

鉄道建設工事における BIM/CIM 推進の取り組み

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○若狭 周汰 正会員 澤尻 晃一
正会員 小屋 裕昭 正会員 大塚 隆人
正会員 湊 達也 正会員 村崎 隆弘

1. はじめに

鉄道建設工事は、一般的な建設工事における現場の様々な制約条件に加えて、営業線近接や駅構内など、列車やご利用になるお客さま、第三者に近接した箇所での工事となるため、従前の鉄道機能および列車の安全・安定輸送を確保しながら施工するという大きな特徴を有している。その制約条件の多さから、施工現場の特情に適合したきめの細かい、かつ厳正な施工計画策定が求められる。

そのような中、目的構造物を建設するにあたって、前提となる条件が施工直前まで整理できないなどにより、施工段階に大きな労力がかかることが多い。そこで、BIM/CIM を導入し、計画、設計初期段階等の上流で負荷をかけて（フロントローディング）事前に課題や前提条件の見える化を行い、施工段階での仕様変更や手戻りを未然に防ぎ、課題の早期解決や品質向上、工期の短縮を図ることとした。

当社は、BIM/CIM を図-1 に示すサイクルで活用することで鉄道建設工事の効率化を目指しており、これらの総称を「JRE-BIM」として、土木、軌道、建築、電気等の各分野一体となって取り組んでいる。本稿では、JRE-BIM の推進に向けた当事務所の取り組みを紹介する。

2. 当事務所における JRE-BIM の取り組み

当事務所では、2016 年より BIM/CIM の試行を始め、調査・計画段階、設計段階、施工段階において 3 次元データの活用を図ってきた。各年度の取り組みについて表-1 に示す。

調査・計画段階では地上レーザースキャナを用いた測量を実施し、計測した 3 次元点群データ（以下、点群データと略す）を基に地形条件を取得している。特に、鉄道工事で必要となる営業線内や近接箇所の測量は、夜間に線路閉鎖

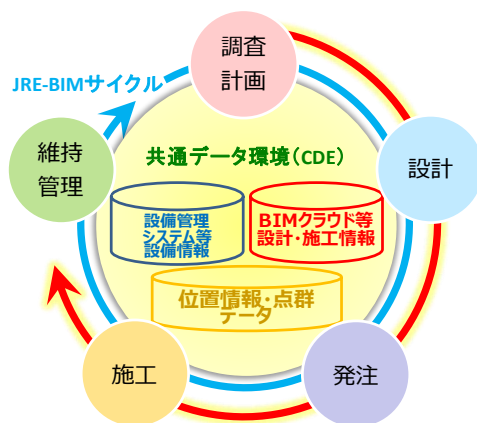


図-1 JRE-BIM サイクル

表-1 当事務所の JRE-BIM の取り組み

	2016	2017	2018	2019	2020	2021
調査・計画	▼点群測量試行(斉内川橋りょう)	▼点群測量試行(福島アプローチ他)			▼点群測量原則実施	
設計		▼モデル化試行(斉内川橋りょう)	▼モデル化試行(福島アプローチ他)	▼モデルによる解析を試行(斉内川橋りょう)	▼活用(福島アプローチ)	
施工		▼施工計画検討(青森駅自由通路、仙台東口オフィス棟、宮古駅避難通路) ▼施工計画検討(斉内川橋りょう)	▼桁架設詳細検討(青森自由通路)	▼桁架設詳細検討(斉内川橋りょう)	▼施工計画検討(福島アプローチ)	▼施工計画検討(福島アプローチ)
BIMクラウド			▼施設※全件名で導入	▼電子契約を試行	▼電子契約本実施(役務)	
保安打合せ		▼試行(斉内川橋りょう、高家川に線橋、桑折に線橋)	▼施設全件名で導入	▼出来形・しゅん功検査を開始	▼電気件名で試行	▼電気全件名で導入
工事書類電子化			▼試行	▼工事書類の電子提出開始		

※施設：土木・建築・機械系統

キーワード BIM/CIM, フロントローディング, 点群測量, 3次元モデル

連絡先 〒980-0811 宮城県仙台市青葉区五橋1丁目1番1号 東日本旅客鉄道株式会社 東北工事事務所 TEL 022-266-3713

(列車の侵入を防止する措置)をして短時間で実施する必要があるが、また昼間であっても列車からの安全を守るための保安要員を配置するなどの必要があるが、3次元点群測量(以下、点群測量と略す)は、現地での作業時間が短縮できるため導入メリットが大きい。点群測量を本導入するにあたり、後述する斉内川橋りょうや福島アプローチ新設にて、鉄道設計を行うのに必要な点群データを得られるよう、現地での作業時間や点群データの精度について検証を行った。現在、当社では地形測量と路線測量の一部は、3次元で測量することを原則としている。

また、3次元での構造物のデジタルモデル(以下、モデルデータと略す)を作成し、取得した地形条件に落とし込み、調査・計画段階より施工計画の精度向上を図り、施工上の課題の視覚化及び整理すべき条件を抽出した。設計段階では、従来の平面図等を基に詳細なモデルデータを作成し、点群データと重ね合わせ、現地での適合を確認した。後述する斉内川橋りょうで、鉄道設計を行うために必要な取得する点群データの精度を検証したうえで、モデル上で離隔や干渉の有無を確認して、支障確認作業を簡略化した。

施工段階では、モデルデータを基に施工ステップ毎の重機等の配置計画策定や、新設構造物と既設構造物・仮設構造物との干渉確認を行った。青森駅自由通路新設では、通路の鉄骨架設ステップを図-2に示すモデルデータを用いて施工計画の検討を行った。図-3は仙台駅東口で実施したオフィス棟新築で、ビルの鉄骨建方ステップを計画した。宮古駅避難通路新設では、通路の桁架設時の状況を図-4に示すモデルデータを用いて確認した。更に桁の鉄骨のボルトを固定する際の作業についても、作業時の姿勢や作業の安全性を図-5のように確認した。これらの取り組みにより、各段階においてBIM/CIMを導入することで施工状況の見える化を図った。また、施工方法によって構造物に与える影響を把握するため、モデルデータからFEM解析モデルを自動変換し、解析により施工時の弱点箇所を把握することなども行った。

このほか、受注者との電子データの共有を行うクラウドサーバーである「BIM クラウド」の導入を推進し

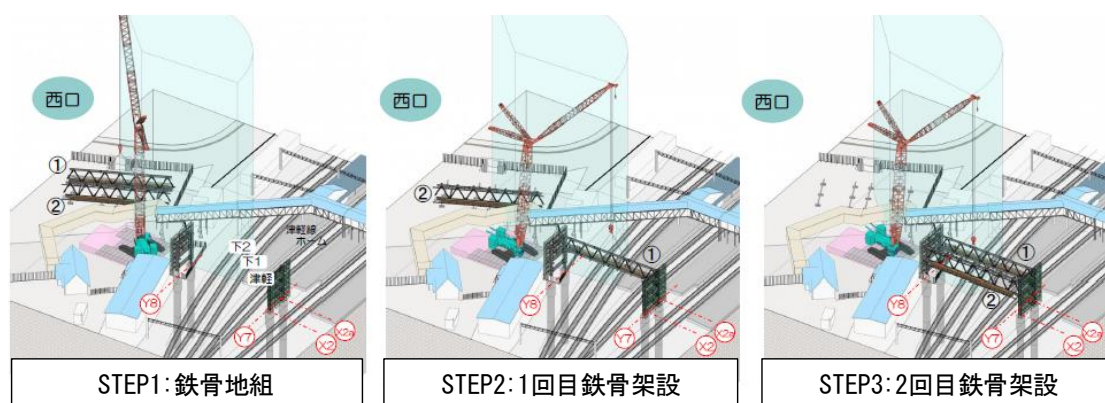


図-2 活用事例(青森駅自由通路)

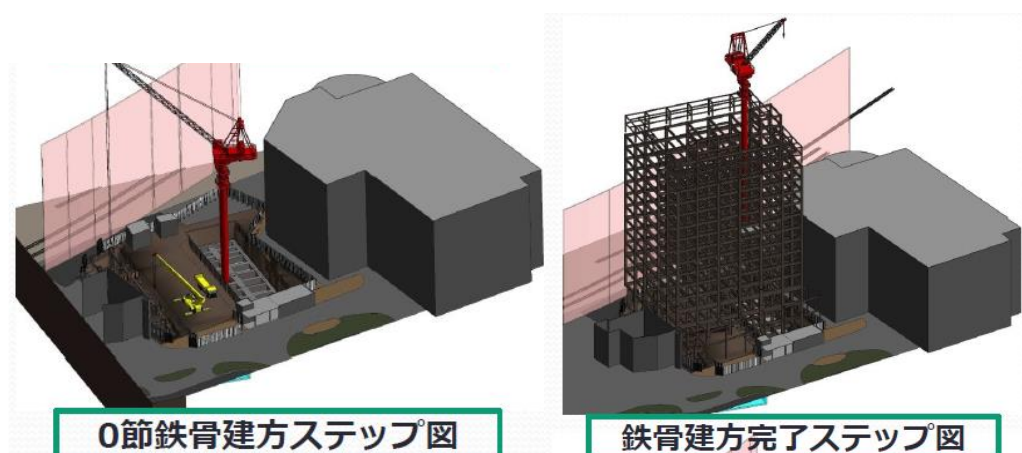


図-3 活用事例(仙台駅東口オフィス棟)

た．内蔵された主な機能として保管機能，承認・決裁機能，各種申請機能を有しており，それぞれ更新記録を残すことが可能である．

保管および承認・決裁機能では，工事における日々の作業内容や作業に伴うリスクに対する安全対策を示した保安打合せ票の電子化により，対面での打合せを削減した．これにより，打合せのための移動や説明時間等の業務負担を減らし，場所を選ばず内容の確認と承認を行うことで，列車の安全・安定輸送を確保しつつ業務の効率化を図った．また申請機能のひとつとして，報告書等の書類提出について，従来は印刷した書類により確認していたものを電子化し，クラウド上で承認可能にした．これにより，ペーパーレス化を図り，また管理箇所の一元化による資料の共有手間を削減した．

これらの JRE-BIM の取り組みのうち，今回は，調査・計画から設計，施工段階で 3 次元データを活用して桁の架替工事を実施した秋田新幹線の斉内川橋りょう改築と，調査・計画，設計段階で 3 次元データを用いて制約条件の整理を行い，現在工事を進めている山形新幹線福島駅構内上りアプローチ線新設の 2 件について報告する．

3. 斉内川橋りょう改築の取り組み

雄物川水系 1 級河川斉内川の流域治水対策事業に伴い，秋田新幹線角館・大曲間で鉄道と交差する斉内川橋りょうの改築工事を行った．本工事は，橋長 54.3m の橋りょうを橋長 71.1m の開床式 PRC 単純ランガー桁に改築するものであり，旧橋梁の横で新橋りょうを製作している状況を図-6 に示す¹⁾．今回，計画・調査段階で点群測量の試行，設計段階ではモデルの適合確認と精度の検証，施工段階では，周辺構造物との干渉確認や 3 次元モデルから FEM 解析モデル作成の試行を行ったので，取り組みについて以下に示す．

(1) 調査・計画段階

本工事では 2016 年に点群測量を試行導入し，地形条件の取得や既設構造物との離隔の確認を行った．

測定した範囲は橋りょうを中心に線路方向 100m，線路直角方向 25m である．取得する点群の精度は，従来の現地測量の 1/250 平面図と同等とすることを目的に，10m 先で水平 0.016m×垂直 0.002m の点群ピッチ（約

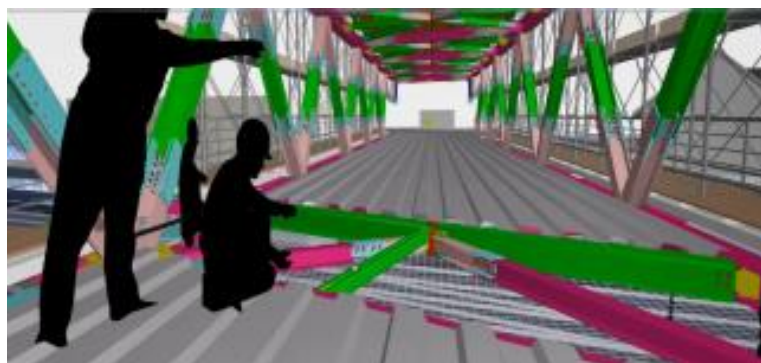


図-4 活用事例(宮古駅避難通路：ボルト固定作業状況)

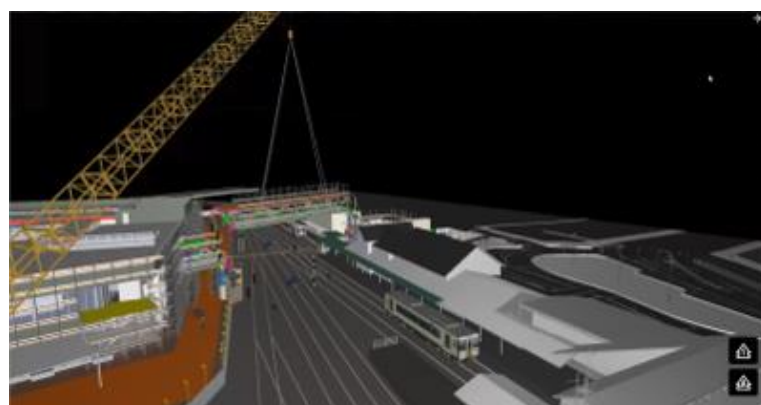


図-5 活用事例(宮古駅避難通路：桁架設状況)

490 点/0.01m²) とした。高い点群密度となったが、その後の検討において点群密度約 20 点/0.01m² で軌きょう形状を認識できることを確認した。なお、点群測量にかかる現地での作業日数は、夜間計測 2 日・昼間計測 2 日の全 4 日で、これは従来の現地測量における作業日数に対し半分の日数で実施できている。

(2) 設計段階

新設する構造物のモデルデータを作成し、**図-7**のように点群データと重ね合わせることで、現地への適合確認を行った。また**図-8**のように作成したモデルデータと点群データを用いて現地構造物間の離隔を取得した。点群データを基にレールと架空電線との離隔確認を行うにあたり、取得した点群データの精度を従来の測量と比較・検証し、設計段階に鉄道設計で必要となる架空線や電柱等の離隔確認ができる精度であることを確認している。任意の位置において離隔確認が可能であるため、現地での支障確認を簡略化できる。



図-6 斉内川橋りょう(施工時)

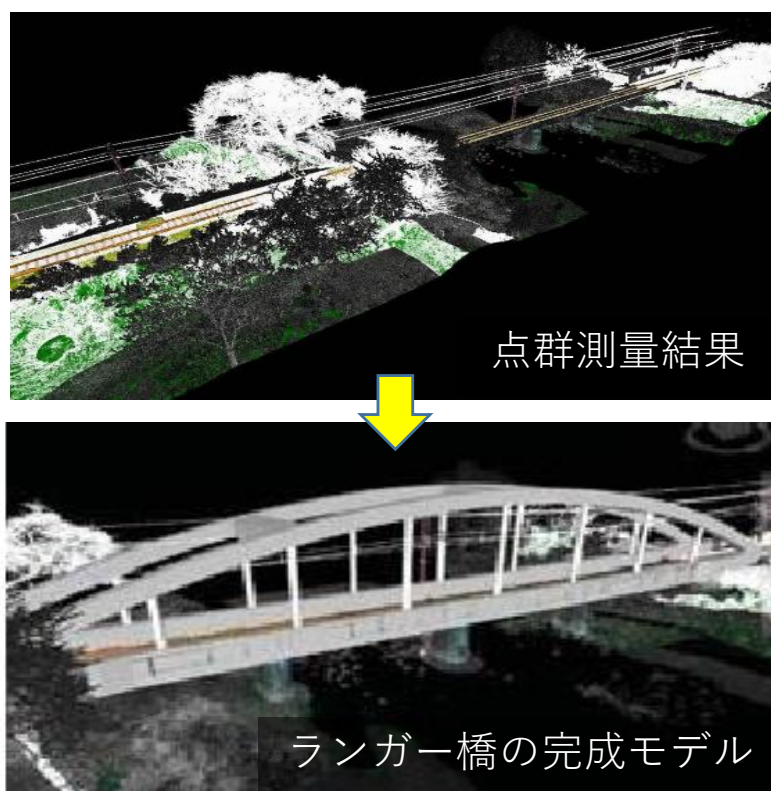


図-7 点群データとモデルの重ね合わせ

(3) 施工段階

施工計画の際、**図-9**に示すモデルデータを用いて施工ステップを視覚化し、関係者と共有することで、重機の配置や干渉の有無を確認した。モデルデータを活用したところ、**図-10**のように下部工施工時に設置した立坑の一部の土留めと、橋りょうを構築するための仮栈橋の端部における干渉を把握した。これにより、施工前に干渉しない構造へ変更することによって、施工時における手戻りを未然に防いだ。

また、橋りょう構築の際に仮栈橋上に設置する足場は、既設線路の架空電線との位置関係を確認し、離隔2.0mを確保する必要があった。今回は**図-11**のとおり、施工計画に用いたモデルデータを用いて、点群データから位置を出した架空電線のモデルを重ね合わせ、離隔を測ることで作業を簡略化した。これにより測定手間の削減による効率化を図った。

モデルデータを解析に活用できないか試行するため、モデルデータを3次元形状データのファイルフォーマットのひとつであるSTLデータに変換し、メッシングソフトによりFEM解析モデルを作成した。作成にあたっては、**図-12**のようにメッシングされた一部分において、表面が波打ったように凹凸となり、メッシングが不適切な部位が生じた。作成には課題が残るが、手動での修正が可能なことから、モデルデータを活用することで、解析におけるモデル作成作業を簡略化できる見込みが得られた。作成したFEM解析モデルにより桁降下時の不同変位を想定した解析を実施し、施工時の弱点箇所を把握した。

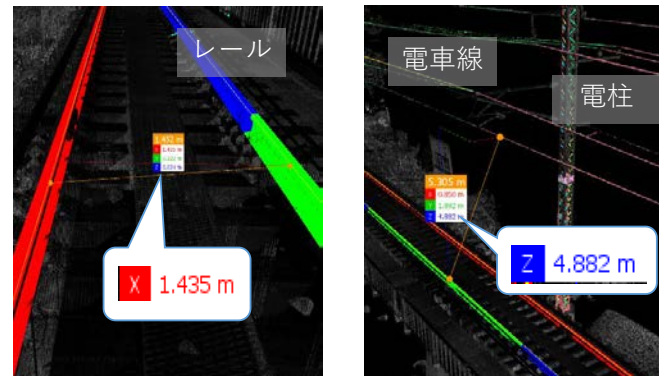


図-8 モデルによる離隔確認

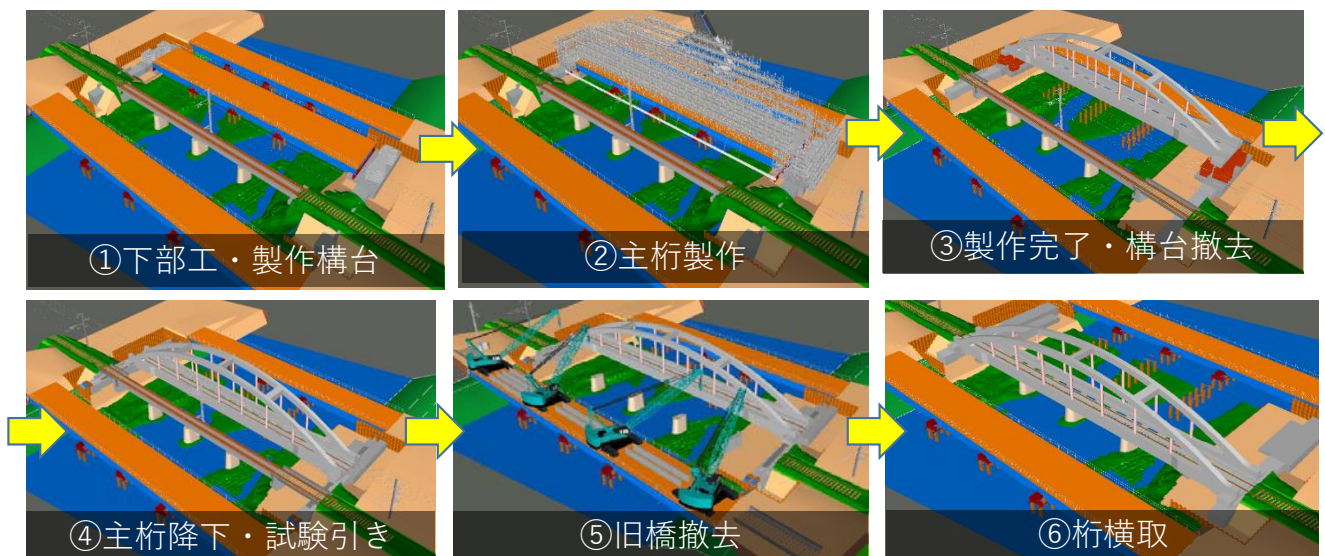


図-9 施工ステップ



図-10 モデルデータによる干渉確認

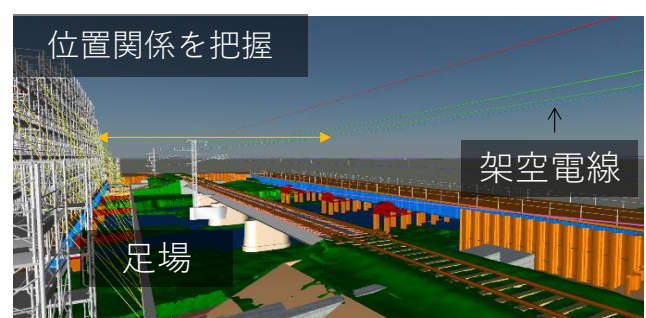


図-11 足場と架空電線の離隔確認

4. 福島駅構内上りアプローチ線新設の取り組み

福島駅構内での新幹線の平面交差解消によるダイヤ設定の柔軟性向上・輸送安定性の向上のため、図-13に示す山形新幹線列車専用アプローチ線の新設を進めている。アプローチ線は既設構造物が周囲にあるなか、全長約1.3kmに渡りRC高架橋2連の改築と6連の新設、鋼橋りょうの新設、踏切改修及び盛土を施工するものであり、現場の特情として、アプローチ線が急曲線・急勾配がある上交差する道路にも勾配がある、周囲に既設構造物が多数あり離隔の余裕がない、交差する道路が鉄道に対し斜角になる、奥羽本線の移設を伴うなど、複雑かつ多くの制約条件があった。JRE-BIMの取り組みとして、計画・調査段階では点群測量とモデルデータ化による干渉確認、設計段階ではモデルデータを用いて、線路線形の変更と機器の見通し確認を行った²⁾。取り組みについて以下に示す。

(1) 調査・計画段階

従来は、既設構造物と新設構造物の離隔が最も厳しい箇所の断面図を作成する場合、道路・鉄道共に勾配を持つ条件では、交差部において道路中心部や軌道中心を等間隔測定することで得られた値から、補間法などを用いて対象物の確認を行う。本工事では、2017年に測定した点群データを基に、新設する高架橋のモデルデータを重ね、図-14のとおり任意の箇所の離隔を確認する方法を用いた。これにより点群測量箇所全ての離隔確認が可能となり、測定作業の削減や測定漏れによる設計の手戻りを防いだ。

また、アプローチ線は急曲線・急勾配の連続であるため、電気設備の配置上の制約も大きい。電気設備のうち、電化柱の配置は勾配や曲線半径に応じて条件が定められており、特に曲線半径が小さくなると架線の張力が必要となるため、配置間隔が小さくなる。そこで図-15のとおり電化柱のモデルデータを作成し、アプロ

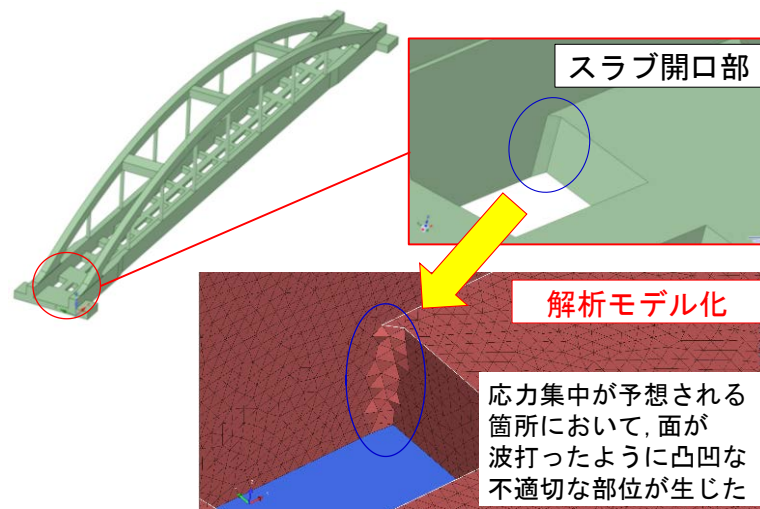


図-12 解析モデルの作成

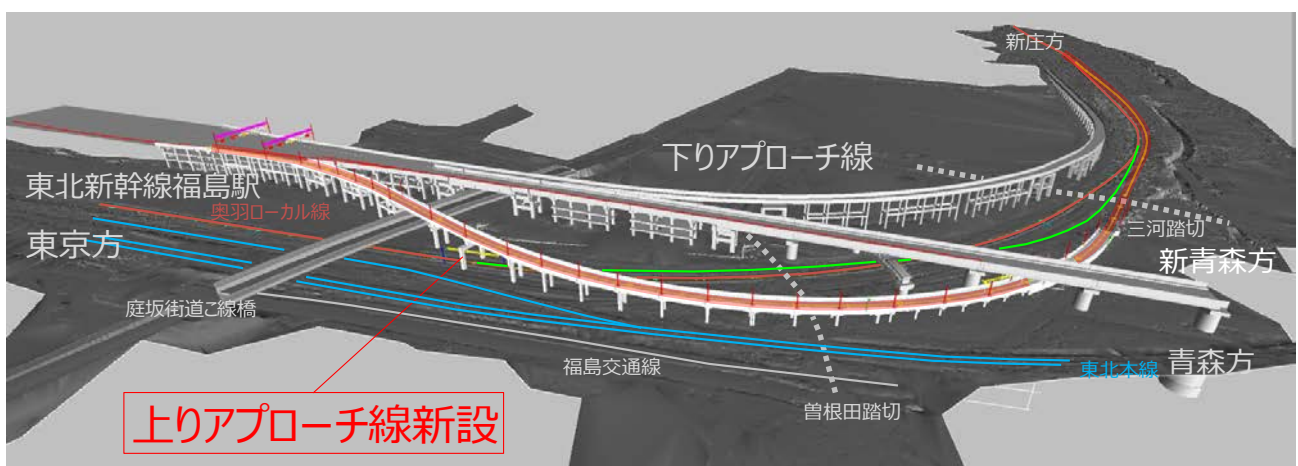


図-13 福島アプローチ計画

一チ線のモデルデータに配置して検討を行い、構造物や道路等と電化柱との干渉を確認した。これにより、計画段階で事前に干渉箇所を把握することができ、配置上の制約条件を抽出することで業務の効率化を図った。

(2) 設計段階

設計の詳細化にあわせて、**図-16**に示す当初計画より線路線形の変更を行った。従来は線路線形の変更範囲において、既設構造物との離隔を確認するため追加測量を行う必要があるが、今回は既に取得した点群データと、新設する高架橋の当初のモデルデータを基に、新たに作成した計画変更後のモデルデータを重ねることで、**図-17**のとおり既設電化柱との離隔確認を行った。これにより、既設高架橋との交差位置変更に伴う追加測量が不要となった。



図-14 道路交差部の離隔確認

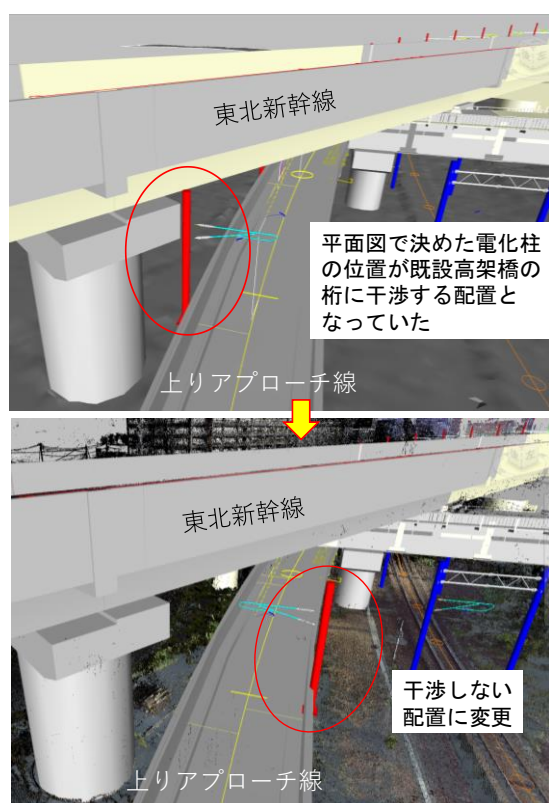


図-15 既設構造物と電化柱の干渉確認

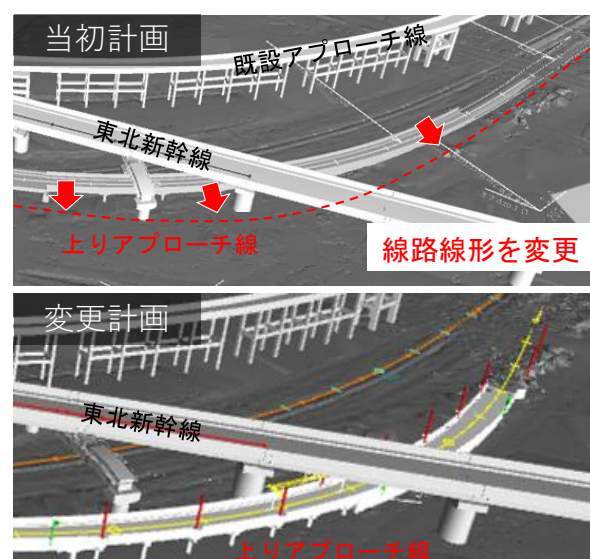


図-16 変更計画

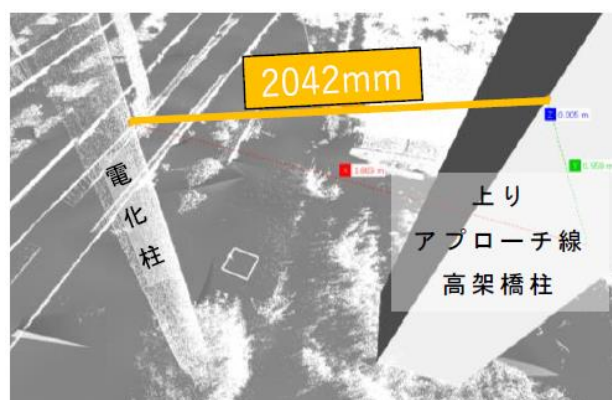


図-17 既設電化柱と新設高架橋の離隔

また鉄道工事では、列車運行時における乗務員の鉄道諸標に対する視認性を確保しつつ工事を計画する必要がある。このうち、信号機に対する視認性を確認することを信号の見通し確認と言い、工事により視認性に影響を及ぼす場合運転士目線での確認を行っている。信号機の見通し確認について、現地に信号機模型を建てられず、計画・調査段階で確認ができない場合、机上で2次元の平面図などを用いて位置を検討・決定し、構造物構築後の立会で見通し確認を行っている。アプローチ線のように、急曲線・急勾配を持つ構造では電化柱が林立することから2次元の図面のみでは確認が困難であり、施工開始後に信号の位置変更が生じる可能性が高かった。そこで、今回は信号機の設置条件に基づき場内信号機及び中継信号機の配置を計画し、**図-18**に示すモデルデータ上に信号機のパーツを設置して、運転士目線による信号の見通し確認を行った。この見通し確認では、モデルデータ上に実際の列車運行時の運転士目線での視点を設定し、この視点を連続的に移動させることでアプローチ線を実際に運行するような状況のアニメーションを作成した。このアニメーションを用いて乗務員からの視認性の確認を受け、信号機の配置を決定した。本工事では当初計画時点の1度目の信号の見通し確認からモデルデータを用いた方法で行い、線路線形変更後も同様に計画変更後のモデルデータを用いて2度目の見通し確認を実施した。これにより、設計初期段階において列車運転関係部署と見通し確認が可能になり、信号機の配置精度を高めることができるため、位置変更のリスクを低減することができる。

5. おわりに

本稿では、JRE-BIMの推進に向けた当事務所の取り組みについて紹介した。現在、当事務所では直轄での点群測量や、モデルデータ作成技術の向上に取り組んでいる。これらの取り組みに加え、生産性向上を目的に、当事務所が保有するドローンによる業務支援や操作技術者の育成も行っており、これとJRE-BIM、XRとを組み合わせるようなことも試行している。今後もJRE-BIMの取り組みで、鉄道建設工事の効率化を目指していきたい。

参考文献

- 1) 小林香野，鈴木隆裕，井上崇，浦辺啓介：桁重量約1,500tの開床式PRCランガー桁の横取り架設，橋梁と基礎，第55巻，pp.29～34，2021
- 2) 大島里紗，大塚隆人：新幹線高架橋計画におけるBIM/CIMの活用，土木学会東北支部技術研究発表会，2021.

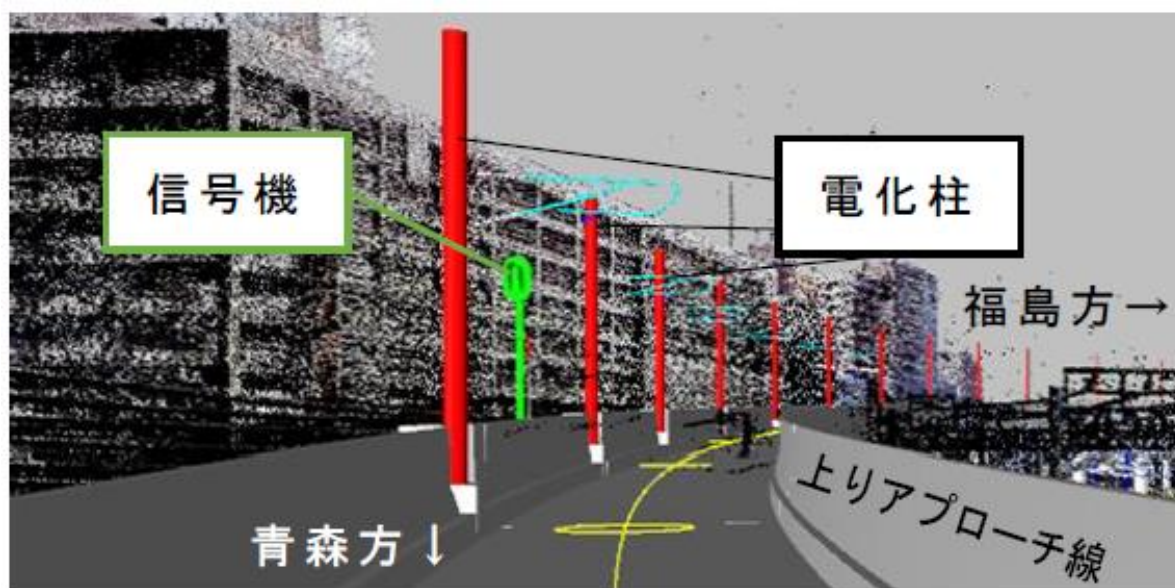


図-18 信号機の見通し確認