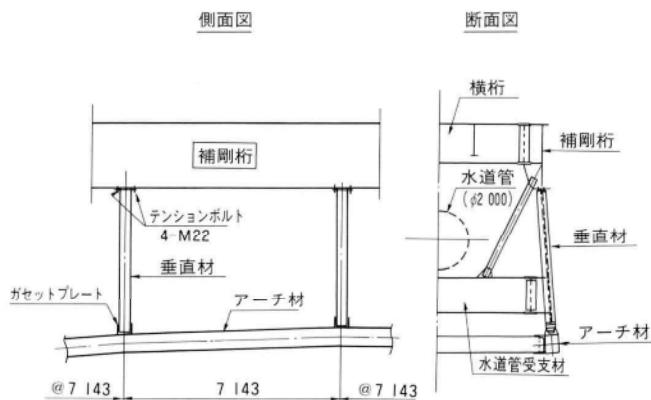


図-6 補剛桁、垂直材、アーチ材継手構造図

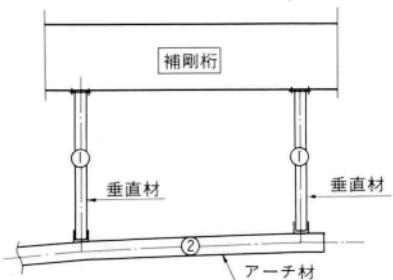


図-7 垂直材とアーチの組立順序図

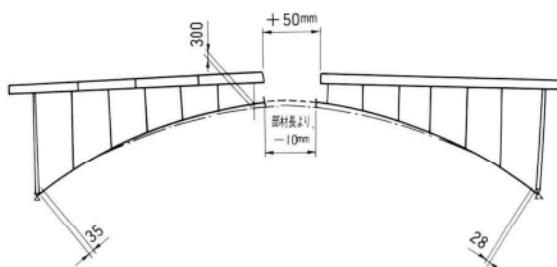


図-8 閉合前の形状図

手部はテーパー状に片側が開いた状態とし、開口側の仮ボルトは長ボルトにして、架設形状の変移に対応できるようにした。

#### 4) 閉合作業

閉合作業はアーチ材、補剛桁の順で行った。アーチ部材の閉合前に既架設桁の間隔、高さを実測して確認をした。結果は計画段階では、主索ワイヤーの伸び、マーキング時の計測誤差、現場での施工誤差等を考慮して+100 mmの上げ越し量としたが、300mm程の高さが残った。この原因は、水道管の荷重（満水状態）が前死荷重であったにもかかわらず添加位置の理由により後架設となったことと、水道管の架設を考慮して縦桁を後架設としたため前死の全荷重が載荷されなかったことから、残留キャンバーとして累積されたものであった。閉合前の架設形状の概略図を図-8に示すように、アーチ材に対しては間隔が狭く、アーチ台との取合部は架設形状から残留分の角度があり開きが生じた。閉合はアーチ部、補剛桁の手順で行った。まずアーチ部の閉合手順は下記のとおり行った。

- ① 橋台よりチェーンブロックでアーチ部材をできる限り沓側に引き込み仮ボルトで仮固定した。
- ② アーチ部の開きを実測して+10mmの開きが出たのでアーチ部材を閉合した。アーチ部材の閉合は計画

時点では面材として一般部と同様に下からの払い込み架設で考えていたが、既設アーチの仕口形状状態から、上からの落し込みに変更し、単材架設を行った。閉合したアーチ材は下フランジだけを仮ボルトで取り、他は添接板で挟んでいるだけとした。

次に、補剛桁の閉合を下記のように行った。

- ① 残留キャンバー一分を主索の尻手部に取り付けているシリングーブロックと吊索装置で調整した。
- ② 補剛桁の下端で+10mmの開きになったところで、補剛桁を単材で閉合した。
- ③ 下フランジだけボルトを締め付け、腹板と上フランジは添接板で挟むだけとした。
- ④ 再度吊索で微調整し、腹板と上フランジの仮添接をした。

中央部の閉合後も、水道管と縦桁の荷重分が残るため、アーチ部沓とアーチ台との隙間が生じていたが、全荷重を負荷した後、本ボルトに差し替えて締め付けた。

#### (3) 水道管の架設

水道管は、 $\phi 2000 \times 9$  の鉄管で、橋梁の中心に 1 条添加されるもので、閉合作業の項で述べたように桁の架設完了後に架設作業を行った。架設に際しては、一時的に一部の横桁や、上構を付け解らししながらの取り付けとなり、手戻りの多い作業であった。

### 5. 本工法上の問題点、反省点

本工事は 3. 4. の項で述べたように、本橋梁の構造特性上、やむ不得ず変則的な組立手順となる直吊りのエレクションケーブル工法で施工したが、種々の問題点があったので下記に記す。

- ① アーチ部の脚端部が閉合するまで取り付かない。
  - ② 補剛桁と垂直材との継手構造はラフジ継手でなくガセット継手とする方が望ましい。
  - ③ 垂直材、アーチ材の架設は面材架設しないと作業性、安全性に問題がありできない。
  - ④ 補剛桁よりアーチへと逆に架設したことから、垂直材、アーチ材架設時には架設直下面にワイヤーブリッヂ等の安全設備が設けられず、安全性に欠ける。
- 以上、気が付いた点を列記したが、今後このような構造に対しては、設計時点で良く検討し、本橋梁型式の場合には、斜吊り工法が採用できる構造となるよう配慮が必要と感じた。

## 6. 工程

表-1に示す。

## 7. あとがき

逆ランガー桁をケーブルエレクション工法の、今までに例を見ない逆吊り方式で施工したが、桁部材の組立ばかりでなく、水道管の架設、溶接までと作業量が多い工事であった。しかも、逆吊り方式と添加位置の関係から前死荷重であったにもかかわらず水道管が後施工となつたため、桁部材の架設が完了しても架設形状が定まらずに手戻り作業が多く、そのうえ足場等の盛替え作業も多く、施工性、安全性に欠ける架設作業といえた。このような悪循環ばかりの作業の中で無事、無事故で終えることができたのも、作業に従事した作業員ならびに職員の御苦労と、元請けの丸誠重工業株式会社ならびに関係者の皆様の御指導の賜物であり、深く感謝致します。また、

表-1 工事工程表

年月 工種	S63 10月	11月	12月	H1 1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月
準備工	—										
鉄塔基礎 アンカーゲーム		—							撤去/復旧		
足場防護工				組立						解体	
ケーブルクリー ン設備			組立					解体			
ケーブルエレク ション設備				組立		解体					
桁架設				—	—	—	—				
H.T.B.締付					—	—					
水道管架設						鍛設			溶接		
床版工							—	—	—		
その他											備考/片付

本報告が今後の計画、工事において参考になれば幸いです。

1990.10.31受付

### グラビア写真説明

#### センチュリータワー

JRお茶の水駅から新宿方向を見ると、外堀通り側にツインタワーが見られますが、これが現在世界で最も注目されている建築家「ノーマン・フォスター」がデザインした「センチュリータワー」である。

外観の特徴として2フロア1層の鉛直プレースが「ハの字形」に表われ、南棟に鉄塔、北棟の北側につながる形でカテナリー曲線のガラス屋根の低層棟がある。

いろいろと話題の多い建築物であるが、鉄骨製作においても、材料は「SM58Q、SM50Aの特記仕様材」で部材断面は、柱、大梁、小梁、プレース全て箱形である。溶接においては、工場、現場とも技術的に大変苦労したビルである。(小松)

#### 児島タワーレストラン・スカイタワー

瀬戸大橋が一望できる遊覧タワーとして、鷺羽山ハイランドの一角にスカイタワーが建設された。タワーの規模は、地上からの主塔高さは133.5m主塔断面は直径3.8mの鋼管構造である。主塔を囲む形で直径27mの観覧車を塔頂より吊るし、その観覧車が地上から塔頂までを回転しながら昇降するものであり、設計搭乗人員は150人、昇降時間は3分、塔頂に至るまでの回転数は4回の構造となっている。タワーの建方は地上より650t吊りクローラークレーンで行い、現場継手は溶接接合なので、施工時期が冬期であった事から、防風養生に苦労したが無事施工を完了した。(新田)

# 交通開放下でのプレキャスト床版を用いた床版取替工事

## Renewal of Bridge Precast Concrete Floor Slab with Bridge Open to Traffic

高 口 寛 之\* 林 兼 生\*\*  
*Hiroyuki KOUCHI Kaneo HAYASHI*

### Summary

Dealing with the flow of traffic is a problem that invariably arises when the floor slabs of a bridge must be renewed because of deterioration. The ways of handling the problem depend on the traffic density, the importance of the road, the availability of detours, etc.

This report concerns the matters considered before the execution of work on the Shin Mikuni-ohashi bridge and the procedure followed when replacing the concrete floor slabs of the bridge, which carries a major road with heavy, regular night traffic and with no available detour.

### 1. まえがき

新三国大橋は、新潟県と群馬県を結ぶ国道17号線の利根郡新治村地内に位置する橋梁である。関越道が開通してはいるが、三国峠を越え、生活物質を運搬する定期便が依然と多く重要な路線として、地元民と密着している。

本橋の供用開始は、昭和38年と比較的新しいが、近年の交通量の増大、車輌の大型化等により、床版の損傷が著しく、過去数回の補修、補強にもかかわらず、床版下面には遊離石灰の発生、また、橋面アスファルトには床版コンクリートの抜け落ちが予想される、亀甲状のクラックが見られる様になり、一般交通に支障をきたす状態となつた。そこで根本的な対策として床版の取り換え工事を行うことになった。

### 2. 工事概要

発注者：建設省関東地方建設局高崎工事事務所

工事名：新三国大橋補修工事

工事場所：群馬県利根郡新治村大字猿ヶ京

工 期：自) 平成元年8月4日

至) 平成2年1月30日

施工範囲：床版補強、高欄新設、伸縮継手、主構補強

### 3. 橋梁諸元

橋種：ランガートラス橋

設計荷重：TL-20

橋長：141.2m

幅員：7.7m

縦桁間隔：2.75m

斜角：90度

横断勾配：1.5%直線勾配

床版厚：17.0cm

床版枚数：140枚 (RCプレキャスト床版)



写真-I 着工前写真

\* 宮地建設工業(株)東京支店工事第1部課長補佐

\*\* 宮地建設工業(株)東京支店工事第1部専任課長

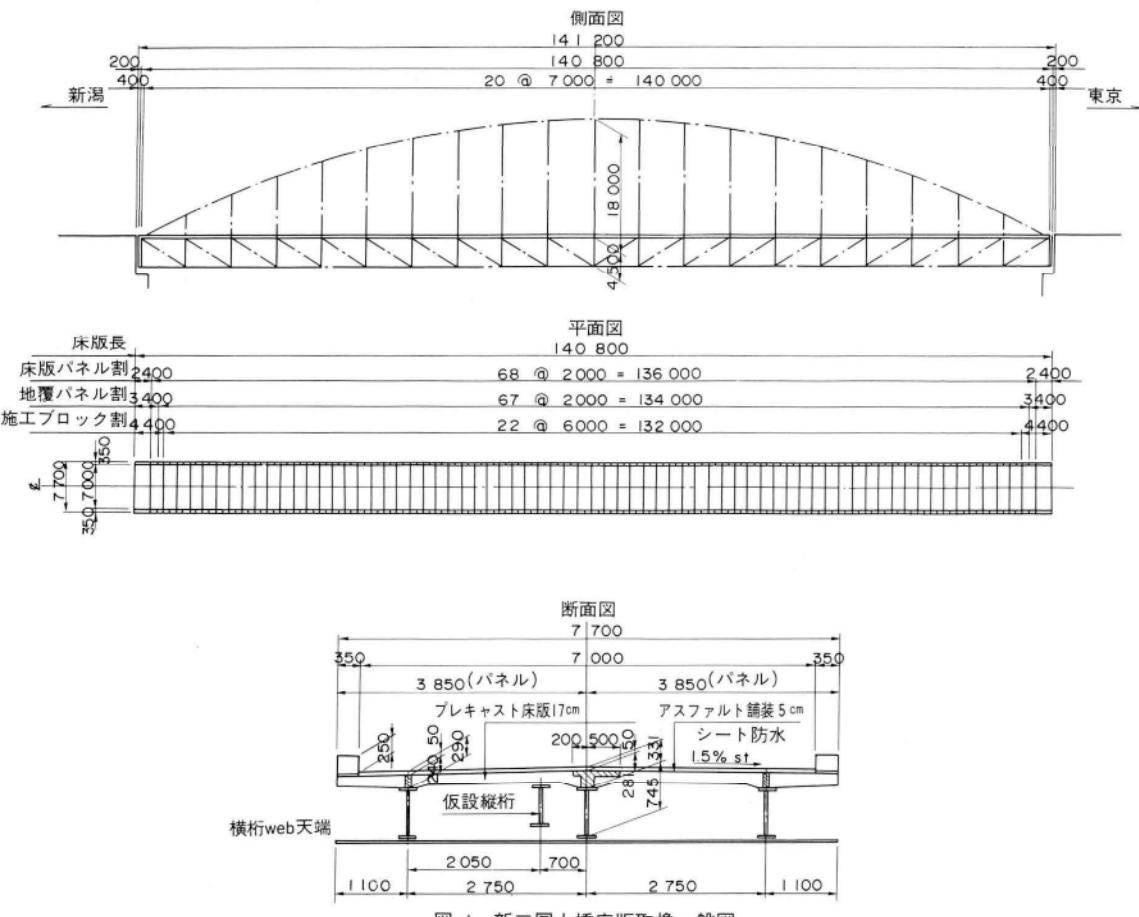


図-1 新三国大橋床版取換一般図

#### 4. 施工および設計上の問題点

##### (1) 施工上の問題点

施工上最も問題点となったことは、幅員が狭い事と、付近に迂回路がなく、前述のように夜間の定期便のトラックが多いため、全面交通止めが不可能であった。そこで、比較的交通量が少ない昼間一車線規制で施工を行い、夜間は、全面開放という施工方法を検討した。また全有効幅員が7.0mであるが故に、一車線幅員は、2.75m~3.0mとなり、群馬県側と新潟県側の電光掲示板に昼間大型車進入禁止の予告を工事期間中出し、大型規制を行った。

##### (2) 設計上の問題点

設計上の問題点は、当初設計による床版厚が17cmであることから死荷重の増大による主構の応力超過であった。現行道路橋に照らした応力増加率は、最大の箇所で、20%近くまで達しており、これ以上死荷重を増加させること

は、橋体に損傷を与える原因となる事が予想される為、新設床版の構造として、プレキャスト床版の中でも死荷重を軽減できるプレキャスト合成床版（コンポスラブ）を採用した。また、上り線新潟側の取り付け道路が左にカーブし、伸縮装置を境に、4.0%強の上り勾配となっているため、橋梁上約10mより横断勾配を変化させ、交通に支障のない様考慮した。

#### 5. 施工

##### (1) 施工概要

本施工は、新三国大橋の既設RC床版を、昼間交通規制を行い撤去し、プレキャスト床版に取り換え、夜間は、交通開放するものである。1日の作業量としては、過去の実績を踏まえて、旧床版全長140mを24分割、さらに、道路中心で2分割し合計48ブロックで施工した。1ブロック約23m<sup>2</sup>でこれは、プレキャスト版3パネル分である。



図-2 橋面ブロック割図

1日目の施工は下り線側、2日目の施工は上り線側という順に施工し、これを1サイクルとし全部で24サイクルの工程となり、最後に橋面の舗装を行い完了した。

このように、上、下線交互に施工する利点としては、床版中央の打継ぎ目地を順次仕上げて行くことにより、横断方向の床版の連続していない時間を、できるだけ短くすることにある。また、1サイクル毎に床版全断面が連結されるため、施工時の車輪防護柵は、施工箇所のみの設置（約10m）で、これを順次転用する事により施工が可能である。

図-2に施工ブロック割、図-3に1サイクル施工概要図を示す。

## (2) 施工順序および時間工程

夜間、交通全面開放という施工条件のなかで、床版を撤去、新設を行うために、図-4に示す施工順序および時間工程を設定し工事を行った。

## (3) 足場防護工

桁下60mからの谷深い箇所であるために、まず落下防止用キャッチネットを張り渡し、その後、板張り防護工を組みたてた。

施工に当り、足場材の荷捌きは、全て橋上より片側交互通規制をして行った。

## (4) 仮設縦桁の取り付け

仮設縦桁は、図-3に示すように、旧床版を中心で切断し、新設床版を据付け、全断面連結するまでの1日間は、一搬車輌が新設床版上を通過するため、仮受けをするものである。この仮設縦桁は、新設床版3ブロック分すなわち、3サイクルの施工分（7.0m×3本=21m）を工場製作し、床版取り換え箇所の移動と共に順次転用するものとした。

なお、架設縦桁の取り付ける時期が、旧床版撤去前で

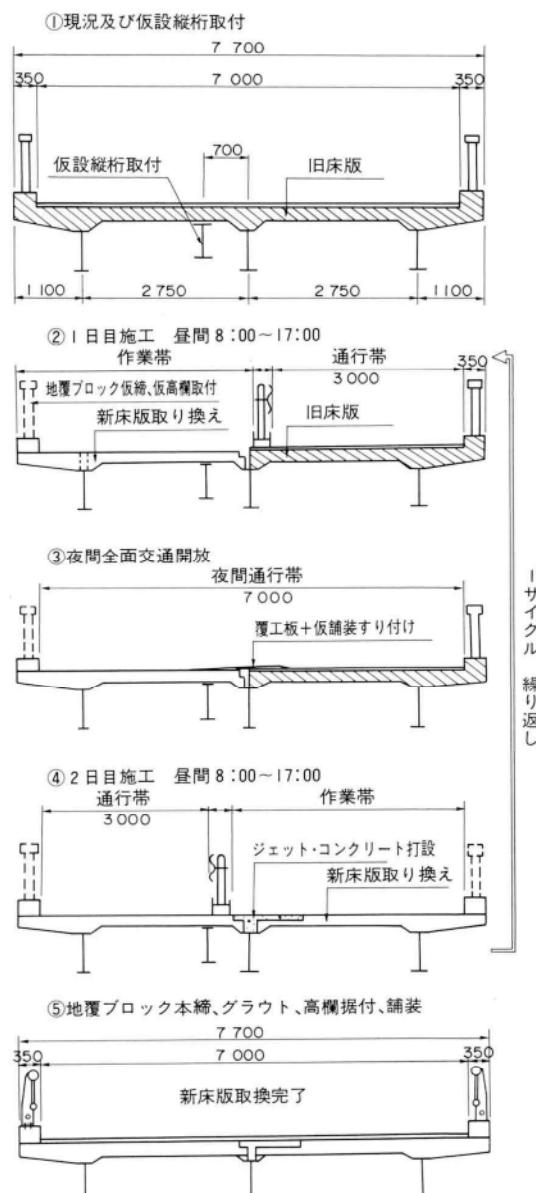


図-3 1サイクル施工概要図

床版下面の不陸があるため、高さの調整が必要となり、既設横桁補剛材より、ブレケットを出してジャッキによ

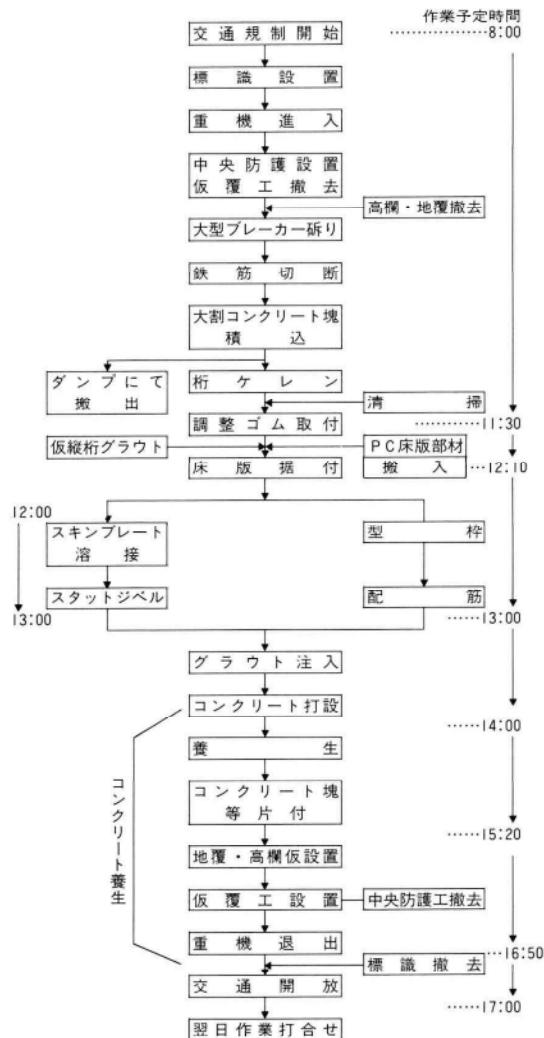


図-4 作業順序及び時間工程

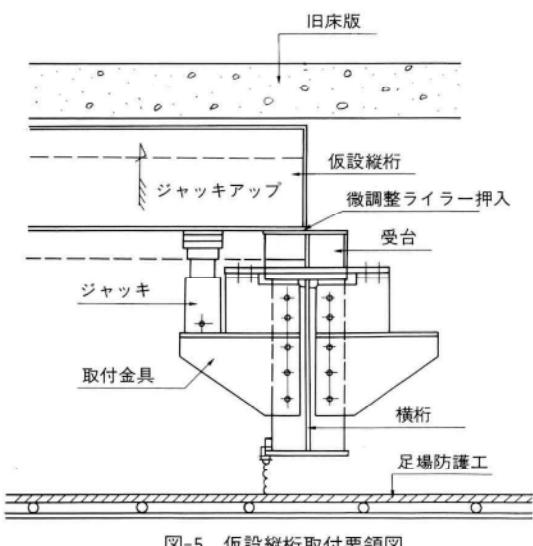


図-5 仮設縦桁取付要領図

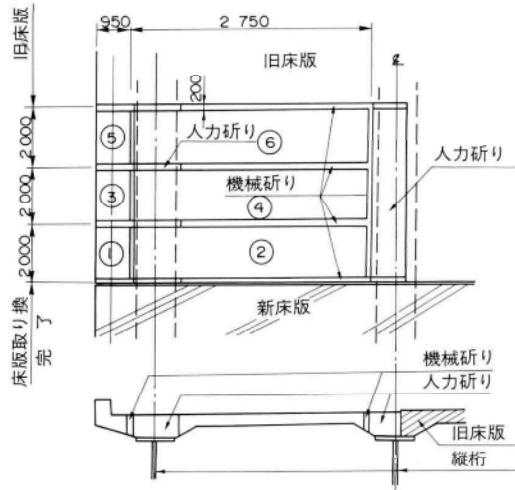


図-6 床版研ぎ要領図

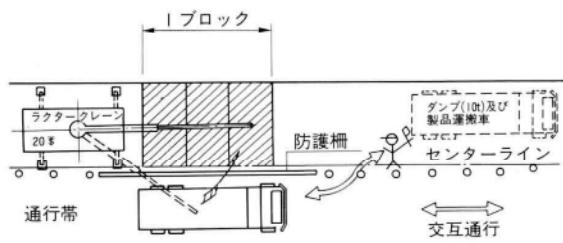


図-7 床版荷取り要領

り高さを決定してライナー材を仮設縦桁支点部に挿入し固定した。図-5に構造図を示す。

##### (5) 床版撤去

旧床版の研り撤去は、不確定要素が多分にあり、1日の工程に影響を与えるものである。そこで、できるだけ工程を短縮するために20t ラフタークレーによる大ブロック吊上げ方式を採用した。図-6に示す位置をジャイアントブレーカーにより研り落し、図中①～⑥の順に吊り上げ、2t ダンプにより仮置場まで搬出し、そこで2次研りを行い処分した。なお、既設縦桁上に当る箇所の床版撤去は、人力作業により桁に損傷を与えない様に行つた。

##### (6) プレキャスト床版（コンポスラブ）の架設

プレキャスト床版の架設に先だち、旧床版撤去後、既設縦桁上フランジ上の清掃、ケレン、高さ調整用のゴムならびにグラウト漏れ防止用ゴムの貼り付け、プレキャスト床版の据え付け位置のマーキングを行った。

床版の据え付けには、旧床版撤去に使用した20t ラフタークレーを使用し、交通帯を約3分程度止め、床版

運搬用トラックを進入させて、図-7に示す要領で荷取りを行った。



写真-2 床版据付状況

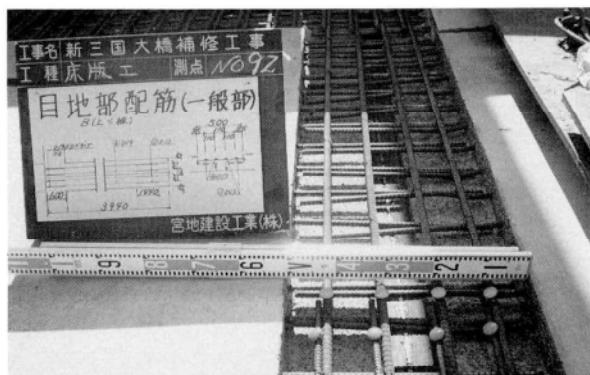


写真-3 目地部配筋



写真-4 スタッドジベル溶植

床版据え付け後、設置位置の調整、床版下面、スキンプレートの溶接、床版パネル間の継手鉄筋の配筋を行い、さらに、既設縦桁上フランジ上に床版定着孔より、スタッドジベルを溶植し、ジェットコンクリートを打設した。

#### (7) ジェットコンクリートの打設

ジェットコンクリートは、先ず図-8に示す定着孔より流動生の良いグラウト・モルタルを注入し、その後、床版パネル間の目地コンクリートを打設した(図-9)。打設後、養生マットおよびシートにて養生を行った。

ジェットコンクリートの打設と同時にテストピースを採取し、同様な養生を行い、所定養生時間(3時間)経

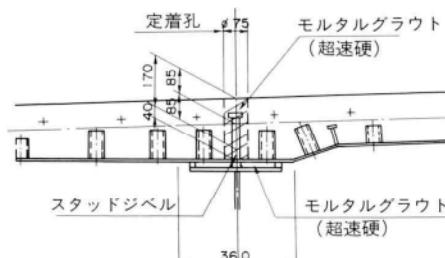


図-8 定着孔グラウトモルタル

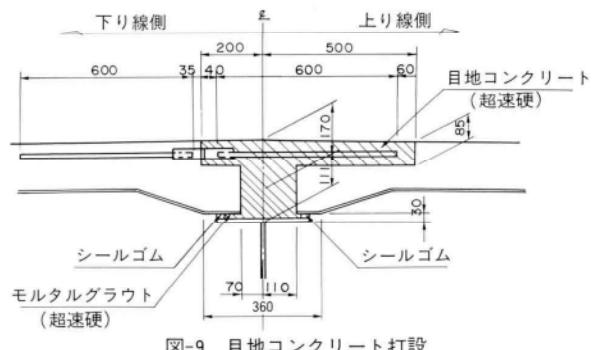


図-9 目地コンクリート打設



写真-5 圧縮強度現場試験

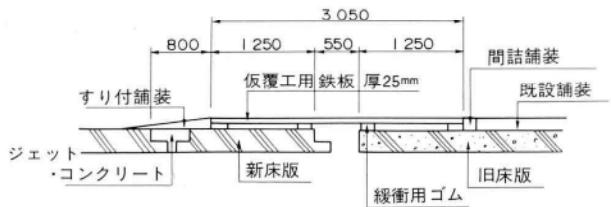


図-10 仮覆工板設置要領

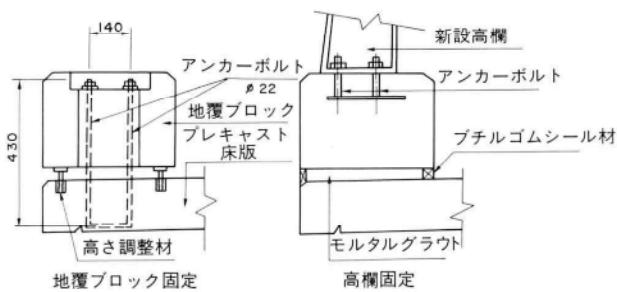


図-11 地覆ブロック、高欄固定要領



写真-6 交通規制開放

過後、現場にて圧縮試験を実施し、交通開放に必要な設計強度 $\sigma_{3H}=240\text{kg/cm}^2$ のコンクリート強度を確認した。

#### (8) 仮覆工板の設置

仮覆工は、夜間交通開放に当り新旧床版間に段差および隙間が生じるため、図-10に示す要領にて床版上にゴムを敷き、その上に厚さ25mmの鉄板を設置し、スリ付け舗装を行って交通に支障の無いよう、また、床版への衝撃を緩和した。

#### (9) 地覆・高欄工

床版取り換え後、仮置きしてある地覆ブロックのアンカーボルトをゆるめ、高さ、通りの調整をして、再びアンカーボルトを締め付けて固定し、グラウト・モルタルを注入した。

この時、床版面と地覆下面の間より床版上の雨水等の漏水を防ぐため、ブチルゴム粘着シール材を図-11に示す位置に使用した。また、高欄の建込みは、地覆ブロックの固定後、地覆に埋め込まれているアンカーボルトにて固定した。

#### (10) 伸縮継手

伸縮継手の施工は、両端部の各々の床版取り換え工事のサイクルの中で行った。従って、通常8時よりの規制開始を約2時間早めて、6時よりの施工となった。

### 6. あとがき

近年の車輌の大型化、交通量の増大にともない、床版コンクリートの損傷が進む中で、各種の補修、補強方法を考えられ、主に、鋼板接着、縦桁増設工法等が実施されてきた。

これら補修・補強方法は、主に桁下作業が中心となり、交通には支障なく施工でき、施工頻度も高い。しかし、中には上記対応策にもかかわらず、床版の劣化損傷が進行する橋梁も数多いと考えられる。いずれにおいても、抜本的な対策として近い将来、床版コンクリートの打ち換えの必要性が生じる事は、あきらかと判断する。

本報告が、全面交通止めが不可能であり、また近接して適当な迂回路が確保できない施工条件のもとで、床版補修・補強工事を行う場合における施工方法選定に際し、何らかのヒントを提供できるものであれば幸いである。

今回、設計・施工上厳しい制約を受ける中で、プレキャスト合成床版であるコンボスラブを用いた事により実質2ヶ月の短期間に約1100mの床版をトラブルもなく取り換えを完工する事が出来た。これらは、建設省、高崎工事事務所管理二課、沼田維持出張所、その他関連各位の御指導、御協力によるものと深く感謝の意を表する次第である。

1990.10.31受付

# 電子ファイリングシステムによる 技術資料データベースの作成と管理

Construction and Management of Technical Information Data Base by  
Means of Electronic Filing System

鳥 羽 勇 造\* 佐 藤 浩 明\*\* 岩 崎 初 美\*\*  
*Yuuzou TOBA* *Hiroaki SATOH* *Hatsumi IWASAKI*

## Summary

Technical information is diverse and voluminous, and because of this, the difficulty of information management means that this management has a tendency to become localized and inconsistent. Management using an electronic filing system is an effective way to solve this problem. Currently, a literature data base covering 89 magazines and other publications is being constructed using the system. The required literature can be obtained immediately by using registered bibliographical information and retrieval based on fixed and free keywords. Construction of the system has been started after a comprehensive review of filing and after the establishment of an information management system using hard copy. This system has qualitative effects, such as the improvement of personal and overall company technical ability, in addition to quantitative effects, such as reduction of the information retrieving time.

## 1. まえがき

最近、新しい記録メディアとして脚光を浴びているものに光ディスクがある。このメディアは従来の磁気によるディスク等に比べ数千倍の記録容量があり、文書や図面、写真等をイメージのまま情報として記録するのが大きな特徴である。光ディスクを用いたファイリング機器は電子ファイリングシステム(以下電子ファイルと記す)と呼ばれ、その高い性能と扱い易さ、かつ価格低下により様々な活用されている。一方、急速な技術革新による業務の変化により、技術資料管理に対する認識が増し各方面でシステム化されている。当社でも電子ファイルを中心とした橋梁技術資料に関するデータベースを現在構築中である。電子ファイルによるデータベースはまだ形態としては新しく、その導入と運用には未知な部分が多い。本システムより雑誌文献データベースを中心として、その概要と構築に際し考慮した事項について紹介する。

## 2. 電子ファイルの特性

従来、資料管理のファイル形態として紙およびマイクロフィルムが用いられてきた。紙ベースのファイルは1つのインデックスのもとに集合したファイル(シングルインデックスファイル)である。また、マイクロフィルムは紙ファイルをそのまま物理的に小さく置き換えたも

のと言える。これに対し、電子ファイルはより一層紙ファイルを微小化し、しかも1つの文書に幾つものインデックスを付ける事ができる(マルチインデックスファイル)。従って論理検索が高速にできることにより、高度な情報提供サービスが可能な事が大きな特徴である。

### 電子ファイルの特性

- ① 文書一括管理：図面を含む大量の情報が扱え、情報の集中管理ができる。
- ② 高度な検索：広範囲にわたり高速で多彩な検索ができる。
- ③ 優れた操作性：誰でも容易に操作できる。
- ④ 高い信頼性：長期保管、機密保護ができる。
- ⑤ 高精度度：高解像度の画面、高精度の印刷ができる。
- ⑥ 経済性：高密度な記録で保管スペースの節約となる。
- ⑦ 画像編集：画像の豊富な編集機能をもつ。
- ⑧ レビジョン管理：新旧版の資料管理が容易である。

## 3. 導入の背景

今日、人々の周囲は多くの情報に溢れ、技術の進歩は多くの情報を必要としている。これらの情報はほとんどが紙を媒体としているためその周囲は紙の山と化し、更に電算化による出力紙がこれに拍車を駆けている。まさ

\* 技術本部設計部設計開発課長

\*\* 技術本部設計部設計開発課

に紙公害とも言える多くの弊害が起きている。

- ① 保存文書量の増大が保管管理業務の煩雑化、延ては無管理状態をまねき、無断持ち出し、戻し間違い、紛失、破損等が多発する。
  - ② 資料の多くは検索不可な状態にあり、必要な情報が速やかに取り出せない。資料ではなく死料となっている。
  - ③ 集中管理ができないため個人資料的性格が強く、文書の散逸、分散によってグローバルな閲覧が不可能である。
  - ④ 雑誌文献に代表される資料の活用が一過性であり有効利用されない。
- これらの周りを取り巻く環境として次の事項があげられる。
- ① 電子ファイルの急速な価格の低下と高性能化、多機能化が進んでいる。
  - ② 橋梁構造物の多様化、大型化による技術の急速な高まりにより、設計、施工技術の向上が必要とされる。
  - ③ 経験技術者が不足している。
  - ④ 事務所環境が不動産の高騰に起因し手狭なため、技術資料保存の分散化がやむなくされている。
  - ⑤ 商用データベースは対象が広分野であり、特定課

題に対する絞り込んだ検索が難しい。橋梁分野に対しては収録文献の範囲も狭く件数も少ない。

これらを背景として数年前より紙による技術資料の管理体制を確立してきた。そしてその経験を踏まえ電子ファイルの導入を行った。

#### 4. 電子ファイルによる資料検索のニーズと対象資料

ここでは設計業務の観点から選んだ電子ファイルの対象となる資料類を図-1に示す。

#### 5. 導入準備

電子ファイル導入手順の要点を示す。

- ① 資料管理の現状把握：現状調査により現状と問題点を把握する。
- ② 電子ファイルの対象とする資料の抽出：検索頻度、資料重要度、長期保管度、構築易さ、現在量と今後の予測量、利用効果等より選定する。
- ③ 情報管理の出来ている既存ファイルの優先利用：電子ファイリング化する前に紙ベースでのファイリングシステムの確立を行う。

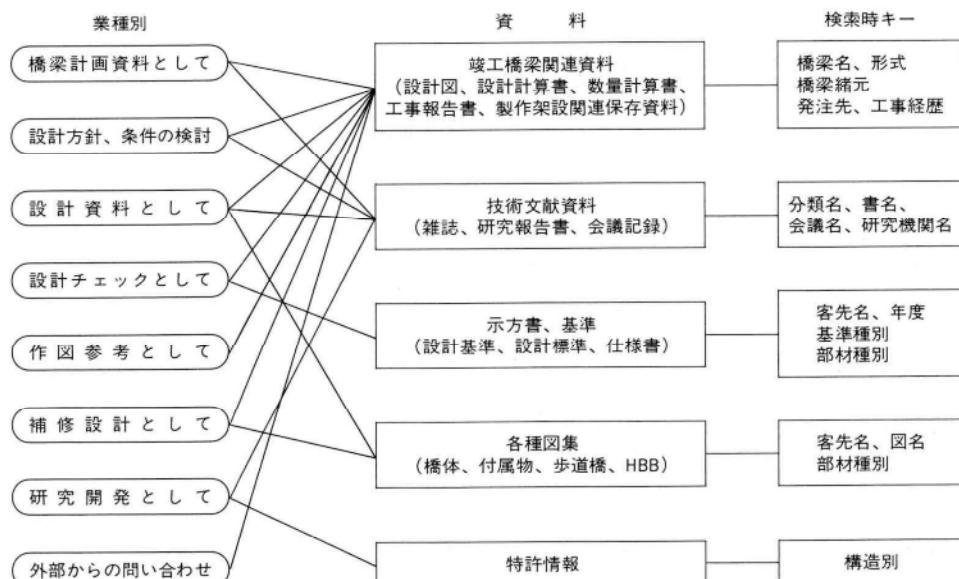


図-1 電子ファイルの対象資料

- ④ 電子ファイルのシステム設計：ファイリングの基本要素 “4W1H (what,when,where,who,how)” によりシステム設計を行う。
- ⑤ パイロットモデルによる試行：パイロットモデルを用いて試行し、必要に応じてシステムの見直しを行う。
- ⑥ 運用基準の設定：運用基準を決め、誰でも自由に登録、検索できる使用環境を整備する。
- ⑦ 入力要員の確保：自社入力または外注、自社入力時はあらかじめ要員を確保し、紙ファイルベースでのシステム造りに参加させておく。

## 6. システム概要

現在、電子ファイル一台によってシステムの構築、運用を行っている。その概要を以下に示す。

### (1) ハードウェア構成

電子ファイルの機器構成では最大読み取りサイズによるスキャナーの選定と光ディスク版のサイズの決定は、システム価格を大きく左右する要素である。設計図はB1-A1サイズであるが、これに対するスキャナ、プリンタは高価格であるため、設計図はA3サイズに縮小し

表-1 システムの機器構成

使用機種 富士通のEFS	
CPU	: 32bit
磁気ディスク	: 132MB
縦型ディスプレイ	: 解像度 1792 * 2464dot
スキャナー	: A3版、64階調、解像度 200 / 240 * 400dpi
12インチ光ディスクドライブ	: 追記形、カートリッジタイプ、記憶容量 3.6GB
レーザープリンタ	: A3版



写真-1 光ディスク電子ファイリングシステム(EFS)

て入力している。機器の構成を表-1、写真-1に示す。

なお、技術資料管理全体の統轄はPC9801XL2 (9 MB) を使用し、RDB (リレーショナルデータベース) 形式により行っている。RDB側ではより広範囲な検索が可能であり、別システムからのデータ移植も可能である。図-2に当社の技術情報システムの概念図を示す。（＊印、---は計画中を示す）

### (2) ファイリング体系

現在、データベース化を進めている項目には次のものがある。

書誌情報	雑誌文献・論文情報
	専門本情報
	基準・法規情報
工事記録	工事報告情報
	工事資料情報
教育情報	参考図面、計算書情報

この中より雑誌文献・論文情報についてその内容を紹介する。

### (3) 雜誌文献データベース

#### 収録の対象としている雑誌

月刊雑誌、季刊雑誌、週刊雑誌、技報、定期論文集等89雑誌を収録している。

#### 収集分類数

吊橋、斜張橋、床版、ダイヤフラム、隅角部、景観設計等65項目に分類している。

#### 文献の収集

技術部署全員に分類項目の担当を割当て収集する。従って広範囲な収集が可能である。

#### 雑誌文献情報の構成

目次情報	雑誌の目次を毎月収録、雑誌コードと固有ページ名で検索する。
記事情報	実際の検索情報であり、書誌情報を文字入力して検索する。
記事抄訳	手書き作製または原書本文中より抜粋記事を所定書式で整理したもの。
記事原文	原の文書サイズでイメージ入力する。

例えば記事原文は図-3の様なフォルダ構造となっており、さらに景観設計を指定すると図-4、図-5の様に文書が入っている。また、抄訳の登録状況を図-6に示す。

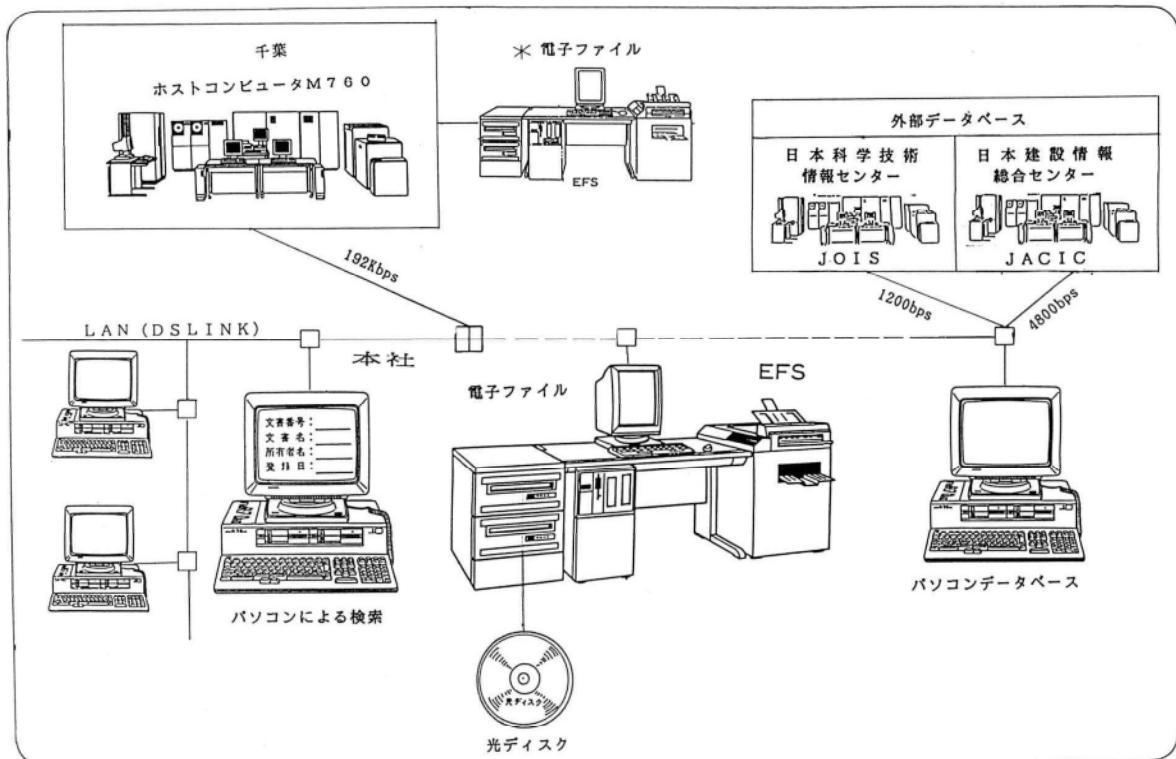


図-2 技術情報システム

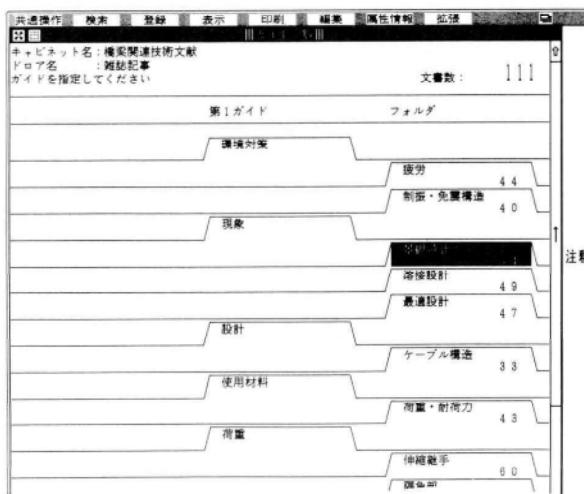


図-3 ガイド・フォルダ構造

文書番号	文書名	登録日	ページ数	更新回数
000502	サイコ・ペクトルを用いた構造景観の定量的評価	90/07/18	2	0
000503	北海道の橋の美観について	90/07/18	2	0
000504	パソコンによる都市景観の表示手法	90/07/18	2	0
000505	東京の橋と景観に関する研究	90/07/18	2	0
000506	首都高速道路の色彩検討	90/07/18	2	0
000507	歴史的に見たアーチの美観論	90/07/18	2	0
000508	橋梁の形態設計における体系的方法についての研究	90/07/18	2	0
000509	パソコンコンピュータによる構造景観のシミュレーション	90/07/18	2	0
000510	サイコペクトルを用いた構造景観の定量的評価(その2)	90/07/18	2	0
000511	計算心理学を応用した構造物の検討	90/07/18	4	0
000512	橋梁技術	90/07/18	4	1
000513	構造木橋の設計について	90/07/18	2	0
000514	橋とハーフランダブリッジの景観設計と施工	90/07/18	9	0
000515	橋とバーバラの景観計画、設計の考え方	90/07/18	6	0
000516	橋梁設計にみる斜張橋	90/07/18	3	0
000517	橋と歩道橋「剣橋」の景観設計	90/07/19	5	0
000518	ふり橋の計画と施工工法	90/07/19	5	0
000519	アーチティに付する景観リスト	90/07/19	5	0
000520	山岳道路切土の面の構造状態とその基盤評価	90/07/19	6	0
000521	被覆植物の開口、窓、セットバックと街路景観のまとめ	90/07/19	6	0
000522	景観設計＊＊見通し・坂出ルート＊＊	90/07/19	5	0
000523	大阪城新橋の設計と施工	90/07/19	5	0
000524	景観を重視したGulf Street:高架橋の迅速な施工	90/07/19	1	0
000525	多摩ニューカウン具取近傍センター橋の景観設計	90/07/19	5	0
000526	多摩ニューカウン歩道橋跡乃橋の設計	90/07/19	6	0
000527	国営昭和記念公園2.5、2.6号橋の景観設計	90/07/19	5	1
000528	ヨーロッパの象徴記	90/07/19	2	0
000529	免震構造を用いた9連間連続PC箱桁橋の設計と施工(上)	90/07/19	7	0
000530	橋をデザインした建築家・ローマー	90/07/19	3	0
000531	旧い橋と新しい橋を訪ねて(上)	90/07/19	5	0
000532	旧い橋と新しい橋を訪ねて(下)	90/07/19	5	1
000533	橋の構造と美(上)	90/07/19	5	0
000534	橋の構造と美(下)	90/07/19	5	0

図-4 文書一覧

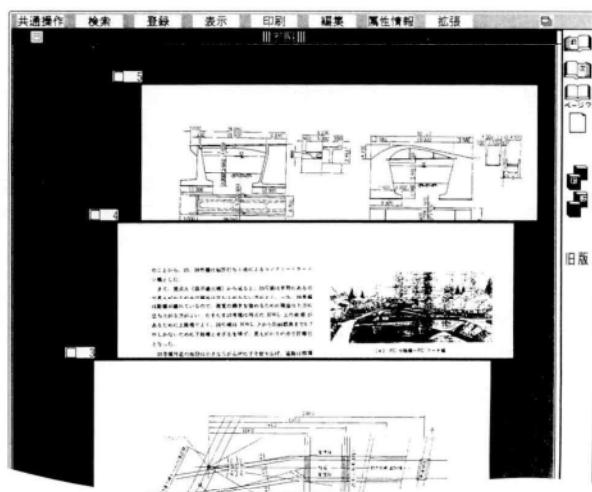


図-5 文書



図-6 記事情報と要旨

表-2 原稿別必要記憶容量(A4版、単位KB)

	240bpi	400bpi
一般ワープロ原稿	61	110
雑誌(日本語) (英 文)	96	167
新聞記事 写 真	82	151
	209	427
	681(線画)	1893(階調)

## 検索情報

### キーワード:

固定、自由ともに10ワード／文書を設定。

固定キーワード：構造形式、構造部材、荷重、材料、解析等11項目別に127ワードを設定。

自由キーワード：登録者が自由に設定。

### 登録検索情報（書誌情報）：

整理番号（登録コード）、分類名、題名、書名（または雑誌名）、著者、発行年月、巻、号、ページ範囲、社内保有有無等の情報を設定。

### 現在の登録件数

データベース側：雑誌記事	3000件
専門書情報	3500件
光ディスク側：記事情報、抄訳	3000件
本文	1200件

## 7. システムの運用

本システムの運用に際し配慮した点を以下に示す。

- ① 運用基準を作成し登録、検索の効率化を図る。
- ② 資料の発生から廃棄するまでの流れを明らかにし、どの時点でデータベース登録するかを明確化する。
- ③ 新規発生資料と旧保存資料の入力優先をどうするか等、入力計画を立案する。
- ④ 毎月新規に発生するデータを消化する入力要員数は最低限確保する。
- ⑤ 個人データから共有データへ意識の転換をはかる（データ収集は全員参加の体制）。
- ⑥ 登録作業は極力自動化し作業をルーチンワーク化する。
- ⑦ 入力効率化のため原稿品質による登録標準を作成する。
- ⑧ 固定キーワードの選定、登録時の画素密度・原稿種類、良否によるスキャナの読み取り条件設定早見表を作成する。

なお、参考までにスキャナの設定差による記憶容量の違いを表-2に示す。

- ⑨ 検索用の資料管理情報はどこまで入力するのか見極める（過多は入力の挫折につながる）。
- ⑩ 登録作業は原稿の程度により入力手間が大きく異なるが、汚れ、不用記事削除等、画面消去をしながら行うと30~50文献／日（5~10ページ／文献）程

度である。大量の登録には専従員は不可欠であり、確保できるようにする。

- ⑪ 光ディスクの信頼性は高く、原則としてバックアップが無しで運用しても問題ない体制とする。

## 8. 導入効果

本システムは導入して間もないため現在、登録作業が主体である。本格的な運用はまだ先であるが、システム化によって文献調査が日常化した事だけをとっても定性的効果がある。今後、次のような効果が期待できる。

- ① 情報入手のスピードアップが計れる。
- ② 資料の私有化防止、個人保有資料の供出・公開、情報の共有化による一括管理の促進、重複保管の防止が進む。
- ③ 幅広く多くの資料を参照でき、業務内容の高度化、品質の向上、開発業務では新しい発想をよび、また工期の短縮につながる。
- ④ 積極的な資料収集の体制づくりによって、知識の広範囲な吸収による技術力の向上と教育効果が得られる。
- ⑤ 工事資料の整理により、過去の工事経験や実績の活用が計られ、技術の積み重ねが進む。
- ⑥ 資料整理によって有用な統計データが得られ標準化が促進する。
- ⑦ 社外からの問い合わせに対し迅速に対処でき、対外的な信用の向上につながる。
- ⑧ 参考図や標準図の完備によって作図作業を効率化できる。
- ⑨ 保管のスペースの多目的利用が可能となる。

## 9. 今後の利用展開

現在進めている登録作業の効率化が最も緊急な課題である。外注入力はかなり高価であり、予備作業が必要なことから大量の定型文書である事務文書の入力以外は難しい。キーワードの自動識別入力や複数文書の一括入力等を検討中である。

また、検索用に設定している固定キーワードのみでは検索の絞り込みが難しいため、自由キーワードを設けているが同意語発生の問題がある。さらに適切な検索言葉が浮かばない時の曖昧検索も必要である。このため人工知能ソフトを検索の補助として使用する事を考えている。

また、現在はスタンドアロン型であるが近々、バス型LANによって専用の検索ステーションやパソコンからのリモート検索（当面はパソコン対象）を可能とする等、他部署への利用拡大を計画中である。将来はネットワーク化をさらに進め、ホストコンピュータによる集中管理により、工場に導入される電子ファイルと連携するグローバルなシステム構成に発展させる。東京、千葉、松本を結ぶ、全社的統合システムとする事によって、分散化された光ディスクを有機的に組み合わせた広域な情報活用を目指している。

## 10. 問題点

電子ファイルによる検索システムの問題点を列記する。

- ① 膨大な件数を扱うため入力作業工数が多大である。
- ② OSが特殊であり（UNIX系に近い）他のOA機器との互換性が無い。
- ③ 検索機能は専門のデータベースソフトに劣る。従って、対象業務によってはデータベースを別コンピュータで作製し、電子ファイルと組み合わせたシステムとした方が良い。
- ④ 複雑な検索には専門の要員が必要である。
- ⑤ 入力後、原文書を破棄するか否かの判断が難しい。原則的には破棄している。
- ⑥ 入力文書の選出が難しく、何でも入力しておこうとする傾向になりやすい。
- ⑦ 入力精度が何でも高精細となり易い。
- ⑧ 写真の解像度が元に比べかなり劣る。
- ⑨ カラー対応でない。
- ⑩ 光ディスクの実記録可能ページ数がカタログ値に比べかなり少ない。
- ⑪ ハードウェア（光ディスク版、固定ディスク等）の効果的な使用手法が不明である。
- ⑫ 原稿の大きさや種類、品質等が多彩なため、スキャナの最適な読み取り設定のトライアルに手間取る。
- ⑬ ハードウェアの進歩が早いため、長期の保存・活用に対してはメディアのライフサイクルに合わせ媒体変換を考慮しておく事が必須である。

## 11. あとがき

当社の技術資料管理システムの内、主として文献データベースを中心に述べてきたが、本システムの構築にあ

たり感じたことを若干述べ本紹介を終わらせる事とする。技術資料の管理は今まで必要とされながらも直接生産に寄与するシステムではないため、比較的おざなりにされてきたと言える。また、システムを構築するか否かの経緯で必要となるコストの見極めがはなはだ難しい。さらに、この分野でのハードウェアの進歩は著しく、導入を遅らせばより良い機械が出てくる、今は過渡期であり時期尚早ではと言った意見もある。このようななかで当社が電子ファイルの導入に踏み切ったのは前述した導入背景の他、波及効果として技術力の向上に対する期待が大きい事がある。今日は技術革新の時代である。新しい技術を知り、吸収することにより新しい技術を生み出し

ていくのが技術者としての使命である。電子ファイルはデータベースの構築方法が容易であり、これらに必要な情報管理のツールとしては最適と言える。しかし一方、データの蓄積には従来のコード情報に加え、イメージ情報も入力せねばならずかなりの手間を要する。かなりの覚悟を決めて取り組まないと使えるものが出来ないというのが実感である。へたをするとただのゴミ箱となりかねない。本文が今後電子ファイルを導入すべく計画されている方々にいくらかでも参考になれば幸いである。

1990.10.31受付

### グラビア写真説明

#### カリヨン塔

建築物の主構造部分にステンレスクラッド鋼が初めて使用された工事、それがカリヨン塔新築工事である。

外壁に使用されている真白い石を鋸から防ぐ方法として、又二百年風雨、地震に耐えるため、普通鋼材の表面に、ステンレスをクラッドした鋼材が使用された。

本工事の特殊性はその構造にもあり、塔全体がシャミ線のバチの型をしており、内部補強は、船のタンクに見られるリブプレートが約700ピッチで取付けられ、各ブロック間の寸法精度の確保に相当な配慮が必要であった。

普通鋼材との扱いの違いを確認するため、試験を重ねようやく施工に踏み切った難工事であった。

この塔は信者の信仰の対象として建てられたもので、琵琶湖の南端に近い瀬田の市街から南東へ約20km滋賀県甲賀郡信楽の人里離れた山中に建てられている。

塔の上部には大小合わせて50個のブロンズ製のベルが取付けられており、キーボードにより演奏されベルが鳴る。これがヨーロッパのカリヨン塔に模しているためこの塔の名前の由来となっている。

構造設計は故東大名誉教授坪井善勝先生、意匠設計は、イオ、ミン、ペイ氏と技術、デザインともに時代の最先端をいく超一流が担当された。(板花)

#### アサヒビール茨城工場 屋外ビールタンク

アサヒビールは、「ドライビール戦争」で勝抜き、ビール販売も大幅に伸び、今後も益々消費量が伸びると予想され、設備投資をさかんに行っている状況であります。その1つとして茨城県守谷町工業団地内に大規模な茨城工場が建設されました。この工事は、プラント工事の一種で当社としては初めての工事で範囲は、タンク据付けと配管工事までを行った。タンクは貯酒タンク(60基)と発酵タンク(28基)があり、製作工場で分割曲げ加工されたステンレス鋼板を、現場に持込み、肌合せしながらティグ溶接で組立て、ビード仕上げまで行い、その後、水張り・耐圧試験等の厳しい品質管理試験を実施した。タンクの形状は直径7.0m~7.8m、高さは20.0m~24.0mと非常に大型で、据付け基数も88基と多いため足場の組立作業も膨大なものとなつた。

また、ほとんどが、ステンレス鋼板の組合せであったため、特殊なプラズマ切断、ティグ溶接を用いたが、大量の仮設備と多くの手慣れた鍛冶溶接工を確保する必要があり、近年の超繁忙下においては労働力の確保が非常に困難であった。(梅野)

## 編集後記

宮地技報第7号が発刊の運びとなりました。

今号では、埼玉大学田島二郎教授から「適材適所」のタイトルで巻頭言をいただきました。安芸の宮島・嚴島神社に現存する3つの木橋の紹介に始まる橋梁の優美な歴史と、近代橋梁が鋼とコンクリートとの採用によって始まり、両者を適切に組合せる複合化によりジャンルを拡げつつあることが述べられています。先生の御経験を随所に引用された具体的な記述は、今後の方向性に対する示唆を与えてくれるものと、大変有難く、厚く御礼を申し上げます。

中東では、イラクのクウェート侵略に起因する湾岸戦争が勃発し、米国を中心とする多国籍軍によるイラクへの空爆が連日行われています。そのテレビ映像の中に、バグダッド市内の橋が落とされ、人々が小船で往来しているものがありました。橋の建設に係わる1人として、むなしい思いをするとともに、1日も早い平和の回復を祈念してやみません。

市民生活に欠かせない公共構造物である橋梁の建設に携わっているとの自負を持ち、技術の研鑽に励んでまいります。今後とも御支援御指導の程よろしくお願ひします。

## 技報編集委員会

委 員 長	小 池 修 二
副 委 員 長	小 川 英 信 三 木 茂 喜
委 員	青 木 清 伊 木 達 治 太 田 武 美
	小 出 勝 雄 菅 井 衛 滝 戸 勝 一
	中 島 善 郎 能 登 宥 愿 原 昭 恵
	宮 崎 好 永 宮 坂 瞳 夫* 太 田 貞 次*

\*印 事務局兼務

**宮地技報 第7号**

発行日 平成3年2月25日

発行所 株式会社宮地鐵工所

〒103 東京都中央区日本橋小伝馬町15番18号

(日本橋SKビル) TEL 03(3639) 2111(代)

印刷所 三好印刷株式会社