

2. 工事概要

路線名：道路	一般国道30号
鉄道	本四備讃線
橋格：道路	第1種第2級 $v=100\text{km/h}$
	総幅員(4車線) 23.6m
鉄道	在来線複線 $v=120\text{km/h}$
	新幹線複線 $v=160\text{km/h}$
	(暫定時、在来線複線)
橋梁形式：	3径間連続曲線曲弦ワーレントラス
支間：	150m+180m+150m
線形：平面	緩和曲線～曲線($R=1300\text{m}$)
縦断	1%直線勾配
主構：	主構間隔 27.5m
	主構高 標準部・端支点部 17.5m
	中間支点部 28.0m
床形式：道路	連続鋼床版板桁
鉄道	鋼桁直結軌道方式
鋼重：主構トラス	10 210t
鋼床版(道路)	2 760t
下路床組(鉄道)	1 400t
公共添架物・付属物	2 300t
H T B本数	M24 153 000本
	M22 251 000本
現場塗装(現場添接部)	16 000m ²

3. 架設工法の選定

架設工法の選定にあたり、下記の諸条件があった。

(1) 自然条件

海上工事においては、潮流・潮位・波高・風速などが重要な要素となり、当海域の調査データによると、最大潮流速2ノット、干満差(大潮時)約2.5m、波高1m以上となる発生率は冬期を除けば月5日以下である。また、風速10m/s以上の風の吹く確率は冬期を除いて月7日以下で、日本一雨の少ない香川県ということもあり、降雨量もいたって少ない。ただし、霧はかなり高い発生率を示す。海底地盤(表層)は砂層で、水深は護岸より3m～25mとなだらかに沖に向かって深くなっている。

(2) 社会的条件

当架橋海域は、瀬戸内海の銀座といわれる備讃瀬戸航路、水島航路に隣接しており、工事施工の安全確保のため、番の州沖工事作業区域が設けられている。また、当工事用区域の北側に小型船航路、南側の護岸との間には漁船航路があり、常時、小型船、漁船が航行している。そして、当海域付近は良漁場であるため、海中に支保工などの仮設構造物を設置することはできない。

(3) その他の条件

① BB7Aアンカレイジ施工のための栈橋が、護岸よ

り7Aまで延びており、当トラスの西側に位置する。

② 地質条件および南備讃瀬戸大橋のケーブル作用張力によって、BB7Aアンカレイジが変位挙動を示す。

③ 連続曲線橋および鉄道併用橋であるため、より一層の品質管理が要求される。

上記の条件と安全施工、経済性、急速架設を考慮し、フローティングクレーン(以下FCと略す)による大ブロック架設工法を採用した。FCは、吊り上げ高さとしり点位置、本四架橋全体の備船状況より、3500t吊FCを、また、ブロック数は共同企業体の特性(2社JV、工場に近いなど)を考えて、2ブロック(BL-1・BL-2)とした。

4. 施工

(1) 施工フローチャートおよび架設順序

主な施工フローチャート、架設順序は図-3、4に示すとおりであり、架設順序図において当工事施工分担は、STEP-6以降である。

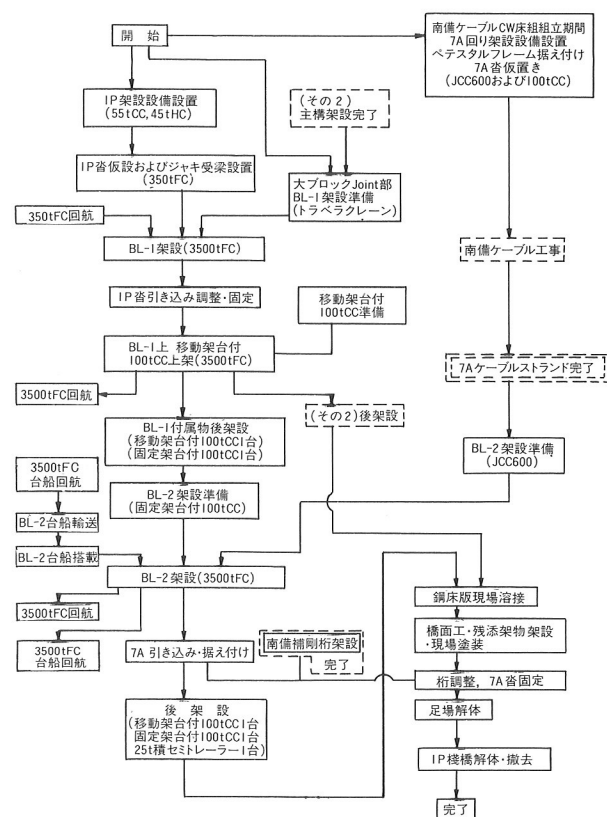


図-3 施工フローチャート

(2) 準備工

a) BB7A架設設備

BL-2架設におけるブロック桁受用として、BB7Aにベントを設置するとともに、仮仮置き架台などの諸設備も

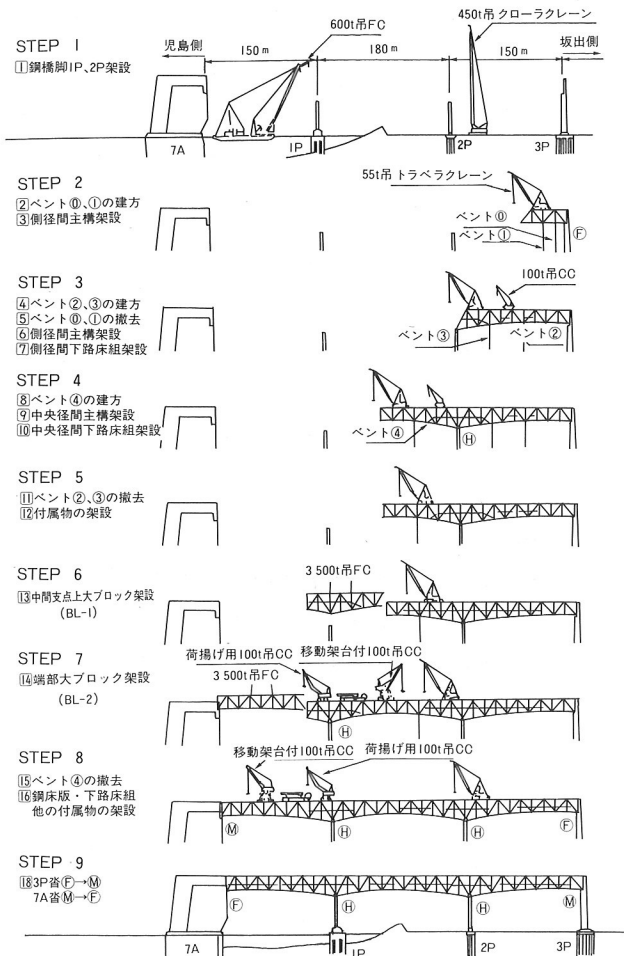


図-4 架設順序

設置した。

b) BVa1P架設設備

BVa1P桁橋上に50t吊クローラークレーン(以下CCと略す)をタワークレーン形式にして、工用エレベータ・支承仮置きブラケット・作業床・BL-1の桁受用梁他を、BVa1P橋脚上および橋脚周りに設置した。

c) 陸上部主構トラス上架設設備

BL-1架設用添接足場、引き込み装置などを陸上部架設用トラベラークレーンにて取り付けた。

(3) BB7AおよびBVa1P支承の吊り上げ・仮置き

大ブロックの架設方法として、セッティングビームなどを用いないダイレクトジョイント方法を採用したため、ジョイント部を合致させた時、吊りブロックトラスのソールプレート位置が支承高より低くなると想定された。このため、BVa1P支承は橋脚の橋直方向に支承仮置きブラケットを設置し、350t吊FCにて一括吊り上げ、仮置きした。また、BB7A支承は、橋軸方向、南備讃瀬戸大橋側に100t吊FCにて、分括吊り上げ、組み立て仮置きした。

(4) 大ブロックの地組立

二つの大ブロック(BL-1・BL-2)を、それぞれ川崎重工業(株)坂出工場および川田工業(株)四国工場にて、単材架

設により地組立した。なお、大ブロック架設時のFCフック反力のアンバランスを極力少なくするために、ブロック内にカウンターウエイトとして、鋼床版・下路床組・公共添架物などを組み込む前架設を同時に行った。また、架設用足場、大ブロック架設用設備も合わせて取り付けした。

(5) BL-1の浜出し・吊り曳航・架設

a) 浜出し

3500t吊FCを川崎重工業(株)坂出工場のブロック地組立ヤード前に回航し吊り天秤を取り付け、重量3160tのBL-1を吊り上げ、浜出しを行った。なお、地切り時におけるFC位置は、立体解析により求めたブロック重心位置に一致するようトランシットで誘導し、ブロックの振れを防止した。

b) 吊り曳航

BL-1の架設は、現地状況(地形・水深)より、架設地点の西側からのみ施工が可能であるため、東側に位置する川崎重工業(株)坂出工場より3500t吊FCにて、吊り曳航で備讃東航路を横断し、檀石島橋の中央径間部を通過、水島航路を経て架設地点である番の州沖工事作業区域に入域した(図-5、写真-1参照)。

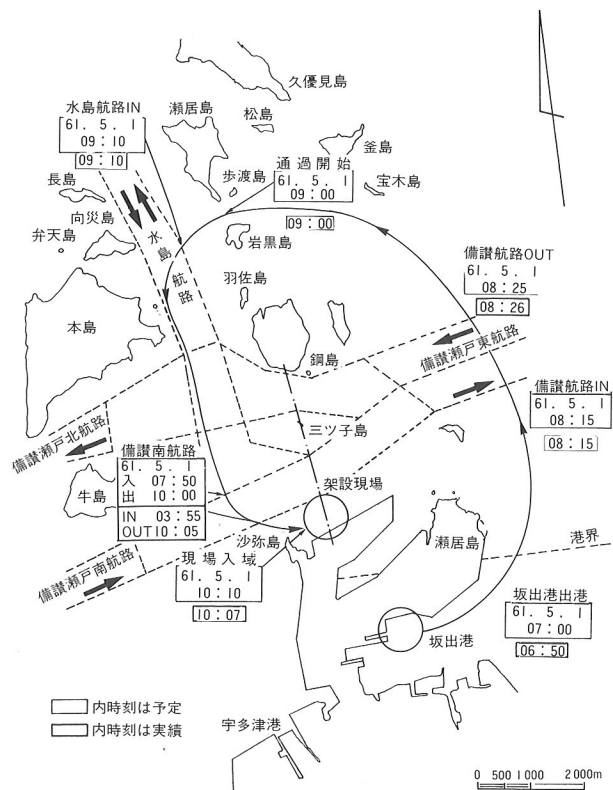


図-5 BL-1吊り曳航経路

c) 架設

架設作業は早朝5時より開始しブロックの吊り上げ、FCの微調整移動によるジョイント部の合致、約3800本

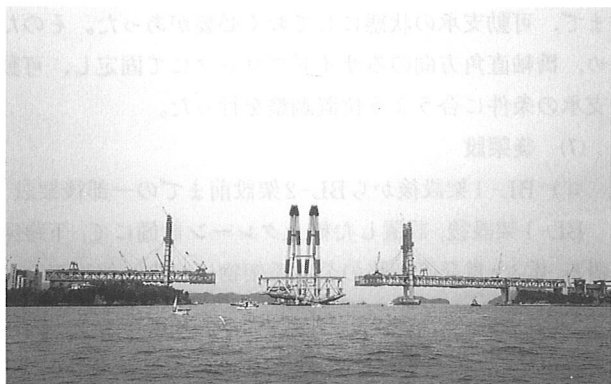


写真-1 櫃石島橋通過



写真-2 BL-1 架設

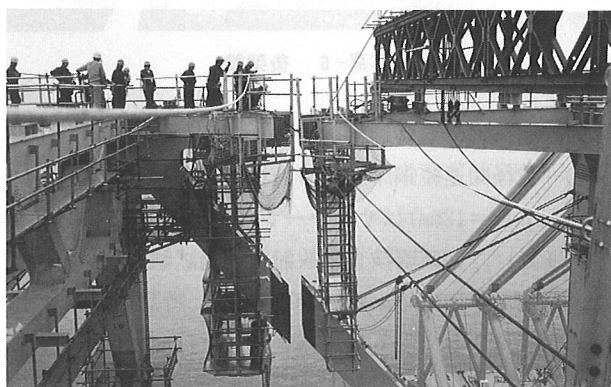


写真-3 ジョイント部合致直前状況

の高力ボルトの耐力点検法による添接,そして,BVa1P橋脚上への仮受け,FC解放と作業が順調に進み予定通り夕刻に架設を完了した。

ジョイント部合致の状態におけるBVa1P支点上の設計標高に対する余裕高さは,立体解析結果より $\ominus 168\text{mm}$ という数値を把握して作業にあたった。現場においてもほぼ解析値に近い状態であった(写真-2,3参照)。

d) BVa1P支承の引き込み・設置

片主構あたり500t油圧ジャッキ4台連動で,BL-1をジャッキアップし,支承を仮置きブラケット上から引き込み,桁にセットし調整・固定した。片主構当りジャッキ反力は,解析値とほぼ同じ1430tであった。また沓固定位置は,1P~2P支承間設計寸法を基準とし,架設構造系の変形量,トラス出来形誤差などを考慮して,決定した。なお,支承の固定は現場溶接で行った。

e) 橋上クレーン設備の据え付け

BL-1の荷重がBVa1P支承に載荷された後,橋上クレーン設備として,移動架台と100t吊CCを3500t吊FCの片ジブ2フックでそれぞれ吊り上げ,トラス上に上架・据え付けを行った。

(6) BL-2の浜出し・輸送・架設

a) 浜出し・台船搭載

3500t吊FCを川田工業(株)四国工場のブロック地組立ヤード前に回航し,BL-1と同様に重量3300tのBL-2の浜出しを行った。次に,FC前面に12000t積台船を挿入・係留し,台船上仮受け台の反力バランスに注意しながらBL-2を搭載し,ラッシングを行った。

b) 台船輸送および吊り曳航

BL-1とは逆にBL-2の架設は,架設地点が東側となり,吊橋の下を吊り曳航できない。このため,BL-2を12000t積台船に搭載して工場から瀬居基地まで輸送し,再度3500t吊FCにて台船より吊り上げ,吊り曳航で,番の州沖工事作業区域に入域した。

c) 架設

BL-2はBL-1とBB7Aの間に架設するものであるが,

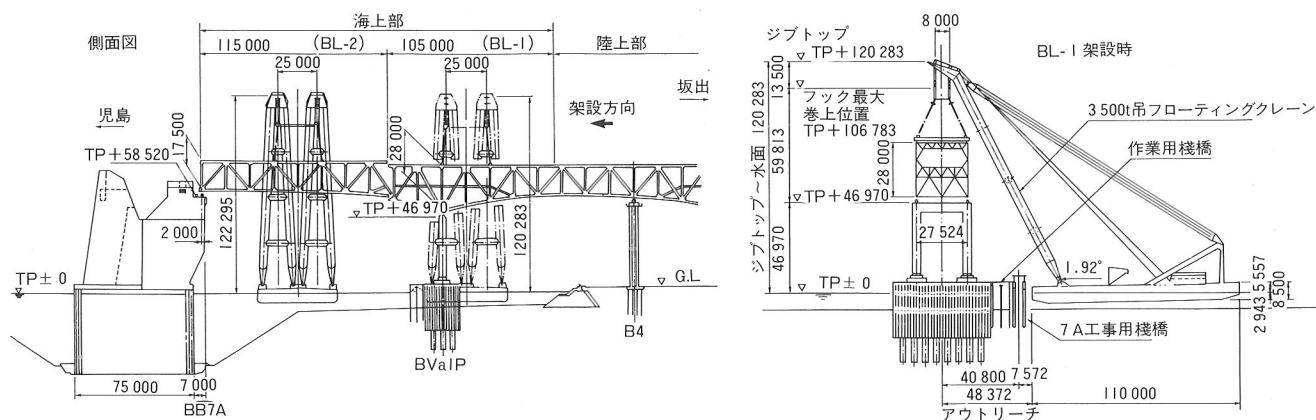


図-6 大ブロック架設一般図

3 500t吊FCの揚程よりフック巻き上げを最高位置にしても、BB7A上を越えることができない。このため、ジョイント部と7Aコンクリート部との余裕幅1mずつの間を、FC微速前進でBL-2を挿入し、次にFC横方向の微調整移動によりジョイント部を合致させた。そして約4 000本の高力ボルトを耐力点検出法で締め付け、FCの荷重解放を行い、予定時刻の約2時間前に架設作業を無事終了した(写真-4、5参照)。

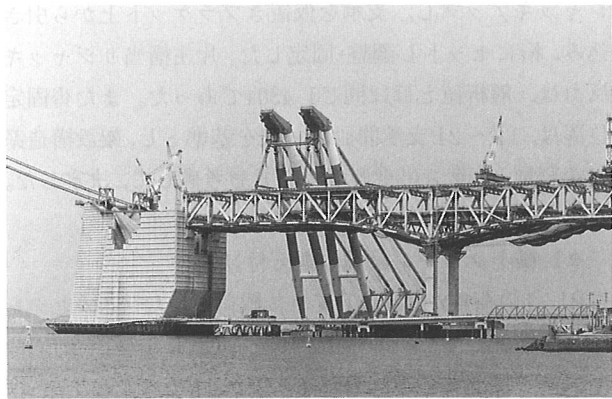


写真-4 BL-2架設



写真-5 BB7A通過状況

なお、FC荷重解放によるBB7A側のブロック受けは、ジョイント合致時の立体解析結果により、設計標高より $\oplus 366\text{mm}$ (余裕110mm)の数値を得ていて、支承全高をクリアできると考えられた。しかし、トラスの架設構造系の変形(温度なども考慮)で、設計標高より低くなる可能性も考えて、ベントに受ける案と、BB7A支承をジョイント部添接作業中に引き込んで支承に受ける案の2案で対応できるよう準備を行った。結果的には、ジョイント結合時において、支承を引き込む余裕が解析値どおりあったため、直接、支承にブロックの荷重を受けた。

d) BB7A支承の調整

BB7A支承は、完成系で固定支承となるが、7Aの挙動が終了すると予想される南備讃瀬戸大橋補剛桁架設終了

まで、可動支承の状態にしておく必要があった。そのため、橋軸直角方向のみサイドブロックにて固定し、可動支承の条件に合うよう位置調整を行った。

(7) 後架設

a) BL-1架設後からBL-2架設前までの一部後架設

BL-1架設後、設置した橋上クレーン設備にて、下路床組み、電々・電発管理路の公共添架物ほかの一部後架設を行った。

b) BL-2吊架設後の後架設

BL-2架設完了後、橋上に後架設部材荷揚げ設備(固定架台・100t吊CC)および橋上小運搬設備(25t積セミトレーラー)を設置し、橋上クレーン設備とともに、鋼床版・下路床組・公共添架物などの後架設を行った(写真-6参照)。

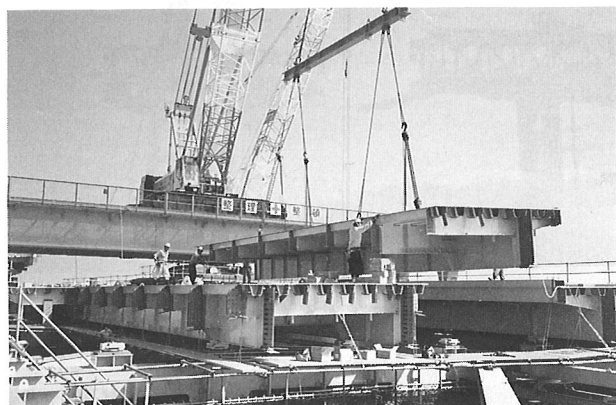


写真-6 後架設

(8) 鋼床版の現場溶接

10~12径間連続鋼床版桁の現場溶接を行った。デッキプレート($t=12\text{mm}$)はサブマージアーク溶接の自動溶接により行い、非破壊検査は放射線透過試験を用いた。また、鋼床版上面の現場溶接部の塗装は、特記仕様書より、サンドブラストによる素地調整処理を行った後、塗装した。

(9) BB7A支承の固定

南備讃瀬戸大橋補剛桁の架設完了後、BVa1Pおよび2Pの橋脚の変形、トラスの変形を測定しながら、BB7A支承部のジャッキング調整により、7Aの可動を固定に、3Pの固定を可動に入れ替えた。

5. 当工事における特筆すべき事項

当工事において特筆すべき事項として、①セッティングビームなどを用いない、ダイレクトジョイント方法による大ブロック架設 ②BB7Aアンカレイジの挙動に対応した架設方法 ③多径間で長大な鋼床版の現場溶接 ④吊り曳航による櫃石島橋中央支間の通過——の4点が挙げられる。以下、①~③について詳説する。

(1) **ダイレクトジョイント方法による大ブロック架設**
セッティングビームなどを用いず、FC吊り切り状態での添接(添接箇所は主構6箇所、横構4箇所の計10箇所)を行うダイレクトジョイント方法の採用経緯と、主な対策を以下に記す。

a) ダイレクトジョイント方法の採用

- ① 基本設計を基に、部材重量、トラス剛度などを算出し、平面解析にて大ブロックの変形などを照査した結果、大ブロックの変形量が予想した値より小さく(剛度が大きいため)、ジョイント部の仕口合致ができる。
 - ② セッティングビームなどにより架設ヒンジを設けて吊りブロックの荷重を既設桁側に載荷すると、部材補強が膨大となり、不経済となるだけでなく、架設工法の変更が必要となる。
 - ③ 櫃石島橋などにおいては、セッティングビームを用いて、全吊り荷重を載荷するのではなく、添接作業ができるための振れ防止として、何%かの荷重を載荷したダイレクトジョイント方法の実績もある。
- 上記より、当工事においては、セッティングビームを用いないダイレクトジョイント方法による大ブロック架設工法が可能であると判断し、この方法を採用した。

b) 当方法で確実に施工するために施した対策

●設計に対する対策

- ① ジョイント部において、上・下横構の添接位置を左右弦材の添接位置と同一面とした。また、BL-1と陸上部とのジョイント部の斜材においても、上下弦材と同一面とした。
- ② ジョイント部仕口間にすき間を設けた。(図-7参照)

上・下弦材 5mm
斜材および上・下横構 10mm

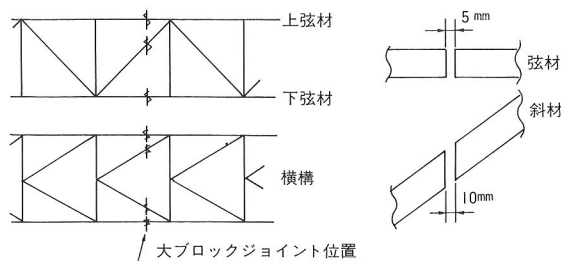


図-7 ジョイント位置およびすき間

- ③ ジョイント部の添接孔径を拡大孔とした。
弦材・斜材 $\phi 26.5 \longrightarrow \phi 28.5$ (M24)
横構 $\phi 24.5 \longrightarrow \phi 26.5$ (M22)
- ④ 詳細設計による部材重量を算出し、立体解析にて、吊りブロックの形状・ジョイント部仕口の形状・仕口

合致時の受点(1Pおよび7A支点)の変位・最終形状などの解析値を求めるとともに、温度変化(全部材同一温度変化)による変位も同時に求め、現場施工に対応するものとした。なお、解析スケルトンには橋脚も考慮した。

●製作に対する対策

- ① 製作過程全般において、精度管理に細心の注意を払うとともに、目標製作許容値を、本四製作基準の1/2とした。
- ② ジョイント部となるトラスパネル部材(工区境パネル)は、平面仮組立で確認し、設計寸法となるポイントを設けておいて、地組立時に、その寸法を再現するよう施工した。
- ③ 平面仮組立時におけるジョイント部の添接板は、仮添接板とした。(部材本体は設計寸法で孔明済)。大ブロック架設前に、地組立ブロックの仕口形状および現場既設桁の仕口形状を測定し、そのデータを基に添接板の孔明位置を決定し、最終的な添接板を製作するものとした。

●現場に対する対策

- ① 単材架設で行う陸上部工事へ、架設誤差を最小とするよう依頼した(BL-1とのジョイント部の仕口形状の精度)。
- ② ジョイント部の各部材は、トラス格点より10m張り出しているため、自重によるたわみを算出し、必要部材に、たわみ防止設備を設置した。
- ③ 温度変化・製作誤差ほかに、ジョイント部の仕口が合致しない場合も想定し、各添接位置に仕口を合致させるための強制装置を準備しておいた。

c) 施工結果

- ① 4章で報告したとおり、何も支障なく、ダイレクトジョイント方法により大ブロック架設を完了した。
- ② 添接板の孔明位置は、測定結果と解析値がほぼ同様であったため、設計寸法で孔明を行った。また、最終出来形の継手部すき間は、設計値 ± 3 mmの許容値内に入った。
- ③ 仕口合致用の強制装置は、準備をしておいたが、使用することなく架設完了した。
- ④ たわみ防止設備は、横構とBL-1の斜材に設置したが、たわみの防止とともに、添接時の仕口合致の微調整に大きな効果をもたらした。
- ⑤ この長大スパンで $\oplus 13 \sim \ominus 15$ mmというキャンバー誤差に収めることができた。

d) 大ブロック架設に関するまとめ

本橋は、大ブロック工法によりトラスを架設したものであり、関係者のみならず橋に興味を持つ者であれば大

変注目する方法であった。

箱桁をダイレクトジョイントするにも、日照の関係や架設誤差などにより苦い経験をもっている人も少なくなく、また、本橋においても、当初の調査検討時点では、このような方法による大ブロック架設を見いだすことはできなかった。

しかしながら、設計段階から架設工法を考慮するとともに、大型電算機を活用して形状などの検討を行い、十分な計画を行えば、ダイレクトジョイント方法による大ブロック架設が可能であるということを、当工事によって立証することができた。

この方法は経済的という大きな長所を有しており、今後増加すると予想される大ブロック架設に有効であると考えられる。

(2) BB7Aアンカレイジの挙動に対応した架設方法

TP-50.0mの海底地盤(岩盤)で、アンカレイジ寸法59m×75mの面積において地盤反力係数が異なり、また、南備讃瀬戸大橋のケーブル張力の作用により、BB7Aアンカレイジが変位挙動を示していた。このため、当トラスの固定支点となるBB7A支承の施工をどのように行なったか、検討事項を含めて以下に記す。

a) BB7A支承の施工方法と検討事項

- ① BB7Aアンカレイジの変位挙動が判明したため、地盤反力係数を算定し、ケーブル最終張力(約8万t)による挙動変位量を推定した。

7A支承位置にて

水平方向移動 70～120mm

鉛直方向移動 30～70mm

- ② 上記の推定値を基に、7A支承構造においてペデスタルフレームを使用し、水平方向移動量を誤差および余裕を考慮して200mmのアンカーボルト穴(長孔)とした。また、鉛直方向変位に対しては、70mmまではトラス本体が強度的に問題ないよう設計に反映した。
- ③ 南備讃瀬戸大橋の補剛桁架設完了時点でのケーブル張力は、最終張力の90～95%となるため、7A支承の固定は、工程上許す限り遅らせるものとする(目標工程、南備補剛桁架設完了後とした)。また、固定までの期間はBVa3Pを固定とし、7A支承を可動支承としなければならないため、下沓下面とペデスタルフレーム上面を潤滑構造(テフロン板と潤滑剤の表面処理)とした。
- ④ ペデスタルフレームの据え付け(支承位置の決定につながる)は、①の推定値を考慮しつつ、下記の位置に決定し、固定した。

水平方向：アンカーボルト穴の長孔で吸収できるため設計位置に据え付け

鉛直方向：最小推定値30mmを採用し、設計標高より

○30mmで据え付け

- ⑤ BB7Aの挙動を定期計測して、固定時期まで挙動状況を把握した。
- ⑥ 南備讃瀬戸大橋の補剛桁架設完了後、BVa1Pと2Pの橋脚の変形・トラスの変形を同時計測しながら、7A支承部のジャッキング調整により、7A支承を可動から固定(現場溶接、溶接延長6mm換算約2000m)に入れ替えた。

b) 沓据え付けに関するまとめ

「重量100万tのBB7Aが変位挙動を示す」このこと自体が、「固定すべき箇所が動く」ということになり、難問のひとつであった。定量的数値が正確につかめず、推定の域を出ない数値を使用して、設計・計画・施工と行ってきた。結果的には、7A挙動変位量は、われわれの推定より少なかったが、出来形上問題はなかった。

7A変位挙動は経時的に変化が現れるという問題があり、当工事ではできる限り7A支承固定時期を遅らせた。供用を開始している現時点においても、また今後においても定期計測を行い、維持管理に役立てる必要があると思われる。

(3) 多径間で長大な鋼床版の現場溶接

当工事の鋼床版は、トラス側径間が150mの10径間、トラス中央径間が180mの12径間連続鋼床版であり、溶接箇所も多いため溶接歪による影響が懸念された。

以下に、鋼床版現場溶接工事における当工事の留意点を報告する。

a) 現場溶接における留意点

- ① 橋軸方向において、一溶接線あたりの溶接収縮を2.0mmとし、また、橋軸直角方向は溶接後の総幅員の設計寸法を確保するため、張り出し部のみを $\oplus 3$ mmとして部材を大きく製作した。また、現場溶接部と添接部のすき間は3mmとして、溶接収縮により腹板どうしが当たらないようにした。
- ② 多径間連続で、しかも曲線桁のため支承の構造は、橋軸・橋軸直角方向固定、橋軸可動・橋軸直角方向固定、橋軸・橋軸直角方向可動の3タイプの支承を設けた。
- ③ 架設時は、添接孔の状態より開先状態を優先して架設するとともに、仮組立にパイロットホールを設け、現場でもその位置にドリフトピンを挿入して、仮組立時と同状態になるよう行った。
- ④ 溶接前にドリフトピンを除去し、仮締めボルトのみの添接状態にして溶接収縮に従従させた。
- ⑤ 縦シームの溶接により、外桁が上がると予想されたため、中桁を5～10mm持ち上げ逆歪をつけた形で溶接を行った(図-8参照)。

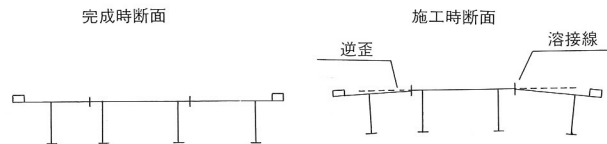


図-8 逆歪のつけ方

⑥ 溶接順序は、図-9のように決定した。

b) 現場溶接に関するまとめ

予想された溶接歪による悪影響は生じなかった。今後、このような多径間連続長大鋼床版の現場溶接工事を施工する時の参考になるものと思われた。

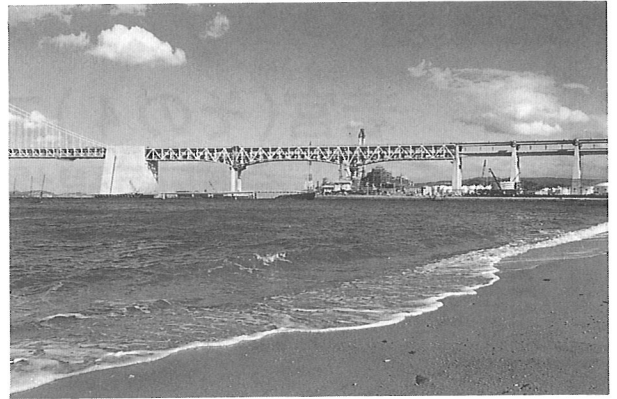


写真-7 番の州高架橋トラス全景

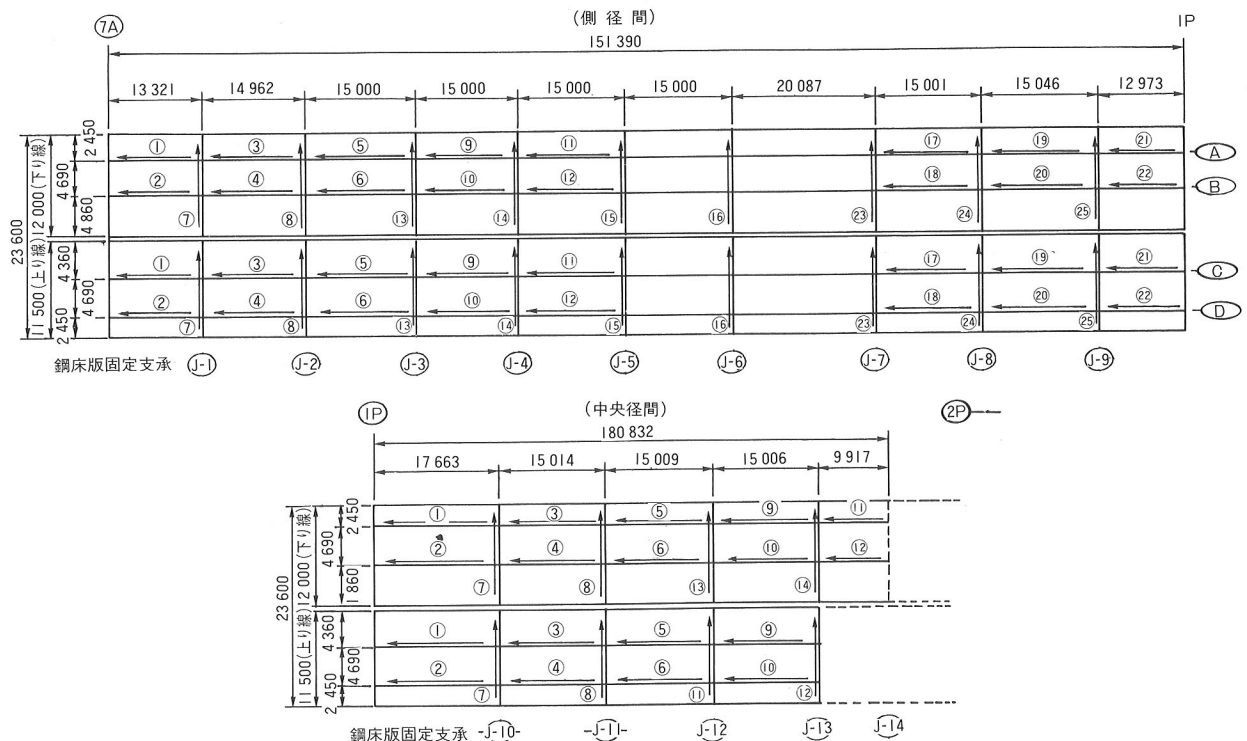


図-9 鋼床版デッキプレート溶接順序図

6. あとがき

大ブロック架設工事においては、架設は瞬時であるが、その架設のための詳細計画・準備作業が最も重要な業務であった。この点を踏まえて、設計から架設までを関係者一同が十分理解・協力し、幾多の難問を乗り越え、ここに無事竣工できたことを喜んでいる。

最後に、計画・施工にあたりご指導いただいた本四公団をはじめ関係各位、また、衆知を集めて難工事克服に協力していただいた関係各社に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 本四公団編：番の州高架橋トラス架設(その1)工事工事報告書，1987。
- 2) 高木・岡本・池田・有安：番の州高架橋トラスの施工，

橋梁，Vol.22，No.9，1986。

3) 金田・瀬田・堀田・米山：番の州高架橋トラスの設計と製作，川田技報，Vol.7，1988。

4) 小玉：番の州高架橋トラスの大ブロック架設，川田技報，Vol.6，1987。