

付替県道 14 号橋の工事報告

— 高橋脚曲線橋の急速施工 —

入江 友規*1・田浦 真司*2・長岡 覚*3

付替県道 14 号橋は、橋長 180 m、主桁高 9.0 ~ 4.0 m、平面線形 $R = 500$ m、橋脚高 60 m の PC 2 径間連続ラーメン箱桁橋である。架設地点は、冬季には氷点下 10℃ を下回る厳しい環境となる。極力冬季のコンクリート打設やグラウト施工を避けるために工程の短縮を図り、冬季の施工となる柱頭部ではコンクリート硬化時の温度変化や乾燥収縮の影響が小さくなる打設方法とした。本稿では大型移動作業車を用いたことによる張出し施工の工期短縮、冬季にかかる柱頭部コンクリートの施工上の工夫、桁高の高い主桁コンクリート打設の工夫、曲線橋の傾斜計による出来形管理について報告する。

キーワード：高橋脚、曲線橋、張出し施工、工期短縮

1. はじめに

付替県道 14 号橋は、鬼怒川上流ダム郡の一つである湯西川ダム建設工事に伴い水没する、県道黒西川線の付替工事の一環として架設される橋梁である。本橋は橋長 180 m（主桁高 9.0 ~ 4.0 m 平面線形 $R = 500$ m 橋脚高 60 m）の PC 2 径間連続ラーメン箱桁橋である。本橋が建設される場所は観光名所でもある日光国立公園内に位置し、冬季には -10℃ を下回る厳しい環境となる。施工位置図を図 - 1 に示す。

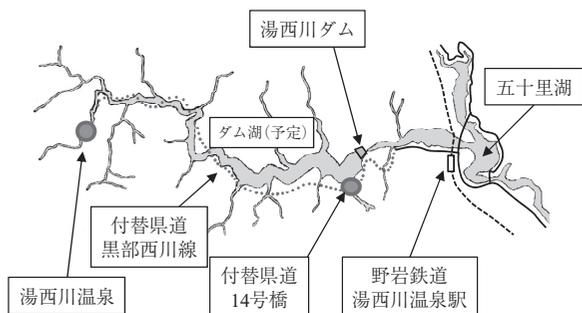


図 - 1 施工位置図

当初の計画では側径間部やグラウトの施工が冬季に計画されていた。コンクリートの品質を考慮すると、主桁のコンクリートやグラウトの施工は低温となる冬季の施工を避けることが望ましい。そこで、張出し施工ブロック数を減らすことにより、当初の計画から工程を短縮し冬季の施工量を削減した。工程を短縮しても、柱頭部の施工は冬季の施工となり、コンクリートの硬化時の温度応力や急激な温度変化、乾燥収縮によりひび割れの発生が懸念された。コンクリートの打設方法を検討し、ひび割れ発生の可能性が低い方法を採用した。また、本橋は高橋脚の曲線橋（張出し

し施工区間端部のシフト量が 6 547 mm）であり、橋脚の変形が予想されたため、柱頭部に傾斜計を取り付けた。張出し施工の橋脚の挙動は常時モニタリングを行い施工管理に反映させた。

本稿では、大型移動作業車を用いたことによる張出し施工の工期短縮、冬季にかかる柱頭部コンクリートの施工上の工夫、桁高の高い主桁コンクリート打設の工夫、曲線橋の傾斜計による出来形管理について報告する。

2. 工事概要

工事名：付替県道 14 号橋上部工事

工期：平成 20 年 3 月 11 日 ~ 平成 22 年 2 月 15 日

橋長：90.0 + 90.0 = 180.0 m（有効幅員：8.0 m）

発注者：国土交通省 関東地方整備局

構造形式：PC 2 径間連続ラーメン箱桁橋

図 - 2 に主桁標準断面図、図 - 3 に橋梁平面図、図 - 4 に橋梁側面図を示す。

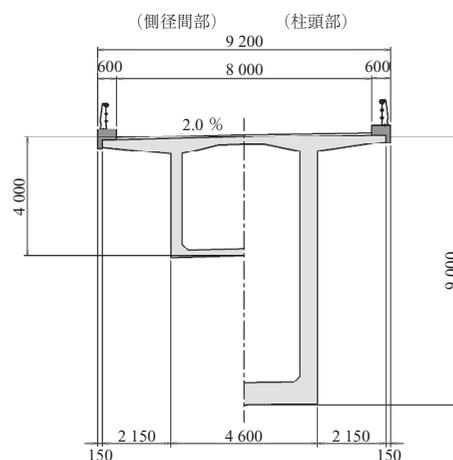


図 - 2 主桁標準断面図

*1 Tomoki IRIE : (株) 富士ピー・エス 施工本部 関東支店工事チーム

*2 Shinji TAURA : (株) 富士ピー・エス 施工本部 関東支店工事チーム

*3 Satoru NAGAOKA : (株) 富士ピー・エス 施工本部 関東支店工事チーム

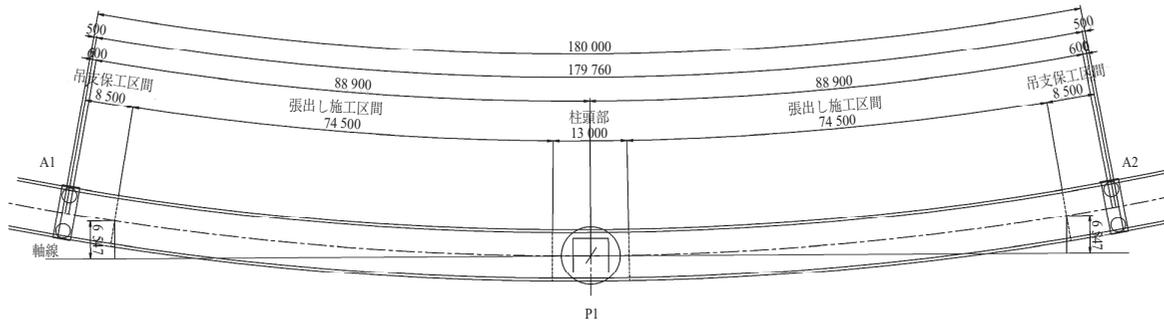


図 - 3 橋梁平面図

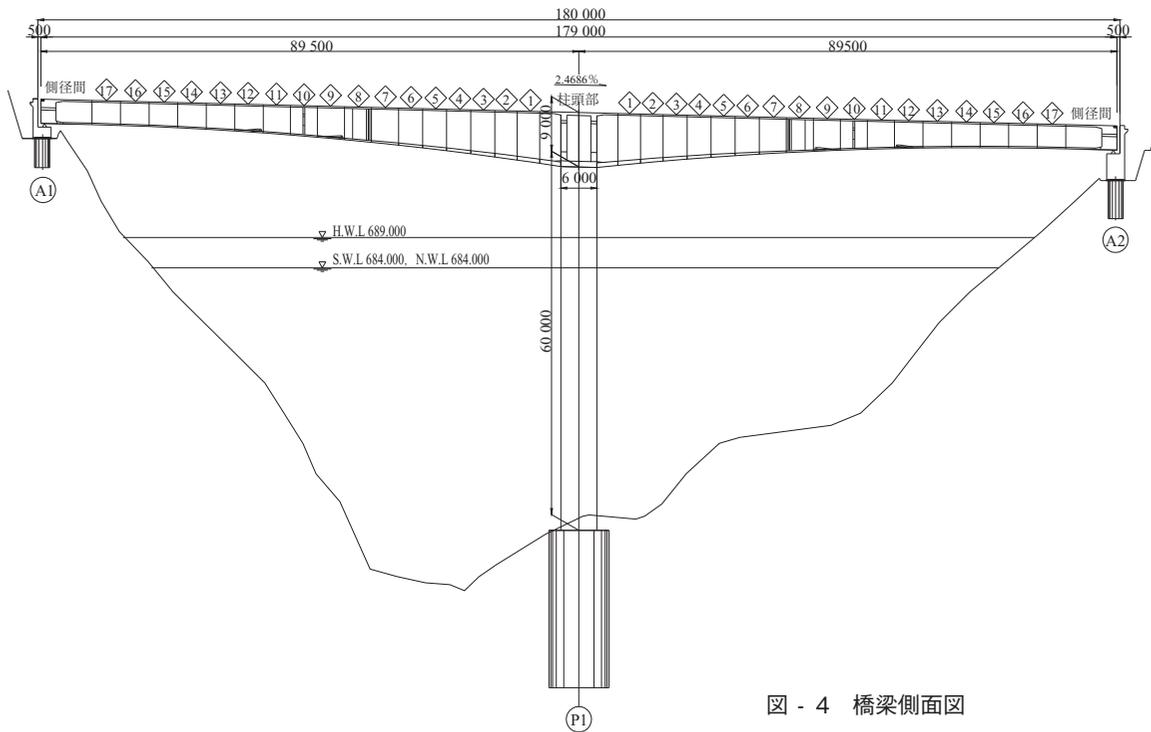


図 - 4 橋梁側面図

3. 計画の変更

3.1 工 程

(1) 当初計画工程

本橋は張出し施工部の、張出しブロック数が22ブロックで計画されていた。下部工施工の関係から、当初の計画どおり施工すると、柱頭部の施工、側径間部の施工、グラウト注入、橋面工の施工が冬期となる。本橋の建設位置付近（栃木・五十里）における過去の気象データによると、12月から3月は日平均気温が5℃を下回り、平均最低気温が氷点下となる、コンクリートにとっては厳しい環境である。

このような環境で、コンクリートの品質を確保するには、保温養生などの適切な養生と管理が必要となり、経済性も低下することが予想された。

(2) 変更計画工程

コンクリートの品質を確保し、経済的な施工方法へ計画変更するため、種々の検討を行った。本橋では、当初計画を変更し大型の移動作業車を使用することにより張出しブ

ロックを大型化し、張出しブロック数を減少させることが有効であった。

中型から大型の移動作業車に変更し、張出しブロックを最大4.0mから4.75mに拡大し、張出しブロック数を22から17ブロックに削減した。ブロック数を削減したことにより、約40日の工期短縮となった。この工期短縮により、PC鋼材のグラウトを12月前までに施工可能となる計画工程となった。

張出しブロック数の削減に伴い、設計の見直しも必要となった。移動作業車の大型化や平面線形の影響により、最大張出し時にせん断力が当初計画より大きくなり補強鋼材を追加した。補強鋼材は、せん断補強用のPC鋼材を柱頭部付近の主桁ウェブに配置した。このPC鋼材は、構造系が完成した後は不要となるため、構造系が完成した後は撤去した。

張出しブロック数減少のコスト面については、設備費や補強用PC鋼材の追加によるコスト増加もあったが、冬季の養生費用などのコスト減少もあり、経済性を損なうものとはならなかった。

図 - 5 に当初計画工程, 変更計画工程, 実施工程を示す。柱頭部と橋面工は冬季の施工となった。

3.2 張出し施工と平面線形

平面線形 $R = 500\text{ m}$ の曲線橋のため張出し施工終了位置と中間橋脚位置で, 構造中心のシフト量が最大で $6\,547\text{ mm}$ となる。このシフト量により張出し施工時にはコンクリート打設時のアンバランスモーメントのほかに, 面外方向の変形が発生する。立体骨組解析よると, 張出し施工時に最大で約 60 mm となる。橋脚の施工では, この変形の影響は考慮されていないため, 柱頭部の施工着手前に, 平面線形変更について, 発注者と協議し承諾を得た。

4. 急速施工の留意点

4.1 柱頭部コンクリート打設方法

柱頭部のひび割れ発生の可能性を極力抑えることによりコンクリートの品質を確保し, 施工を遅延させないようにコンクリートの打設方法を検討した。

柱頭部のコンクリート打設では使用するポンプ車の能力を考慮し 4 回に分割してコンクリートを打設した。このコンクリートを分割して打設するために生じる目地を打設目地とする。打設目地位置を決定する際は, ポンプ車の能力のほかに温度応力の解析結果を考慮して決定した。

柱頭部の床版部にも, すでに打設しているウェブが床版コンクリートの硬化時の温度変化による伸縮や乾燥収縮を拘束することにより, コンクリート打設後に引張応力が発生する。床版部は活荷重が作用する部位であることから, ひび割れの発生する可能性が小さいことが望ましい。そこで, 硬化時の温度変化や乾燥収縮の影響を考慮した温度応力の解析を実施した。温度応力解析の床版部分のひび割れ指数(材齢 t 日におけるコンクリートの引張強度 / 材齢 t 日における発生最大主引張応力度²⁾)に着目し, 床版コンクリートの打設目地の位置を決定した。

図 - 6 に温度応力の解析結果(ひび割れ指数)を示す。図 - 6 の検討案は床版とウェブのコンクリート打設目地

を上床版ハンチ付け根の下側位置に設けた解析結果である。実施案は実際に施工を想定した, ウェブを床版ハンチ

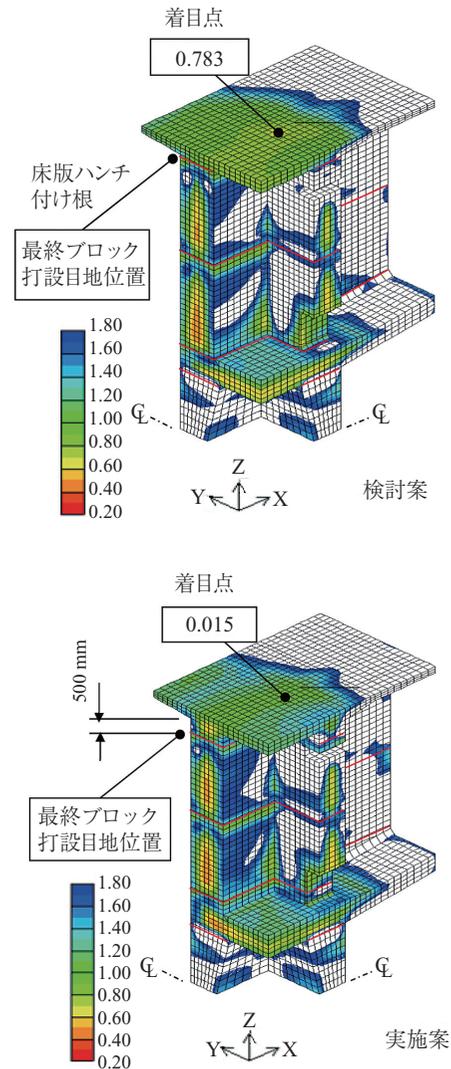


図 - 6 解析結果(ひび割れ指数)の比較

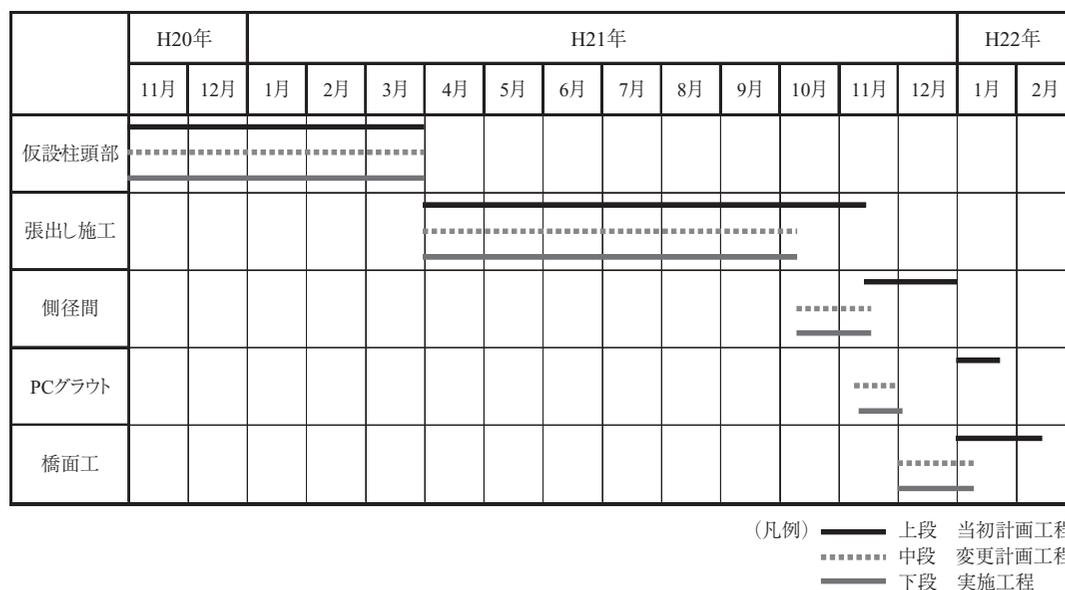


図 - 5 全体工程の比較

○ 工事報告 ○

付け根から 500 mm 打ち残した位置に打設目地を設けた解析結果である。

検討案では着目点のひび割れ指数が 0.783 となり、発生応力が材齢を考慮したコンクリートの引張強度より大きくなる。実施案では着目点のひび割れ指数が 1.015 と 1.0 を上回り、検討案に比べひび割れ発生の可能性が小さくなることが分かった。ウェブを打ち残す位置を 500 mm より大きくすると着目点のひび割れ指数を改善することは可能となる。しかし、主方向の PC 鋼材の配置やコンクリート打設数量などを考慮して、打設目地はウェブを 500 mm 打ち残す位置とした。

柱頭部のコンクリート打設後に定期的を目視によるひび割れ調査を実施したが、柱頭部の床版にひび割れの発生は認められなかった。

4.2 柱頭部コンクリート打設

柱頭部の施工は 12 月から 3 月の冬季施工となる。冬季施工では、初期凍害の防止および作業効率の向上、作業環境の改善を図る目的で、柱頭部足場支保工の全面を 2 重張りシートで覆った。屋根部は積雪および強風にも対応可能な、手動開閉式屋根を設置した。写真 - 1 は柱頭部施工時の状況で、上側の写真は屋根を閉じた状態、下側の写真は資材を搬入するために屋根を開いた状態を示す。

このような設備を設けたことにより、長期間の施工中断もなく柱頭部の施工が完了した。

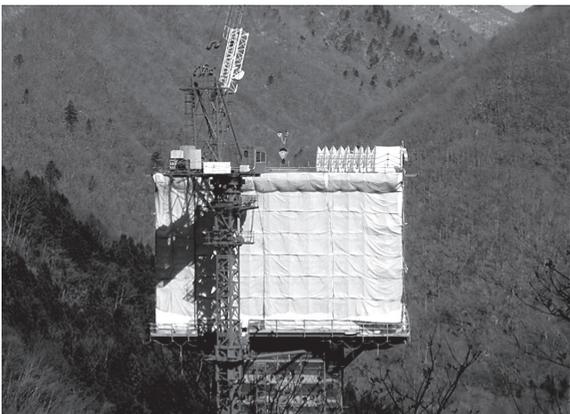


写真 - 1 柱頭部の施工状況

4.3 張出し施工

本橋の張出し施工区間長が 74.5 m あり、柱頭部の桁高は 9.0 m となる。したがって、柱頭部付近張出しブロックのウェブコンクリート打設では締固め不足による初期欠陥を防止する配慮が必要である。

主桁ウェブに打設するコンクリートの材料分離を防ぎ、確実に締固めを行うために、1 m 以下の打設高さとなるように投入口を設けた。図 - 7 にコンクリート打設口の配置概要図、写真 - 2 に打設口および打設状況を示す。

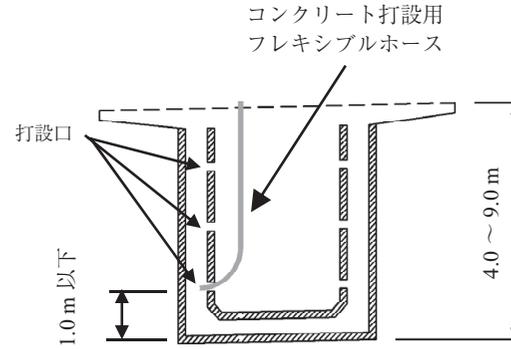


図 - 7 打設口配置概要図



写真 - 2 打設口, 打設状況

張出し施工のコンクリート打設は、橋脚に配置した圧送管を使用して左右を 1 日で行い、片側の打設終了後に橋面の水平圧送用配管をコンクリートを充てんしたままの状態

で一括移動する方法を採用した。この打設方法により、片側ブロック打設完了後 30 分以内には、反対側ブロックの打設を開始できた。

写真 - 3 に橋面の水平配管状況を示す。下側の写真は圧送管に移動用キャスターを取り付けた状態である。

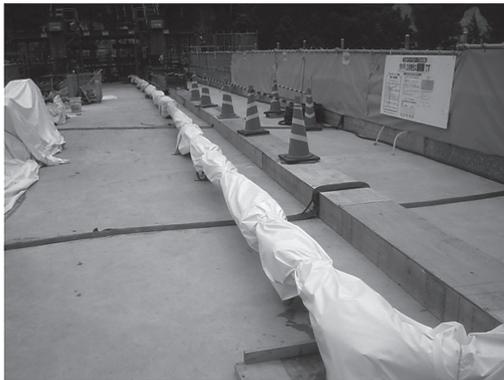


写真 - 3 橋面のコンクリート圧送管の水平配管状況

5. 施工時の管理

5.1 橋脚変位の計測

(1) 概要

大型移動作業車の使用により張出しブロック数が減少したが、1 回に打設するコンクリート数量は増加した。コンクリート打設時のアンバランスモーメントによる橋軸方向の傾斜と平面線形の影響から橋軸直角方向の傾斜も生じ、橋脚頭部の挙動は複雑となる。そのため、橋脚頭部の挙動を把握し出来形管理に反映させることは、出来形精度を向上させるうえでも有用と考え、柱頭部に傾斜計を設置し橋軸方向と橋軸直角方向の橋脚の傾斜を計測した。橋脚形状は図 - 8 に示すとおり 6.0 × 6.0 m の中空橋脚断面である。

測定される傾斜角度を変位量に換算した測定値と、橋脚を全断面有効と仮定した 3 次元フレーム解析による解析値と比較した。写真 - 4 に傾斜計の設置状況を示す。

(2) 計測結果

橋脚の変形を図 - 9 に示すような円弧と仮定して、傾斜計の角度から橋脚頭部の変位量を算出した。この算出方法は傾斜計の計測角度と橋脚高さから計算するため、橋脚

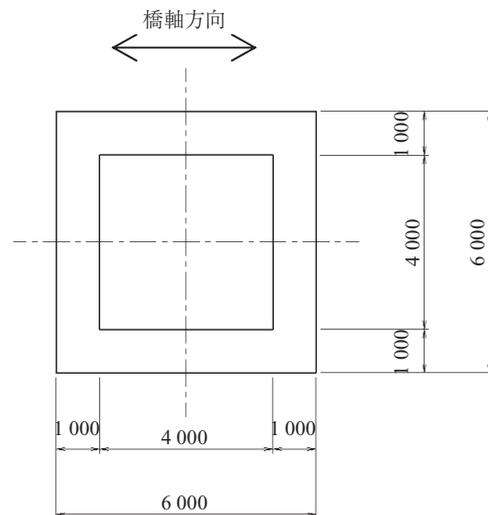


図 - 8 中空橋脚断面図

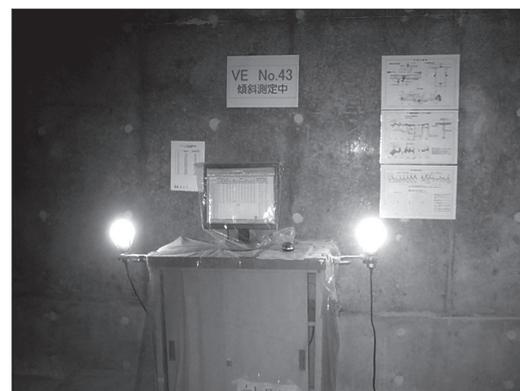


写真 - 4 傾斜計の設置状況

の断面形状や配筋状態を考慮する必要はない。

張出し施工では、橋脚の変位をトランシットを用いて、第 1 ブロック～第 3 ブロックまでの連続して 3 回と第 10 ブロックのコンクリート打設時に実測し、傾斜計の角度から算出した変位量と比較した。その結果、測量値と図 - 9 に示す換算式に $L = 60 \text{ m}$ とし傾斜計の角度から求めた変位の計算値がほぼ一致した。そこで、本橋では、橋脚の変形を円弧と仮定する方法は妥当であると判断した。

傾斜計は橋軸方向と橋軸直角方向の角度を測定してい

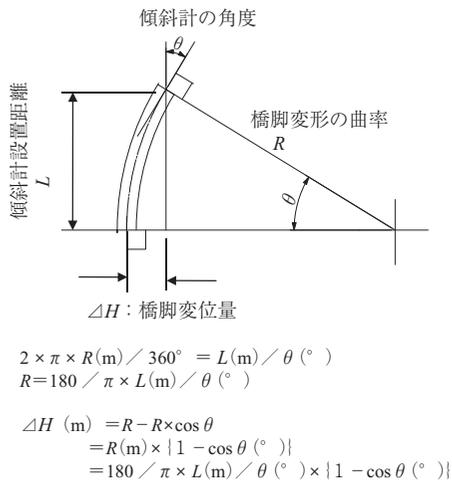


図 - 9 橋脚頭部変位の算出方法

る。各方向の変位をプロットすることにより水平面内の挙動を把握することができる。第 17 ブロックコンクリート打設後までの傾斜計の角度から算出した橋脚頭部の水平面内の変位を図 - 10 に示す。図 - 10 に示す各点はコンクリート打設後から次ブロックコンクリート打設前までの変位を一つのグループとしている。プラスとマイナスの符号は図 - 11 に示す方向である。図 - 10 の橋軸方向の変位がマイナス側に動いているのは、コンクリートの打設により橋脚が A2 側に変形していることを示す。橋軸直角方向の変位は施工の進捗により徐々に沢下流側への変形が増加している。

橋脚頭部の橋軸方向および橋軸直角方向の経時変化を図 - 12 に示す。横軸に張出し施工開始前の 2009 年 4 月 24 日からの経過日数、縦軸に橋軸方向、橋軸直角方向の変位量を示す。プラスとマイナスの符号は図 - 11 に示す方向である。ただし、計測時の不具合により一部データが欠落している。

(3) 橋脚挙動計測のまとめ

図 - 12 に示すように、橋軸直角方向の変位は、張出し施工とともに増加し、17 ブロック施工完了で約 70 mm となった。その後、移動作業車の解体により若干橋軸直角方

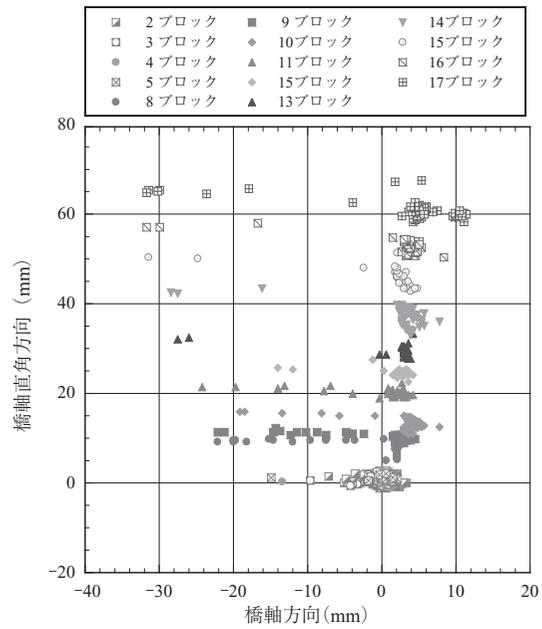


図 - 10 橋脚頭部の水平面内の変位

向の変位は減少し、最終的には 65 mm 程度であった。橋軸直角方向の実測値と解析値を比較すると、両者はよく一致しており、解析が実挙動をよく評価していたといえる。一方、橋軸方向の変位は、コンクリート打設をつねに A2 側から打設し、打設完了後に A1 側を打設したため、荷重のアンバランスにより、A2 側に先に変形し A1 側の打設とともに変形が戻る挙動が確認できる。橋軸方向の実測値と解析値を比較すると、A2 側に変形した時の実測値が解析値より小さくなっており、その差は、張出し長が長くなるほど大きくなる傾向であった。

橋軸方向の変位量が解析値より小さくなった原因として、コンクリートの打設方法が考えられる。本橋ではすべてのブロックで A2 側から打設し、橋面の圧送用配管を 30 分程度で水平移動して A1 側のコンクリートを打設した。すべて同じ傾向を示すことから、本橋のような高橋脚のラーメン橋では時間に依存する変形の影響により、先に打設した A2 側へ橋脚の最大変位が発生する前に A1 側にコン

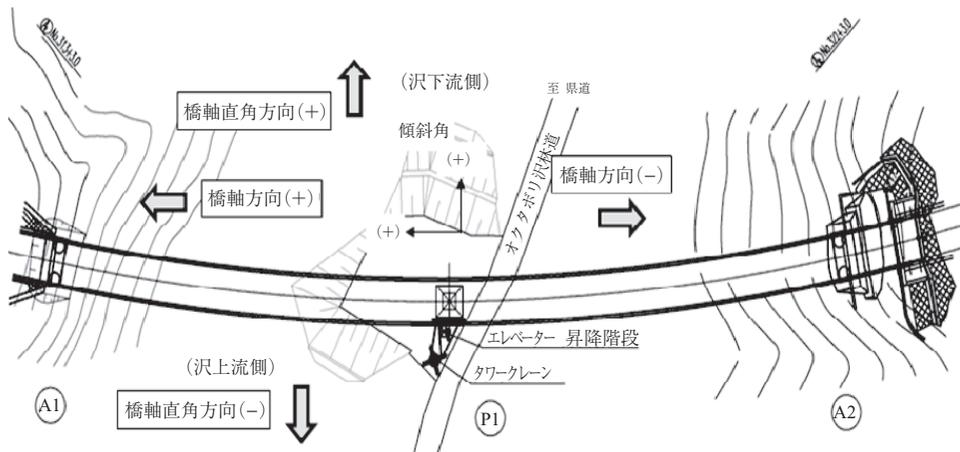


図 - 11 橋脚頭部の橋軸および橋軸直角方向の正負方向挙動

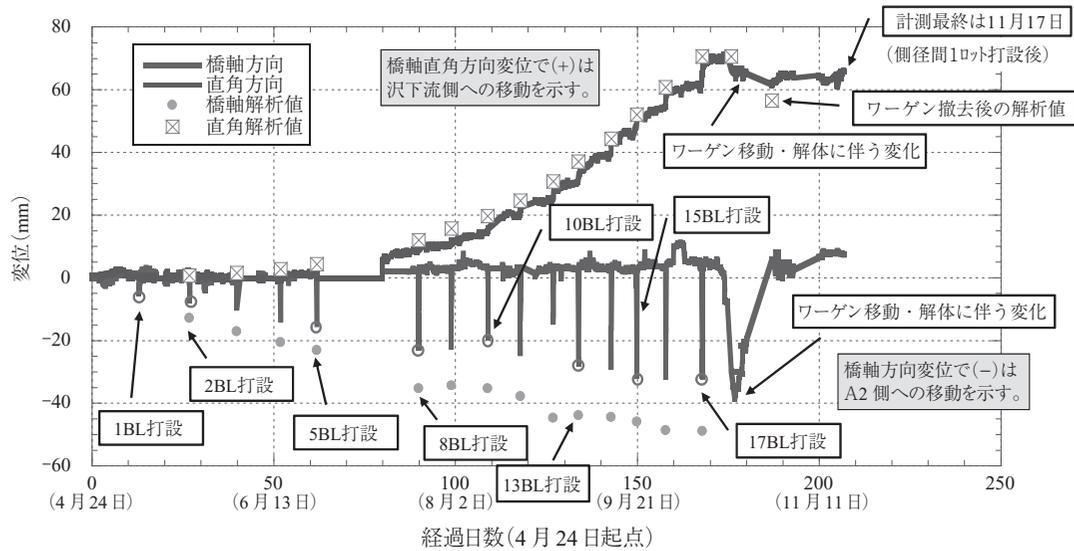


図 - 12 橋脚頭部の橋軸方向および橋軸直角方向の経時変化

クリート荷重が載荷されたためと推定した。ただし、今回の計測は、施工管理を主な目的としており、時間に依存する変形の影響は検証していない。

主桁出来形管理においては、橋脚がほぼ鉛直に施工されていることから、発注者に対し事前に橋軸直角方向の橋脚の倒れに対する解析値をもとに、主桁完成時の平面線形を変更することで承諾を得て、計測による管理を行いながら施工した。結果、予測した橋脚の倒れが発生したため、平面線形を $R = 500\text{ m}$ から $R = 503\text{ m}$ に変更し橋面工の施工を行った。なお、橋脚の変形が解析結果とよく一致したため、今後は、橋脚の変形を考慮した出来形管理も有効であると考えられる。

5.2 側径間閉合の管理

側径間部は吊支保工施工となり、解析では側径間閉合部のコンクリートを A1 と A2 側に分けて打設すると、橋脚と主桁の変形で張出し施工ブロック先端が 105 mm 変形する。この変形によるたわみ管理は煩雑となり、変形量も大きく施工的にも調整が難しい。そこで、A1 と A2 側径間部を同時に施工することで、張出し施工ブロック先端部のたわみの問題を回避し、工程の短縮もできた。

6. おわりに

本工事では、大型移動作業車による張出し工のブロック数の低減などの工程短縮対策により、寒冷期となる前に施工を無事完了することができた。施工前の検討や施工方法の改良で、初期の不具合や欠陥を回避することができた。

また、高橋脚を有する曲線橋であったが、橋脚の変位を

考慮した解析と橋脚変位の計測による施工管理を行ったことで、施工中の挙動をより正確に把握することができ、出来形管理において有益であった。

写真 - 5 に完成写真を示す。



写真 - 5 完成写真

参考文献

- 1) 入江友規, 田浦真司, 長岡覚: 第 19 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, 長支間を有する高橋脚曲線橋の施工報告, pp.305-308 プレストレストコンクリート技術協会, 2011
- 2) 2007 年制定 コンクリート標準示方書, pp.180-182, 土木学会, 2008.3

【2011 年 2 月 17 日受付】