

機械設備 BIM/CIM 活用に向けた取り組み

APPROACH ON BIM/CIM PRACTICAL USING FOR MECHANICAL EQUIPMENT

涌井 健*・酒井 盛雄*・菅井 麻里子*・木村 祐太*・大谷 流葵*
Takeshi WAKUI, Morio SAKAI, Mariko SUGAI, Yuta KIMURA and Ryuki OTANI

For the continued enhancement of efficient and high-quality construction and management of public works in Japan, MLIT is promoting the introduction of digitizing information covering the planning, survey, design and subsequent construction and maintenance stage. BIM/CIM, which is the core of the system, achieves the objective by integrating those digitizing information in 3D models and sharing among stakeholders throughout the service period of infrastructure. This paper introduces examples of utilization of BIM/CIM in the designs of mechanical equipment and point cloud data including main issues for further dissemination of BIM/CIM.

Keywords : *BIM/CIM, mechanical equipment, design, utilization effect, software, analysis, parametric model, integrated model, construction plan, automation, point cloud data, attribute information, paint deterioration, compatibility*

1. はじめに

当部は、国内外の機械設備に関するコンサルタント業務に携わっており、国内では公共事業関連の河川構造物のゲート・ポンプ設備、道路構造物の換気・排水設備などを主な対象としている。

航空機、鉄道、自動車、発電プラント等の機械設備分野ではいち早く、3 次元 CAD を導入し、見える化、効率化、設計高度化を実現している。一方、公共事業の機械設備分野では遅れをとってきたが、効率的で質の高い建設生産・管理システムを目指し、国土交通省は、令和 2 年「CIM 導入ガイドライン」¹⁾を制定し、令和 3 年「BIM/CIM 活用ガイドライン第 6 編機械設備編」²⁾を制定、翌年の令和 4 年に改定を行い、令和 5 年度から BIM/CIM 原則適用が始まる計画である³⁾。

本稿では、当部が取り組んできた研究開発や設計業務における機械設備 BIM/CIM の適用事例と効果や課題を紹介し、BIM/CIM の活用拡大の一助となることを期待するものである。

2. 本稿の報告内容

当部では、平成 26 年以降、3 次元 CAD 設計への取り組みを開始し、最近では「BIM/CIM 活用ガイドライン第 6 編機械設備編」²⁾の制定及び改定にも携わってきた。

「BIM/CIM 活用ガイドライン」²⁾は、BIM/CIM の活用目的、適用範囲、BIM/CIM モデルの考え方、BIM/CIM 活用の流れ、各段階における活用等を参考として記載したもので、機械設備編では、調査・設計、施工、維持管理の各段階での BIM/CIM の活用場面に焦点を当て、特に河川及び道路における機械設備に関する活用事例が紹介されているので、参考にされたい。

本稿では、機械設備 BIM/CIM の機能と特徴についての概要を紹介し、活用による効果、点群データの活用と今後の課題について述べる。

3. 機械設備 BIM/CIM の機能と特徴

(1) ファイル構成とヒストリ

1) ファイル構成

機械設備 BIM/CIM は、パーツファイル及びアセンブリファイルから構成される。

アセンブリファイルは、トップアセンブリを頂点とし、主要構成装置単位のアセンブリファイル、構成機器単位のサブアセンブリファイル、更には、部品単位のパーツファイルから構成されるツリー構造となっている。アセンブリされたものはツリー構成で上位のファイル内でグループ化され、一つの塊として取り扱うことが可能となる。また、各アセンブリファイル及びパーツファイルでの、共通装置、機器、部品のデータベース化により、設計の省力化が可能となる。

* エネルギー事業統括本部 ソリューション事業本部
プラント事業部 機械技術部

2) ヒストリ

部品を組み立てて製品を構成する機械設備では、組み立てる部品の形状、組み立てる配置を変更しながら最適設計を行う。組み立てる部品の寸法変更、組み立てる順番、組み立て後の寸法を全て製作履歴として情報を保持し、製作履歴にある情報を編集することで組み立てられた完成品が自動修正される仕組みがある。これをヒストリ機能という。

機械設備 BIM/CIM の代表的なソフトウェアである SOLIDWORKS 及び Inventor は、ヒストリ機能が搭載されたヒストリ系 CAD であり、土木分野で一般的に使用されている AutoCAD や Civil3D のノンヒストリ系 CAD とは異なり、3 次元モデル作成後の設計変更や設計条件の異なる設備設計時の最適設計が容易に可能となる。

(2) 属性情報

属性情報とは、対象設備の形式や設置年等の主要諸元をはじめとする形状以外にモデルに付与することができる情報を指す。属性情報は、3 次元モデルに直接付与する方法及び外部参照を活用する方法の 2 種類ある。ここで言う外部参照とは、属性情報として活用できる電子ファイルの当該格納場所やファイルそのものをハイパーリンクで関連付けることを指し、これを活用することで、2 次元図面や点検整備報告書等のデータと 3 次元モデルを紐づけることができる。

この機能により、整備更新履歴や完成図書等維持管理に必要なデータを 1 つのファイル(3 次元モデル)に集約できることから、維持管理の大幅な省力化・合理化が可能となる。

(3) 基準平面と参照平面

機械設備 BIM/CIM は、3 方向に向いた基準平面があり、原点は、3 つの基準平面が交差する 1 点になる。参照平面は、基準平面から任意の距離に平行移動して作成する平面を指す。

例えば水門設備設計の場合の基準平面としては、据付基準線や扉体中心、ゲート敷高のように対象設備の設計あるいは施工基準となるものを設定する。

(4) 座標

Civil3D をはじめとする土木系 CAD は、緯度・経度で構成される測地系座標であり、世界共通のワールド座標である。一方、機械系 CAD は、機械中心で配置することがほとんどであることから、配置を緯度・経度(ワールド座標)にすることができない。このため、後述の統合ソフトウェアを用いて、機械系 CAD で作成した 3 次元モデル及び土木系 CAD で作成した 3 次元モデルを統合する場合、位置合わせを行うのに労力を要する点に留意が必要である。

4. 機械設備 BIM/CIM 活用による効果

(1) 有限要素解析

シエル構造ゲートの扉体は、内部補剛材が複雑に配置されており、構造計算の難易度が高い。機械系 CAD(図-1 では Inventor を例示)は、有限要素解析機能が付属されていることから、図-1 に示すように 3 次元モデルを容易に解析でき、複雑な構造であっても、応力集中箇所や強度不足箇所が容易に特定できる。

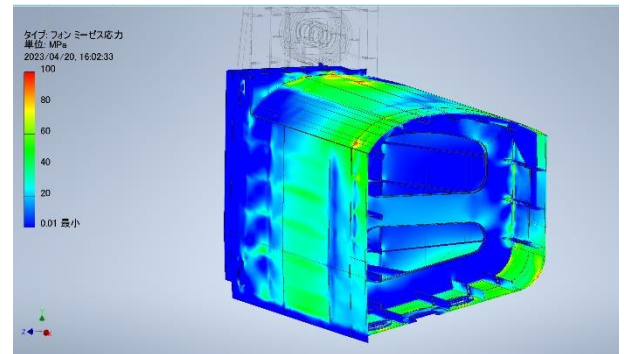


図-1 複雑な形状の有限要素解析事例

(2) 重心算出

水門ゲート扉体の吊状態での傾きは、扉体水密部の片当たりや漏水を引き起こす要因となってきた。この傾きを防止するため、従来は、水門ゲート扉体の多くの部品の重心を Excel 計算等で重心位置を計算する手間のかかる作業が必要であった。

機械系 CAD の SOLIDWORKS では、静解析により、扉体の吊状態における傾き及び変位量を算出することができる。SOLIDWORKS による、既設ゲート設備の吊状態における傾きと変位量を表-1 左に、扉体吊位置調整による改善結果を表-1 右に示す。

表-1 静解析による扉体傾きの算出

既設 [mm]	改造案 [mm]

(3) 数量自動算出

機械設備 BIM/CIM は、塗装面積、部材重量等、数量計算書に必要な全てのデータを抽出・積算可能であり、図面と数量計算書との不整合などの防止や大幅な設計の合理化が実現できる。本稿では、配線の軌跡を 3D スケッチにより手動作成し、配線をモデル化した。配線 3 次元モデルと数量自動算出結果を図-2 に示す。

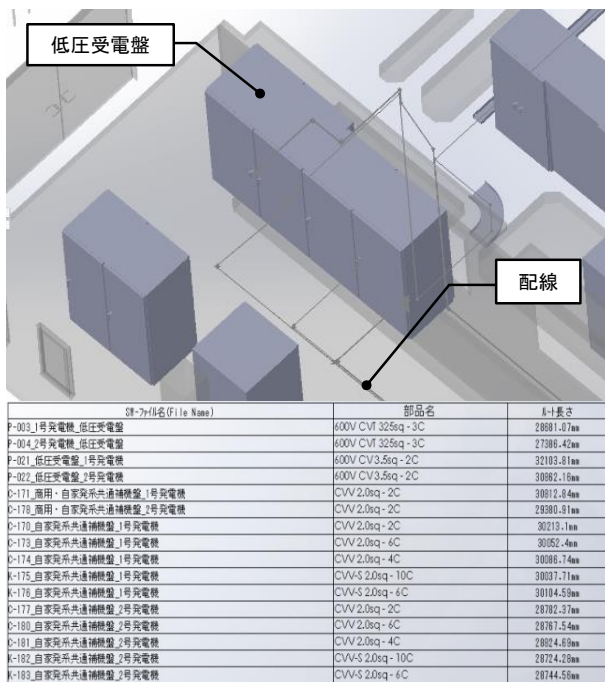


図-2 配線 3 次元モデルと自動算出した数量表

(4) パラメトリックモデル化による設計の合理化

機械設備や土木設備の設計変更に、迅速に対応できるパラメトリックモデルを紹介する。

図-3 は、扉体幅等の形状寸法をパラメータ化したパラメトリックモデルである。パラメータ化した形状寸法を変更すると、機械設備寸法だけではなく、対応する土木構造物寸法の変更が自動で行われる。

設計変更に対して、迅速かつ効率的に対応できるほか、設計標準化といった利活用が考えられる。

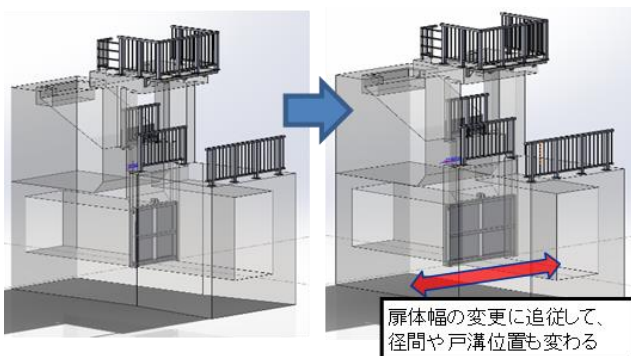


図-3 水門設備のパラメトリックモデル化

(5) モデル統合による施工計画

機械設備 BIM/CIM を、土木・建築・電気通信設備等のモデルと Navisworks や XVL Studio pro などの統合ソフトウェアで統合することにより、設備干渉の有無、施工時の作業員動線や作業空間の確認、維持管理作業スペースの確認等が立体的・視覚的に確認できる。

図-4 に、ダム用機械設備及び土木構造物の異なる工程間の統合モデルの事例を示す。このモデルを使用し、鉄筋と放流管等の干渉の有無の確認を行った。

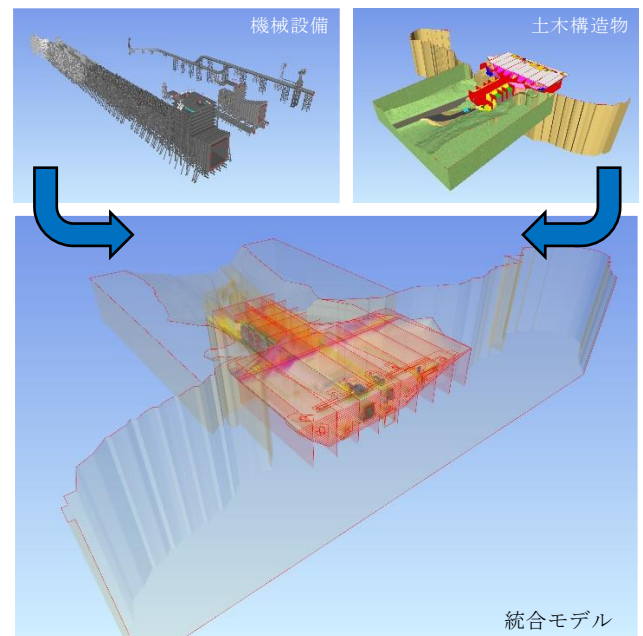


図-4 ダムの統合モデル

図-5 に、排水機場の施工計画の統合モデルによる、足場配置と主原動機の干渉や作業スペースの確認事例を示す。

この排水機場では、狭隘な空間かつ複雑な機器配置での大型機器の撤去・更新の施工計画が必要とされ、統合モデルにより各工事段階での施工計画シミュレーションを立体的・視覚的に行った。

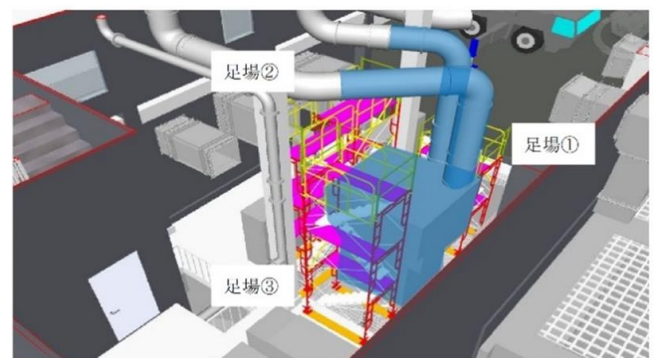


図-5 足場及び主原動機の干渉確認

(6) 4D-CIM

3D-CIM に時間軸を持たせた 4D-CIM モデルにより、土木及び機械設備工事の各施工状況を立体的・視覚的に示し、計画段階での施工の合理化、施工段階での工程調整、錯綜可能性箇所の事前把握等への活用が可能である。図-6 に 4D-CIM モデルでの、施工計画の検討画面を示す。

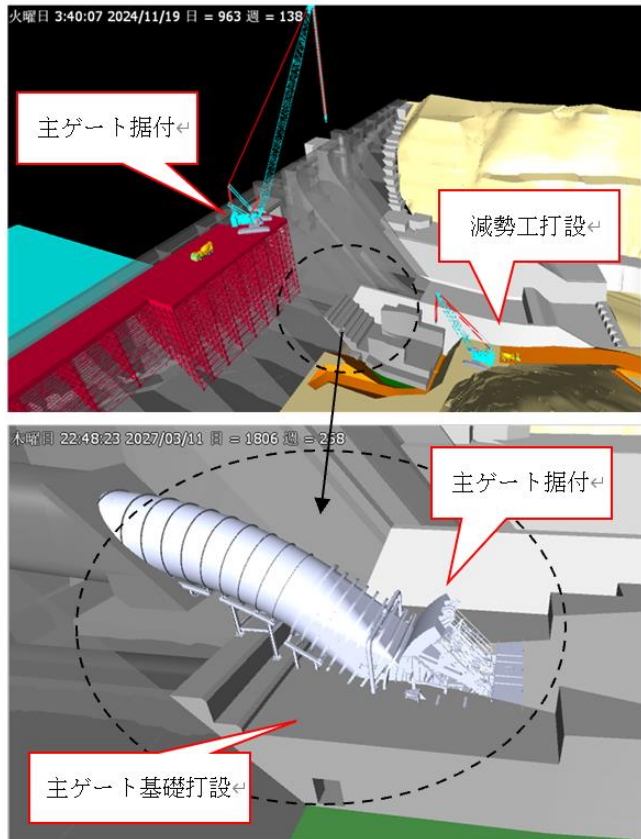


図-6 土木・機械錯綜工事箇所の 4D-CIM モデル

5. 点群データ活用による効果と課題

点群データは、モデリング作業を伴わないため、労力をかけずに 3 次元的な検討を行うことができる。点群データは、以下に示す作業が可能である。

- ① 図面がない構造物の現況把握が可能
- ② 点群データから 3 次元モデルへの変換が可能
- ③ 3 次元モデルと点群データとの統合が可能
- ④ 点群データに属性情報を付与することが可能

上記の機能による活用効果及び課題整理のため、これまでの活用事例を紹介する。

(1) 点群データからの 2 次元図面作成

建設当初の図面が入手できない場合、3 次元スキャナにより点群データを収集し、2 次元図面を作成することにより、省力化、測定ミス防止が可能である。

従来のスケッチ作業と計測時間の対比例を、表-2 に示す。

表-2 計測作業の効率化(ダム監査廊鋼製階段段寸)

	計測箇所	計測時間		計測誤差
		1箇所当り	総時間	
従来方法 (スケッチ)	1箇所	1.5時間	1.5時間	50mm~100mm
点群データ 活用時	5箇所	6分	30分	5mm程度

図-7 に、ダム湖巡視船のボートレー架台の設計時の、船体底面の複雑な形状でスケッチが困難な箇所での点群データを活用した、2 次元図面化例を示す。

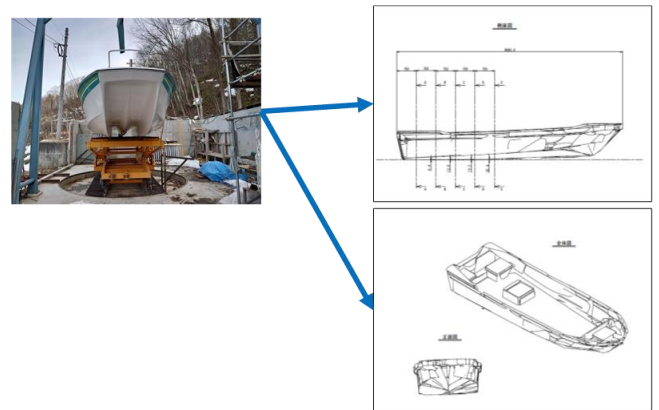


図-7 点群データの 2 次元図面化事例(巡視船)

(2) 点群データからの自動モデリング機能

点群処理ソフトウェアである Infipoints は、装置・機器のモデル作成の際に点群の形状を自動でモデリングする機能(ポリゴン化機能)を有しており、モデリング作業にかかる工数を大幅に削減できる。(ポリゴン化所要時間: 約 15 分)

排水機場の主原動機の点群データからポリゴン化によって作成したモデルを図-8 に示す。なお、ポリゴン化は、実行前に精度を選ぶことができるが、精度が高くなるほど、その分データ容量も大きくなることから、用途に応じた使い分けが必要である。

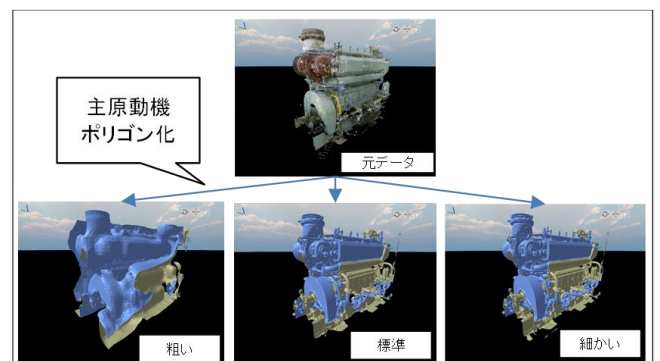


図-8 ポリゴン化機能による自動モデリング

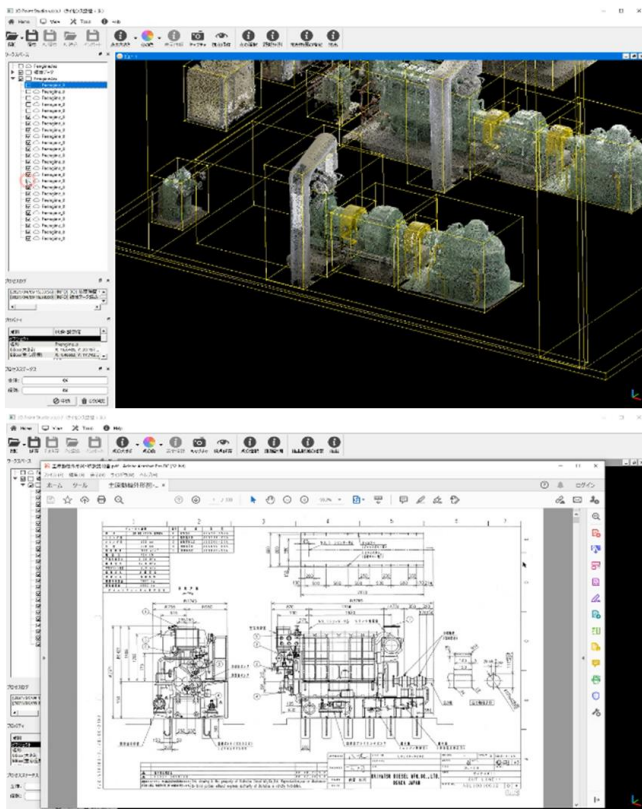
表－3 ポリゴン化精度及びデータ容量の関係

	点群データ	データ容量		
		ポリゴン化		
		粗い	標準	細かい
主原動機	90.1MB	9.76MB	676MB	2.07GB
減速機	68.9MB	4.14MB	232MB	1.33GB

(3) 点群データへの属性情報付与

点群ブラウザソフトウェアである 3D Point Studio を用いることで、点群データに設備諸元等のテキストデータや点検整備報告書等の外部参照ファイルを、属性情報として付与することが可能である。

図－9 に、排水機場のディーゼルエンジンの属性情報付与例を示す。これにより、現地状況を完全に把握できていない施設管理者でも、機器の配置状況を確認しながら不具合が確認でき、効率的な維持管理を行うことができる。



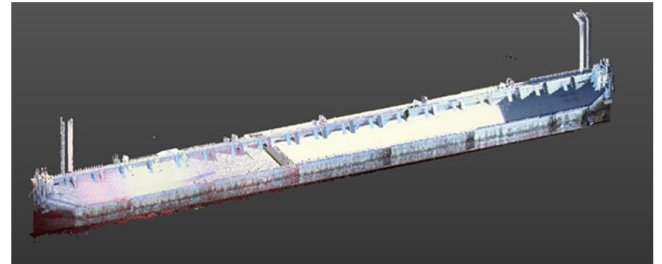
図－9 属性情報として付与した外部参照ファイル

(4) 点群データを利用した塗装劣化判定

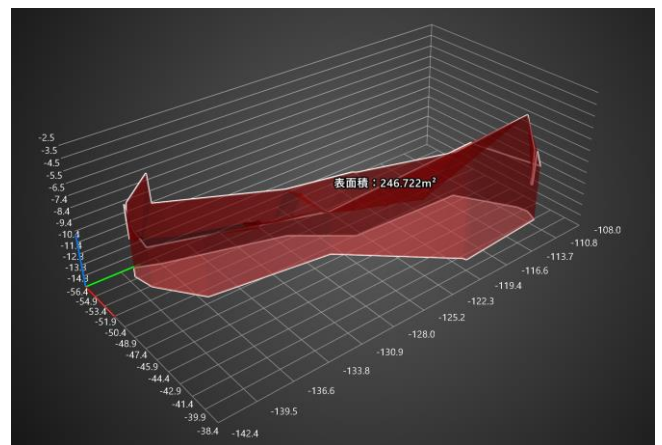
従来手法である評価写真によるさび評価点は、外観目視による定性的な判断であり評価者によるばらつきが発生する。その代替案として、3 次元スキャナによって、塗装色が判別できる点群データを収集、画像から発錆面積を抽出し、定量的にさび評価点を判定することが有効である。

図－10 及び図－11 に、点群処理ソフトウェアである TREND-POINT のカラーフィルタ機能を用いた、シェル構造

扉体の 3 次元スキャナでの点群データを示す。TREND-POINT によって自動算出した扉体の全表面積は 3,843m² で、さび色抽出面積は、247m² であることから、さび発生面積は約 6%となる。「機械工事塗装要領(案)・同解説」⁴⁾によれば、さび面積が 5%を超えた場合に塗替塗替を実施する目安とされており、塗替塗装が必要であると定量的に判断できる。さび色抽出の閾値設定方法については、今後更なる検討を行う予定である。



図－10 点群データ(シェル構造扉体)



図－11 カラーフィルタ機能によるさび面積算出結果

6. 機械設備 BIM/CIM 活用の課題

機械設備 BIM/CIM 活用効果は、これまでの事例紹介で確認することができた。一方で、機械設備 BIM/CIM を活用するには、以下に示す課題が考えられる。

- ・ モデル詳細度
- ・ 企業ノウハウ(精密な形状情報等)の流出
- ・ ソフトウェアの互換性

(1) モデル詳細度

モデル詳細度とは、3 次元モデルの形状をどれほど正確かつ詳細に表現しているかのレベルを指し、100～500 までの 5 段階ある。モデル詳細度は、「BIM/CIM 活用ガイドライン」²⁾において例示されており、詳細設計では、詳細度 300 が望ましいとされている。ただし、一般的に、詳細度が高いモデルほど作成する労力が大きくなる。また、後述の企業ノウハウの観点から、コンサル設計の後工程に当たる施工時では、メーカ

が 3 次元モデルを作成し直すことが往々にしてある。これにより、現状、事業全体の生産性向上の障害となっている。国土交通省の目標とするフロントローディングを実現させるためには、後工程への情報伝達を念頭に、活用目的に応じた詳細度の使い分けについて、検討していく必要がある。

(2) 企業ノウハウの流出

高詳細度の 3 次元モデルは、形状情報等にノウハウが含まれており、知的財産保護の観点から、統合モデル等による連携・共有は好ましくない。詳細度を低くしたモデルを取って作成することになるが、これが手間となり、モデル作成に労力を伴うという課題がある。SOLIDWORKS には、知的財産保護を目的として、簡略化モデルの自動生成機能 (Defeature) が搭載されており、今後、その効果の検証を行う予定である。

(3) ソフトウェアの互換性

機械系 CAD は、土木・建築系 CAD とは異なるアセンブリファイル構造を持つ。土木・建築構造物と一体となって活用するには、これらをモデル統合する必要がある。しかし、他ソフトウェアとの橋渡しを行うための IFC ファイルと呼ばれる中間ファイルを用いても形状情報及び属性情報が正確に引き継がれない問題がある。

1) 形状情報

形状情報を、IFC の中間ファイル形式を介して、異なる CAD ソフトウェアで作成したファイル間で受け渡しを行う場合の精度を表-4 に示す。円筒や円錐等の簡易モデルの形状情報以外、複雑なモデル形状になると、全ての組み合わせにおいて互換性はない。

表-4 形状情報の互換性検証結果

		変換後				
IFC バージョン		IFC(2x3)				
ソフト名		機械系 CAD		土木・建築系 CAD		ビューワ
		SOLID WORKS	Inventor	Revit	Civil 3D	IFC Viewer
変換前	SOLIDWORKS	×	—	△	—	△
	Inventor	△	—	△	×	△
	Revit	△	—	△	△	△
	Civil 3D	—	—	—	△	△

○：外観が引き継がれている

△：一部モデルが変形するが形状情報は引き継がれている

×

—：画面表示されない、ファイルが開かない、表示する機能がない

この原因は、IFC 中間ファイルに置換した段階で、図-12 に示すように形状情報が三角形状に分割されてしまい、変換後のソフトウェアは、この分割された三角形状情報を受け継いでしまうことによる。

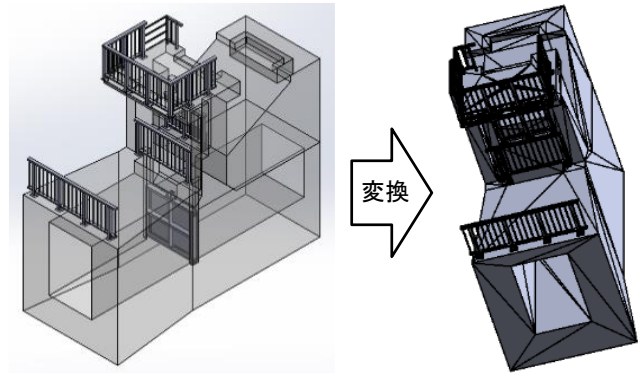


図-12 IFC に変換した際の形状情報変化 (三角形状)

2) 属性情報

中間ファイルを介して属性情報を受け渡す場合の検証結果についても、表-5 に示すとおり、完全に受け渡すことができない。この原因は、IFC データ形式のルール化が不完全であるためである。

表-5 属性情報の互換性検証結果

		変換後					
IFC バージョン		IFC(2x3)					
ソフト名		機械系 CAD		土木・建築系 CAD		ビューワ	
		SOLID WORKS	Inventor	Revit	Civil 3D	IFC Viewer	
変換前	SOLIDWORKS	×	—	①	②	×	△
	Inventor	×	—	×	—	×	×
	Revit	×	—	○	—	○	○
	Civil 3D	×	—	×	—	×	×

○：属性情報が引き継がれている

△：属性情報が一部引き継がれているが、消えている箇所あり

×

—：画面表示されない、ファイルが開かない、表示する機能がない

3) 互換性に関する総括

上記の検証時点では、中間ファイルを介した場合、形状情報及び属性情報のどちらも正しく引き継げず、機械系 CAD 又は土木・建築系 CAD で作成された 3 次元モデルを他方の 3 次元 CAD で確認することはできず、異なる業種間で作成された 3 次元モデルの統合は、統合ソフトウェアによって統合することが必要との結果であった。3 次元 CAD の技術革新は日進月歩であり、今後、ソフトウェアの互換性は改善されていく可能性があり、最新の技術動向に注視していく必要がある。また、土木と機械設備、更には、建築等を含めた施設全体の BIM/CIM 統合時の技術的課題や必要性など、統合モデルについての基本方針の検討が必要と考える。

7. おわりに

本稿では、「BIM/CIM 活用ガイドライン第 6 編機械設備編」²⁾の制定及び改定に携わる中で得た機械設備 BIM/CIM に関する知見を活用事例として紹介した。機械設備 BIM/CIM の活用効果は前述のとおりであるが、更なる業務効率化を目指すには、本稿で課題として挙げた、モデル詳細度の見直し、企業ノウハウ流出防止策及び統合ソフトウェアの活用方法について、検討していく必要がある。

加えて、今後更なる普及が予想される点群データを業務に積極的に取り入れ、その活用効果及び課題についても整理した。点群データは、労力をかけずに 3 次元的な検討を行うことができることから、設計作業の効率化に大きく貢献できると考える。

謝辞：BIM/CIM 活用業務において国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本施工高度化研究室様には数多くの御指導を頂きました。心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：CIM 導入ガイドライン(案)、2020.3
- 2) 国土交通省：BIM/CIM 活用ガイドライン(案)第 6 編 機械設備編、2022.3
- 3) 国土交通省：直轄土木工事における BIM/CIM 適用に関する実施方針、2023
- 4) 国土交通省：機械工事塗装要領(案)・同解説、2010.4