

高橋脚を有する PC3 径間連続箱桁橋の施工

— (仮称) 新安家大橋 —

Construction of 3 spans continuous prestressed concrete box girder bridge with high piers

立花勝利*1 細野順平*2 上田高博*3 角田晋相*4

概 要

本工事は、三陸沿岸道路（普代～久慈区間）のうち安家川を跨ぐ 231m の PC3 径間連続箱桁橋の上部工工事である。地域環境としては、安家川には「さけ・ます孵化場」があり、河川への影響がないように配慮が必要である。また夏には「やませ」と呼ばれる冷たい湿った風が海から吹く地域である。

本工事は、施工中の品質確保が重要な管理ポイントであったが、パイプクリーニング、採光性パネル、超低粘性グラウト等の技術の採用により、コンクリートのひび割れ防止、正確なプレストレス導入、および確実なグラウト充填を実施することができた。また、張出し架設中の水平力を仮固定コンクリートの接触面の摩擦力で対応させるため、仮固定コンクリートの平面寸法が大きくなっていたが、ウォータージェット工法の採用により安全かつ確実にこれを撤去することができた。ここでは、(仮称) 新安家大橋の高橋脚を有する PC3 径間連続箱桁橋上部工の施工に関して報告する。

key words : PC3 径間連続箱桁橋、橋梁上部工、張出し施工、品質管理、非対称張出、仮支承工

1. はじめに

本工事は、三陸沿岸道路（普代～久慈区間）のうち安家川を跨ぐ 231m の PC3 径間連続箱桁橋の上部工工事である。

本稿では、新安家大橋の高橋脚を有する PC3 径間連続箱桁橋上部工の施工に関して、コンクリートのひび割れ防止、正確なプレストレス導入、確実なグラウト充填、および柱頭部仮固定コンクリートの撤去方向について報

告する。

2. 橋梁概要

2.1 工事概要

本橋の全体一般図（図-1）および設計条件（表-1）、全体工程表（表-2）、上部工断面図（図-2）を示す。

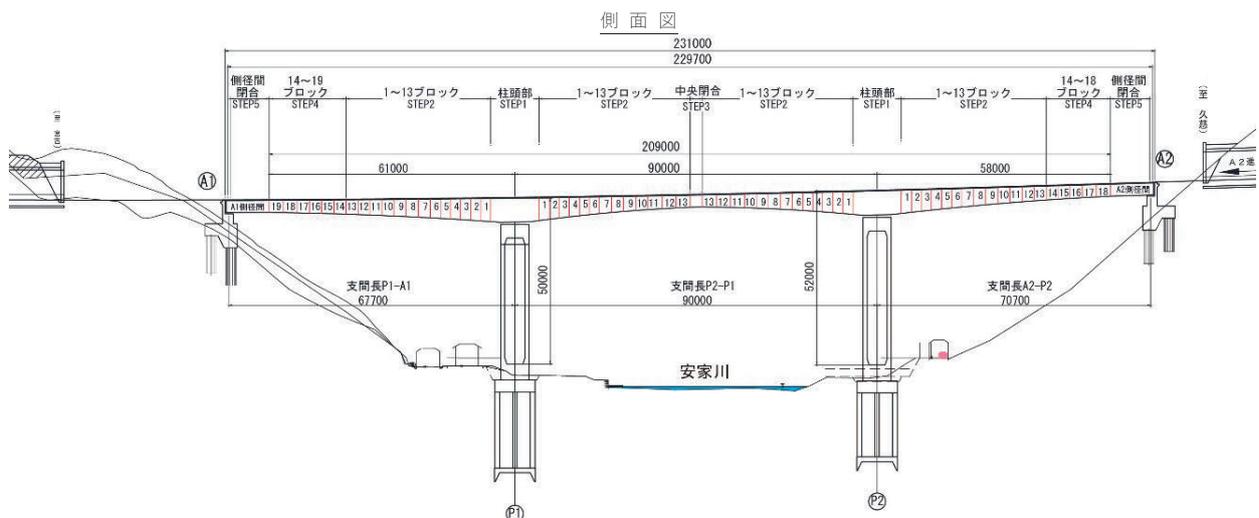


図-1 全体一般図

- *1 Katsutoshi TACHIBANA 東北支店土木部 課長
*2 Junpei HOSONO 東北支店土木部 作業所長
*3 Takahiro UEDA 土木事業本部技術部 課長
*4 Shinsuke TSUNODA 技術本部技術研究所 主席研究員

表-1 設計条件

設計条件		
路線名	三陸沿岸道路 (菅代~久慈)	
道路規格	第1種 第3級 B規格	
設計速度	V=80km/h	
橋長	231.000m	
支間長	70.750m+90.000m+67.750m	
幅員	有効幅員	12.000m (1.750m+3.500m+1.500m+3.500m+1.750m)
	総幅員	12.780m
斜角	A1橋台: 90° 00' 00"	
	A2橋台: 90° 00' 00"	
平面曲線	R=∞	
縦断勾配	1.128% ~ 3.000%	
横断勾配	拌み勾配 2.000% 2.000%	
形式	上部工	PG3径間連続箱桁橋
	下部工 (基礎工)	A1橋台: 逆T式橋台 (深礎杭) A2橋台: 逆T式橋台 (深礎杭) 橋脚: 壁式橋脚 (ニューマチックケーソン)
耐震条件	活荷重	B活荷重
	支承	免震支承
	耐震性能	耐震性能2
	需要度区分	B種の橋
地域補正係数	A2地域 (Cz=1.0, CIz=1.0, CIIz=1.0)	
	地盤種別	I種 (橋台)・II種地盤 (橋脚)
雪荷重	W=1.0kN/m2	
使用材料	コンクリート	主桁: σck=40N/mm2 壁高欄: σck=30N/mm2 (半壁高欄)
	PC鋼材	躯体・底版: σck=24N/mm2 SWPR7B, SWPR19
	鉄筋	上部工: SD345, 下部工: SD345
	支持層	花崗岩
適用示方書	道路橋示方書・同解説 (H24.3) 日本道路協会	

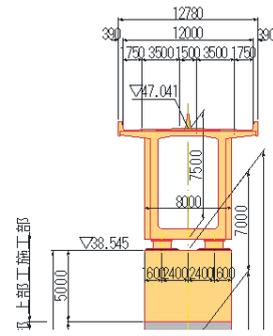


図-2 上部工断面図

2.2 本工事の特徴

本橋は、地形および交差道路の条件により、橋脚の設置位置を橋梁中心に寄せなければならず、構造上適切な支間バランスに対して中央径間が短く、側径間が長いプロポジションとなっている。これにより、各橋脚からの張出し架設ブロックの数は、中央径間よりも側径間で5、6ブロック多くなっている。また、左右の主桁長の差から生じる橋脚の回転モーメントを軽減するために、比較的高い橋脚を有しているにも関わらず、ラーメン構造(橋脚と主桁を剛結する)ではなく、連続桁構造(橋脚上の支承で主桁を支持する)が採用されている。

連続桁構造の場合、張出し架設中の主桁の回転や水平移動を拘束しておく必要があり、これを一般的に「仮固定」と称している。この仮固定の構造において、水平移動に抵抗するための方法としては、主に2種類の方法(①複数本のH形鋼を上下部工に埋設して連結する、②仮支承コンクリートの上下面の摩擦で抵抗する)のいずれかが採用されるが、本橋では設計段階で、施工性の観点から②の方法が採用されている。しかし、4個の仮支承コンクリート(平面寸法 2000×7000、厚さ 800~900)を地上約 40mの橋脚上で解体することは、作業床の確保や高所でのコンクリートの解体、引出し、仮置き、荷下ろし等、施工方法や安全性確保の面で課題が多く、より入念な施工計画が必要となった。

また、隣接するトンネル工事が施工する橋台の災害等による引き渡し時期の変更、関連工事との工程調整により、側径間閉合までに時間を要する状況となった。

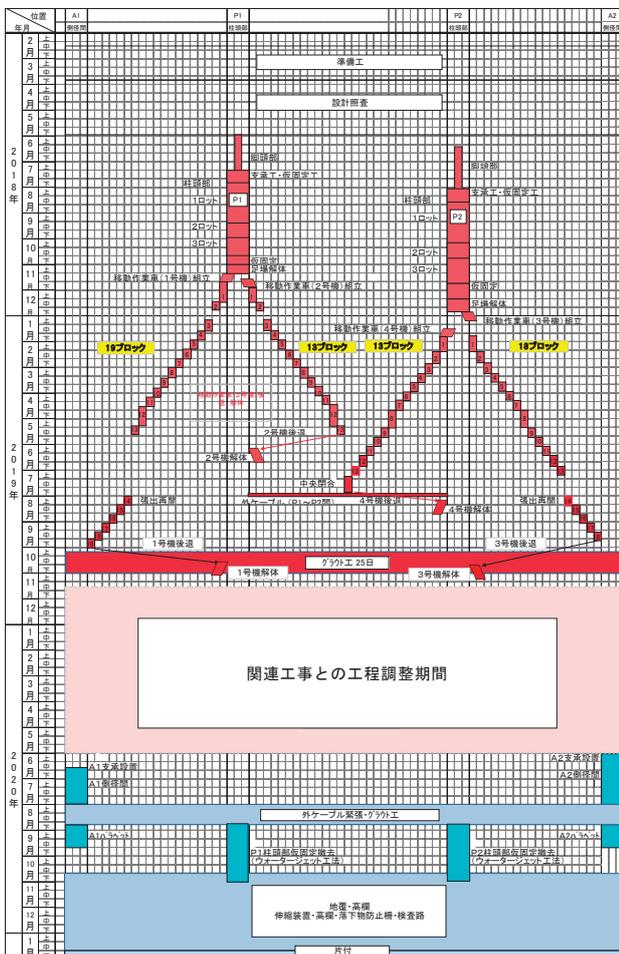
3. 施工

3.1 施工順序

上部工は、移動作業車を用いた片持ち式張出し架設工法により施工し、中央閉合の後に側径間を閉合する施工順序により行った(図-3、写真-1)。

P1 橋脚からの張出し施工は、A1 側径間側 19BL、中央径間側 13BL の非対称なブロック割であり、P2 橋脚から張出し施工についても、中央径間側 13BL、A2 径間側 18BL

表-2 全体工程表



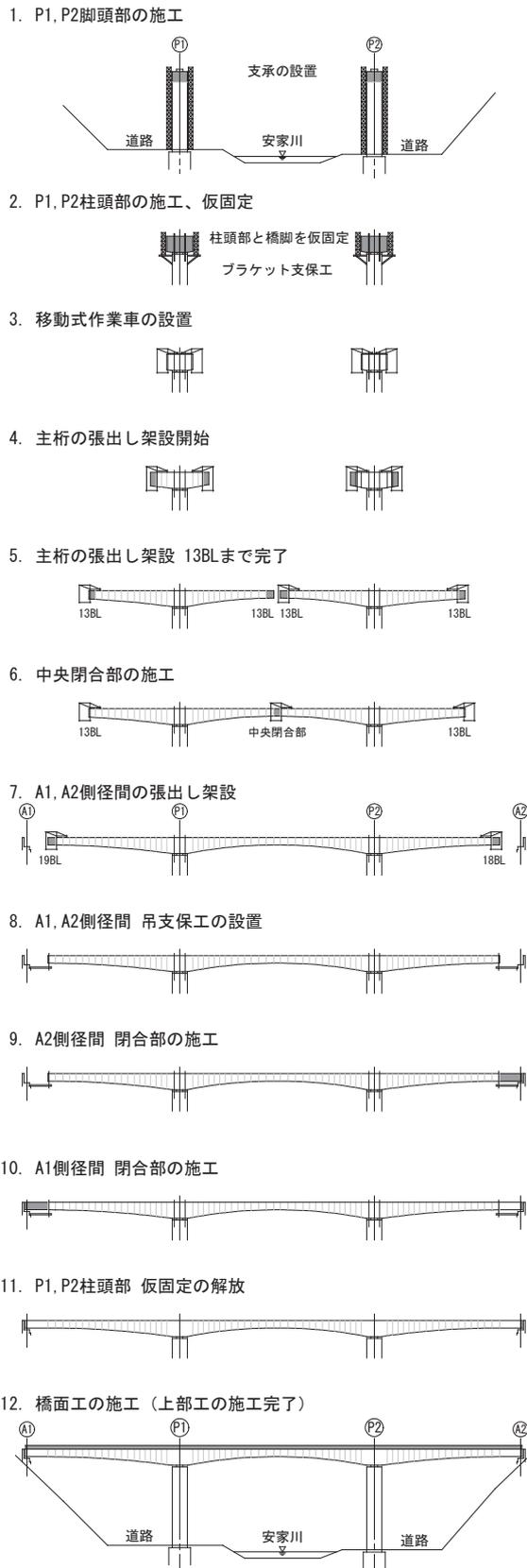


図-3 施工順序図

の非対称なブロック割である。

施工順序としては、張出し施工 13BL 施工後に、中央閉合を行う。その後、側径間側の残り BL を張出し施工し A2 側径間、A1 側径間の順に閉合を行った。



写真-1 張出し施工状況

橋脚完成後に、仮固定コンクリートを撤去し、橋面工の施工を行った。

3.2 柱頭部の施工

橋脚が主桁を支持する柱頭部は、橋梁において重要な部位である。特に、本橋では施工時の非対称な張出し架設の際に大きなアンバランスモーメントが作用することから、これを強固な仮固定構造により橋脚と主桁を確実に剛結構造とするためには、柱頭部コンクリートの品質確保が重要であった。

柱頭部の桁高は 7.5m と高く、横桁内に空洞のないマスコンクリートである。打設時期は 5 月～7 月 (夏期) で、水和熱による温度ひび割れが懸念された。また、打設高さが大きいので、ブリーディング水の量も多くなり、表層の緻密性の低下や沈降ひび割れの発生、内ケーブルのシース管 (75A) や外ケーブルの保護管 (150A) の下面に空隙が生じること等が懸念された。上部工には早強コンクリートを使用するため、地上 40m を超す高所の縦筋や仮固定の PC 鋼棒が林立するなかで、ポンプ車ブームでの筒先移動の困難さから打設に時間を要し、コールドジョイントを生じさせてしまう懸念もあった。

そこで、コンクリートの充填性を確保して緻密性を向上させるとともに、ひび割れや脆弱部の発生を抑制し、柱頭部に関する施工中の安全性および供用後の耐久性を確保するため、下記の対策を行った。

①コンクリートの緻密性向上・沈降ひび割れの抑制

沈降ひび割れ、温度ひび割れの防止対策として、打設を通常の 2 リフトから 3 リフトに細分して施工を行い、1 リフトあたりの打設高さ、打設量を約 30% 減少させた。これにより、ブリーディング水の量も減少させることができ、表層の緻密性の確保や沈降ひび割れの抑制を図った。

②配管類下面の空隙防止

柱頭部には多数の配管 (内ケーブルのシース管、外ケーブルの保護管) が埋設されているが、これらの管の下面の空隙対策として、管下面に充填検知センサーを設置し、打設作業中および生コン充填後の空隙の有無を随時

確認した。センサーによって充填後の空隙が確認された場合には、即座にバイブレータによる再振動を行い、空隙を除去した。

③マスコンクリートの温度ひび割れ抑制

マスコンクリートの温度ひび割れを抑制するために、温度応力解析を行い、パイプクーリングを実施した。使用するコンクリートの水和発熱特性を事前に試験で確認して解析の精度を高め、施工性も念頭にパイプの配管経路や通水(クーリング)期間の最適化を図ることにより、温度ひび割れの発生を抑制した。

④コンクリートの一体性確保

打設作業時においては、高所でのポンプ筒先の迅速かつ正確な移動制御を行うために、ディストリビューターを使用した。打設区分や打重ね時間の管理を効率的に行うことで、夏期の早強コンクリートに対するコールドジョイントの発生を防止した。また、リフト間の打継部処理として、表面処理剤(ディスパライト)を散布し、脆弱部を洗浄除去することにより打継部の一体性を高めた。

3.3 張出し施工

(1) 採光性パネル

構築時、箱桁構築部と初期養生部をワーゲン屋根と採光性パネルで囲い、寒中養生対策とした。2ブロック範囲を囲うため、ワーゲンは作業床を延長した大型タイプを採用した。コンクリート打設後は、温度急変を防ぎ湿潤化できるうるおんマットで上面を材齢 28 日まで長期養生し、下面は保水テープで材齢 7 日まで封緘養生して、ひび割れ発生を防いだ。

パネル付大型ワーゲンで囲うことで、季節に応じた初期養生空間が確保できコンクリートの品質を向上することができた(写真-2)。



写真-2 採光性パネル

(2) EM センサーによる緊張管理

内ケーブル・外ケーブルに、パルス式磁歪測定器(EMセンサー)(写真-3)を配置して、PCケーブル中央位置の導入緊張力を計測した。内ケーブルのセンサー配置は、ケーブル形状および位置分類毎に計 9 個所(上床版張出しケーブル:2 個所、ウェブケーブル:3 個所、支点定着ケーブル:2 個所、下床版ケーブル:2 個所)、外ケーブルは計 3 個所(A1~P1 間ケーブル:1 個所、P1~P2 間ケーブル:1 個所、P2~A2 間ケーブル:1 個所)とし、各ケーブル計測値の設計値クリアを確認した。

主桁に導入するプレストレスは、コンクリート応力とPC鋼材張力から直接的に把握した。緊張管理に直接計測の結果を反映することで、緊張管理の信頼性を向上させ、長尺ケーブルに正確に設計緊張力を導入できた。



写真-3 EMセンサー

3.4 PC グラウト施工

(1) 超低粘性グラウト材ハイジェクターの採用

PCグラウトの施工は、ケーブルが最長 186m と長くかつ起伏が大きいので、ポンプ圧不足や閉塞、シース曲下げ位置のエア溜りを防ぐ対策が重要であった。また、海岸近くに位置すること、供用後の融雪剤散布から塩害環境でもPCケーブル保護機能を長期間維持する対策が重要であった。さらに、日平均気温が4℃以下で通常グラウトを回避する時期(当現場:12月~3月)以外でも、最低気温が零下、または零度付近となる日が多い地域であるため、低温環境でも確実に流動性(充填性)と強度を確保しバラツキのない高品質なグラウトとすることが重要であった。

一般的には高粘性グラウトで注入するが、本工事では、内・外ケーブルとも、超低粘性グラウト材(ハイジェクターPremix)を採用して流動性を向上させ、高い充填性を確保した。また、超低粘性グラウトの水粉体比を36%とし(標準45%以下)¹⁾、塩害環境下における長期耐久性を確保した(表-2)。

表-2 グラウト材比較表

	水粉体比 (%)	セメント (kg/m ³)	混和剤 (kg/m ³)	水量 (kg/m ³)
標準	45%	1304.7	13.6	587
今回	36% (-9%)	1458 (プレミックス)		525

(2) 充填検知センサーによる充填確認

超低粘性グラウトは、エアは曲下げ位置の上側に残留する傾向にある。そこで、曲下げ線形を有する内ケーブルでは、中間確認口、充填検知センサー²⁾を配置して充填状況を確認した。

グラウトの注入量(積算流量)を図-4に、充填検知センサーによる計測結果を図-5~7に示す。

現場での注入作業では、シース内に設計グラウト量以上注入できていることが、充填検知では、注入側のセンサーから排出側のセンサーにかけて順次反応していく状況を確認できた。

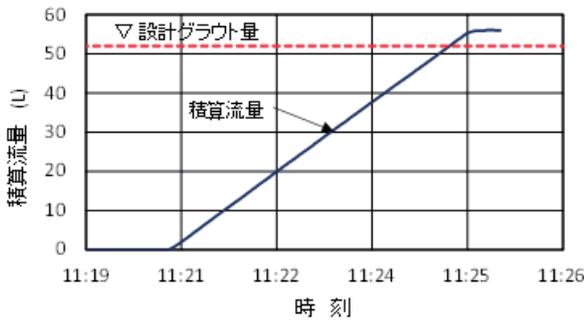


図-4 グラウト注入量(積算流量)

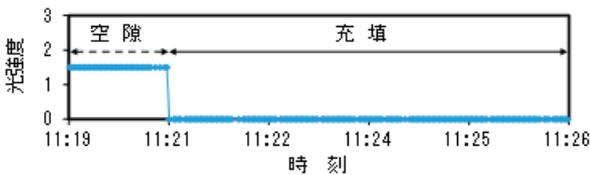


図-5 流入側センサーの記録

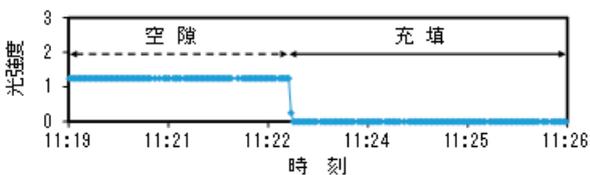


図-6 中間センサーの記録

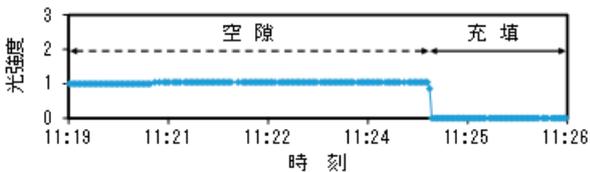


図-7 排出側センサーの記録

3.5 上越し管理

上越し管理においては、事前にコンクリートの静弾性係数試験を実施し、その結果をもとにコンクリートのヤング係数を設定して上越し計算を行った。張出し架設中にも、随時コンクリート打設前後の主桁の高さ変化を計測し(図-8)、実際の挙動に基づいた主桁および橋脚の剛性を把握し、次工程に反映させることにより、上げ越し管理の精度向上を図った。

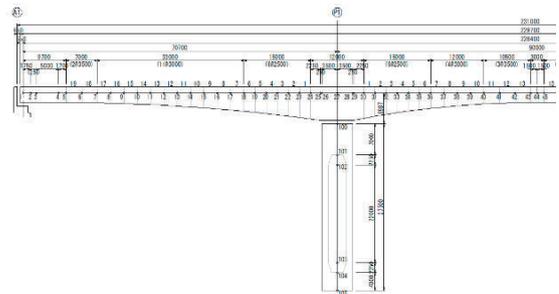
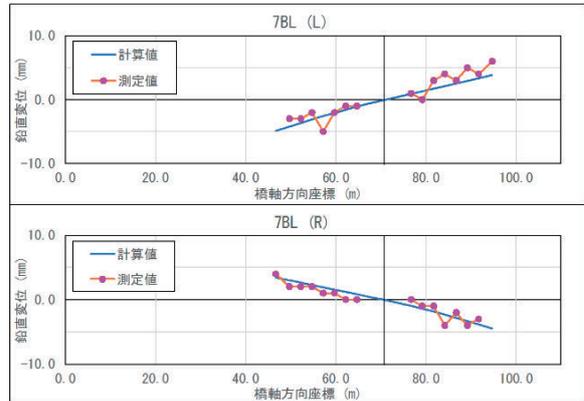


図-8 コンクリート打設前後の主桁の高さ変化確認

また、橋台の引き渡し時期の変更により側径間の閉合までに時間を要したため、クリープ・乾燥収縮により主桁の高さに変化し、上越し管理に悪影響が出ないか確認を行う必要が生じた。そこで、再度上越し解析を行い、側径間の閉合前の状態(図-9)で半年間放置しておいてもほとんど主桁の高さは変化しないことを確認した。

側径間施工までの6ヶ月間も定期的に主桁の高さ計測を行ったが、この間の高さ変化は解析と同様、ほとんど変化しなかった。しかし、2020年5月以降は、気温の上昇とともにA1側、A2側ともに主桁先端の高さが10mm程度低くなる傾向がみられたが、高さの管理値内で側径間の閉合を行うことができた。

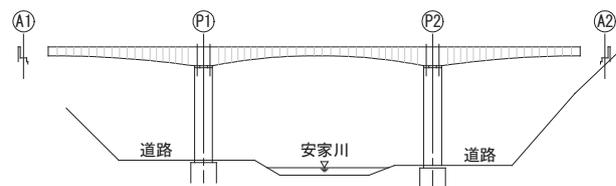


図-9 工事調整期間中の状態(側径間閉合前)

3.6 仮固定コンクリート撤去工

本橋は、橋脚上に設置したゴム支承で主桁を支持する連続桁構造であるが、張出し架設中の回転モーメントや水平力に対し抵抗するために、施工中は橋脚と主桁を一時的に剛結構造とするための「仮固定」を行っている(写真-4)。

橋体完成後には、連続桁構造とするために仮固定の撤去(仮固定 PC 鋼棒の緊張力解放、仮支承コンクリートの解体)が必要であるが、高所での仮支承コンクリートの解体が全体工程におけるクリティカルパスとなっており、安全かつできるだけ短期間で確実に仮支承コンクリートを解体・撤去する方法の採用が望まれた。他工事で採用実績があるワイヤソーでの分割撤去や静的破碎剤工法等と比較検討した結果、施工の確実性や施工期間等を総合的に判断し、ウォータージェット工法を採用し、仮固定コンクリートを撤去した。

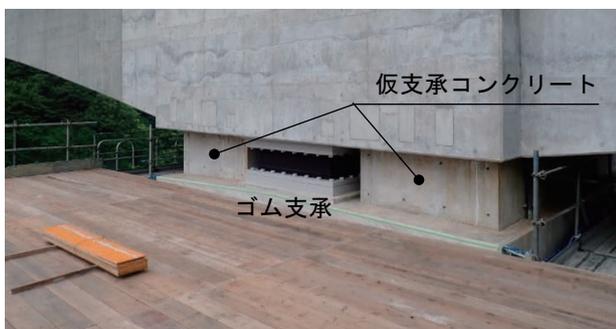


写真-4 仮固定コンクリート

5. おわりに

本橋は、地形および交差道路の条件により、橋脚の設置位置を橋梁中心に寄せなければならず、構造上適切な支間バランスに対して中央径間が短く、側径間が長い構造である。今回採用した施工方法は、厳しい地形や地域環境下で施工する際に有効な方策であると考えられる。今後、同種橋梁の施工の参考になれば幸いである。

なお、本橋は 2021 年 1 月の竣工を目指して施工中である。本工事に際し、ご指導・ご協力頂いた関係各位に対し、ここに記して謝意を表します。



写真-5 全景 (2020年7月)



写真-6 全景 (2020年9月)

【参考文献】

- 1) (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC グラウト&プレグラウト鋼材 施工マニュアル 2013 改訂版、平成 25 年 8 月
- 2) 角田晋相、告中修平：PC グラウト一元管理システムの開発、銭高組技報 No. 43、pp. 3-6、2018