

矢部川大橋の上部工施工について

大場義人¹・守屋紀和²・小林秀人³・小野秀平¹

¹正会員 清水建設株式会社 土木技術本部（〒105-8007 東京都港区芝浦1丁目2番3号）

²正会員 工修 清水建設株式会社 土木技術本部（〒105-8007 東京都港区芝浦1丁目2番3号）

³正会員 工修 清水建設株式会社 広島支店（〒730-8535 広島県広島市中区上八丁堀8番2号）

矢部川大橋は、有明海沿岸道路が一級河川矢部川を渡河する橋長517mのPC3径間連続斜張橋である。本橋では、逆Y字型で偏心傾斜した主塔の分離独立型の自昇式移動足場による施工、大幅な工期短縮の要求から超大型移動作業車による施工、長大斜張橋としてはめずらしい曲線桁の施工時安定性と架設途中の橋梁の挙動管理、みかけの伸び量による斜材張力調整方法など、多くの特徴のある工法が用いられた。また、主桁の張出し架設中には主塔基礎の沈下が発生し、その対策を行った。

本稿では、上部工の施工概要とその施工上の課題に対する対応策、並びに、主塔基礎の沈下に対する要因の検討と対策について報告する。

キーワード：PC3径間連続斜張橋, 曲線桁, 超大型移動作業車, 斜材, 張力調整, 主塔基礎沈下

1. 概要

有明海沿岸道路は、三池港、佐賀空港、九州自動車道などの広域交通拠点および大牟田市、みやま市、柳川市、大川市、佐賀市、鹿島市などの有明海沿岸の都市群を結ぶことにより、地域間の連携、交流促進を図るとともに、国道208号線の交通渋滞緩和と交通安全の確保を目的として計画された延長約55kmの地域高規格道路である。

矢部川大橋は、その有明海沿岸道路が一級河川矢部川を渡河する橋長517mのPC3径間連続斜張橋である。平野に地上85mの主塔がそびえ立ち、曲線配置されたファン型斜材が広がった姿は、地域のランドマークとなっている。

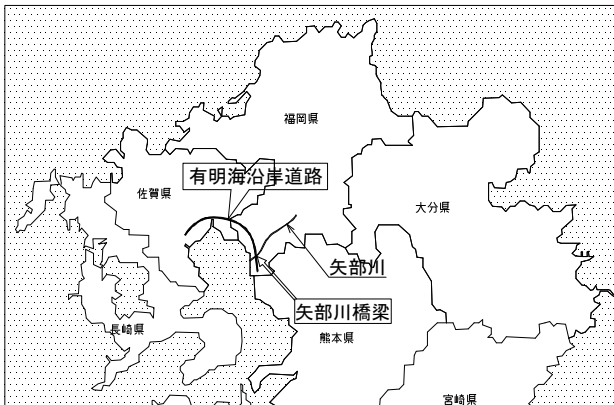


図-1 橋梁位置図

図-1 に橋梁位置図、表-1 に橋梁概要を、図-2 に全体一般図、図-3 に主塔正面図、図-4 に主桁断面図を示す。¹⁾

2. 上部工の施工概要

上部工の施工は、P1 橋脚、P2 橋脚それぞれから同時に進められた。まず主塔の構築から着手、主桁を12ブロック左右同時に張出架設し、それぞれA1側径間、A2側径間と閉合した後、中央径間をさらに3ブロック張出架設し、最終中央閉合部を施工した。

表-1 橋梁概要

道路規格	： 第1種 第3級
設計速度	： V=80km/h
活荷重	： B活荷重
橋長	： 517.0m
支間長	： 126.0m+261.0m+126.0m
幅員構成	： 1.25+2@3.50+0.50+2.00 +0.50+2@3.5+1.25=19.5m
平面線形	： R=1150m～A=500
縦断勾配	： i=+3.5%～i=-3.5%
横断勾配	： i=3.0% (片勾配)～i=2.0% (屋根勾配)
構造形式	： PC3径間連続斜張橋
主桁形式	： 逆台形3室1主箱桁
主塔形式	： 逆Y型主塔
橋脚形式	： 張出し式橋脚
斜材形式	： 一面吊り、ファン型
基礎形式	： 橋台；逆T式橋台、場所打ち杭基礎 ： 主塔；ニューマチックケーソン基礎

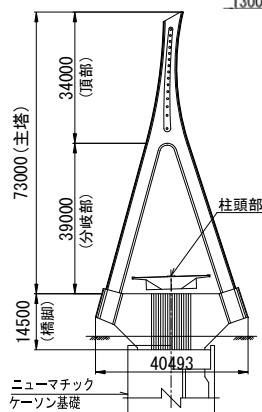
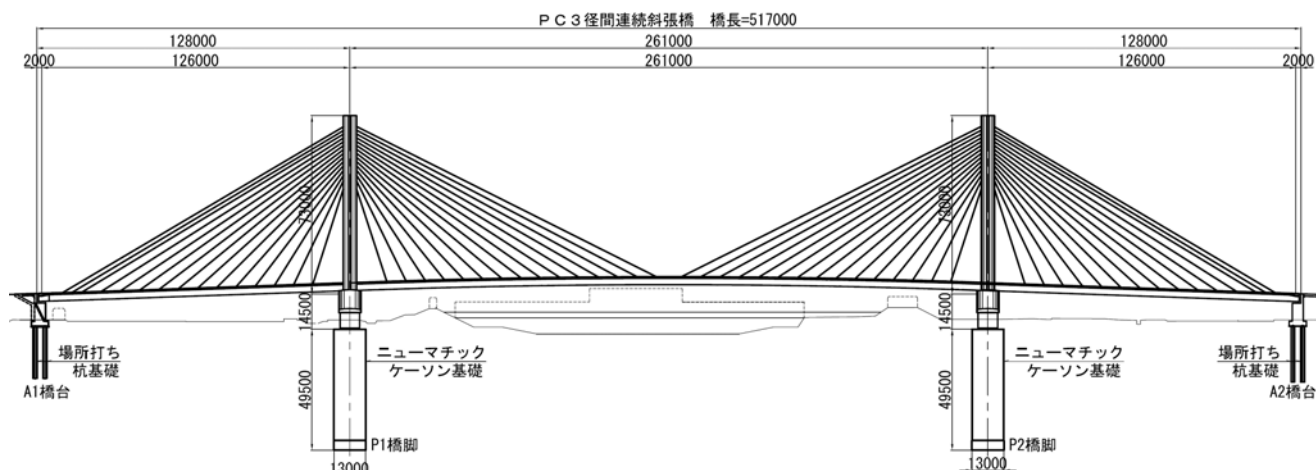


図-3 主塔正面図

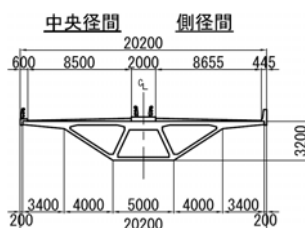


図-4 主桁断面図

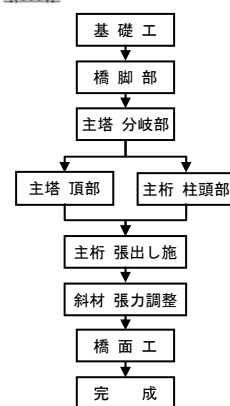
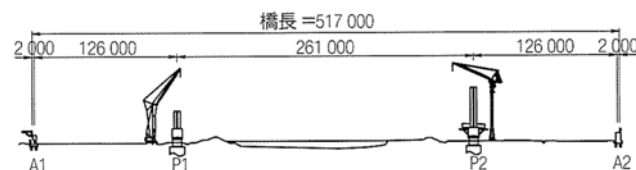


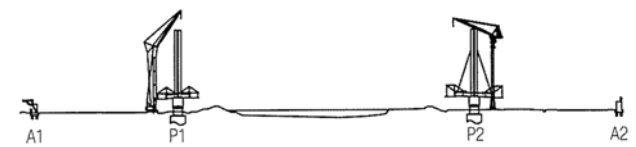
図-6 上部工施工フロー

表-2 主な架設工法および使用材料

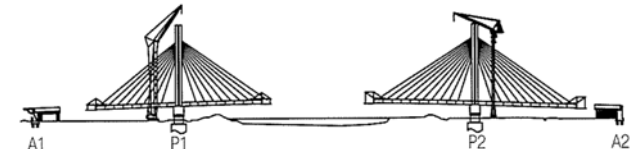
施工部位	架設工法	使用材料	
		コンクリート	主要 PC 鋼材
橋 脚	杭基礎支保工 総 足 場	40-18-20 (L)	19S15.2mm φ32mm 鋼棒
主 塔	分 岐 部	自昇式移動足場	40-15-20 (N)
	頂 部	固 定 足 場	40-18-20 (N)
主 桁	柱 頭 部	ブ ラ ケ ッ ト 式 支 保 工	50-18-20 (N)
	張出し架設部	移動作業車	50-18-20 (H)
	側径間部	杭基礎支保工	50-18-20 (N)
斜 材	現場製作型 ウィンチ架設	—	55H~85H φ 15.6mm



②主塔頂部施工・移動式作業車組立



③主桁張出し施工 (ブロック長 8m)・側径間部は地上支保工により先行施工



④中央閉合部施工・全斜材張力調整

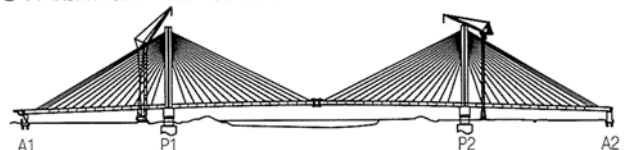


図-5 上部工施工順序図

図-5 に上部工の施工順序図，図-6 に施工フロー図，表-2 に主な架設工法および使用材料を示す。

3. 主塔の施工

主塔構造は逆Y型主塔であり，分岐部と頂部より構成されている（図-3 参照）。分岐部は基部から結合部までの 39m であり，基部以外は中空断面である。一本柱となる頂部 34m は，斜材定着部となり，鋼殻をコンクリートで巻き立てる合成構造である。1 リフトの高さは 4m で，全体 73m を 18 リフトで構築した。

主塔の施工は，総足場で行った場合，主塔分岐部の施工が完了しないと，主桁の施工に着手すること

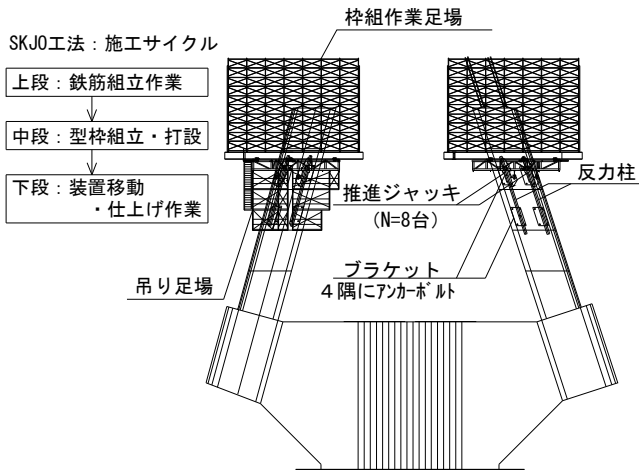


図-7 SKJ0工法の構造



写真-1 SKJ0工法施工状況



写真-2 主塔頂部施工状況

が困難であり、主塔分岐部の完成がクリティカルパスとなることが課題であった。そこで、主塔分岐部の施工には、分離独立型の自昇式移動足場（以下SKJ0工法）を開発採用することとした。

SKJ0工法にて施工することで、早期に橋脚上を開放し、主桁柱頭部の施工に着手可能となる。

(1) 分岐部足場

SKJ0工法の特徴は、自昇式移動足場2基が独立していることで、主塔分岐部左右の施工サイクル（鉄筋組立→型枠組立→コンクリート打設→足場移動）をずらすことで、効率良い労務配置が可能となることである。図-7にSKJ0工法の構造を、写真-1にSKJ0工法による施工状況を示す。²⁾

本工法の構造は、主塔側面のブラケットに固定された反力柱に沿って、推進ジャッキにより主塔の傾斜方向に足場を押し上げる仕組みになっている。足場は、ジャッキ上方の鋼製梁上に、上段、中段の枠組作業足場と、下段の吊り足場が設けられており、上段では鉄筋組立、中段では型枠組立、コンクリー

ト打設および型枠解体を行い、下段吊り足場では装置の移動作業と脱型後の仕上げ作業を行うことが可能である。

(2) 頂部足場

SKJ0工法により主塔結合部まで上昇した後、左右の装置をドッキングした。これより上方の頂部は、SKJ0工法にて用いていた枠組足場上に、順次施工に合わせて足場を組み上げていった。

足場中央部には斜材が通過することを考慮し、その位置を3次的に把握して斜材と干渉しないよう足場の支柱配置を決定した。斜材架設時には足場上で不安定で危険な作業とならないよう最小限の足場板の撤去となるようにし、防護ネットの結び目も中央に来るよう工夫した。写真-2に主塔頂部の施工状況を示す。エレベータ設備として、地上より橋面および主塔結合部までを昇降するものと、主塔結合部より主塔頂部までを昇降するものの2基を設置した。作業性を考慮して2基のエレベータは同一フロアで乗換えられるようにした。

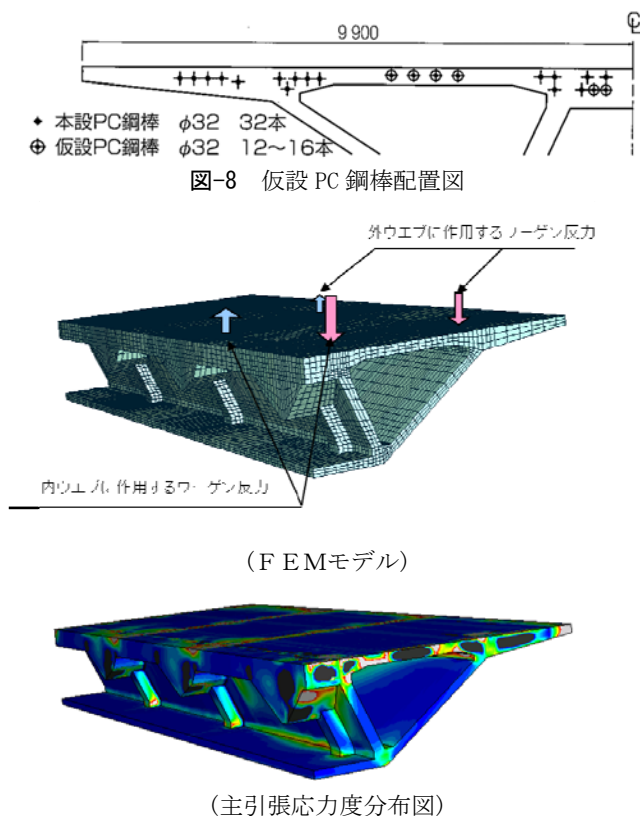


図-9 3次元FEM解析主応力図

4. 主桁の施工

主桁の施工は、本工事におけるクリティカルパスとなる。設計段階においては標準ブロック長 4m で張出架設を行う計画であったが、工期短縮と施工の効率化、河川上における施工期間の制限などの理由により、張出しブロック長を 8m に変更した。この変更により大幅な工期短縮が可能となった。

通常の張出架設は、幅員が 10m 程度、張出しブロック長が 4m 程度であり、この場合 2 主構移動作業車（容量 2000kNm、総重量 800kN）での施工となる。本橋では、幅員が 20m 張出しブロック長が 8m と、縦横とも倍サイズ、国内最大級となる超大型移動作業車（容量 17000kNm、総重量 3000kN）が必要となった。

検討課題としては、超大型移動作業車の反力による主桁の健全性、超大型移動作業車の主構構造を決めて設計することなどが挙げられた。

(1) 超大型移動作業車を用いた施工時の応力度

施工順序を追った骨組解析により主桁の曲げに対する検討を行った。²⁾

超大型移動作業車の使用によって移動作業車反力が増大するため、張出架設中の仮設鋼材として PC

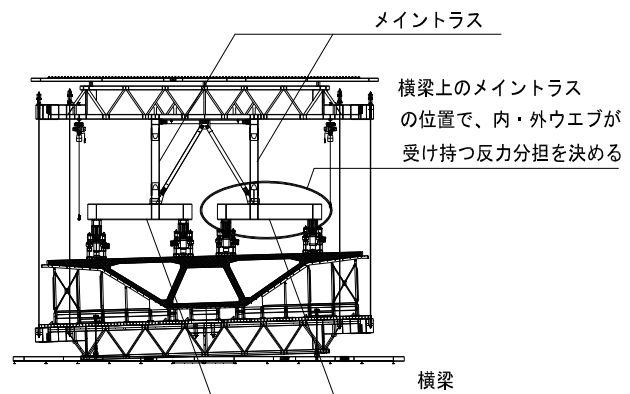


図-10 超大型移動作業車構造図



写真-3 超大型移動作業車組立て状況

鋼棒を追加する必要があったが、追加 PC 鋼棒を最小限とするため、併せて、施工中に斜材の張力調整を行い、主桁の発生応力度を低減することとした。

実施工では、第 1～第 3 斜材の張力を、張出架設途中に緩め、主桁下縁引張応力度を低減させることによって、主桁応力度を制限値以下となるようにした。図-8 に仮設 PC 鋼棒の配置図を示す。図中の仮設 PC 鋼棒が追加された PC 鋼棒であるが、これらは張出し施工完了後に緊張力を解放し、完成系の設計と同等の断面性能としている。

移動作業車により主桁に発生するせん断力は、コンクリート打設時に卓越する。2 本の中ウェブで全せん断力を受け持つと仮定して斜引張応力度を照査し、制限値を越える場合は仮設せん断鋼棒を追加配置した。

(2) 移動作業車の設計

本橋の主桁断面は 3 室 4 ウェブの箱桁形状であり、これにコンクリート打設時の施工時荷重を載せた場合、局部的な引張応力度の発生が予想された。そこで、3 次元 FEM 応力解析により、補強の必要性を照査するとともに、傾斜した外ウェブが負担可能な範囲内で、施工時荷重の内ウェブと外ウェブの荷重分

担割合を決定し、移動作業車の設計に反映させた。
 図-9 に 3 次元 FEM 応力解析の主応力図を示す。

本工事で使用した超大型移動作業車の特徴としては、反力を主桁内外ウェブにて 2:1 の割合で負担できるように、横梁上 1:2 の位置にメインラスが掛けられていることである。図-10 に超大型移動作業車の構造図を、写真-3 に組立て状況を示す。

5. 斜材の張力調整

張出し架設中の斜材張力は、架設中の外力（主としてコンクリート打設重量）に対して設計時に定められた主桁コンクリートの応力度と主桁の線形を満足するように定められており、完成時の斜材張力とは大きく異なる。このため架設系の斜材張力を設計時に定められた完成系の最終斜材張力へ調整する必要がある。

(1) 張力調整順序の検討

本橋は、P1、P2 の中央径間、側径間それぞれ 15 本ずつ計 60 本の斜材によって主桁が支えられている。斜材の張力調整にあたっては、以下の 5 条件を満足させるよう 60 本の斜材張力を 1 本ずつ調整する。調整作業は、単純に端から順に行えばよいのではなく、各々のステップでも下記 5 条件が満足するよう調整順序を最適化する必要がある。

- 張力調整時の各ステップの導入張力誤差が設計最終張力に対し±5%以内
- 張力調整完了後の斜材張力誤差が設計最終張力に対し±5%以内
- 張力調整中の主桁コンクリートの発生応力度が許容応力度（-1.5N/mm²～16.0N/mm²）以内
- 張力調整中の各斜材の張力が許容張力以内
- 張力調整完了後の主桁のレベルが予定値に対し±10mm 以内

本橋では、斜材を緊張する際はシングルストランドジャッキ、斜材を緩める際はマルチストランドジャッキを用いたが、マルチストランドジャッキは自重が約 1.5t あり主桁内部でのハンドリング（着脱・移動）が重労働であるため、上記条件のみでなく、マルチストランドジャッキの移動距離がなるべく少なくなること、また、第 15 斜材は張力調整前の張力が小さいため可能な限り早い段階で張力調整を行うことも考慮に入れ、調整順序を適切に決定する必要がある。さらに、施工期間の大幅な短縮を図るため、中央径間外ケーブルの緊張作業と並行して

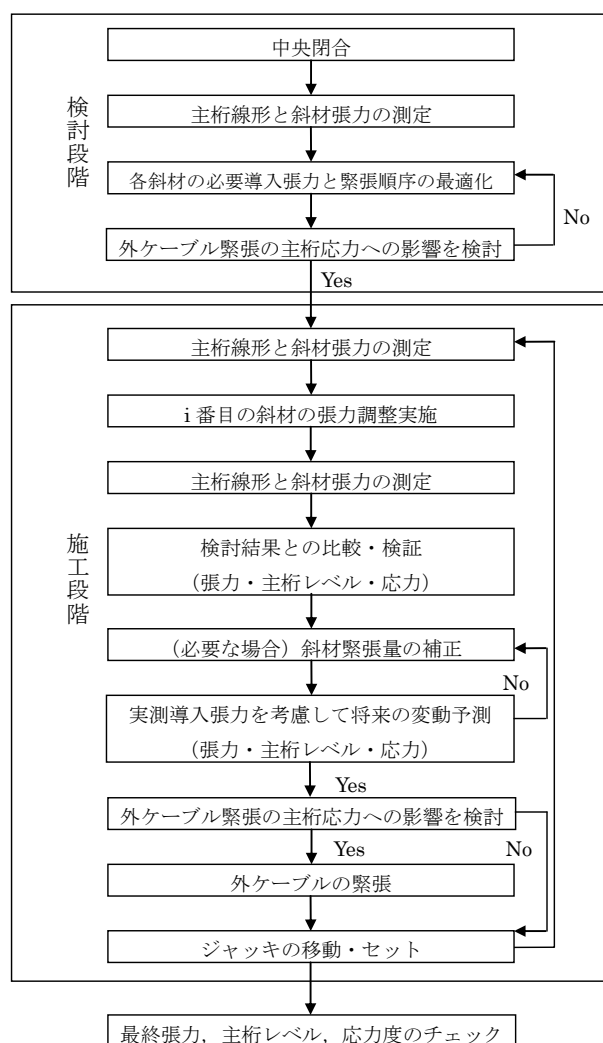


図-11 斜材張力調整作業フロー図

斜材張力の調整作業を行ったため、外ケーブル緊張による応力状態の変化も考慮に入れることとした。

調整順序は、同番斜材（中央径間斜材と側径間斜材）が同時に調整可能であることから、これを 1 組として 60 本の斜材を 30 組に分け、30 組の斜材の調整順序と調整量の最適化を行なった。

(2) 施工管理

図-11 に斜材張力調整作業フロー図を示す。本橋での張力調整の管理は、見掛けの伸び量による管理を採用した。主桁のレベル測定はトータルステーションによる自動計測を採用し、斜材張力の測定は各斜材の主塔側定着部に設置されたロードセルにより行った。張力調整時の張力はロードセルによりリアルタイムでの測定が可能であったが、気温の変化による張力への影響や橋面上の作業に使用する車両の移動による張力への影響などにより、時々刻々と張力が変化してしまう。これらの影響を排除するため、

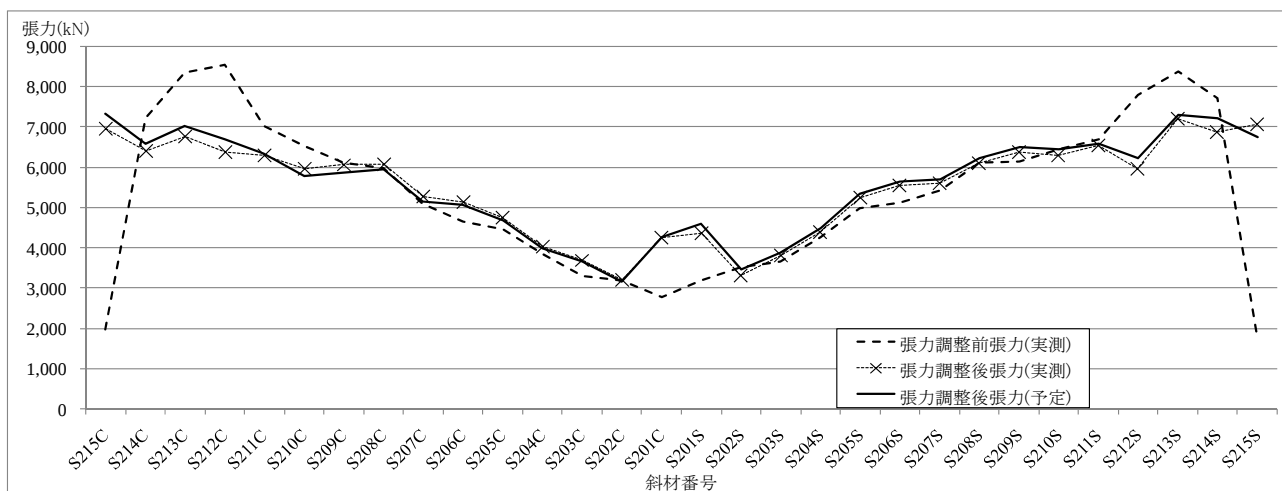


図-12 張力調整前後の張力の設計値と実測値との比較



写真-4 シングルストランドジャッキによる調整状況



写真-5 マルチストランドジャッキによる調整状況

調整量の管理は、張力ではなく、見掛けの伸び量による管理を採用することとした。見掛けの伸び量による管理とは、張力調整による斜材の弾性変形量、サグの変化に伴う斜材長の変化量、主桁の変形に伴う斜材長の変化量の和であり、ストランドの定着具からの突出量または引込量で管理を行う方法である。見掛けの伸び量による管理ではステップ毎に主桁やケーブルの変形量を算出する必要があるが、以下のようなメリットがある。

- ▶ 気温変化や他作業の影響で時々刻々と変化する張力の影響を考慮する必要がない
- ▶ 均等な張力調整量を各ストランドに確実に与えられる
- ▶ 中央径間と側径間の同時緊張の影響を考慮する必要がない
- ▶ 現場での施工管理が容易である
- ▶ シングルストランドジャッキを用いる場合にも各ストランド毎に機械の設定を変える必要がなくミスが生じにくい

確実な品質管理のため、毎日の施工完了後には斜材張力を測定し、所定の張力が導入されていること、主桁のレベルも予定値と比較し適当な値であること、主桁コンクリートの発生応力度も許容値内に収まっていること、ステップ毎の導入張力の誤差は5%以内であることを確認した。また、前ステップまでの実測導入張力から次ステップの斜材伸び量、張力、主桁レベル、主桁応力度を予測して、誤差が小さくなるように見かけの伸び量を修正した。

(3) 張力調整結果

図-12 に張力調整前後の張力の設計値と実測値の比較を示す。実測張力、実測主桁レベル共、前述の条件(それぞれ $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\text{mm}$)を満足し、実測張力から算出した主桁コンクリートの発生応力度も許容値内に収まっていることを確認した。写真-4 にシングルストランドジャッキによる張力調整の作業状況を、写真-5 にマルチストランドジャッキによる張力調整の作業状況を示す。

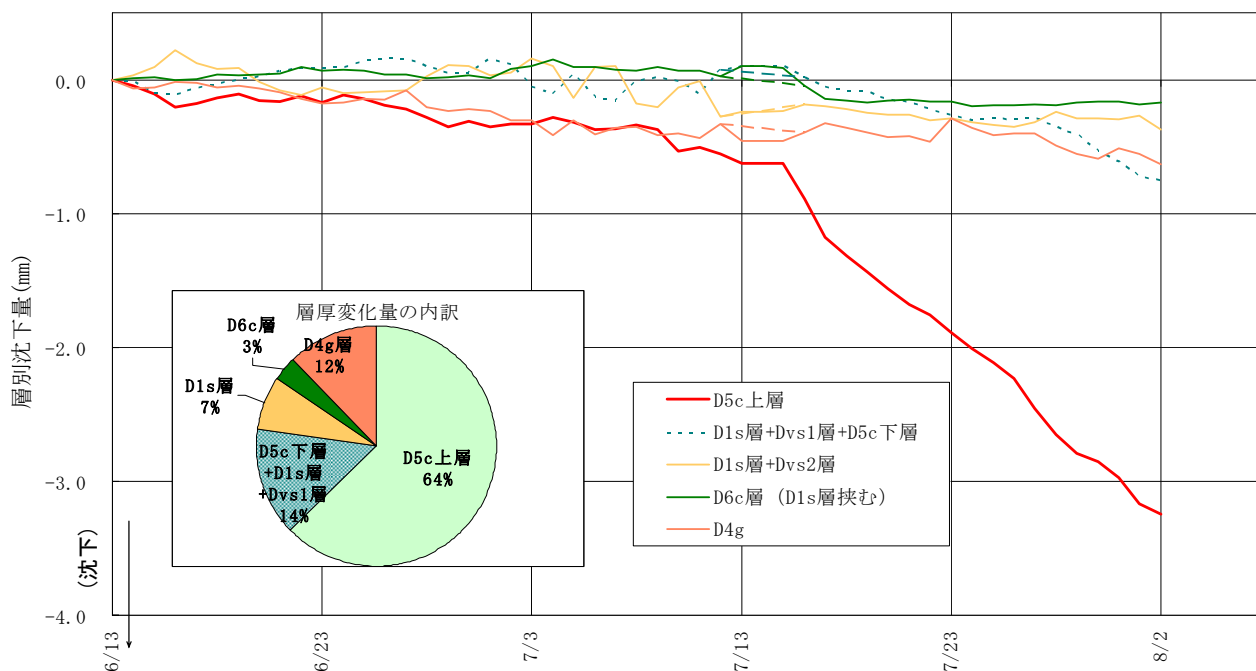


図-13 動態観測結果

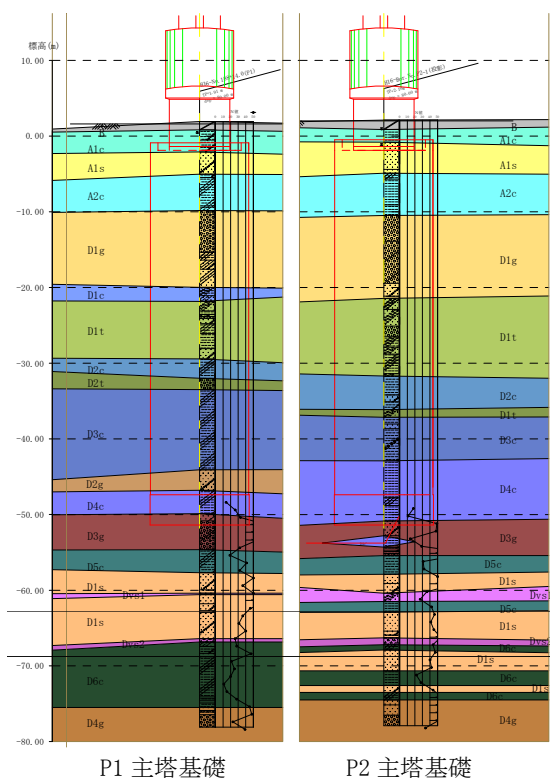


図-14 地質縦断図



写真-6 鉄板載荷状況 3,800t

(1) 地盤調査と沈下原因

橋脚基礎以深の詳細な地盤構成や地盤特性の把握を目的として追加地盤調査を実施した。その結果、P1 主塔基礎側に比べて P2 主塔基礎側は、各層の層厚が薄く、かつ粘性土と砂質土が複雑に互層を呈しており複雑な地層構成であることが判った。図-13 に動態観測結果を、図-14 に地質縦断図を示す。

追加地盤調査時に橋脚近傍に設置した層別沈下計から、図-13 に示すように、層厚変化量は主塔基礎直下の粘性土層 (D5c 層) の比率が大きいことが確認された。この結果から粘性土層 (D5c 層) が沈下の主要層と判断した。

(2) 沈下対策工

沈下対策工は主に、プレロード工、周面摩擦強化工、主桁外ケーブルの高強度化である。

6. 主塔基礎の沈下

P2 主塔基礎の想定を上回る沈下が上部工施工中に確認されたため、「有明海沿岸道路橋梁検討委員会」において沈下要因や沈下対策について検討が行われ、以下に示す対策工を実施した。主桁の閉合は沈下の収束を確認した後に行った。³⁾

a) プレロード工

プレロード工は上部工閉合後の沈下を極力少なくするため、橋梁完成荷重を上部工閉合前に載荷して沈下を収束させるものである。写真-6 に示すように、鉄板を主桁柱頭部横桁上に積み重ねて載荷する方法とした。

プレロード工を実施した結果、沈下は P2 主塔側で予測範囲内の約 23cm で収束した。

b) 周面摩擦強化工

プレロード工実施後、供用後の更なる安全性向上策として、ケーソン基礎の周面摩擦強化工を実施した。ケーソン基礎と地盤間の密着性を上げ、側面抵抗による鉛直荷重の分散を図るため、ケーソン基礎の側面に高圧噴射攪拌工を実施した。図-15 に周面摩擦強化工の範囲を示す。

c) 主桁外ケーブルの高強度化

上部構造の耐力を向上させ、供用前に実施可能な対策について検討を行った結果、効果的な補強が可能な外ケーブルの高強度化を採用した。これは、外ケーブルに従来鋼材に比べ 20% 程度の強度増加が見込める高強度 PC 鋼材を適用するもので、完成後も 10cm の不等沈下を許容できこととなる。

d) 供用後の沈下予測とその他の沈下対策

橋梁の耐用年数を 100 年として二次圧密等の長期的な沈下に対する予測を行った結果、沈下量は P2 主塔基礎で最大 8cm、P1 主塔基礎で最大 5cm と予測された。これは外ケーブル高強度化による対策で許容できる沈下量である。

主塔基礎の沈下発生から継続的に沈下量を測定してきたが、供用後の沈下量を監視するための長期計測管理システムを設置し、橋脚および橋台の沈下量と傾斜量を引続き測定している。

7. おわりに

矢部川大橋周辺は、全国的にも有名な海苔漁の養殖船の基地となっている。毎年秋が深まった時期に、海苔の網入れを行う多くの船舶が矢部川大橋をくぐ

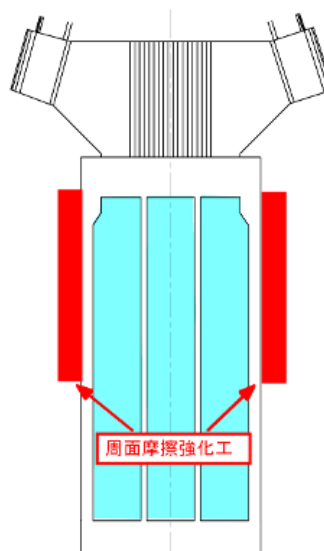


図-15 周面摩擦強化工範囲図

り、雲仙普賢岳を背景に有明海に出航していく光景は壮観そのものである。本橋が地元の方々に慕われ、有明海の風景の一部として溶け込んでいくことを願っている。

本橋は、平成 21 年 3 月初旬に無事竣工し、平成 21 年 3 月 14 日より供用開始されている。本橋開通の効果はめざましく、並行する国道 208 号線の渋滞が著しく緩和されている。

最後に本橋を施工するにあたって、御協力いただいた地元関係各方面の方々に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 小林秀人, 大場義人, 大谷満, ウイッチュグレンカラー エカラット: 矢部川橋梁の上部工施工時計測に関する報告, 第17回PCシンポジウム論文集, 2008
- 2) 小口浩, 久野隆博, 荒巻武文, 大場義人, 中村收志, 小林秀人: 矢部川橋梁の施工, 橋梁と基礎, Vol. 42 No. 3, 2008
- 3) 井之上尚史, 瓜生正樹, 大場義人, 細見孝治, 西田孝吉, 山北賢二: 矢部川大橋の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol. 43 No. 5, 2009