

## 建設産業における BIM 技術の開発

### 施工シミュレーション

研究代表者 嘉納 成男  
(創造理工学部・建築学科・教授)

#### 1. 研究課題

建築工事では、設計内容や敷地条件、更には工事期間中の資機材や労務状況等によって、工事計画の内容は大きく変わる。また、工事は通常同じ条件では一度限りの実施であるためやり直しが出来ず、着工前における工事計画の検討の良否は着工後の生産性（コスト）や安全性、更には品質にも大きな影響を与える。

本研究では、著者が提案する施工モデルの表現方法を体系化・発展させるとともに、それを用いて自由度の高いシミュレーションを実施する計算方法を提案している。そして、鉄筋コンクリート工事の事例を用いて、本方法論の有用性を検証した。

#### 2. 主な研究成果

##### 2.1. 工事現場の動きを表す 3 要素

施工モデルでは、工事現場をシステムとして捉え、「要素」と要素間の「関係」によってモデル化している。工事の要素とは、以下の三つの要素を意味する。

- (1) 作業(Activity) : 工事で計画の対象となる活動、行為
- (2) 実体(Substance) : 物理的実体（視覚的に把握し得る人・物）であり、形状を有するもの、すなわち、作業員、材料・部材、仮設資材、工事機械など
- (3) 空間(Space) : 資材置き場、工区、通路、作業領域など

上記の 3 要素をノードで表現すると図 1 の如くなる。これらのノードは、ノード間の関係を示す以下の 4 つのアローで接合することによって、工事のワークパッケージを視覚的に表現することが出来る。

- (1) Input アロー : 資機材等を作業に投入する関係
- (2) Output アロー : 作業から資機材等が創出される関係
- (3) Use アロー : 作業で資機材等を一時的に占有して使用する関係
- (4) Refer アロー : 作業で資機材等の存在が必要とされる関係



図 1 施工モデルのノードの形式

##### 2.2. ワークパッケージの表現

図 2 は、前述の柱鉄筋作業と柱型枠作業とが形成する工程において、実質要素（「○で示している」）

がグラフ構造の中を裏で流れる仕組みを模式的に示している。先ず「柱鉄筋部材@仮置き場」ノードに置かれた柱鉄筋 ●は、躯体墨@設計位置にその階の躯体墨○が存在すれば、柱鉄筋作業の開始とともに Input アローを通じて作業ノード移動し、作業終了後 Output アローを通じて「柱鉄筋部材@設計位置」に送られる。次に、「柱型枠作業」が開始すると、「柱型枠部材@仮置き場」に置かれた柱型枠 と「柱鉄筋部材@設計位置」にある出来上がった柱鉄筋 が、それぞれ Input アロー及び Use アローを通じて柱型枠作業ノードに流れていく。そして、作業の終了後、柱型枠 は Output アローを通じて「柱型枠部材@設計位置」ノードに送られ、柱鉄筋 ●は Use アローを通じて元のノードに戻される。

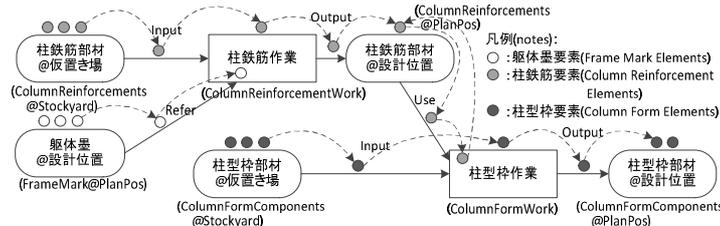


図2 柱鉄筋作業と柱型枠作業のワークパッケージ

### 2.3.鉄筋コンクリート工事への適用

#### 2.3.1.工事の概要

試行対象とした建築物は、図3に示す鉄筋コンクリート造の建物であり、シミュレーションは1階から3階までの工事を対象とした。建物は、長辺24m短辺12m、階高3.4mである。

工事で対象となる建築部位は、各階で柱20本、梁31本、床板12枚あり、シミュレーションでは3階分の各部位について鉄筋部材と型枠部材の計378部材を取付ける過程を再現する。

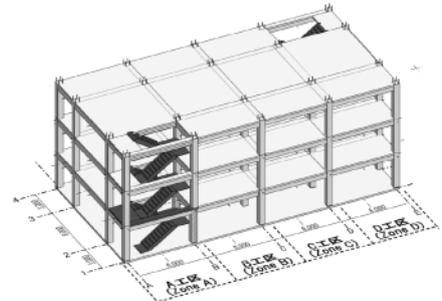


図3 鉄筋コンクリート工事

#### 2.3.2.梁型枠・床型枠ワークパッケージ

ここでは、ワークパッケージの事例として、梁型枠・床型枠について示す。

図4は梁型枠作業と床型枠作業を示している。梁型枠作業は、梁型枠の両端に位置する柱型枠が既に取付けられていれば、実施することが出来る。投入要素条件においてこの条件を記載し、これを満足する梁部材のみを作業の対象にしている。また、作業安全のために外周部に面する梁型枠に

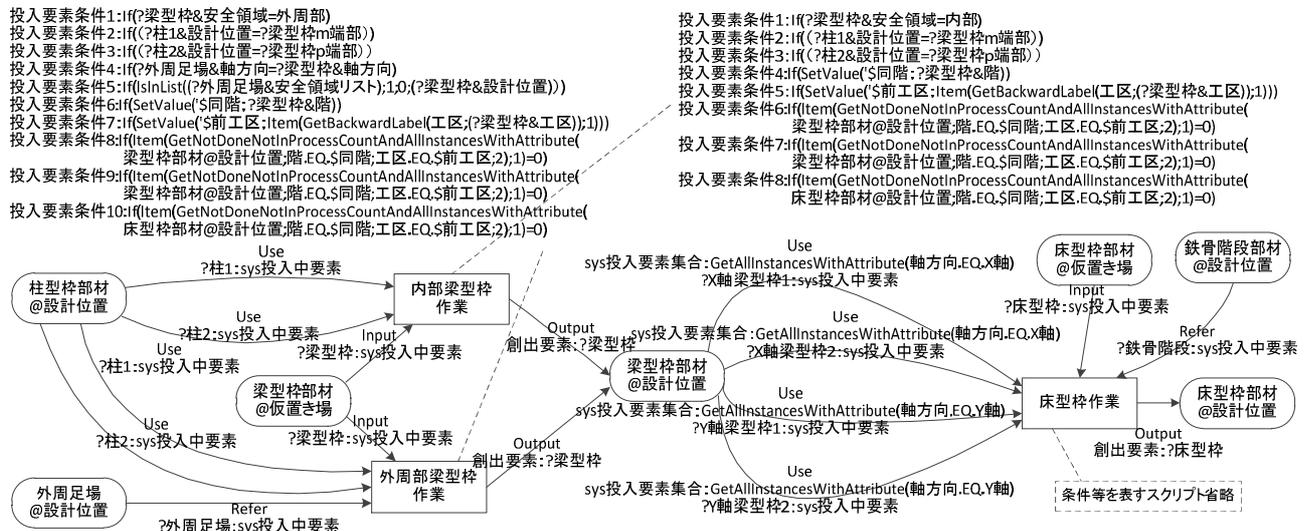


図4 梁型枠・床型枠ワークパッケージ

については、外周足場の設置以後でなければ開始することは出来ないことを投入要素条件で定義している。このため、梁作業においては、内部梁型枠作業と外周部梁型枠作業に区分して、施工モデルを作成している。床型枠作業においては、床型枠の四隅に配置されている梁型枠が設置された後に開始出来る条件を設けている。これを表現するため、床型枠に対応する四つの梁型枠が既に設置されているか否かを投入要素条件によって調べている。

### 2.3.3.シミュレーションの結果

#### A. 概略工程表

シミュレーションを実施した結果を、概略工程表で示すと図 5 となる。同図は、着工から 3 階 D 工区のコンクリート打設終了までの工程 (9/5 から 10/5) を示しており、色は工区を表している。間欠的に連なっている細い縦線は各工区の部材を対象とした作業を示している。複数班で作業を実施して場合は、同時刻に重複して作業を行っているため縦線は重ね書きとなり一つの作業対象のみ表示している。1 階の鉄筋材料搬入から 3 階 D 工区のコンクリート打設終了までに 23 日間を要している。3 階 D 工区の型枠解体をすべて終了するまでの工期は 28 日間である。

同図によって、鉄筋作業と型枠作業が、施工モデルでの定義に従って進められていることが判る。また、指定した養生期間を経て柱型枠、梁・床型枠が別々に解体されて上階に盛替えられ、上階の型枠作業で使用されている状況が判る。また、コンクリート打設は、各階の A 工区から D 工区を日々連続して打設した後、一定期間休んだ後、再度連続して実施していることが判る。

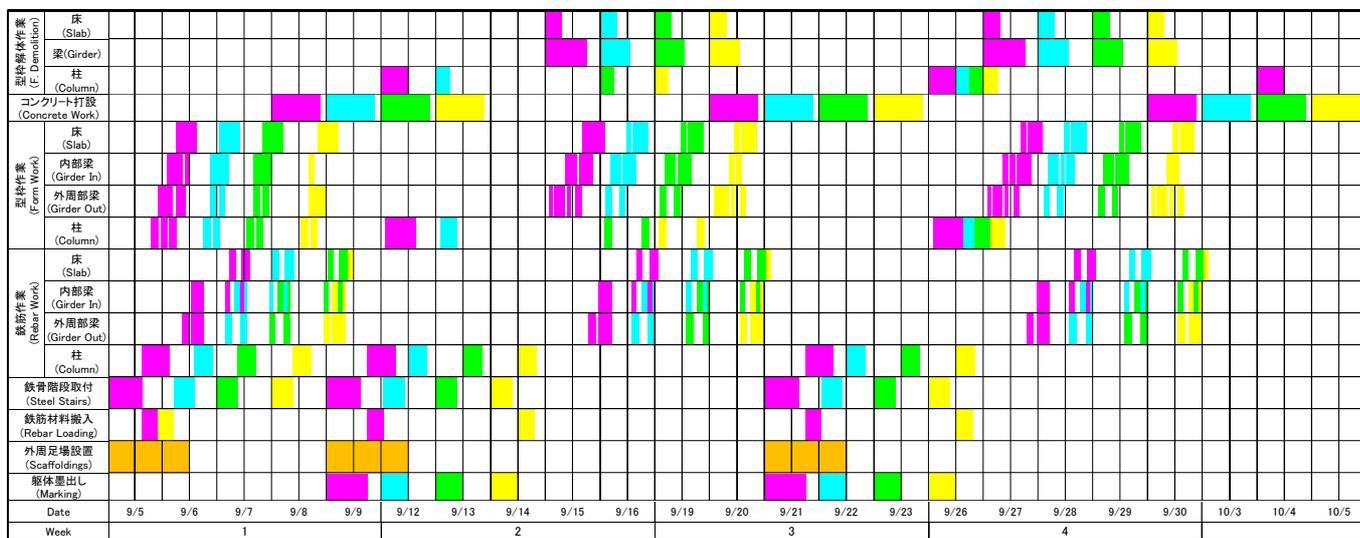


図 5 シミュレーション結果に基づく概略工程表

#### B. 施工アニメーション

本シミュレーションでは、施工モデルの作成とともに部材の形状と位置を 3 次元 CAD でモデル化している。本来は動画で示す内容であるが、図 6 に着工から 12 日間の午前 8:00 と午後 13:00 時点のコマ画像を示している。同図は詳細工程表の内容を視覚的に示したものであるが、各工区に分かれて各作業が輻輳して部材を取付けている状態やその進捗状況を容易に把握することが出来る。本方法論では、5 分間隔の進捗データを得ることが出来るため、部材一つ一つを対象とした作業や部材の出来形の進捗を詳細に表すことが出来る。

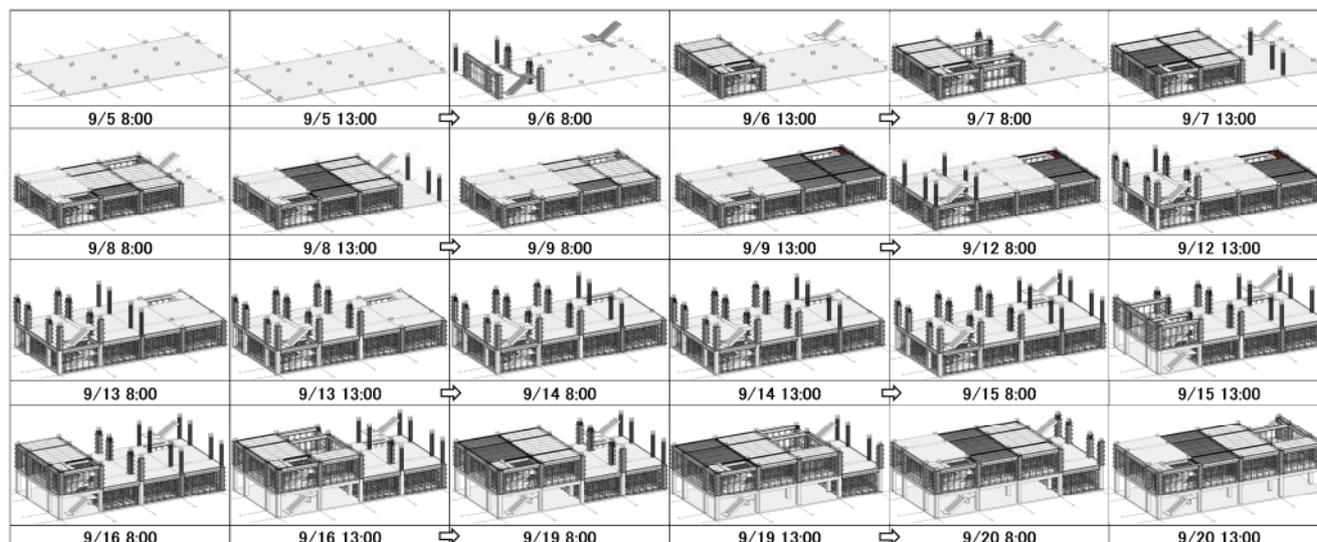


図6 シミュレーション結果に施工アニメーション

## 2.4. 結言

図5、図6によって、施工モデルで定義した様々な工程進捗の条件に従って、各部材に対する作業が実施されていることを確認することが出来た。以下に、施工モデルに基づいたシミュレーションによって可能にした主要な事項を示す。

- (1) ワークパッケージでモデル化された作業を、共通するノードで繋ぐことによって、所定の作業順序で作業を実施した。
- (2) 柱、梁、床部材における位置情報に基づき、その条件をスクリプトで記述することによって、部材の位置関係を考慮した順序で部材を取付けることが出来た。
- (3) 指定した作業可能日、作業可能時間帯で作業を実施するとともに、所定の養生期間を考慮した工程進捗を実施し得た。
- (4) 様々な部材の取付け、解体の時系列データに基づいて、部材一つ一つを対象とした施工アニメーションを可能にした。

## 3 研究業績

### 3.1. 学術論文

- (1) 嘉納成男：作業の活動を中心とした施工モデルの表現方法, 施工シミュレーションモデルに関する研究, 日本建築学会計画系論文集, pp1569-1579, 2017年6月
- (2) 嘉納成男：建築生産の変革を担うICTの課題、建築コスト研究、pp3-5, 2016年10月、日本コスト研究所