

動橋川橋りょうの上下部工事施工報告

Report of construction of the Iburihashi River Bridge, Hokuriku-Shinkansen

村岡賢二*1 辻 浩次*2 松谷 満*3 中山雅雄*4

概 要

北陸新幹線（金沢・敦賀間）については 2023 年度開業予定であり、本工事は、北陸新幹線、高崎起点 381km185m～383km981m（L=2,796m）間における新幹線高架橋工事である。当工事の中で、動橋川 B（L=138m, 2 径間連続 PC 箱桁橋）はニューマチックケーソン工で橋脚基礎を施工し、1 潟水期内で橋脚まで完了させるという厳しい工程の中、施主からはケーソンの偏心量、傾斜量を精度よく管理し、沈設することが求められた。上部工に関しても、柱頭部では有害なひび割れが生じないようにマスコンクリート対策を行い、また、張出架設時には主桁コンクリートの耐久性を向上させるために打設後のコンクリート養生方法、PC グラウトの施工の工夫を行った。

本報では、これらの実施対策について報告する。

key words : ニューマチックケーソン工、マスコンクリート、張出架設工、養生、PC グラウト

1. はじめに

北陸新幹線は、整備新幹線 5 路線の 1 つであり日本海側周りで東京と大阪をつなぐ約 700km の路線で計画されている（図-1）。

本工事は 2023 年開業予定の金沢～敦賀間（約 125km）のうち約 2.8km にラーメン高架橋、PPCT 桁橋、RC 場所打 T 桁橋、PPC 箱桁橋、PPC2 径間連続ラーメン箱桁橋を建設する工事である。

2. 工事概要

2.1 工事概要

工事名：北陸新幹線、動橋川橋りょう他工事
発注者：独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
大阪支社

工 期：2016 年 3 月 8 日～2019 年 8 月 7 日

2.2 工事数量

工事延長 L=2,796m
PPCT 桁橋 18 連 RC 場所打 T 桁橋 69 連 PPC 箱桁橋 3 連
2 径間連続 PC 箱桁橋 1 連
RC 橋脚 65 基 RC 連結橋脚 2 基 ラーメン高架橋 26 連
ニューマチックケーソン基礎 1 基
場所打杭 741 本 橋面工 1 式 防音壁 1 式
工事用道路 1 式



図-1 工事位置図

3. 動橋川 B の特色

動橋川 B（図-2）は、二級河川動橋川を跨ぐ 2 径間連続ラーメン箱桁橋であり、河川内にニューマチックケーソン工にて橋脚基礎を構築し、上部工は移動作業車（ワーゲン）にて張出架設を行う計画となっている。

P2 橋脚基礎はニューマチックケーソン工で施工し、1 潟水期内で橋脚躯体部まで構築し沈設完了することが要求されたタイトな工程であった。

上部工では、柱頭部がマスコンクリート構造であること、PC グラウトに関しては PC 鋼材曲げ下げ角度が 25°～35° 程度と大きく、グラウトの充填性を確実に確保することが必要であった。

*1 Kenji MURAOKA 大阪支社土木統轄部
*2 Koji TSUJI 大阪支社土木統轄部
*3 Mitsuru MATSUTANI 大阪支社土木統轄部 作業所長
*4 Masao NAKAYAMA 大阪支社土木統轄部 土木部長

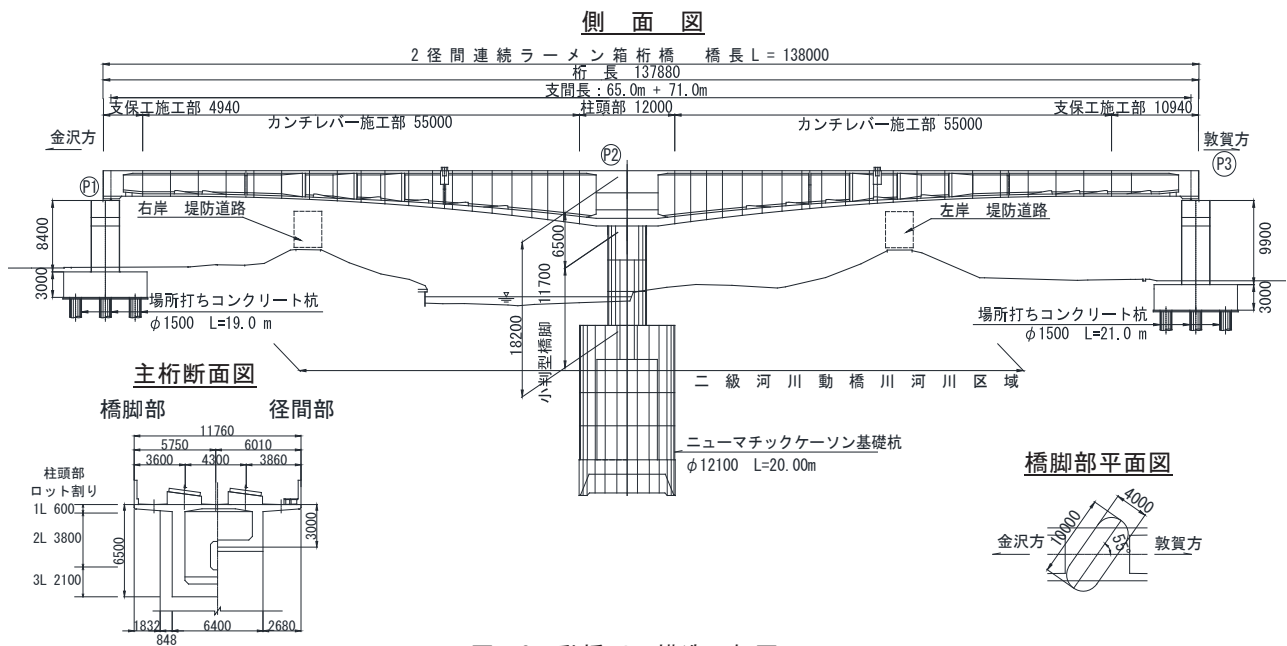


図-2 動橋川B構造一般図

4. 下部工の施工

4.1 築島工の施工

今回のニューマチックケーソン基礎は、写真-1 に示すように高水敷と河川低水路に跨り基礎を構築する。そのため地盤は不均一で玉石や木片等があり、沈下掘削初期段階で沈設精度に悪影響を及ぼす恐れがあった。

初期の沈設精度向上を目的に、築島工施工時にケーソン刃口設置地盤を鋤取り（写真-2）、玉石や木片等を除去し均一な盛土材で埋め戻した（写真-3）。また、巻き出し厚や転圧回数を管理し、層ごとに簡易支持力測定器（キャスポル）で支持力を確認した。その他、施工期間中に降雨や降雪の恐れがある際は、盛土材の強度低下を防ぐため、築島全体をシートで養生を行い築島盛土材の品質管理に努めた。

4.2 沈下掘削の管理

今回のケーソンは、φ12.0mの中型ケーソン基礎を深さ T.P. -22.738m(H=27.70m)までのケーソン沈設と同時に橋脚も施工するピアケーソン方式であった。図-3 にケーソン基礎施工箇所のボーリング柱状図を示す。砂および砂礫層とN値10以下の軟弱シルト層が互層となり初期段階の沈下掘削時が最も不安定で傾斜を起こしやすいと考えられた。そのため、ケーソンの傾斜、偏心量を計測、監視し、ケーソンの状態をタイムリーに函内の潜函工に伝え掘削作業に反映させる必要があった。偏心・傾斜をリアルタイムに計測するため、事前に作業床スラブの上流側、下流側の各端部および左岸側、右岸側の各端部に傾斜計を埋設（計4箇所）して中央監視室および函内にデジタル表示した。水平変位は施工基面にレーザー距離計を2台（上下流方向および左右岸方向測定）設置し、計測した。図-4 に傾斜量、水平変位計測模式図を示す。傾斜と水平変位から先端の偏心量を常時把握できる。リアルタイムに



写真-1 ケーソン基礎構築箇所状況



写真-2 築島工地盤鋤取り状況



写真-3 築島盛土施工完了

傾斜量、偏心量を中央監視室で集中管理し、函内に掘削場所、順序、修正をすることにより、傾斜量 1/100 以下、偏心量 50mm 以内の精度で沈下掘削を可能とした。

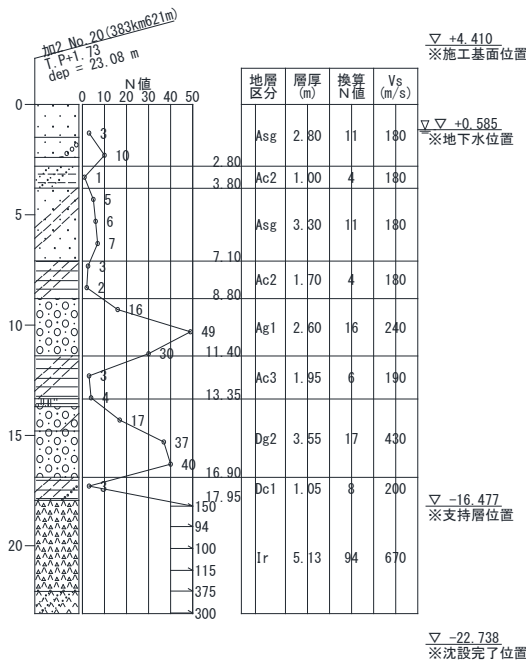


図-3 ボーリング柱状図



写真-4 函内掘削状況 (バックホウ 2 台)

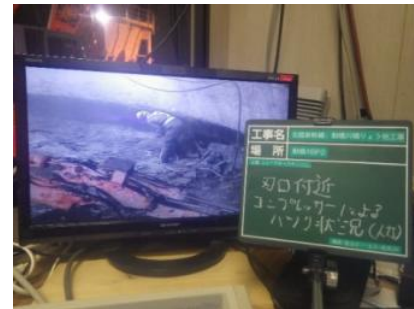


写真-5 刃口先端部の人力掘削状況

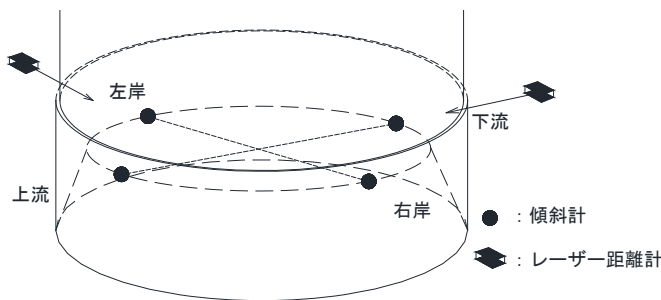


図-4 傾斜量、水平変位計測模式図



写真-6 ケーソン沈設完了状況

4.3 N 値の大きい支持層での沈下掘削の対応

図-3 のボーリング柱状図に示すように T.P. -16.477m 以降 N 値が非常に大きくなり沈下掘削が遅れる恐れがあった。湧水期内でケーソン施工完了が条件であったので事前に発破の併用も検討した。しかし、左岸側には住宅地もあり、函内では潜函工にて掘削作業を行っていたため、発破併用案は不採用となった。対策として、T.P. -16.477m 以降は昼夜にて沈下掘削を実施し、函内にはバックホウを 2 台配置 (写真-4) し、1 台はブレイカーを取付け掘削作業に専念し、もう 1 台は掘削土を集積し土砂バケツへ積み込んだ。これを 6 班体制にて実施し沈下掘削を行った。また、刃口先端部はブレイカーでは掘削できないため、コンプレッサーにて人力でハツリ作業を実施した (写真-5)。沈設時は高い気圧環境の中での作業となり作業時間も制限されるが、幸いにも岩盤層であったため、地下水の流入も少なく所定より気圧を上げず沈下掘削を行うことができた。

結果、潜函工の増員と掘削機械を増やすことで 1 湧水期に沈設完了となった (写真-6)。

4.4 遠隔操作による地耐力試験

ケーソン沈設完了後は、支持地盤の地耐力を確認する必要がある。通常、ニューマチックケーソン基礎であれば、圧気環境であるため、急速サイクル試験で行われる。今回の地耐力試験は函外から遠隔操作 (写真-7) により地耐力試験を行うことで通常サイクルの試験を実施した。そのため、信頼性の高い試験が実施でき、潜函工の作業も試験機械の設置のみで安全面も確保できた。試験状況は函内カメラで函外から目視で確認した (写真-8)。試験箇所も通常のケーソン中心と左岸側、右岸側に、上流側、下流側を加えた計 5 箇所を実施することでケーソン基礎の地耐力を面的に確認できるようにした。



写真-7 地耐力試験の遠隔操作 (遠隔操作)

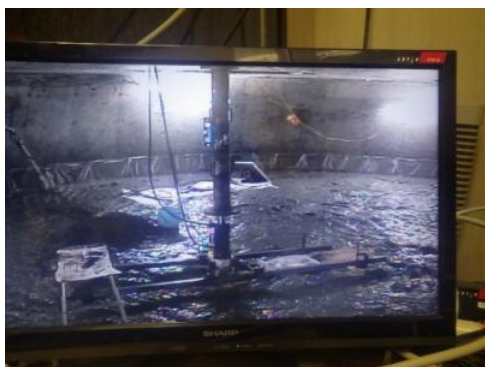


写真-8 地耐力試験確認状況

5. 上部工の施工

5.1 柱頭部のマスコンクリート対策

今回の柱頭部に関しては、橋脚に 55° もの斜角を有し、拘束される横桁部は幅 7.8m、桁高さ 6.5m となり（図-2 の主桁断面図参照）マスコンクリートとしての部材寸法を有している。この柱頭部は施工性と工程を考慮し 3 ロットに分割して施工することにした。この 3 ロットと工程、普通ポルトランドセメントの使用を与条件とし、温度応力解析を実施しひび割れ発生確率を検討した。

ひび割れ発生については、表-1 のひび割れ指数の標準値におけるひび割れ指数 1.00 以上を満足するように対策を検討した¹⁾。

表-1 ひび割れ指数の標準値¹⁾について

対策レベル	ひび割れ発生確率 (%)	目標指数 (ひび割れ指数)
ひび割れを防止したい場合	5	1.85 以上
ひび割れの発生をできる限り制限したい場合	15	1.40 以上
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合	50	1.0 以上

図-5 は、普通ポルトランドセメントを使用した際の温度応力解析結果である。1 ロットはひび割れ指数が 1.00 以上を満足したため、対策不要と判断した。2、3 ロットではひび割れ指数が 1.00 を下回るので対策必要とした。

2 ロットでの対策として、プレクーリングを検討したが、フライアッシュセメントを使用することにより、ひび割れ指数 1.00 以上を満足させることとした。図-6 はフライアッシュを使用した場合の温度応力解析結果である。

3 ロットはフライアッシュセメントを使用するだけではひび割れ指数 1.00 以上を満足させることができなかったため、膨張材を添加することによりひび割れ指数 1.00 以上を満足させることとした。図-7 は 3 ロット目に膨張材を添加した場合の温度応力解析結果である。

以上、1 ロットは標準案の普通ポルトランドセメント（対策なし）、2 ロットは、フライアッシュセメント、3 ロットは膨張材を添加することにより柱頭部のマスコンクリートに対するひび割れ抑制対策を行った。この結果、現時点で有害なひび割れは発生していないことを確認している。写真-9 は柱頭部施工完了時となる。

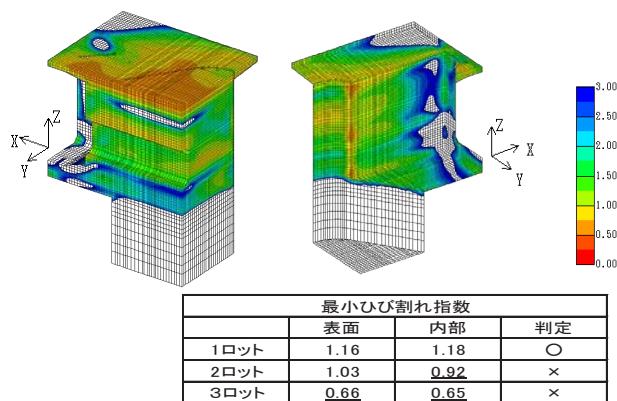


図-5 温度応力解析結果 (標準案)

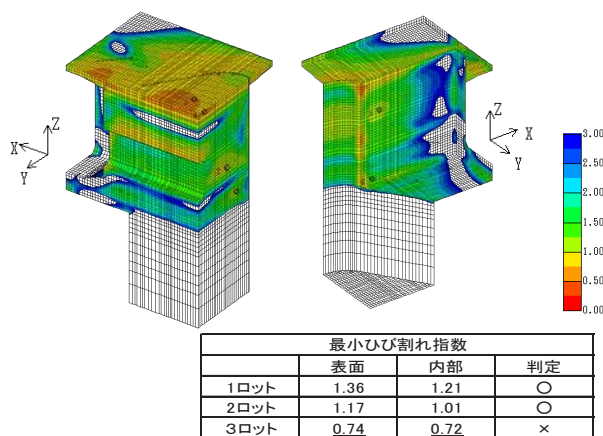


図-6 温度応力解析結果 (フライアッシュ)

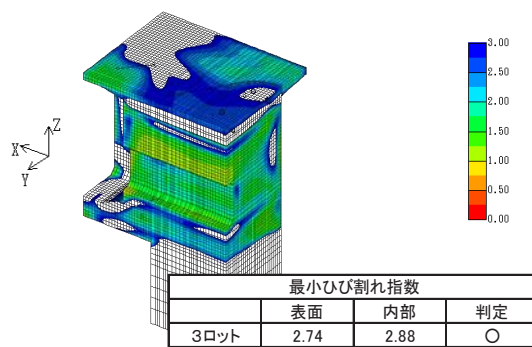


図-7 温度応力解析結果 (3 ロット膨張材添加)



写真-9 柱頭部施工完了全景

5.2 張出施工時のコンクリート品質管理

今回の PC 箱桁は最大 6.0m の桁高さ、ウェブの最小厚は 0.45m となる。その中に鉄筋や PC 鋼材が輻射しているためコンクリートの充填性を確保する必要があった。この対策として、φ31mm の長尺マルチバイブレーターを使用し対応している（写真-10）。また、打設時にコンクリートの充填・締固め状況を確認できるようにウェブの外型枠およびハンチ型枠には透明型枠を使用した（写真-11）。また、打設時はコンクリートポンプ車に「連続式 RI コンクリート水分計 (COARA)」を設置（写真-12）し、全ミキサー車のコンクリート単位水量を連続測定し単位水量変動の管理に努めた。

コンクリートの養生に関してはコンクリートの緻密化、耐久性の向上を図るため、長期間養生できる「保水養生テープ」を使用し、脱型後 28 日以上湿潤養生を行った（写真-13）。設置箇所は、上床版、下床版およびウェブ外側とした。この「保水養生テープ」は張出架設完了後、移動作業車を後退させ撤去する計画とした。

5.3 PC グラウト実物大試験

先にも述べたが、今回の主ケーブル (12s15.2) の PC 鋼材の中で、PC 鋼材の曲げ下げ角度が 25° ~35° を有するものがあり、PC グラウト注入時には、下り勾配において著しい先流れが発生しダクト内に有害な残留空気が残ることが考えられる。そのため、PC グラウトの施工に先立ち、実際の PC グラウト材料（グラウト材はノンブリーディング・高粘性型）を用い 1/1 モデルの試験体を作成し充填性を確認することが必要であった。また、このように大きな鉛直角度を有した PC 鋼材配置は、新幹線工事での施工実績がないため、PC グラウトの充填性については施主の関心も高かった。

今回の 1/1 の試験体モデルは 2 種類作成した。表-2 には鋼材長と鋼材角度を示す。写真-14 は注入前の試験体となる。

表-2 試験体の鋼材長 L 鋼材角度 θ

鋼材番号	鋼材長L(m)	鋼材角度θ(°)
W101	12.664	35
W103	16.696	30



写真-14 PC グラウト実物大実験試験体



写真-10 φ31mm の長尺マルチバイブレーター



写真-11 透明型枠



写真-12 連続式 RI コンクリート水分計



写真-13 張出架設時の保水養生テープ設置

中間排気口は曲げ下げ開始位置付近、排出口付近の 3 箇所を設置した²⁾ (図-8)。

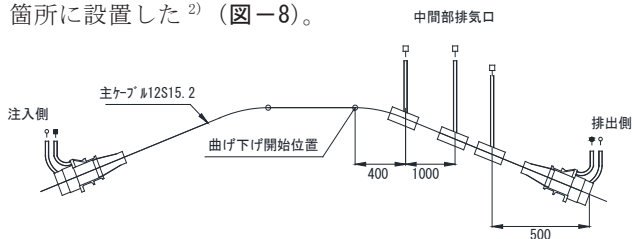


図-8 中間排気口設置要領図

充填性の判定として、ダクトのリブ断面以上の残留空気の有無で判定した²⁾。

今回の注入では確実に充填性を確保するため、排出側に「真空ポンプ」(写真-15)を用いてダクト内の気圧を-0.09MPa まで減圧した。またダクト全域で減圧されているか確認するために、注入箇所付近および中間排気口にも圧力計を設置して減圧状態を確認しながら PC グラウトの注入試験を行った (写真-16)。



写真-15 真空ポンプ



写真-16 中間排気口圧力計

PC グラウト注入中には先流れ現象が見られたため、終端部(排出側)まで PC グラウトが到達したのちに中間排気口から残留空気を排出し、再加圧を行うとこにより空隙部を充填させた。PC グラウト硬化後の充填性の確認として、残留空気が発生しやすい中間排気口設置箇所付近のダクトを切断し、空隙の有無を確認した。その結果、わずかな残留空気は確認されたが、ダクトのリブ(凸部)より小さく、空隙が直接 PC 鋼材と接することがないため、グラウトによる防錆性能に対して有害となるものではないことが確認できた^{2), 3)}。以上のように、真空ポンプを併用し、適切な位置に中間排気口を設置して PC グラウト注入作業を行うことで充填性が確保できることを確認した。(写真-17)



写真-17 PC グラウト充填性確認状況

6. おわりに

下部工では、渇水期内と厳しい工程と圧気作業という厳しい環境の中、無事に事故無く施工を完了できた。現在は張出施工の終盤を迎えている。これまで述べた管理を継続して行うと共に、特に上げ越し管理には細心の注意を図り取り組んでいきたい。

下部工着工からこれまで、地元住民からも工事に関心を持っていただき、現在も堤防道路の一部規制等にご協力いただきながら施工を進めている。今後も墜落事故等発生させないよう安全管理にも努め、無事、工期内に竣工を迎えられるよう施工していきたい。

最後に、これまでご指導、ご協力をいただいた関係者各位にこの場を借りて感謝申し上げます。



写真-18 ニューマチックケーソン施工状況



写真-19 張出架設 施工状況

【参考文献】

- 1) コンクリート標準示方書【設計編】2012年 土木学会
- 2) PC グラウトの設計施工指針 -改訂版-平成 24 年 12 年公益社団法人プレストレストコンクリート工学会
- 3) PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材 施工マニュアル 2013 年改訂版 一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会