

建築BIMによる鉄筋の自動配筋・組立と自動配筋検査 鉄筋工事におけるワークフローとデジタルデータの作成・活用

曾根 巨 充

建設分野におけるデジタル化の取り組みが加速している。特に写真整理や情報共有などの ICT 分野では既製品によるサービスが多く採用されてきた。一方、BIMはソフトウェアの採用は始まっているものの当初から言われているような仕事のプロセスの変革までには至っていない。変革に至るにはどのような視点が足りないのか。そこで建築分野における鉄筋工事を題材としてデジタルデータを連携できるシステムとそれを活用するワークフローを立案した。本稿では鉄筋工事における新たなワークフローの概念とそれを実現するために開発をした鉄筋／配筋 BIM システムの概要などを解説し、建築生産プロセスにおいて BIM に取り組む意義をワークフローの重要性の視点から報告する。

キーワード：建築生産プロセス、鉄筋工事、BIM、ICT、元請、専門工事会社、ワークフロー、標準化

1. はじめに

近年、建設産業におけるデジタル化への取り組み(以下、BIM/ICT)が急速に広がりを見せている。土木分野では国土交通省の主導で i-Construction の推進による発注者指定型での工事発注、建築分野では官庁営繕事業における発注者指定型での設計業務の発注などがその代表例といえる。

建築分野では設計事務所や総合建設会社が生産性を向上させる手段として約 15 年前から BIM に取り組み始めた。が、いまだ一部の生産現場に適用されるだけで建築生産プロセスに定着しているとは言い難い¹⁾。国土交通省の調査でも BIM の活用は約半数の企業で止まっており、活用していない理由の第 1 位は「発注者から BIM 活用を求められていないため」、第 2 位が「CAD 等で現状問題なく業務を行うことができているため」だった²⁾。

このような現状を振り返ってみると単に建築生産プロセスに BIM を適用する推進から BIM データの作成・活用に準拠したワークフローへとその視点を転換する時期にあると言える。そのような中で建築分野の鉄筋工事をケーススタディとして新たなワークフローを立案し、BIM/ICT によるデータの作成・活用の再定義やそれらに準拠したシステムの開発を通して実案件での適用を進めてきた。

本稿では建築分野の鉄筋工事を題材として BIM/ICT 時代の新たなワークフローとそれを実現するた

めに開発した鉄筋／配筋 BIM システムの概要について報告する。

2. 建築 BIM の施策と推進の方向性

(1) 政府による施策

BIM の推進が加速した要因のひとつに建築 BIM 推進会議の設置がある。土木分野が中心となっていた国土交通省の BIM/CIM 推進委員会の傘下として 2019 年 6 月に設置された。建築 BIM 推進会議傘下のひとつである建築 BIM 環境整備部会では「建築 BIM の将来像と工程表 社会課題への対応と目指す将来像」(以下、「将来像と工程表」)を 2023 年 3 月に公開し 3 本の柱を示した。具体的には① BIM 確認申請による効率化、② 横断的活用の円滑化による協働の実現、③ FM/PM/BM の高度化・効率化である。この取り組みが今後の基本計画・設計・施工の効率化につながるとしている³⁾。

一方、BIM/ICT の推進や定着には大きく 2 つの視点が必要だ。ひとつは「将来像と工程表」で示された Society 5.0 に向けた準備、もうひとつは現状の建築生産プロセスの課題解決として BIM/ICT を活用する視点である。将来像は理解できるがその前に自分たちが抱えている課題を解決したい。例えば適正工期の確保や設計変更などを含む意志決定の早期化・迅速化、図面間の整合性などである⁴⁾。この課題解決に BIM/ICT を有効に活用するメッセージも推進・定着には

必要不可欠と思われる。

(2) BIM を推進するワークフローの重要性

総合建設会社の多くに BIM/ICT を推進する部門が設置された。推進が始まった当初は社内の推進部門が無いことが進まない要因と言われた時期があった。確かに BIM/ICT の啓発に関しては有効であり、ここ 10 年間で多くの企業において設計段階や施工段階の BIM の採用が始まったのは事実である。しかしながら、取り組みの事例を概観すると BIM による 3次元の可視化が取り組みの中心にある印象だ⁵⁾。

可視化は BIM を活用する重要なポイントのひとつである。しかしそれだけでは実際の生産現場における活用は部分最適となり、いずれ推進は頭打ちになる。これを避けるには立ちふさがる課題を一緒に解決するような推進のアプローチが必要だ。有効な手法のひとつとして業務手順や役割分担を明確にし、建築生産プロセスへ BIM/ICT のデジタルデータを適用させるワークフローへの共感が挙げられる^{a)}。

ロセスは BIM/ICT の時代になっても RC 造が無くならない限り変わらない。

BIM/ICT がどの生産プロセスに注力してきたのかを過去 30 年にわたり概観すると、プロセスの最後に該当する<配筋検査>だった⁶⁾。いわゆる部分最適への適用だ。

生産現場における<配筋・組立>の完成形はすべての作業が完了してからでないと具体的な形にならないため、手間のかかる<配筋検査>の効率化に注力してきたと言えるだろう。構造図に記載されている伏図や断面リスト、特記仕様書だけでは構造設計者すら完成形をイメージすることは容易ではない。そのため昭和時代から工事監理者が完成形を検査し記録することで品質を担保する文化があり今も脈々と続いている。

<配筋・組立>の完成形は『建築工事標準仕様書・



写真—1 生産現場における鉄筋工事の状況

3. 鉄筋工事における BIM/ICT のワークフロー

(1) 鉄筋工事の生産プロセス

鉄筋工事（写真—1）の生産プロセスは図—1に示すように<図面作成>→<鉄筋加工>→<配筋・組立>→<配筋検査>の4つに大きく区分できる。この生産プ

区分		図面作成	鉄筋加工	配筋・組立	配筋検査
管理区分		図面（部材）	図面（部材）		
		絵符（加工ロット）			
設計事務所	設計者	設計図書			配筋検査
総合建設会社	技術者	躯体図 配筋納まり図			自主検査
鉄筋専門工事会社	職長	配筋図 加工図 加工帳		荷揚げ	自主検査
	技能労働者			間配り 配筋・組立	
鉄筋加工工場	事務員	絵符			
	技能労働者		鉄筋加工		
	検査員		自主検査		
運送会社	運転手		積込み	搬入	

図—1 鉄筋工事の生産プロセス

a) 国土交通省が作成した BIM ガイドラインのタイトルは『建築分野における BIM の標準ワークフローとその活用方策に関するガイドライン』である。また設計三会や日本建設業連合会が発表したガイドライン等にもワークフローのタイトルがついており、推進の視点が移っていることがうかがえる。

同解説『JASS5 鉄筋コンクリート工事』や『鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説』にテキストと図版で記載されている単体規定^{b)}に準拠する必要がある。一方、鉄筋部材の配置位置は単体規定を加味して技術者や専門工事会社の職長が複合規定^{c)}として検討する。特に柱と梁の接合部（以下、仕口部）は熟練の技術者や鉄筋専門工事会社の職長が頭の中にある過去の経験値から導き出された組立ができるロジック（以下、配筋ロジック）のような複合規定があって初めて完成形が見えてくる手順なのだ。

不具合を低減させ鉄筋工事自体を効率化させるには<図面作成>における配筋納まり図の作図において不具合を確実に排除することが要求される。正しい鉄筋部材の生産情報^{d)}を作成し、次工程では確実にそれらを活用するデータ連携のワークフローを実現させる重要性がここにある。

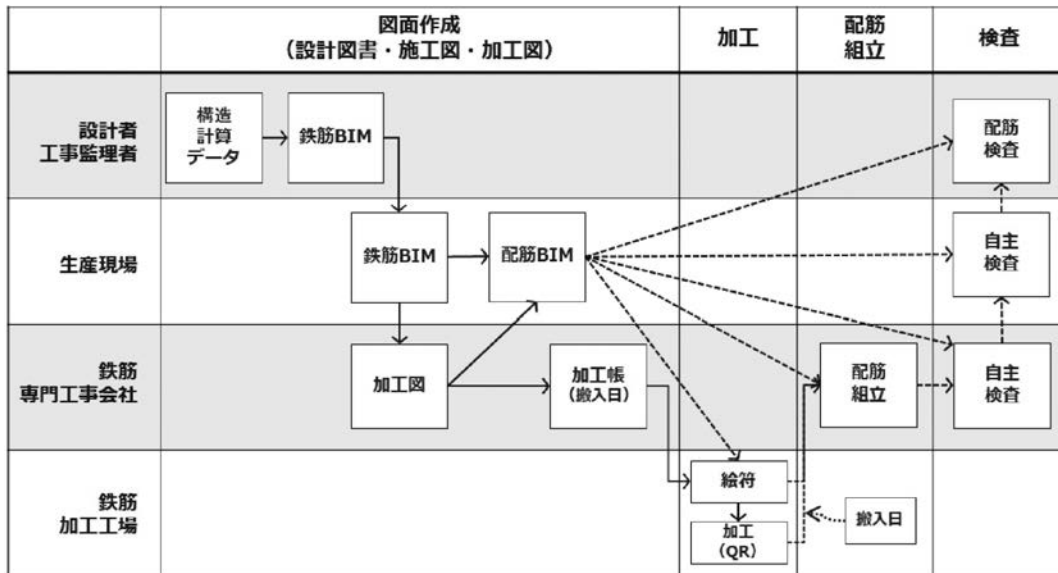
(2) 次工程と連携するワークフローの立案

<図面作成>では鉄筋加工の生産情報に加えて配筋検査で必要となる検査項目の約9割が作成・確定されており、これ以降のフェーズは確定された生産情報を業務に合わせて単に活用・変換しているにすぎない⁷⁾。<図面作成>で正しい生産情報を確定させ、次工程以降ではデータ連携やデータ活用しながら作業を進めれば<鉄筋加工>や<配筋・組立>における不具合も低

減できる可能性が高いことになる。

一方、BIM/ICTの活用は生産プロセス内で一部のアクター（システムの利用者）が自分の業務を効率化させるために断片的にしか使用されておらず、いまだ手書きやFAXに依存している作業もある。データ連携ともなればなおさらだ。さらに状況を複雑にしているのは<図面作成>と<鉄筋加工>のフェーズ間では管理する生産情報の単位が異なることだ。前者は部位ごと（柱、梁、など）、後者は加工部材ごと（加工ロット）の管理になっている。生産情報の変換作業の多くは属人的であるため、変換のミスが発生する温床になる。

<図面作成>で正しく作成された生産情報が<鉄筋加工>や<配筋・組立>の次工程に進むことを目指す生産情報の連携に着目した新たなワークフローを図一2に示す。生産情報の作成には実際に<配筋・組立>を担う鉄筋専門工事会社の知見を参照して確定させる視点が重要である。鉄筋専門工事会社にとっても元請と正しい生産情報を早期にそして容易に確定させることが出来れば、次工程の加工図作成とデータを連携させる意味が出てくる。鉄筋専門工事会社にとっても手書き作業からBIM/ICTによる作業へと変換するインセンティブ（動機付け）を説明しやすくなるだろう。



【凡例】 → : データ連携が可能なフロー ----> : データ連携を計画しているフロー

図一2 生産情報の連携から見たワークフロー

b) かぶりや定着長さなどの部分的な基準のこと。
 c) 単体規定を総合的に加味して納まりを検討する複合的な基準のこと。
 d) 鉄筋部材を加工するのに必要な加工情報や配筋・組立に必要な設計図書・躯体図の施工情報の総称のこと。特記仕様書や JASS5、配筋要領に記載されている基準類も含む。

(3) ワークフローの実現によるインセンティブ

現状の生産プロセスでは施工が始まってから鉄筋の納まりを検討している。そのため納まらない箇所の解決に構造設計者と施工者が質疑回答を繰り返し設計変更（梁幅の変更や鉄筋の並べる段の変更、など）により鉄筋を納めてきた。新たなワークフローではこのプロセスを大幅に低減させることが期待できる。特に基礎階の施工では検討時間の余裕が無い。鉄筋を納めるために大幅な設計変更が少なくなることは技術者などの精神的ストレスを減らすことにもつながると思われる。

BIM/ICT の推進を4つの領域で説明したのが図-3である。領域①は「BIM データのマネジメントが

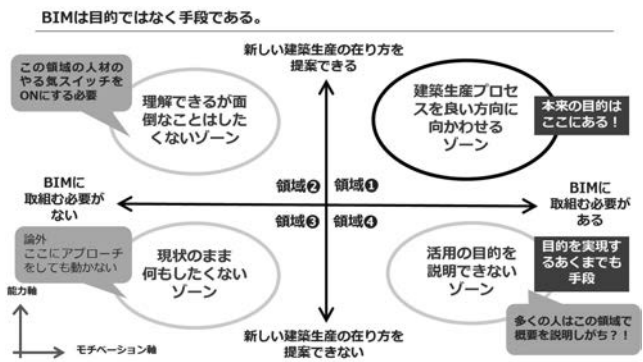


図-3 BIM を推進する方向性

建築生産プロセスを良い方向に向かわせるゾーン」、領域②は「BIM は理解できるが面倒なことはしたくないゾーン」、領域③は「現状のまま何もしたくないゾーン」、そして領域④は「BIM データは作成するが活用の目的を説明できないゾーン」である。領域①を意識してデジタル化された生産情報のワークフローと鉄筋/配筋 BIM システムが建築生産プロセスに及ぼす影響を整理したのが表-1である。

このような説明ができると BIM に取り組むことを説明するのではなく、正しい生産プロセスを実現するデータ連携のワークフローが主語になる。このワークフローを実現するために開発したのが鉄筋/配筋 BIM システム (アトアレ)^{e)} になる。実現に向けては知識のプログラム化や標準化、異なるソフトウェア間のデータ連携、フェーズごとに鉄筋データの呼称を変えるなどの定義を試みた。

4. 鉄筋/配筋 BIM システムの概要

(1) 知識のプログラム化と標準化

<図面作成>では従来から技術者や職長の頭の中にある配筋ロジックを活用して配筋納まり図を作図してきた。納まり検討を BIM により自動化させるために必要なのは、技術者や職長が頭の中にある配筋ロジック

表-1 領域①の視点から考えられる効果

領域1/アクター	構造設計者 (工事監理者)	積算・見積 担当者	生産現場の 技術者	鉄筋専門工務会社 の職長	鉄筋加工工場 の事務員	備考
計画変更をなくすと……	やり直し作業がなくなる	-	変更履歴の管理、 図面の調整業務が なくなる	加工図、加工帳の 作成に余裕がで きる	加工工程の平準化 で残業時間が無 くなる	対象は鉄筋納まり に起因する事 象
設計者への質疑項目を減 らせると……	質疑の回答を検討す る時間がなくなる	質疑書の作成、 回答を見積に反 映する作業がな くなる	質疑書の作成、回 答を施工図に反 映する作業がな くなる	質疑の回答がこ ないタイムラプ がなくなる	加工工程の平準化 で残業時間が無 くなる	
組立の完成形を仮想空間 上で再現し不具合が排除 できるようになると……	現物を事前に確認で きるのでイメージ との相違がなくなる	-	是正作業の管理が なくなる	是正指摘による やり直し作業が なくなる	是正作業による 追加加工の対応 がなくなる	
生産現場での完成形が積 算見積に反映されるよう になると……	工事監理者の配筋検 査が簡素化できる	-	工事段階での数量 増減作業がな くなる	工事段階での数量 増減作業がな くなる	加工段階での増 減作業がな くなる	鉄筋数量を共有 したくない業者 がいる
関係者間の施工手順調整 などを容易にできるよう になると……	-	-	仮想空間による見 える化で課題点 を事前に調整で きる	課題を実際の配 筋・組立前に指 摘ができる		調整会議には型 枠、BPLメー カーなども参加
正しい生産情報のデジタル 化で思い違い・伝達ミ スが無くなると……	構造計算データを活 用できる	-	製業者の作業の やり直し、工事中 の質疑が減る	加工帳の作成で残 業がなくなる	絵符の入力ミス がなくなる	

e) アトアレ (At_ARe) は ATELIER FOR ASSEMBLING REBAR IN A VIRTUAL SPACE (仮想空間で鉄筋を組み立てるアトリエ) の略称である。前田建設工業の商標登録。

そこで加工図作成段階で調整された数値に問題ないかを確認するため鉄筋／配筋 BIM システムに加工図のデータを戻していただき「鉄筋 BIM」のデータと入れ替え、あらためて「自動配筋検査」を実施するワークフローとした。この入れ替えた鉄筋部材が「配筋 BIM」である。「配筋 BIM」は実際の生産現場の〈配筋・組立〉の状況を仮想空間上で再現できるため、一種のデジタルツインと言えるだろう。

(3) 適用した効果

鉄筋／配筋 BIM システムを採用した生産現場は 70 以上になった。まだまだワークフローに改善の余地は残るが概ね以下の効果を確認した。

- ①鉄筋納まりの検討に必要なデータ作成作業が約 90%短縮された。
- ②自動配筋検査により正しく作成されたデータを鉄筋専門工務会社が受領することで、加工図・加工帳の作成作業が約 60%短縮された。
- ③鉄筋／配筋 BIM データを写真一 2 に示すように工事監理者や総合建設会社の技術者、鉄筋専門工務会社の職長、技能労働者が完成形を確認することで、配筋・組立や配筋検査、是正作業が元請では最大 90%、鉄筋専門工務会社では最大 50%低減された。従来から注力をされてきた〈配筋検査〉のデジタル化は写真整理による帳票作成の効率化に効果はあるが、不具合を低減させながら元下請の生産性を向上させることにはつながりにくいことも確認することができた。

5. おわりに

建築生産分野におけるデジタル化の推進は、パソコンや携帯情報端末の進化に合わせて総合建設会社の技術開発が繰り返されてきた。それらの多くが試行や



写真一 2 鉄筋 BIM の納まり調整会議

ブームとして終わった。定着に至らなかったのは全体最適のワークフローすなわち生産情報を正しく作成し次工程に流通させる分野にデジタル化技術を活用する視点が希薄だったことを指摘できる。

合わせて専門工務会社側の BIM/ICT の推進を促す取り組みも必要不可欠だ。単に可視化として部分最適させるだけでなく、元下請が正しいデジタルデータを次工程にリレーするワークフローを確立させる視点を忘れてはいけない⁸⁾。

現在は鉄筋／配筋 BIM システムを軸にして正しい生産情報が流通する鉄筋工事のワークフローを設計段階から確立させる取り組みを進めている。施工者が設計段階から施工手順や構工法を確定させるワークフローを組み入れ、その結果を設計図書や精算見積に反映させる。このように設計段階での検討不足に起因する設計変更を低減させることを目指している。

将来的には「配筋 BIM」のデータを活用することで、鉄筋加工工場における絵符の在り方や加工機の配置、生産現場における材料の間配り、配筋・組立、配筋検査の手法を確立させる計画だ。

今後もデジタルデータを活用した働き方改革の実現に向けた開発・社会実装に取り組む予定である。

JICMA

《参考文献》

- 1) 日本建設業連合会：生産性向上推進要綱 2022 年度フォローアップ報告書. pp.12-16. 2023.9.
- 2) 国土交通省：建築分野における BIM の活用・普及状況の実態調査確定値〈詳細〉. p.17. 2022.12.
- 3) 国土交通省：建築 BIM 環境整備部会（部会①）令和 4 年度の検討状況について. p.11. 2023.03.
- 4) 日本建設業連合会：生産性向上推進要綱 2022 年度フォローアップ報告書. pp.30. 2023.9.
- 5) 日本建設業連合会建築生産委員会 BIM 部会：施工 BIM のスタイル事例集 2022. 2023.3.
- 6) 曾根巨充：建築生産情報のマネジメント技術に関する研究－鉄筋工事における設計・加工・施工の生産情報の連携に着目した技術的解決策について－. p.87. 私家版. 2021.3.
- 7) 曾根巨充、田中大士、志手一哉：鉄筋工事における生産情報のマネジメントに関する考察－総合建設会社と専門工務会社の事例を題材として－. 日本建築学会計画系論文集. pp.2359-2369. 日本建築学会. 2018.12.
- 8) 曾根巨充：鉄筋工事における BIM ワークフローの考察－取り組みの目的と手段の設定に着目して－. 日本建築学会学術講演梗概集. pp.127-128. 日本建築学会. 2023.07.

【筆者紹介】

曾根 巨充（そね ひろみつ）
前田建設工業㈱
ICI 未来共創センター
担当部長

