

PC 3 径間連続ラーメン橋の上下部基礎工に関する施工報告

Construction report on upper and lower foundation work of PC 3-span continuous Rahmen bridge

杉本 拓弥*	佐藤 有香**
Takuya Sugimoto	Yuka Sato
中井 智宏***	加藤 隆弘****
Tomohiro Nakai	Takahiro Kato

要 約

橋長 176 m, 最大支間長 78 m, 最大橋脚高さ 39 m の PC 3 径間連続ラーメン橋の上下部基礎工での施工について報告する. ここでは, 仮設計画, 竹割型土留め, 大口径深礎杭, ハイピア, 上部工に着目し, 特色のある施工について報告する.

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 仮設計画
- § 3. 基礎工および橋梁下部工の施工
- § 4. 上部工の施工
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

PFI 事業の一部であるアプローチ道路の PC 3 径間連続ラーメン橋 (図-1) の施工について報告する. 全体事業は, 一般廃棄物処理施設である新清掃工場及び新破碎処理センターを設計・建設, 及び運営・維持管理まで行う BTO 方式の PFI 事業であり, 特別目的会社を設立して浜松市から事業を受託している.

工 事 名 浜松市新清掃工場
造成及びアプローチ道路工事

発 注 者 (株)浜松クリーンシステム
工事場所 静岡県浜松市天竜区青谷地内
工 期 平成 30 年 2 月 27 日～令和 6 年 3 月 31 日

橋梁建設に当たっては狭隘, 急峻な地形環境条件の中, 市道の交通確保, 周辺環境に配慮した施工が求められた.

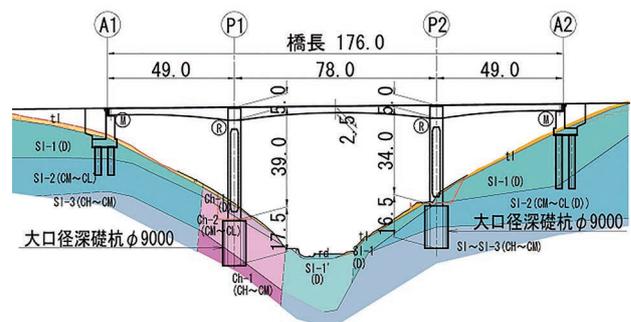


図-1 橋梁側面図

§ 2. 仮設計画

(1) 道路拡幅

工事車両が離合できるように, 1 車線の市道を大型土のうを用いて, 最大 8 段積みで 2 車線に拡幅を行った.

大型土のう拡幅部は, 連続雨量 200 mm を超える大雨で大型土のうが変形する災害を受けた. 積み直しに際し, 大型土のう天端付近をシルコンクリートでキャッピングし, 表面水の流入を防止した. キャッピング後は降雨による被害を防止することができた (写真-1).



写真-1 大型土のう背面へのキャッピング

* 西日本 (支) 浜松天竜土木 (工)
(現: 関東土木 (支) 清見寺橋 (工))

** 西日本 (支) 浜松天竜土木 (工)
(現: 磐田竜洋 (出))

*** 西日本 (支) 浜松天竜土木 (工)
(現: 勝川山田 (工))

**** 西日本 (支) 浜松天竜土木 (工)

(2) 仮設構台・栈橋

下部工施工場所に進入するため、栈橋の縦断勾配を14%で施工し、栈橋上に市道を切り替えた。P1 橋脚及び上部工の施工に使用する仮設構台は最大スパン 18 m のプレガダー橋を採用し、工期短縮を図った (写真-2)。



写真-2 仮設構台全景

§3. 基礎工および橋梁下部工の施工

3-1 竹割型土留めの施工

(1) 竹割型土留めの概要

斜面勾配 75% の法面において P1 橋脚の基礎工、下部工を施工するため、竹割型土留めが採用された。土留め頭部のリングビームは断面形状 1000×600 であり、リング斜補強材に鉄筋 D25 を円周方向に 1 m ピッチで打設している。また吹付壁には切土補強土工として、補強材 D25 を掘削の進捗に合わせて順次打設している (図-2)。

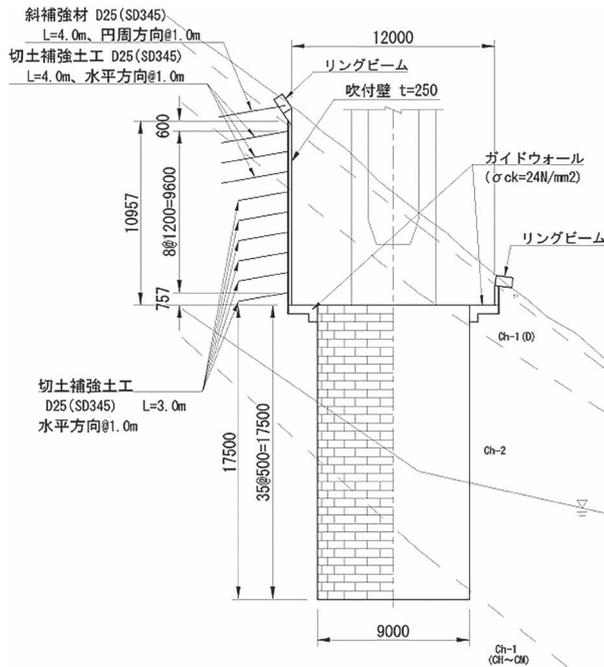


図-2 竹割土留めの断面図

(2) 掘削

斜面上の掘削、整形には斜面上部からワイヤーで高所法面掘削機を吊り下げるロックライミング工法を採用

し、1週間で法面整形を完了できた (写真-3)。

また、土留め掘削時の直下の市道への落石防護柵として、自立式親杭横矢板を設置した (写真-4)。



写真-3 高所法面掘削機による整形



写真-4 自立式親杭横矢板による落石防止対策

(3) 動態観測結果

竹割型土留め工の施工は動態観測を行いながら施工した (写真-5)。光波測距儀によるリングビームの変位は、掘削深さに対し 0.2% 以下 (土砂) に抑えるのがよいとされ、図-3 のとおり満足していることを確認した。



写真-5 竹割型土留めの動態観測点

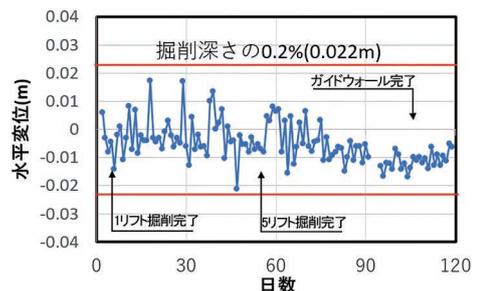


図-3 リングビームの変位 (写真の中段左側)

斜補強材 D25 (L=4 m) の軸力は設計荷重を超過したが、鋼材の許容引張荷重の範囲内であった。山側のリングビームのロックボルトの軸力推移を図-4 に示す。

斜面表層付近は軸力が大きく、深度方向に向かって軸力は小さくなる傾向である。掘削ステップに従い、軸力は暫増し、9 リフト掘削完了後に収束した。変位の収束も確認し、土留工の安全性を確認した。

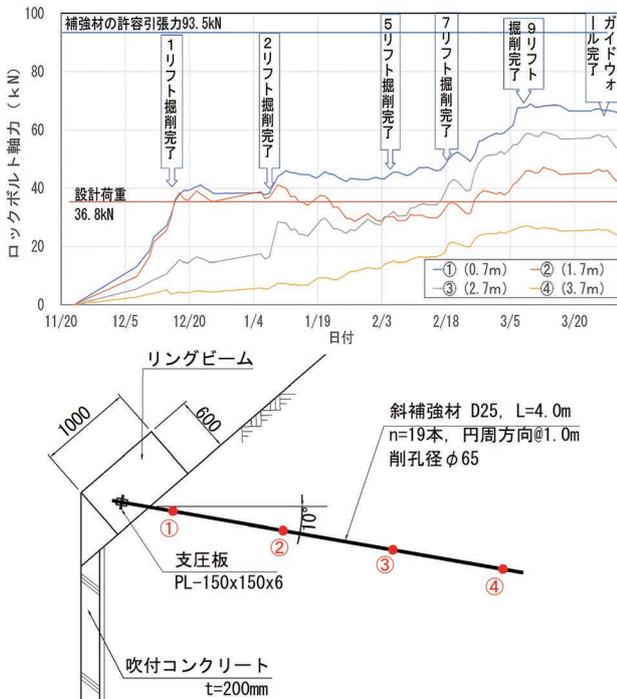


図-4 斜補強材の軸力計測結果

3-2 大口径深礎杭の施工

(1) 発破掘削時の防音対策

直径φ9.0 m、杭長 17.5 m の大口径深礎杭のうち硬岩部は発破掘削を行った。発破の際は、深礎杭の天端に防音シートで防音対策を行った(写真-6)。

発破地点から 200 m 離れた敷地境界にて騒音測定を行った結果、瞬間的に 94 dB が観測されたが、発破前後は概ね 45 dB 程度に収まり、対策の効果が確認できた。



写真-6 大口径深礎杭での防音対策

(2) 機械式定着体の採用

深礎杭の中間帯鉄筋 (D29) に機械式定着体 (ヘッドバー) を適用した。主鉄筋 (D51) に半円のフックをかける必要がなく、施工性が向上した(写真-7)。



写真-7 大口径深礎杭の中間帯鉄筋

(3) 鉄筋組立架台と足場

せん断補強鉄筋の組立てでは、L 形鋼を用いて鉄筋組立架台と足場を構築するとともに、墜落制止用器具を併用し、墜落災害を防止した(写真-8)。

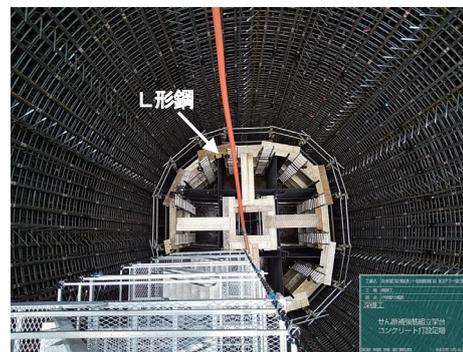


写真-8 大口径深礎杭内の鉄筋組立架台・足場

3-3 ハイピア (高橋脚) の施工

(1) 自昇式型枠足場

躯体構築のための外足場には、型枠と足場が一体化した「DOKA セルフクライミングシステム」を採用した。これは 4 側面の型枠と足場を一体化し、油圧により上昇させる工法である。安全性と施工性が向上するだけでなく、工程短縮に寄与する。表-1 に示すように 1 リフト当たり (H=5 m) の施工日数は在来工法と比較して 8 日短縮することができる。

本工事では橋脚高さが34~39mで在来工法と比べ、DOKAシステムでの工事費は10%割高となったが、さらに高橋脚の場合は、工事費の削減が期待できる。

表一-1 1リフト当たり施工日数

作業内容	工法	在来工法 (地上より足場)	DOKAシステム
コンクリート打設		1.0日	1.0日
足場組立		4.5日	-
鉄筋組立		5.0日	5.0日
型枠解体		1.5日	0.5日
クライミング		-	0.5日
型枠組立		3.0日	1.0日
打設準備		1.5日	0.5日
計		16.5日	8.5日

(2) 鉄筋架台

配力筋を作業構台上で専用架台を用いて地組し、クレーンで架設することで工期短縮を図った(写真一9)。



写真一9 作業構台での鉄筋組立と組立鉄筋の揚重

(3) 中空橋脚の内部足場

橋脚は中空構造のため、支保工部材数の低減と解体の簡素化のため、中空内部にH形鋼によるブラケットを設置し、足場を支保した(写真一10)。

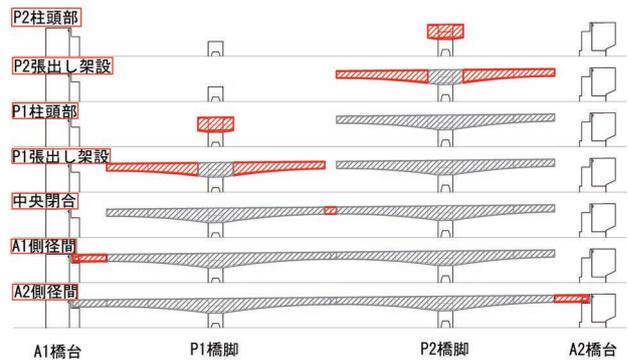


写真一10 中空橋脚の内部足場とブラケット

§4. 上部工の施工

4-1 上部工の施工概要

上部工の施工ステップを図一5に示す。1日あたりの作業員は10人で、柱頭部の施工は45日、ワーゲン組立10日、解体34日、張出し施工1サイクル6~10日、中央閉合10日、側径間12日であった。



図一5 施工ステップ図

4-2 上部工の緊張管理

(1) 上げ越し管理

張出し架設では、打設したコンクリートの自重やプレストレスの導入により変形が生じる。このため、施工ステップごとにたわみ量を計算し、クリープ終了時に設計高さになるよう上げ越し及び下げ越しを行った。各ブロックでのコンクリート打設前・後、緊張後、ワーゲン移動後について橋面の基準高を計測し、管理に反映させた。

橋面計測の後視点は橋脚柱頭部に設置し、橋脚のたわみ量を考慮した。また、極力同一気候条件で計測し、日照時間等の天候条件の影響を受けないよう、クリープによる変位との区分が可能となるよう配慮した。

図一6は、上げ越し量の目標値を青線、実測値を赤線、設計の±20mmを緑の破線で表している。施工中の測定値と目標値を日々確認し、出来形が規格値内に収まる管理を行った。



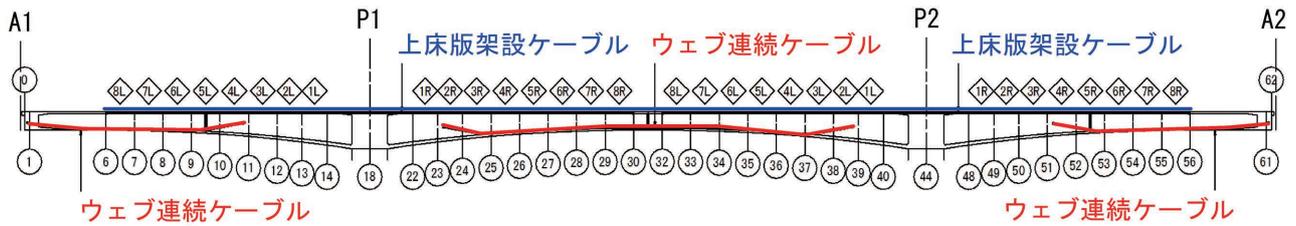
図一6 上げ越し量管理図

(2) 緊張管理

橋梁へのプレストレス導入方法は、橋軸方向(縦締め)にはフレシネー工法を採用し、PC鋼材は12S15.2を使用した。縦締めには、張出し施工時に緊張を行う上床版架設ケーブルと、橋梁を支持するウェブ連続ケーブルの2種類がある(図一7)。橋軸直角方向(横締め)にはCCL工法を採用し、PC鋼材は1S21.8を使用した。

緊張作業の前に、コンクリートの圧縮強度試験を行い、緊張強度(30.6 N/mm²)以上であるかを確認した。なお、供試体は現場気中養生である。緊張強度を確認後、横締め、縦締めの順にプレストレスの導入作業を開始した。

準備作業として5 N/mm²まで加圧し、ケーブルのたるみを取り除き、その後5 N/mm²ずつ加圧し圧力とケ

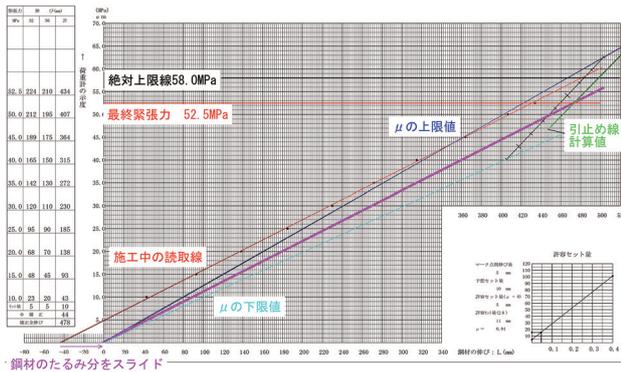


図一七 縦締め PC 鋼材配置図

ケーブルの伸びを計測した。

従来の緊張管理図は三角定規を用いて手書きで管理図を作成していたが、人為的ミスを防止するため、専用アプリとエクセルで緊張管理を行った。図一八に示すように、緊張管理は縦軸に荷重系の示度、横軸にPC鋼材の伸びをグラフにプロットする。鋼材の伸びを3点以上プロットすることで、傾き μ を算出する。

また、現場において緊張管理を行う際は、異常時に迅速な対応を執ることが重要である。このため、緊張作業時に読み取った傾き μ が予め計算された上限値～下限値の間に収まっていることを確認し、張り出し緊張を行った。異常時の対応を表一二に示す。



図一八 緊張管理図

表一二 緊張異常時の対応

異常時の状態	想定される状況	確認事項
上限超過時	ジャッキの異常	セット時のストローク
下限超過時	定着具のくさびのすべり	くさびの取付状態
絶対上限値超過	PC鋼材の破断	緊張中止と緊張力解放

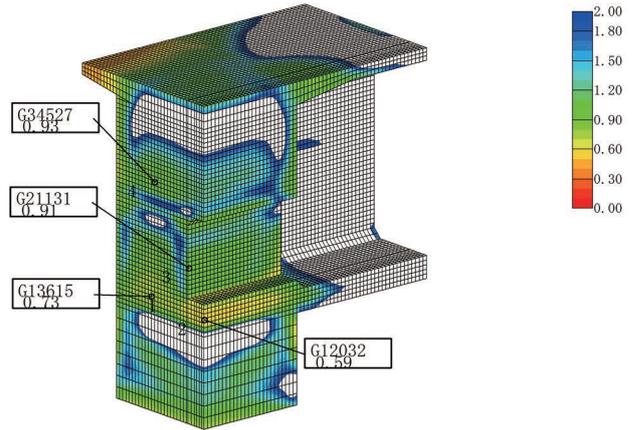
4-3 コンクリートの品質管理

(1) 柱頭部の温度ひび割れ対策

本橋の柱頭部は、平面形状 5.5 m × 5.0 m、高さ 5.0 m のマシブな形状である。上下 2.5 m で分割打設するが先行打設されたコンクリートに後行コンクリートが拘束されることから、内部および外部拘束による温度ひび割れの発生が懸念された。

施工前に実施した3次元FEMによる温度応力解析の結果では、内部において90℃を超える温度上昇が確認され、外部拘束による内部のひび割れ指数は0.59～0.93(図一九)、内部拘束による表面のひび割れ指数は0.71～0.77で、ひび割れが発生する確率は61.5～99.9%と予想

された。そこで、ひび割れ抑制対策として補強鉄筋を配置し、ひび割れ分散効果を得ることでひび割れ幅を制御する対策を行った。



図一九 温度応力解析結果 (最小ひび割れ指数：内部)

原設計配筋における対策前のひび割れ幅照査結果を表一三に示す。予想されるひび割れ幅は制限値0.2 mmを超過することから、表一四に示すように鉄筋量を増やすことで推定ひび割れ幅を0.2 mm以下とした。

表一三 ひび割れ幅照査結果 (対策前)

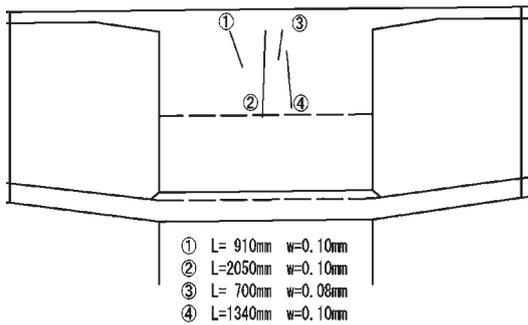
	1リフト				2リフト		
	内部1	内部2	内部3	側面	内部	側面	
主応力方向	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向	橋軸方向	橋軸方向	橋軸方向	
最小ひび割れ指数	0.73	0.59	0.91	0.77	0.93	0.71	
ひび割れ発生確率 (%)	93.3	99.9	64.9	88.3	61.5	95.2	
鉄筋仕様 (本数, 径)	5-D13 20-D19	4-D13 44-D19 8-D25	8-D22	16-D13 7-D16	4-D13	16-D13 7-D16	
断面積	鉄筋 (mm ²)	6,364	17,166	3,097	3,417	507	3,417
	躯体 (mm ²)	1,150,000	1,750,000	1,000,000	1,100,000	1,650,000	1,100,000
鉄筋比 (%)	0.55	0.98	0.31	0.31	0.03	0.31	
ひび割れ幅 (mm)	0.20	0.07	0.38	0.43	4.77	0.45	
許容ひび割れ幅 (mm)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
判定	NG	OK	NG	NG	NG	NG	

表一四 ひび割れ幅照査結果 (対策後)

	1リフト				2リフト		
	内部1	内部2	内部3	側面	内部	側面	
主応力方向	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向	橋軸方向	橋軸方向	橋軸方向	
最小ひび割れ指数	0.73	0.59	0.91	0.77	0.93	0.71	
ひび割れ発生確率 (%)	93.3	99.9	64.9	88.3	61.5	95.2	
鉄筋仕様 (本数, 径)	8-D13 20-D19	4-D13 44-D19 8-D25	16-D22	16-D13 16-D19	28-D22	16-D13 16-D19	
断面積	鉄筋 (mm ²)	6,744	17,166	6,194	6,611	10,839	6,611
	躯体 (mm ²)	1,150,000	1,750,000	1,000,000	1,100,000	1,650,000	1,100,000
鉄筋比 (%)	0.59	0.98	0.62	0.60	0.66	0.60	
ひび割れ幅 (mm)	0.18	0.07	0.14	0.17	0.12	0.18	
許容ひび割れ幅 (mm)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
判定	OK	OK	OK	OK	OK	OK	

実施工後の柱頭部側面のひび割れスケッチを図一十に、コンクリート温度の計測結果を表一五に示す。予想されたひび割れは発生したものの、補強鉄筋を配置した

ことで最大ひび割れ幅は 0.1 mm となり、幅 0.2 mm 以上のひび割れの発生を抑制することができた。



図一10 柱頭部側面ひび割れ観察図

表一5 躯体内部最高温度測定結果

	1リフト	2リフト
解析値	92.6 °C	95.5 °C
実測値	85.8 °C	87.6 °C

(2) 打継処理

新旧コンクリートの打継処理として上部工縦断方向の鉛直面に KK シートを妻型枠に設置し、凹凸処理を行った。KK シートを設置したコンクリートの仕上がりを写真一11 右に示す。型枠脱枠時に KK シートを撤去し、表面を粗にしてコンクリートを打ち継ぐことができた。



写真一11 KK シート設置状況と脱型後の凹凸

(3) 暑中コンクリート対策

P2 橋脚の柱頭部は夏季施工であったため、直射日光による急激な乾燥を避けるため日よけシートを敷設した。

また、コンクリートミキサー車は遮熱塗装が施されている車両、及び遮熱シートで養生した車両のみを使用し、運搬時のコンクリート温度上昇対策を行った (写真一12)。



写真一12 柱頭部コンクリート打設状況

4-4 安全管理

(1) 公衆災害防止のための取り組み

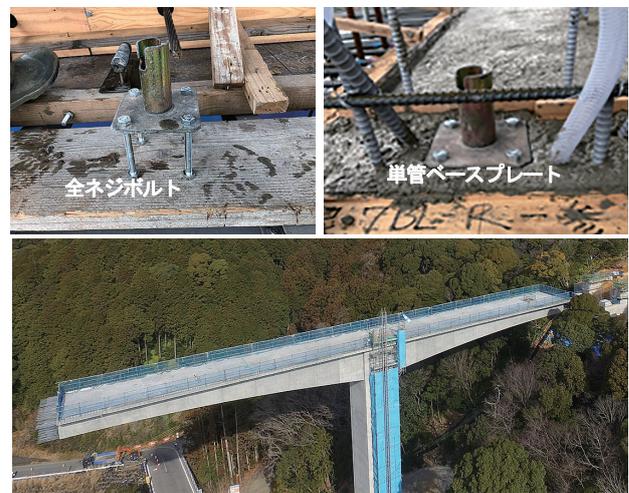
橋梁直下は市道 (棧橋) があり、一般車や造成工事、建築工事車両が多く通行する。施工時に、飛来落下によ

る第三者災害を防止するため、車両感知器を市道上に設置した。車両感知器の警告音を橋面上で鳴らし、上部工作業者に注意喚起を行った。

橋梁が横断する天竜川水系の河川では、上流に貴重種のカエルが生息している。施工中に発生する工事排水の流出を防ぐため、移動台車 (ワーゲン) の下段作業台全面にシートを張った。シート上に溜まった排水は仮設構台へポンプ圧送し、pH 確認後、河川に放流した。

(2) 墜落転落災害防止のための取り組み

壁高欄未施工での張出し施工時は、橋面端部の墜落転落防止を行う必要がある。強固な手摺を設置するため、全ねじボルト付きの単管ベースプレートが壁高欄の鉄筋の間に埋設し、コンクリートを打設した。ワーゲン移設後、速やかに橋面手摺を設置できた (写真一13)。



写真一13 橋面手摺設置状況

§5. おわりに

以下に本報告のまとめを示す。

- (1) 大型土のうによる道路拡幅時は、背面に雨水が侵入しないよう、シールコンクリート等でキャッピングすることが有効である。
- (2) 竹割型土留めのリングビームの変位、斜補強材の軸力を測定し、土留工の安全性を確認した。
- (3) 大口径深礎杭の発破掘削では、周辺環境に配慮し、深礎杭孔口を防音シートで覆い、防音対策を行った。
- (4) 自昇式型枠足場「DOKA セルフクライミングシステム」は工程短縮に大きく寄与できることを実証した。
- (5) 上部工の柱頭部における事前の温度応力解析から、ひび割れ補強鉄筋を設置し、有害なひび割れを抑制した。
- (6) 上部工縦断方向の鉛直面の打継処理に樹脂シートである KK シートを使用し、従来のチップング処理より有用な打継処理を行った。
- (7) 上部工張り出し架設時の墜落転落防止対策として、手摺設置用の単管ベースプレートを事前に埋設することで、速やかに橋面手摺を設置することができた。