

北陸新幹線 神通川橋りょうの施工 — 4 径間連続 PC エキストラードーズド橋 —

杉原 浩明*1・石島 修祐*2・高瀬 智章*3・水谷 正樹*4

北陸新幹線神通川橋りょうは、鉄道橋の PC エキストラードーズド橋としては、国内第 2 位の支間長を誇る長大橋りょうである。本工事は河川内工事である以外に、隣接する JR 高山本線の既設構造物に対する近接施工となっていることが特徴である。本稿は、主にこれまでの進捗状況および施工方法を報告するものである。

キーワード：PC エキストラードーズド橋、近接施工、併用系高流動コンクリート、斜材

1. はじめに

北陸新幹線は、全国新幹線鉄道整備法に基づき整備が進められている路線の一つであり、平成 9 年に高崎－長野間（長野新幹線として営業中）が開業している。現在は、その延伸区間である長野－金沢間について、平成 26 年度末の完成を目指して鋭意工事を進めている。図 - 1 に位置図を示す。

北陸新幹線神通川橋りょうは、JR 富山駅西側に位置し、一級河川神通川を JR 高山本線・北陸本線と平行して渡河



図 - 1 位置図

する橋長 428 m の 4 径間連続 PC エキストラードーズド橋であり、北陸新幹線工事の中でも有数の長大橋りょうである。また、最大支間長 128 m は、鉄道橋の PC エキストラードーズド橋としては国内第 2 位である。

工事は平成 20 年 10 月に着手し、これまでに下部工 5 基の施工を終えた。上部工については、張出し工法により施工しており、現在のところ全 3 橋脚のうち、2 橋脚からの施工を終え、最後の張出し施工を行っている。

2. 橋梁概要

本橋の設計にあたっては、① 河川との交差条件、② 非出水期での施工、③ 平成 24 年上期までの本体工事完了（4 非出水期での施工）という条件があり、これを満足するように検討した結果、4 径間連続 PC エキストラードーズド橋（86 m + 2@128 m + 86 m）を採用した。図 - 2、3 に全体一般図および構造一般図、表 - 1 に主要材料を示す。

〈上部工〉

- ・構造形式：4 径間連続 PC エキストラードーズド橋
- ・橋長：428 m
- ・支間長：85 m + 2@128 m + 85 m
- ・列車荷重：標準列車荷重 P-16
- ・設計速度：180 km/h
- ・曲線半径：直線



*1 Hiroaki SUGIHARA

鉄道・運輸機構
射水鉄道建設所 所長



*2 Shuusuke ISHIIJIMA

鉄道・運輸機構
射水鉄道建設所 主任



*3 Tomoaki TAKASE

大成・大豊・日本海建興
特定建設工事共同企業体



*3 Masaki MIZUTANI

大成・大豊・日本海建興
特定建設工事共同企業体

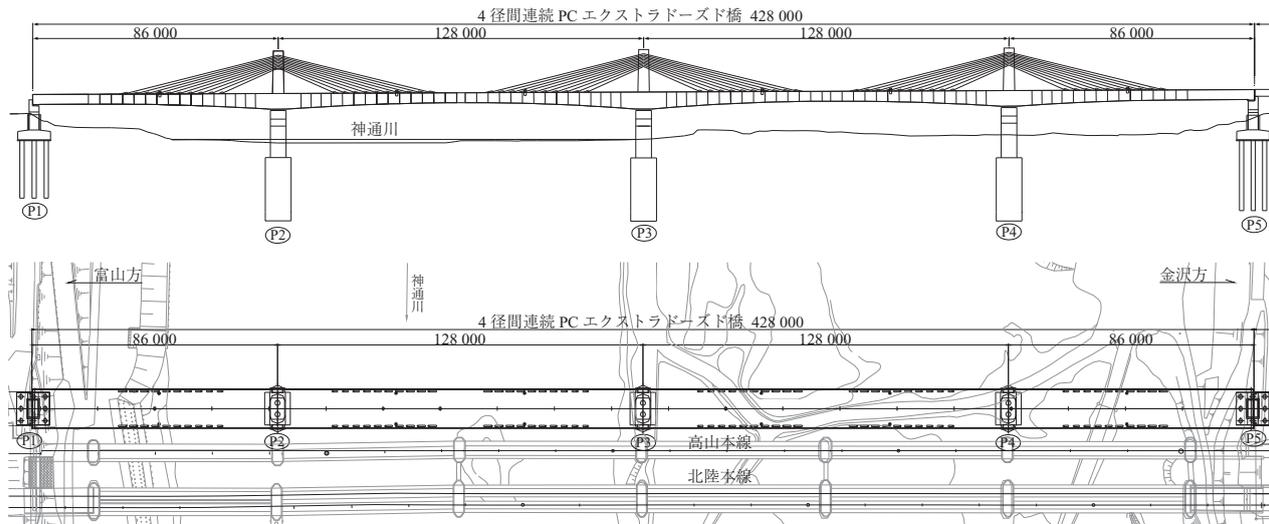


図 - 2 全体一般図

- ・軌道種別：スラブ軌道
 - ・施工基面幅：13.7m
 - ・支承構造：P1, P5 すべり支承+鋼角ストッパー（可動）
P2, P4 すべり支承+ダンパーストッパー（可動）
P3 ゴム支承+ダンパーストッパー（固定）
 - ・主塔形式：独立二本柱式 H=15.0 m
 - ・桁形式：2室箱桁
 - ・斜材：エポキシ被覆 PC 鋼より線 27s15.2
- 〈下部工〉
- ・P1, P5 橋脚：場所打ち杭基礎
 - ・P2, P3, P4 橋脚：ニューマチックケーソン基礎

表 - 1 主要材料一覧表

部位	種別	仕様	単位	数量	適要	
上部工	主桁	コンクリート	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	m ³	8 341	
		鉄筋	SD345	t	1 399	
	PC 鋼材	SWPR7BL12s15.2	t	304	主方向	
		SWPR19L1s28.6	t	25	床版横締め	
主塔	コンクリート	$\sigma_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$	m ³	492		
		SD345	t	59		
	鉄筋	SD390	t	212		
斜材	PC 鋼材	SWPR7BN27s15.2 エポキシ樹脂被覆	t	155		
下部工	ケーソン	コンクリート	$\sigma_{ck} = 18 \text{ N/mm}^2$	m ³	474	P2, P3, P4
		コンクリート	$\sigma_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$	m ³	3 336	〃
	鉄筋	SD390	t	691	〃	
	橋脚	コンクリート	$\sigma_{ck} = 27 \text{ N/mm}^2$	m ³	1 845	〃
コンクリート		$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	m ³	1 156	〃	
杭	コンクリート	$\sigma_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$	m ³	596	P1, P5	
	鉄筋	SD390	t	113	〃	
フーチング	コンクリート	$\sigma_{ck} = 27 \text{ N/mm}^2$	m ³	638	〃	
	鉄筋	SD390	t	101	〃	
橋脚	コンクリート	$\sigma_{ck} = 27 \text{ N/mm}^2$	m ³	228	〃	
	コンクリート	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	m ³	246	〃	
	鉄筋	SD390	t	112	〃	

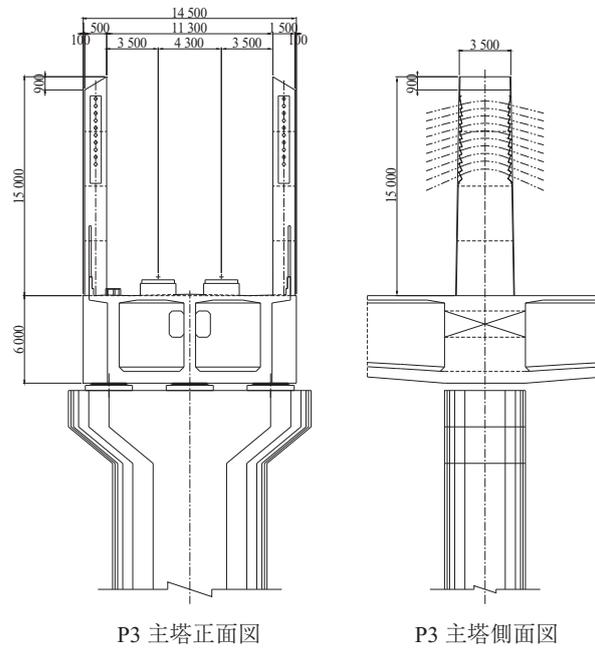


図 - 3 構造一般図

3. 下部工の施工

3.1 概要

神通川では、6月21日～9月30日が出水期、10月1日～翌6月20日が非出水期であり、工事は原則非出水期のみと定められている。本橋下部工5基の施工は下記の期間に行った。

- P1 橋脚：第3 非出水期 (H22.10～H23.6)
- P2 橋脚：第2～3 非出水期 (H21.10～H22.12)
- P3 橋脚：第1～2 非出水期 (H20.10～H22.2)
- P4 橋脚：第1～2 非出水期 (H20.10～H22.1)
- P5 橋脚：第2 非出水期 (H21.10～H22.6)

3.2 近接施工

全橋脚とも JR 高山本線の既設橋脚に隣接していることから、近接施工の対象となった。このため、既設橋脚の変位量について JR 西日本と協議し、限界値を水平方向、鉛直方向ともに7mm（1次管理値3mm、2次管理値5mm）と定め、変位計測を行いながら施工を進めた。

3.3 ニューマチックケーソンの施工

(1) 施工ヤードの確保

河川内の3橋脚は、ニューマチックケーソン基礎を採用しており、橋脚の周囲を築島をしながら構築を進めた。低水敷に位置するP2橋脚の施工時には、築島によって流水断面が大きく減少することから、高水敷に切り回し水路を施工し流水断面を確保した。ニューマチックケーソンは、基礎および橋脚躯体を連続して構築・沈下掘削するピアケーソン方式で施工した。写真-1にニューマチックケーソン施工状況を示す。基礎形状は11.5×9.0mの矩形断面で高さ22.3mを有する。図-4にニューマチックケーソン施工順序を示す。

(2) 沈下掘削および計測管理

沈下掘削機械は函内圧により有人掘削と無人掘削を使い分けた。高気圧作業の安全性および施工効率の観点から、函内圧0.18MPa未満では有人掘削である地上走行型の潜函用ショベルを用い、0.18MPa以上では無人掘削の天井走行式のケーソンショベルを用いた。沈下掘削完了地盤の平板載荷試験も遠隔操作にて行い、高気圧での作業時間を



写真-1 ニューマチックケーソン施工状況

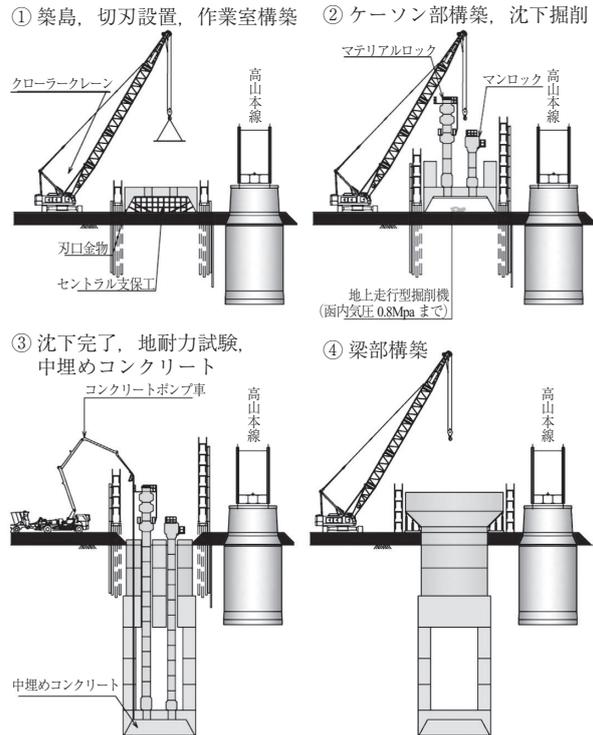


図-4 ニューマチックケーソン施工順序

低減した。また、高気圧作業後の作業員の減圧では、マンロック内に酸素減圧設備を設置し減圧症対策とした。その他、作業室内には自動圧力調整装置（遠隔操作型）および酸素濃度有害ガス検知器を設置し、作業室内環境の向上も図った。また、沈下掘削作業では刃口先端に水位センサーを設け、原則湛水掘削を行うことで函内空気の周辺地盤への漏出を防止し、圧縮空気の排気口にはマフラーを取り付けるなど騒音にも配慮した。

沈下計測では自動計測による沈設管理システムを採用した。これにより、ケーソンの沈下量および傾斜の結果や経時変化をリアルタイムで把握することができ、より精度の高い施工管理が可能となった。

(3) 対策工

本橋は JR 高山本線に近接しており、ケーソンの沈下掘削による既設橋脚への影響が懸念された。このため、事前対策工として既設橋脚前面に遮断壁（鋼矢板）を設置した。鋼矢板の根入長は FEM 解析により算出した各施工段階の既設橋脚変位量をもとに定めた。実施工における橋脚変位量の測定値は最大で約4mmとなり、JR 高山本線の運行に支障を与えることなく施工を終えることができた。

4. 上部工の施工

4.1 概要

本橋上部工は、4径間連続 PC エクストラドロード橋であり、主桁、主塔および斜材から構成される。支点条件は P3 橋脚が固定、P1、P2、P4、P5 橋脚が可動である。本橋は、全支点に支承構造が採用され、P3 橋脚がゴム支承、その他がすべりゴム支承が配置され、水平力に対してはストッ

パーが配置される。

主桁については、柱頭部と側径間は固定式支保工で施工し、主桁標準部は各橋脚から張出し施工を行った。各橋脚からの張出し施工区間は14ブロックで構成され、ブロック長は1～3ブロックが3.5m、4～14ブロックが4.0mである。主塔については、柱頭部の施工後、主桁標準部の張出し施工と同時に構築した。また、斜材は4～13ブロックに各1段、1橋脚につき合計10段が配置される。斜材の架設は、張出し施工の進捗に合わせて随時緊張作業を行った。上部工の施工期間を以下に示す。また、図-5に上部工施工順序、写真-2に張出し施工状況を示す。

- ・ P1 側側径間 : 第4非出水期 (H23.10～H24.1)
- ・ P2 張出し施工 : 第3～4非出水期 (H22.1～H24.1)
- ・ P3 張出し施工 : 第2～3非出水期 (H21.2～H23.5)
- ・ P4 張出し施工 : 第2～3非出水期 (H21.1～H23.4)
- ・ P5 側側径間 : 第3非出水期 (H23.2～H23.5)

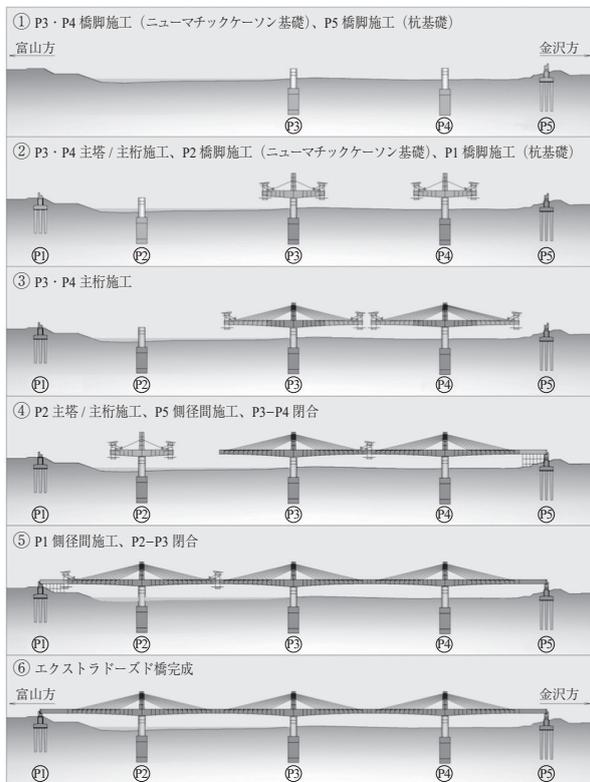


図-5 上部工施工順序

4.2 主桁工

(1) 支承部の施工

支承、ダンパーともに平面位置、水平性を確認しクレーンを用い設置した。さらに、支点部には主桁張出し施工時の仮固定として、回転力に対しPC鋼棒および仮支承(コンクリート支承)、水平力に対しH形鋼を配置した。

(2) 柱頭部の施工

柱頭部は全長16m、桁高6.0m(P2, 4橋脚は5.5m)、横桁厚5.5mであり、P3橋脚でコンクリート体積は約720m³となる。1リフトあたりの打設数量等を考慮し、3リフトに分割し約3か月で施工した。柱頭部横桁の施工で



写真-2 張出し施工状況

は、とくにマスコンクリート対策および過密な鉄筋配置によるコンクリートの充てん不良に配慮し施工を行った。

マスコンクリート対策では、温度応力解析によりひび割れ指数を算出し目標値を1.5とし、コンクリートの内外温度差を小さくするため、型枠には合板と発砲スチロールを併用した断熱型枠を使用した。さらに、型枠設置期間も11日以上とした。現在、柱頭部には有害なひび割れは確認されていない。

柱頭部横桁には斜材緊張力が主塔を介し作用するため、横桁は過密な鉄筋配置となる。また、主塔主鉄筋(D51)も柱頭部に定着されることから、さらに配置鉄筋量が増える。そこで施工性を向上させるため、コンクリート混和剤に高性能AE減水剤を使用し、スランブを15cmにした。また、スランブの維持時間を2時間とし、スランブロスによる施工トラブルの防止に努めた。配合選定では水和熱の発生、乾燥収縮等によるひび割れを防止するため、単位セメント量、単位水量についても検討した。表-2に主桁のコンクリート配合を示す。

表-2 主桁コンクリート配合

使用箇所	呼び強度 (N/mm ²)	セメント の種類	スランブ (mm)	空気量 (%)	W/C (%)	セメント (kg/m ³)	水 (kg/m ³)
柱頭部	40	N	15±2.5	5.5±1.5	40.0	363	145
張出部	40	H	15±2.5	5.5±1.5	40.0	370	148

(3) 主桁の施工

P3, P4橋脚の張出し施工を同時期に行い、P4橋脚の施工完了後、移動式作業車(以下、作業車)を転用しP2橋脚の張出し施工を行った。作業車には3主構の大型作業車を用いた。図-6に移動式作業車構造図を示す。

本橋主桁の特徴は張出し床板下面に斜材定着突起コンクリートを有することである。斜材定着突起部近傍には、斜材緊張力による局部応力が発生することから、補強用PC鋼材等により過密な鋼材配置となる。そのため、主桁張出し施工部コンクリートの配合についても柱頭部と同様にスランブ15cmのコンクリートを使用した。

架橋地点は寒冷地のため、12月～翌3月までは日平均

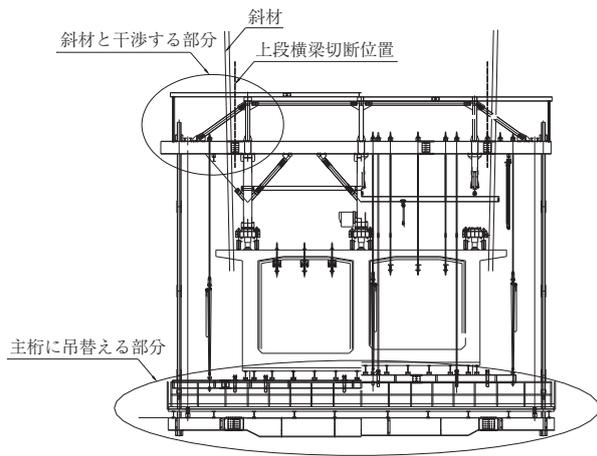


図 - 6 移動式作業車構造図

気温が5℃を下回る。本橋では寒中コンクリート施工の対象温度を5℃と定め温度管理を行い、打設後3日間は養生温度を10℃以上に保ち、その後2日間はコンクリート温度を0℃以上に保つこととした。養生方法は、作業車をシートで覆い、風による温度低下を防ぎ、ジェットヒーターで給熱養生を実施した。

(4) 側径間の施工

側径間は全長約24.5mを固定式支保工による区間(20.5m)と吊支保工(P1側は作業車を支保工とした)による張出し施工部との閉合区間(4.0m)に分けて施工した。張出し施工部との閉合区間を設けることで、張出し施工と固定式支保工区間の並行作業が可能となり約1か月の工程短縮を実現した。写真-3に側径間施工状況を示す。



写真 - 3 側径間施工状況

(5) 中央径間閉合の施工

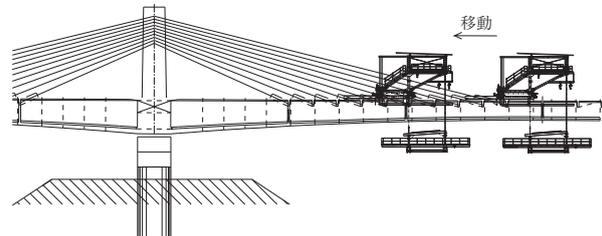
中央径間閉合部は流心部直上にあり、作業車を支保工とし閉合を行った。一般的な吊支保工の閉合作業に比べ、工程も短縮され、施工性、工程の両面で効果が得られた。

(6) 移動式作業車の解体

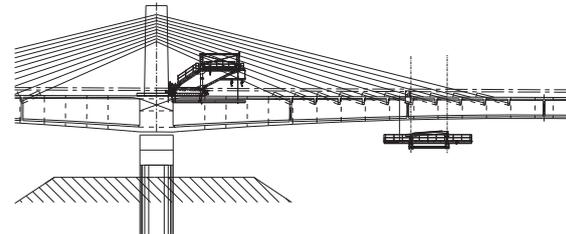
本橋では神通川流心部直上(P2-P3橋脚間)で張出し施工を終え、作業車の位置は解体用クレーンの作業半径外と

なる。通常、作業車は解体可能な位置まで移動し解体するが、図-6に示すように、エクストラード橋では斜材と主構上段横梁が干渉し移動範囲が制限された。そこで、上部主構と下部作業台を分離移動できる構造とし、作業車の解体を行った。図-7に移動式作業車解体順序、写真-4に移動式作業車解体状況を示す。斜材と干渉する主構上段横梁はあらかじめ切断できるようなボルト接合とし、下段作業台の荷重を主桁に吊り替えた後、横梁を切断し主構のみを移動させた。下段作業台は別途橋面上に組み立てた移動装置にて解体可能な位置まで移動し解体作業を行った。なお、下段作業台はリフティングジャッキを用い地上面に下し解体した。移動装置の組立および移動には約2週間を要した。

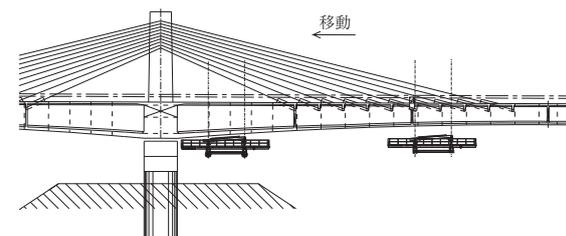
- ① 下段作業台吊替え位置(10BL施工位置)までトラベラーを移動し、下段作業台重量を主桁に吊り替える。



- ② トラベラー主構を築島上まで移動させ解体する。



- ③ 移動装置を組み立て、下段作業台を築島上まで移動する。



- ④ 下段作業台リフトダウンし解体する。

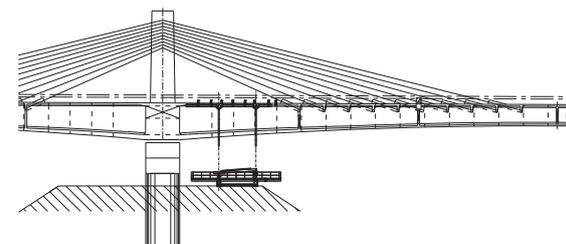


図 - 7 移動式作業車解体順序



写真 - 4 移動式作業車解体状況



写真 - 5 サドル設置状況

4.3 主塔工

本橋は積雪地域に架橋されることから横梁のない独立2本柱が採用され、全高15mで主塔内部には斜材定着のためのサドルが配置される。サドルには1重管サドルを採用し斜材張力の制限値を $0.4 P_u (= 0.4 \times 7047 \text{ kN} = 2812 \text{ kN})$ に下げることによってPC鋼材の交換を考慮しない構造としている。また、サドルは全10段を3分割にユニット化し工場製作することで、現地での作業はクレーンによる据付けのみとし、据付精度の向上および施工性の改善を図った。図-8にサドル構造図を示す。

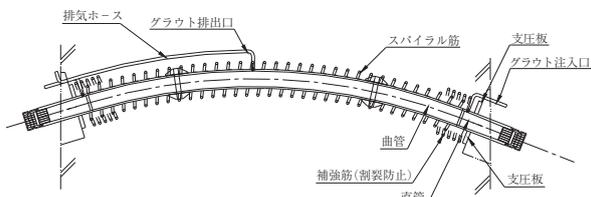


図 - 8 サドル構造図

主塔の施工は2リフトに分割し1リフトを約7.5mとした。写真-5のように主鉄筋にD51を2段配置し、コンクリート打設時の未充てん等の施工不良が懸念されたため、自己充てん性を有する高流動コンクリート(30-700-20N)を用いた。サドルが主塔中央に配置される2リフトではコンクリートの充てん状況を型枠内部で確認することができないため、一部透明型枠を使用し外部より確認した。表-3に高流動コンクリートの配合を示す。

表 - 3 高流動コンクリート配合

呼び強度 (N/mm ²)	スランプロー (mm)	空気量 (%)	W/C (%)	普通ポルトランドセメント (kg/m ³)	石灰石微粉末 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	増粘剤 (kg/m ³)
30	700 ± 50	5.5 ± 1.5	53.9	310	266	167	0.3

この配合は併用系高流動コンクリートに分類され、増粘剤を添加することで、表面水率の変動や細骨材の粗率率の変化といった材料状態の変動に起因するフレッシュコンクリートの品質のばらつきを抑えられる。また、普通ポルト

ランドセメントを石灰石微粉末に置き換えることで、ワーカビリティを維持しつつ、過度の水和熱の発生を抑え、ひび割れの発生を抑制している。特殊配合ではあったが、数度の試験練りを繰り返し適切な配合を選定することで、実施工時の品質管理も比較的容易に行うことができた。

4.4 斜材工

(1) 構造概要

斜材は主桁の外ウェブ外側に定着される2面吊り形式であり、PC鋼材は主塔部サドルを貫通し、起点終点側2箇所定着される。図-9のように斜材は3重防錆構造とし、緊張材にはエポキシ樹脂被覆PC鋼より線を用い、これを保護管およびグラウトで巻き立てる。また、鉄道橋では列車の走行安全性および乗り心地の観点から軌道の変位量の制限が厳しいため、保護管外径を200mmとし、通常用いられる140mmに比べ大きくすることで、温度変化による主桁の変位および緊張力の変動を低減している。斜材の制振構造には図-10のように高減衰ゴムダンパーを用いている。

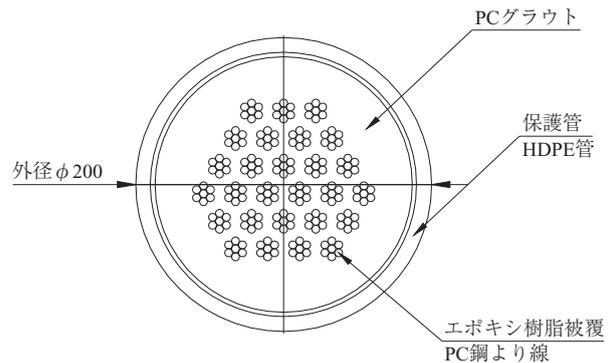


図 - 9 斜材断面図

(2) 施工方法

斜材の架設方法は一般にワイヤー等で吊上げる方法と足場等で受ける方法に大別されるが、本橋では近接するJR高山本線への影響を考慮し、長期間架設用資機材を設置する必要のない前者にて施工した。なお、斜材のグラウトでは保護管の高さ調整のために斜材と平行に足場を設置し、

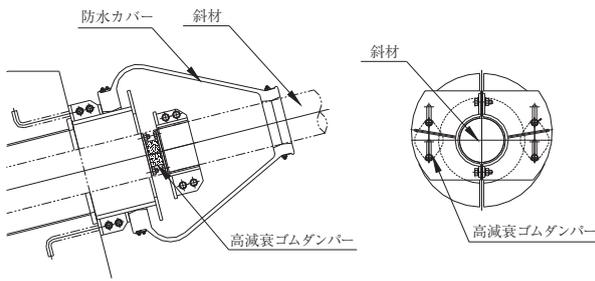


図 - 10 制振装置概要図

グラウト材の充てんを行う予定である。

斜材の施工フローを図 - 11 に示す。工場製作された高密度ポリエチレン管を現地にて所定の長さにてバット溶接で接続し、PC 鋼材を挿入できる位置にガイドワイヤーを用いて吊上げる。ここで、PC 鋼材をプッシングマシンで1本ごと挿入し、所定の長さを残し切断する。挿入はPC 鋼材を約 1.6t 巻いたドラムからプッシングマシンにて引き出す。挿入延長が長く保護管との摩擦も大きいため、プッシングマシンを2台直列に設置し推力を高めた。緊張は主桁に偏心力が生じないように、4箇所での定着部で大型緊張ジャッキを設置し両側の斜材を同時に緊張し、斜材定着ブロックの2ブロック先のコンクリートの打設前に実施した。写真 - 6 に保護管吊上げ状況、写真 - 7 にPC 鋼材の挿入状況を示す。

なお、主桁側定着具の据付け角度は斜材緊張完了後のサグ量および据付け時の主桁上げ越し量を考慮した。また、サドルについても工場製作時にサグ量を考慮し設置角度の調整を行った。

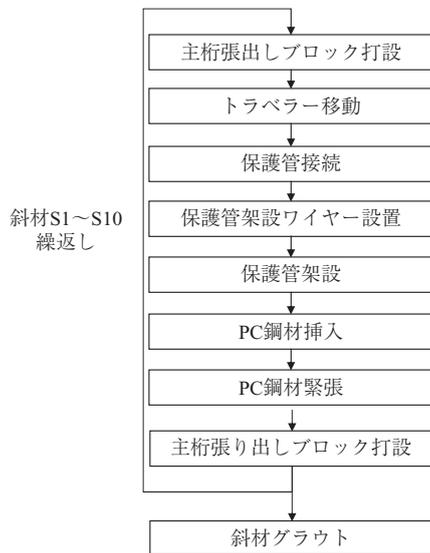


図 - 11 斜材施工フロー

(3) 斜材緊張

緊張ジャッキは重量が 2.5t と重く、斜材定着部はブロックごとに角度および高さが異なることから、狭隘な作業環境で行う緊張ジャッキセット作業の施工性が非常に悪く



写真 - 6 保護管吊上げ状況



写真 - 7 PC 鋼材挿入状況

なる。そのため、緊張ジャッキの角度および高さ調整が個別に行える架台を製作し施工性の改善を図った。図 - 12 に緊張ジャッキ架台を示す。

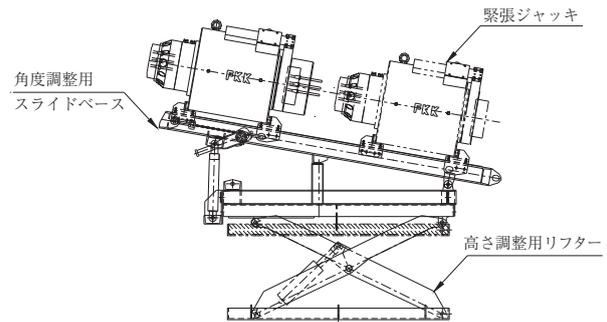


図 - 12 緊張ジャッキ架台

斜材の緊張管理は、サドル部での摩擦による緊張力の損失影響が小さいことから、荷重計の示度および緊張材の伸び量を独立して管理し、管理値を 0 ~ +5% とした。

また、PC 鋼材のリラクゼーション率については本橋の緊張力の制限値である 0.4 Pu を想定し、1000 時間のリラクゼーション試験を実施し、緊張管理図に反映した。もっとも一般的な制限値である 0.7 Pu ではリラクゼーション

率が約5%になるのに対し、今回の試験では約1.6%となった。図-13にリラクセーション試験結果を示す。

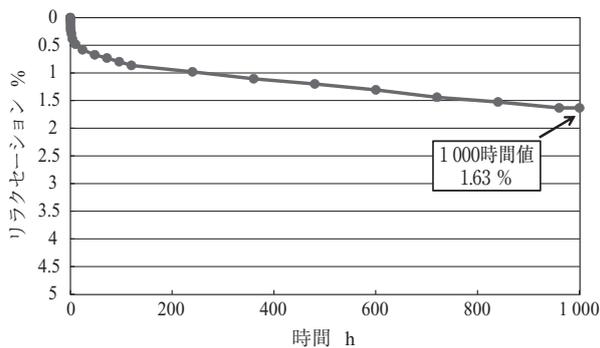


図-13 0.4 Pu リラクセーション試験結果

(4) くさび再圧入

本橋ではエポキシ樹脂被覆PC鋼より線を使用し、PC鋼材緊張力の制限値も0.4 Puと小さいことから、くさびのPC鋼材への噛みこみが写真-8のように弱くなる可能性がある。そのため、緊張力の変動による定着部くさびの

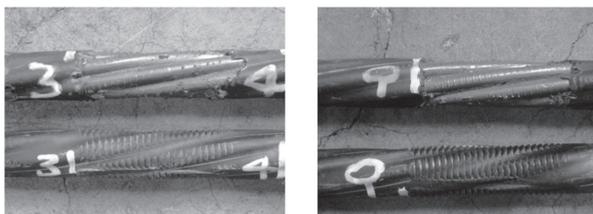


写真-8 くさびの噛みこみ比較
(上: エポキシ被膜除去状況)

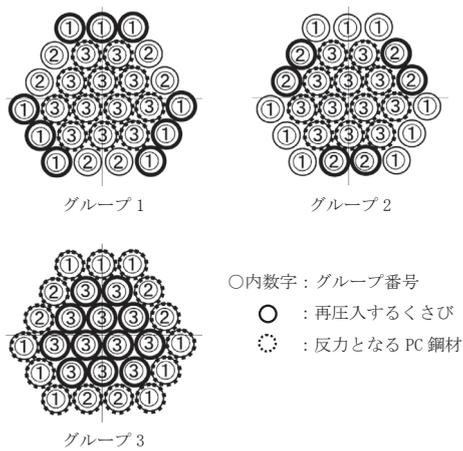


図-14 再圧入のグループ分け

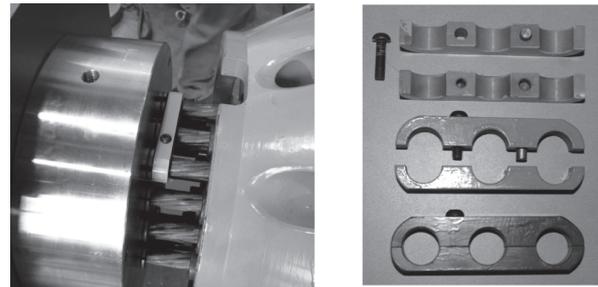


写真-9 再圧入専用治具

緩み防止として、くさびの再圧入を本緊張直後に実施した。これまで多くのエクストラード橋では小型ジャッキにより、PC鋼材1本ごとにくさびを再圧入する方法がとられてきたが、本橋では施工効率を考え本緊張に使用した大型緊張ジャッキを用い再圧入を実施した。図-14のように全27個のくさびを3グループに分け、再圧入するグループには写真-9のようにジャッキとくさびの間に専用の治具を配置した。再圧入の反力を別のグループのPC鋼より線からとり、緊張ジャッキのストロークを延ばすと治具が設置されているくさびのみ再圧入される構造である。

4.5 橋面工

主桁閉合が完了した後、路盤鉄筋コンクリート等の橋面構造物を施工する。路盤鉄筋コンクリート上には軌道スラブが設置されることから、天端基準高の仕上げ精度が重要となる。これまで、主桁の基準高についても上げ越し計算を実施し計測管理を行ってきたが、路盤鉄筋コンクリートではさらに高い精度が求められるため、上げ越し計算結果に加え、実際の主桁基準高の温度変動、弾性変形量等を路盤鉄筋コンクリートの施工に先立ち把握し、計画基準高に対し±10mmの精度を目標とし施工する。

5. おわりに

本工事の工期も竣工まで約1年となり、全橋閉合、橋面工を残すのみとなった。北陸新幹線が完成し神通川橋りょうが地域に根付くシンボルとなるよう、今後の建設工事を進めていく次第である。

最後にこれまで本橋の施工にあたり、惜しみないご協力をいただいている工事関係者、地元関係者に深く感謝の意を表すとともに、本報告が今後のエクストラード橋の施工の一助となれば幸いである。

【2012年1月16日受付】