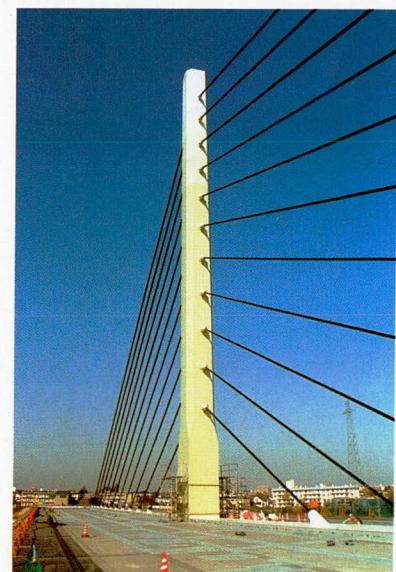
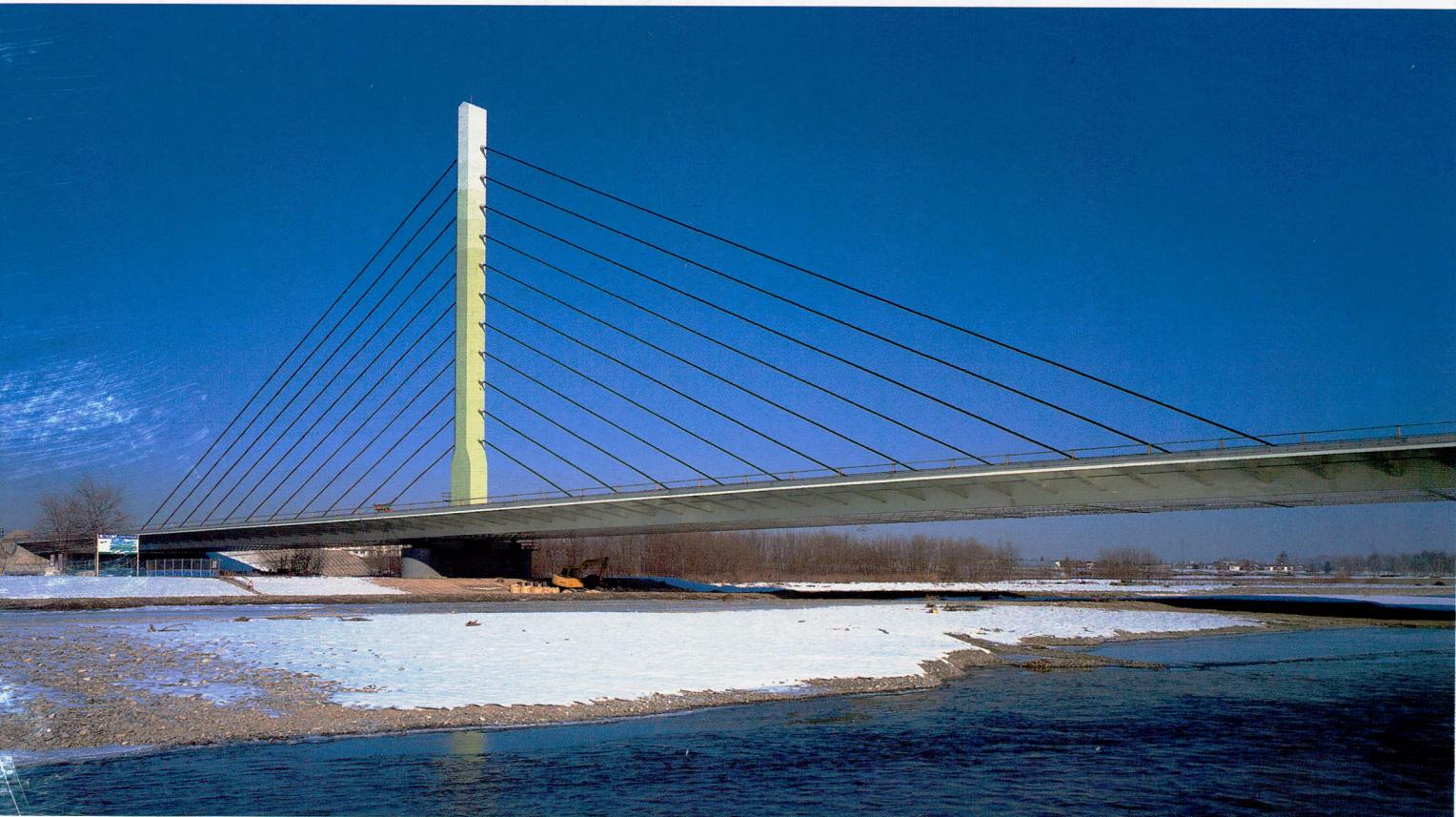


## 第二札内橋

発注者 北海道帯広土木現業所  
形式 2径間連続鋼斜張橋  
+4径間連続鋼箱桁橋  
橋長 477m  
幅員 25.5m  
鋼重 5,243t  
路線 幕別帯広芽室線  
所在地 北海道帯広市  
～中川郡幕別町  
竣工 平成13年3月  
説明文 P 59





なんくすく  
名護城大橋

発注者 沖縄県土木建設部北部土木事務所

形 式 ニールセンローゼ

橋 長 173.4m

幅 員 9.25m

鋼 重 672.854t

所在地 沖縄県名護市

竣 工 平成12年8月

説明文 P 59

#### 大宮市連絡通路橋

発注者 JR東日本東京工事事務所

形 式 バスケットハンドル型鋼管アーチローゼ橋

橋 長 98.126m

幅 員 10.0m

鋼 重 624.530t

所在地 埼玉県大宮市

竣 工 平成12年4月

説明文 P 79





古島軌道橋

大望橋

発注者 長野県坂城町

形 式 単純ワーレントラス橋9連（今回施工2連）

橋 長 465.825m（全橋長）

幅 員 2.5m、5.5m

鋼 重 177.791t（2連分）

路 線 町道A06号線

所在地 長野県埴科郡坂城町

竣 工 平成12年3月

説明文 P 82

発注者 沖縄県土木建築部  
都市モノレール建設室

形 式 軌道橋

橋 長 93m

幅 員 3.9m～4.0m

鋼 重 318.0t

所在地 沖縄県那覇市

竣 工 平成12年3月

説明文 P 79





花の丘ループ橋

発注者 長野県伊那建設事務所  
形 式 7径間連続鋼箱桁  
橋 長 290m  
幅 員 10.75m  
鋼 重 311.472t (当社施工3径間分)  
路 線 町道の場公園線  
所在地 長野県上伊那郡高遠町  
竣 工 平成12年8月  
説明文 P 82

長野原めがね橋

発注者 建設省関東地方建設局  
形 式 ニールセンローゼ  
十2径間連続箱桁  
橋 長 387.5m  
幅 員 24.5m  
鋼 重 2,075t  
路 線 国道145号  
所在地 群馬県吾妻郡長野原町  
竣 工 平成11年3月  
説明文 P 90

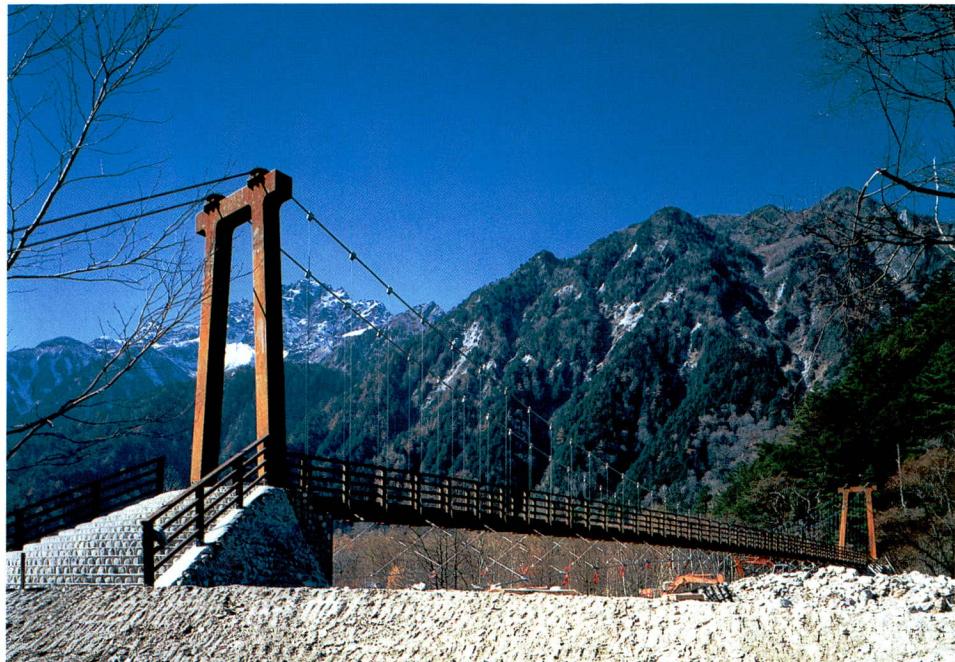


飛島高架橋西（鋼上部工）工事

発注者 日本道路公団名古屋建設局  
形 式 連続非合成3主鉄桁5連、  
連続非合成4主鉄桁3連、  
連続非合成2主鉄桁2連  
橋 長 上り線：904m 下り線：803.9m  
幅 員 14m  
鋼 重 7,243t  
路 線 第二名神高速道路  
所在地 愛知県海部郡飛島村木場～  
弥富町  
竣 工 平成12年2月  
説明文 P 90

## 横尾大橋

発注者 長野県生活環境部  
形 式 単径間無補剛吊橋  
橋 長 72m  
幅 員 1.5m  
鋼 重 32.579t  
所在地：長野県南安曇郡安曇村  
竣 工：平成11年12月  
説明文 P 91

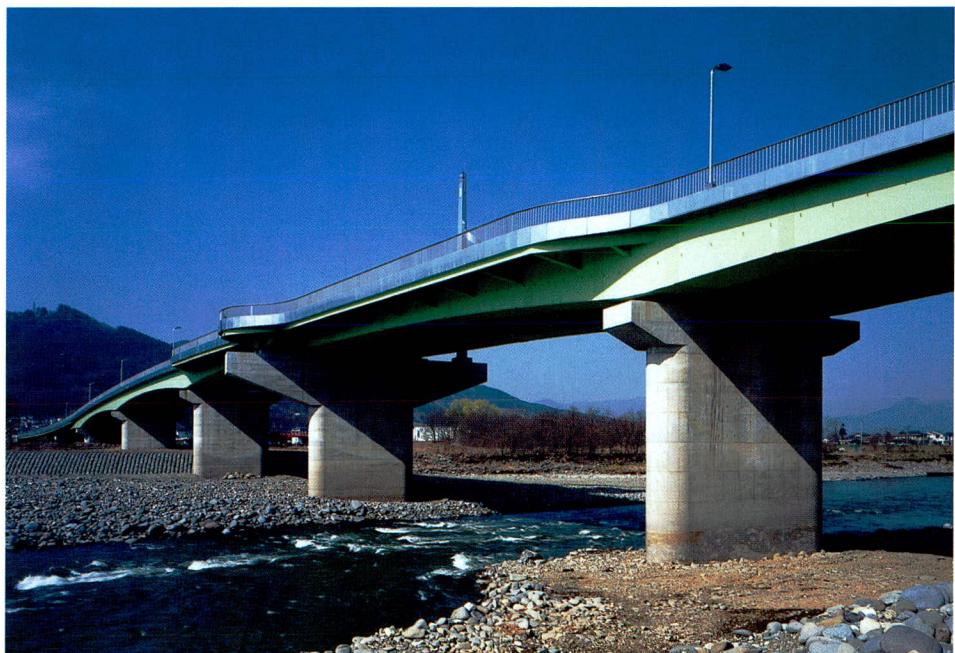


## 香椎アイランドシティ 5号橋

発注者 福岡市役所  
形 式 3径間連続鋼床版バランスド  
アーチ  
橋 長 260m  
幅 員 11.5m  
鋼 重 2,300t  
路 線 博多湾  
所在地 福岡県福岡市  
竣 工 平成12年8月  
説明文 P 91

## 常田大橋

発注者 長野県上田市  
形 式 5径間連続鋼箱桁  
十4径間連続鋼箱桁  
橋 長 485m  
幅 員 14.5m～20.5m  
鋼 重 754t（施工範囲分）  
所在地 長野県上田市  
竣 工 平成11年3月  
説明文 P 91





常浪3号橋

発注者 新潟県  
形 式 3径間連続上路式トラス  
橋 長 205.0m  
幅 員 5.5m  
鋼 重 499.321t  
路 線 一般県道室谷津川線  
所在地 新潟県東蒲原郡上川村  
竣 工 平成11年3月  
説明文 P 91

南港中出入路鋼桁及び鋼製橋脚工事

発注者 阪神高速道路公団  
形 式 鋼桁橋、鋼床版箱桁橋及び鋼製門型橋脚  
橋 長 862.5m  
幅 員 21.3m  
鋼 重 2,342t  
路 線 大阪府道高速湾岸線  
所在地 大阪府大阪市  
竣 工 平成10年12月  
説明文 P 92



小牧（その1）工区上部工事

発注者 名古屋高速道路公社  
形 式 鋼3径間連続非合成箱桁  
橋 長 191m  
幅 員 26.2m  
鋼 重 2,512t  
路 線 県道高速名古屋小牧線  
所在地 西春日井郡豊山町～  
小牧多気中町  
竣 工 平成11年10月  
説明文 P 92

## 平瀬橋

発注者 長野県松本建設事務所  
形 式 単径間鋼斜張橋  
橋 長 95.7m  
幅 員 23.0m~26.0m  
鋼 重 1197.468t（上部工）、  
311.523t（主塔）  
路 線 国道147号線  
所在地 長野県松本市  
竣 工 平成12年12月  
説明文 P 92



## 藁科川橋東（鋼上部工）工事

発注者 日本道路公団静岡建設局  
形 式 上り線：鋼4径間連続箱桁+鋼7径間連続鈑桁  
下り線：鋼4径間連続箱桁  
橋 長 上り線：543.559m 下り線：28.5m  
幅 員 16.5m  
鋼 重 上り線：1,927t 下り線：1,394t  
路 線 第二東名高速道路  
所在地 静岡県静岡市  
竣 工 未定  
説明文 P 92



## 椿原橋（鋼上部工）工事

発注者 日本道路公団名古屋建設局 清見工事事務所  
形 式 3径間連続複合トラス橋  
試験体 鋼重：28.5t（9.5t／1体×3体＝28.5t）  
トラス主構高：3.712m  
スパン：11.625m  
実験場所：建設機械化研究所（富士市）  
説明文 P 93



晴海一丁目地区第一種市街地再開発  
事業（西地区）  
第1工区施設建築物新築工事（Z棟）

施主 晴海一丁目地区市街地再開発組合  
設計 晴海一丁目地区第一種市街地再開発事業（西地区）  
設計共同企業体（日建、久米、山下）  
施工 晴海一丁目地区第一種市街地再開発事業（西地区）  
第1工区施設建築物新築工事共同企業体  
構造 S造、SRC造 B4、F33、PH2  
鋼重 15,000t（当社施工2,700t）  
工期 平成9年4月～平成13年3月  
説明文 P 93

東京大学医学部付属病院病院棟新営工事

施主 東京大学  
設計 （株）岡田新一設計事務所  
施工 大林・戸田・鴻池特定建設工事共同企業体  
構造 S造、SRC造 B3、F15、PH3  
鋼重 16,000t（当社施工2,300t）  
工期 平成9年3月～平成13年3月  
説明文 P 93



N E C玉川ルネッサンスシティ（I）

施主 日本電気（株）  
設計 （株）日建設計、（株）大林組  
施工 （株）大林組、鹿島建設（株）共同企業体  
構造 SRC造、S造 B2、F26、PH2、H-135m  
鋼重 13,000t  
工期 平成9年10月～平成12年1月  
説明文 P 93



## 卷頭言

### 「T」型志向から「Π」型思考へ

東京大学工学系研究科社会基盤工学専攻教授 藤野陽三

工学部の学生であった頃、アルファベットの「T」という文字のように研鑽するようにと先生方からよく言われた。Tは工学とは縁の深いTechnologyの頭文字である。言わんとすることは、Tの縦棒のように、まずはある一つのことを深く探し、その後、Tの横棒のように広い分野に関心を持ちなさいということである。工学部出身の方の中には聞かれた方も多いことかと思う。

私が学生だった四半世紀前は、構造力学の分野では薄肉構造の力学やFEMなどが輝いていた。私は動的な現象に関心があった。この分野ではランダム振動が大変な流行であり、多くの論文が発表され、それらを興味をもって読んだことを懐かしく思い出す。

あの当時は、成長しそうだと誰もが考える、いろいろな分野・柱があり、それを追求していけばその先には輝かしい未来があるという雰囲気があった。自分でもそう思っていた。したがって、自然と「T」文字の縦棒を究めることに力を注いで我々は進んできたと言えるであろう。事実、この30年、40年における個別技術の進歩には目を見張るものがあったことは言うまでもない。

どんな研究分野でも、はじめのうちはテーマも多く、極端に言えば、何を解いても論文になり、成果が上がる。いわゆる成長期である。しかし、10年、20年と研究が続けば、いろいろな現象が明らかになり、解けそうな問題が解き明かされてしまう。その後は、重箱の隅を突いたような問題が多くなり、それを解く羽目になる。たとえ解けたとしてもそれほど大きなインパクトはない。研究仲間は増えるが、所詮、同業者であり、競争が激化する。論文は増えるかもしれないが、学問的な面白みは失われてしまう。

このことは研究に限らないだろう。市場で言えば、時期がくれば、飽和し、さらに時間が経てば衰退し始めるということである。一つのことをずっとやっていてよいことはそれほどないのである。勿論、これは一般論であって、息の長いものと短命なものとがある。ある分野が衰えないように、手を変え、品を変えて、「新鮮さ」が持続するように不斷の努力が投入されるのである。

「T」文字に習って、ある一つのことを追い求めるということは、多くの場合には高精度化、精緻化を探求することにつながる。FEMがコンピュータの発展とともに進展し、また普及してきた。いろいろなソフトも出回り、橋梁の分野でも設計検討に一部使われはじめている。一昔前では想像もつかなかったような、精度の高い解析、局所的な状況の把握が可能になっている。それでは、FEMを使いまくれば「橋」が進歩するかと聞かれれば、イエスとばかりは言えない状況かと思う。決してFEMが悪いと言っているのではない。次世代の設計体系といわれる性能照査型設計においては、ときとして詳細で高度な解析が必要になる。そのようなときはFEMとコンピュータが欠かせない道具となる。大いなる武器となることを誰もが疑わない。その一方で、FEMが危険だと思うのは、「精度」の向上ばかりに気をとられる設計者が増える可能性があるからである。

私の関心の一つである振動制御の分野も一昔前は、ダンパーやTMDなどの、原理を重んじるパッシブ制御が主流であったものが、長大橋や高層ビルディングでは、アクティブ制御が主流になった。ここでは、高精度化を目指して、極めて高度な制御理論が展開され、振動を抑える効率が追求される。

科学技術が高精度化に向けて、言ってみればTの字の縦棒のように直線的に進んで来たのはごく自然と思われる。極めて目的が明快であり、進むべき道がはっきりしているからである。

高精度化志向は高品質とつながる面があり、ときとして高コストをもたらす。経済性の制約の少ない、例えば、戦闘機ならそれも分からぬではない。しかし、我々の作る橋をはじめインフラストラクチャーは、精度・品質もさることながら、低コストも重要な柱である。適度な精度で、適度なデザイン、適度な品質、適度な価格が要求される家庭製品に近いとむしろ考えたい。

昨年来、コンクリート塊の落下、照明柱などの付属物の破損などに問題が多発し、急速に維持管理、とくに検査の重要性が認識されはじめた。きめ細かい点検・検査が重要となるが、一つ一つに対してかなりの手間がかかることがある。相手は大変な数、莫大な面積であり、今後、大きな負担がかかってくると予想される。高精度な検査法が要求されているケースも確かに多々あるが、膨大な数を相手にするだけに、精度がほどほどでも手間のかからない検査法、あるいは安価で耐久性のある簡便なセンサーが必要とされている。「精度」志向からの発想の転換が必要なのである。

先日、アメリカの大学の先生が研究室にみえた際、アメリカの研究動向について話す機会があった。アメリカでは、オーソドックスな、伝統的な研究分野のかなりが行き詰まり、魅力的な研究テーマが枯渇しているのに対し、他分野を取り込むような融合した研究を志向するグループは元気であるとのことであった。その先生の専門は機械工学であったが、土木、橋梁の分野に対しても同じような印象を私はもっている。日本も例外ではない。

今、工学・技術あるいは大学の工学部が、30年、40年前にもっていたような輝きを失いつつある。とくに伝統的な分野がそうである。伝統的な工学の重要性が減じているわけではない。エネルギー、原子力、自動車、道路・鉄道をはじめとするインフラストラクチャーなどの工学的な装置の中で初めて今の我々の快適な生活が可能であり、一時の停止も許容されない。いろいろな事故や災害も多発しており、重要性は増しているのが現実である。しかし、輝きを失った分野には、若い優秀な頭脳は入ってこないのも事実であり、自然の成り行きである。

では、成熟した分野は新たな展開をしないのかということは決してない。過去にも、ブレークスルーによって、成熟した分野そのものが変身した例、あるいは新しい分野に転換した例は挙げればきりがない。逆にいえば、問題意識、危機意識が、新しい発想を生みやすい状況を作っているとも言える。

我々の関係する「橋」はある意味ではクラシカルな分野であり、成熟した分野の典型の一つと言える。橋梁工学というと「橋を作るためだけの工学」という狭い印象を与えるが、実際には、橋梁の裾野は広い。計画、設計、製作・施工、維持管理には様々なことが関係している。実際に使われる場面においても、渡すという機能の他にも、文化的なことも含め、いろいろな側面があり得る。また、その数もわが国だけですでに20万近くとも言われ、簡単には何か他に取って代わられるということのない、必ず需要のある分野である。橋梁工学というよりは、橋梁関係学とも言える分野である。

最近では、鋼構造とコンクリート構造との融合などが関心を集めている。大変結構なことだと思う。構造設計とデザインとの融合も進めたい。しかし、今、我々がもっと必要としているのは、どちらかと言えば我々の外にあると思われている、それもめまぐるしく変わりつつある新しい領域との連携による、新しい思考、新しい技術の展開ではないだろうか？そのためには、他の分野をも領域とする人材が我々の中にいることが欠かせないと思うのである。表題の、『「T」型志向から「Π」型思考へ』というのは、「一つのフィールドだけをマスターしただけで満足しないで欲しい。是非もう一つの分野もマスターして、それを踏まえて、新しい橋梁関係学を構築して欲しい。」という思いなのである。Π（π）の字のように二つの専門をもって欲しいということなのである。それがデュアルな思考、ハイブリッドな技術を可能にし、新しいテーマを橋梁界にもたらし、変革につながると信じているからである。情報、バイオ、環境など今はやりのテーマでもよい。経済、制御、材料、意匠あるいは、土木の他分野でもよいであろう。

少々頭が堅くなった我々の世代は、Π型思考ができる若い世代が入ってきやすい環境作りに努め、Π型思考によるデュアルな思考、ハイブリッドな技術への試み自体は若い世代に大いに期待したいと思うのである。

## 技術評論

常務取締役 野田 博 章

「情報公開」は混迷する現代を乗り切るキーワードであります。宮地技報はその年の「会社が行った工事と研究開発の集大成」ですが、15年前の創刊号で上前社長は、発刊の意義として「社員の啓蒙」「社内の情報伝達」と「社会的な貢献」の3つを挙げています。社内だけではなく外に向って、社会の要請に応えるべく、自社の技術を世に公開する義務もあると述べられています。

公共事業すなわち社会資本の整備に対しアゲインストの世間の風が吹き荒れている現在、我々は、「公共事業に対して世間の人達は何を期待しているのか」、「それを受けて発注者の方々は我々施工業者に何を期待しているのか」、その結果「どう評価されているか」を絶えず意識して行動しなければなりません。

「相手が知りたい情報」が提供されていないということにならないよう情報の公開に努めなければならぬし、その一部にこの宮地技報が寄与する事を期待しています。

今我々に求められている技術とは、計画、設計、製作、架設、床版、と一連の流れである橋梁新設の技術と、維持管理、補修補強、架け替えと流れる橋梁管理の技術を合わせた「トータルな橋梁技術」ではないかと考えます。そして今、橋梁新設、橋梁管理の両技術ともに新しい大きな流れが起こっています。

橋梁新設の新しい流れは、公共事業のコスト削減の要請が源流で、橋建協が提案した「新しい鋼橋の誕生」がその代表例かと思います。幸い当社は提案された2主鉄桁、開断面箱桁、合理化トラスなどの形式にも取り組んでいます。新しい挑戦ですので様々な面で苦しいですが皆で力を合わせて乗り越えていかなければなりません。

その中でも注目すべきものは「床版がPCである」という事かと思いますが、積極的にかつ早期に、このPC床版の「設計技術、施工技術」を取得しなければなりません。独断と偏見で意見を言わせていただければ、過去において、ともすれば床版に対しての力点は少し横に置いていたのではと思いますが、今後はしっかりと床版にも力点を置く必要が有ると思います。

PC床版、合成床版、波形ウェブ、上部下部一体剛結など、鋼とコンクリートの複合構造が、新しい橋の今後を握っているという事は間違ひありません。コンクリート技術の取得に積極的に取り組んでほしいと思います。

そしてその成果は、様々な機会を捕らえて外部へ発信しなければなりません。情報公開です。

現在の日本は、すでに高度成長期から安定期に入っていますが、我々が求められている大きなテーマの一つは、「既存の社会資本をどう活用していくか」であろうと思います。このテーマに応える為にも、橋梁技術の一方の軸である維持管理技術、補修・補強技術の流れは、橋梁のリニューアル技術の確立かと思います。

現在、橋梁など公共の土木構造物は、当初の仮定条件をはるかに越える重交通や大気汚染など様々な悪条件に曝されながらも、不断の維持管理によってその機能が發揮されています。が、昨今の相次ぐコンクリート片落下等に代表される土木構造物のトラブルは、構造物が直ちに破壊するというものではないものも、国民の土木への信頼を大きく裏切る事となっています。直ちに信頼回復とはいきないでしょうが、皆が納得する点検・診断の手法を早く確立しなければなりません。

橋梁の補修・補強では、その手当てる個所が一部ではあっても、想定される全体系への影響を配慮しなければならず、新設よりはむしろ高度な技術を必要とするケースが多くあります。幸い宮地グループは、宮地鉄工所、宮地建設工業、宮地総合メンテナンスとそれぞれ特色ある技術を持った会社で構成されています。力を合わせて、点検・診断、リニューアル計画立案、施工とトータルのマネジメントが出来るグループになる事が時代の要請に応える事を考えます。しかしながら毎日の仕事に追われ、余裕を持ちながらの、技術の向上、技術の研鑽は困難を極めますが、橋梁管理技術は「トータルな橋梁技術」の片方の軸です。我こそはとこの分野に飛び込む技術者の出現を期待します。90年以上の歴史を持つ宮地が過去に製作・架設した橋梁は、日本全国に多数点在している事でしょうが、自主研究として独自に現状を調査し、それらの橋梁の管理者へ「リニューアル計画」を提案するぐらいのエネルギーを燃やして欲しいと思います。有効な情報公開となる事は間違いないでしょう。

宮地の技術陣は、新しい流れに乗り遅れることなく、むしろ果敢に先取りして成果を挙げ、学会や各種の委員会で、また現場でと、技術を情報公開していくチャレンジ精神を持った技術屋集団であって欲しいと思います。

# 鋼管の現場全周片面溶接（大宮市連絡通路橋）

## All-Around, One-Side Welding of Steel Pipes on a Bridge (The Connecting Bridge in the city of Omiya)

村 上 貴 紀<sup>\*1</sup>  
Takanori MURAKAMI

瀬 木 純 一<sup>\*2</sup>  
Jun-ichi SEGI

鶴 岡 豪<sup>\*3</sup>  
Tsuyoshi TSURUOKA

### Summary

The Connecting Bridge in the City of Omiya has a steel-pipe arch Lohse girder of a basket-handle type of which the joints in the steel-pipe arch ribs were done by all-around welding in the field. This paper presents the result of an experimental study on the all-around welding of the steel pipes. As a result of the study, automated one-side welding with reverse side welding electrodes, using an SY-ROBO W3800 welding robot, was adopted. The result of the experiment was that the welding method was successful.

キーワード：鋼管アーチローゼ桁，現場溶接，鋼管全周溶接

### 1. はじめに

大宮市連絡通路橋は、東日本旅客鉄道株式会社東北線浦和・大宮間29k050m付近14線を跨ぎ、中山道よりさいたまスーパーアリーナを結ぶ跨線橋（人道橋）である。本橋は、下部構造を含めて「さいたま新都心中枢・中核施設建設調整委員会」より「ボリューム感を抑え視覚的にシャープな景観を創り出すアーチライズとし、また橋裏とのコントラストを明確にし、歩行者への威圧感を和らげる効果を出すため、アーチリブの形状を鋼管とする」というデザインモチーフが示され、構造形式は景観デザインを考慮したバスケットハンドル型鋼管アーチローゼ桁に決定された。図-1に一般図を示す。

アーチリブは、材質SM520C 板厚30mm直径1mの鋼管を使用しており、現場継手部は現場全周溶接を採用している。当社において水平継手以外の鋼管現場全周溶接の経験は少なく、溶接装置を含めて溶接施工方法を十分に検討する必要があった。そこで、実橋と同じ径の鋼管を用い、溶接方法及び溶接装置の選定、溶接条件の確立、

溶接施工手順等の検討を行った。これらの実験から得られた結果を実橋の現場溶接に反映し、平成12年5月に現場溶接を完了した。

本文では、実験結果から得た鋼管全周溶接の施工方法について、および上記工事の現場溶接施工の概要について報告する。

### 2. 溶接方法の選定

鋼管全周溶接の溶接方法としては、①両面溶接または片面溶接 ②片面溶接とした場合、裏当金方式または裏波溶接 ③被覆アーク溶接または半自動溶接または自動溶接が考えられる。これらの溶接方法から下記の事項を考慮し、溶接方法を選定した。

- 1) 鋼管の直径が1mであり、鋼管内面から全周溶接は困難である。ただし、鋼管内面での裏当材（セラミックパッキング）の取付けや、部分的な補修溶接は可能。
- 2) 裏当金方式とした場合、現場接手部は差し込みとなり、裏当金の密着度の確保が難しい。

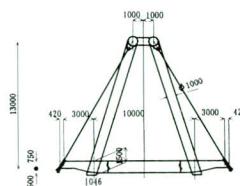
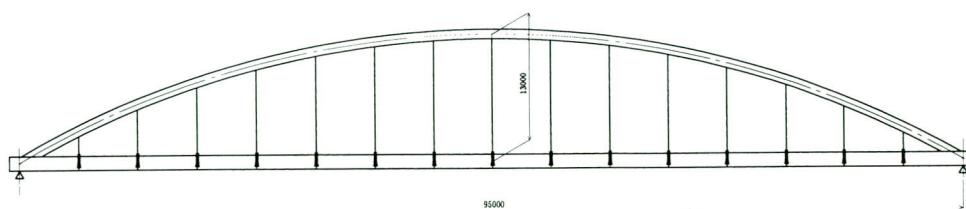


図-1 一般図

\*1技術本部生産技術研究所

\*2技術本部生産技術研究所

\*3小野組鐵工（株）工事部

3) 被覆アーク溶接または半自動溶接では溶接継ぎが多くなり、溶接品質が不安定となる。

上記事項、および、今後鋼管を用いた構造の道路橋や鉄道橋が多くなると思われ、鋼管全周溶接の施工方法を確立する必要があることから、本工事では鋼管外面からの片面裏波自動溶接を採用するものとし、溶接装置および溶接施工方法の検討を行った。なお、鋼管の溶接では全方向の溶接姿勢が生じるが、中でも難度の高い上向き姿勢でのアークの安定、およびスパッタの減少を図り、溶接ワイヤはフラックス入りワイヤ、シールドガスは混合ガス（Ar80%+CO<sub>2</sub>20%）を選定した。

### 3. 溶接装置の選定

#### (1) ウィビング機構付簡易溶接台（PICOMAX）の適用性検討

板桁や箱桁等の全断面溶接は、通常、ウィビング機構を有する簡易溶接台車PICOMAX（神戸製鋼所）を使用して片面裏波溶接を行っている。今回の鋼管全周溶接においても、このPICOMAXが適用できるかどうかを確認し、下記に得られた結果を示す。

- 1) レールのセッティング誤差、およびウイバー、溶接トーチ取付け部の剛度不足のため、円周を走行すると母材トーチ間隔が一定しない。
- 2) 鋼管全周溶接では溶接姿勢が漸次的に変化していく、その姿勢に応じた電流・電圧・速度を調整する必要があり、また溶接中は突出し長さ、狙い位置も監視する必要がある。

以上のように、鋼管全周溶接では溶接中にオペレーターが監視および調整する項目が多く、PICOMAXを用いてこれらの調整をオペレーター1人で対応することは難しい。よって、鋼管全周溶接におけるPICOMAXの適用は難しいと判断し、他の溶接装置の検討を行った。

#### (2) 溶接口ボットSY-ROBO W3800の適用

鋼管片面裏波全周溶接の自動溶接装置を検討するにあたり、漸次的に変化する溶接姿勢に応じ溶接条件も調整することから、溶接中に任意の位置で自動で溶接条件が切り替わる機能を有することを前提とした。検討の結果、可搬走行型全姿勢溶接口ボットSY-ROBO W3800（住金溶接工業）を採用するものとした。SY-ROBO W3800の特徴を下記に示し、SY-ROBO W3800の標準仕様を表-1、

鋼管全周溶接の状況を写真-1に示す。

- 1) 1パス内で溶接条件、狙い位置、オシレート条件等を細分できる
- 2) 細分化した適正溶接諸条件をICカードに内蔵されることにより全周溶接が可能
- 3) 溶接諸条件はパソコンによるオフラインプログラム編集が可能
- 4) 溶接諸条件は溶接中リアルタイムで変更できる
- 5) 溶接線教示機能搭載

表-1 SY-ROBO W3800の標準仕様

#### ロボット本体

軸 名 称	X 軸	Z 軸	T 軸
目 的	左右、ウビング	上下、ウビング	走行
ストローク	150mm	100mm (別に手動90mm)	MAX. ±50.000mm
駆動モータ	ステッピングモータ	ステッピングモータ	ステッピングモータ
軸最大速度	40mm/sec	40mm/sec	70mm/sec
ソフト分解能	0.1mm	0.1mm	1mm
他の半固定軸	R軸：トーチ前後角 ±20° S軸：トーチ左右角 ±50°		

#### 制御盤・教示ボックス

経路制御方式	PTP現物教示によるCP再生(直線補間)
制御軸数	同時3軸
溶接条件設定方式	液晶20桁×4桁にMDI方式、オフライン編集可
溶接条件記憶方式	ICカード方式(64KB/ト、128KB/ト使用可)
溶接条件設定数	MAX.240ステップ/握手×8.16握手
溶接線教示点数	MAX.99点/握手
位置制御方式	ソフトウェア方式
ウビング制御方式	X軸単振動およびX-Z合成斜め単振動
リアルタイム条件変更	溶接電流、溶接電圧、溶接速度 ウビング条件(幅、速度、両端停止時間) X,Y軸位置シフト(角バシシフト、全層一括シフト)
異常検出機能	ガス圧不足、ワイヤ溶着、アーケ切れ 動作領域エラー



写真-1 SY-ROBO W3800による鋼管全周溶接

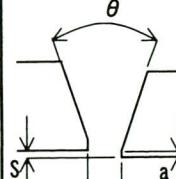
#### 4. 鋼管全周片面裏波溶接の施工方法

溶接ロボットSY-ROBO W3800にて実橋と同じ直径1mの鋼管を用い、钢管片面裏波全周溶接の溶接条件等の施工方法を確立するために実験を行った。その結果から得られた施工方法を以下に示す。

##### (1) 開先形状

SY-ROBOによる钢管片面裏波全周溶接での開先形状を表-2に示す。

表-2 開先形状

開先形状	管理目標値			
	開先角度 $\theta$ (°)	ルートギャップ G (mm)	ルートフェイス a (mm)	目違い S (mm)
	40±5	7+3 -2	1±1	≤3

##### (2) 溶接材料

钢管片面裏波全周溶接で適用した溶接材料を表-3に示す。

表-3 溶接材料

溶接ワイヤ			裏当材		シードガス
銘柄	径	メーカー	銘柄	メーカー	
SD-50A	1.2φ	住金溶接工業	SU-369	住金溶接工業	Ar80% + CO <sub>2</sub> 20%

##### (3) 溶接条件

钢管全周溶接では漸次的に変化する溶接姿勢に応じ溶接条件を変化させるが、単にその姿勢での適切溶接条件としただけでは、溶着量が一定とならないため積層を重ねていくと部分的にパスを追加したり、ビードを削りとする必要が生じる。よって、溶接条件を変化させても1パス内の溶着量が同じとなるように溶接条件を調整することが望ましい。そこで、まず溶接電流と溶接速度に対する溶着量の関係を求め、溶接条件を変化させる場合は同じ溶着量となる溶接条件に変化させるものとした。また1パス内同一溶接条件で良好なアーケ状態、ビード形状となる区間を求め、円周の分割とその最適溶接条件の確

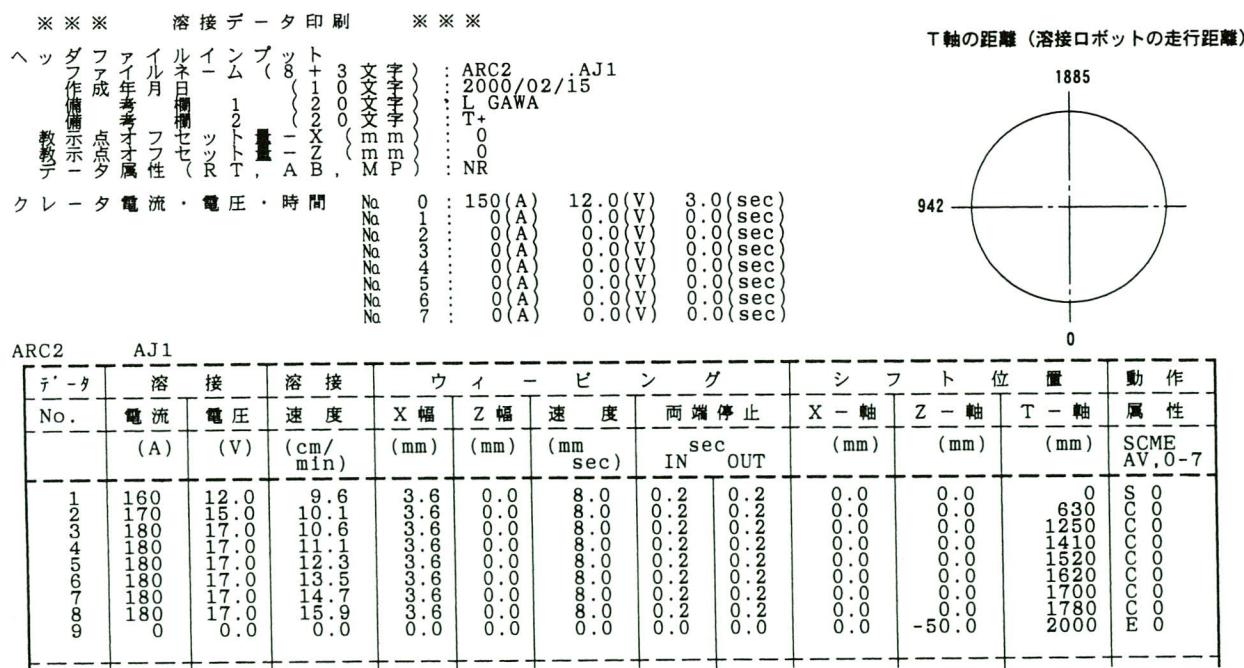


図-2 オフラインプログラムの例

立を試みた。初層については裏波ビードの形状を重視し溶着量は特に拘らなかったが、中間層については、溶着量がほぼ同じとなりビード形状も良好となる溶接条件を求めた。ルートギャップ7mmでの初層溶接条件のオフラインプログラムの例を図-2に示す。なお、ルートギャップは現場架設時の誤差を考慮して、表-2に示す5~10mmの範囲について溶接条件を求めた。

#### (4) 施工方法

钢管の溶接では、钢管一周を連続的に溶接するには半周は下進溶接となるが、下進溶接での突合せ溶接、特に裏波溶接は困難であると思われた。よって、钢管の上下を始終端部とし钢管を半周ずつ上進溶接することにした。また、先行側の半周を仕上層までの全ての溶接を行うと、溶接収縮および変形により反対側のルートギャップの変動が大きくなるため、図-3に示す順序にて行うものとした。なお始終端部についてはカスケード法にて処置するものとした。

トーチ角度についても溶接姿勢により漸次的に変化させることが望ましいが、適用した溶接ロボットにはそこまでの機能は設けていない。よって、トーチ角度は各姿勢において溶接可能な角度とし、初層30°、中間層15°とした。また、シールド方法は耐ブローホールを検討した結果、二重シールド方式とした。さらに、上向き姿勢での初層時のシールド性を考え、OH-AUTO（神戸製鋼所）による上向き溶接で用いている分離ノズルシールド方式を採用した。図-4にトーチ角度およびシールド方法を示す。

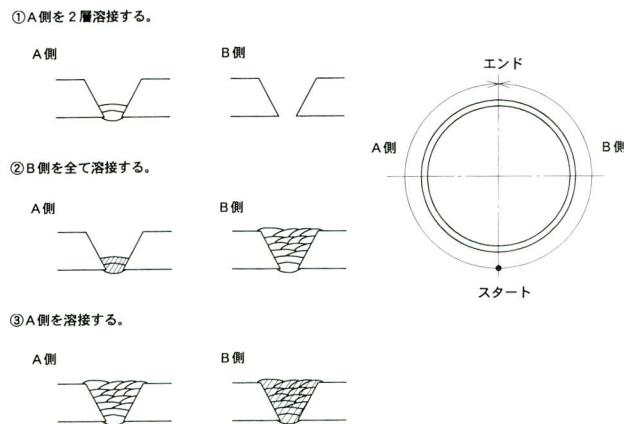


図-3 鋼管の溶接順序

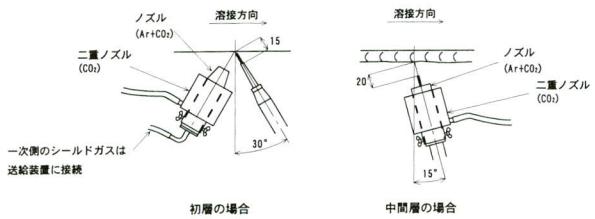


図-4 トーチ角度およびシールド方法

#### 5. 現場溶接施工試験

現場溶接に先立ち、実橋と同じ钢管を用いた実物大試験体にて、钢管アーチの最も傾斜があるAJ2（AJ17）を想定した現場溶接施工試験を行った。試験体形状を図-5に示す。（材質SM520C 板厚30mm）

試験の結果、溶接施工性および溶接部の機械的性質とも良好であることが確認できた。機械的性質の試験結果を表-4、マクロ写真を写真-2に示す。

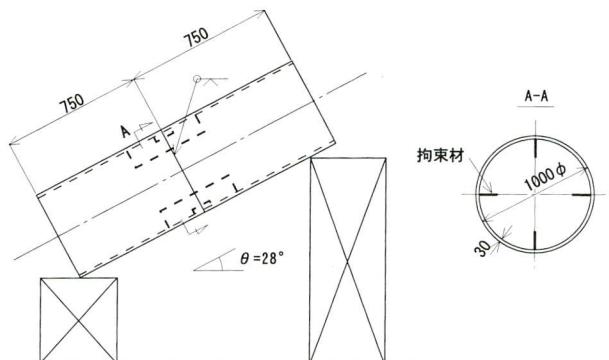


図-5 試験体形状

#### 6. 現場溶接の概要

前述した実験結果および施工試験結果を反映して、大宮市連絡通路橋の钢管アーチリブ現場溶接を行った。溶接接手部の風防装置を写真-3、钢管アーチの溶接状況を写真-4、溶接完了後の写真を写真-5に示す。

アーチリブの溶接順序は図-6に示すように、隅角部の矩形断面AJ1（AJ2）を先行し、上方に向かって钢管アーチリブを溶接した。

表－4 機械試験結果

	採取位置	試験片No.	引張強さ(N/mm <sup>2</sup> )	破断位置	判定基準	合否
引張試験	F	FT-1	580	DEPO	520～640	合格
		FT-2	588	DEPO		合格
	O	OT-1	587	DEPO	520～640	合格
		OT-2	587	DEPO		合格
型曲げ試験 (裏曲げ)	採取位置	試験片No.	試験結果	判定基準	合否	
	F	FBB-1	きれつなし	原則として きれつが生 じてはなら ない	合格	
		FBB-2	きれつなし		合格	
	O	OBB-1	きれつなし	原則として きれつが生 じてはなら ない	合格	
		OBB-2	きれつなし		合格	
型曲げ試験 (側曲げ)	採取位置	試験片No.	試験結果	判定基準	合否	
	F	FBS-1	きれつなし	原則として きれつが生 じてはなら ない	合格	
		FBS-2	きれつなし		合格	
	O	OBS-1	きれつなし	原則として きれつが生 じてはなら ない	合格	
		OBS-2	きれつなし		合格	
衝撃試験	採取位置	ノッチ吸収エネルギー(J)	破断位置	判定基準	合否	
	F	DEPO	205	DEPO	520～640	合格
		HAZ	298	DEPO		合格
	O	DEPO	163	DEPO	520～640	合格
		HAZ	298	DEPO		合格
マクロ試験	採取位置	試験片No.	試験結果	判定基準	合否	
	F	FM	欠陥なし	欠陥があつ てはならな い	合格	
	O	OM	欠陥なし		合格	
	V	VM	欠陥なし		合格	

採取位置 F：下向き溶接箇所

O：上向き溶接箇所

V：立向き溶接箇所



写真-3 鋼管アーチリブ現場溶接継手部の風防装置

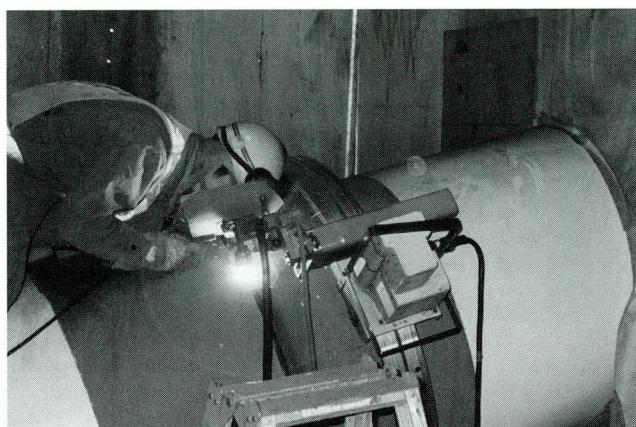


写真-4 鋼管アーチリブの現場溶接状況

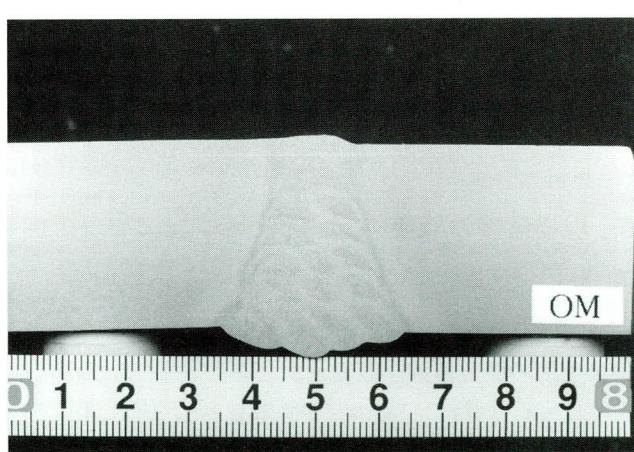


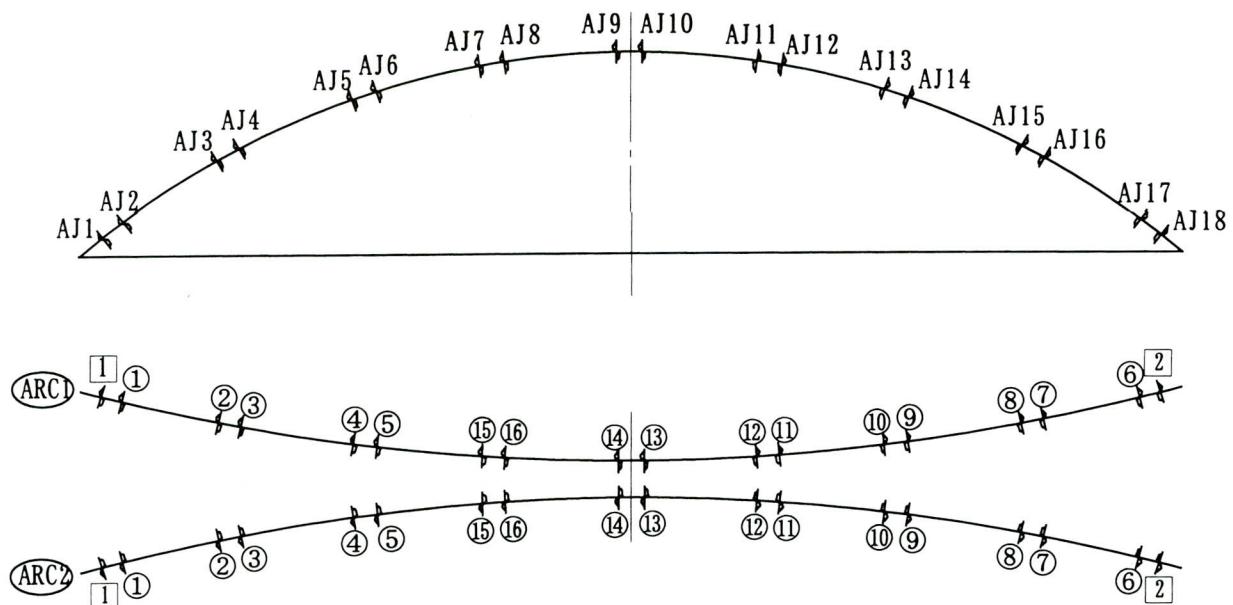
写真-2 マクロ写真



写真-5 鋼管アーチリブの現場溶接後

アーチリブ現場継手部の形状保持として鋼管外面にエレクションピースが必要となるが、自動溶接の場合、溶接口ボットおよび走行レールがエレクションピースに干渉し連続溶接ができなくなる。本橋の鋼管アーチリブの径は1mであり、内面での作業が可能であることから鋼

管内面にもエレクションピースを設け、外面のエレクションピースにて形状保持した後、内面のエレクションピースを固定し、溶接前に外面のエレクションピースを切断する手順とした。鋼管アーチリブの現場溶接施工の手順を図-7に示す。



□内は矩形断面の溶接順序を、○内は鋼管の溶接順序を示す。

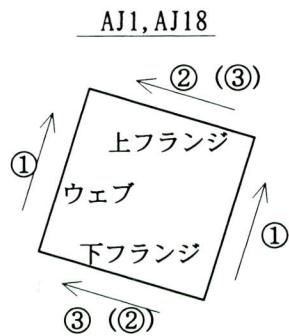
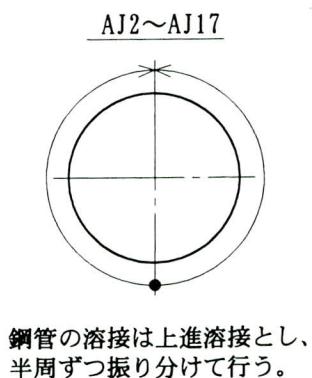


図-6 アーチリブの溶接順序

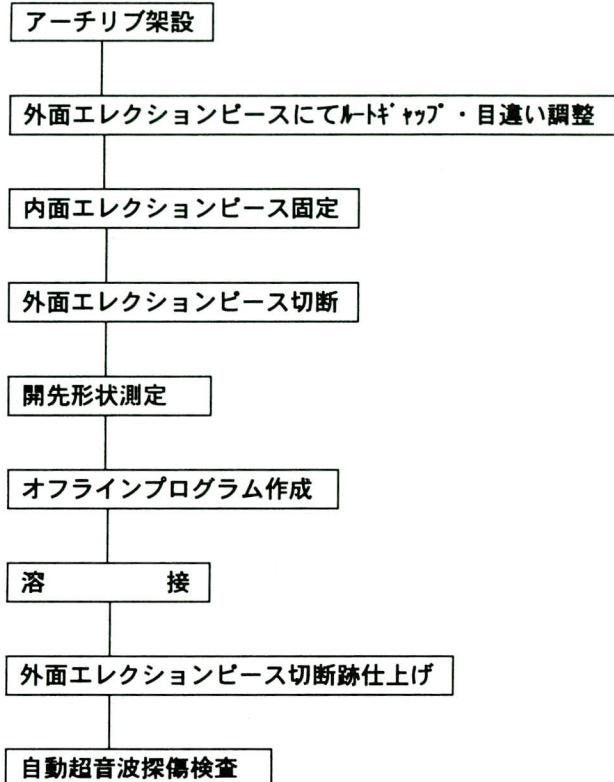


図-7 鋼管アーチリブの現場溶接施工の手順

現場溶接部の非破壊検査は自動超音波探傷検査にて行った。自動超音波探傷検査の状況を写真-6に示す。また、検査結果を表-5に示すが、J2～J17の钢管全周溶接継手の合格率は90%以上であり、十分満足できる溶接品質を得られた。ただし継手別で見ると、勾配がきつい継手の合格率が若干低下する傾向にあり、今後さらに原因の分析とその改善に取り組みたい。

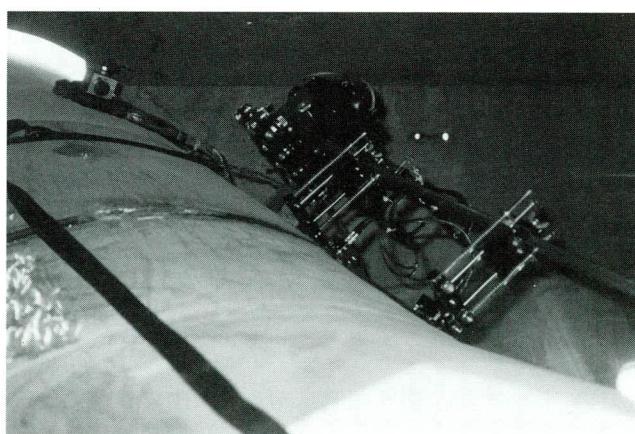


写真-6 鋼管アーチリブの自動超音波探傷検査状況

表-5 鋼管アーチリブの自動超音波探傷検査結果

A R C 1				A R C 2			
継手 No.	区間 数	不合格 区画数	合格率 (%)	継手 No.	区間 数	不合格 区画数	合格率 (%)
J 1	16	1	93.8	J 1	16	0	100.0
J 2	13	1	92.3	J 2	13	1	92.3
J 3	13	0	100.0	J 3	13	5	61.5
J 4	13	0	100.0	J 4	13	2	84.6
J 5	13	3	76.9	J 5	13	1	92.3
J 6	13	1	92.3	J 6	13	2	84.6
J 7	13	1	92.3	J 7	13	0	100.0
J 8	13	0	100.0	J 8	13	0	100.0
J 9	13	0	100.0	J 9	13	2	84.6
J 10	13	2	84.6	J 10	13	0	100.0
J 11	13	0	100.0	J 11	13	0	100.0
J 12	13	0	100.0	J 12	13	0	100.0
J 13	13	0	100.0	J 13	13	0	100.0
J 14	13	0	100.0	J 14	13	0	100.0
J 15	13	0	100.0	J 15	13	2	84.6
J 16	13	2	84.6	J 16	13	0	100.0
J 17	13	8	38.5	J 17	13	5	61.5
J 18	16	0	100.0	J 18	16	1	93.8
钢管 合計	208	18	91.3	钢管 合計	208	20	90.4
全体 合計	240	19	92.1	全体 合計	240	21	91.3

1区間は250mmとする

## 7. おわりに

当社において、現場における钢管全周溶接の自動化は初めての挑戦であり、その検討にあたっては溶接装置の選定から行い、溶接条件、溶接施工方法を確立していった。実橋においても、溶接外観および内部品質とも十分満足できる品質を得られた。なお、今後钢管を用いた構造の橋梁が多くなると思われ、本工事の自動超音波探傷検査結果の分析、溶接装置の改良等により、さらに溶接条件の改善および溶接施工の効率化に取り組んでいきたい。

最後に、本工事の計画、施工にあたり監督御指導を頂いた、東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所工事管理室、および大宮工事区の皆様、並びに研究に御協力を頂いた住金溶接工業(株)の関係各位に深く感謝し、紙上を借りて御礼申し上げます。

2000.11.1 受付

# ステンレスクラッド鋼板を用いた屋根部材の工場製作および現場施工

## Construction and Manufacture of Roof Members Using Stainless-Clad Steel Plates

櫻井 謙次<sup>\*1</sup> 吉川 薫<sup>\*2</sup> 大月 真一<sup>\*3</sup> 矢嶋 公一<sup>\*4</sup> 有沢 一民<sup>\*5</sup> 高嶋 隆志<sup>\*6</sup>  
*Kenji SAKURAI Kaoru YOSHIKAWA Shin-ichi OHTSUKI Kouichi YAJIMA Kazutami ARISAWA Takashi TAKASHIMA*

### Summary

Roof members were manufactured using stainless-clad steel plates that had a base material made of plates for welded structures and cladding material made of stainless steel plates. This was the first time in Japan that stainless-clad steel plates were used for roof members that looked like stainless, although there had been some experiences with stainless-clad steel. Therefore, we thought there would be problems from the cutting conditions, welding conditions, weld burns, the treatment of weld overlays, the treatment of welding spatters, rust-proofing, the treatment of weld marks, and other problems. To prevent these problems, relevant measures were recommended through a material test and a welding procedure qualification test; the working method and conditions found through the tests were used in the shop fabrication and fieldwork of the roof. This paper reports on the material tests and welding tests.

キーワード：ステンレスクラッド、施工試験、焼け

### 1. はじめに

この度、建築構造物の構造部材としてステンレスクラッド鋼を屋根材に用いることになった。圧力容器等では本鋼材の使用は一般的であるが、その用いられ方の主たる目的は防錆に重点をおいたものである。当社では以前、ステンレスクラッド鋼を構造部材として用いた建築物の製作を経験しているが、今回の仕様は仕上げ材としてもステンレス鋼の優れた美観が要求されている。

これらの構造部材および仕上げ材としての要求仕様と共に満足させるために事前に行った溶接や表面保護等の施工試験、およびその結果に基づいて実施した工場製作および現場施工について報告する。

### 2. 工事概要

本工事は学校の記念行事の一環として製作される学校施設の建築物工事であり、縦約30m、横約80mの広大な屋根面を有している（図-1参照）。屋根部分が鉄骨造で、構造は図-2に示すように橋梁の鋼床版釘桁とほぼ同様である。トップライト用に3箇所の開口部があり、屋根上面に仕上げ材と構造材を兼ねたステンレスクラッド鋼を用い、下フランジおよびウエブには炭素鋼（SM490）を用いるものである。

検討段階では圧延ステンレス鋼板を仕上げ材として貼

る方法も検討されたが、平滑性と重厚な質感を求める意匠上の要求からクラッド鋼が採用された。

現場継手の方法として、クラッド鋼部分は、全面的に現場溶接、下フランジおよびウエブは、高力ボルトによる摩擦接合である。

ステンレス鋼の経年の汚れおよび錆発生に影響する要因には三つ（①ステンレス鋼の材質、②表面の平滑度、③使用される環境）が考えられる。

材質は、構造材として多くの実績のあるオーステナイト系ステンレス鋼のSUS304の使用が検討されたが、建築物の建設地の環境条件などから、同じオーステナイト系ステンレス鋼でもMoを含み、より耐食性のあるSUS316を採用した。

また、表面はなるべく平滑であることが望ましいが、表面仕上げを意匠上の要求からヘアライン仕上げとした。ヘアライン仕上げは、長く連続した一定方向の研磨

表-1 本工事鋼材仕様

種類	圧延クラッド鋼 2種 (R2) (2種は、合せ材を強度部材にしない)
呼び方	SM490A+SUS316-R2S
板厚	21, 18, 14mm SM490A(19,16,12mm)+SUS316 (2mm)
接合状態の 超音波探傷試験	S等級
表面仕上げ	ステンレス面…ヘアライン仕上げ 普通鋼材面……黒皮

ミルメーカー：日本鋼管株式会社

\*1松本工場品質管理部品質管理課

\*2松本工場製造部製造一課課長代理

\*3松本工場製造部製造一課

\*4松本工場製造部工事課長

\*5松本工場製造部付課長

\*6松本工場製造部製造一課

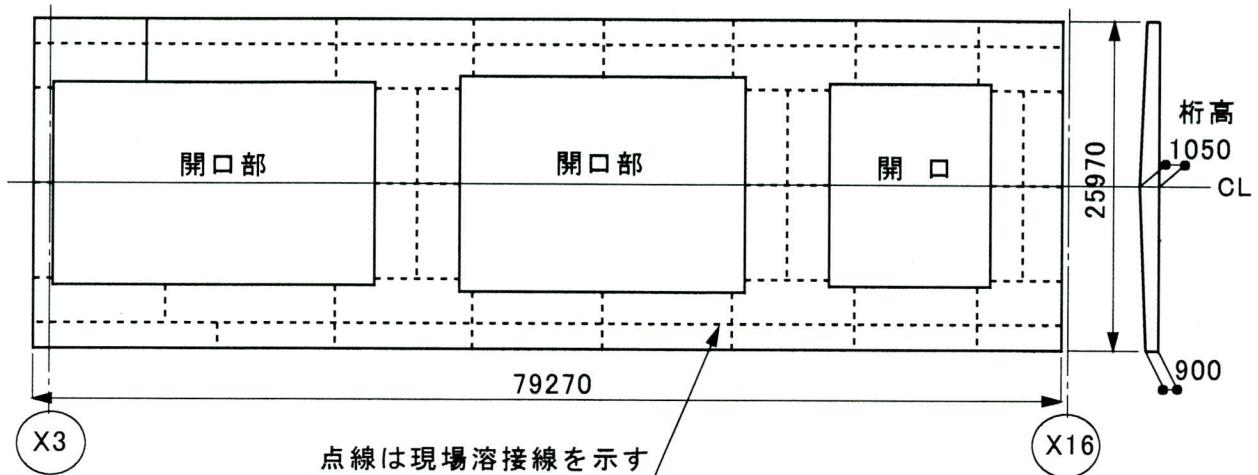


図-1 屋根構成

目のある仕上げである。

使用される環境に対する対応としては定期的な表面清掃のメンテナンスが求められる。

ステンレスクラッド鋼の仕様を表-1に示す。また、本工事で使用した、板厚21mmのクラッド鋼の化学成分を表-2に、その機械的性質を表-3に示す。

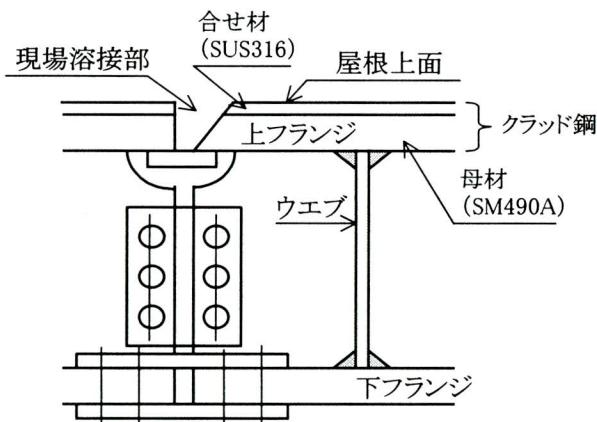


図-2 基本構造の概略図

### 3. 検討事項

本工事の設計仕様、工場製作および現場施工の観点から事前に検討し問題点を解決しておく必要がある。検討すべき事柄として以下の項目が考えられる。

- ①工場製作および現場施工終了までの、汚れおよび錆発生防止のための表面保護
- ②切断性
- ③ステンレスクラッド鋼部の溶接性
- ④合せ材表面の焼けの除去方法
- ⑤溶接による歪みの低減方法
- ⑥余盛処理および処理後の表面処理
- ⑦加熱矯正方法および超音波探傷試験方法

### 4. 試験概要

上述した検討事項に従い、下記に示すような試験を実施した。ただし、⑦加熱矯正方法および超音波探傷試験方法については宮地技報No.7号「構造用に用いたステンレスクラッド鋼の施工試験」<sup>1)</sup>により実施したため、本報告では省略する。

#### ①表面保護

ステンレス鋼の表面に発生する錆、生じる傷、付着する汚れおよび溶接スパッター等は、酸化被膜を壊しステンレス鋼の防錆性能を著しく劣化させ、孔食の起点となると共に美観を損ねる。いったん発生したこれらの錆、汚れ等は表面に傷を付けることなく除去することは非常に困難のため、予め保護剤を塗布して予防することが重

表-2 化学成分

鋼種	成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	Nb
		×100			×1000			×100			
合せ材	規格	8以下	100以下	200以下	45以下	30以下	1000~1400	1600~1800	—	200~300	—
	使用鋼材	1	61	82	30	0	1217	1713	—	208	—
母材	規格	20以下	55以下	160以下	35以下	35以下	—	—	—	—	—
	使用鋼材	15	35	140	13	2	12	—	24	—	3

表-3 機械的性質

	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	せん断強さ (N/mm <sup>2</sup> )
規格	305以上	493以上	22以上	200以上
使用鋼材	376	561	26	363

要である。そこで、A, B, C三種類の保護剤を塗布して、その表面保護効果および剥離性を写真-1のように比較する。

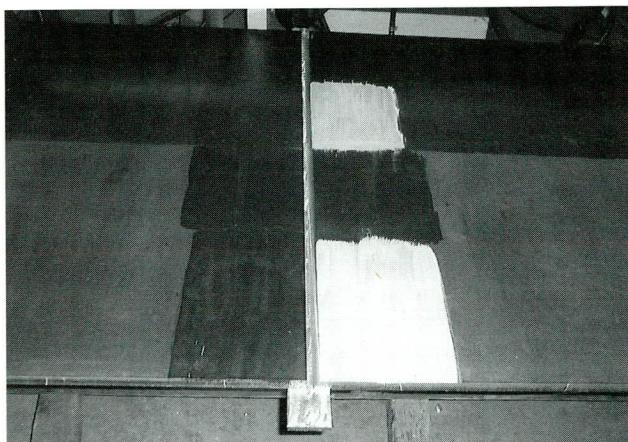


写真-1 表面保護剤比較試験

#### ②切断性

本建築物に用いられるステンレスクラッド鋼は、板厚が薄く、全厚に対しステンレス鋼部の厚さの比率が大きい。また、工場製作時のハンドリングの条件等から、切断および開先加工は、ステンレス鋼側からの溶断が求められた。このため、プラズマ切断を選択しその条件を把握することとした。

#### ③ステンレスクラッド鋼部の溶接性

屋根面を現場溶接するため、溶接姿勢は下向きとなる。また、開先切斷作業を最小限にし、溶接量を減らすため、レ形開先とした。

炭素鋼部の溶接材料は、スパッターの発生がより少なく作業性に優れたフラックス入りワイヤ (JIS Z 3323 (1999))、またステンレス鋼部の溶接材料においても同様の理由で、かつビード外観の優れたフラックス入りワイヤ (JIS Z 3313 (1999)) を選定した。

溶接条件を表-4に、試験体数量と記号を表-5に示す。なお、これらの試験体より、継手引張、側又は裏曲げ、成分分析、マクロの各種試験を行う。

#### ④焼けの除去方法

ステンレス鋼側の焼け発生の要因は表-6に示す3つの

場合が考えられる。これらの焼けは、錆発生の原因になり得るばかりでなく、美観を損ねることから、焼け除去が必要とされる。

この焼け処理方法としてステンレス面にできるだけ傷を付けない電気化学的処理を採用し、作業性、能率性について確認する。

表-4 溶接条件

項目	条件
供試鋼材	SUS316+SM490A (圧延クラッド鋼 2種)
裏当金	SS400 (9×50)
試験体形状	開先形状：レ形 開先角度：35° ルート間隔 7mm 溶接長：400mm
溶接材料	母材部+ステンレス部：SF-309MoL, 1.2 φ 規格：JIS Z 3323 YF309MoLC 母材部：SM-1S, 1.2 φ 規格：JIS Z 3323 YFW-C50DM
溶接方法	母材部+ステンレス部：CO <sub>2</sub> 半自動溶接 母材部：CO <sub>2</sub> 半自動溶接

溶材メーカー：日鐵溶接工業株式会社

表-5 試験体数量と記号

母材部+ステンレス の溶接方法	板 厚		
	t = 21	t = 18	t = 14
ガスシールド アーク		数量：1体 記号：T2	
半自動溶接+ ビコマックス (自動溶接)	数量：1体 記号：T 1	数量：1体 記号：T 3	数量：1体 記号：T 4

表-6 ステンレス鋼側の焼け発生要因

	要因
a	炭素鋼側からの溶接の熱影響による場合
b	ステンレス鋼側からの溶接の熱影響による場合
c	ステンレス鋼側からの歪み加熱矯正による場合

#### ⑤溶接による歪みの低減方法

突合せ溶接試験体にリブを溶接し、溶接による歪み発生状況の確認と、その低減方法について試験を実施する。図-3に試験体形状を示す。

#### ⑥余盛処理および処理後の表面処理

余盛除去には3種類のディスクグラインダーを用いて、作業能率と表面仕上げ程度を比較する。

余盛処理後、研磨目をあわせるために、ベルトグラインダーを用い、表面仕上げ程度を確認する。

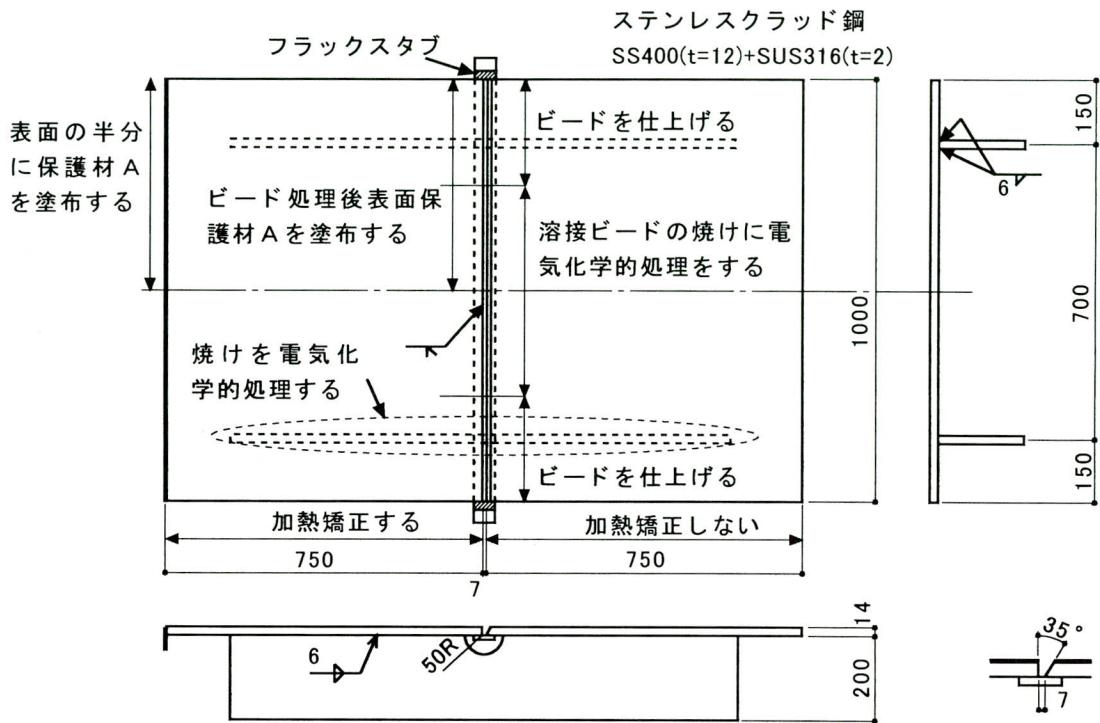


図-3 試験体形状

#### 4. 試験結果

##### ①表面保護

表面保護剤比較結果を表-7に示す。A,B,Cとも塗布作業の作業性や表面保護性能に差はなかった。Aは乾燥後に硬化膜を形成するので、合せ材表面を傷や錆から防ぐという観点では優れているが、除去するのが困難であり、また薄茶色の色がつくため外観が損なわれる。また、表面の焼けを除去するのが著しく困難だった。これに比較してB,Cは、作業期間中程度のもらい錆や汚れの防止には有効であり、また水性であるため除去が容易である。ただし塗布したままで加熱矯正を行うと焼けた塗料がヘアラインの目の中に入り除去が困難になるので、矯正前に水洗する必要がある。

表-7 表面保護剤比較結果

	商品名（メーカー）	表面保護	剥離性
A	プロタムG（早川化成製）	優	不可
B	クリンスパッターS（タイホー工業製）	良	可
C	クリンスパッターAX（タイホー工業製）	良	可

##### ②切断性

クラッド鋼の切断は、鋼材にある程度の厚さがあれば鋼材側から通常のガス切断でも可能である。しかし、今回使用する鋼材は板厚が薄いこと、また作業性の点で表

面を上側（すなわち合せ材側）から切断できることの2つの理由でプラズマ切断を選択した（写真-2）。切断試験の結果、通常の鋼板より若干切断速度を遅くすることで、滑らかな溶断面が得られることが確認された。

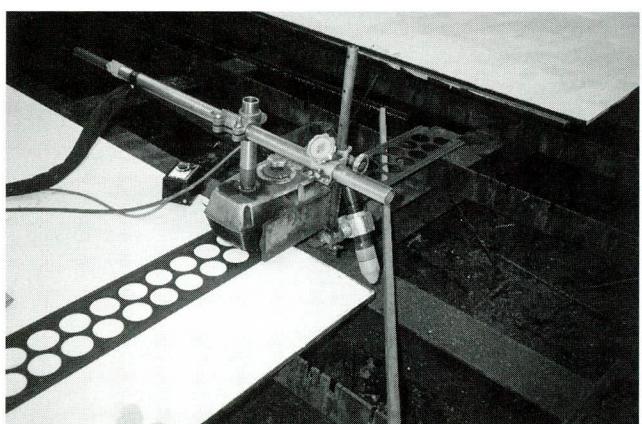


写真-2 プラズマ切断

##### ③ステンレスクラッド鋼部の溶接性

合せ材の突合せ溶接の例としてT1試験体（板厚21mm）の溶接条件記録を表-8に、積層形状図を図-4に示す。

突合せ溶接部は異材溶接となるため、母材からの希釈に留意する必要がある。このため、溶接材料は合金元素量が合せ材と同じMoを含むYF309MoLCを使用した。ま

表-8 溶接条件記録

パス	部位	電流(A)	電圧(V)	速度(cm/min)	入熱量(KJ/cm)
1~4	母材部	250	29	18~48	9~24
5	母材部+ステンレス部	210	27	13	26.2
6	母材部+ステンレス部	210	27	11	30.9

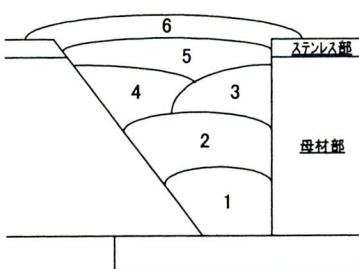


図-4 積層形状図

た、母材部の溶接を合せ材との合せ面から下1~2mmで止め、合せ材部は2層とした。

最終層でもストレートビードが望ましいが、ビード外観重視の要求から最終層では自動溶接機を用いてウイービングを行った。ビード外観は、写真-3に示すように良好な結果が得られた。また、各種機械試験結果および化学成分分析結果について表-9,10に示す。成分分析から求めたフェライト量は24程度であり、溶接部の高温割れは問題ないと判断できる。

またフラックス入りワイヤを用いることでスパッター量を減らすことができた。

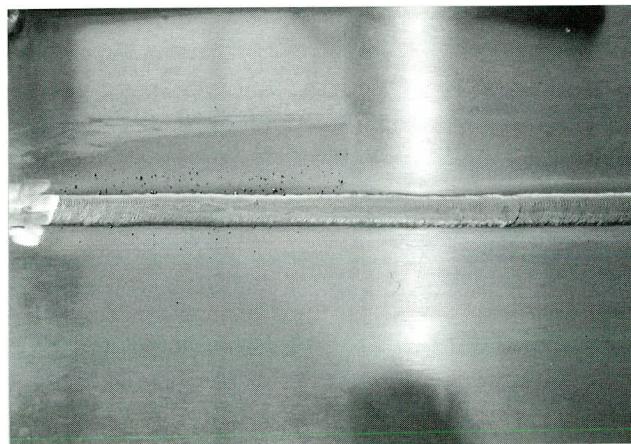


写真-3 ビード外観

#### ④焼けの除去方法

表-11に試験結果を示す。ステンレス表面の軽度の焼けは還元作用を利用した電気化学的処理により完全に除

表-9 試験結果

試験体 記号	超音波 探傷試験	マクロ 試験	裏曲げ 試験	引張強さ N/mm <sup>2</sup>	破断位置
T 1	合格	欠陥なし	欠陥なし	617	BM
				619	BM

表-10 化学成分分析結果

(成分 %)

C	Si	Mn	Nb	Cr当量	$\delta F$
		×100			
3.7	71	86	0.6	26.6	23.6
Ni	Cr	Mo	N	Ni当量	
		×100			
1240	2320	230	3.7	15.1	

$$\text{Cr当量} (\%) = \text{Cr} + \text{Mo} + 1.5\text{Si} + 0.5\text{Nb}$$

$$\text{Ni当量} (\%) = \text{Ni} + 30\text{C} + 30\text{N} + 0.5\text{Mn}$$

$$\delta F (\%) = 3.2\text{Cr当量} - 2.5\text{Ni当量} - 24.7 \quad (\delta \text{フェライト})$$

表-11 加熱矯正後処理結果

	要因	作業性	能率性
a	炭素鋼側からの溶接の熱影響による場合	優	良
b	ステンレス鋼側からの溶接の熱影響による場合	可	不可
c	ステンレス鋼側からの加熱矯正による場合	可*	不可

\*可ではあるが、程度により困難である。

去することが可能である。また突合せ溶接ビード端部に残る焼けは、電気化学的処理にワイヤブラシを併用することにより除去が可能である。

その反面全てにおいて、作業能率は著しく劣る結果となった。

#### ⑤溶接による歪みの低減方法

リブの溶接を行った後、表-12に示す溶接条件で突合せ溶接を行った結果、図-5に示す測定位置における変形量は表-13のようになった。-は下方向への変形である。

試験体における歪み量は大きくなかったが、本工事に適用するクラッド鋼は14~21mmと板厚が薄く、平面的には試験体サイズよりも更に大きいことから、当初の設計脚長では歪みが大きくなることが予想される。

また、普通鋼材であれば矯正は比較的容易であるが、ステンレス側からは炭素鋼との熱伝導率が異なることなどの要因から矯正が困難であり、過度の加熱矯正は、耐食性低下を招くため、矯正を極力避けたかった。

このため、設計者と協議し、構造上必要な箇所以外は脚長を小さくする事とした。

現場突合せ溶接線は自由辺になるため、大きな変形が生じることが予想されるので変形防止用のリブを追加し、その溶接は断続溶接にした。

表-12 溶接条件記録

パス	部位	電流(A)	電圧(V)	速度(cm/min)	入熱量(KJ/cm)
1~3	母材部	200	30	22~26	13~17
4	母材部+ステンレス部	190	29	20	16.5
5	母材部+ステンレス部	200	29	19	18.3

※1~3パスはストレート、4~5パスはウィービング

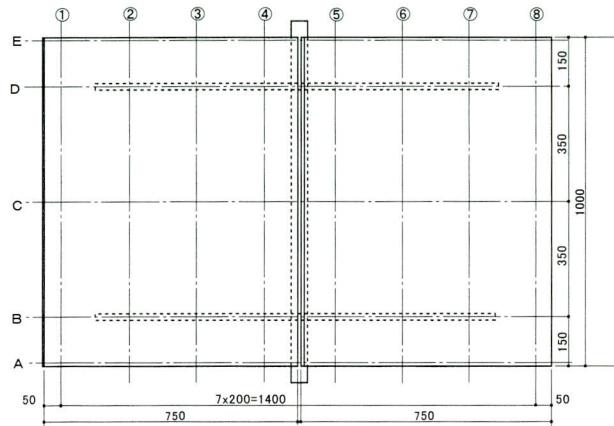


図-5 変形量測定位置

表-13 溶接変形量

	A	B	C	D	E
①	-2.0	0.0	+1.0	0.0	-0.3
②	-4.0	0.0	+0.5	0.0	-3.0
③	-4.0	0.0	-1.0	0.0	-4.0
④	-5.0	0.0	0.0	0.0	-3.0
⑤	-4.0	0.0	0.0	0.0	-3.0
⑥	-4.0	0.0	+1.0	0.0	-4.0
⑦	-4.0	0.0	+2.0	0.0	-4.0
⑧	-3.5	0.0	+2.0	0.0	-2.0

十：上方向 一：下方向

#### ⑥余盛処理および処理後の表面処理

余盛除去に用いた3種類のディスクグラインダーは、作業能率に顕著な違いはなかったが、#24では表面仕上げ程度が粗いため、目付け作業でその傷が消えず、#46では細かすぎて鏡面仕上げに近い状態となる。

このため、現場作業における余盛除去処理については、#36を用いることにした（写真-4）。

突合せ溶接ビードを切削した後の状態を母板一般部の研磨目にあわせるためには、ベルトグラインダーを用いてベルトの回転方向と研磨目の方向を一致させねばよいことがわかった。



写真-4 突合せ溶接のビード削除

## 5. 工場製作

### (1) 材料の取り扱い

本工事は、先にも述べたが外観が重視されることから、ステンレス鋼の表面に傷・錆が付着しないように入荷直後から特別の取り扱いが必要であった。

ステンレス鋼は普通鋼材とは区別し専用の工場で製作するのが基本であるが、既に工場内に流れている工事がある事から専用のラインを確保する訳にはいかないため、極力混在して作業をしないように注意した。

ミルメーカーからは、写真-5に示すように、表面がダンボールで保護された状態で入荷した。切断及び開先加工を行なうためステンレス鋼表面に乗らなければならないことから、粉塵からの保護及び傷防止を兼ねて水溶性ステンレス用スパッタ付着防止剤を入荷直後に塗布し、ステンレス面上の作業については、靴カバーを履いて作業を行なう事とした（写真-6）。

試験では2種類のスパッタ付着防止剤が優れていたが、厚く塗ることのできる（クリンスパッタS）を用いることとした。この液体は厚塗りすることにより、粉塵の付着防止にはかなりの効果があった。しかし、傷防止の観点からステンレス表面保護は、スパッタ付着防止剤だけでは不十分なため、入荷時に取付けてあったダンボールをスパッタ付着防止剤塗布後に再び取付け、矯正まで取

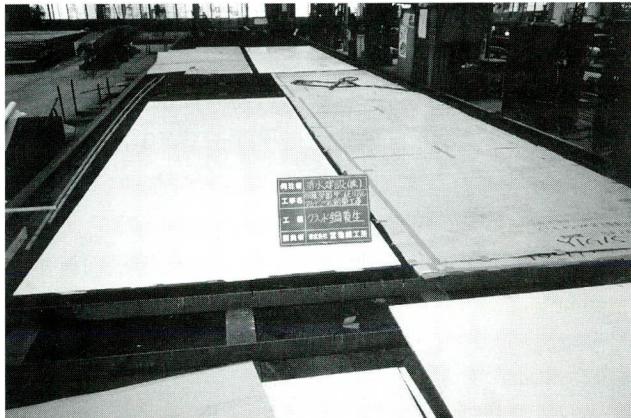


写真-5 鋼材入荷状況



写真-7 ダンボールによる表面保護

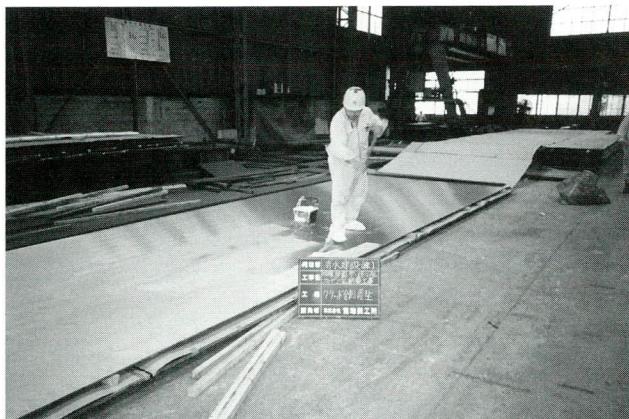


写真-6 表面保護剤の塗布作業

外さず作業を進めた（写真-7）。

また、現場建方での傷防止のためスパッタ付着防止剤は発送前に再塗布を行なった。

## (2) 工場製作

1つの部材は、ステンレスクラッド鋼の屋根面、補剛桁および補強リブから構成されている（写真-7）。

組立、溶接作業はステンレス面の養生に気をつかったことを除けば、特に問題はなかった。

矯正は、平坦度を満足させるためにどうしてもステンレス面を加熱しなければならなかたが、構造上許される範囲で脚長を極力小さくした事もあって現場溶接部の溶接歪みはリブ間の最大で0.2~0.8mm程度に抑える事ができた。

製作工程で工数がかかったのは、仕上げであった。原板に施されているヘアラインを残すため、溶接及び矯正の焼け取りに、電気化学的処理を用いて仕上げを行なう予定でいたが、研究室段階での試験結果から処理速度が非常に遅く、屋根全体の焼け取りには向きであること

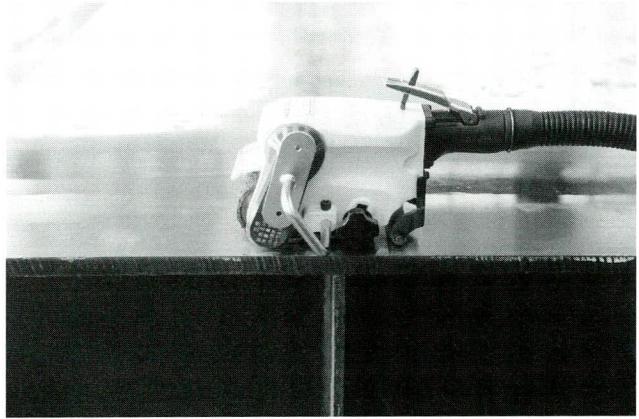


写真-8 ヘアライナー

がわかった。

このため、当初工場ではベルトグラインダーを用いて、研磨材入りのバフ掛けで焼けを除去したが、焼けが深くまで及んでいる箇所は力を入れて磨くため、ヘアラインが消えて鏡面状態になってしまい他の箇所とのバランスが取れなくなった。このため、最終的にはステンレス専用の目付け機械（ヘアライナー）を用いて焼けを除去した。この場合、ステンレス表面のヘアラインの目を消さないため、ベルトの回転方向を目の向きに合わせる必要がある。写真-8に今回使用したヘアライナーを示す。

## 6. 現場施工

基本計画に従い長手方向のX3通りよりX16通りに建方が行われた。全長が80mにわたり長大のため、全体を3ブロックに分けてかつ1箇所は調整スパンとして全体に大きな誤差が生じないことを確認しながら作業は進められ、計画通りに建方が終了した。本項では現場での施工において特に留意した事項を述べるものとする。

### ①現場継手部（屋根面）の目違い処理

完成後の屋根面の平坦度を確保するため、現場溶接部の必要な箇所にはストロングバックを取付けて目違いを補正した。この結果、ステンレスクラッド鋼の目違いは1mm以内に収めることができた。

### ②現場溶接時の防傷対策及び溶接時の注意事項

屋根面の継手は全面にわたって現場溶接のため、作業時の防傷対策が重要であった。そこで溶接線の両端には表面保護材（クリンスパッターS）を塗布すると同時に防炎シートを敷き詰め、かつ溶接作業者はオーバーシューズを履いての作業とした。溶接時には防風を兼ねた形枠（高さ75mm、幅250mm、長さ1m）をスパッター飛散防止治具として使用した。これらの対策の結果、溶接作業によるステンレスクラッド鋼への傷発生及びスパッタ付着を防止することができた。

溶接は溶接施工試験の結果に従い、自動溶接および半

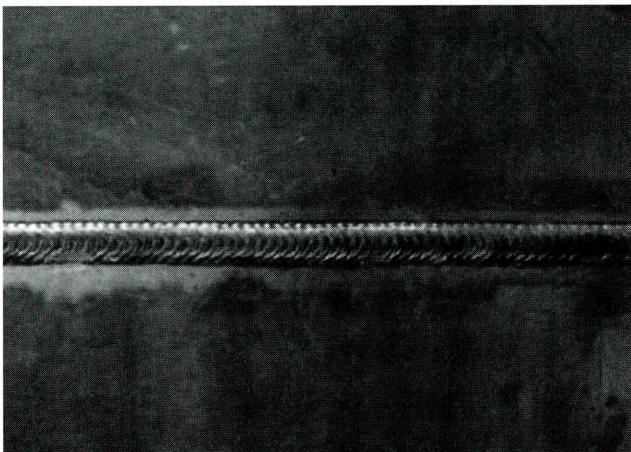


写真-9 自動走行溶接外観

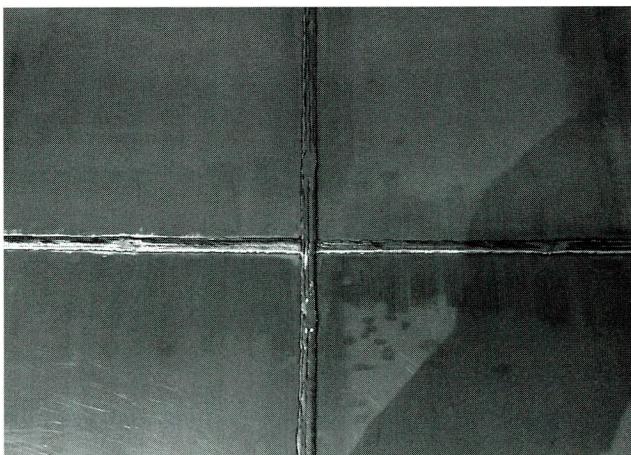


写真-10 半自動溶接外観

自動溶接で行い、外観、超音波探傷検査とも良好な結果が得られた。ステンレス部の仕上げ層について、自動溶接は1パス（ウイービング）、半自動溶接は多パス溶接とした。完成した溶接部の外観を写真-9、10に示す。

### ③余盛削除および溶接焼け除去

屋根には約1.0%の勾配がついているが屋根面排水のため勾配直交方向の余盛はステンレス用のディスクグライダーで削除した。その後、防錆および美観の確保を目的として、余盛削除部およびすべての溶接焼け削除のため母材一般部のヘアライン仕上げの研磨目と方向を合わせながら目付け仕上げを行った（写真-11）。

### ④最終仕上げ

全ての作業終了後に発錆の要因となる粉塵等を除去するため、水洗いした後、全面ワックス仕上げを行い、全工程を完了した。（写真-12、13）

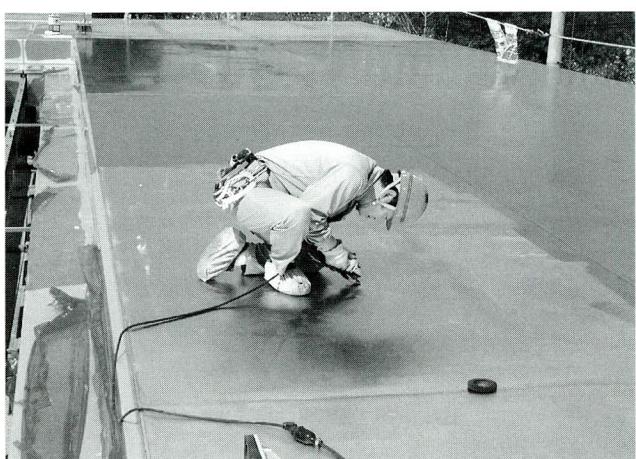


写真-11 目付け状況



写真-12 水洗い状況



写真-13 ワックス仕上げ状況

## 7.まとめ

鉄骨建築物の施工手順は完成した構造体に何らかの方法で仕上げ材を取付けるというのが一般的である。これに対して本工事の最大の特徴であると同時に難しさは、ステンレスクラッド鋼が構造部材でありながら外面は美観を強く要求される仕上げ材でもあるということだった。このため、製作ひずみの低減や傷防止対策、仕上げなど通常の鉄骨製作とは異なった幾つもの高い要求がなされた。

少しでも製作を容易にし、かつ完成品の美観が長く保たれるように、計画の段階から設計者、施工者、材料メーカーおよび鉄骨製作者が十分に打合せを行って、材料仕様を決定した。また、大屋根の分割方法は現場での揚重機の能力や配置、工場製作および輸送能力を十分に検討し、幾つもの案の中から決定された。

また、本文中に詳述したように多項目にわたって解決すべき問題点を抽出して必要事項を検討し製作や現場施工に反映した。今回の工事を施工するに当たって特に留意した事項は、製作、現場施工段階で設計者より強く求められた二点に集約される。

すなわち、

- ・屋根面の平坦度の確保
- ・屋根面の傷防止対策

である。

第一点の屋根面平坦度の確保については前述した施工試験の結果、構造材であるウエブの隅肉溶接により大きな歪みが発生することが予想された。このため、設計者が構造を再検討し、許容される範囲で隅肉溶接脚長を小さくする指示がなされ、また、補強リブについては断続

溶接で対応が可能となった。これによって、製作時の変形量は大きく軽減され、溶接による焼けを防止しつつ所定の平坦度を確保することが出来た。発生した加熱矯正焼けの除去処理には相当な時間を要する結果となつたが、母板の仕上げと同等程度に機械的処理で除去することができた。

第二点の屋根面の傷防止対策については、美観の確保が直接ステンレス鋼表面の防錆向上につながるため、重要な要素であった。具体的な事象として製作途上の部材ハンドリングや工具類による打ち傷、引き傷の防止、溶接スパッター付着防止等が対象となった。これらに対応するため、工場製作および現場施工完了に至るまでステンレス鋼の全面に渡って表面保護剤を塗布し、現場施工完了後に水洗いおよびワックス仕上げを行うことで要求品質は確保された。

事前検討および施工試験を十分に行い、その結果を実施工に反映させ大きな問題もなく建物を完成させることができた。以上で報告を終了するが、最後までご指導頂いた株中田捷夫研究室殿、(株)栗生総合計画事務所殿、(有)レン構造設計事務所殿、清水建設(株)殿、日本鋼管(株)殿、日鐵溶接工業(株)殿に紙上を借りて感謝する次第であります。

## <参考文献>

- 1) 宮地技報 No.7 : 構造用に用いたステンレスクラッド鋼の施工試験
- 2) 日本規格協会 : JISハンドブック鉄鋼, 1999
- 3) 日本規格協会 : JISハンドブック溶接, 1999
- 4) ステンレス協会 : ステンレス鋼溶接施工基準2000年
- 5) 日鐵溶接工業(株) : ステンレス鋼の溶接
- 6) 日本鋼管(株) : 技術資料「ステンレスクラッド鋼板」

2000.11.1 受付

# NTT DoCoMo埼玉タワー建方工事

## Construction of a Steel Tower for the NTT DoCoMo Building in Saitama

西垣 登\* 福田 豊\*\*  
Noboru NISHIGAKI Yutaka FUKUDA

### Summary

The increasing popularity of cellular (or mobile) phones is producing a demand for large, steel, telecommunication towers. The NTT DoCoMo Building in Saitama is a large, steel tower constructed in the new city center of Saitama as a multimedia base for the North Kanto area. This building has a new and symbolic design; furthermore, with a maximum height of 218.5 m, a steel tower 118.5-m high, and weighing about 2000 tons, it will be one of the largest steel towers for telecommunications in Japan. This paper reports on the construction of the tower, in which we used a special multi-functional erector and a special climbing stage that were developed by our company.

キーワード：エレクター工法、クライミングステージ、クライミングクレーン

### 1. はじめに

埼玉県の旧国鉄大宮操車場跡地を利用して「さいたま新都心」として新たなまちが建設されている。国の行政機関が集中するさいたま新都心には合同庁舎をはじめ、音楽・スポーツ・産業・文化の核となるさいたまスーパー・アリーナなどが既にオープンしている。

NTT DoCoMo埼玉ビルは新都心の先進性を象徴するシンボリックなデザインで、マルチメディア基地として北関東地区の中核を担う施設として建設されている。当社の施工範囲は高層ビル22階（103.3m）の上に建設された鉄塔部（124.2m）の建方工事である。以下に特殊建方工法の施工概要を以下に記す。

### 2. 工事概要

#### （1）構造物の概要

全 体 工 期：1998年6月～2001年4月

鉄塔部工 期：2000年1月～2000年11月

規 模：地上103.3m（建物）、

218.5m（鉄塔を含む）

階 数 22階（建物）、15層（鉄塔）

総 重 量 鉄塔本体 約2000 t

（施工範囲） 飾り鉄骨 70t

アンテナポスト 12t

構 造：S造（ペレース付ラーメン構造）  
用 途：事務室、通信施設、店舗

#### （2）施工概要

鉄塔頂部の高さは地上約220mと非常に高いため、ビル屋上（地上103.3m）に荷上用のタワークレーン（JCC-200H）を1台設置した。建方用クレーンは鉄塔中央のエレベーターシャフト部分に当社で開発した19t吊多機能式クライミングクレーン（特殊エレクター）を設置して建方した。またもう1つの特殊設備としてクライミングステージを設置した。鉄塔外周部に建方途中に於ける飛散・落下防止及び建方エリアの防風設備を目的としたステージで、建方に同調しながら自動せり上げを行って、安全に作業を行った。鉄塔頂部（地上約210m）には半円形にデザインされた飾り鉄骨並びにアンテナポスト（長さ20m）が構成されているが、狭いスペースでの作業でエレクターが干渉するため、エレクター組替、解体及び簡易ジブクレーンの設置等の段取り換えをしながら建方を進めた。（写真-1、写真-2参照）

実施工程は平成12年1月より鉄塔下部の建方に着手し、9月上旬に高層部の建方を終え、10月末に頂部の飾り鉄骨及びアンテナポストの建方を完了した。その後クライミングステージのせり下げ解体を11月末までに終える予定である。表-1に実施工程表を示す。

\* 宮地建設工業(株)計画部建築グループ グループリーダー

\*\*宮地建設工業(株)計画部建築グループ



写真-1 施工時の状況(全景)



写真-2 施工時の状況(建方)

表-1 実施工程表

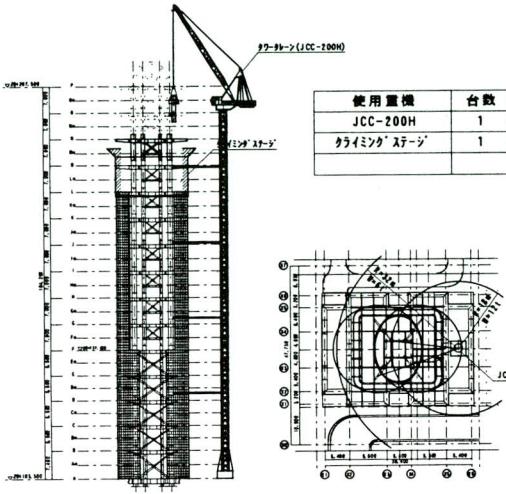
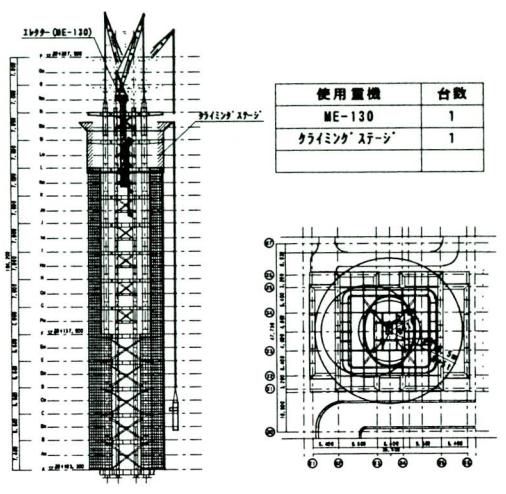
### 3. 建方工法の選定

## 鉄塔建方工法の選定条件の主なものとして

- ① 現場周辺状況
  - ② 鉄塔規模、形状
  - ③ 構造特性
  - ④ 外装材や他の付属物

これらの項目に着目し、安全性を第一に考慮して、総合的判定によって工法を決定するが、当工事のような大規模な鉄塔の場合は、ある程度建方工法が限定される。当初は一般的なサイドタワークレーン工法で計画されていたが工法比較検討表（表-2）の如くセンターエレクターの有効性が評価され採用された。

表-2 工法比較検討表

計 画 概 要 図	①サイドタワークレーン工法			②センターエレクター工法																																
	 <table border="1"> <tr><td>使用重機</td><td>台数</td></tr> <tr><td>JCC-200H</td><td>1</td></tr> <tr><td>クライミングステージ</td><td>1</td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> </table>			使用重機	台数	JCC-200H	1	クライミングステージ	1			 <table border="1"> <tr><td>使用重機</td><td>台数</td></tr> <tr><td>ME-130</td><td>1</td></tr> <tr><td>クライミングステージ</td><td>1</td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> </table>			使用重機	台数	ME-130	1	クライミングステージ	1																
使用重機	台数																																			
JCC-200H	1																																			
クライミングステージ	1																																			
使用重機	台数																																			
ME-130	1																																			
クライミングステージ	1																																			
工 法 留 意	1. タワーマストが長く、設備が多い。 2. タワークレーン据付部の補強が大がかりになる。 3. タワークレーンの水平支持材取付部は後付けとなる。 4. 地震、風による影響が大きい。 5. クライミングステージは水平支持材に干渉する。 6. タワークレーン作業時の横揺れから鉄塔建方作業に支障する。			1. エレクターを中央部に配置したことにより安全にクライミング作業ができる。 2. エレクターの解体は最上部で小型ジブクレーンで解体を行う必要がある。 3. 外部鉄骨に後付けではなく、一体型クライミングステージを利用して下から順に仕上げることができる。 4. エレクターは軽量、小型であるため鉄骨補強は少ない。																																
評 価	<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th><th>評価</th><th>総合評価</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>品質</td><td>1. 建方時の作業性 2. 後施工の頻度</td><td>○ △</td></tr> <tr> <td>コスト</td><td>1. 本設備強（建方用クレーン設備） 2. 使用重機能力及び台数 3. 労務費</td><td>△ ○ ○</td></tr> <tr> <td>工程</td><td>1. 仮設設備（クレーン）組払い 2. 本工法による鉄骨建方</td><td>○ △</td></tr> <tr> <td>安全</td><td>1. 重機の接触 2. 高所作業頻度</td><td>○ ○</td></tr> </tbody> </table>			項目	評価	総合評価	品質	1. 建方時の作業性 2. 後施工の頻度	○ △	コスト	1. 本設備強（建方用クレーン設備） 2. 使用重機能力及び台数 3. 労務費	△ ○ ○	工程	1. 仮設設備（クレーン）組払い 2. 本工法による鉄骨建方	○ △	安全	1. 重機の接触 2. 高所作業頻度	○ ○	<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th><th>評価</th><th>総合評価</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>品質</td><td>1. 建方時の作業性 2. 後施工の頻度</td><td>○ ○</td></tr> <tr> <td>コスト</td><td>1. 本設備強（建方用クレーン設備） 2. 使用重機能力及び台数 3. 労務費</td><td>○ ◎ ○</td></tr> <tr> <td>工程</td><td>1. 仮設設備（クレーン）組払い 2. 本工法による鉄骨建方</td><td>○ ○</td></tr> <tr> <td>安全</td><td>1. 重機の接触 2. 高所作業頻度</td><td>◎ ○</td></tr> </tbody> </table>			項目	評価	総合評価	品質	1. 建方時の作業性 2. 後施工の頻度	○ ○	コスト	1. 本設備強（建方用クレーン設備） 2. 使用重機能力及び台数 3. 労務費	○ ◎ ○	工程	1. 仮設設備（クレーン）組払い 2. 本工法による鉄骨建方	○ ○	安全	1. 重機の接触 2. 高所作業頻度	◎ ○
項目	評価	総合評価																																		
品質	1. 建方時の作業性 2. 後施工の頻度	○ △																																		
コスト	1. 本設備強（建方用クレーン設備） 2. 使用重機能力及び台数 3. 労務費	△ ○ ○																																		
工程	1. 仮設設備（クレーン）組払い 2. 本工法による鉄骨建方	○ △																																		
安全	1. 重機の接触 2. 高所作業頻度	○ ○																																		
項目	評価	総合評価																																		
品質	1. 建方時の作業性 2. 後施工の頻度	○ ○																																		
コスト	1. 本設備強（建方用クレーン設備） 2. 使用重機能力及び台数 3. 労務費	○ ◎ ○																																		
工程	1. 仮設設備（クレーン）組払い 2. 本工法による鉄骨建方	○ ○																																		
安全	1. 重機の接触 2. 高所作業頻度	◎ ○																																		

#### 4. 施工説明

##### (1) 施工手順

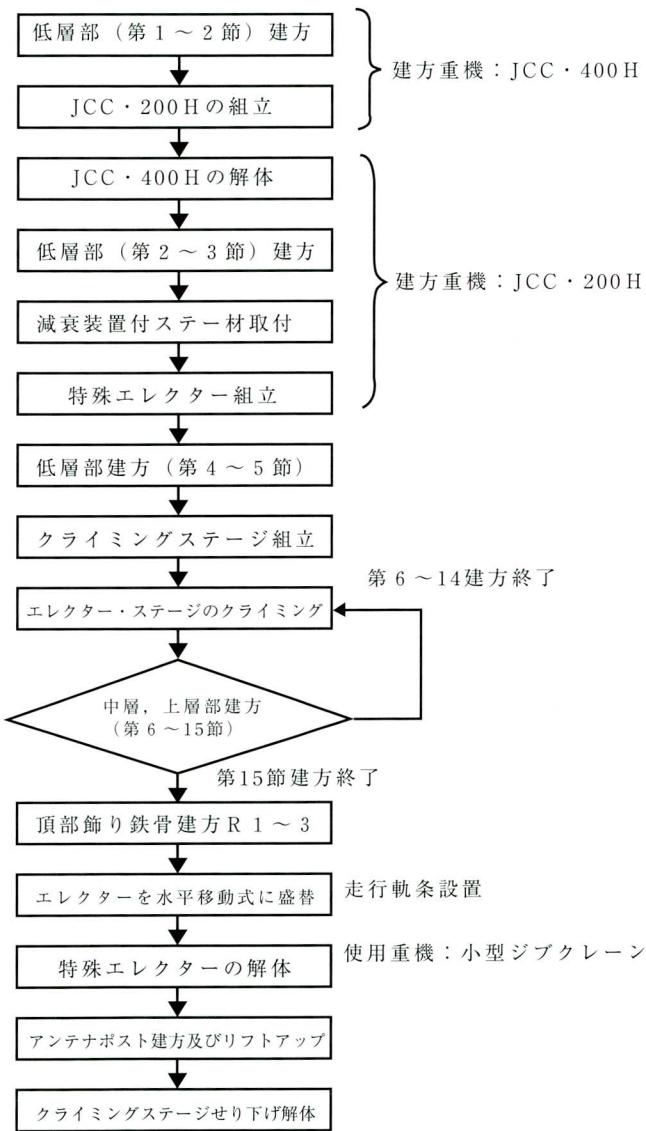
地上約103mのビル鉄骨建方完了後引続き表-3の工事フローチャートに従って鉄塔の建方工事を進めた。その作業手順を簡単に説明する。(図-1参照)

- ①ビル鉄骨建方用クレーン（JCC-400H）を用いて、屋上に荷上用タワークレーン（JCC-200H）の据付及び鉄塔下部の建方
- ②JCC-200HにてJCC-400Hクレーンの解体、並びに鉄塔建方用特殊エレクター（19t吊）の据付け、鉄塔の低層部建方

- ③クライミングステージの組立
- ④中層、上層部の建方（エレクター、ステージのクライミング）
- ⑤頂部飾り鉄骨（外側）の建方
- ⑥特殊エレクター上部の分離、水平移動式ジブクレーン（9.5t吊）に組替え後、移動及び固定
- ⑦水平移動式ジブクレーンにより飾り鉄骨建方及びアンテナポストの仮据付（エレベーターシャフト内に建込み）
- ⑧2.9t吊小型ジブクレーン据付後、水平移動式ジブクレーンの解体
- ⑨1.0t吊簡易ジブクレーン据付後、小型ジブクレーンの解体

- ⑩アンテナポストのせり上げ・固定、その他付属物取付
- ⑪頂部仮設設備他を解体後、簡易ジブクレーンの解体（工事用エレベータにて荷卸し）
- ⑫クライミングステージのせり下げ・解体
- ⑬荷上用タワークレーン（JCC-200H）の解体

表-3 工事フローチャート



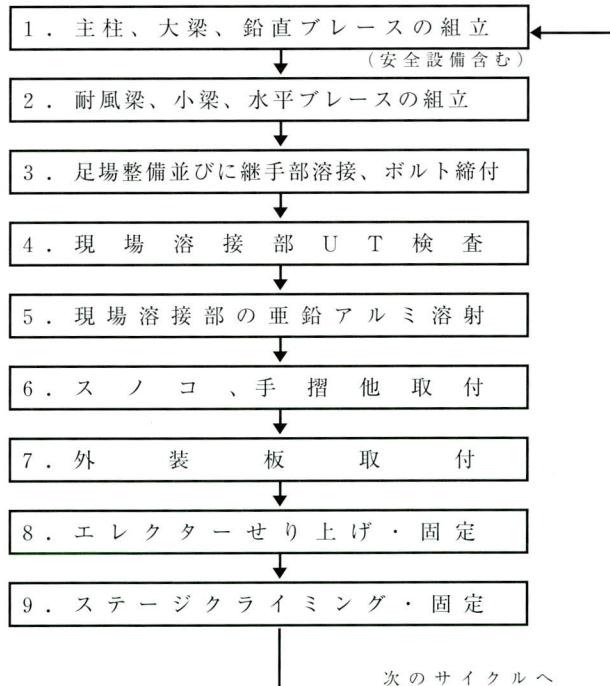
## (2) 施工内容

鉄塔主柱は外柱で  $\phi 1200$ 、内柱で  $\phi 900$  の鋼管を使用し材質はTMCP鋼やSA440B材と超強力鋼を用いているため、表面処理に溶融亜鉛メッキはさけて、工場亜鉛アルミ溶射を施して搬入された。但し大梁、小梁は一般的な鋼材であるため工場で溶融亜鉛メッキを行って搬入させた。

建方は柱→大梁→小梁→耐風梁の順に組立てて主材並びに大梁のフランジ面の継手部は現場溶接で大梁ウェブ、小梁の継手部は亜鉛メッキボルト（F8T）で締付けた。現場溶接部はUT検査後に常温亜鉛アルミ溶射にて表面処理を施した。

次に各プラットホーム面のスノコを敷設し外装板、その他付属物を取付けた後、エレクターを約7.0mクライミングし、引続き外面のクライミングステージをせり上げ固定して次の建方ステップに入った。（図-2,写真-3参照）

建方フローチャート（1節分）



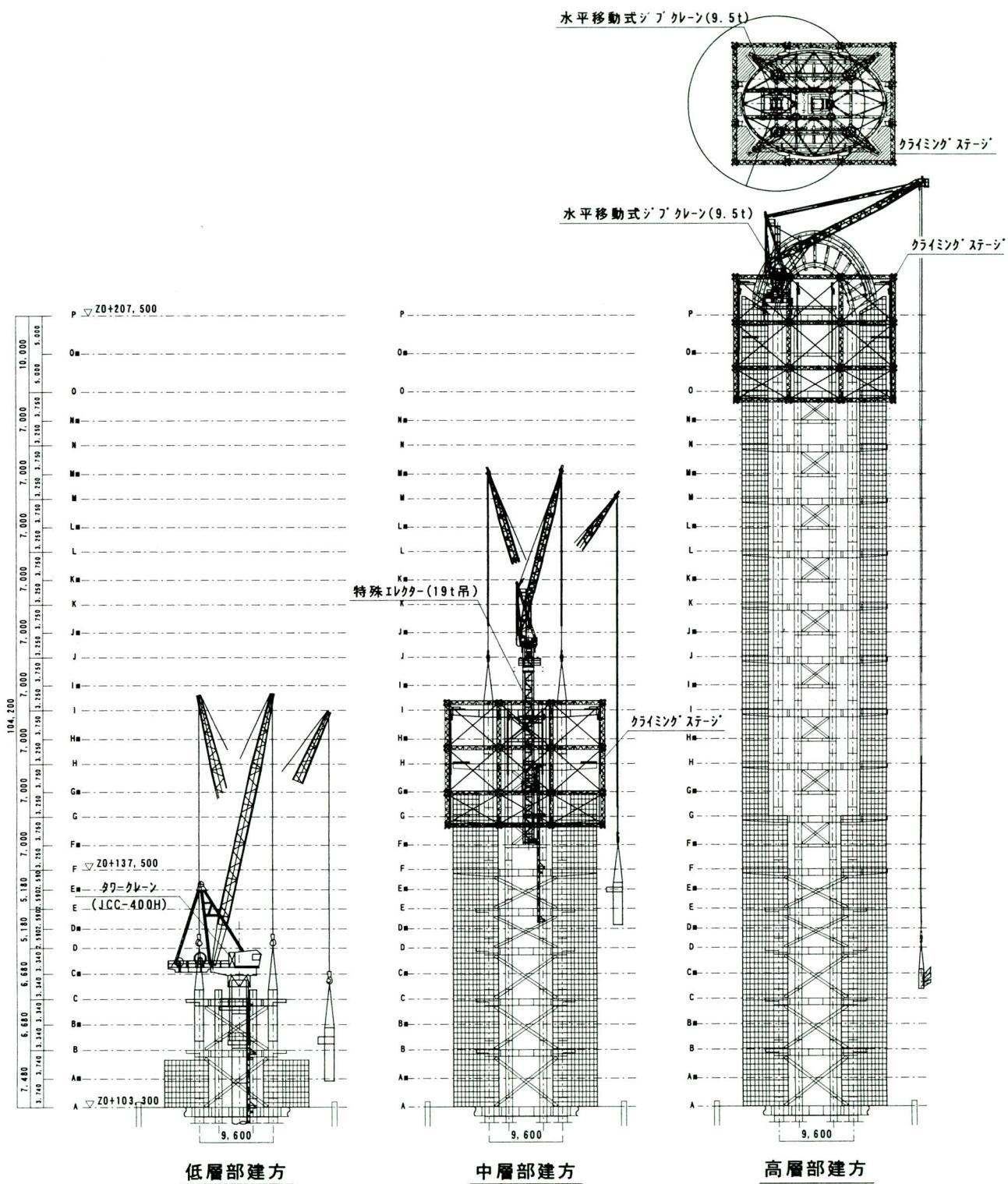


図-1 センターエレクター工法建方ステップ図

### (3) 使用機材

主要機材を表-4に示す。

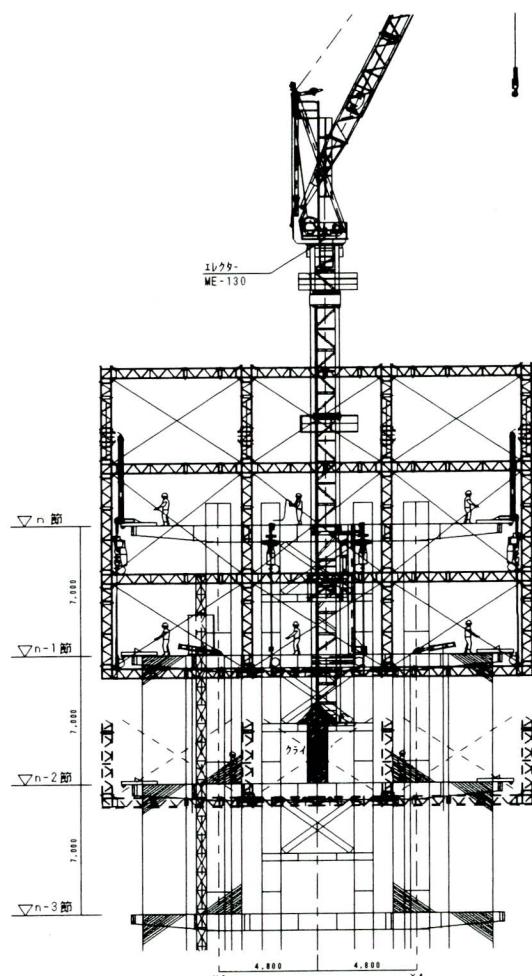


図-2 ステージクライミング計画図

### 5. クライミングステージの概要

クライミングステージの特徴は最上節（建方部）とその1つ下の節（仕上げ部）の2節分を完全に覆い、側面



写真-3 建方最上部の状況

表-4 主要機材表

機材名	数量	規格・能力	備考
建方用多機能式クライミングクレーン	1台	19t × (1.2 ~ 6.7) m	特殊エレクター ME130
荷揚げ用タワークレーン	1台	19t × (3 ~ 15) m	JCC-200H
小型ジブクレーン	1台	2.9t × (4 ~ 11) m	VG36-WG
簡易ジブクレーン	1台	1.0t × 10m	
クライミングステージ	1式	クライミング装置含	
工事用エレベーター	1台	500kg (定員7人)	HCE-500B
CO2半自動溶接機	6台	500A, 32KVA	
交流アーク溶接機	1台	300A, 24.5KVA	
亜鉛アルミ溶射機	1台	MS-296Az	
電動コンプレッサー	1台	5.5KW 以上	
発電機	1台	20KVA 以上	

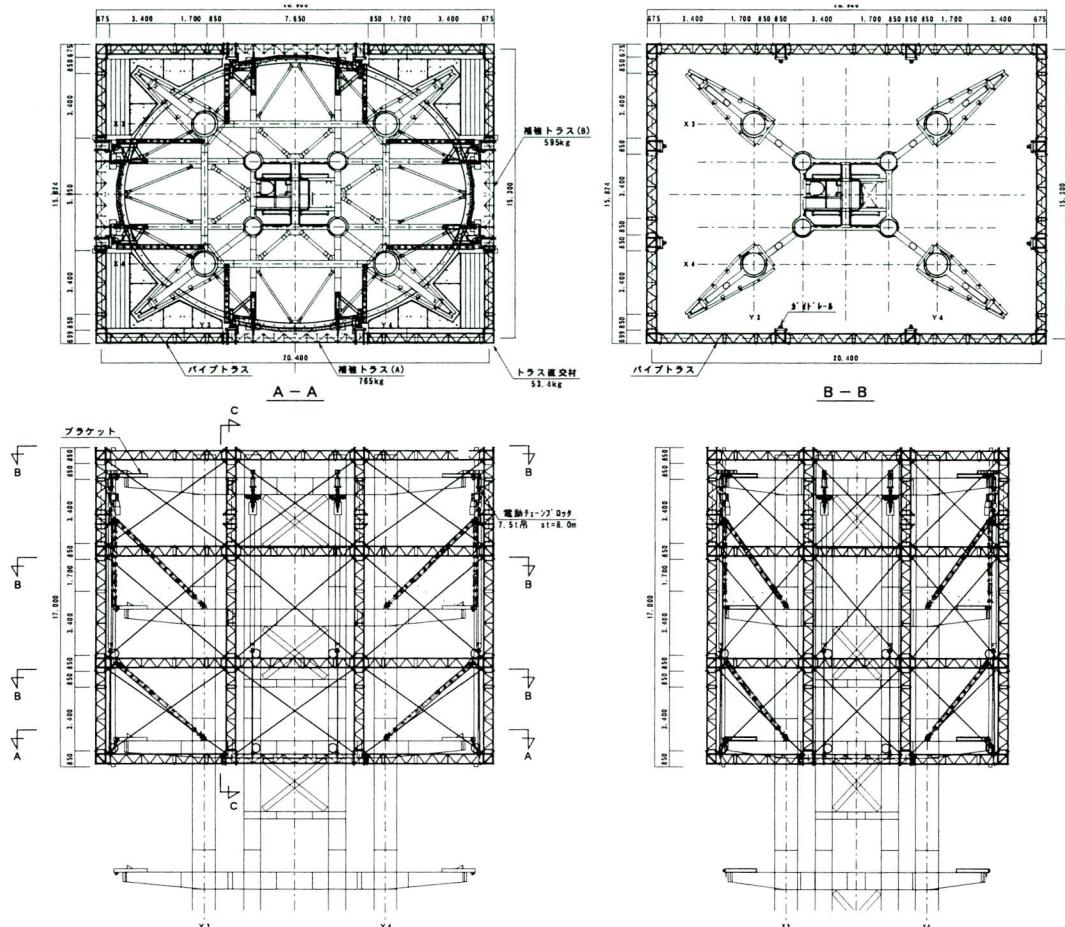


図-3 クライミングステージ構造一般図

## クライミングステージの諸元

主 フ レ ー ム	バイ プ ト ラ ス (4-φ 48.6×2.3)
外 周 4 面	防 風 (炎) シ ート
外 形 尺 法	20.9m(長 辺) × 15.8m(短 辺) × 17.0m(高 さ)
ク ラ イ ミ ン ク 装 置	電 动 チ ョ ー ン プ ロ ッ カ (7.5t) × 8 台
制 御 方 式	荷 重 及 び 変 位 集 中 制 御
重 量	約 34 t

及び下面の落下防護と風養生および飛散養生ができることがある。そのため内部での作業は、突風や強風に悩まされずに安全かつ効率よく施工することが可能となった。クライミングステージのフレーム構成及び形状は図-3に示す。ステージが受ける風荷重は最大風速31.7m/secに対して、十分な耐力を有するフレームが求められた。しかしほうのクライミングを効率よく行うには、できるだけ軽量化することも課題であった。これらの条件を満たすため、3次元構造解析を行い、ステージの設計を行った。クライミングシステムは電動チェンブロック(7.5t)を8台同時に集中制御する。制御

方法は変位アブソーバを電動チェーンブロック（7.5 t）に連結することにより、クライミング時に生じるチェーンブロック個々の巻上げ誤差（計算上20～30mm程度）を吸収させる方式とした。また安全装置として変位アブソーバにはロードセルを組込み、設計荷重に対して上限、下限荷重を検出して8台のチェーンブロックを自動制御させる方式を採用した。（図-4、写真-4参照）

## 6. 多機能式クライミングクレーン（特殊エレクター）の概要

当工事の主要機材である多機能式クライミングクレーンは当社独自のもので鉄塔建方専用クレーンとして開発したものである。一般的なクライミングクレーンとの相違点を以下に記す。また図-5に特殊エレクター組立外形図を示す。

- ①鉄骨の壁面にガイドレールを取付けてジャッキにより  
鉛直にセルフクライミングを行う。またガイドレール

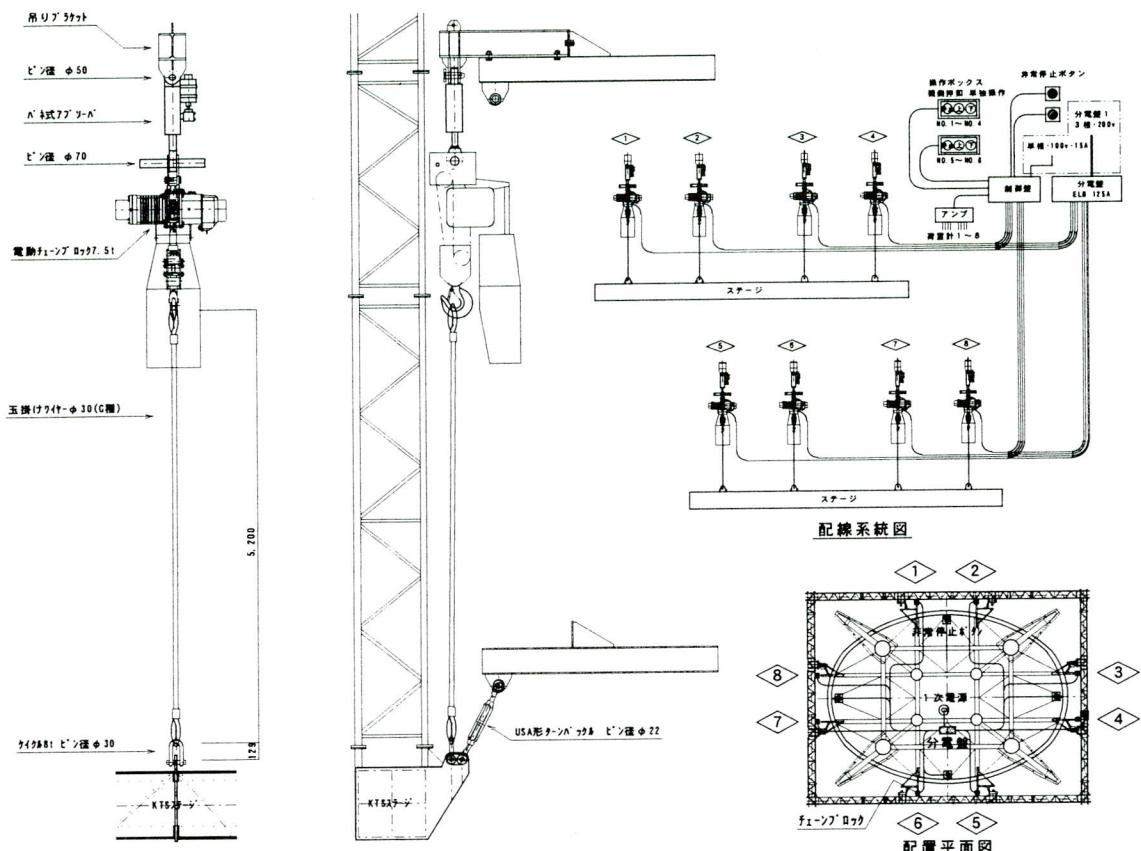


図-4 クライミングシステム詳細図

は転用できるため、3セット保有すれば良い。

②カウンターウェイトを備えていないため、作業時の反力がガイドレールを介して本設鉄骨に伝達するため、剛性の高い構造が必要となる。

③運転席並びにカウンターウェイトがないため、旋回台がコンパクトである。又自重が非常に軽量である。

④操作は有線により遠隔操作が可能である。

またその他の機能として旋回体部とマストを分離して、水平移動式ジブクレーンに簡単に組替ができる。組替により以下のことが可能になった。

①自らのマストを容易に解体できる。

②平面的広がりのある鉄骨の建方ができる。

③マストと旋回台の着脱が容易であるため、クレーンの水平、鉛直移動が可能である。

その他にもまだ特殊な機能を有しているが、当工事に於いては鉛直移動から水平移動に変換し有効に活用するこ



写真-4 クライミング設備

とができた。図-6に特殊エレクター（水平移動式）一般図を示す。（写真-5参照）

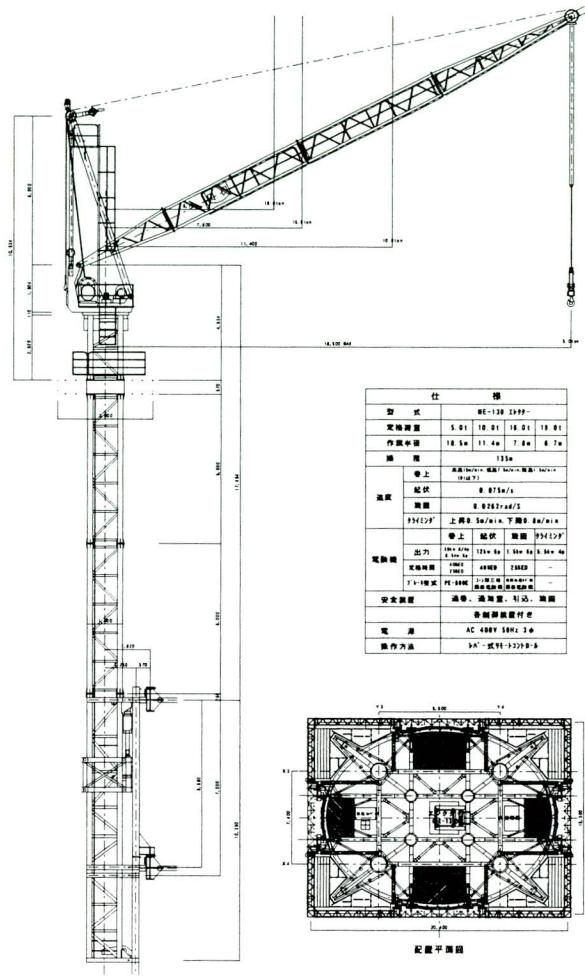
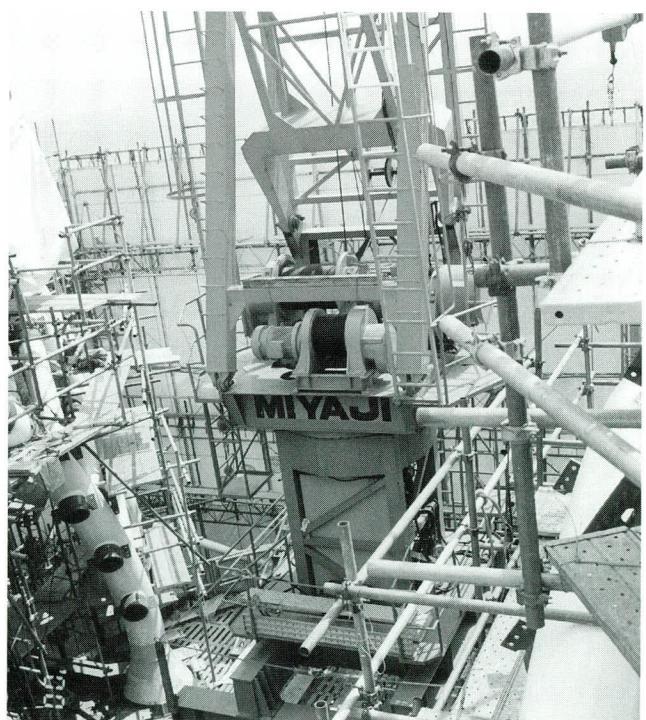
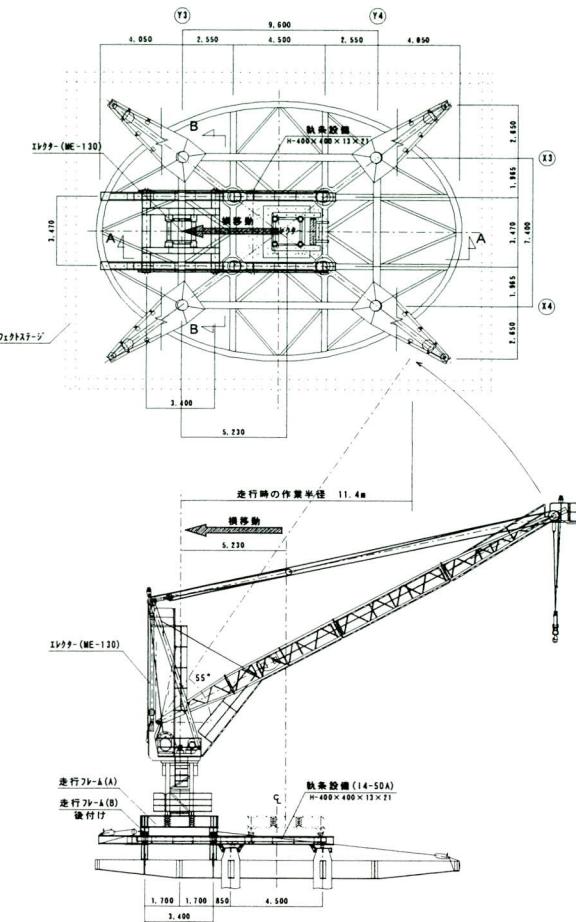


図-5 特殊エレクター組立外形図

## 7. あとがき

さいたま新都心という全国的にも注目されている地区にNTT DoCoMo埼玉ビル（仮称）は埼玉県で1番高い建物（竣工時）として建設されている。本工事は200mを超える鉄塔部の施工であるため、強風による影響が多く、またJR線がすぐ脇を通っていることや、工事ヤードが狭いことから、敷地条件が非常に悪い中の施工であったが多機能式エレクターとクライミングステージの特殊主要設備を開発したことにより、施工性は大幅に向上することができた。これも一重にNTTファシリティーズ及びJV他工事関係者の方々のご指導によるものと深く感謝する次第である。まだ工事は残っているが、無事に竣工を迎えられることを願い、報告と致します。

2000.11.1 受付



# 支点部にアーチ形状を有するV脚ラーメン連続箱桁橋の設計（桂川橋）

## Design of a Continuous, Rigid-Frame, Box-Girder Bridge with Arched, V-shaped Supports above its Supporting Piers (Katsuragawa Bridge)

梅本喜久\* 永谷秀樹\* 佐々木隆太\* 井上雅夫\*\*  
 Yoshihisa UMEMOTO Hideki NAGATANI Ryuta SASAKI Masao INOUE

### Summary

The Katsuragawa Bridge is a bridge on the highway connecting the Oyamazaki junction of the Meishin expressway to the Kumiyama junction of the Keiji bypass. It passes over the left bank of the Katsura River. With emphasis on harmony with the natural environment, the bridge has a rigid-frame structure in which the main girder is rigidly joined to V-shaped supports, each of which is curved where it connects to the main span thus forming an arch. This paper describes the essentials of the design for the Katsuragawa Bridge.

キーワード：V脚ラーメン，連続合成桁，FEM解析，隅角設計

### 1. まえがき

本工事は、名神高速道路大山崎JCTから京滋バイパス

久御山JCT間の自動車専用道部および専用道路に並列する一般国道478号の一般国道部において、それぞれ桂川左岸上を跨ぐ2橋梁を対象としている。

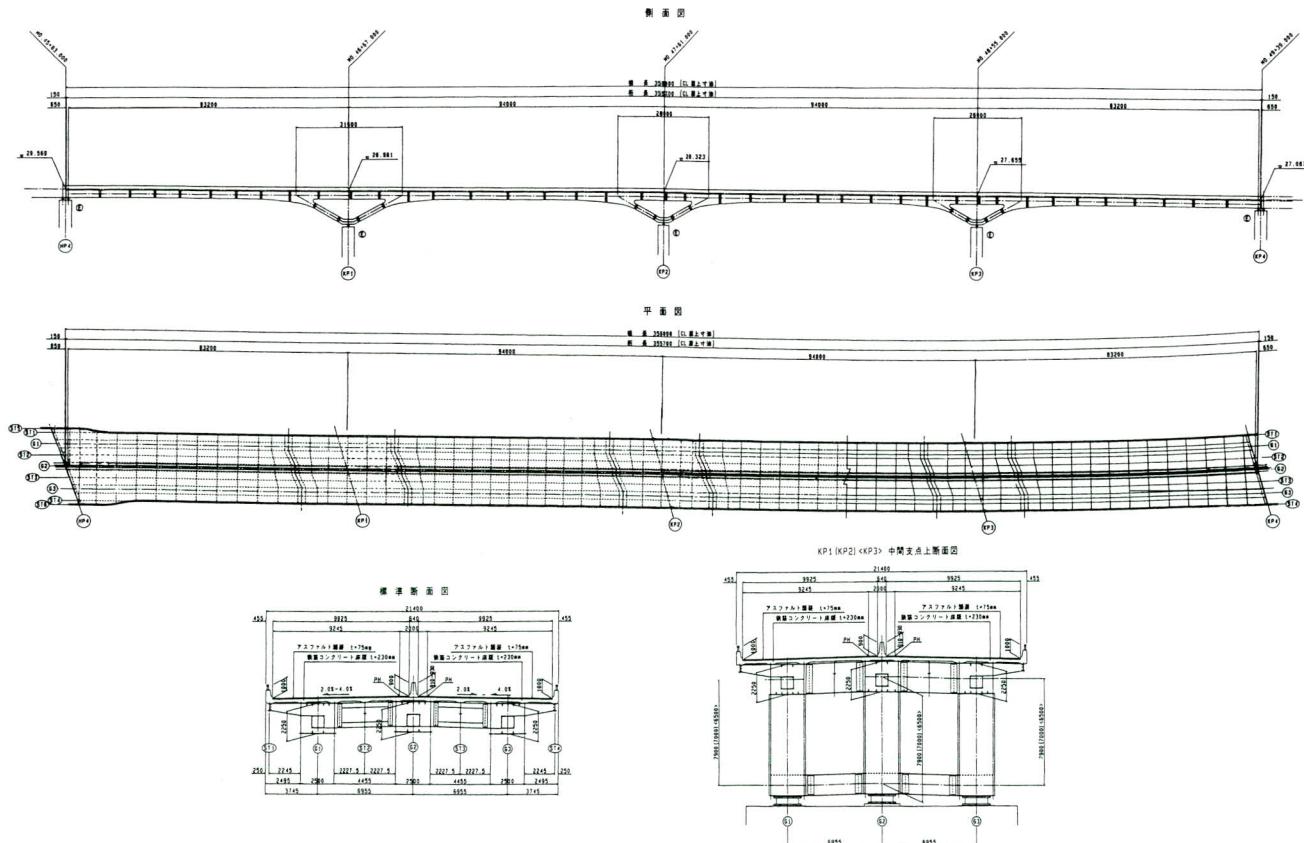


図-1 橋梁一般図

\* 技術本部設計部設計一課

\*\*技術本部設計部次長

ここに報告する自動車専用道部の橋梁については、景観検討委員会により地域の自然背景との調和を重視したデザインコンセプトにより、アーチ形状をイメージした3基のV型橋脚と主桁(箱桁)を剛結合した立体ラーメン構造を採用している。

V型橋脚形式のラーメン橋の有利点としては以下の項目等が考えられる。

- ・側径間および中央径間の支間を長くすることができ下空間を広く確保できる。
- ・主桁とV橋脚を剛結することによって不静定次数を上げ合理的な設計ができる。

また、本橋の設計に際し次の検討項目が挙げられた。

- ・構造形式が複雑であるとともに、現場施工時期の制約に配慮した適切な施工法の選定と施工手順の設計への反映。
- ・構造形式が剛結構造の上に斜角を有するため、立体的な挙動の設計への反映。
- ・鋭角に交差するV脚隅角部における応力伝達機構の解明と製作性に優れた板組の選定。
- ・ゴム支承を用いた支点部の適切な補強構造。

本報告では、以上の特徴をもつ桂川橋の詳細設計における、主要な事項について述べる。

## 2. 橋梁概要

設計条件を以下に示す。また、橋梁一般図を図-1に、

本橋の完成予想イメージ図を図-2示す。

道路規格 第1種3級A規格

設計速度  $V=80\text{ km/h}$

設計荷重 B活荷重

橋 長  $356.0\text{ m}$  (CL上)

構造形式 鋼4径間連続部分合成箱桁(支点部V脚構造)

支間割り  $83.2+94.0+94.0+83.2\text{m}$  (CL上)

有効幅員  $9.925\text{m} \times 2$  (上下線一体構造)

斜 角 HP4  $70^\circ 00' 00''$

KP1  $73^\circ 00' 00''$

KP2  $73^\circ 00' 00''$

KP3  $74^\circ 24' 10''$

KP4  $78^\circ 11' 50''$

平面線形  $R=\infty \sim A=400 \sim R=1100$

縦断線形 0.700%

横断線形  $\checkmark 2.000\% 2.000\% \sim \checkmark 4.000\%$

床 版 鉄筋コンクリート床版  $t=230\text{ mm}$

支 承 水平反力分散支承(積層ゴム支承)

## 3. 景観設計

本橋梁の計画地域は日本で唯一、木曽川、宇治川、桂川の3大河川が合流する地域であり、また周辺は雄大な自然に囲まれている。そこで、景観検討委員会において、この

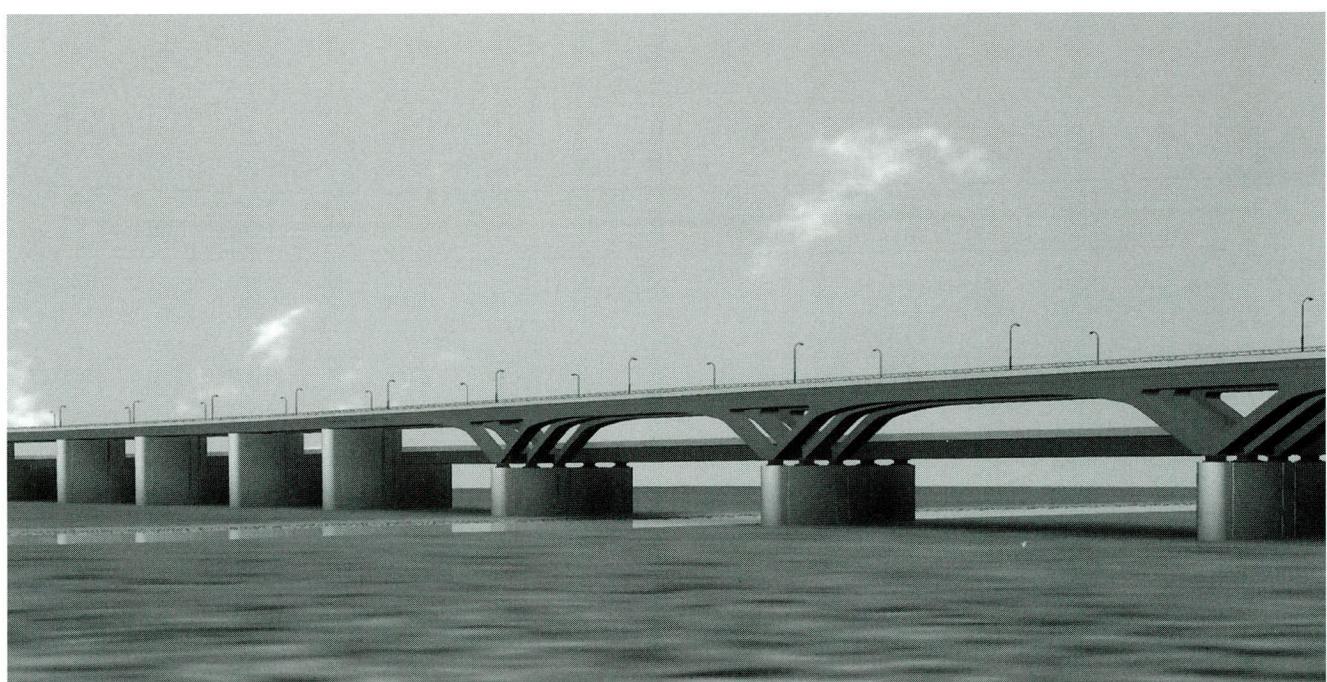


図-2 完成予想イメージ図

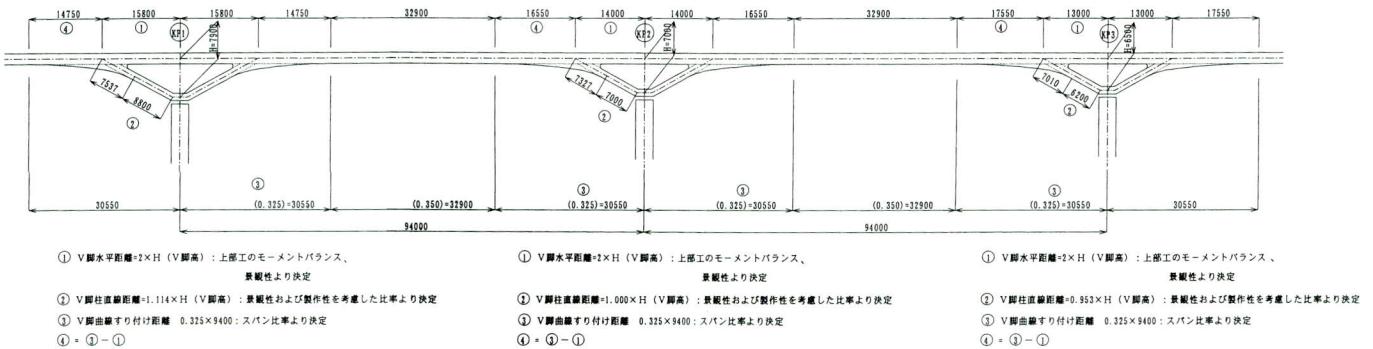


図-3 V脚形状図

風景との調和を重視した橋梁として、アーチ形状をイメージしたV脚形式を採用した。

景観性および隅角部の製作性を考慮したV脚部アーチ形状における曲線区間および扁平率を決定する基本寸法を図-3に示す。

また、V脚アーチ曲線は図-4に示すように直線AV、BVに接し、かつV点の直下Cにおいて共通接線をもつ2つの放物線L1、L2とする。

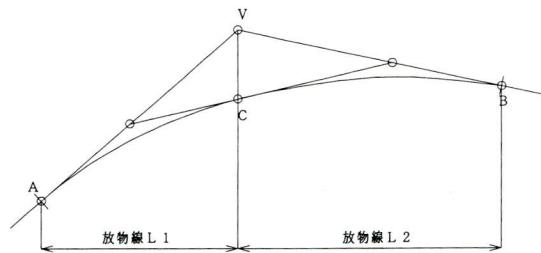


図-4 アーチ曲線図

#### 4. 主構造の設計

##### (1) 設計概要

本橋の主構造は、V脚と主桁が剛結されており、これに交わる横梁と横桁で構成される。また、斜角を有しているため、詳細設計において以下の項目を重点的に検討した。

①本橋の構造形式は、V脚との剛結構造に加え斜角( $70^\circ$  ~  $78^\circ$  程度)を有しているため立体的に複雑な挙

動を示す。よって、構造解析には立体骨組解析を採用した。なお、支点の拘束条件はゴム支承を評価できるバネ支持とした。解析モデルを図-5に示す。

- ②架設は、大型クローラークレーンによるベント工法である。KP2 ~ KP3の河川流水部においては落し込み架設を行うが、各V脚支点部のジャッキ操作によるモーメント連結を行うので、構造解析においてジョイント部における架設ヒンジ等は考慮しないこととした。
- ③基本設計に対してさらなる合理化・省力化を目指してガイドライン設計および合成桁設計を適用した。
- ④隅角部においては、隅角設計の他にFEM解析による安全性の検証を行った。
- ⑤全体座屈については、弾性座屈解析により安全の確認を行った。等価支間長については、設計荷重状態における発生断面力性状より決定した。
- ⑥平面寸法が $1880 \times 1880\text{mm}$ と大きなゴム支承を使用するため、支点部における補強設計の検討を行った。

以上に示した検討項目において、特に特徴的な以下の項目について報告を行う。

##### (2) 床版および合成桁設計

鋼桁断面決定においては、中間支点付近の床版に引張力

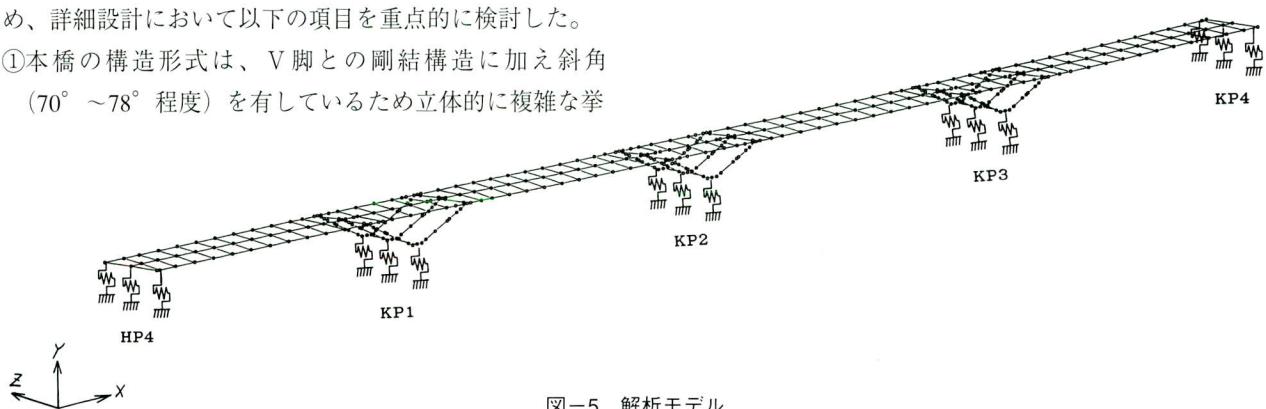


図-5 解析モデル

が発生する部分については鋼断面に余裕を持たせている。また中央径間における正曲げモーメントは発生範囲が狭い上に最大値が小さく、側径間の正曲げモーメントが卓越している曲げモーメント性状を示していることから、図-6に示す側径間の正曲げモーメントの生じる区間のみを合成構造とする部分合成桁設計を採用した。

床版は、全橋にわたって連続合成桁として設計した。連続合成桁では、中間支点上における床版のひび割れが問題である。本橋の中間支点上の照査方法は、P C床版鋼2主桁橋の連続合成桁設計指針<sup>3)</sup>によった。

以下に、床版の設計概要を述べる。

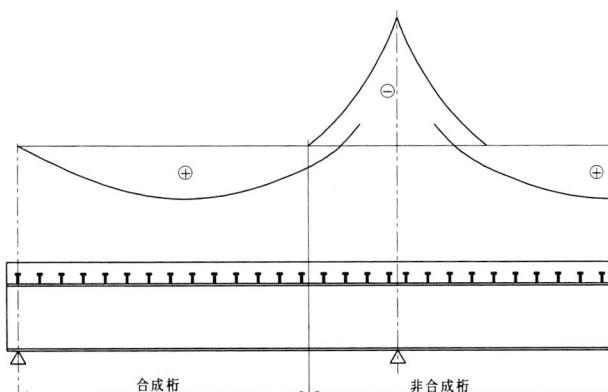


図-6 合成桁設計範囲図

### 1) 鉄筋強度の照査

橋軸方向の鉄筋に着目すると、下側鉄筋はL荷重（主桁作用）と同時にT荷重（床版作用）が作用した場合が最も不利な状態である。道路橋示方書では、この重ね合わせに対して、コンクリート40%、鉄筋20%の許容応力の割り増しで照査していたが、本設計においては、L荷重の6割とT荷重を重ね合わせるものとし、許容応力の割り増しは行わないこととした。照査荷重の組み合わせを表-1に示す。

表-1 荷重組み合わせ（鉄筋照査）

照査荷重	下側鉄筋		上側鉄筋 主桁作用
	床版作用	重ね合わせ	
①床版作用（T荷重）	○	○	—
②主桁作用（L荷重）	—	—	○
③②×0.6	—	○	—
④死荷重	○	○	○
⑤クリープ・乾燥収縮	○	○	○

### 2) 耐久性の照査

ひび割れ幅の照査は、コンクリート標準示方書（土木学会 平成8年）の算出式を適用する。また、許容ひび割れ

幅は、コンクリート標準示方書の特に厳しい腐食性環境の0.0035cを適用する。照査荷重の組み合わせを表-2に示す。

表-2 荷重組み合わせ（耐久性照査）

照査荷重	上側鉄筋ひび割れ
①床版作用（T荷重）	—
②主桁作用（L荷重）	—
③②×0.6	○
④死荷重	○
⑤クリープ・乾燥収縮	○

### 3) 最小鉄筋量および構造細目

中間支点上の配力筋の最小鉄筋量は2%以上とし、最大鉄筋径D22で上段、下段とも同一径、同ピッチで配置する。

### 4) 設計結果

以上の設計によって得られた中間支点上における配筋状態を図-7に示す。

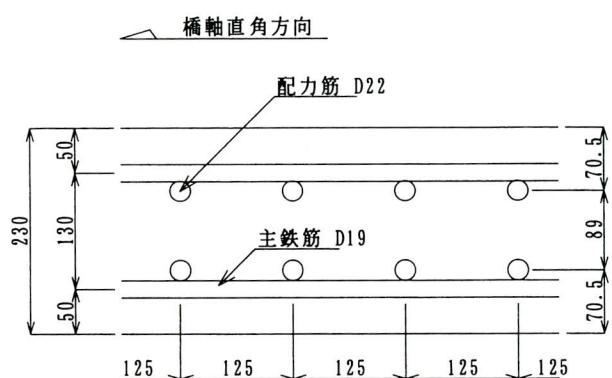


図-7 中間支点上配筋図

### (3) 隅角部の設計

#### 1) 構造概略・設計方針

隅角部は、最大高さ約5.5m・最大重量約60tであるため輸送が困難である。そのため、図-8に示すように水平継ぎ手・鉛直継ぎ手を設けて3ブロックに分割する構造とした。

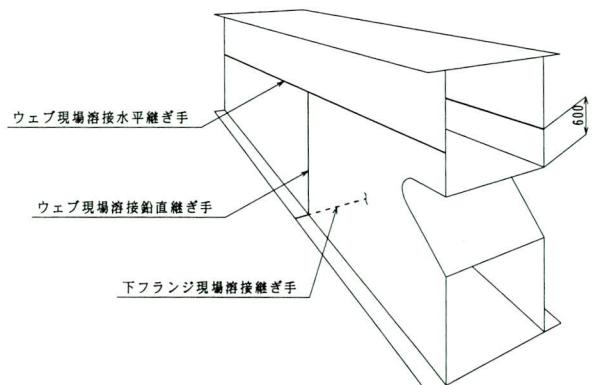


図-8 隅角ブロック分割図

隅角部の設計においては、隅角部ウェブのせん断応力、せん断おくれ(shear lag)現象による曲げ応力の修正、フランジ力作用点におけるはりおよび柱の応力分布の攪乱などの問題がある。また、円弧フランジを有する隅角においては、面外変形による腹板への応力集中が考えられる。

よって、今回設計対象となる隅角部に対しては、以下に示す設計法の適用が考えられた。

#### ・shear lagを考慮した隅角部設計法

奥村・石沢<sup>4)</sup>、中井・福岡<sup>5)</sup>等による設計法が通常用いられている。

#### ・曲がり梁とした隅角部設計法

大野の式およびプライヒの式に基づく、円弧形状の応力分布に対する影響および円弧フランジが面外方向変位による影響を考慮した設計法が通常用いられている。

本橋の隅角部は、鋭角側のすり付け半径が景観上500mmと非常に小さいため、円弧フランジ構造を採用することは製作精度管理が非常に難しいと考え、一般に採用されている主桁と柱が直線的に交差する板組構造を採用した。(図-9 参照)

したがって、円弧フランジに適用する曲がり梁としての設計法にはよらずに、奥村・石沢による設計法を採用し、設計力に対して交角( $\theta \neq 90^\circ$ )の影響を考慮した。

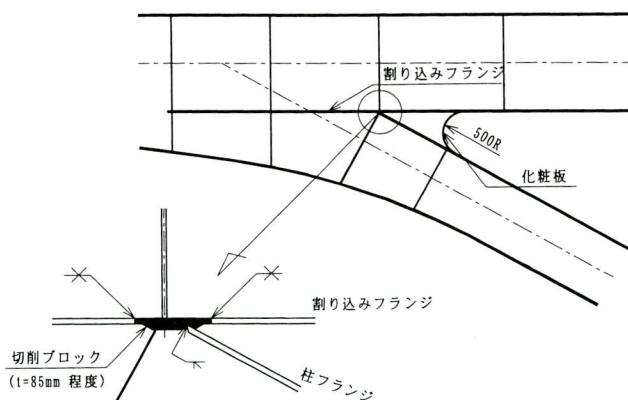


図-9 板組み構造図

## 2) FEM解析

奥村・石沢による隅角部設計を適用した断面に対して、さらにより詳細な応力状態を評価し特異な応力集中に対する検証と設計の安全性の確認するため、FEM解析を行った。

#### (a) 解析モデル

解析対象は、図-10に示す設計上断面力が最大であるG

3 柱 K P 3 橋脚の右側の隅角部断面 (K P 3 R) とし、図-12に示すシェル要素を用いてモデル化を行った。

解析において主桁・横梁(主桁内ダイヤフラム)・柱各部は、実構造物と同様にモデル化を行った。

載荷荷重は、立体骨組解析より隅角部着目位置における同時性を考慮した発生断面力を算出し、その発生断面力と等価となるようFEM解析モデルの載荷点における断面力を決定した。

また、境界条件は解析上の釣り合いが容易に保てるよう柱下端部を全方向固定とした。

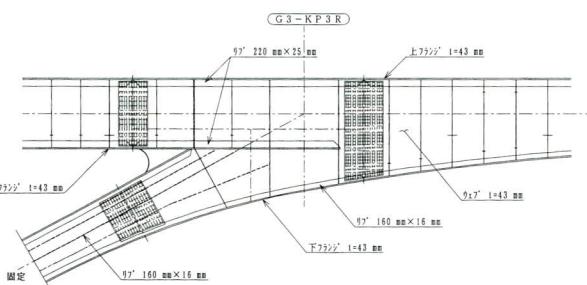


図-10 解析対象

#### (b) FEM解析結果

ウェブの主応力矢線図を図-11、モデル全体のミーゼスの相当応力度コンター図を図-12に示す。

図-11より円弧フランジ(a部、b部)の応力レベルが他と比較して高く見られるが、設計評価値に比べて十分に低い値であった。

また、図-12に示すミーゼスの相当応力度の解析結果より、発生応力に関して、大きな応力集中が見られず設計許容応力度以下であることから、本橋におけるV脚隅角部の構造の安全性が確認できた。

#### (4) 橋脚基部の設計

支点上補剛材幅に対して支承幅が大きく補剛材の剛性が不足した場合には、支圧応力が不均等になることにより支点上補剛材と下フランジの交点部等において応力集中の発生が懸念される<sup>5)</sup>。

本橋で使用する反力分散支承は、中間支点において平面寸法(1880mm×1880mm)と非常に大きいため、基部に交差する横梁のウェブをゴム支承の縁端近傍まで広げることにより支点部全体の剛性を上げ変形の均一化を図り、上記の支圧応力の均等化と応力集中の緩和に対処した。ここで、支点上補剛材にフィレットを設けて応力の伝達を円滑伝える構造とした。また、図-13に示すように製作性も考慮し

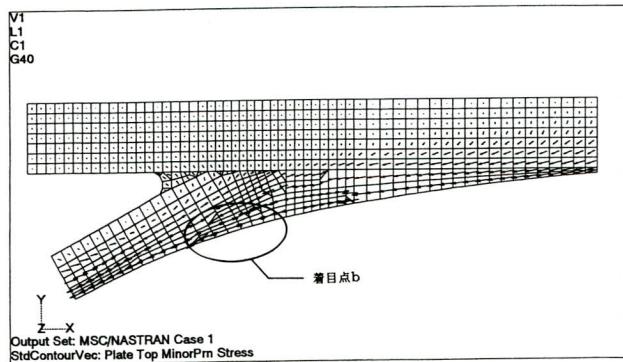
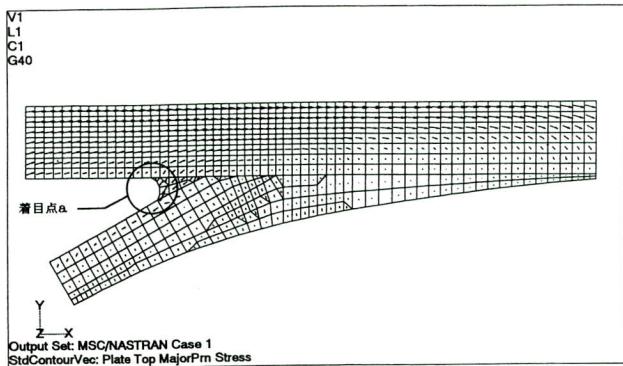


図-11 ウェブ主応力矢線図

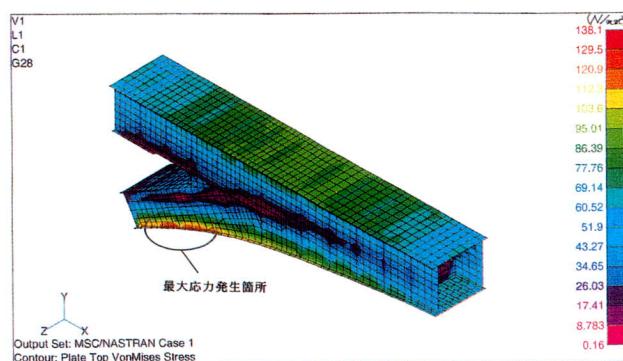


図-12 応力度マスター図（ミーゼスの相当応力度）

た寸法・形状としている。

さらに、設計に際しては支点部作用力に対して設地震時水平力による曲げおよび常時におけるゴム支承からの回転抵抗による曲げも考慮して安全性の確認を行っている。

## 5. あとがき

本工事は、いよいよ平成12年10月中より2渴水期にわたって、桟橋架設や大型機材を使用する大がかりな架設が始まる。

景観を考慮し、地域のシンボルともなりうる橋梁の設計

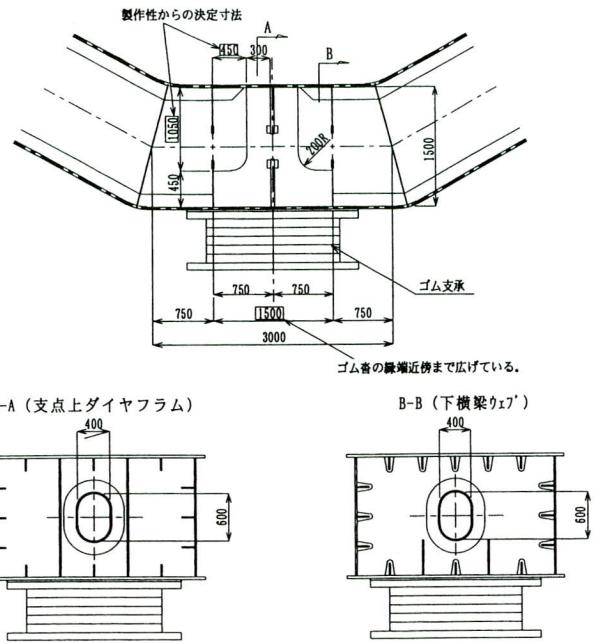


図-13 橋脚基部構造図

に着手できたことに対して大変に満足しています。

最後に、本工事の設計・施工にあたり、ご指導、ご協力していただいた日本道路公団関西支社、および京滋工事事務所の皆様、当JV構成会社の松尾橋梁（株）、日本橋梁（株）の関係各位に深く感謝の意を表します。

## <参考文献>

- 1) 川戸, 井上, 服部:灘川橋の設計報告, 東骨技報, No. 41 (1996)
- 2) 宮坂, 南莊, 浜田, 村田ほか:梅町橋梁（V脚ラーメン橋）の設計, 橋梁と基礎, 1990.10
- 3) 日本道路公団 関西支社 構造技術課: PC床版鋼2主桁橋の連続合成桁設計指針, 1999.9
- 4) 奥村, 石沢:薄板構造ラーメン隅角部の応力計算について, 土木学会論文報告集第153号, 1968.5
- 5) 中井, 福岡, 酒造, 明橋:鋼製ラーメン隅角部のShear lagと耐荷力に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol. 33A, 土木学会, pp.199-206 (1987.4)
- 6) 鈴木, 前野, 永谷, 井上:ゴム支承を用いた鋼箱桁支点部の補強設計法, 橋梁と基礎, 1999.11

2000.11.1 受付

# コンピュータグラフィックスを用いた橋梁の色選定に関する一考察

## A Study on the Bridge Color Selection Using Computer Graphics

鳥羽 勇造\* 稲田 純一\*\*  
Yuzou TOBA Jun-ichi WASADA

### Summary

Although many methods of selecting paint colors for steel bridges have been proposed, no particular method has become established so far because of both difficulties stemming from people's subjectivity and also because the selection requires special knowledge about colors. In our method, the appropriateness of bridge colors was examined with a photomontage that uses computer graphics to simulate the bridge painted in colors that were selected according to a theory for the harmony of colors. Hence, our study proposes a simplified procedure for color selection of medium- and small-bridges for which there is little time to select color.

キーワード：景観設計，橋梁塗装色，CG，色彩調和，景観図

### 1. まえがき

戦後復興のため、機能重視であった土木構造物に景観重視の機運が訪れたのは、生活に余裕が生まれ社会が安定した大阪万博の頃からである。その後、各自治体での美観条例の制定、歴史的町並みの保存運動などが次第に展開してきた。近年、橋梁建設においても、景観設計の概念が広く認識され、これを配慮した設計が多く見られるようになってきた。

橋梁景観を左右する大きな要素として造形と色彩（以下、単に色とする）があげられる。造形は機能的な要素が介在するため自由度に制約があるが、色は普遍的な法則がほとんどなく自由な選定が可能である。このため、色検討は楽しい反面、決定的な決め手がないため、難しく面倒な作業となっている。

人工物である橋梁はその色設計により、構造物の環境との融和、対比、明るさ、識別性、量感などを大きく変える。ロンドンテムズ川のブラックフライア橋はその名の通り黒色であったが投げ自殺者が多く、その後、薄緑色に塗り替えられた。その結果、自殺者は1/3以下になり「自殺名所」の汚名を返上したといわれている。色の選定は周囲の環境、住民の生活環境、強いては精神意識まで影響するほど重要であることを示す一例である。

橋梁色の選定に関しては多くの論文や手引きが発表されている。しかし、本格的な色検討の実施にはかなりの作業と色に関する知識や熟練が必要となる。本稿は色検討に多くの時間が割けない中小の橋梁を対象とし、主として主橋体の色決定作業をコンピュータグラフィックス（以下CGとする）による景観図を利用して作業を簡略化し、かつ実用しやすい形として提案するものである。

### 2. 橋梁塗装色選定の手順

#### （1）CGを用いた橋梁景観図とは

従来、景観図は背景となる景色も含め、その多くは手書きによって作成されていた。手書き景観図はその作成に専門的な技術が必要であり、高額な費用を掛けて専門会社に委託することが一般的である。近年、景観図を作成する手段として、CGの利用が一般化しつつある。高価なGWS（Graphic workstation）が必要であったCG作成も、パーソナルコンピュータの大容量・高速化、画像処理アプリケーションの普及、低価格化により、専門的な技術を持たない者でも作成できる環境が整ってきている。

CGを利用した景観図とは、三次元モデル（三次元モ

\* 千葉工場生産設計部次長

\*\*千葉工場生産設計部電算課

表一 橋梁塗装色の選定手順

作業項目		検討内容
1	色検討範囲の決定	色検討の対象とする構造部材を決定する。色検討は主桁・塔など主橋体決定後、この色との調和を考え付属物である高欄・ケーブル・照明柱を決定
2	色コンセプトの決定	対象とする橋梁の色選定思想（目立たせる、景観と調和、目立たせない）を決定
3	橋梁モデルの作成	パソコン上で三次元橋梁モデルを作成
4	視点位置の設定	架設する橋梁形式が最も美しい景観を与える視点（位置・方向）をCG上でシミュレート
5	現地撮影	上記条件に極力合致する撮影位置・角度で背景を撮影
6	CGによる 橋梁ベース作成	背景特性の把握、背景パターンへの単純化と色分析、景観色の調整、景観色の決定、撮影背景写真と三次元橋梁モデルの合成
7	第1次候補色の選定	景観色と色コンセプトよりより調和する候補色を塗装標準見本色から抽出したリストより選択
8	第2次候補色の選定	色選定に反映すべき条件を考慮し、カラーシミュレーションの対象とする数色を決定する
9	カラーシミュレーション	選定色をモデルに着色し、レンダリングなどの処理を実施
10	決定	決定グループによるアンケートの実施、最終決定
11	付属品の色選定	主桁との調和を考慮し、色選定の方針により決定

表二 色コンセプト区分と橋色イメージ

基本コンセプト				“橋色のイメージ”言葉
区分	色選定方針	適用構造物	イメージ	暖かい
目立たせる	・橋を景観の中心に据え、自然物とは異なる橋梁の個性、差異性を的確に表現しシンボル化する（強調） ・新しい景観の創生	ランドマークとなる橋梁 ダイナミックな橋梁 公園・観光地の橋	派手な、個性的な風格のあるダイナミック	丈夫、活力 温和、歓喜 快活、幸せ
	・橋梁と周辺環境とを融合し景勝との調和させる（融和） ・存在を否定も強調もしない	山岳、田園、海岸などの一般橋梁	自然な調和した静かな	新鮮、安息 沈静、清涼
目立たせない	・橋の存在が環境やおもむきを壊さないように環境の中に没入させ、橋梁の存在を隠す（消去）	歴史的町なみの橋 跨道橋 都市内の橋	柔軟なやさしい安全なおとなしい	

モデルを作成するソフト）で作成した橋梁モデル（以後モデルとする）からレンダリング（6.（1）参照）出力したものに背景写真を合成させたものをいう。CGを使用したフォトモンタージュである。橋梁景観図に三次元CGを使用する利点として以下があげられる。

- ①三次元データであるため、モデルをさまざまな視点から検討できる。
- ②橋体の色や季節や時間帯等の自然環境の変化を、素材、光源等の条件設定の変更で簡単に再現でき、ディスプレイ上でリアルタイムに確認できる。
- ③任意視点から撮影された背景写真に三次元モデルの視点を合わせることにより容易に合成できる。

## （2）塗装色検討の手順

本稿で提案するCGを用いた橋梁塗装色の選定手順とその検討内容を表一に示す。

## 3. 色コンセプトの決定

対象橋梁の色決定時の基本的な考え方、狙い（以下、色コンセプトとする）が明確でない場合、候補色が絞り込めず、最終案決定に意見集約できることとなる。色コンセプトの決定には構造物の造形や下部工、護岸を含めた総合的な景観設計との融合を考慮し、色がその一部を分担することを忘れてはならない。

色コンセプトは架設場所のシンボル性、個性、現代性、調和性、快適性などを考慮（表一参照）して“目立たせる”、“景観と調和”、“目立たせない”的いずれかに単純化し決定する。また、同時に色相（以下色用語は7.（1）参照）を絞り込むために“橋色のイメージ”言葉から“暖かい”または“クール”を選定する。

色コンセプトの決定にはその地域性の他、その橋梁形式が一つの要素となる。

- ①広がりを感じさせる形式は目立たせ、人工物と自然と

- の調和により、構造美を強調する場合が多い。
- ②逆に広がりがない形式は景観と調和または目立たせない場合が多い。
- ③小規模橋梁は背景の大きさに比し構造物が小さく、かつシンボルとしてより機能面での比重が重く目立たせない場合が多い。
- ④都市内では特に安全面からも目立たせないことが必要な場合が多い。
- ⑤架け替えの場合には旧橋のイメージを踏襲する場合がある。
- ⑥既設構造物がある場合には既設構造物と一連の物となって相乗効果をあげることを考慮する。
- などがあげられる。

構造物の造形と色は直接的な関係はないものの、造形との調和は橋の印象を強める働きがあり、形式美、機能美を始めとする造形作業の最後の仕上げとして重要である。一般的な構造形式に対するイメージを表-3に示す。例えば造形でシンボル化し、色でさらにシンボル性を高める場合と逆に色で落ちていた雰囲気を出す場合もあり、形式のイメージと色コンセプトが必ず一致することは限らない。その組み合わせは色選定の基本となるため決定には十分な検討が必要である。

表-3 橋梁形式とイメージ

	桁橋	トラス	アーチ橋	ラーメン橋	吊橋と斜張橋
山間部	△	○	○	○	○
田園	△	△	○	○	△
海浜部	△	△	○	○	△
都市・工業	×	×	×	×	×
跨道	×	×	×	×	×
構造イメージ	平面的 リズム感 人口的な	立体感 圧迫感 人工的な 重々しい 大きい 力強い	立体感 大きい 重々しい リズム感 自然な	平面的 リズム感 人工的な	立体感 リズム感 自然な 大きい

○：目立たせる場合が多い △：景観と調和 ×：目立たせない場合が多い

#### 4. 橋梁CGモデルの作成とその精度

当社で運用している鋼橋景観設計システムを中心に、CGを使用した景観図の作成過程とその要点について述べる。

##### (1) モデルの精度

三次元CGは構造物全てを忠実に再現して描画すると、システムに掛かる負荷が大きく、処理に時間がかかる。従って景観図の目的に合わせた精度でモデルを作成する

ことは後処理の効率面で重要である。

景観図作成の目的として、橋梁形式の選定、桁の色検討および高欄など付属物の形状・色検討があげられる。形式検討の場合、橋梁と周辺環境を含んだ遠景からの景観図になるため、形式の特徴を反映することが重要であり、高欄などの付属物を詳細に描画する必要はない。桁の色検討であれば遠景でもよいが、付属物の形状選定であれば、近景でより精密に描画しなければならない。このように景観図の目的は何か、それは遠景からの図なのか、それとも近景からの図なのかによって橋梁モデルに求める精度は変わってくる。何を重点的に捉え、何を省略するか、橋梁モデルの制作に入る前に十分検討しておく必要がある。

##### (2) モデルの作成

モデルの作成は、三次元CG用ソフトウェアを使用する。三次元CG用ソフトウェアは、ハイエンドからローエンドまで、さまざまなメーカーから発表されているが機能や操作法もソフトウェアごとにまちまちであり、得意とする適用分野もさまざまである。

当社の景観設計システムはモデルの作成にSolidWorks社の「SolidWorks2000」を使用している。本製品は三次元モデル、シェーディング(陰影づけ)、レンダリング機能を含めた統合三次元CADシステムであり、機械設計の分野では定評のあるミッドレンジCADである。その特徴はアセンブリ言語によりモデルのカスタマイズが可能なことで、景観設計システムでは、床版、主桁、横桁等を部品としてモデル化し、その部材モデルの寸法をパラメトリック化している。この機能により、部材寸法値を入力するだけで部材モデルが作成できる特徴がある。これら部材モデルをプラモデルの様に組み立てることにより、短時間でモデルを完成させることが可能である。モデル化の対象は橋梁の上部工だけでなく、下部工も含めて作成する。CG景観図において下部工は現実の背景写真と接点となる部分であり、このモデリングが稚拙だと景観図もリアルさに欠けてしまうので注意する必要がある。

#### 5. 背景写真の撮影

##### (1) 撮影視点の設定

CGによる景観検討は理想的には通行の多い場所、遠距離、近距離、見上げる位置、見下げる位置など、でき

距離、近距離、見上げる位置、見下げる位置など、できるだけ多くの視点が好ましい。中小橋梁を対象とし、景観検討を簡略化する本提案では、「橋が最も引き立つ場所」つまり、見栄えのいい場所（可能な限り）一点に絞り撮影視点として選定する。

## (2) 下部工施工位置の把握

視点の検討に入る前に、橋台や橋脚などの正確な施工位置をよく把握し、現場写真にその位置を書き込んでおく。その位置をポイントにすることで、視点の位置をイメージしやすくなる。

## (3) 橋梁形式ごとの引き立つ視点

桁橋ではベストな視点だと思っていても、同じ視点でアーチ橋を見ると迫力に欠けることがある。橋が引き立つ視点とは、その橋の特徴が際立つ視点でもある。しかし、橋の景観評価とは多分に主観的な要素が多く、定量的に評価することは難しい。視覚を刺激して人々の関心を引き起こす心理的な力として、この「誘引力」を表す概念に「サイコ・ベクトル」がよく使用される。

「サイコ・ベクトル」とは、「事物の形態がもつ心理的誘引力を示すものであり、その概略の形態を表すもの」と定義される<sup>8)</sup>。それは力の伝わり合う様子に重なり、一貫した力の流れが無理なくリズムを持って連続するサイコ・ベクトルは、見た目にも快く安定しているといわれる。橋梁形状にサイコ・ベクトルの概念を適用し、形式ごとにまとめると図-1のようになる。

①桁橋、トラス橋：水平方向に左右へ伸びる力が感じられ、これがこの形式の橋梁に横に広がる緊張感を与えており。トラス橋は多数の部材を組み立てた骨組が露出するので、桁橋のような単純な形状ではなく、やや無骨さを含んでいる。視点としては桁をやや斜め横から見通して、風景の広がりと左右に伸びる桁のベクトルを合わせるとよい。

②アーチ橋：この形式の特徴は、力の緊張をはらんだアーチ・リブが美しい弧を描いて、大スパンを一跨ぎにするところにある。アーチ・リブの付け根よりそれを見上げるような視点が、大きな円を描いて伸びるアーチ・リブを力強く見せる。この形式は上路式、中路式、下路式の3形式があるが、アーチ・リブと桁の位置関係によって引き立つ視点の高さが順に上に移動していく。渓谷のように深くV字形に落ち込んだ地形では、曲線を上に張り上げたアーチが地形と対比し、全

体として安定感を感じさせる絵となる。この場合は山の稜線とアーチのラインが見渡せる横視点からの遠景がよい。

③吊橋と斜張橋：この形式は垂直にそそり立って天に向かって伸びようとするベクトルを示す主塔に特徴がある。橋を見る人の視線はまず主塔に注がれるといつてもよい。吊橋では張り渡されたケーブルがリズミカルな連続性を見せて、視線を奥へ導き奥行きを感じさせてくれる。上に伸びる縦ベクトルと、左右に広がる横ベクトルのバランスがこの形式の美しさである。この形式では塔が林立すると中心がぼやけてしまう感があるので、ひとつの塔を中心に据えて、桁をやや縦に見通す。桁を眺める角度によって横の広がりを調整し、塔の上に伸びるベクトルとのバランスを取るのがよい。

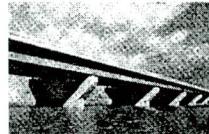
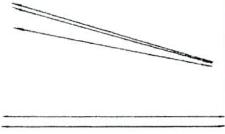
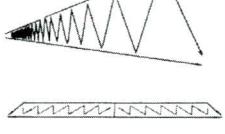
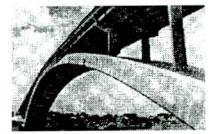
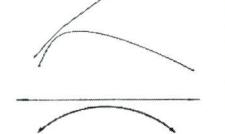
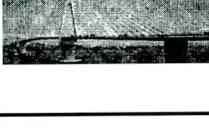
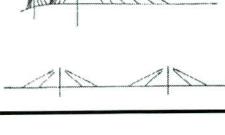
	形式	サイコ・ベクトル
桁橋		
トラス橋		
アーチ橋		
吊橋		
斜張橋		
ラーメン橋		

図-1 サイコベクトルによる橋梁形式の見え方

④ラーメン橋：この形式は下部構造と上部構造が一体となっているのが特徴であり、この両者の調和がこの形式の美しさを決定づけている。この形式のサイコ・ベクトルは骨組みの形そのもので、真横からの視点がその特徴をよく表してくれる。高速自動車道で幅員を跨いで交差するラーメン橋を見かけるが、運転者から見る視点が最もラーメン橋の特徴を表しているといえる。

サイコ・ベクトルは構造物の力学原理から導かれる機能美を評価する一手法であるが、橋梁形式によって最も見栄えのする視点は何かを考える上で参考になる。

これを参考に三次元CAD上でどの視点から眺めるのが最も良いか検討する。三次元モデルはCADのビュワー画面であらゆる視点をリアルタイムで確認することができる。相応しい視点が決ったなら、どの位置から眺めればCAD上で検討した視点になるのか地形図等で確認する。現場でその視点から撮影すれば、最適な背景写真が撮影できる。しかし、現場の状況によってはその地点に足を踏み入れることができないこともある。その場合は、極力その地点に近い撮影可能な場所から撮影することになる。

#### (4) 遠近法を考えた画面構成

被写体の立体感や遠近感を表現することを遠近法という。写真は平面上に表現されるものであり、当然、画面自体が平面的になりやすい。この場合、道や川などを縦に見通すような画面構成をすると、道や川は見る人の目を画面の奥へと導き、深い奥行きを表現できる。カメラのレンズ自体も機械的に遠近感を表現するが、深い奥行きや立体感を生み出すような画面構成を心がけるとよい。ただし奥行きに気を取られて、橋の特徴を損なうような画面構成になってはならない。

#### (5) 光（太陽光）

いうまでもなく光の特徴を知ることは、よい写真を撮る条件である。光源がカメラ側にある時を「順光」、斜めから当たっている時を「斜光」、被写体の背後にある時を「逆光」という（図-2 参照）。

①順光：被写体の正面からまんべんなく当たるため、隅々まで明るく、クリアな画面になる。しかし影ができる分のっぺりした印象を与えててしまう。

②斜光：被写体に陰影をつけるので立体感のある画面になり背景写真には最も適している。しかし、いい写真を撮ろうとするには、太陽が被写体にうまく陰影を

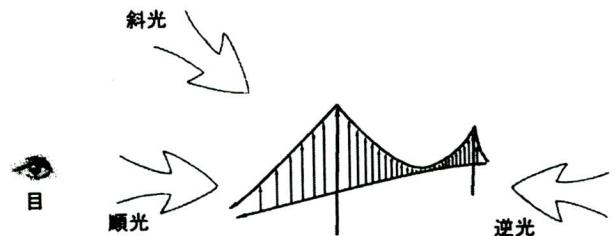


図-2 撮影視点と太陽光

与えてくれる位置に来るまで待たなければならない。四季の中では比較的長く斜光の位置を保ってくれる秋から春にかけて、時間は朝の10時頃と夕方の4時頃がよい。

③逆光：被写体が黒いシルエットになるため、それを生かした絵もあるが、色検討を目的とした景観図には向いていない。背景写真を撮影する時点では、被写体となるべき橋梁がまだないため、うっかり逆光で撮影してしまうことがあるので注意する。

背景写真は橋が実在する前にそれを予想して撮影位置や範囲を定めなければならないため、ある程度数多く撮っておくことが安全である。

写真の撮り方一般についての入門書や参考書を参考にして、風景写真についての知識を深めておくこともよい<sup>7)</sup>。

#### (6) 撮影機器と写真精度

##### 1) 撮影機器

最近、デジタルカメラの売り上げがフィルムカメラを上回り、個人ユースでの使用に止まらず、建設業を始め業務分野での普及も著しいものがある。デジタルカメラの特徴として以下があげられる。

①フィルムを介さずデジタル情報として画像が保存されるため、写したその場で画像を確認ができる。

②画像をパーソナルコンピュータに取り込んで簡単に加工・編集ができる。

景観図の背景写真はパーソナルコンピュータ上で加工することが前提なため、デジタルカメラでの撮影が好ましい。デジタルカメラは露出、ピント合わせ等、全自動のものが多く撮影自体は簡単である。ただ、フィルムカメラで風景写真を撮影する場合によく使われる広角レンズを搭載したものがまだ少なく、価格も高いという問題点もある。

##### 2) 写真精度

デジタルカメラで一番重要なのが画素数である。画素数とは、光を電気信号に変換するCCD（半導体受光

素子）の総数を指し、この数値が高いほどきめの細かい画像を撮影することができる。近頃、画素数300万画素のデジタルカメラが一般化し、A3サイズの大きさで印刷しても写真画質は見劣りしない。しかし画素数が高いと、保存される画像ファイルの容量が大きくなり、編集に使うパソコンに大きな負荷を掛けることとなる。A3サイズの景観図を作成する場合でも、200万画素のデジタルカメラで十分で、それ以上の画素数で撮影しても画像品質に大きな向上ではなく、むしろ編集の作業性を下げてしまう。

フィルムカメラで撮影した場合、写真をスキャナーで取り込み、デジタル画像に変換しなければならない。スキャナーの解像度は1インチ幅に印刷できる点（ドット）の数で表し、単位はdpiである。解像度を上げればより写真に近い品質のデジタル画像に変換できる。しかしこれもデジタルカメラと同じで、解像度を上げれば画像のファイル容量は大きくなり作業性も低下する。一般的な24bitカラー（1677万色）200dpiで取り込んだ画像であれば、十分景観図に使用できる画像品質と画像ファイルの容量が得られる。

## 6. 橋梁景観図の作成

### （1）橋梁モデルのレンダリング

#### 1) レンダリングとは

CGでは、三次元CADで作られたモデルはオブジェクト空間と呼ばれる三次元世界に置かれる。絵のように画面に描き出されたモノは、スクリーン空間と呼ばれる二次元世界に存在している。オブジェクト空間の対象物を眺める人の視点に向かってスクリーン空間に投影すると、スクリーン空間にオブジェクト空間の対象物が絵として焼き付けられる。背景写真に合成されるモデルの画像は、三次元で作られたモデルを二次元の画像に変換したものである（図-3参照）。

CGの種類には線描画と面描画の2つがある。線画は対象物を線で描いただけで、対象物の構造表現だけを目的としており、面描画は陰影つきの画面で実際の対象物を撮った写真に非常に近いものである。

背景図におけるモデルの描画とは、面描画によって写真に限りなく近い画像を作成することである。この面描画による精密描画のことを一般に「レンダリング」と呼ぶ。レンダリングとは（render=精密描画する）からき

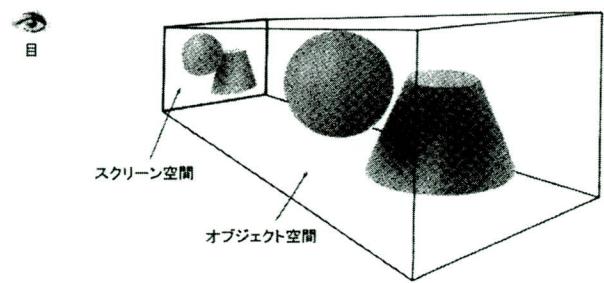


図-3 背景写真と三次元モデル（出典：参考文献（6））

たCG用語である。

#### 2) 光に対する素材特性

三次元CGにおいて、面の光に対する特性を決めるることは非常に重要である。モデルに光を照射した時、そのモデルがどのように見えるかに影響してくるからである。モデルが希望通りに見えるようにするには、単に面に色を割り当てるだけでなく、さまざまな素材の特性を設定しなければならない。面の光に対する特性は大きく2つに分類できる。光を反射するか、透過するかである。

橋梁を構成する素材とは、主構造を構成する鋼材であり、床版のコンクリート、舗装のアスファルト等である。いずれも透過性のないつや消しの、表面が粗い素材である。橋梁モデルでは主に反射についての設定を行うことになる。

#### 3) 素材面の反射

鏡や非常になめらかでつやのある素材では、光は面に当たって完全にはねかえる。これを「鏡面反射」という。これに対して、鋼材やプラスチックのように非常に細かな粒子レベルで面が粗い仕上げになっていると、光は予測不可能な方向へ反射する。岩の多い原野のような地面にボールを当てると、予測できない方向にボールが飛んでいくのと似ている。どの方向へも同じ確率で反射しているということができる。入射光の方向に関係なくどの方向へも同じ確率で反射することを「拡散反射」という。

鏡面反射も拡散反射も理想上の現象であり、どちらか一方だけを起こす反射面ではなく、全てはこの両方の反射を行っている。拡散反射が目立つ場合、マット（つや消し）面といい、鏡面反射が目立つ場合、その面は光沢があるという。CGにおける素材のプロパティには、その面がどのくらい拡散反射を起こすのか、どのくらい鏡面反射を起こすかを示す2つの値が含まれている。これを拡散反射係数、鏡面反射係数という。

橋梁モデルは、拡散反射に比重の掛かった面の設定になる。塗装された鋼材の表面は、プラスチック近い反射

係数に設定にすると上手に表現できる。

#### 4) シェーディング

CGによる橋梁景観図において、季節感や時間帯をうまく演出しリアルな情景を作成するには、シェーディングをいかに効果的に行うかで決まるといってよい。有効なシェーディングを得るには、対象物の光に対する特性と、光源の特性を知らなければならない。

CGにおける光源は、光を単一の色と光の強さを持つものとして単純化し、電球のように情景の中に実際に配置して照らし出すものを「ローカル光源」、自然界の太陽光のように無限に遠いところから照らし出すと仮定する光源を「遠隔光源」と呼ぶ。現実の情景における光源とは主に太陽であり、三次元CGにおいても遠隔光源を多く使い、特定の効果をねらう場合のみローカル光源を使うことになる。

もうひとつ、より現実的なシェーディングを行うには、間接光をどのようにシミュレートするかも問題である。間接光とは「あらゆる方向から到達する光」のことをいい、光源から直接到達するのではなく、情景内のいたるところにぶつかってきて1つの面に到達する光をいう。

間接光を厳密に再現することは非常に困難であり、一般には情景内のあらゆるモデル面に一定量の色と光の強さを単純に加算してシミュレートしている。間接光は少なすぎると、直接光を受けていない面が暗すぎてしまったり、逆に多すぎると白っぽい絵になってしまう。適量の間接光を設定することが重要である。以上、モデルの素材特性を設定し、光源を配置すればレンダリングの準備は整う。レンダリングは一度で求める結果が得られることはまずなく、結果を検討しながら光源の素材のパラメータを調整し、相応しい結果が得られるまでレンダリングを繰り返すことになる。

### (2) 背景写真の修整

河原の芝生や、自然の緑など撮影する季節によって色が変化する。また、撮影時間は前節で述べたような時間帯の撮影がベストだが、実際にその時間に現場に行けるとは限らないし、天候が良くない時もあるだろう。背景写真は、その撮影時における季節、時間、天候等によってかなり印象が違ったものになる。さらに自然界の条件だけでなく、撮影時のピンぼけや光の効果や露出を違えて、思ったような写真が撮れないこともある。

見栄えのいい景観図の作成が目的である。冬の河原の芝生や自然の緑などは、春や秋の色鮮やかな色相と彩度

の高い色が相応しい。これら背景写真の補正や変化は、画像処理ソフトを使用して修整する。背景写真を補正する項目として①ピンぼけ②画面の明るさ③空の色④草木の色があげられる。

以下は当社鋼橋景観設計システムで使用している画像処理ソフト「PhotoShop」について述べるが、他の画像処理ソフト一般についても同様である。

①については、画像にフィルタをかけることによって、ある程度修正する。ピンぼけによって滲んでしまった輪郭線は「シャープネス」フィルタによって、線を浮き上がらせることができる。しかしあまり「シャープネス」が強すぎると中間色が吹き払われて、粗い画像になってしまう。

②の補正については「明るさ」と「コントラスト」パラメータを操作する。ただし「明るさ」は色彩に与える影響が大きいため、安易に変更すると画像全体のイメージが変わってしまう恐れがある。画像全体の影響を最小限に抑えて、画像の明るさを補正するには、「トーブ」と呼ばれるグラフを利用する（「トーンカーブ」については、参考文献9）P239を参照）。

③、④については春、夏頃に撮影された写真から、空、草木の色を参考し、色調補正を行う。補正是色の3属性である「色相」、「彩度」、「明度」の各パラメータを操作する。草木などは、そこだけを別レイヤーとして、全体のカラーバランスを考える。

彩度も明度と同じ割合で変化させるとよいが、彩度の変化による色への影響はあまり大きくない。色相の操作は、色合いそのものを変化させることであり、慎重に操作すべきである。ポイントとしては属性を一度に操作するのではなく、まずは明度から操作し、次に彩度を、それでも好ましい色が得られない時は色相を操作する順序が良い。

空の場合は、その部分をそっくり切り取ってしまい、他の写真や市販されている素材集から空の部分を流用してはめ込んだ方が効果的な場合もある。この場合、背景写真の視点や光の具合を観察して、それにあった空の画像を利用する。視点の合わない空をはめ込むと、違和感の残る画像になるので注意を要する。また、一見、空に視点など関係ないように思えるが、雲や高度差による青みのグラデーション等によって、奥行きや視点を感じられる。

### (3) 合成

スクリーン空間に投影された橋梁のレンダリング画像は、背景写真の上に投影されただけであり、橋梁は背景から浮き上がっている。また背景写真は橋梁が完成する前に撮影されたものであるから、当然完成後の情景とは異なっている。橋台が据えられる場所の樹木等は取り扱われ、岸の護岸工事が行われることもある。

橋梁のレンダリング画像と背景写真を重ねただけでは写実的な景観図は完成しない。仮想的に作られた橋梁画像を現実の背景写真に違和感なく合成しなければならない。最近の画像処理ソフトはますます多機能化が進んでいるが、景観図の修整は基本的な機能を理解していれば誰にでも可能である。レイヤー機能を使って背景と橋梁とに絵を分けて順に重ねていく。レイヤーはアニメーションのセル画のように、上にくるレイヤーが下のレイヤーを隠してくれる（図-4 参照）。橋脚、橋台で地中に埋もれる部分や草木で覆われて隠れるような場所は、背景写真から画像の一部をレイヤー化して隠したいレイヤーの上に置けばよい。

河川改修や取りつけ道路など環境が大きく変わらるような場合は、その計画図などを参照して一から絵を起こさなければならない場合もある。修整と違い技量を要する作業なので、時間も作業量も多く取られてしまう。多大な労力を掛けて絵を起こしても、それだけの成果が上がると限らない。景観図にどれだけ反映させるかは、景観図の目的と、どれだけの工数を掛けるかの経済性を考え決めるべきである。

## 7. 色と配色

色理論はまさに多彩であり、色の表現のみをとっても幾つもの体系が存在する。これらの詳細は専門書によることとし、ここでは本報告に関連する理論についてのみ



修正前

抽出し概要を記する。

### (1) 色の表現とイメージ

#### 1) 色のものさし・表現方法

太陽光は電磁波であり、そのうち人の目で見える可視光線と言われる範囲は380～780nmの波長範囲である。可視光線には赤、橙、黄、緑、青、藍、青紫などの色の光が含まれている。物体の表面色が赤く見えるのは物体の表面が赤の光を反射し、他の光を吸収してしまうからであり、全ての光を反射する場合は白く見え、全てを吸収してしまうと黒く見える。従って物体の色は光源つまり自然光（太陽光）や人工光（白熱灯など）によって見え方が異なってくる。百貨店の店内で選んだ服の色が屋外の自然光のもとで違った色に見えるのはこのためである。このため、JISでは標準となる照明光が規定されている。

多くの色を正確に表し、利用するためには、色の物差しが必要であり、一定のルールに従った数値化による表現が決められている。物体の表面色を表す物差しは色知覚の心理的な三属性である明度、色相、彩度によって位置づけがなされる顔色系と言われる体系がよく使用される（このほかに波長によるXYZ表色系などがある）。JIS標準色票、修正マンセル色票がこれにあたる。マンセル色立体はアメリカの画家マンセルが創案した体系であり、JISにも取り入れられ広く普及している。図-5, 6にマンセル色立体とJIS色名（マンセル色相環）を示す。

①色相 (H)；赤み、黄みなどの色どりを特徴づける属性

（円環上で表示）であり、赤黄緑青紫5色をもとに中间色を挟んで示される。

②明度 (V)；色の明るさ、暗さを表す属性（縦軸で表示）

であり白から黒まで10分割（白はV=10、黒はV=0）で表わす。

③彩度 (C)；色の鮮やかさの度合いを表す属性（円環中心



修正後

図-4 背景写真の修整（護岸工事）

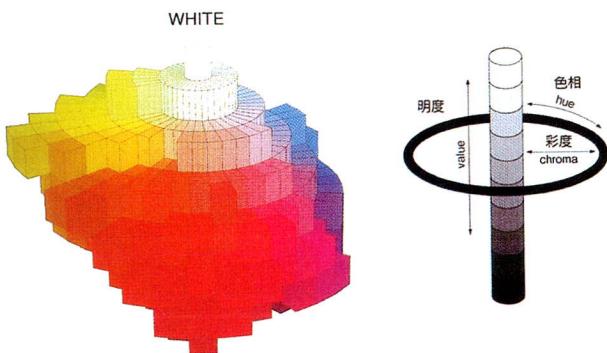


図-5 色の三属性による色立体の構造図

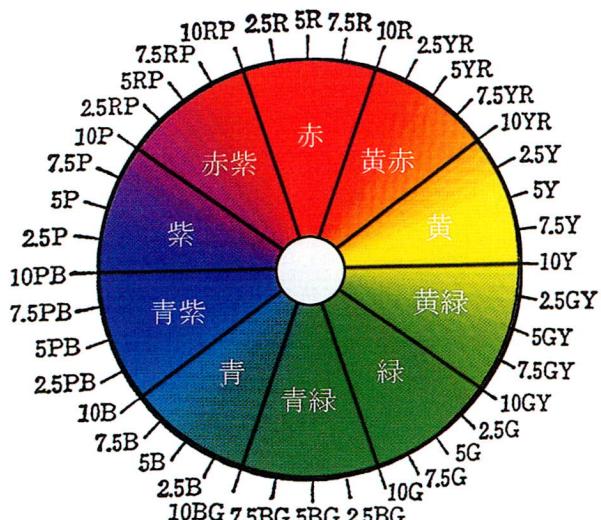


図-6 JIS系統名と色相環図

からの距離)であり、無彩色を0、鮮やかさを増すごとに高い数字で表す。マンセル体系の場合、色相によって最も彩度の高い値は異なる。

マンセル体系による色の表記法を以下に示す。

表記法の例：5R 4／14（「5アール、4の14」と読む。  
色相=5R、明度=4、彩度=14（5Rは最も赤らしい赤）

明度と彩度を組み合わせた複合概念を色調またはトーンと呼び、ごくうすい赤、明るい青紫のように表現する。図-7にトーン分類と記号の意味を示す。その色相で最も鮮やかな、つまり彩度の高い色を純色と呼びトーン記号はvvで表す。vvに白を少しづつ混ぜていくとlt,pl,vpとなり、これを「清明色トーン」、同様にvvに黒を混ぜたものがdp,dk,vdであり「暗清色トーン」と呼ぶ。また、vvに灰色を少しづつ混ぜたものがst,sf,dl/lg,mg,dgであり「濁色トーン」と呼ぶ（図-8参照）。

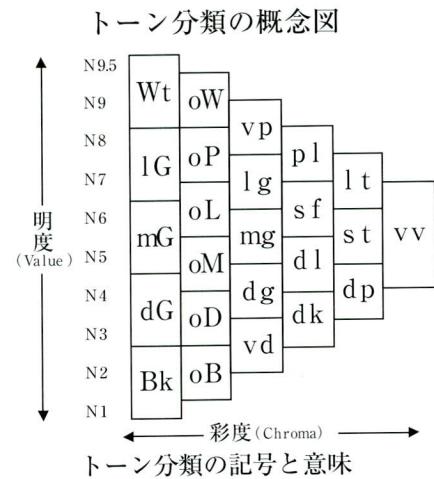


図-7 トーン図

## 2) 色のイメージ

黄や紫などを見て嫌な感じを受けたり、青、緑、白等を見て良い印象を受けたり色にはその色の持つイメージがある。また、色の明暗や彩度の高低によってもイメージは変わってくる。いわゆる色の好みの問題である。各色相とトーンのイメージを表-4に示す。“橋色のイメージ”言葉により色を絞る場合の参考となる。

色相のイメージ：

<暖冷感> 暖色—暖かい感じの色は赤・橙・黄  
寒色—寒い感じの色は青、緑青、緑

同一色相では高明度程（白に近い）涼しさを増し、低明度程（黒の近い）暖かさを増す。

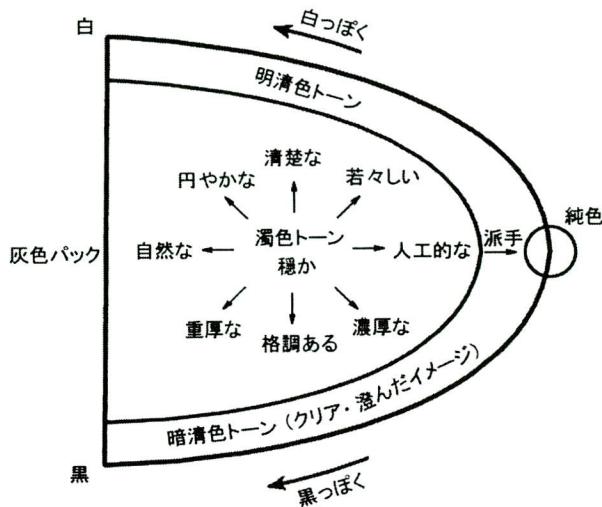


図-8 トーンのイメージ図

<進出と後退> 二色以上の配色をした場合、暖色、高明度の色は前に進出して見え、寒色は後退して見える。  
 <膨張と収縮> 暖色は膨張、寒色は収縮して見える。  
 <誘目性> 誘目性とは色が人を引きつける度合いであり、暖色は誘目性が高く、寒色は低い  
 <重量感> 暖色は重く、寒色は軽い 明るい色は軽く、暗い色は重たいイメージがある。

#### トーンのイメージ：

清色トーンは明るさがはっきりし、清らかなのでクリアで澄んだイメージがあり、濁色トーンは濁りみが感じられるため、穏かなイメージがある（図-8 参照）。

表-4 色相とトーンのイメージ

#### <色相>

色相	色のイメージ					
赤	暖かい	明るい	進出	膨張	誘目性 高い	丈夫な、活力 温か、歓喜 快活、幸福
橙						
黄						
緑	クール	暗い	後退	収縮	誘目性 低い	新鮮、安息 沈静、清涼
青						

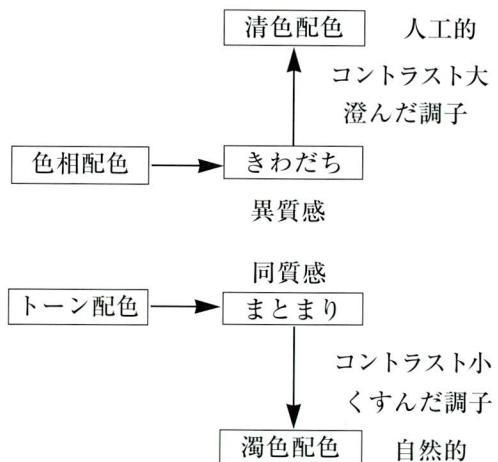
#### <トーン>

トーン	トーンイメージ	連想イメージ
v p	明るい	ソフトな、涼しい、淡泊な 柔らかい、軽い
p l		クリーントーン
l t		さえた、澄んだ、みずみずしい
l g	地味	静的な 柔らかな しぶい
s f		おとなしい、あっさりした 穏やかな、温か
d l		古風な、落ち着いた
s t	派手	丈夫な、メカニックな さえた、鮮やかな
v v		華やかな、生き生きした
d p	暗い	こくのある

## (2) 配色と調和

### 1) 配色の方法

背景色とは、橋周辺の背景の色をいい、背景色に対する橋染色の選定は色彩論における配色の調和問題に帰する。配色は色の3属性の組み合わせにより、人にさまざまな心理効果を与えるが、それには経験的にある程度ルール化された原理があり、それに従えば配色に秩序が得られ、色の矛盾や衝突が起こらないように調和させることができる。配色の要点は色、トーンなど共通な条件をまず揃えることであり、これにより配色全体に統一感やなじみ感をつくり出すことができる。遠くから眺め、よく見える色とそうでない色がある。この色の視認性の良否は、前章の背景写真の修正で述べたように、第1に背景との明度差の大小、第二に彩度差、第三に色相差が影響する。視認性を高めるにはこの順に差を大きく取ればよい。配色法によるイメージの変化を図-9に示す。



色相配色とトーン配色の組み合わせによるイメージ

	同一色	類似色	対比色
同一トーン	——	目立たせない	目立たせる <sup>*</sup>
類似トーン	目立たせない	調和	きわだち
対比トーン	調和	まとまり	どぎつい

\* 1 : 高彩度 (vv, lt, st, dp) の場合は明度差が強調される

太字は本稿の橋染色選定に使用した配色法

図-9 配色法によるイメージ

- ① 色相を基準とした配色：色相差が小さいほどなじみやすく、差が大きくなるにしたがって、明瞭性が高まる。配色の最も基本的で重要な要素である。
- ② 明度を基準とした配色：ギリシャ彫刻でも判るように濃淡は立体感を与え、形態や奥行きの認識に関わる。

明度差が大きい場合、明瞭性が高く、明度差が小さい場合、曖昧となる。配色上重要な要素である。

③彩度を基準とした配色：彩度差が大きくなるに従って対比は強調される。低彩度から中彩度の範囲の配色では彩度を統一し、適度の明度差をつけることによって調和が得られやすい。ただし、高中彩度同士で対比色相の配色ではお互いを強調し合う関係となる。

④トーンを基準とした配色：

<同一トーンによる色調和> なじみやすい色調和が得られる。

<類似トーンによる色調和> 縦横に隣り合うトーンの関係であり、やさしい調和が得られやすい。

<対比トーンによる色調和> 明度、彩度の対比関係にあるトーンの関係であり明瞭性が強く強調される。

⑤自然の法則による配色：自然界の観察から導かれた原理であり、色相環の二色間において色相黄に近い方の色明度を高くすると自然な調和が得られる。

⑥セパレーション効果：二色間の配色でその関係が曖昧であったり、対比が強すぎる場合にセパレーションカラー（分離色）を挿入することにより調和をはかる。教会のステンドグラスが良い例である。桁と地覆と背景は一種のセパレーション効果となる。コンクリート色のような無彩色は分離色として最適であり明快感が増す。

## 2) 配色による見え方の変化

背景と橋梁構造物のように、大きな面積比を持つ配色では面積効果により見え方に変化が生じるので注意が必要である。

①明度・彩度対比：背景色の明度または彩度が構造物よ

り高い場合、構造物の明度または彩度は実明度・彩度より低く見える。また、その逆もいえる（トーン差が加算される方向で見える）。

②色相対比：背景色の心理補色（ある色をしばらく見つめた後、白い紙などに目を転じた場合に残像として現れる色）が構造物にプラスされた色に見える（色相環で離れる方向に見える）。

③心理補色による彩度対比：背景色と構造物の色が同一トーンでも心理補色関係にあるときは構造物の彩度は強められる（対比効果が増す）。

この他、同じ色でもその面積の大小によって、色の見え方が変化することは色見本のみで色を指定する場合、注意が必要である。明るい色は大きい面積の方がより明るく、あざやかに感じられ、暗い色はその逆となる。これを色の面積効果という。

### 3) 色彩調和論

配色を個人の主觀に伴う好き嫌いなどの判断に頼らず、客觀的にとらえ普遍的原理を導きだそうとするのが色彩調和論である。

色彩調和論は古代ギリシャの時代から現代まで、さまざまな研究があるが、色を定量的に取り扱うムーン・スペンサーの提案方法が文献に多く紹介されている。理論の詳細は参考文献3) を参照されたい。本理論はマンセルの色相、明度、彩度から色を組み合わせる場合、快感を与える調和色と不快感を与える不調和色を定義している。調和色は同一調和（同じ色の調和）、類似調和（似た色の調和）、対比調和（反対色の調和）に区分される（図-10 参照）。

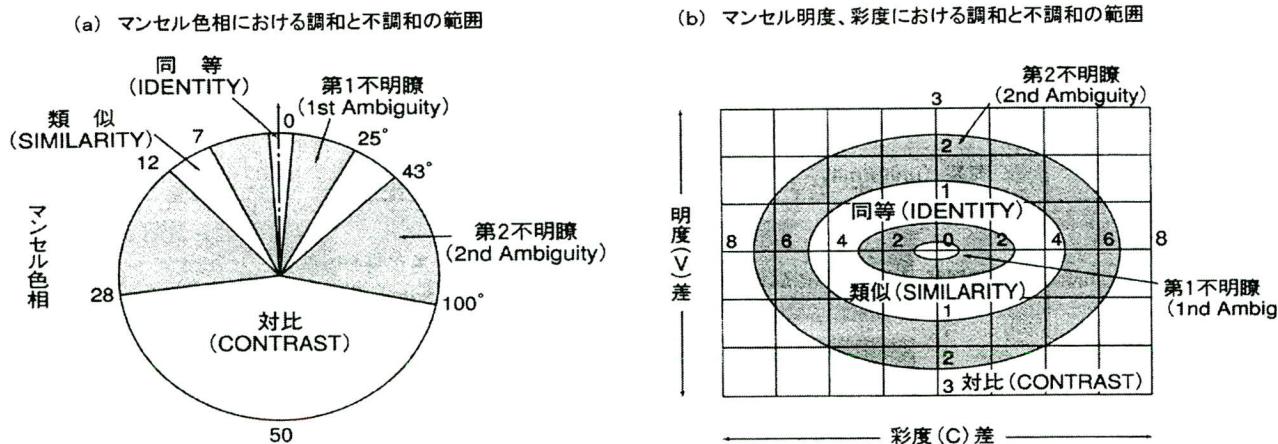


図-10 調和と不調和

### (3) 橋梁に使用される色

#### 1) 橋梁塗装色の選出

塗装色の選定には（社）日本塗装工業会塗装用標準色見本帳がよく参照される。本見本は塗装によく使用される色のうち、使用頻度が高く塗料で色出しができる色を選定し、標準色として343色（Y版）にまとめたものである。

中小橋梁ではこの色見本の標準色をそのまま橋梁色として採用するケースが多いため、本提案ではこの見本より選出用のカラーチャートを作成した。橋梁の塗装色として相応しくない無彩色、準無彩色、トーンのmg,dg,vg,dkおよび色相の紫系統を除き、122色を塗装候補色として抽出したものを表-5に示す。なお見本帳に付記されているマンセル値はあくまでも参考値であることは注意されたい。

#### 2) 塗装色間の調和

本カラーチャートにムーン・スペンサーの色彩調和論を適用し、カラーチャート塗装色34色について各色相間で調和する色のみを抽出し、対比調和色（以後、対比色とする）および類似調和色（以後、類似色とする）に区分したものを表-6に示す。

## 8. カラーシミュレーションによる色選定

### (1) 色選定の方針とその手順

#### 1) 候補色選定の方針

本稿の色選定に対する提案の特徴を以下に示す。

- ①背景写真は、橋梁が最も美しく見える視点で撮影したものを春、夏などの代表景観の色へパソコンソフトで修整したものを使用する。
- ②簡単な色コンセプトの選定により候補塗装色を絞り込む。
- ③検討に用いる色相はマンセル色相環、トーンは塗装見本に合わせた方式（図-7参照）に限定した。
- ④塗装色は塗装見本標準色を元に今回作成したカラーチャート（表-5参照）から選出する。
- ⑤背景を八つのパターンに区分し、パターンごとに背景の主調色（専有面積が大きいまたは強い印象を与えるなど支配的な色であり以下、景観色とする）を構成する背景対象物（山、空、田、町など）を特定すると共に景観色の標準を設定する（表-7参照）。
- ⑥配色法はムーン・スペンサーの調和論により景観色に

調和する色として対比調和色（以後、対比色とする）または類似調和色（以後、類似色とする）を色コンセプトにより選定する。

- ⑦上記選定を容易とするため、景観色に対する候補色が34色相から選定できるように表化する（表-6参照）。
- ⑧トーンは景観色のトーンに近いまたは離れたトーン、を対比色、類似色との組み合わせから選定する（表-8参照）。

#### 2) 選定の手順

候補色の一次候補は色彩調和の主調色となる景観色と色コンセプトを元に抽出する。抽出の手順を以下に示し、そのフローを図-11に示す。

- ①架橋地点の色修正された景観写真を表-7に当てはめ、背景対象物から主調色となる景観色を決定する。景観色は背景写真から合致する色相、明度およびトーンを色見本との対比で決めるが、標準景観色をそのまま使用してもよい。
- ②色相をマンセル色相環の40色相に当てはめる。
- ③色コンセプトにより景観色に対する類似色または対比色を抽出する。
- ④色コンセプトがない場合は地域嗜好色などを参考として抽出する。
- ⑤選定された塗装色の明度、トーンを景観色と変えた時は図-10(b)により調和色にあることを確認する。
- ⑥一次候補の決定。
- ⑦上記で抽出された色を地域嗜好色、維持管理面、橋梁構造での配慮事項を参考とし、数案に絞り込む（二次候補の決定）。
- ⑧選定された数案について景観図を作成する。
- ⑨出力景観図をもとにアンケート調査を行い決定する。

### (2) 景観色と調和色

景観色と調和色とは判りやすくいえば、人の頭髪の黒さは立派な景観色である。どうしよもなくつきまとう色だからである。どのような服を着るかが調和色の選定といえる。背景主調色の抽出つまり、背景色特徴の量的な把握には景観カラーメッシュ法が知られている。この方法は背景写真を $10 \times 10$ 程度のメッシュに切り、各メッシュで最大面積を占める対象の色を集計し、色の割合を把握し、景観色の代表色を把握する手法である。しかし都市は別として背景色は郊外では四季や天候によりその色は変化し、ある時点で撮影された写真はその瞬間的な背

表-5 橋梁塗装色カラーチャート

		こい(dp)	くすんだ(dI)	やわい(sf)	明るい灰(lg)	ごくうすい(vp)	うすい(pi)	明るい lt	原色名(st)	あざやかな(vv)
赤	2. 5 R	Y 02						70 T (9/2)		
	5. 0 R	Y 05	30 T (3/10)		70 L (7/6)		80 L (8/6)		40 V (4/12)	40 X (4/14)
	7. 5 R	Y 07	40 X (4/14)	40 P (4/8)		80 H (8/4)			50 V (5/12)	
	10. 0 R	Y 09		40 L (4/6)	60 L (6/6)	80 D (8/2)		70 T (7/10)	50 T (5/10)	50 X (5/14)
黄赤			こい(dp)	くすんだ(dI)	やわい(sf)	明るい灰(lg)	ごくうすい(vp)	うすい(pi)	明るい lt	原色名(st)
	2. 5 YR	Y 12		50 L (5/6)	70 L (7/6)	80 H (8/4)			70 T (7/10)	50 V (5/12)
	5. 0 YR	Y 15				80 F (8/3)				70 V (7/12)
	7. 5 YR	Y 17		50 P (5/8)	70 L (7/6)	80 H (8/4)	90 D (9/2)			70 X (7/14)
黄			こい(dp)	くすんだ(dI)	やわい(sf)	明るい灰(lg)	ごくうすい(vp)	うすい(pi)	明るい lt	原色名(st)
	2. 5 Y	Y 22	50 P (5/8)	50 H (5/4)	80 L (8/6)	80 D (8/2)	90 D (9/2)	85 H (8.5/4)		80 X (8/14)
	5. 0 Y	Y 25	60 P (6/8)		80 P (8/8)		90 D (9/2)			80 W (8/13)
	7. 5 Y	Y 27		60 L (6/6)		70 D (7/2)		85 H (8.5/4)		
黄緑					75 H (7.5/4)		85 D (8.5/2)	90 H (9/4)	85 P (8.5/8)	
	2. 5 GY	Y 32		50 L (5/6)		80 D (8/2)				70 T (7/10)
	5. 0 GY	Y 35		50 H (5/4)	80 H (8/4)	80 D (8/2)				70 V (7/12)
	7. 5 GY	Y 37		50 L (5/6)				80 L (8/6)		60 T (6/10)
緑					80 H (8/4)	80 D (8/2)				60 L (6/6)
	2. 5 G	Y 42		40 H (4/4)		70 D (7/2)				50 L (5/6)
	5. 0 G	Y 45	40 P (4/8)	50 H (5/4)	60 H (6/4)	80 D (8/2)			70 P (7/8)	50 T (5/10)
	10. 0 G	Y 49		50 H (5/4)	70 H (7/4)			80 H (8/4)	60 P (6/8)	40 P (4/8)
青緑			こい(dp)	くすんだ(dI)	やわい(sf)	明るい灰(lg)	ごくうすい(vp)	うすい(pi)	明るい lt	原色名(st)
	2. 5 BG	Y 52				70 D (7/2)				60 L (6/6)
	5. 0 BG	Y 55	30 L (3/6)			80 D (8/2)		80 H (8/4)	70 P (7/8)	50 P (5/8)
	7. 5 BG	Y 57		50 H (5/4)		70 D (7/2)				
青					60 H (6/4)	80 D (8/2)			70 L (7/6)	40 P (4/8)
	2. 5 B	Y 62						80 H (8/4)		50 P (5/8)
	5. 0 B	Y 65				80 D (8/2)		80 H (8/4)	70 L (7/6)	40 P (4/8)
	7. 5 B	Y 67		40 H (4/4)						
青紫					60 H (6/4)	80 D (8/2)			70 L (7/6)	50 T (5/10)
	2. 5 PB	Y 72				80 D (8/2)			70 L (7/6)	40 T (4/10)
	5. 0 PB	Y 75	30 P (3/8)			70 D (7/2)			70 L (7/6)	
	6. 25 PE	Y 76						80 H (8/4)		50 T (5/10)
赤紫			こい(dp)	くすんだ(dI)	やわい(sf)	明るい灰(lg)	ごくうすい(vp)	うすい(pi)	明るい lt	原色名(st)
	2. 5 RP	Y 92						80 H (8/4)		40 V (4/12)
	5. 0 RP	Y 95			70 H (7/4)					50 V (5/12)
	10. 0 RP	Y 99				70 H (7/4)				50 X (5/14)

↑ マンセル値は参考値

表-6 景観色と調和色

色相	Y マンセル換算	類似				対比																	
		1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
赤	02 2.5 R	10 R	2.5 YR	2.5 RP	5 RP	2.5 GY	5 GY	7.5 GY	10 GY	2.5 G	5 G	10 G	2.5 BG	5 BG	7.5 BG	10 BG	2.5 B	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB		
	05 5 R	2.5 YR	5 YR	5 RP		5 GY	7.5 GY	10 GY	2.5 G	5 G	10 G	2.5 BG	5 BG	7.5 BG	10 BG	2.5 B	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 PB		
	07 7.5 R	5 YR	7.5 YR		10 RP	2.5 R	10 GY	2.5 G	5 G	10 G	2.5 BG	5 BG	7.5 BG	10 BG	2.5 B	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 PB	6.25 PB		
	09 10 R	7.5 YR	10 YR	10 RP		2.5 R	10 GY	2.5 G	5 G	10 G	2.5 BG	5 BG	7.5 BG	10 BG	2.5 B	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 PB	6.25 PB		
黄赤	12 2.5 Y	10 YR	2.5 Y	2.5 R	5 R	2.5 G	5 G	10 G	2.5 BG	5 BG	5 BG	10 G	2.5 BG	5 BG	7.5 BG	10 BG	2.5 B	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB		
	15 5 YR	2.5 Y	5 Y	5 R	7.5 R	5 G	10 G	2.5 BG	5 BG	7.5 BG	10 BG	2.5 B	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	7.5 PB		
	17 7.5 YR	5 Y	7.5 Y	7.5 R	10 R	10 G	2.5 YR	10 G	2.5 BG	5 BG	7.5 BG	10 BG	2.5 B	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB		
	19 10 YR	7.5 Y	10 Y	10 R		2.5 YR	10 G	2.5 BG	5 BG	7.5 BG	10 BG	2.5 B	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	7.5 PB		
黄	22 2.5 Y	10 Y	2.5 GY	2.5 YR	5 YR	2.5 BG	5 BG	7.5 BG	10 BG	2.5 B	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 B	7.5 B	10 B	2.5 RP	
	25 5 Y	2.5 GY	5 GY	5 YR	7.5 Y	5 BG	7.5 BG	10 BG	2.5 B	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 B	7.5 B	10 B	2.5 RP		
	27 7.5 Y	5 GY	7.5 Y	7.5 YR	10 Y	7.5 BG	10 BG	2.5 B	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 B	7.5 B	10 B	2.5 RP			
	29 10 Y	7.5 GY	10 Y	10 GY	2.5 Y	10 BG	2.5 B	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 B	7.5 B	10 B	2.5 RP	5 RP	10 RP		
黄緑	32 2.5 GY	10 GY	2.5 G	2.5 Y	5 Y	2.5 B	5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 PB	6.25 PB	7.5 PB	7.5 PB				2.5 RP	5 RP	5 RP	10 RP	2.5 R	
	35 5 GY	2.5 G	5 G	5 G	7.5 G	5 Y	7.5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 PB	6.25 PB	7.5 PB	7.5 PB				2.5 RP	5 RP	10 RP	2.5 R	5 R	
	37 7.5 GY	5 G	7.5 G	7.5 Y	10 Y	7.5 B	7.5 B	10 B	2.5 PB	5 PB	6.25 PB	7.5 PB	7.5 PB				2.5 RP	5 RP	10 RP	2.5 R	5 R		
	39 10 GY	7.5 GY	10 G	10 Y	2.5 Y	10 B	2.5 PB	5 PB	6.25 PB	7.5 PB	7.5 PB										2.5 R	10 R	
緑	42 2.5 G	10 G	2.5 BG	2.5 GY	5 GY	2.5 PB	5 PB	6.25 PB	7.5 PB	7.5 PB				2.5 RP	5 RP	5 RP	10 RP	2.5 R	5 R	7.5 R	10 R	2.5 YR	
	45 5 G	2.5 BG	5 BG	5 GY	7.5 GY	2.5 PB	5 PB	6.25 PB	7.5 PB	7.5 PB				2.5 RP	5 RP	5 RP	10 RP	2.5 R	5 R	7.5 R	10 R	2.5 YR	
	49 10 G	7.5 BG	10 BG	10 GY	2.5 Y	10 G	2.5 PB	5 PB	6.25 PB	7.5 PB	7.5 PB										2.5 R	10 YR	
	52 2.5 BG	10 BG	2.5 B	2.5 G	5 G	2.5 PB	5 PB	6.25 PB	7.5 PB	7.5 PB				2.5 RP	5 RP	5 RP	10 RP	2.5 R	5 R	7.5 R	10 R	2.5 YR	
青緑	55 5 BG	2.5 B	5 B	5 G	7.5 B	5 G	10 G	2.5 BG	5 PB	6.25 PB	7.5 PB	7.5 PB									2.5 R	5 Y	
	57 7.5 BG	5 B	7.5 B	7.5 G	10 G	10 B	2.5 BG	5 PB	6.25 PB	7.5 PB	7.5 PB										2.5 Y	7.5 Y	
	59 10 BG	7.5 B	10 B	10 G	2.5 BG	5 PB	6.25 PB	7.5 PB	7.5 PB												2.5 Y	10 Y	
	62 2.5 B	10 B	2.5 PB	2.5 BG	5 BG	2.5 PB	5 PB	6.25 PB	7.5 PB	7.5 PB				10 RP	2.5 R	5 R	10 RP	2.5 R	5 R	7.5 R	10 R	2.5 YR	
青	65 5 B	2.5 PB	5 PB	5 BG	7.5 BG	10 BG	2.5 B	5 R	6.25 PB	7.5 PB	7.5 PB				10 RP	2.5 R	5 R	10 RP	2.5 R	5 R	7.5 R	10 R	2.5 YR
	67 7.5 B	5 PB	7.5 B	7.5 PB	10 B	10 G	2.5 BG	5 PB	6.25 PB	7.5 PB	7.5 PB				10 RP	2.5 R	5 R	10 RP	2.5 R	5 R	7.5 R	10 R	2.5 YR
	69 10 B	7.5 PB	10 B	10 G	2.5 B	10 BG	2.5 R	5 R	6.25 PB	7.5 PB	7.5 PB				10 RP	2.5 R	5 R	10 RP	2.5 R	5 R	7.5 Y	10 Y	2.5 YR
	72 2.5 PB					2.5 B	5 B	2.5 R	5 R	7.5 R	10 R	2.5 YR	5 YR	7.5 YR	10 YR	2.5 Y	5 Y	7.5 Y	10 Y	2.5 Y	5 Y	7.5 Y	
青紫	75 5 PB					5 B	7.5 B	5 R	7.5 R	10 R	2.5 YR	5 YR	7.5 YR	10 YR	2.5 Y	5 Y	7.5 Y	10 Y	2.5 Y	5 Y	7.5 Y	10 Y	
	77 6.3 PB					7.5 B	10 B	7.5 R	10 R	2.5 YR	5 YR	7.5 YR	10 YR	2.5 Y	5 Y	7.5 Y	10 Y	2.5 Y	5 Y	7.5 Y	10 Y		
	79 7.5 PB					10 B	7.5 R	10 R	2.5 YR	5 YR	7.5 YR	10 YR	2.5 Y	5 Y	7.5 Y	10 Y	2.5 Y	5 Y	7.5 Y	10 Y			
	92 2.5 RP	10 RP	2.5 R	2.5 R		2.5 Y	5 Y	7.5 Y	10 Y	2.5 GY	5 GY	7.5 GY	10 GY	2.5 G	5 G	7.5 GY	10 GY	2.5 G	5 G	7.5 GY	10 GY		
赤端	95 5 RP	2.5 R	5 R	10 R		2.5 RP	10 Y	2.5 Y	7.5 Y	7.5 GY	10 GY	2.5 G	5 G	7.5 GY	10 GY	2.5 G	5 G	7.5 GY	10 GY	2.5 G	5 G	7.5 GY	
	99 10 RP	7.5 R	10 R			2.5 RP	10 Y	2.5 Y	7.5 Y	7.5 GY	10 GY	2.5 G	5 G	7.5 GY	10 GY	2.5 G	5 G	7.5 GY	10 GY	2.5 G	5 G	7.5 GY	

景色でしかない。そこで背景を判りやすい形にパターン化し、背景対象物から代表的な景観色を定めてしまう方法が考えられる。この標準景観色はそのまま使用するか、あるいは明度、彩度を現地の代表色に合うように6.(2)で述べたように修整し、これを景観色とする方法である。

この方法は一見荒っぽいように考えられるが、前述のように撮影条件に多くの要素が絡みあった景観色を考えると、大きく真から外れるものでなく、十分実用的と考えられる。

市街地、住宅地、海岸、河川の水辺など背景の各代表パターン、背景対象物それに対する標準景観色、類似色(融合)および対比色(強調)を表-7に示す。

### (3) 色コンセプトからの抽出

色コンセプトに対して使用する色相(対比色、類似色の区分)および配色方法を表-8に示す。色コンセプトが①「目立たせる」の場合は、色相は対比色を選定し、トーンは景観色に対して明清色トーンから同一または隣接トーンを選定する。

②「景観との調和」の時は、色相は同一または類似色を選定し、トーンは景観色に対して濁色トーンから類似色の時は隣接トーンまたは離れたトーンから選ぶ。

同一色の時は離れたトーンから選定する。

③「目立たせない」の場合は、色相は同一色または類似

色を選定し、トーンは景観色に対し明るいトーンから類似色の時は同一トーン、同一色の時は近いトーンを採用する。

なお、上記において隣接トーン、離れたトーンはいずれも明度の変わった方向を選び出す。

選ばれた色は背景とトーン、色相に差があれば橋は背景になじみ、トーン、色相に差があれば橋は強調される。

色相は類似色または対比色に応じて標準景観色を使用する場合は表-7より、使用しない場合は表-6から選定する(この場合、表の左端を景観色に当てはめる)。上記で選ばれた色相、トーンを“橋色のイメージ”言葉から表-4を参照としてさらに絞り込む。

### (4) 候補色の絞込み

#### 1) 候補色選定に配慮する条件

色の物差しにより正確な色の伝達は可能であるが、現実に我々が見る色は前述のように環境色の影響や色の面積効果などいろいろな影響を受け、同じ色でも違って見えることがある。一方、配慮すべき事項が多すぎると候補色が絞り込めない。従って、全てを網羅するより幾つかを選定する方法を取ったほうが良い。ここでは多くの配慮すべき事項から以下に示す三つの要素を掲げる。この三つの要素の中から任意にいくつか参考となるものがいれば候補色を絞り込み二次候補色とする。

表-7 景観色と調和色

構成背景	山間部			田 園		海浜部	都市・工業	跨道橋
	山-山	山-空	山-河	空-山-田	空-河	空-海(湖)	空-町	空-道路
背景代表物	山	空	山	田	空河	海	町	空
景観パターン								
標準景観色 (主調景観色)	緑系 10G4/8 (s t) 常盤色(常緑樹の葉)に近い色	青系 10B7/6 (l t) スカイブルー(晴れた空)に近い色	緑系 10G4/8 (s t) 常盤色(常緑樹の葉)に近い色	黄緑系 7.5GY6/10 (l t) 若葉色(新鮮な木葉、草葉)に近い色	青系 5B7/6 (l t) 水色(自然の水の色の代表色)に近い色	青系 5B6/8 (l t) アン(緑みの青)に近い色	灰色系 2.5PB7/2 (l g) コンクリート色	—
近似40色相	10G	10B	10G	7.5GY	5B	5B	2.5PB	—
一般的な適合色(シンボル化などの時は別)	山、空と類似色を使用し自然環境との調和を図る。			田園と類似色を用いる穏やかな田園景観に溶けこませる。		空、海、川などと類似色を用いるがトーンを景観色よりやや上げ、鮮やかさをつける。		安全面から目立たせない色・桁下を明るく見せる色
類似色 (融和・消去)	G, G Y, B G系	B, P B, B G系	G, G Y, B G系	G, Y系	P B, B G系	P B, B G系	Y, Y R, G Y系	Y, Y R, G Y系
対比色 (目立ち)	R, P B, R P, Y R 系	R P, R, Y R, Y, G Y系	R, P B, R P, Y R 系	B, P B, R P, R 系	R P, R, Y R, Y, G Y系	R P, R, Y R, Y, G Y系	不適	不適

表-8 色コンセプトと配色

色コンセプト	配色方法		標準トーン (明度)	トーン イメージ	ポイント	代表色
	色相	トーン				
目立たせる	対比色	同一・類似トーン 清明色	v v, l t, s t, p l	際だつ 人工的な	明るい暖色系を使用し色相差をつけ、背景と明度差はあまり付けない	R, Y, Y R B, P B, R P, G Y
景観と調和	同一色 類似色	類似・対比トーン 清色トーン	p l, v p, l g, s f, d l, d p	まとまり 自然的な	色相差はつけず背景と明度差をつける	Y, B, G, G Y, P B, B G
目立たせない	同一色 類似色	類似トーン 同一トーン 明度の高いトーン	l g, v p, p l	溶け込む 穏やかな	背景と色相差、明度差をつけない	Y, R, G, G Y, P B, B G, Y R

## 2) 地域嗜好色

色嗜好には自然環境、風土環境による地域差があり、これは最も無意識的性格といわれている。これは地球の緯度差により、太陽光の主波長が異なり、色眼鏡をかけたように物の色の見え方に差が出てくるのが原因といわれる。

特に主たる色コンセプトを持たない場合、この地域嗜好色を参考とした類似色の採用が無難と考える。表-9は参考文献2)を参考とし、よく使用される橋梁色を当てはめたものである。欧米の都市などでは地域内全体が条例などで色統一が計られているケースが多い。日本に

おいては個々の色検討がなされても、福島県のエリアカラーなどの例はあるものの地域全体での統一といったケースは非常に少ない。

## 3) 橋梁構造と色の関連

橋梁構造と色の関係は色コンセプトの項で述べた橋梁形式以外にも以下の配慮が考えられる。

- ①開放的な架橋地点：径間数の多い橋では高明度域の色を用いると効果的。
- ②桁高が低い場合：低明度域の色を用いると引き締まった感じが出る。
- ③ルートとして色の傾向を統一する場合もある。

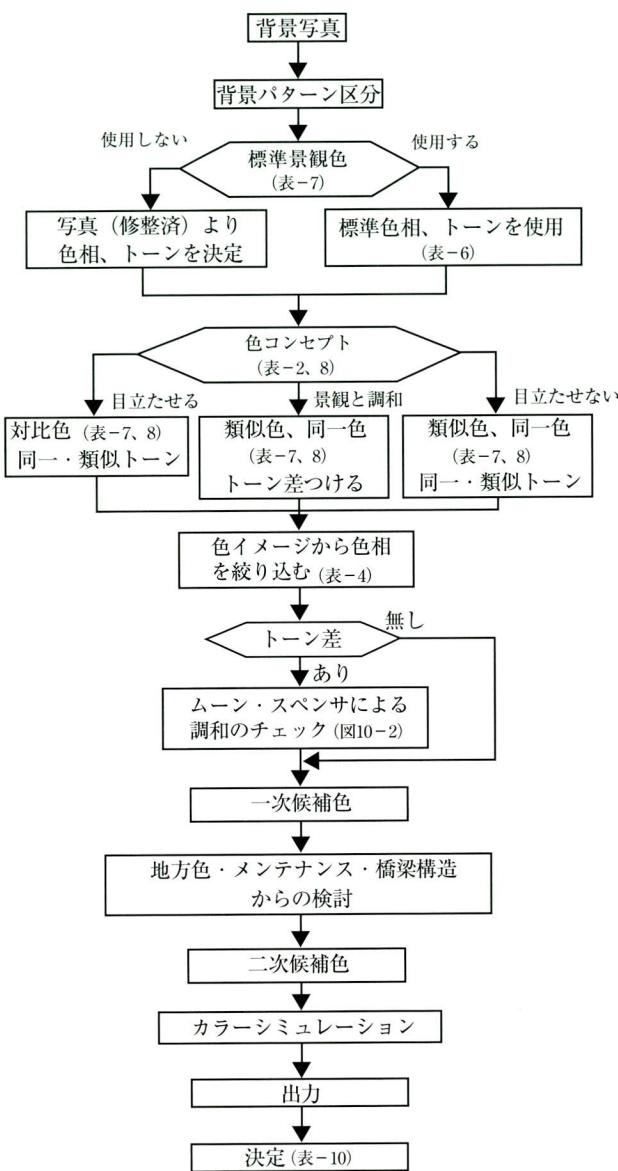


図-11 候補色の抽出手順

表-9 地域嗜好色

地区	嗜好色の傾向	使用トーン	嗜好色
北海道	道東(太平洋側)	濁、寒、暗	d l, mg B, PB
道	道南(日本海側)	清、寒、暗	d p, dk B, BG
東北	東(太平洋側)	清、寒、暗	d p, dk B, BG
	西(日本海側)	濁、寒、暗	B, BG, G
関東	—	清、寒、暗	d l, mg B, BG, G, YG
中部	—	清、暖、明	v v, lt, pl, vp R, YR, Y
山陰	—	濁、暖、明	lg, sf, st R, YR, Y
近畿	—	清、暖、明	v v, lt, pl, vp R, YR, Y
南日本	山陽、四国、九州	清、暖、明	v v, lt, pl, vp R, YR, Y
沖縄	—	清、暖、明	v v, lt, pl, vp R, YR

濁:濁色系(地味好み) 寒:寒色系(涼しい好み) 暗:暗い好み  
 清:清色系(派手好み) 暖:暖色系(暖かい好み) 明:明るい好み

④張り出しが大きい床版の桁は、日光のあたらない面が暗くなるのを防ぐため明度を上げるとよい。

⑤下路トラス・アーチなどで橋長が長い場合は目立つ色とすると走行車に目障りとなる。

#### 4) 維持管理

維持管理の面では、初期の色相を長期に渡り維持できるよう耐久性の有る色相および多少の汚れや白亜化、変褪色などの目立たない色相の選定が経済性の面から好ましい。

<汚れ> 都市型汚れは白、黄系で目立ち、濃赤、青が目立たない。一般に淡色系(明度高く、彩度低い色)は目立たない。

<耐黒変性> 汚染した河川、港湾などから発生する硫化水素などの硫黄化合物の蒸気に対する抵抗性である。耐黒変性はオレンジ、黄、クリーム、ライトグリーン系はやや劣る。

<変色・退色> 変色とは色相、彩度、明度のどれかが変化すること、退色とは彩度が小さくなり、明度が上がることを言う。色相面からの傾向として暖色は寒色、無彩色に比べ変退色しやすく、トーン面からは淡色系が変退色しやすい。

①赤色系は一般に変退色しやすいが濃色よりも淡色の方が変褪色し易い(赤系は価格も高い)。

②黄色系は青、緑系に比べるとやや変褪色する。

③青・緑色系は色の変化は目立たない。

④濃色よりも淡色の方が色の変化が少ない。

⑤灰色系の変化は少ない。

これら上塗塗料の耐久性は、顔料の選択によりかなり変化し避けられるため一概にはいえないが、できれば避けたほうが無難である。

## 9. 調和の評価(モニタリング)

色論から選定された配色は目安であり、最終的には人間の主觀による評価が必要となる。評価者としては設計者、計画者、専門家などが参画したアンケート評価による。評価者には可能であれば、一般大衆(付近住民)の意見も含めると良い。特に女性の方が反応は強い傾向がある。なお、評価者には色コンセプトをあらかじめ示しておく必要がある。アンケート項目の例を表-10に示す。アンケート結果を元に意見集約を実施する。

このような色の心理効果を多面的に分析するにはSD法があり、景観設計の評価によく使用される。SD法は対

になった言葉（例えば「上品な」・「下品な」）を抽出し、その尺度のどの位置になるかを印象的に決定させる方法である。イメージにデメリット語を使うことによる曖昧さ（0 ポイントがあると曖昧さへの逃げ込み傾向がでやすい）の発生、同義語が多い、価値観のはっきりした語に支配されやすいなどの問題があり、本稿では用いなかった。

表-10 アンケートによる評価（橋体）の例

色コンセプト	①目立たせる ②景観と調和 ③目立たせない			
橋色のイメージ言葉	①暖かい ②クール			
評価項目	評価			
配点	2	1	0	
美しい	良い	やや良い	あわない	
色どり	良い	やや良い	あわない	
明るさ	良い	やや良い	あわない	
上品な	良い	やや良い	あわない	
落ち着いた	良い	やや良い	あわない	
周囲の景観と違和感はない	良い	やや良い	あわない	
橋梁形式との調和	良い	やや良い	あわない	
て 色 い る か セ ブ ト に あ つ	① 派手な・個性的な・ 風格のある・ダイナ ミック ② 自然な・調和した・ 静かな ③ 柔和な・やさしい・ 安全な・おとなしい	的確  的確  的確	ほぼ 当てはまる ほぼ 当てはまる ほぼ 当てはまる	不適格  不適格  不適格
総合点				
総合的によい	良い	やや良い	あわない	

## 10. 付属品

付属品の色検討は主橋体との調和が大切であり、主橋体と重複せず、不足するものを補うカラーバランスの形成が要求される。付属品の中で特に高欄、照明柱は景観上の見栄えにおおいに影響し、橋本体とトーン差をつけることがコントラストの面から好ましい。これにより主橋体の構造美が一層明確となる。その一方、配水管などはトーン差をなくし、目立たせない工夫が必要である。短区間の橋梁では安全の見地から、高欄、照明柱などは明るい色が好ましく、橋長の大きい橋は照明柱を空の色に溶け込みますなど、走行中の圧迫感の軽減を計っている例が多い。

## 11. CGによるシミュレーションの問題点

CGによるカラーシミュレーションはディスプレイ上ではRGBの三原色により数値表現される。ディスプレイではマンセル表色系では表現できないため、RGB数値にプログラムで変換することとなる。この場合、正しく変

換できてもディスプレイ上での表示色、さらに出力したプリント色に正確な色がないことがある。背景写真をスキャナー入力した場合も色変化が発生する。このような誤差は使用する機器の選定によってある程度は押さえられるが、最終的な微調整はRGB数値の操作で調整するしかない。

## 12. あとがき

東京都の公営バスは過去5回、車体の塗り替えを行っている。その中で昭和55年に採用した黄色いバスは品がない、信号の色と紛らわしい、都市景観と違和感があるなど、多くの不評をかい僅か2年でクリームに緑の帯をつけた現在の色に至っている（最近は広告バスが出始めている）。色選定の難しさ・大切さの一例である。本稿では多くの支配要素が多い色検討にかなりの割り切りと独断を持ちこんだが、色論はもともと曖昧さが存在する学問である。基本の原理は守っており、最善の配色と言うことになると問題は残るが大きく的には外れてはいないと確信する。今後、これら手順のシート化と景観設計システムとの統合を図り、さらに利便性を高める考えである。

## 〈参考文献〉

- 1) 日本塗料工業会：「塗装用標準色見本帳（Y版）」，1999年
- 2) 佐藤邦夫：「風土色と嗜好色」，青娥書房，1998年
- 3) 大井義男 他：「色」，日本色研事業，2000年
- 4) 日本規格協会：「JISハンドブック色 1999」
- 5) 日本橋梁建設協会：景観マニュアル「橋と景観」
- 6) ANDREWS.GLASSNER：「最新3次元コンピュータグラフィックス」，(株)アスキー，1991年
- 7) 三輪 薫：「風景写真の撮り方」，成美堂出版(株)，1999年
- 8) 山本 宏：「橋梁美学」，森北出版(株)，1980年
- 9) エクスマメディア：「Photoshop 5.0 for Windows98 MENU MASTER」，1998年

2000.11.1 受付

# かけ違いを有する橋梁の緊急復旧工事（熊ヶ根橋）

## Emergency Repair Work on a Bridge with a Crossing Section of Plate Girders (Kumagane Bridge)

沓掛 靖夫<sup>\*1</sup> 渡辺 智三<sup>\*2</sup> 井上 泰輔<sup>\*3</sup>  
Yasuo Kutsukake Tomozou Watanabe Taisuke Inoue

### Summary

The bridge in this study is a steel, curved-chord, Pratt truss bridge of a deck type with suspended side-spans. It was constructed in 1953 to carry Route 48 over the Hirose River. The crossing sections of the plate girder in the side spans and the stiffeners at the intersections of stringers and the floor system had many cracks. Furthermore, the supports for the plate girders on each abutment side were deformed due to buckling and rupture. Therefore, the bridge had an inspection that included penetrating-defect-detecting tests. Based on the inspection results, the bridge had emergency repair work done that included mending cracks in both the main girder and the stringers, reinforcing the main girder and the stringers, replacing eight, old bearing-shoes that were not functioning, and installing devices that help to support the bridge. This paper describes the inspection results, the selection of the reinforcing method, and outlines the maintenance work mentioned above.

キーワード：上路式曲弦プラットトラス，腐食，亀裂

### 1. まえがき

本橋は、一級河川の広瀬川を国道48号線が跨ぐ位置に、架設され、昭和28年に竣工した掛け違いを有する鋼上路式曲弦プラットトラス橋である。

全体構造は（図-1）に示す。

竣工当時、設計荷重は、1等橋（TL-13）として解析されている。約46年間供用してきたが、本橋には検査路が無く、今までに詳細に目視点検を行えなかった。アーチ系、トラス系の橋梁点検は、架橋環境から特に遅れが

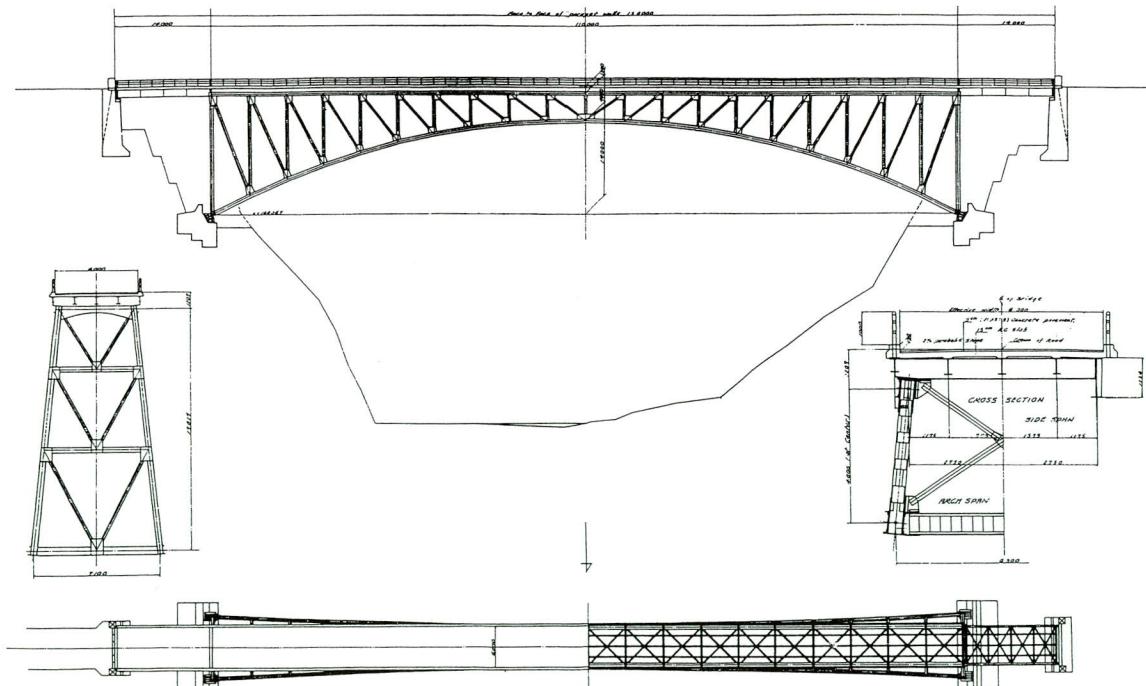


図-1 全体一般図

\*1技術本部保全技術室長

\*2技術本部工事部工事課長

\*3技術本部工事部工事課

ちである。熊ヶ根橋もその一例で、損傷の要因は腐食と言っても過言ではない。

確かに古い設計仕様で、設計荷重も現状の交通状況に合わないところもあるが、損傷の起点が全て腐食に端を発しており、設計上、構造上の問題は2次の要因である。今回、床版の損傷が著しいことから床版補修工事が発注され、吊り足場を組んだときに、掛け違い支点部及びR部、縦桁と床組の交差部の補剛材に多数の亀裂、さらに側径間の鉄桁端支点部に腐食座屈、破断による変形が発見された。

橋梁詳細点検（浸透探傷試験を含む）を実施し、各部の現状把握を行い、緊急に補修を必要とする損傷箇所、欠損部の修復など、交通解放下で、主に橋梁支点部の短期補修を行ったもので、設計上の補強はされていない。

## 2. 現橋概要

位 置 宮城県仙台市青葉区熊ヶ根地内

路線名 一般国道48号

橋 格 1等橋 (TL-13)

橋 長 138.0m

支 間 13.30 + 110.0 + 13.30m

幅 員 有効幅員6.90m (0.6+6.0+0.30)

形 式 鋼上路式曲弦プラットトラス

(リベット構造) + 単純非合成鉄桁

(溶接構造) 2連

床 版 RC床版

架設年度 昭和29年11月（供用開始）

準拠図書 内務省；鋼道路橋設計示方書（案）昭和14

表-1 補修履歴

年 度	補 修 内 容
昭和41年度	直轄管理移行（宮城県建造）
昭和46年度	3径間連続トラス形式の歩道橋を添架
昭和50、51年度	I型鋼格子床版に全面打替え (TL-20設計)
平成6年度	橋台縁端拡幅 橋台移動制限装置設置 伸縮装置取替 アスファルト舗装打替
平成9年度	道路センター部の床版部分打替
平成11年度	道路センター部損傷床版部分打替 側径間主桁支点部補修 側径間支承取替 トラス部の損傷縦桁応急補修

年2月

設計荷重；T-13荷重（1等橋）

歩道橋添架 昭和46年

現橋の幅員構成は有効幅員が6.0mと狭く、大型車両が普通速度で走行する事は困難であり、橋梁区間に上り線、下り線に大型車両が同時に走った場合は、徐行した状態でやっとすれ違っている。

掛け違い部の伸縮装置に段差が生じており、大型車両の走行時に、より一層の衝撃が掛け違い部に加わっている。

交通量は平成9年度調査によると、24hrで16,590台、大型車両は4,206台、大型車両の混入率は25.4%が多い（補修履歴は表-1参照）。

## 3. 現橋調査結果

側径間の鉄桁端支点部は腹板の座屈・腐食、下フランジの湾曲変形・主桁下フランジ破断を発見、形状を（写真-1）に示す。掛け違い部の円弧部に亀裂を発見、支承部は錆付き、R部が摩耗し水平になり、サイドプロッ



写真-1 鉄桁端支点部



写真-2 掛け違い部支点

浸透探査検査箇所

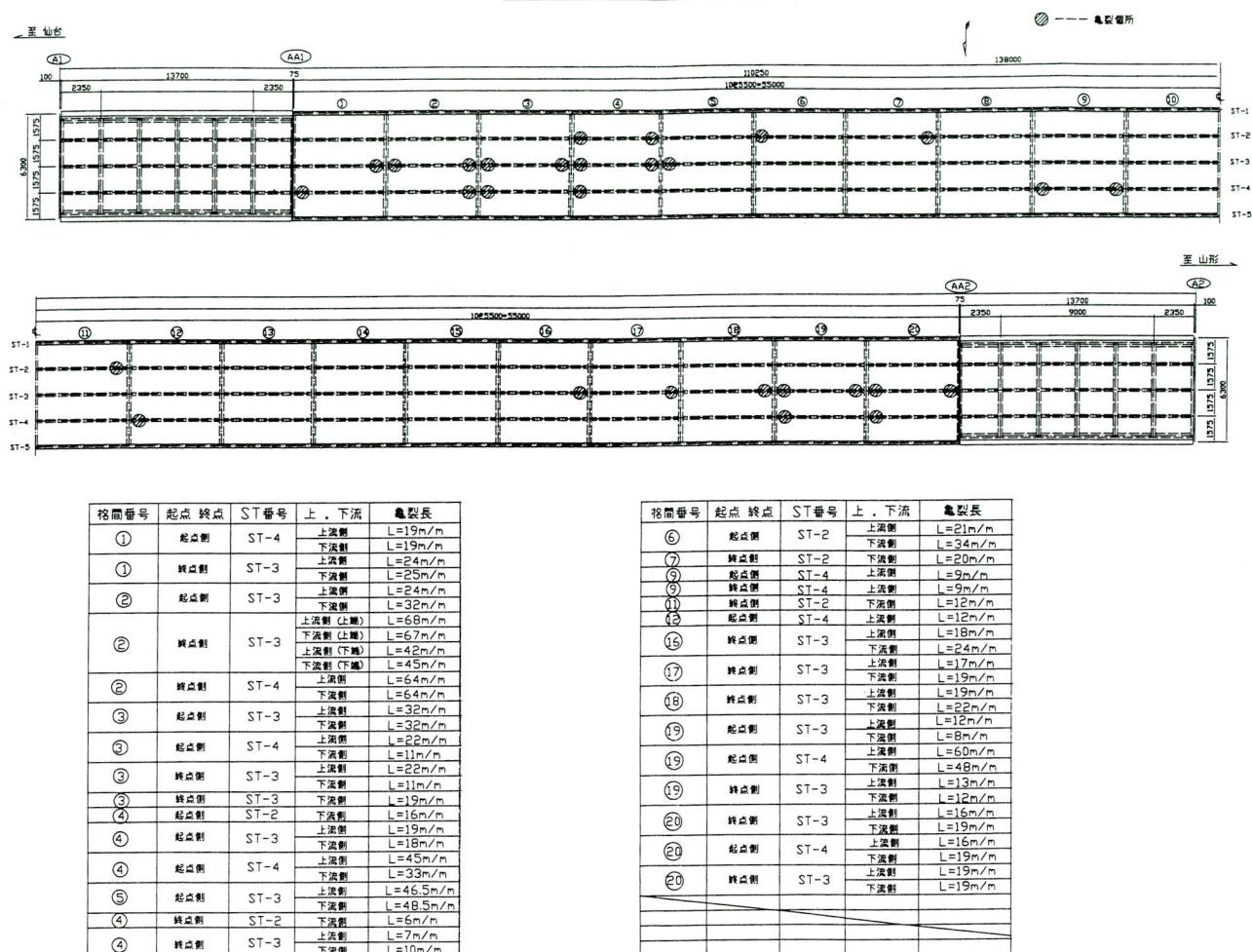


図-2 縦桁損傷図

クの割れ、変形、支間中央側に約60mm芯ずれを起こしていた状況を（写真-2）に示した。

本橋が位置する国道48号は交通量が多く、昭和50年のグレーチング床版打ち替え時、上下線を片側規制により

施工した経緯があり、幅員中央に床版打ち継ぎ目がある。幅員中央の床版打ち継ぎ目からの漏水により鋼材の塗膜損傷が激しく、鋼材腐食に至っており、その腐食部から亀裂が発生している。したがって、亀裂箇所は中間縦桁

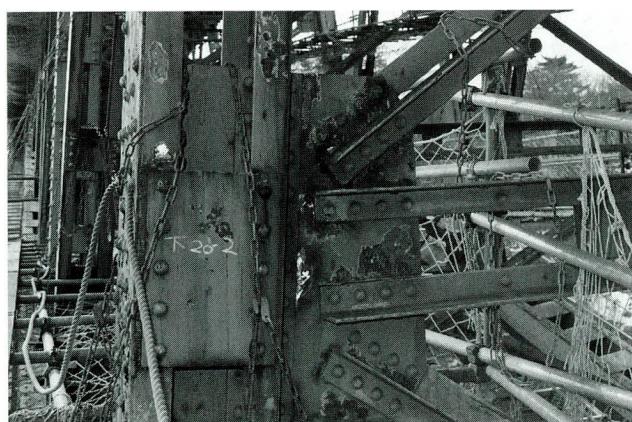


写真-3



写真-4

(図-2)に偏っている。アーチ部本体の調査結果、アーチ支点部は土砂が堆積し常時湿潤状態にあり、支承、横構ガセットは土砂に埋まれ、腐食が激しく、減厚しており、亀裂は1カ所見られた。その他中間格点部(垂直材と対傾構及び横桁)のガセット(写真-3)、アーチ部の横構は全体的に腐食が著しく(写真-4)、減厚し、発錆していた。架設地は積雪の多い箇所であり、アーチ上面、ガセット水平面等のように滯水する箇所は殆ど塗膜が劣化し、鋼材表面が露出し、発錆していた。

塗装を塗り替え施工した形跡が不明であり、竣工時塗装したままとすると約46年間経過している。

#### 4. 補強工法の選定

##### (1) 現構造

掛け違い部の円弧始点はソールプレートのエッジから始まり、近傍に垂直ステイフナーが配置されている構造である。鉄骨を受けている横梁構造は箱桁形状で、支承をその箱桁上に配置している。支承構造は線支承で受け台の形状から特殊な形状である。支承と鉄骨は鍛び付き、支承の機能は完全に喪失しており、約60mm支間中央側に芯ずれを起こしている。支承は同形式で、高さは現橋に合わせ調整し、製作、設置することとした。掛け違い支点部補強方法としては、従来いろいろな方法が提案されているが、最近では阪神高速道路公団方式がR部の応力集中を少なくし、且つ活荷重積載増に対して補強出来る構造として採用されているのが一般的である。ただし、既設構造によっては必ずしもこの方式が採用できない場合もあるが、基本的な主旨に則り、有効となるような補強構造を検討する必要があった。縦桁の連結方法は横桁に単せんでリベットで連結している。

##### (2) 補強構造

###### 1) 掛け違い部補強

掛け違い部の支点部の下フランジと腹板の交差部が複雑に座屈、破断しており、円弧部の亀裂を含め、腹板を水平に切断し、損傷部を撤去し、新規フランジ材を現場溶接する方法を採用した。現構造と補強構造は(図-2)に示す。

###### 2) 端支点部補強

端支点部は下フランジと腹板の交差部が座屈、破断、損傷している部分を全て切断撤去し、補強材を腹板に両

側からあて、切断した腹板の補強構造を(図-3)に示す。補強後は切欠き構造となるが、応力上問題が無いように設計し、断面を決定した。

###### 3) 縦桁補強

アーチ部の縦桁損傷は、腐食部からの亀裂であり、上フランジ側からの亀裂が殆どであった。1カ所のみ上下フランジ側からの亀裂であり、調査時亀裂が息をしている状況であり、緊急に応急補修する必要があった。補修手順として、縦桁を受けておく必要があり、横桁の下フランジにH鋼を連結し、その箇所よりブレケットを張り出させ、縦桁を受けた。現構造の縦桁はリベットで単せんで連結しているが、補強断面は片側にフィラーを入れ、

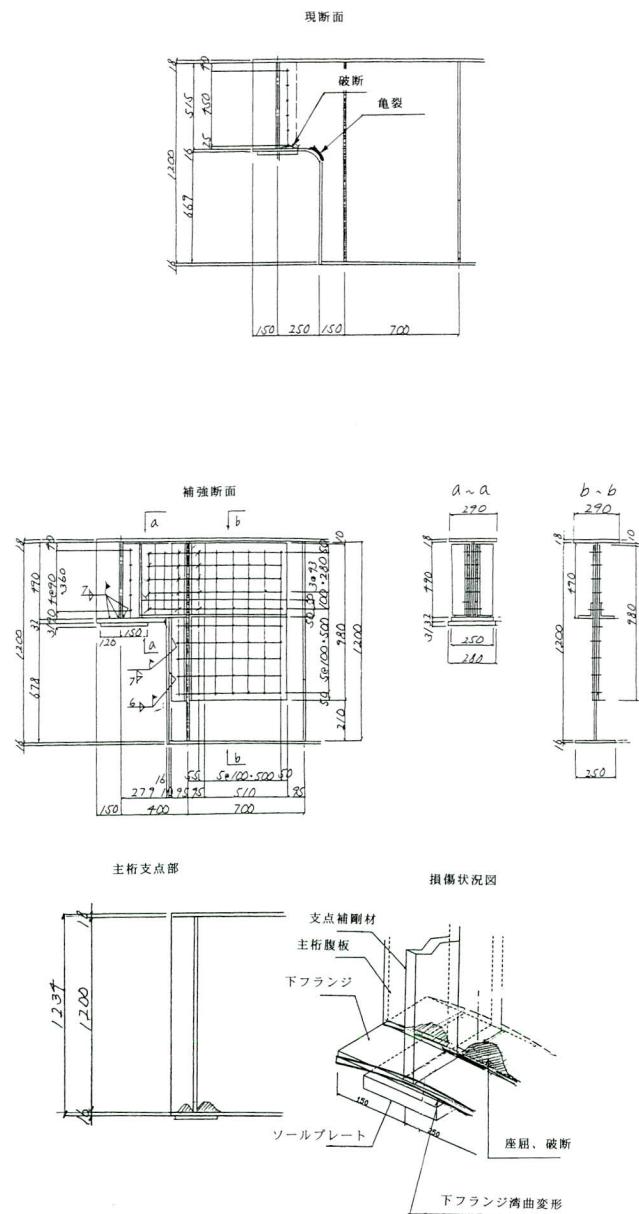


図-3 掛け違い部

鋼材の表面が腐食し粗面であることから外側にもプレートをあて、支圧ボルトを使用し、単せん構造（図-4）とした。上フランジ側から亀裂が発生している箇所は、亀裂先端にストップホールを開け、周辺を圧縮域にし、亀裂が進行しないように支圧接合高力ボルトを挿入した。理由としては、一般には摩擦接合高力ボルトであるが表面が腐食で粗面であることから、締め付け管理ができない事による。

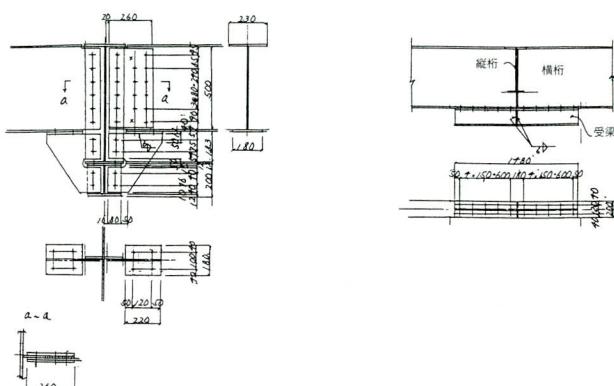


図-4 縦桁受け台

## 5. 施工概要

### （1）全体施工要領

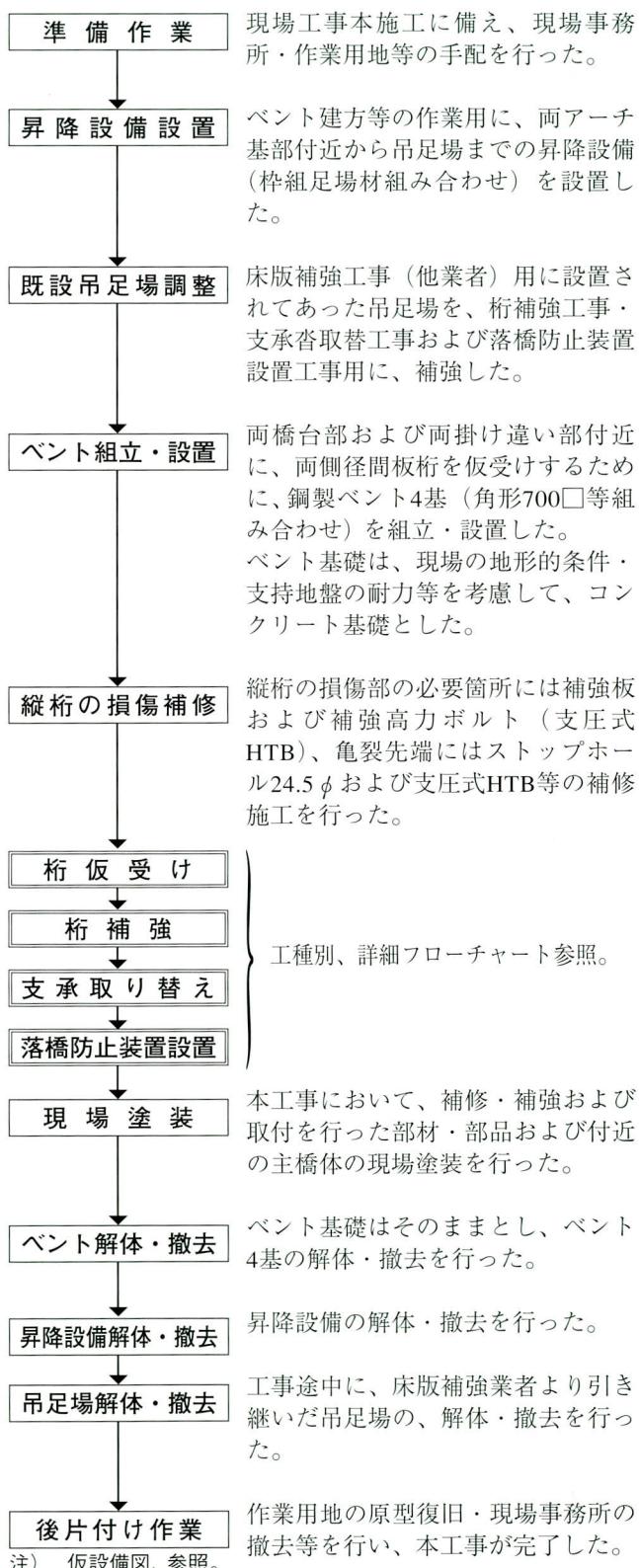
本工事では、主桁および縦桁の亀裂部分の補修・補強、機能喪失状態の8箇所の支承沓の取り替え、および落橋防止装置の設置を行った。

なお、本工事は、床版補強工事の途中で主要な箇所に、重大な亀裂・座屈および破断による変形等が発見されたため、応急復旧工事として発注され、一般交通を全面的に遮断することなく、危険な状態を一刻も早く脱却することを余儀なくされたため、基本的には以下に示す施工順序により施工を行うことと考えたが、実際には可能な仕事は極力、重複して行い全体工期の短縮をはかったので、現場においては作業が輻輳および混乱した中での工事であった。

また、安全面においては、毎日の安全朝礼において当日の作業内容・作業手順の確認、月に1度半日以上の安全大会では安全意識の高揚をはかり、また足場は防護足場とし、昇降設備の周囲は全面ネット張り、安全帯の完全使用等の措置を行い、安全作業の徹底をはかり、現場施工を行った。

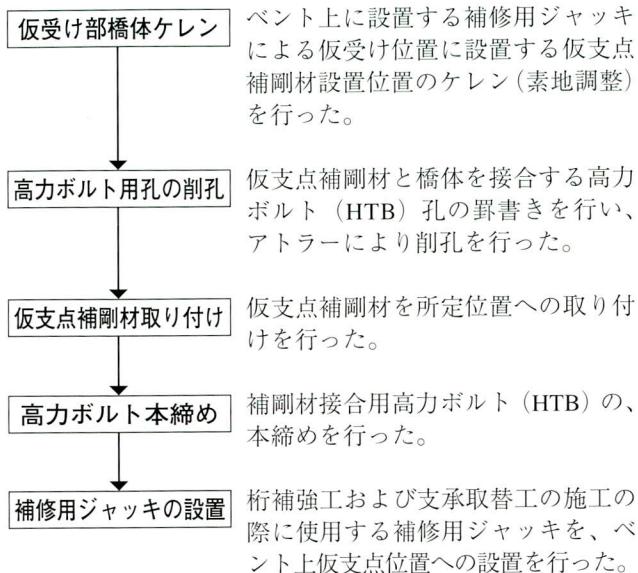
### （2）全体施工手順

本工事の全体の流れは、以下に示すフローチャートの順で、施工を行った。



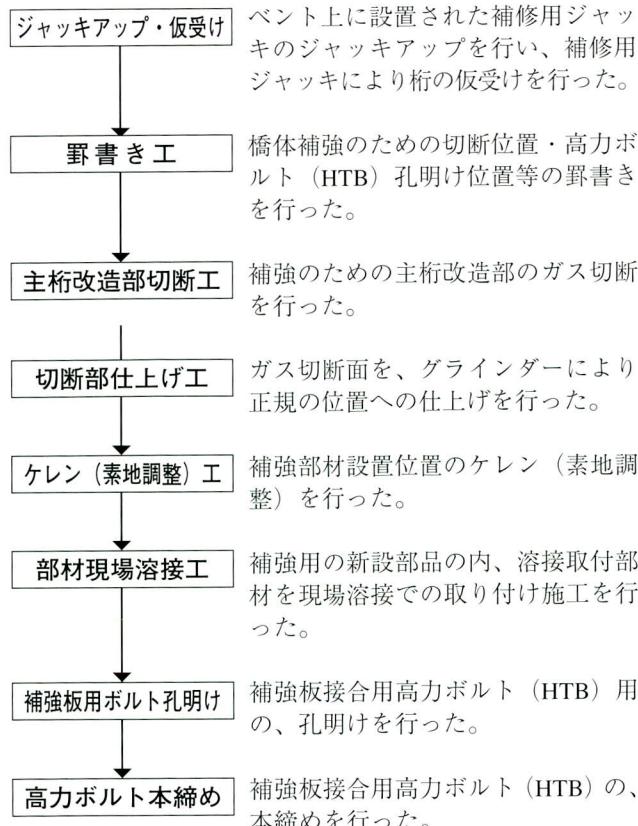
### (3) 柄仮受け工（両橋台部十両掛け違い部）の施工

柄仮受け工は、下記のフローチャートの順で施工を行った。



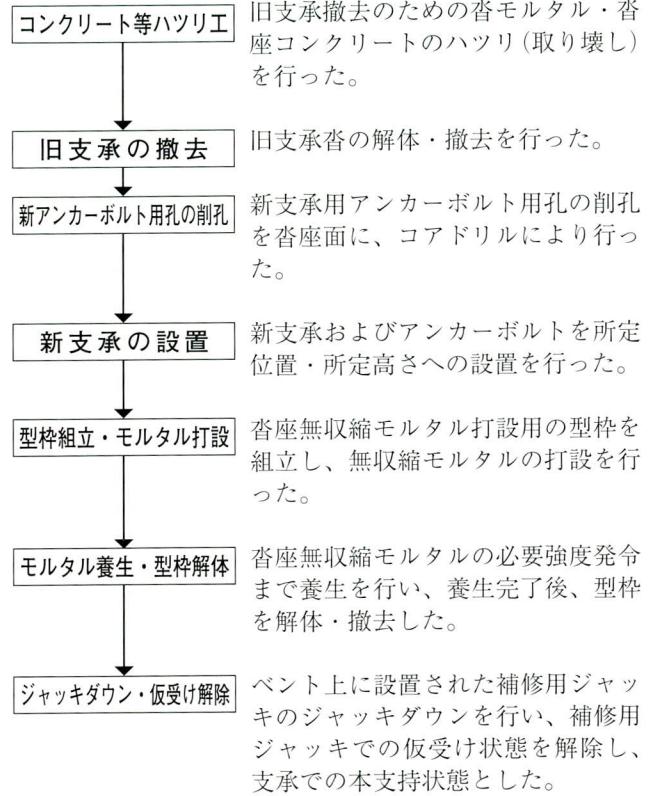
### (4) 柄補強工（両橋台部十両掛け違い部）の施工

柄補強工は、下記のフローチャートの順で施工を行った。



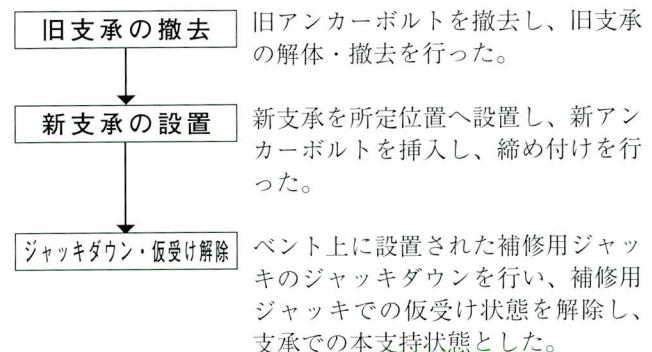
### (5) 支承取替工（橋台部）の施工

支承取替工は、下記のフローチャートの順で施工を行った。



### (6) 支承取替工（掛け違い部）の施工

支承取替工は、下記のフローチャートの順で施工を行った。



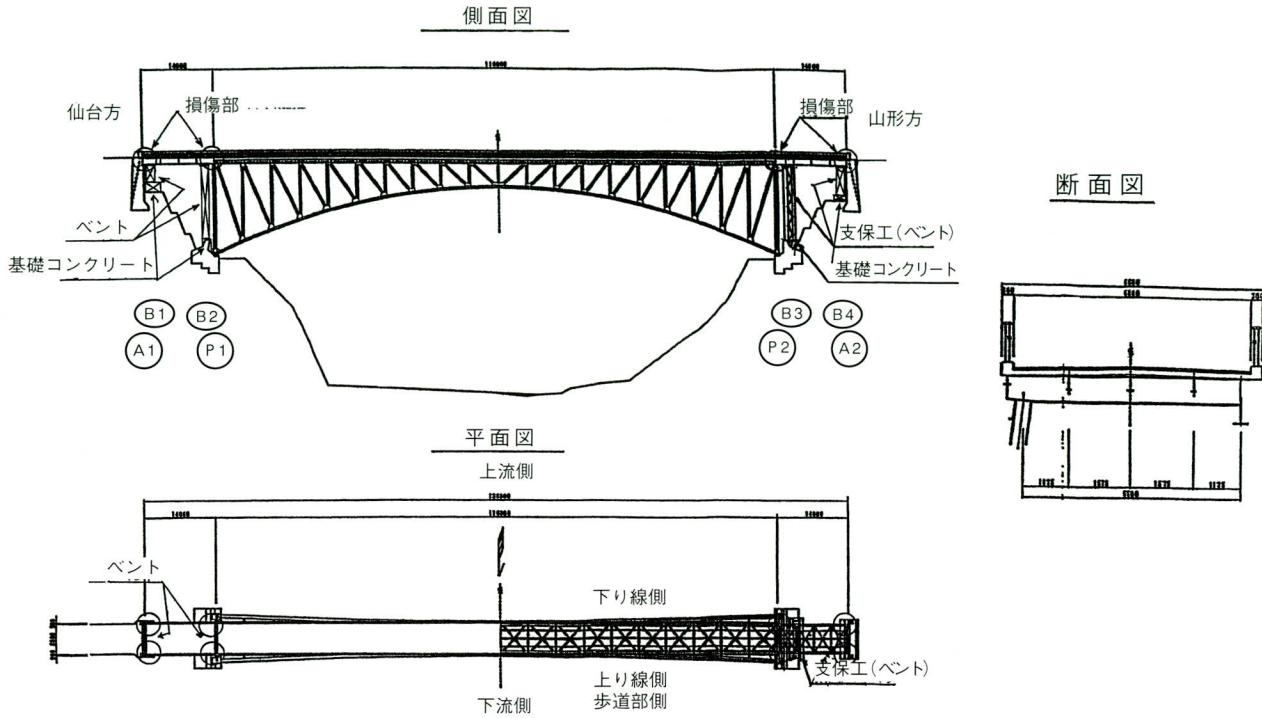


図-6 仮設備図

### (7) 落橋防止装置設置工（橋台部）の施工

落橋防止装置設置工は、下記のフローチャートの順で施工を行った。

- アンカーボルト用孔の削孔** 落橋防止装置用アンカーボルト用孔の削孔を橋台前面に、コアドリルにより行った。
- 高力ボルト用孔の削孔** 主桁下フランジの所定位置へ、落橋防止装置取付用の高力ボルト (HTB) 用孔の削孔を、アトラーにより行った。
- 部材取付部のケレン** 主桁下フランジの落橋防止装置取り付き所定位置のケレン（素地調整）を行った。
- ブラケットの取り付け** 橋台前面のアンカーボルトを樹脂注入により固定し、落橋防止装置の橋台側ブラケットを取り付け、ナットにより固定した。主桁下フランジの所定位置に桁側ブラケットを取り付け、高力ボルト (HTB) の本締めを行った。
- 緩衝チェーンの取り付け** 両ブラケット間に、緩衝チェーンを張り渡し、ボルトにより固定し、取り付けた。

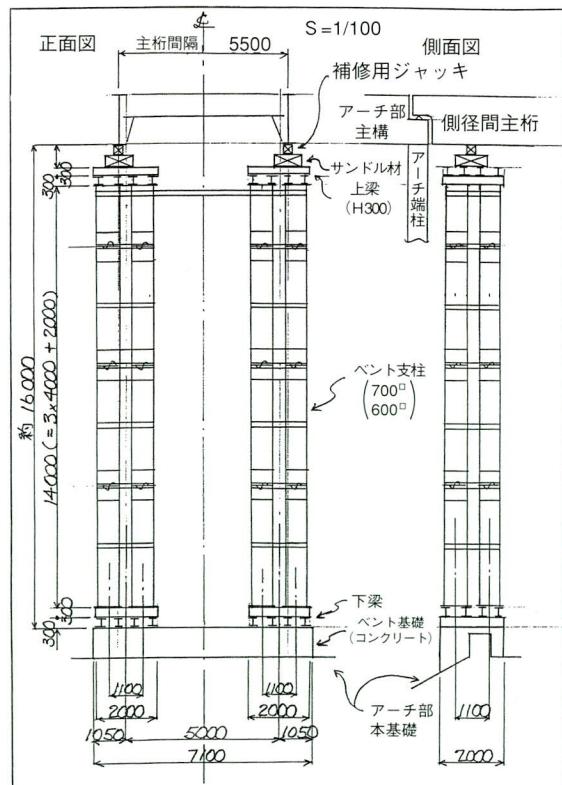


図-7 ベント組立図

## 6. まとめ

本橋の損傷は、鋼橋の腐食による疲労損傷の代表例である。亀裂、座面箇所は腐食により部材が著しく減厚し、その部位に応力集中、面外変形が作用し、さらに支承の機能喪失が重複した事による。また、二次部材と二次部材の連結部、あるいは二次部材と主要部材の結合条件に対する設計思想の拡大解釈によるものもあるが、これら

が鋼橋の安全性に即影響を及ぼすものではない。

架橋位置は自然環境の良い場所だけに、塗装の塗り替えを行い、鋼橋の弱点である腐食に配慮し、日常の点検を行い、維持管理をすれば、まだ十分延命が図れるものと思われます。最後に、本文の記載に当たり、東北地方建設局仙台工事事務所の関係者にご協力を得ました事に、紙上をお借りいたしまして厚く御礼申し上げます。

2000.11.1 受付

## グラビア写真説明

### 第二札内橋

当橋梁は、札内川と売買川の合流点に架かる新設橋梁で、全体橋長447mのうち合流点229.7mは鋼斜張橋構造であり、十勝地域では「十勝中央大橋」「十勝大橋」に続き3番目の斜張橋となります。

1本の単柱型式の塔から広幅員の桁がマルチハーブ形状に吊られた斜張橋の、その高くそびえる主塔は、雄大な十勝平野の風景にアクセントを与えています。  
(日沢)

### 名護城大橋

一般県道18号線は、沖縄本島北部の名護市東江を起点とし、名護市大浦を終点とする総延長9.6kmの一般県道で名護市街地と国道331号を連絡する東西に走る本島横断道路です。沿道周辺は自然環境の豊かな地域であるため、トンネルや橋梁を多く採用した道路計画で自然改変を最小限に抑え、自然環境に配慮した道路（エコーロード）として整備を進めている。

今回、東江起点側にある幸地又1号橋（名護城大橋）を宮地・金秀特定建設工事共同企業体で施工致しました。本工事の施工場所は、近郊の沖縄オリオンビール工場がこの付近の地下水を利用しており、この位置における下部工の施工は地下水に影響を及ぼすため、この範囲内には橋台・橋脚を設置出来ないという経緯からニールセンローゼ橋が採用された。  
(村島)

# 路線延伸部における既設橋梁と取り合う増設桁の設計(大高南工区)

## Design of an Additional Girder to Extend a Median Between the On and Off Ramps of a Bridge (The South Section of Otaka)

小林 裕輔\* 栗田 裕之\* 大島 博之\* 神田 孝男\*\*  
*Yusuke KOBAYASHI Hiroyuki KURITA Hiroyuki OSHIMA Takao KANDA*

### Summary

Scheduled for the second term for work in the south section of Otaka is the adding of bridge piers and girders to those that were erected to support on and off ramps for the first term. This will extend the main road from the point of contact between the ramps. Because construction will be done with the on and off ramps kept open to traffic, a very reliable and safety-oriented procedure has been adopted. The design involves connecting parallel bridges with an additional girder. This paper outlines the design of this structure and the construction procedure.

キーワード：床版拡幅、鉄筋継手、主桁増設

### 1. はじめに

大高南（その1）工区上部工事は、名古屋高速道路大高線とJH第二東名高速道路名古屋南ICを結ぶランプ橋であり、現在暫定的に路線の終点となっているON・OFFランプから本線を延伸するため、I期施工（昭和50年竣工）である現在のON・OFFランプの橋脚および橋桁にII期施工としての橋脚や橋桁を増設するものである。

これらの工事は既設部が供用中の施工となるため、主桁の増設を行う拡幅部においては既設橋梁との結合に、信頼性に重点を置いた床版継手構造や安全性に配慮した施工方法を採用した。

本報告では、拡幅部橋梁（改良増設桁）の設計の要点について述べる。

### 2. 工事概要

大高南（その1）工区上部工事の全体概要を図-1に示す。新設する橋脚および橋桁を含め、構造種別ごとに分けると次のようになる。

鋼脚

- ①ラーメン型橋脚（改良増設脚）  
8基（P321', P322', P323', P324', P324, P325, P326, P327）
- ②逆L型橋脚（新設）  
1基（P325'）

③T型橋脚（新設）

2基（P328, P329）

鋼桁

①単純合成鋼桁（改良増設桁）

8連（S314U, S315U, S316U, S317U, S319U, S320U, S318D, S319D）

②単純非合成箱桁（改良増設桁）

1連（S317D）

③径間連続鋼桁（新設）

1連（S320CD）

④径間連続鋼桁（新設）

2連（S321CU, S323CD）

⑤径間連続鋼桁（新設）

2連（S325CU, S325CD）

### 3. 拡幅部設計の基本方針

拡幅部橋梁（改良増設桁）の代表例としてS314U橋の一般図を図-2に示す。この図から分かるように拡幅部橋梁では、既設主桁の隣に新設桁を増設し、増設桁上に打設する床版コンクリートを既設コンクリート床版につなげなければならない。コンクリート養生中に交通等による振動が加わることは好ましいことではないが、本工事は1車線とはいっても交通解放下で施工を行わなければならず、拡幅部の床版コンクリート打設に対する検討を必要とした。

\* 技術本部設計部設計二課

\*\*技術本部工事部工事計画担当課長

検討にあたっては、活荷重による振動の影響を最小限とするために、拡幅部床版コンクリートを既設桁部と完全に縁を切った状態で打設・養生することとし（先打ちコンクリート）、その体積を最大とすることができる施工方法を採用することとした。その場合でも、既設床版との打ち継目部（後打ちコンクリート）については既設桁と増設桁をつなげた状態で打設を行うしかなく、養生中に振動が加わることになるため、打ち継目部の真下に縦桁を設けて直接支持し補強することとした。

#### 4. 設計条件および設計方針

拡幅する橋梁の設計条件および増設部の具体的な設計方針は以下の通りである。

##### (1) 設計条件

荷重	B活荷重
形式	単純合成鋼桁 (ただし、S317Dは非合成桁)
設計水平震度	$K_h=0.25$ (震度法)
舗装	アスファルト舗装 $t=80\text{mm}$ (既設に合わせる：設計基準 <sup>1)</sup> は75mm)
床版	RC床版

床版コンクリート  $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$ ,  
 $\sigma_{ca}=8.5\text{N/mm}^2$  (ただし、非合成桁は  
 $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ ,  $\sigma_{ca}=8.0\text{N/mm}^2$ )  
 鉄筋 SD345  $\sigma_{sa}=140\text{N/mm}^2$   
 使用鋼材 SM570, SM490Y, SM400

##### (2) 増設部の設計方針

###### 1) 床版

- ・ハンチ高は既設と同様に、上フランジ下側より80mmとする。
- ・主鉄筋の配置方向は、既設主鉄筋との継手を設けることから、既設の床版に合わせる（既設桁の法線方向向とする）。
- ・床版厚を増す範囲は道路橋示方書<sup>2)</sup> II 6.1.11による。ただし、新設部が既設部より小さい場合は、既設部に合わせる。

###### 2) 新設主桁

- ・高さが道路橋示方書耐震設計編の改訂により既設部より高くなるため、主桁高を低くすることで計画高に合わせる。よって、主桁高は既設主桁と異なる。
- ・鋼道路橋設計ガイドライン（案）<sup>3)</sup>に基づく合理化設計とする。
- ・外桁は曲線桁、内桁は直線桁とする。

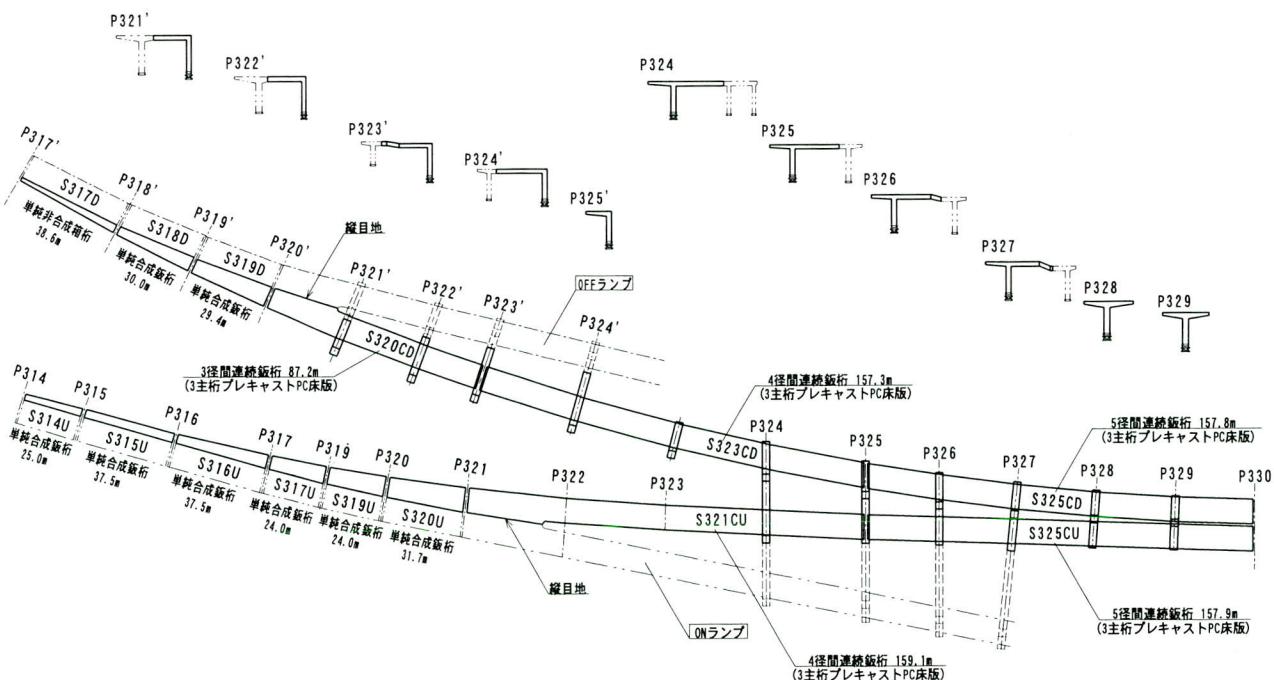


図-1 全体概要図

6

- ・桁遊間は既設桁に合わせる。
- ・クリープおよび乾燥収縮によるキャンバーを主桁製作時に見込む。

### 3) 新設横桁

- ・端横桁は、補強縦桁との取合いがあるためフルウェ

ブ形式とする（既設桁部は対傾構型式）。

- ・荷重分配横桁は既設の分配横桁位置に合わせて配置する。曲げモーメントを伝達させるため、フランジについても連結する（断面は既設仕口と合わせる）。
- ・取合い横桁（中間横桁）は、補強縦桁との取合いがあ

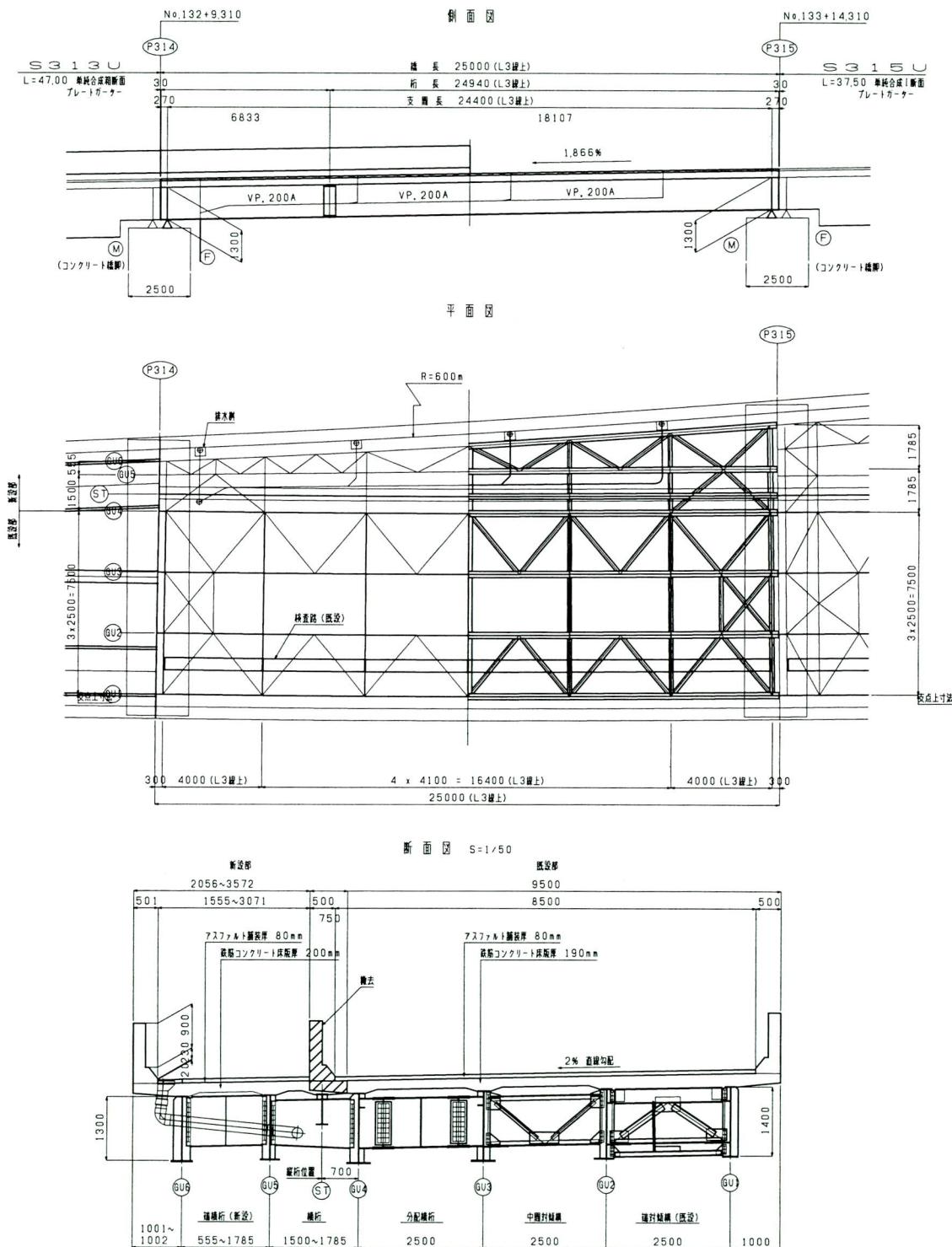


図-2 S314U 構造一般図

るためフルウェブ形式とする。荷重分配を期待しないためフランジの連結は行わず、補強縦桁からの反力にて設計する。

#### 4) 補強縦桁

- 床版（ハンチ）が横桁上も連続しているため、補強縦桁も横桁上でモーメント連結し連続させる。
- 構造解析に考慮していないため、スラブアンカーを設置し（スタッドジベルは設置しない）非合成桁として設計する。

#### 5) 現場継手

- 既設桁がボルト接合であり、交通振動が加わる箇所があるなど架設時の制約も多いことから、全て高力ボルトによる継手とする。
- 引張フランジのボルト配置は2本引きとしない（4本引きからはじめる）。

#### 6) 支承

- 既設桁に合わせ鋼製支承（タイプA）を使用する。なお、既設桁の支承は取替を行わない。

## 5. 施工手順の検討と主桁の設計

### (1) 施工手順の検討

施工順序によっては部材に入る断面力が変わってくるため、拡幅部の設計に際し、まずは施工手順の検討から始めた。

拡幅する橋梁はS317Dを除いて合成桁であり、今回設計を行った解析系を表-1に示すが、図から分かるように施工の各段階によってそれぞれ抵抗断面が異なってくる。新設桁に近い既設桁は地覆・壁高欄の撤去により応力度に余裕が出るため、既設桁と新設桁をつなげた状態（Case5）でなるべく多くの荷重を載荷し分担させた方が経済的な設計が行える。しかし、前述の基本方針の通り、既設桁と新設桁をつなげた状態でのコンクリート打設は好ましくない。そこで、基本方針を考慮しつつ施工性に重点を置いて、当初は以下の施工順序を考えた（図-2, 3参照：図は実施工でのものであり、鉄筋継手の形式や寸法が異なっている）。

表-1 解析系と抵抗断面（合成桁の場合）

解析系	荷 重	抵 抗 断 面
既設部 前死荷重 Case1	桁自重 ハンチ 床版 型枠	既設部鋼桁 
既設部 後死荷重 Case2	（一）撤去部床版 防音壁（撤去部を除く） 壁高欄（撤去部を除く） 地覆（撤去部を除く） 舗装（撤去部を除く） 吸音板（撤去部を除く） 添架物（撤去物を除く）	既設部合成桁（撤去部床版を除く） 
拡幅部 前死荷重 Case3	桁自重（補強縦桁を除く） ハンチ 床版（打継目部を除く） 型枠（打継目部を除く）	拡幅部鋼桁 
拡幅部 後死荷重 Case4	壁高欄 地覆	拡幅部合成桁 
全橋 後死荷重 +活荷重 Case5	補強縦桁 打継目部床版（ハンチを含む） 防音壁（拡幅部） 舗装（拡幅部） 吸音板（拡幅部） 添架物（拡幅部） （一）型枠	全橋合成桁（打継目部床版を除く） 

既設桁はCase1+Case2+Case5で照査を行い、拡幅桁はCase3+Case4+Case5で設計を行う。

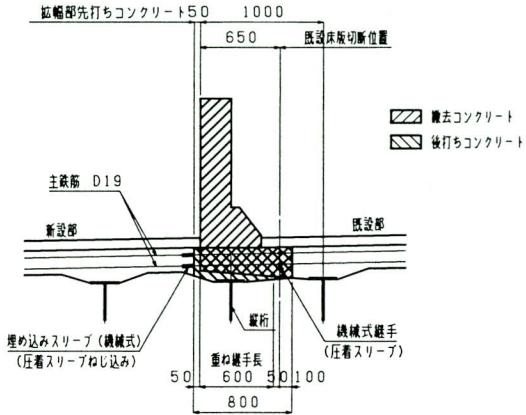


図-3 実施工での打ち継ぎ部

#### 施工順序（当初案）

- ①既設床版切断（壁高欄外側より600mm）
- ②既設床版コンクリートはつり（幅50mm）
- ③拡幅部主桁架設（取合い横桁を含めた一括架設）
- ④既設主桁への取合い横桁取付け（仮締め）
- ⑤取合い横桁への縦桁取付け（仮締め）
- ⑥拡幅部床版型枠設置（打ち継ぎ部を除く）
- ⑦拡幅部床版鉄筋組立（打ち継ぎ部配力筋を除く）
- ⑧拡幅部床版コンクリート打設（打ち継ぎ部を除く）
- ⑨拡幅部地覆・壁高欄コンクリート打設
- ⑩取合い横桁の添接（既設主桁側と増設主桁側）および横構取付け
- ⑪既設主鉄筋と増設床版主鉄筋の接合
- ⑫打ち継ぎ部床版型枠設置
- ⑬打ち継ぎ部床版配力筋組立
- ⑭打ち継ぎ部床版コンクリート打設
- ⑮拡幅部舗装

しかし、本工事は交通解放下で施工しなければならぬいため、走行車両の転落防止を最優先に考えるべきと判断し、施工性は落ちるが、拡幅部の地覆・壁高欄コンクリート打設後に既設床版を切断することとした。

取合い横桁の取付けは既設床版の切断後にしかできないため、既設床版の切断順序が遅くなつたことで、取合い横桁はコンクリートの打ち継ぎ部から落とし込まなければならない。しかしながら、当初案では仮締めとはいえ、先に取り付けた取合い横桁から振動が伝わる恐れがあつたが、完全に後施工になつたことで、その懸念を払拭することができた。

実際に施工を行つた順序を以下に示す。

#### 施工順序（実施工）

- ①拡幅部主桁架設（地組桁を一括架設）
- ②拡幅部床版型枠設置（打ち継ぎ部を除く）
- ③拡幅部床版鉄筋組立
- ④拡幅部床版コンクリート打設  
(主鉄筋接合100mmを残す)
- ⑤拡幅部地覆・壁高欄コンクリート打設
- ⑥既設床版切断（壁高欄外側より650mm）
- ⑦既設床版コンクリートはつり（幅100mm）
- ⑧取合い横桁取付けおよび横構取付け
- ⑨取合い横桁への補強縦桁取付け
- ⑩打ち継ぎ部床版型枠設置
- ⑪既設床版主鉄筋接合（鉄筋長650mm）
- ⑫拡幅部床版主鉄筋接合（鉄筋長650mm）
- ⑬打ち継ぎ部床版配力筋組立
- ⑭打ち継ぎ部床版コンクリート打設
- ⑮拡幅部舗装

この施工順序では既設床版の切断時期が新設床版コンクリート打設より遅く、既設鉄筋の配置を確認できない状態で新設床版の配筋をしなければならない。このため、新設部の主鉄筋ピッチは既設床版に合わせることができなくなる。そこで、拡幅部と既設の床版主鉄筋は直接つなげず、重ね継手を用いることとした。

重ね継手では鉄筋のラップ長を確保する必要があるが、新設主鉄筋は既設壁高欄手前までしか配筋できず、そのままではラップ長は0となる。また、既設主鉄筋は床版からはつり出す必要があり、ラップ長全てをはつり出すことは施工性が著しく落ちることになる。そこで、新設主鉄筋および既設主鉄筋とも鉄筋接合により継ぎ足しを行い、ラップ長を確保することとした。ラップ長は、打ち継ぎ部床版の幅をできるだけ小さくするようD19を想定して600mmとしたため、桁端部のD22については作用応力にてラップ長の照査を行うこととした。

#### (2) 主桁の設計

主桁を設計する断面力算出のための構造解析は、表-1の5ケースとした。既設桁はCase1+Case2+Case5で照査を行い、拡幅桁はCase3+Case4+Case5で設計を行つた（後から施工する打ち継ぎ部床版は、施工順序から有効幅に含めていない）。施工時は車線規制が行われ、活荷重が約半分になることからCase1+Case2+車線規制の

活荷重による既設桁の照査は行わないこととした。

既設桁の照査にあたり、道路橋示方書の改訂に伴い設計荷重がB活荷重に増加していることから、応力度が超過する箇所については既設橋梁の耐荷力照査実施要領(案)<sup>4)</sup>に基づき、1車線あたり2750mmのレーン載荷にて既設主桁の応力度の検討を行うこととした(図-4参照)。その結果、この条件の範囲では、部材に作用する応力度は許容応力度以下に収まっており、問題ないことを確認した。

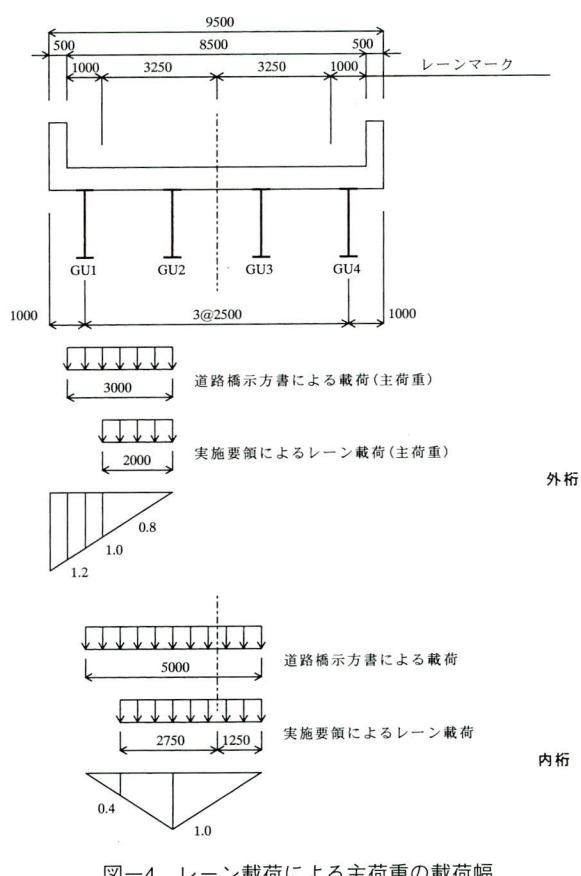


図-4 レーン載荷による主荷重の載荷幅

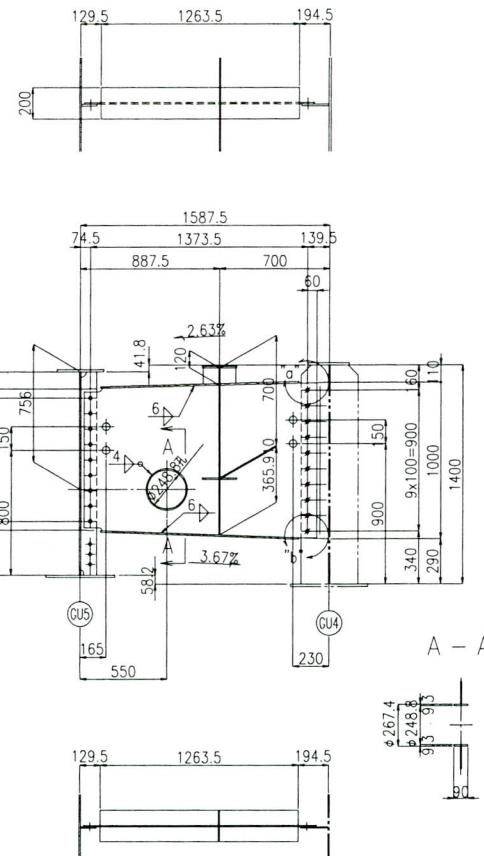
## 6. 取合い部の構造検討

### (1) 取り合い横桁・補強縦桁

取合い横桁は、I期施工時にII期施工を考慮して外主桁外側に垂直補剛材が設置されており、それに合わせて計画を行った(図-5参照)。I期施工時にはサイズの小さいボルト孔が垂直補剛材に明けられており、II期施工時に現場にて新設部との取合いを確認し正規のサイズに拡大することで、施工誤差を吸収できると考えていたようである。しかし、既設壁高欄撤去によるキャンバー

の戻りの予測や施工に先立って実施した現場実測の精度が十分でないとの判断から、取合い横桁の既設桁側のボルト孔は現場孔明けすることとした。

打ち継目部直下に設ける補強縦桁上フランジの位置を、取合い横桁の上フランジと同じ高さとした場合、ハンチ重量が大きくなる。そのため、補強縦桁はハンチ高を小さくするよう取合い横桁より高くすることとし、その高さは溶接作業性を高めるために120mmとした。そして、リブの厚さは首振りによる疲労を考慮し12mmとした。このことにより、ハンチ高は70mm(80-10mm)となり(既設床版厚と拡幅部床版厚の差により40mm程度になる橋梁がある)主桁上のハンチ高より低くなるが、支持桁の剛性が小さく曲げモーメントが主桁上より小さくなるため構造上問題はないとの判断した。



\* 印箇所はキャンバーダウン後ボルト孔削を行う。

図-5 取り合い横桁

なお、補強縦桁の取付けは主な死荷重が載荷された後に行うため、主桁の死荷重たわみが補強縦桁の作用応力に与える影響は小さい。のことから、補強縦桁に作用する主桁系の応力は無視できるものと考えられ、補強縦桁の設計は打ち継目部の床版、舗装、活荷重にて行った。

## (2) 床版

床版は輪荷重が直接載る部材であり、コンクリートの打ち継目は構造上の弱点になりやすいため、そこに配置される鉄筋の継手構造の選択は非常に重要である。本工事では当初、この継手はエンクローズ溶接で計画されていたが、鉄筋の継手構造は信頼性(疲労強度など)、経済性および施行性を検討した上で決定する必要があり、種々の継手形式について比較検討を行った(表-2参照)。

本工事は図-6のように拡幅量が徐々に大きくなるため、継手位置のラインが本線の輪荷重載荷位置の直下を横切ることになる。そこで、信頼性に重点を置き、疲労強度がF等級(鉄筋継手指針<sup>5)</sup>における「高サイクル繰り返し耐力性能」を満たしている)であることを条件に、

施工性および経済性からFDグリップを採用することとした。そして、既設桁側は経済性からRタイプとし、新設桁側は片方を新設コンクリートの中に埋め込むことができ(後打ちコンクリート幅を小さくできる利点がある)現場での施工性に秀でている(鉄筋へのスリープ取付け作業は工場で行える)Aタイプとした。

設計にあたっては、継手の集中度が1/2を越える(全て同一位置)ため、鉄筋継手指針<sup>5)</sup>の「施工等に起因する信頼度」を考慮し、継手の許容引張応力度を母材の約80%(120N/mm<sup>2</sup>程度×0.8→100N/mm<sup>2</sup>程度)とした。

## 7. おわりに

大高南工区は現在、架設工事の最盛期を迎え、国道23号線や知多半島道の真上での作業など、制約の厳しい中で工事が進められている。拡幅部橋梁(改良増設桁)については、拡幅部主桁架設がほぼ終了し、拡幅部床版型枠設置および鉄筋組立が順次行われているところである。

今後も関係各位に御協力いただき、無事に竣工を迎えることを願う次第です。

表-2 鉄筋継手の形式別比較表

		機械式継手			溶接継手			スリープ継手
名 称	A社 パワーグリップ	B社 FDグリップRタイプ	B社 FDグリップAタイプ	C社 NKE法(エンクローズ溶接法)	D社 KEN法	E社 SBR法	F社 U-Xタイプ	
概略図								
施工法	鉄筋どうしにかぶせた鋼製スリープを加圧変形させ、機械的に接合する。	同左	それぞれの鉄筋に左記要領でスリープを付け、お互いをネジで接合する。	特殊な治具を用いて鉄筋どうしを溶接接合する。	特殊な治具を用いて鉄筋どうしを溶接接合する。	鉄筋どうしに特殊な鋼製スリープをかぶせ、鉄筋とともに溶接する。	鉄筋どうしに鋼製スリープをかぶせ、その隙間に高強度グラウトを充填して接合する。	
信頼性	F等級 <sup>*2</sup>	F等級	F等級	F等級	—	—	F等級	
かぶり等	スリープ外径が36mm弱となり、純かぶりは25mm程度となる。	スリープ外径が30mm弱となり、純かぶりは25mm程度となる。	同左	鉄筋と同じ	同左	スリープ外径が32mmであり、純かぶりは24mm程度となる。	スリープ外径が50mmであり、純かぶりは15mm程度となる。	
その他	目視で検査できる。	同左	同左	全体の10%程度の箇所について、超音波探傷による検査を行う。	同左	—	共用下の施工では、モルタルの強度に悪影響を及ぼす恐れがある。	
施工性 <sup>*3</sup>	150箇所/日 1パーティ2人 鉄筋の出100mm必要(スリープ長160mm)	200箇所/日 1パーティ2人 鉄筋の出100mm必要(スリープ長105mm)	600箇所/日(ネジ締め) 1パーティ1人 鉄筋の出100mm必要(スリープ長91mm×2)片方のコンクリートに埋め込んでおくことも可能 <sup>*4</sup> 。	150箇所/日 1パーティ3人 鉄筋の出100mm必要	150箇所/日 1パーティ3人 鉄筋の出50mm必要	200箇所/日 1パーティ2人 鉄筋の出50mm必要(スリープ長50mm)	300箇所/日(ネジ締め) 1パーティ2人 鉄筋の出150mm必要(スリープ長285mm)片方のコンクリートに埋め込んでおくことも可能 <sup>*4</sup> 。	
経済性 <sup>*3</sup>	NKE法の1/3程度	NKE法の1/3程度	NKE法の2/3程度	超音波探傷の費用が必要	NKE法と同程度	NKE法の1/3程度	NKE法の2/3程度	
総合評価	既設桁側 ○	新設桁側 △	○	△	△	×	×	×

\*1: 全てD19(SD345)におけるデータである。

\*2: F等級とは「鉄筋継手指針: 土木学会(S57.2)」における「高サイクル繰り返し耐力性能」を満たしていることを示す。

\*3: 実働7時間、全3000箇所を想定している。

\*4: コンクリートに埋め込むことにより、後打ちコンクリート幅を小さくできる利点がある。

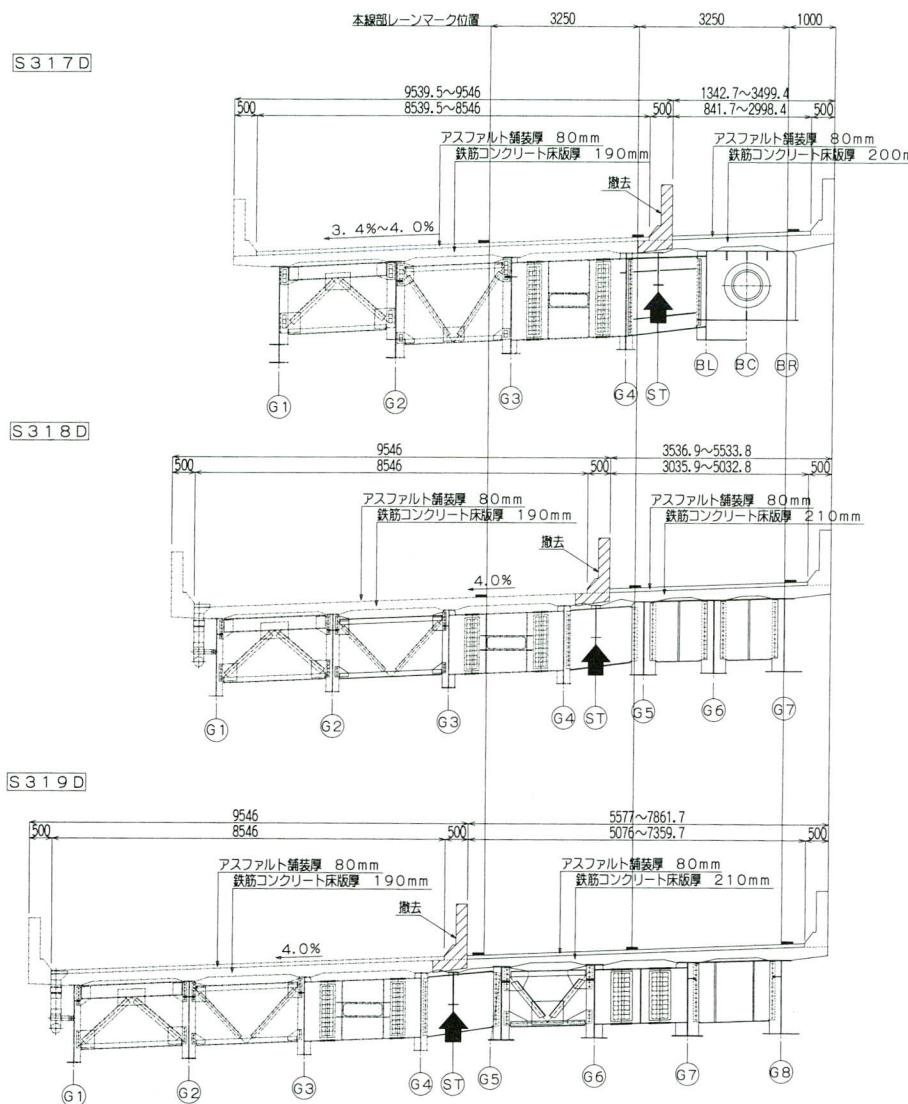


図-6 鉄筋継手とレーンマーク位置

### <参考文献>

- 1) 名古屋高速道路公社：鋼構造物設計基準，平成11年  
10月
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，平成8年12  
月
- 3) 建設省：鋼道路橋設計ガイドライン(案)，平成7年10  
月
- 4) 建設省：既設橋梁の耐荷力照査実施要領(案)，平成  
6年4月
- 5) 土木学会：鉄筋継手指針，昭和57年2月

2000.11.1 受付

## 報 告

# 建築構造用高性能590N/mm<sup>2</sup>耐火鋼の母材特性および溶接施工試験報告（その1：母材特性）

## Tensile and Welding Properties of High-Performance, Fire-resistant Steel for Structures with a Tensile Strength of 590 N/mm<sup>2</sup>: Part 1

武井智彦<sup>\*1</sup> 平林洋<sup>\*2</sup> 中野秀二<sup>\*3</sup> 吉川薰<sup>\*4</sup>  
Norihiko TAKEI Hiroshi HIRABAYASHI Shuuji NAKANO Kaoru YOSHIKAWA

### Summary

Recently, there have been many reports on the construction of steel-framed buildings using fire-resistant (FR) steel. Because the strength of steel used in steel-framed buildings decreases when it is heated at a fire, the Building Standards Law provides for the protection of steel by fireproofing. FR steel, however, resists high temperatures and thus can be used with little or no fireproof covering. The maximum tensile strength of FR steel has so far been 490 N/mm<sup>2</sup>, which required thick FR steel walls for box columns of multi-story buildings. Therefore, new FR steel with the higher tensile strength of 590 N/mm<sup>2</sup> has been developed. This paper reports on the material and welding tests of this new FR steel before it was installed in a building.

キーワード：SA440-FR, 60キロ鋼耐火鋼

### 1. はじめに

最近の建築物の高層化や大規模化が進むなか、建築構造用鋼材の高強度化に対し、FR鋼はこれまで520N/mm<sup>2</sup>級までのため、FR鋼の高強度化が望まれていた。

これらの要望に対応して、新日本製鐵株式会社より優れた高性能590N/mm<sup>2</sup>耐火鋼（SA440-FR）（商品名BT-HT440-FR）が開発された。

本鋼材の特徴は

- ① 耐熱性向上のためモリブデン等の合金元素添加による成分設計で、優れた高温性能を有しつつ従来の耐火鋼と同等の良好な溶接性を確保している。
- ② 常温特性は大臣認定品である建築構造用590N/mm<sup>2</sup>（SA440）の規格に合致する。
- ③ 520N/mm<sup>2</sup>耐火鋼に比べ設計基準強度が向上し、板厚の軽減が計れる。

等である。

この度、本鋼材を採用しての実施工に先立って事前にその母材特性および溶接施工性を確認するため、各種の試験を実施した。本報告（その1）では試験の終了した母材特性の結果を報告するものである。なお、溶接施工試験の結果は次回（その2）として報告する予定である。

### 2. 供試材料および試験計画

#### (1) 材料仕様

590N/mm<sup>2</sup>耐火鋼（新日本製鐵株式会社製BT-HT440C(SA440C)-FR）の機械的性質及び化学成分の仕様を表-1、2に示す。

表-1 機械的性質

	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	降伏比 (%)	伸び (%)	衝撃 (J)	板厚方向 特性絞り(%)
常温	440～540	590～740	≤80	≥20	≥47	≥15/25
高温	≥294	—	—	—	—	—

衝撃試験温度：0 °C 高温：600°C  
板厚方向特性絞り 15/25 : Each/Av

表-2 化学成分 (成分, Pcm : %)

C	S i	M n	P	S	C r	M o	Pcm
≤0.18	≤0.55	≤1.60	≤0.020	≤0.008	≤0.70	0.30～ 0.90	≤0.30

\*1松本工場品質管理部品質管理課

\*2松本工場品質管理部次長

\*3松本工場品質管理課長

\*4松本工場品質管理部製造一課課長代理

## (2) 試験計画

本鋼材の建築鉄骨への採用が始めてであることを考慮し、試験は実工事に使用する板厚80mmの全2ロット(試験記号 N o.A、N o.B)を用いて以下の試験を行った。材料のミルシートの値を表-3に示す。

①引張試験(常温および高温600°C)

②衝撃試験

③化学成分分析試験

④Y形溶接割れ試験

⑤溶接熱影響部の最高硬さ試験

表-3 ミルシートの値

(成分、Pcm : %)

No	YP	TS	伸び	YR	Z方向 絞り	YP (600°C)	衝撃値	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Pcm
A	521	678	30	77	68	327	250	0.09	0.29	1.24	0.008	0.002	0.20	0.80	0.22
B	514	671	29	77	58	323	266	0.09	0.29	1.28	0.008	0.002	0.21	0.79	0.22

YP・TS : N/mm<sup>2</sup> 伸び・YR絞り : % 衝撃値 : J

引張試験 JIS Z 2201 4号 C方向

衝撃試験 JIS Z 2202 Vノッチ L方向 (試験温度 0°C)

## 3. 試験結果

### (1) 引張試験(常温、高温)

引張試験(常温)のL、C方向結果を表-4、Z方向結果を表-5、荷重-伸び曲線を図-1に、引張試験(高温600°C)のL、C方向結果を表-6、荷重-伸び曲線を図-2に示す。高温引張試験片の写真を写真-1に示す。

表-4 L、C方向引張試験結果(常温)

No	採取方向	採取位置	耐力	引張強さ	降伏比	伸び	絞り	
A	L	1/4t	522	678	77	29	75	
			524	676	78	28	75	
	C		528	683	77	29	75	
			530	684	77	28	74	
B	L		516	672	77	28	75	
			524	676	78	29	76	
	C		523	678	77	29	74	
			521	678	77	28	74	

0.2%耐力・引張強さ : N/mm<sup>2</sup> 降伏比・伸び・絞り : %  
JIS Z 2201 4号 L、C方向

表-5 Z方向引張試験結果(常温)

No	採取方向	採取位置	耐力	引張強さ	伸び	絞り			
						個々	平均		
A	Z	全厚	528	670	16	52	60		
			530	672	18	65			
			527	671	16	63			
			516	657	20	75			
B			517	661	22	72	71		
			515	653	16	66			

0.2%耐力・引張強さ : N/mm<sup>2</sup> 伸び・絞り : %  
JIS G 3199 外7° b Z方向

表-6 L、C方向引張試験結果

(高温: 試験温度 600°C)

No	採取方向	採取位置	耐力	引張強さ	降伏比	伸び	絞り	
A	L	1/4t	348	429	81	27	89	
			318	418	76	27	88	
	C		335	419	80	24	87	
			321	413	78	22	88	
B	L		315	414	76	28	90	
			321	410	78	28	88	
	C		315	406	78	31	90	
			325	413	79	28	87	

0.2%耐力・引張強さ : N/mm<sup>2</sup> 降伏比・伸び・絞り : %  
JIS G 0567 II 10 L、C方向

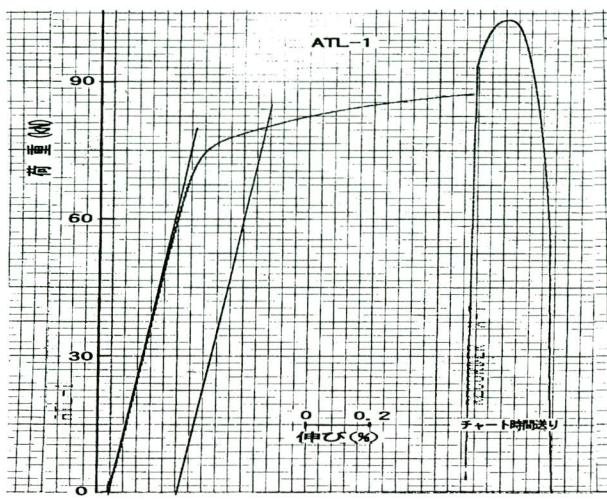


図-1 常温引張試験 荷重一伸び曲線

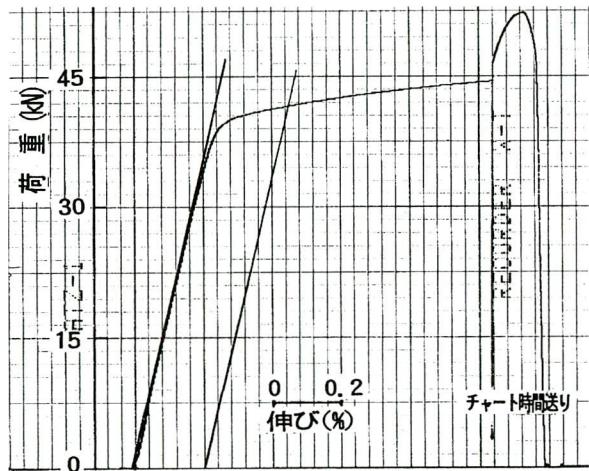


図-2 高温引張試験 荷重一伸び曲線

## (2) 衝撃試験

衝撃試験の結果を表-7に示す。

表-7 L、C、Z方向衝撃試験結果

No	採取方向	採取位置	吸収エネルギー(J)	
			個々	平均
A	L	1/4t	242	270
			293	
			275	
	C	1/2t	277	241
			220	
			227	
B	L	1/4t	136	144
			164	
			131	
	C	1/2t	256	250
			216	
			291	
	Z	1/2t	249	255
			265	
			251	
	Z	1/2t	161	140
			157	
			103	

衝撃試験片 JIS Z 2202 Vノッチ試験片

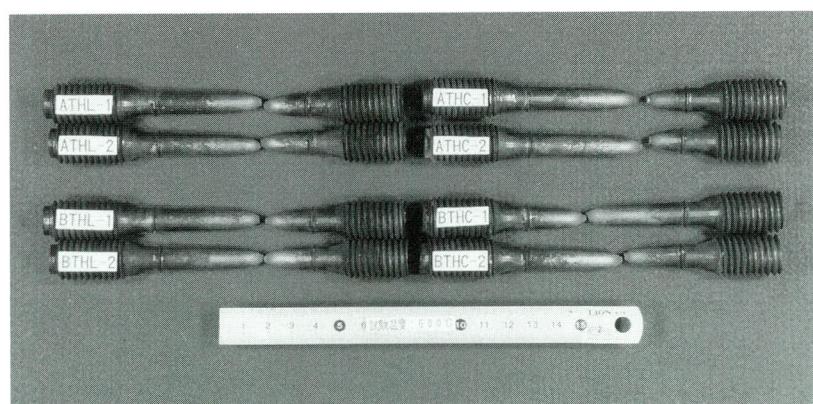


写真-1 高温引張り試験片

### (3) 化学成分分析試験

成分分析試験の結果を表-8に示す。

表-8 成分分析試験結果 (成分, Pcm : %)

No	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Pcm
A	0.087	0.30	1.23	0.009	0.0016	0.21	0.81	0.22
B	0.088	0.30	1.27	0.009	0.0012	0.22	0.80	0.23

### (4) γ形溶接割れ試験

γ形溶接割れ試験結果を表-9に示す。溶接条件を表-11に示す。

表-9 γ形溶接割れ試験結果

No	予熱温度	表面割れ率	ルート割れ率	断面割れ率					
				1	2	3	4	5	平均
A	常温	0	0	0	0	0	0	0	0
	50	0	0	0	0	0	0	0	0
B	常温	0	17	0	0	0	0	78	16
	50	0	0	0	0	0	0	0	0

表面割れ率・ルート割れ率・断面割れ率 : %

### (5) 溶接熱影響部の最高硬さ試験

最高硬さ試験結果を表-10、図-3に示す。溶接条件を表-11に示す。

表-10 最高硬さ試験結果

No	予熱温度	最高硬さHv (10)
A	常温	276
	50	274
B	常温	282
	50	280

表-11 γ形溶接割れ試験、最高硬さ試験溶接条件

溶接方法	C O <sub>2</sub> 半自動溶接
溶接材料	銘柄: YM-60 F R * 径: 1.2mm φ
溶接条件	電流: 280 A 電圧: 32 V 速度: 30cm/min 入熱: 17.9kJ/cm
気象条件	温度: 24.3°C 湿度: 72%

\* 日鐵溶接工業(株)製

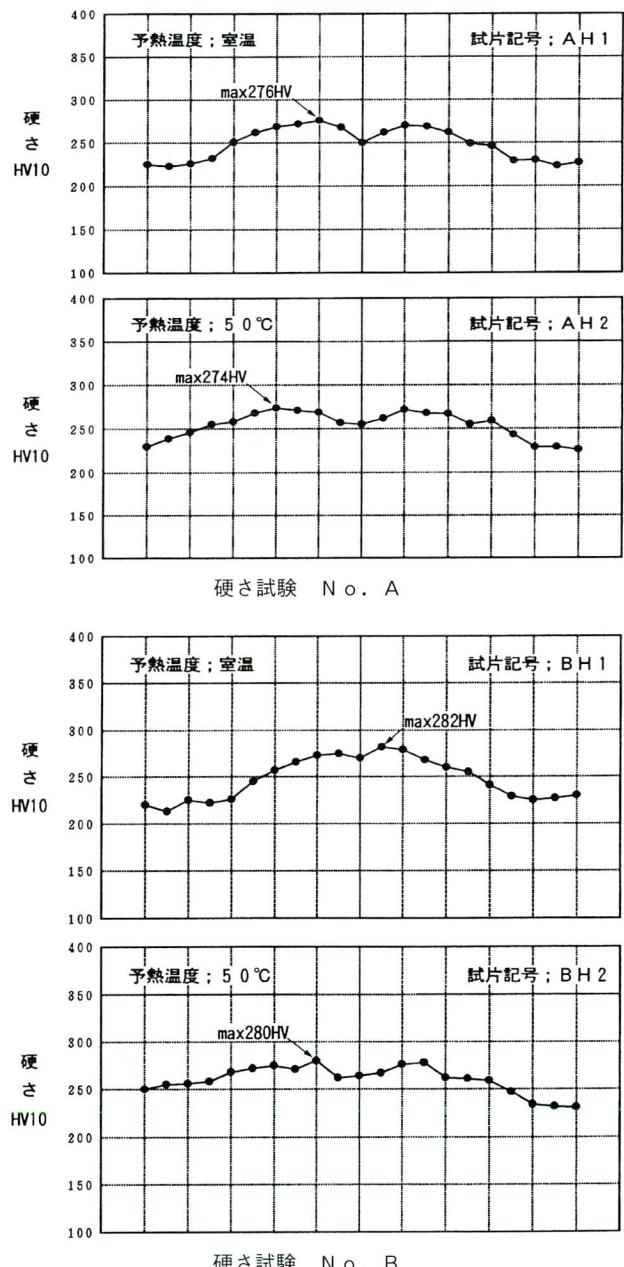


図-3 溶接熱影響部の最高硬さ試験分布図

## 4. 考察

以上の試験結果を試験項目に従って整理する。

### (1) 引張試験（常温、高温）

常温試験のL, C方向1/4t採取部位および、高温試験のL, C方向1/4t採取部位のいずれも仕様を十分満足しており、常温時、高温時ともロットによる差異はなく、ミルシートの値とよく一致している。

また、Z（板厚）方向の常温試験の絞り値も60～70%であり十分な性能を示している。

### (2) 衝撃試験

シャルピー吸収エネルギーの値は、L、C方向1/4t採取部位のいずれも仕様を十分満足する。ミルシートの値ともよく一致し、ロットによる差異はない。また、Z（板厚）方向1/2t部位の値も従来鋼と同様にL、C方向に比べ低下する傾向は示すものの良好な結果である。

### (3) 化学成分分析試験

化学成分分析試験の結果は仕様を満足し、ミルシートの値ともよく一致している。また、リン（P）イオウ（S）の含有率は十分低減され、溶接割れ感受性組成（Pcm）も0.22～0.23の範囲で良好である。

### (4) y形溶接割れ試験

常温（24.3°C）においてロットによるばらつきがルート割れ、断面割れで発生しているが、予熱50°Cではいずれも割れは発生していない。

### (5) 溶接熱影響部の最高硬さ試験

ロットNo.A、Bとも試験温度常温においてHv（10）270～280程度でありHv（10）310を十分下廻っている。

## 5. まとめ

今回の試験結果より本鋼材の化学成分・機械的性質は2ロットともばらつきがなく材料仕様を十分満足し、ミルシートの値ともよく一致することが確認された。また、Z（板厚）方向の引張試験及び、参考として行なった衝撃試験の結果も極めて良好であり、板厚方向の特性にも優れていることが分かった。

また、溶接割れ感受性組成（Pcm）、リン（P）イオウ（S）の低い含有率、y形溶接割れ試験及び溶接熱影響部最高硬さ試験の結果から、本鋼材は溶接施工性が良好であると判断される。本鋼材を溶接施工する場合の予熱温度は、y形溶接割れ試験の結果より50°C以上でよいものと思われる。

以上で報告を終了するが、実施工はこれらの試験結果を踏まえ、更に実大ボックス施工試験を実施し実施工時の予熱温度や建築基準法改正により課題になっている、溶接施工時の入熱・パス間温度等の必要なデータを採取してから行う計画である。

溶接施工試験の結果については次回、報告する予定である。

試験を実施するに当たり、御協力頂いた株式会社大林組、新日本製鐵株式会社、日鐵溶接工業株式会社の関係各位に心より感謝申し上げます。

## 〈参考文献〉

- 1) 大月真一、鳴沢明雄、中野秀二：FR鋼の母材特性および溶接性の研究、宮地技報No.11, p.51～62, 1993.5
- 2) 鉄構造出版：鉄構技術、VOL.13, No.148, p.16, 2000年9月号
- 3) 新日本製鐵株：建築用耐火590N/mm<sup>2</sup>級鋼の特性について、1999.9
- 4) 日本建築学会：鉄骨工事技術指針・工場製作編, 1996.2

2000.11.1 受付

# コスト縮減を目指した新形式斜張橋

## A Lower-Cost Cable-Stayed Bridge

中島一浩\* 能登宥憲\*\*  
Kazuhiko NAKAJIMA Hiroyoshi NOTO

### Summary

A cable-stayed bridge is a type of bridge that consists of main girders, towers, and cables, is flexible in design, has a high degree of freedom, and excels in both mechanical rationality and economy. A diversity of configurations, moreover, has so far been adopted for this type of bridge because it can be erected using cables and has relatively few restrictions on the side-span to intermediate-span ratio. In our model in which the main girder was propped up with a steel strut on suspended cables, this bridge had far less deflection in the central span than the basic model thus indicating that the main girder section can be made smaller and could thereby reduce construction costs. Moreover, another model of the above bridge but with inclined main towers had a reduced bending moment of its towers, and its overall resistance to stress was improved in balance. The analysis showed that the proposed model would pose no mechanical problems and it would reduce construction costs. This paper proposes a new type of rationalized cable-stayed bridge that is cheaper than previous types, and compares its properties with a basic model.

キーワード：新形式橋梁、コスト縮減、斜張橋、逆吊ケーブル構造

### 1. はじめに

平成9年の公共工事コスト縮減対策に基づき、平成12年度以降の政府の新たな「公共工事コスト縮減対策に関する新行動指針」が策定された。「より良くより安く」社会資本を整備するため、直接的な工事コストの低減に加え、ライフサイクルコストの低減など、公共工事の総合的なコスト縮減を目指すというものである。

このような鋼橋のコストダウンに対する社会のニーズを背景に、PC床版を採用した二主I桁橋や合理化トラス橋などの合理化橋梁、鋼桁とコンクリート橋脚との剛結構造や波形鋼板ウェブ橋、エクストラドーズド橋など、コスト縮減を目指した新しい構造形式が採用されている。

一方、橋梁の構造形式は架橋条件に依存し、特に谷の深い位置に橋を架設するような場合、側径間に比べ中央径間の長い径間割りとなることがある。また、景観上から主塔高さを低く抑えた橋梁形式が必要となる場合がある。

主桁・塔・ケーブルで構成される極めて自由度の高い橋梁形式である「斜張橋」は、優れた力学的合理性と経済性を有しており、支間割りの制約が比較的少ない。ま

た、ケーブルを利用した合理的な架設が可能であることから、これまでに多種多様な構造形態が採用されている。例えば、鋼桁とコンクリート桁を橋軸方向に接合した斜張橋としては生口橋が挙げられ、側径間が中央径間に比べて短いため、側径間に負反力が生じないように配慮されている。また、桁橋と斜張橋の中間的な性状を持つエクストラドーズド橋は、主塔の高さを斜張橋より低く抑えることができるため、高さ制限があるような場合でも架設が可能となる。ケーブルトラスト橋は、鋼桁とケーブルのトラス構造を採用した新しい構造形式であり、桁中央付近に配置した支柱によって鋼桁の曲げモーメントを低減させている。

本研究では、谷の深い位置に架設されるような橋梁について、コスト縮減を目指した合理的な新形式斜張橋を提案し、その力学的な基本特性について比較検討を行った。尚、本研究の基本思想については、前報・巻頭言<sup>1)</sup>を参照されたい。

### 2. 構造概要

本研究で提案する橋梁モデルの概要を図-1に示す。基本構造は、中央支間長250m、側径間長75m、主塔高

\* 技術本部技術開発部技術開発課

\*\*技術本部技術開発部長

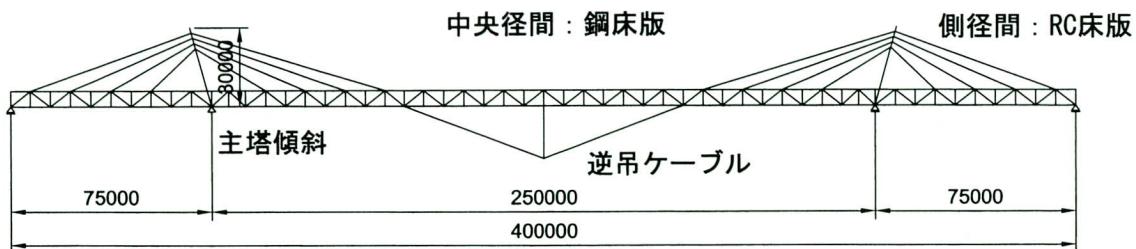


図-1 構造概要

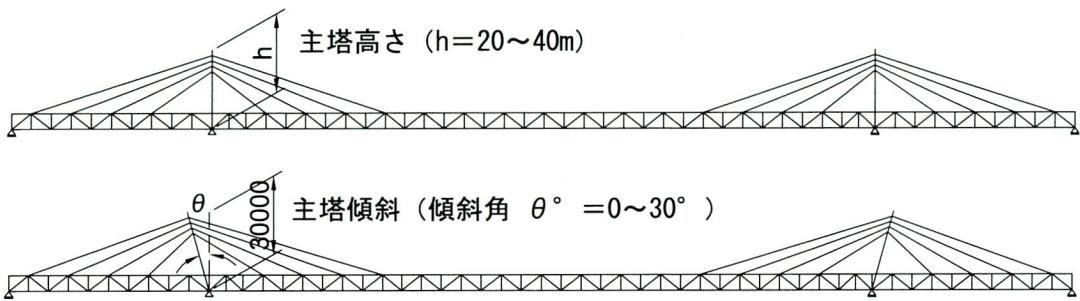


図-2 主塔高、傾斜角検討モデル

30mの二面ファン形式の鋼斜張橋であり、側径間長が中央径間長に比べて短い。側/中央径間長比は1/3.3、主塔高さは中央径間長の1/8.3である。一般的な斜張橋と比べ、主塔の高さを低く抑えている。斜張橋よりもエクストラドーズド橋に近い構造とすることで、ケーブルコストの低減を目指している。主桁は軽量なトラス構造とし、さらに中央径間を鋼床版、側径間をRC床版とすることでカウターウェイト的に機能させる。更に、本研究で提案する形式は、ケーブルトラスト橋のように中央径間を逆吊ケーブル形式の支柱で支持し、中央径間長の見かけの短縮化を図っている。また、主塔を側径間側に傾斜させることによって、主塔に作用する曲げモーメントの低減を図っている。

### 3. 検討内容

本研究で提案する新形式斜張橋は、上述の通り多くの構造的特徴を有している。ここではまず初めに、斜張橋の主塔高さと傾斜角に着目し、一般的な斜張橋との比較を行う。

統いて、主塔傾斜、逆吊ケーブル、主塔傾斜+逆吊ケーブルの各構造別の断面力を比較し、新形式斜張橋の構造特性を明らかにする。

また、固有振動解析を行い、本構造の振動特性を把握する。

### 4. 解析条件

解析モデルは平面骨組モデルとし、微小変位理論による面内解析を行った。ここでは、各構造形式の基本特性を確認することが目的であるため、部材剛性およびケーブル断面は各構造とも同値を用いている。また、解析は活荷重に着目した影響線解析を行い、活荷重載荷時の断面力を算出する。着目する部材および断面力は、主塔基部曲げモーメント、軸力、トラス軸力、最上段のケーブル張力、活荷重たわみとする。

### 5. 主塔高、傾斜角の影響

新形式斜張橋の基本特性を検討するために、主塔の高さと傾斜角よって、斜張橋の断面力がどの程度変化するかを検討した。図-2に示すように、主塔高さは20m~40m（中央径間長の1/12.5~1/6.3）、傾斜角は側径間側に0°~30°まで変化している。

図-3に主塔の高さを変化させた場合の解析結果を示す。横軸は主塔の高さ、縦軸は主塔高20mのケースの断面力で基準化した断面力比を表している。主塔高さが高くなるほど、特に主塔基部の曲げモーメントの影響が顕著になり、高さ40mの場合には20mの断面力の40%程度まで減少している。一方、主塔基部の軸力は高さ40mの場合には20mの断面力の40%程度増加するが、活荷重による主塔

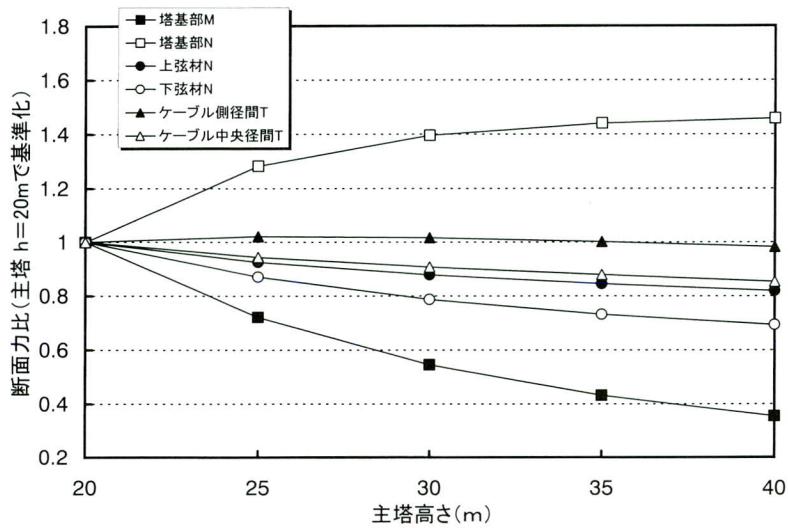


図-3 主塔高さの影響

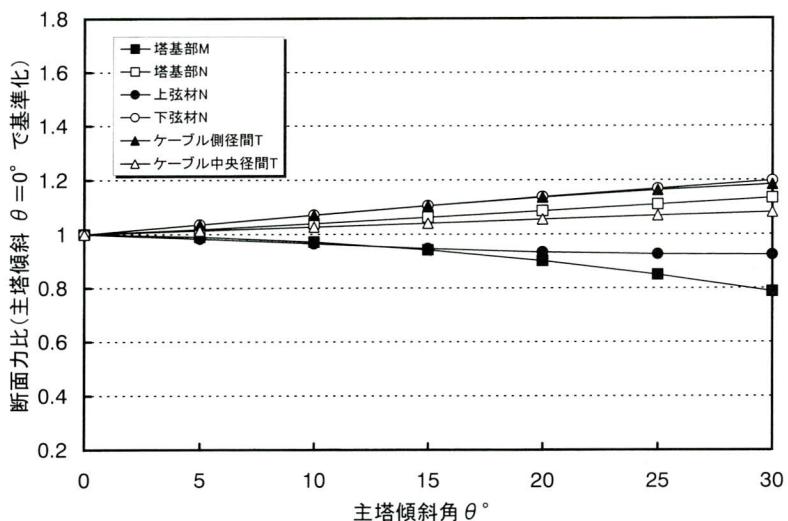


図-4 主塔傾斜角の影響

基部の曲げモーメントと軸力の断面力比は約4:1であり、主塔高さに対する曲げモーメントの低減効果が大きい。

図-4に主塔の傾斜角を変化させた場合の解析結果を示す。横軸は主塔の傾斜角、縦軸は傾斜角 $0^\circ$ の断面力で基準化した断面力比を表している。主塔高さの影響と比較して、主塔を傾斜させることによる断面力への影響は小さいが、主塔の傾きが大きくなるほど、影響がでてきており、 $30^\circ$ で主塔基部の曲げモーメントは20%程度小さくなる。しかし、傾斜とともに主桁の断面力は大きくなる傾向になる。

## 6. 新形式斜張橋の構造特性

主塔高さと主塔傾斜に加えて、逆吊ケーブル形式の支柱を中心径間に配置した構造を考え、基本モデルとの比較を行う。図-5に示すように、CASE-1を解析の基本モデルとし、CASE-2は主塔傾斜モデル、CASE-3は逆吊ケーブルモデル、CASE-4は逆吊ケーブル+主塔傾斜モデルとする。ここでは各モデルとも、主塔高さを30mとした。

図-6に各構造形式の解析結果を示す。横軸は構造形式、縦軸は基本モデル(CASE-1)の断面力で基準化した断面力比を表している。中央径間側のケーブル張力は、逆吊ケーブル形式(CASE-3)で26%減少しており、本構造

がケーブルコストの削減に寄与していることが判る。また、主塔基部の曲げモーメントも同様に減少しており、ケーブルトラスト橋のような支持構造が有効であることが分かる。トラス上・下弦材の軸力は、逆吊ケーブル構造を採用することで約30%減少し、谷が深く景観上から主塔を高くできない場合は有効な構造形式である。一方、主塔傾斜のみの構造ではケーブル張力は増加し、基本モデルと同程度の張力が発生するため、主塔の傾斜角とケ

ーブル張力のバランスに配慮する必要がある。

図-7に各構造形式の活荷重たわみを示す。活荷重たわみは、逆吊ケーブルを配置することによって半分程度まで減少している。斜張橋の活荷重たわみは、主塔高、ケーブル本数、主桁断面の増加などで制御可能であるが、逆吊ケーブル構造は主塔高、主桁断面などを大きく変更することなく活荷重たわみを減少させることができる。

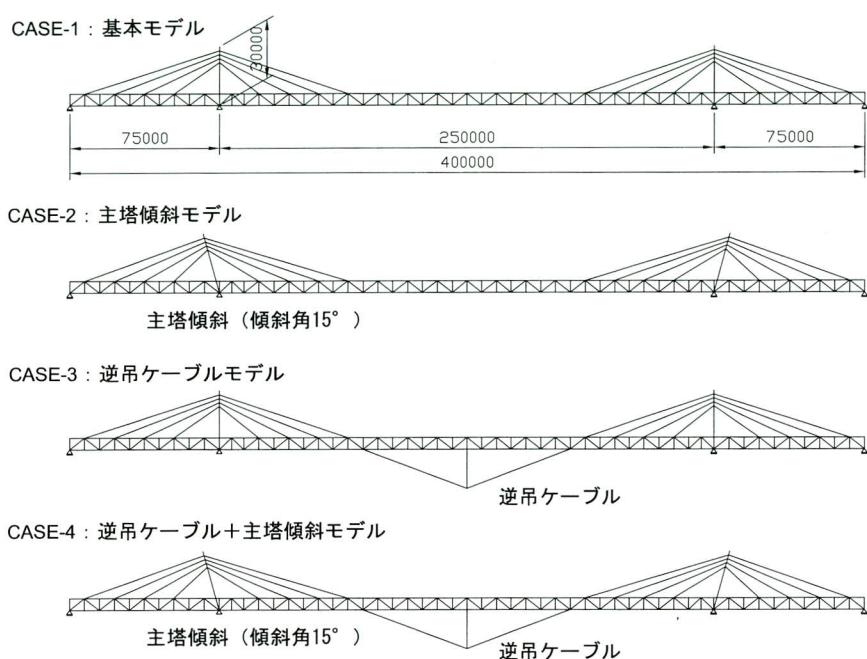


図-5 検討モデル

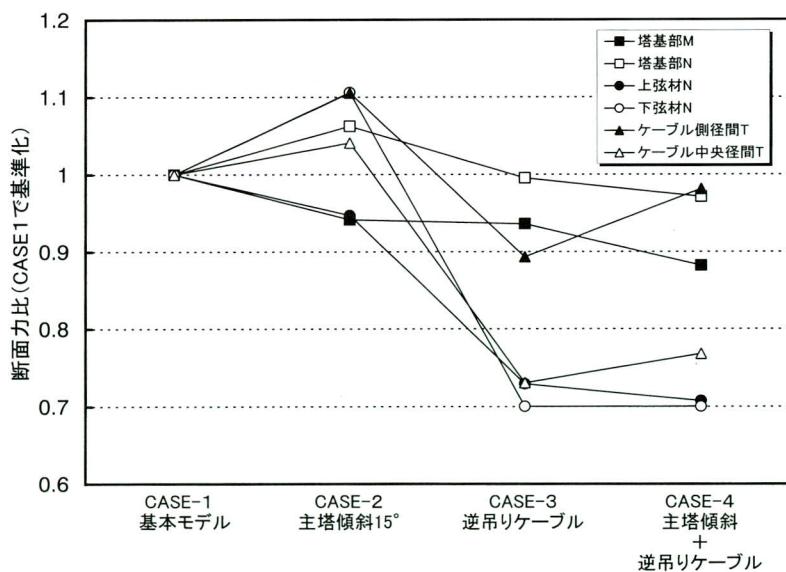


図-6 形式別断面力比

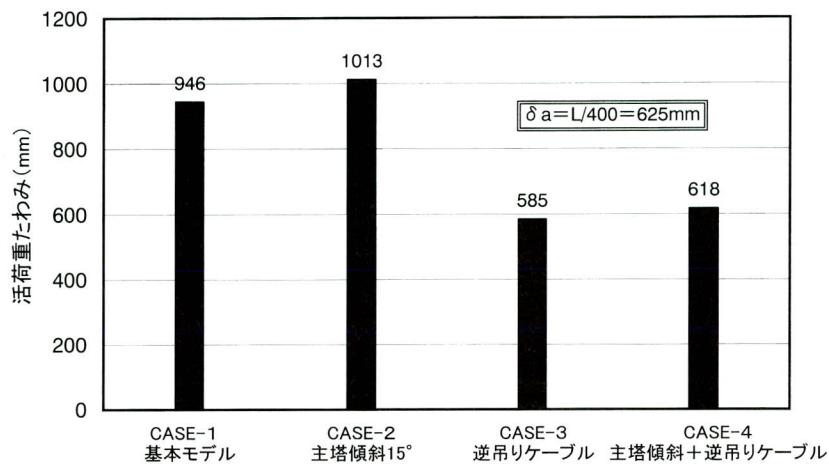


図-7 形式別活荷重たわみ

表-1 case-1 基本モデル

次数	振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	有効質量比 (%)			加速度応答スペクトル (gal) タイプII		
			橋軸方向	鉛直方向	並進	I 種地盤	II 種地盤	III 種地盤
1	0.274	3.655	0	21	11	127	273	340
2	0.487	2.053	8	2	5	333	715	889
3	0.749	1.334	5	2	4	683	1467	1500
4	0.965	1.036	1	4	2	1041	1750	1500
5	1.000	1.000	0	32	16	1104	1750	1500
6	1.246	0.803	11	1	6	1591	1750	1500
7	1.497	0.668	33	2	18	2000	1750	1500
8	1.786	0.560	2	2	2	2000	1750	1500
9	1.951	0.513	3	1	4	2000	1750	1500
10	2.041	0.490	0	2	1	2000	1750	1480
累積			67	69	68			

表-2 case-4 主塔傾斜十逆吊りケーブルモデル

次数	振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	有効質量比 (%)			加速度応答スペクトル (gal) タイプII		
			橋軸方向	鉛直方向	並進	I 種地盤	II 種地盤	III 種地盤
1	0.313	3.193	0	26	13	159	342	426
2	0.494	2.026	6	1	3	340	731	909
3	0.783	1.277	11	2	6	734	1577	1500
4	1.052	0.950	1	11	6	1203	1750	1500
5	1.138	0.879	0	20	10	1369	1750	1500
6	1.241	0.806	1	1	1	1582	1750	1500
7	1.470	0.680	44	3	24	2000	1750	1500
8	1.706	0.586	0	2	1	2000	1750	1500
9	1.989	0.503	5	1	3	2000	1750	1500
10	2.131	0.469	0	0	0	2000	1750	1437
累積			67	69	68			

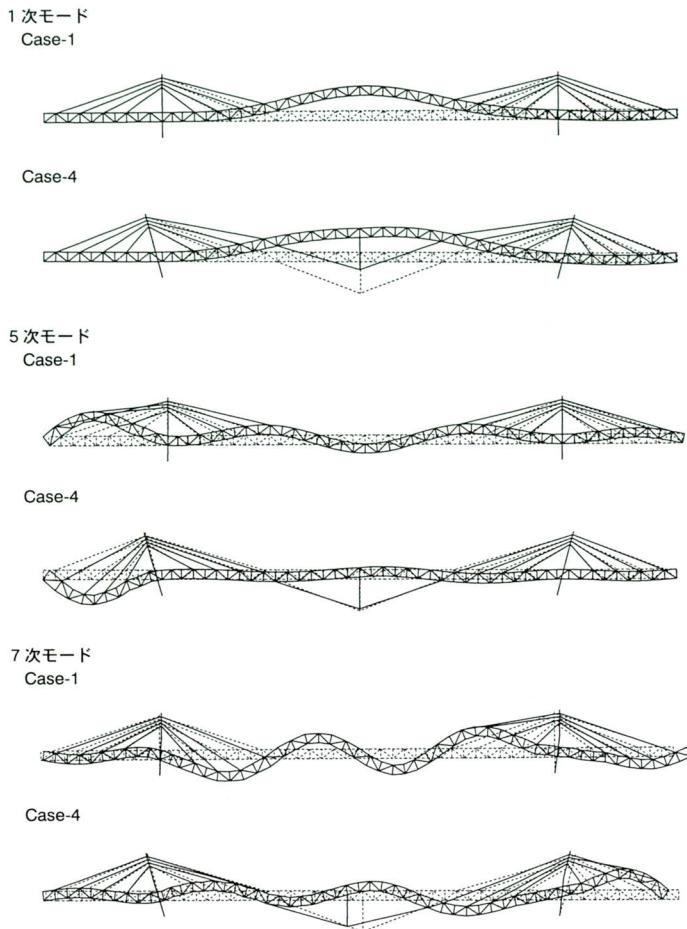


図-8 振動モード図

## 7. 固有振動解析

振動特性の変化を把握するために、基本モデル(CASE-1)と主塔傾斜+逆吊ケーブルモデル(CASE-4)について固有値解析を行い、新形式斜張橋の振動特性を比較した。固有値解析の結果を表-1および表-2に示す。また、振動源としての外力には交通振動、風、地震などあるが、ここでは地震応答に着目し、各モード別の加速度応答スペクトルを示している。

橋軸方向の卓越モードは7次、鉛直方向は1次、5次が卓越している。両構造とも、橋軸方向の卓越周期約0.7秒と短周期であり、桁を免震支承などで弾性支持し、橋梁全体の固有周期を伸ばすなどの対策が必要である。

図-8に1次、5次、7次のモード形状を示す。上段が基本モデル、下段が主塔傾斜+逆吊ケーブルである。1次モードでは、中央径間部が大きく変形するが、両構造に大きな差はない。5次モード、7次モードでは逆吊ケーブルによってモード形状が変化し、中央径間部の変形

が抑えられていることが分かる。

## 8.まとめと今後の検討課題

今回の解析結果によると、支間長比が大きくかつ主塔高が抑えられる場合、側径間をカウンターウェイト的に使用することによりバランスを良くすることはできるが、さらに積極的に改善していくためには、逆吊形式のケーブルで主桁を支持することは非常に有効である。また、さらに主塔を傾斜させることにより曲げモーメントはかなり改善されることが判った。さらに今後は以下のような技術検討が必要である。

- (1) ト拉斯下面のケーブル施工や傾斜した主塔など施工上の検討、構造細目などの検討が必要である。
- (2) 斜張橋の耐震性を向上させるために、免震支承などによって弾性的に支持することにより地震力の低減を図る。また、耐風安定性および地震時の挙動を把握するために、構造系の振動特性を考慮した検討が必要である。

(3) 主桁に鋼、主塔にコンクリートを使用した複合斜張橋、側径間をコンクリート桁、中央径間を鋼桁とした複合斜張橋など、より合理的、経済的な構造検討を行うことも必要である。

#### 〈参考文献〉

- 1) 家村浩和：深い谷を渡る長スパンアーチ橋の代替え案の思いつき－新しい構造形式への挑戦に期待する－、宮地技報巻頭言、1999、No.15
- 2) 土木学会：鋼斜張橋－技術とその変遷－、平成2年9月
- 3) 日本橋梁建設協会：新しい鋼橋、平成11年8月

2000.11.1 受付

#### グラビア写真説明

##### 大宮市連絡通路橋

本橋は、JR13線を跨ぎ中山道より、さいたまスーパーアリーナを結ぶ支間95mの歩道橋です。さいたま新都心のシンボルとして、景観デザインを考慮したバスケットハンドル型鋼管アーチローゼ桁が採用されています。

外観上の最大の特徴は、吊り材の定着角度（橋軸直角方向）を一定にして、桁側の定着位置をアーチ面の外側にしていることです。

そのほか、維持管理を容易にするため、本体には亜鉛・アルミ擬合金溶射を施し、吊り材には被覆プレハブ平行線ストランド、床版にはGRC（ガラス繊維補強セメント）埋設型枠を採用しています。

(伊藤)

##### 古島軌道桁

本工事は、国道330号から第2環状線を通る4径間連続曲線鋼軌道桁のうちのP449～J9間を宮地・富士車特定建設工事共同企業体で施工しました。本橋は、立体交差の交差点上に位置し、国道330号は沖縄県でも一番交通量の多いところであります。架設については本線を片側規制してのトラッククレーンによるベント工法で夜間架設で施工致しました。

沖縄都市モノレールは、那覇空港駅から首里駅間で2003年12月開業をめざし、工事も順調に進行しております。沖縄都市モノレール「ゆいレール」が開業しますと、那覇空港駅から首里駅までの12.9kmの運行所要時間が約27分となり、現在の交通手段に比較して大幅な時間の短縮が可能となります。交通渋滞に左右されず、通勤・通学をはじめ、レジャー・ショッピング等への利便性が大いに向上し、都市機能の活性化が図れます。

(村島)

# 光センサーによるモニタリングシステム (OSMOS) の特徴と有効性

## Features and Effectiveness of the Optical Strand Monitoring System

能登宥憲\* 中島一浩\*\* 滝谷敦\*  
Hiroyoshi NOTO Kazuhiro NAKAJIMA Atsushi SHIBUYA

### Summary

The optical strand monitoring system (OSMOS) is a system to efficiently maintain various buildings and civil engineering structures to ensure their long-term safety. This system measures and monitors the behavior of structures, uses the measurements to evaluate their durability, and predicts when special maintenance or repairs are needed. The OSMOS is an advanced technology system that captures in real time the continuous expanding and shrinking of structures using strands of twisted optical fibers. It can easily determine when a structure's properties change, and it monitors these changes over time. This paper describes the features and effectiveness of the system.

キーワード：モニタリング、光ファイバー

### 1. OSMOSの概要

本システムは、光ファイバーを撲った光学ストランドを利用し、構造物の伸びや縮みの連続的な変化を即ち、動的にモニタリングする最先端技術を利用したシステムである。基本的な計測項目は、構造物に固定された光学ストランドの端子間の伸び、縮みの連続的な変位の変化を、マクロ的に計測するシステムである。即ち構造物の変状発生を現状の足場等を設置してひずみゲージを貼付する計測に代わって時間の経過とともに簡単にモニタリングすることができる。

### 2. 計測システムの原理と特性

#### (1) 原理

構造物が伸縮変形することに伴い、設置された撲った光ファイバー（光学ストランド）が変形する（その結果撲り率の変化となる）ことで、光ファイバーの中を通過する赤外線がその変形部から漏洩する。そのとき漏洩しなかった光の強度変化を測定する micro bending principle（微量屈曲原理）を利用している。

#### (2) 特性

①センサーのタイプと長さ・ケーブルストランドタイプ：  
シリコン被覆、スパイラル・スティール被覆、アラミ

ド棒被覆の3タイプで標準長さ 2、5、10m  
エクステンションメーター：最小長さ 0.22m

- ②測定範囲：光学ストランド全長の0.5%
- ③計測精度（ストランド1.0mの場合）：  
短期動態計測精度 ±0.02mm  
長期動態計測精度 ± 0.10mm
- ④使用可能温度：−20～+60°C
- ⑤測定感度：0.004mm
- ⑥線膨張係数：  
 $0.5 \times 10^{-6}/\text{°C}$ （鋼、コンクリートの約1/20なので温度影響は微小）
- ⑦データへのノイズ：  
赤外線を用いた計測システムなので、電気を用いたひずみゲージのように電磁波によるノイズは発生しない。
- ⑧使用可能期間：  
耐久性はセンサー、固定金具がガラス、真鍮製なので対象構造物と同等またはそれ以上の期間が可能。

#### (3) 特殊な計測可能条件

- ①耐水圧性：  
実施例としては、防水モルタル等で覆って2mを行っている。メーカーのコメントでは10m位は可能と考えている。因みに、スパイラル被覆センサーは外面から、塩ビ管→鋼スパイラル管→テフロン被覆となっている。

\* 技術本部技術開発部長

\*\*技術本部技術開発部技術開発課

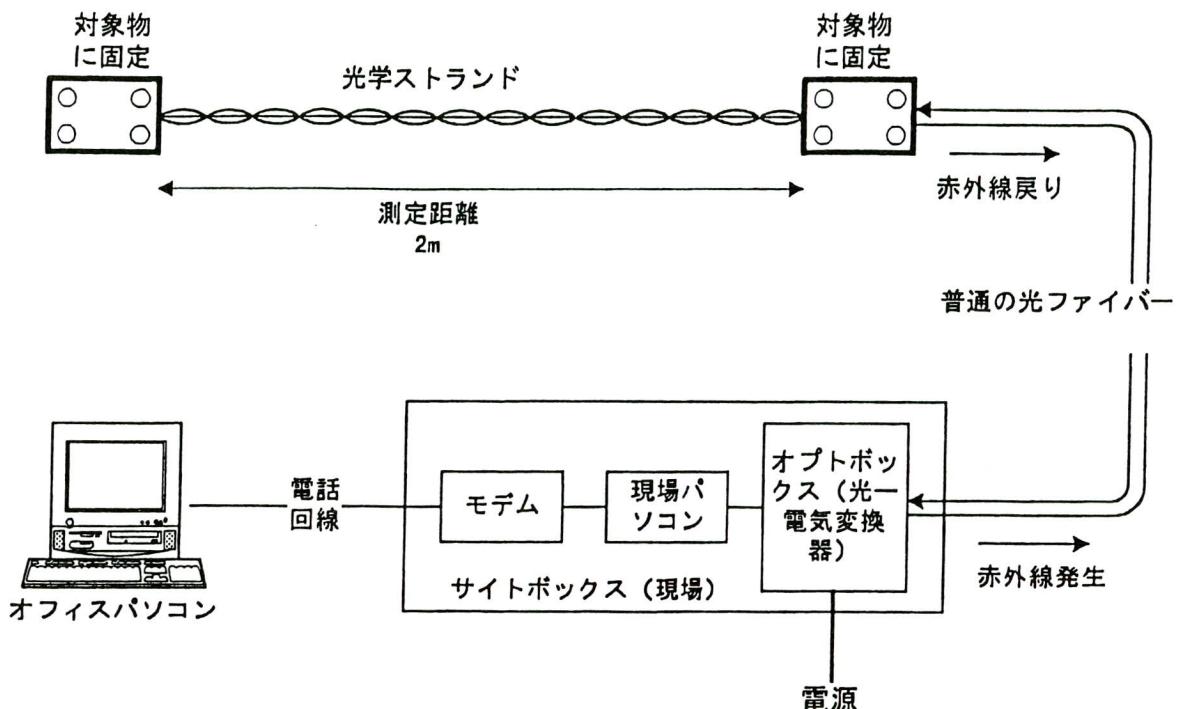


図-1 OSMOSのシステム構成

②耐酸性：

酸性溶液にセンサーを浸けるのは好ましくない。亜硫酸ガスの充満する噴火近傍のトンネルに設置した例がある。固定治具（真鍮性）は腐食するが、腐食の進行は停止する。

③外部からの赤外線の影響：影響なし

④スリーピングセンサー：

スリーピング期間の電源はオフでよい。但しセンサーとオプトボックスは接続しておく。

### 3. 計測データ

構造物に固定された光学ストランドの端子間の伸び、縮みの連続的な変位の変化を計測する。従来のひずみの概念で表示すると、センサーの長さで計測値を除すことによりひずみとなる。この変位が荷重除荷後も戻らない場合（クラック等）、この進展量から構造物の寿命（疲労寿命等）を推定することができる。

変位を連続的即ち動的に計測することにより、変位波形あるいはコンクリートのクラック発生時の衝撃値を捉えることができる。

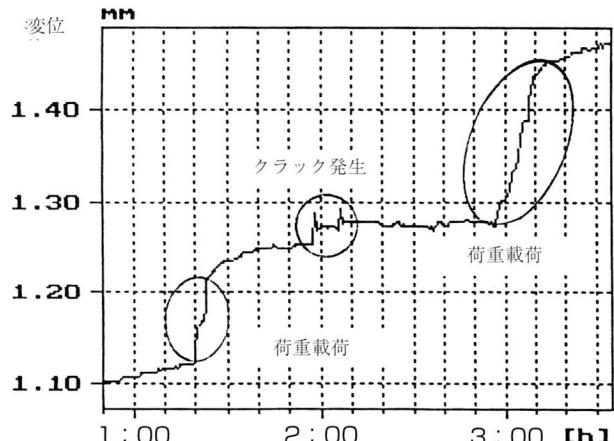


図-2 コンクリート版の載荷時およびクラック発生時の変位量

### 4. 計測対象とする構造物、部材と測定する変状現象

本システムの適用は、既設構造物の診断の他に、新設構造物の有用な設計データ収集に使用できる。

①鋼床版等の変位、クラックを動的に直接計測することにより、応力頻度計測に変換し疲労を評価、補修すべき時期を予測する。

②長支間PC床版、従来のRC床版、コンクリート桁の大ひずみ、クラックの発生時期をとらえ進展を追跡し、

対策を施す時期を予測する。

- ③斜張橋ケーブル、吊橋ハンガーケーブルの張力および長尺部材の応力計測と動態観測
- ④橋脚等の倒れ、遊間量の動態観測と補修時期の予測
- ⑤建築構造物、鉄塔等の動態観測と変状追跡
- ⑥護岸の迫り出し、近接施工の地盤の変状、トンネル・アーチダム等の壁面の大ひずみ
- ⑦近接施工等による周囲の地盤の移動

## 5.まとめ

次号でオスモスによるモニタリングのデータとひずみゲージによる計測データの比較、特徴を述べるものとする。

2000.11.1 受付

## グラビア写真説明

### 大望橋

大望橋は、昭和38年に千曲川に架かる中学生の通学橋として計画され、昭和39年に左岸側に2連の永久鋼桁橋と木造橋が完成しました。ところが昭和46年の災害により取付木造橋が流失し、本流位置が中州寄りになつたため1連永久鋼桁橋を延長して3連としました。その後昭和57年の災害により、再度取付木造橋が流失し、1連永久鋼桁橋を延長して4連としました。

昭和60年、建設省により完全堤防にする工事がスタートし、この工事に併せて平成2年に右岸側2連を永久鋼桁橋としました。

平成3年の災害により、昭和46年、昭和57年と同様に1連永久鋼桁橋を延長し左岸側5連としました。そして平成10年度、地方特定整備事業として残る2連の事業認可がなされ、平成12年3月に9連の（全長465.825m）大望橋が完成しました。

大望橋は、36年という月日、災害と共に、その姿を変え完成した橋です。

(山田)

### 花の丘ループ橋

高遠町は、長野県のほぼ中央に位置し、その核となる高遠城址公園のコヒガンザクラは、「天下第一の桜」として全国的に有名であり、観桜期になると大勢の観光客が訪れる。

しかし、この高遠城址公園は、三峰川と藤沢川に削られた断崖上にあり、公園へのアクセス道路は、幅員が狭く急勾配であり、観桜期になると慢性的な渋滞が発生する。

平成6年に過疎代行事業としてスタートした花の丘ループ橋は、愛称エスカルゴの名の通り、平面線形R=50mの7径間連続曲線箱桁であり、観桜期の渋滞解消とともに地域住民の新しい生活道路として期待をうけ計画された橋である。

(山田)

# 宮地鐵工所における鋼橋のヤード・現場溶接工法の技術的変遷(その2)

## — 非破壊検査、溶接収縮と変形について —

Changes in Yard and In Situ Welding Technology Applied to Steel Bridges by Miyaji Iron Works (Part2)  
—Non-destructive inspection, contraction and deformation of welded joints—

成 宮 隆 雄\* 村 上 貴 紀\*\*  
Takao NARUMIYA Takanori MURAKAMI

### Summary

The previous paper (Part 1) described welding methods, ways to prevent cracks and improve the quality of in-situ welds, windbreak facilities, increasing welding efficiency, and other experiences from Miyaji Iron Works' more than 30-year history of yard and in-situ welding. This paper continues from Part 1 by systematically summarizing the technologies and methods not only of non-destructive inspection, which is indispensable to insure the quality of in-situ welded joints, but also the methods to prevent welded joints from contracting and deforming, which can affect the dimensions and form of steel bridges. Both the relevant literature and company experiences are included in this summary.

キーワード：現場溶接、ヤード溶接、非破壊検査、溶接収縮、溶接変形

### 1. はじめに

前報<sup>1)</sup>において、宮地鐵工所が過去30年以上にわたり施工してきた鋼橋のヤード・現場溶接（以後一括して現場溶接という）について、その施工法、現場溶接に特異な溶接割れ防止対応、現場における風防設備、現場溶接継手性能の留意点および溶接能率等について記述した。

本報では引き続いて、現場溶接継手の品質確認に欠かすことのできない非破壊検査、および鋼橋の出来形（寸法および形状）に影響を及ぼす溶接継手の収縮および変形について、過去の実績および文献を基にその技術的変遷と考え方を纏め、報告することにした。

### 2. 現場溶接継手の非破壊検査

現場溶接継手の非破壊検査は特に工場における非破壊検査と変わるものではないが、現場における検査のため検査姿勢が全姿勢となり、かつ空間的作業条件も厳しく、検査時の安全性の確保も重要な課題となる。一般に現場溶接継手の内部品質検査には放射線透過試験（以後RTという）または超音波探傷試験（以後UTという）が行われている。工場における板継ぎ溶接等の突合せ溶接ではRT、その他の完全溶込み溶接継手ではUTが採用されている場合が多いが、現場溶接では1980年代前半までは

一部の継手を除きほとんどの継手にRTが採用されていた。

1970年代後半において、疲労を考慮したトラス弦材の部分溶込み角継手のルート欠陥を検出する超音波自動探傷法開発の要請がなされ、多くの検討がなされた。当社はこれらの要請に答えるべく、部分溶込みおよびすみ肉溶接継手のルート部の欠陥をRTのフィルム画像のように直接欠陥の形状、寸法および位置が記録される映像化方式の超音波自動探傷を鋼橋の溶接継手に対して初めて試み、実用化の目途を付け発表した<sup>2)</sup>。図-1に角継手を想定した人工ルート欠陥のCスコープ画像処理UT記録の例を示す。従来の手動UTはRTに比べ記録性に劣り、検査後の客観的な説得力に劣ることが弱点となっており、溶接欠陥の記録を画像化することにより、分かりやすくすることが急務であり、映像化方式超音波自動探傷システムは現場溶接への適用に今後の方向性を与えることになった。しかしながら現場溶接継手にUTを採用するに際して、RTとUTの欠陥検出度と信頼性の違いが常に論議されてきた。

#### (1) UTとRTの欠陥検出度と信頼性の比較

突合せ溶接継手のUTでは特別な場合を除いて斜角探触子が用いられており、RTは継手の真上からの投影され

\* 常務取締役

\*\*技術本部生産技術研究所

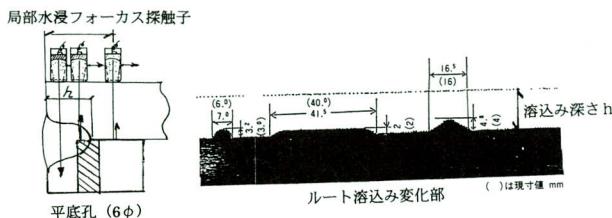


図-1 局部水浸フォーカス型探触子を用いた  
画像処理超音波自動探傷の例

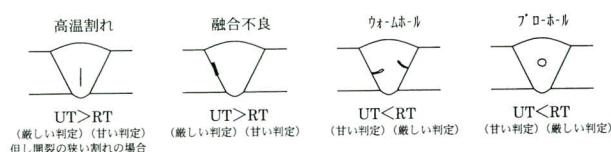


図-2 RTとUTの溶接欠陥の種類による検出能力の定性的評価

表-1 RT、UT、切断試験における欠陥長さの比較

種類	欠陥NO	1	2	3	4	5	6	7
切断試験		14mm ±1.4	24 ±0.9	25 ±2.6	5 ±1.4	7.5 ±2.5	2.5 ±2.5	2.5 ±2.5
RT	一般試験*1	9mm	23	25	5	4	0	0.6
	精密試験*2	13mm	24	26	5	4.5	0	2.0
	UT*3(L検出レベル)	13mm	23	9	4	8	5	0
UT*3(I/L検出レベル)	17mm	38	29	11	11	9	3	

\*1: 欠陥を含む丸棒の肉厚補償鋼板挿入、丸棒回転撮影方式。透過度識別線径0.32mm

\*2: 同上、狭窄射野撮影。透過度識別線径0.25mm

\*3: JISZ3060-1975 探触子SZ10X10A45,60,70。探触子の各屈折角、各探傷面での欠陥指示長さが異なる場合は最大欠陥指示長さ



付図1 切断試験による欠陥1の断面スケッチ



付図2 切断試験による欠陥3の断面スケッチ



付図3 切断試験による  
欠陥6の断面ス  
ケッチ



付図4 切断試験による  
欠陥7の断面ス  
ケッチ

た欠陥像であるのに対して、UTはほぼ板面平行方向からの探傷であり、欠陥の種類（形状）によっては検出能力に差が生じることは避けられない。図-2にRTとUTの溶接欠陥検出能力の定性的な評価を示す<sup>3)</sup>。

厳密な意味でRTとUTの溶接欠陥の検出能力を比較した報告は少ないが、仙田ら<sup>4)</sup>は、円筒状または面状欠陥を有する溶接試験体より欠陥を含む丸棒を削り出し、探傷方向性を考慮した丸棒回転撮影方式RTと種々屈折角度の探触子を用い、継手4方向（継手左右および裏表）から探傷したUTの欠陥指示長さおよび切断試験より測定した欠陥長さの比較を行った。これらの結果を表-1および付図1～4に示した。RTでは透過度計識別度、UTでは検出レベル等の試験条件にもよるが、それほど大きな差異は認められない。強いて言えば円筒状ではRT、面状ではUTの検出能力が高いと思われる。

三木ら<sup>5)</sup>は、工場板継ぎ溶接継手（板厚9～32mm）を想定した各種溶接欠陥を有する継手試験体を作成し、そ

		材質: SM50 板厚: 9 ~ 32mm 開先:I,V,X 超音波探傷条件: 5Z10×10A70, A2-L級レベル			片面両側探傷(S1 およびS2)			
不 合 格	4 級	三種	7 (0)	7 (3)	2 (0)	1 (0)	2.2 (4)	
		二種	3 (0)	11 (1)	13 (2)	37 (4)	39 (10)	
		一種	0	0	0	0	0	
放 射 線 透 過 試 験	3 級	三種						
		二種	3 (0)	7 (1)	5 (2)	4 (1)	1.1 (2)	
		一種	5 (0)	8 (2)	2 (1)	8 (2)	7 (0)	
J I S Z 3 - 1 0 4	2 級	二種	2 (0)	4 (0)	2 (1)	1 (0)	2 (1)	
		一種	8 (2)	6 (1)	9 (2)	7 (0)	5 (0)	
格	1 級	二種	1.5 (2)	1.6 (2)	7 (3)	6 (1)	4 (1)	
		一種	6 (0)	4 (1)	1 (0)	2 (1)	5 (1)	
		N D	4.6 (8)	9 (2)	1.9 (4)	1.5 (4)		
			1級	2級	3級	4級		
			合 格		不 合 格			

( ) 手動探傷データ数  
超音波探傷試験(JISZ3060)

全データ(RTまたはUTの何れかで検出した欠陥数): 403 (内手動探傷72)  
RT、UTとも合格(1級または2級)とした欠陥数: 135-264 (66%)  
RT、UTとも不合格(3級または4級)とした欠陥数: 129- (内手動探傷47,  
RTが合格とし、UTが不合格とした欠陥数: 66(16%) 65% )  
RTが合格とし、UTが不合格とした欠陥数: 73(18%)  
この内、RTで2～3種欠陥4級をUTでは欠陥無または1級と判定したデータ28ヶ(7%),  
UTで4級をRTでは欠陥無または1級と判定したデータ25ヶ(6%)である。

図-3 自然欠陥試験体による各自動超音波探傷システムと

放射線透過試験の等級対比

の欠陥数403個について標準条件におけるRT（JIS Z 3014<sup>1998</sup>）とAUT（自動探傷）（JIS Z 3060<sup>1998</sup>に準じる）の欠陥等級比較を行った。これらの総括結果を図-3に示す。RTおよびUTとも等級分類2級（2類）以上を合格、3級（3類）以下を不合格としたが、RTとUTが共に合格（1級または2級）、または不合格（3級または4級）とした欠陥数は66%であった。またRTが不合格の欠陥をUTで合格とした欠陥数18%、RTが合格とした欠陥をUTが不合格とした欠陥数16%であり、いずれも大差はない。UTでの等級分類はエコー高さの領域と指示長さで決まるが、RTではフィルム指示像が割れと判断される場合は指示長さに関係なく全て4級と分類され、厳しい判定となる。しかしながら、微細な溶接割れや開裂の狭い縦割れの検出能力に関してはUTの方が見落としが少ない。RTとUTの溶接欠陥検出能力には一長一短あり、どちらが良いとは一概に言えないが、今後UTの画像処理により溶接欠陥の立体表示を可能とし、欠陥の種類判別ができるようになれば、作業性の良さからUTの有用性は更に高まるものと思われる。

## （2）現場溶接のUTの技術的変遷

現場溶接継手特に鋼床版現場溶接継手は継手が長く、非破壊検査延長も膨大となる。鋼床版継手のRTでの検査能率はせいぜいフィルム50枚／日程度（300mm \* 50枚／日=15m／日）であり、また安全上雨模様での作業ができないため検査能率は極めて悪い。また放射線を用いるためX線発生装置の半径5mを立ち入り禁止区域とし、かつ管理区域を設ける必要があり、近辺での現場作業は安全上著しく制限される。一方UTでは安全上の特別の制約はないため、近辺での出会い帳場が可能であり、フィルムの現像等の後作業もなく探傷結果が直ちに分かる利点がある。

1985年、本州四国連絡橋櫃石島上部工架設工事では工期短縮のため、鋼床版現場溶接継手の非破壊検査の能率向上が課題となり、鋼床版現場溶接継手への自動超音波探傷（以後AUTという）の適用が検討された。<sup>3)</sup> この時検討したAUTはトラス弦材角継手用に開発された5システムであり、一部映像化されたシステム〔平面（Cスコープ）のみ〕もあるが、大半がエコー高さのみを表示（Aスコープ）であった。採用に当たり鋼床版現場溶接で想定される溶接欠陥を有する平板試験体および鋼床版実大試験体を作成し、各システムでのAUTとRTとの比較試験を行い、AUTシステムの具備すべき条件、検査要領を

作成した。櫃石島橋で鋼床版溶接継手にAUTを本格的に採用したのを始めとし、その後もDルートの本四橋吊橋3橋の鋼床版現場溶接継手に適用された。検査速度は60cm/min、検査能率は70~90mであり、工期短縮の一助となった。

1989年、首都高速道路公団D31工区において、橋脚と横梁の全断面現場溶接にAUTを採用したのが当社として最初であり、その後多くの現場溶接にAUTを採用し、工期短縮と継手品質保証の一環を担っている。

1993年には阪神高速道路公団が現場溶接を対象とした「超音波自動探傷要領」を制定し、1999年には日本道路公団名古屋建設局が「現場溶接部非破壊検査要領」を制定した。日本道路公団の検査要領ではAUTで探傷を行い、欠陥が検出された箇所については手動UTを行い、合否判定を行うことになっている。また1998年にはJIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷法」と整合性のある「鋼溶接部の超音波自動探傷方法」（JIS Z 3070）が制定された。

現在のAUTはほとんどが画像処理方式であり、当社は初期の段階より溶接継手の画像処理AUT化に地道に貢献してきている。

**写真-1**に箱桁全断面上向き溶接継手に採用したAUT施工状況を、図-4に画像処理AUT記録の例を示した。

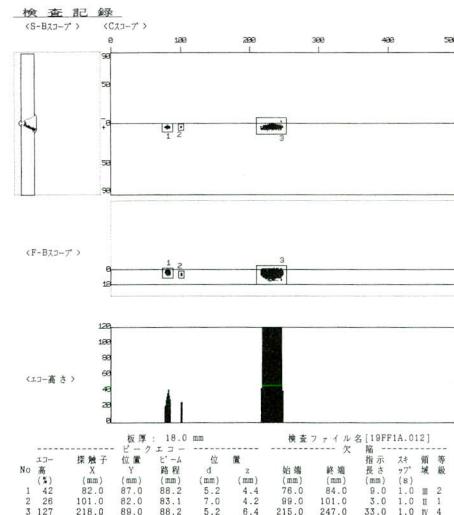


図-4 画像処理AUT記録の例

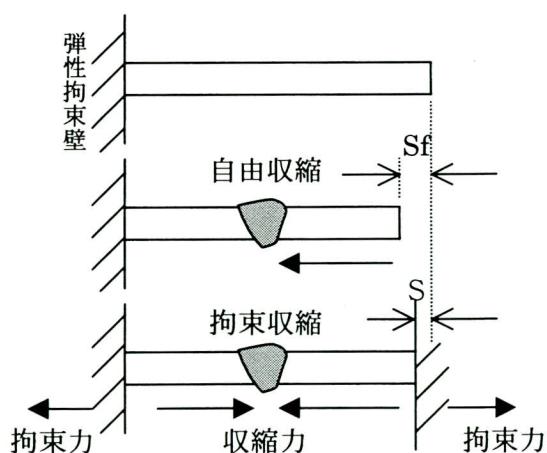
### 3. 現場溶接継手と溶接収縮と変形

溶接構造物においては溶接による収縮と変形の制御、およびその補正が重要な課題となる。工場溶接では溶接収縮を考慮した予長付加、溶接後の寸法切断、予ひずみ法、プレス矯正、ローラーベンディングおよび加熱矯正等の溶接収縮と変形の制御と矯正手段は多々あるが、現場溶接での寸法・形状確保としては製作時に予長付加、付加キャンバーを付けるか、現場で最小限の加熱矯正をする以外の方法がなく、現場溶接採用に当っては計画時の対策が重要となる。

本報では突合せ溶接における溶接収縮と変形の制御を主体にデータを基に記述する。



写真-1 箱桁全断面上向き溶接継手におけるAUTの施工例



$$S / S_f = \alpha \quad (\text{拘束係数}) \leq 1.0 \quad (1)$$

図-5 自由収縮と拘束収縮の模式図

#### (1) 溶接収縮について

一般に突合せ溶接継手の横収縮は継手の拘束度が大きくなると小さくなる（反面溶接残留応力は大きくなる）。全く拘束のない継手の横収縮量  $S_f$ 、実継手（拘束下）の横収縮量  $S$ 、継手の拘束係数  $\alpha$  の関係を図-5の模式図に示す。自由収縮量が大きいにも拘わらず実継手の収縮量が小さい場合は、当然のことながら継手にかかる収縮応力は大きくなり、溶接割れ等の原因となることを忘れてはならない。また拘束度は必ずしも図-5のように構造的な拘束に限らず、継手の大きさ、板厚、開先形状および積層等に関連する自拘束も含まれることになる。

ウェブおよび下フランジがボルト継手で構成される鋼床版現場溶接においては構造的拘束が大きいため、鋼床版（上フランジ）横継手の溶接収縮により大きな曲げモーメントが働き、キャンバーに影響を与えるため、鋼床版溶接での溶接収縮量を予測することは重要である。突合せ溶接継手の横収縮量については多くの実験式が提案されている<sup>6)</sup>。鋼橋において比較的多く用いられている突合せ溶接横収縮量の実験式の一つにSpraragenの式がある<sup>7)</sup>。

$$S_f = a \times A_w / t + 0.05d \quad (2)$$

$S_f$ ：自由横収縮量（mm）開先内仮付け溶接程度で構造的な拘束のない継手

$A_w$ ：溶着断面積（mm<sup>2</sup>）

$t$ ：板厚（mm）

$d$ ：ルートギャップ（mm）

$a$ ：定数  $t < 25\text{mm}$  のとき  $a = 0.18$

$t \geq 25\text{mm}$  のとき  $a = 0.20$

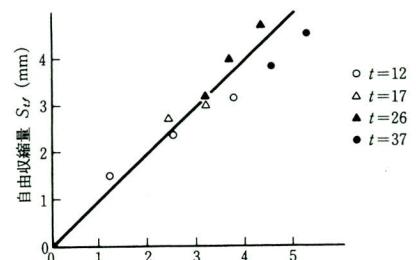
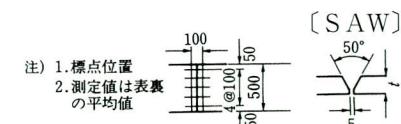


図-6 自由横収縮溶接試験の実験値と

Spraragenの式による横収縮計算値の関係

## ① 鋼床版継手の収縮量について

当社は、1972年に四国地方建設局新吉野川橋において本格的な鋼床版現場溶接の施工以来、必ず現場溶接継手の収縮量を測定してきた。多径間連続鋼床版箱桁の箱桁上フランジは板厚が厚くなり、溶着量が増大するため溶接収縮量も大きくなる。1984年、名古屋道路公社運河工区の5径間連続鋼床版箱桁橋梁の鋼床版現場溶接（SAW片面自動溶接）を想定した平板試験体による自由収縮量測定試験（溶接継手長500mm、溶接角変形は拘束するが、溶接収縮には無拘束な自由収縮試験装置を用いた試験）を行った<sup>8)</sup>。図-6に前述のSpraragenの式で算出した自由収縮量Sfと試験実測値Stfの関係を示した。定数a=0.18では非常に良く一致している。(1)式で示したように継手の自由収縮量Sf、拘束係数αが決まれば実継手の収縮量が推定できる。継手の拘束度Kmは一般に継手の開先を1mm広げるに要する力(ton/mm)として定義されている。前述の運河工区鋼床版箱桁を用いた実物鋼床版溶接継手（下フランジとウェブ2/3の高力ボルト継手を仮締め）の拘束度Kmを求め、拘束係数αとの関係を求めた。測定要領を図-7に、測定結果を図-8に示す。鋼床版箱桁継手の拘束度は鋼床版（上フランジ）の板厚によって大きく変わること（60~120ton/mm）がある。拘束係数αは0.7~0.8に納まっている。従って、鋼床版箱桁の上フランジ継手では自由収縮量Sfを(2)式のSpraragenの式から求め、拘束係数を0.7として、(1)式より実継手の収縮量Sを求め、後述する鋼床版現場溶接によるキャンバー変化を求めてそれほど大きな間違はないと思われる。

## ② 鋼床版現場溶接によるキャンバー変化

図-7に示したような構造的拘束を持つ継手を溶接すると、継手の溶接収縮によりキャンバー変化を生じる。その変化量δは継手の収縮量および継手を構成する部材の断面寸法をパラメーターとした幾何学的な変形の模式図から求められることが知られている。模式図を図-9に示す。

鋼床版箱桁の鋼床版（上フランジ）現場溶接を行う場合は予め、(3)式でキャンバー変化量を求め、その量がある程度大きい時は、製作時に付加キャンバーとして考慮しておくことが必要である。なお製作上の留意点として、現場溶接継手のルートギャップを許容値に納まるよう製作時の組立精度維持および工場溶接収縮量の制御を行うことが重要である。

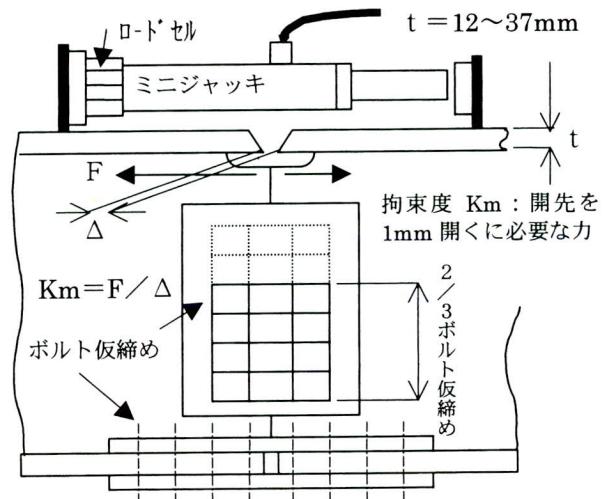


図-7 鋼床版箱桁継手の拘束度測定要領

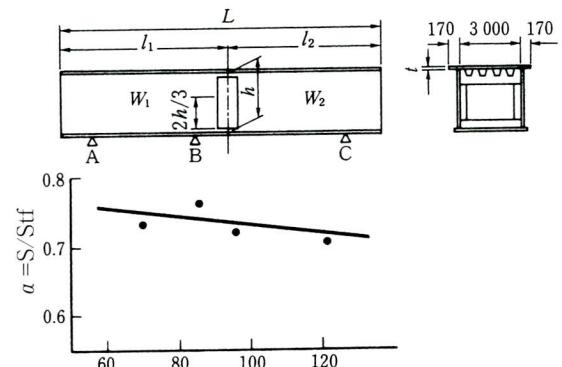


図-8 継手拘束度と、継手収縮量Sと自由収縮量Stfとの比αの関係

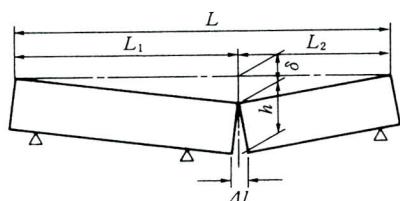


図-9 溶接収縮による幾何学変形の模式図

$$\delta = (L_1 L_2 / L) (S / h) \quad \text{--- (3)}$$

δ：鋼床版現場溶接によるキャンバー変化量

S：上フランジの溶接による継手の溶接収縮量

L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub>、L および h は図-8 の定義による

## ③ 全断面溶接継手の溶接収縮と形状変化

全断面溶接はほぼ全姿勢溶接となるため、同じ板厚、開先条件でも溶接入熱、パス数が異なり、溶接収縮量のバラツキは大きくなる。全断面溶接を想定した下向き、横向き、上向き、の各種溶接法における施行試験体（平板、L型および構造試験体）での溶接収縮量の実測値

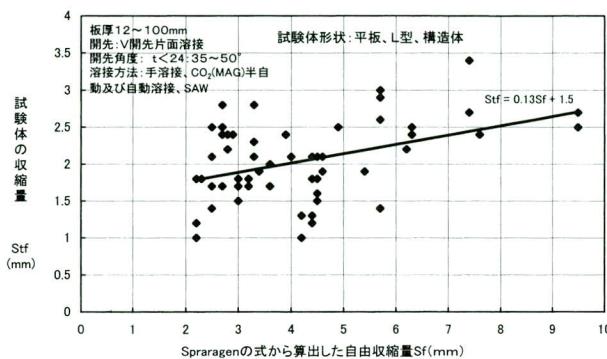


図-10 全断面溶接試験における溶接收縮量と Spraggenの式から算出した収縮量の関係

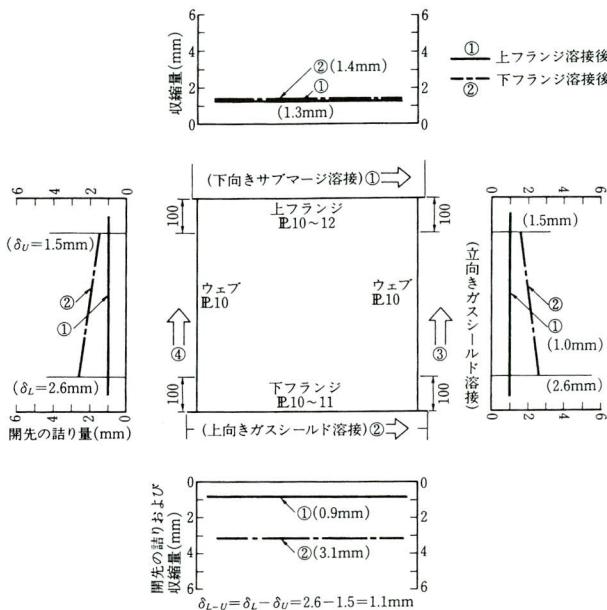


図-11 全断面溶接継手(16継手)実測結果に基づく溶接收縮のモデル

( $Stf$ ) と Spraggen の式から算出した自由収縮量 ( $Sf$ ) の関係を図-10に示した。試験体そのものが無拘束でなく、 $Stf$ は自由収縮量といえないためか、図-6に示したSAW 片面自動溶接のような実測値と算出値の一一致は見られない。強いていえば  $Stf=0.13Sf+1.5$  の相関が見られる程度である。いずれにしても板厚12~100mmの全断面溶接継手を想定した試験体での収縮量は1~3mm程度である。

箱桁タイプおよびI桁タイプの全断面溶接では、構造的拘束度の大きさにもよるが、上下フランジおよびウェブの溶接收縮が加算される。通常は板厚の比較的厚いフランジが先に溶接されるため、ウェブ継手のルートギャップは上下フランジの溶接により詰まる傾向にあり、予め配慮しておくことが必要である。

図-11に箱桁の全断面溶接継手の実績結果に基づく溶

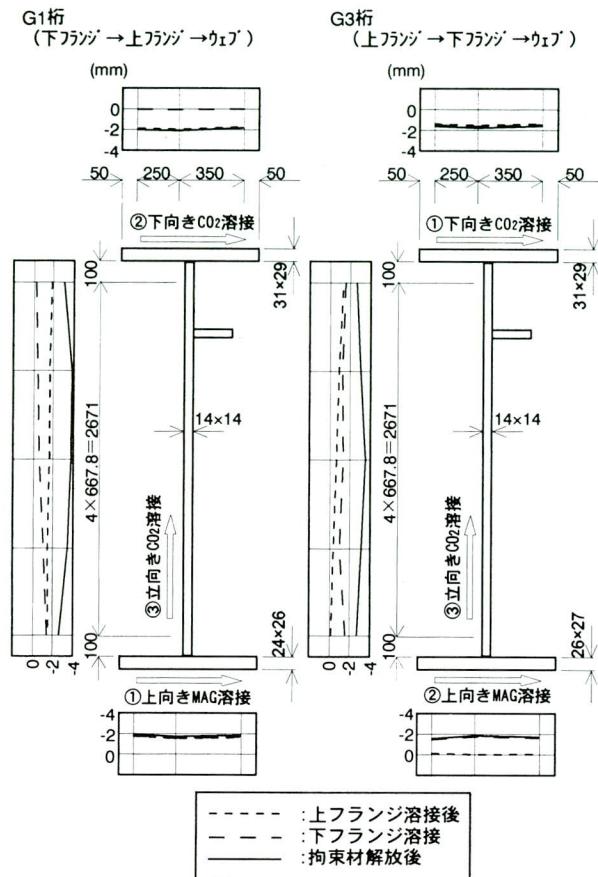
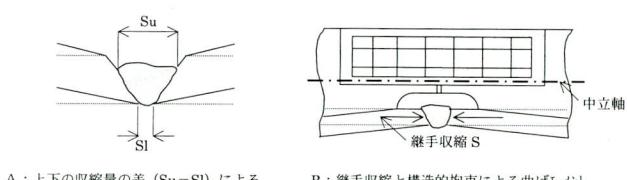


図-12 板桁全断面溶接における溶接收縮測定結果の例



A: 上下の収縮量の差 ( $Su - Sl$ ) による角変形  
B: 継手収縮と構造的拘束による曲げモーメントに基づく角変形

図-13 角変形発生現象の模式図

接收縮モデル<sup>9)</sup>を、図-12に板桁の全断面溶接における溶接收縮測定結果の例<sup>10)</sup>を示す。実橋全断面溶接での各継手の溶接收縮量は図-10の溶接試験体の溶接收縮量と大差なく、3mm以下である。また、溶接收縮による形状変化（キャンバー、横曲がり等）はフランジの溶接継手が上下にあるため、若干の溶接收縮の差はあるものの、無視できるものとなっている。なお、一般に小入熱溶接では溶接時にアーク点の前方は開先が詰まる傾向にあり、大入熱溶接では開先線のバイメタル効果で開先が開く傾向にある。前者においては開先ルートギャップが狭くなり、裏波が出難くなる傾向にあり、後者では高温割れの原因となることがあり留意すべき事項である。

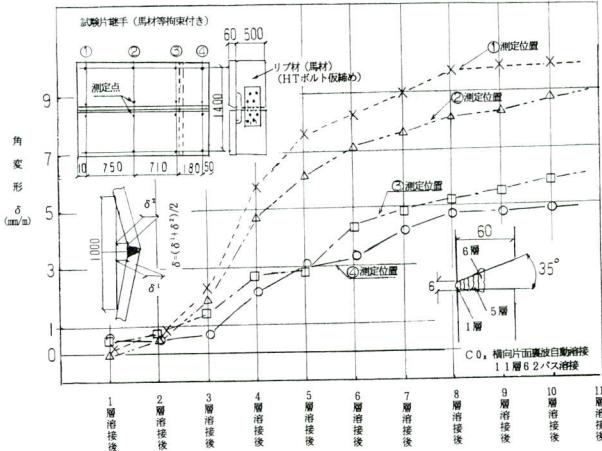


図-14 片面裏波突合せ溶接における角変形量の推移の例

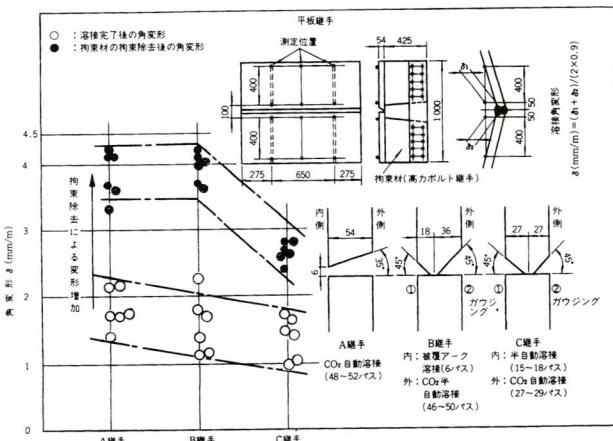


図-15 極厚板継手における片面溶接と両面溶接の角変形量の比較

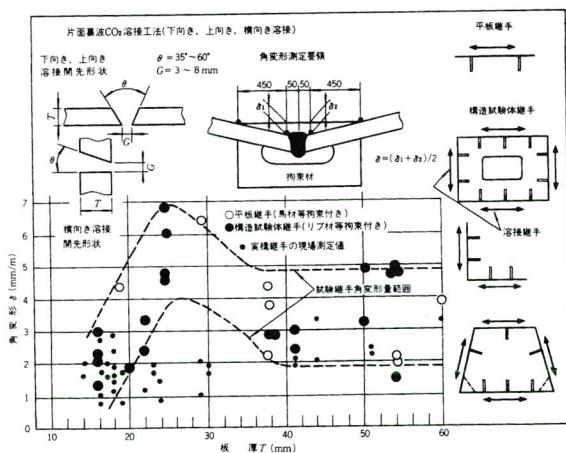


図-16 片面溶接における板厚と角変形量の関係

## (2) 溶接角変形について

突合せ溶接継手の面外変形には、横曲がり（角変形）および縦曲がり変形があるが、現場溶接では主として継

手の角変形が問題となる。継手の角変形に関する多くの実験式が報告されているが<sup>6)</sup>、材質、板厚、開先形状、構造形式、溶接方法および溶接条件によってその変形状態は大きく異なり、一般的に変形量を予測することは難しい。一般に突合せ溶接の角変形は図-13のいずれかの現象で生じるものと思われる。図-13のBの溶接継手も溶接積層過程においてはAの角変形を生じており、リブ等の拘束程度によるが、通常の場合はAと同様な方向へ角変形を生じる。図-14に一部に拘束馬材を付けた厚板従って角変形量は大きくなっている。馬材の位置では図-13のBによる原理が働き弾性的な釣り合いで、角変形が少なくなっているが、馬材を取り外した場合は、ほぼ馬材がない場合の変形になることを留意する必要がある。図-15に拘束材（馬材）平板試験体を用いた片面溶接と両面溶接の角変形量の比較、および拘束材除去前後における角変形量の実測値を示した。両面溶接においては表面のガウジングを考慮した適正な開先形状をとることにより、拘束材除去後の変形を最小限にすることができる。図-16に片面溶接における各種試験体の板厚と角変形量および実橋での継手角変形量の関係を示した。板厚25mm程度までは板厚が増加することにより角変形量も増加しているが、25mmを超える板厚では前層の溶接ビードによる自拘束が増大し角変形量はほぼ一定となっている。また、実橋での角変形はバラツキが大きいものの3mm以下であり、板厚の増加により若干の増加が見られている<sup>11) 12)</sup>。

## 4. おわりに

最近では鋼橋のトータルコスト縮減として少主桁化された合理化橋が採用されてきており、それに伴い、板厚100mmまでの厚板の現場溶接継手となっている。この溶接継手の内部品質検査として厚板での検出能力、検査作業の効率化などからAUTが採用されており、今後も厚板での検出能力、作業性や安全面で有利なAUTが更に採用されていくと思われる。また、厚板での溶接収縮や変形の制御が重要となり、現場溶接だけではなく工場製作においても、溶接収縮や変形の制御による部材精度、継手精度の向上が重要な課題である。

宮地鐵工所における鋼橋のヤード・現場溶接工法の技術的変遷として、前報では現場溶接施工の技術的変遷を、本報では非破壊検査および溶接収縮と変形の技術的変遷と考え方を纏めた。この報告により現場溶接技術の将来

への継承と、今後の更なる発展への糧とするものである。

### 〈参考文献〉

- 1) 成宮他：宮地鐵工所における鋼橋のヤード・現場溶接工法の技術的変遷（その1），宮地技報，No15，1999
- 2) 成宮他：溶接継手の超音波探傷映像化方式の実用化研究—その1.部分溶込みかど継手の超音波探傷，宮地技報，No.1，1985
- 3) 櫛石島橋上部工架設工事JV：鋼床版現場溶接継手の自動超音波適用試験報告書1985.7 櫛石島橋上部工架設工事報告書
- 4) 仙田他：放射線透過試験と超音波探傷試験の溶接部欠陥検出比較について，非破壊検査 Vol32 No10，1983
- 5) 三木・成宮他：自動超音波探傷システムの板継ぎ溶

接部品質保証への適用の検討，鋼構造論文集 Vol11 No.4, 1994

- 6) 木原他：溶接データブック，産報出版，1964
- 7) Spraragen : Welding Journal No.9, 1947
- 8) 佐藤・成宮他：鋼床版箱桁現場溶接継手の変形実物モデル試験，橋梁と基礎 Vol118 No.10, 1984.10
- 9) 成宮他：箱桁全断面溶接に用いる上向き片面自動溶接工法の開発と適用，宮地技報 No.4, 1988
- 10) 村上他：少数主桁省力化工法における板桁（I断面）全断面溶接，宮地技報，No.13, 1997
- 11) 成宮：景観を考慮した鋼橋の接合技術 橋梁と基礎 Vol.129 No8, 1995.8
- 12) 成宮：鋼構造技術総覧 [土木編]，5.1溶接接合  
(社) 日本鋼構造協会編，1998

2000.11.1 受付

### グラビア写真説明

#### 長野原めがね橋

長野原めがね橋は、八ッ場ダム建設事業の付替道路として整備する国道145号（全体延長11.2km）の最初の工事です。八ッ場ダムは、一級河川吾妻川の中流に利根川総合開発計画の一環として建設され、利根川水系の上流ダム群と相まって下流部の洪水被害を軽減するものです。

本橋は、吾妻峡と称される美観に配慮した西吾妻観光地域に相応しい形式として、2連のニールセンローゼ橋を選定しています。アーチの曲線がやわらかさを演出し、かつモニュメントとしての役割を果たします。また、橋脚形状も景観に配慮し、曲線部を設けています。

(関根)

#### 飛島高架橋西（鋼上部工）工事

日本道路公団名古屋建設局における鋼少数主桁橋への取り組みは東海大府高架橋を出発点として始まった。これを鋼少数主桁橋の第一世代とすると、飛島高架橋西（鋼上部工）工事は鋼少数主桁橋の第二世代としての役割を担った。

本橋においては、垂直補剛材の削減といったさらなる合理化・省力化構造の採用、スカーラップレス工法を採用した現場溶接、最大支間長91mへの鋼床版橋の適用、海岸部仕様の薄膜型重防食塗装系の開発、そして移動型枠支保工を用いた場所打ちPC床版の試験施工などといった、鋼少数主桁橋をもうひとつ上のステージに押し上げるための様々な取り組みを行い、これらの成果はJH名古屋の鋼少数主桁橋の設計・施工指針（案）の改訂に反映されるところとなつた。

なお、本橋の設計・施工報告については、宮地技報No.14（1998）を参照されたい。

(生駒)

## グラビア写真説明

### 横尾大橋

長野県上高地は、自然を楽しむため多くの観光客が訪れる場所であり、またマイカー規制をするなど自然を厳しく保護しているところでもある。

横尾大橋は、上高地にある無補剛吊橋であり、幅員1.5mの歩道橋である。耐候性鋼材を使用するとともに、木製床版・木製高欄とすることで、大自然に調和するよう配慮しており、多くの観光客や登山客に親しまれる吊橋である。

(山田)

### 香椎アイランドシティ5号橋

現在、福岡市では臨海部の新たなまちづくりとして、アイランドシティを計画しています。アイランドシティは、博多湾東部海域に約406haの埋め立てを行い、港湾施設、サイエンスパーク、住宅用地及び緑地等の整備を行うものです。

本橋は、アイランドシティと福岡市東区雁ノ巣地区を結ぶ全長750mの海上部に架かる橋梁のメインの部分であり、海の中道海浜公園へのアクセス道路及び周辺地域の交通渋滞の緩和を図る為に建設されました。

橋梁型式は、周辺環境への配慮及びシンボル性などにより3径間バランスクーブアーチが採用されました。アーチライズ、主桁高さを低く押さえたスレンダーなプロポーションとなっており、周辺の風景とも調和がとれた美しい橋です。

(渡部)

### 常田新橋

上田市は、長野県の東部に位置し、上田城を中心に古くから歴史と伝統の町である。近年では、長野新幹線の乗降駅や上信越自動車道の上田ICの完成により流通の拠点となっている。

常田新橋は、千曲川に架かる常田・踏み側と小牧側を結ぶ多径間連続箱桁である。橋の中央部約100m間の歩道幅員を3.5mから6.0mに拡幅し、橋上モニュメントを設置し、上田市のランドマークとして地域住民に親しまれる橋として期待されている。

常田・踏み側は、上田城や小牧寺など北国街道の町並みが広がる歴史と伝統の地域であり、小牧側は、学園都市・新産業都市としてこれから未来を担う地域である。この2つの地域を結ぶ常田新橋は、上田の新時代を導く希望の架け橋である。

(山田)

### 常浪3号橋

常浪3号橋は、新潟県東蒲原郡上川村に位置し、ダムの建設により県道が水没してしまうために架けられた橋です。

本橋はケーブルクレーンによるベント併用張り出し工法で架設し、部材の上弦材、下弦材、垂直材および斜材を縦の面で地組し、最大張り出し長は約56mでした。以前からケーブルエレクション架設の現場をやっていた所長は「今回は地面からベントで支えているから安心だな。」と言っていましたが、実際56mの張り出しを目の前で見るとかなりの迫力がありました。

(西田)

## グラビア写真説明

### 南港中出入路鋼桁及び鋼製橋脚工事

本橋は、大阪市が計画した『テクノポート大阪計画』の中の埋め立てにより出来た「咲洲」に位置し、ここ大阪港はわが国を代表する中枢国際港湾でもあり、外内貿の物流拠点としての役割を果たしている地域もあります。『テクノポート大阪計画』では、「咲洲」、「夢洲」、「舞洲」を建設し、国際物流センター、先端産業などの業務施設、住宅施設、下水処理場などが整備される予定になっており、新たにぎわう街造りが目の前まで来ています。2008年には、世界初の海上オリンピックメイン会場の候補地としても活動を進めるなど、今まで、「咲洲」を大阪府道高速湾岸線が通っているものの、この「咲洲」に出入路がなかった為これら大阪港の諸機能を有機的に結ぶ為、必要不可欠なランプもありました。これからは、この阪神高速湾岸線は元より、大阪市建設のいくつかの連絡橋ならびに将来建設予定の夢洲トンネルなど、大阪港を支える大動脈となる予定で、今後益々、本橋の出入路が海外の人も含め国際利用される日は近い…！！

(加藤)

### 小牧（その1）工区上部工事

県道名古屋小牧線（名濃道路）は、名古屋高速道路の楠JCTから名神高速道路の小牧ICまでを南北に結ぶ新規の路線で、全てを国道41号線上での高架方式を採用しています。

当社が施工した小牧（その1）工区は、名濃道路のほぼ中間地点に位置します。

交通量の多い国道41号上での作業のため、夜間作業が多く、安全には特に留意して作業を進めました。

(菊池)

### 平瀬橋

国道147号線は、松本市と安曇野地方を結ぶ主要幹線道路であるが、近年の交通量の増大により通年を通して慢性的な渋滞を引き起こしている。この渋滞を解消すべく、また上田地方とのアクセスをスムーズにするため、国道147号線のバイパスとして高家（たきべ）バイパスが計画されました。平瀬橋は、この高家バイパスの一部として松本側の玄関口に位置します。

平瀬橋は、奈良井川を1径間で渡る鋼斜張橋であり、主桁・主塔とも鋼製であることは、長野県ではめずらしい形式です。平瀬橋の形状は、国道19号線につながることから、路面高を国道と変えないことや河川断面より桁高を低く押さえなければならないことから決定しました。主塔は、兜の鉢形をイメージしており、雄大な北アルプス連峰に反映し、すばらしい景観を写し出しています。

(山田)

### 藁科川橋東（鋼上部工）工事

本工事は日本道路公団静岡建設局が建設する第二東名高速道路において初めて発注された鋼上部工事である。本橋は17.51mという広幅員に場所打ちPC床版と鋼2主桁橋を組み合わせた構造形式が採用され、その床版支間長11mは我が国では過去にまったく例を見ない画期的なものである。また、箱桁にはプレストレスを拘束しにくい開断面が採用された。

このような構造を実現するために、設計法の整備はもとより、実物大の模型を用いた実験検証、大規模な移動型枠支保工設備の開発、ハーフプレキャスト工法（PCF床版）の開発など、社内の英知を結集した対応を行い、第二東名高速道路のパイロット工事としての責任を果たしてきたものと自負している。

現在、本橋は鋼桁架設の最盛期を迎えており、長支間場所打ちPC床版の施工は平成13年春頃から開始される。技術者必見の現場となること請け合いである。

(河西)

## グラビア写真説明

### 椿原橋（鋼上部工）工事

椿原橋は、橋軸方向および橋軸直角方向にプレストレスされたコンクリート床版（以下、PC床版という）と鋼トラス部材で構成された3径間連続複合トラス橋で、PC床版にトラス上弦材としての機能を持たせ、さらに縦桁、横桁、上横構などの床組部材を省略した合理化トラスです。

本橋では張り出し架設時に、PC床版と上弦材をスタッドにより逐次合成させながら施工を進める工法を計画していますが、床版コンクリートにプレストレスを導入する際、トラス部材が抵抗して有効プレストレス量が減少しないようウイリット部分を箱抜きし、プレストレス導入後に箱抜き部のコンクリートを打ち込むこととしています。

本工事では実橋の1/2.2の床版3パネル試験体を製作し、上記施工方法の効果とスタッドを介した応力伝達状況を確認するとともに、疲労耐久性および終局荷重に対する安全性の確認を目的とした実験を実施しました。試験機は建設機械化研究所所有の大型疲労試験機（静的荷重±600tf、動的最大荷重振幅400tf）を使用しています。

（永山）

### 晴海一丁目地区第一種市街地再開発事業（西地区）

#### 第1工区施設建築物新築工事（Z棟）

「晴海アイランドトリトンスクエア」は現在晴海一丁目地区で進められている再開発事業の複合都市である。約100,000m<sup>2</sup>の敷地に超高層ビル三棟（X、Y、Z棟）を建て、オフィス、商業施設、住宅棟も併設している。

当社施工のZ棟は、最近の超高層ビルには珍しく、柱には極厚H形鋼を使用しており、材質もSA440C、SA440B、SN490C（TMCP）と高級材が使用され、また、エネルギー吸収部材としてアンボンドプレースを使用している。

鉄骨工事も平成13年にはほぼ完了した。

（当社施工 地下鉄骨、地上1,2,7,8,11～13節）

（小松）

### 東京大学医学部付属病院病院棟新営工事

東京大学本郷の不忍池に向って矢印形の建物がしゅん功しようとしている。21世紀の医療を目指す東京大学医学部付属病院の病院棟である。病棟数564室、1046ベットの国内でも最大の病室のみの建物である。

鉄骨もBOX柱、パイプ柱、オイルダンパーを使用しての制震プレースと安全を重視した構造で、ファブ8社で製作を行い、平成13年3月に上棟した。

（当社施工 地下1節、5～7階4節）

（小松）

### NEC玉川ルネッサンスシティ（I）

東京駅から横須賀線に乗って横浜方面にしばらく行くと、多摩川を渡る辺りから左側に、周囲のビルや民家から一段と高く抜き出た高層ビルが見えてくる。電車は、あたかもこのビルを見るために走っているかのように右側面からゆるやかに左へカーブして正面を横にして過ぎていく。建物の周囲が広大な空地となり木や花が見事なまでに配置されていて、近代ビルが周囲の自然環境やゆとりと見事に調和された新しい姿が感じられる。エコロジービルを目標とし日射負荷を考慮したコア配置、外壁の高断熱性、エアーフローウィンド等建物の運用エネルギーが40%、ライフサイクルCO<sub>2</sub>が35%、各々一般のビルに比べて削減されているという事である。

建方工法はコンピューターとロボットを使った全自動ビル建設システムの初めての実用化であった。鉄骨柱のレベルを1通り置きに変えた事が思い出に残っている。

（西原）

## 編集後記

21世紀の幕開けとともに、宮地技報第16号をお届けします。

今号の巻頭言では、東京大学の藤野先生から『「T」型志向から「II」型思考へ』とのテーマでご執筆いただきました。「一つのフィールドから、πの字のようにもう一つの分野をマスターする」という、21世紀の橋梁技術者への課題と期待について御教示いただきました。先生には、御多忙のところ玉稿をお寄せいただき、誌面を借りまして厚く御礼申し上げます。

近年、当社が携わりました明石海峡大橋、来島海峡大橋、多々羅大橋などの長大橋建設が一段落し、本号では、溶接技術、建築用鋼材の特性などの基礎研究や、コンピュータグラフィックス、モニタリング、新形式斜張橋など、新たな研究・開発についての報告が掲載されています。こうした新しい技術開発の続報や21世紀の新技术の報告が更に増えていくことを編集委員一同期待しております。

これからも宮地グループの技術の研鑽に努め、より良い「技報」編集に委員一同努力して参りますので、よろしくお願い致します。

## 技報編集委員会

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

\*印 事務局兼務

## 宮地技報 第16号

発行日 平成12年12月25日

発行所 株式会社宮地鐵工所

〒103-0011 東京都中央区日本橋大伝馬町7番5号

(豊和大伝馬町ビル) TEL 03(3639)2111(代)

印刷所 望月印刷株式会社