

阪和自動車道 紀ノ川橋耐震補強工事

— PC コンファインド工法を用いた橋脚補強 —

高橋 章*1・三河谷 美孝*2・古賀 弘毅*3・香田 真生*4

PC 鋼材巻立て工法の一つである PC コンファインド工法は既設橋脚の耐震補強工法であり、プレキャストパネル（以下、PCa パネル）および横拘束筋に PC 鋼材を使用する構造的な特徴がある。PC 鋼材を軸方向鉄筋の外周にらせん形状に配置し、所要のプレストレスを導入することで、既設橋脚および補強部に対する拘束（コンファインド）効果を高め、橋脚のじん性を向上させることができる。また、当工法は、材料として PCa パネルおよび水中不分離型の高流動コンクリートを使用すること、専門の潜水士により施工を行うこと、現地条件に応じた水質管理等を行うことにより、河川や海洋に位置する橋脚の耐震補強を仮め締切りを行わずに水中施工することが可能な工法である。

キーワード：PC 鋼材巻立て工法、PC コンファインド工法、水中施工、水質管理

1. はじめに

兵庫県南部地震以後、旧耐震基準で設計された既存橋脚の耐震補強が実施されている。鉄筋コンクリート橋脚の補強工法として、鋼板巻立て工法、RC 巻立て工法および繊維シート巻立て工法などが一般的に採用されている。

一方、PC コンファインド工法は、従来の RC 巻立て工法に施工面および構造面で付加価値を加えた工法である。橋脚のほとんどが水中部に位置する紀ノ川橋の耐震補強においては、水中部橋脚の補強方法が工期および工事費を大きく左右することから、水中施工が可能な当工法を橋脚補強工事に採用した。

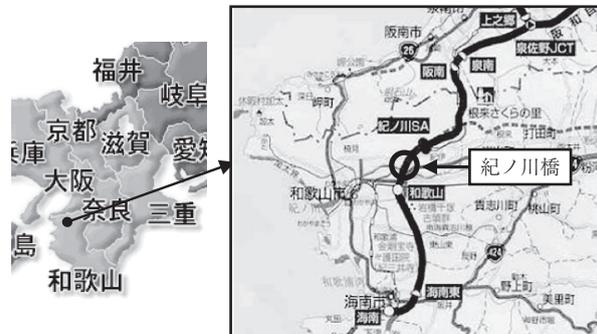


図 - 1 位置 図

2. 工事概要

2.1 施工条件

本工事は紀ノ川橋の P1～P9 橋脚のうち、P3、P7 橋脚を除く全 7 橋脚の耐震補強工事である。紀ノ川橋は、阪和自動車道の紀ノ川サービスエリアと和歌山インターチェンジ間に位置し、和歌山県北部を東から西に流れる一級水系の紀ノ川に架かる橋梁である。紀ノ川橋の位置を図 - 1 に示す。

施工位置は紀ノ川大堰上流に位置するため、河口からの資材運搬が不可能であること、また、P9 橋脚においては、既設橋脚から 2 m の位置にあるφ 900 工業用水ヒューム管を吊り防護し、供用したままで施工を行う必要があるなど、非常に厳しい施工条件であった。

また、環境面では上水道取水施設・工業用水取水施設が隣接し、鮎やモクズガニなどの水資源の漁場であるため、施工時にはとくに厳しい水質管理が求められた。



*1 Akira TAKAHASHI

西日本高速道路(株) 関西支社
和歌山管理事務所



*2 Yoshitaka MIKAWATANI

大日本コンサルタント(株)
大阪支社 CM技術室



*3 Hirotake KOGA

(株) ピーエス三菱 大阪支店
土木工部



*4 Maki KOUDA

(株) ピーエス三菱 大阪支店
設計センター

2.2 既設橋の橋梁諸元

紀ノ川橋は橋長647.3mの鋼(2+3+3+2)径間連続非合成箱桁橋であり、それぞれ独立した上下線が2柱式橋脚により支持されている構造である。本橋のP5既設橋脚断面図を図-2に示す。また、本橋の橋梁諸元を以下に示す。

橋名：阪和自動車道 紀ノ川橋
 橋長：647.3m 幅員：9.0m(上下線とも)
 設計年度：昭和46年(昭和49年度供用開始)
 適用基準：鋼道路橋設計示方書 昭和39年
 設計要領 昭和45年
 構造形式：
 (上部工) 鋼(2+3+3+2)径間連続非合成箱桁橋
 (下部工) 橋台 逆T式橋台〔鋼管杭基礎〕
 橋脚 2柱式橋脚〔鋼管杭・ケーソン基礎〕

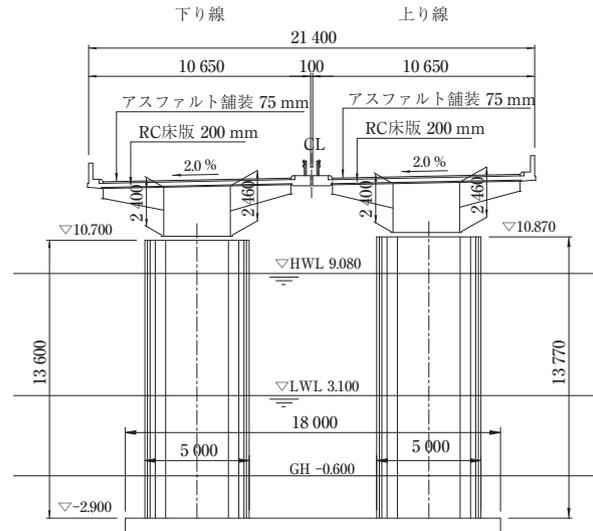


図-2 P5橋脚断面図(補強前)

2.3 工事内容

本工事の概要を以下に示す。

工事名：阪和自動車道 紀ノ川橋耐震補強工事
 工事場所：自) 和歌山県和歌山市大字直川
 至) 和歌山県和歌山市大字出島
 発注者：西日本高速道路(株) 関西支社
 和歌山管理事務所
 施工者：(株)ピーエス三菱
 工期：平成20年5月2日～平成22年8月19日

施工内容：

橋名	対象橋脚	施工内容
紀ノ川橋 (上下線)	P1	RC巻立てによる補強
	P2	PCコンファインドによる補強
	P4～P6	(PCaパネルおよびPC鋼材を用いた補強)
	P8, P9	

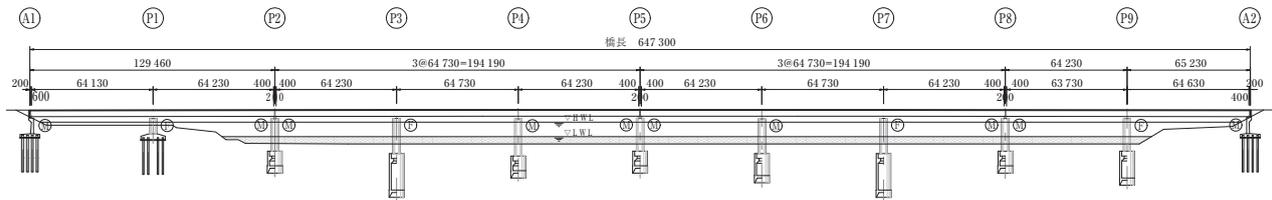


図-3 側面図(補強前)

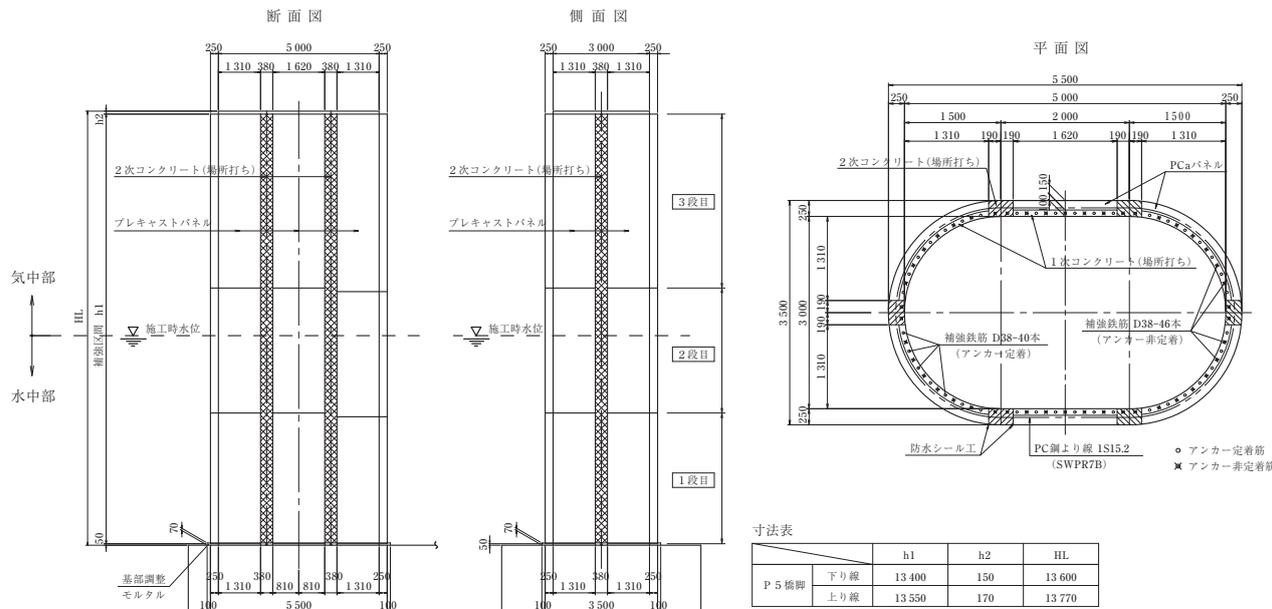


図-4 補強構造一般図

○特集／工事報告○

本工事は、陸上部のP1橋脚はRC巻立て補強、水中部のP2、P4～P6、P8、P9橋脚はPCコンファインド工法による補強を行う工事である。紀ノ川橋の側面図を図-3に、またP5橋脚の補強構造一般図を図-4に示す。

当工法による補強部は、各橋脚とも補強厚が250mmであり、そのうちPCaパネル厚が150mm、1次コンクリート厚が100mmである。また、1次コンクリート部にはD22～D38の軸方向鉄筋を配置し、D35～D38の鉄筋をケーソン天端に削孔した鉄筋孔に挿入し、水中硬化型エポキシ樹脂による定着を行った。一方、P9の軸方向鉄筋はD22であり、本鉄筋はケーソンに非定着の鉄筋である。

2.4 主な使用材料

本工事における、RC巻立て部およびPCコンファインド部の主な使用材料を表-1、2に示す。

表-1 RC巻立て部

項目	仕様	単位	数量	備考
コンクリート	24 N/mm ²	m ³	45.6	—
鉄筋	SD345	t	6.2	—

表-2 PCコンファインド部

項目	仕様	単位	数量	備考	
1・2次コンクリート	気中	30 N/mm ²	m ³	165.3	高流動
	水中	30 N/mm ²	〃	141.3	水中不分離
鉄筋	気中	SD345	t	44.2	場所打ち部
	水中	〃	〃	66.6	〃
PCaパネル	気中	30 N/mm ²	m ²	813.5	t = 150 mm
	水中	30 N/mm ²	〃	1 284.4	〃
PC鋼材	気中	1S15.2 mm	kg	7 391.1	P2, P4, P5
	水中		〃	7 188.1	
	気中	1S12.7 mm	kg	1 453.0	P6, P8
	水中		〃	1 237.6	

鉄筋、PC鋼より線、定着具、カップラーおよび支圧板は、施工箇所が水中および飛沫帯であることを考慮し、エポキシ被覆仕様とした。

2.5 耐震補強設計について

紀ノ川橋の耐震補強設計は、道路橋示方書V耐震設計編の耐震性能2を要求性能として設計を行った。設計方針は、a) 耐力が不足する橋脚を補強する方法、b) 免震化したうえで橋桁をダンパーを介して橋台に衝突させる方法、c) 免震化したうえで耐力が不足する橋脚を補強する方法などを検討した結果、「免震化したうえで耐力が不足する橋脚を補強する方法」を採用した。

一方、本橋の橋脚は、P1を除く全橋脚（P2～P9）が水中に設置されており、水中部橋脚の補強方法が工期および工事費を大きく左右することから、水中部橋脚の耐震補強は新工法を含めて検討した。その結果、水中部橋脚の耐震補強に、水中施工が可能なPCコンファインド工法を採用した。ここで、耐震補強設計の概要を図-5に示す。

なお、上部工の免震化および連結化は本工事の施工対象外である。

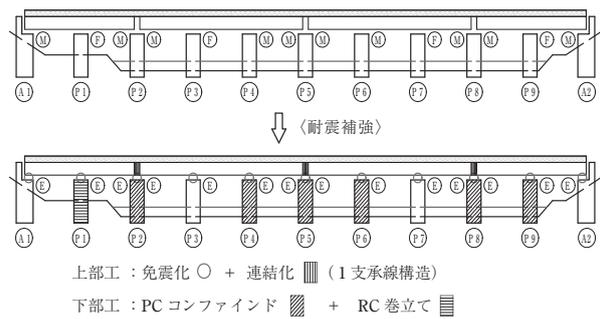


図-5 耐震補強設計の概要図

3. PCコンファインド工法の概要

3.1 RC巻立て工法との相違点

従来のRC巻立て工法とPCコンファインド工法には、以下の相違点がある。

(1) 施工方法

RC巻立て工法は、矢板等で橋脚まわりの河川を仮締め切りすることで気中施工を行うが、当工法は、PCaパネルおよび水中不分離コンクリートを使用し、また専門の潜水士による施工によって仮締め切りが不要となり、水中施工が行える。

(2) 構造

RC巻立て工法は横拘束筋として鉄筋を配置するが、当工法は横拘束筋にPC鋼材を使用する。また、PC鋼材に所要の緊張力を導入することで、既設橋脚および補強部に対する拘束効果（コンファインド効果）を高め、橋脚のじん性を向上させることができる。

当工法の補強概要図を図-6に示す。

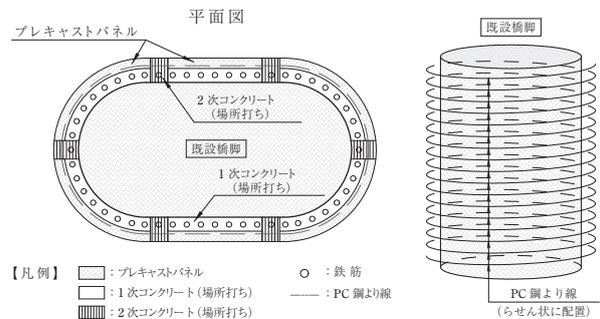


図-6 PCコンファインド工法の補強概要図

3.2 緊張力

緊張したPC鋼材を横拘束筋として配置した場合のコンクリートの応力度・ひずみ曲線は、過去の実験²⁾により確認されている。実験により、プレストレスを降伏強度の33.3% (1/3 σ_{py}) 導入すると、コアコンクリートの最大圧縮応力度およびそのときのひずみが増加し、さらに最大圧縮後の下り勾配が緩やかになることが確認されている。よって、PCコンファインド工法における緊張力は1/3 σ_{py}として定められている。ここで、横拘束筋が鉄筋の場合とPC鋼材の場合における、コンクリートの応力度・ひ

ずみ曲線概要図を図 - 7 に示す。

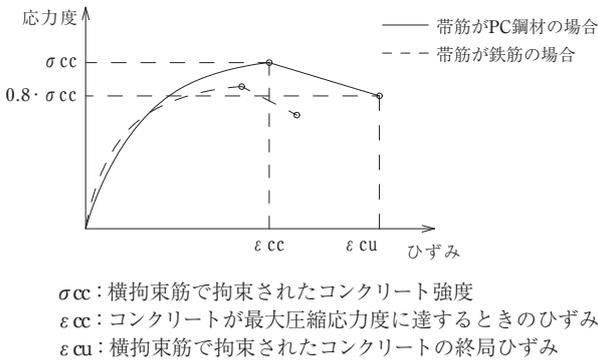


図 - 7 コンクリートの応力度・ひずみ曲線概要図

4. 施工概要

4.1 全体概要

PCコンファインド工法の施工対象となったP2, P4, P5, P6, P8, P9橋脚は河川内に位置するため、施工は非出水期間の10月16日から翌年6月15日までの8ヵ月間に行った。河床掘削・埋戻しを含む全体の施工工程を8ヵ月間のなかで完了できる施工数量とするため、一期あたりの施工橋脚数を3橋脚（1橋脚2柱*3=6柱）とし、第一非出水期（平成20年10月16日～平成21年6月15日）にP4, P5, P6橋脚を、第二非出水期（平成21年10月16日～平成22年6月15日）にP2, P8, P9橋脚をそれぞれ施工した。

施工中は各橋脚にユニフロート型のスパッド台船を配置し、水中施工のための潜水機器や発電機・コンプレッサーなどの施工機器や潜水士休憩所の設置場所として使用した。また、紀ノ川橋下流には紀ノ川大堰があり施工中の資機材は河口からの運搬ができないため、施工箇所に近い護岸に組み立てた仮栈橋を使用し、仮栈橋までを陸上輸送し、その後クレーンにて台船に積み替え、施工箇所までは水上輸送を行った。

第二非出水期の施工状況全景を写真 - 1 に示す。

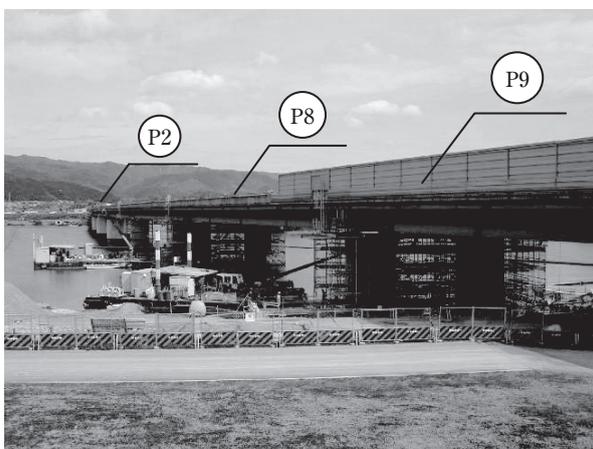


写真 - 1 施工状況全景

本工事は施工部の約50%が水中部での施工である。施工時水位に対する各橋脚の気中部と水中部の施工高さを表 - 3 に示す。

表 - 3 気中部と水中部の施工高さ

橋名	橋脚	施工高さ (m)			
		上り線		下り線	
		気中部	水中部	気中部	水中部
紀ノ川橋 (上下線)	P2	7.270	6.330	7.120	6.330
	P4	6.900	8.250	6.750	8.250
	P5	7.240	6.360	7.090	6.360
	P6	6.940	7.360	6.790	7.360
	P8	7.170	6.430	7.020	6.430
	P9	7.090	6.010	6.940	6.010

4.2 施工順序

PCコンファインド工法の施工順序は、図 - 8 に示すフ

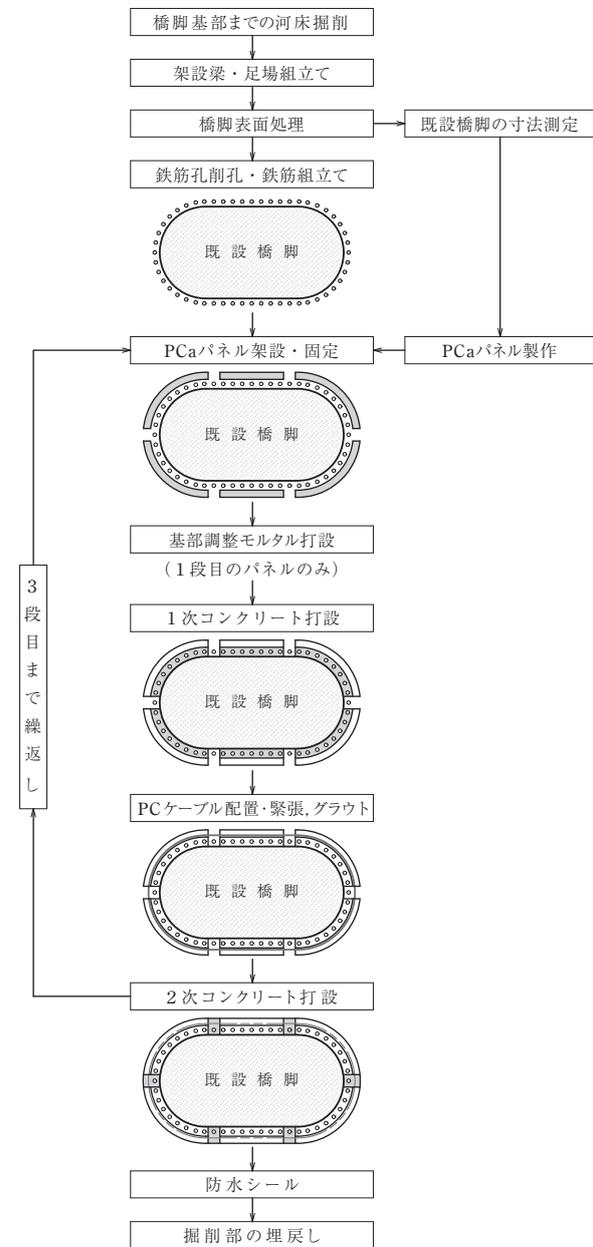


図 - 8 施工順序

○特集／工事報告○

ローで行った。

4.3 河床掘削

橋脚まわりの河床掘削作業は、台船の曳航が可能な水深2 m程度の水域はバックホウ台船により、また、水深の1 m未満の浅い場所は泥上掘削機（フロート付バックホウ）により行った。掘削状況を写真 - 2 に示す。一方、ケーソン天端から50 cm程度は既設構造物への損傷が無いようにサンドポンプにより掘削を行った。

掘削時の濁水流出対策として、汚濁防止膜や大型土のうを掘削施工箇所全域を囲むように、全水深にわたり展開しながら施工を行った。



写真 - 2 河床掘削状況

4.4 PCa パネル製作・架設・固定

(1) PCa パネル製作

PCa パネルには、架設や固定、コンクリート打設に使用するインサートや付属物を配置し、工場で製作した。

PCa パネルの製作にあたっては、河床掘削および足場の組立てが完了した後に、潜水士により既設橋脚寸法を測定し、PCa パネル製作および配置寸法に反映した。既設橋脚の高さ方向の寸法変化に対しては、3段のパネルのうち最上段のパネルの製作高さを変更して対応し、また既設橋脚の平面的な寸法変化に対しては、2次コンクリート幅を調整することで対応した。

(2) PCa パネル架設

PCa パネルの架設は阪和自動車道の本線走行車線を規制し、小旋回型の22 t クレーンにより行った。PCa パネルの架設状況を写真 - 3 に示す。既設橋脚にはあらかじめPCa パネル架設用の架設梁を設置し、クレーンで吊ったPCa パネルを架設梁に吊り変えた後、架設梁に仕込んだギヤードトロリーでPCa パネルを橋梁下まで人力で引き込み、その後チェーンブロックなどを用いて潜水士により所定の位置までPCa パネルを移動した。また、P9橋脚においては、既設橋脚から2 mの位置にある取水中のφ900工業用水ヒューム管を吊り防護したまま架設を行ったが、パネルの移動空間と潜水士の作業空間を合わせて2 m程度の空間を確保することにより、問題なく施工を行うことができた。

(3) PCa パネル固定

PCa パネルの固定状況を写真 - 4 に示す。PCa パネルの



写真 - 3 PCa パネル架設状況

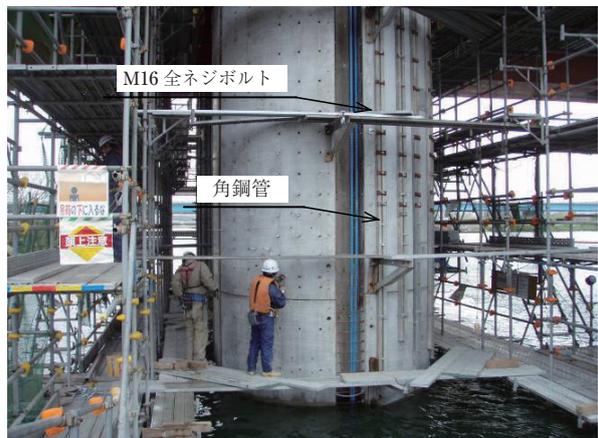


写真 - 4 PCa パネル固定状況

固定は、金属拡張式アンカーを既設橋脚に打ち込み、これをアンカーとして、M16のボルトにより固定した。アンカー孔はパネル据付位置を決定した後、PCa パネルの外側から製作時に配置した貫通孔をとおして既設橋脚に削孔した。その後、M16の全ネジボルトを取り付けた金属拡張式アンカーを削孔孔に打ち込み、60角鋼管を介してPCa パネルを固定した。PCa パネルは、1次コンクリート打設時には型枠となるため、高流動コンクリートの側圧に十分に耐え得るアンカー配置とした。

4.5 コンクリート打設

(1) 使用材料

1次コンクリートは、PCa パネルと既設橋脚の間に充てんするコンクリートで、D35～D38の軸方向鉄筋が150 mm間隔で配置された10 cmの空間に打設するため、高い自己充てん性が求められた。そのため、スランプフロー60 cm、粗骨材最大寸法15 mm、自己充てん性ランク1の高流動コンクリートを使用した。また、パネル1、2段の水中部においては後添加型の水不分離混和材を添加し、水不分離コンクリートとした。コンクリートの示方配合を表 - 4 に示す。また、2次コンクリートの配合は、1次コンクリートと同様とした。

表 - 4 コンクリートの示方配合

示方配合 (水中不分離コンクリート, パネル1, 2 段目)

粗骨材 最大寸法 (mm)	水セメント 比 W/(C+E) (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			水 W	セメント C	混和材		粗骨材 G	
					膨張材 E (kg/m ³)	S1 (海砂)	S2 (砕砂)	G1 (1505)
15	48.0	40.8	260	522	20	277	277	808

なお、混和剤として、不分離材 (g/m³)、流動化剤 16 260 (g/m³) を混和

示方配合 (高流動コンクリート, パネル3 段目)

粗骨材 最大寸法 (mm)	水セメント 比 W/(C+E) (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
			水 W	セメント C	混和材		粗骨材 G		
					石灰石 微粉末 P (kg/m ³)	膨張材 E (kg/m ³)	S1 (海砂)	S2 (砕砂)	G1 (1505)
15	48.0	51.5	170	334	146	20	410	410	777

(2) コンクリートの打設方法

コンクリートの圧送は、阪和自動車道の本線上から、定置型コンクリートポンプを使用して行った。コンクリートの打設手順および状況を図 - 9 および写真 - 5 に示す。コンクリート打設は、ポンプからの配管を PCa パネルの下部に取り付けたシャッターバルブに接続し、PCa パネルごとに行った。シャッターバルブは、施工中に配管の開閉が可能な配管接続器具で、ピストン玉送り装置と併用することで、PCa パネルに設置した打設孔から打設完了したコンクリートを漏洩することなく打設孔を閉栓し、次の打設

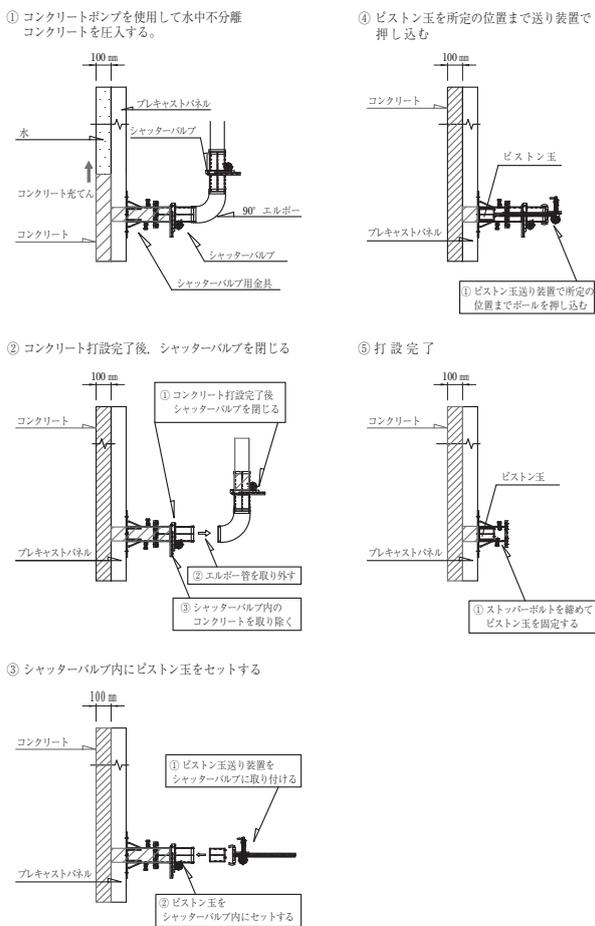


図 - 9 コンクリート打設手順

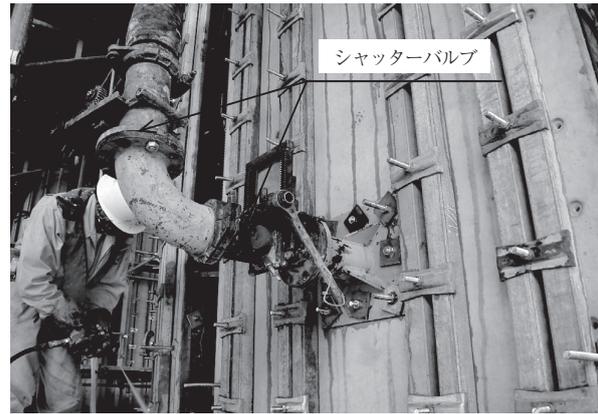


写真 - 5 コンクリート打設状況 (気中部)

箇所へ移動することができた。

4.6 緊張・グラウト

(1) 配線・緊張

PC 鋼より線は橋脚 2 周分の長さを 1 施工の切断長とし、水中部においては潜水士による人力作業で、気中部においては一般作業員による人力作業でそれぞれ PCa パネル内への挿入を行った。ここで、PC 鋼材の配置を図 - 10 に示す。PC 鋼より線は既設橋脚周囲に配置した PCa パネル内を 150 mm 間隔のらせん形状に配置し、緊張作業時には接続のためのカップラーおよび戻り防止のための定着具を 2 周ごとに設置した。

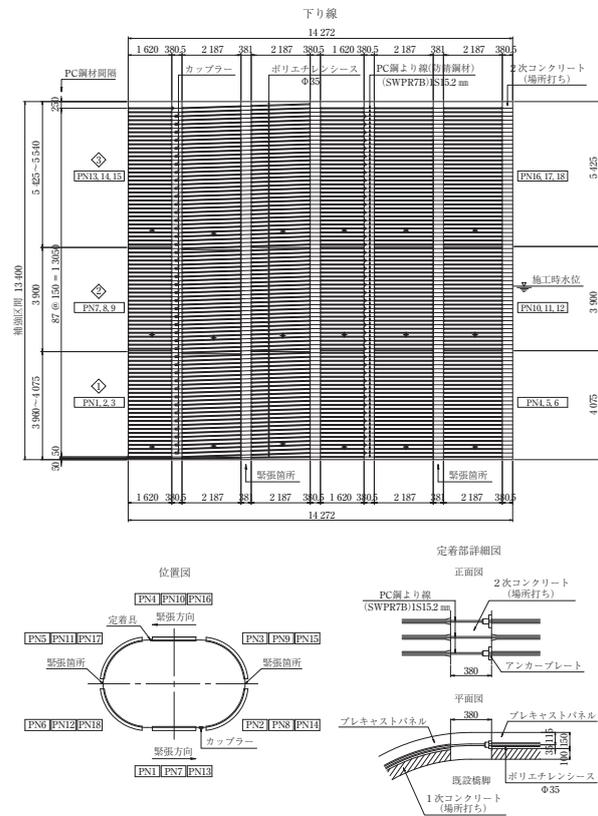


図 - 10 PC 鋼材配置図

○特集／工事報告○

緊張ジャッキは、PCコンファインド工法専用機材である双胴ジャッキを使用した。本ジャッキは、2対の油圧ジャッキと中央のPC鋼より線グリップ部で構成され、配線が完了したPC鋼より線の外側からジャッキの取付けができるように、片側にスリットが設けられた構造になっている。また、グリップ部は2枚割構造であり、所定の位置に配置したジャッキの背面から取付けを行うことができる。

緊張作業は、双胴ジャッキをパネル間の2次コンクリート部に配線されたPC鋼より線に取り付けて行い、らせん形状に配置されたPC鋼より線の緊張力を維持するために、2台の双胴ジャッキを用いて交互に緊張を行った。また、2台のジャッキ間の平均緊張力が、PC鋼材の降伏強度 σ_{py} の1/3となるように緊張力を導入した。緊張状況を写真-6に、緊張に使用した双胴ジャッキを図-11に示す。



写真-6 緊張作業

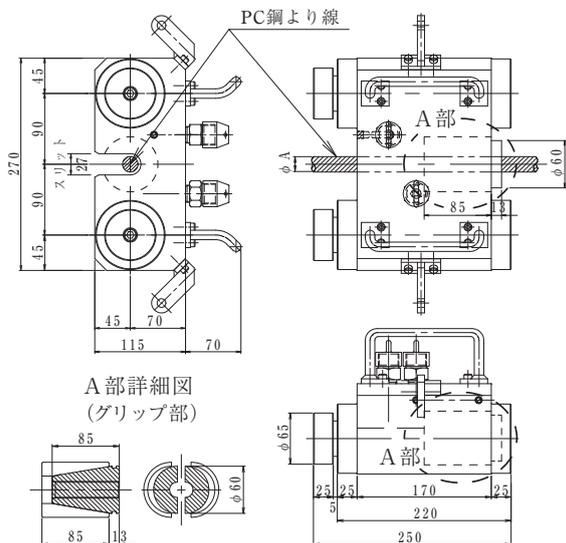


図-11 双胴ジャッキ (350 KN型)

(2) グラウト

PCaパネル間の2次コンクリート部分ではシースが連続していないため、グラウトにあたっては、各パネルの側面シース孔に耐圧ホースを挿入しパネル間をバイパスする措

置を行った。グラウトバイパスの状況を写真-7に示す。耐圧ホースの固定は水中施工を考慮して、グラウトの漏洩が無いように水中硬化型エポキシ樹脂でシールを行った。

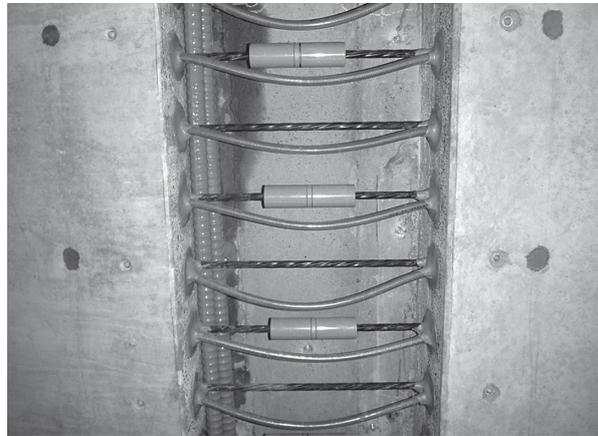


写真-7 グラウトバイパス状況

グラウトの配合は、水中・気中ともに普通ポルトランドセメントおよび高粘性・ノンブリーディング型の混和材を使用した一般的なものである。

グラウトは橋脚1周ごとに注入・排出を行った。水中部のケーブルについても作業性を考慮し、注入・排出用のホースは気中の作業足場上に引き上げ、すべてのケーブルの注入・排出作業を気中の足場上で行った。また、注入作業中は、潜水士により水中部のグラウト注入状況の確認を行った。

グラウトの注入完了後、グラウトの硬化が確認できた段階で、バイパス用に配置したパネル間の耐圧ホースはすべて切断撤去した、このとき耐圧ホース切断面のグラウト充てん状況より、グラウトが充てんされていることを確認した。

4.7 水質管理

本工事施工箇所は、上水道取水施設と工業用水取水施設に非常に隣接していること、また、紀ノ川は鮎やモクズガニなどの水資源の豊富な漁場であり、とくに施工期間である非出水期間の10月16日から翌年6月15日までの8ヵ月間は、鮎の遡上・産卵・降海時期と重なることから施工時にはとくに厳しい水質管理が求められた。

水質管理は、掘削による濁度や水質変化、コンクリート打設によるPh変化、汚濁防止膜により水の流れを閉塞することによるかび臭物質の発生などの項目について行った。水質測定位置は、施工の影響を受けない原水位置、汚濁防止膜の内外および上水取水口付近とした。また、水質管理目標値は紀ノ川の水質に関する各施設との協議により決定した。水質測定項目を表-5に示す。

河床掘削時に汚濁防止膜内のアンモニア性窒素・還元性物質・濁度が、管理基準値を超える値となる傾向があったが、汚濁防止膜の効果により外側には影響がなかった。また、アンモニア性窒素・還元性物質の値は気温の上昇とともに河川全体的に高くなる傾向があり、工事の影響ではな

表 - 5 水質測定項目

測定項目	試験内容	測定方法	管理目標値	測定パターン		
				A	B	C
かび臭物質	ジェオスミン測定および2-メチルイソボルネオール測定	厚生労働省告示第261号(平成15年7月22日)水質基準に関する省令の規定に基づき厚生労働大臣が定める方法	0.000010 mg/L 以内	○		
硫化水素	ヨウ素消費量	環境庁告示第9号(昭和47年5月30日)悪臭物質の測定方法又は厚生省・建設省令第1号(昭和37年12月17日)下水の水質の検定方法等に関する省令	5.0 mg/L 以内	○		
アンモニア性窒素	アンモニア性窒素測定	環境庁告示第64号(昭和49年9月30日)排水基準を定める省令の規定に基づく環境大臣が定める排水基準に係る測定方法	0.2 mg/L 以内	○		
還元性物質	亜硝酸性窒素測定	環境庁告示第59号(昭和46年12月28日)水質汚濁に係る環境基準について又は厚生労働省告示第261号(平成15年7月22日)	0.03 mg/L 以内	○		
pH値	水素イオン濃度	環境庁告示第59号(昭和46年12月28日)および簡易測定器による測定	5.8 ~ 8.6	○	○	
濁度	水の濁り	厚生労働省告示第261号(平成15年7月22日)および簡易測定器による測定	30 以内	○		○

※管理目標値は、汚濁防止膜外の測定位置での値。

	測定パターン		
	A	B	C
測定	公的機関にて測定	簡易測定器	簡易測定器
測定時間	午前10時	午前10時と午後3時	
測定頻度	掘削開始から5日間は毎日1回、以降、掘削作業がある場合は週1回、掘削作業がない場合は月1回実施する	コンクリート打設日および打設翌日に測定を行う	施工日ごとに測定を行う

いが、管理基準値を超える日があった。コンクリート打設による pH 測定値、汚濁防止膜設置によるジェオスミンや 2-メチルイソボルネオールのかび臭物質の測定値は、全工期を通じて管理基準値を超えることはなかった。

4.8 水中部の施工管理

水中作業の施工管理は、目視による直接の施工管理が困難であるため、遠隔操作型水中カメラおよび、潜水士の装着した CCD カメラを使用し、水中部の状況を気中足場上に設置したモニターに表示する施工管理体制を構築した。遠隔操作型水中カメラおよび水中部の施工管理状況を写真 - 8、9 に示す。



写真 - 8 遠隔操作型水中カメラ

また、潜水士はカメラのほかに水中電話を装備し、気中から指示した箇所での撮影や測定を行った。

5. おわりに

PC コンファインド工法(水中施工)による施工は、補強範囲の河床掘削・埋戻しなどの土工事と、耐震補強の本体工事の2つに大別できる。施工方法が確立し、比較的工程管理が容易な本体工事に対し、河床掘削・埋戻しなどの土工事は、河床の水深や掘削深度に合せた掘削機械選定や、土質に合せた掘削計画が必要となり、事前の調査により河川の状況を正確に把握しておくことが、かざられた期間において工程管理を行ううえでの重要な要因となることを改めて認識した。また、本体工事においては、既設橋脚

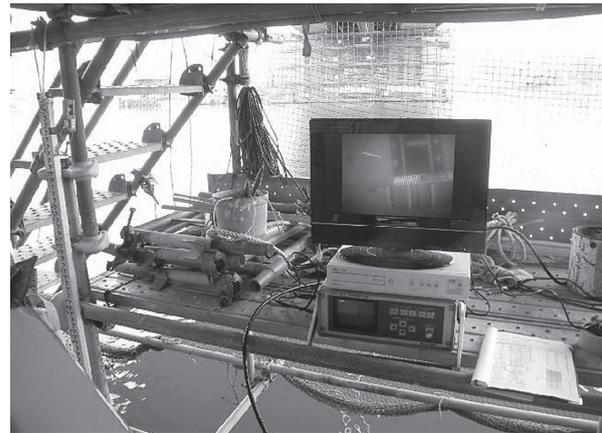


写真 - 9 水中部の施工管理状況

から 2 m 程度に隣接したφ 900 工業用水ヒューム管を吊り防護したままでの施工や、ケーソン施工時の止水壁が残った状態での施工など、計画段階では想定していなかった事項についても問題なく施工を行うことができ、既設条件の変化に対して柔軟に対応できる工法であることが分かった。今後、専門の潜水士による仮締め切りが不要な耐震補強工法として、従来工法では施工が難しかった箇所への適用など、既設インフラへの耐震補強に貢献できれば幸いである。

最後に、紀ノ川橋耐震補強工事は平成 22 年 8 月に無事しゅん功を迎えることができ(写真 - 10)、無事故無災害で工事を完工できたことを、ご指導、ご協力いただいた方々に深く感謝いたします。



写真 - 10 完成写真

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，pp.4-8, p.32, pp.160-161, 2002
- 2) 張建東，森拓也，川島一彦：PC 鋼材を帯鉄筋に用いた円柱コンクリートの応力-ひずみ関係，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19, No.2, pp.315-320, 1997

【2011 年 1 月 17 日受付】