

工事報告

(仮称) 円山川橋の設計・施工 — PC 7 径間連続ラーメン箱桁橋 —

利波 宗典*1・岩崎 郁夫*2・山崎 紀彦*3・弓家 猛*4

円山川橋は、一般国道 483 号北近畿豊岡自動車道のうち、和田山ジャンクションより伸びる和田山八鹿道路の一角をなす橋梁である。完成すれば、兵庫県北部の但馬地域と京阪神都市圏を結び、地域の活性化を支援する自動車専用道路として機能することが期待されている。

架橋位置は、朝来市和田山町の風光明媚な田園風景が広がるのどかな地域であり、京都と鳥取に伸びる国道 9 号と、和田山と姫路を結ぶ国道 312 号に隣接する交通の要所である。

本稿では、本橋が設計・施工一括発注方式および高度技術提案型（Ⅱ型）の契約形態をとっている上下部工事であるが、主に上部工の設計および施工に関して報告する。

キーワード：7 径間連続ラーメン箱桁橋、設計施工一括発注方式、水平変位調整工

1. はじめに

本工事は、設計・施工一括発注方式および高度技術提案型（Ⅱ型）の試行工事であり、起点側の和田山ジャンクションから、終点側の枚田トンネルにかけて、交通量の多い国道 312 号や県道物部養父線、1 級河川の円山川、JR 播但線などの重要施設を横架する交差条件が与えられていた。

また、融雪設備工事や舗装工事が重複しているため、最後は、日々、関係者との施工調整を行い、部分的に引渡しを行いながらの工事となった。

2. 工事概要

工事名：和田山八鹿道路円山川橋工事

発注者：国土交通省近畿地方整備局

工事場所：(自) 兵庫県朝来市和田山町加都地先
(至) 兵庫県朝来市和田山町枚田地先

工期：平成 20 年 3 月 15 日～平成 23 年 11 月 30 日

設計施工：大成建設株式会社

契約形態：高度技術提案型（Ⅱ型）の試行工事

：総価契約単価合意方式の試行工事

道路規格：第 1 種第 3 級（B 規格） $V = 80 \text{ km/h}$

橋長：678 m

上部形式：PC 3 径間連続箱桁橋

PC 7 径間連続ラーメン箱桁橋

下部形式：A1 橋台（直接基礎）、P1、P3 橋脚（場所打ち杭 $\phi 1.2 \text{ m}$ ）、P2、P4、P5 橋脚（直接基礎）、P6～P9 橋脚（大口径深礎杭 $\phi 10.0 \text{ m}$ ）、A2 橋台（深礎杭 $\phi 2.0 \text{ m}$ ）

支間割：3 径間部 46.0 + 42.0 + 40.25 m

7 径間部 44.1 + 91.0 + 2@85.0 + 91.0 + 95.0 + 54.95 m

以下に、全体一般図を図 - 1、主桁断面図を図 - 2 に示す。

3. 橋梁上部工の設計概要

3.1 橋梁構造形式の選定

本工事は、設計・施工一括発注方式の試行工事であり、

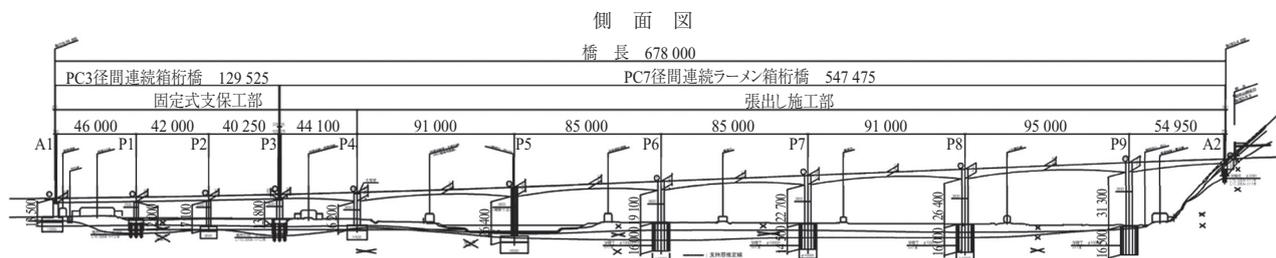


図 - 1 全体一般図

*1 Munenori TONAMI：大成建設(株) 関西支店 坊川第三橋工事作業所

*2 Ikuo IWASAKI：大成建設(株) 土木本部 土木設計部 橋梁設計室

*3 Norihiko YAMASAKI：大成建設(株) 土木本部 プロジェクト部 第二プロジェクト室

*4 Takeshi YUGE：大成建設(株) 名古屋支店 第二東名高速道路名高田高架橋工事作業所

○ 工事報告 ○

3.3 柱頭部の温度応力解析

本橋は、自重の低減を図るため、7径間部の張出し施工部において、設計基準強度 $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$ のコンクリートを使用した。そのため、セメント量が多くなり、マスコンクリートである柱頭部については、ひび割れが懸念されたため、配合において普通セメントを使用し、さらに、温度応力解析を実施し、その影響を確認した(図-5)。

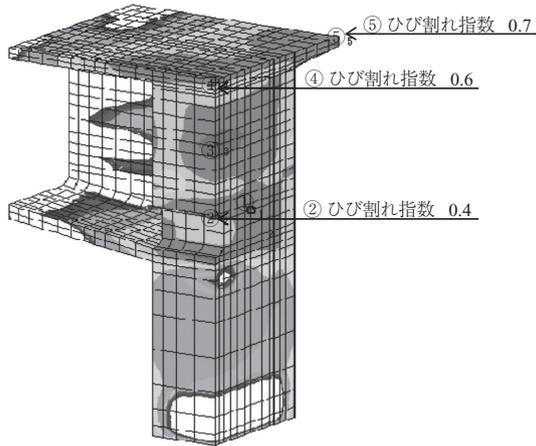


図-5 柱頭部最少ひび割れ指数分布図

温度応力解析の結果、表-4に示すように、最高温度と最大引張応力度が発生する箇所において、鉄筋比よりひび割れ幅を想定すると、一般の環境で求められる許容ひび割れ幅以下であることが確認できた。

表-4 温度応力解析結果抜粋

リフト	部位	節点番号	最高温度(°C)	最大引張応力度(N/mm ²)	最小ひび割れ指数	鉄筋比	ひび割れ幅(mm)
1	表面	②	30	7.3	0.4	0.92	0.16
2	表面1	④	36	4.2	0.6	2.58	0.14
	表面2	⑤	14	2.7	0.7	1.22	0.12

注1) セメントの種類は普通セメント

注2) 許容ひび割れ幅は 0.175 mm (一般の環境 $0.005 * 35 = 0.175$) コンクリート標準示方書より

3.4 PC鋼材の選定

本橋には、内ケーブルと外ケーブル、横締めケーブルを使用した(表-5)。

表-5 使用PC鋼材一覧

種類	部位	数量(kg)	仕様	備考
縦締め内ケーブル	3径間部	28 728	SWPR7BL	
	7径間部	140 010	12S15.2B	
縦締め外ケーブル	3径間部	12 851	SWPR7BL	アンボンドマルチ
	7径間部	100 096	19S15.2B	
横締めケーブル	3径間部	19 840	SWPR19L	プレグラウト
	7径間部	52 800	1S28.6	

外ケーブルについては、現場での省力化が図れ、防錆・防食効果の高いアンボンドマルチケーブルを選定し、品質と耐久性の向上を図った。

このマルチケーブルは、もっとも長いもので190m、重

量4tあるため、3tのウインチを用いて、桁内と橋面において無線で合図しながら挿入した。

4. 橋梁上部工の施工

4.1 架設方法

工事起点側に位置する3径間部は、比較的橋脚高さが低く、幅員が拡幅するため、固定式支保工で計画した。一般部は、くさび結合式支保工により、各交差条件部については、梁-支柱式支保工により架設した。とくに、交通量の多い国道312号上の支保工の架設は、最小限の規制をかけ、夜間(21:00~5:00)の作業とした(写真-1)。



写真-1 3径間部支保工施工(国道312号)

また、終点側の7径間部については、片持ち張出し架設と固定支保工架設の併用とした。橋脚高さが低く、幅員が拡幅するP3-P4橋脚間は固定支保工、桁下に運動場があるP4-P5橋脚間は張出し架設とした(図-6、写真-2)。

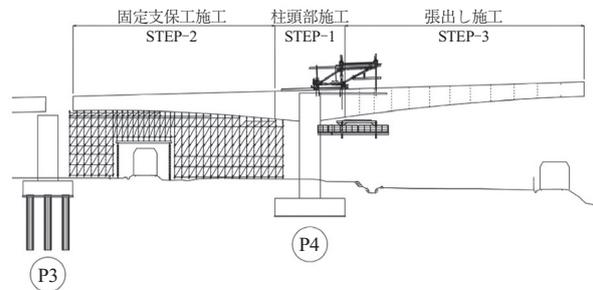


図-6 7径間部張出し施工(P4-P5)

4.2 上部工コンクリート

プラントが工事エリアに隣接しているため、コンクリートの運搬面では非常に恵まれていた。しかし、コンクリートの圧送距離は、鉛直方向に最大36m、水平方向に50mとなり、施工性を考慮したコンクリート配合の検討が必要であった。

コンクリートの配合は、大成建設技術研究所を交え、出荷プラントにおいて、数十回の試験練りを繰り返した。

実際に使用するポンプ車を持ち込んで試験圧送を実施し、最適なポンパビリティおよびワーカビリティが確保できる配合とした。



写真 - 2 7 径間部張出し施工 (P4-P5)

また、所定のスランプの確保には、単位水量を抑えるため、高性能 AE 減水剤を使用し、コンクリートの品質確保に努めた。壁高欄のコンクリートについては、混和剤として膨張材を使用し、乾燥収縮によるひび割れ防止を図った(表 - 6)。

表 - 6 使用コンクリート一覧

部位	コンクリート	数量(m ³)	備考
3 径間部	36-15-20N	1 682	
7 径間部	支保工施工部・柱頭部	50-18-20N	1 880
	張出し部・中央閉合部	50-18-20H	3 410
壁高欄	30-12-20N	514	膨張材 20 kg/m ³

4.3 電動式タワークレーンの使用

高い揚程を必要とする箇所 (P6~P9 橋脚) については、CO₂ 削減を目的とし、30 t・m の能力をもつ電動式タワークレーンを使用した(写真 - 3)。



写真 - 3 タワークレーンの組立て状況

自立式のタワークレーンを選定したので、基礎については、十分な検討と確実な施工を要した。そのため、床付け掘削完了後に、十分に地耐力があることを確認し、基礎の構築を行った(図 - 7)。

各橋脚からの張出し施工完了後、随時、タワークレーンの解体を行った。基礎の解体においては、バックホウ(0.7 m³)をベースマシンとし、900 kg 級の油圧ブレーカーを使用した。

大きな騒音が予想されたため、民家側に、防音壁を設

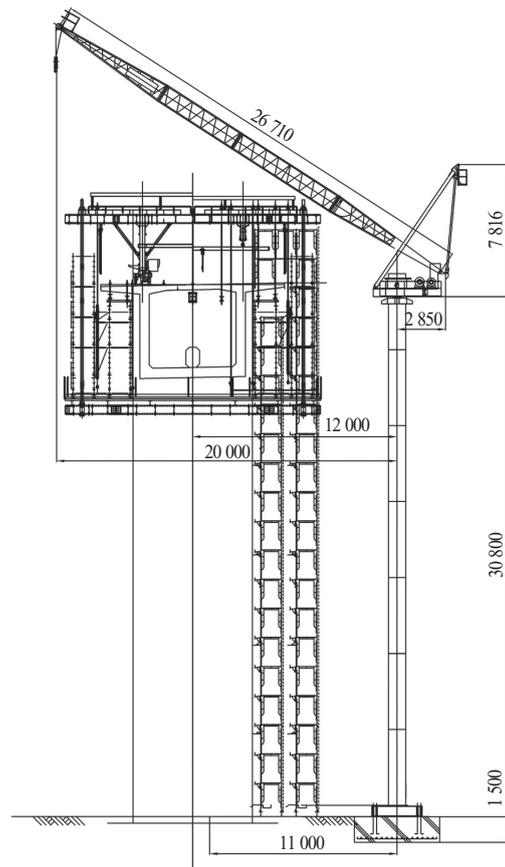


図 - 7 タワークレーン (30 tm)

け、作業を 9:00 に開始し、16:00 には終了するよう配慮した。

また、地元会社の倉庫が近接していたため、作業開始前および作業終了時に家屋調査を実施し、健全性についても確認した(写真 - 4)。



写真 - 4 タワークレーン基礎解体

4.4 河川内での張出し施工

P5 橋脚は河川の中に位置するため、橋脚の施工は 1 期目の湧水期(11 月~5 月)に行い、上部工施工は 2 期目に行った。湧水期とはいえ、70 cm 程度の水位がある河川内に築島を設け、施工ヤードとするところから開始した。

円山川は、春先には鮎の稚魚が放流され、シーズン中は、

○ 工事報告 ○

鮎釣りができる清流である。施工においては、工程の厳守と環境への細心の配慮が求められた（写真 - 5）。

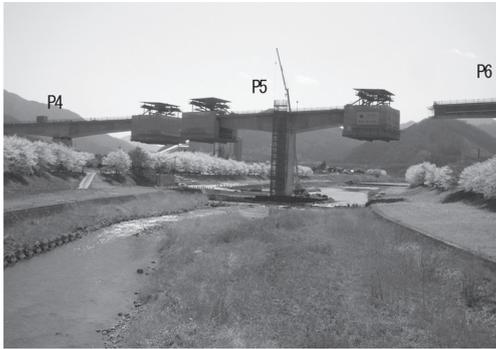


写真 - 5 7径間部張出し施工 (P5)

上部工の張出し施工は、渇水期には完了しないため、張出し施工の完了を待たずに築島の解体作業を行った。その後、材料の供給やコンクリート打設等は、両岸のP4とP6張出し先端より行った。

移動作業車の解体についても、おのおのP4とP6柱頭部に移動させて、解体作業を行った。

河川内の2期にわたる作業は、渇水期ではあったが、築島を越える異常出水により、多少の被害はあったものの、日々の水位の管理や異常出水に向けた対策が功を奏し、資機材の流出や工期への影響なく工事を終えることができた。

4.5 柱頭部仮固定工

P4柱頭部の施工においては、仮固定工を行った。仮支承を設け、柱頭部を構築した後、 $\phi 40$ のPC鋼棒により橋脚と柱頭部を連結、緊張することにより一体化し、鋼材（H-200）を配置することにより、ずれを防止する構造とした。

当初の計画では、上部工と下部工を繋ぐPC鋼材を仮支承のなかで目視できない状態で接続する必要があり、仮支承解体も困難な構造であった。

そこで、PC鋼棒の位置をずらし、仮支承を小さくし、目視してPC鋼材の接続ができるよう図-8のような構造とした。また、仮支承を小さくしたため、仮支承と脚頭部のコンクリートを $\sigma_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$ から $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$ に変更した。

さらに、仮支承の上には、サンドジャッキを設置し、解体時に容易に反力を抜ける構造とした。

これらの工夫により、安全性、信頼性が確保できたとともに、仮固定のPC鋼材の解放や仮支承の撤去をきわめて容易に行うことができた。

4.6 水平変位調整工

水平変位の調整を最終中央閉合（P5-P6）前に実施した。水平力は図-9に示すような反力装置にセットした油圧ジャッキ（5000 kN）4台で導入した。

反力装置は、水平力载荷中の安全性とその後中央閉合の作業性、撤去の作業性を考慮し、できるだけ小さく、重量の軽い構造とした（写真 - 6）。

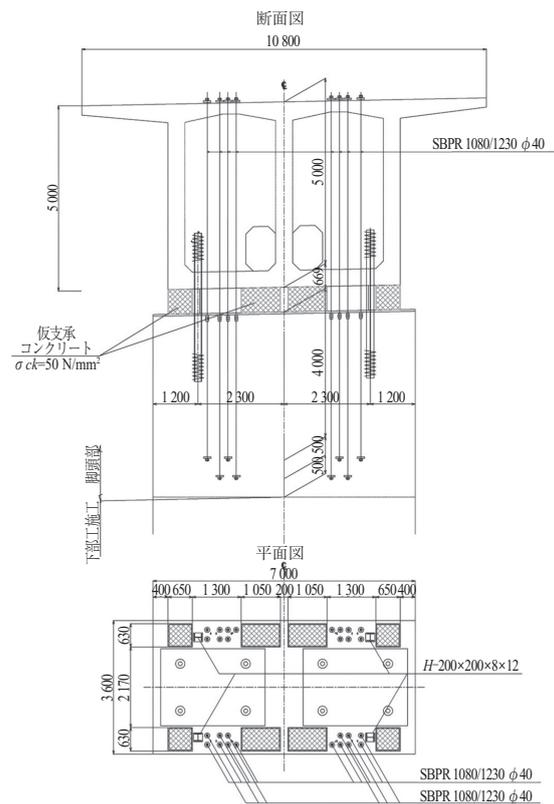


図 - 8 P4柱頭部仮固定計画図

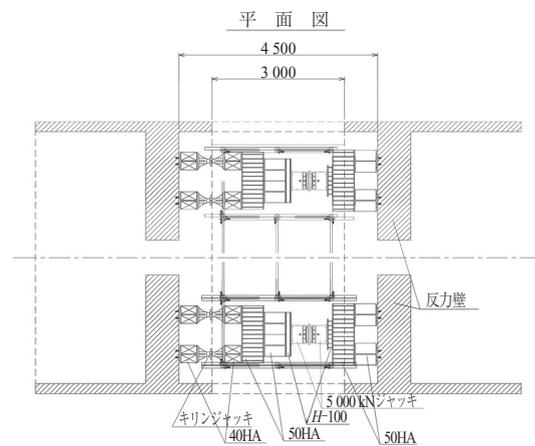


図 - 9 反力装置構造図

設計上必要な水平変位を与えると、表-7に示す鉛直変位が生じるため、水平力導入に先立ち、鉛直変位の調整をする必要があった。

左右の鉛直変位量の違いが、水平力導入用の反力装置に局所的な変形を与え、安全に作業ができないおそれがあった。このため、初期変形を与え、鉛直変位のバランスをとることとした。

具体的には、図-10に示すように、移動作業車に反力を取り、P5桁先端およびP6桁先端に変形を与え、水平力を与える時点では、ほぼ、バランスさせることとした。

本作業をすることにより、水平力導入時の鉛直変位が、P5側は、 $77 - 25 = 52 \text{ mm}$ 、P6側は $24 + 25 = 49 \text{ mm}$ と



写真 - 6 水平変位調整工実施状況

表 - 7 水平力導入に伴う桁先端の変位

単位: mm			
	鉛直変位	水平変位	備考
P 5 先端変位	↑ 77 mm	← 47 mm	←: 起点側
P 6 先端変位	↑ 24 mm	17 mm →	→: 終点側

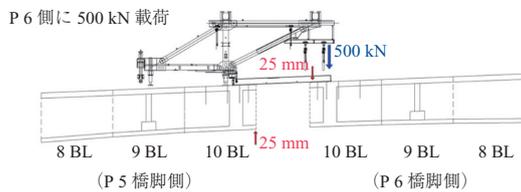


図 - 10 初期変形導入要領図

ほぼバランスすることになる。

4.7 P 9 張出し施工時の施工

P 9 の張出し施工は、起点側 (P 8 側) が 12 BL、終点側 (A 2) が 13 BL である。施工ステップでは、13 BL 施工後に、A 2 橋台を構築することになっていた。

そのため、終点側の施工については、13 BL 施工時、通常の移動作業車を使用すると急峻な地山と干渉する。その対処のため、下記の策を講じた (図 - 11)。

- 低床型の移動作業車を選定
- 作業床の縦梁を格納式に改造
- 移動作業車を 1 m バックした位置に設置
- 人力による地山の掘削

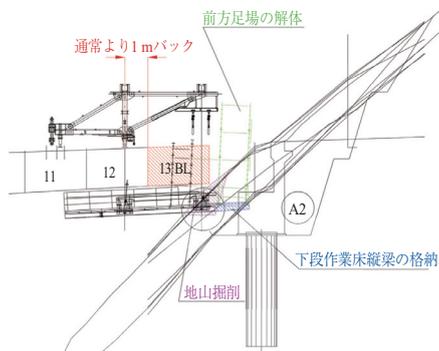


図 - 11 P 9 張出し施工最終ブロック

コンクリート打設中に注意したのは、コンクリート荷重による桁の変形 (設計上 100 mm) である。桁の変形による

り、移動作業車が地山と接してしまうと出来形にも影響するため、打設中は監視員を立て、桁の変状を注視した。

4.8 排水装置の設置

本橋には、主桁断面左側に ϕ 400 mm の鋼製の排水管、右側には ϕ 300 mm と ϕ 200 mm の鋼製の排水管が設置された (図 - 12)。

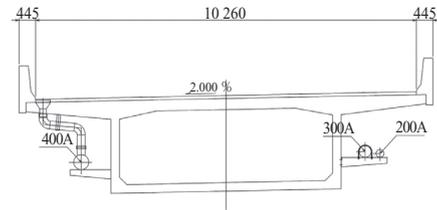


図 - 12 排水装置の配置

排水装置の取付けの計画は、各張出し施工完了後、移動作業車を移動させながら、橋面に配置した 2.9 t のクレーンで排水装置を取り付けるものであった。

しかし、柱頭部においては、本移動作業車では、作業ができないため、柱頭部真横まで作業ができるように下段作業台を改造した (写真 - 7)。



写真 - 7 改造した移動作業車で排水装置設置

4.9 寒中施工

朝来市和田山町の過去 5 年間の気象データを確認したところ、12 月から 3 月の間に日平均気温が 5℃ を下回る日が存在したため、この間を寒中コンクリートの施工期間とした。

この期間に、柱頭部および張出し部を施工することになるので、防寒上屋を設け、その中を給熱養生することとした (写真 - 8)。



写真 - 8 寒中養生状況

○ 工事報告 ○

表 - 8 寒中養生温度管理一覧表 (抜粋)

	コン 種類	打設日	気温 (°C)		1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目
			養生温度	外気温						
P7	7BL	早強	23.3.17	最高	15°C	20°C	20°C	17°C	15°C	-
				最低	7°C	9°C	10°C	9°C	7°C	-
	8BL	早強	23.3.25	最高	7°C	17°C	18°C	11°C	14°C	-
				最低	-4°C	1°C	3°C	6°C	2°C	-
P8	柱①	普通	22.2.5	最高	13°C	14°C	15°C	17°C	17°C	-
				最低	7°C	8°C	10°C	11°C	12°C	-
				最高	7°C	9°C	14°C	15°C	15°C	-
				最低	0°C	-1°C	-3°C	-1°C	0°C	-
	柱②	普通	22.3.6	最高	13°C	11°C	12°C	17°C	20°C	15°C
				最低	7°C	8°C	9°C	11°C	15°C	11°C
				最高	5°C	1°C	4°C	10°C	19°C	10°C
				最低	-2°C	-3°C	-3°C	-1°C	6°C	5°C
柱②	普通	22.3.6	最高	12°C	13°C	14°C	13°C	15°C	14°C	
			最低	8°C	7°C	8°C	7°C	9°C	8°C	
			最高	9°C	7°C	6°C	3°C	5°C	10°C	
			最低	6°C	4°C	3°C	0°C	0°C	0°C	

給熱養生においては、上屋内を5°C以上に保つように熱量計算を行い、ジェットヒータの台数を決定した。

移動作業車の上屋の場合、1380m³内を目標温度7°Cで保つための熱量は、57000Kcal/hとなるので、30100Kcal/hの能力のジェットヒータを2台(サーモスタット付き)設置し、温度管理を行って、必要期間給熱養生した。

4.10 落下物防止柵工

本橋は多くの交差条件を有しているため、国道312号と県道物部養父線との交差部にはG1タイプ、JR播但線交差部にはF1タイプの落下物防止柵を設置した。

施工にあたっては、腕木足場下にシートを張り、手摺には1mm目のメッシュシートを張って、小さなものも落とさないよう留意した。

また、F1タイプの施工は、重量物を取り扱うため、2.9tのクレーンを設置し、JR播但線上での作業では、細心の注意を要した(写真-9)。



写真 - 9 落下物防止柵設置状況 (F1タイプ)

落下物防止柵の設置後に、橋面作業車により壁高欄用の腕木足場の撤去となるので、落下物防止柵に干渉しないよう改造を施した(図-13)。

また、4%の縦断勾配があるため、逸走防止付きの走行装置を設置し、移動時の安全性の向上を図った。

JRとの協議により、橋面作業車が移動する際には、工事管理者、列車見張員および落下物拾得者を配置し、運行確認のもと、列車合間での作業を徹底した。

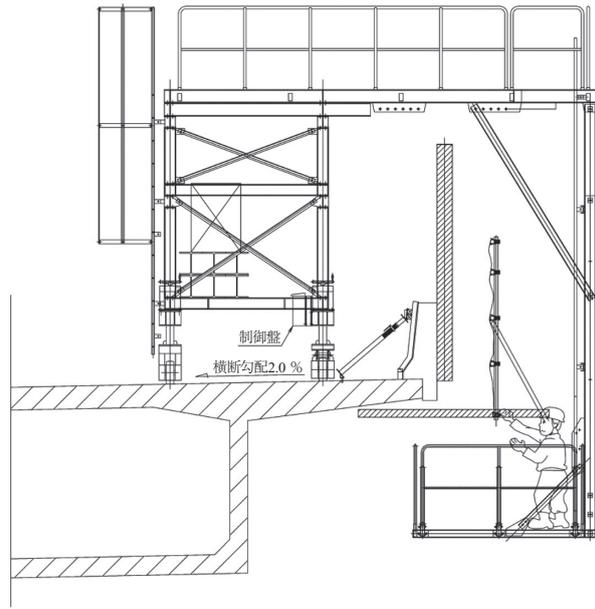


図 - 13 橋面作業車 (落下物防止柵対応)

4.11 養生水他の処理

コンクリート工事に伴い、場内において水を使う作業が発生する。上部工の養生水やレイタンス処理水については、移動作業車で回収し、PH処理した『うわ水』を桁の中を通して、柱頭部から地上まで導水するよう配慮した。

また、隣接する住宅地域内に井戸を使用している家屋があったため、半年に一回、井戸調査を実施し、その影響がないことを確認した(写真-10、表-9)。



写真 - 10 近接民家の井戸 (飲料用ではない)

表 - 9 水質調査一覧表 (抜粋)

		A宅	B宅	C宅 (自宅)	C宅 (ガレージ)	D宅
一般細菌	個/ml (100以下)	1	0	0	10	8
大腸菌	(陰性)	陰性	陰性	陰性	陰性	陰性
塩化物イオン	mg (200以下)	16	20	15	10	18
pH値	pH (5.8-8.6)	6.6	6.6	6.5	6.6	6.5
味		異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
臭気		異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
色度	度 (5以下)	1未満	1未満	1未満	3	1未満
濁度	度 (2以下)	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.4	1.3
全有機炭素(TOC)の量	mg (3以下)	0.3未満	0.3未満	0.3未満	0.36	1
硝酸態窒素 および亜硝酸態窒素	mg (10以下)	2.52	2.96	3.13	1.56	1.93
水位 (GLより)	m	-	3.8	-	-	-

4.12 現場見学会の開催

本工事は、着手時より多くの見学会を開催し、さまざまな方々に足を運んでいただいた。工事エリアに近接する地元の方や兵庫県内の高校生、地元企業、地元地方自治体と多岐にわたる方々に見学していただき、事業および工事に対する理解を深めていただいた。

また、海外からも毎年2回、JICA（独立行政法人国際協力機構）の方々を迎え、日本の工事技術の繊細さや安全管理の厳しさに触れていただき、親交を深めることができた（写真 - 11）。



写真 - 11 現場見学（JICA）

4.13 地元との協調

施工場所は、自然が豊かで静かな環境の地域であり、工事に伴って地域の方々に少なからずご迷惑をかけることが予想された。

このため、工事開始前には、地元説明会を初めとして、定期的な協力会や、工事内容やお願い事項の掲示、日々の声掛け運動などにより地元の方々のご理解を得られるよう活動した。

また、毎年の地域運動会（工事中は、2年にわたりグラウンドをお借りすることになった。）や耕作前に行われる用水路の清掃活動に参加して、お互いになんでも話合える雰囲気作りに努めた（写真 - 12）。



写真 - 12 地元の生命線である用水路の清掃

5. おわりに

本工事は、平成23年11月30日に無事、竣工を迎えることができた。これも、地元の関係者および地元住民の方々のご理解とご協力があったからこそであると、改めて、感謝し、お礼を申し上げます（写真 - 13, 14）。



写真 - 13 円山川下流上空から望む



写真 - 14 円山川より終点側を望む

今後は、残る工区の無事故無災害と和田山八鹿道路の早期開通を祈念いたします。

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート技術協会：外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準
- 2) プレストレストコンクリート建設業協会：2001年03月柱頭部マスコンクリート検討委員会報告書
- 3) プレストレストコンクリート建設業協会：2005年07月PC橋の支承および落橋防止システムに関する設計資料（案）（改訂第3版）

【2012年3月5日受付】