

新東名高速道路佐奈川橋の施工

— 高橋脚 PC 箱桁橋の施工 —

盛田 行彦^{*1}・南雲 広幸^{*2}・川上 光雄^{*3}・中井 義政^{*4}

新東名高速道路佐奈川橋は、2008年9月に中日本高速道路(株)名古屋支社から高度技術提案型総合評価方式におけるデザインビルド(以下、DB)にて発注された、上下部一体の橋梁工事(土工区間含む)である。DB方式のため、橋長とスパン割、構造形式は応札側が自由に設定可能であった。本橋は上下線分離構造で、与えられた条件から日本有数の高橋脚橋梁になると想定されたため、当社は橋長約700m、最大スパン142m、最大橋脚高89mのPRC6径間連続ラーメン箱桁橋を提案し受注した。

本稿では、高橋脚橋梁であるがゆえに配慮した上部工の施工におけるコンクリートの配合条件やポンプ圧送、打設計画、工程短縮を踏まえた施工計画などの施工概要と実績について報告する。

キーワード：高強度コンクリート、高所圧送、張出し架設、移動作業車

1. はじめに

新東名高速道路佐奈川橋は、愛知県豊川市北部に位置し、2級河川佐奈川と県道334号線を横過するPRC6径間連続ラーメン箱桁橋である。本橋は、中日本高速道路(株)から設計・施工一括方式で発注された上下部一体の橋梁工事(上下線分離)であり、隣接両工区がトンネルとなる急峻な地形に位置しており、当初計画段階から新東名管内では最大規模となる高橋脚を有することが想定された。

耐震性や耐久性の確保と、景観および環境に配慮した設計を行った結果、高さ60m以上となる橋脚が上下線それぞれ3基配置された橋梁が計画され、下り線においては、橋脚高89m(下り線P3)を有する長大橋となった(写真-1)^{1,2)}。

上部構造については、場所打ち張出し架設としては高強

度となる設計基準強度50N/mm²のコンクリートを用いて部材厚を低減するとともに、波形鋼板ウェブ橋と比較して工期短縮を目的としたコンクリートウェブを有する箱桁構造とした。

本稿では、コンクリートの配合条件やポンプ圧送、上部工に関する施工概要と、施工において工夫した点などの施工実績について報告する。

2. 工 事 概 要

2.1 全体工事概要

工 事 名：第二東名高速道路 佐奈川橋工事

発 注 者：中日本高速道路(株)名古屋支社

設計・施工者：鹿島建設(株)

工事場所：愛知県豊川市千両町

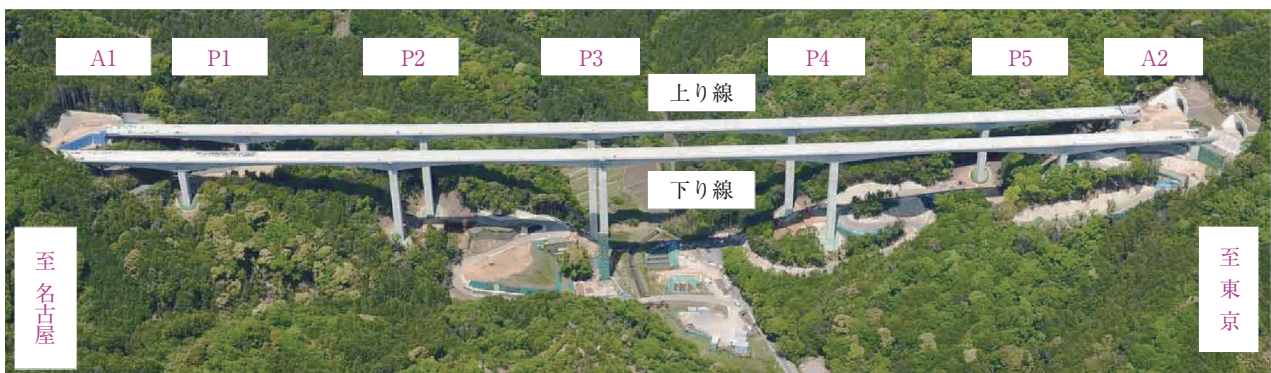


写真 - 1 完成状況(2012年4月撮影)

^{*1} Yukihiro MORITA：鹿島建設(株) 中部支店 第二東名佐奈川橋工事事務所 工事課長代理

^{*2} Hiroyuki NAGUMO：鹿島建設(株) 中部支店 第二東名佐奈川橋工事事務所 次長兼設計課長
(現 第二東名野田川橋工事事務所 副所長)

^{*3} Mitsuo KAWAKAMI：中日本高速道路(株) 名古屋支社 豊川工事事務所 豊川工事区工事長

^{*4} Yoshimasa NAKAI：中日本高速道路(株) 名古屋支社 豊川工事事務所 豊川工事区

工事区間：

	総延長(m)	橋梁区間(m)	土工区間(m)
上り線	702.0	636.0	66.0
下り線	731.0	699.0	32.0

工 期：2009年2月21日～2012年10月31日

上部工構造：PRC 6 径間連続ラーメン箱桁橋

上部工支間割：

- ・上り線：81.25 m + 112.5 m + 105.0 m + 126.0 m + 123.0 m + 85.75 m
- ・下り線：76.75 m + 2@128.0 m + 2@142.0 m + 79.75 m

下部工構造：RC 橋台 4 基

RC 橋脚 10 基（橋脚高 21.5 ～ 89.0 m）

基礎構造：深礎杭

（φ 3.0 m × 12 本，杭延長 94.0 m）

大口径深礎 10 基

（φ 8.5，9.0 m，杭延長 63.5 m）

2.2 上部工の概要

上部工の一般断面図を図 - 1 に示す。上部工の構造は、波形鋼板ウェブ橋の複合断面と比較検討した結果、溶接などの異工種作業の削減による工程の効率化の観点から、コンクリート断面を採用している。また、張出し架設で使用する PC 鋼材はすべて上床版内に配置された内ケーブル（SWPR7BL 12S15.2B）であり、床版横締めにはプレグラウト PC 鋼材（SWPR19L 1S21.8S）を、連続外ケーブルには内部充てん型エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線（SWPR7B 19S15.2B）をそれぞれ使用している。

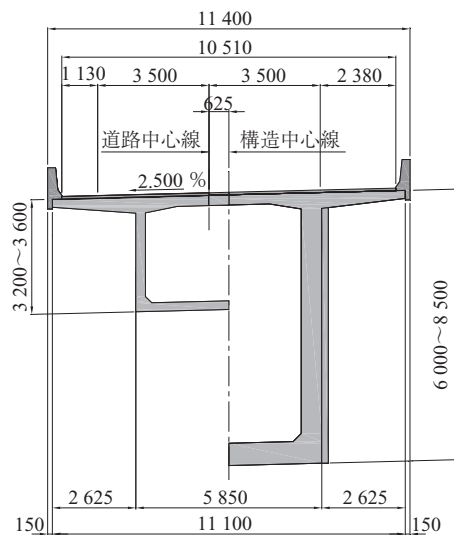


図 - 1 一般断面図

通常、張出し架設工法では、早期強度を確保するために早強ポルトランドセメントを用いた設計基準強度 40 N/mm² のコンクリートを使用することが多いが、本橋では下記の点に配慮して普通ポルトランドセメントを用いた設計基準強度 50 N/mm² のコンクリートを採用している。

- ① 高強度化により部材断面が縮小化でき、重量軽減によって橋脚・基礎への負担低減、耐震性向上を図る。

- ② 試し練りにおいてプレストレス導入時の必要強度が確保できることを確認したうえで、早強ポルトランドセメントを用いた設計基準強度 40 N/mm² に対して収縮ひび割れなどの初期欠陥発生の可能性を低減する。

3. 施工概要および実績

3.1 コンクリートの示方配合

上部工に使用したコンクリートの示方配合を表 - 1 に示す。コンクリートの示方配合は、コンクリート施工管理要領³⁾ に準じて試し練りを行い決定した。また、7月から9月までの暑中期間ではスランプロスを低減するため、混和剤の種類を標準形から遅延形に変更した夏期配合を採用した。

表 - 1 コンクリートの示方配合

項目	種別	①柱頭部 1・2リフト	②柱頭部 3リフト	③張出し部 側径間	④閉合部	⑤壁高欄
設計基準強度 (N/mm ²)		50	50	50	50	30
結合材		中庸熱	普通	普通	普通+膨張材	普通+膨張材
W/C		43	41	38	38	50
混和剤の種類		高性能 AE減水剤	高性能 AE減水剤	高性能 AE減水剤	高性能 AE減水剤	高性能 AE減水剤

3.2 ポンプ圧送

(1) 柱頭部工，張出し架設工，閉合部工

上下線 P2～P4（橋脚高 60 m を超える高橋脚部）および上り線 P5 のコンクリート打設は、各橋脚下部に自走式ポンプ配管車を配置し、昇降階段に沿わせて設置した鉛直配管と橋面上の水平配管による圧送とした。鉛直配管の設置状況例を写真 - 2 に示す。鉛直配管には暑中時の断熱対策ならびに寒中時の保温対策として断熱材を巻いた。

一方、上下線 P1，下り線 P5 については、各橋脚下部にコンクリートブーム車（以下、ブーム車）を配置し、橋面上の水平配管による圧送打設を行った。

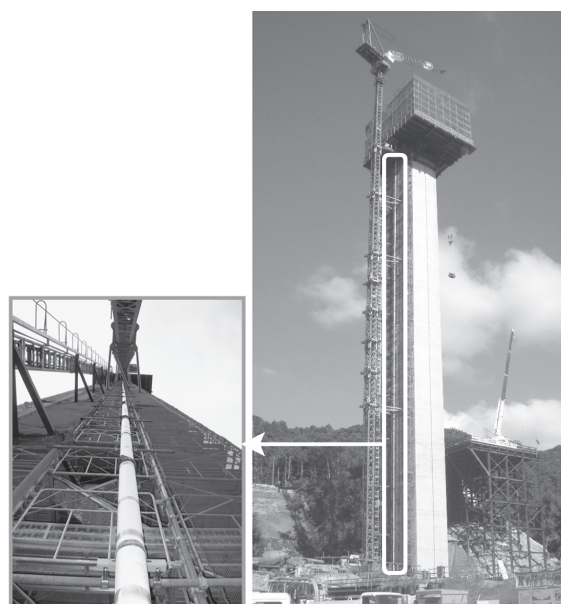


写真 - 2 鉛直配管の設置状況（下り線 P3）

(2) 壁高欄工

上下線 P2-P4 径間（高橋脚部）は、張出し架設工と同様、橋脚下部に自走式ポンプ配管車を配置して、昇降階段に沿わせて設置した鉛直配管と橋面上の水平配管による圧送打設とした。一方、上下線 A1-P2 径間、P4-A2 径間（ブーム車の届く範囲）は、ブーム車と橋面上の水平配管による圧送打設とした。

(3) ポンプ車の仕様

上部工のコンクリート打設に使用したポンプ車の仕様を表 - 2 に示す。また、上部工施工時における配管の水平換算距離の概略値を表 - 3 に示す。

最初の高橋脚の柱頭部施工となった下り線 P3 橋脚は、橋面まで約 90 m の高さがあり水平換算距離は約 360 m となる。これは、表 - 3 の着色部に示すように他の高橋脚の張出し架設時（最終 BL）の水平換算距離を上回ることになる。そのため、下り線 P3 橋脚の柱頭部施工前にポンプ圧送性試験を実施することによって、その後の張出し架設工におけるポンプ圧送によるコンクリートの性状変化を

表 - 2 ポンプ車の仕様

	最大理論吐出量 (m³/h)	最大理論吐出圧 (MPa)	ブーム長 (m)
自走式 ポンプ配管車	47/68 (高圧時/通常時)	22/15 (高圧時/通常時)	—
ブーム車	160	8.5	36
	160	8.5	28

表 - 3 上部工施工時における水平換算距離の概略値

	橋脚	昇降階段部の 鉛直配管 (m)	橋面上の 最大水平 配管(m)	水平換算距離* (m)	
				柱頭部 施工時	張出し架設時 (最終 BL)
上り線	P2	62	42	248	290
	P3	70	63	280	343
	P4	62	63	248	311
	P5	47	60	188	248
下り線	P2	62	57	248	305
	P3	90	72	360	432
	P4	61	72	244	316

※ 水平換算距離は、ベント管、テーパー管およびフレキシブルホースを除いた概略値

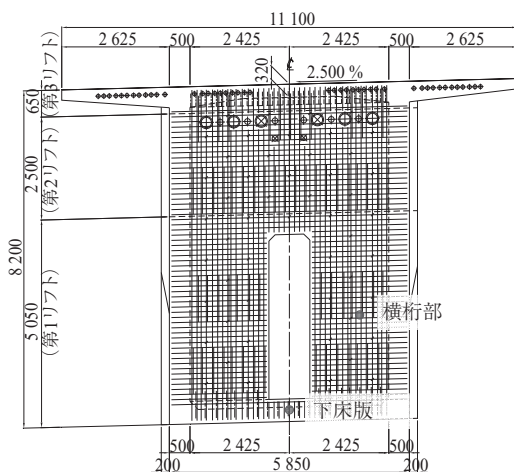


図 - 3 柱頭部における温度計測と解析結果との比較

把握することができるものと考え、ポンプ圧送前後でのスランプおよび空気量の変化について問題がないことを確認したうえで施工に臨んだ（表 - 4）。

表 - 4 ポンプ圧送性試験における圧送前後の測定結果

	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (℃)	外気温 (℃)	摘 要
圧送前	20.0 (18.0 ± 2.5)	4.5	31	29	運搬時間 30 分
圧送後	17.0 (15.0 ± 2.5)	4.5	31	29	—

3.3 柱頭部工

(1) 打設割付図

柱頭部の打設割付図を図 - 2 に示す。柱頭部のコンクリートは、部材厚が 80 cm 以上であるためマスコンクリートであり温度応力ひび割れが懸念された。そこで、温度応力解析の結果を踏まえて、打設リフトを 3 リフトに分け、下床版から外ケーブル定着部までの 2 リフトは中庸熱ポルトランドセメントを、また上床版部の 3 リフトについては普通ポルトランドセメントをそれぞれ用いて、温度応力ひび割れの発生を軽減した。

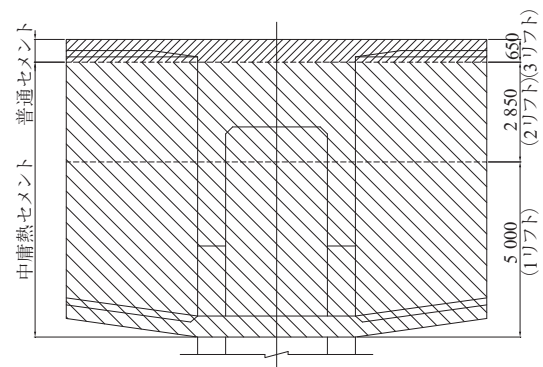
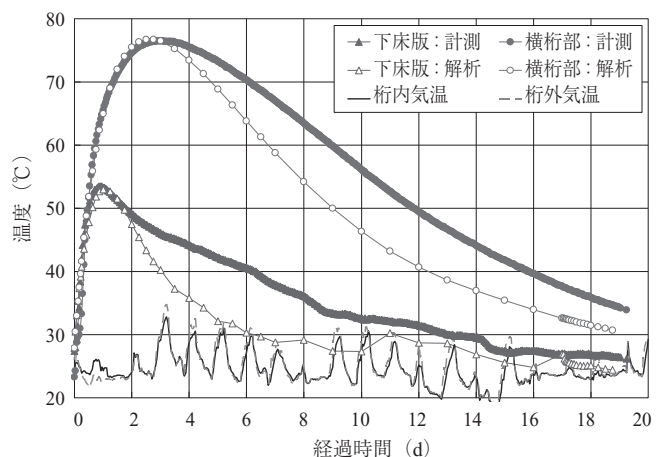


図 - 2 柱頭部の打設割付図

(2) 温度計測と解析結果との比較

柱頭部における温度計測と解析結果（気温は外気温の計測値を入力）を比較した検討結果を図 - 3 に示す。



温度計測結果と解析結果は、発熱温度の最大値はほぼ合致している結果となった。しかし、最大値を超えて温度が下降する勾配は、計測値のものが解析値よりも緩やかとなっていた。なお、この勾配も計測値と解析値が合うように断熱温度上昇特性および型枠の熱伝達係数などを調整して解析を試みたが、発熱温度の最大値と温度の下降勾配の両者を同時に一致させることはできなかった。

発熱温度の下降勾配については、緩やかに温度が低下するほうが内外温度差が徐々に解消されていくことから内部拘束が小さくなりコンクリートに発生する温度応力には有利な状態となる。したがって、実際の現象よりも温度の下降勾配が大きな解析結果のほうが、温度応力上厳しい評価となるため、本検討においては、発熱温度の最大値を合せた解析条件を採用した解析結果を用いて耐久性の評価を行うこととした。

ひび割れ指数については一部 1.45（ひび割れの発生をできるかぎり抑制したい場合、ひび割れ発生確率 25%⁴⁾）を下回り、さらにコンクリートの引張応力度が 1.0 N/mm^2 を上回る箇所が存在した。そのため、この箇所については施工性が確保できる範囲内で、ひび割れ補強鉄筋を配置してひび割れ幅を抑制した。補強鉄筋量については、許容ひび割れ幅を 0.2 mm と設定して、鉄筋の発生引張応力度が 180 N/mm^2 以下となるように決定した。

(3) 柱頭部 1 リフトの打設

ここでは、柱頭部 1-3 リフトのうちもっとも打設方法に配慮が必要であった 1 リフトについて述べる。

柱頭部 1 リフトの打設概要図を図 - 4 に示す。柱頭部 1 リフトの打設は、張出し床版型枠上に H 鋼材などを用いて打設足場を設けて、その隙間にコンクリート打込み用の受けホッパーを 12 基配置して行った。この受けホッパーの先端には軟質 PE 管（ $\phi 200$, 250 mm , $L = 4000 \text{ mm}$ ）を取り付け、打込み高さに応じて伸縮可能な構造とした。また、受けホッパーには番号付けをして、打込み箇所の上

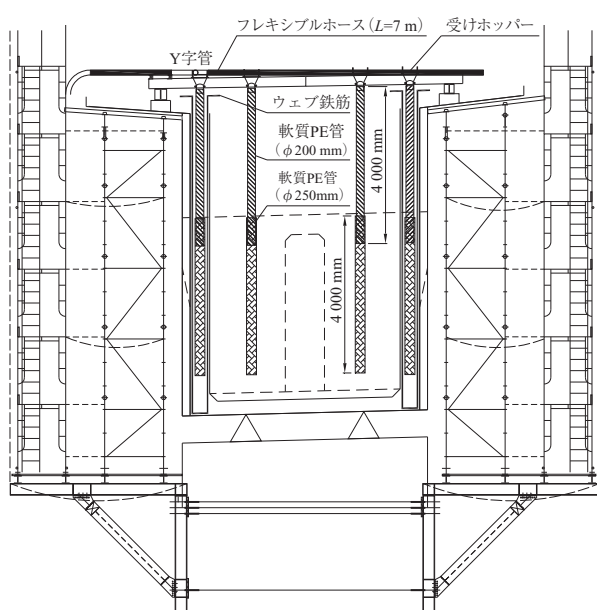


図 - 4 柱頭部 1 リフトの打設概要図

下間の連絡調整をスムーズに行う工夫を図った（写真 - 3）。

また、打設足場上のポンプ配管部には Y 字管と打設量調整用のシャッターバルブを設けて、横桁部と張出し部を同時打設することにより、打設時間および打重ね時間を短縮する工夫も図った（写真 - 3）。

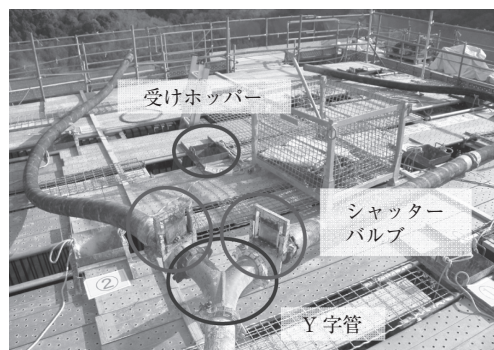


写真 - 3 柱頭部 1 リフトの打設足場状況

3.4 張出し架設工

(1) 概要

各橋脚における柱頭部の施工完了後、移動作業車による張出し架設の施工を行った。

張出し架設工の施工状況を写真 - 4 に、標準サイクル工程を表 - 5 にそれぞれ示す。張出し架設工のサイクル工程は 1 ブロックに対して実働 7 日の施工計画を立案した。これは、後述するように、設計基準強度 50 N/mm^2 の高強度コンクリートを採用したことによりプレストレス導入時の必要強度が材齢 2 日で確保できたことや、上部構造として異工種作業のないコンクリート断面を採用したことによる工程の効率化によるものと考えられる。さらに工程短縮のため、最盛期においては 8 橋脚 16 基の移動作業車を同時に使用して張出し架設を行った。

また、打設の効率化を図るため、橋面上の水平配管にあらかじめ車輪付の治具を取り付けておき、配管の段取り換えに要する時間を短縮した（写真 - 5）。



写真 - 4 張出し架設工の施工状況

(2) プレストレス導入時の圧縮強度

張出し架設工におけるプレストレスの導入は材齢 2 日で行うことを基本とした。プレストレス導入時の圧縮強度試

表 - 5 張出し架設工の標準サイクル工程

工種	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
コンクリート工	打設						養生								清掃		打設	
緊張工・グラウト工					緊張													
ワーゲン移動					移動・据付け													
型枠工							型枠セット						内枠					
鉄筋・PC工									鉄筋・PC組立て									

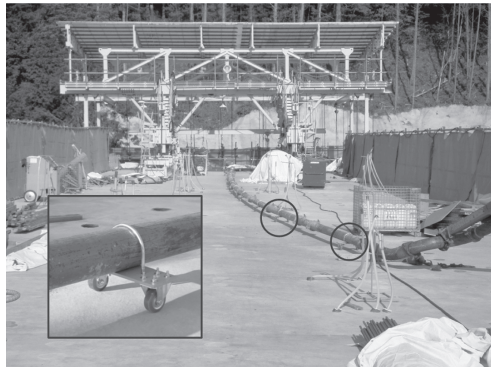


写真 - 5 張出し架設工の橋面配管状況

験結果を表 - 6 に示す。上り線、下り線において生コン工場は異なるものの、プレストレス導入時の必要強度 27 N/mm^2 は材齢 2 日で十分確保されていた。とくに、冬季の養生については、打設箇所を防災シートで覆いジェットヒーターを使用して養生温度の確保に努めた。

表 - 6 張出し架設工におけるプレストレス導入時の圧縮強度試験結果（材齢 2 日）

	プラント	個数	平均値 (N/mm^2)	標準偏差 (N/mm^2)	最大値 (N/mm^2)	最小値 (N/mm^2)
上り線	A 工場	53	34.3	1.8	38.6	31.1
下り線	B 工場	62	31.9	2.2	36.4	28.0

(3) PC グラウト

PC グラウトの配合を表 - 7 に示す。内ケーブルの PC グラウトについては、塩化物イオン量の総和を基準値（セメント質量 $\times 0.08\%$ 以下）より厳しい 0.3 kg/m^3 以下と設定した。また、PC 鋼材の化学的腐食に対する耐久性を確保するため、セメントの種類には化学抵抗性に優れた高炉セメント B 種を採用した。さらに、混和剤にはノンブリーディング高粘性型を使用した。

表 - 7 PC グラウトの配合

水セメント比	単位量 (kg/m^3)		
	水	セメント	混和剤
43%	566	1 318	13.18

3.5 閉合部工

張出し架設工のすべての閉合部の施工は、高所での作業の安全性、工期の短縮を考慮して移動作業車を使用して行

った。また、閉合部のコンクリートについては、コンクリートの乾燥収縮を補償し、ひび割れを低減する目的で膨張材を添加して初期欠陥防止に配慮した。

3.6 側径間工

ここでは、上り線 A2 側径間 1 リフトの打設について着目して述べる。

上り線 A2 側径間 1 リフトのコンクリート打設は 2011 年 8 月の暑中期間に行われ、打設量は約 100 m^3 であった。また、側径間支保工部の長さが 24 m と長く、かつ暑中時期ということもありコールドジョイントなどの初期欠陥が生じる可能性が高かったことから、当現場唯一のブーム車 2 台で同時に打設することとした（写真 - 6）。



写真 - 6 上り線 A2 側径間 1 リフトの打設状況

コンクリートの打込みは、まず桁端横桁部を打設したのち、桁端横桁部から上り線 P5 に向かって、それぞれのブーム車が左右のコンクリートウェブを担当して、支保工などに偏荷重がかからないように、下流側から上流側に向かって行った。その結果、ブーム車 2 台で同時打設したことによって、コールドジョイントなどの初期欠陥は見られなかったとともに、支保工や地山の異常な変状や変形はみられず、側径間を予定どおり構築することができた。さらに上り線 A2 側径間部と P5 張出し架設部との連結については、当初張出し架設工終了後に側径間を構築し連結する計画であったが、工程短縮の一環として張出し架設工終了前に側径間部を構築しておき、張出し部が到達するのを待って移動作業車により連結した。これにより、約 2 ヶ月の工程短縮ができた。

3.7 外ケーブル工

(1) 概要

外ケーブルの緊張は、A1、A2 の桁端部の径間から P3、P4 の中央径間に向かって随時行った。外ケーブルには、内部充てん型エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線 (SWPR7B 19S15.2B) を使用して、径間によって 2 ～ 12 本配置されていた。緊張作業は、最大緊張力約 $4 000 \text{ kN}$ の緊張ジャッキを用いて行った（写真 - 7）。

(2) ピンホール試験

外ケーブルの緊張完了後、桁内の外ケーブル架設足場を撤去する前に、PC 鋼材の防錆被覆材の損傷の有無を確認するためピンホール試験⁵⁾を行った。試験の結果、文献



写真 - 7 外ケーブル緊張完了状況

5) に示されているように、本橋においてもケーブル挿入時や挿入後の他作業時に生じたと思われる「擦過傷（こすり傷）」や「打痕傷（ぶつけ傷）」がピンホール試験により確認されたものの、その損傷度は軽微であった。損傷していた箇所については、製造会社指定の補修方法により補修を行ったのち、再度ピンホール試験を行い、試験機にて検知されないことを確認した。

3.8 壁高欄工

(1) 概要

壁高欄の施工は、工程短縮を図るため外ケーブル緊張が終了した径間から随時行った。壁高欄の施工には作業足場が必要になるため、橋面に配置した高欄作業台車を用いて、作業床と支保工を兼用する腕木を用いた張出し足場を設けた（写真 - 8）。

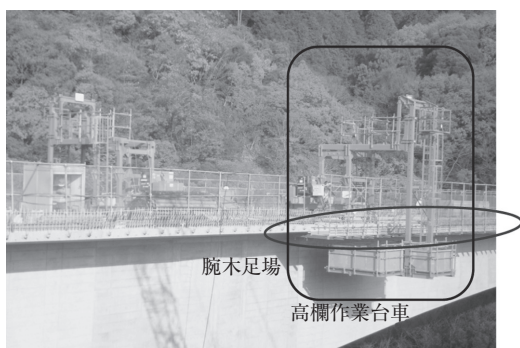


写真 - 8 壁高欄の腕木足場設置状況

また、壁高欄の天端高さは、既設橋面から約 1.0 m の高さとなるため、コンクリート打設時の施工性を考慮して、壁高欄前面部に枠組足場（ビティ枠 $H = 914 \text{ mm}$ ）を用いた打設足場を設置するとともに、安全性に配慮して手摺や伸縮ブラケットを設けて転落防止に努めた（図 - 5）。

(2) 打設状況

壁高欄コンクリートの打設は、打設足場上に設置した水平配管を 4 本ずつ撤去しながら行った。また、配管先端のフレキシブルホースは、テレスコクレーンにて吊り上げ、打込みの進捗にあわせて移動した（写真 - 9）。

壁高欄コンクリートの施工実績として、日最大打設量は 47.7 m^3 、日最大打設延長は 132.5 m であった。壁高欄の総延長は約 2700 m であったが、高欄作業台車を 8 台投入し

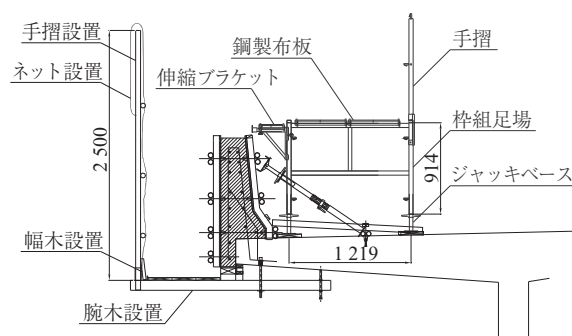


図 - 5 壁高欄の打設足場概要図

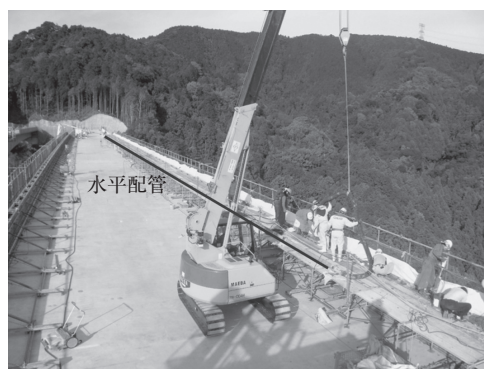


写真 - 9 壁高欄の打設状況

て 2011 年 11 月から 2012 年 2 月までの約 4 ヶ月で施工を完了した。

4. おわりに

本橋は、高さ 60 m 以上となる橋脚が上下線それぞれ 3 基配置された橋梁であり、上部工には場所打ち張出し架設としては高強度となる設計基準強度 50 N/mm^2 のコンクリートを採用した。コンクリートの施工は高所ならびに長距離のポンプ圧送が主体であったものの、閉塞などのトラブルはなく無事完了した。現在、コンクリート躯体工事がすべて完了して、附帯工および修景工の施工を進めている。

最後に、本橋の設計・施工についてご指導、ご協力をいただいた関係各位の皆様には、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 上東 泰, 山本 徹: 新東名高速道路佐奈川橋の設計と施工 - 高強度材料を用いた PRC 箱桁ラーメン橋 -, コンクリート工学, Vol.49, No.7, pp.34-40, 2011.7
- 2) 南雲広幸, 遠藤 史, 川上光雄, 中井義政, 長尾千瑛, 酒井修平: 新東名高速道路 (仮称) 佐奈川橋の設計・施工, 橋梁と基礎, Vol.46, No.7, pp.5-10, 2012.5
- 3) 東日本・中日本・西日本高速道路 (株): コンクリート施工管理要領, 平成 22 年 7 月
- 4) (社) 土木学会: 2007 年制定コンクリート標準示方書 [設計編]
- 5) 竈本武弘, 長谷俊彦, 寺田典生: 内部充てん型エポキシ被覆 PC 鋼材の実態調査, プレストレストコンクリート, Vol.53, No.3, pp.11-16, 2011.3

[2012 年 6 月 30 日受付]