

# BIM 鉄骨建方計画支援システムの実践的利用のための改良 Improvement of the Erection Planning Support System for Steel Frame Using BIM

○長野 純也\*<sup>1</sup>, 大西 康伸\*<sup>2</sup>  
Junya NAGANO \*<sup>1</sup> and Yasunobu ONISHI\*<sup>2</sup>

\*1 熊本大学大学院自然科学教育部 大学院生

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.

\*2 熊本大学大学院先端科学研究部 准教授 博士 (学術)

Associate Prof., Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto Univ., Ph. D.

キーワード: 施工; 揚重; クレーン; 3次元; シミュレーション; ビジュアルプログラミング

Keywords: Construction; lifting; crane; 3D; simulation; visual programming.

## 1. 研究の背景と目的

江村らの研究<sup>1)</sup>では、建方計画のための情報を保有したモデル(以下、建方計画モデル)を構造設計モデルから自動生成し、それを対象に建方可否判定を行う建方計画のための支援システム(旧システム)の開発を目的とした。しかし開発システムを実務において利用するためには、江村らの研究<sup>1)</sup>とは別の実施プロジェクトで検証を行い、システムの汎用性を向上させる必要がある。また、実際の建方計画ではクレーンの条件や工区割などを繰り返し変更し試行錯誤を伴う検討を行うが、旧システムは建方計画の試行錯誤を伴う検討を考慮したシステムとなっていない。さらに、旧システムは建方可否判定の結果をハイライト表示により示すのみであり、建方時のクレーン状態の可視化や時間軸に沿った建方の進捗の表現ができない。

そこで本研究では、旧システムの実践的利用のための改良として、1. システムの汎用性の向上、2. 試行錯誤の検討への対応、3. 可視化機能の拡充、の3点を目的とする。

## 2. 旧システムの概要と問題点

旧システムは4つのプログラムで構成される(表1)。江村らの研究<sup>1)</sup>で検証したケーススタディとは異なる実施プロジェクトにおいてシステムの動作確認を行った(表2)。その結果、表3に示す問題点が明らかとなった。なお、PA-3~6は他の問題点と比較して例外的なため、本研究における改良の対象とはしないこととする。

## 3. 実践的利用のための改良

### 3.1. 改良したシステム構成と利用手順

改良した新システムの構成を表4に示す。

本研究の開発環境として、BIM ツールにオートデスク社の Revit2021 (以下、Revit)、ビジュアルプログラミングツールとして Dynamo2.6.1 (以下、Dynamo)、情報の入出力のためのスプレッドシートとして、Excel2019 (以下、Excel) を使用した。また、必要に応じて、Dynamo 環境内で使用できるプログラミング言語の Python によってコーディングを行った。

新システムの利用手順を図1に示す。Revitの構造設計モデルに対し「nw1: 建方計画モデル生成プログラム」を実行することで、柱継手やブラケットを自動的にモデリングし、重量など建方計画において必要な情報を各部材に付与した建方計画モデルを作成する(図1中 a)。それと同時に部材の座標情報が Excel へ書き出される(図1中 b)。次に、建方計画モデルに建方工区区分線を描画し

表1 旧システムの構成

プログラム名	内容
prv1	建方計画モデル生成プログラム 建方計画に必要な情報である節情報、ブラケット長さ、重量等を構造設計モデルに対して自動で付加する。
prv2	建方工区設定支援プログラム 建方を行う部材の一まとりのグループ(建方工区)を設定する支援を行う。
prv3	建方順序自動生成プログラム クレーンの位置や対象建方工区を設定することで、部材ごとの建方順序を自動生成する。
prv4	建方可否判定プログラム クレーンの位置や条件、施工条件を設定することで、建方可否判定対象部材に対して建方可否判定を行う。

表2 ケーススタディの概要

	江村らの研究 <sup>1)</sup>	本研究
立地	東京都千代田区永田町	東京都千代田区神保町
階数	地上10階	地上9階
敷地面積	600 (㎡)	312 (㎡)
建築面積	400 (㎡)	246 (㎡)
軒高	41 (m)	33 (m)
延床面積	3600 (㎡)	1863 (㎡)
用途	事務所	事務所

表3 旧システムの問題点

分類	No	問題点	対象	
A	システムの汎用性の不足	PA-1	片方が柱ではなく大梁で支持される梁が大梁と識別されない	○
		PA-2	片持ち梁に対応していない	○
		PA-3	0節に対応していない	×
		PA-4	斜めの柱に対応していない	×
		PA-5	ブラケット長さが複数存在する場合に対応していない	×
		PA-6	L字型の部材に対応していない	×
		PA-7	柱で囲まれていない梁に対応していない	○
		PA-8	多角形の建方工区に対応していない	○
		PA-9	片持ち梁がある場合、建方順序が正しい順序にならない	○
		PA-10	敷地境界線付近の揚重部材に考慮していない	○
		PA-11	柱で囲まれていない梁の高さに対応していない	○
B	建方計画の試行錯誤を伴う検討に考慮していない	PB-1	クレーン位置の変更を伴う可否判定が円滑にできない	○
		PB-2	判定を行う際に、2つのプログラムを実行する必要がある	○
		PB-3	クレーン位置の検討に手間が生じる	○
C	可視化機能の不足	PC-1	建方時におけるクレーンの状態の可視化ができない	○
		PC-2	時間軸にそった建方の進捗を表現できない	○

○：本研究で改良に取り組むもの ×：本研究では改良に取り組まないもの

「nw2：建方工区設定支援プログラム」を実行することで各部材に建方工区の情報が入力され（図1中d）、建方工区順序がExcelへ書き出される（図1中c）。建方工区順序を必要に応じ手動で入れ替えた後、そのExcelファイルと事前に作成したクレーンの定格総荷重表のExcelファイルを読み込み（図1中e、f）、「nw3：建方可否判定プログラム」を実行すると、指定したクレーンの位置と条件の下、建方順序が各部材に入力され建方可否判定を行う（図1中g）。それと同時に部材毎の建方可否判定結果とクレーンのパラメータがExcelへ書き出される（図1中h）。

その後、建方可否判定結果が書き出されたExcelファイルを読み込み（図1中i、k）、「nw4：建方可否可視化プログラム」を実行すると、指定したクレーンの位置における判定結果のハイライト表示、または指定した一部材の建方を行う際のクレーン状態が可視化される（図1中j）。「nw5：アニメーション建方シミュレーションプログラム」を実行すると、建方可否判定を行った部材を組み立てる際のクレーン状態が設定した秒数毎に可視化される（図1中l）。建方可否判定結果が書き出されたExcelファイルと、建方を行う日付、工区、節を手動で入力した工程表のExcelファイルを読み込み（図1中m）、「nw6：工程表建方シミュレーションプログラム」を実行すると、選択した日付における建方の進捗が可視化される（図1中n）。

nw4、nw5、nw6の実行後、全部材が建方可可能とならない場合、必要に応じて建方工区やクレーン位置、建方部材順序の手動変更を行い、nw2、nw3を再度実行する（図1中o）。

表4 新システムの構成

プログラム名		内容	旧システムとの対応	
nw1	建方計画モデル生成プログラム	建方計画に必要な情報である節情報、ブラケット長さ、重量等を構造設計モデルに対して自動で付加する。	prv1	
nw2	建方工区設定支援プログラム	建方を行う部材の一まとまりのグループ（建方工区）を設定する支援を行う。	prv2	
nw3	建方可否判定プログラム	クレーンの位置や条件、施工条件を設定することで、建方順序を自動生成し、建方可否判定を行う。	prv3 prv4	
nw4	建方可否可視化プログラム	判定結果のハイライト表示	建方部材に対して判定結果に応じたハイライト表示を行う。	prv4
		部材単位でクレーンの可視化		
nw5	アニメーション建方シミュレーションプログラム	建方可否判定結果を基に、工区を指定することで、工区単位の建方時におけるクレーンの状態をアニメーション的に可視化する。		
nw6	工程表建方シミュレーションプログラム	手動で作成したExcel工程表を基に、日付を指定することでその日付での建方の状態を可視化する。		

### 3.2. 汎用性の向上

#### PA-7、PA-8の解決

旧システムの「prv2：建方工区設定支援プログラム」では、建方工区として設定したい範囲を囲む柱を指定していたため、柱で囲まれた梁を建方工区に含めることができず、また多角形の建方工区を設定できないという問題が生じていた。そのため新システムでは、「建方工区区分線」というファミリを使用し、建方工区の範囲を決定する仕様とした（図2）。

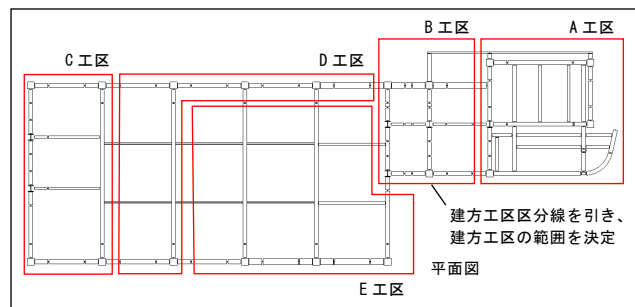


図2 新システムの建方工区設定方法

#### PA-10の解決

敷地境界線付近に揚重部材が存在する場合、介錯ロープ（部材を引き寄せるなどバランスをとるために必要なアシストロープ）を用いて建方を行う必要がある。そのため新システムでは、敷地境界線付近に揚重部材があり、介錯ロープが必要な部材に対してハイライトを行うという処理を建方可否判定プログラムに加えた（図3）。また、揚重する際に部材が回転することやその日の天候などを考慮する必要があるため、部材ごとの長さに応じて敷地境界線との判定の距離を変更する仕様とした。

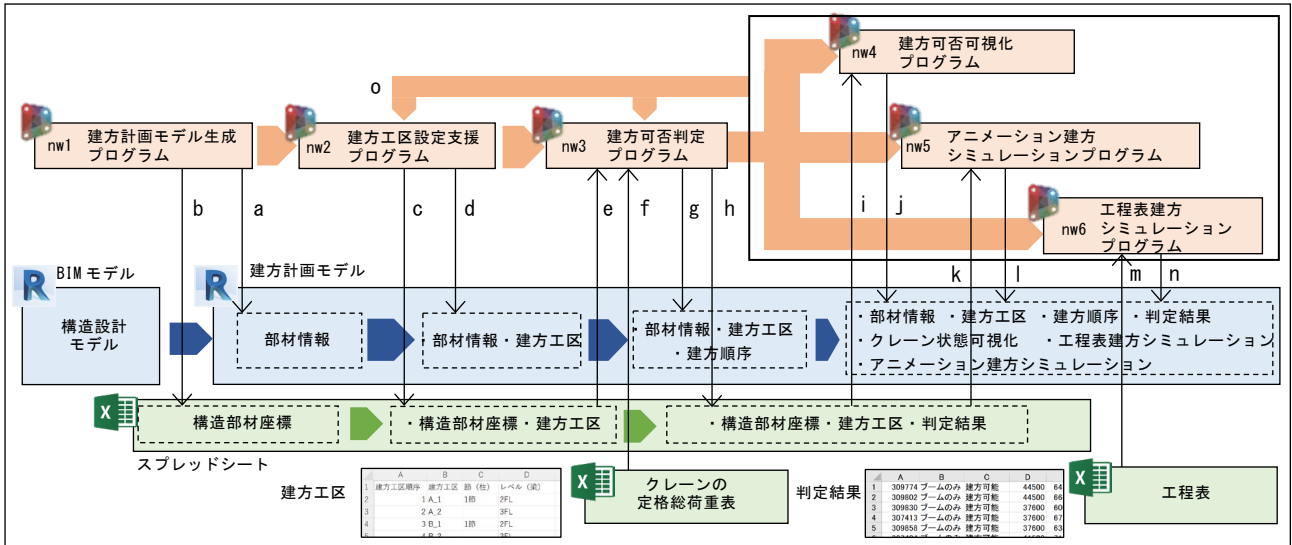


図1 新システムの利用手順

なお、PA-1、PA-2、PA-9、PA-11については、可能となるように対応した。

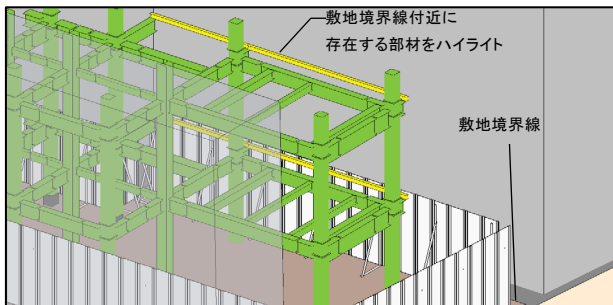


図3 敷地境界線付近の揚重部材への対応

### 3.3. 建方計画の試行錯誤を伴う検討への対応

表4のPB-1、PB-2、PB-3を解決するために、①「prv3：建方順序自動生成プログラム」と「prv4：建方可否判定プログラム」の統合、②建方可否判定機能と可視化機能の分離、③複数のクレーン位置への対応、④「前回条件」で建方可否判定が実行可能、の4つの機能を追加した。

①について、旧システムでは建方可否判定を行う際、「prv3：建方順序自動生成プログラム」と「prv4：建方可否判定プログラム」の2つのプログラムの実行を行う必要があったのに加え、対象とする建方工区を指定する動作を2度行う必要があり手間が生じていた。そこで新システムではそれら2つのプログラムの統合を行い、1度の実行で建方順序の生成と建方可否判定を行うことができる「nw3：建方可否判定プログラム」へ改良した。

②について、旧システムの「prv4：建方可否判定プログラム」を、建方可否判定結果をExcelに書き出す計算用のプログラムと建方可否判定結果を可視化するビューワー用のプログラムに分けて目的に応じて使い分けること

で、クレーン位置や建方可否判定を行う対象工区の変更など、建方計画における試行錯誤がしやすいシステムとした。③について、旧システムの「prv4：建方可否判定プログラム」では、建方可否判定後クレーンの位置のみを変更し再度プログラムを実行する場合にも、クレーン条件の設定を一から行う必要があった。そこで新システムでは、複数のクレーン位置を事前にExcelに記述しておき、全建方工区を一度に建方可否判定することが可能なプログラムへ改良した。クレーンファミリーを任意の位置に設定し、「クレーン位置」パラメータにA～Zの任意の値を入力する。プログラムを実行後、クレーンと建方工区が対応づけられ、クレーン位置ごとにクレーン条件の設定を行うことで複数のクレーン位置における建方可否判定を一度に行うことができる。

④について、建方可否判定を行う際に「新規条件で判定」もしくは「前回条件で判定」を選択できる仕様を新システムに追加した。初めて建方可否判定する際は、「新規条件で判定」を選択し、クレーン条件の設定を行う。プログラム実行後、設定したクレーン条件が自動でExcelに書き出され、2回目以降、「前回条件で判定」を選択した場合、そのExcelに書き出されたクレーン条件を基に建方可否判定を行うことができる。

### 3.4. 可視化機能の拡充

表4のPc-1、Pc-2を解決するために、新システムでは新たに、建方時におけるクレーンの状態の可視化や時間軸に沿った建方の進捗を可視化するプログラムを開発した。

#### 部材単位でのクレーン状態の可視化 (nw4：建方可否可視化プログラム、図4)

システム利用者は、インターフェース画面で「部材単

位での建方時におけるクレーン状態の可視化」を選択する。その後、可視化したい部材を Revit 上で選択しプログラムを実行することで、選択した部材が判定結果に応じて着色され、建方位置に合わせてクレーンファミリのパラメータにブームの長さ、起伏角度、旋回角度が自動入力されて選択した部材の建方時におけるクレーンの状態が可視化される。なお、建方可否判定の判定項目と建方可否判定結果に応じた部材の着色については江村らの研究<sup>1)</sup>と同様である(表5)。

表5 建方可否判定項目と部材の着色

判定項目	判定内容
揚重重量判定(ジブ使用時)	部材重量が揚重可能重量より大きいかが判定
作業半径判定(ブームのみ)	部材がクレーンの作業半径内に存在するか判定
作業半径判定(ジブ使用時)	
揚重高さ判定(ブームのみ)	クレーンの吊り上げ可能高さが建方位置に届くか判定
揚重高さ判定(ジブ使用時)	
干渉判定(ブームのみ)	建方済部材とクレーンのブームが干渉するか判定
干渉判定(ジブ使用時)	
敷地境界線判定(ブームのみ)	敷地境界線付近に揚重部材が存在するか判定
敷地境界線判定(ジブ使用時)	

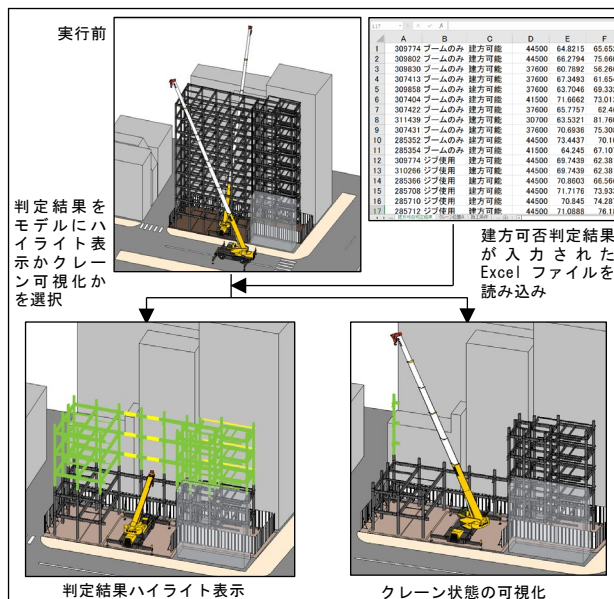


図4 建方可否判定プログラム

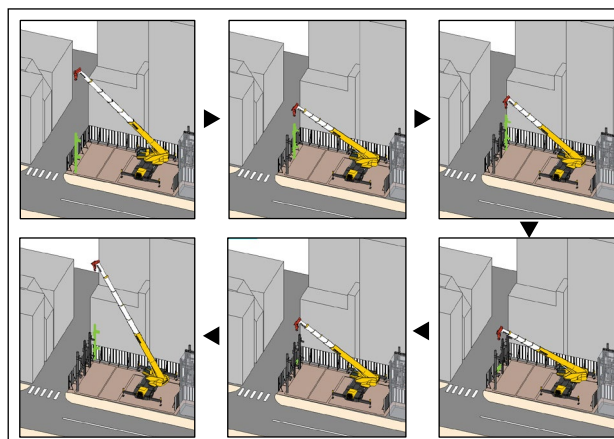


図5 アニメーション建方シミュレーションプログラム

#### 時間軸に沿った建方進捗の可視化 (nw5: アニメーション建方シミュレーションプログラム、図5)

建方可否判定結果が書き出された Excel を読み込み、指定した建方工区に含まれる全ての部材について、建方順序通りに一部材ずつ建方時におけるクレーンの状態を周期的に可視化する。

#### 工程表に基づく建方進捗の可視化 (nw6: 工程表建方シミュレーションプログラム、図6)

可視化対象の日付を指定しプログラムを実行すると、手動で作成した工程表の Excel データを基に指定した日付までに建方を行う部材を表示し、指定した日に建方を行う部材は赤でハイライト表示する。

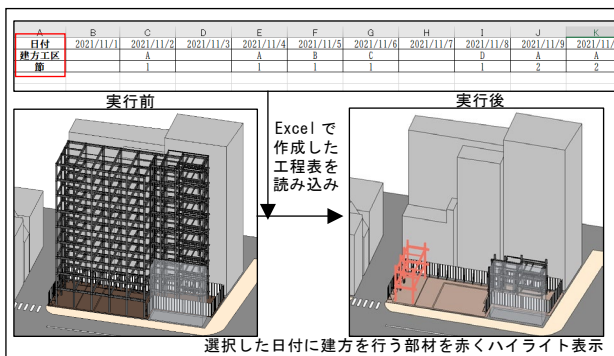


図6 工程表建方シミュレーションプログラム

#### 4. 研究の成果と課題と展望

本研究の成果として、1. 旧システムでは考慮していない特徴をもつ部材への対応や建方判定項目の追加によるシステムの汎用性の向上、2. 建方順序自動生成プログラムと建方可否判定プログラムの統合や機能の追加による試行錯誤を伴う検討への対応、3. 可視化機能の拡充、の3つがあげられる。

課題と展望として、1. 手動で行っている工区割やクレーン位置の設定を自動で行うプログラムの開発、2. 建方可否判定の結果を専用のソフトを必要としないクラウドで閲覧できる仕組みの開発、の2つがあげられる。

#### 謝辞

東洋建設株式会社関係者の方々には、研究を進めるにあたり貴重なデータをご提供いただくとともに、多大なご助言を賜りました。この場をお借りして御礼を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 江村進太郎、大西康伸「BIMを利用した鉄骨建方支援システムの開発」、日本建築学会第44回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(DVD) pp. 113-114、2021