BIM／CIMデータ活用による床版取替工事の生産性向上

(株)大林組　正会員　○日暮　一正
(株)大林組　正会員　三田村　健二
オフィスケイワン(株)　正会員　保田　敬一

１．はじめに

これまでBIM/CIMモデルは，図面間の不整合確認や，関係者間における施工手順の合意形成・地元説明での利活用など，主に全体工期の初期段階での活用を中心に効果を発揮してきた．一方で，BIM/CIMモデルを施工そのものに活用する事例は，フロントローディングでの活用に比べて一部に留まっている．そこで，床版取替工事において設計段階で作成したBIM/CIMデータを，4D施工シミュレーションによる工程計画や，工場で製作した新設床版の出来形点群データと既設鋼桁との干渉チェック，新設床版の高さ管理など工期全体での利活用を進めている．本稿ではその取り組みについて報告する．

２．BIM/CIMシステムの概要

床版取替工事における標準的な作業フローと各工程を支援するBIM/CIMシステムを示す（**図 - 1**）．詳細設計時に新設床版や壁高欄の割付け，既設床版のカット割りなどの作業を基本の割付寸法などのルールをもとに自動処理するBIM/CIMシステムが主要機能となっている．

既設の橋梁がどのような形状で存在しているかを確認するために3次元レーザースキャナやUAVを用いて3次元計測を行う．大容量の点群データから必要な座標の取得を支援する機能や，CIMモデルと工場で製作したPC床版の出来形管理を支援する機能がある．

現場施工においては，既設床版撤去後に鋼桁の上フランジ面の標高を確認して高さ調節ボルトの施工寸法を出力し，設置床版の出来形管理支援機能も実装した．各プロセスにおいてこれらの開発システムを適用した事例を順に述べる．

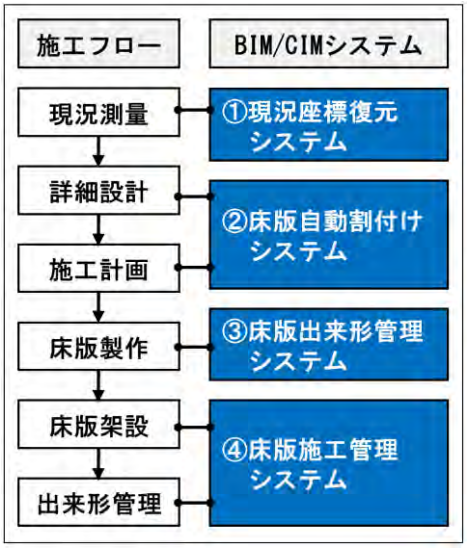


図 - 1 システムフロー

（１）線形座標復元システム

既設鋼桁の形状を再現するために，3D　レーザースキャナ計測やUAV写真測量を用いて点群データを取得し大容量の点群データから既設鋼桁の線形座標を求める作業には多大な時間を要しており座標値の精度確認も困難であった．

今回，専用の点群解析ソフトウェアを用いて点群データから主桁と対傾構・横桁の交点座標（＝格点座標）を高精度に抽出し，既設鋼桁と床版外形ラインの線形座標データを作成するシステムを開発した．3 次元の点群データから平面図・断面図を交互に切り替えながら主桁ウェブの上下縁と床版上面をマウスクリックで必要な座標を特定できるワークフローを構築した（**図 - 2**）．算出した線形座標を鋼橋 CIM システムに読み込んで主桁の 3 次元モデルを出力し，点群解析ソフトウェアに点群と 3 次元モデルを重ね合わせてコンター表示することで座標値の抽出精度を確認することも可能である．

キーワード　リニューアル，床版取替え，BIM/CIM，生産性向上，DX
連絡先　〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 (株)大林組 土木本部大規模更新プロジェクト室　TEL 070-1041-4732

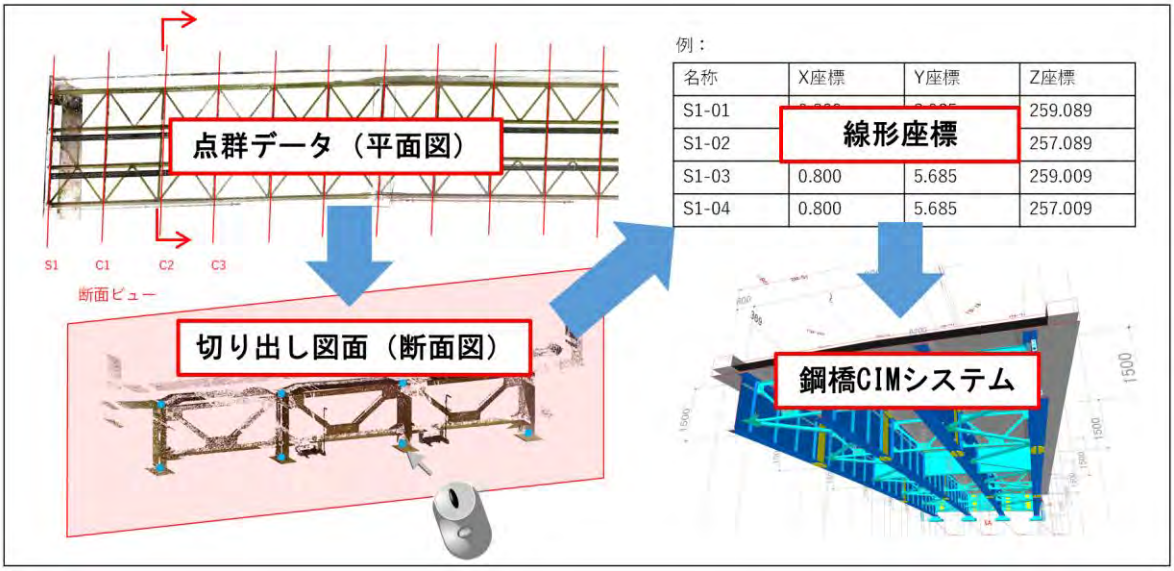


図 - 2 点群データからの線形座標抽出フロー

また鋼橋CIMシステムは竣工図面のデータで作業を進めておいて，点群から抽出した線形座標値を入れ替えて実行することで，フランジ幅や板厚の照査も同時に可能となり，現況の既設鋼桁に一致したソリッドな3次元モデルを作成することが可能となり，設計作業の効率化が実現した．

（2）床版自動割付けシステム

現況に一致した線形座標を開発システムに読み込んで，割付けルールから新設床版と壁高欄の最適な割付け，既設床版のカット割りを自動処理することができる．その割付けデータから3次元モデルと施工ステップの時間軸を付与した属性情報を自動で出力することが可能なシステムを開発した．

施工サイクルは，交通制約や半断面分割施工などの諸条件をもとに，施工開始日からの標準工程を出力することができる（図 - 3）．施工ステップのデータは，インターネットでBIM/CIM共有クラウドにアップロードすることで，ウェブブラウザで関係者が施工ステップを確認・更新することができる（図 - 4）．



図 - 3 4D 施工ルール登録画面



図 - 4 4D 施工ステップと BIM/CIM クラウド共有画面

（３）床版出来形管理システム

前工程の割付けデータから作成した床版の3次元モデルをもとに，工場にてプレキャスト床版を製作する．製作した床版は，仮置きヤードで3Dレーザースキャナを用いて点群データを取得する．専用の点群解析ソフトウェアでスタッド孔や床版下面のハンチ形状を含めて高精度に3次元モデルを作成する．

作成した3次元モデルを前工程で作成した現況に一致した既設鋼桁の3次元モデル上にシミュレーションをすることで，ハンチと添接板ボルトとの干渉チェックや主桁上フランジに溶接するスタッドと床版スタッドボルト孔の位置関係を確認することができる．

このように製作床版と既設鋼桁の高精度なリアリティーモデル同士を３次元モデル上で再現することで，現場での設置リスクを可視化して，高精度な設置シミュレーションが可能となった（**図 - 5**）．

製作床版の3次元モデルから出来形帳票を自動作成することができ，詳細設計時に作成した3次元モデルとの重ね合わせ・出来形確認も自動処理可能となり，床版出来形計測削減により大幅な作業効率化が実現した．

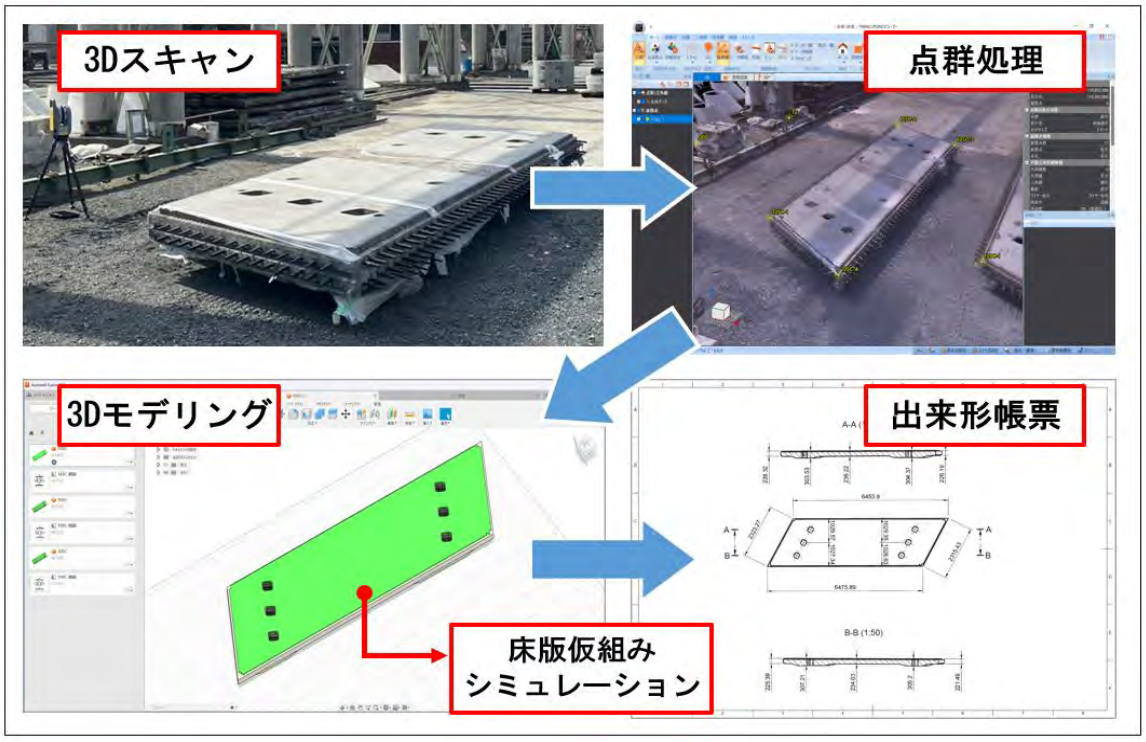


図 - 5 製作床版の出来形管理システムフロー

（４）床版施工管理システム

交通制約により床版をレーンごとに取替える半断面分割施工を採用する現場がある．この場合，これから設置する新設床版は，左右どちらかと手前にすでに設置済の床版に囲まれる．この2辺固定に対する架設作業において床版の高さ調整作業に時間を要していた．これは床版高さ管理位置（＝床版4隅の高さ）と床版設置高さをコントロールするための支点（＝高さ調整ボルト位置）が異なることによる「4支点シーソー状態」が原因である（**図 - 6**）．また床版の製作時の微小誤差（床版全体のねじれ量）も一因と考えられる．

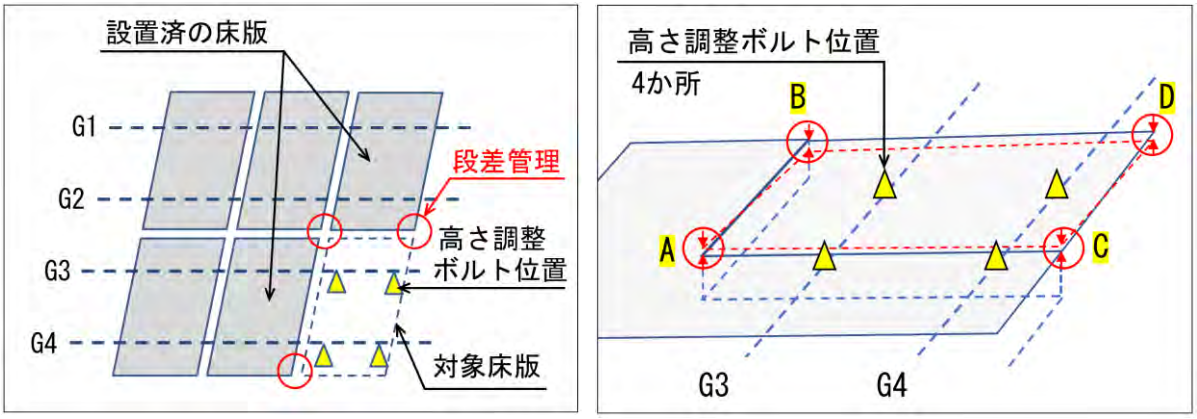


図 - 6 半断面分割施工時の高さ調節ボルトと床版段差箇所

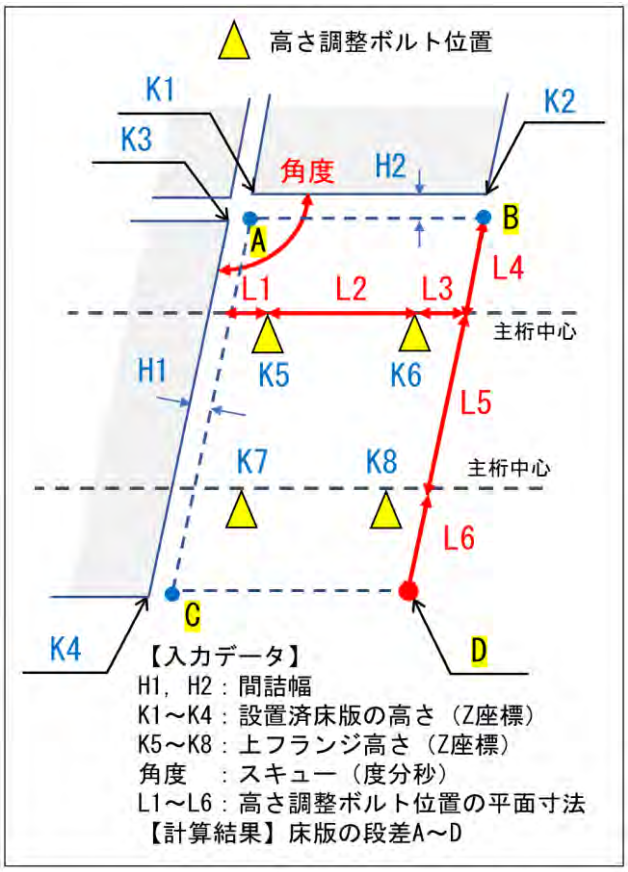


図 - 7 開発アプリの入出力データ

今回，床版設置直前に設置済床版と主桁上フランジ高さを実測しその標高データをもとに，調整ボルト高さを算出するブラウザアプリを開発した．入力パラメータを示す（図 - 7）．

床版の寸法（L1～L6，角度）と設置済床版の対角上にあるD点の標高は前工程で作成したBIM/CIMデータから連動させておく．床版架設直前に自動追尾式の3次元計測機にて設置済床版の角（K1～K4）の標高を計測する．続いて既設床版が撤去されてむき出しとなった主桁上フランジの上面（高さ調整ボルト位置）の標高を計測する（K5～K8）．これらの標高データを開発アプリに転送して，タブレット端末で対象床版の設置高さシミュレーション計算を実行する（図 - 8）．

AC回転によりBD点に誤差を持っていく計算やBC回転によりDに誤差を持っていく計算など，想定される座標計算パターンを一覧で表示させた．計算結果でもっとも段差が少なく，かつ次レーン施工時にポイントとなるD点の誤差が少ない計算ケースを画面から選択し高さ調節ボルトの施工寸法（突出量）を決定する．トレーラーにて搬入された床版の高さ調整ボルト4か所を調整する（図 - 9）．

床版架設機で対象床版を吊り上げて所定位置まで誘導し上フランジにボルトをタッチさせてA～Cの段差が管理値に収まっていることを確認して完了となる．これまでは設計段階で算出した標高を用いて高さ調節ボルトの設置を行っていたが，床版架設機重量や既設床版撤去など標高に影響する要素が複数あり，特に支間中央付近ではたわみ量の変動が大きく2辺の床版の目標高さを正確に求めることは難しかった．新しい作業フローでは床版設置直前に素早く既設床版と主桁上フランジを計測しタブレット端末のアプリに標高を入力して，設置済床版との段差がもっとも少ない計算パターンを職員が選択して施工することで，床版どうしの段差調整の作業時間を最小化することが可能となった．

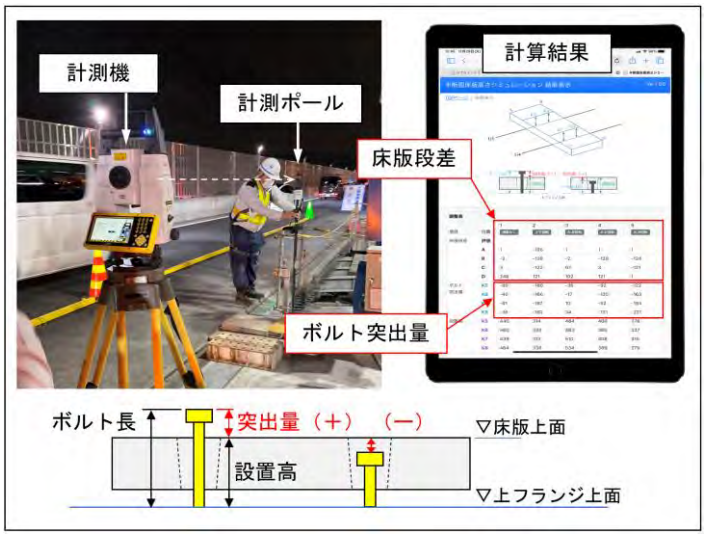


図 - 8 計測状況と開発アプリ画面



図 - 9 高さ調節ボルト施工状況

３．期待される効果

橋長90mの3径間連続鈑桁橋において，従来作業と開発したBIM/CIMシステムを用いた場合の作業時間を検証した（図 - 10）．

平均で40%の生産性向上を見込んでいる．生産性向上だけでなく現場での干渉発覚や床版設置調整時間の増加など従来作業で想定される手戻りなど工程リスクの削減効果も期待できる．

表 - 1 作業時間の比較表

作業項目	従来作業	開発システム
現況座標復元作業	100	50
床版自動割付け作業	100	20
床版出来形管理作業	100	90
床版施工管理作業	100	70
平均	100	60

４．おわりに

開発システムにより，詳細設計で作成したBIM/CIMデータを床版製作工場での出来形管理や床版取替え時の高さシミュレーションなど，施工全体で活用する新しいワークフローを構築し，生産性向上を実現した．

計画・設計段階の合意形成を中心とした活用だけでなくフロントローディングで作成したBIM/CIMデータを各工程でデータ連携する試みは真の生産性向上に欠かせないと考える．また建設業における職長個人の経験に基づいた「勘所」仕事を，BIM/CIMデータをもとにしたシミュレーションによるデータドリブンな施工を可能とし，リニューアル工事の不確実性を減らす取り組みは，安全性はもちろんのこと，品質・コスト・工程をバランスよく確保することにつながる．

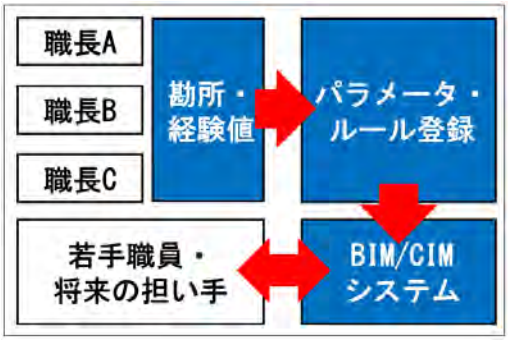


図 - 11 技術伝承のイメージ

勘所や経験値をパラメータとして蓄積し，設計・施工の標準化を促すことは経験豊かな職長と若手職員が技術伝承していく上でも重要と考える（図 - 11）．引き続き開発システムの現場適用を進めて高速道路リニューアル工事に貢献していく所存である．