

### 3. 第二音戸大橋

—空中ジョイントによる大ブロック一括架設—

技術委員会 架設小委員会

### 3. 第二音戸大橋

#### — 空中ジョイントによる大ブロッケー括架設—

技術委員会 架設小委員会

大野 勝

#### 1. はじめに

広島県呉市にある警固屋（本州側）と音戸町（倉橋島側）の間には、最も狭いところで90m程度の海峡があり、「音戸の瀬戸」と呼ばれている。この海峡は「瀬戸」の文字通り、潮汐の干満によって複雑な潮流を生じる海峡である。また、広島市と松山市を結ぶ定期船など1,000ton級の船舶を含め、一日の船舶通行量が約700隻と船舶の往来が激しい海峡でもある。この海峡には今から50年前の昭和36年に、地元の架設促進運動に応える形で、当時の日本道路公団が橋長約110mの「音戸大橋」を完成させている。

音戸大橋は、海峡に架かる唯一の橋梁として供用されていた。交通量の増大により、広島県では警固屋と音戸町を結ぶ「警固屋音戸バイパス」の整備を進め、その一部として音戸大橋の北約350mの位置に、第二音戸大橋の架橋が計画された。第二音戸大橋は、平成21年10月に広島県とIHI・川田・横河特定共同企業体（以下、JV）との間で請負契約を行い、平成23年4月に大ブロッケー括工法により海峡部の閉合が行われた。

本稿は、この大ブロッケー括架設について、地組後の海上輸送に関する工夫と、一括架設時の架設手順について報告するものである。

#### 2. 工事概要

工事名：一般国道487号線（警固屋音戸バイパス）橋梁整備工事（（仮称）第2音戸大橋）

施主：広島県西部建設事務所

請負者：IHI・川田・横河特定共同企業体

工期：H21.10.8～H23.12.15

形式：鋼中路ニールセンローゼ橋

橋長：292m（アーチ支間280m）

幅員：26.2m（主構間隔19m）

総鋼重：4,740ton



写真-1 音戸大橋（手前）と第二音戸大橋（奥）

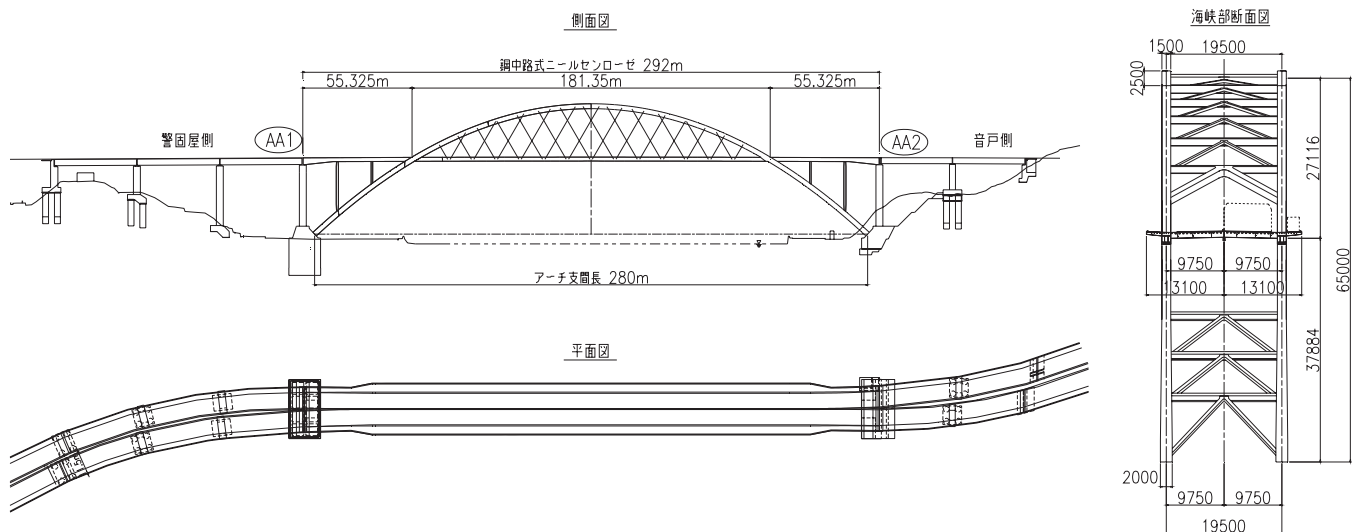


図-1 橋梁一般図

### 3. 一括架設要領

発注時の架設計画では、海峡部に海上ベントを設置し、大ブロックを海上ベントに仮置きする工法にて計画されていた。

JVでは、この海上ベントを省略し、大ブロックを空中ジョイントにて閉合する工法を検討し、広島県との協議の結果、契約後 VE 提案にて採用されることになった。

この工法は、中路ニールセンローゼ橋の上路部（以下、陸上部）と下路部（以下、海峡部）で分割し、陸上部は現地にて陸上ベントを用いて先行架設する。海峡部は工場にて地組を行い、3,500tonの大ブロックをFCで吊り上げた状態で直接、陸上部と空中ジョイントにて接合する。なお、この大ブロックは、陸上部アーチとボルト接合である。

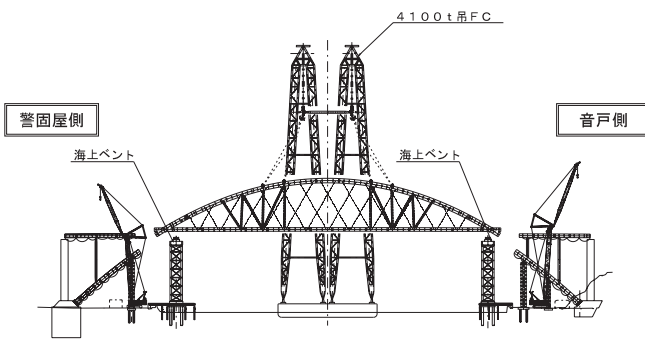


図-2 海上ベントによる架設計画図（当初計画）

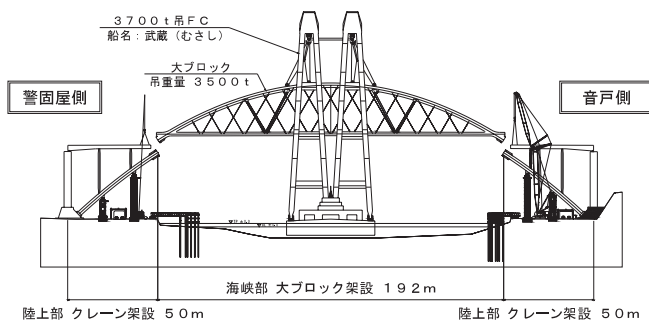


図-3 空中ジョイントによる架設計画図（VE 提案）

### 4. 台船輸送

海峡部大ブロックは工場にて地組を行い、地組岸壁よりFCにて台船に搭載し、海上輸送を行った。海峡部大ブロックの長さが約200mに対して、台船の大きさは約100mであるため、大ブロックの中央での仮受けを行う必要があった。海峡部大ブロックは、ニールセンローゼ橋であるため、補剛桁自体は、直接大ブロックの

荷重を負担できるだけの曲げ耐力を有していない。

そこで、台船支点位置にアーチと補剛桁の間隔に納まるようなV字型の台船輸送時の補強部材（以下、台船輸送補強という）を設置し、間接的に台船がアーチを支える構造とした。

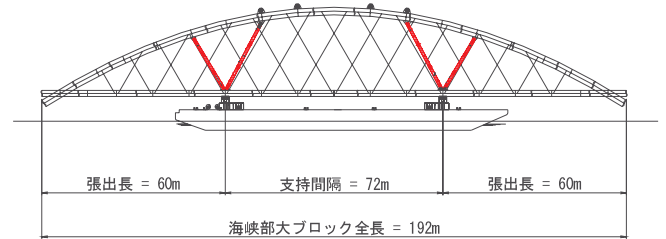


図-4 台船と橋梁寸法

### 5. 構造系の変化と台船輸送補強の役割

台船輸送補強には、台船輸送時の補強となるだけでなく、FCでの吊り上げ時にも、大ブロック端部の変形を過大とさせないことを期待している。台船輸送時は4本のベントがすべて有効になるが、吊り上げ時は外側のベントのみが有効となり、内側のベントは有効とならない。これは後述する連結環を長孔としているため、引張軸力が作用しようとする、長孔のあそびで軸力が抜ける工夫をしていることに起因している。

また、この構造系の違いにより、完成系では引張軸力が発生する斜材ケーブルにも圧縮が作用することになり、結果的に非抗圧部材のケーブルが消滅していることと等価の状態となる。これらを勘案し、以下2ケースを立体解析で、台船輸送補強に作用する軸力を算出した。

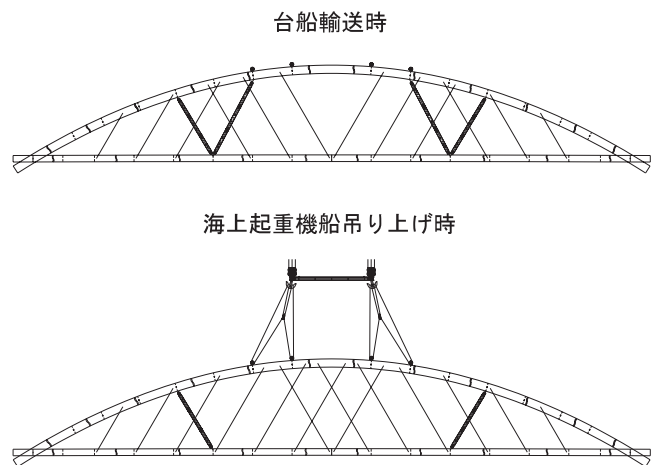


図-5 台船輸送時と吊り上げ時による構造系の変化

台船輸送補強に作用する軸力は、ケーブル軸力により相当量変動する。ケーブル張力が設計通りであれば、補剛桁の曲げ剛性とケーブル・台船輸送補強のトラス効果の両方で形状を維持する。ところが、張出部の張力がゆるめば、補剛桁の曲げ剛性による形状の保持が主体的となり、張出部の変形が過大となり、結果的に台船輸送補強の軸力が増大する。ケーブル張力は地組時に計測して、必要張力が導入されていることを確認することとしていたが、輸送中の衝撃などで張力が変動することに対するフェイルセーフとして、ケーブル張力が変動した後でも、圧縮部材であるベントが座屈しない様に設計軸力の設定を行った。具体的には、ケーブルを考慮しないトラス構造のモデルで、ベントに作用する軸力を算出している。

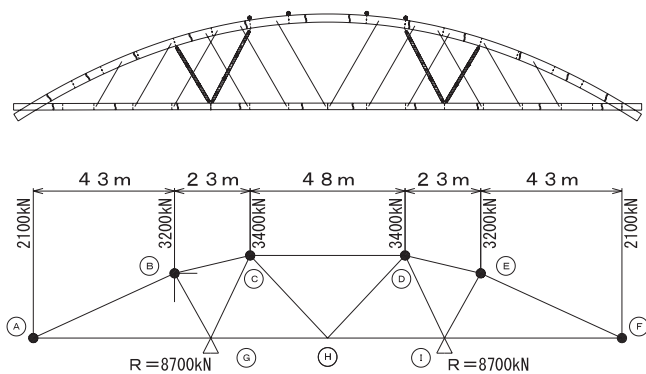


図-6 トラス構造へのモデル化

## 6. 施工性向上の工夫

台船輸送補強は、台船輸送時やFCによる吊り上げ時には圧縮部材として挙動することを期待しているが、架設完了後に圧縮軸力が残ると、撤去することが困難になる。したがって、それぞれの構造系における橋梁に発生する変形を利用して、台船輸送補強に作用する軸力を操作し、架設完了後には台船輸送補強に軸力が残らない工夫をした。具体的には、完成系の骨組座標で算出される部材長よりも20mm台船輸送補強を短く設定した。これに対応して、設計時の立体解析では、圧縮軸力作用時に温度荷重を用いて台船輸送補強の部材長を短くし、施工上では本体付側の連結孔に20mmのガタを設けた。

### (1) 連結部の構造

台船輸送補強とアーチまたは補剛桁との連結部は、モーメントを伝えさせないようにピン構造とした。これにより台船輸送補強自体には、自重による曲げモー

メント以外は軸力のみが作用することになると同時に、設置撤去に溶接やガス切断の作業を不要とした。

### (2) 長さの調整

台船輸送補強に、架設完了時点で軸力を残さないようにするため、上端の連結環のピン孔は長孔としている。これは本体側を長孔とし、台船輸送補強側を丸孔としているため、圧縮作用時は、本体側の長孔上端にピンが接触した状態となり、架設完了後はピンが長孔の下端に落ちる形式としている。ケーブルが非抗圧部材である様に、台船輸送補強は非引張部材となる。

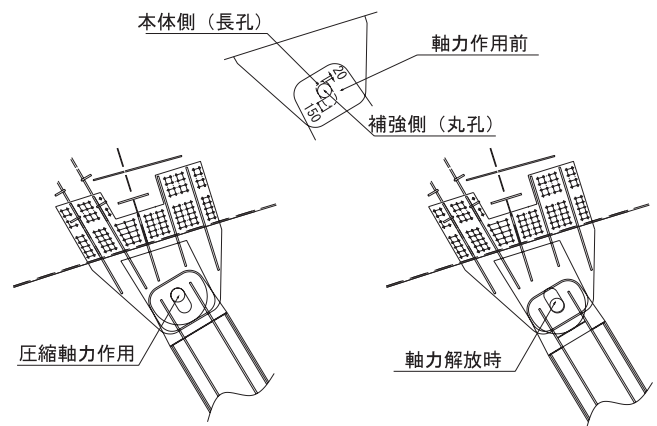


図-7 連結環の長孔構造

### (3) 配置

横断面方向にみると、台船輸送補強は、アーチまたは補剛桁それぞれの主構造中心位置に配置することで、部材軸の偏芯がないのが望ましい。しかし、部材軸の中心には斜材ケーブルが配置されているため、この位置に台船輸送補強を設置することはできない。したがって、主構の腹板位置に台船輸送補強を配置することとなるが、この時内側腹板のみに設置することとした。これは、以下の理由による。

- ① 外側の腹板に設置した場合、斜材ケーブルの外側に配置されるため、架設完了後に橋面上作業での台船輸送補強の撤去が困難となる。
- ② 外側と内側の2カ所に設置した場合、片効きする可能性があり、不均等荷重を考慮すると、台船輸送補強の重量が過大となり、吊り上げ重量の増加につながる。

但し、内側腹板のみに台船輸送補強を設置した場合、台船輸送補強に作用する軸力は片側の腹板に集中すると同時に、アーチまたは補剛桁に対してねじれを発生させる。台船輸送補強の設置箇所は、ケーブル定着部



でもあり構造が複雑であるため、FEM 解析を行い構造の安全性を確認した。

なお、配置検討ではケーブルとの干渉に留意して台船輸送補強の寸法を決定し、本体補強および台船輸送補強は内側の腹板に荷重が集中することに留意して計画を行った。

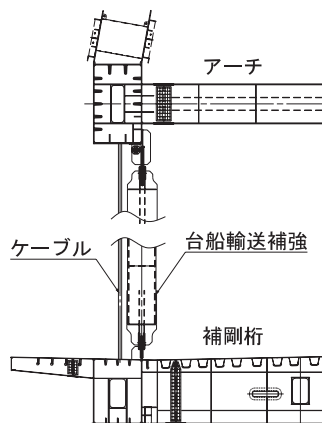


図-8 横断方向の台船輸送補強の配置



写真-2 吊上げ状態と台船の進入



写真-3 台船搭載状況

## 7. 一括架設概要

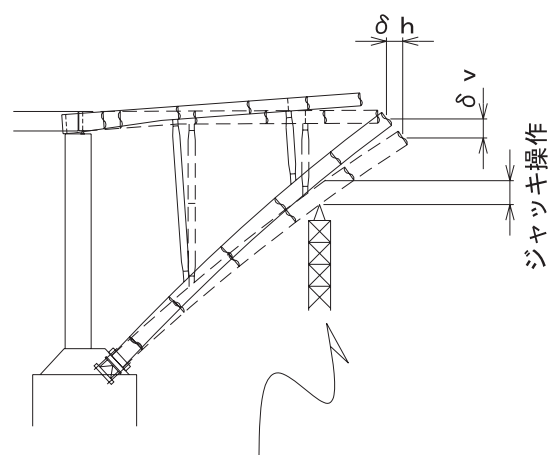
空中ジョイントによる一括架設を実施するためには、以下2点の課題を解決する必要があった。

- ① 製作誤差・架設誤差による海峡部大ブロック長（以下、渡海間隔という）の調整
  - ② 架設仕口位置に発生する断面力の伝達
- これらの課題に対して、次の対策を行った。

### 7.1 渡海間隔の調整

大ブロック一括架設は、先行して架設された陸上部アーチの仕口間隔に落とし込む必要があった。本橋は固定アーチでありセットバックなどの作業が出来ないため、製作・施工誤差の調整は通常であれば調整ブロックを設けて行う。一方で今回の一括架設では、陸上部アーチの先端で海峡部の自重を支えることを計画しているため、アーチ閉合部に調整ブロックを設けることは出来ない。

そのため、別途寸法調整機能を設ける必要があった。これは渡海間隔が 192m あるため、事前に大ブロック寸法計測を行ったとしても、架設時の構造系の変化・測定誤差・温度変化の影響で必ずしも確実な架設ができる保証とはならないためである。そこで、陸上部アーチに設置している陸上ベントを上下することで、擬似的にセットバックを可能とし、寸法調整を行うこととした。



・ベントを上を上げることで、間隔を広げる。

図-9 陸上ベントの調整要領

## 7. 2 断面力の伝達

主荷重として、一括架設時に仕口に作用する断面力は、FCの解放荷重によりアーチに作用する断面力となる。その断面力は軸力・面内曲げモーメント・せん断力（部材軸直角方向）が主な断面力となる。仕口を架設ヒンジとする場合は、解放過程において仕口回転を解放する必要があるがその作業は架設工程を煩雑にするばかりか、仕口での確実な固定ができない不安定状態を生じる。そこで閉合仕口部はモーメント連結を行うこととした。

一方で、軸力に対して曲げモーメントが卓越すると仕口部で引張力が生じ、伝達構造が複雑となる。したがって、一括架設で仕口に生じる断面力は軸力を卓越させ、曲げモーメントは最小限におさえる必要がある。架設仕口の位置は、大ブロック部材寸法の制約上アーチ支間に対して1:4:1の関係にある。これに対してFCの吊り位置を中央側に選択することで、仕口に作用する曲げモーメントを小さくすることが可能となり、結果的にせん断力も小さくすることが可能となった。

上述の方法により、仕口部では圧縮応力のみが発生するため、陸上部側の仕口の4隅に10,000kNジャッキを設置し、ジャッキにて海峡部の断面力を陸上部に伝達させる構造とした。海峡部大ブロック重量が、31,500kN（吊具・余裕荷重除く）であり、仕口部分の部材倒れ角度が水平軸に対して32.5度であるため、部材軸力は約12,300kN作用し、軸力によるジャッキ反力はその4分の1である3,100kNとなる。一方で曲げモーメントは仕口にて520kN・m発生するが、上下のジャッキ間隔3mで偶力抵抗させると曲げモーメントに対応するジャッキ反力は、±90kN程度（ジャッキ1ヶ当たり）であり、ジャッキの圧縮軸力が抜けることは無い。

荷重伝達にジャッキを用いたのは、架設途中の軸力を計測できることと、微妙な位置調整をFCの解放作業直前に可能とするためである。仕口部の添接遊間は架設直前の仕口の回転変形やその他の誤差を吸収できる様に20mmとした。

## 8. 一括架設ステップ

架設は以下のステップで実施した。

### Step1 FCの操船

操船により、大ブロックを陸上部の補剛桁上面

から500mm上の位置まで移動した。補剛桁の桁高が2.5mあるため、正規位置から3m上空までを操船による位置調整範囲とした。

### Step2 引き寄せワイヤーの設置

大ブロックが正規位置から3m上にある状態で、橋軸方向および直角方向に引き寄せワイヤーを設置した。以降ワイヤリングで大ブロック位置を微調整しながらFCの巻下げを行った。

陸上部側には、引き寄せワイヤーのサポートとして上開きのラップ形状をした誘導ガイド装置を設置した。巻き下ろし作業は設計上4仕口同時であるが、架設作業は大ブロックの挙動を制御することを目的として、警固屋側から陸上部にタッチさせることを目標として実施した。

### Step3 砲弾型「かんぬき」の挿入

仕口の見違い矯正は砲弾型「かんぬき」の挿入にて行った。「かんぬき」を挿入することにより、大ブロックと陸上部の相対位置を合わせると同時に、部材軸直角方向のせん断力を伝達できる様にした。

### Step4 腹板中央の仮添接板の本締め

荷重解放過程において、「かんぬき」にズレが生じると摩擦力による思わぬ衝撃を発生させる恐れがあるため、腹板中央に仮添接板を設置し、かんぬきがずれないようにHTBにて本締めを行った。

### Step5 ジャッキのストローク調整

仮添接板の設置が完了すると、ジャッキ16台のストロークをのばし、陸上部側から大ブロック側にタッチさせた。このとき、ジャッキには500kN

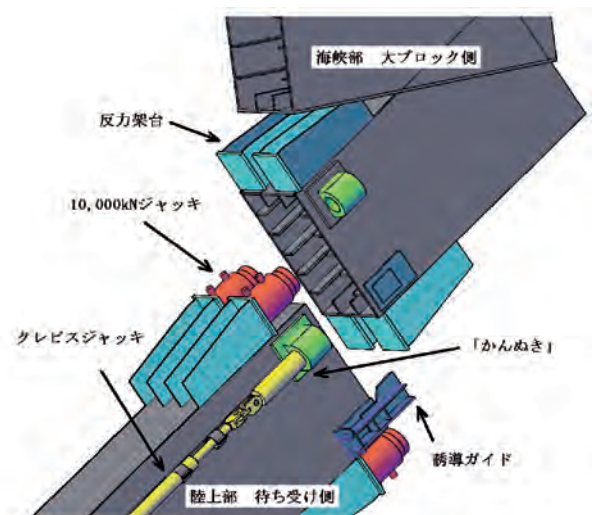


図-10 架設機材配置



の荷重を導入した。

#### Step6 仕口縦リブ仮添接板の本締め

縦リブに仮添接板を設置しHTBの本締め作業を行った。本添接板は架設完了後に現場実測し製作することとしているため、本添接板取り付けまでの期間の安全対策として、長孔を有した仮添接板を設置した。

なお、10,000kN ジャッキは、本添接板を設置するまでの間、軸力を負担するため、荷重をかけたままの状態を維持させることになる。

#### Step7 FC荷重解放

仕口の固定が完了すると、FCの荷重解放を行った。荷重解放は、ジャッキ反力を確認しながら20%刻みに5回に分けて実施した。

えることができた。架設工事の省力化の一例として、今後の工法検討の参考になれば幸いである。

最後に、本工事に対しご指導・ご協力いただいた皆様に、ここに感謝の意を表します。



写真-4 陸上部待ち受け側状況

### 9. タイムスケジュール

表-1 に大ブロック架設のタイムスケジュールを示す。海上作業は日の出となる午前5時から開始し、海峡部の船舶航行禁止時間は、午前5時半から午後2時半までの9時間としていた。この中でFCの曳航と係留を行う作業時間を除くと、大ブロック架設は150分以内で計画する必要があった

実際の作業では、45分で計画したFC吊り運搬が30分程度遅延したが、大ブロック架設が順調に実施できたことにより、船舶航行禁止時間内で作業を完了させることができた。



写真-5 大ブロック仕口状況（閉合後）

表-1 大ブロック架設タイムスケジュール

項目	時刻	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	橋体水切	01:45-02:30 45分															
2	巻上(約50m)	02:30-03:15 45分															
3	FC係留解除	03:00-04:15 75分															
4	FC移動(～航路前)	04:15-05:30 75分															
5	航路内FC入域	05:30-06:00 30分															
6	FC係留位置決め・巻下げ	06:00-07:30 90分															
7	<b>大ブロック架設作業</b>	07:30-10:00 150分															
8	荷重開放・バラスト排出	10:00-11:30 90分															
9	吊具取り外し	11:30-12:30 60分															
10	FC係留解除・出域	12:30-14:30 120分															
11	FC拂港																
	船舶航行禁止時間	05:30-14:30 9時間															



写真-6 大ブロック架設状況

### 10. おわりに

今回の一括架設は、1万5千人以上の見学者が見守る中、2011年4月24日に無事完了することができた。入念な計画を立てた上で、何度もシミュレーションを行い施工に臨んだが、当日の天候が穏やかであったこともあり、誤差もほとんど無い状態で、一括架設を終