

第2音戸大橋(仮称)上部工大ブロック一括架設

桑垣 誠

広島県 西部建設事務所呉支所 工務第一課



広島県では、呉市警固屋と音戸町を結ぶ「警固屋音戸バイパス」の整備を進めている。第2音戸大橋(仮称)は、このバイパスの一部として、音戸の瀬戸を跨ぐ橋長492m(アーチ部橋長292m)の長大橋である。

アーチ橋の架設工法は、国内で初めてとなる陸上部ブロックと海峡部大ブロック(192m, 約3,500t)のアーチ仕口を、海上から大型起重機船(FC)で直接合わせる空中ジョイント一括架設工法として、請負業者からVE提案された。この工法は、陸上部と海峡部のアーチ仕口をできる限り誤差なく合わせる高度な技術が必要であり、複雑な解析や設計検討及び精密な施工管理が極めて重要となる。また、施工実績もないことから、安全性・確実性を様々な観点から検討・対策することで、一括架設を無事にやり遂げることができた。

キーワード アーチ橋, 大ブロック, 一括架設, 大型起重機船, VE提案

1. はじめに

広島県呉市中心部と江能倉橋半島地域を結ぶ音戸大橋(アーチ支間長115m)は、1961年に供用開始されて以来約50年が経過し、交通量の増加に伴い朝夕の通勤時間帯のみならず慢性的な交通渋滞が生じている。

広島県では、交通渋滞の緩和及び円滑な緊急活動や災害時の緊急輸送道路の確保等を目的として、呉市の警固屋地区と音戸地区を結ぶ一般国道487号・主要地方道音戸倉橋線警固屋音戸バイパス整備事業を行っており、バイパスの一部に音戸の瀬戸を跨ぐ第2のアーチ橋である第2音戸大橋を建設している。

本バイパスは、広島県の道路整備計画において、県土の一体的発展を担う広域道路(交流促進型)として位置づけられており、一般国道487号の呉市警固屋4丁目から呉市音戸町大字音戸までの約2.9km、及び主要地方道音戸倉橋線の呉市音戸町大字音戸から呉市音戸町渡子1丁目までの約1.0km、合計約3.9kmを整備するものである。(図1 警固屋音戸バイパス概要図)

一般国道487号は4車線(完成形)、主要地方道音戸倉橋線は2車線(完成形)であるが、事業効果を早期に発現するため、一般国道487号は2車線(暫定形)で整備している。なお、第2音戸大橋のアーチ橋部分は分離施工が困難であるため4車線(完成形)で整備している。

平成7年から事業着手し、平成25年春に暫定2車線での供用開始を目指しており、進捗率は約85%(平成22年度末)である。また、総事業費は約340億円であ

り、第2音戸大橋上下部工の工事費は約80億円である。

第2音戸大橋アーチ部上部工工事(292m, 鋼重約4,700t)は、請負者であるIHI・川田・横河共同企業体と平成21年10月に契約を行い、平成22年2月から工場製作を開始し、平成22年5月に陸上部の工事に取り掛かった。平成23年4月24日に音戸の瀬戸を約9時間の全面航行制限を行い、工場で作成した中央径間部の大ブロック(192m, 鋼重約3,500t)を国内最大級の起重機船(FC)(3,700t吊り)により、海上から一括架設を行った。

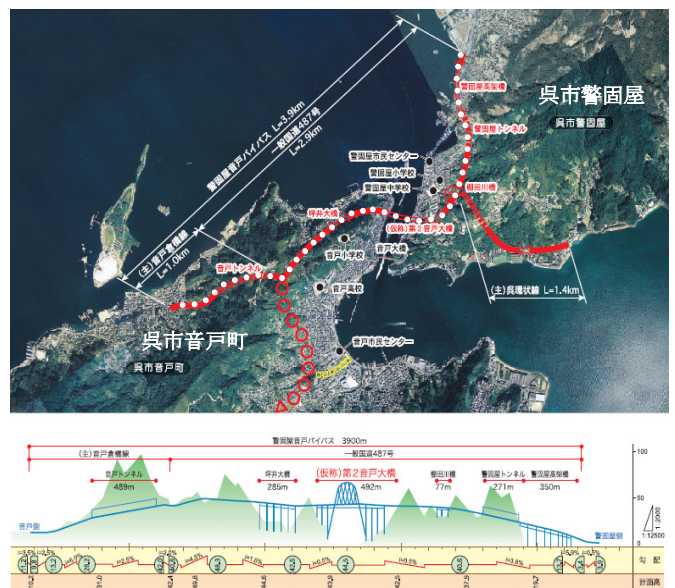


図1 警固屋音戸バイパス概要図

2. 第2音戸大橋の概要

第2音戸大橋は、音戸大橋の北側約350mに音戸の瀬戸を跨ぐ第2のアーチ橋として建設される橋長492mの長大橋であり、海峡部の中路式鋼ニールセンローゼ固定アーチ橋（アーチ支間長280m、鋼重約4,700t）と陸上部のPCコンボ橋から構成される。海峡部のアーチ橋は、完成すれば国内で4番目の規模となる。

(1) 第2音戸大橋の橋種選定

音戸大橋周辺はさくらやツツジが咲く春には、多くの観光客が訪れる名所ともなっており、朱赤のアーチ橋である音戸大橋が花々につつまれる風光明媚な地域である。

(写真1 音戸大橋周辺)

第2音戸大橋の橋梁形式の選定においては、経済性、構造的、施工性等はもちろんのこと、アーチ橋である音戸大橋との景観的調和に配慮し海峡部はアーチ形式を採用した。

橋の色は、歴史的背景から巖島神社の鳥居の色に合わせて朱赤にしている音戸大橋と同色にしている。地元にもなじみがあること、同色の2橋が並んだほうが違和感なく受け入れられることから、兄弟アーチとして呉市の観光名所として活かす等の理由から、朱赤とした。

(2) 第2音戸大橋の橋梁形式

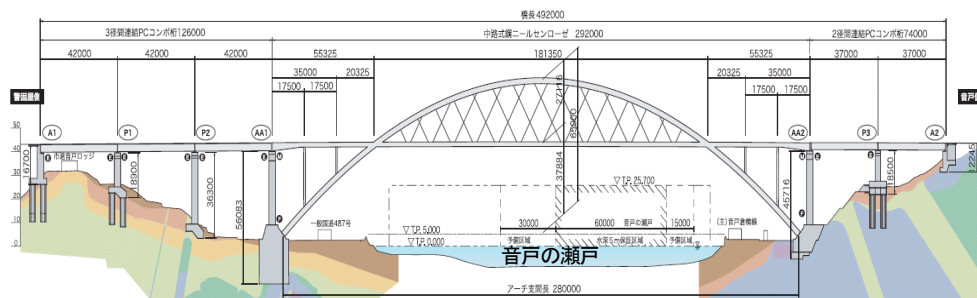
第2音戸大橋は橋長全体がL=492mである。

内訳として、海峡部橋梁L=292m、側橋梁（警固屋側）L=126m、側橋梁（音戸側）L=74mである。

(図2 第2音戸大橋橋梁一般図)

a) 上部工形式

- 海峡部橋梁：中路式鋼ニールセンローゼ固定アーチ橋（アーチ支間長280m、鋼重約4,700t）
- 側橋梁（警固屋側）：3径間連結PCコンボ橋
- 側橋梁（音戸側）：2径間連結PCコンボ橋



	側橋梁(警固屋側)	海峡部橋梁 アーチ部	側橋梁(音戸側)
橋長	126m	292m	74m
有効幅員	車道16.0m(0.5+7.0+0.5+0.5+7.0+0.5), 歩道4.0m(2.0+2.0)		
橋梁形式(上部工)	3径間連結PCコンボ橋	中路式鋼ニールセンローゼ 固定アーチ橋	2径間連結PCコンボ橋
主要数量	コンクリート:2,550m ³	鋼重:4,700t うち大ブロック3,500t	コンクリート:1,450m ³
道路規格, 設計速度	第3種第2級, 60km/h		

図2 第2音戸大橋橋梁一般図

b) 下部工・基礎形式

- 海峡部橋梁：中空断面橋脚，ニューマチックケーソン基礎・直接基礎
- 側橋梁（警固屋側）：張出し式橋脚・逆T式橋台，直接基礎・深礎杭
- 側橋梁（音戸側）：張出し式橋脚・逆T式橋台，直接基礎・深礎杭

(3) 架橋地点の社会的条件、自然条件

架橋地点は音戸の瀬戸を挟んで交通量が多い国道・県道を跨ぎ、周辺は家屋も密集している場所である。

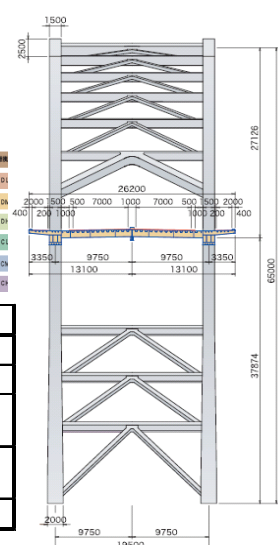
そのうち、音戸の瀬戸は、大潮時の潮流が約4ノットで複雑な潮流であり、最狭部が幅約80m、水深約5mの非常に狭隘な海峡部でありながら、定期旅客船を含む約650隻/日の船舶が往来する重要な航路である。

これらの条件により、施工方法、周辺の陸海の交通規制や調整など細心の注意を払う必要がある。

特に、架設中の航行制限による社会的影響が大きいことから、航行船舶への影響を最小限にするため、できる限り短時間で架設を完了させる必要があった。



写真1 音戸大橋周辺



3. アーチ部上部工架設工法のV E提案

第2音戸大橋アーチ部上部工は、経済性、構造的、社会的・自然的条件などから、架設方法は工場で組み立てられた大ブロック（中央径間部）を海上から大型起重機船(FC)（以下FCとする）で一括で据え付ける大ブロック一括架設工法を採用している。発注後、請負者から国内初めてとなる架設工法についてV E提案があった。

(1) 現場の施工条件

現場の施工条件は、以下の3点である。

- ・海峡部は非常に狭隘で、潮流が複雑かつ速い。
- ・海上交通の要所のため、航行制限時間を最小限にする。
- ・国道・県道を跨ぎ、周辺は家屋が密集している。

これらから、航行制限時間、海上・陸上交通及び住民の安全確保などを配慮しなければならない。

(2) 発注時の架設工法

a) 架設工法の選定

発注時は、ケーブルクレーンによる架設とFCによる大ブロック一括架設を比較検討した。

どちらの工法も長短はあるが、「組み立ての大半を工場で行うため、品質が高い」「音戸の瀬戸の航行制限は必要であるが、現地における作業工程が少なく、周辺への負担が小さい」「工期が短く、工費が安価である」との理由から、FCによる大ブロック一括架設を採用した。

b) 発注時の大ブロック一括架設工法

本橋は固定アーチ橋であるため、陸上部アーチのセットバックが構造上不可能であることから、大ブロック架設時の安全性、製作・架設時における仕口の寸法誤差に配慮し大ブロックと陸上部アーチの間に調整ブロックを設けている。調整ブロックは、大ブロック架設後の間隔にあわせて製作する。

調整ブロックの製作には2ヶ月程度を要することから、

架設まではアーチが形成できず、大ブロックを直接支持しておく必要があるため、仮置きをする海上ベントを計画した。（図3 発注時架設工法（海上ベントあり））

(3) 契約後V E提案の大ブロック一括架設工法

施工時の海上交通に対する安全対策を検討するために、学識経験者、海事関係者、発注者、工事請負者で構成する航行安全対策検討委員会におけるシミュレーションの結果、海上ベントは架橋位置を通過する船舶に対して圧迫感を与えるなど支障となることが明らかとなった。その上、海上ベントの基礎を設置するために、海底地盤を掘削する必要があり、周辺海域の汚濁も懸念された。

また、大ブロックと陸上部アーチの間隔を埋める「調整ブロック」の製作までの間、海上ベントに大ブロックを仮置きした状態が長期間続くため、構造上不安定である。

それらの懸念を解消するため、海上ベントに大ブロックを仮置きせず、大ブロックアーチと陸上部アーチの結合を直接空中で行い、海上ベントの設置を省略する一括架設について、V E提案があった。

提案工法は、直接結合する治具としてアーチ部先端に軸力導入装置（ジャッキ）、位置決め装置（かんぬき（砲弾型鋳物））などを施し、大ブロックの重量を陸上部アーチに軸力として直接伝える空中ジョイント工法である。（図4 V E提案架設工法（海上ベントなし））

(4) 発注時とV E提案の架設要領及び長所・短所

a) 発注時の架設要領及び長所・短所

〔架設要領〕

- ①海上ベントを設置
- ②FCにより、海峡部大ブロックを一時的に仮置き
- ③陸上部ブロックとの間隔を計測
- ④計測データをもとに調整ブロックを製作
- ⑤調整ブロックを架設し、結合
- ⑥海上ベントを撤去

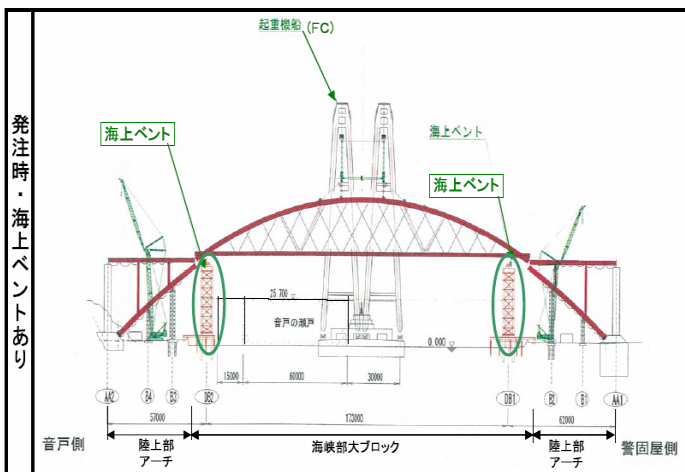


図3 発注時架設工法（海上ベントあり）

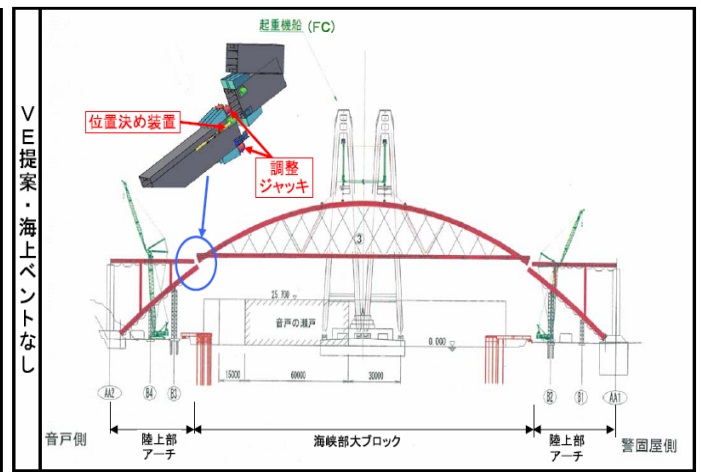


図4 V E提案架設工法（海上ベントなし）

〔長所〕

- 調整ブロックを間隔計測後に製作するため、寸法調製が容易である。

〔短所〕

- 海上ベントの設置により、航行船舶に圧迫感を与える。
- 仮置き of 構造上不安定な期間が2ヶ月以上継続する。

b) VE提案の架設要領及び長所・短所

〔架設要領〕

- FCにより吊り下げた大ブロックアーチに、陸上部アーチ先端の位置決め装置を挿入
- 陸上部アーチと大ブロックアーチをジャッキを介して結合
- ボルトによる仮締め完了後、FCを解放

〔長所〕

- 架設当日に、大ブロックアーチと陸上部アーチの結合が可能となり、アーチ橋として構造上安定する。
- 海上ベントを設置しないため、船舶に対して圧迫感を軽減できる。
- 海上ベント組立解体作業が無くなり、海上・陸上交通など周辺に与える影響が少ない。
- 海上ベント基礎の海中杭基礎施工（回転圧入）が不要となり、周辺海域の汚濁がない。
- 海上ベント組立解体が無くなり、工費が安価となる。

〔短所〕

- 本橋の製作・架設誤差を吸収するため、複雑な解析及び設計検討が必要となる。
- 通常の架設・仮組と異なり、高精度管理が必要となる。

(5) 発注時における海上ベント省略の設計検討

海上ベントを省略した設計検討では、架設の確実性や迅速性において、両側セッティングビーム設置案（従来工法）が優位であった。しかし、陸上部アーチの板厚（現況 19~45mm）を 30~60mm 程度に増厚しなければ、大ブロックの荷重に耐えられないため、死荷重の増加による下部工への影響が懸念され、海上ベント設置案と比べて経済性にも劣る。（図5 標準案の力学的根拠図）

一方、VE提案では、アーチ軸力を直接導入するため、セッティングビーム架設時の鉛直力をアーチに作用させた場合と比べ、約 60 倍の耐荷力があり、板厚の増厚が不要となる。その提案は、仕口部にジャッキや位置決め装置等を設置して、架設中の段階でアーチ構造を機能させるもので、国内で初めての工法であった。その成立条件としては、確実に軸力を伝達させるための複雑な解析・高精度管理が必要で、標準案としては妥当性がなく、想定困難であった。（図6 VE提案の力学的根拠図）

4. VE提案架設方法と確実性・安全性の確認

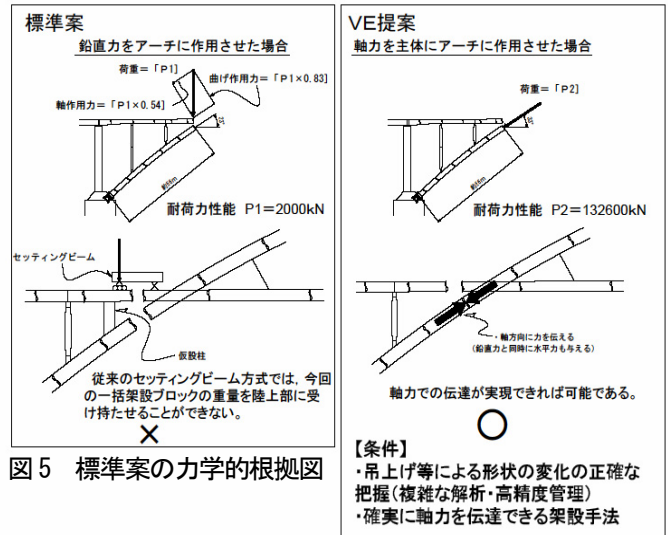


図5 標準案の力学的根拠図

図6 VE提案の力学的根拠図

本橋の一括架設を成功させる条件(基本的要件)を整理し、施工の確実性・安全性を検証・確認した。

(1) 基本要件の整理

基本要件として以下の8点を整理し、確実性・安全性を検証・確認している。

- 橋体の安全性安定性等供用に問題がないこと。
- 架設機材および本体取り付け部の安全性安定性に問題がないこと。
- 仮組、地組立、架設の最終精度が設計上で定める規定値を十分満足できること。
- 施工の安全性、確実性が確保されていること。
- 架設中止基準が明確で、その生起確率も十分低いこと。
- 架設完了基準が明確となっていること。
- フェイルセーフ対策がとられていること。
- ヒューマンエラーに対する対策が万全であること。

(2) 主要な施工方法及び対策

主要な施工方法及び対策は次の4点である。

a) 仕口の確実な接合

一括架設はFCで吊り下げた状態で行うため、仕口位置の挙動は地組時とは異なる。そのため、地組途中での反力管理により、実際の橋梁の重量と剛性を計測し、一括架設時の吊上げ状態の電算解析モデルに反映することで、架設時の不確定要素を排除する。

ウェブに設置した位置決め装置（かんぬき（砲弾型鋳物））により、現場における仕口合わせを確実・容易にする。また、仕口毎に4基（全箇所で16基）設置した1,000t精密載荷ジャッキにより、大ブロックの荷重を陸上部アーチに軸力として確実に伝達する。（図7 アーチ仕口の構造図及び施工方法）

b) 誤差消去のための精度管理計画

一括架設時の誤差をできる限り消去するため、製作・

＜VE提案空中ジョイント工法の概略架設手順＞

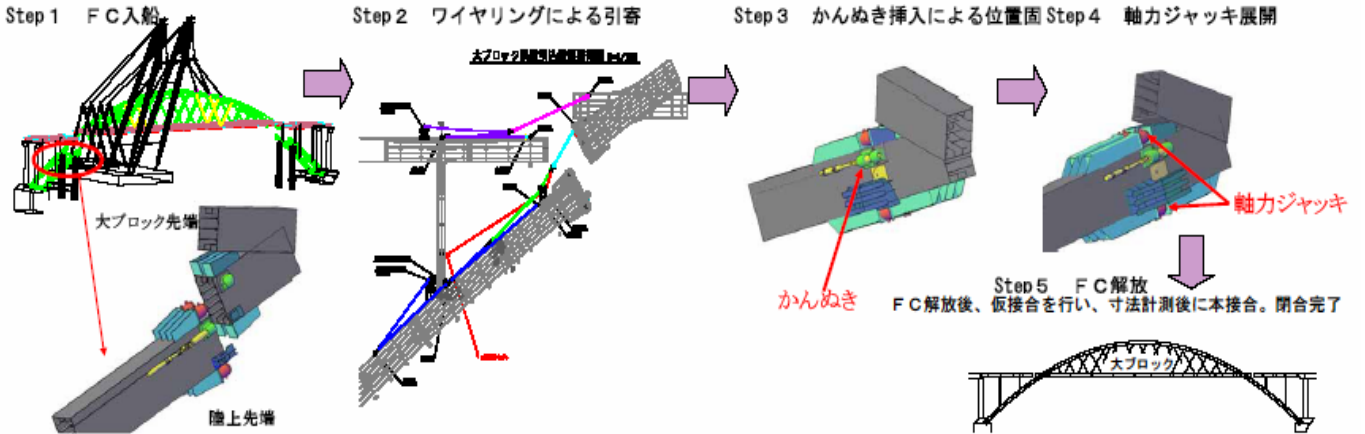


図7 アーチ仕口の構造図及び施工方法

架設の各段階で寸法・反力などを計測し、次のステップに反映させた。製作誤差は完全に消去できたとしても、架設時の誤差は生じる可能性があるため、警固屋・音戸側両方の仕口部に 20mm の遊間を確保し、製作・架設誤差を吸収できるようにした。

精度管理計画の内容と結果は以下の 4 項目である。

(図8 解析と施工の関係フロー図)

・精度管理 1: 「大ブロックの寸法管理」

一括架設は大ブロックを陸上部仕口間隔に落とし込むため、工場で地組した補剛桁ブロックごとに、合計 5 回の寸法管理を行った。

全長の誤差を小さくするため、各段階の寸法計測の結果を次の地組ブロックの搭載に反映させた。その結果、全長 193.4m の 2 本ある補剛桁を、製作誤差 +1 ~ +2mm で製作することができた。

地組寸法が、架設治具の設計で想定している規格値を超過した場合は、治具の設計に反映させシミュレーションを行うことを予定していたが、計測の結果、不要となった。

・精度管理 2: 「陸上ブロックの精度管理」

陸上ブロックは、高力ボルト接合であるため、精度管理としては仮組時の結果が重要となる。陸上部の仮組は全長 50m に対して、±6mm の精度を規格値としていたため、工場の仮組では、仕口部分の端面切削や添接板に仮組結果を反映する方法で、規格値を満足させることが可能となった。

・精度管理 3: 「鋼重・剛性の計測」

大ブロックは、地組中の支点位置を全点ジャッキで反力を計測し鋼重の確認を行うと同時に、反力のバランスから剛性の妥当性を確認している。

鋼重や剛性が設計で推定する値と異なる場合は、それを解析モデルにフィードバックし、一括架設時の挙動を推定することとしていた。

測定の結果、誤差は 1% 程度であり、設計段階での推定が実測により問題が無いことが確認できた。

・精度管理 4: 「陸上ベント調整」

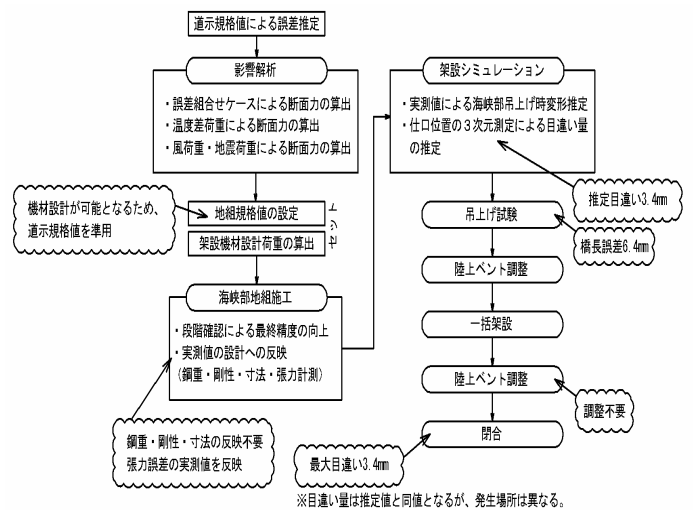


図8 解析と施工の関係フロー図

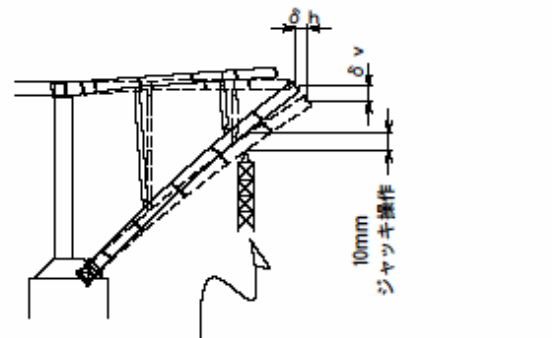


図9 陸上部アーチ仕口調整



写真2 大ブロックの寸法計測

一括架設の落とし込み間隔の調整は、陸上部ベントのジャッキ調整により行う。(図9 陸上部アーチ仕口調整)

大ブロックの最終的な寸法は地組工場にて、FCにより吊り上げた状態での寸法計測を行い、この結果を基に陸上ベント位置調整を行った。架設当日に誤差が確認された場合は、一括架設の途中で陸上ベントを調整し、仕口位置を合わせる計画とした。(写真2 大ブロックの寸法計測)

実際の一括架設では、陸上部と海峡部の誤差が少なく不要となった。

c) 架設時間の検討

発注時の海上ベントに仮置く場合に比べ、仕口合わせに時間を要することが想定された。

これについては作業内容を精査し、所要時間を積み上げて実施可能(航行制限9時間以内)と判断した。

d) その他

フェイルセーフ対策やヒューマンエラー対策なども考慮し、安全性・確実性を高めている。

- ・フェイルセーフ対策：ウェブに設置する逸脱防止装置(仮添接板)とジャッキのヘッドと架台のすき間に入れるライナープレートにより、ジャッキ故障などの不測の事態にも対応する。
- ・ヒューマンエラー対策：架設時に従事する作業員全員を対象に予行演習を行い、作業手順の徹底を図るとともに、問題点の抽出・対策を行った。また通信不備の回避(周波数の確保)、指揮系統の明確化も行った。

(3) 一括架設完了後の精度結果

陸上部アーチと大ブロックアーチの添接目違いは無い箇所も多く、フィラー対処箇所はあっても1~3mm程度であり、有害な目違いは無かった。

軸力導入時のジャッキ反力は、1基当り設計値350tに対して実測値250t前後で全体的にバラツキはなかった。

これはフェイルセーフ対策の仮添接板が一部軸力を受け持ったため、ほぼ想定通りであった。

大ブロック一括架設では、仕口部の挙動は推測の域を出ない。今回の成功は、地組立精度の向上を目的とした精度管理の充実とその結果を解析にフィードバックさせ、仕口部の挙動の推定精度を向上させたことで成し遂げたものであった。

(4) 大ブロック一括架設の施工状況

大ブロック一括架設の施工状況は以下の通り進めた。

- ・平成23年4月21日：製作工場岸壁で大ブロックをFCで、台船へ載せる。
- ・平成23年4月23日：大ブロックを載せた台船を架橋地点近くに移動・係留し仮泊する。
- ・平成23年4月24日：大ブロックをFCで吊り上げ、音戸の瀬戸の架設場所まで移動(写真3 FCえい航)



写真3 FCえい航

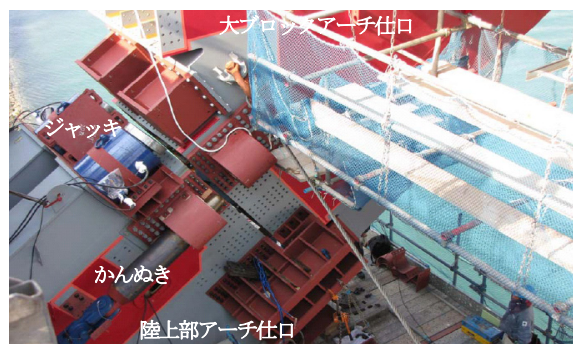


写真4 仕口結合箇所

し、架設工事(FC位置決め、一括架設空中ジョイント結合(写真4 仕口結合箇所)、吊具取り外し等)を行い、FCが音戸の瀬戸から退避するまでを、航路制限時間9時間以内で行った。

5. おわりに

VE提案された大ブロック一括架設は、国内初めての空中ジョイント工法であったが、発注者・請負者が一体となって、積み上げた課題・問題をひとつずつ洗い出し、安全性及び確実性を追求し、様々な具体的工夫及びその工夫に対するフェイルセーフ対策を行った結果、限られた航路制限時間の中で、大きな問題もなく無事に架設を終了することができた。

また、VE提案を採用することにより、狭隘な海峡部に海上ベントを設置しないため、基礎掘削による音戸の瀬戸の汚濁を軽減でき、航行船舶の安全性を確保できた。さらに、請負額で約6,000万円のコスト縮減に繋がった。

架設当日は工事見学会を開催し、早朝から地元、遠方問わず、約1万5000人を越える見学者が来場され、迫力がある工事の状況を固唾を呑んで見学されていた。また、歴史的な大事業を間近で見ることができたと喜ばれており、日本の土木技術をアピールできたことは、土木技術者として大変嬉しいことであった。

供用開始は平成25年春を目指しており、第2音戸大橋の側橋梁上部工、トンネル照明や安全施設、舗装なども残っており、タイトなスケジュールとなっているが、供用開始に向けて鋭意工事を進めていきたい。