

太田川大橋上部工の施工

— 鋼・コンクリート複合アーチ橋 —

田村 吉広^{*1}・佐藤 元信^{*2}・小林 顕^{*3}・前田 利光^{*4}

太田川大橋は、広島都市圏の臨海部を東西に結ぶ広島南道路のうち、太田川放水路を渡河する橋長412mの6径間連続鋼・コンクリート複合アーチ橋である。PC連続ラーメン箱桁橋を鋼アーチ主構で補剛した構造であり、張出し架設の途中でアーチ主構を架設し、吊ケーブルにより懸垂しながら施工する。本橋は平成21年デザイン提案競技における最優秀案を施工するもので(株)エイト日本技術開発の提案が選出され、同社が詳細設計を行ったものである。

本橋は、橋長412mの上下部工・上下線を27ヵ月という短期間で架設する工程であった。さらに河川管理上の制約、広島西飛行場の空域制限があり、張出し架設の途中段階でアーチ主構の台船一括架設、上下線の連結とアーチ主構からの主桁の懸垂などの特殊工種が多く、工程を確保するうえで非常に厳しい施工条件であった。

本稿では、太田川大橋上部工における張出し架設中の技術検討、施工ステップの検討、コンクリート打設方法の検討、実施工の概要について報告する。

キーワード：複合構造、台船一括架設、張出し架設、吊ケーブル、仮斜材

1. はじめに

広島南道路は、広島都市圏の臨海部を東西に結ぶ大動脈路線で、交通渋滞の緩和、臨海部の物流の効率化などを目的として、国土交通省・広島県・広島高速道路公社・広島市が一体となり整備を進めている(図-1)。このうち吉島IC～商工センターIC間4.2kmが平成26年3月に開通した。

太田川大橋は、今回開通したうちの広島市整備区間1.3kmの中央に位置する太田川放水路(川幅約350m)を渡河する橋長412mの6径間連続鋼・コンクリート複合ア

ーチ橋である。

本橋の計画にあたっては、「水の都市ひろしま」の魅力の1つとなり、次世代にも誇れる優れたデザインとなることを目的として、平成21年に国際的なデザイン提案競技が実施された。最優秀賞として(株)エイト日本技術開発の提案した「いつく出(ダ)シー安芸の斎(いつ)き島を人々の心に据える橋」をテーマとした本構造が選ばれ、同社が詳細設計を実施した。

本稿は、太田川大橋の上部工の施工検討および実施工の概要について報告する。

2. 工事概要

2.1 工事概要

工 事 名：広島南道路太田川工区橋りょう新設工事

工事場所：広島県広島市西区観音新町～庚午南、扇町

発 注 者：広島市(道路交通局道路部街路課)

詳細設計：(株)エイト日本技術開発

施 工 者：清水建設(株)

工 期：平成23年9月28日～平成25年12月27日

構造形式：6径間連続鋼・コンクリート複合アーチ橋

橋 長：412m

支 間 長：40m + 46.5m + 47m + 2@116m + 46.5m

主桁形式：1室・2室PC箱桁、桁高2.7m

総 幅 員：上り線9.75～16.235m

：下り線9.75～12.585m

線 形：A = 540m ～ R = 1240m, 1400m

勾 配：横断：3.0%～2.0%，縦断0%～2.5%



図-1 位置図

^{*1} Yoshihiro TAMURA：清水建設(株) 土木事業本部 企画部 主査

^{*2} Motonobu SATOU：清水建設(株) 土木東京支店 工事長

^{*3} Ken KOBAYASHI：清水建設(株) 土木技術本部 プロジェクト技術部 主査

^{*4} Toshimitsu MAEDA：清水建設(株) 土木技術本部 プロジェクト技術部 主査

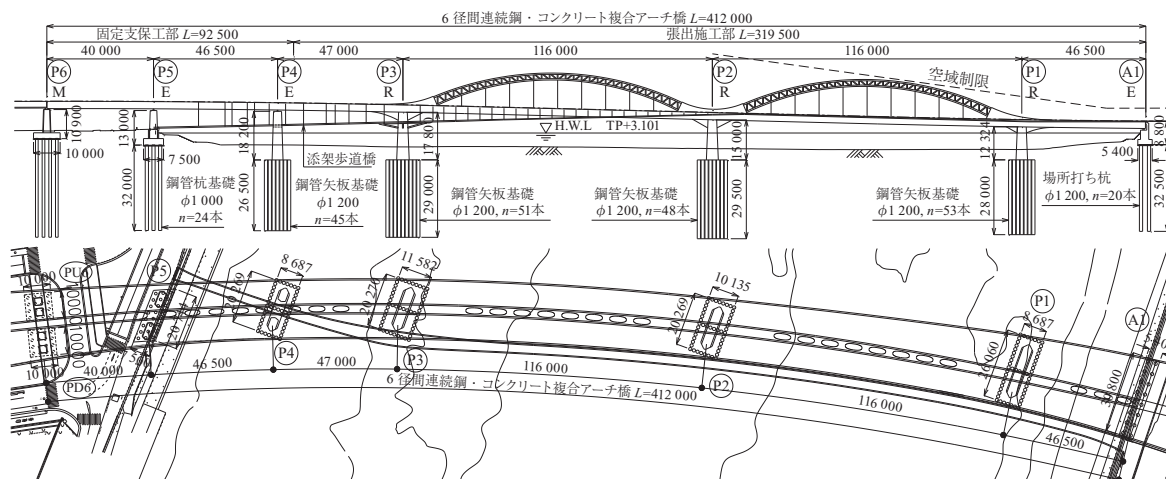


図 - 2 全体一般図

全体一般図を図 - 2 に、標準断面図を図 - 3 に示す。
また、橋梁の全景を写真 - 1 に示す。

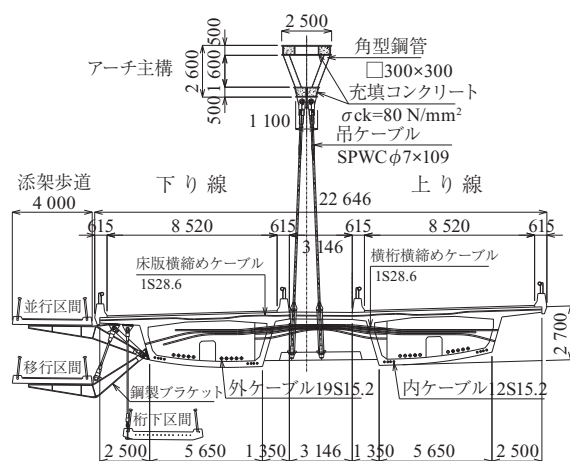


図 - 3 標準断面図



写真 - 1 全 景

2.2 工事の特徴

(1) 特殊構造

PC 連続ラーメン箱桁橋を鋼アーチ主構で補剛した構造で、張出し架設の途中段階でアーチ主構を一括架設し、アーチ主構からの吊ケーブルにより主桁を懸垂しながら張出し架設する。主桁とアーチ主構で荷重分担することにより桁高を一定としたスレンダーな桁形状（桁高・スパン比＝

約 1/43）を実現した。アーチ主構は上下線間の中央分離帯部に配置され、アーチ基部はフィンバック構造にて橋脚・主桁と剛結されている。吊ケーブルは上下線を連結した吊材横桁を構築し定着する。

(2) 短期間施工

本橋は、橋長 412 m の上下部工・上下線を 27 ヶ月という短期間で施工する工程であった。さらに河川管理上の制約、広島西飛行場の空域制限、アーチ主構の台船一括架設、上下線の連結とアーチ主構からの主桁の懸垂などの特殊工種が多く、非常に厳しい工程であった。

(3) 汽水域での施工

太田川放水路は、10 月 26 日～6 月 10 日が非出水期であった。河川管理の制約上から、河川内の仮設物を用いた工事は原則非出水期内に施工しなければならず、出水期には計画高水位より上で移動が可能な船舶のみでの施工しか許可が下りなかった。また、架橋地点が河口から 200 m 地点であり、干満の潮位が大きい瀬戸内海の影響を受け、最大干満差 3 m を考慮しながらの施工となった。

(4) アーチ主構の台船一括架設

アーチ主構は大ブロック架設（長さ 97 m、重量 475 t）で、架橋地点の水深が 5 m 未満と浅いため大型起重機船での架設が困難であり、台船による一括架設を計画した。特殊工法であるとともに、上部工の張出し架設ステップおよび干満の影響で、架設日・架設時間が限定された。

3. 張出し架設中の検討

3.1 主桁ねじれの検討

橋脚断面が 6 角形小判型であり、斜角を有していた。張出し架設中にアーチを架設し吊ケーブルで懸垂する構造であり、アーチ架設前はフィンバック部が未施工であるため、架設中の断面剛性が小さかった。下床版底面が円形となっており、桁高が中央分離帯側と路肩側で非対称であった。さらに後述のように移動作業車の設置状態も中央分離帯側と路肩側で非対称であった。

以上の条件から、主桁のねじれの影響と 3 次元的な変形を検討するため、張出し架設中の主桁の 3 次元 FEM 解析

を実施した。解析結果から橋脚形状に伴う主桁の変形および応力発生状況を確認し（図 - 4）、補強鉄筋を配置した。

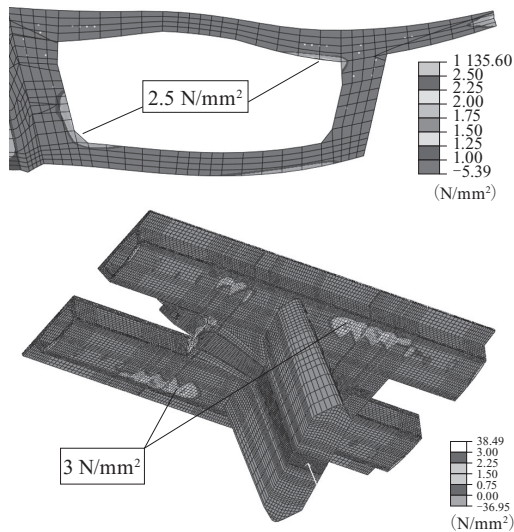


図 - 4 張出し架設時 FEM 解析結果

3.2 施工ステップの検討

当初計画ではアーチ主構の架設は 7 BL 施工後であったが、移動作業車とアーチの干渉、移動作業車とフィンバック部の干渉、フィンバック支保工と仮斜材の干渉などの問題があり、施工ステップを変更する必要がある。そのため 9 BL まで施工したのちにアーチ主構架設する施工ステップを検討した。

また、上下線間に構築するフィンバック構造は立体的な構造であり、プレストレスの影響などはフレーム解析だけでは評価できなかった。フィンバック部の応力状態を検討するために 3 次元 FEM 解析を実施した（図 - 5）。

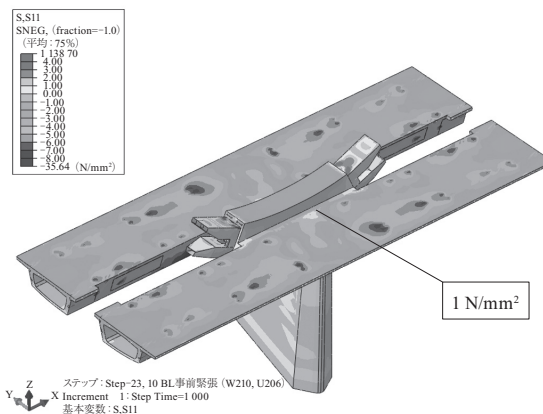


図 - 5 フィンバック部 FEM 解析結果

解析結果から、10 BL 以降で配置・緊張する内ケーブルを 9 BL で配置・緊張し、カップラーで接続することでプレストレスの不足分を補い、施工ステップの変更を可能とした（写真 - 2）。

3.3 コンクリートプラント船による施工試験

上部工のコンクリート（50-15-20H）は、当初計画では

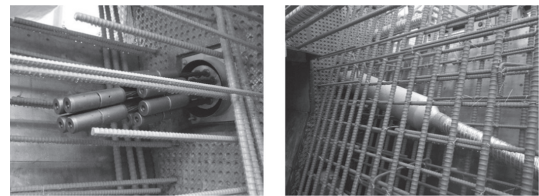


写真 - 2 内ケーブルのカップラー接続

非出水期は栈橋からポンプ車を使用した打設、出水期はアーチ主構を利用した配管打設で計画されていた。しかし、アーチ主構を利用する場合、水平換算距離 600 m の長距離圧送になり閉塞などの懸念があった。また、非出水期を待って栈橋施工し上部工を開始した場合には工期を守れないことなどから、コンクリートプラント船（以下 CP 船）での打設を計画した。

CP 船での打設にあたり、高压の圧送ができないこと、細骨材槽が 1 個しかなく配合に自由度が小さいこと、ミキサーが 1.0 m³ バッチ練りであるため打設速度が制限されることから、施工性確認のため実機による試験練り・圧送試験を実施した（写真 - 3）。この結果、張出し架設に対して圧送可能であること、石灰細砂の使用によりワーカビリティに優れた配合が得られたこと、打設速度が（20 m³/h）確保できることから、CP 船での打設を採用した。



写真 - 3 CP 船による圧送試験

4. 施 工

4.1 施工概要

上部工の施工順序を図 - 6 に示す。A1～P4 間は張出し架設であり、柱頭部はブラケット支保工、側径間は吊支保工施工であった。張出し架設は上下線同時施工であり、中央径間側 3 m × 18 BL、側径間側 3 m × 12 BL を中型移動作業車で施工した。P4～P6 間は固定式支保工であり非出水期に 3 BL に分けて施工した。

さらに、張出し架設に合わせて上下線間の中央分離帯部の施工を行った。4 BL 施工後にアーチ基部であるフィンバック 1 次施工、9 BL 施工後にアーチ主構の架設・フィンバック 2 次施工、その後 3 BL ごとに吊材横桁を施工した。張出し架設中にはアーチ主構からの吊ケーブルを設置するとともに、柱頭部にピロン柱を設置して仮斜材を架設・緊

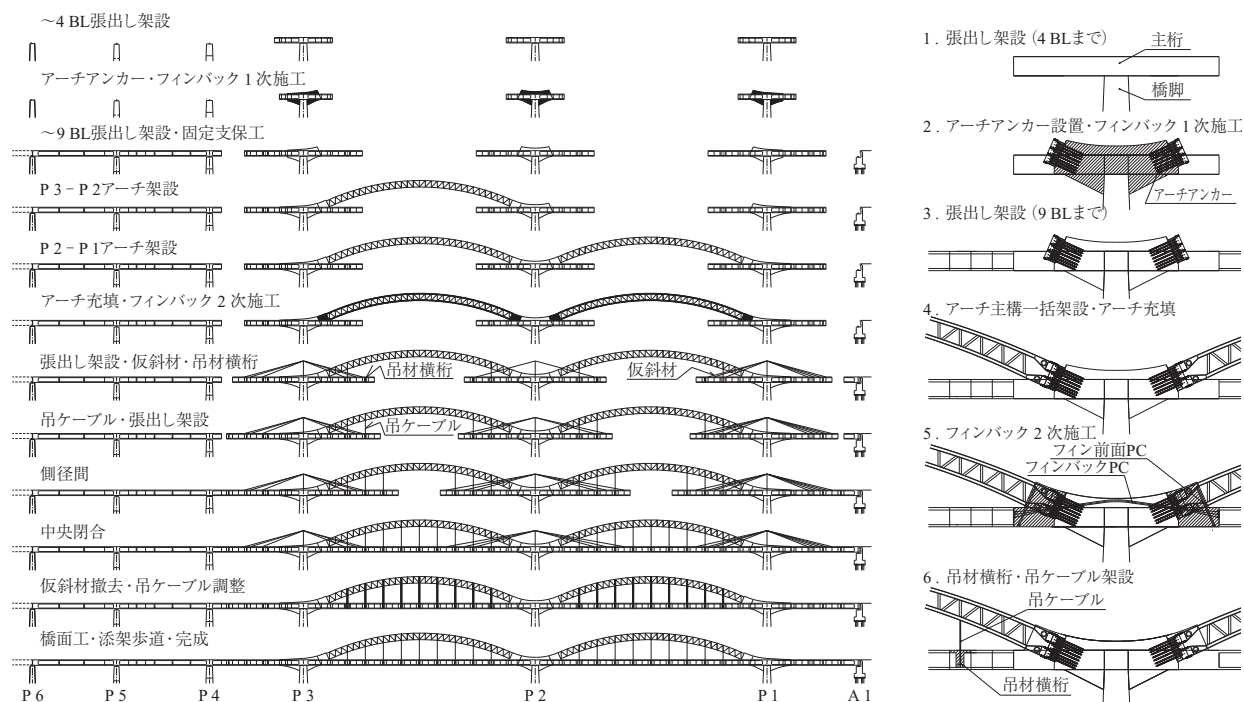


図 - 6 上部工施工順序図

張することで、主桁を支持した。

4.2 移動作業車

(1) 移動作業車の選定

張出し架設は P1～P3 橋脚から上下線を同時に行った。そのため、移動作業車を 12 基同時に使用することとなった。オンランプ・オフランプが近く幅員変化が大きいことから、通常の中型移動作業車 7 基の他に 3 基の拡幅対応 2 主構移動作業車、2 基の拡幅対応 3 主構移動作業車を使用した。P1～A1 間の移動作業車は、河川の計画高水位による制限があることから、低床型を使用した。

上下線同時に張出し架設のため、通常の組立てでは隣り合う移動作業車が干渉する。そのため上下横梁配置を可能な限り路肩側にずらすことで移動作業車同士の離隔を 50 cm 以上確保した（写真 - 4）。

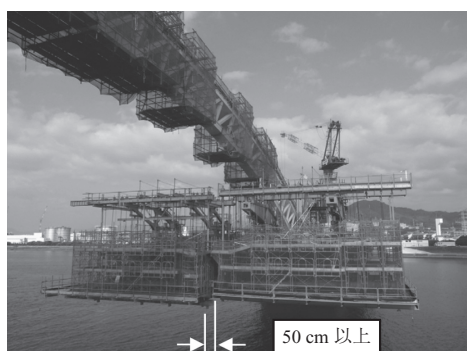


写真 - 4 移動作業車状況

(2) 内型枠

本橋は施工 BL の一つ後方 BL で吊ケーブルのための吊材横桁および箱桁内横桁を施工する必要があった。通常の

張出し架設では内枠は内枠縦梁を用いて施工するが、本橋の場合は内枠縦梁の後方部分が箱桁内横桁と干渉することとなった。そのため、内枠縦梁の代わりに施工ブロック内に収まる角鋼管 ($L = 5.5 \text{ m}$) を使用することとした。これにより施工 BL と後方 BL の箱桁内横桁を並行して施工することを可能とした。

また、本橋の桁高は中央分離帯側が 2.7 m、路肩側が 2.2 m と低く箱桁内での施工性が悪かった。そのため内型枠は、移動作業車の前進とは同時に行わず、箱桁下床版の鉄筋・PC 組立て完了後に移動することとした（写真 - 5）。

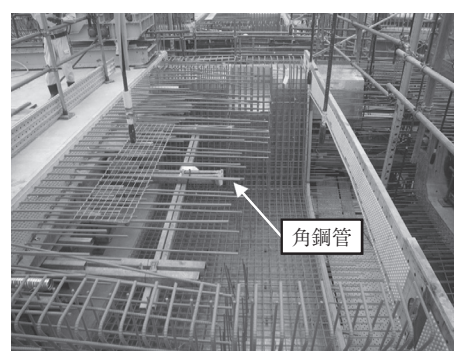


写真 - 5 内型枠状況

(3) アーチ主構への対応

アーチ主構は台船一括架設であり、アーチ主構をジャッキアップして移動作業車を跨ぎ中央分離帯にジャッキダウンした。台船一括架設時の移動作業車とアーチ主構との離隔は、下部作業台と台船架台ベント、上部横梁とアーチ下弦材、下部作業台と台船、前方・上方・下方すべての方向

で制限があった。

そのため、干渉しない台船架台ベントの位置を決定し、移動作業車の作業台を低空頭にするとともに、移動作業車の屋根を取付けず離隔を確保することとした。また P1 移動作業車は下部作業台とアーチ台船が干渉するため、アーチ架設時に下部作業台を解体した（図 - 7、写真 - 6）。

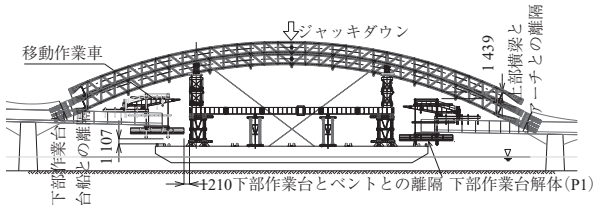


図 - 7 アーチ架設時検討図



写真 - 6 アーチ架設状況

4.3 CP 船によるコンクリート打設

本橋の上部工コンクリートは CP 船により打設した。コンクリートの打設は上下線・左右張出しの 4 BL を同日作業にて行った。打設中は干満の影響のため CP 船が着底し移動することが不可能となるため、橋面上に配管することとした。

コンクリート配管は、CP 船の時間ロスを防止し圧送負荷を最小限とするために、張出し架設初期（～7 BL）は打設ブロックに合わせてコの字形に配置し、張出し架設後半（8 BL～）は、柱頭部から 2 系統配管の配置とした（図 - 8）。

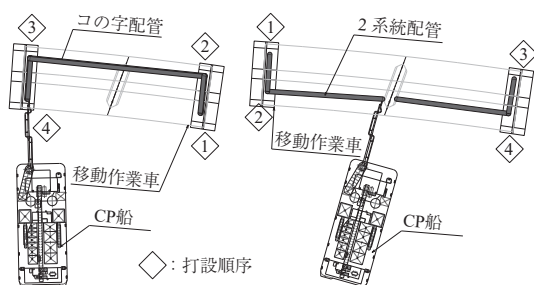


図 - 8 CP 船打設平面図

4.4 フィンバック部の施工

(1) フィンバック支保工

フィンバック部は、移動作業車が前進したのち上下線間において施工を開始する。フィンバック支保工は、吊支保工とし、台船上で吊支保工を地組してリフティングジャッキにて吊り上げた。フィンバック部は中央分離帯側の張出

し床版がないため、吊支保工の吊材は中間床版に配置した。フィンバック部の床版横締ケーブルは、フィンバック施工後に上下線を連結して緊張する連結ケーブルが多数配置されてるため、全本数の 2/3 が未緊張であった。フィンバック施工時に中間床版に過大な応力を発生させないように、敷桁を配置し吊材荷重をウェブに直接載荷させることとした（図 - 9）。

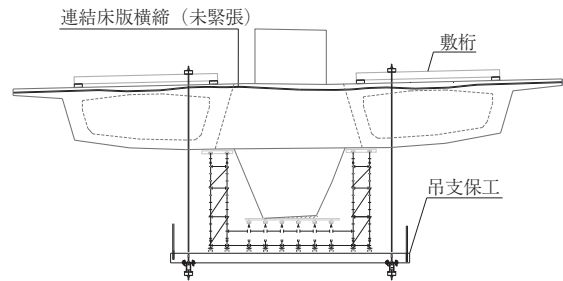


図 - 9 吊支保工図

(2) フィンバック部のコンクリートの施工

フィンバック部は、アーチ主構があり、補強 PC・鉄筋が密に配置されていることから、スランプ 21 cm のコンクリートを使用して充填性を向上させた。また、2 リフト打設にすることで、1 リフト打設時のフィンバック上部からの作業性を確保した。

フィンバック部の上面は勾配が 25° であり抑え型枠が必要となるため、上面に型枠を設置し打設一定時間経過後に脱枠しコテ仕上げとした（写真 - 7）。また側面・前面には充填確認・パイププレート挿入孔を設けた（写真 - 8）。



写真 - 7 フィンバック部の上面型枠



写真 - 8 フィンバック部の側面型枠

(3) 吊材横桁の施工

吊ケーブルは上下線の主桁間に構築した吊材横桁に設置し、次ブロック施工後に架設・緊張する必要があった。吊材横桁の施工は移動作業車が前進する前に行う必要があり、移動作業車と干渉することとなった。

そのため吊材横桁は、移動作業車の後方足場を利用して吊支保工を設置し施工した。吊材横桁の施工ごとに移動作業車の側部足場を解体し吊支保工を組み立てた。移動作業車の前進後に吊支保工をリフトダウンし吊ケーブルの緊張スペースを確保した（写真 - 9）。

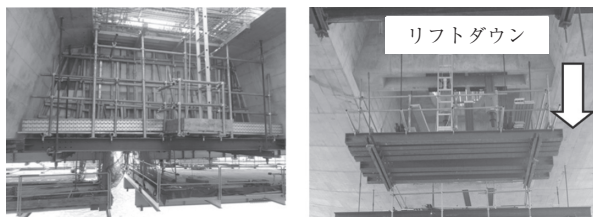


写真 - 9 吊材横桁支保工

4.5 ピロン柱・仮斜材の施工

アーチ主構築設後に P1～P3 張出し架設の上下線おのの箱桁に仮斜材を配置した。仮斜材は 10S12.7, 12S15.2 相当の PC 鋼材を使用した（写真 - 10）。

(1) ピロン柱

ピロン柱は架設バント材（パイプ支柱）を使用した。パイプ支柱の上部には桁受け、受桁、サドル桁を配置した。ピロン柱の横繋ぎ材は、柱頭部に配置したタワークレーンマストと干渉しないようにマストを井桁で挟むような構造とした。基礎は柱頭部にモルタルを打設し高さ調整し敷桁を配置した。張出し架設中に工事車両が通行可能なように柱頭部上のピロン柱の間隔は 3.5 m とした（写真 - 11）。



写真 - 10 仮斜材状況



写真 - 11 ピロン柱

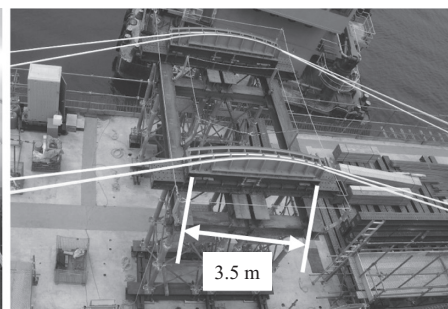


写真 - 12 サドル



写真 - 13 主桁偏向部



写真 - 14 仮斜材架設状況



写真 - 15 仮斜材解放状況

(2) サドル

ピロン柱上のサドルは、タワークレーンの揚重能力 2 t 以内とし、解体日数が短縮できる鋼製サドルとした。サドル形状は、ピロン柱に均等に鉛直力が作用するように長さ 3.5 m の半割偏向管とした。またサドルの設計は、サドル出口付近で仮斜材高さが一定となるように各仮斜材のサドル曲率を調整した（写真 - 12）。

(3) 主桁定着部

仮斜材の定着位置は、ウェブ近傍を基本とし、移動作業車・レールとの干渉を避けるためレールより 20 cm の離隔を確保とした。

定着部が 1 BL 内に納まるよう主桁側定着部に偏向部を設けた。主桁偏向部は、移動作業車のレールとの干渉を避けるため高さの小さい構造とした。上床版で偏向させて床版上に打設した無収縮モルタルにて偏向力を床版に伝達する形状とした（写真 - 13）。仮斜材撤去後は、偏向管をかぶりまで撤去し、無収縮モルタルを打設した。

定着具の仕様は、主桁側に偏向部があるためマンションタイプでは挿入できないことから、楔式を採用した。

(4) 仮斜材

仮斜材は PE 被覆アンボンドケーブルを使用した。塩害区域であり、日射の影響を極力受けないようにするため、白色の PE 被覆とした。

仮斜材の展開は、1 本ずつをプッシングマシンにより実施し、解放の順序を考慮して、偏向部での配列が整列するように下段から順に配置した（写真 - 14）。

(5) 緊張・解放

仮斜材は、すべての PC 鋼材が均等な緊張力となるように展開時に 1 本ずつサグ取り・予備緊張を実施した。本緊張はマルチジャッキにて両引きの一括緊張を実施した。仮斜材の解放は、デイトンションジャッキにて 1 本ずつ片引き解放とした（写真 - 15）。

4.6 吊ケーブルの施工

(1) 吊ケーブルの仕様

吊ケーブルはPWC $\phi 7 \times 109$ であり、景観を考慮して着色仕様であった。灰白PE被覆+内部防錆材+亜鉛めっき鋼線の3重防錆ケーブルを採用した。

下部定着部は当初計画ではシム定着であったが、通常の鋼アーチ橋・ニールセン橋などとは異なり、張出し架設中に吊ケーブルを架設しなければならないために、上げ越し誤差・温度の影響、施工誤差などにより、シムのみで緊張力を正確に導入することは難しいと考えられた。そのため、シム定着+リングナットの定着具としてネジ定着を併用する構造とした(写真-16)。

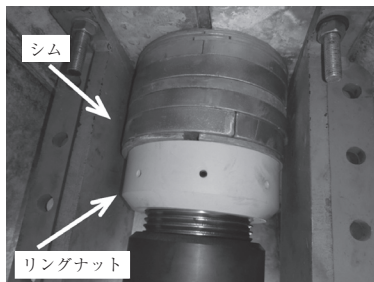


写真-16 シム+ネジ併用定着

(2) 吊ケーブルの架設

吊材横桁施工時に外套管を設置した。外套管の位置は、アーチ吊位置から下部定着部に水糸を張って方向を確認した。吊ケーブルの架設は、工事の進捗により橋面上に配置したタワークレーン、4.9tミニクレーン、ラフタークレーンなどと補助的にウインチを使用し実施した(写真-17)。吊ケーブルの吊り上げは専用の吊金具を使用した。



写真-17 吊ケーブル架設状況

(3) 吊ケーブルの緊張

吊ケーブルは200～300tジャッキを用いて、吊材横桁下方から緊張した。主桁・アーチのねじれを考慮し左右2本の吊ケーブルを同時に緊張した。緊張ジャッキは専用ラムチェアを製作し、シムの設置・リングナットの締め付けができるスペースを確保した(写真-18)。吊ケーブルの緊張は温度の影響の小さい早朝に行うこととし、緊張力は温度補正、遅れ弾性などによる見かけのセット量(30kN)を考慮して決定した。

(4) 吊ケーブル定着部の防錆

吊ケーブルは定着部への水分の進入を防ぐために、外套

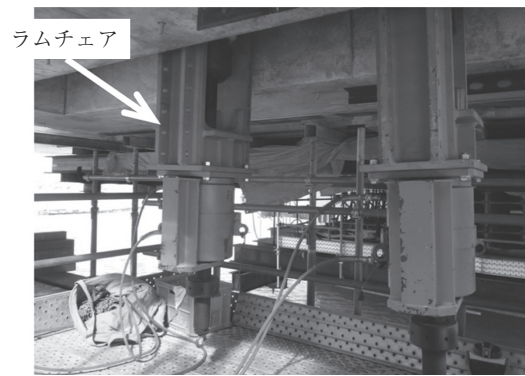


写真-18 緊張状況

管上部に灰白ゴムカバーを取り付け、ステンレスバントで密閉し、隙間をシーリングした。

さらに、外套管上部にダンパー止水剤を注入し、ネジ部はグリスを塗布した。万一の水分の進入に備えて、シムの一部を切り欠いた水切シムを配置し定着部に水分が溜まらないようにするとともにエンドキャップにも水抜き穴を設けた(写真-19)。

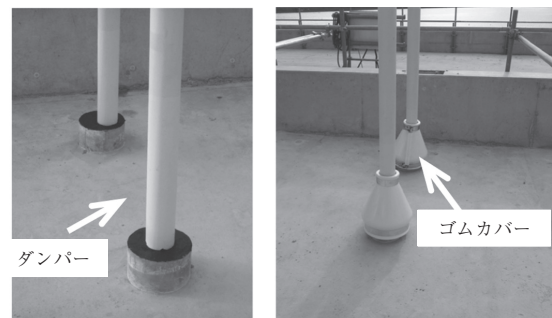


写真-19 ダンパー・ゴムカバー

5. 計 測

(1) 計測概要

施工中の上げ越し管理、健全性の確認を行うために施工時計測を実施した。計測項目は、温度(外気温・主桁・フィンバック部・アーチ・橋脚・吊ケーブル・仮斜材)、傾斜(P1～P3橋脚)、ひずみ(主桁・フィンバック部・吊材横桁・アーチ)、張力(吊ケーブル・仮斜材)、変位(橋面・アーチ・支承)である(図-10)。

(2) 温度の影響

複合構造であるとともに複雑な構造形式であるため、温度上昇によって、アーチ温度が上昇しアーチが上凸になり、主桁の上床版温度差・吊ケーブルの温度上昇により主桁が下にたわむという主桁高に対して相反する現象が発生する。

アーチ主構、主桁と吊ケーブルの温度変化はまちまちであるため、それぞれの部材について温度補正を行った。

上げ越し管理は極力早朝のデータを使用するとともに、日中の管理には計測温度による補正した値を用いた。

また、吊ケーブル緊張、中央閉合は温度の影響の少ない

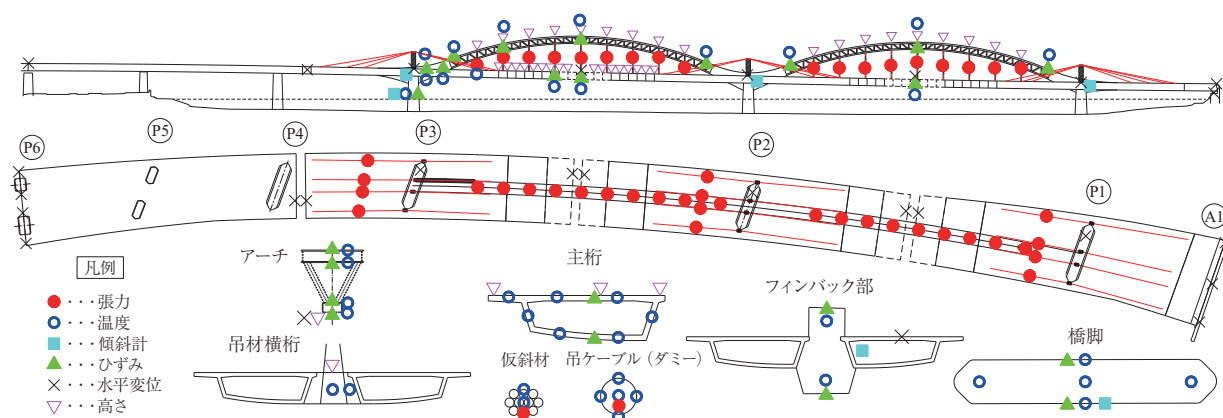


図 - 10 計測概要図

時間帯で施工した。

温度補正を行った上げ越し管理により、橋梁完成時の主桁高さはすべて許容値以内となった。

(3) 橋脚の傾斜

本橋はアーチの下路補剛桁がない状態で張出し架設を行うため、張出し架設の進捗とともに橋脚の水平変位が増大する構造である。そのため橋脚基礎の水平地盤バネが全体構造に与える影響が大きいと考え、張出し架設中に橋脚の傾斜・橋面の水平移動量を計測した。

張出し架設での片側の主桁 BL のコンクリート打設でアンバランスが発生し、両側の主桁 BL のコンクリート打設完了後にバランスが取れることを利用して、打設中の橋脚の傾斜および BL 打設ごとの柱頭部の水平変位の計測を実施した。計測結果より設計値と比較して過大な水平変位は発生していないことを確認した。

(4) 吊ケーブルの計測

吊ケーブルの張力は加速度計による振動計測により測定した。架設時に緊張力と振動数から仮想ケーブル長のキャリブレーションを実施し、以降の施工ステップ進捗ごとに振動計測を実施した。

振動計測結果を用いて、吊材張力調整時の調整シミュレーションを実施し、吊材張力調整を施工した。供用開始前の測定結果において緊張力はすべて許容値以内となった。

6. おわりに

本橋は、橋面工を含めて平成 26 年 3 月に竣工し、3 月 23 日より供用が開始された（写真 - 20）。供用後は、さらなる広島臨海部の発展と広島市内の渋滞緩和に寄与するとともに、風光明媚な瀬戸内・宮島を楽しむなど地元住民に末永く親しまれるよう願う次第である。

本工事を施工するに当ってご協力およびご指導をいただいた地元関係各位ならびに関係者皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 上川 洋, 後藤賢司, 大賀逸司, 宮脇崇泰, 西山宏二: 広島南道路太田川放水路橋りょうデザイン提案競技, 橋梁と基礎, vol.44, No.7, pp.33 ~ 35 (2010.7)
- 2) 谷本武士, 大森研一郎, 神出 真, 田村吉広, 佐藤元信, 小林 顕: 太田川大橋の施工橋梁と基礎, vol.48, No.7 (2014.7)



写真 - 20 全 景

【2014 年 6 月 28 日受付】