

建設産業における BIM 技術の開発

建築工事における施工シミュレータ

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

近年、BIM 導入の機運が高まっており、設計 BIM とともに施工 BIM を用いて建築工事を 3 次元的に検討しようとする動きが始まり、その中で 4D シミュレーションの重要性が指摘されている。

本研究では、建築工事の進捗状況を着工前にコンピュータ上で再現することによって、工事計画の問題点の把握やその改善策の立案に役立たせるとともに、工事計画の内容に対する関係者の情報共有と合意形成のツールとすることを目的としている。本年度は、研究プロジェクトの最終年度と位置付け、「施工シミュレータ」をめぐる方法論の確立、プロトタイプシステムの開発、更にはその開発課題を明らかにした。そして、これを書籍「建築工事における施工シミュレーション」(早稲田大学出版部)として出版した。

2. 主な研究成果

2.1. 施工シミュレータの必要事項

施工シミュレータは、工事現場における様々なオブジェクトの動きを正確に表現し、工事の進捗をできるだけ忠実に再現した上で、工期、コスト、品質にどのように影響を与えるかを調べる必要がある。

以上の要件を可能にするには、以下に示す事項を施工シミュレーションで実装する必要がある。

- (1) 施工モデル作成の容易性
- (2) 施工モデルにおけるさまざまな属性の変数としての取り扱い
- (3) 工事現場における動きを表すオブジェクト指向
- (4) ワークパッケージとしての最小作業単位の表現
- (5) 繰返し作業や複数班で行う作業の表現
- (6) 作業の進捗状況に対応した作業の開始・終了
- (7) 作業、資材、仮設資材、工事用機械の動きの表現
- (8) 作業期間や作業速度が作業対象に基づいて定まる仕組み
- (9) 工事現場の詳細な動きについては、アルゴリズム化してシミュレーション実施中にその計画を立案し実行する仕組み
- (10) 部材情報の 3 次元 CAD モデルとの連携

2.2. シミュレーションを動かす施工モデル

シミュレーションを動かすには、実世界をコンピュータ内に再現するモデルが必要になる。このモデルは、工事現場の状況を表すオブジェクト(要素)と、それらの要素がどのように関連し合い工程が進むかを表す要素間の関係で表現する。

施工シミュレータは、工事計画に基づいて着工前にコンピュータ上で工事の進捗を再現して、工事に関連する問題点や改善点を見出すことが目的である。このため、工事を実施する主体、すなわ

ち総合工事業が施工シミュレータを運用することが考えられる。

施工モデルを作成するために必要な情報は、工事着工前の工事計画が、その基盤となる。総合工事業が作成する工事計画では、階や工区単位の纏まり作業工程、採用する工法や作業方法、使用する工事用設備、スケジュールなどがある。しかし、施工シミュレーションを実施するには、工事全体を俯瞰したこれらの工事計画とともに、工事現場における作業方法の計画や、資材の運搬経路など、また日々、時々刻々と変化する仮置き場の状況など、微細な工事現場の動きを捉える必要がある。これらの作業に関連する計画は工事着工前には計画されていることは少なく、工事が進捗していく過程において総合工事業と専門工事業が協力して立案し、他の専門工事業と調整していくことになる。このため施工シミュレータには、このような詳細な作業内容については、システムが自律的に作業方法や手順を定めるアルゴリズムが必要になる。

2.3. 施工モデルの表現の仕組み

施工モデルは、複雑な工事現場の状況を簡潔に表現することを目指して、全体として矛盾が生じないように、さまざまな工夫を取り入れている。図1は、施工モデルの仕組みを概念的に示した図である。この仕組みは5つのモデル化の方法を用いており、それぞれが有機的に役割を果たすことによって、複雑な工事現場の状況を簡潔にモデルとして表現している。

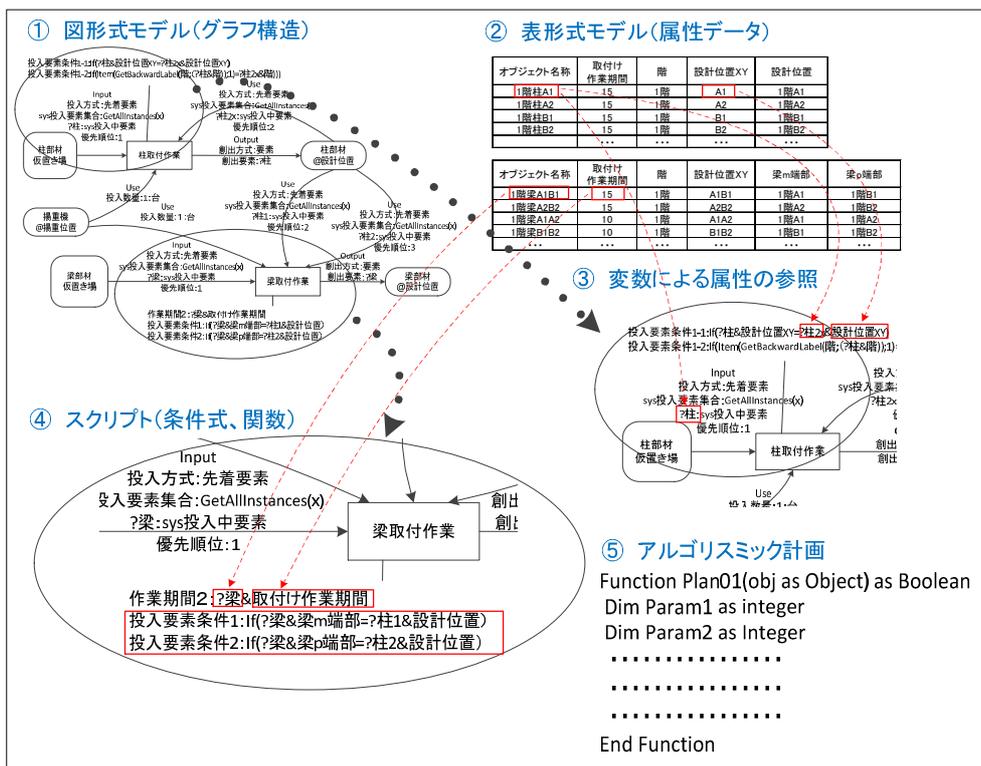


図1 施工モデルを構成する5つの仕組み

① 図形式モデル(グラフ構造)による表現

工事現場に存在するさまざまな資材、仮設資材、工事用機械、また従事する作業者がどのような関連性を持って、工事が実施されているかを概念的に示している。グラフ構造で表現することによって、施工モデルを視覚的に分かりやすくしている。図1では、柱梁の取付け作業の概要をグラフ構造を用いて表現している。

② 表形式モデル(属性データ)による表現

工事現場に存在するさまざまな資材、仮設資材、工事用機械、また従事する作業者の固有の内容(数量、存在位置など)を属性データとして表現することによって、資材や作業者の詳細な情報を施工モデルに組み込むことを可能にしている。図 1 では、個々の柱梁の属性(位置、取付け作業期間、など)として表形式モデルを用いて表現している。

③ 変数による属性の参照

表形式でモデル化された資材や作業者の詳細な属性データを、図形式モデルの中で参照することを可能にし、施工モデルが工事現場を概略的に表現するとともに、工事現場の進捗状況を詳細に表現することを可能にしている。図 1 では、変数を用いて、表形式の属性データ(例えば、各部材毎に決まっている取付け作業期間)を用いて、図形式モデルの中で作業の作業期間に代入して、工事の進捗をより詳細に表現している。

④ スクリプト(条件式、関数)による表現

図形式モデルにおいて、作業の開始条件、投入資材の組み合わせ条件などをスクリプトとし表現し、また関数を用いて施工モデルのさまざまな情報を図形式モデルに取り込むことを可能にしている。複雑な作業の開始・終了の動きや工事用設備の動きをモデル化することができる。図 1 では、条件「梁の取付け作業を開始するには、梁の両端に位置する 2 本の柱が既に取付け済みであること」を、スクリプト、関数、変数を用いて、簡潔に表現している。

⑤ アルゴリズムック計画(自律的計画)による表現

施工モデルの作成時点では、まだ決まっていない微細な計画(作業者の移動経路、仮置き場における資材の仮置き位置、部材の取付け順序など)について、施工モデルの中で自律的に適正な計画を立案して、その計画に従って自律的な施工シミュレーションを行うことを可能にする。図 1 では、施工シミュレーションの実施中に、システムが自律的にさまざまな作業計画(Plan01)を立案するアルゴリズムを VBA などでプログラム化して施工モデルに組み込んでいる。

2.4. シミュレーション結果の出力

施工シミュレータを実行するには、工事現場の状況を時分割することによって、進捗状況をシステムの中で再現していく。システムの中で再現される将来の工事現場の状況を見るには、以下に示す 2 種類の方法がある。

(1) 施工 CG・アニメーション(3次元、2次元)

(2) 工程表

工事の進捗状況が最もわかりやすい方法は、施工 CG・アニメーションである。この方法では、工事現場で取付けられる部材について、部材の形状、取付け位置を 3次元 CAD モデルで表現し、各時期についてのコマ落としの 3次元画像を作成する(工事現場の部材の出来形の進捗など)。

3次元表示はわかりやすいものの、その位置関係はほぼ水平方向から投影して見ているため、奥行き寸法と左右寸法との関係が感覚的にしか捉えられない難点がある。工事の内容を正確な位置と寸法で把握したい場合は、2次元平面図を用いる方法がかえってわかりやすい場合(作業者の移動経路など)もある。

施工 CG・アニメーションによる工事進捗の把握は、将来の工事現場の状況や状況変化を目で見ることができると、その内容を感覚的に捉えることができるが、進捗状況全体が絵として表現されるため、概略はわかるものの、具体的な情報(例えば、作業時間、使用資材名称、取付け時刻、作業員や工事設備の稼働率など)を施工 CG・アニメーションから得ることはできない。

具体的な情報を取り出す方法が工程表である。工程表の仕組みを以下に示す。

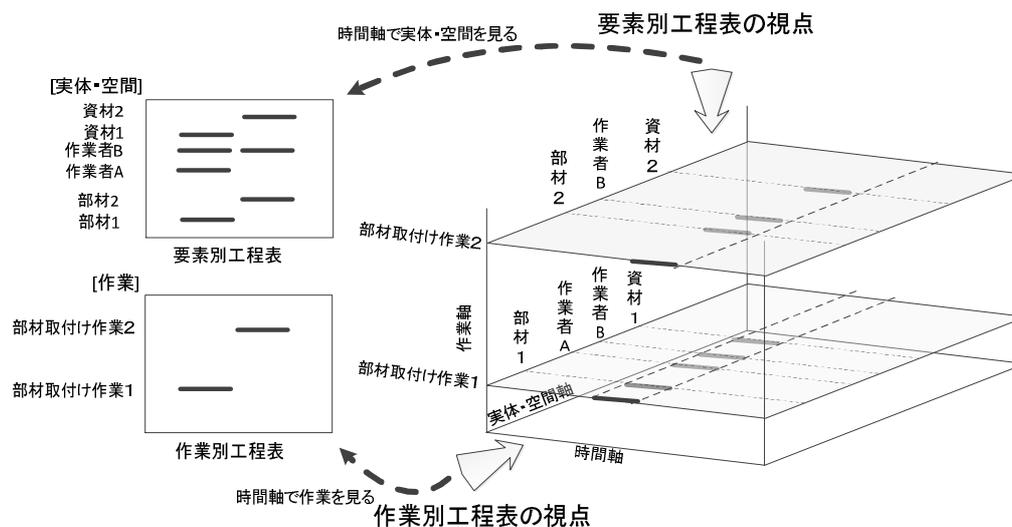


図 2 2種類の工程表の相異の概念

施工モデルでは、作業、実体(作業員、資材、機材など)、空間、時間の4つの要素(オブジェクト)から構成されている。この要素を用いて図2に示すように、作業の軸、実体・空間の軸、時間の軸の3軸によって工事現場の動きを表すことができる。

図2では、3軸の立体を横方向から見ると、横軸に時系列を取り縦軸に作業を取った工程表(作業別工程表)になる。また、同立体を上から下に見ると、横軸に時系列を取り縦軸に実体・空間を取った工程表(実体別工程表、空間別工程表)となる。作業別工程表は各作業がいつ開始していつ終了するかをより具体的に示しており、また、その枠の中には作業が対象とする実体や空間の名称を記載することができる。実体別工程表(または空間別工程表)は、各作業員や資材が時系列的にどのような作業と関わっているかを明確に示すのに役立つ。このとき工程表の枠の中には、作業員や資材が関わっている作業名称を記載することも可能である。

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、No.736、pp.1569-1579、2017年6月
- (2) 嘉納成男:物流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、No.742、pp.3205-3215、2017年12月
- (3) 嘉納成男:纏まり作業工程における作業員の配分計画、混合整数計画法を用いた最適化の方法、日本建築学会計画系論文集、No.745、pp.493-503、2018年3月
- (4) 嘉納成男:作業員の動き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、No.749、pp.1305-1315、2018年7月

3.2. 著書

嘉納成男：建築工事における施工シミュレータ、早稲田大学出版部、2018年3月30日