

# 国道 45 号 (仮称) 有家川橋の施工

大庭 大\*1・小林 睦\*2・清水 公将\*3・高岡 怜\*4

国道 45 号 (仮称) 有家川橋は岩手県洋野町に位置し、震災復興事業の一環として整備される三陸沿岸道の道路橋であり、張出し架設工法により建設された橋長 307.0 m、最大支間長 140.0 m の 3 径間連続 PC ラーメン箱桁橋である。

本橋は、寒冷地特有の凍結抑制剤散布によるコンクリートの塩害劣化に対して、張出し架設中に後方養生台車を用いて養生期間を延長するなど、橋梁の高耐久化への取組みを行っている。また、柱頭部のマスコン対策として、実際の施工状況に応じて通水温度を制御する「インテリジェントパイプクーリング」を採用し、FEM 温度応力解析を実施することで適切なセメント種類、通水期間を設定し、さらに補強鉄筋、ガラス繊維ネットを配置することで有害なひび割れの発生を制御することとした。

また、働き方改革の一環として、作業の省力化および品質管理の省人化を目的とした ICT による生産性向上の取組みを行っている。本稿は、本橋の施工とともにそれらの取組みについて報告するものである。

キーワード：寒冷地施工、高耐久化、後方養生台車、IPC、ICT

## 1. はじめに

国道 45 号有家川橋は岩手県洋野町に位置し、震災復興事業の一環として整備される三陸沿岸道の道路橋である。本橋は、寒冷地特有の凍結抑制剤散布によるコンクリートの塩害劣化の対策として、張出し架設中に後方養生台車を用いて養生期間を延長するなど、橋梁の高耐久化のための取組みを行った。柱頭部施工時はマスコン対策として、インテリジェントパイプクーリングなど有害なひび割れの発生を防ぐための対策を実施した。

また、働き方改革の一環として、作業の省力化および品質管理の省人化を目的とした ICT による生産性向上の取組みを行なっている。本稿は、本橋の施工とともにこれらの取組みについて報告するものである。

## 2. 橋梁概要

有家川橋の橋梁位置図を図 - 1 に、橋梁概要を表 - 1 に、橋梁一般図を図 - 2 に記す。本橋は移動作業車を用いた張出し架設工法を採用した橋長 307.0 m、最大支間長 140.0 m の 3 径間連続 PC ラーメン箱桁橋である。

表 - 1 橋梁概要

工事名	国道 45 号 有家川橋上部工工事
発注者	国土交通省 東北地方整備局
工事箇所	岩手県九戸郡洋野町
工期	平成 29 年 11 月 1 日～令和元年 12 月 20 日
橋長	307.0 m
支間長	82.0 m + 140.0 m + 82.0 m
有効幅員	12.00 m
平面線形	R = 2 500 m
架設工法	張出し架設工法 (P1, P2 橋脚) 吊り支保工 (A1, A2 側径間)

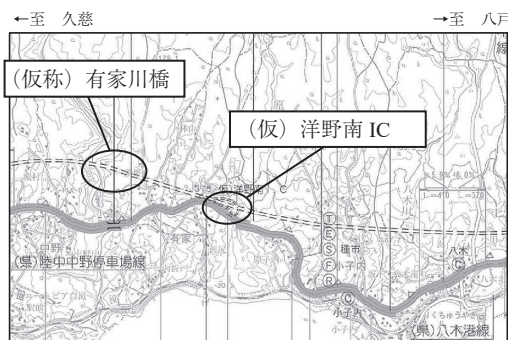


図 - 1 橋梁位置図

\*1 Dai OBA : 三井住友建設 (株) 土木本部 橋梁構造設計部  
 \*2 Mutsumi KOBAYASHI : 三井住友建設 (株) 大阪支店 土木部  
 \*3 Koucho SHIMIZU : 三井住友建設 (株) 土木本部 機電部  
 \*4 Rei TAKAOKA : 三井住友建設 (株) 技術本部 第一構造技術部

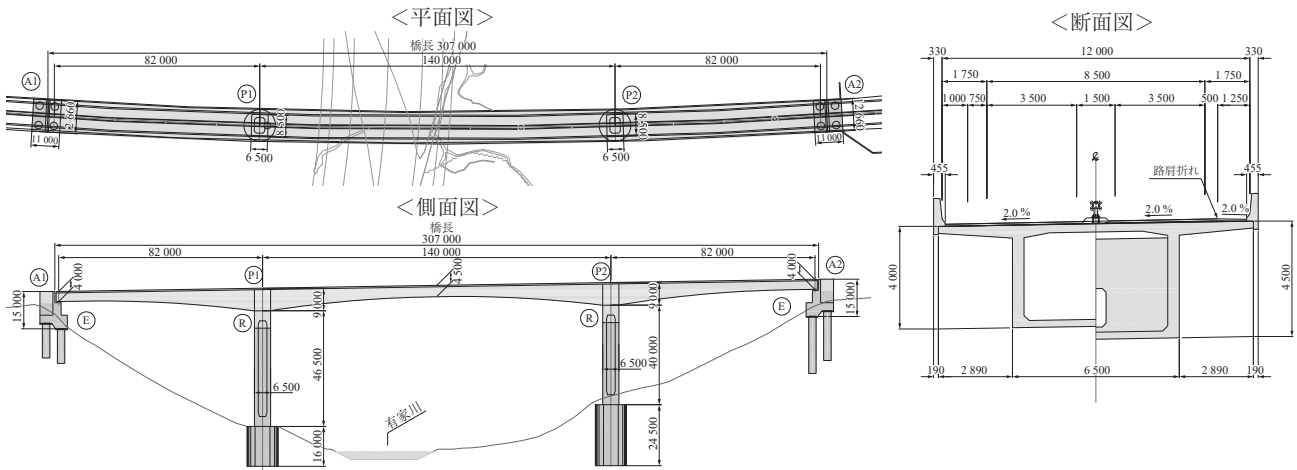


図 - 2 橋梁一般図

### 3. 橋梁の高耐久化のための取組み

寒冷地に位置する有家川橋は、冬期施工におけるコンクリートの初期欠陥、および供用後の凍結抑制剤散布による塩害劣化が懸念されるため、以下に記す、品質向上のための工夫を行った。

#### 3.1 後方養生台車の設置

本橋は移動作業車を用いた張出し架設工法を採用した。標準的な張出し架設工法では、1ブロックの施工が10日程度であり、移動作業車を前進させると同じく10日程度でコンクリートが外気に曝されるため、冬期において初期材齢時における凍害や強度発現不良が懸念された。そこで、移動作業車の後方に養生台車（図 - 3）を設置し、連続した3ブロック分の養生を行った。さらに移動作業車全体をポリカーボネイト製の採光パネルで囲うことで（写真 - 1）、養生期間20日以上長期保温・保湿養生を実施した。

#### 3.2 真空脱水工法の実施

上床版上面は塩害や凍害の劣化要因となる凍結抑制剤や水分の影響を著しく受けるため、早期の耐久性の低下が懸念される。本工事では、コンクリート打設直後に上床版上面の気泡や余剰水を取り除く真空脱水工法を採用して、表層の緻密化を図ることで、耐塩害性・耐凍害性の向上を図った（写真 - 2）。

#### 3.3 コンクリート打設後の保温・保湿養生

コンクリート打設後に、図 - 4 のような保温・保湿養生を実施した。サーモスタット付きコンクリートファーネスを使用して、最低養生温度5℃に対して養生温度を7℃以上で管理した。上下床版上面には保温保湿養生マットを敷設、箱桁内面には保湿・保温機能のある気泡緩衝材を貼付け、箱桁外面には橋梁用養生バルーンを使用して、水和反応を阻害しないとされる相対湿度80%以上で管理した。いずれも管理値を下回ると、アラートメールで施工管理者に通知され、追加対策を行うようにした。結果として、施工中に管理値を下回るようなことは無かった。

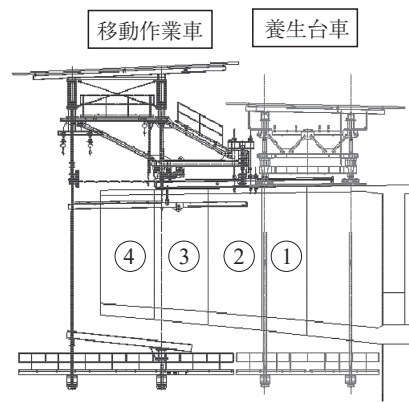


図 - 3 後方養生台車

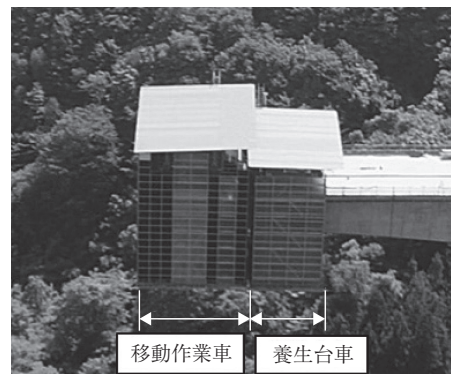


写真 - 1 採光パネル設置状況



写真 - 2 真空脱水状況

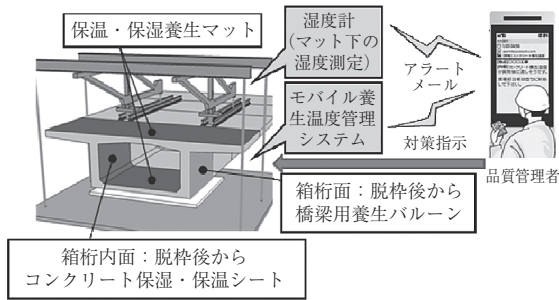


図 - 4 保温・保湿養生の概念図

表 - 2 表層透気試験結果 (測定箇所: N = 79)

	優	良	一般	劣	極劣
透気係数 kT ( $\times 10^{-16} \text{ m}^2$ )	0.001 ~ 0.01	0.01 ~ 0.1	0.1 ~ 1	1 ~ 10	10 ~ 100
計測結果(箇所)	56	23	0	0	0
計測結果(%)	70.9	29.1	0.0	0.0	0.0

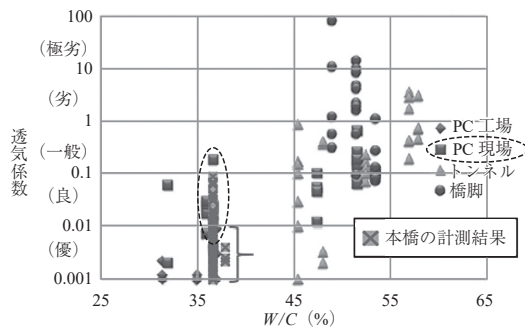


図 - 5 表層透気試験結果の他現場との比較<sup>1)</sup>

### 3.4 表層透気試験結果による評価

上記の取組みによるコンクリート表層部の品質向上の評価方法として、トレント法による表層透気試験を実施した。表 - 2 は計測結果である。測定箇所は施工ブロックごとに数箇所測定して平均値を取り、全 79 ブロックを測定した。同試験の計測結果に基づく品質評価法により分類した結果、70.9%が“優”，29.1%が“良”判定となり、他現場と比較しても良好な結果が得られ、コンクリート表層部の品質向上を確認できた (図 - 5) <sup>1)</sup>。

### 3.5 PC グラウトの工夫

本橋は PC 鋼材が最大 20 度の勾配を有しているため、PC グラウト注入時に下り勾配での先流れによる残留空気の発生が懸念された。そこで、20 度の勾配を有するケーブルを選定し、実物大注入試験を行うことで、PC グラウトの充填性を確認した。図 - 6 は PC 鋼材の側面配置図である。

写真 - 3 は実物大注入試験のシース配置状況である。残留空気を発生させないため、中間排気孔を曲げ下げ開始位置と下流側に 0.5 m 離れた位置に設けることとした。

本橋は最大ケーブル長 139.330 m と長く、注入圧力が過大となることが懸念されたため、超低粘性グラウト材を用いることとし、さらに真空ポンプを併用して、確実に注入作業が行えるように工夫した。また、流量計を用いること

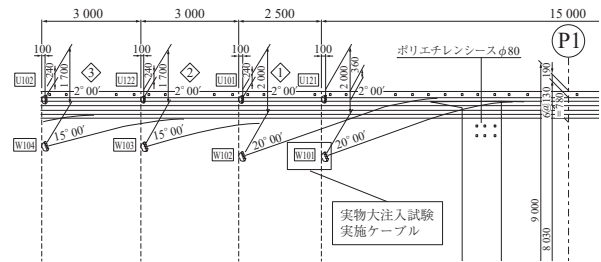


図 - 6 PC 鋼材の側面配置図 (3BL まで)

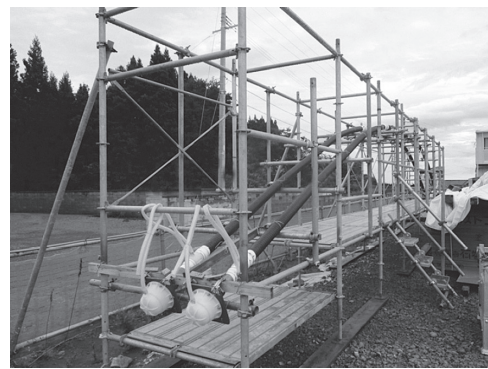


写真 - 3 実物大注入試験シース配置状況

で、所定の注入量に達していることを確認し、さらに注入作業終了直後に再加圧を行い、残留空気を排除するように配慮した。

## 4. 柱頭部コンクリートのひび割れ防止対策

### 4.1 概要

本橋は、柱頭部横桁厚 1.2 m であり、マスコンクリートとなるため、水和熱の影響によりコンクリート表面に内部拘束ひび割れの発生が懸念された。そのため、本工事では実際の施工状況に応じて通水温度を自動制御する「インテリジェントパイプクーリング」(以下、IPC) の実施を試み、1 日の温度変化に対応しつつ打設後のコンクリートの内外温度差を低減することとした。図 - 7 に柱頭部のリフト割り、クーリングパイプ配置図を記す。

### 4.2 FEM 温度応力解析

本工事では、事前に FEM 温度応力解析を行い、パイプクーリングによるコンクリート温度の低下量、ひび割れ指数、最大主引張応力度を評価した。

#### (1) 解析条件

図 - 8 のように、解析モデルは断面の対称性から半断面の 1/2 モデルとし、橋脚部もモデル化した。リフト割りはコンクリートの打込み数量、PC 鋼材配置、マンホール位置を考慮して 3 リフトに分割し、実際の施工日数を考慮して、施工ステップに反映した。

また、パイプクーリングの条件を以下に列挙する。

- ・クーリングパイプには直線区間に鋼管、曲線区間にグラウトホースを使用する。
- ・パイプ間隔が 50 cm 程度となるように配置し、クーリング効果や通水終了後の PC グラウト注入に配慮して、1 系統の長さが 100 ~ 150 m 以下となるように、構造中心



を対称として2系統に分けて配置する。

- ・ 通水量は、高所へのポンプ送水が十分に可能な流速 50 cm/s (流量 15 L/min) とする。

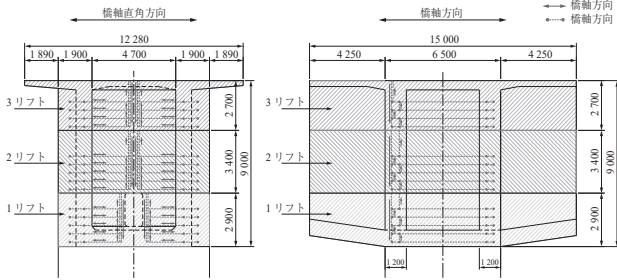


図 - 7 柱頭部のリフト割り・クーリングパイプ配置図

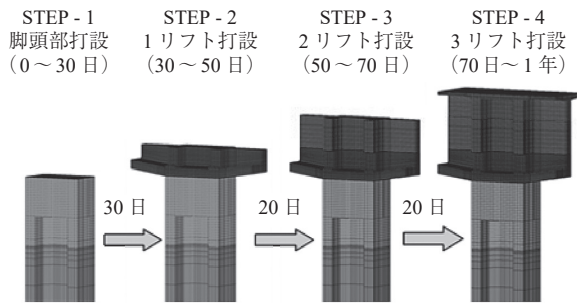
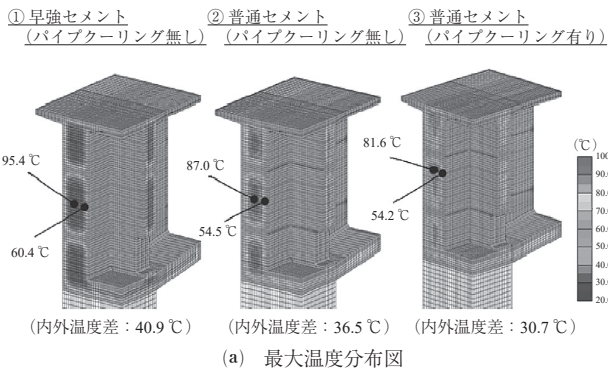


図 - 8 解析モデルと施工ステップ

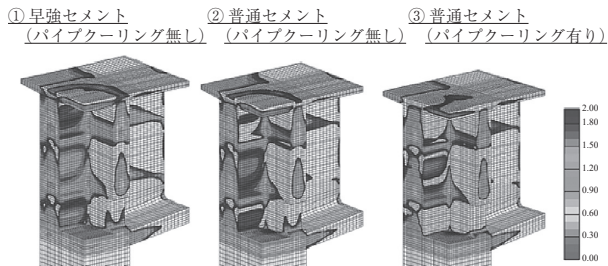
(2) 解析結果

本検討では以下の3つのパターンを比較検討した。

- ① 早強セメント (パイプクーリング無し, 当初計画)
- ② 普通セメント (パイプクーリング無し)
- ③ 普通セメント (パイプクーリング有り)



(a) 最大温度分布図



(b) 最小ひび割れ指数分布図

図 - 9 解析結果の比較

図 - 9 に各パターンの (a) 最大温度分布図, (b) 最小ひび割れ指数分布図を記す。使用セメントを早強セメントから普通セメントに変更することで、最大温度および内外温度差の低減とひび割れ指数に改善が見られたため、普通セメントを使用することとした。さらに、パイプクーリングを実施することで、これらの項目はさらに改善した。実施期間については、2日以上通水することで十分な効果を得られることを確認したため、2日間パイプクーリングを行うこととした。

4.3 インテリジェントパイプクーリング

本稿における IPC とは、施工時のコンクリート温度と外気温が事前の FEM 温度応力解析で想定した条件と異なる場合においても、解析時に想定した躯体温度を上回らないように、常温水槽と低温水槽を自動で切替え、クーリングパイプに通水することで、躯体温度を制御するシステムである。常温水と低温水を切替える方式を採用することで、両者を調整弁により瞬時に切り替え、水温調節を容易に行うことができ、急速な冷却と過冷却防止が可能となる。図 - 10 に IPC の概念図を記す。

写真 - 4 に制御装置の設置状況を記す。制御装置は、コンクリート内部に設置した熱電対により計測した温度が、水温自動制御装置に入力した制御温度を超えると、低温水槽の水が流れる仕組みである。なお、低温水槽は常温水槽よりも 10℃ 程度低くなるようにチラーユニット (冷却装置) の温度を設定し、制御温度を下回っている場合は常温水槽から水が流れることで、過冷却を防止する仕組みである。

図 - 11 に代表して 3 リフトの温度計測結果を記す。P1, P2 とともに躯体温度を制御温度以下に抑えることができた。グラフ内で P1, P2 の通水温度が急激に下がる箇所は低温水が流れたためである。また、実施工では安全側に考慮して 3 日間 (72 時間) 通水を行い、計測を行っている。

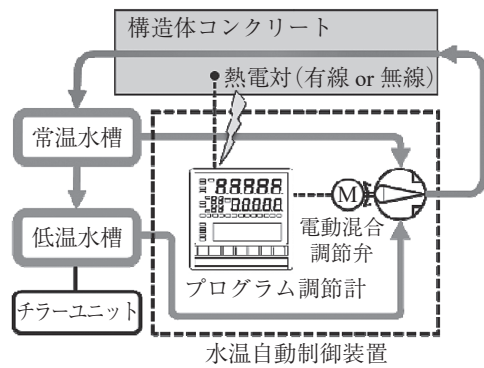


図 - 10 IPC の概念図

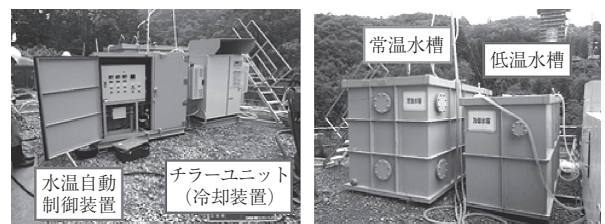


写真 - 4 制御装置(左)と常温・低温水槽(右)の設置状況



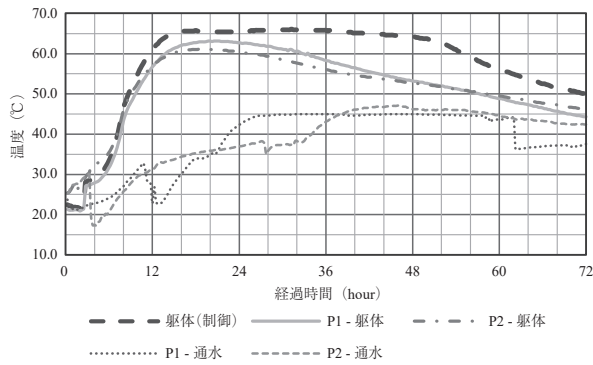
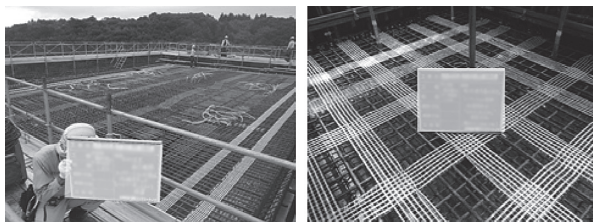


図 - 11 IPC 実施による温度計測結果 (3 リフト)



(a) 上床版上面 (b) 横桁底版上面

写真 - 5 ガラス繊維ネット設置状況

#### 4.4 ひび割れ防止対策

本工事では、上記の取組みのほか、解析結果により最小ひび割れ指数が 1.4 以上を満足できない箇所については、発生応力度に基づき必要鉄筋量を算出し、適切な補強鉄筋の配置および鉄筋径のランクアップを行った。さらに、耐アルカリ性のガラス繊維ネットをコンクリート表面に配置することで、ひび割れ発生の抑制を図った (写真 - 5)。上記の取組みの結果、コンクリート表面に有害なひび割れの発生は見られなかった。

### 5. ICT 導入による生産性向上の取組み

働き方改革の一環として、ICT を取り入れることで作業の省力化および品質管理の省人化を図った。本工事での取組みを以下に記す。

#### 5.1 施工管理の効率化

張出し架設工法では、型枠組立て、鉄筋・PC 鋼材組立て、コンクリート打設、PC 緊張、移動作業車前進と一連の作業を繰り返す。その一連の作業の中で、施工管理や段階検査の段取りとして計測業務を何度も行うことになる。そこで、自動追尾トータルステーションを用いて、(1) 型枠セット (上床版底版枠)、(2) PC 鋼材高さ・鉄筋かぶりの計測を行い施工管理の省力化と省人化を図ることとした。従来の方法は、(1) の場合にはトータルステーションとレベルを用いて測量を行い計測点を求め、(2) の場合には型枠天端などに水糸を張り、シースおよび鉄筋までの下がり量をスケールにて計測する。これらの作業では計測に 2 人以上を要していたが、本稿の方法を用いると 1 人での計測が可能となる (写真 - 6)。計測した値が確からしいことは過去の実績<sup>2)</sup>と、本工事においても従来方法で計測を行い、計測結果に差異がないことを確認した。

表 - 3 ICT 導入による効果の評価

計測項目	計測時間 (分)		比率 (= ② / ①)	生産性向上率 (= ① / ②)
	① 従来	② ICT		
型枠セット	140	90	0.64	1.56
PC 鋼材高さ・鉄筋かぶり	125	70	0.56	1.79
移動作業車の設置	20	10	0.50	2.00

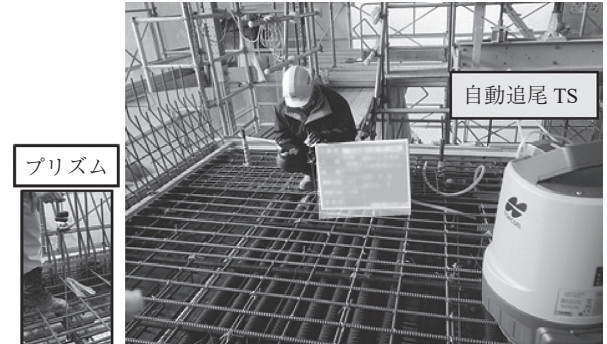


写真 - 6 PC 鋼材高さの計測状況



写真 - 7 タブレット PC による操作状況

従来方法と ICT 導入後の延べ計測時間を計り、比率と生産性向上効果を評価した (表 - 3)。計測時間は、(人数) × 計測時間 × 2 (起終点/IBL あたり) + (準備時間) で算出している。この評価結果から、生産性向上に効果があったと考えられる。

#### 5.2 タブレット PC を用いた省人化

移動作業車の前進と設置作業には、多くの人手・労力を要する。本工事では試行業務としてタブレット PC を用いて、移動作業車のジャッキポンプの操作をすることとした (写真 - 7)。従来では、ポンプ操作とレベル計測に 2 人必要していた作業を、1 人で行うことができるため、省人化を達成できたといえる。表 - 3 に生産性向上効果を示す。

#### 5.3 3D レーザースキャナによる出来形計測

張出し施工中の小口面のコンクリート出来形計測は、従来からメジャーとスケール等を用いて行ってきた。本工事では 3D レーザースキャナを用いた出来形自動検出システムを導入した<sup>3)</sup>。本システムを使用することで、3D レーザースキャナで計測した 3 次元点群データから、橋梁の断面形状を自動抽出し、断面の出来形寸法を自動で検出することができる<sup>4)</sup>。

本工事では、従来方法による計測も併せて行い、今回採用した計測システムでは、部材寸法が15m程度のものでは計測誤差がおおむね3mm、最大5mmとなり、従来計測方法と同等以上の精度を有することを確認した(写真-8)。現在、計測機の移動装置を開発しており、その装置を用いることで、一断面あたりの出来形検査業務に要する施工管理者の延べ拘束時間が、従来計測方法と比べて軽減され、省力化と生産性向上に期待できると考えられる。

#### 5.4 施工ステップ動画

本工事では、事前にドローンによる地形測量を行い、線形データおよび構造データと合せることで施工ステップ動画を作成した。本動画は工事関係者との手順確認や施工検討、また見学者への説明用資料として有効に活用することができた(図-12)。

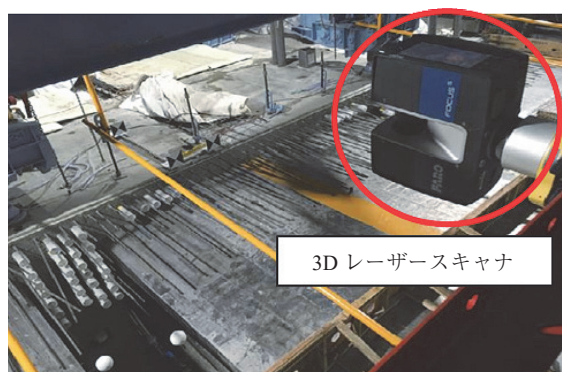


写真-8 3Dレーザースキャナ計測状況

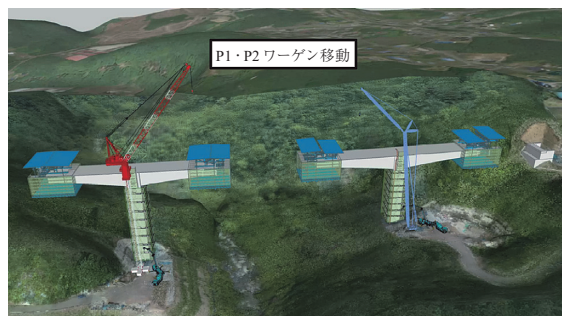


図-12 施工ステップ動画（一部抜粋）



写真-9 完成写真

## 6. おわりに

本稿では、寒冷地における橋梁の高耐久化のための取組みと、ICT導入による生産性向上の取組みについて報告した。高耐久化の取組みに対して、表層透気試験による評価を行い、コンクリートの表層部の品質向上を確認した。PCグラウトは実物大注入試験を行うことで、本施工における充填性を確保した。

柱頭部のマスコンクリート対策にはFEM温度応力解析を実施して、適切なセメント種類、IPCの実施期間を選定し、さらにひび割れ指数が1.4以上を満足しない箇所には補強鉄筋および耐アルカリ性ガラス繊維ネットを配置することで、有害なひび割れの発生を防ぐことができた。

また、ICT導入による生産性向上のための取組みに対して、時間を指標として生産性向上率を算出し、効果が得られることを確認した。さらに、3Dスキャナーを施工管理に活用するなど、ICT活用の今後の展望を記した。

本稿が今後の橋梁施工の参考になれば幸いです。最後に、本橋(写真-9)の施工にあたり、多大なるご協力を賜りました三陸国道事務所をはじめとする関係各位に深く御礼を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 東北地方整備局、コンクリート構造物の品質確保の手引き(案)(橋脚、橋台、函渠、擁壁編)、平成27年12月
- 2) 大野、吉野、宮田、五味:(仮称)夏井高架橋におけるi-Bridgeへの取組み、第27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.519-522, 2018
- 3) 三井住友建設(株) ニュースリリース: <https://www.smcon.co.jp/topics/2018/08091300/>
- 4) 高岡、藤岡、内堀: 構造物の出来形自動検測システムの開発および実橋での適用について、第28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.77-80, 2019

【2020年7月13日受付】