

鉄道工事での BIM/CIM の活用事例

三 瓶 晃 弘・竹 市 八重子

インフラ分野のDX施策の一つとしてBIM/CIMの活用が広がり、受発注者双方の生産性向上等に資する取り組みが進められている。鉄道工事においては、「施工時間や作業スペースの制約」、「土木・建築・軌道など様々な系統との連携及び構造物や設備の取り合い確認」などが特徴として挙げられ、BIM/CIM活用によるその効果は大きいと考えられる。今回、実際の工事事例（新駅設置・改良、こ線橋工事など）から、3次元モデルや点群データ、XR等の活用を通じた施工会社としての生産性向上、安全、品質、工程管理の取り組み例を紹介する。

キーワード：BIM/CIM、鉄道工事、生産性向上、3次元モデル、点群データ、XR

1. はじめに

国土交通省では2023年度までに段階的にすべての公共工事においてBIM/CIMを原則適用（小規模を除く）する動きがある。その他発注者として、例えばJR東日本建設部門の調査・計画、設計段階における点群データや3次元モデル活用の原則化（JRE-BIM：JR東日本におけるBIM/CIM取組みの総称）の動き等、BIM/CIMによる生産性向上を目指す取組みが加速している^{1), 2)}。

鉄建建設においては、施工計画立案など現場作業の見える化からXRや点群データの活用によるデジタルツイン環境構築等、受発注者双方の生産性向上に寄与することを目指し、取組みを進めている。その中で、鉄道営業線近接工事や線路切換工事、使用中の駅施設等の改良工事の特徴として、①施工時間や作業スペースの制約など条件が多い、②施工範囲に、土木、軌道、建築、電気、機械など様々な系統の工事関係者や施設管理者・使用者がいる、③新設と既設構造物間や前述の複数系統にわたる構造物・設備の取り合いが2次元図面では把握しにくい等が挙げられる。現状では点群データや3次元モデルの活用は、データ共有や統合モデル作成・更新・引継ぎ等まだ解決すべき課題はあるものの、施工段階における安全、品質、工程管理を行う上で効果的である。本稿では、鉄道工事におけるBIM/CIMの取組み事例について紹介する。

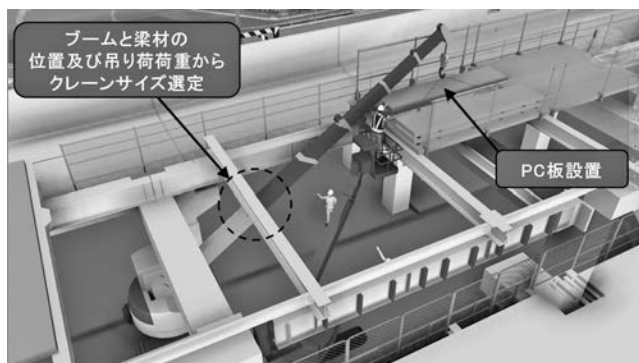
2. BIM/CIMの取組み事例

(1) 新駅設置工事

JR幕張豊砂駅（新駅）設置工事は、地平下り線と高架上り線の上下線間が狭隘な敷地において、既存上り線高架橋に接続する方式で新たに高架橋を構築し、1階に下り線ホーム、2階に上り線ホーム、S造の駅舎を整備する。

今回、ECI方式であったことから設計段階から施工計画に参画した。既存設備、構造物等の状況は3Dレーザースキャナで取得した点群データや財産図などをモデル化することにより把握し、そのデータに新設構造物のモデル、重機等を統合することで、施工計画検討のベースとなる3次元モデルを作成した。そこから、新設高架橋の縦梁、横梁を格子状に施工した後、格子の間から架設するホーム桁やPC板の架設シミュレーションを行った。そして、クレーンの機種選定、配置、発注者も含めた狭隘箇所における施工の実現性確認に役立てることができた（図-1, 2）。また、営業線近接での工事であることから、大型重機使用工種などにおいて作業時間帯の検討等にも活用した。全体施工ステップを作成し、細長く狭隘な施工ヤードでの重機や資材の配置検討など施工準備に役立てることもできた。

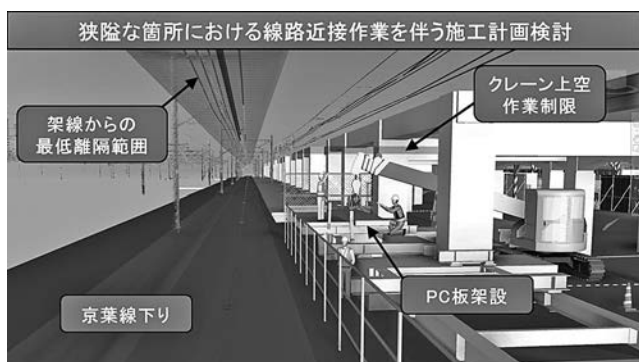
施工段階では、設計で作成した3次元モデルを基に施工ステップを細分化し、モデルを追加するなど必要な情報を追加して検討の深度化を図った。線路近接施工であることから、大型重機を用いた杭施工の検討の



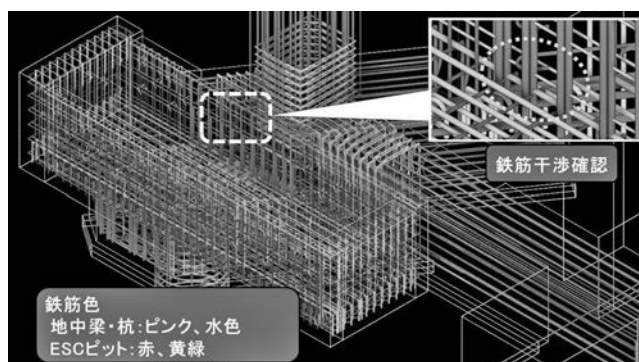
図一 狭隘箇所における重機選定等の施工計画検討 (1)



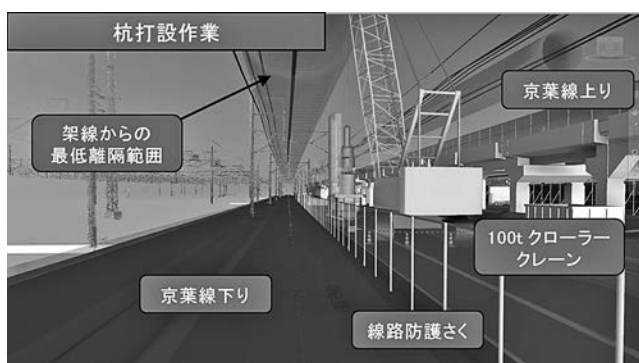
図四 階段主桁のクレーン架設動画



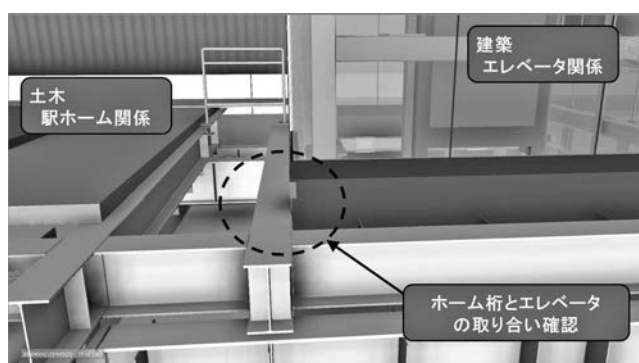
図二 狭隘箇所における重機選定等の施工計画検討 (2)



図五 鉄筋の組立手順及び干渉確認



図三 営業線近接での杭施工検討



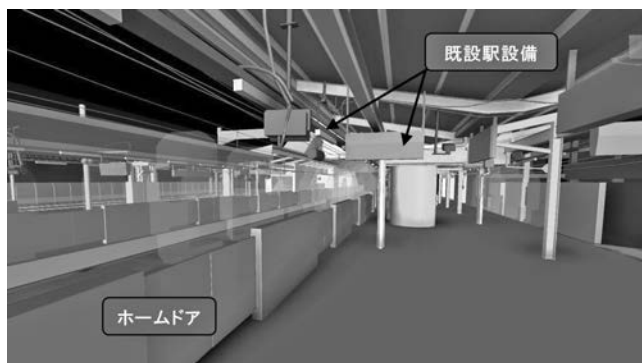
図六 複数系統での取り合い確認

際は、レーザーバリア等の安全設備や架線からの離隔がわかるモデル、建築限界モデル等を追加 (図一3)、また階段設置時においては、クレーンによって搬入組立ヤードで製作された階段の吊上げ及び旋回と作業従事者等による桁誘導の動画を作成した (図一4)。これらは、施工内容や安全面での注意箇所の確認が視覚的にでき、発注者や社内、作業従事者との検討会の際に活用した。

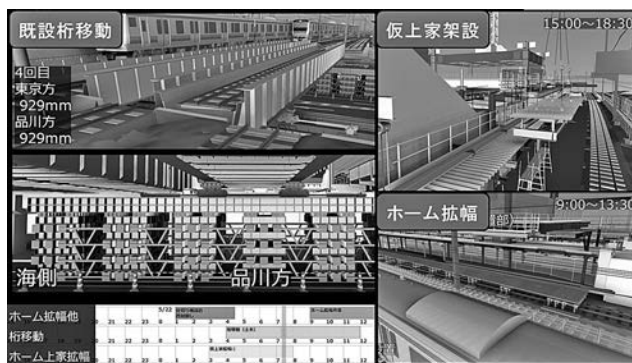
エスカレーター設置箇所では、高架橋の地中梁及び杭頭部とエスカレーターピットの配置が一部同一箇所となるところがあった。しかし、この箇所ではそれぞれの構造での2次元図面しかなく、全体構造及び鉄筋の配筋状態が把握しにくいことから、鉄筋も含めた構

造物のモデル作成を行った。そのことで、特に鉄筋が密になる箇所では干渉確認をはじめ、組立手順の確認をするため、実際に組立作業を行う作業従事者にも意見を聞きながら、必要に応じて鉄筋加工形状の変更などを発注者に相談することで、スムーズな施工となった (図一5)。さらにコンクリート打込みに関しても、鉄筋が密であり、また複数部材が一体化した箇所であったことから、3次元モデルを見ながら発注者を含めた関係者で議論し、打込み計画を立てた。

この現場では土木と建築の連携が必要な箇所があり、これまでは2次元図面を各担当で確認後、現地で調整することもあった。例えば、エレベーターピットや梁材 (土木) とエレベーター本体構造 (建築) との



図一七 点群データからモデル化した既存設備



図一八 実際の工程に合わせて編集した施工動画

取り合いなどである。そこで今回は、3次元モデルを統合することで視覚的に分かりやすくなり、双方で施工前に確認、調整することで手戻りの防止に繋がった(図一六)。

(2) 駅改良工事

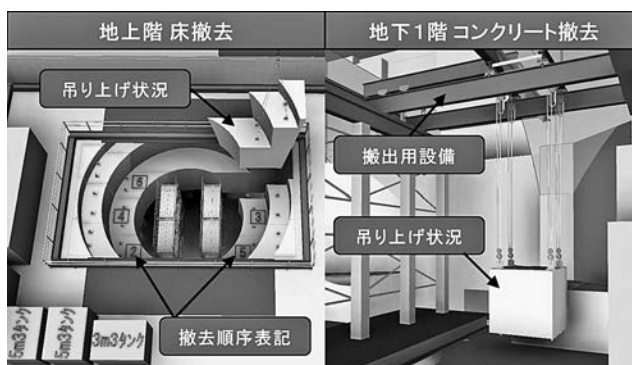
JR 浜松町駅でのホームドア整備、ホーム拡幅及び線路切換等の駅改良工事では、既存構造物の改良となるので、各構造物とともにホーム上に数多くある施設物の把握や移転調整等のために、3D レーザースキャナによって取得した点群データから現況設備及び地形等の3D モデルを作成した(図一七)。

線路閉鎖による列車運休やお客さま流動の変更を伴う大規模かつ短時間で完了しなければならない工事では、駅改良として大きく3つのシチュエーション①線路切換に伴う既設桁移動(土木)、②ホーム拡幅(土木)、③仮上家設置(建築)において、それぞれの施工ステップモデル及び動画を作成して、各検討会や施工説明で使用した。さらに、3つの動画を組み合わせ、実際の工程に合わせた動画を作成し、いつ、どのエリアで、どのような作業が行われているのか、工事全体の動きが把握出来るような資料として活用した(図一八)。

(3) 発電設備老朽取替工事

JR 東日本の千手発電所(水力発電所)老朽設備取替工事では、取替時期をむかえた水車発電機5機のうち4機を1機ずつ使用停止しながら取り替え、1機を廃止する。歴史のある設備であり、初めての取替工事で前例がないことから、3次元モデルを活用して土木工事の撤去・新設にかかわる施工シミュレーション等を行った。

発電機は、鉄筋コンクリート構造体に囲まれ、一部埋設した状態で支持されている。土木工事では、上記鉄筋コンクリート構造体の撤去と新たな発電機を支持



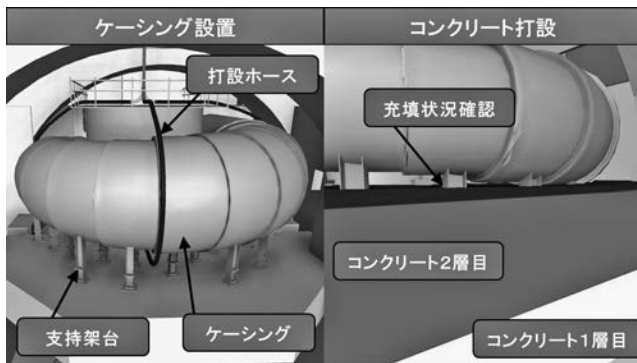
図一九 コンクリート撤去の検討状況

する構造体を施工した。なお、発電機のケーシング(鋼管)と呼ばれる部位は、渦巻き状の構造となっており、それを支持する構造体も含めて、2次元図面のみで施工計画を策定するのは容易ではない複雑な構造であった。

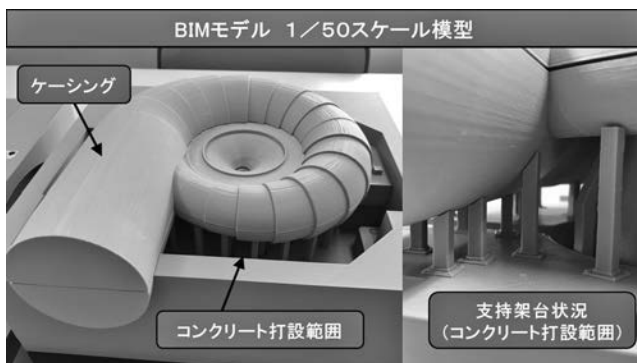
まず既存の設備撤去では、コンクリート部分の場外搬出にあたり、ワイヤーソーによるブロック割や搬出用のクレーン設備を2次元図面やイラストを基に3次元の施工ステップを作成した。ブロック搬出では限られた空間での作業が必要となるため、その手順を関係者間で事前に確認することで、作業上の課題解決策や安全性の検討を行った(図一九)。

次に、コンクリートの撤去によってできた空間に、発電設備であるケーシングが支持架台によって設置され、その周囲に鉄筋を配置し、コンクリートが打設される。3次元モデルにより、ケーシングと鉄筋の関係を確認するとともに、コンクリートの打設計画を立てた。ケーシング裏側へコンクリートを確実に充填するために高流動コンクリートを使用した。施工当日のイメージを事前に関係者間で共有することができ、品質確保の一助となった(図一十)。

また3Dプリンタによる1/50スケールの模型も製作した。通常であれば、ベースとなる3次元データを用意してプリント出力をするが、検討用モデルがある



図一10 コンクリート打設の検討状況



図一11 3Dプリンタで出力した模型

ことで出力用にデータを若干修正することで製作が可能となった。これも3次元モデルの新たな活用法の一つと考えられる(図一11)。模型内にコンクリートを模した液体を流し込むことによる充填状況の確認やチューブを用いた打設時のホースの取り回しのシミュレーション、各打ちあがり高さでのブロックを積み重ねて、その時の状況を手に取って確認できたことも、模型ならではの活用法だと感じた。

設備搬出入のための地上床部撤去後、再び経年80余年のコンクリート構造物内に新しい発電機を設置、活用することから、切断面の健全度調査を行った。従来であれば足場等を使って調査を行うが、地下1階でも並行して作業を行っていたために設置が困難だった



図一12 ドローンによるコンクリートの健全度確認

こと、また高所作業車を設置するスペースもなかったことから、ドローンによって撮影された画像からひび割れ解析を行い、注入等の計画を策定した(図一12)。また、解析画像を3次元モデルに貼り付ける等工夫し、状況確認をよりわかりやすくした。この方法は、本現場に非常にマッチした手法であったが、計測や足場設置などの期間及び費用も含めて、他現場においても効率化、省力化になると考えられ、今後水平展開していきたいと考えている。

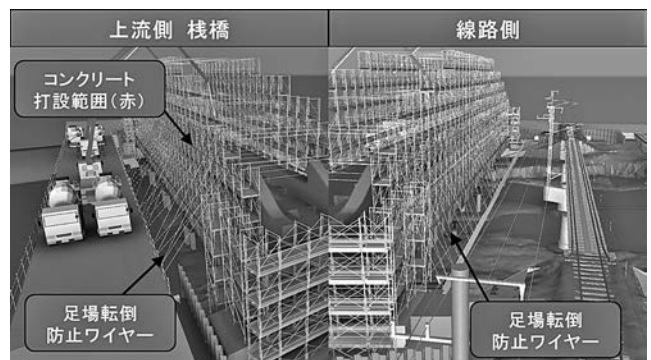
(4) 鉄道橋架け替え工事

JR 秋田新幹線角館～大曲駅間に位置する斉内川の流域治水対策事業に伴う、鉄道橋の架け替え工事において、新設桁(単線用開床式PRC単純ランガー桁1連、桁長=70.8m)を既存線路脇の構台上(斉内川上流側)で製作し、一夜で既設桁撤去後、横取り架設を行った。

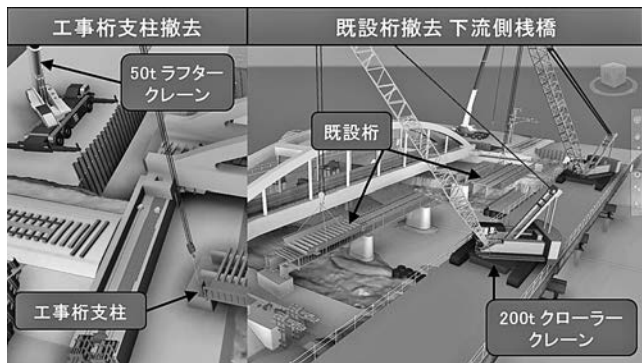
設計時に作成した周辺地形の点群データや新設桁、仮栈橋など仮設物の3次元モデルデータを活用しながら施工計画を策定した。3次元モデルから、下部工施工時に設置した立坑土留めと新設桁構築のために設置する仮栈橋の一部が干渉することが確認され、事前に計画を修正することで手戻りを防ぐことができた。

また、既設橋りょう脇にて製作するPRCランガー桁の施工ステップを3次元モデルで作成した。コンクリート打設時のポンプ車の配置や足場の設置状況等、特に営業線に隣接する作業であることから、足場転倒防止用のワイヤー等安全にかかわる設備もモデルに組み込み、事前の関係者説明等にて使用した(図一13)。また既設桁撤去時に、当初クレーン2台で作業計画をたてていたが、3次元モデルにより施工手順を検討した結果、撤去作業に支障しないスペースで補助クレーンを2台追加配置できることがわかった。検討結果より、現場では計4台のクレーンで作業を分担したことで、施工時間の短縮につながった(図一14)。

PRCランガー桁の横取り架設事例はそれほど多く



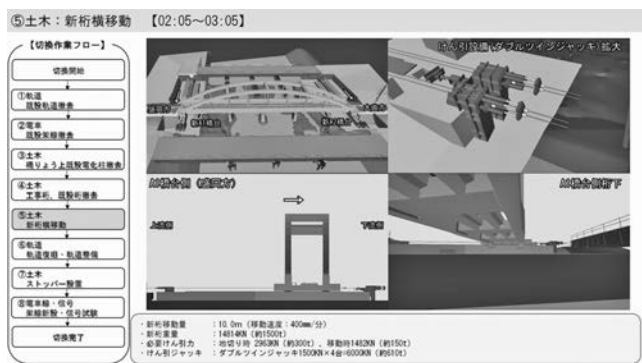
図一13 コンクリート打設及び足場設置の状況



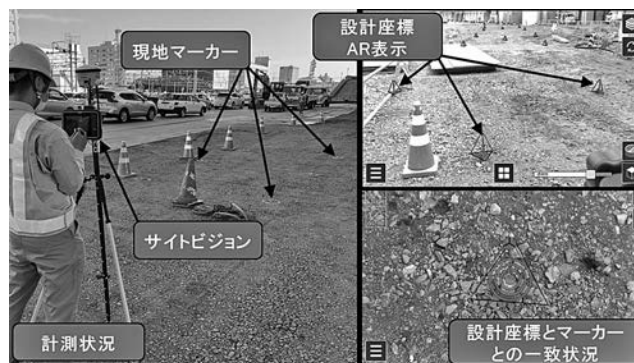
図一14 クレーンを用いた撤去作業の状況



図一16 桁送り出し架設時のAR表示状況



図一15 新設桁横取り時の施工動画



図一17 ARによる杭施工位置確認

ないこともあり、当初から動画による説明も視野に入れてモデルを作成した。動画は、「設備紹介編」「事前作業編」「試験引き編」「当夜作業編」の4種類を用意して、現場作業従事者を含め、工事経験が比較的浅い関係者等にも内容が理解できるように作成した。特に「当夜作業編」に関しては、一晩の架設作業の流れがわかりやすいように、時系列での作業フローを画面左に配置し、画面下にはその時点での施工内容を解説した。特に桁けん引時については、桁の移動とジャッキの動きがわかるように画面を4分割にして表現した(図一15)。これらの動画に関しては、施工検討会や作業周知の場にて活用することで作業の理解度が深まり、生産性の向上と安全な作業に貢献した。

(5) こ線橋架設工事

JR米坂線上空をまたぐこ線橋(橋長=190m)として架設される鋼3径間連続非合成RC床版箱桁は、線路上空の2径間は送し架設、残り1径間はクレーン架設にて行った。

3次元モデルによる施工ステップは、桁架設における施工計画検討に活用するとともに、架設後の運転士目線の動画等も作成し、関係者への説明や合意形成の円滑化が図られた。

また曲線部での桁送り出しとなることから、桁の方

向性確認のために、高精度屋外ARシステム(Trimble SiteVision)の試行も行った。このシステムは、座標情報が付加されている3次元モデルを機器に取込み、GNSSアンテナの情報からスマートフォン画面にてAR表示を行うものである。山間部ということもありGNSSの受信状態はあまりよくなかったが、施工中の桁とモデルが概ね一致した状況を確認できた。今後は、同種の活用も進めていきたいと考えている(図一16)。

(6) 橋梁下部工基礎工事

ここでは、前項でも紹介した高精度屋外ARシステム(Trimble SiteVision)を使用した杭打設位置の確認方法を紹介する。

下部工工事や仮設工事の杭打設前に測量によって求められた杭芯位置のダブルチェックとして導入した。現地のマーキング位置と設計座標との整合性を容易に確認することができるので、測量作業の効率化や人為的ミスの発見にも繋がっている。なお、このシステムでは衛星からの位置情報の取得が必須になるため、高層ビルなどの建物付近や山間部の急斜面に挟まれている場所では不向きとなり、使用の際に事前確認が必要となるが、位置確認を容易にできるというメリットは大きく、活用する現場は増えている(図一17)。

3. おわりに

今回、施工段階での点群データ、3次元モデルの活用事例について鉄道工事を中心に紹介した。今後は、施工計画検討や関係者との合意形成の円滑化などの活用だけでなく、3次元モデルと点群や画像データを使った配筋検査や出来形管理、AI画像解析などを活用した品質管理、維持管理への効率的なデータ引継ぎなど、様々な技術を取り入れて生産性向上につながる取組みを進めていきたいと考えている。

J C M A

《参考文献》

- 1) 国土交通省, 「第6回 BIM/CIM 推進委員会」資料2, 2021.9.7
- 2) 東日本旅客鉄道(株) 建設工事部, 「JRE-BIM ガイドライン」, 2021.7

【筆者紹介】

三瓶 晃弘 (さんぺい あきひろ)
鉄建建設(株)
土木本部 i-Con 推進部
課長



竹市 八重子 (たけいち やえこ)
鉄建建設(株)
土木本部エンジニアリング企画部
担当部長

