

橋梁の生産性・品質向上技術

— 橋梁工事への BIM/CIM および ICT の活用 —

㈱IHI インフラ建設橋梁事業部技術部長 中村 定明

1. はじめに

わが国においては、建設現場の熟練技術者減少や高齢化、若手労働者の減少にともなう将来の担い手の不足により、現場力が低下する問題への対応が喫緊の課題となっている。現在、国土交通省では、ICTを活用した施策を建設現場に導入することにより、建設生産システム全体の生産性向上を図り、魅力ある建設現場を目指す「i-Construction」が推進されている。近年、建設現場の生産性が上がらない理由の一つとして、建設全体のプロセスの効率化の遅れや労働環境が悪いことにより作業が思うように進まないことが挙げられている。これらの問題を解決に向け建設現場の生産性および品質・安全管理の向上を目的として、BIM/CIMの

導入による計画・予備設計・設計・施工から維持管理に至るまで統一したモデルの相互運用に取り組んでいる。BIM/CIMの相互運用システムの例を図-1に示す。今後、実際の建設現場にBIM/CIMおよびICTを積極的に活用するなど、最新の技術の導入により、さらなる効率性を上げることがより重要となる。

本稿では、PC上部工橋梁工事を対象にBIM/CIMおよびICTを活用した、生産性および品質・安全管理向上のための技術について紹介する。

2. 橋梁上部工における生産性向上技術への取り組み

(1) BIM/CIMによる干渉チェック

橋梁上部工工事（特に、PC橋を対象）の発注は、2次元図面で行われるのが一

般的である。BIM/CIMとは、3次元（以下、3D）の形状モデルに属性情報を付与させ計画・設計・施工から維持管理まで統一したモデルを相互運用することで生産性および品質・安全管理を向上させることを目的としたシステムである。さらに、BIM/CIMでは、施工工程などの時間の要素を付与させた4次元（以下、4D）モデルとすることで、施工時における組立てや解体などの工程を順序だてて表現することが可能となる。図-2は、V脚を有するPC連続橋の脚付根部の支承部アンカーバー、鉄筋および横締めPC鋼材との配置について、干渉チェックおよび組立手順を検証した事例である。複雑な配筋も3Dモデルを使用することで、施工時の手戻りがなく作業を続けることが可能となる。また、他の事例として、図-

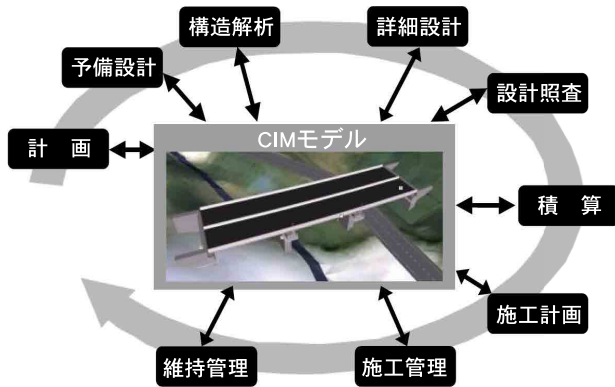
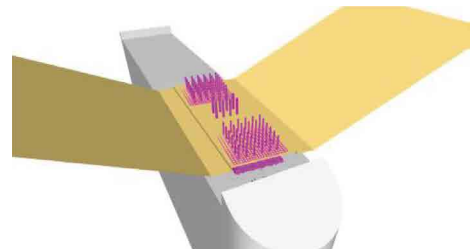


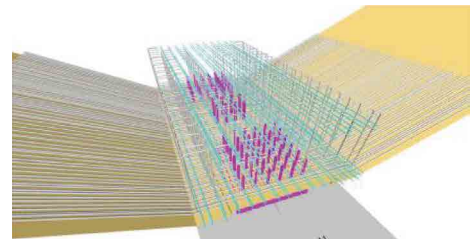
図-1 BIM/CIMの相互運用システムの例¹⁾



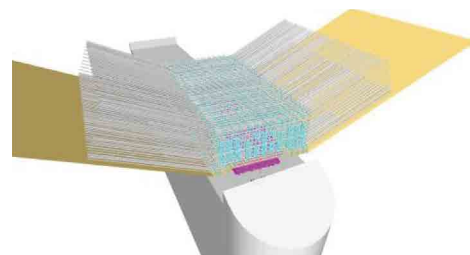
図-3 付属物の干渉チェック^{1, 3)}



STEP1：支承部アンカーバーおよび補強鉄筋の配置



STEP2：下側鉄筋およびスターラップの配置



STEP3：上側鉄筋および横締めPC鋼材の配置

図-2 鉄筋干渉チェックおよび組立手順の確認¹⁾

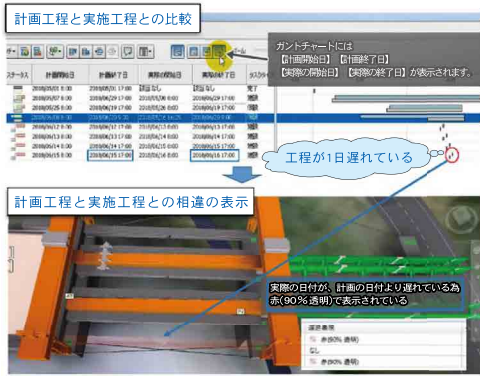


図-4 4Dモデルによる架設工程シミュレーション²⁾

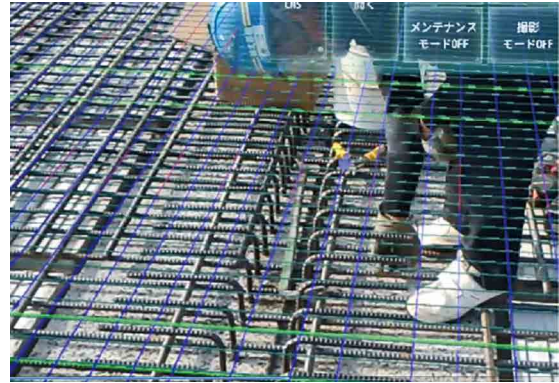


図-6 配筋作業のサポート

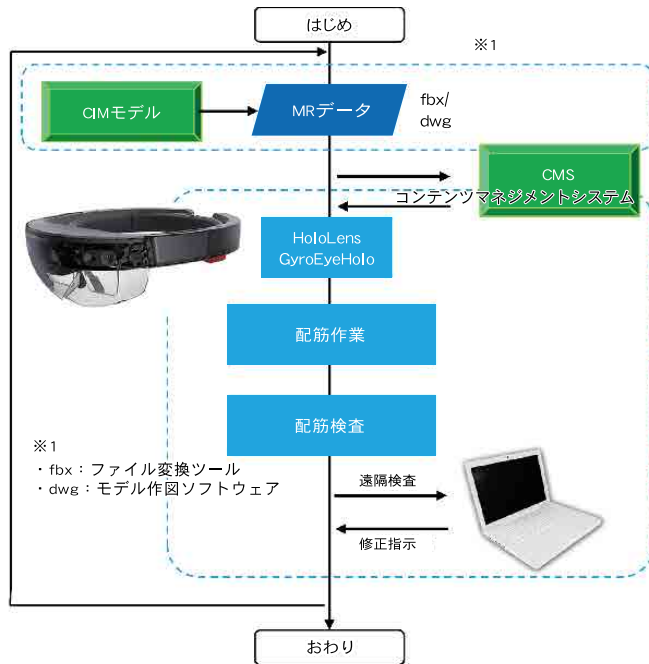


図-5 MR実施フロー

みを行った。複合現実 (Mixed Reality: 以下 MR) 技術とは、仮想空間と現実空間を重ね合わせ、現実世界と仮想モデルを同一空間上に表現する技術である。この技術では、省人化や作業時間短縮の可能性が示唆されており、今後橋梁建設への適用事例が増えることが予想される。

MR 技術の導入は、Windows で動作するグラフィックコンピュータである MR デバイスを使用することで可能となる。場所の位置や視野の向きは、MR デバイスに搭載された「デプスセンサー」という赤外線を利用し、作業場所をリアルタイムに 3D スキャナで割り出す仕組みである。遠隔で 3D データを共有するため、クラウド上で管理できる。実施手順は以下の通りである。

- ① 3Dモデルを作成し、専用ソフトウェアを使ってクラウド経由でMRデバイスに取込む
- ② 監督職員や作業を行う技能労働者にMRデバイスの装着、操作方法を指導する
- ③ 現地にて、原点 (ARマーカー) を用いて現場で3Dモデルの位置を合わせる
- ④ MRデバイスに、3Dモデル画面を投影させ配筋や排水装置、検査路の位置出し作業をサポートする
- ⑤ 段階検査時、MRデバイスと工事事務所のパソコンを遠隔通信でつなげ、リアルタイムに品質検査を行う

図-5 に MR 技術の実施フローを示す。

図-6 は、鉄筋の配置作業に MR 技術を適用した事例である。MR デバイスを介して現実空間に 3D モデルの鉄筋の配置図を映しだし、配筋作業を行うものである。従来のマーキング作業を省略することが可能であり、作業時間を約 20% 削減する効果が確認された。また、鉄筋配

3 に検査路と排水管が干渉している事例を示す。この図は、検査路の開口部と排水管の位置がずれているため両者が干渉する結果となったことを示している。2次元図面では、平面図および側面図を相互に見比べながら干渉問題を検証する必要があるが、3D モデルでは 1つのモデルで容易に干渉を発見することができる。その結果、早期に設計へフィードバックすることができ、工程遅延のリスクを減らすことが可能となる。

(2) 4Dモデルを使った工程管理

施工計画における工期設定は、工期内に適切な日数および進捗で、安全・品質・原価を管理しながら適切に施工するためのものである。従来の表計算ソフトを使用した工程管理用の図表などは、全体の大まかな施工手順は確認できるが、計画通りに作業できるかは不明であった。そ

こで、橋体の構造物モデルと周辺地形モデルを重ね合わせた 3D モデルに架設工程をシミュレーションするため揚重機や架設機材のモデルを別途作成し、このモデルに施工工程を付与した 4D モデルで工程管理を行うことで解決を図った (図-4)。この 4D モデルは工事関係者や現場作業員との打合せに使用し、事前に作業内容を可視化することで、作業の効率化につながる事が確認された。また、揚重機スペースの確保、架設術と車道の離隔確認などにも活用し、安全性を確保することができる。さらに、周辺住民への工事説明会に使用することで、参加者の工事への理解度を深める効果も期待できる。

(3) BIM/CIMとMR技術による生産性向上への取組み

BIM/CIMと複合現実技術を連携させる試



図-7 現場と事務所の配筋遠隔検査³⁾

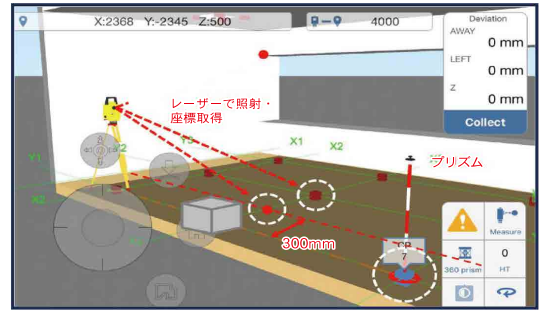


図-9 TS測量システム

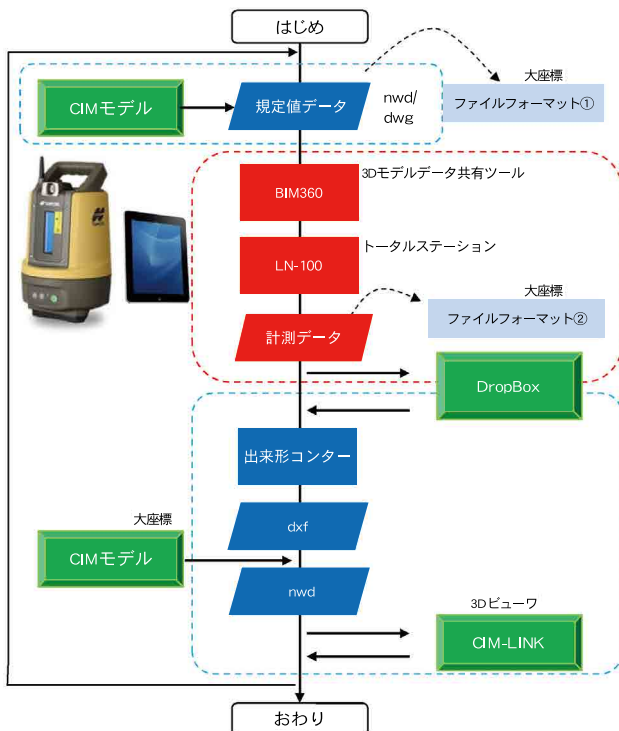


図-8 TS測量技術試行フロー



図-10 TSIによる床版打設の品質管理³⁾

置完了後の段階検査時には、現地の状況をリアルタイムに他の場所、例えば検査員の事務所と共有することで遠隔検査(図-7)が可能となり、監督員や品質証明員による検査時間を短縮できることを確認した。

(4) BIM/CIMとTSによる生産性向上への取組み

BIM/CIMとトータルステーション(以下、TS)の連携による生産性向上についての試みを行った。図-8に実施フローを示す。使用するTSは、レーザー光でプリズムのXYZ座標を自動で追尾しながらリアルタイムに計測する。そのデータは無線LAN経由で、毎秒20回の頻度でタブレットに取得データを送る。この位置出しシステムは、3Dモデルに直接測

点ポイントを指定でき、TSとのデータを統合させて表示させることができる。これら相互のデータの転送を行い、3Dモデル上のプリズム標点の位置を確認しながら、次の測点までスムーズにXYZ座標で案内する。このシステムを使用することで、現地で位置出し作業をなくすことができ、従来の2人から1人(図-9)による計測作業が可能となる。

実橋での試行において、以下の効果が確認できた。

- ①従来のTS測量技術と比較した結果、計測作業を人・作業時間で約60%削減可能であった
- ②出来形コンターソフトを使用し、設計値からの誤差を色分け表示したコンター図を自動的にリアルタイムに表示することが可能であった

3. BIM/CIMを活用した品質・安全管理の高度化への取組み

(1) BIM/CIMとTSによる品質管理の高度化

コンクリート構造物の品質確保のためには、打重ね部は所定の時間内に打込みを行う必要がある。また、橋梁上部工は床版出来形の良否によって、将来の耐久性に大きく影響を受けることがある。4Dモデルと打設時の測量データを連携させることで、これらの課題への解決策とした(図-10)。具体的な管理方法を以下に示す。

- ①ノンプリズムの自動追尾型TSにより、打設中の床版出来形は線形ラインごと打重ね時間は定めた区画ごとに計測し記録する
- ②リアルタイムに床版面の高さと打重ね時間の結果を、計測技術者がもつタブレット端末に送信する
- ③打設時から完了までの計画値と実測



図-11 AIと画像解析技術による安全管理



図-12 MRとTSの連携による計測

値との差を確認しながら、コンクリート打設作業を進める。なお、仕上がり高さが計測中に大きく外れる箇所は作業員に再仕上げを指示する

(2) BIM/CIMによる安全管理向上への取組み

建設機械の移動・設置作業時の安全管理は、橋梁建設現場における重要課題である。BIM/CIMによる安全管理の向上を目的として、以下のような取組みを実施した。

- ①移動作業車の3Dモデルを作成し、自動追尾TS計測器と連動させ、機械の位置や動きの情報をクラウド経由でタブレット端末に読込んだ
- ②TSが自動追尾するプリズムを作業車に設置し、移動距離や高さの動きを高精度に取得し管理した
- ③現地にデジタルカメラを設置し、図-11に示すようにAI技術で人を認識する立ち入り禁止措置や、画像解析技術(座標)を用いて、作業車に設置したマーカから移動中の変位をリアルタイムに取得した。これらに

より、墜落・転落、関係者以外の立ち入りなどの異常を監視し、設定した制限値を超えた場合は、警報装置(パトライト)が発光・回転するシステムを構築した

- ④移動中の作業車の変位をパソコン上で確認することで、異常の早期発見や省人化が可能となった
- ⑤取得したデータは安全管理や仮想現実(以下、VR)技術による教育、さらには、主桁たわみデータを取得し、AIの深層学習に使う教師データとして活用した

(3) MR技術による検査技術の向上への取組み

型枠組立および出来形管理の検査技術の向上を目的として、次の内容を試みた。

- ①型枠の3Dモデルをクラウド経由でMRデバイスに取り込み、その画面上で寸法を計測した
- ②現場で取り込んだ映像をMRデバイスの内部で、リアルタイムに3Dの点群データを作成し、空間上での寸法計測を行った

③このMRデバイスの動きをTSと組み合わせることで自動追尾させることで計測精度の向上を図った(図-12)

④計測結果は、自動的にインターネット経由で、検査帳票にデータを連動させることで効率化を図った。型枠の寸法や橋桁断面の寸法を3Dデータ上に配置したことで、MRデバイスを用いて、型枠や出来形の1人計測作業が可能となった

4. おわりに

橋梁上部工の施工にBIM/CIMおよびICTを活用することで、生産性向上が図れ工期短縮および省人化の効果が確認された。さらに、TS測量技術との連携により、施工品質および安全管理の向上を図ることが可能となった。BIM/CIMの活用は、熟練土木技術者の減少という課題や維持管理段階での活用に対して大いに期待されている。

【参考文献】

- 1) 中村定明: PCの周辺技術を学ぼう(第2回), PC上部工施工におけるCIMの適用, プレストレストコンクリート, Vol.60, No.4, pp.107-110, 2018.
- 2) 新枝秀樹, 山下恭平, 渡辺誠, 若林良幸: 橋梁上部工の4DCIM活用, 品質管理への取組み, 土木施工, Vol.60, No.5, pp.67-70, 2019.
- 3) 若林良幸, 中村定明, 保田敬一, 平原幸男, 新枝秀樹: CIMを活用した施工の効率化について, 土木学会年次学術講演会, No.74, VI-933, 2019.