

新名神高速道路 坊川第三橋工事の施工

— 大規模な工事用仮橋を使用した上下部一体工事 —

八重樫 武寛*1・山口 卓位*2・西川 伸之*3・新田 直司*4

坊川第三橋は、新名神高速道路の高槻 JCT～神戸 JCT 間（約 40.5 km）に建設中の橋梁であり、架橋地点は宝塚市北部の急峻な山間部に位置する。本工事は、上り線（PRC 7 径間連続ラーメン箱桁橋、652.3 m）と下り線（PRC 6 径間連続箱桁橋、628.5 m）からなる上下部一体の工事であり、急峻な山間部、狭隘な作業スペースのため、施工区間全域にわたってあらかじめ構築した仮橋（長さ約 800 m、面積約 9 800 m²）を使用した。本稿では、工事用仮橋の構築から基礎工、下部工、上部工の一連の施工について報告する。

キーワード：工事用仮橋、竹割り型土留め、大口径深礎杭、自己昇降式大型型枠、片持ち張出し架設

1. はじめに

愛知県名古屋市から兵庫県神戸市に至る延長約 170 km の新名神高速道路は、①中国自動車道・名神高速道路の渋滞解消、②大規模災害時の輸送ルート確保、③豊田 JCT～神戸 JCT 間の通行時間短縮、などの効果を期待されている。

坊川第三橋は、新名神高速道路で現在建設中の高槻 JCT～神戸 JCT 間（約 40.5 km）に施工中の橋梁であり、架橋地点は宝塚市北部の急峻な山間部に位置する（図 - 1）。

本工事は、上り線（PRC 7 径間連続ラーメン箱桁橋、652.3 m）と下り線（PRC 6 径間連続箱桁橋、628.5 m）からなる上下部一体の工事で、土留めは竹割り型土留め、基礎は大口径深礎杭、上部工の架設方法は、移動作業車 10 基転用による片持ち張出し架設工法である。また、急峻な山間部、狭隘な作業スペースのため、施工区間全域にわたって工事用仮橋をあらかじめ構築し、躯体の施工を行った。

坊川第三橋工事の橋梁概要を次頁に示す。また、側面図、断面図を図 - 2、3 に、主要工事数量を表 - 1 に示す。



図 - 1 坊川第三橋位置図

*1 Takehiro YAEGASHI：大成建設(株) 関西支店 坊川第三橋工事業所 工事主任
 *2 Takanori YAMAGUCHI：西日本高速道路(株) 新名神兵庫事務所 宝塚工事区 工事長
 *3 Nobuyuki NISHIKAWA：大成建設(株) 関西支店 坊川第三橋工事業所 作業所長
 *4 Tadashi NITTA：大成建設(株) 関西支店 坊川第三橋工事業所 工事課長

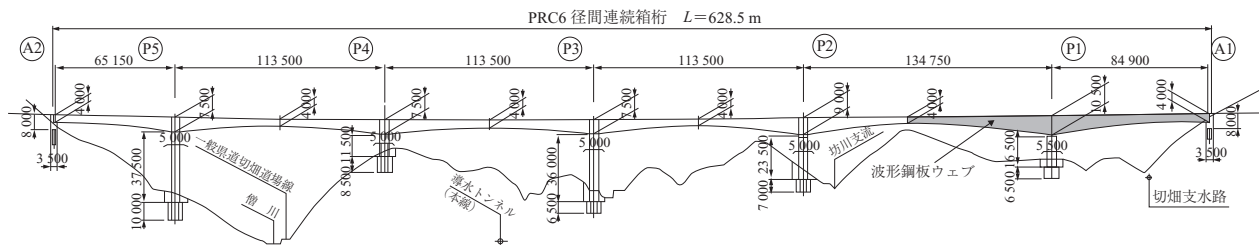


図 - 2 坊川第三橋（下り線）側面図

橋梁概要

橋梁名：坊川第三橋
 工事名：新名神高速道路 坊川第三橋工事
 活荷重：B活荷重
 道路規格：第1種 第2級
 橋長：上り線：652.3 m，下り線：628.5 m
 支間長：上り線：
 57.4+103.0+2@106.0+107.0+108.0+61.74(m)
 下り線：
 84.9+134.75+3@113.5+65.15 (m)
 有効幅員：10.56 m
 橋梁形式：上り線：PRC 7 径間連続ラーメン箱桁橋
 下り線：PRC 6 径間連続箱桁橋
 施工方法：片持ち張出し架設工法
 橋脚形式：柱式橋脚（中空・充実）
 基礎形式：大口径深礎杭（φ 8.5～9.5 m）
 土留形式：竹割り型土留め（φ 11.5～12.5 m）

表 - 1 主要工事数量

主要工種	工事数量	摘要
上部工：上り線	652.3 m	PRC 7 径間連続ラーメン箱桁橋
上部工：下り線	628.5 m	PRC 6 径間連続箱桁橋 (一部波形鋼板ウェブ箱桁橋)
有効幅員	10.56 m	
橋脚	11 基	11.5～51.5 m
大口径深礎杭	11 基	φ 8.5～9.5 m
竹割り型土留め	11 基	φ 11.5～12.5 m
工事用仮橋	約 9 800 m ²	φ 609.6 mm 鋼管杭
県道改良工	1 式	玉瀬第三・四橋の架設含む

2. 鋼管棧橋架設工法を用いた工事用仮橋施工

2.1 工事概要

急峻な山間部，狭隘な作業スペースのため，施工区間全域にわたって工事用仮橋をあらかじめ構築する必要があった。工事用仮橋は土運搬路部と作業構台部の2つに分かれている。土運搬路部は，主に搬入出車両の走路，および隣接する工区の盛土場への工事用道路として使用し，作業構台部は橋梁上下部工を施工する作業ヤードとして使用する。主な工事数量を表 - 2 に示す。工事用仮橋工のうち，土運搬路部の施工は隣接工区の工事用道路として使用するため，急速施工が求められた。そこで，本工事は急速施工が可能な鋼管棧橋架設工法（Sqc ピア工法）を採用することとした（写真 - 1）。

Sqc ピア工法とは，Safety（高所作業を少なくさせ，より安全な施工の実現），Quality（現地組立作業の低減による品質の向上），Challenge（施工性の向上による工期短縮）の頭文字より名付けられている工法である。

表 - 2 工事数量

種別	単位	数量	備考	
土運搬路	上部工	m ²	4 814	
	下部工	t	1 359	杭重量含む
	支持杭	本	205	
作業構台	上部工	m ²	4 826	
	下部工	t	1 371	杭重量含む
	支持杭	本	168	

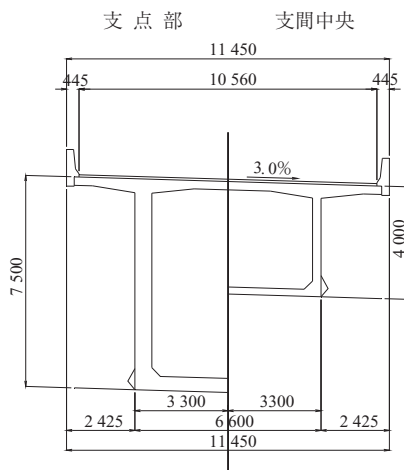


図 - 3 坊川第三橋 上部工標準断面図

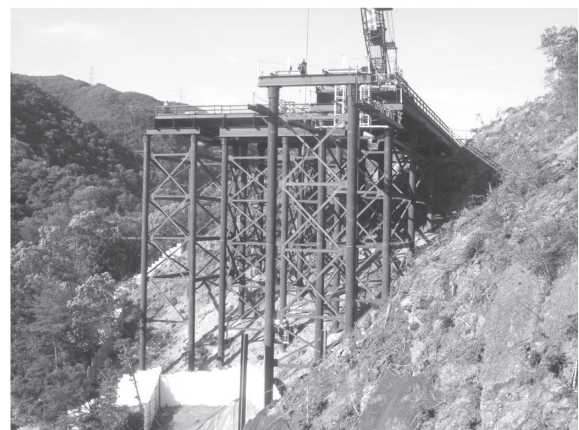


写真 - 1 工事用仮橋

2.2 構造形式

Sqc ピア工法の構造概略標準図を図 - 4 に示す。

仮橋の標準幅員は 6 m であり、基礎杭には $\phi 609.6$ mm の鋼管杭を使用し、杭の板厚は地形条件に合わせて 9.5, 12, 16 mm の 3 種類を採用した。杭の板厚を大きくすることにより、自立高さ（水平ブレースから基礎杭根固めまでの距離）を高くすることができ、本工事の急峻な山間に適応することができた。受桁には H 形鋼 594 × 302 を、主桁には H 形鋼 900 × 300 を使用している。また、受桁と基礎杭間には杭頭キャップという Sqc ピア工法で用いる特殊な鋼材を使用しており、杭上に杭頭キャップを設置することで、容易に受桁を設置することができる（写真 - 2）。基礎杭の根固めは、発注者用地内はモルタル充填、用地外は解体時に鋼管杭を撤去できるように砂充填とした。

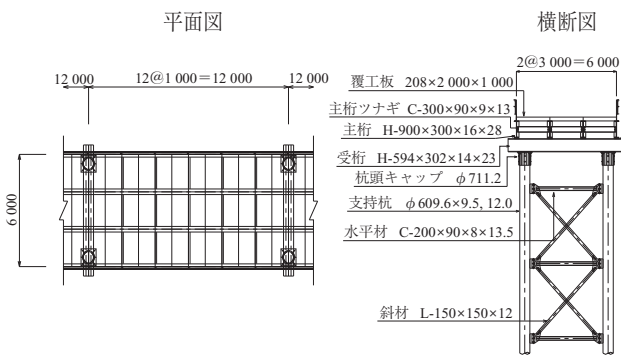


図 - 4 Sqc ピア工法構造概略図

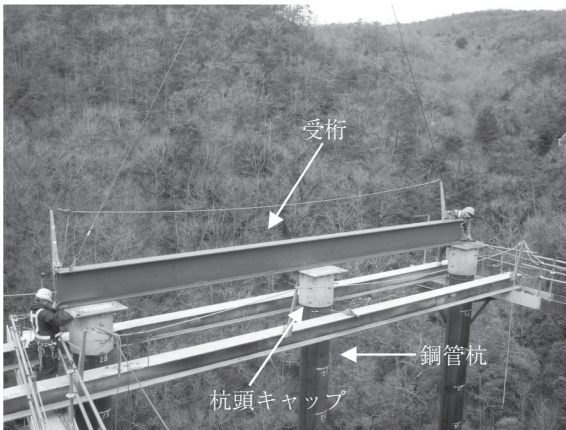


写真 - 2 杭頭キャップ使用状況

2.3 工程短縮効果

Sqc ピア工法は、支持杭に鋼管杭（ $\phi 609.6$ mm）を使用することで剛性が大きくなり、長支間化が可能となるため、支持杭数、ブレース材設置数量を削減することができる。ブレース施工は、あらかじめ複数段地組したブレース材をクレーンにて吊り上げ、自己昇降式ゴンドラにて取付け作業を行った（写真 - 3, 4）。これにより、在来工法に比べて、3 ヶ月の工程短縮が可能となった。また、支持杭の本数が削減できることで、杭打設で発生する振動が軽減されるとともに、飛来落下災害などのリスクが伴う重量物の揚重作業を低減でき、安全性が向上した。



写真 - 3 ブレース地組状況



写真 - 4 ゴンドラ使用によるブレース設置状況

3. 土留め工・基礎工

3.1 竹割り型土留め

構造物掘削の方法として、土地改変の範囲が少なく、本設構造物として機能を発揮する竹割り型土留めが採用されている。本工法は、現地盤状況に合せた坑口（リングビーム）を構築した後、ロックボルト打設とコンクリート吹付けを行い、壁を逆巻きにて構築しながら掘削を進めていくものである（写真 - 5）。



写真 - 5 施工状況（コンクリート吹付け）

本工種では、工事用仮橋を施工ヤードにして、クレーンでの資機材および土砂（バケット使用）の揚重により施工を進めた。

本工種の施工条件の特徴として下記2点がある。

①地山が急勾配（傾斜角48度）の箇所がある

（下り線P3）

②地山の表面が風化されており、落石のおそれがある

①に対する工夫として、急勾配のリングビームについて強度向上のため、コンクリートに非鋼繊維補強材（ポリプロピレン繊維）を添加して吹付けを行った。掘削時、特別な変位なども無く安全に施工を行うことができた。

②に対する工夫として、竹割り型土留め施工箇所の上部に落石防護柵および落石感知センサーを設置し、作業員の安全確保を行いながら施工を進めた。事前に浮石などを撤去したこともあり、とくに落石など無く安全に施工を行うことができた。

3.2 基礎杭

本工事の基礎はすべて基礎杭であり、大口径深礎（ ϕ 8.5～9.5 m H = 6.0～12.0 m）となっている。地質は岩盤（CL～CH）であり掘削方法として発破が採用されている（写真-6）。

本工法の土留め構造は、主にロックボルト打設とコンクリート吹付け併用または鋼製リング支保工設置とコンクリート吹付け併用の2種類となっている。

基礎杭の掘削方法は、竹割り型土留めと同様に、工事用仮橋を施工ヤードにして、クレーンでの資機材および土砂（バケット使用）の揚重により施工を進めた。

本工種の施工条件の特徴として下記2点がある。

①県道および民家などが施工箇所に近接している

（主に上り線）

②河川（坊川）が施工箇所に近接している（上り線P4）

①に対する工夫として、発破時の養生は坑口に鋼製の蓋を置くことで飛び石などの飛来を確実に防止できる対策を行った。

これにより、安全な発破の施工が実施できた。

②に対する工夫として、水中不分離モルタルの使用により湧水の軽減を図った。当該箇所は、施工ヤードの造成のため河川を一時的に埋める必要があった。埋戻しされた河川の脇での掘削のために、土留めとしてライナープレート工法を採用した。しかし、ライナープレート工法では河川からの地下水の流入による湧水を防ぐことはできない。そのため、ライナープレート背面へのモルタル充填について、止水性を高めるため水中不分離性モルタルを使用することとした。その結果、掘削時の湧水が軽減されて、確実にかつ安全に施工することができた。基礎杭の躯体構築時も湧水を軽減できたことで、コンクリートの品質への影響もほとんど無く、無事に施工ができた。

3.3 基礎杭の躯体構築施工に関わる工夫について

基礎杭の躯体構築方法は、掘削完了後に鉄筋を組み立て、組立て完了後コンクリート打設を行うものである。

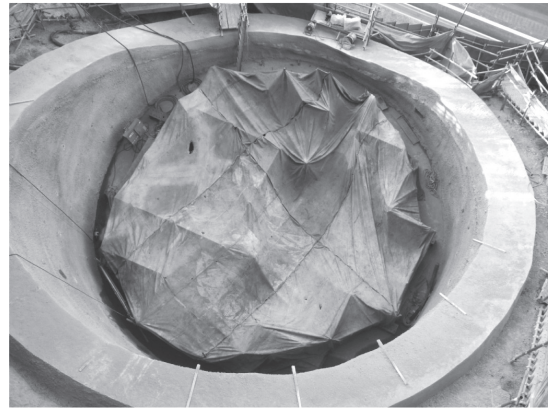


写真 - 6 施工状況（発破）

本工種の施工の工夫として下記2点がある。

①コンクリート打設の締固め改良として、中流動コンクリートを採用する（分離防止装置併用）

②迅速な鉄筋組立て方法として、NOPキャリィ工法を採用する

①について、大口径深礎杭内では鉄筋を活用した打設足場を設けることが困難な場合が多く、作業員が迅速に移動して十分に締固めを行うことは容易ではない。ゆえに、補助的な振動による締固めで高流動コンクリートと同等な充填性を得られる、中流動コンクリート（スランプ22 cm）を採用して、施工性と充填性の向上を図った。これによりコンクリートの品質に関するトラブルは無く無事施工することができた。

②について、主筋を除く、帯筋・せん断補強鉄筋を地上ヤードにてあらかじめ地組した後、クレーンにて一括建込みを行う方法である（写真-7）。高所足場上での作業を一部地上ヤードに置き換えることで、迅速な施工に加えて安全（高所作業の軽減）および品質（組立精度の向上）の改善もできた。

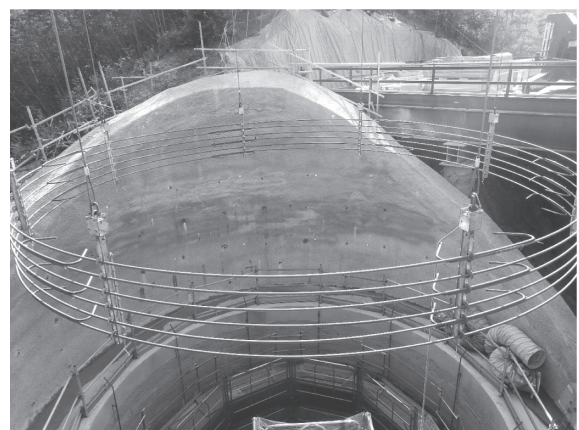


写真 - 7 施工状況（鉄筋組立て）

4. 自己昇降式大型型枠を用いた橋脚施工

4.1 橋脚施工概要

本工事の橋脚のうち、上り線P4橋脚は50 mを超える高

橋脚である。上り線 P4 橋脚は、高さ 51.5 m、断面が 5.5 m × 5.5 m、壁厚が 1.0 m であり (図 - 5)、工事数量は表 - 3 に示すとおりである。工程を短縮するために、1 ロットあたりの高さを 6.0 m とし、1, 2 ロットは在来工法で足場を組み立て橋脚を施工し、中空断面となる 3 ロット以降は内側および外側に自己昇降式大型型枠 (オートクライミングシステム、以後 ACS と記す) を用いて橋脚施工を行った。

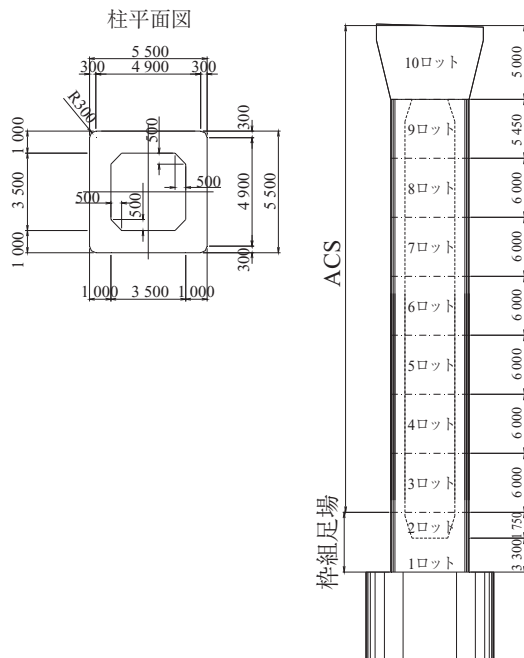


図 - 5 橋脚概要およびロット割付図

表 - 3 施工数量表

種別	単位	数量
コンクリート	m ³	1 088.2
型枠	m ²	1 673.7
鉄筋	t	303.3

4.2 ACS (オートクライミングシステム) 概要

ACS とは、型枠と足場を一体化させ、油圧ジャッキとレールにより本体を引き上げるシステムである。図 - 6 に ACS の構造図を示す。各足場の階層ごとに作業内容が分かれており、コンクリート面の仕上げ (P コン処理およびケレン) を 1, 2 層目、型枠組立てを 3, 4 層目、鉄筋組立てを 5, 6 層目にて行った。またコンクリート打設は 5 層目より行った。

ACS のリフトアップは、図 - 7 に示すように、レールクライミングと ACS クライミングを交互に行いながら進める。レールクライミング時は、はじめに、脱枠された新たなコンクリート面に、レール保持を目的としたシュー (上ロットシュー) をアンカーで固定する。次にジャッキにより、設置済のシュー (下ロットシュー) より反力をとり、レールをクライミングさせ、上ロットシューに保持させる。ACS クライミング時は、レールに付いている突起より反力をとり、ジャッキによりクライミングを行う。

コンクリートのリフト高さは、クライミングフォームの

タイロッド (セパレータ)、鉄筋継手の鉛直方向間隔、打設ロット数の減少を考え、6.0 m と決定した。高強度の総ねじ PC 鋼棒にセパレータの機能をもたせており、一般的なセパレータ使用本数の約 1/4 で済むため、施工性の向上につながった。また、型枠組立ては大型パネルと足場が一体化となっており、クライミング後に専用の歯車を回すことにより、簡単にセットすることができ、従来の型枠組立てに比べて、工程短縮を図ることができた。

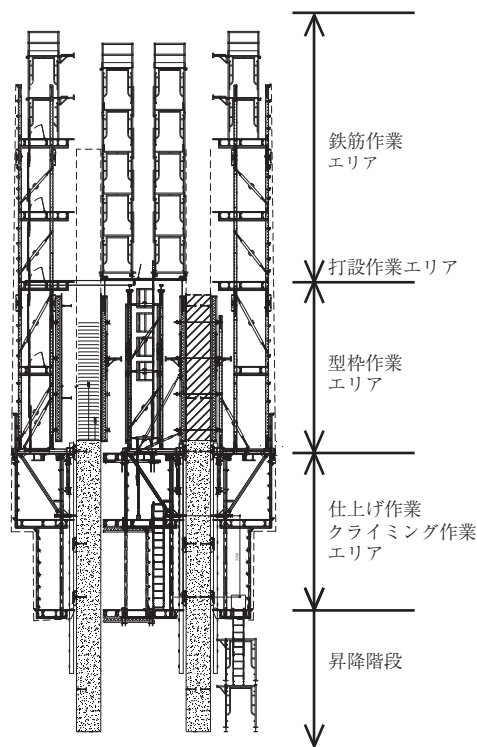


図 - 6 ACS 構造図

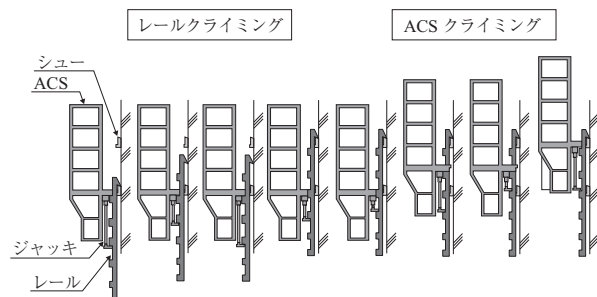


図 - 7 クライミング概略図

4.3 工程短縮効果

本工事の ACS を使用した施工サイクル (1 ロットあたり) は、従来工法に比べて約半分の 6 日/1 ロットである (表 - 4)。これは、足場組立てが不要になり、なおかつ型枠組立ての工程短縮効果が大きいためと考えられる。ただし、ACS の組立てと解体に合せて約 1 ヶ月を要することから、高橋脚であり、かつ ACS の転用が可能な現場ほど工程短縮、コスト削減につながる工法といえる。

表 - 4 橋脚工サイクル工程表

工種	日数						施工数量 (1リフト)
	1日	2日	3日	4日	5日	6日	
鉄筋工	●	●	●				30 t
型枠工			●	●	●		172 m ²
クライミング			●	●	●		5 基
打設					●	●	92 m ³
レイタンス処理	●	●					18.3 m ²

5. 上部工

5.1 仮支承および仮固定工

本工事の11橋脚のうち、8橋脚はゴム支承が設置される構造である。また、上部工の架設方法は側径間部を除くすべての支間において張出し架設工法を用いる。したがって、ゴム支承を設置する橋脚からの張出し架設では、施工中において、主桁の自重や左右のアンバランスモーメント、地震時の断面力などの作用力を橋脚に確実に伝達させるために、主桁支点部と橋脚頂部を仮固定し、一体構造とする必要がある(仮固定工)。本橋の場合、主桁支点部と橋脚頂部をPC鋼材によって緊張することで仮固定を行っている。

また、仮固定を行う場合、所定の緊張力によって本支承に有害な反力が作用しないように、本支承の両脇に仮支承を設置し、固定力を分散させている。本橋の場合、この仮支承にはコンクリートブロックおよびサンドジャッキの積層構造を用いた(図-8)。

サンドジャッキとは仮支承(コンクリート)と主桁支点部の間に設置した仮支承構造の一部である。張出し架設による各種荷重によって仮支承には大きな荷重が載荷された状態になる。サンドジャッキは張出し架設の終了後、仮支承を撤去する際に抜重するための仮設物である。サンドジャッキは鋼製の上蓋、下蓋から構成される箱型の形状であり、所定の高さで組み立てたのち、内部に4号けい砂を充填したものである。仮支承撤去時には、エアコンプレッサーなどにより内部のけい砂を除去することによって仮支承に載荷された荷重を抜重することができ、仮支承(コンクリート)を容易に撤去することが可能となった。仮支承の設置状況写真を写真-8に示す。

PC鋼材による仮固定では、本工事の場合、PC鋼棒とPC鋼より線を併用した。図-9にPC鋼より線による仮固定状況を示す。U字型のテンドンを採用し、橋脚部では定着用ループ管(STK400 φ165.2)を用い、柱頭部では鋼

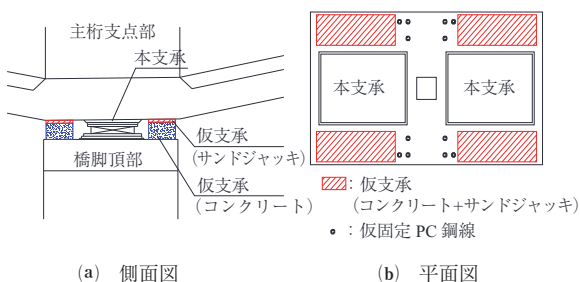


図 - 8 仮支承工



写真 - 8 仮支承設置状況

製スパイラルシース管(φ105/112)を用いている。また、PC鋼より線にはSWPR7BL 27S15.2を採用した(特開平7-71007)。設置したループ管、シース管にPC鋼より線を配線し、柱頭部橋面の仮固定定着ブロックに設置された定着具によりPC鋼より線の定着を行った。PC鋼より線の挿入はコンクリート打設後、クレーンにより一括挿入した(写真-9)。仮支承と同様に、張出し架設が完了したのち、仮固定PC鋼より線も撤去するが、U字型テンドンを使用することでプレストレスの開放およびPC鋼より線の撤去を容易に行うことが可能となった。

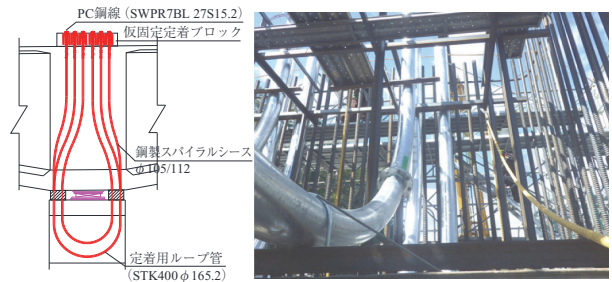


図 - 9 仮固定PC鋼より線の配置状況



写真 - 9 仮固定PC鋼より線の挿入・緊張状況

5.2 上部工(片持ち張出し架設)

(1) 仕様

本工事はコンクリートウェブ区間と波形鋼板ウェブ区間の2種類の構造形式を有しており、張出しブロック長は、コンクリートウェブが2.5~4.0m、波形鋼板ウェブが3.2~4.8mである。張出し施工はサイクル施工であり、本橋では、1サイクル7日~10日で施工を進めた。また、工事最盛期には、合計10基の移動作業車を同時に使用して施工を進めた。

(2) コンクリート

コンクリート種別は、張出し施工部は40-15-20Hであるが、中央閉合部については、40-15-20N(膨張剤入)を採用して温度ひび割れ抑制に努めた。

○ 工事報告 ○

コンクリート打設は、ポンプ車の配置場所に制約があったことから、配管を用いた打設方法を採用している。

本橋では、張出し両側のブロックを同日中に打設することから、張出し長が長くなるにつれて、配管の盛替えに時間を要する。したがって、本橋では、コンクリート配管下に設置できるキャスター付きの架台を制作し、盛替え作業の省力化を実現した（写真 - 10）。



写真 - 10 コンクリート配管盛替状況

(3) 波形鋼板ウェブ

波形鋼板ウェブ構造の場合、コンクリートウェブ構造に比べて、ウェブ鉄筋の組立て、型枠組立てが省略でき波形鋼板の据付・接合のみとなることから現場作業の省力化が可能となる（写真 - 11）。また、1ブロックあたりの重量が軽減されることから、張出し施工長を長くすることができる。

また本橋の波形鋼板には、Al-Mg 溶射による防錆処理を施しており、従来工法に比べて防食性が向上している。防食性が向上することにより、ライフサイクルコスト低減およびミニマムメンテナンスを実現している。



写真 - 11 波形鋼板ウェブ設置状況

(4) PC 鋼材の緊張

本工事の PC 鋼材種別の詳細は下記のとおりである。

内ケーブル：12S15.2

外ケーブル：19S15.2（重鉛めつきマルチケーブル）

横締ケーブル：1S21.8（プレグラウト）

緊張力の導入は、PRC 構造における、最重要事項であることから、本橋では以下の方法により導入緊張力の過不足防止に努めている。

- 緊張管理ソフト（EXCEL）を作成し、最終緊張力の自動算出を行い、手書き時の人為的影響を排除する
- 外ケーブルについて、EMセンサーの設置を行い、緊張力のリアルタイム確認・施工完了後の導入力確認を可能にしている（写真 - 12）

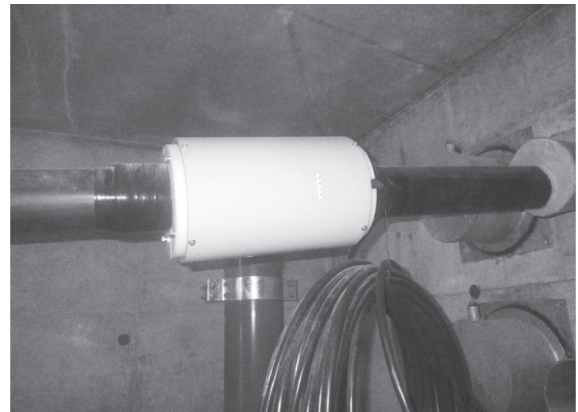


写真 - 12 EMセンサー設置状況

5.3 PC 鋼材の品質確保

(1) 内ケーブル

本工事は、条長 100 m を超える内ケーブルを有しており、グラウトの先流れや気泡の巻込みによる空気溜まりが発生する可能性がある。したがって、以下の方法によりグラウト充填性を高め、PC 鋼材の防食性向上、部材コンクリートとの一体化向上に努めた（図 - 10）。

- 内ケーブルについて超低粘性グラウトを採用し、PC 鋼より線間などの狭隘部の充填性を向上させる
- 高粘性グラウトを 2 m 分先行注入し、後追いで超低粘性グラウトを注入することで、流動性の高い超低粘性グラウトの先流れを防止する
- 注入時に真空ポンプを併用し、残留空気泡を縮小させ、充填性を向上させる

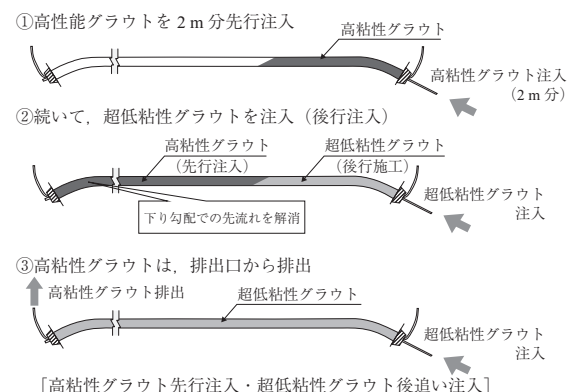


図 - 10 グラウト注入ステップ図

(2) 外ケーブル

本工事では、外ケーブルについて、亜鉛めっきマルチケーブルを採用している（写真 - 13）。亜鉛めっきマルチケーブルの特徴は以下のとおりである。

- 各素線に溶融亜鉛めっきが施されており、所定の本数（19S15.2）を束ねたあと、外側を高密度ポリエチレンで一括被覆するので、多重防食構造となり耐食性に優れる
- シース管の配置や全長グラウトが不要なことから、施工の省力化が図れ、品質の安定化が実現できる

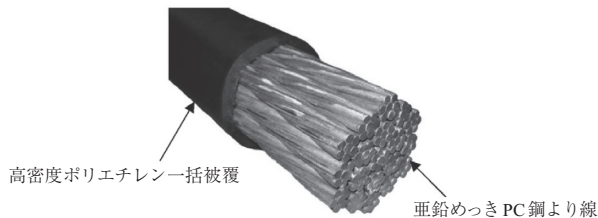


写真 - 13 亜鉛めっきマルチケーブルの構成

PC鋼材の挿入は、柱頭部付近にあらかじめ設けていた施工開口から、ウインチを用いて引き込むことにより行った（写真 - 14）。挿入作業の際、偏向管や設置高が低い場所でケーブル被覆部が損傷しないように、特殊治具を製作し保護に努めた（写真 - 15, 16）。



写真 - 14 外ケーブル挿入状況

写真 - 15 挿入用特殊治具その1
（偏向管部の保護）写真 - 16 挿入用特殊治具その2
（設置高低い箇所部の保護）**6. おわりに**

11月末には仮橋の凍結が始まり、慣れない雪にも何度か悩まされた。振り返ると、多いときには一日あたり最大400台の他工事のダンプを通行させながら工事を進めたり、県道上空での夜間工事が続いたりとなつねに気の抜けないものであったが、地域の皆様方や関係各位のご理解とご協力により、下り線は平成28年4月に、上り線は同年12月に張出し架設の最終閉合を迎えることができた。平成29年8月には竣工の予定である。

最後に、本橋の工事に携わってくださった皆様に対し、心より感謝の意を表します。

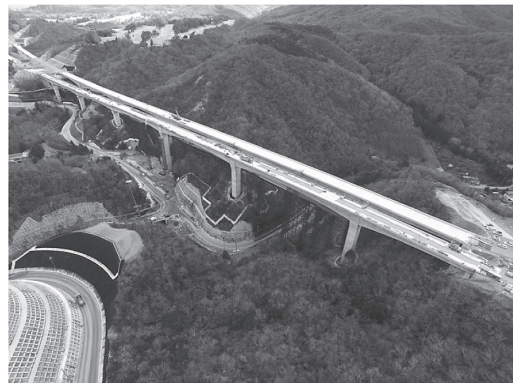


写真 - 17 施工中写真（H29年2月撮影）

参考文献

- 1) 福田雅人, 岩島 保, 細居清剛, 西川伸之: 外ケーブルに用いる「亜鉛めっきマルチケーブル」の適用について, 土木学会第69回年次学術講演会, vol.69, V-014
- 2) 細居清剛, 西川伸之, 堀井智紀: 亜鉛めっきマルチケーブルの耐久性について, プレストレストコンクリート, vol.56, No.3, 2014

【2017年2月28日受付】