

## 2. CFT 部材を使用した長大橋の架設技術報告 — 新西海橋の施工 —

技術委員会 架設小委員会

### 1. はじめに

新西海橋主橋部（写真－1）は、長崎市と佐世保市を1時間で結ぶ地域高規格道路（西彼杵道路）の一部として計画された、国内新設道路橋として初めてアーチリブにコンクリート充填鋼管（CFT：Concrete Filled Tube）を採用した鋼中路ブレースドリブアーチ橋である。本橋の製作、架設にわたる工事の概要について報告する。



写真－1 新西海橋主橋部全景

## 2. 新西海橋主橋部の概要

### 2. 1 形式選定

本橋は、建設当時東洋一と謳われた西海橋に並列して計画された。架設地点は、日本三大急潮の一つである針尾瀬戸であり、春の大潮の時期には豪快な渦と桜が楽しめることから、両岸は県立公園に指定されている。

形式の選定にあたっては、西海橋と並列していることから、アーチ橋に絞って検討された。そして、景観面、技術面における新旧の調和と対比および経済性が重視された結果、アーチリブにCFTを用いたブレースドリブアーチ橋が採用された。

また、両岸の公園利用者の利便性に配慮して桁下に吊り下げ式の歩道（添架歩道）を設けることとなった。

### 2. 2 CFT

CFTは十数年前から建築分野で柱材として利用されてきているが、国内における橋梁上部工での採用例は極めて少なく、アーチ橋としては除沢川橋（鉄道橋）、上輪橋（道路橋耐震補強）に次いで、本橋で3例目となる。なお、中国では多数の実績があるが、これには耐震設計基準の相違があるものと考えられる。

CFTには、従来の鋼構造やコンクリート構造に比べて以下のような特徴がある。

#### ① 鋼構造に対して

- ・コンクリートによって鋼管内部への変形

が拘束されるため、局部座屈に対する強度が増加する

- ・座屈後も拘束効果は継続されるため、耐力低下が少ない

#### ② コンクリート構造に対して

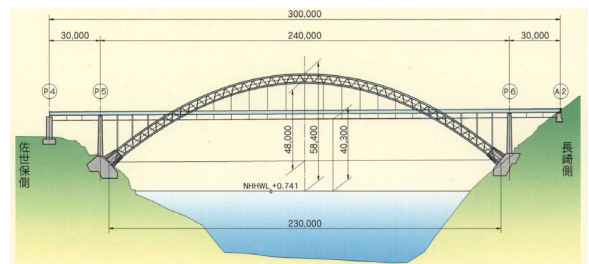
- ・充填コンクリートは、周囲を鋼管で拘束されているため、三軸応力状態となり、圧縮強度が増加する
- ・周囲を鋼管で覆われているため、圧壊後の断面欠損がなく、強度低下が少ない
- ・せん断破壊が起こりにくい
- ・乾燥収縮が少なく、また、クリープ変形の応力も少ない

### 2. 3 構造的特徴

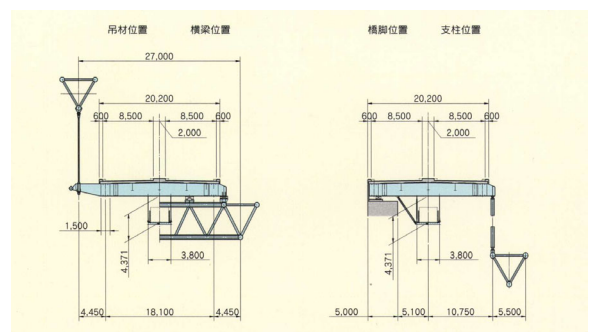
本橋の諸元を表－1、一般図を図－1に、断面図を図－2に示す。

表－1 新西海橋主橋部諸元

路線名	一般国道 202 号
計画場所	長崎県佐世保市針尾東町 ～西海市西彼町小迎
形式	鋼中路ブレースドリブアーチ
道路規格	第1種第3級
設計速度	80km/sec
設計荷重	B活荷重
橋長	300.000m
幅員	20.200m
支間	30.000m + 240.000m + 30.000m
アーチ支間	230.000m
アーチライズ	48.000m
線形条件	平面：R=∞、縦断：0.600%
床版形式	合成床版



図－1 新西海橋主橋部一般図



図－2 新西海橋主橋部断面図

### 2.3.1 アーチリブ

本橋のアーチリブは、直径 812.8mm の鋼管 3 本を弦材とする鋼管トラス構造で、弦材の中にコンクリートを充填する。左右のアーチリブは、やはり鋼管トラス構造である横梁で連結されており、景観上の要請から橋面上には左右のアーチリブをつなぐ部材は設けていない(写真-2)。



写真-2 橋面上の景観

### 2.3.2 床組

床組は、箱形断面の補剛桁および横桁、I 形断面の縦桁からなる格子構造である。横桁位置に張り出したブラケットが支持点で、上路部は鋼管で、下路部はハンガーケーブルでそれぞれアーチリブから支持されている。

### 2.3.3 添架歩道

添架歩道は鋼床版H形鋼主桁で、横桁からストランドロープおよび鋼管によって支持されている。

また、中央部は拡幅して展望部とするとともに床面の一部を「眺望ガラス」として、多くの観光客が針尾瀬戸の豪快な渦潮を楽しめるように配慮した(写真-3)。



写真-3 添架歩道バルコニーと眺望ガラス

### 2.3.4 アーチリブ弦材内部

アーチリブ弦材の格点部には、腹材に生じた軸力をコンクリートに伝達することを目的と

して、スタッドジベルを配置した。また、架設時の吊り点部および横梁との交差部には、環補剛材を、架設時の作業員の通行用にタラップを設けている。コンクリートの充填に配慮し、弦材内部にはこれ以外の部材は設けていない。

### 2.3.5 アーチリブ継手

アーチリブの継手は、弦材、腹材とも摩擦接合である。弦材は鋼管の表面に添接板を配置し、内側からボルトを締め付ける構造としている。

一方、腹材は、内部に設けた十字リブで接合し、周囲をカバープレートで覆う構造としている(写真-4)。十字リブと鋼管の間の応力伝達は、エンドプレートと呼ぶ厚板を介して行っている。

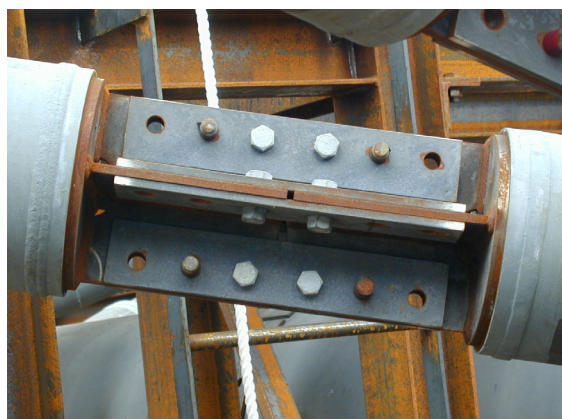


写真-4 十字リブ継手

### 2.3.6 アーチ基部

アーチ基部は、従来用いられているアンカーフレーム構造ではなく、コンクリート巻き立て構造とすることによりコンパクト化を図っている。また、弦材表面にスタッドジベルを、その周辺にPC鋼棒を配置して、地震時に発生する引き抜き力を確実に下部工に伝達できるようにしている(図-3)。

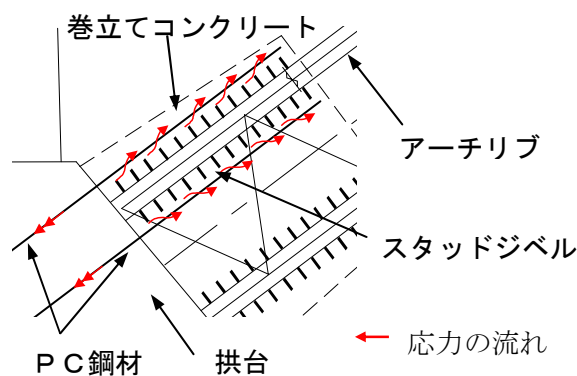


図-3 アーチ基部の力の流れ

### 3. アーチリブの工場製作

#### 3. 1 高周波曲げ加工

アーチリブ弦材には高周波誘導加熱による曲げ加工を施した。曲げ加工半径の決定にあたっては、弦材の接合を摩擦接合としていることおよび内部に高流動コンクリートを充填することから、接合部の摩擦力と水密性の確保に配慮して、接合部には曲げ加工を施さずに直管のままとし、一般部のみ加工を施すこととした。そして全体としての形状を確保できるように、添接部の座標を固定した上で、曲げ半径を決定した。添接部を直管のままとすることによる1本の鋼管におけるライズ差は、鋼管長さ約10mに対して最大11mmで、外観上の差はまったくない。

#### 3. 2 アーチリブの製作

曲げ加工した弦材を工場に搬入し、ボルト孔明け、環補剛材やタラップ、スタッドジベルなどの内部構造の取り付けを行った。ボルト孔明けに際しては、添接板と母材を一括して孔明けすることで、孔位置の精度を確保した。一方、腹材はエンドプレート、十字リブの取り付け後、仮ボルトで添接部を固定して全体長さの調整と開先加工を行った。

ブロックの組立では、工場内に設置した専用架台上に、仕口が所定の位置になるように弦材を設置し、仮ボルトで固定した状態の腹材を溶接した。このような手順で製作することによって、継手部の精度を確保した(写真-5)。



写真-5 アーチリブブロック組立状況



写真-6 アーチリブ仮組立状況

組み立てたブロックは屋外で仮組立を行い、全体形状を確認した。なお、アーチ支間が230mあることから、アーチリブの仮組立は3分割して行い、また、アーチ横梁の仮組立は、個別に行った(写真-6)。

#### 3. 3 補剛桁、添架歩道の製作

一方、補剛桁、添架歩道もそれぞれ工場にて分割して仮組立を行い、形状の確認を行った(写真-7、8)。なお、添架歩道のケーブルおよび支持鋼管の取付金具は、補剛桁の仮組立情報を反映して取り付け位置を決定した。



写真-7 補剛桁仮組立状況



写真-8 添架歩道仮組立状況

#### 3. 4 塗装色の決定

本橋の塗装色の決定にあたっては、長崎県景観検討委員会にて審議が行われた。まず、西海橋や周辺環境に配慮した候補色として6色が選定された。そして、この一次候補色を塗装した実物大の鋼管を現地で吊り下げて各視点場から比較した上で2色に絞込み、最終的にスカイミストに決定した(写真-9)。



写真-9 塗装候補色  
(右から2番目がスカイミスト)

## 4. 各種試験の実施

### 4. 1 コンクリート充填試験

内部構造を有するアーチ状鋼管へのコンクリートの充填実績は数少ないことから、高流動コンクリートの充填性の確認、未充填箇所の発見方法および補修方法の妥当性の確認等を目的として、実物大模型を用いたコンクリート充填試験を実施した（写真－10）。



写真－10 コンクリート充填写真実施状況

試験の結果、以下のような知見が得られた。

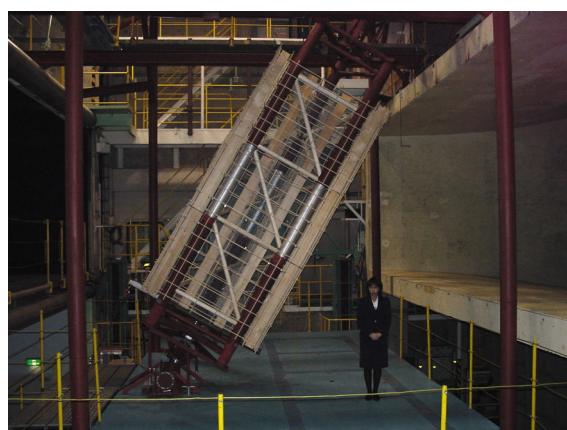
- ①あらかじめ設けた欠陥部以外は、いずれも充填状況は良好。
- ②ゲージの短絡を利用した充填センサーによってコンクリートの到達確認が可能。
- ③打音によりコンクリートの充填状況や欠陥の存在を確認可能。
- ④万一、充填欠陥が生じた場合は、モルタル充填による補修が可能。
- ⑤試験結果に基づく解析により、硬化初期段階でコンクリートに引張が発生しないことを確認。

### 4. 2 風洞試験

アーチリブの閉合は平成16年6月末を予定していたが、近年九州地方には6月以前にも台風の接近が観測されていたことから、架設時のアーチリブに対する風荷重照査を実施した。

その結果、アーチ閉合後も橋軸方向の剛性があまり向上しないこと、閉合の前後で佐世保市の既往最大風速（42.1m/s）による応力が許容応力を超過することが明らかになった。しかし、照査にあたって、アーチリブの抗力係数を大きめに仮定したこともあり、仮定の妥当性を検証するために1/5弾性体模型による風洞試験を実施した（写真－11）。

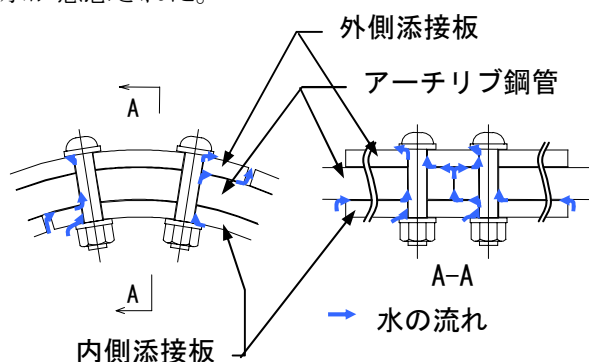
試験の結果、局部的な補強のみで風速50m/secを超える風でも許容応力を超過しないことを確認した。平成16年は、九州地方に相次いで台風が接近、上陸し、とくに23号は佐世保市の既往最大風速を更新するほどの勢力（49.3m/s）であったが、アーチリブ、架設機材とも全く被害を受けなかった。



写真－11 風洞試験模型と風洞吹き出し口

### 4. 3 シール試験

コンクリートを充填する弦材は、前述のように高力ボルトによる摩擦接合を採用している。コンクリート充填時は、未硬化状態のコンクリートの高低差によって、鋼管内部の圧力は最大0.7MPaになると推定された。このため、図－4に示すように継手部の微小な隙間からの漏水が懸念された。



図－4 予想される漏水経路



写真－12 シール試験供試体

漏水によってコンクリートの特性が変化する恐れがあること、モルタル分を含んだ水が海上に落下することに伴う環境への影響を防ぐ目的で、ボルト部に曲面ライナーを設置するとともに、内面にシール材を塗布することで漏水の防止を図ることとした。そして、材料の選定と効果確認のため、実物大の模型試験を行い、

この両者によって高圧下においても漏水を防ぐことが可能であることを確認した(写真-12)。

#### 4. 4 現地圧送試験

コンクリート充填作業に先立って、実施工時の問題点の抽出と輸送および圧送に伴う自己充填性および材料分離抵抗性の変化を把握するために、現地で圧送試験を実施した。

配管はA2背面からP6拱台上までとし、P6拱台まで圧送したコンクリートはバケットで受けてケーブルクレーンによって再びA2背面に搬出した。

試験の結果、図-5に示すように、輸送および圧送に伴い、スランプフローが低下することがわかった。また、単位水量のわずかな差がスランプフローに与える影響が大きいこともわかった。このため、受け入れ時のスランプフローの規格値を規定(65±10cm)の上限である70cm前後とするとともに、プラントでの水量管理を表面水も含めて厳しく管理することとした。

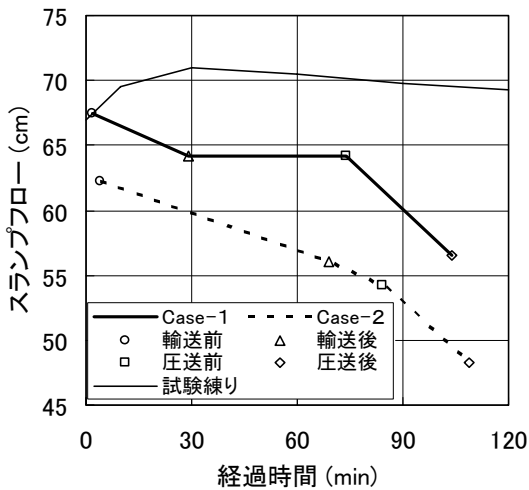


図-5 スランプフローの低下

## 5. 架設

### 5. 1 架設工法の選定と架設設備

本橋は、大規模アーチで桁下が使用できない場合に用いられるケーブルエレクション斜吊吊工法によって架設した。架設一般図を図6に示す。架設に使用するケーブルクレーンの鉄塔は、高さ77.5m(P5側)および64.5m(P6側)、支間355mであり、国内最大規模である。クレーン設備は30t吊り4系統、15t吊り1系統である。

斜吊設備はP5、P6橋脚に沿わせて設置し、橋脚を鉄塔支持材として利用した。

架設設備の設置にあたっては、橋脚を鉄塔支持材として活用、鉄塔基礎と斜吊りアンカーを兼用するなどの工夫により、設備費用の低減に努めた。

### 5. 2 輸送

本橋の架設地点は、潮の流れが速く、潮どまりに通行船舶が集中することから、海上輸送、荷取りは不可能であると判断されたため、すべて陸上輸送とした。このため、アーチリブは、仮組立後、すべて単材に分解して輸送した。



写真-13 地組立状況

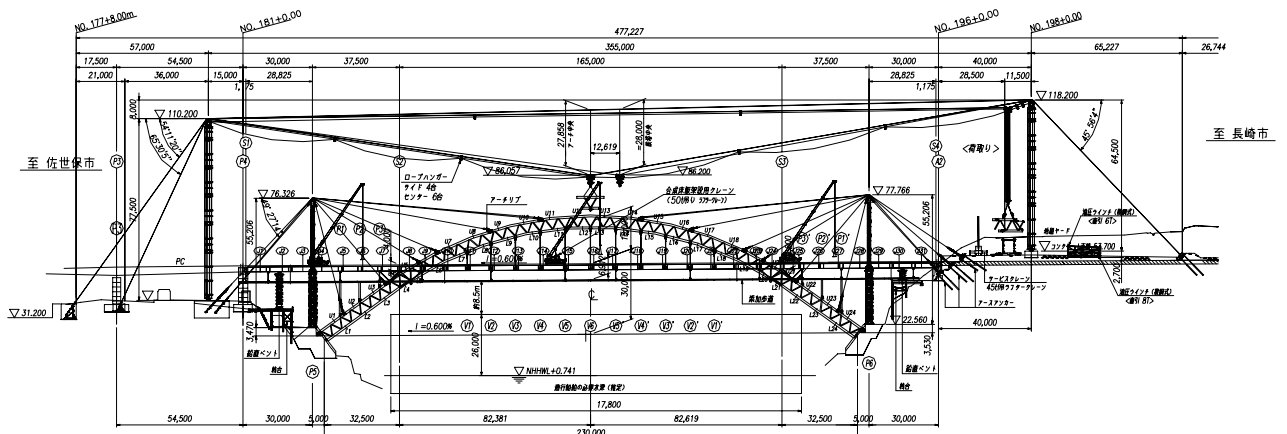


図-6 架設一般図

### 5. 3 アーチリブの架設

輸送した部材は、現地の地組ヤードで再びブロックに組み立てた。その際、工場製作時の情報に基づいて専用架台を製作・設置して組立を行った(写真-13)。地組立したブロックは、自走台車を用いて荷取りヤードまで輸送した。架設は左右のブロック同時に行った。

### 5. 4 アーチ基部固定

アーチリブの閉合後、ピン支持としていた基部をコンクリートで固定する作業を行った。地形上未硬化状態のコンクリート自重を支持するのは困難と判断して、鋼製支保工および残存型枠を採用した。また、マスコンクリートとなるため、温度応力解析を実施して内部にひび割れが発生しないように基本配合および打設工程を決定した。

### 5. 5 コンクリート充填

コンクリートの充填は、6本のアーチリブ弦材をそれぞれ4区画、計24区画に分け、これを4区画ずつ6回にわたって実施した(図-7)。P5側は、拱台まで車両が進入できるため拱台上にコンクリートポンプ車を据えて充填した。一方、P6側は、拱台上まで車両が進入できなかったため、当初A2橋台背面からの充填を計画した。しかし、この場合、圧送圧が12MPa以上となり、コンクリートポンプ車の調達が困難となる。そこで、P6拱台上にケーブルクレーンを用いてポンプを設置し、2段階圧送で充填することとした(写真-14)。

真冬の厳しい気象条件下での作業となったが、いずれの区画の充填作業も、添接部からの漏水や、圧送管の閉塞などの大きなトラブルなく、無事に作業を完了させることができた。

また、充填に際しては、鋼管内に圧力計や熱電対などを設置して、充填状況の確認や、温度変化による硬化反応の確認を行った。充填の進行に伴う圧力の増加は理論値とほぼ一致し、ま

た、充填完了後に鋼管内の温度の緩やかな上昇、下降がみられたことから、充填作業が順調に進んだことがデータの上からも確認できた。

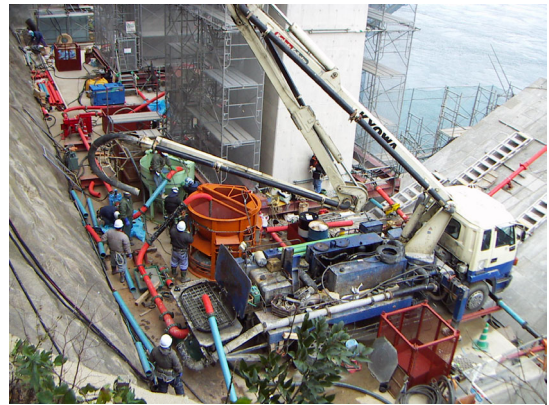


写真-14 P6拱台上での充填作業

### 5. 6 床組、添架歩道の架設

コンクリート充填作業に前後して、床組および添架歩道の架設作業を開始した。添架歩道が横桁から支持されていること、添架歩道の真上に縦桁が配置されていることから、架設は、基本的に補剛桁、横桁、添架歩道、縦桁の順に行った。

添架歩道は横梁を貫通していることから、横梁上に一旦仮置きした後、横引きして所定の位置に架設した。

## 6. おわりに

製作から架設まで4年にわたる本橋工事も全ての作業を終え、平成18年3月5日に開通を迎えることができた。

本橋工事は、これまでの鋼橋の製作、架設工事とは異なる工種や施工方法、規模の作業が多く、技術的にレベルの高い工事であったが、無事に竣工を迎えることができた。本橋の施工が、今後の同種工事の施工にあたって参考になれば幸いである。

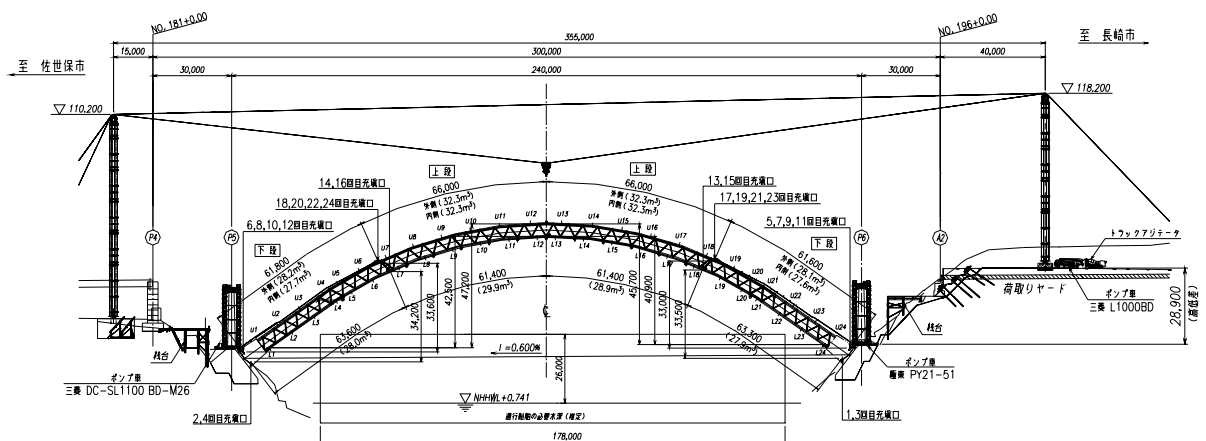


図-7 コンクリート充填計画図