

【論文・報告】

# 番の州高架橋トラスの設計と製作

Design and Fabrication of Truss in BANNOSU Viaduct

金田 高康\*  
Takayasu KANEDA

瀬田 真\*\*  
Makoto SETA

堀田 肇\*\*  
Tsuyoshi HOTTA

米山 徹\*\*\*  
Toru YONEYAMA

## 1. まえがき

番の州高架橋トラスは、本州四国連絡橋の児島ー坂出ルートのうち、海峡部の最も四国寄りに位置する。本橋は、中央径間180m、側径間150mの3径間連続のトラス橋であり、上路部が道路、下路部が鉄道のダブルデッキ型式となっている。また、平面的に道路・鉄道とも曲線区間となるため主構が中間支点上で角折れしていること、支間長が長いため主構高を変化させた曲弦ワーレントラスとしていることが特徴である。ここでは、本橋の設計と製作について、その概要を報告する。

## 2. 橋梁諸元

図-1に全体一般図を示す。また、設計条件は次のとおりである。

道路部	鉄道部
路線名：一般国道30号	本四備讃線
規格：第一種第2級	在来線(KS-16)
(TL-20) (TT-43)	新幹線(N-18) (P-18)
設計速度： $V = 100 \text{ km/h}$	在来線 $V = 120 \text{ km/h}$ 新幹線 $V = 160 \text{ km/h}$
車線数：4車線	暫定 在来2線 ( $2 \times 2 @ 3.5 \text{ m}$ ) 完成 在来+新幹線
平面線形：緩和曲線+単円	緩和曲線+単円
形式：主構 鋼3径間連続曲弦ワーレントラス	

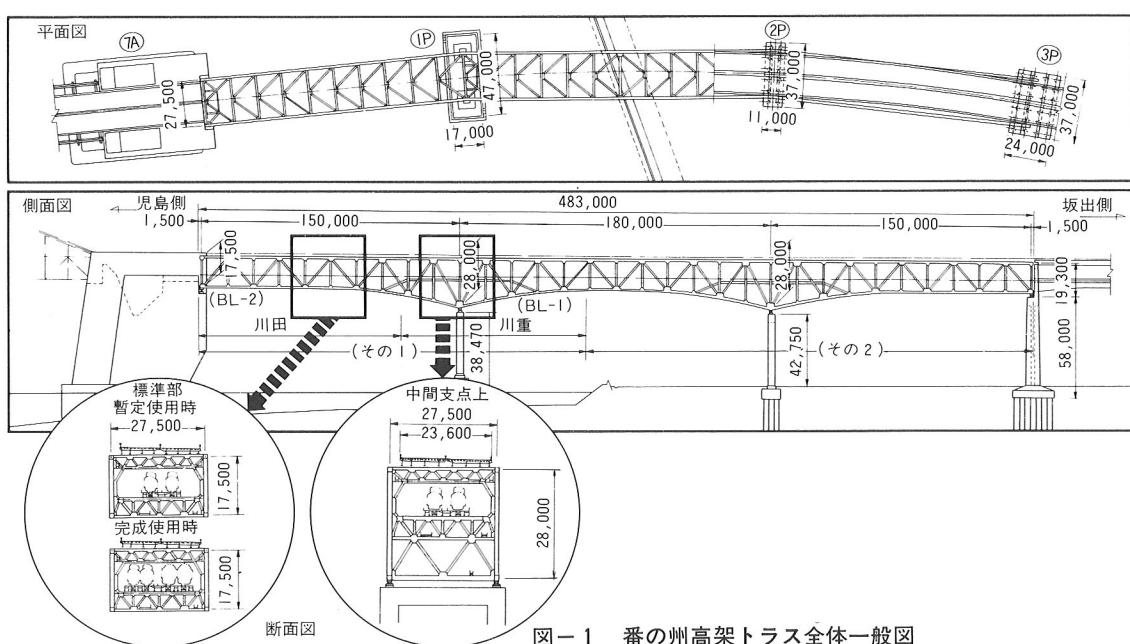


図-1 番の州高架トラス全体一般図

\*川田工業(株)東京工事部工事課課長 \*\*川田工業(株)技術本部設計部設計課 \*\*\*川田工業(株)四国工場生産技術課

床組 鋼床版板桁 直結軌道式鋼板桁	
橋 長	支間 $150 + 180 + 150 = 480\text{m}$
主 構 高	標準部 $17.5\text{m}$ 中間支点部 $28.0\text{m}$
主 構 幅	$27.5\text{m}$
鋼 重	主構 $9,800\text{ton}$ 道路床組 $3,000\text{ton}$ 鉄道床組 $1,600\text{ton}$ 付属物 $1,900\text{ton}$ 合計 $16,300\text{ton}$

### 3. 設 計

#### (1) 主構トラス

##### a) 解析方法

主構の解析は、主に平面解析とした。この点については、中間支点上で折れている影響と左右の主構で長さが異なることから立体解析を行うことを検討したが、立体解析と平面解析を比較した結果、断面力差は5%前後と小さく平面解析を使用することにした(図-2参照)。

立体解析は、2次応力・横構断面力の算出も兼ねて平面解析を照査するために使用した。

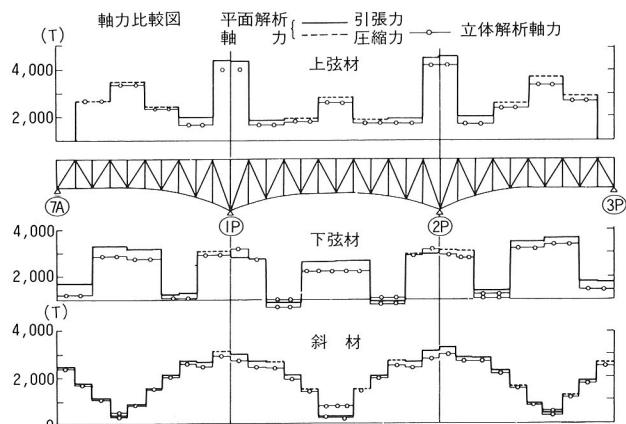


図-2 軸力比較図

##### b) 2次応力

軸力部材として設計されるトラス橋は、部材の自重、格点剛結、軸心の偏心等による曲げモーメントを2次応力として処理している。

本橋の場合は、まず軸力部材として断面力を求めて  $50 \sim 100\text{kg/cm}^2$  の余裕をもたせて断面を決定した。そして、2次応力の照査として曲げ剛性を持った部材を格点剛結させたラーメン構造として新たに解析を行い、又部材自重による曲げモーメントも別途求めて照査した。

結果として、本橋が比較的部材長と部材高の比が大きく、許容応力度の割増し(10%)を考慮しているので、2次応力による断面増加はなかった。なお、軸心線の偏心による影響は、断面重心の平均値にトラス軸心線を合

わせることにより無視した。

##### c) 疲労設計

本橋では、鉄道・道路の併用橋のため、各部材を道路荷重を主に受ける道路部材、列車荷重の影響が大きい鉄道部材、両方の荷重を負担する併用部材に分けている。このうち、鉄道部材と併用部材は列車荷重による繰り返し応力を受ける部材として疲労の照査を行った。

併用部材として疲労設計を行った主構主部材の結果を図-3に示す。本橋はトラス橋のため、吊橋等に比べて死荷重の占める割合いが大きく、疲労によって決まる部材はなかった。

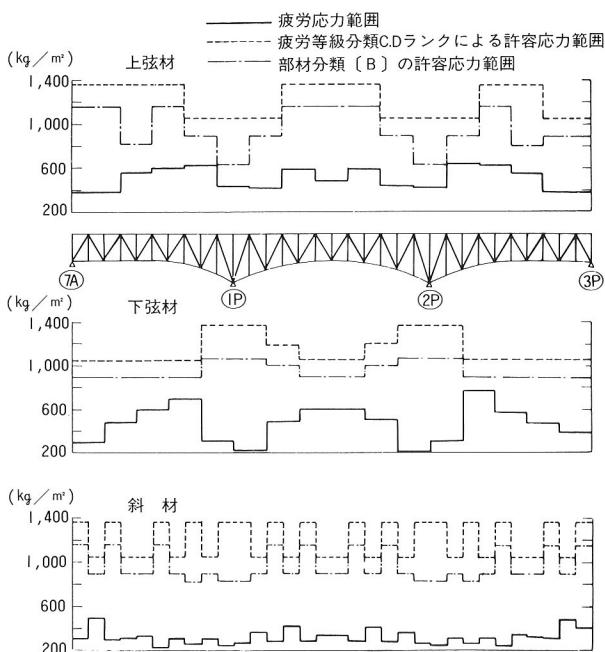


図-3 疲労に対する検討

##### d) 動的照査

本橋は、中間支点で平面的に折れているため、この挙動を正確に把握するため下部工を含めた立体トラスとしてモデル化した。また、橋軸直角方向のトラスの変形に横トラスの剛性が影響するため、支点上対傾構およびその隣接する対傾構は、実際に近い形状でモデル化した。一般部の対傾構については、等価なずれ剛性を有するX形状のトラスとしている。

下部工は、7Aが岩盤に直接支持された剛体基礎であり、1P～3Pが沖積層・洪積層を経て岩盤に根入れされた杭基礎となっている。解析に用いた加速度応答スペクトルは、7Aについては本四耐震設計基準に示されているものを用い、1P～3Pについては土木研究所のスペクトル(1970年)の沖積層(2)を  $\beta=1.25$  でピークカットしたスペクトルを用いた。図-4、5を参照。

動的照査の結果、静的解析によって決定した主構断面から、上弦材で1部材、下弦材で2部材の補強を行った。

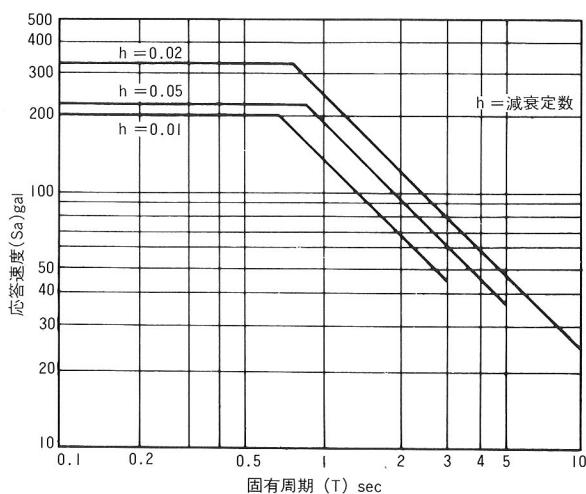


図-4 本四基準スペクトル

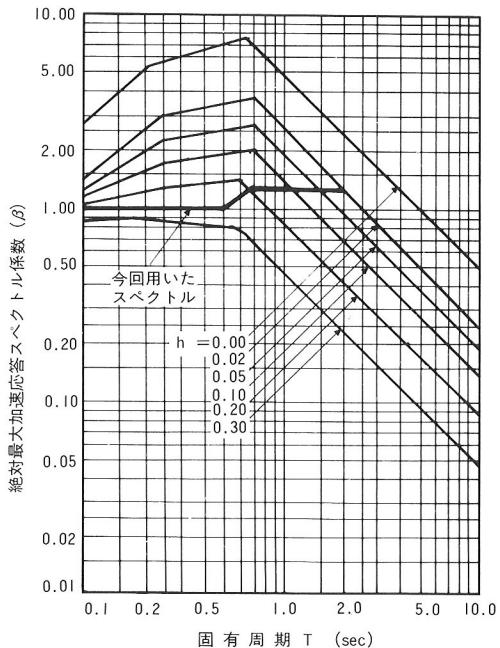


図-5 土研スペクトル(1970) [沖積層(2)]

## e) 格点構造とガセット厚・FEM解析

- 本橋の主構格点構造は、次の様な特徴を有している。
- ① 斜材、垂直材とガセットプレートの現場継手を突合せ構造とし、かつ箱断面4面とも連結する構造とした。
  - ② ガセットプレート内側に面外座屈防止のために補剛材を配した。
  - ③ 斜材、垂直材より延びたフランジプレートを上下弦材内までに三角リブとして延長し面外曲げ剛性を確保した。(ただし、下弦材上フランジを優先し通している)
  - ④ 垂直材の下端部とガセットプレートで囲まれる部分は密閉構造とした。
- ガセットプレートについては、2面連結に基づく板厚算出式を用いて設計を行った。ガセットプレート自体は

応力的に余裕を生じていることが予想されたが、フィレット・ダイヤフラム・リブ等の応力状態を照査するためにFEM解析を行った。

解析の結果、分布応力度は全体的に低く4面連結を使用した効果が現われている。斜材との取合い部材で $\sigma_{max}$ を生じるが $2,200\text{kg/cm}^2$ と低い値である。また、フィレット・ダイヤフラムでも応力は小さく、特に斜材が弦材のフランジに取付く箇所に設けた三角リブは弦材フランジの変形もおさえ、リブ自体の応力も小さく適當な構造であったと考えられる。図-6にその格点構造を示す。

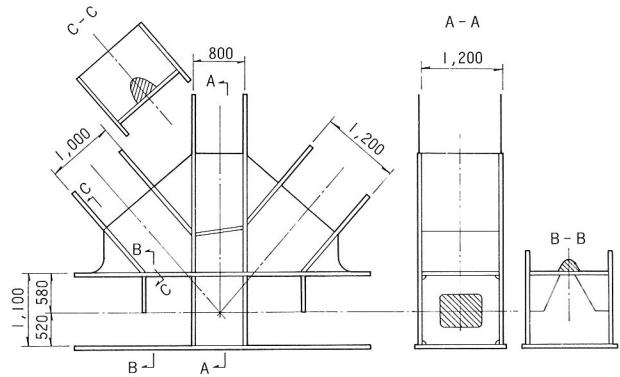


図-6 格点構造図

## (2) 横トラス

横トラスはその構造内に鉄道を通すため、トラスのほぼ中央部分に部材を組むことができず、主構等の全体構造からみるとどうしても剛性の低いものになってしまふ。

この様な条件の基で最も剛性を高められる構造として筋交いに模した斜材を配することにし、横トラスとしての必要とするセン断剛性から斜材の断面寸法を決定していった。

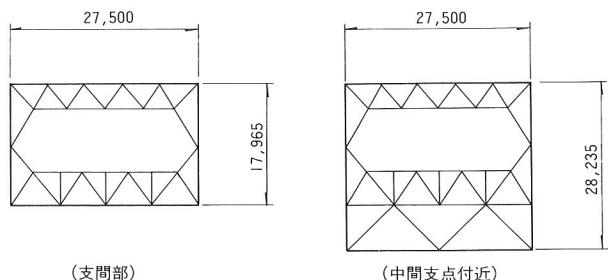


図-7 骨組図

結果として、製作寸法から決定した鉄道受梁を除いた床組部材が小さいI断面に出来たのに比べ、斜材は600mm幅の箱断面とかなり大きいものになってしまった。

これは主構との取合いを大型化させてしまい、2次応力の発生も大きくなり、本構造の採用にあたって最大の問題点として最後まで苦労した点である。

### (3) 横構

横構の解析は、立体骨組解析による静的解析を基本とし、地震荷重による動的解析によって照査を行った。立体解析を用いた理由は、中間支点上で主構が折れていることによる影響及び曲弦トラスのため死荷重によって生じる断面力を考慮するためである。

上下横構は、以下の理由によりKトラス形式とした。

- ① 主構の変形によって横構に発生する二次応力が小さい。
- ② 主構幅に比べてパネル長が短く、Kトラスを組むに適した寸法比である。
- ③ 架設工法より、3Pから中央径間の中央に向かってKトラスの開いた形とした方が有利である。

Kトラス組みについては、図-1の平面図を参照。

横構の部材断面は、全て箱断面である。主構格点での連結形状は、単材架設を考慮して下側のガセットを大きくして横構斜材を上に置ける方法とした。

支点付近では、上横構が道路床組の地震荷重を伝達し、下横構が耐震連結部材（3P）を兼ねた構造となっている。

### (4) 道路床組

道路床組は、構トラス間隔を支間とした32径間の鋼床版板桁である。基本設計では、3径間連続鉄筋コンクリート床版板桁で計画されていた。しかし、全体鋼重の軽減を計りたい事、中間支点の鋼製橋脚の耐力の余裕が小さい事、また、高所への床版コンクリートのポンプアップの問題、施工工期、維持管理等の問題から、10または12径間連続の鋼床版板桁とした。

図-8に標準断面を示す。

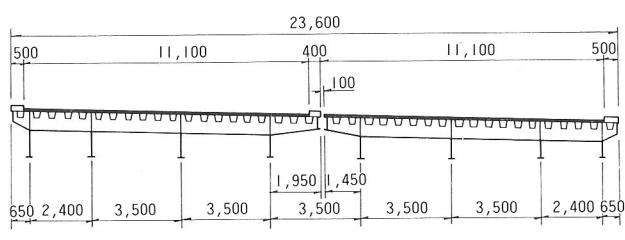


図-8 道路床組標準断面

鋼床版は、主に施工上から上下線分離構造としている。縦桁は、レーンマーク直下に配置することを基本としている。縦リブは、Uトラフリブ（300×220×6）を用いている。地覆、中央分離帯も鋼製とし全体鋼重の軽減に努めた。

解析方法は、本四基準に従い、鋼床版についてはペリカン・エスリングガー法と有限帶板要素法（FSM）を併用している。床組については、格子骨組により断面力を算出した。

### (5) 鉄道床組

鉄道部は、在来線2線・新幹線2線の計4線を考えられている。暫定的に、在来線2線のみを通す計画となっている。図-9に断面図を示す。

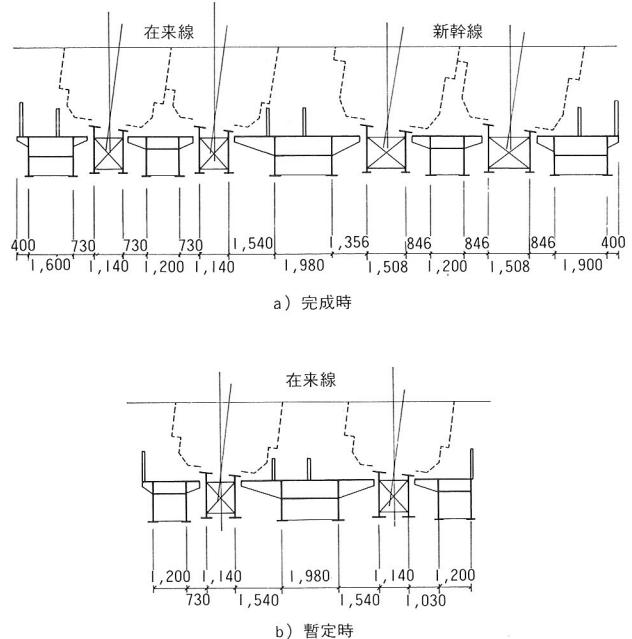


図-9 鉄道軌道配置

暫定期の在来線は、偏心載荷を避けて中央に設けているが、完成時へ移行する際には、使用していた鉄道床組をそのまま用いる。在来線と新幹線とでは、軌道間隔・カントの違いは横トラス・支承調整プレートで処理している。

鉄道床組の両端部には、道路部の伸縮装置に対応する軌道伸縮装置及びそれを受けける各種の桁がある。図-10、11にその概要図を示す。

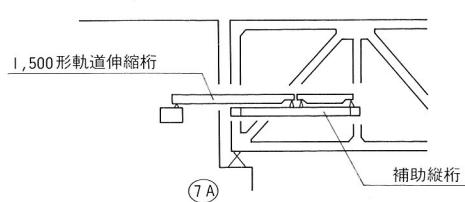


図-10 7A側軌道伸縮装置

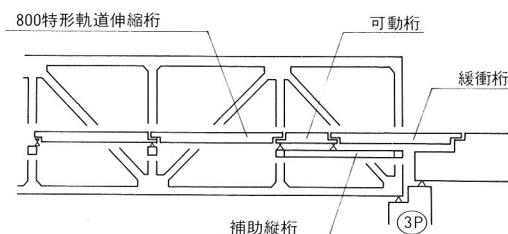


図-11 3P側軌道伸縮装置

#### 4. 製作

### (1) 製作上の特徴

製作上で留意すべき点として次の項目が挙げられる。

- ① 主構高さが変化するため、下弦材格点で軸線が変化する。
  - ② 格点ガセットにHT80を使用している。
  - ③ 弦材箱断面に縦リブがある。

以上のような特徴から、今までの吊橋や斜張橋の製作方法と相違点も多いため、実物大の溶接施工試験体を作成し、組立手順、溶接方法などについての手法を確立した<sup>1)</sup>。

実施工にあたり、この溶接施工試験体の成果を生かし、  
基本に忠実に作業を進める必要があった。

## (2) 製作手順

溶接施工試験体の結果から、図-12に示す製作手順を決定した。

### (3) 製作概要

a) 原寸

原寸作業を行うにあたり、本四公団の基準テープから5本の基準定規を作成し、製作各社の基準定規とした。製作に際しては、この基準定規とテープ合わせを行い、張力補正して使用した。原寸作業は、定規取りなど一部手作業で行ったほかは全てNC原寸とした。NC原寸の流れを図-13に示す。

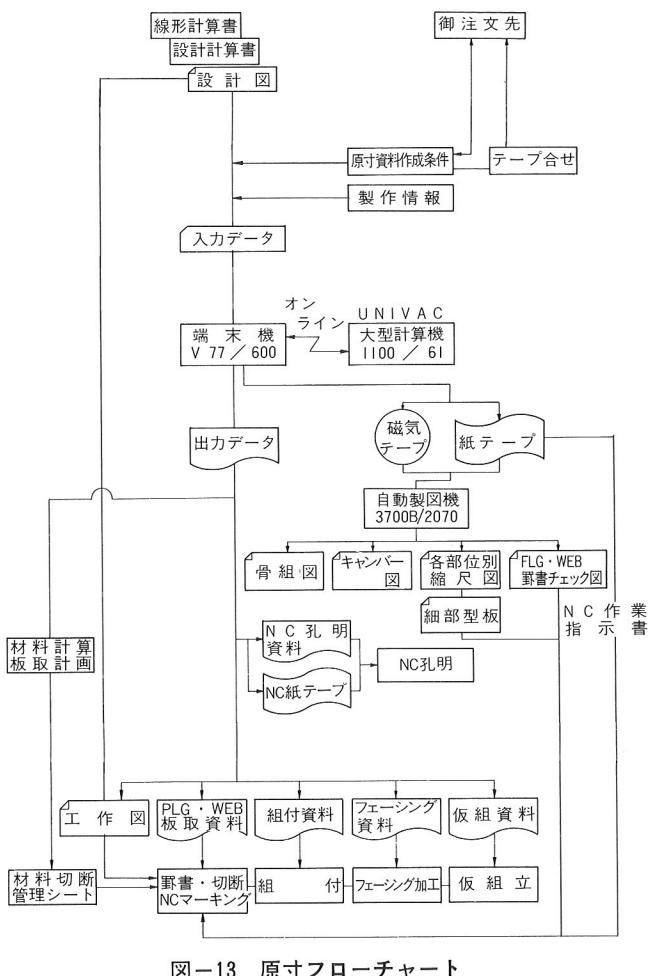


図-13 原寸フローチャート

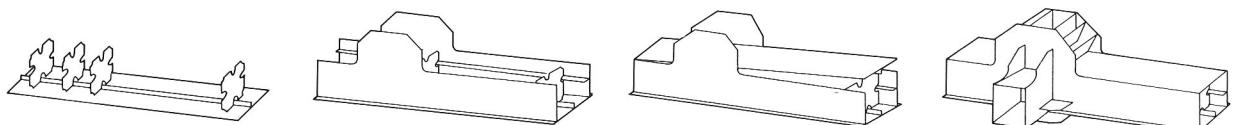
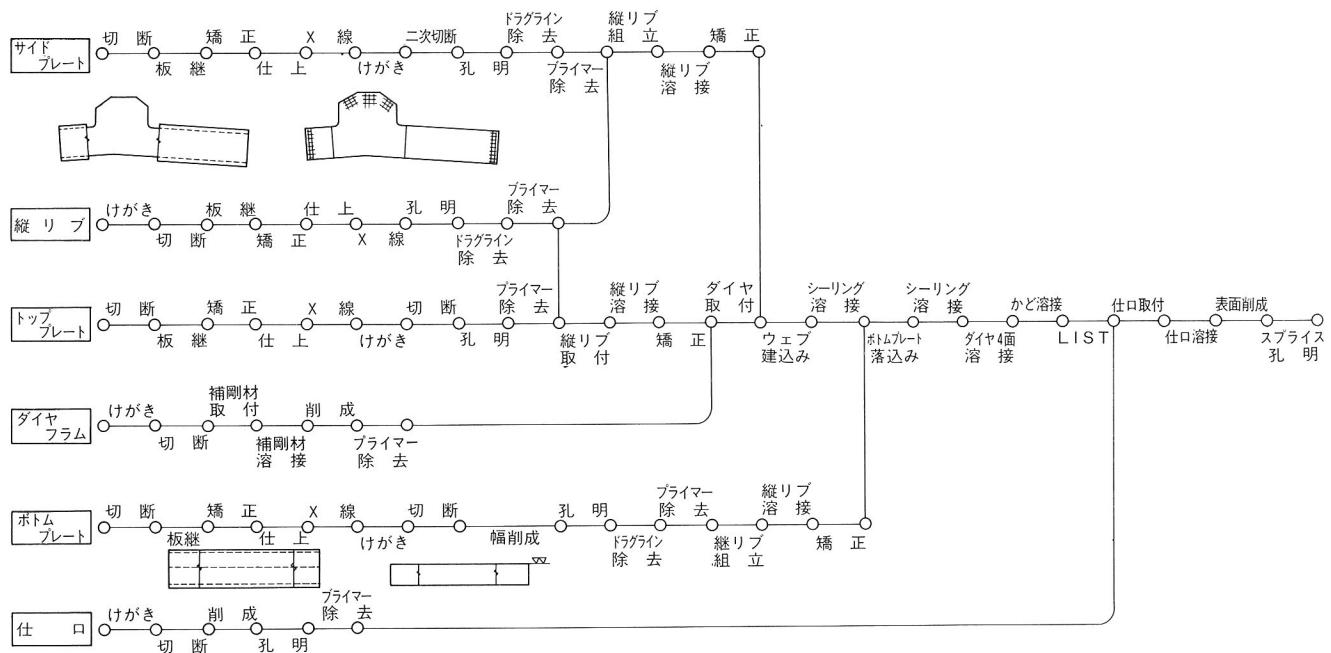


図-12 主構の製作手順

## b) 切断

かど溶接部となるサイドプレート下面、落とし込みフランジの両端は、切断による直角度、切断面の粗さ、ノッチの有無、切断線の直線性の良し悪しが、かど溶接の品質に直接影響するため、施工には充分注意を払った。

また、ルートギャップを0.5mm以下とするため、落とし込みフランジの両端と部分溶け込みかど継手の開先加工は機械加工で行った。

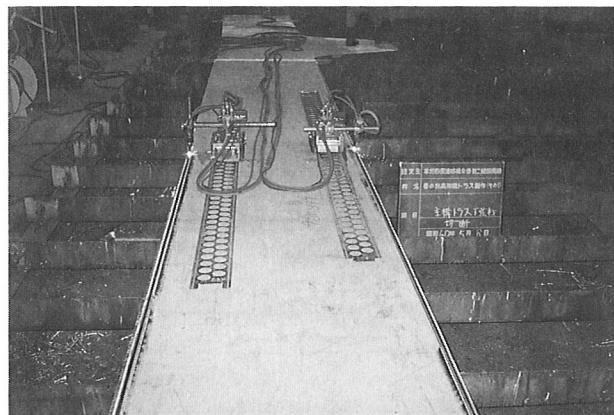


写真-1 二次切断



写真-2 機械加工

## c) 板継ぎ

板継ぎ時の目違い及び角変形についても、かど溶接のルートギャップに影響するため充分注意した。特にHT80等では、角変形が $10\text{mm}/1,000\text{mm}$ 以下となるように開先形状、溶接順序を決めた。また、裏はつり後は、カラーチェックを行って、割れなどの欠陥がないことを確認した。発生した角変形は、プレスにより矯正した。

## d) 孔あけ

HT80, SM58は添加元素が多く含まれるため難削性であり、事前にドリルの選定、孔あけ条件を設定しておいた。格点ガセットは、左右のガセット形状統一のため、2枚重ねて孔あけを行った。

## e) 組立

組立ては、フランジ落とし込み時に傷が入ることを考

慮し、且組立時にダイヤフラムとサイドプレートの仮付け溶接を行わず、若干サイドプレートを広げるようにしてフランジを落とし込むようにした。

また、落とし込みフランジ幅と相対する位置のダイヤフラム幅が違うとルートギャップが大きくなり、かど溶接に悪影響をおよぼすため、フランジ幅とダイヤフラム幅を予め計測し、0.5mm以上差があるときは、ダイヤフラム幅を再切削した。

なお、縦リブは組立前にウェブ、フランジに溶接しておいた。

部材組立時のルートギャップは概ね0.2mm以下であったが、下弦材の格点折れ部、板継ぎ部ではやや大きめであった。これは、格点折れ部ではウェブ、フランジの折れ点不一致、板継ぎ部ではビード仕上げ時のすりすぎに起因するものと思われる。

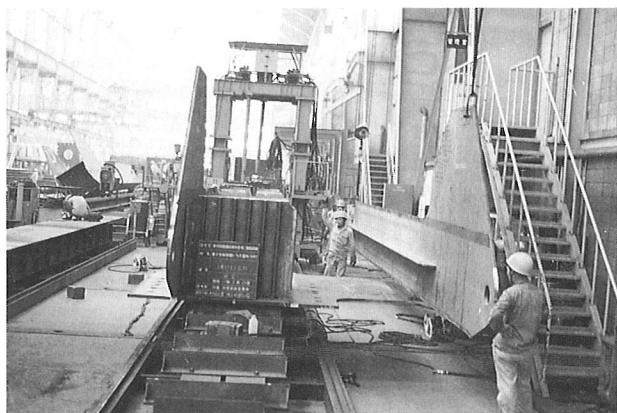


写真-3 下弦材組立

## f) 溶接

溶接については溶接施工試験体の製作にて得た条件で施工した。これらの詳細は文献<sup>1)</sup>の番の州高架橋トラス溶接施工試験体の製作に報告している。<sup>1)</sup>

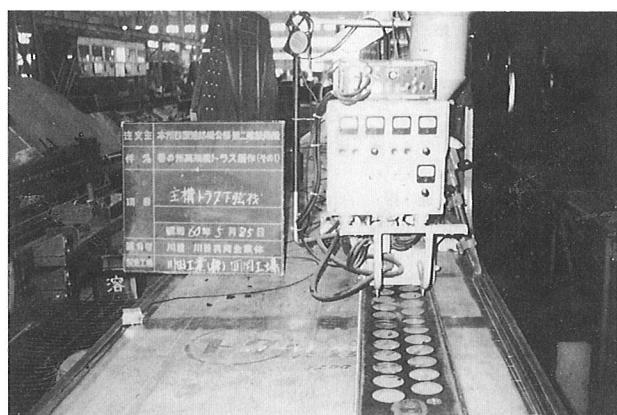


写真-4 かど溶接

## g) 切削

部材の取付け、溶接完了後、部材精度確保のため端面切削を行った。

表-1 塗装仕様

単価項目	素地調整		第1層 塗装間隔	第2層 塗装間隔	第3層 塗装間隔	第4層 塗装間隔	第5層 塗装間隔	第6層 塗装間隔	合計膜厚 $\mu$	HBS塗装系		
	1次	2次										
A - 5	厚板プラスチック HBC K 5611 無機ジンクリッヂペイント	製品	HBS K 5603 厚膜型無機ジンクリッヂペイント 75	2d 約6m	ミストコート 約10	2d 以内	HBS K 5606 厚膜型エポキシ 60	1d 約3m	同左 60	1d 約3m (中塗) 30	HBS K 5608 ポリウレタン (上塗) 7d 30	255 $\mu$
A - 8		プラスト	HBS K 5603 厚膜型無機ジンクリッヂペイント 50	2d 約6m	ミストコート 約10	2d 以内	HBS K 5609 タールエポキシ 110	1d 約10d	同左 110	1d 約10d 110		380 $\mu$
B - 5 -(1)	厚膜ジンクリッヂペイント 75											75 $\mu$

区分	使用区分
工場塗装A - 5	トラスの外面塗装で、コンクリート及び添接板との接触部を除く部分に使用するもの
工場塗装B - 5 -(1)	トラスの内外面添接部及び添接板(両面)に使用するもの
工場塗装A - 8	トラス部材断面内部の非密閉部に使用するもの

#### (4) 工場塗装

部材製作完了後、仮組立前に上塗りまで工場塗装を行った。塗装は、海上部にかかる他の本州四国連絡橋と同様に重防触塗装であり、その仕様を表-1に、工場塗装状況を写真-5に示す。



写真-5 工場塗装

また、添接部は厚膜ジンク(B - 5 -(1))までとし、高力ボルト締め付け後添接部の塗装を行った。

その際、工場塗装部と添接部塗装間に膜厚のちがいにより段差が生じるため、図-14のよう塗り分けを行った。

#### (5) 仮組立

##### a) 平面仮組立

大ブロックの工区境となるパネルを隣接工区から移送

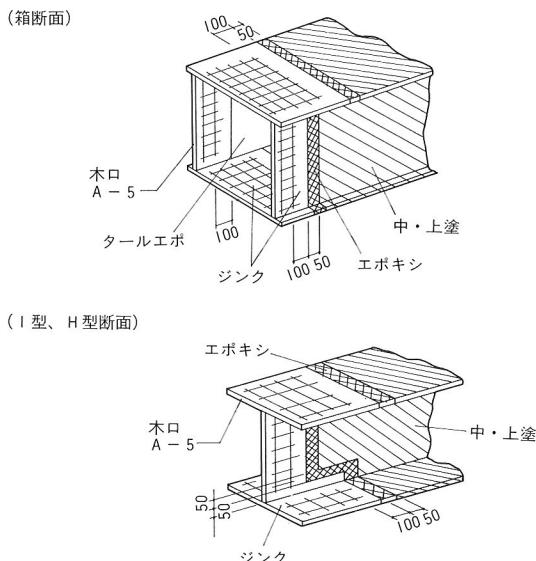


図-14 添接部塗り分け

し、平面仮組立てを行って取合いを確認した。この箇所は、大ブロック架設時にダイレクトジョイントされるため、厳しい精度が要求される。このため、本四基準の1/2の精度を管理目標として施工した。

##### b) 立体仮組立

塗装の終わった部材は、仮組立ヤードへ搬出し、全量立体仮組立てを行った。図-15に仮組立手順を示す。

仮組立に搭載する付属品は、大ブロック重量と吊り上げ時のバランスを勘案し、鋼床版2パネルと管理路など付属品の一部とした。

仮組立検査は、工程の都合から3回に分けて受検した。仮組立精度は、表-2に示すように良好であった。仮組立の状況を写真-6に示す。

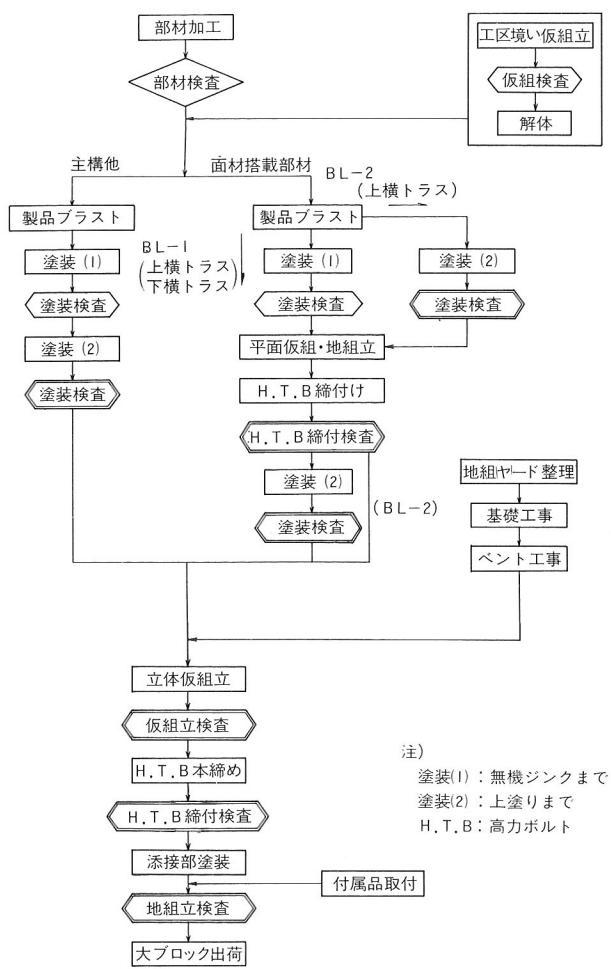


図-15 仮組立手順

表-2 仮組立精度

項目	許容公差	誤差の範囲
全長	16mm	2.5~4 mm
主構間隔	±16mm	-4~+4 mm
主構高さ	8~14mm	0~4 mm
そり	-5~+15mm	0~5.5mm
通り	15mm	0~4 mm

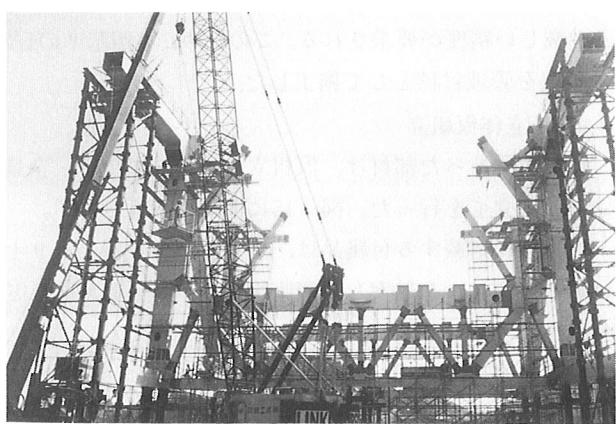


写真-6 仮組立

## (6) 地組立

仮組立の完了した部材は、高力ボルト締め付け、添接部塗装を行った。

## a) 高力ボルト締付け

高力ボルトは、防錆処理摩擦接合高力ボルトを使用し耐力点検出法により締め付けを行った。図-16に締め付け手順を示す。

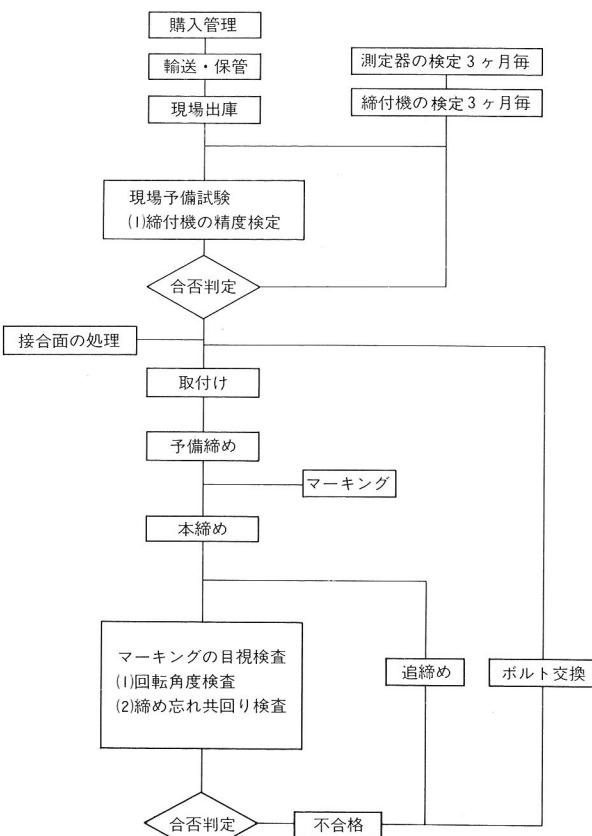


図-16 締め付け手順

## c) 添接部塗装

高力ボルト締め付けが完了した箇所から、順次添接部の塗装を行った。塗装仕様は、工場塗装と同じであるが、厚膜ジンクまでは施工済みのため、2層目のミストコートから行った。塗装方法は、ハケ塗りで行った。

## d) 工区境の取り合いの確認

大ブロック間の取合い確認は、前にも述べたように平面仮組立て行っているが、万全を期すため、地組立完了後、立体ブロックの工区境の主構間隔、高さなど各部の寸法を計測し、間違いないことを確認した。地組立完了状況を写真-7に示す。

## 5. あとがき

鉄道、道路併用橋は設計にしても、製作にしても今までの鉄道あるいは道路の単独橋にない、いろいろの問題を有していた。



写真-7 地組立完了

たとえば、溶接一つとっても、その部材が鉄道の影響を強く受ける部材か、道路荷重に支配される部材かによってその方法が異なり、更にはその境ではどの様に処理すればよいか、混乱してしまった向きがある。

その結果、一つの部材の両端連結部が道路示様と鉄道示様になってしまふという後から整理して考えてみるとどうにも不具合なことになってしまった。これらは事前に十分な検討がなされてよかったです様に考える。

これからも、この種の併用橋が計画されていると聞いているが、本文がそれらの設計製作に際し参考になれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 今井・原・高田・尾崎・菅野：本州四国連絡橋（道路・鉄道併用橋）のトラス部材の製作、川田技報、Vol. 5, 1986.