

能越自動車道 黒崎川橋の施工

— 高流動コンクリートを採用した張出し架設 —

小牧 敏*1・遠藤 文美男*2・前田 智宏*3・好竹 亮介*4

本工事は、重要港湾等へのアクセス強化や災害に強い交通ネットワークの形成を目的とした能越自動車道の整備事業（石川県輪島市～富山県砺波市に至る延長約 100 km の高規格道路）の一環である能越自動車道七尾氷見道路において、橋長 $L = 168$ m の 3 径間連続ラーメン PC 箱桁橋を架設する工事である。本橋梁の桁架設は、通常張出し架設工法であるが、張出し施工ブロックのコンクリートにおいて、コンクリート打設時の締固め作業の省力化、ジャンカやコールドジョイントなど致命的な不具合リスクの改善を目的とした高流動コンクリートを採用した。本稿では、高流動コンクリートを採用するにあたっての課題を示し、課題解決に向けて実施した試験施工および本施工の状況について報告する。

キーワード：高流動コンクリート、透水性型枠、気泡抑制対策

1. はじめに

黒崎川橋は、能登半島の富山湾側を縦断する能越道七尾氷見道路において、黒崎川を渡河する橋長 168 m の 3 径間連続ラーメン PC 箱桁橋である（図 - 1）。本橋は、富山湾海岸線から約 300 m 付近にあり、塩害による鋼材腐食への影響の高い箇所であることから、維持管理上補修が困難となる張出し施工ブロックのコンクリートにおいて、ジャンカやコールドジョイントなど耐久性を損なう不具合を確実に防止することが求められた。そこで、本橋は、張出し施工ブロックのコンクリートにおいて、上記の不具合リスクの改善を目的として、充填性と材料分離抵抗性に優れた高流動コンクリートを採用した。本稿では、バイブレーター併用を前提とした高流動コンクリートを採用するにあたっての課題を示し、課題解決に向けて実施した試験施工および本施工の状況について報告する。

2. 橋梁概要

2.1 工事概要

黒崎川橋の工事概要を以下に示す。また、主桁断面を図 - 2 に示す。

工事名：能越道黒崎川橋上部工事

発注者：国土交通省

北陸地方整備局 金沢河川国道事務所

路線名：能越自動車道 七尾氷見道路

施工者：鉄建建設(株)

道路規格：第 1 種第 3 級 (B 規格) $V = 80$ km/h

構造形式：3 径間連続ラーメン PC 箱桁橋

橋長：168.0 m

支間：3 径間 44.5 m + 76.0 m + 44.5 m

2.2 構造概要

本橋は、上床版内に配置する張出し架設用の内ケーブル

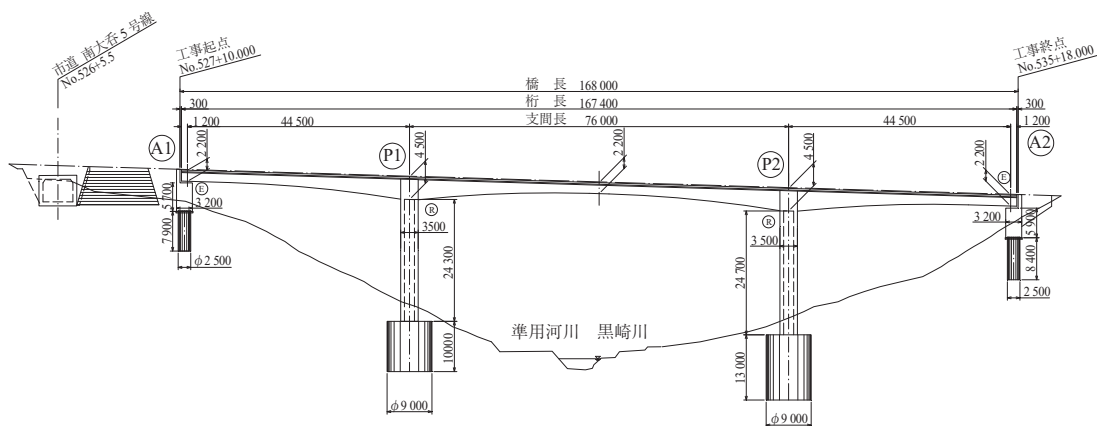


図 - 1 黒崎川橋全体一般図

*1 Satoshi KOMAKI：国土交通省 北陸地方整備局 金沢河川国道事務所 主任監督官

*2 Fumio ENDO：鉄建建設(株) 名古屋支店 糸魚川作業所 所長

*3 Tomohiro MAEDA：鉄建建設(株) 大阪支店 東広島PC作業所 次長

*4 Ryosuke YOSHITAKE：鉄建建設(株) 土木本部 エンジニアリング部 課長代理

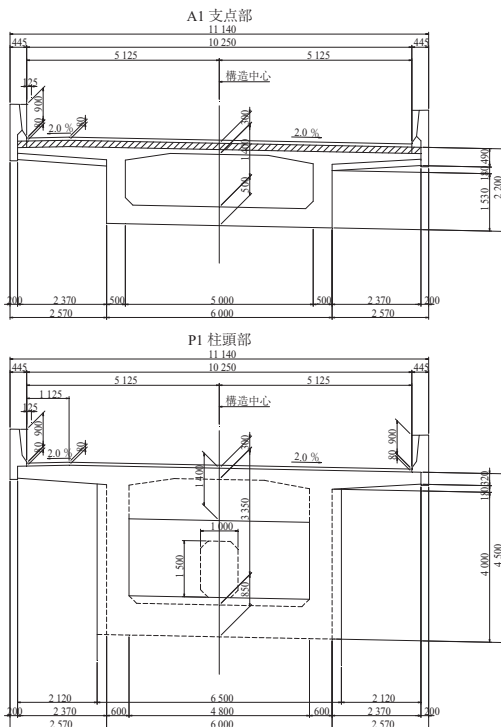


図 - 2 主桁断面図

(12S12.7) と構造系完成後に下床版内に配置する内ケーブル (12S12.7) および外ケーブル (19S15.2) を併用する標準的なボックス断面構造である。桁高は、 $H = 2.2 \sim 4.5 \text{ m}$ 、ウェブ幅は、 $B = 300 \sim 600 \text{ mm}$ で変化する (図 - 3)。

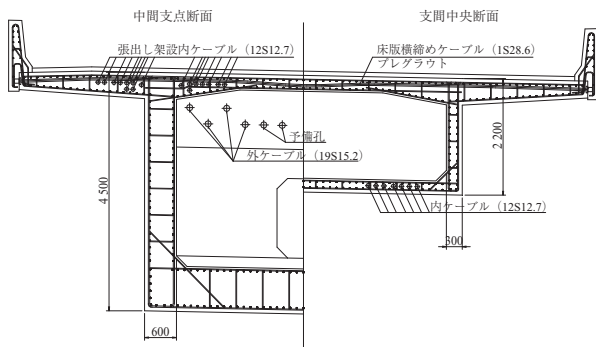


図 - 3 主桁断面詳細図

3. 高流動コンクリートの採用

3.1 高流動コンクリートの配合

本工事で使用した高流動コンクリートは、増粘剤で粘性を高めることで可能となるセメント粉体総量を抑えた配合とした。セメント総量を少なくできることで、コンクリートのコストの抑制や、温度ひび割れや乾燥収縮の発生の抑制が可能となる。表 - 1 に示す本配合は、あらかじめ増粘剤が添加された高性能 AE 減水剤を使用することで、増粘剤をプラントで計量する必要がなく使用性に優れた配合となっている (写真 - 1)。

表 - 1 高流動コンクリート配合表

目標スランプフロー	セメント種別	W/C (%)	S/a (%)	設計空気量 (%)	単位水量	単位セメント量	細骨材	粗骨材	混和剤 C×1.30 %
57.5 cm	早強	40.0	52.2	4.5 %	170 kg	425 kg	844 kg	820 kg	5.525 kg

※ 混和剤：増粘剤が添加された高性能 AE 減水剤



写真 - 1 高流動コンクリートのスランプフロー試験状況

3.2 コンクリート打設方法と型枠構造の検討

箱桁構造の張出し施工ブロックにおいて通常のスランプでコンクリートを打設する手順は、ウェブと下床版の隅角部へコンクリートを流し込み、隅角部ハンチからの吹き上りを確認することで充填されたことを確認する。次に下床版スラブ、ウェブ、上床版の順にコンクリートを充填し打設完了となる (図 - 4)。ここで、通常のスランプのコンクリートと同じ打設手順や型枠で高流動コンクリートを打設すると、次に示す状態になると想定された。① ウェブから投入したコンクリートは、そのまま流動を続け最終的には下床版上面からあふれ出し充填はできない。② 高流動コンクリートは液圧として大きな力が型枠に作用するため、型枠の変形やはらみだしが発生する可能性が高い (図 - 5)。

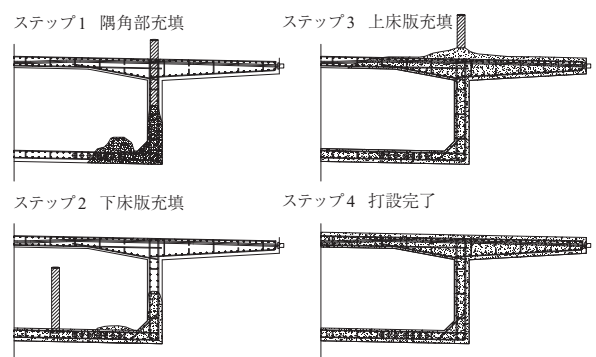


図 - 4 通常の箱桁打設手順

したがって、下床版にコンクリートを充填しウェブ上床版と打ち上げるため、下床版上面に伏型枠を設置すること、型枠構造は、液圧で設計し部材を選定することとした。

3.3 高流動コンクリート採用への課題と対策

高流動コンクリートは流動性が高く充填性に優れた性状を示すが、液圧として型枠に大きな応力が作用することお

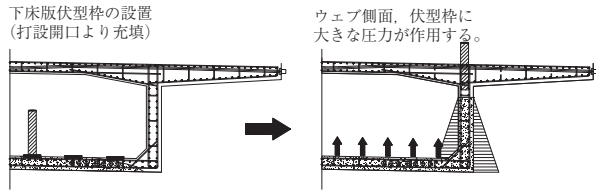


図 - 5 高流動コンクリート打設状況図

よび粘性が大きいいため空気を巻き込んで流動することからコンクリート打設後の仕上りに関して下記①～③の課題が想定された。

- ① 高流動コンクリート液圧による型枠変形の防止
- ② 下床版上面に設置する伏型枠面の気泡だまりの防止
- ③ ウェブ側面に発生する表面気泡の抑制方法

上記の課題に対し、本施工前に実物大打設試験を実施し、コンクリートの打設順序、締固め方法および型枠構造の適否を確認した。

また、高流動コンクリートを採用する張出し施工ブロックのコンクリートの静弾性係数において設計値と、実測値に差異が生じ上げ越し量に誤差が生じる可能性が想定されたことから、試験練り・施工中（1, 4, 7 BL）時に静弾性係数試験を実施し実静弾性係数により上げ越し量を補正した。なお、主桁のたわみ量は橋脚の静弾性係数や基礎のバネ定数にも影響を受けるため、各橋脚に設置した傾斜計の値から橋脚の変形係数を求め上げ越し量の補正值に反映した。

3.4 実物大試験

(1) 実物大試験概要

実物大試験は、ブロック長 2.0 m の張出し施工ブロックのコンクリートの充填性を確認するため、下床版鉄筋および PC 鋼材を配置したウェブ高さ 2.2 m の試験体で実施した。なお、下床版上面は、伏型枠とし下床版の最大勾配 3.6 % を反映させて試験を行った（図 - 6）。

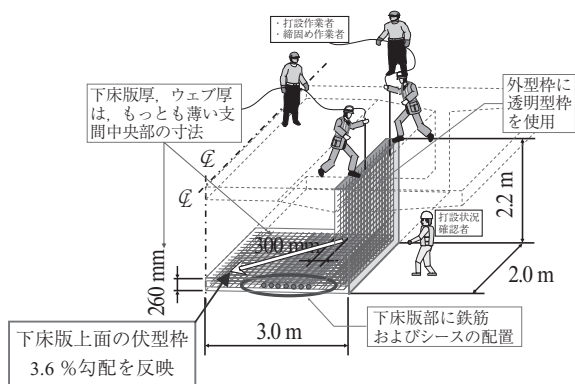


図 - 6 実物大試験概要図

実物大試験で確認した項目を以下に示す。

① 打設順序および打設速度の確認

打設順序と打設速度は、高流動コンクリートの充填性や側圧作用応力の増加量に影響するため、打設試験で確認し実施工に反映する。

② 型枠構造の確認

型枠構造は、コンクリート重量が液圧で作用すると仮定し仕様を決定した。打設試験で圧力計により側圧測定を行い、型枠構造の妥当性を検証した。また、下床版上面伏型枠は、型枠構造ごとの仕上り状態の比較検証を行い実施工に反映した。

③ 締固め方法および表面気泡抑制方法の確認

バイブレーターの仕様や表面気泡抑制対策ごとの仕上り状態を比較検証し、実施工に反映した。

(2) 打設順序および打設速度の検証結果

高流動コンクリートの性状から下床版、ウェブ、上床版の順に充填する方法を採用した。以下に打設順序と打設速度を示す。

START ・経過時間 0分

STEP 1 下床版打設開口より下床版を打設（写真 - 2）

コンクリート充填が確認できた伏型枠の開口部を順次閉塞し、下床版が完全に充填されたことを確認する。打設速度は、15分（6 m³/時間）とし、STEP2 への段取り替えの時間は、実施工を踏まえて 10 分と設定した。

・経過時間 25分

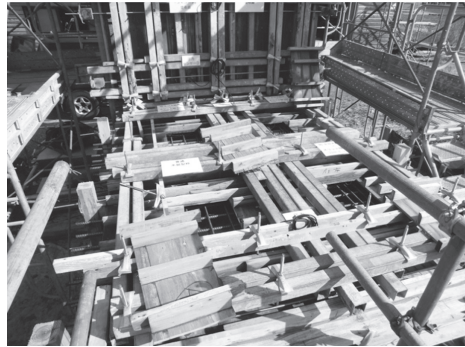


写真 - 2 下床版伏型枠

STEP 2 妻型枠打設開口よりウェブを打設（写真 - 3）

外型枠に使用する透明型枠により打ち上り高さを確認し下床版から 1 m の高さにある妻型枠開口より下部が完全に充填されたことを確認する。打設速度は、3分（15 m³/時間）とした。また打設完了後は、実施工で打設する反対側ウェブの打設



写真 - 3 妻型枠開口打設状況

時間を考慮し、2回の段取り替え20分と打設時間3分で合計23分の停止時間を考慮した。

- 経過時間 51分

STEP3 ウェブ上部から最終打設

打設速度は、3分(15m³/時間)とし、最終打設完了は、合計54分とした。

実物大試験により、各作業員の打設順序の確認を行うことができた。また、事前に設定した打設速度も適正であることが確認でき、そのまま実施工に反映することができた。

(3) 型枠構造の検証結果

型枠に設置した圧力計により側圧を測定し、式-1で算出される液圧で設計した型枠構造が妥当かどうかの確認を行った。また、下床版上面で使用する伏型枠は、脱水性のあるRCクロスを貼り付けさらにスリット付の透水性型枠とした。これは、高流動コンクリートは粘性が高く巻き込んだ空気が伏型枠の表面に残り、大きな気泡だまりが発生する可能性があるためである。実物大試験で、スリット透水性型枠のスリットのピッチを変えてもっとも仕上りのよい方法を確認した。

- セパレーター仕様

材質：ストロングセバ(S45CN)

※標準セバ(SS400)の1.5倍の強度を有す。

径：1/2インチ

ピッチ：600mm間隔

- 伏型枠仕様

スリット付き透水性型枠(図-7)

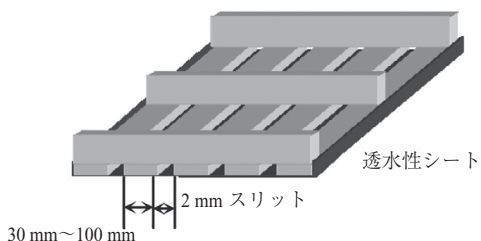


図-7 スリット付き透水性型枠

- 伏型枠設置位置、側圧測定位置(図-8)

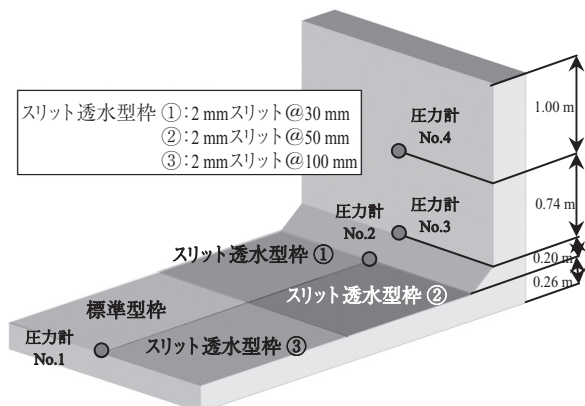


図-8 伏型枠設置位置、側圧測定位置図

実物大試験結果より測定した側圧は、表-2に示すとおり全て計算値以内であり、打設時に型枠のはらみだしやコンクリートの漏れは発生せず型枠構造に問題ないことが確認できた。ウェブ下端No.3の測定値が計算値を大きく下回った要因は、モルタルとφ10mmの圧力センサーの間に骨材もしくは気泡が挟まったため、正常な圧力が計測できなかったと思われる。

表-2 側圧測定結果表

測定位置	打設高さ H (m)	側圧計算値 P (KPa)	測定値 (KPa)
下床版中央 No.1	1.94	45.2	43.4
下床版端部 No.2	1.94	45.2	35.8
ウェブ下端 No.3	1.74	40.5	12.0
ウェブ中段 No.4	1.00	23.3	20.9

伏型枠は、打設試験体の仕上がり状況から図-7に示す③2mmスリット@100mmを採用した(写真-4、写真-5)。

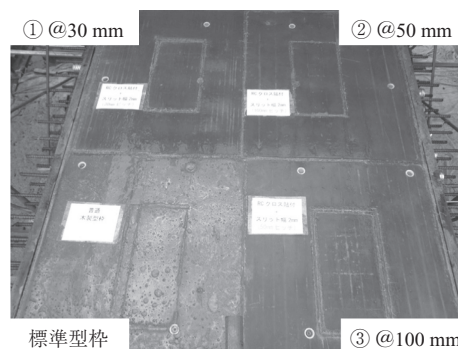


写真-4 下床版上面仕上がり状況



写真-5 下床版打設状況

- 側圧計算式(液圧として算出)

$$\text{側圧} : P = H \times \gamma_c \dots (1)$$

ここに、P:側圧(KPa) H:打設高さ(m)

γ_c :生コンクリート単位体積重量(=23.3kN/m³)

(4) 締固め方法の検証結果

実物大試験で採用したバイブレーターの仕様、台数および配置人員を表-3に示す。

実物大試験において、コンクリート打設時の締固め作業

表 - 3 締固め作業人員配置表

作業工種	配置人員	配置位置
① 打設指揮および透明型枠充填確認（職長）	1名	ポンプ筒先
② φ 40 mm 内部振動器 1台	2名 ^{*1}	ウェブ上部
③ 型枠バイブレーター 1台	2名 ^{*1}	ウェブ外面
④ 下床版開口部閉塞および型枠点検作業（大工）	1名	下床版、妻型枠
⑤ コンクリートポンプ（筒先合番）	2名	ポンプ筒先

※1 実施工では、両ウェブに対応するためバイブレーターはそれぞれ2台とし配置人員は4名とした。

人員配置の確認を行った結果、コンクリートの仕上り状況は良好であり試験時の配置を実施工に反映させた。

(5) 表面気泡抑制方法の検証結果

高流動コンクリートは、粘性が高くウェブ側に気泡が残る可能性がありそれは表面の出来栄えに影響する。表面気泡抑制方法については、実物大試験において下記のとおり検証を行った（写真 - 6）。



写真 - 6 ウェブ側面仕上げ状況

- ① 普通はく離材の使用
- ② 消気泡効果型はく離材の使用
- ③ 消気泡効果型はく離材 + 脱泡用板状バイブレターの使用
- ④ 消気泡効果型はく離材 + 櫛形気泡除去治具の使用

打設試験体に仕上り状況を確認した結果、①普通はく離材の範囲は若干気泡が残っていたが、それ以外②～④は、どの組み合わせも気泡は残っておらず仕上り状況に明確な差異が無かった。実施工では、ウェブ側に②消気泡効果型はく離材使用で対応した（写真 - 7）。

(6) 静弾性係数および傾斜計測定値による上げ越し量の補正

本橋は、実際に打設する高流動コンクリートの静弾性係数を測定し、表 - 4 に示す静弾性係数測定値を元に算出される変形量により上げ越し量の補正を行った。上げ越し量補正値は、静弾性係数の測定値のほかに、橋脚に設置した傾斜計測定値の値も反映し算出した（図 - 10）。上げ越し量の補正方法について、補正値算出フローを図 - 9 に示す。

上げ越し量補正を反映し完成した橋体形状図を図 - 11 に示す。構造系完成後の橋体形状は、全断面で規格値を満足した。

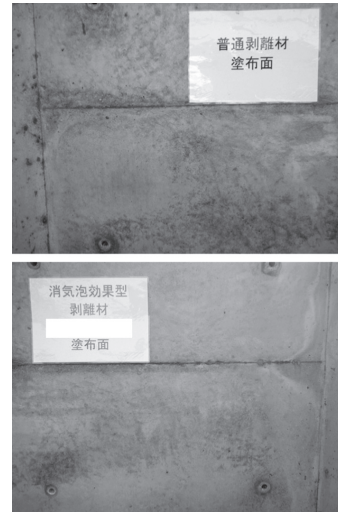


写真 - 7 ウェブ側面仕上り状況

表 - 4 静弾性係数測定値表

測定 BL	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)	材齢 (日)	設計値
試験練り時	63.3	32.9	9	圧縮強度 40.0 N/mm ²
P1-1BL	52.2	33.6	9	
P1-4BL	57.2	30.4	7	
P1-7BL	61.1	31.7	7	静弾性係数 31.0 kN/mm ²
P2-1BL	57.0	30.2	7	
P2-4BL	54.3	30.4	7	
P2-7BL	47.6	28.3	7	

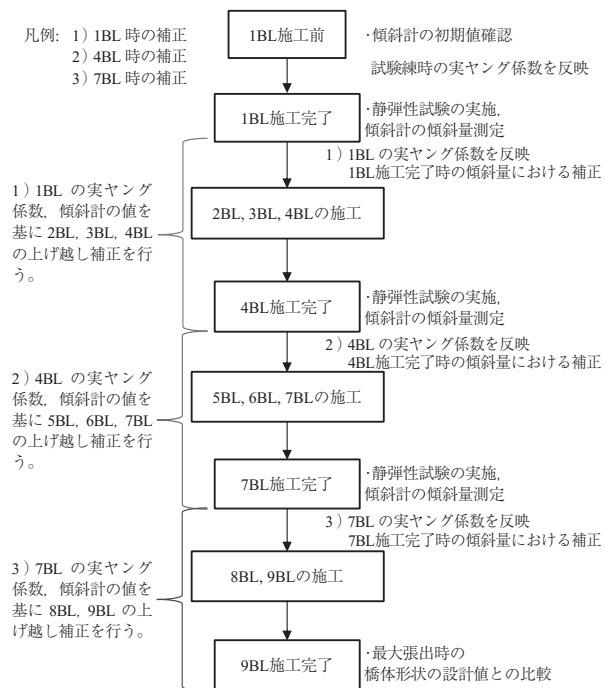


図 - 9 上げ越し量補正フロー図

4. 施工ステップの検討

本橋の施工ステップは、図 - 12 に示すとおり、当初設

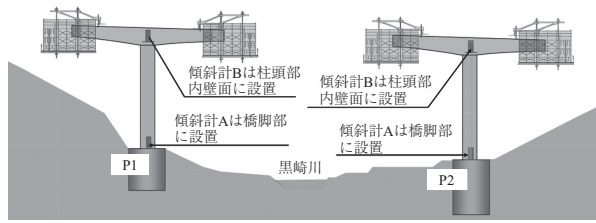


図 - 10 傾斜計設置概要図

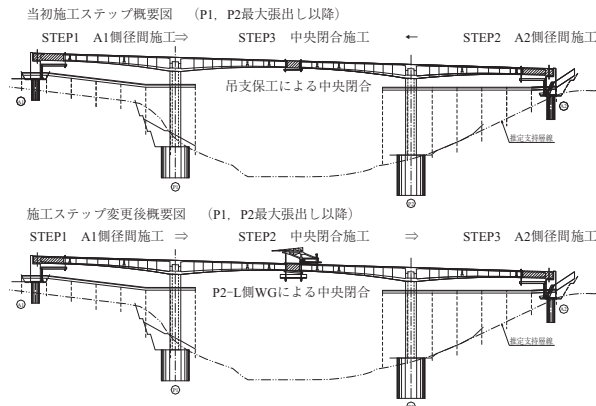


図 - 12 架設ステップ変更概要図

計では、張出し施工完了後、A1、A2側径間を連結し、最終ステップで吊支保工により中央閉合を連結後外ケーブルの緊張を行い構造系完成させる計画であったが、本橋は、他工区との工程調整の関係からA1側径間側の市道切り回り道路の施工を先行させる必要があり、張出し施工完了後A1側径間、P2側移動作業台車による中央閉合、A2側径間の順に閉合し構造系を完成させた。また、中央閉合をP2側移動作業台車を利用し施工したことで、吊支保工の組立・解体にかかる工程の短縮が可能となった。施工ステップの変更に伴い架設中から完成後まで当初設計から主桁に発生する応力度とたわみが変化する。それぞれ、施工ステップ変更に伴う応力度照査および上げ越し計算を実施し設計上・施工上問題ないことを確認して施工を行った。

5. おわりに

本橋は、コンクリート打設時の充填不良やコールドジョイントなどの不具合リスクが低減できる高流動コンクリートを張出し施工ブロックに採用した当社施工の2例目の橋梁である。本橋で高流動コンクリートを採用するにあたり、1例目「第二阪和国道淡輪高架橋 国土交通省 近畿地方整備局」の施工実績を踏まえて課題点を抽出し、実物大試験から得られた各対策を実施に反映させた。実施工では懸念された下床版上面や上部側面の仕上りにトラブルはなく順調に工事が進捗し、平成24年9月に構造系完成後、11月にしゅん功を迎えた(写真-8)。

本橋の建設にあたり、多くの課題に対してご指導、ご協力をいただいた関係各所に深く感謝する。



写真 - 8 架設完了全景

参考文献

- 1) 河田真一、藤田晶久：淡輪高架橋における高強度コンクリートの施工時例報告について、平成23年度近畿地方整備局研究発表会論文集、pp.1～6
- 2) 佐藤茂美、清水眞典、神田隆司、飯塚隆博：第二阪和国道淡輪高架橋の施工：第20回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.235～pp.238、2011.10

【2012年12月12日受付】

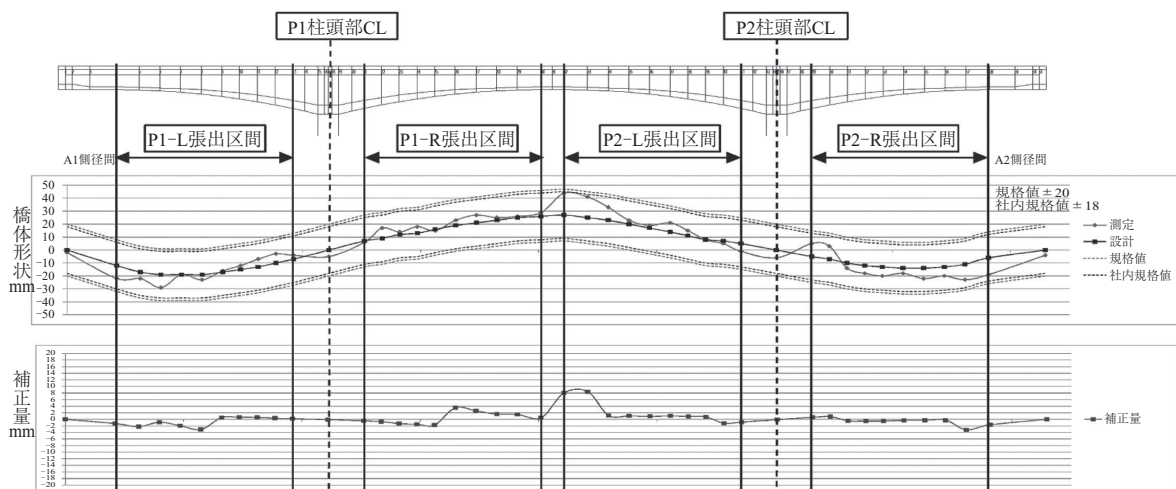


図 - 11 構造系完成後橋体形状図