

道路、鉄道併用トラス橋の設計 (番の州高架トラス)

高橋 亘*
引間 隆**

1. まえがき

番の州高架橋トラス（海峡部）は本四Dルート of の最南端に位置する中央径間180m、全長483mの鉛直材を有する3径間連続曲弦ワーレントラス橋であり、道路・鉄道の併用橋である。

最大支間長の面からは、道路橋の示方書あるいは建造物設計標準等に規定される支間長200m以下の橋梁に属しその規定の対象内にある。

しかしながら、本橋は主として列車の走行性を改善するために端支点部に比較して中間部が柔構造の鋼製門型橋脚に支持された併用橋で、完成時には在来線2線、新幹線2線の複々線の供用が計画されている。そのため、本橋の設計・施工に際しては疲労設計・耐震設計に慎重な配慮を必要とした。

本文は「番の州高架橋トラス」の設計・施工について総括的に内容紹介をするものである。尚一般形状、主要諸元を図-1、2、表-1、2、3に示す。

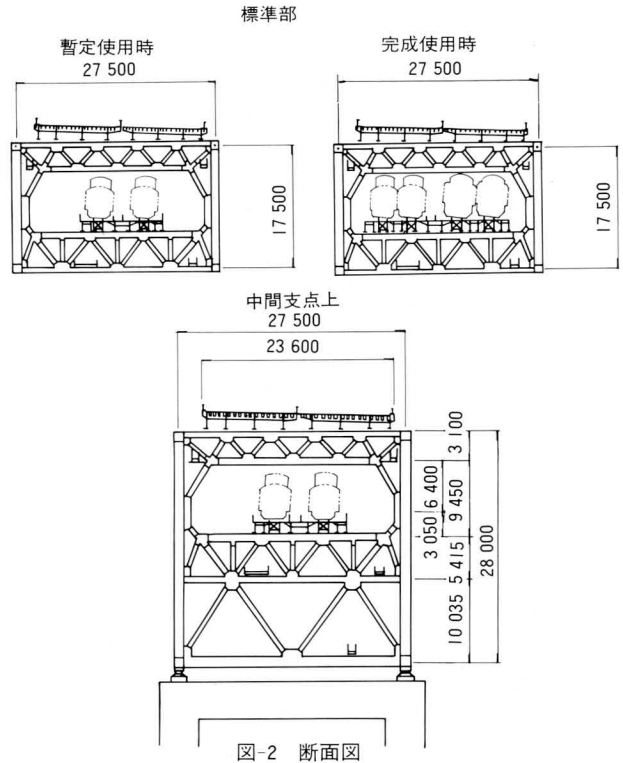


図-2 断面図

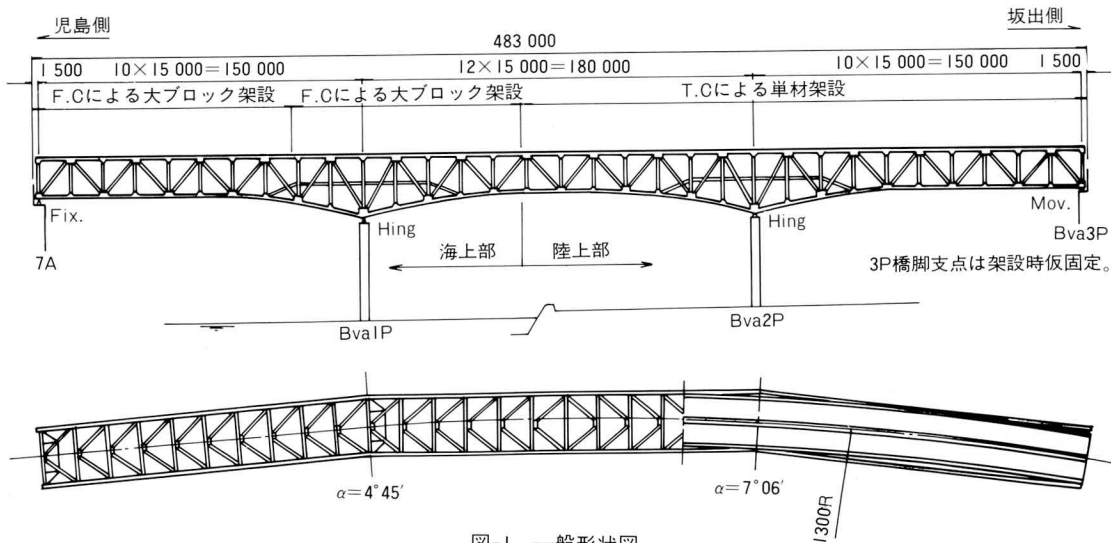


図-1 一般形状図

* 技術本部設計部設計第一課課長代理
** 技術本部設計部設計第二課

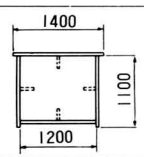
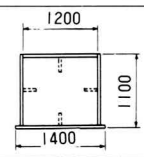
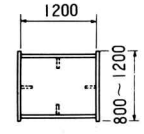
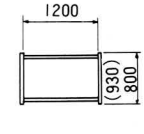
表-1 鋼重表 (ton)

主構本体	10354t	
鋼床版床組	2792	
下路床組	1500	一般部、緩衝装置、管理路
公共添架物	604	電々、電発(ケーブル枠含む)
作業車	155	外面、内面、簡易
支承・付属物	2075	公団管理路、作業車軌条、管路工等
合計	17480	

表-2 主要諸元

道路規格	第1種第2級 V=100km/h 総幅員(4車線) 23.6m
鉄道規格	在来線(複線) V=120km/h 新幹線(複線) V=160km/h (暫定時 在来線複線)
橋梁形式	垂直材を有する3径間連続曲弦ワーレントラス (道路、鉄道のダブルデッキ併用橋)
平面線形	緩和曲線 円曲線(R=1300m)
縦断線形	1%直線勾配
橋長・支間	483.0m(150.0+180.0+150.0m)
構造	主構間隔 27.5m 主構高 17.5m(標準部)、28.0m(中間支点部) 上路 鋼床版桁 下路 鋼桁直結軌道
支承条件	7A 固定、1P・2Pヒンジ、3P可動

表-3 主構部材断面

上弦材	下弦材
	
斜材	垂直材
	

注) 縦リブは圧縮部材のみ設ける。
()内は中間支点上を示す。



写真-1 全景



写真-2 下路床組

2. 主構の設計

主構の標準的な骨組み高さは、 $H=17.5\text{m}$ であり、中間支点部では最大 $H=28.0\text{m}$ に達する。これは主構の鋼重を最小とする骨組高さと床組みとしての上下主構トラスの構高と鉄道部建築限界との関係などを勘案して定めたものである。平面骨組みは、各径間毎に直線としたが、 $B_{va}1P$ と $B_{va}2P$ の位置で $\alpha=4.75^\circ$ 、 7.11° の折角をもつようにした。主構間隔は $\ell=27.5\text{m}$ であり、これは線形の条件(サイン逓減緩和曲線、 $R=1300\text{m}$ の円曲線)を考慮した鉄道建築限界に対する最小間隔である。

主構の解析は基本的には平面骨組解析とし両主構に対する荷重分配は1:0分配による。左右主構の断面力のバランスについては別途実施した立体骨組解析により、その安全性を検証した。

断面決定に際しては、極厚材の使用を避ける目的で一般部にはSM50Y材、格点がセット部にはSM58、HT80材を使用した。この結果本橋の最大板厚はソールプレートなどの特殊部を除いて50mmである。さらに箱断面の座屈防止用補剛縦リブを積極的に有効断面に算入し経済性を配慮した。主構の設計フローを図-3に示す。

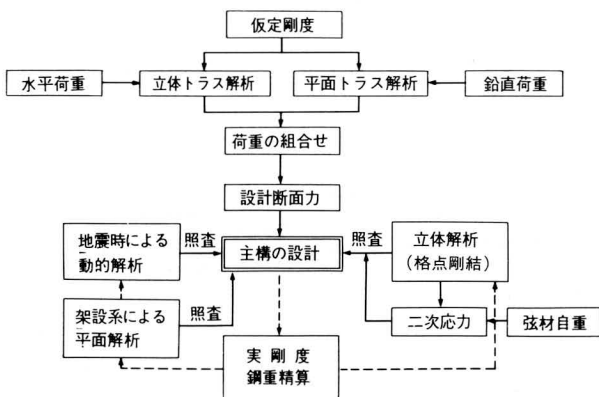


図-3 主構の設計フロー

3. 疲労設計

本橋は道路・鉄道の併用橋であり、最終的には在来線2線、新幹線2線での複々線の供用が計画されている。

列車走行に伴い、橋梁各部は大きな繰返し応力を受け、本四規準では併用橋の着目する部材によって、道路荷重、鉄道荷重による応力比が異なることを配慮して、直接自動車荷重を支持する部材を道路部材、直接又は主として列車荷重を支持する部材を鉄道部材、道路・鉄道荷重を共にうける部材を併用部材と定義し、使用鋼材の使いわけ及び疲労設計に運用している。

すなわち、鉄道部材・併用部材については基準に定める載荷状態での応力振幅を計算し、許容振幅内に入るかどうか照査する。又、橋梁が長大橋であるため部分的に調質高張力鋼が使用される。これら切欠感受性の高い鋼材の疲労部材の適用にあたっては大鳴門橋の施工以来種々の検討がなされて来た。これ迄の研究成果では疲労亀裂伝播が疲労寿命の大部分を占めること、疲労強度は初期欠陥の寸法に大きく依存していることなどが判明している。即ち、検出可能な欠陥寸法をもとにして疲労設計することが可能である。岩黒橋では大鳴門橋の施工実績を踏えて、応力範囲と疲労許容応力範囲比(σ_r/σ_{fa})、および鋼種によって部材を分類し、製作方法・検査方法・将来の保守体制などについて疲労設計の考え方を整理した。本橋の場合も、同様な手法でB線、C(D)線に対する比率を計算した結果、疲労設計で決定される部材はなかった。これは、本橋がトラス橋であり、吊橋の場合と

異なり本四基準で定める累積被害に対する影響係数 α が1.0であること、死荷重応力の占める割合が大きいことなどから当然の結果である。一方、応力範囲と疲労許容応力範囲の比率(σ_r/σ_{fa}^B)も全て $\sigma_r/\sigma_{fa}^B < 0.5$ 、あるいは、 $\sigma_{fa}^C < 0.6$ となり、部材区分としてB部材相当であった。疲労設計の状況は以上のとおりであるが、施工に際しては、疲労設計の立場を踏えて細部ディテールについても慎重に取扱うこととした。

4. 格点構造

格点部はガセット板厚及び添接方式の設計方針と密接な関係にある。そこで、構造細部を決定する上で次の事項に配慮した。

- 1) 斜材及びガセットの局部座屈に対する安全性
- 2) ガセットの面外剛性
- 3) 疲労に対する配慮
- 4) 製作加工性(疲労を考慮した溶接施工)
- 5) ボルト締結等による現場作業性

ガセット内の腹材方向にダイヤフラムを設けることにより、ガセットプレートの局部座屈を防止し、かつ面外剛性を保持した。又、腹材フランジの分担応力の一部がガセット内のダイヤフラムを介して、弦材フランジ面に作用し、板面外曲げを誘発させ、疲労強度を低下させることになるので、弦材内に面外曲げ防止用として控材(三角リブ)を設けることにした。

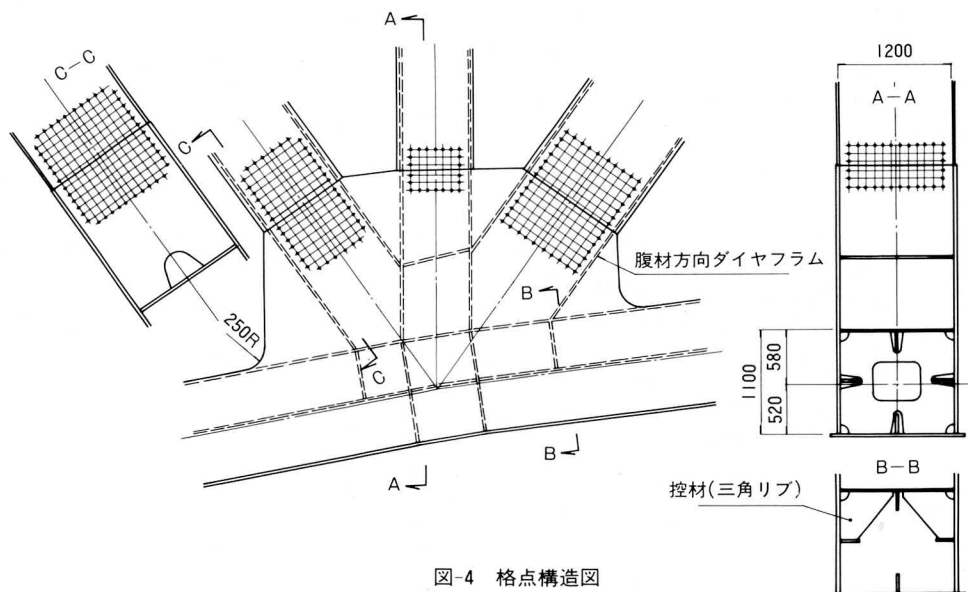


図-4 格点構造図

(1) 添接方式

中規模のトラス橋では、一般的にガセットと腹材ウェブとを連結する2面添接方式が多く採用されているが、本橋では、斜材軸力が大きいことなどから、ガセット内にダイヤフラムを設けて、腹材フランジとも連結する4面添接方式を採用した。

この4面添接方式を採用することにより、最大ボルト列数を12列以下におさえることができた。(H.T.Bolt、M24、2面摩擦) また、施工性の面では、2面添接方式よりも若干劣るものの、格点部をコンパクトに設計することができる。

使用ボルト本数は、下記のように決定した。

$$N^{(本)} \geq \frac{\sigma_o \times A_g}{\rho}$$

σ_o : 設計応力度 (kg/cm²)

A_g : 腹材のフランジ又は、ウェブの1枚の総断面積 (cm²)

ρ : ボルト値(高力ボルト摩擦接合M24、F10T)

添接板は $A_{gs} \geq A_g$

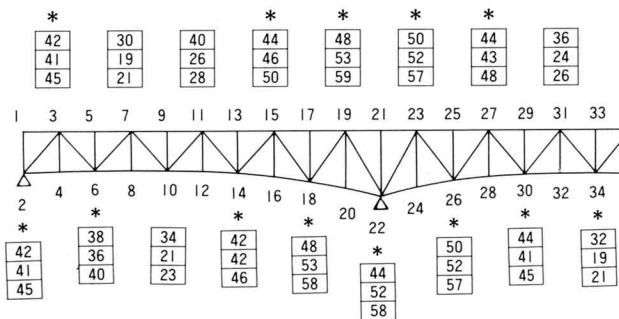
$A_{gn} \geq A_n$ (引張りの場合)

腹材方向のダイヤフラムは、腹材フランジの延長として、同厚・同材質のものを使用した。

(2) ガセットプレートの板厚

ガセットプレートの板厚は、2面添接を想定した算定式としては、本四基準の他に道路橋示方書、鋼鉄道橋設計標準がある。

本四基準の算定式でガセット厚を計算すると $t_{G \max} = 50\text{mm}$ (HT80) となり、常識的な値となり、他の基準で計算した値と大差がない。(図-5参照)



(A)式 *印はHT80材を示す。
 (B)式 他はSM58材。
 (C)式

図-5 ガセットプレート板厚の比較表

- 本四公団設計指針 (案)

$$t_G \geq \frac{P}{b_e \times \sigma_a} \left(\frac{1}{2} + \frac{I_w}{A_w} \times \frac{1}{b^2 + d^2} \right) \text{--- (A)}$$

- 道路橋示方書

$$t_G \geq 20 \times \frac{P}{b} \text{--- (B)}$$

- 鋼鉄道橋設計標準

$$t_G \geq 22 \times \frac{P}{b} \text{--- (C)}$$

P : 腹材軸力 (kg)

I_w : トラス面内についての腹材の断面2次モーメント (cm⁴)

A_w : 腹材断面積 (cm²)

σ_a : ガセット材の許容引張応力度 (kg/cm²)

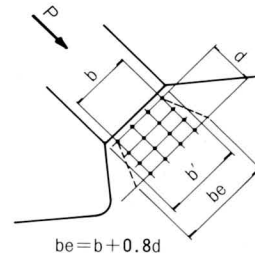


図-6 計算式記号

本橋は、以上の観点から本四基準により、ガセット厚を決定することにした。又、本四基準による合成応力に対する照査及びガセットプレートの局部座屈に対する照査を行った。又、代表的な格点構造について、FEM解析を行い応力分布、ピーク応力の程度について検証をした。

本橋のガセットプレートの決定は、本四基準に従ったが、この式は本来は、2面継手を念頭においたものであり、本橋のように4面添接とした場合には、ガセット厚の軽減が期待できるはずである。この点に関しては、今後の研究課題としたい。

(3) 腹材方向ダイヤフラムとガセットの溶接

腹材フランジに作用するフランジ力は、腹材方向ダイヤフラムを通して最終的には、ガセットプレートに伝達するものと考えられる。その時の応力分布は、平均的に分布するものとして次式により、溶接の必要のど厚を計算した。

$$a \geq \frac{N}{\tau_a \times \ell}$$

a : 必要のど厚 (cm)

N : 腹材フランジに作用するフランジ力 (kg)

τ_a : 溶接部の許容せん断応力度 (kg/cm²)

ℓ : 溶接長 (cm)

実際には、隅肉溶接のみではサイズが過大となるため部分溶込み溶接とした。計算の結果、本橋では図-7に示す3種類のサイズとした。

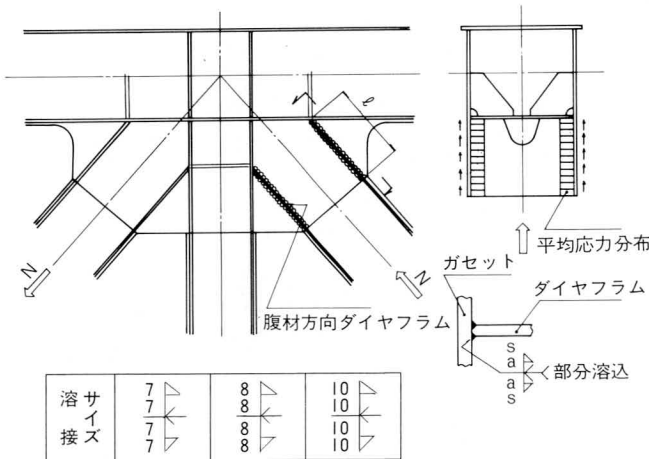


図-7 腹材方向ダイヤフラムとガゼットの溶接

5. 鋼床版床組構造

本橋の道路部は、主構トラスの上に乗せた上下線分離の鋼床版床組である。道路部の走行性から継目を少なくする方向で、主構径間ごとの10径間・12径間・10径間の連続桁とした。又、道路平面線形が、緩和曲線であるため、各支点で折った折線桁とした。横断勾配は、2%の山形勾配から順次3%の片勾配になるため、鋼床板縦桁高を1200~1700mmとし、支承台座で高さ調整を行うものとした。鋼床版デッキプレートの継手は、縦・横方向ともに現場溶接とした。又、デッキプレートの裏面のU-リブは、縦桁及び耳桁と隣接する箇所のみ、H.T. Bolt接合とし他は、現場溶接とした。鋼床板縦桁の支承の形式は、BP-Aを基本とし固定沓(F.F)、可動沓(M.M)の他に橋軸直角方向固定の可動沓(M.F)の3タイプとした。F.F沓及びM.F沓は、橋直方向の上沓と下沓のすき間を1mmとした。但し、M.F沓は、橋軸方向に可動であるので、上沓の橋軸方向のコバにSUS板(t=2mm)を取付けた。MM沓は、橋直方向の微小移動量を考慮して、橋直方向の上沓と下沓のすき間を8mmとした。図-8、9に標準断面図及び支承配置図を示す。

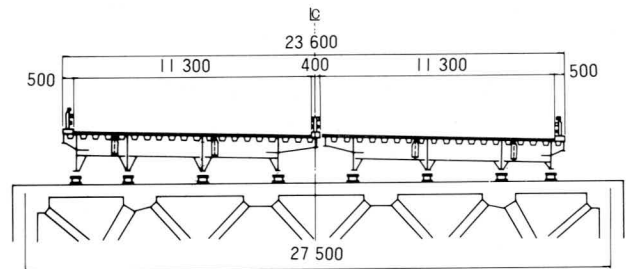


図-8 鋼床版床組標準断面図

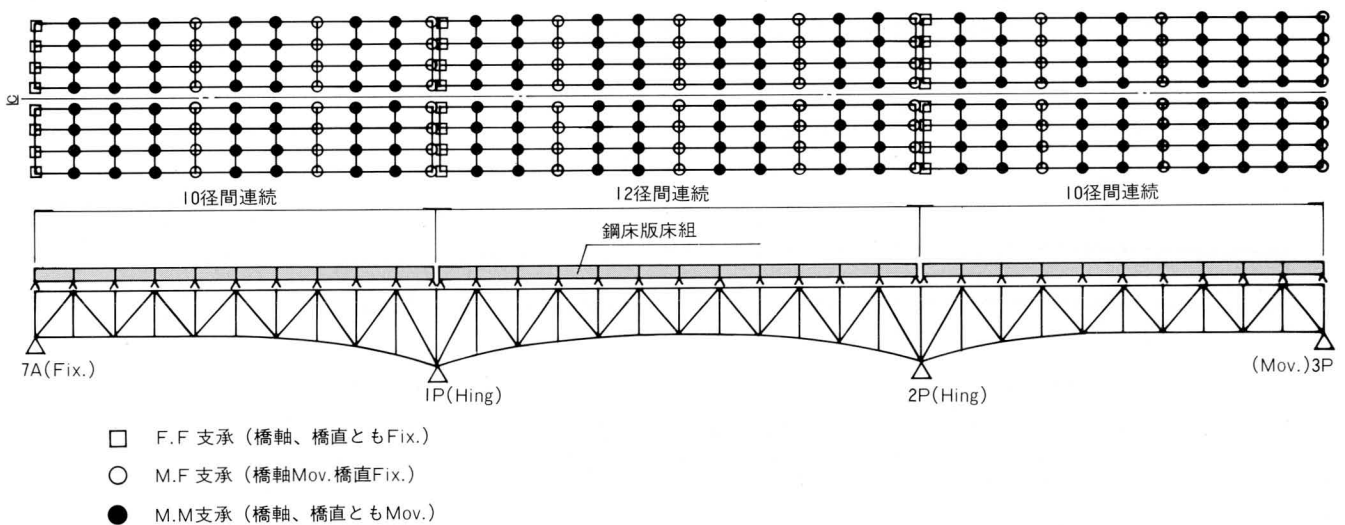


図-9 鋼床版床組の支承配置図

6. 維持、管理用設備

本橋に限らず、本州四国連絡橋、他の大きな橋梁構造物では、完成後の維持、管理用の設備が特に重要視されて来ている。そこで、本橋の維持、管理用の設備について報告する。

管理用通路としては、橋軸方向に主構上弦材近辺に2条の公団管理路、下路床組に鉄道用管理路、電々、電発用の管理路、主構下弦材ハンチ部管理路があり、それぞれの管理路を昇降階段、横断連絡路等で結ばれており、道路面、鉄道面、下部工支承天端へ行き来できる通路を設けている。又、通路とは別に、維持・管理用の作業車がある。大別すると、外面作業車と内面作業車とに分けられる。外面作業車は、さらに側面フレームと下面作業車に分けられる。側面フレームは、主構上弦材上の走行軌条と下弦材側面の案内軌条を利用して、7Aから3Pまでの主構側面を移動することができる。下面作業車は、側面フレームに連結されて各径間内を走行し、1P、2P、3P上で係留される。

内面作業車は、上横構面中央に設けられた橋軸方向の移設軌条を利用して主構各径間内を移動することができ、又、対傾構の上横トラス下弦材に設けられた横行軌条により、橋軸直角方向にも移動できる。内面作業車には、昇降台車が取付けられており、昇降することにより鋼床版裏面部も維持・管理ができる。本橋は、中間支点上で主構が角折れしているため、内面作業車の移動ができないので、手動式の内面簡易作業車を中間支点隣接パネル部に設けた。又、7A及び3Pの両端部のパネル部には

電気管路工の作業設備等が設置されるため、対傾構上横トラス上弦材の全面に床板を敷き詰めた固定床組を設けた。

本橋では、以上述べた維持・管理用設備を設けている。

図-10、11にその概要図を示す。

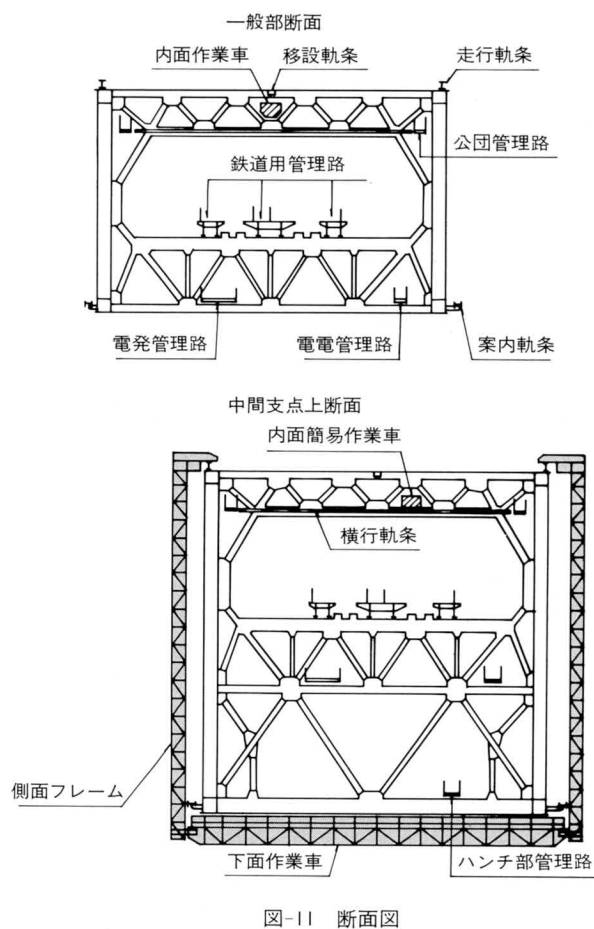


図-11 断面図

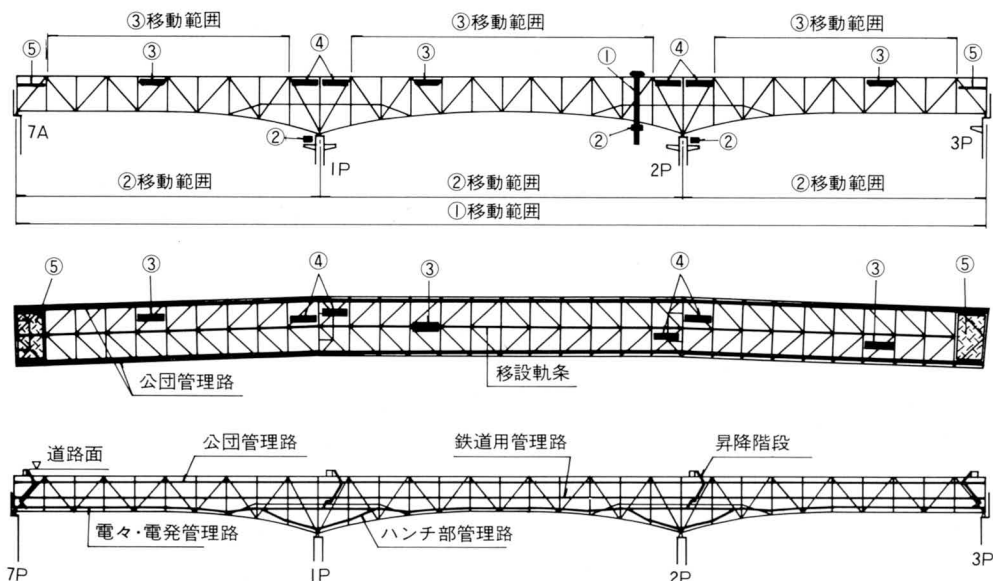


図-10 維持・管理用設備概要図

- ①側面フレーム 1台
- ②下面作業車 3台
- ③内面作業車 3台
- ④内面簡易作業車 4台
- ⑤固定床組 2組

7. 架設方法

本橋の架設方法を大別すると、陸上部は単材架設、海上部は大ブロック架設とに分けられる。架設順序としては、3P側より2Pを越えて7パネル分まで順次架設した後、BL-1の大ブロック、BL-2の大ブロックと7Aまで架設する。主構が繋がった後に道路部鋼床版桁を中央部より、3P側及び7A側方向に架設する。

3P側より架設するため、3Pの支承は、本来可動支承であるが、架設時の耐震性を考慮して仮固定しておく。また、7A支承（固定）下面にペDESTALフレームを設け移動可能にしておく。南備讃補剛桁架設完了後に、3P支承の仮固定を解放し、7A支承を固定する。

(1) 陸上部の単材架設

大型クローラークレーン（450T吊）によるベント工法とトラベラークレーン（60T吊）によるベント併用張出し工法を採用した。ベントは、B₀、B₁、B₂、B₃、B₄、の5基必要となるが、架設工程よりB₀→B₃、B₁→B₄に転用が可能であるので、3基分の製作を行った。

主構をトラベラークレーンで先行架設するとともに、中間架設として下路床組等が、橋上クローラークレーンで追従架設する。後行架設として鋼床版床組等を、トラベラークレーンにより架設する。

(2) 海上部の大ブロック架設

海上部は、2分割に分けた大ブロックとして、フローティングクレーン（3500T吊）による架設法を採用した。フローティングクレーンの支持点のバランスを考慮して主構ブロック内にカウンターウエイトとして、下路床組等を組込んだ。1P及び7A支承近辺に大ブロックの仮受け設備を設置した。大ブロック架設後は、鋼床版床組等の後行架設を橋上クローラークレーン設備で行う。

(3) 架設ステップ

- 1) ステップ 1：B₀、B₁ベント建込み完了後、3P支承を仮固定として据付ける。大型クローラークレーンにより、主構2パネル分を架設し、トラベラークレーンを主構上弦材に組立る。
- 2) ステップ 2：主構3パネル以降は、トラベラークレーンによるベント（B₂、B₃）併用張出し工法で、順次2Pまで架設する。主構2P到達後、ジャッキダウン、上部工引込み、微調整作業を行い、2P支

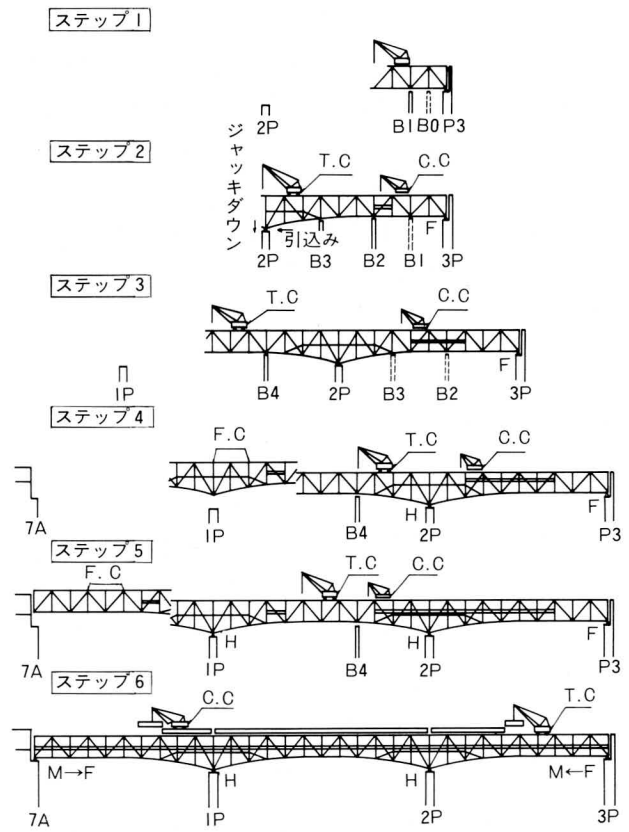


図-12 架設ステップ図

承を現場溶接で設置する。

- 3) ステップ 3：2Pより前ステップと同工法により、7パネル分まで順次架設する。
- 4) ステップ 4：BL-1の大ブロックをフローティングクレーンにより架設する。陸上部との継手を合致させて締結後、1P上のブロック受設備に載せて、F.Cを解放する。
- 5) ステップ 5：前ステップと同工法により、BL-2の大ブロックを架設する。BL-1との継手部を締結後、7A支承に載せてF.Cを解放する。（主構の架設完了）
- 6) ステップ 6：陸上部の中間架設である下路床組等を主構の先行架設と追従させる。主構架設完了後は、後架設として鋼床版床組等を橋上クローラークレーン及びトラベラークレーンで架設する。

8. あとがき

番の州高架橋トラスの設計要旨を概説した。本橋は併用橋としての要求品質に加えて、中間支点上で角折れを有する曲弦トラス橋であり、その幾何学的な寸法条件に関しては細心の注意が要求された。また、本橋は主として架設工法の違いにより陸上部・海上部それぞれ別個の共同企業体が分割施工した。現場工事は今年の6月に主

構の架設を完了し、現在は道路部鋼床版等の後架設工事を残すのみである。最後に、本工事に際しては、坂出工事事務所をはじめとする本四公団の方々、共同企業体の方々、その他多くの関係者の皆様に御指導ならびに御協力をいただいた。末尾ながら、ここに心から感謝申し上げます。

グラビア写真説明

大多田川橋梁

本橋は、国鉄福知山線の宝塚市外生瀬に架設された、複線・道床式の下路トラス鉄道橋である。構造特徴としては、斜角度を有し、橋梁下側の道路空頭を確保するために、レール面から桁下端までを低くした床組は鋼床版の低床式トラス構造が採用されている。本橋はまた、耐水性鋼材を使用した無塗装仕様の鉄道橋であり、鋼床版構造への無塗装仕様の適用は、国鉄として初めてのものである。(山口)

山賀高架橋

本線は、近畿自動車道天理、吹田線でありルートは、府道と連結するほか、阪神高速東大阪線、及び松原線西名阪自動車道に連結するものであります。当工区は、東大阪JCより南へ約5kmの位置にあります。

架設工法は、トラッククレーン、ベント工法で一部横取工法で施工致しました。当現場の特徴として、八尾バリアが交通量の多い中央環状線の道路上に架設される為、夜間作業が多く、特に交通規制時は、約1.5kmの規制距離があり、注意が必要でした。施工上の注意としましては、メッキ桁の取扱い、架設時の桁のネジレ等により対傾構、ラテラル取付作業が困難で細心の注意をいたしました。又、床版工事でもバリア部が幅員40mとスパン方向よりも長く、コンクリート打設時7分割打設とし、仕上げ等に苦勞致しました。(寺本)

朝里大橋

小樽市郊外、朝里川温泉の麓に、朝里川の洪水調節と小樽市民の水道用水確保の為、計画されました。朝里ダム工事に伴う、付替道路の1回転ループ橋ですが、積雪寒冷地の北海道では、初めてのケースです。

本橋はダムサイトの真下に橋脚高さ47mを有し、半径140m～250mの曲線を描き、一気に温泉街よりダム堤頂まで登って行きます。

ダム完成は、64年予定ですが、完成後には、日本海、遠く増毛連山を望み、小樽市街も一望出来る為、温泉街とタイアップして、小樽市の観光名所になるものと思われます。(川村)