

PC 上部工工事における i-Bridge 実現に向けた新たな試み

大野 寛太・吉野 正道・戸倉 健太郎

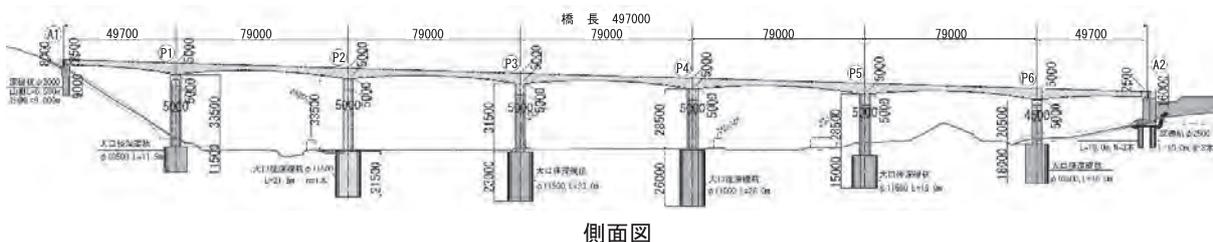
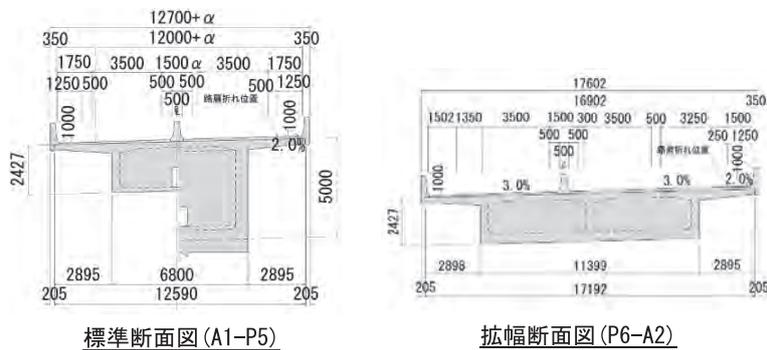
昨今、建設業では、技能労働者の大量離職に伴う担い手不足が危惧されており、処遇改善や週休二日の実現を図るなど、人材確保を強化している。国土省は、これと並ぶ重要な課題として生産性向上を掲げており、橋梁事業においては、全てのプロセスにおいて ICT を活用して生産性を向上させる「i-Bridge」に向けた取組みが始まっている。国道 45 号夏井高架橋工事では、UAV、自動追尾トータルステーション、写真計測技術、SLAM、GNSS、モバイル端末などを活用した様々な ICT を導入し、それらを一元管理するシステムを構築して施工管理と検査の省力化を図っている。本稿では、その取組み事例を紹介する。
 キーワード：i-Bridge, ICT, 省力化, モバイル端末, プラットフォーム, 調書管理

1. 工事概要

夏井高架橋の概要を表-1、構造図を図-1に示す。本橋は標準的な箱桁断面を有しており、移動作業車を用いた張出し架設で施工される。張出し架設では、型枠組立、鉄筋・PC 鋼材組立、コンクリート打設などの施工管理や検査の段取り作業をサイクル施工の中で何度も繰り返し行う。このため、筆者らは、張出し架設の各施工段階により有効な ICT を導入することにより、現場職員が行う施工管理業務の負担が軽減し、省力化が図られると考えた。

表-1 橋梁概要

工事名	国道 45 号 夏井高架橋工事
発注者	国土交通省 東北地方整備局
工事箇所	岩手県久慈市夏井町
工期	H28/4/1 ~ H30/9/28
構造形式	PC7 径間連続ラーメン箱桁橋
橋長	497.0 m
有効幅員	11.300 m ~ 16.052 m



側面図
 図-1 構造図



図一 2 本工事に導入した ICT 全体概要図

2. 導入した各種 ICT の概要

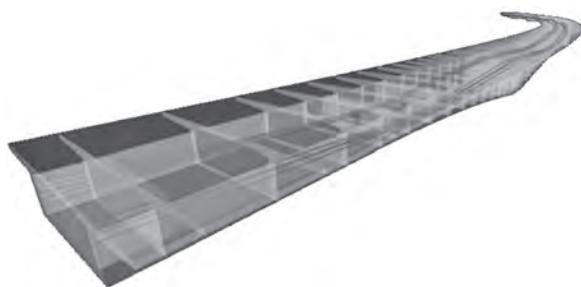
本橋では、設計照査、施工計画、現場施工および検査の各プロセスを対象として、費用対効果や実施工程、システム開発の実現性、将来性などを総合的に判断し、導入する ICT を選定した。実施した ICT 全体の概要図を図一 2 に示す。また、以下に本工事で導入した主な ICT の概要を示す。

(1) 橋梁 3 次元モデル

設計照査時に、プレストレストコンクリート橋の形状を高精度かつ簡易にモデリングできる橋梁 3 次元モデル作図システム (SMC-Modeler) により主桁の 3 次元モデルを作成した (図一 3)。本システムは、設計段階で使用する線形データと構造データを使用して、自動的に縦・横断勾配、平面曲線といった線形も忠実にモデル化するもので、幅員や部材厚変化にも対応している。また、本システム独自の機能を用いて、

PC 鋼材同士または PC 鋼材と躯体の干渉チェックを行い、設計図の配置で施工に問題がないことを事前に確認した。さらに、PC 鋼材の通過位置を考慮した小口型枠断面が出力できる機能も有しており、型枠の製作図作成にも活用できた。

施工計画時に、UAV (ドローン) 測量で取得した工事箇所周辺の地形データと橋体の 3 次元モデルを正確に重ね合わせ、完成イメージと施工中イメージの 3 次元モデルを作成した。このモデルを使用して、完成・施工中イメージ動画や 3D プリンターを用いた完成モデルを製作した。完成イメージ動画は、鳥瞰や車両走行シミュレーションなどの数パターンがあり、関係者や周辺住民への説明用として有効活用している。施工中イメージ動画は、張出し施工の施工ステップを忠実に再現しており、工事関係者との手順確認や施工検討に活用している (図一 4)。また、モデルは現場事務所に併設したインフォメーションセンターに展示し、見学者への現場説明用に役立てている (写真一 1)。



図一 3 主桁の 3 次元モデル



図一 4 施工中イメージ動画



写真一 完成模型

(2) 自動追尾トータルステーションによる型枠セット測量

張出しブロックの型枠セット位置は、一般的にはレベルとトランシットを用いて複数人で測量を行い管理する。本工事では、型枠セット時に自動追尾トータルステーション（TOPCON 社：LN-100、以下 TS）を使用し、独自に開発したモバイル端末の専用アプリで自動計測することで、1人で測量から調書作成までできるシステム（SMC-One ナビ）を適用し、施工管理業務の省力化を図った（写真一2）。本システムでは、専用アプリにあらかじめ設計座標や上げ越し量などのデータを計画値として読み込み、これを基に自動的に TS が計測点を視準するように制御し、リアルタイムに計画値と計測値の誤差を画面表示できる。また、取得した計測データは無線でクラウド上に保存され、専用ソフトにより簡単に調書データとして出力できる。



写真二 型枠セット測量状況

(3) 自動追尾トータルステーションによる PC 鋼材配置検測

PC 鋼材の配置高さやかぶりの検測は、通常はコンクリート天端高さに水糸などを張り、シース管や鉄筋までの下がり量をスケールで目視計測して調書に手書きで記入している。この場合、水糸などの設置や計測・

記入の繰り返し作業で検測に手間と時間を要し、目視計測のため読み取りミスも懸念される。そこで本工事では、前述した SMC-One ナビを用いた計測方法により、省力化と計測精度向上を図っている。本システムは、TS により既設ブロック上と小口型枠上をそれぞれ計測した上で、専用アプリの自動計算により、シース管や鉄筋を計測すると瞬時に天端からの下がり量が算出され画面表示できる。また、計測データは無線でクラウド上に転送し、自動調書出力させる仕様とした。なお、事前のキャリブレーションにより、計測誤差がないことを確認しており、発注者の立会検査でも適用している（写真一3）。



写真三 PC 鋼材配置検測状況

(4) SLAM 外ケーブル管位置確認システム

外ケーブルは大容量 PC 鋼材が使用される重要部材であるため、万が一、偏向管の位置がずれて施工されると、プレストレス不足による主桁コンクリートの重大な損傷が生じる恐れがある。したがって、コンクリート打設前に偏向管の位置を確実にチェックすることが重要である。

そこで本工事では、「SLAM」技術を用いて外ケーブルの偏向管の位置を短時間にかつリアルタイムに確認できるシステムを試験的に導入し、その効果を確認した。SLAM とは Simultaneous Localization And Mapping の略称で、自己位置の推定と 3次元形状を表す環境地図作成を同時に行う技術である。本システムは、モバイル端末を用いてカメラに映る画像を見ながら動画を撮る要領で偏向管を撮影すると偏向管の設計座標に対する設置誤差がその場で判るというものである（写真一4）。偏向管の設計座標は、前述の SMC-Modeler の 3次元モデルから容易に取得することができる。ただし、既知点の基準マーカと偏向管センターへのマーカ設置は必要となる。また、本システムでは、偏向管の設計座標の位置にマークを AR（拡張現



写真一4 偏向管計測状況



写真一6 仕上げ面の平坦性確認状況



写真一5 偏向管位置のAR表示

実)表示させることも可能であり、偏向管のおよその位置を確認するのに有効である(写真一5)。なお、本工事における精度検証では、水平方向、垂直方向について誤差±10mm以下であり、大きな配置ミスが無いことのチェックという目的に対して十分な精度であることが確認できた。

(5) AR 床版仕上げ管理システム

一般的に、床版コンクリート打設後の表面仕上げは人力で行うため、仕上げ具合の良し悪しは作業員の技量や感覚的な判断に依るところが大きく、定量的な管理が難しい。そこで、本工事では、床版コンクリート表面の凹凸状態を写真計測技術とAR技術により可視化し、仕上げ面の平坦性を向上させるシステムを試験的に導入した(写真一6)。本システムは、床版コンクリートの均し作業時に写真計測により仕上げ面全体の3次元形状を数値化し、計画高さとの誤差をコンター図で出力する「ステレオ写真計測技術」と、出力したコンター図をタブレット端末の画面上で現場の実映像に重ね合わせて表示させ可視化する「AR技術」の2つの技術を組み合わせたシステムである。本工事において、現場での適用性と精度を検証した結果、計

測準備の省力化や解析処理のリアルタイム性に課題が残るものの、計測精度に関しては問題ないことが確認できた。

(6) 出来形検測システム

一般的に、コンクリートの出来形検測は、断面寸法をスケールや巻尺により計測し、調書に手書きで記入している。本工事では、大型デジタルノギスとモバイル端末を無線通信させ、ワンタッチで計測データを取り込み、調書出力まで自動的に行うシステムを開発、導入した。本システムでは、検測そのものの時間は従来と変わらないが、調書への手書き記入とパソコンでの手入力の手間が省けるため、一定の省力化を図ることができた。また、発注者の立会検査でも適用し、有効活用している(写真一7)。今後は、検測作業も自動化できる計測システムの開発が課題である。



写真一7 出来形検測状況

(7) GNSS クレーン監視システム

前述の3次元モデルを活用して、国道に隣接する施工ヤードでのクレーン作業において、国道上へのブームの侵入を防ぐ対策として、GNSSでクレーンブームの位置を監視するシステムを適用した。本システム

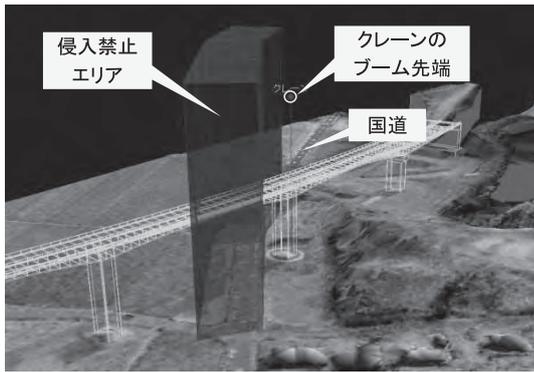


図-5 クレーンブーム位置監視画面

は、ブーム先端に設置したGNSSアンテナがあらかじめ設定した制限範囲に接近、侵入すると警報を発する仕様としている。事務所のパソコンでは、専用ソフトウェアによりブームと制限範囲との位置関係を3Dバーチャル空間上で瞬時に確認することができる(図-5)。

3. トータル管理システムによる一元管理

(1) プラットフォーム

前述のとおり、本工事の施工管理には様々なICTを導入しており、データも多岐にわたることから、各システム一連のデータを共通のプラットフォーム上で一元的に管理し、関係者間で共有できるシステムを構築した。プラットフォームはウェブ上に構築しており、視覚的にわかりやすく直感的に操作できるユーザーインターフェースとしている(図-6)。使用者のIDは、登録や編集が可能な管理者権限と閲覧のみが可能な閲覧者権限に分けており、前者は作業所の職員、後者は発注者を含む工事関係者をイメージしている。管理画面には、左側に現場に導入しているICTの一覧をメニュー表示させ、実施項目が一目で分かるように工夫している。メニューからICTの名称を選択すると、システム概要書やマニュアルのデータ、入



図-6 プラットフォーム画面

出力データおよび成果品データをダウンロード、閲覧することができる。

(2) 調書管理システム

プラットフォームのメニューの中に、検査などの調書を箇所別、工種別に格納する調書管理システムを組み込んだ(図-7)。各種調書データは、ウェブを介してどこからでも登録・閲覧することができるため、常に最新のデータを関係者間で共有できる。本システムを利用し、前述のPC鋼材配置検測や出来形検測の調書データは、自動出力されると同時にダイレクトに自動格納させることで管理業務の効率化を図っている。今後は、検査自体をタブレット上の電子調書で実施し、瞬時に格納できるシステムへの改良を予定している。

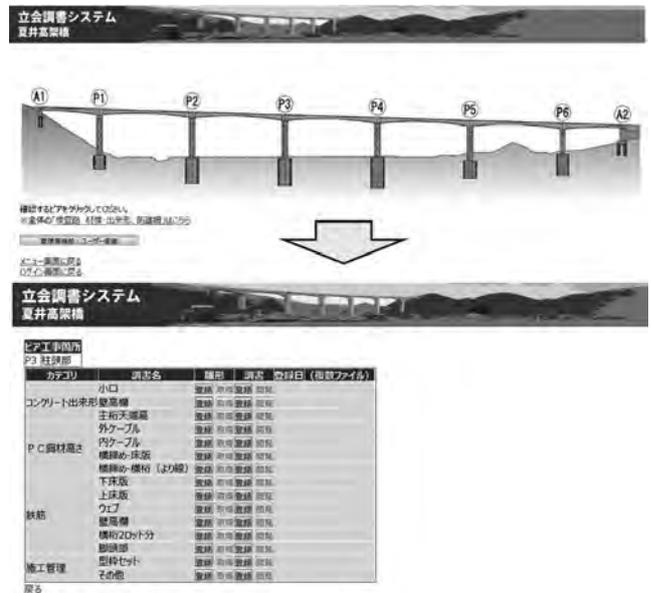


図-7 調書管理システム画面

4. おわりに

以上のように、夏井高架橋工事では、橋梁建設現場の生産性向上に向けた新しい試みとして、各種ICTを導入し、現場での適用性や効果を確認した。十分な効果が確認できたシステムもまだ課題が残されたシステムもあるが、総じて一定の成果は得られたと考えている。また、トータル管理システムに格納された各種データは、構造物の維持管理に利用することも視野に入れ、実橋での適用をさらに進め、システム運用を最適化していく予定である。

今後は、本工事で構築したトータル管理システムと発注者が発行している工事書類提出システムとの連動

やCIMへの展開、および現場職員の業務負担が大きい配筋検測や出来形検測の自動化システムの新たな開発を推進し、「i-Bridge」の実現を目指していきたい。

本稿が将来的な「i-Bridge」発展の一助となれば幸いである。

J C M A

《参考文献》

- 1) 吉野正道, 大野寛太, 平喜彦, 戸倉健太郎: i-Bridgeの実現に向けて一国道45号夏井高架橋工事での取組み一, 土木施工, Vol.59, No.1, pp.73-76, 2018
- 2) 戸倉健太郎: SLAM(自己位置と環境地図の同時推定)を利用した貫通孔位置管理システムの開発と適用, 月刊建築技術 2018年5月号, pp.64-71

【筆者紹介】

大野 寛太 (おおの かんた)
三井住友建設(株)
土木本部 土木技術部 構造技術グループ
課長



吉野 正道 (よしの まさみち)
三井住友建設(株)
土木本部 土木設計部 PC設計グループ
課長



戸倉 健太郎 (とくら けんたろう)
三井住友建設(株)
技術本部 建設情報技術部長

