新富良野大橋 A 橋の施工　－厳冬期の張出し施工と生産性向上への取組み－

(株)大林組　正会員　○森山　公雄　国土交通省北海道開発局　菊地　和彦
国土交通省北海道開発局　山崎　勲　(株)大林組　正会員　大場　誠道
(株)大林組　正会員　富永　高行　(株)大林組　正会員　大岡　和男
(株)大林組　正会員　坪倉　辰雄　(株)大林組　正会員　丸田　雅晴

１．はじめに

新富良野大橋は北海道富良野市に位置し，空知川に架かる全長619mの橋梁である。橋梁形式はPC8径間連続箱桁橋で，有効幅員12.0m，最大桁高4.8m の橋梁を移動作業車による張出し架設工法で架設する。上部工はA橋・B橋に工区が分割されており，本工事は起点側4.5径間（施工範囲348m）をA橋工区として施工している。なお，B橋工区についても同時期に施工が進んでいる。

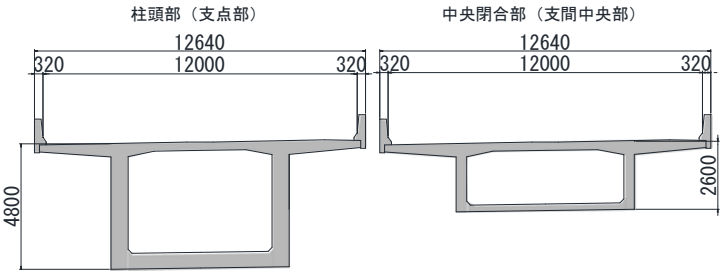
本工事の特徴として，①2018年度の冬期最低気温が-28℃まで低下した極寒の環境下での張出し施工，②工事範囲の大部分が河川敷地内であるという環境要因に加えて，③今後予想される技術者不足対策のために生産性向上を目的とした橋面・型枠高さの自動計測技術を開発した点を挙げる。本稿では，これらの特徴に起因する課題と解決策および実施した生産性向上の取組みについて報告する。

２．工事概要

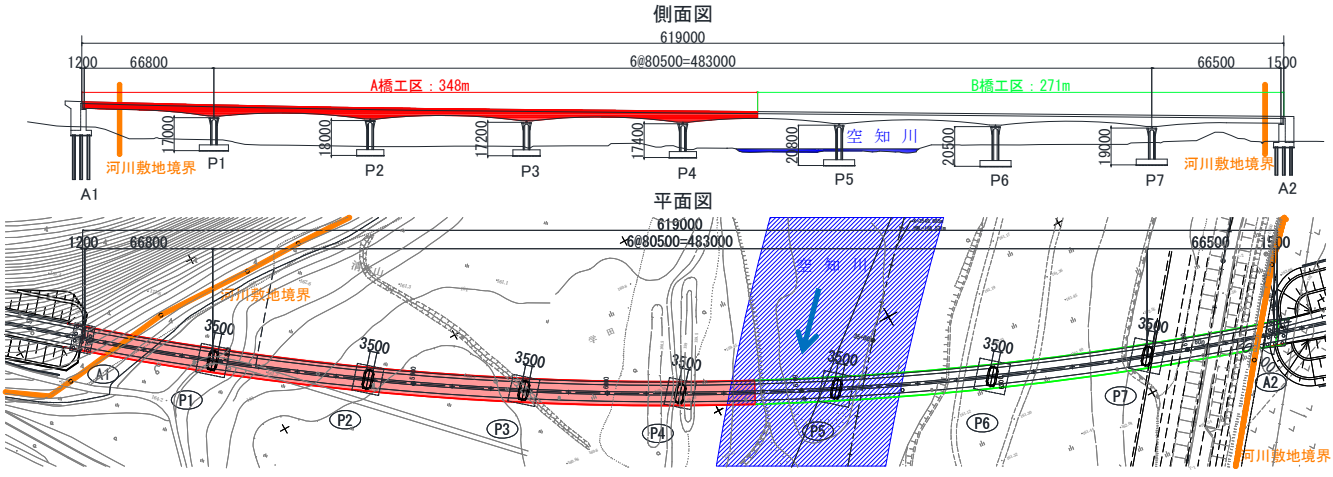
本工事の工事概要を**表－１**に，断面図・側面図・平面図を**図－１，２**に示す。

表－１　工事概要

工　事　名	旭川十勝道路　富良野市　新富良野大橋A橋上部工事
発　注　者	北海道開発局　旭川開発建設部
工 事 場 所	北海道富良野市清水山地内
工　　期	2017.10.19～2020.2.25
橋 梁 形 式	PC8径間連続箱桁橋（施工範囲:4.5径間）
橋　　長	619m（内，A橋工区:348m）
有 効 幅 員	12.0m
桁　　高	4.8m～2.6m
平 面 線 形	曲率半径R=1600m,斜角A1:θ=90°　A2:θ=70°
支　間　長	66.8m+6@80.5m+66.5m（内，A橋工区66.8m+3@80.5m+38.5m）
横 断 勾 配	2.0%
架 設 工 法	移動作業車による張出し架設工法
PC　鋼　材	主方向　12S12.7　　横方向　1S28.6
定 着 工 法	主方向　DW工法　　横方向　SM工法



図－１　断面図



図－２　側面図・平面図

キーワード　張出し施工，寒中コンクリート，自動計測技術，生産性向上

連絡先　〒108-8502　東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟　(株)大林組　橋梁技術部　ＴＥＬ03-5769-1306

３．柱頭部工

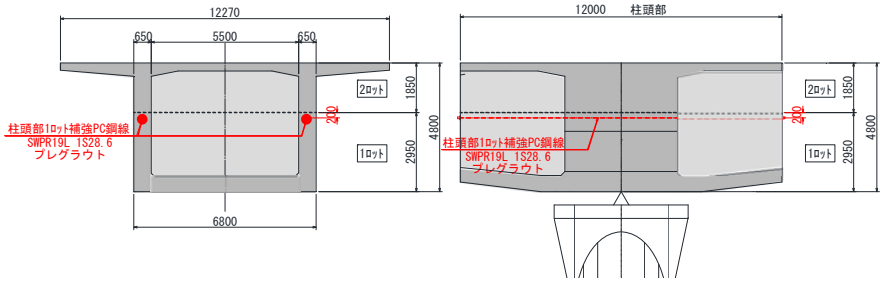
(1)概要

張出し架設工法の柱頭部は，張出し施工時の移動作業車を組み立てるスペースを確保するため，橋軸方向には 12m 程度の長さで設計されている。通常，柱頭部の構築では，橋脚から張出された柱頭部コンクリートの全荷重を支持するための大型のブラケットを橋脚に設置し，そのブラケット上で支保工・型枠を組み立てる（**写真－１**）。ブラケットの固定方法には①橋脚内を貫通して配置された PC 鋼棒でプレストレスを与えて摩擦力で固定する方法と②橋脚に設置されたアンカーで固定する方法がある。本橋は後者の方法により，下部工が完成した状態で引渡しを受ける条件であったため，既設橋脚に埋込まれていたアンカーを用いて 12m の柱頭部を構築することとなった。なお，本工事は最大桁高 4.8m の柱頭部コンクリートを 2 ロットに分割して施工することとした。

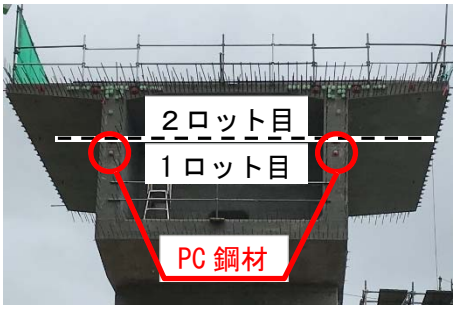
写真－１　柱頭部構築状況

(2)補強鋼材の採用による生産性向上

工事受注後，施工計画時に支保工重量が増加したため，アンカー本数が不足することが判明した。河川の河積阻害率の制約から支柱式支保工への変更が困難であったため，①あと施工アンカーの増し打ちにて柱頭部ブラケットを補強する対策と，②ブラケットに載荷される柱頭部コンクリート荷重を低減する 2 つの対策を検討した。検討の結果，本工事では後者を選択することとし，柱頭部 1 ロット天端付近に PC 鋼材を追加配置して，柱頭部 1 ロットで 2 ロット荷重を支える計画とした（**図－３**，**写真－２**）。その結果，ブラケットに作用するコンクリートの荷重は 1 ロット荷重のみとなり当初計画から半減するため，アンカーに作用する引抜力・せん断力を同様に半減させることができ，当初ブラケット支保工のままで必要な耐力を確保して施工を進めることができた。あと施工アンカー増し打ちの回避により大幅に生産性が向上するとともに，下部工の品質に配慮しつつ，安全性も高めることができた。なお，補強 PC 鋼材の導入プレストレス力については，2 ロット目のコンクリート荷重による引張応力度を打ち消す程度とした。



図－３　補強 PC 鋼材配置図

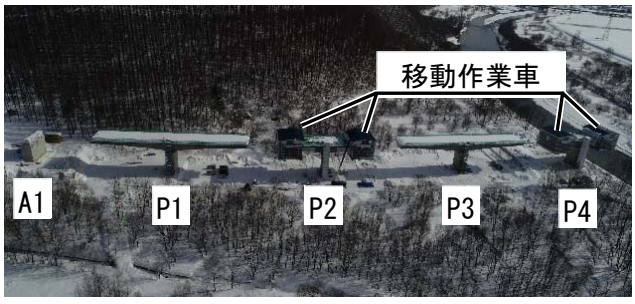


写真－２　補強 PC 鋼材

４．張出し施工

(1)概要

張出し架設工法は，1 つの橋脚に移動作業車を 2 基据付け，1 ブロック(以下 BL)につき 3m～5m ずつ躯体を構築し，移動作業車を両端に張出していく工法であり，本橋のように支間長が長い橋梁や桁下空間に制約がある橋梁に適用される。本橋の張出し BL 数は全橋脚 10BL となっており，4 基の中型移動作業車を用いて，2 橋脚同時の張出し施工を行った。後述する中央閉合の施工順序を考慮して，P1 橋脚と P3 橋脚を先行施工し，その後 P2 橋脚



写真－３　張出し施工状況

と P4 橋脚に移動作業車を転用した（**写真−３**）。当現場の施工条件，環境条件から想定された張出し施工時における特徴を以下に 2 点示す。

a) 河川区域内での通年施工

本橋の施工場所である富良野市は北海道の中央部に位置しており，十勝岳をはじめとした山岳地帯に周囲を囲まれた盆地である。冬期の気温は，過去 30 年の 1 月の平均気温で-9℃まで低下し，最低気温では-30℃を下回る年もあった。このような極寒の環境下において通年で施工を実施することとなるため，寒中コンクリートへの対応が必須であった。また，工事場所の大半は空知川の河川敷地内であり，給熱養生で使用する灯油やレイタンス処理水などの工事で発生する排水の河川への流出を避ける必要があった。

b) 張出し施工における橋面高さ管理と型枠セット

張出し施工は一般的に施工する BL 数が多く，それに比例してサイクル化した橋面高さ管理や型枠セットなどに関する測量業務が多くなる。具体的には，毎 BL 発生する緊張・移動作業車の移動・コンクリート打込みなどの作業によって変化した主桁の高さを作業毎に測量し，実変位と計画値との間に差異が認められた場合はその差をフィードバックして次 BL の型枠セット高さに反映させていく。張出し施工の期間，施工管理者は測量業務に忙殺され負担が大きいのが現状である。本工事においても，施工 BL が起終点合わせて 80BL 存在するため，多大な測量業務による施工管理者の負担増大が予想された。また，冬期における主桁測量業務は，その都度橋面を露出させるまで除雪を行う必要があり，過去 30 年の平均年間降雪量が約 700cm に達する豪雪地帯で施工する本工事においては，さらに負担が増大することが予想された。

写真−４　囲いと気泡緩衝シート

写真−５　囲いの端部養生

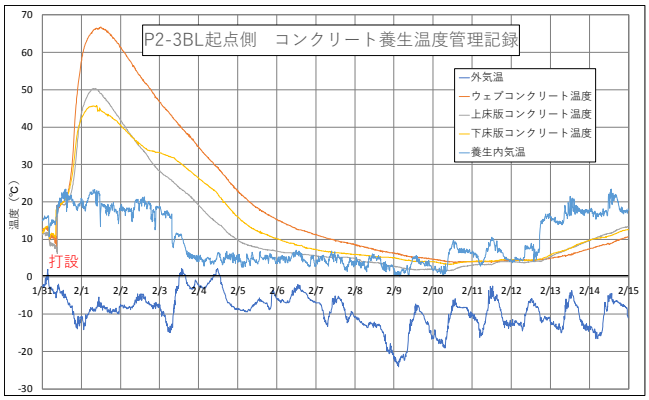
(2) 河川区域内での通年施工における対策

工事初期段階で全体工程の見直しを行い，柱頭部・側径間・中央閉合については，寒中コンクリートを避けて施工する工程に変更した。夏期期間中の工程が密になり工事の繁忙度合いに差が生じたものの，技術者・技能者の人員計画を再考することで調整を行った。また，品質・安全・経済性でリスクの高い冬期の施工を低減でき，不具合の防止に繋げることができた。

次に，通年施工となる張出し施工に関して，移動作業車などに以下の4点の対策を行った。

a) 移動作業車内の給熱養生対策

透明樹脂パネル・断熱シート・屋根を用いて移動作業車の囲いを通常の倍の2BL分とし，移動作業車1基あたり8台のジェットヒーターで給熱養生した。その際，囲い端部まで確実に閉塞し気密性を高め（**写真−４，５**），熱が外部に漏れるのを防止するとともに，酸欠防止対策として酸素濃度測定を日々行った。コンクリート養生温度管理記録の事例を**図−４**に示す。急激にコンクリート温度を低下させるとひび割れが発生しやすいため，養生温度をタブレット端末で確認できるようにするとともに，温度異常時はタブレット端末に警報メールが届くようにして，即座に現場点検を実施した。



図−４　コンクリート養生温度管理記録

写真−６　強度確認

b) コンクリートの保温養生対策

脱枠したコンクリート全周（上下面および鉛直面）に気泡緩衝シートを設置して，移動作業車による仮囲いが次BL以降に移動した後も引き続き保温養生を行った（**写真−４**）。

写真−７　開閉ハッチ

c)コンクリート強度管理における生産性向上対策

コンクリート積算温度から初期強度を推定し，リアルタイムで脱枠可能強度・緊張可能強度を確認した（**写真−６**）。冬期はコンクリート打込み後2日目の8時からの緊張作業が強度不足で延期となることが多かったが，リアルタイムで強度推定を行うことで通常の圧縮強度試験をタイミングよく実施でき，所定の強度をダブルチェックした後，10時・13時・15時などからの緊張作業が可能となり，強度未確認によるロス時間を大幅に低減できた。

d)給油時の漏油対策

河川への灯油の流出防止対策として，移動作業車内のジェットヒーターへの給油時の漏油リスクを低減する方法を採用した。一般的には、オイルサーバーなどを用いて橋脚足場から橋面上及び移動作業車内の燃料タンクまで設置した給油ホースを伝い，給油していく。しかし，この方法では1施工箇所当たり最大で約100mの給油ホースが必要になるため，ホースの破損により漏油するリスクが高くなる。そこで，移動作業車の作業台に開閉ハッチ（**写真−７**）を設けて，給油時は燃料車から直接移動作業車内の燃料タンクに給油できるようにした。万一の移動作業車内での漏油に備えて，移動作業車の作業台を全面シート養生することで，灯油の河川内への流出を防止した。また，コンクリートの鉛直打継ぎに「鉛直打ち継ぎ処理シート工法」を用いて，レイタンス処理水の発生を防止した。

(3) 橋面高さ管理と型枠セットにおける生産性向上の取組み

写真−８　橋面高さ計測状況

写真−９　橋面傾斜計設置状況

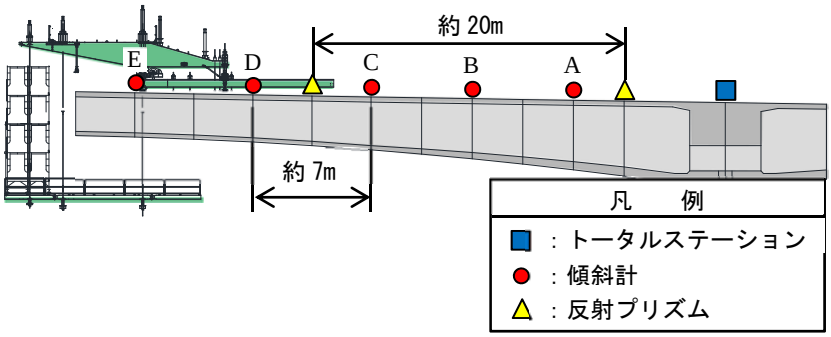
まず橋面高さの管理について，これまでにも橋面に設置したトータルステーションで各測定点に設置した反射プリズムを計測する自動計測技術は存在していたが，張出し架設工法では橋面上両端に移動作業車が設置されており，またその他各種資材を橋面に仮置きする必要もあり，直接視準できない状況が頻発して，計測または作業に支障が出ていた。そこで本工事では，トータルステーションにより直接視準できない箇所を橋面に設置した傾斜計により補間して計測する「a) トータルステーションと傾斜計を複合した橋面高さ自動計測技術」を開発した。また，冬期施工中はトータルステーションの反射プリズムが積雪により視準できないため，橋面に設置した傾斜計のみで橋面高さを計測する「b) 傾斜計を用いた橋面高さ自動計測技術」を開発した。

次に張出し施工の型枠セットについて，従来はオートレベルを用いて型枠高さを調整してきたが，本工事では移動作業車内の型枠（メタルフォーム）に傾斜計を設置して上記の「橋面高さ自動計測技術」と連動させることにより，型枠の高さを自動で計測できる「c) 移動作業車の型枠高さ自動計測技術」を開発した。以下に a)～c) の 3 つの技術について詳述する。

a) トータルステーションと傾斜計を複合した橋面高さ自動計測技術

本技術では，橋面上約 20m 毎に設置した反射プリズムをトータルステーションで自動計測し（**写真−８**），さらに約 7m 毎に設置した傾斜計の計測値を用いて（**写真−９**），約 3.5m 毎にある測定点（カットライン）の高さを算出した（**図−５**）。算出した計算値はたわみ管理システムに連動させ，タブレット端末に瞬時に施工状況を表示する IoT システムを構築した。本システムはトータルステーションにより計測した値を基とし，その後各測定点の高さを傾斜計で補間した。本システムにより得られた橋面高さの精度は，毎 BL オートレベルの

計測値と比較したが，大きな差異なく，高精度に算出されていた。また，トータルステーションにより 3 次元的な橋面変位を計測することで斜角を有する張出し施工中に生じる主桁のねじりなどを管理することができたため，架設精度が向上した。



図−５　システム概略図

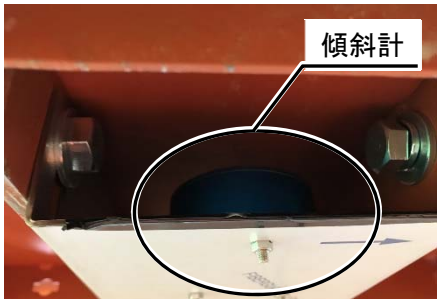
b) 傾斜計を用いた橋面高さ自動計測技術

本技術では，柱頭部中央の橋面高さを不動点とし，橋面上約 7m 毎に設置した傾斜計で各測定点の高さを算出した。使用した傾斜計（**写真−１０**）の稼働環境は-40℃～85℃であり，最低気温が-30℃程度まで低下する本橋の施工場所においても不具合なく適用できた。本システムにより得られた橋面高さの精度は，毎 BL オートレベルで得た計測値と比較したが，「a) トータルステーションと傾斜計を複合した橋面高さ自動計測技術」に遜色なく，本工事の冬期における橋面高さ管理に大きな優位性を示すことができた。なお，**図−５**における①A・C・E の傾斜計を使用して橋面高さを計算した場合と②A・E の傾斜計を使用して橋面高さを計算した場合，どの程度計測精度に影響するか検討してみた。検討の結果，A～E の傾斜計を全て使用した場合と比べて①の場合は平均約 5mm の誤差，②の場合は平均約 10mm の誤差が発生することを確認しており，高精度な測量が求められる橋面測量では傾斜計の設置間隔は約 7m 毎にすることが望ましいと考える。

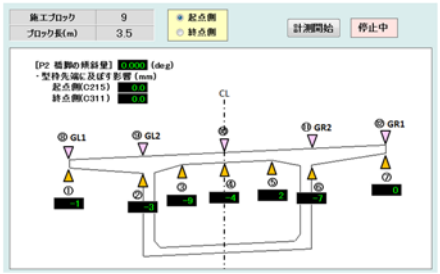
写真−１０　使用した傾斜計

c) 移動作業車の型枠高さ自動計測技術

本技術では，移動作業車の型枠梁上に設置されたメタルフォームに傾斜計を設置し，型枠の傾斜量を計測した（**写真−１１**）。計測した型枠傾斜量と「橋面高さ自動計測技術」によって得られる張出し先端の高さを連動させることで管理断面の型枠高さを算出した。また「橋面高さ自動計測技術」と同様に，型枠高さをリアルタイムでタブレットに表示できる IoT 化を図ることで，目標とする型枠高さと現在値との比較をできるようにした（**図−６，写真−１２**）。



写真−１１　型枠傾斜計設置状況



図−６　型枠高さ計測状況

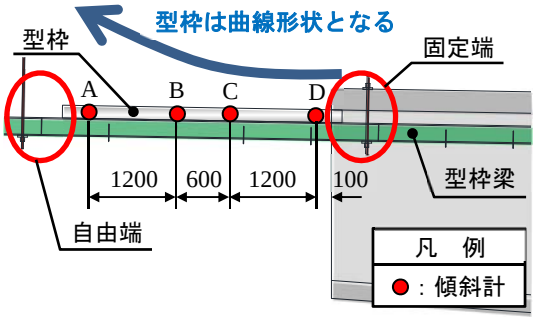
ここで本技術の開発にあたり発生した課題として，①型枠上で作業する際に発生する振動が計測値にどのように影響するのか，②型枠は固定端と自由端があるため傾斜計の設置位置によって計測値が異なってくるのではないか，の 2 点を挙げる。

課題①に対しては，実際に作業している際に計測した傾斜量にはどの程度の振動が発生しているのかを調べた。結果，メタルフォームに設置した傾斜計には大きな振動は発生しておらず，10 秒間の計測平均（2 秒毎に計測したため，5 つの計測値の平均）を採用とすることで十分な精度を確保できることを確認した。

写真−１２　型枠セット状況

課題②に対しては，型枠セット後の型枠は既設側がコンクリートに固定され，他方はピン構造となっているため，型枠を側面方向に見ると直線でなく複雑な曲線形状になると考えた（**図−７**）。そのため，型枠に設置する傾斜計は 1 列当たり 4 個とし，それぞれ計測した傾斜量の積算により

型枠高さを算出することとした。本システムの精度検証をオートレベルにて毎 BL 行った結果，自動計測により計測した型枠高さは，良好な精度で実施できていることを確認できた。また，1 列当たり 4 個設置した傾斜計の数を減らしても計測精度を保つことができるか検討した。検討の結果，本橋の 3.5m 張出し BL においては，**図−7** における A・D の傾斜計を減じても同程度の精度を保つことができることを確認した。



図−７　型枠セット時の側面図

d) まとめ

まず橋面高さ自動計測技術について，開発した 2 つの技術は本橋の橋面高さ管理に対して有用であることを確認できた。それぞれの技術の特徴として，「a) トータルステーションと傾斜計を複合した橋面高さ自動計測技術」は橋面高さ管理だけでなく，3 次元的な橋面変位を計測することができる。一方，「b) 傾斜計を用いた橋面高さ自動計測技術」は積雪や橋面の資材状況などに影響を受けず計測することができる。これらの技術を開発することにより，従来通りのオートレベルによる測量を減じることができ，生産性が 40%向上した（**表−２**）。これらの技術における今後の方針として，支間長や橋脚高さなどの橋梁条件によって精度を確保するために必要な反射プリズムや傾斜計の数が変化することが予想されるため，様々な条件で計測・検討をしていき，汎用性を高めていく必要があると考える。

表−２　従来と橋面高さ自動計測技術の比較

項目	のべ時間（張出し1BLあたり）	比率
従来の手法	10	1.00
開発した手法	6	0.60

次に「c) 移動作業車の型枠高さ自動計測技術」について，いつでも誰でも型枠の高さを把握して施工管理ができるようになったため，施工管理者の測量業務を減じることができ，生産性が 25%向上した（**表−３**）。また，型枠技能者についても施工管理者の指示を待つことなく型枠高さを調整できるようになったため，作業効率が向上した。本技術における今後の方針として，橋梁形状や型枠の種類など，様々な要因への対応を実施・検討していく必要があると考える。

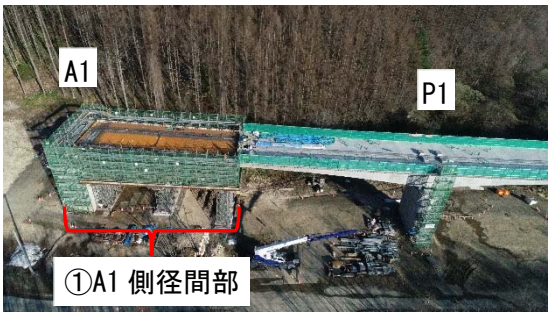
表−３　従来と型枠高さ自動計測技術の比較

項目	のべ時間（張出し1BLあたり）	比率
従来の手法	8	1.00
開発した手法	6	0.75

５．側径間・中央閉合施工

(1) 概要

本工事は①A1 に延長 29.0m の側径間部と②P1-P2 間・③P2-P3 間および④P3-P4 間の 3 ヶ所の中央閉合部（それぞれ 3.5m）を有する構造である。A1 側径間の施工は P1 張出し施工終了後に梁支柱式固定支保工により架設し，軽量支保工・型枠を組み立てた（**写真−１３**）。また，A1 側径間の施工が終了した後，閉合部を吊支保工で施工する計画となっており，各閉合部の施工にそれぞれ約 30 日の工期を想定していた。



写真−１３　側径間施工状況

(2) 移動作業車を用いた中央閉合の同時施工

当初の計画では，②P1-P2 間中央閉合のコンクリート打込み後，所定の強度を確認してから緊張を行い，③P2-P3 間中央閉合の施工へと移るが，工程短縮を目的として，②P1-P2 間中央閉合と③P2-P3 間中央閉合の施工を同時に行った。また，中央閉合部の架設方法を変更して，吊支保工から移動作業車を用いることとした（**写真−１４**）。本施策を実施するにあたり，P2 橋脚の張出し施工終了後に移動作業車をそのまま P1-P2 間・P2-P3 間中央閉合部まで前進させ，中央閉合部 2 ヶ所の同時打設・同時緊張

写真−１４　中央閉合の同時施工状況

を実施するように上越し計算を変更した。また，中央閉合部の同時施工はコンクリート打込み時に各閉合部に施工管理者を配置し，それぞれの打込み量に隔たりがないこと，橋面高さの変化に異常がないことを確認しながら施工した。緊張工においては，それぞれの閉合部に導入する緊張力に差が生じると発生する想定外の応力を抑制するために，導入する緊張力に差が生じないように管理しながら施工した。さらに中央閉合の中空スラブ組立てにおいて，一般的に用いられる内部支保工を用いた施工（**写真-１５**）からペコビームを用いた中空スラブの組立てへと変更した（**写真-１６**）。

写真-１５　内部支保工による施工状況

写真-１６　ペコビームによる施工状況

これらの取組みにより，②P1-P2 間中央閉合と③P2-P3 間中央閉合の施工を同時に施工することができ，当初の想定より倍のスピードで中央閉合工を進めることができた。また，ペコビームを採用して中空スラブを組立てることで箱桁内の支保工を低減することができ，施工効率の向上に貢献した。副次的効果として，移動作業車を用いて中央閉合工を実施することにより，重量物の架設となる吊支保工の組立解体作業を省略できたため，墜落転落災害・クレーン災害の発生リスクが低減した。さらに，中央閉合を 2 ヶ所同時施工とすることにより，アンバランスモーメントの発生を抑制できたため，橋面高さでの不具合発生抑制の一助となった。

６．ICT 技術の活用

本工事では，**表-４**に示す ICT 技術を積極的に活用し，全項目で生産性向上を図ることができた。一方，現時点ではそれぞれ独立したシステムでありデータ収集方法が異なるため，データ収集・選択・取纏め・表示に一定の手間を要した。今後の改善点として，これらシステムの一元化を実施して 1 台の制御パソコンへのデータの集約を図るとともに，収集したデータを簡易に表示・提出できるソフトを開発する必要があると考える。

表-４　採用した ICT 技術の一覧

ICT技術の内容	特徴
写真・出来形・品質管理システム	・タブレット端末で写真撮影・出来形品質管理値入力可能 ・パソコンと連動しており書類作成業務が大幅に低減
コンクリート養生温度管理システム	・コンクリート養生温度をリアルタイム表示 ・異常発生時はメールで通知（3.1参照）
コンクリート初期強度管理システム	・コンクリート積算温度から初期強度を推定 ・専用パソコンで推定強度をリアルタイム表示（3.1参照）
橋面型枠自動測量システム	・トータルステーションと傾斜計を併用して橋面高さの変位測量と型枠設置測量を自動化（3.2参照）
緊張管理システム	・緊張ポンプの圧力計示度（0.1MPa）とケーブル伸び量（0.1mm）の自動計測・グラフ表示
グラウト管理システム	・グラウト注入圧力・注入速度・注入温度を1秒毎に自動計測し，データを集約・グラフ表示
自然災害防災システム	・現場ピンポイントの気象情報をリアルタイムで確認 ・注意報・警報および災害発生時はメールで通知
インターネットを利用したデータ保管	・事務所共有データをクラウドストレージに保管 ・タブレット端末でデータ閲覧・上書き可能
メッセンジャーアプリ	・現場職員・協力会社職員のタブレット端末を用いて複数人数で情報発信・共有可能（写真対応）

７．おわりに

2019年7月現在のA橋工区の全景写真を**写真-１７**に示す。主桁が完成し，橋面工の施工を残すのみであり，2020年2月の工期末に向けて鋭意施工を進めている。本橋の施工にあたり今後も引き続き生産性向上に取り組むとともに，本稿が今後の同種工事の参考になれば幸いである。

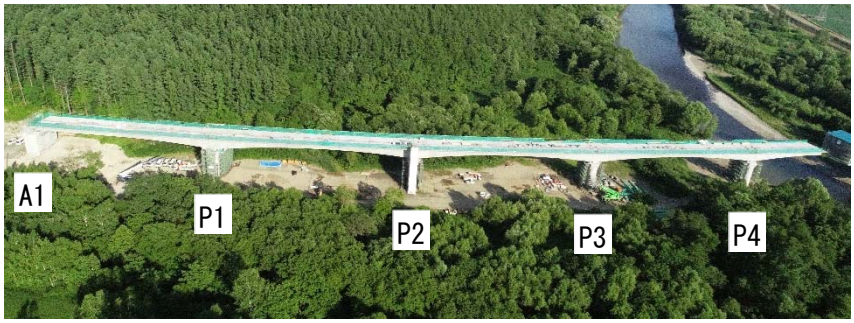


写真-１７　全景写真

最後に，本橋の施工にあたりご指導・ご支援を賜わりました関係各位に深く感謝いたします。