

空港施設における土木構造物の3次元モデルの仕様検討

清水建設(株) 正会員 ○石井 佳枝
清水建設(株) 正会員 北澤 良平
成田国際空港(株) 正会員 濱 聖哉
成田国際空港(株) 林 直樹

1. はじめに

近年、空港や港湾、精製プラントなどの大規模施設管理においても、複数の分野にまたがる業務の調整や多種多様な施設の整備への活用など、維持管理業務の効率化・高度化を目的とした BIM/CIM(Building/Construction Information Modeling/Management)の導入が始まっている。BIM/CIM のもつ(1)情報把握・検討の容易化、(2)合意形成の迅速化、(3)情報探索時間の短縮の効果に、大きな期待が寄せられている。

筆者らは、施設整備・維持管理のための BIM/CIM について、完成図書 の 3 次元モデル化を通じて、その適用性や仕様の考え方の整理・検討を行った。整理・検討の対象は、B 滑走路南側エプロン造成・その他設置工事(2020年8月竣工) (以下、「当工事」という)の完成図書から3次元モデルを作成する業務である「工事完成図書3D化業務(B南エプロン造成)」(以下、「当業務」という)とした。本稿では、空港施設における土木構造物の3次元モデルの仕様検討内容について報告する。

2. 工事の概要

当工事は、空港のピーク時間帯の離発着数処理能力の向上に伴い必要となる新たなエプロン(駐機場)を整備する事業の一部である。主な工種は、エプロン整備のための約20haの造成工事、それに伴う雨水排水施設・地中線管路の設置、地上支援車両(GSE)が誘導路を横断するための地下道トンネル、および付帯施設の構築である。工事概要を表-1に、主な工事場所を図-1に示す。

表-1 工事概要

工事件名	B滑走路南側エプロン造成・その他設置工事
契約工期	2017年4月6日～2020年8月25日
事業者	成田国際空株式会社
施工者	清水建設株式会社
工事概要	【用地造成】 切土：66.7万m ³ ，盛土：25.5万m ³ ，地盤改良：中層混合処理6.7万m ³ 調整池(B-4)：掘削13.5万m ³ ，調整池(C-1)：掘削0.7万m ³ 地中線管路工：路線延長5.1km，開渠：5.1km，雨水管渠：2.7km 場周道路工，場周柵工他 【地下道】 二連ボックスカルバート：延長275m，ポンプ槽築造，自立式擁壁工他

キーワード 空港 BIM/CIM 3次元モデル 仕様

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋2丁目16-1 清水建設株式会社土木技術本部イノベーション推進部

TEL 03-3561-1111 (代表)

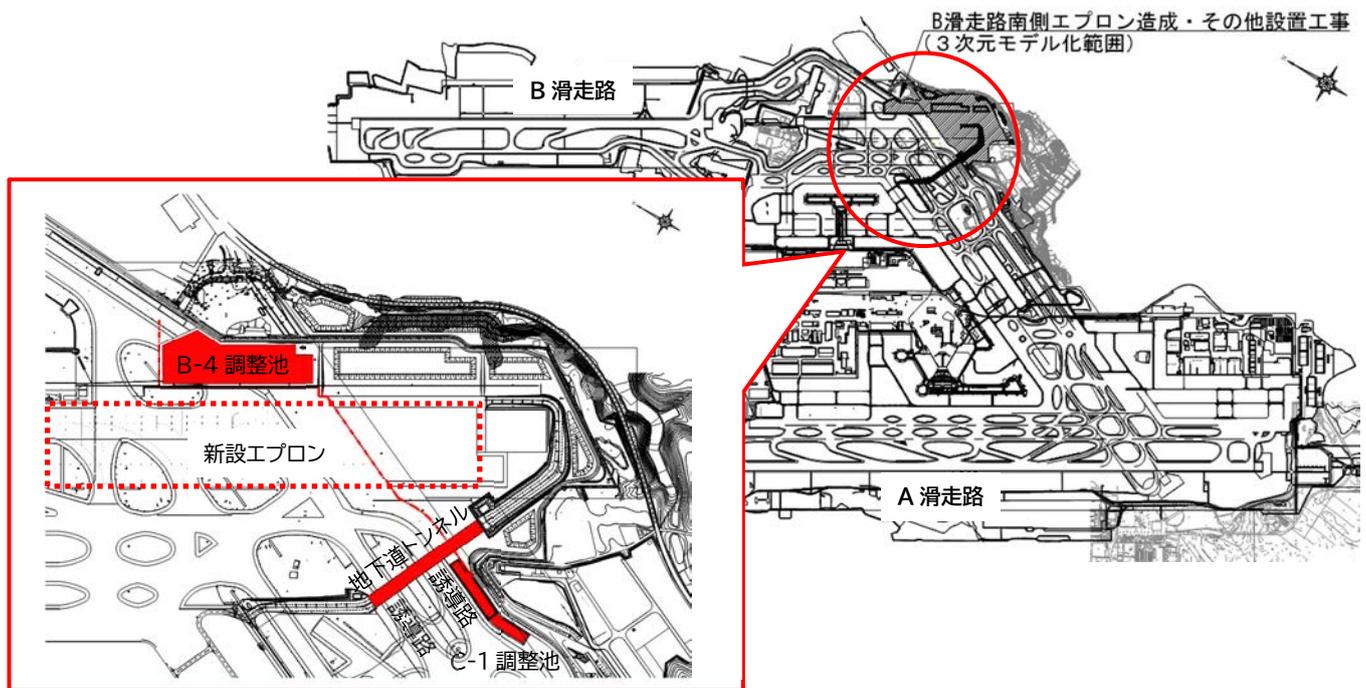


図-1 主な工事場所

3. 3次元モデルの仕様検討概要

当業務の目的は完成図書を基にした3次元モデルの作成である。ただし、将来の空港整備や維持管理段階での施設整備、さらには維持管理業務の効率化を図るために、従来2次元図面として納品されてきた完成図書を3次元モデルとすることで、BIM/CIM導入における課題や基本的な仕様として考えておくべき点を洗い出すことも目的の一つとしている。

参照した仕様書・基準類は、以下の通りである。

- ① 国土交通省 CIM導入ガイドライン(案)(令和元年5月) *1
- ② 国土交通省 工事完成図書の電子納品等要領
- ③ 成田国際空港株式会社 完成図書作成要領
- ④ 成田国際空港株式会社 全施設平面図

*1 本稿では「国土交通省BIM/CIM活用ガイドライン(案)(令和2年3月)」記載の表記に統一する

筆者らは、3次元モデル作成の過程で進捗内容を共有・確認し、必要に応じた修正を行いながら仕様を確定することとした。BIM/CIM活用ガイドライン(案)では、『BIM/CIMモデルとは、対象とする構造物等の形状を3次元で表現した「3次元モデル」と「属性情報」「参照情報」を組み合わせたものを指す』と定義されているが、当業務では3次元モデルの作成および仕様の検討に注力し、構造物の諸元や設計時の計算結果、施工時の品質記録などのBIM/CIMモデルに付与する属性情報の決定とその付与方法は、今後の検討事項とした。

仕様のひとつにモデルの作り込みレベルを示す「詳細度」があるが、3次元モデルの活用目的により詳細度は異なるため、モデル作成前に受発注間で決定しておく必要がある。そこで、モデル化対象項目を選定する際に、BIM/CIM活用ガイドライン(案)での「BIM/CIMモデル詳細度の定義」(表-2)を参考に「対象の構造形式がわかる程度のモデルで良い項目」と「対象の外形形状を正確に表現する必要がある項目」の2種類に分類することとした。

当業務の3次元モデル化する対象項目と詳細度の設定、使用ソフトを表-3に示す。

表-2 BIM/CIM モデル詳細度の定義

詳細度	共通定義
100	対象を記号や線，単純な形状でその位置を示したモデル。
200	対象の構造形式がわかる程度のモデル。
300	付帯工等の細部構造，接続部構造を除き，対象の外形形状を正確に表現したモデル。
400	詳細度 300 に加えて，付帯工，接続部構造などの細部構造および配筋も含めて，正確にモデル化する。
500	対象の現実の形状を表現したモデル。

出典：国土交通省 BIM/CIM 活用ガイドライン（案） 共通編（令和2年3月） P20

表-3 モデル化対象項目，範囲，詳細度と使用ソフト

	対象構造物	範囲	詳細度	使用ソフト
1	地表面	誘導路，ショルダー，エプロン等の地表面	誘導路・ショルダー等：100 上記以外：300	Civil3D
2	地盤改良 地下排水	地盤改良範囲 地盤改良に付随する地下排水設備	地盤改良：300 地下排水：200	Civil3D
3	法面工 法面排水工	柵外法面，場周道路法面，小堰堤等 小段排水 800m，他 300m，集水柵 8 か所	場周道路法面・小堰堤：200 上記以外：300	Civil3D
4	開渠工 柵 取付管	開渠 2000m 取付管 40m 柵 24 か所	300	Civil3D
5	管渠工 人孔	管渠 2600m，雨水人孔など 26 か所 管渠更生	300	Civil3D
6	推進工	推進 8 スパン，仮設（残置）	300	Civil3D
7	調整池（C-1）	調整池本体（ブロック積擁壁構造） 調整池放流施設，調整池流入工，付帯工	防護柵：400 上記以外：300	Civil3D
8	調整池（B-4）	調整池本体（ブロック積擁壁構造） 調整池放流施設，調整池流入工，付帯工	防護柵：400 上記以外：300	Civil3D
9	場周・保安道路	場周道路線形・舗装，管理道路線形・舗装，保安道路線形・舗装，重力式擁壁，付帯工	300	Civil3D
10	地中線管路 地中線人孔 地中線排水	地中線管路，地中線人孔，掘削面，排水	掘削面：100 上記以外：300	Civil3D, Revit
11	既設場周地下道閉塞	既設場周地下道躯体，埋戻し材	300	Revit
12	デアイシング管	デアイシング管，空気弁	300	Civil3D
13	新設場周柵照明ほか	新設場周柵照明用管，ハンドホール	300	Civil3D
14	ボックスカルバート 部道路・舗装	地下道線形，舗装，地下道法面	300	Civil3D
15	ボックスカルバート 本体	ボックスカルバート躯体，L型擁壁	300	Revit
16	土留工	止水矢板（残置），アンカー（残置）	300	Revit
17	排水ポンプ槽	2 基	300	Revit
18	ポンプ槽廻り配管	配管（接続部は除く）	300	Revit
19	排水工	明かり部排水工，地下道部排水工 横断側溝，排水溝，排水柵	300	Civil3D
20	交通安全施設	白線，視線誘導標	300	Civil3D
21	PC-壁体	PC-壁体本体 笠コンクリート，間詰コンクリート	300	Revit
22	法留柵	1 か所	300	Revit
23	統合モデル		—	Navisworks

4. モデルの仕様の検討と作成

表-3の中から、5種類の3次元モデルについての検討事例を示す。

(1). 調整池

調整池はブロック積擁壁構造であり、ブロック積・裏込めコンクリート・裏込め材・基礎コンクリート・基礎材で構成されている。3次元モデルの仕様を決めるために、「ブロック積擁壁表面のみを表現したサーフェスモデル」と、「構成部材を全てソリッド化したモデル」の2種類を作成して比較検討を行った。また、モデルの外観を検討するために、「ブロック積を表現したテクスチャー有りモデル」と「テクスチャー無し（材料色のみを表現）モデル」を作成した。作成したモデルを図-2に示す。

これらのモデルを比較検討した結果、ブロックなどの数量をイメージし実際の構造を視覚的に表現することができること、部材ごとに属性情報を付与できる仕様であることから、構成部材を全てソリッド化したモデルを選定した。モデルの外観は、ブロック積等のイメージを表現できるテクスチャーを貼り付けた上で、視覚的に材料が容易に判別できる仕様とした。使用ソフトは、これらのモデル化を行えるCivi13Dを選定した。

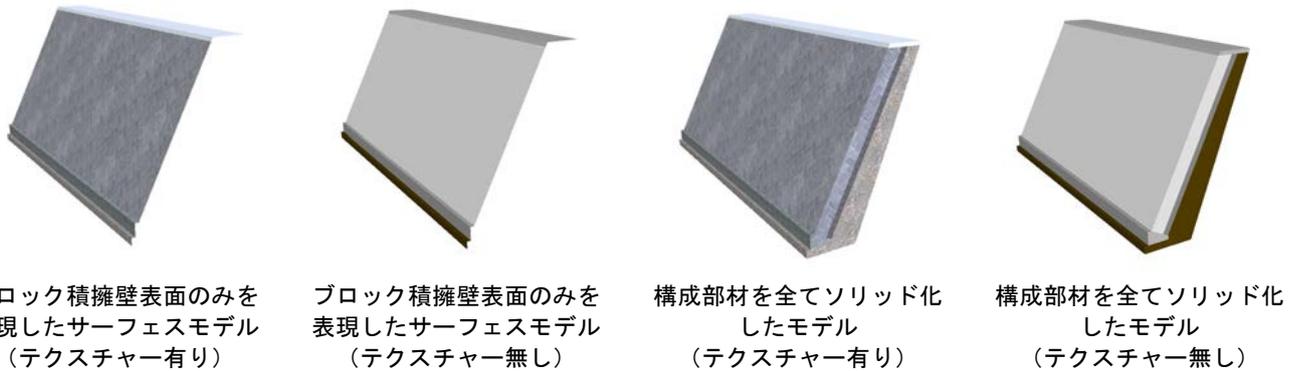


図-2 モデル仕様 比較モデル

(2). 地中線管路

地中線管路は、多孔陶管・基礎材・排水管路・掘削面をモデル化することとした。管材は、セラミック製の多孔陶管（図-3）をつなげた管路であるが、4孔と6孔の2種類が使用されており、路線に計画された条数に合わせて敷設されている。地中線管路の横断面を図-4に示す。

一般に完成図書は竣工検査時の出来高数量を算定する根拠資料として利用されるため、地中線管路は完成平面図では人孔と人孔をつなぐ直線で示されていることが多い。しかし実際の施工では、人孔との接続品質を考慮した所定の交差角度を確保する線形に沿って管材を配置するため、完成図書と実際の配置には乖離が生じている。今後、更新工事等で地中線管路が敷設されている箇所近傍を掘削する場合は、実際に配置されている情報が重要となることから、施工時の多孔陶管の割付平面図（施工承認図）を基にモデル化した。なお、完成平面図と割付平面図を比較すると、イメージ図（図-5）の様に変異が生じている。従来は、次工事の施工者は、この変異があることを前提として工事に着手し、施設管理者の立会の下で埋設物探査と試掘を行い、使用する完成図書と実際の埋設状況の差異を確認する手順を標準としている。完成図書と実際の埋設状況の差異を無くし、維持管理・更新事業の検討段階から実際の配置状況を正しく把握するためには、実際の配置状況を3次元モデル化することが非常に重要となる。



図-3 多孔陶管

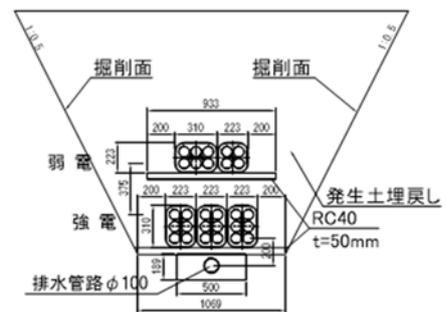


図-4 地中線管路横断面図（例）

多孔陶管・基礎材・排水管路は形状や配置等の断面情報が重要となることから、これらを表現できるソリッドモデルとし、掘削面は埋戻し土と現地盤の境界を把握することが重要となることからサーフェスモデルとした。管路モデルの外観は事業者の全施設平面図に合わせた色（赤）とし、3次元モデル上での判別情報（名称）は完成図書との整合を取るために図示されている管路名と同一とした。管路は平面的な変化と縦断的な変化があるため、使用ソフトは線形形状の作成が容易な Civil3D を選定した。作成した地中線管路モデルを図-6 に示す。

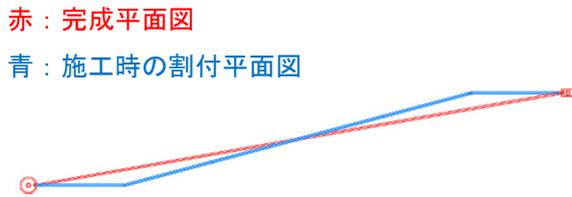


図-5 地中線管路の完成平面図と
実施工の違い（イメージ）

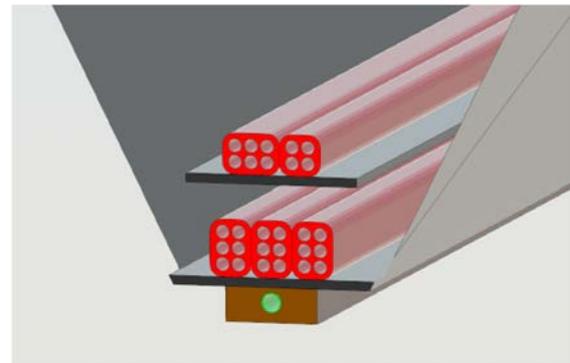


図-6 地中線管路モデル

(3) 地下道トンネル

地下道トンネルは、2連の現場打ちボックスカルバート躯体と付帯する坑口上部のL型擁壁、および頂部防水の保護モルタルをモデル化対象とした。いずれも施工や維持管理段階では、施工時の品質管理項目の記録や目地の位置情報などが重要な項目となる部位である。検討の当初は、ボックスカルバート躯体を構造目地で分割した構造ブロック毎のモデルを考えていたが、構造ブロックと施工時の打設リフトで分割し、コンクリート打設毎の品質管理情報が属性として付与できる仕様とすることが望ましいという結論になった。通常、完成図書には打設リフトは示されていないことから、完成図書には含まれない施工記録を基にモデル化をおこなった。L型擁壁についても目地ごとに分割してモデル化を行い、それぞれに属性情報を付与できる仕様とした。また、3次元モデルのデータ量が大きくなるうえ維持管理では使う頻度が低いため、鉄筋は3次元モデル化せず、配筋図を属性情報として付与することとした。

地下道トンネル部のモデルは、数量を算出することも考慮して全てソリッドモデルとし、モデルの外観は素材（コンクリート）のテクスチャーを貼る仕様とした。使用ソフトは、モデル化の効率を考慮してパターン生成が可能な Revit を選定した。

(4) 地下道トンネル部土留め

地下道トンネル部に施工した土留め工については、残置された鋼矢板をモデル化の対象とした。同一箇所将来工事が実施される場合を考慮すると、残置された鋼矢板の位置・数量・延長が判別できることが重要な条件となる。検討の当初は鋼矢板の残置位置と範囲がわかる簡易的な形状モデルを作成する仕様としていたが、

- ・将来撤去する場合の数量把握
- ・将来掘削が必要な場合の支障物の把握
- ・地上の構造物に変状が生じた場合の原因推定の材料を考慮し、3次元成果品作成のためのガイドラインには目的に応じた詳細度の定義はないが、鋼矢板を1枚

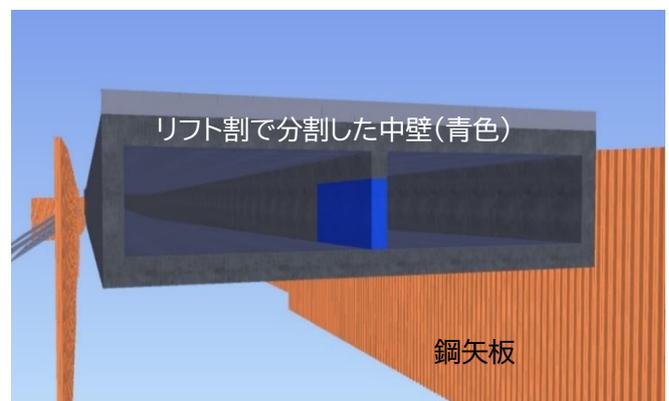


図-7 地下道トンネルと土留めモデル

毎に把握できるソリッドモデルとした。モデルの外観は素材（鋼製）のテクスチャーを貼る仕様とした。使用ソフトは、地下道トンネルと同様に、モデル化の効率を考慮してパターン生成が可能な Revit を選定した。作成した地下道トンネルと土留めモデルを図-7 に示す。

(5). 統合モデル

BIM/CIM モデルを業務調整や各種検討、維持管理段階で活用していくためには、複数のソフトウェアで分割して作成されたモデルを統合して全体を一つのモデルにすることが重要である。今回は、統合されたモデルの動作が比較的軽く PC の仕様を低く抑えられること、ビューワーが無償で提供されていることから、Navisworks を選定した。

施設の維持管理段階においては、データのファイル名や判別情報（名称）から作成モデルを検索することが多いと推定されることから、選択ツリーの標準ウインドウを利用することが多いと思われる。Navisworks は、モデルデータを読み込む順序で、選択ツリーの標準ウインドウにデータファイル名が表示される仕様となっていることから、完成図書を規定する特記仕様書に示された順序で別々に作成した 3 次元モデルのデータファイルを読み込んだ。

Navisworks の選択ツリーの標準ウインドウに表示される情報は、モデル作成に使用したソフト毎に異なるモデル階層が表示される仕様となっている。AutoCAD や Civil3D を使用して作成された 3 次元モデルの場合、データファイル名の下層に判別情報（名称）を付与したレイヤー名が表示される。一方 Revit を使用して作成された場合は、データファイル名の下層にはレベル（モデル作成時の標高設定） - カテゴリ - ファミリー - タイプが表示されるため、標準ウインドウからモデルの判別情報（名称）を利用した検索ができない仕様となっている。そこで、判別情報（名称）毎にパーツを選択できる選択セットを作成して選択ツリーのセットウインドウに表示できる設定を行い、維持管理時に活用しやすいような仕様とした。作成した統合モデルを図-8 および図-9 に示す。

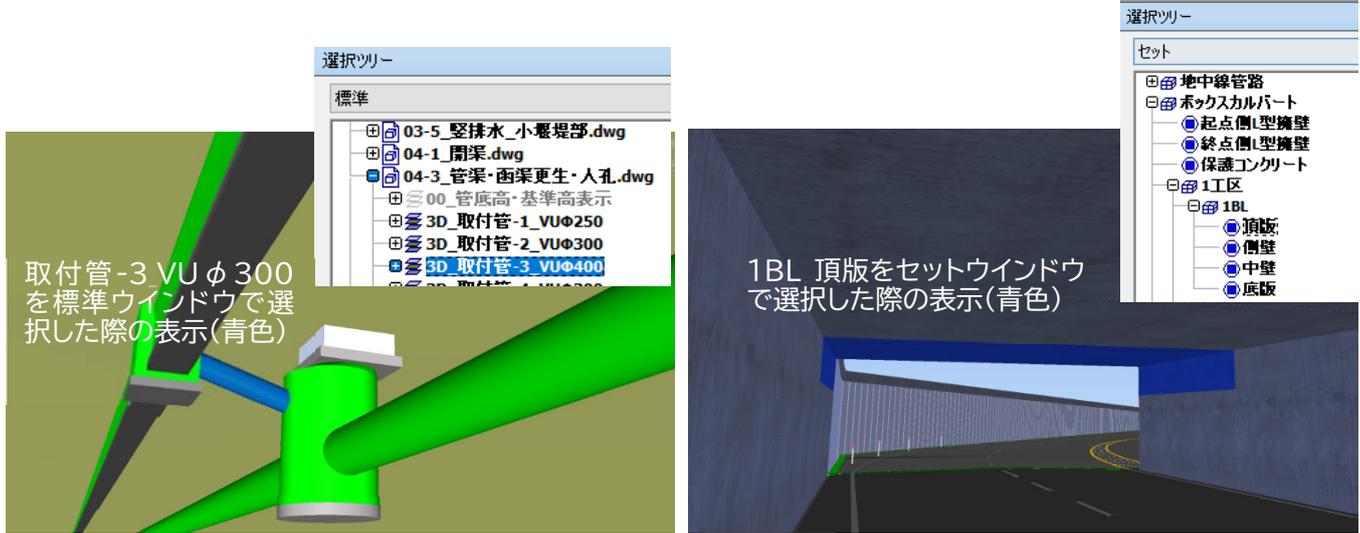


図-8 統合モデル（標準ウインドウ）

図-9 統合モデル（セットウインドウ）

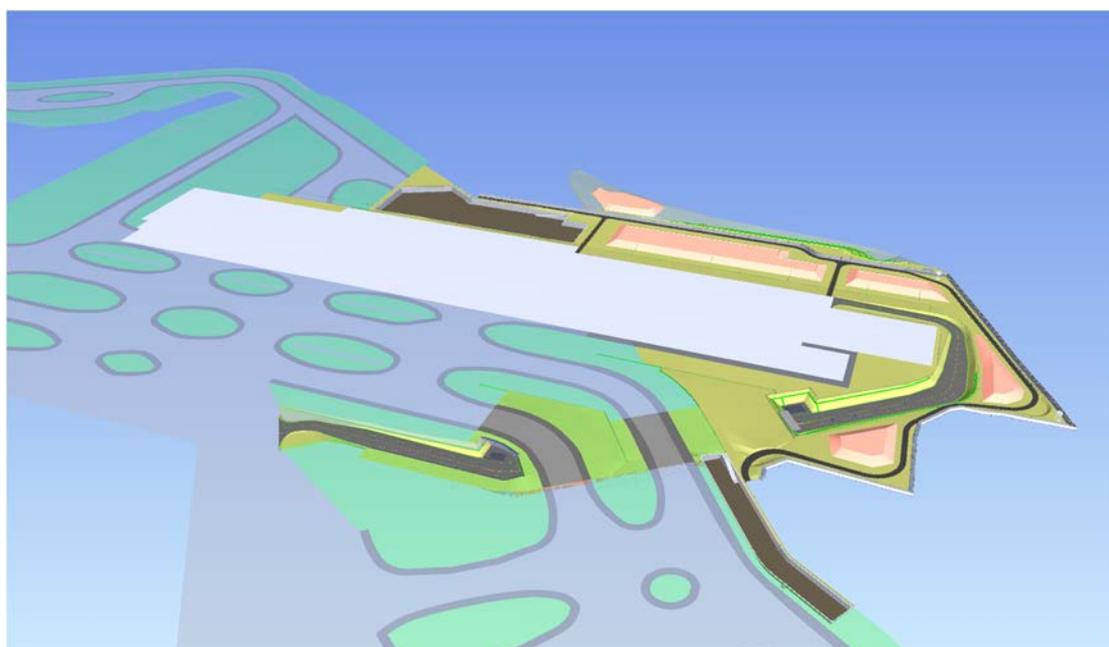
5. 3次元モデルの仕様

当業務において検討し決定した 3 次元モデルの主な仕様を表-4 に、3 次元統合モデルを図-10 に示す。

本稿では、空港施設のセキュリティを考慮して作成した 3 次元モデルの詳細部までの事例掲載はできないが、当業務の目的である「BIM/CIM 実施目標を立案し、建設生産・管理システムの各段階において、目的に応じた 3 次元モデルの利活用を図ることの重要性と、事業の各段階を通じて BIM/CIM 実施方針に基づき実施する事業管理項目の目標を設定することが望ましい」という事項を達成することができた。

表-4 3次元モデルの主な仕様

仕様検討項目	仕様
詳細度	対象構造物の管理目的に応じて、100～400の間で設定
モデルの外観	材料が判別できるような色やテクスチャーとする。ただし、事業者で管理するための区分と色が決められている施設については、施設管理要領に準拠した色とした
3次元モデル化の手法	地表面や造成仕上げ面、境界面としての認識が重要なパーツはサーフェス（TIN サーフェス含む）、構造物はソリッドモデルとした
使用ソフト	Autodesk 社製品（AutoCAD, Civil3D, Revit, Navisworks）バージョン 2019
ファイル形式	使用したソフトのオリジナルファイル形式 IFC2×3 もしくは J-LandXML 形式
判別情報（名称）	完成図書に示されている名称



注) 埋設管は空港セキュリティ上の理由により非表示としている

図-10 作成した3次元統合モデル

6. まとめ

筆者らは、当業務を通じて3次元モデルの要件定義の重要性を確認すると共に、3次元モデル作成の各ステップにおける必要な仕様や検討項目の洗い出しと課題認識を共有することができた。次の段階として、施設整備・維持管理の活用目的に合わせた属性情報の付与について検討を進めたいと考えている。また、利用するBIM/CIMモデルの更新や必要とされる属性情報の変化に合わせて、適宜、仕様の変更・加工が容易であることも重要な要素となることから、進展著しいBIM/CIMシステムの社会実装情報を収集しながら、BIM/CIM利用の簡便化についても検討を進めてゆきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省：BIM/CIM活用ガイドライン（案） 共通編 令和2年3月
- 2) 国土交通省：CIM導入ガイドライン（案） 第2編 土工編 令和2年3月