

後工程に活用できるBIM/CIM構築に向けた 取り組みについて

大橋 幸一郎¹・井上 愛久²

¹近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 工務第二課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3)

²近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 工務第一課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3) .

豊岡河川国道事務所は、平成31年3月に決定したi-Constructionの取組をリードするモデル事務所（全国10事務所）であり、後工程に活用できるBIM/CIM構築に向けた取り組みとして実施した、「建設生産性向上のための3次元データの契約図書化の検討」、「ICT施工に活用できるシームレスな3次元データ受け渡しに関する検討」、「3次元データを活用した道路台帳等の整備」について、確認できた効果や課題等について、報告する。

キーワード i-Construction, BIM/CIM, 建設生産・管理システム, 3次元モデル

1. はじめに

(1) 全国的なBIM/CIMの取り組み

建設業界は、我が国の人口減少に伴う高齢化の進展により、労働力の大幅な減少が懸念されるとともに、休日や職務内容などの労働環境も他産業に比べ厳しく、若手が入職・定着しづらい状況にある。

このような建設業界の現状を踏まえ、国土交通省では、労働者の減少を上回る生産性向上を目的とした生産性革命を行う『i-Construction』として、ICT施工や施工時期の平準化などの様々な取り組みを行っている。

これまで建設業（土木）では、2次元の紙の図面が主流となっているが、製造業などでは3次元の電子データ（3次元モデル）を利活用して生産性を向上させている。同様に建設生産・管理システムでも、対象とする構造物等の形状を3次元で立体的に表現した「3次元モデル」を利活用すれば、生産性の向上が期待でき、さらに3次元モデルに「属性情報」（部材等の名称、形状・寸法、物性及び物性値（強度等）、数量、維持管理に必要な情報など）を結びつけ、生産性の向上のみならず品質の向上も期待されている。この3次元モデルに各種の情報を結びつけ利活用していくことをBIM/CIM（Building / Construction Information Modeling, Management）という。国土交通省は令和5年度にはBIM/CIM本格運用を目指しており、一般土木・鋼橋上部に関する工事については、小規模な工事を除いて、すべての工事におけるBIM/CIM原則適用を掲げている。

表-1 BIM/CIM原則適用拡大の進め方(案)¹⁾

	R2	R3	R4	R5
大規模構造物	(全ての詳細設計・工事で活用)	全ての詳細設計で原則適用(※) (R2「全ての詳細設計」に係る工事で活用)	全ての詳細設計・工事で原則適用	全ての詳細設計・工事で原則適用
上記以外 (小規模を除く)	—	一部の詳細設計で適用(※)	全ての詳細設計で原則適用(※) R3「一部の詳細設計」に係る工事で適用	全ての詳細設計・工事で原則適用

(2) 豊岡河川国道事務所の取り組み

豊岡河川国道事務所は、平成31年3月に決定したi-Constructionモデル事務所（全国10事務所）であり、業界内におけるBIM/CIM技術の拡大・利活用を先導している。

当事務所の施工段階にある「円山川中郷遊水地整備事業」と「北近畿豊岡自動車道豊岡道路・日高豊岡南道路」を通じて、設計・施工・維持管理段階におけるBIM/CIMモデルを作成・活用し、事業の品質向上・効率化を図ることを目的として検討を進めている。

本稿では、後工程に活用できるBIM/CIM構築に向け、実際の工事の試行を通じて深度化を図っている「建設生産性向上のための3次元データの契約図書化の検討」、「ICT施工に活用できるシームレスな3次元データ受け渡しに関する検討」、維持管理での利活用を見据えた「3次元データを活用した道路台帳等の整備」について検討した内容を報告する。

2. 建設生産性向上のための3次元データの契約図書化の検討

現在の土木工事において、契約図書は2次元成果をもとに発注がなされることが一般的である。3次元モデルの検討においては、令和2年度のリクワイヤメントの趣旨を汲み、中期的な目標である「3次元データおよび2次元図面」を用いた工事発注を行うにあたっての課題等の検証を実施した。

対象工事は橋梁上部工事とし、3DAモデルを工事契約図書として試行した工事において確認された効果・課題について、設計者および工事業者の視点で整理した。対象工事の3DAモデルを図-1に示す。

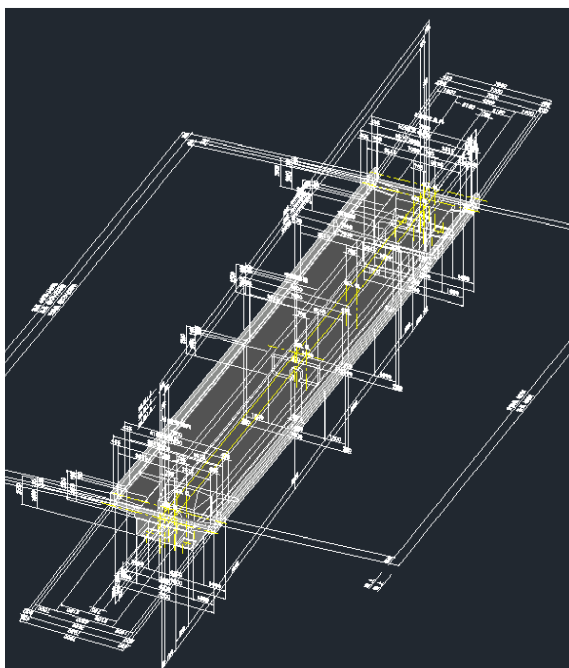


図-1 検証モデル（豊岡IC OFFランプ上部工）

(1) 効果・課題の抽出

定性評価における主な効果は図面間の不整合が回避できることが挙げられ、主な課題としては作成モデルの編集が困難なことやデータ容量の増加による作業効率の低下が挙げられる。

一方、定量的評価としては、活用により見込まれる削減人工とモデル作成により生じる追加人工を確認した。本検討では設計・施工段階で通常発生する人工よりも約7人工程度の追加作業が生じる結果となった。後工程での活用効果を把握し、適切に3次元モデルを併用する必要がある。

(2) 改善手法の検討

改善手法の検討として、契約図書化を見据えたうえで2次元成果と3次元成果の棲み分け範囲を検討した。一般に作成事例が最も多いLOD300相当の3DAモデルを対象に、設計図面および工事数量としての3次元モデル活用可否および2次元図面の省略可否について検証した。

a) 設計図面

結果を表-2に示す。設計図面に関しては一般図程度までの図面が省略可能であることを確認した。詳細図のうち、特に配筋図については、鉄筋加工図が現場では求められるため、建設生産性を考慮するとLOD400相当のモデルを作成しても配筋図は省略不可能と考えられる。

表-2 設計図面の省略可否

No.	図面名称	活用可否	省略可否
1	位置図	△	×
2	橋梁一般図	○	○
3	上部工構造一般図	○	○
4	主桁断面詳細図	○	△
5	PC鋼材配置図	△	×
6	床版横締配置図	△	×
7	横桁横締配置図	△	×
8	主桁配筋図	△	×
9	横桁配筋図	△	×
10	A1橋台支承配置図	○	○

○：可能
△：部分的に可能
×：不可

b) 工事数量

本体構造については3次元モデルから数量算出が可能のため省略可能であると判断した。今回の事例では、コンクリートの数量について従前の2次元設計成果における工事数量との誤差が約0.03%程度であった。一方、付属物については、3次元モデルを作成する設計段階では付属物図面は参考図であるため、省略は不可能である。詳細度300で表現した3次元モデルでも構造高や数量の確認は可能であるため、活用可能と整理した。

3. ICT施工に活用できるシームレスな3次元データ受け渡しに関する検討

ICT技術の全面的な活用（土工）における施工用の3次元データ作成は、「情報化施工の部分的試行」として、主に施工会社で作成されており、施工会社側で大きな手間となっていた。

また、近年3次元モデルを設計段階で作成している事例が増えていることから、設計段階で作成した3次元モデルをICT施工に活用することで、ICT施工用3次元データ作成の効率化につながり、フロントローディングに寄与するか検証を実施した。

以下(1)～(4)に示す検討を実施した。

(1) ICT土工の実施状況ヒアリング

まず、施工業者を対象にICT土工の実態についてヒアリングを行った。ICT土工のメリットは極めて大きく、施工効率、施工管理、出来形・品質確保(オペレーターの技量によらず均一な施工可能)などで大きなメリットを実感できていると回答いただいた。一方、施工者で作成されるICT施工用3次元設計データ作成(2次元図面から必要な3次元データへの変換)に手間が生じている状況であることが指摘された。

(2) ICT土工データの確認

ICT土工用の3次元データとして登録されている情報を確認した。施工に必要な横断面の法肩、法尻の端点の3次元座標(x, y, z)というシンプルなデータから構成されたLandXML(サーフェイス)であった。ICT土工用の3次元データを図-2に示す。

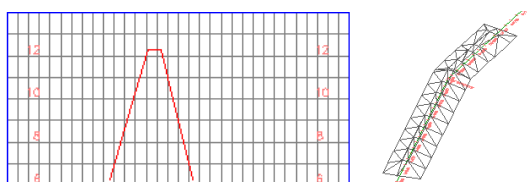


図-2 ICT土工用データ

(3) 設計からICT土工に提供するデータによる検証

設計データがICT土工に活用可能なデータとするために、既存交換用データの課題を把握し、発注者、施工側、設計側で協議を行い、データ受け渡しによる検証を実施した。

検証にあたっては、以下a)～i)に示す検証を行った。

a) ICT施工用データの作成状況

これまでのICTデータ作成にあたっては、施工者が労力を掛け、2次元設計図からICT施工(情報化施工)用データを作成していた。

b) 既存のデータ交換ファイル形式の確認

既存の交換ファイル形式としては、LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準(案)で示される、中心線形と横断形状を組み合わせたファイル交換形式(通称J-LandXML)で納品される。データ形式について図-3で示す。

c) 既存データ交換ファイルの課題

既存データ交換ファイルには、下記①～④の課題があり、データ交換が積極的に行われていないことが確認できた。

- ①: 対象外区間(複数線形, 交差点, 構造物等)が多い
- ②: 垂直など表現できない形状がある

表 2-2 各 CIM モデルの納品ファイル形式

CIM モデル	納品ファイル形式
線形モデル	LandXML ^{※2} 及びオリジナルファイル
土工形状モデル	LandXML ^{※2} 及びオリジナルファイル
地形モデル	LandXML ^{※2} 及びオリジナルファイル
構造物モデル	IFC 2x3 ^{※1} 及びオリジナルファイル
地質・土質モデル	オリジナルファイル
広域地形モデル	LandXML ^{※2} 及びオリジナルファイル
統合モデル	オリジナルファイル

※1 BuildingSMART JAPAN「土木モデルビュー定義」(利用可能となった場合は「土木モデルビュー定義 2018.1」)
 ※2 国土交通省国土技術政策総合研究所「LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準(案) Ver.1.2 平成30年3月」

※現在はLandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準の運用ガイドライン(案) Ver.1.3
 出典: 国土交通省 大臣官房技術調査課 CIM事業における成果品作成の手引き(案)
 データ交換標準(案)の3次元設計データは、図4-1に示すようにAlignmentsを構成する子要素である中心線形(平面線形, 縦断線形)と横断形状とを組み合わせてモデル化を行っている。

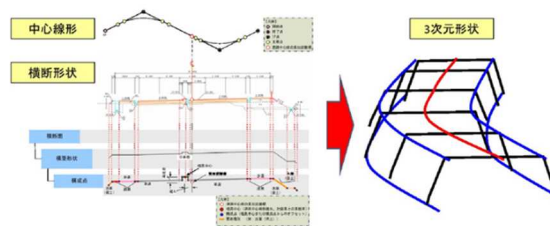


図 4-1 中心線形と横断形状とを組み合わせたスケルトンモデルのイメージ図
 出典: LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準の運用ガイドライン(案) Ver.1.3

図-3 既存のデータ交換ファイル²⁾

- ③: 施工者で断面の追加や、別線形等の断面の追加や修正作業が必要など、施工用形状作成にあたり手間が生じる。
- ④: 横断形状等ICT土工相当のデータに対応するソフトウェアが限定的。

d) 課題解決方法の試行

c)で示した①～④の課題について、別のデータ形式であれば解決可能なのかどうか、実際に作成した3次元モデルから、幅広く流通しているデータ形式として、LandXML(サーフェイスデータ)、csv(3Dモデル構成点)を抽出し、ICT建機に取り込み可能か試行した。

e) 試行用データ

試行にあたり、豊岡道路の豊岡ICを対象に、3次元データを受け渡した。モデルについて図-4に示す。

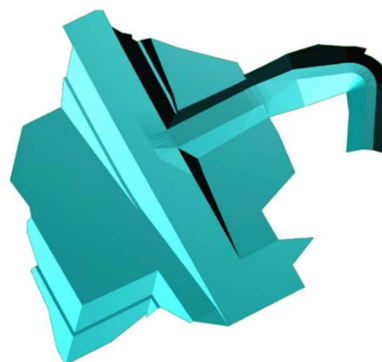


図4 試行用の3次元モデル

f) 試行①LandXML(サーフェイスデータ)

試行用データから設計業者A社によりLandXMLサーフェイスモデルを作成し、データを施工者に受け渡し、検証を行った。結果を図-5に示す。



図-5 試行①LandXML(サーフェイスデータ)

g) 試行②csv(3Dモデル構成点)

試行用データから設計業者B社によりcsv(3Dモデル構成点)を作成し、データを施工者に受け渡し、検証を行った。結果を図-6に示す。

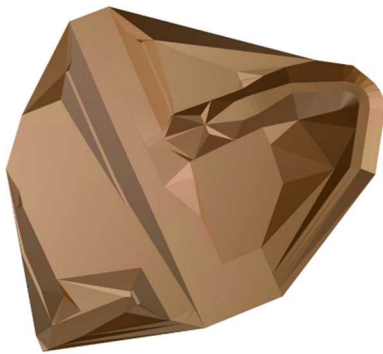


図-6 試行②csv(3Dモデル構成点)

h) 試行結果

試行①LandXMLおよび試行②csvの共通する課題としてサーフェイス構築時の課題(不要面が作成される)が確認された。これらは、TINを構成しない面を構築する等のプログラムルールがなく、意図していない範囲までサーフェイスが形成されるものと考えられる。

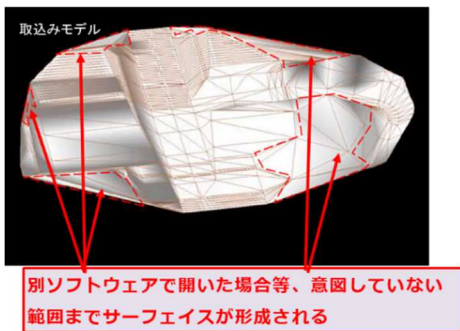


図-7 LandXML, csvに限らない課題

csvにおいては、上記に加え構成点が複雑かつ離れた区間で正確に表現されなかった。

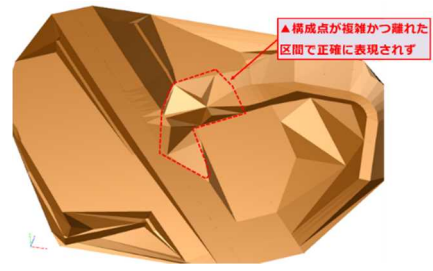


図-8 csvの課題

i) 試行結果の整理

試行モデルから広く活用可能なデータを作成・試行することによりICT施工に活用できるデータの特徴を図-9の通り整理した。ICT施工に活用できるシームレスな3次元データ受け渡しに向けて特色に応じた交換ファイル形式を用いることが望まれる。

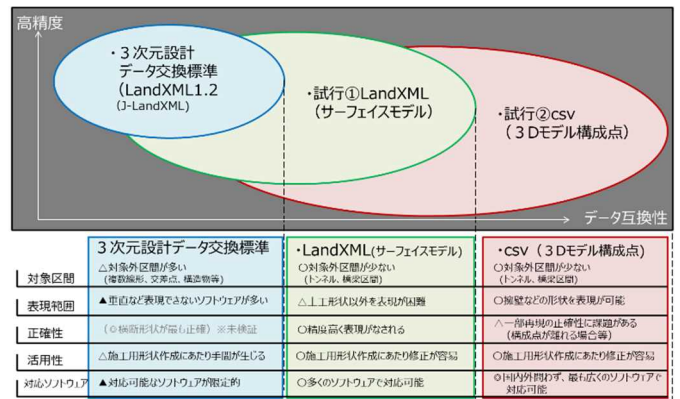


図-9 データ形式の整理

(4) 設計3次元モデルデータ提供による効果ヒアリング

設計3次元モデルデータ提供により後工程でどのような効果が得られるかについて施工業者へヒアリングを実施し、今後本検討を深度化を図る上での要点(課題や効果、検証方針)を抽出した。

意見としては、

- ・契約当初の段階で3次元データがもらえれば完成形状の理解が早まる、必要な計測計画の確認が早まる等、メリットが大きい。
- ・施工準備段階においては、発注ロット単位のモデルがあるとありがたい。頂いた3次元モデルがそのままICT建機に使えるとありがたい。

等いただいた。施工業者側も大きなメリットを感じている状況であり、ICT建機にそのまま受け渡し可能なデータ形式の成果を望んでいることが改めて確認できた。今後の検証には本ヒアリング内容等も反映させていく。

4. 3次元データを活用した道路台帳等の整備に向けた検討

(1) 目的

北近畿豊岡自動車道 日高豊岡南道路の開通に合わせ、全線の3次元データを取得し、100m~200mの3D道路台帳を試作して、活用方策を検証して一元管理できるような手法を検討した。検討にあたっては、検索性・操作性・機能性を検証して構築し、3次元データの良いところを伸ばすことに着眼し、将来目的としては、下記①~④を将来的な目的として検討した。

- ①：脆弱な工事完成図書管理の代替手段の構築
- ②：3D道路台帳機能要件抽出
- ③：有事（災害，事故）対応の迅速化
- ④：将来展開の想定

(2) 検討手順

検討にあたっては、下図に示す検討を実施した。



図-10 検討手順

(3) 調査実施

a) 調査概要

日高豊岡南道路L6. 1kmのうちトンネル区間(約2.9km)を除く約3.2km区間について、以降に示す調査を実施した。

b) 飛行型計測機(UAV)によるレーザー計測

調査：2020年10月27日~10月28日(作業時間約1.5日)

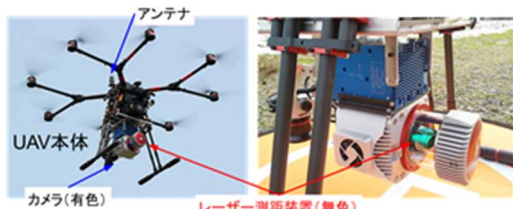


図-11 点群データ計測：UAVレーザー計測

c) 走行型計測機(MMS)によるレーザー計測

調査：2020年11月5日(作業時間約0.5日)

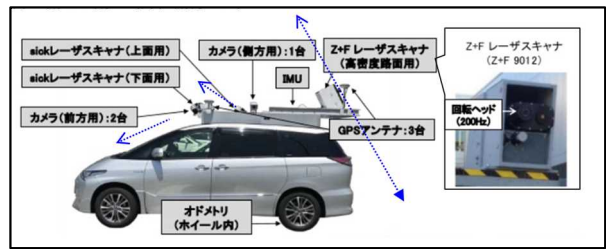


図-12 点群データ計測：MMSレーザー計測

d) 取得した点群データの諸元

国土地理院車載写真レーザ測位システムを用いた3次元測量マニュアル(案)に準拠しデータ整理を行った。

(4) 管理に向け作成した成果

a) 点群データ

UAVとMMSによって取得した点群と画像を合成した点群データ成果を作成した。なお、データからは距離、高低差、面積、横断(形状が不安定)等の抽出が可能である。

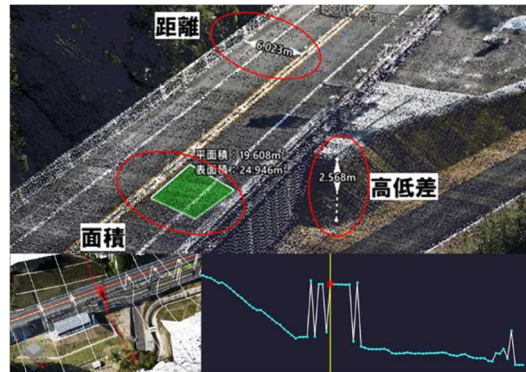


図-13 点群データ

b) メッシュデータ

合成した点群データから地形形状のみを取得し、メッシュ状(TIN: triangulated irregular network)成果を作成した。なお、作成したメッシュデータは安定した横断形状の出力が可能である。

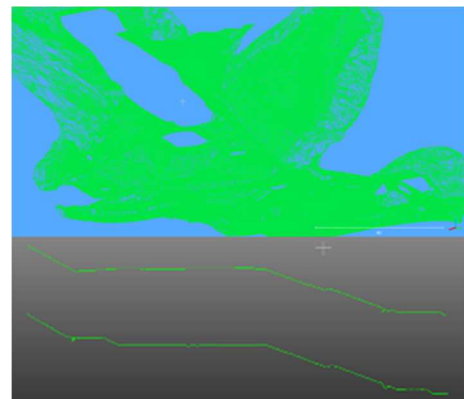


図-14 メッシュデータ

c) 3Dラインデータ

上述の点群データ及びメッシュデータには、データ容量が非常に大きいという欠点がある。日常的に使いやすくするために、合成した点群データから模式的に3次元の線状の成果を汎用CAD (AutoCAD) により作成した。なお、道路施設別にグループ化した線情報をクリックすると任意のフォルダが立ち上がり、内容の確認や追加データの保存が可能になるよう作成した。

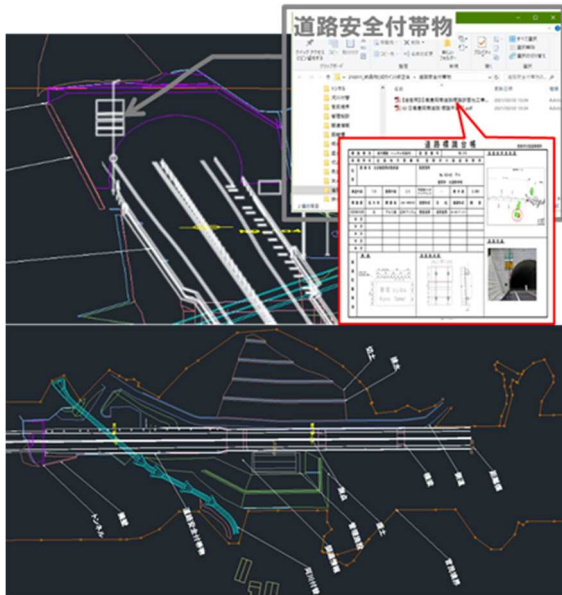


図-15 3Dラインデータ

5. まとめと今後の取り組み方針

今回報告した項目について、今後の取り組み方針を以下に示す。

(1) 建設生産性向上のための3次元データの契約図書化の検討

2021年(令和3年)3月に、「3次元モデル成果物作成要領(案)」が策定され、その中で3次元モデルから契約図書のための2次元図面の作成方法等記載されており、3次元モデルをベースにした2次元図面による契約図書

化に向け、一定方針が定められた。次の段階である、3次元モデル+2次元図面での契約図書化に向け、2020年度(R2年度)は橋梁上部工で試行的に検討を行ったが、今後は土工工事等対象工種を増やして検討を深度化していく予定である。

(2) ICT施工に活用できるシームレスな3次元データ

受け渡しに関する検討

今後は、土工部や構造物等ユースケース別で検証を行い、深度化させる。また、施工者側の流通ソフトの調査を行い、受け渡し用3次元モデル設計データ形式の検討を行う。本課題はソフトウェアのアップデートによって解消されるものもあるため、各ソフトウェアの進展や対応状況についても比較とりまとめを実施する。様々な課題点があるが、将来的な課題解消に向け検討を進めていく一方で、現状で対応可能な合理的な方法を整理し検証していく。

(3) 3次元データを活用した道路台帳等の整備に向けた検討

2020年度(令和2年度)で試行的に作成した3次元道路台帳(案)をもって、維持管理担当にヒアリングを実施した。高架下や埋設物の情報を追加すべき等意見があったので、今後はヒアリングで確認した課題点の検証・反映や、実際に現場で試行的に活用しながら、新たな課題点を抽出し、より現場で活用しやすくなるようアップデートを行っていく。また、今回作成した3Dラインデータには、手作業がかなり多く、熟練するまで作成に時間を要するという課題があるため、より簡易に作成できるような手法についても検討を続けていく。

参考文献

- 1)国土交通省：令和5年度のBIM/CIM原則適用に向けた進め方(第5回BIM/CIM推進委員会より抜粋)
- 2)国土交通省：LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準(案)Ver1.3 令和2年3月