

BIM を活用した建築工事の進捗管理

Development of a BIM-Based Construction Work Progress Management System

吉田 知洋 中村 隆寛
杉下 紗恵子 佐藤 昭一郎¹⁾

要 約

BIM (Building Information Modeling) は、建築生産の生産性向上に大きく寄与することへの期待から、現在設計・施工・維持管理の各フェーズにおいて多くのプロジェクトで適用されている。当社においては、施工段階において BIM を活用し、現場管理業務を効率化する取組みが活発化している。この取組みを支援すべく、施工現場における施工計画並びに管理業務の効率化を目的に BIM を活用した支援ツールを開発した。施工計画段階では、BIM による施工状況の可視化が重要と考え、工程表と BIM を連動させることで、可視化にかかる手間を効率化することに取組んだ。工事着工後の施工管理段階では、進捗管理に着目し、最新の施工状況を BIM 上で可視化するツールを開発した。本報では、これらのツールの概要を示すとともに、実工事における PCa 工事と内装工事の進捗管理に適用した事例について報告する。

目 次

- I. はじめに
- II. 施工 BIM の活用事例
- III. BIM を活用した施工計画支援システム
- IV. BIM を活用した進捗管理システム
- V. 進捗管理システムの適用事例
- VI. おわりに

I. はじめに

施工段階において BIM を活用した生産性向上、現場管理業務の効率化の取組み（以下、施工 BIM）が活発化している。この施工 BIM の活用目的は、現場ごとに多岐に渡り、設備工事会社や鉄骨ファブリケータなど工種間の製作図の調整、発注者や設計者との合意形成、施工図作成、数量積算などがあげられ、中でも、BIM による施工計画の可視化が多く現場で取組まれている。施工計画を BIM で可視化することの効果は、工事の着手前に、工事を担当する専門工事会社と施工状況のイメージを共有しやすくなり、問題点の早期把握と積極的な改善提案を通じ、工程遅延リスクを低減する効果が期待できる点にある。この取組みを生産性向上につなげるためには、工事着工前に効率的に施工計画を可視化することに加え、工事着手後も計画した工程どおりに作業が進捗しているかを管理することが重要である。本報では、現場管理業務の効率化を目的に開発した BIM を活用した施工計画支援システムおよび進捗管理システムの概要と、工事着手後の進捗管理への適用事例について述べる。

II. 施工 BIM の活用事例

1. 施工 BIM の展開状況

当社の施工部門では、現在、全現場での適用に向け展開中である。この施工 BIM におけるモデル作成のフローは、着工前に設計図にもとづく基本モデルと、現場側で活用目的に応じて必要な情報を追加した目的別のモデルを作成する 2 段階のステップをとっている (Fig.1)。さらに、この基本モデルを海外のモデリング会社を活用した体制で作成することで、工事着手前の早い段階で現場に提供することが可能となり、円滑な現場での活用に着手できるようにしている。各現場では、複数の目的に BIM が活用されており、目的別のモデルも複数作成されている。Fig.2 は当社の 2016 年度の施工 BIM 活用現場における活用目的別の割合を示したものである。これに示すとおり、当社では BIM を用いた施工計画（以下、施工計画 BIM）が最も多くの現場で取組まれており、次に、発注者・設計者

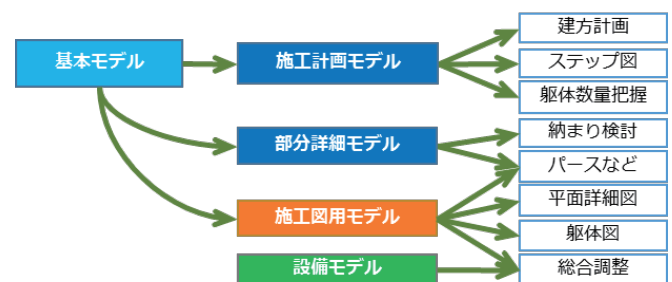


Fig.1 施工段階での BIM モデル活用フロー
(Modeling Flow of Construction BIM)

1) 建築管理本部 Building Consturction Management Division

キーワード: BIM, 進捗管理, 施工計画, プレキャスト工事, 内装工事, IC タグ

Keywords: building information modeling, work progress management, construction planning, precast concrete work, interior finishing work, IC tag

との合意形成で活用されている。そのほか、部分的な納まり検討、建築-設備間の総合調整、BIM からの施工図作成、数量積算など多様な取組みも実践されており、着実に施工 BIM が現場業務に定着しつつある。

2. 施工計画 BIM の活用事例

Fig.3 は、大規模超短工期の生産施設における施工 BIM の活用事例である。本事例では、①施工方針、②工程、③詳細手順の順に各検討時に BIM が活用され、施工計画の内容が詳細になるのに応じて作成した BIM モデルも詳細な表現となっている。初期の検討段階に当たる①施工方針の検討では、クレーン機種を選定や建方工区の決定が検討事項であり、合理的かつ調達可能なクレーン台数・性能にもとづく機種を選定を、BIM モデル上で実際にクレーンのモデルを配置することで決定した。また、掘削土量の把握や建方工区単位の部材ピース数を BIM モデルから集計することで、最適な工区割を迅速に検討できた。①施工方針の決定後は、②工程の検討として、1日単位の施工状況を BIM モデルとして作成することで計画した。本事例は、複数工区を同時施工する工程であったため、クレーンなどの配置計画に加え、各工区間の動線およびヤード配置をモデルとして作成することで検討した。その後、③詳細手順の検討の中で、個々の工程に対し、仮設材や作業員などをモデルに加えることで作業手順を可視化し、安全面での不備がないかの検討に活用した。

こうした施工計画 BIM の実施に当たっては、各種仮設計画をいかに早くモデル化し、検討する時間を確保できるかが重要である。そのため、より簡易に施工計画のモデル作成が可能な仮設材のライブラリを整備した。作成したライブラリに含まれる仮設材のモデルは、単に絵として描くだけでなく、BIM モデル内で各種の検討ができる機能を組み込んでおり、例えば、クレーンについては揚重姿勢に応じた定格荷重をリアルタイムに表示することで、クレーンの選定や配置計画の効率化に寄与している (Fig.4)。

それぞれの検討段階では、作成した施工計画モデルを現場事務所、専門工事会社と共有し確認することが生産性向上に有効であった。例えば、施工検討会時に表示することで手順の改善を図る意見が従来に比べ多く出された点や、作成したステップを朝礼看板などに掲示 (Photo 1) することで、日々の危険予知活動に活用するだけでなく、結果的に、翌日の段取りが良くなり工程の前倒しが可能となったことがあげられる。このように、施工 BIM を上手に活用した現場は、BIM のメリットを理解し、現場が主導して活用目的に応じたモデル作成を行っている。

Ⅲ. BIM を活用した施工計画支援システム

1. BIM による施工状況の可視化

施工計画における BIM 活用の目的は、「施工計画の PDCA を早く、正確に回す」ことで生産性を向上させることにある。実際の現場では、着工前段階に設計図ベースの基本モデルを作成し、これに構台や足場など仮設計画を追加した施工計画モデルとすることで計画を進めている。この施工計画モデル上で、特定の日時の施工状況を表現したものが施工ステップ図である。現状、この施工ステップ図の作成には、BIM ツールのレイヤー機能が利用されている。その方法は、①工区など施工範囲ごとのレイヤーの作成、②各施工範囲に含まれる部材を該当するレイヤーへ配置、③作成した施工範囲ごとの

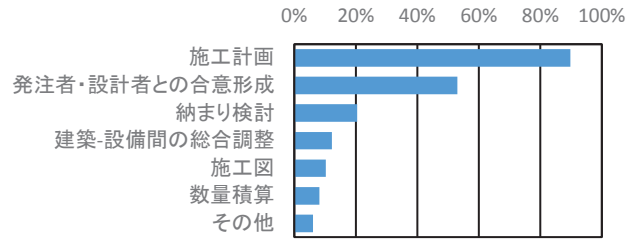


Fig.2 施工 BIM 実績における活用目的の割合
(Ratio of Purposes for Utilization in Construction BIM)

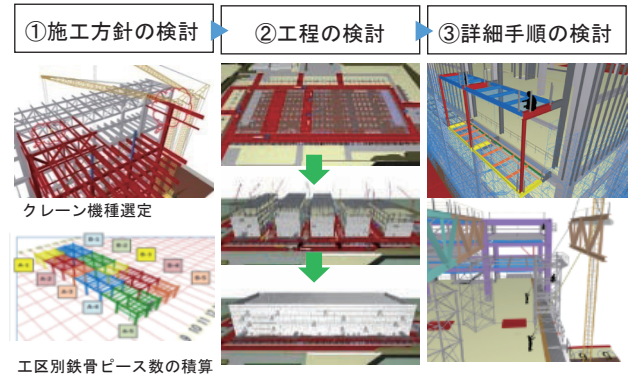


Fig.3 施工計画 BIM の活用事例
(Example of BIM Based Construction Planning)

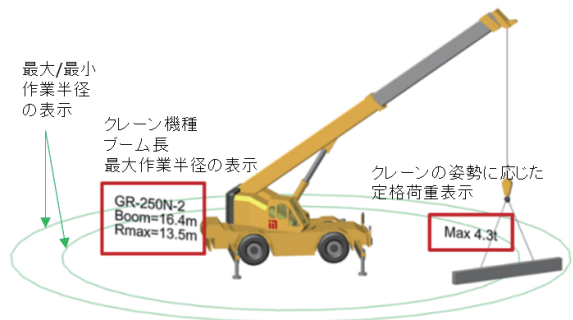


Fig.4 仮設材ライブラリの例 (クレーンオブジェクト)
(Parametric Crane Object)



Photo 1 朝礼看板への施工ステップの掲示
(Example of Construction BIM in Construction Site)

レイヤーの表示・非表示の組合せによりある時点の施工状況を表現、の順で作成する。この組合せを複数作成することで工程など一連の作業の流れを表現できる。この方法のメリットは、BIM ツールの持つネイティブ機能のみで作成可能なため、BIM ツールが使えれば誰

でも作成可能な点である。一方、課題として以下があげられる。

- ①作成するステップ数の増加とともに使用するレイヤー数も増加し、結果として工程や手順の変更にも手間がかかる。
- ②決められた時点の施工状況を作成する形をとるため、任意日時を表示に対応できない。

2. 工程表ツールの開発

上記の課題に対し、BIMによる施工ステップ図作成を効率化することを目的に、支援ツールを開発した。本ツールは、BIMツール上で工程表を作成し、これに基づき施工ステップ図を自動描画するものである (Fig.5)。本ツールで作成する工程表は、バーチャート形式の工程表であり、バーチャートとBIMモデルの部材を関連付けることで、従来の「②部材を該当するレイヤーへ配置する作業」を代替している。施工ステップ図の作成は、工程表オブジェクト内で特定の日時を示す縦のライン (注目日ライン) を設け、このラインとバーチャート内の工程の位置関係から表示するか否かを判断することで自動作図している。この注目日ラインを複数作成することで、一連の工程の表現が可能である。また、従来の方法では、クレーンの配置を表現する際に、設置する位置ごとにクレーンのモデルを配置する必要があった。そのため、計画した工程において使用するクレーンの延べ使用台数を集計する際に、モデルに配置されたクレーンの数と一致せず手間がかかっていたが、本ツールでは使用するクレーンの機種・配置・姿勢のパラメータを注目日ラインごとに保存する形式とすることで、計画した工程の評価に必要な全期間の使用台数を機種別に集計することを可能とした。

従来のレイヤーを用いた方法との手間を比較 (274工程, 35ステップの作成時間) したところ、本ツールの利用により4割の作成時間低減が可能であることを確認した。また、工程表オブジェクトを変更することで施工ステップ図も自動更新されるため、計画変更時の手間の低減が期待できる。例えば、施工計画の初期段階では複数の計画案の比較が求められるが、本ツールを用いることで作成した工程表オブジェクトを複製し、複製した工程表オブジェクトを使用して、工程の順序や期間を変更した場合を計算することで、代替案を表現することができるため、短時間で多くの代替案作成が可能である。

IV. BIMを活用した進捗管理システム

1. 現場における進捗管理の現状と課題

工程表ツールは、工事着手前の施工計画段階で利用し、工程遅延リスクの低減を図るものである。この取組みを更なる生産性向上につなげるためには、工事着手後に、計画した工程どおりに作業が進捗しているかを管理することが重要である。

現場における進捗管理は、各職種によりさまざまな形式で管理されている。例えば、掘削工事では、搬出した累計土量を折れ線グラフ化して表示するが、集合住宅の内装工事においては、住戸別にタクト工程を示した表を作成し、これに色を塗って管理されることが多い。これらは視覚的にわかりやすく進捗を表現できる点、一元管理することで最新状況を管理できる点が進捗管理上のメリットと言える。これらは現状、紙ベースで実施されていることが多く、以下が課題である。

- ・最新の施工状況を手書きで反映する必要があり、手間がかかる。
- ・PCa 工事や鉄骨工事における部材製作など、現場外で実施され

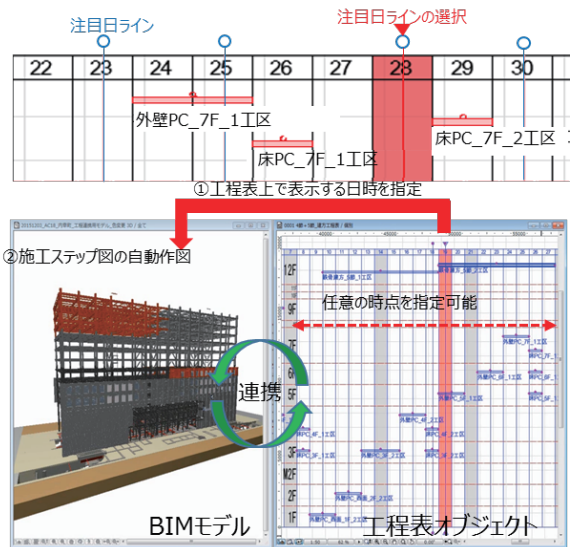


Fig.5 工程表ツール

(Overview of Developed Gantt Chart Tool)

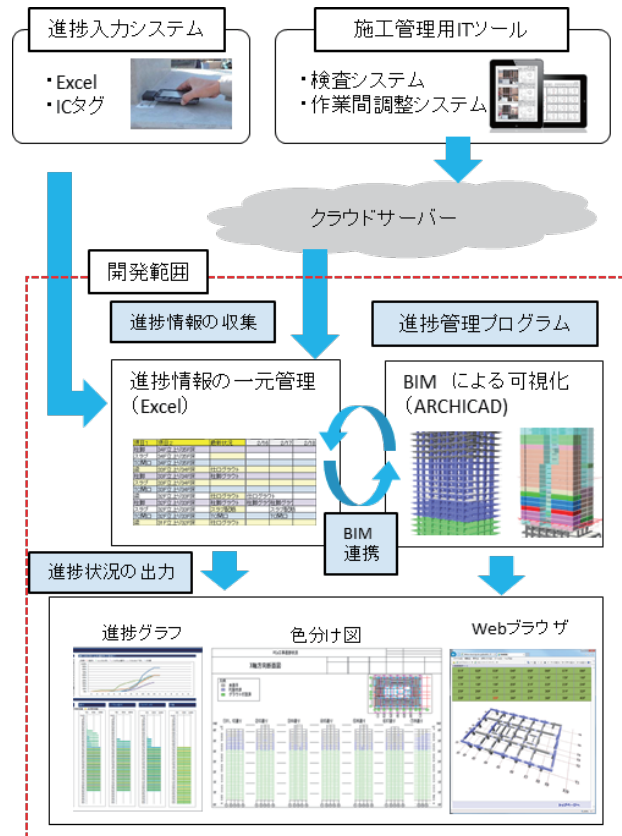


Fig.6 進捗管理システム

(Overview of Construction Progress Management System)

- る作業の進捗情報を集めることが困難である。
- ・紙ベースのため、掲示されている場所に行かないと最新の進捗状況を知ることができない。

これらの課題に対し、①作業の進捗に関する情報 (以下、進捗情報) を収集する手間の低減および②最新の施工状況をどこからでも確認できることを目的に、進捗情報をBIMモデルと紐づけて一元管理するシステム (Fig.6) を開発した。

2. BIM を活用した進捗管理システムの概要

開発したシステムは、BIM モデルと進捗情報を一元管理する Excel データファイルおよび進捗管理プログラムから構成される。BIM モデルは、進捗管理対象の出力、進捗情報に応じた色分け表示とその出力に利用している。1つの BIM モデルに対し、複数の Excel データファイルを連携できるようにしており、これにより、複数の工種の進捗管理を可能としている。また、実際の進捗管理の場面においては、1 部材単位や工区単位など管理する対象が工種により異なることから、1つの Excel データファイルで、柱や梁などの部材単位と、工区単位の2つの階層で進捗情報を管理できるようにした。

進捗管理プログラムは、①進捗情報の収集機能、②Excel データファイルと BIM モデルの連携機能、③BIM モデルの表示コントロールと帳票出力機能を持つ。個々の作業の進捗情報は、Excel や IC タグを活用した入力システムの利用に加え、現場で利用されている施工管理用 IT ツールにて作成されるデータから収集する。本システムでは進捗情報を一旦 Excel データファイルで一元管理することで、こうした多様な入力に対応可能とした。

V. 進捗管理システムの適用事例

1. 適用事例の概要

開発したシステムを、Table 1 に示す 3 事例に適用した。それぞれの適用事例では、対象工事の進捗情報を収集する方法や施工状況の可視化方法を現場の要望に合わせて異なる形で提案した。以下に、各事例の概要について述べる。

2. 事例 1：IC タグを利用した PCa 工事の製作管理

(1) 適用工事の概要

本事例は、PCa 工事における柱・梁部材の製作状況を見える化した事例である。本工事は地上 10 階・地下 1 階の RC 造建物の新設である。本工事では、柱・梁 PCa 部材 1,785 ピース（柱部材 559 ピース、梁部材 1,226 ピース）を対象にその製作状況の見える化を実施した。

現場での建方作業を円滑に進める上では、工場で作成した PCa 部材をタイムリーに搬入する必要がある。PCa 部材は、形状は同じでも組み立てる位置ごとに、その配筋や打ち込み金物などが異なるため、1 ピースごとに固有の番号をつけ、個別管理する必要がある。このため、PCa 部材の製作状況を 1 ピース単位に把握することが施工管理上重要となる。

(2) 進捗状況の入力

PCa 工場における製作作業の進捗情報は、製作対象部材リスト (Excel データファイル) に、コンクリート打設日、製品検査日を入力することとした。本事例では、2 工場にて PCa 部材を製作しており、工場別に現場と共有可能なサーバー上に Excel データファイルを作成した。PCa 工場での製作時には、部材 1 ピースごとに IC タグを取付けており、現場搬入時にこれを読み取ることで、現場での建方工程の進捗情報も併せて収集した (Photo 2)。IC タグを利用することで、読取用携帯端末上で受入時に当該 PCa 部材の検査履歴や部材情報も併せて確認することができ、取付間違いの防止に有効であった。

(3) 進捗状況の可視化

日々更新される製作対象部材リストから、進捗管理システムを用

Table 1 進捗管理システムの適用事例の一覧 (List of Application Cases)

項目	事例1	事例2	事例3
対象工事	PCa工事	PCa工事	内装工事
対象の工程	工場における部材製作 現場建方	工場における部材製作 現場建方・グラウト注入	内装サイクル工程のうち 8工程
進捗入力	Excelによる入力	施工管理用ITツールとの 連携	施工管理用ITツールとの 連携
進捗の可視化	BIMによる可視化	○	○
	レポート出力	○	○
	Webブラウザによる共有	—	○

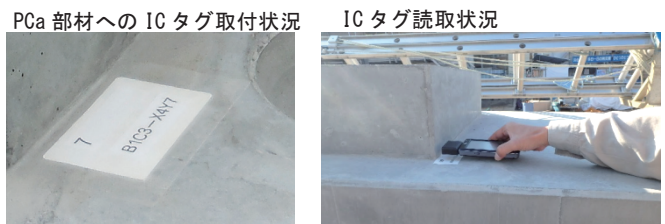


Photo 2 IC タグを利用した受入時の進捗収集状況 (Situation of Collecting Work Progress Using IC-tag)

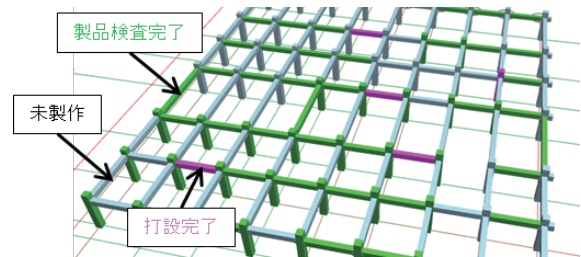


Fig. 7 BIM による進捗状況の可視化 (Example of Visualization of Work Progress Using BIM)

いて BIM モデルへ定期的に反映し、部材 1 ピース単位の製作状況を色分け表示により可視化した (Fig. 7)。本事例では、現場で作成された 1 ピース単位で PCa 部材がモデル化された施工計画用の BIM モデルに対し、部材を識別する固有の ID を追加して利用した。固有の ID を追加したこのモデルは、工場で利用する入力用部材リストの作成にも利用している。適用した現場からは、BIM により可視化することで、1 ピース単位の製作状況を把握しやすい点が高く評価された。また、進捗情報を一元管理したことで、BIM モデルによる色分け表示と合わせ、Excel にて作成した進捗管理レポートも自動出力できる点が業務の効率化に有効であったとの評価を得た。

3. 事例 2：検査システムとの連携による PCa 工事の進捗管理事例

(1) 適用工事の概要

本事例は、超高層住宅の PCa 工事における製造および現場建方工程の進捗管理に適用した事例である。本事例では、柱・梁部材、床版・バルコニー部材を加えた合計 7,397 ピースの PCa 部材の製作管理に適用した。

PCa 工場では、製作する部材の品質を確保すべく部材 1 ピース単位の品質管理記録および検査写真を残す必要がある。この記録作成

および写真の整理に現状多くの手間がかかっている。また、本事例では、4カ所の工場でPCa部材の製作が行われるため、現場だけでなくこれら4工場を管理するPCaメーカーにおいても、各工場の進捗状況を把握することが求められた。そこで、PCa工事における製作時および現場施工時の品質確保と各工程における工程内検査にかかる手間の効率化を図るべく、スマートデバイスを用いた検査支援システム(以下、検タス)をPCa工場および現場に導入した(Fig.8)。この検タスは、スマートデバイスにより配筋写真の撮影や検査結果の入力を行うシステムであり、その結果は、検査帳票の形で出力される。検査はPCa部材1ピースごと製作作業完了時に実施されるため、検査帳票の有無が工場における製作作業の進捗情報を表すこととなる。そこで、この検査帳票の有無を自動的に取得し共有することで進捗状況を可視化することを試みた。

(2) スマートデバイスによる検査システムとの連携

本事例における検タスを利用した検査とBIMによる進捗可視化の関係をFig.9に示す。本事例では、工場製作段階は、部材1ピース単位に、「打設前検査」「打設後検査」「出荷前検査」、現場施工時は、工区単位に「グラウト検査」および「配筋検査」により品質管理を実施した。一方、可視化する進捗情報として、PCa部材が「未製作」、「打設済」、「建方済」の3段階で分類することとし、Fig.9内の●印の検査帳票の有無を契機に各部材の進捗情報を更新することとした。進捗管理プログラムは定期的に帳票が保管されるサーバーへアクセスし、工場製作の進捗情報は、打設後検査の帳票が保管されていればその部材を「打設済」に更新する。現場施工の進捗は、柱梁部材はグラウト検査、床版・バルコニー部材は配筋検査の帳票の有無で工区単位の進捗情報を取得した。検査システムと連携することで、進捗情報を別途入力する作業を省略することができた。

(3) 進捗状況の可視化

システムのアウトプットとして、①BIMモデルで進捗情報に応じた色分け表示、②Webブラウザ上で各階および通り芯ごとの断面による色分け表示、③出来高数量を集計したグラフ表示(Fig.10)の形式で出力した。

使用したBIMモデルは、事例1と同様PCa部材にIDとして部材合番を入力したモデルを利用した。本事例では、BIMにより可視化した結果をWebブラウザを介して閲覧できるよう改良を図った。これにより、BIMツールを持たないPCaメーカーとも最新の状況を共有することができた。適用した現場の担当者からは、製作および現場施工状況を可視化し、共有することで多数のPCa部材の製造が滞りなく進み円滑な現場施工に有効であったとの評価を得た。PCaメーカーにおいても従来は複数の工場の進捗情報を把握することに手間がかかっており、その低減に貢献したと言える。

4. 事例3：住戸内装工事の進捗管理事例

(1) 適用工事の概要

本事例は、超高層住宅における住戸内装工事の施工状況を住戸単位に見える化した事例である。本建物は地上40階建て(住戸部は7階から40階)の超高層RC集合住宅であり、住戸数は304戸である。この住戸の内装工程は、フロア単位のタクト工程を基本としているが、タワークレーンを建物内部に設置する計画であったため、各フロアにおいて、その範囲に関わる住戸は後施工となる計画であった。また、工事用EVによる搬入動線を確保するため、これに取

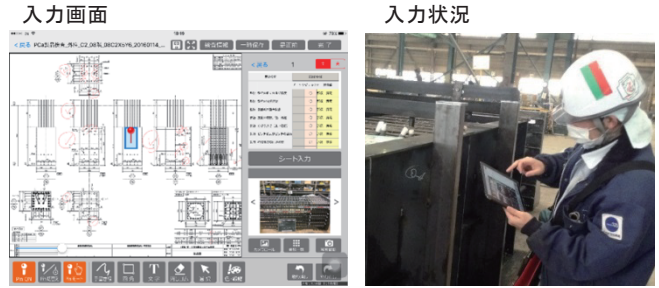


Fig.8 PCa工場での製品検査状況
(Quality Inspection in Precast Factory)

工程	検査システム	BIMによる可視化
配筋・型枠	○打設前検査	未製作
CON打設・脱型	●打設後検査	
ストック	○出荷前検査	打設済
出荷		
PCa建方		取付済
グラウト注入	●グラウト検査	
スラブ配筋	●配筋検査	
床CON打設		

Fig.9 工程内検査とBIMによる可視化の関係
(Executed Flow of Work Progress Visualization)

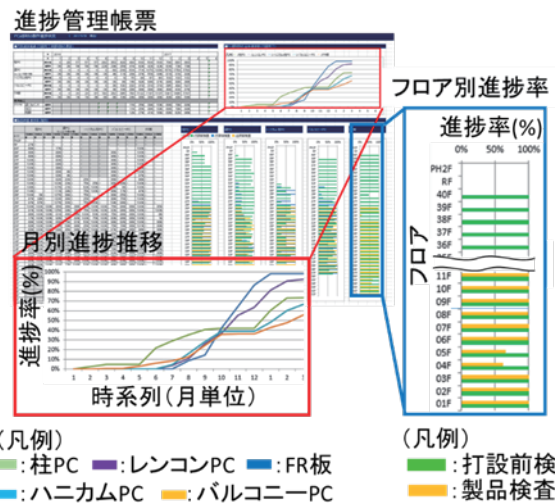


Fig.10 BIMより出力した進捗レポートの例

(Example of Work Progress Report Exported from BIM)

合う住戸も後施工とする計画であった。結果として、同一フロア内において、住戸によって内装工事の着手タイミングが異なり、最盛期には施工フロアが広範囲に拡大するため、その進捗管理にかかる手間が増大することが予想された。そこで、開発した進捗管理システムを適用し、住戸単位の内装工事の進捗情報を可視化することとした。現場社員・職長が住戸別の施工状況をリアルタイムに把握できるようにすることで、工程の遅れの有無や、先行する工程の進捗確認に活用し、手待ちのない施工が期待できる。

(2) 住戸別内装工程の進捗把握

本事例では、作業間連絡調整用システム(以下、e現場管理 Pro)

のデータを用い、進捗情報を自動収集した。e 現場管理 Pro は、作業予定・実績の入力、車輛搬入出管理、現場配置計画を Web 上で行うシステムであり、現場において開催される作業間連絡調整会議を効率化するツールである。可視化する工程は、タクト工程を構成する工程の中から Fig.11 に示す 8 工程を抽出し適用した。抽出した工程の進捗情報は、担当する職長が e 現場管理 Pro 上での作業実績の入力時に完了した住戸番号を入力することとした。システム適用に当たり、その手間に関して担当する職長にヒアリングした結果、大きな負担なく対応可能との意見であった。

(3) 進捗状況の可視化

本事例においても、事例 2 と同様、①BIM モデルでの色分け表示、②Web ブラウザによる表示、③帳票の 3 パターンを出力し、進捗管理に利用した。使用した BIM モデルは、見た目で分かりやすくするため 1 住戸を 1 つのまとまりで表現した専用のモデルを別途作成し、各住戸のモデルには住戸番号を ID として付与した。作成にかかった労力は、住戸タイプの繰り返しが多いこと、簡略化した表現としたことにより、0.5 人日であった。

事例 1, 2 の PCa 工事の進捗可視化では、PCa 工場での製作状況の把握が重要であり、打設済みか否かを把握することが求められた。一方、住戸内装工事の進捗を把握する場合、管理する工程が多く、色分けだけでは一目で把握するのが難しい。そこで、色分けだけでなくこれと連動する形で進捗情報を BIM モデル上でテキスト表示を可能とした (Fig.12)。さらに、抽出した 8 工程中先頭作業の耐火間仕切作業の完了日を起点に、当該工程の予定完了日を計算し、それを超えた住戸については、部屋番号を赤く表示することで警告することとし、問題個所の把握を容易にしている。

こうした改良に加え、運用時には現場内に QR コードを掲示し、これを読み取ることで、Web ブラウザによる表示にアクセス可能とした。これにより、各工程の職長にとって簡単に最新の施工状況を共有できる点が、多数の工種が取り合う内装工事を円滑に進める上で有効であったとの評価を得た。

VI. おわりに

BIM を活用した進捗管理手法として、施工系 IT ツールと連携したシステムを開発し、3 件の現場適用を実施した。適用現場では、いずれも最新の施工状況を関係者間で共有することで、結果として

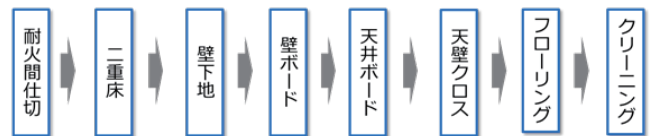


Fig.11 進捗管理した工程

(Work Sequence Visualized by BIM)



Fig.12 BIM による住戸内装工事の進捗表示例

(Example of Work Progress Visualization in BIM Model)

計画どおりの施工を達成できた。この進捗情報を共有する上で、従来紙ベースで実施していた進捗管理を BIM に置き換えることによる効果として以下があげられる。

- ・多数の部材に対する工程ごとの施工状況を把握しやすくなる。
- ・専門工事会社と進捗情報を共有する上で、BIM により多様な形式で最新の施工状況を表現することが可能となる。
- ・現場で活用されている施工管理用 IT ツールとのデータ連携が可能となり、進捗管理の手間を省略できる。

今後は、より多くの工種へ展開し、生産性向上を図る計画である。

参考文献

- 1) 安井好広ほか；建設 IT ガイド 2017，経済調査会，2017.2
- 2) 吉田知洋ほか；BIM を活用した進捗管理手法，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，2017.9，pp.1297-1298.

Development of a BIM-Based Construction Work Progress Management System

Tomohiro Yoshida, Takahiro Nakamura, Saeko Sugishita, and Shoichiro Sato¹⁾

Rising expectations of increasing productivity in construction processes have led to the wide application of BIM in actual construction projects from design through to maintenance. At the construction stage in particular, BIM is being strongly promoted as a means of improving productivity in site management works. This report outlines the assistance tools developed for BIM-based construction planning and progress management and introduces some examples of application. One assistance tool aims at improving the efficiency of the visualization of construction plans by establishing a relation between BIM and Gantt charts, while another is a work progress management tool that enables actual work progress to be visualized.