

4次元シミュレーションシステムの開発と現場適用

－鉄道営業線近接工事における生産性向上－

Development of 4D Simulation Systems and On-site Applications

- Productivity Improvements in Construction Work near In-service Railway Facilities -

宮田岩往* 藤原真吾** 浦田啓行***

要 旨

建設業界の働き方改革に不可欠な施工現場における週休 2 日を実現するためには、無駄のない工程管理を行うことが重要である。そこで、国土交通省による BIM/CIM および i-Construction の推進により、施工現場で急速に進んでいる 3 次元データの活用に着目し、CIM モデルと工程データを連動させた 4 次元シミュレーションシステムの開発を行った。そのうえで、実データによる開発システムの検証を行うため、鉄道営業線近接工事 2 件に適用し、狭隘なエリアでの厳しい施工条件の中で、より綿密な施工計画が求められる現場において、施工途中の手戻りを防ぎ無駄のない工程管理が実現できることを確認した。本稿では、今回開発した 4 次元シミュレーションシステムと現場適用について報告する。

キーワード：BIM/CIM、i-Construction、4次元シミュレーション、働き方改革、工程管理

1. まえがき

現在、国土交通省が主導する BIM/CIM¹⁾ および i-Construction²⁾ の推進が建設業界の大きな流れとなっており、これまで 2 次元データの図面による施工管理を行ってきた建設現場においても、3 次元データの活用が急速に進んでいる。また、政府主導の働き方改革や建設産業活性化会議の報告では、適正工期の設定や施工現場での無駄のない工程管理の実現等により、建設業における週休 2 日の実現が官民一体となって取り組むべき具体的な施策として挙げられている。

そこで、CIM と工程管理に着目し、これらを連動させる 4 次元シミュレーション³⁾ システムの開発を行った。弊社では、2014 年度から (株) パスコ (以下、パスコ) と共同で CIM 対応型の 3 次元システムの開発を行ってきた。2018 年度には、(株) ビーイング (以下、ビーイング) の協力により、CIM モデルと工程を連動させる 4 次元シミュレーションシステムの開発を行った。本稿では、この 4 次元シミュレーションシステムの概要と現場適用について報告する。

2. 4次元シミュレーションシステム

2.1 システム概要

本システムは、パスコが開発した 3 次元レーザー点群などの大容量データを表示・解析するための 3 次元データ統合ソフトウェア「PADMS」をベースにして、施工現場での CIM 用の機能をカスタマイズするとともに、工程データとの連動機能を追加したものに CIM モデルおよび工程データを連携させたものである。連動する工程管理システムは、ビーイングの「BeingProject-CCPM (以下、CCPM)」を使用し、出力される工程データと CIM モデルを関連付けることで 4 次元シミュレーションを行うものである。PADMS と CCPM は双方向のデータ連動を実現しており、CCPM で保有する休日などの情報を PADMS に組み込むことにより、実現場での工程管理への適用を目指した。システム構成の概要を図 1 に示す。

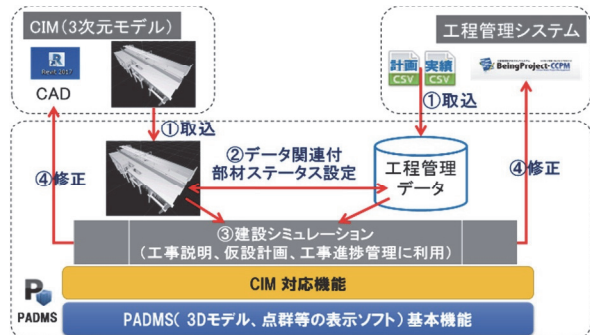


図 1 システム概要図

* ICT 統括センターイノベーション部 ** 西日本支社関西土木第 3 部 *** 西日本支社関西土木第 1 部

2.2 システムフロー

システムフローを図-2に示す。

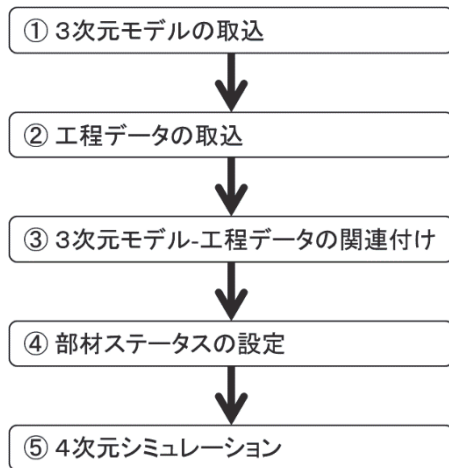


図-2 システムフロー

①3次元モデルの取込

3次元CADソフト(Autodesk Civil3D・Revitなど)で作成した3次元モデルをPADMSに取り込む(図-3)。その際、背景データとして周囲の地形モデルや現場の平面図も利用する。

②工程データの取込

CCPMで作成・出力した工程データ(CSVファイル)をPADMSに取り込むことで工程が反映される(図-4)。また、PADMSに工程データを直接入力することもできる。

③3次元モデルと工程データの関連付け

取り込んだ3次元モデルと工程データとの関連付けを行う(図-5)。

④部材ステータスの設定

4次元シミュレーションでは、工程の進捗により施工中、撤去中、完成、養生中などの状況を示す部材ステータスが変化する。これを表現するために、部材ステータスを工程に関連付けて色分けを行い、詳細な施工状況が分かるようにした(図-6)。

⑤4次元シミュレーション

①3次元モデルの取込～④部材ステータスの設定までを完了後、シミュレーションを行う。図-7に示すように、画面の上下に配置された3次元モデルと工程が連動して表示される。4次元シミュレーションを行うことで、工程に合わせた進捗状況が3次元モデル上で確認できる。また、3次元モデルによりシミュレーションすることで、施工状況を様々な角度から確認しながら工程を詳細にシミュレーションすることができる。

2.3 システムの特徴

a. 工程とCIMモデルの関連付け

工程とCIMモデルは一度関連付けを行うと、その関係性を保持できるため、施工順序や期間、名称が変更さ

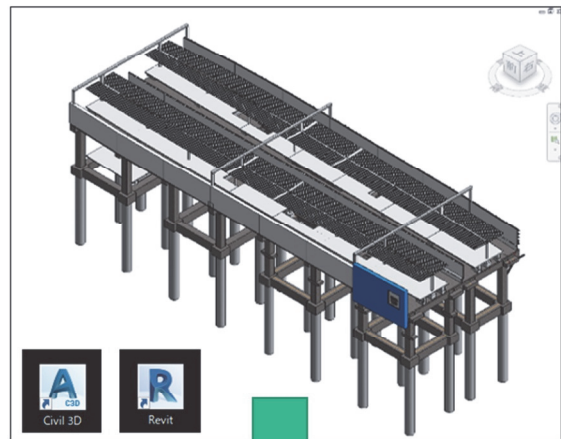


図-3 3次元モデルの取込

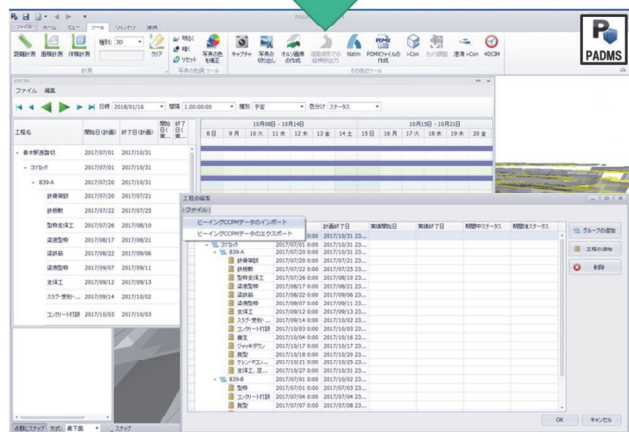
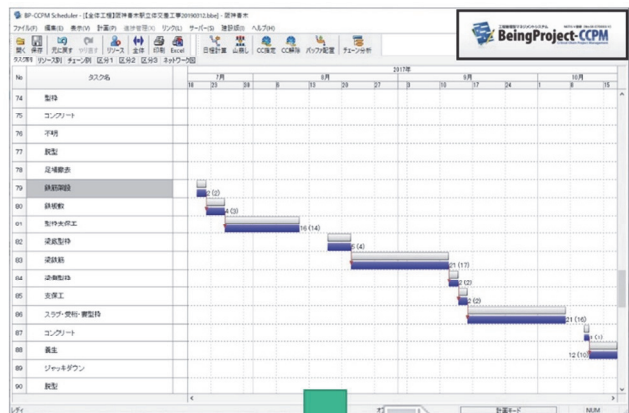


図-4 工程データの取込

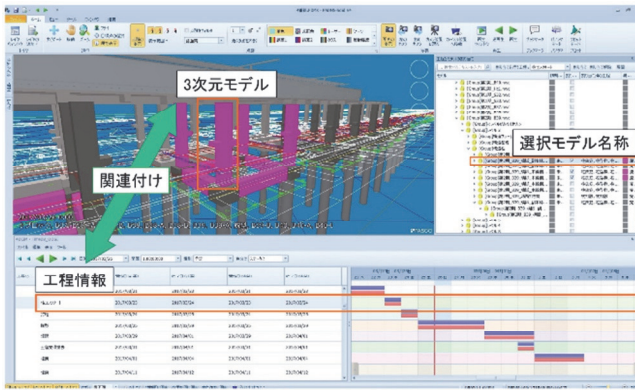


図-5 3次元モデル-工程データの関連付け

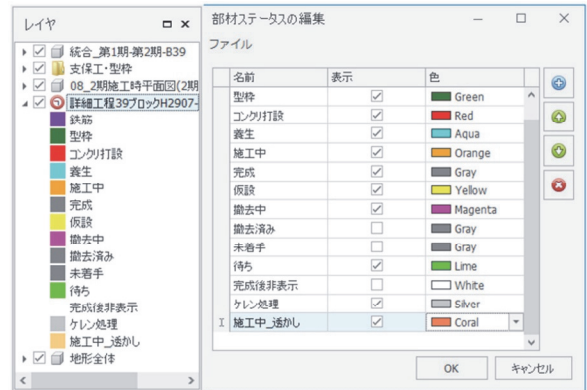


図-6 部材ステータス表示と設定

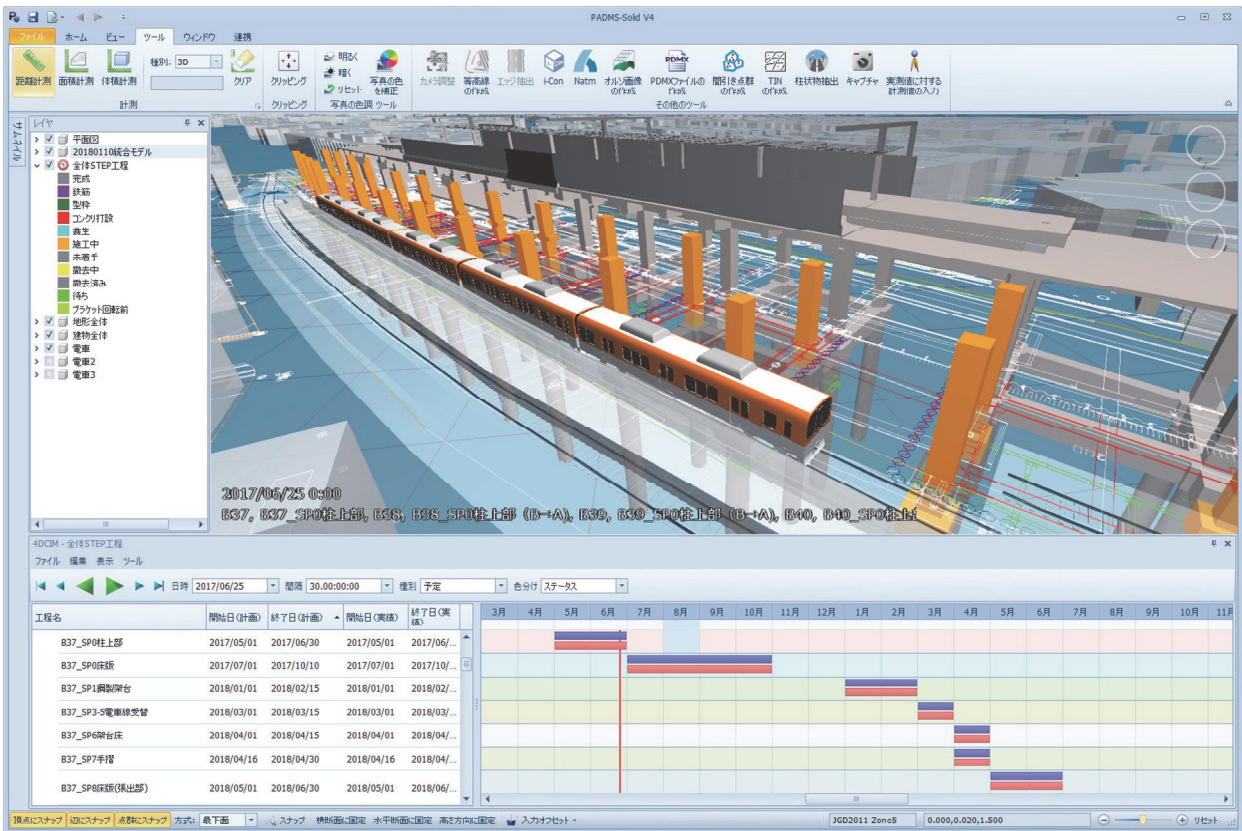


図-7 4次元シミュレーション

れても再度関連付けを行う必要はなく、繰返し4次元シミュレーションを行うことができる。

b. 部材ステータスのテンプレート化

前節 2.2④で示した部材ステータスは、現場の工種によって異なる。そのため、現場ごとの工種に合わせて、ステータスの設定情報をテンプレート化し XML ファイルに保存しておくことで、現場ごとに必要なテンプレートをインポートすることができるようにした (図-8)。

c. 仮設部材の簡易作成

CIM で作成する 3次元モデルは、3次元 CAD を利用して作成することが多いため、CAD オペレーターの不足や CAD 操作の難しさから時間とコストを要することが多い。そのため、本システムでは本体構造物の設計モデルは 3次元 CAD で作成して取り込む一方、足場や型

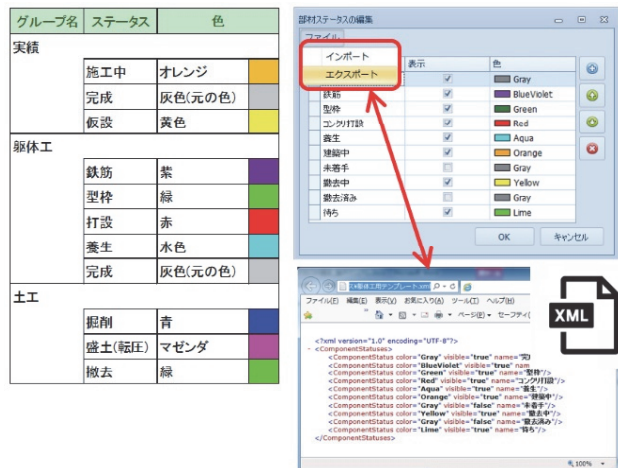


図-8 部材ステータスのテンプレート化

枠支保工などの仮設部材については、システム内で平面図を利用して簡易的に作成できる仕組みを採用した(図-9)。これにより、仮設部材を3次元CADでモデリングすることなく、本システムに組み込むことができる。

d. 工程管理ソフトとの連動による休工期等の反映

CCPM と PADMS とのデータ連携は、システムで保有する工程データと CIM モデルの部材ステータスとの関連付けの状況を CCPM と PADMS の相互に判断できるデータ構成とした。具体的には、CCPM から出力された一意のコードを含む工程データがそのまま PADMS に引き継がれる。また、PADMS 側で工程を追加する際も新たに一意のコードを含むデータが生成され、そのまま CCPM に取り込まれる仕様とした。これにより、CCPM、PADMS それぞれで工程を編集した際に、CIM モデルと工程データの関連付けが常に保持される。PADMS で 4次元シミュレーションを実施して工程を編集した場合、修正した工程を CCPM へ戻して再計算させることで、休工期やクリティカルパスを反映させることができる。また、CCPM で休工期等を反映した工程データを、再度 PADMS へ取り込むことで、休工期を反映した工程がシミュレーションできる(図-10)。

3. 現場適用

実現場のデータによる検証を行うため、駅部を含む営業線近接施工となる鉄道高架工事および鉄道本線地下化開削工事の2件の施工現場において、4次元シミュレーションの適用検証を行った。

3.1 駅部を含む営業線近接施工となる鉄道高架工事

a. 概要

当現場は、阪神電気鉄道株式会社発注の住吉・芦屋間連続立体交差事業の鉄道高架橋工事の施工現場である(表-1)。この現場では、CIM の試行を数年前から実施しており、駅舎部の CIM モデルと工程データを利用して4次元シミュレーションの適用検証を行った。

b. 実施内容

阪神青木駅付近の上り線高架化工事における一連の工程を CIM モデルと関連付けて4次元シミュレーションを実施した(図-11、12)。本工事の中で、高架化が先に完了した下り線駅舎部と、既設の営業線(上り線)駅舎部とに挟まれた狭隘なエリアでの施工となる上り線駅舎部付近の高架化工事は、新設スラブの一部が既設の営業線(上り線)の直上施工となる範囲を含む構造であるため、より綿密な施工計画が必要であった。営業線停止後の短時間に行う夜勤の線路閉鎖工事には非常に多くの工期を要するため、先に営業線直上部を除く部分のスラブを先行して分割施工し、その後、営業線直上の作業架台設置作業のみを線路閉鎖工事で行うことを検討した。作業架台設置後は、線路閉鎖工事を行う必要がないため、

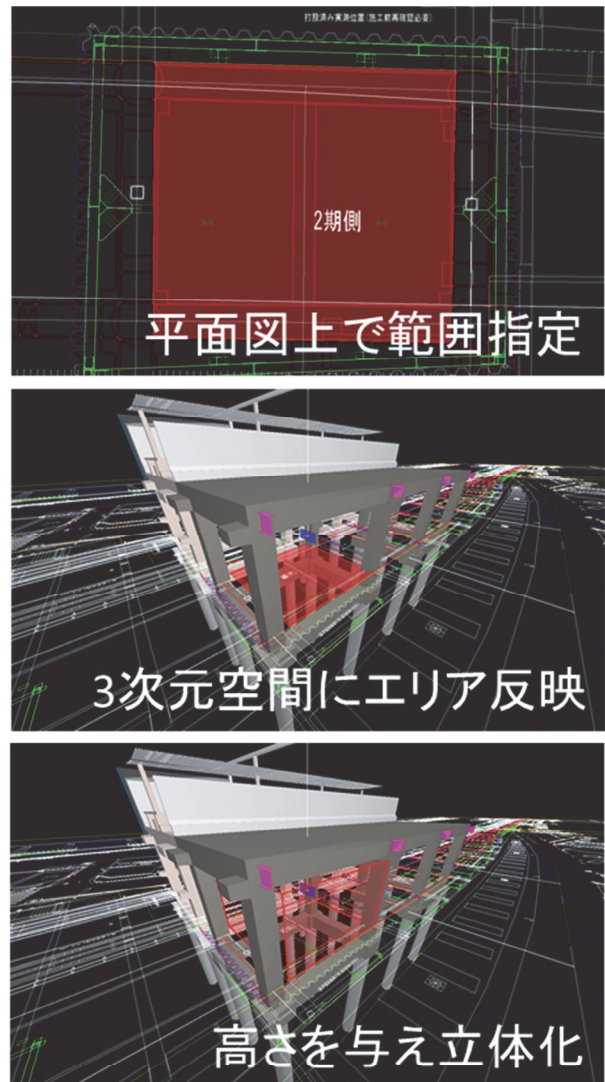


図-9 仮設部材の簡易作成

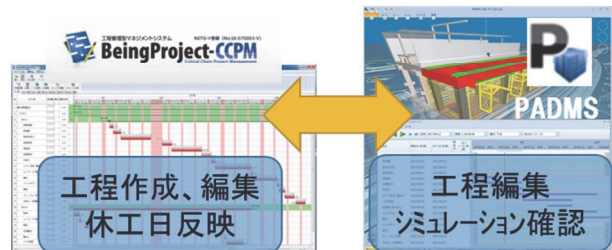


図-10 CCPM-PADMS のデータ連携

表-1 工事概要(鉄道高架工事)

工事概要	
工事名称	本線住吉・芦屋間連続立体交差工事(住吉川以東)の内土木関係主体工事第2工区
発注者	阪神電気鉄道株式会社
工事場所	兵庫県神戸市東灘区北青木4丁目付近
施工者	奥村組・銭高組・不動テトラ 特定建設共同企業体
工期	2006年07月19日～2020年03月31日
工事内容	連続立体交差工事(土木関係)一式 工事延長 L=470m(プラットフォーム L=130m含む)

昼勤の線路近接工事で施工を行うことにより大幅な工期短縮が可能となる。スラブ分割施工を行うにあたり、作業架台を受けるブラケットや作業架台の設置作業の施工ステップについて4次元シミュレーションを実施し、クリティカルとなる工程である営業線直上施工の手順を詳細に検討した(図-13、14、15)。

c. 実施結果

4次元シミュレーションを行うことで、営業線直上施工を含む近接施工や輻輳作業が多い工区全体の状況を可視化・把握することができた。また、営業線直上施工の期間を短縮するためのスラブ分割施工において、より詳細・綿密な施工計画が可能となった。さらに、施工方法や工程の変更を検討する際に工程の矛盾にも気付くことができ、施工途中の手戻りを防ぎ、無駄のない工程管理が実現できた。

3.2 鉄道本線地下化開削工事

a. 概要

当現場は、JR東海道線支線地下化事業のうち、最起点側の北1工区(北区豊崎～中津・大深町の延長735m)の施工を担当しており、地上線路から地下線路へ至るアプローチ部のU型擁壁と地下鉄部のボックスカルバートを築造する工事である。

b. 実施内容

本工事は、工事延長 735m の施工区間を 35 ブロックに分割し、複数のブロックを同時に施工する工事である。そのため、施工ブロック間の取り合いや工区全体の工程を円滑に進めることを目的に、4次元シミュレーションを実施した。また、施工エリアは大阪の中心部に近いこともあり、躯体モデルと(株)ゼンリンの都市モデルとを背景モデルとして組み合わせた統合モデルとすることで、周辺環境との位置関係を分かりやすく表現した(図-16)。施工区間には、阪急神戸・宝塚・京都線および国道176号線の跨線橋の直下も含まれており、桁下高さ約6mの狭隘な作業空間で施工を行う必要がある。施工に伴う跨線橋の変位を最小に抑えつつ、跨線橋との接触事故を防止するため、施工に使用する重機のモデルを配置して4次元シミュレーションを実施し、実際の施工により近い施工計画を実施した(図-17)。

c. 実施結果

工程表と設計図面だけでは実際の施工時における問題点や施工ロスの発生を事前に見出すことが容易ではない工事であったが、4次元シミュレーションを実施することで、工区全体の施工状況を時系列で分かりやすく表現することができた。また、4次元モデルを任意の縦断面や横断面での切断が可能のため、鉄道本線の地下化開削工事において各ブロックでの細部の施工状況や重機モデルの配置状況を時系列で確認することができ、施工時の問題点や施工ロスを考慮した施工計画に有効であった(図-18、19)。

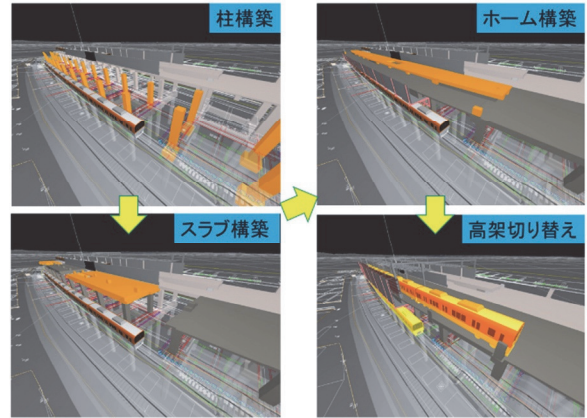


図-11 シミュレーション状況



図-12 施工状況

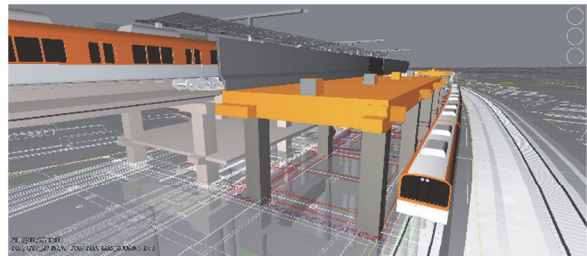


図-13 スラブ構築(直上部除く)

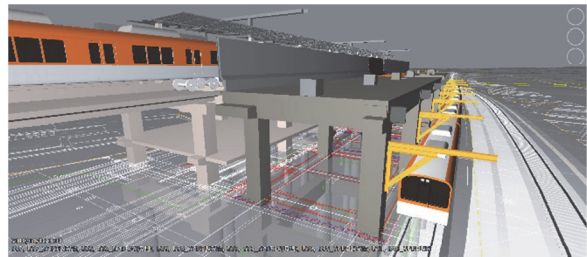


図-14 架台受けブラケット設置(直上部)

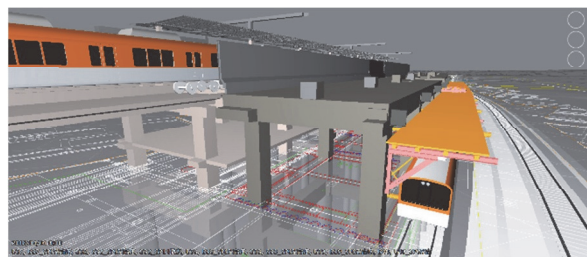


図-15 作業架台設置(直上部)

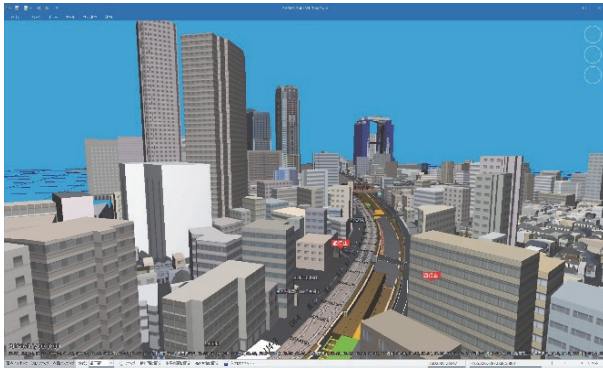


図-16 統合モデル

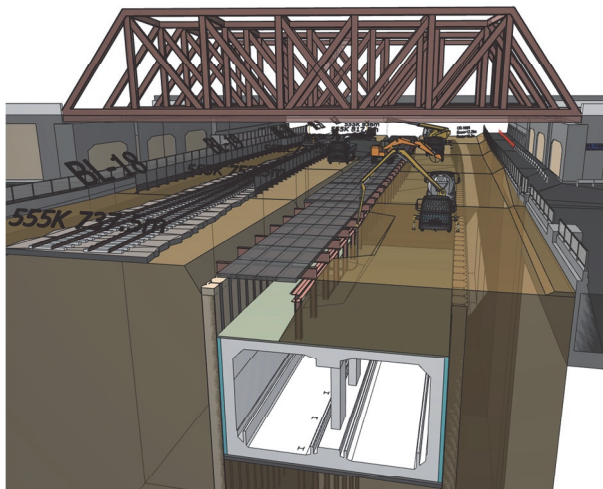


図-17 4次元シミュレーション（跨線橋下）

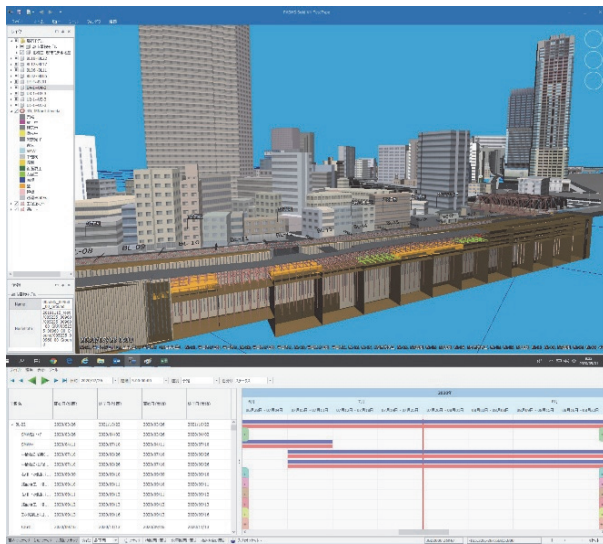


図-18 4次元シミュレーション（縦断面）

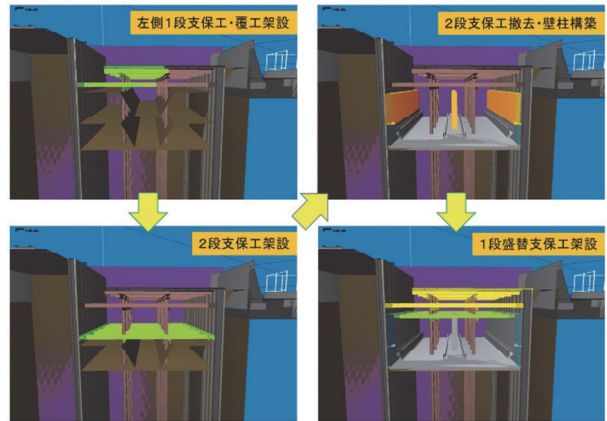


図-19 4次元シミュレーション（横断面）

4. あとがき

今回開発したシステムを施工中の2現場に適用し、4次元シミュレーションを行うことで、現場の生産性向上に有効であることが確認できた。今後は、適用現場を拡大し、様々な工種の工事への展開を進めるとともに、システムをブラッシュアップさせ、より生産性向上に役立つシステムを目指していく。また、4次元シミュレーションをスムーズに運用していくため、モデル化の外注を含めた運用体制を確立していく。さらに今後は、CIMモデル、工程データにコスト情報などの属性情報を加えた5次元シミュレーションシステムの実現に向けた検討も行っていく。

【参考文献】

- 1) 国土交通省、「発注者における BIM/CIM 実施要領（案）」、pp.1-24、2020.3
- 2) i-Construction 委員会、「i-Construction ～建設現場の生産性革命～」、pp.8-13、2016.4
- 3) BIM/CIM 推進委員会、「今後の BIM/CIM 運用拡大に向けた整理」、pp.6-24、2019.4