クラウドを利用した建設施工現場での BIM モデル活用

ソリューション事業統括　DX 推進本部

野上　順子

佐野　友哉

1. はじめに

従来の建設業界では仕様変更時の情報伝達や修正作業などにかかる時間や労力が大きいことが課題であったが、共通データ環境(CDE)をクラウドに構築することで効率的な情報共有が可能となった。CDE の BIM モデルに対して、複数のメンバが同時に作業を行っている建設プロジェクトも増えてきた。

施工現場においても同様に、設計変更時に設計者が CDE の BIM モデルを更新することで施工担当者は常に最新の情報を確認しながら作業を進めることが可能となったが、はたして本当に施工現場で BIM を活かし BIM の恩恵を受けることができているのだろうか。

多くの建設プロジェクトで利用している CDE の一つにオートデスクの Autodesk Docs(旧 BIM360 Docs)がある。Autodesk Docs は BIM モデルを含む設計図書などをクラウドで一元管理するための CDE プラットフォームである。オートデスクが提供する建設業界向け統合プラットフォームの Autodesk Construction Cloud(ACC)のベースとしても使用されている。

ACC には、干渉チェックの自動化や設計修正などの共同作業を効率的に行う機能を提供している「Autodesk BIM Collaborate」、2D シートや 3D モデルからの数量集計機能を提供している「Autodesk Takeoff」、現場管理やプロジェクト管理を行う「Autodesk Build」で構成されているが、Autodesk Docs のみの利用も可能である。

オートデスクは、Autodesk Docs や ACC を含むオートデスクのクラウドサービスを利用する為の API(RESTful API と JavaScript API)や WEB ブラウザで BIM モデルを表示するための Forge Viewer を Autodesk Forge として提供している。Autodesk Forge を利用するとオートデスクのクラウドサービスと連携した独自アプリケーションを構築することができる。

この Autodesk Forge を使用して Autodesk Docs 上の BIM モデルと、クラウド環境に構築した WEB アプリケーションを連携させることは、施工現場での BIM 活用による業務改善に有効な手段である。クラウド環境であれば、施工現場でタブレットやスマートフォンからでもアクセスでき、CDE である Autodesk Docs 上の最新モデルを用いて作業を行うことが可能になるからである。

当社が提供する toBIM サービスの１つである ConnecT.one も、Autodesk Forge を使用して開発しており、Autodesk Docs にアップロードした BIM モデルと連携している。

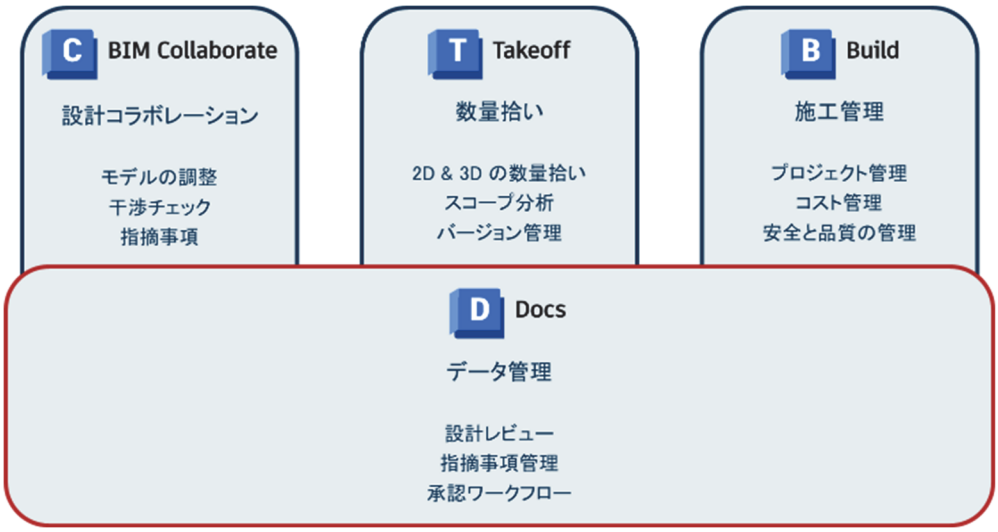

図1 Autodesk Construction Cloud 製品

図2 ConnecT.one 製品

toBIM サービスにおいて、 ConnecT.one は Revit などの BIM ソフトを使用しない Non-BIM user 向けのクラウドサービスという位置づけとなっている。Non-BIM user の多くは施工現場ユーザであることから、ConnecT.one では施工現場で要求される積算、各種検査、工程管理、FM などの様々な工程やシーンでの BIM モデルを活用したサービスを提供する。本稿文執筆時点では、様々な数量の拾い出しをサポートする「ConnecT.one QS」、検査業務の効率化をサポートする「ConnecT.one Inspection」があり、ConnecT.one を利用することで施工現場でも BIM の効果を実感できるよう開発・機能改善を進めている。

では、クラウド環境の WEB アプリケーションで CDE の BIM モデルを扱うことによって、具体的にどのように BIM モデルを施工業務に活かせるのか、どのように業務効率化につながるのか。次章から ConnecT.one を含む Autodesk Forge の開発事例や、今まで培ってきた BIM の知見を元に、施工現場での各工程やシーンで BIM モデルを活用するための手法を紹介する。

2. 集計で BIM を使う

この章では BIM モデルを活用した集計方法を紹介する。

2. 1 Forge Viewer＋Three.js

Forge Viewer 上で Three.js ライブラリ（簡易に3D 描画を実現できる JavaScript ライブラリ）を用いて Mesh を作成し、作成した Mesh 情報、Forge Viewer 上の部材情報、プロパティ値を利用することで工区内の部材の総数・総重量・体積の算出を行うことができる。この手法は、当社の「Connect.one QS」にて実際に活用している。

（1）マークアップを利用した工区作図と工区内部材の集計

まずは Forge Viewer 上で建物を真上からの視点に固定し、作成したい工区の上端の階層（レベル）を指定する。この時、階層情報は BIM モデルのデータである「AEC Model Data」から取得している。

次にマークアップ（直線・矩形）を使用して作成したい工区を真上からの視点に固定された Forge Viewer 内に直接記述する。マークアップの描画にはオートデスクが提供している「Autodesk.Viewing.MarkupsCore」を利用している。

記述後、各工区の高さ（上端と下端をレベルで指定）を指定することで、指定した工区範囲の Mesh（キューブ）が Three.jsを利用して Forge Viewer 上に作成される。これらのキューブで工区を表現している。

作成した工区一覧から集計したい「工区」を選択し、次に集計対象の「部材のカテゴリ」を選択する。全ての部材情報から指定したカテゴリと詳細検索の条件に基づいて一致する部材の dbId（Forge Viewer 内でオブジェクトを識別するための識別子）を抽出し、各部材に対して体積計算を行う。

体積計算処理には BIM プロパティの容積を利用する方法もあるが、ここでは使用していない。工区内に部材の一部分のみが含まれている場合でも該当範囲のみを算出対象とするには Autodesk Forge の処理だけでは実現できないため、Three.js を用いて各部材を構成する Mesh の頂点情報を取り出し、幾何演算にて体積を算出している。この手法を用いて表面積も算出可能である。

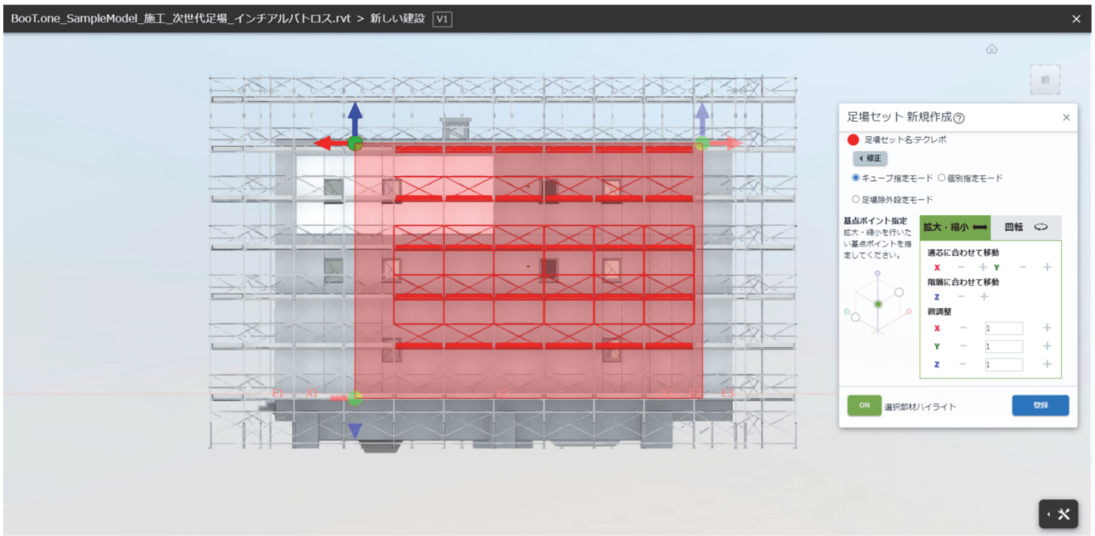

図3 キューブを用いた体積計算

(2) 作図した領域内のオブジェクトの集計

Forge Viewer 上の任意のオブジェクトをクリックし、クリック位置に Three.js ライブラリを利用して XYZ 座標矢印付きの Mesh(キューブ)を作成する。XYZ 座標矢印をドラッグすることで、Mesh を XYZ 方向に自由に拡大・縮小することができる。この機能は Autodesk Forge の拡張機能としては提供されておらず当社の独自実装である。積算したい足場を内包するように Mesh を拡大・縮小して集計対象範囲を確定する。

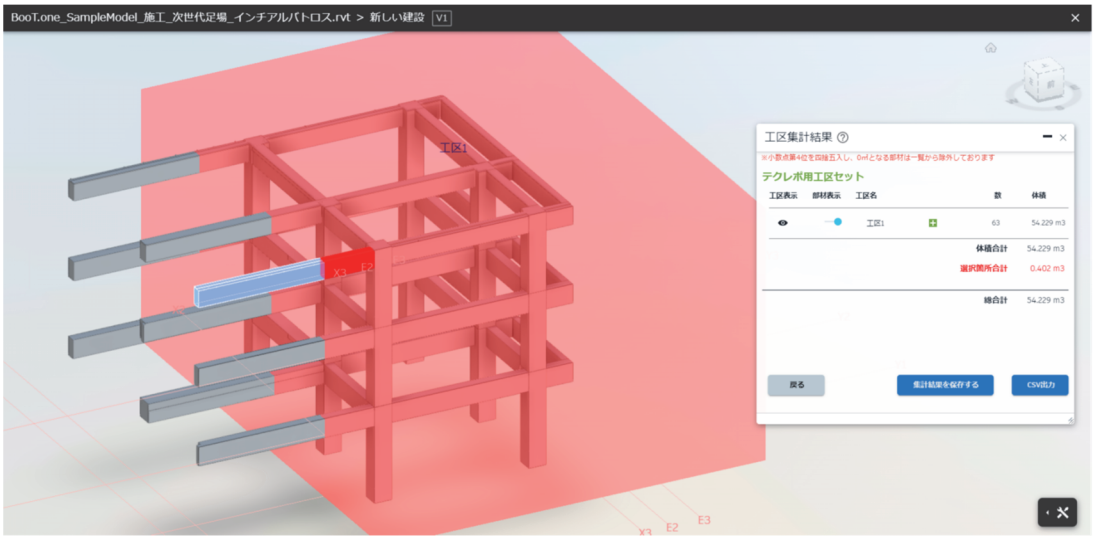

図4 XYZ 座標矢印を利用した集計対象範囲の拡大縮小

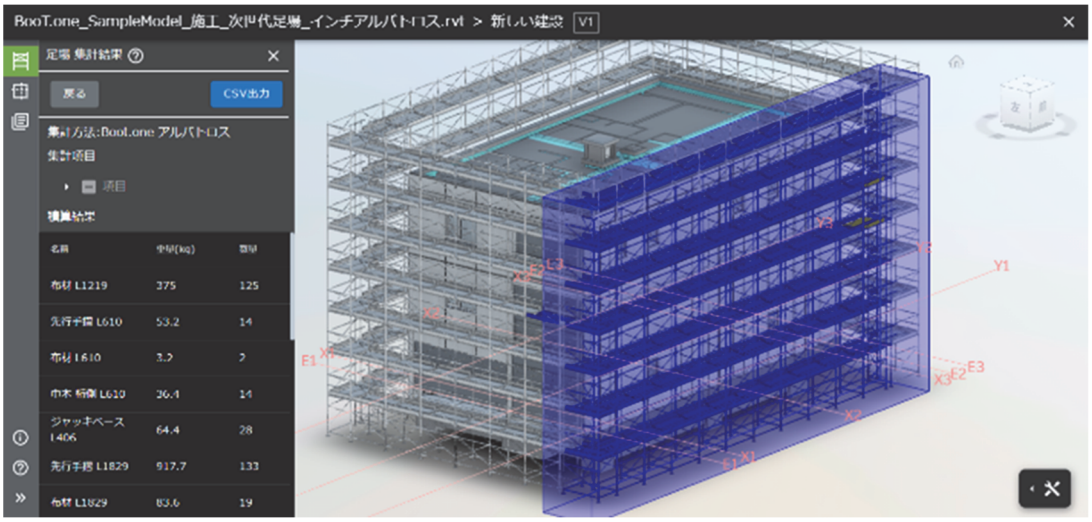

図5 キューブを利用した領域内オブジェクトの集計

集計対象範囲が確定した後、集計対象範囲内にある部材の dbId を抽出し、部材のプロパティ情報から足場種類の抽出条件と一致する部材を抽出することで集計対象部材を確定させ、集計対象部材の各プロパティから集計に必要な情報（品番・名称・重量）を取得することができる。取得した各データを品番毎にグルーピングして、各部材の「品番・名称・合計数量・合計重量」を得ることができる。

以上の対応で必要な範囲から足場の数量・重量を高速に集計・確認することが可能となる。集計結果を様々なフォーマットで出力可能にすることで、他サービスとの連携も可能となる。

2．2 マークアップを利用した壁面積の集計

マークアップ機能（「Autodesk.Viewing.MarkupsCore」）を利用して、Forge Viewer 標準機能である面積計算機能と同等の機能を実現した事例を紹介する。マークアップを使用することにより、面積計算結果を一時的なものではなく、データとして永続化することが可能となる。

（1）マークアップの描画

Forge Viewer に壁が表現された立面図モデルを読み込む。Forge Viewer 上で面積を算出したい領域をマークアップの多角形機能（CreatePolyline）を利用して描画する。

（2）面積の算出

各マークアップから、多角形の各 XY を取得する。各 XY をループ処理して面積を算出する。計算式は、(1/2)｜Σ[Xi Yi+1 − Yi Xi+1] となる。

基本機能としては以上であるが、面積をマークアップと紐づけ永続化することにより、マークアップ ID をキーとしたデータの保持が可能となる。

各マークアップに施工予定日や施工完了日を紐づけてグラフィカルに進捗管理を行う等、様々な用途の基点とできる。水平面(床や天井)の場合、高さを入力すれば体積も算出可能である。

2．3　Design Automation を利用した集計

Autodesk Forge にはクラウド上にあるモデルに対して、クラウド上で AutoCAD や Revit のアドインを実行する Design Automation API がある。WEB アプリケーションから入力パラメータと実行対象のモデルを指定し、実行結果のモデルやファイルをクラウド上に出力するという流れが基本的な実装方法になる。切り欠きや干渉部を除く必要があるシーンでの型枠面積の算出など Autodesk Forge や WEB 技術だけでは難易度の高い集計処理の場合はこの手法が有効だろう。次に Design Automation API を利用したアプローチ方法を紹介する。

（1）集計表での算出

あらかじめモデルに集計表を配置した 2D シートをパブリッシュしていれば、Revit アドインの実行によりモデルが更新された際に集計表を配置した 2D シートにも変更が反映される。実行結果の Revit モデルの出力先を Autodesk Docs もしくは Forge バケットにすると、施工担当者は Revit を利用することなく Autodesk Docs もしくは Forge Viewer の 2D シートで集計結果を確認することが可能になる。しかし 2D シートに配置していない集計表は Autodesk Docs や Forge Viewer で閲覧できないので注意が必要である。※Forge バケットとはオートデスクが提供する Autodesk Forge 専用のクラウドストレージである。

（2）Revit API での集計

Revit アドインは Revit API を使用して VB.NET、C#、C++/CLI を含む .NET 準拠言語で実装する。Revit アドインで集計した結果を JSON や CSV などの形式でクラウド上に出力することにより、WEB アプリケーション側で集計結果を受け取ることが可能になる。Autodesk Forge では集計表の値を取得することができないが Revit API では可能であるため、WEB アプリケーション側で集計表の値を用いたい場合はこの手法を取ることになるだろう。

現在、施工現場ではまだまだ手拾いも多く、BIM を活用した集計も、あらかじめ Revit テンプレートに集計表を設定する、Revit モデル作成・修正と同時に Revit アドインで集計するなど、Revit を利用した方法が主流である。しかし今後は集計対象や利用シーンなどによって今回紹介したクラウドを活かした集計方法を取り入れることにより、施工現場でも BIM を活用した業務効率化の実現が期待される。

3．検査で使う

この章では BIM モデル活用により検査業務の効率化を行う方法を紹介する。

3．1　Forge Viewer＋BIM プロパティ

2D シート上のオブジェクトに検査結果、指摘事項、写真などを登録することができる当社の WEB サービスである「Connect.one Inspection」で実際に活用している手法である。

（1）BIM プロパティを利用した種別判定

「Connect.one Inspection」では検査対象の部材種類を BIM プロパティで指定することができる。また、検査対象の部材種類ごとに検査のチェックリストを登録することができ、2D シート上のオブジェクトのクリック時に該当オブジェクトの BIM プロパティ情報を取得し、検査対象部材種類の条件に合ったチェックリストを表示している。例

えば、『BIMプロパティの「構造用途」が「大梁」もしくは「小梁」であれば部材種類を「梁」とする』と定義すると、検査時に梁のチェックシートを表示することができる。

(2) BIMプロパティから参考情報の取得

指定したBIMプロパティを検査登録時に表示することができる。例えば、配筋の梁検査であれば検査対象の梁オブジェクトの BIM プロパティに設定した鉄筋種類や主筋径、本数などの配筋情報を表示することができ、それを参考にしながら検査することが可能になる。

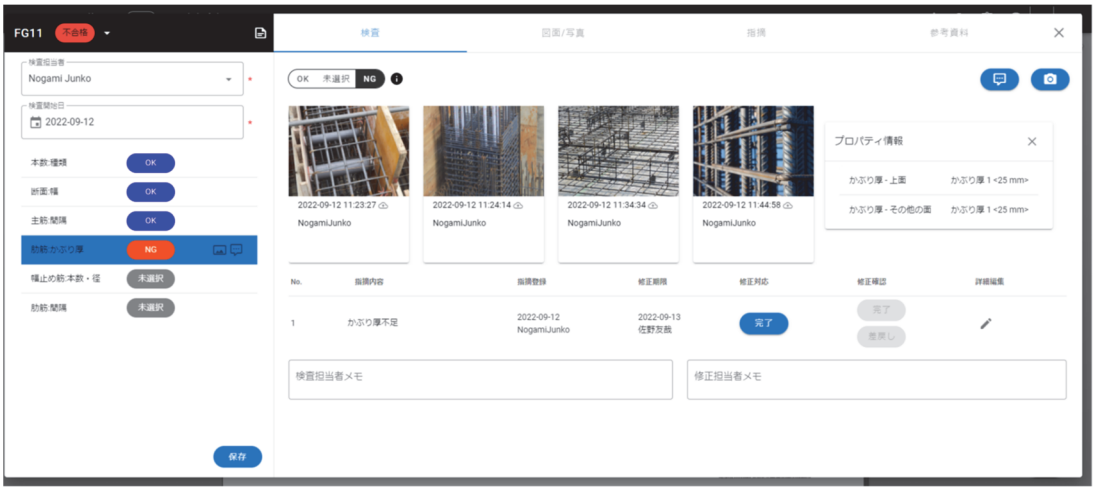

図6 部材種類ごとのチェックリストと BIM プロパティを表示

(3) 2D シートを利用した検査状況の見える化

オブジェクト毎に検査結果を登録する為、検査状況を Forge Viewer の 2D シート上のオブジェクトの色塗りで確認できる。「Connect.one Inspection」は 2D シートに対応しているがもちろん 3D ビューでも色塗りで検査状況を表現する機能は実装可能である。

(4) BIM モデル更新時のデータ引継ぎ

オブジェクト毎の検査データは ExternalId、つまり Revit の GUID で管理している。その為、BIM モデルを修正した場合も既に登録した検査結果を引き継ぐことができる。ただし Revit でオブジェクトを削除し再度同じオブジェクトを追加した場合は ExternalId が異なるため検査結果を引き継ぐことができないので注意が必要である。

施工現場にとっても BIM の最大の恩恵は情報の一元化だろう。今回紹介した手法を活用すると、正しいモデルの作成や適切な BIM プロパティの設定により、BIM プロパティを活用した検査項目のリストアップやチェックシートの生成、クラウドによる検査結果や指摘事項の共有が可能となり、施工担当者間の情報伝達ミスを防ぎ検査業務の効率化を図ることができる。

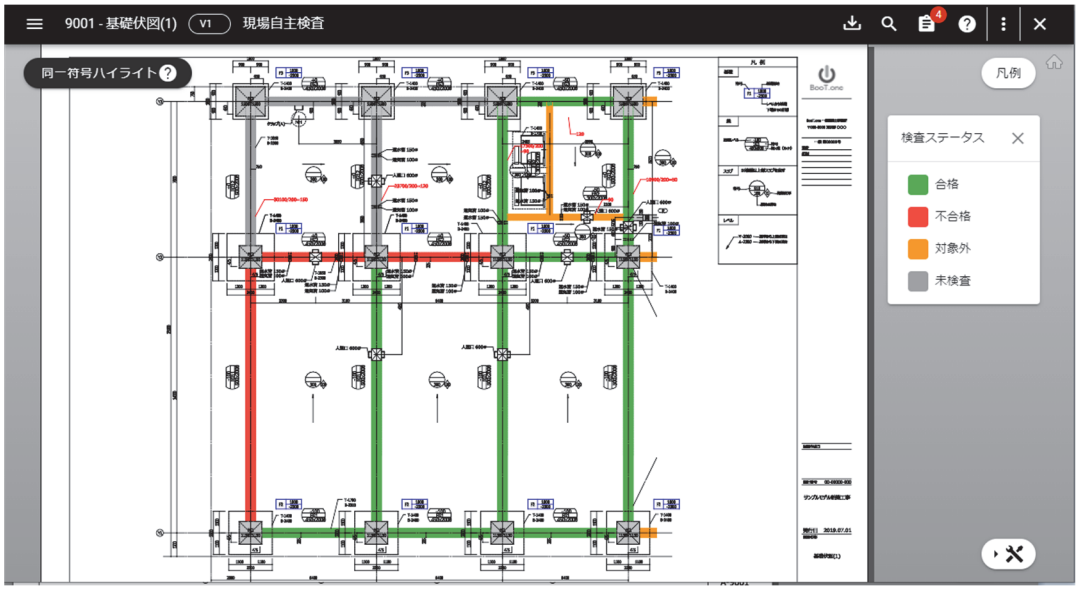

図7 部材の検査状況を視覚的に表現

4. 工程管理

この章では施工管理の一つである工程管理において BIM モデルを活用した事例を紹介する。

4. 1 マークアップを利用した取付順序・実績の見える化

この事例は、五洋建設株式会社様と一緒に取り組んだシステム【PiCOMS】の事例である。プレキャスト工事の部材取付順序を2D シートに登録することで、実際にどのように建築されていくのかを3D ビューで【予定・実績】共に確認することが可能となる。

(1) 2D シートにおける各部材の順序付け

登録したい取付予定日を入力後、順序登録したい部材を順番にクリックすることで、部材を着色すると共に順序文字を図面上に描画する(「Autodesk.Viewing.MarkupsCore」)。順序文字を図面上に描画することで、各日付における取付順序の見える化を行っている。各データは部材の ExternalId に紐づけて登録を行う。

(2) 3D 表示による予定の見える化

(1)で登録した【ExternalId・順序・取付予定日】を取得する。取付予定日ごとにグルーピングを行い、日付ごとの取付順序データを作成。画面上にタイムスライダーを用意し、建物の取付予定を自動再生する機能を実装している。この機能により、いつ・どこの取付作業が予定されているかを、4Dビューで動画として確認することが可能となる。

(3) 2D シートにおける実績登録

2D シート上で実際に施工した各工程の完了日を入力し、部材をクリックすることで登録する。

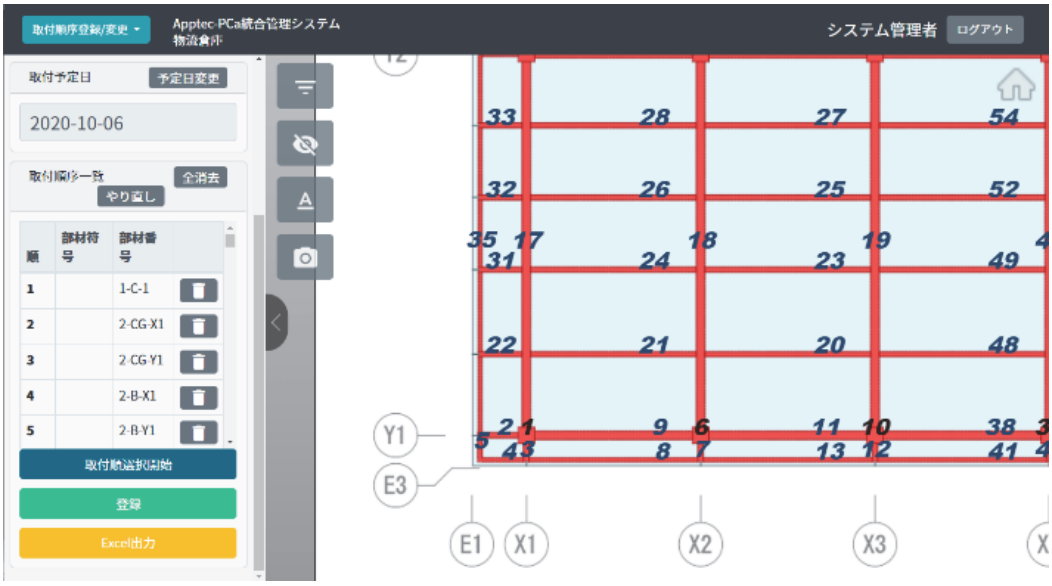

図8 部材の取付順序表示

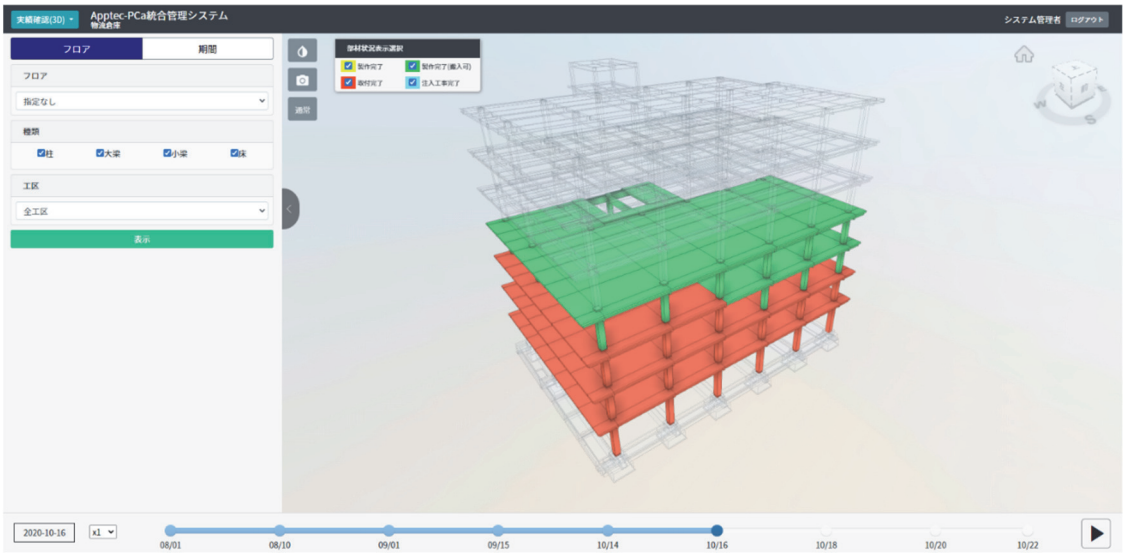

図9 3D 表示と時系列を組み合わせた4D ビュー表示

(4) 3D 表示による実績の見える化

(3)で登録した【ExternalId・完了日・グラウト注入日等】を取得する。これらの日付を用いて各日毎に部材のステータスを計算することより、(2)と同様にタイムスライダーを利用した実績の時系列再生が可能になる。再生時には工程ごとの色で部材を着色することで、選択日付時点の施工状況を一目で確認することができ、いつ・どこ

まで建物が建造されたかを、4D ビューとしてみることが可能となる。

このように各部材の取付順序を管理し、時系列順に見える化をすることで、厳格な工程管理を行うことが可能になった。クラウド環境で構築していることから、タブレット・スマートフォン・現場事務所のモニター等、様々なデバイスで(2)や(4)を見ることができるため、施工現場で進捗状況をリアルタイムに確認したり、現場事務所の定例会議で予定や進捗確認に利用したりすることができる。

工程管理は施工管理の一つであり、建設施工管理者や現場所長にとって重要な仕事の一つである。また、現場作業員は前工程や担当業務の進捗状況によって作業計画の変更が発生しうるため、度々現場所長への確認を行っている。その為、クラウド上の一つのモデルで情報を一元管理し Viewer であらゆる施工業務の進捗状況が確認できることは、効率的な施工管理を可能にすると期待できる。

5. 電波の悪い状況で使用

この章では電波状況の悪い場所での活用事例を紹介する。

5. 1 Service Worker の使用

Service Worker の仕組みを利用してオフライン状況で Forge Viewer を読込み、検査を行うことができるようにした事例を紹介する。

(1) Forge Viewer のオフライン対応

Forge Viewer のオフライン対応には Service Worker を利用する。Service Worker は URL を指定することで、HTTP リクエストのレスポンスをキャッシュすることが可能である。そのため Forge Viewer に関連する JavaScript, CSS, モデルをキャッシュ化することで、オフラインでもモデルを表示することができる。Leaflet Loader で表示されている PDF をオフライン化する場合には追加の対応が必要となり、Viewer 起動オプションに「offline: true」を設定することで正常動作させることが可能となる。

(2) 検査アクションのオフライン対応

最初にオフライン検査を行うユーザ以外は排他制御により操作を制限する。通常モード時は常時ネットワークを通して「検査内容・写真」をリアルタイムに保存するが、オフラインモード時は Indexed DB に保存する。またオフライン検査に必要なマスターデータ等は Service Worker の機能を利用して API のレスポンスをキャッシュ化することで再現している。ネットワーク環境に復帰した際に、初めてネットワーク上に検査データを反映する。検査データが正常に反映された後、排他制御の設定を解除する。

(3) iOS Safari のメモリ開放への対応

iOS Safari は定期的にメモリが解放されるため、各タブの表示情報が初期化される。オフライン環境で長期的な検査をしている場合は、メモリ開放に対応する必要がある。自動的なメモリ開放に対応するため Indexed DB のキャッシュが存在する場合は、タブ復帰時に再度全てのデータを読込、解放前の状態を再現する対応を行っている。

これらの対応により、電波の悪い状況でも長期間の検査に耐えうるシステムを実現している。しかしオフライン対応には様々なデバイス上の制約があるため、保持するデータ量は最低限にする等、事前の設

計が重要になる。（多くの写真データをオフラインで保持し続ける等は推奨できない）

地下や山間部での作業や電波が悪い状況での作業が発生する施工業務ではオフライン対応は必須である。しかし現場事務所での作業など電波があることを前提としても良い作業もあるのでクラウドでの BIM モデル活用を検討する際は、利用シーンの電波状況の考慮が必要である。

6. おわりに～ファイルからデータへ

現在、BIM アプリケーションや CAD アプリケーションによって固有のファイル形式があり、他のアプリケーションから独立している。他のアプリケーションで操作する場合は、特定のアプリケーションで別形式のファイルに変換する、専用の API で連携するなどの必要がある。また、業務ごとに BIM の目的や必要なデータが異なるため、他業務で作成した BIM モデルをそのまま使用することができない場合がある。これらが施工現場での BIM の普及の妨げになっているのではないだろうか。

今回、クラウドでの BIM モデル活用のための技術を紹介してきたが、既存の施工プロセスの一部を、「BIM アプリケーションの利用」に置き換えるだけでは単なるデジタイゼーション、デジタライゼーションに過ぎない。私たちが目指しているのはデジタルトランスフォーメーションであり、経済産業省がデジタルガバナンス・コード 2.0（旧 DX 推進ガイドライン）で挙げている、「企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること。」である。

オートデスクから新たに登場した Forge Data では、従来の Autodesk Forge で提供されているツール開発プラットフォームではなく「データ プラットフォーム」が提供されている。「データ プラットフォーム」では、ファイルの概念がなく、アプリケーションから独立した、標準化されたデータ形式である粒状データを扱う。粒状データはクラウドのデータベースに格納されるので迅速かつ容易なデータアクセスが可能となる。

例えば Autodesk Docs にアップロードした Revit モデルを粒状データに変換していれば、Inventor で作業する際は元のファイル形式を意識することなくデータを扱うことができるのである。本稿執筆時では Revit2023 で作成したモデルの 3D ビューのみ粒状データへの変換が可能、Inventor2023 と Power Automate のみ粒状データの読み込みが可能であるが、今後はさらに対応範囲が増えるとのことである。

Forge Data はファイルからデータへのデジタルトランスフォーメーションである。従来の CAD や BIM ではファイルという単位での情報共有が一般的で、ファイル単位で受け渡しや管理を行っていた。しかしこの Forge Data の登場により、ファイルを意識することなく個々のデータに直接アクセスして作業を行うことができるため、業務や設備ごとに BIM モデルの作成や修正、統合を行う手間が解消され、施工現場での BIM モデル活用の浸透および新たな施工プロセスが実現されることが期待できる。

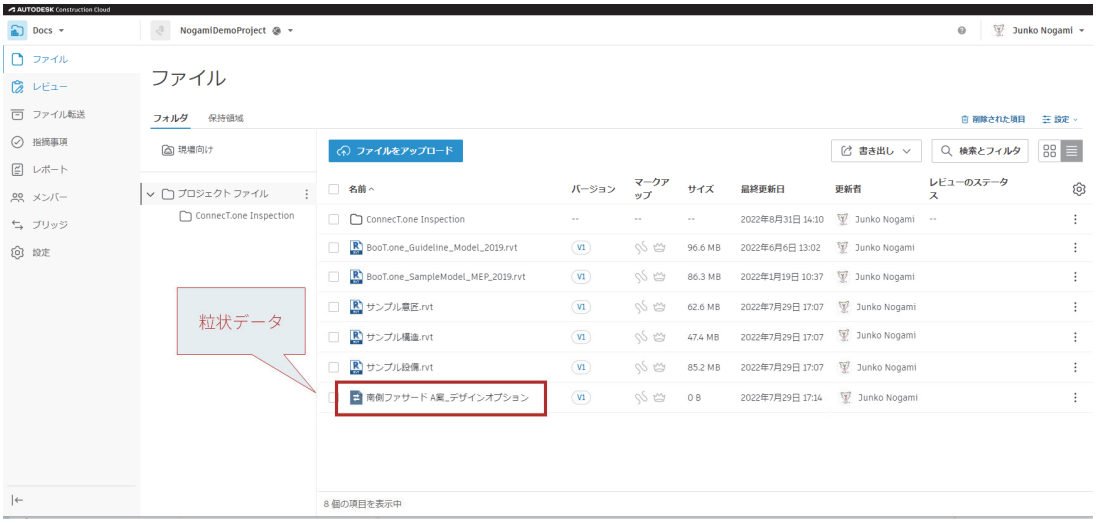

図10 粒状データは拡張子がない

＜参考文献＞

1) Autodesk Construction Cloud 公式サイト
https://construction.autodesk.co.jp/
2) Autodesk Docs 公式ヘルプサイト
https://help.autodesk.com/view/DOCS/JPN/
3) Autodesk Forge 公式ドキュメント
https://forge.autodesk.com/developer/documentation
4) Technology Perspective from Japan
5) https://adndevblog.typepad.com/technology_perspective/
6) 「デジタルガバナンス・コード 2.0」(2022 年 9月13日改訂 経済産業省)
https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/investment/dgc/dgc2.pdf