

建方計画システムの概要と適用例

Outline and Application of Building Erection Planning System

金子 肇 正村 芳久
和田 賢一¹⁾ 飯塚 満¹⁾

要 約

建方に関する生産計画段階における一連の計画業務を支援することを目的とし、三次元 CAD を活用した建方計画支援システムの研究開発を行ってきた。本システムは、建方工区及びクレーンに関連する設定条件下で、建方計画の作成支援を主目的とし、大きく「三次元躯体データ生成」、「建方工区設定」、「建方判定」の三つのモジュールから構成されている。システムに含まれる機能として、三次元躯体モデルの簡略な作成手法、容易な建方工区生成手法、クレーンの自動配置手法、部材ごとの自動建方判定手法及びシステム操作性を考慮した GUI など进行考案した。本システムを工事の生産計画段階に適用し、建方計画上の問題点の早期発見、適切な使用クレーン機種の割り出しなどの有効な結果を得ることができた。本システムを駆使することで、より適切な建方計画の作成が可能となる。

目 次

- はじめに
- システムの概要
- システムの適用例
- おわりに

はじめに

施工計画の良否が工事における生産効率に大きく影響することから、施工計画段階における情報技術の利用に関する研究が数多く行われている。三次元モデルを用いた施工計画支援手法の研究開発も行われてきたが、実務で三次元モデルが汎用的に活用されるまでには至っていない。しかし、ここ数年のコンピュータ能力と商用 CAD 機能の飛躍的向上により、三次元 CAD は、効率的な施工計画作成にその機能を有効に発揮できる可能性がある。

建方計画の検討には、三次元での検討が必要な場合があるが、この検討には多大な時間と手間を要している。本開発では、建方計画の支援を目的とし、三次元の躯体モデルを活用し、工区分割を行い、

動線上にクレーンを自動配置し、建方可否の自動判定を行う機能から構成される建方計画システムの構築を進めてきた¹⁾²⁾。それらの機能を有する試作版システムを作成し、実工事の建方計画に試適用した結果、建方計画システムの有用性は高いとの結果を得ることができた。その結果を受けて、試作版システムの機能並びに操作性を向上させた実用版システム（以下ではシステムと称す）を開発し、当社の各施工支援部署にシステムを配布している。

本報では、今回、開発したシステムの機能概要及び、実工事に適用した結果について報告するものである。

システムの概要

1. 特 徴

本システムでは、クレーンの動線または位置の設定により、部材ごとに作業距離、定格総荷重、吊高さ及び既設部材とクレーンブーム間の接触の自動判定を行うことができる。その判定結果を踏まえ、建方の進捗状況に応じた三次元図面を出力し、視覚的に計画の整合性を確認することができる。

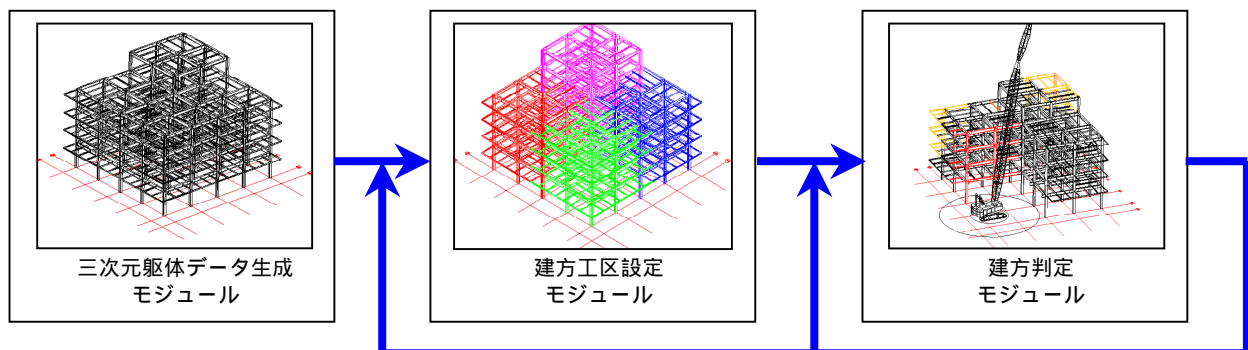


Fig. 1 システムの操作フロー
(System Operation Flow)

1) 東京支店

本システムでは、三次元 CAD の操作に精通していないユーザを対象として開発を進め、ほとんどの操作をマウスで行えるシンプルな GUI（グラフィカル・ユーザ・インタフェース）を有している。

2. 開発のねらい

本システムは、移動式クレーンを用いた建方を対象としており、敷地余裕の少ない工事における建方計画の検討を効率的に行うことを開発のねらいとしている。

3. 全体構成

本システムは、Fig. 1 に示すように、「三次元躯体データ生成」、「建方工区設定」、「建方判定」の三つのモジュールから構成されている。図中の矢印は、作業の流れを示している。三次元躯体データ生成モジュールでは、躯体部材情報、節割情報、柱ブラケット情報などを含む三次元の躯体モデルデータを入力する。建方工区設定モジュールでは、躯体モデルを階層構造を持った任意の大きさの工区に分割する。建方判定モジュールでは、上述モジュールにおいて設定した条件下で、検討に用いるクレーンの配置並びに選択を行い、部材ごとに建方の可否を判定する。

躯体部材情報の入力に限り、当社既開発であるモデラ（IGP）を用いているが、それ以外の操作画面は汎用 CAD ソフトの AutoCAD2000i による。

各モジュールで作成・入力された全てのデータは、MS Access 形式のデータベース内に保存され、全てのモジュール間で共有される。

4. 三次元躯体データ生成モジュール

三次元躯体データ生成モジュールにおいて、IGP を用いて躯体部材情報を入力することができる。さらに、柱部材の節割り設定の情報や梁ブラケット設定の情報なども、簡便な操作で入力することができる。

躯体モデルの入力が完了したら、部材の概算重量が計算された一覧表を出力することができる。

5. 建方工区設定モジュール

建方工区は、「中工区」、「小工区」、「特小工区」の計 3 階層から構成されており、(1) 式に示す包含関係を持っている。

特小工区 小工区 中工区 (1)

工区階層を活用することにより、実用性に富む工区設定を実現しているが、それぞれの階層に意味を持たせることにより、さらに効率的な建方工区を検討することが可能となる。例えば、小工区を一日で建方する部材の集合と定義し、小工区ごとの図面を出力することにより、日ごとの建方進捗状況を容易に把握することができる。さらに、中工区を同一クレーン機種及び位置から建方される部材の集合と定義し、クレーンの移動ごとに建方進捗状況を確認することができる。

工区設定が完了したら、躯体のピース数と、部材種類ごとの揚重時間から、クレーン使用時間の概算を算出することができる。揚重時間は、システムのデフォルト値もしくは操作者が設定する任意の値である。

6. 建方判定モジュール

(1) 判定方法

本システムでは、部材の建方可否を判定するため、作業距離、

定格総荷重、吊高さ、クレーンブームと既設部材との接触の 4 項目について計算を行っている。判定は上述の 4 項目の順番で行われており、の作業距離で不合格と判定された場合、その後の検討は行われない。

作業距離判定では、部材の建方位置がクレーンの最小及び最大作業半径内であるかを判定している。定格総荷重判定では、ある建方位置で、部材重量、吊フック並びに吊冶具の重量の合計値が、クレーンの定格総荷重以下であるかを判定している。吊高さ判定では、部材が建てられる高さまで吊り上げられるか判定している。接触判定では、クレーンブームと既設部材の中心軸の 2 線分間の最短距離と、接触判定の不合格距離及び警告距離との比較により判定している。Fig. 2 に示すように、三次元の建方状況図上で建方不合格部材が着色されることにより、視覚的に各部材の建方可否を確認することができる。さらに、Fig. 3 に示すように、各部材の詳細な結果情報を一覧表として出力することができる。

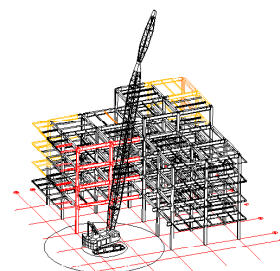


Fig. 2 建方状況図
(Erection Simulation Result)

部材情報										クレーン情報										判定結果										
部材ID	部材名	規格	長さ	重量	吊高さ	吊重	吊重	吊重	吊重	クレーンID	機種	位置	高さ	吊重	吊重	吊重	吊重	吊重	吊重	吊重	判定結果	判定理由	判定結果	判定理由	判定結果	判定理由	判定結果	判定理由	判定結果	判定理由
1000000001	柱	φ1000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1000000001	クレーン	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	OK		OK		OK		OK		OK	
1000000002	梁	φ1000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1000000002	クレーン	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	OK		OK		OK		OK		OK	
1000000003	梁	φ1000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1000000003	クレーン	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	OK		OK		OK		OK		OK	
1000000004	梁	φ1000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1000000004	クレーン	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	OK		OK		OK		OK		OK	
1000000005	梁	φ1000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1000000005	クレーン	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	OK		OK		OK		OK		OK	
1000000006	梁	φ1000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1000000006	クレーン	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	OK		OK		OK		OK		OK	
1000000007	梁	φ1000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1000000007	クレーン	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	OK		OK		OK		OK		OK	
1000000008	梁	φ1000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1000000008	クレーン	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	OK		OK		OK		OK		OK	
1000000009	梁	φ1000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1000000009	クレーン	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	OK		OK		OK		OK		OK	
1000000010	梁	φ1000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1000000010	クレーン	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	OK		OK		OK		OK		OK	

部材ごとに建方判定結果が表示される

部材情報

クレーン情報

判定結果

Fig. 3 建方検討結果一覧表
(Table of an Erection Simulation Result)

(2) 移動式クレーンの配置及び機種選択方法

本システムではクレーンの配置方法として、次の 3 案を考案した。

- 自動配置方法
- 手動配置方法
- 自動配置結果の修正方法

a の自動配置方法では、クレーンの移動可能な領域を動線としてユーザが設定し、その動線上に建方工区ごとにクレーンを自動配置する。複数のクレーンを選択し、各クレーンによる建方判定を同時に行い、クレーンごとに判定結果を参照することができる。b では、1 機種のクレーンを選択し、位置を手動で移動させ、建方判定結果をクレーンの移動ごとに確認しながら配置位置を決定する。

データベースには、10, 25, 35, 45, 100, 120, 160, 200 トンクラスの油圧式クレーンと、50, 80, 100, 150 トンクラスのクロール式クレーンが登録されており、クレーンの詳細なデータは、クレーンメーカー並びにリース会社のカタログ掲載値に準拠している。

・システムの適用例

1. N 工事の概要

当社設計施工の N 工事の生産計画段階で、本システムを適用した。N 工事の概要を Table 1 に、概略平面図を Fig. 4 に示す。

Table 1 N 工事概要
(Summary of Building N)

工事名称	N 工事
工事地区	市街地
建物階数	地上 7 階, 地下 2 階
鉄骨数量	約 600 トン
敷地面積	約 6,300 m ²
建築面積	約 600 m ²
延床面積	約 4,700 m ²
地上躯体構造	SRC
地下躯体構造	RC
軒高	28.9m

N 工事の建方対象部材は、地上躯体の鉄骨及び外装 PCa 板である。地上鉄骨躯体は、4 節に分割されている。鉄骨部材数は約 600 ピースで、PCa 板数は約 100 枚である。

建方計画案を検討するに際し、クリアすべき条件がいくつか与えられていた。N 工事の現場は市街地に位置し、施工スペースが限られているため、計画当初は、タワークレーンによる建方案が検討されていた。しかし、工事コストを低減させるため、タワークレーンよりも安価な移動式クレーンによる建方計画案を検討することとなった。

さらに、Fig. 4 の概略平面図に示すように、クレーンを設置できるスペースは、取り付け道

路及び隣接建物の関係から、施工建物領域及びその東側のみであり、主に建物の北面並びに西面に取り付けられる外装 PCa 板の建方方法を検討する必要があった。

既述の条件の基、施工支援部署及び工事担当者により、2 つの概略建方案（建方案 A 及び建方案 B）が提案され、本システムを活用して、各建方案について建方シミュレーションを実施し、概略建方計画案の作成支援を行った。

2. 三次元躯体データの作成

システムの三次元躯体データ生成モジュールにおいて作成した N 工事の躯体モデルを Fig. 5 に示す。

本システムのモデルは、開口部がある部材に対応していない。そのため、開口部付 PCa 板については、部材体積から自動的に部材重量を計算する機能を利用できず、PCa 板のメーカーから提供された重量を手作業にて各 PCa 板に設定している。

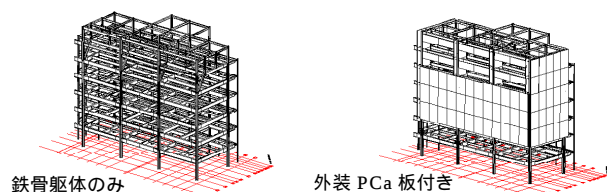


Fig. 5 N 工事の三次元躯体モデル
(Three-dimensional Structure Model of Building N)

躯体モデル作成後に、部材の概算重量表を出力した。その結果、最も重い鉄骨部材は約 6 トン（柱）であり、最も重い PCa 板は、約 4.7 トン（西面）であった。

3. 建方シミュレーションの実施

(1) 建方案 A

建方案 A は、小型のクレーンを用いて鉄骨躯体の建方完了後、大型の移動式クレーンに入れ替えて外装 PCa 板の建方を行う案である。

建方シミュレーションの結果、鉄骨躯体については、160 トンクラスのクレーンで建方が行えることが判明した。しかし、建方が完了した躯体の東側に移動式クレーンを設置し、躯体の西面に PCa 板を取り付けることは、200 トンクラスの油圧式クレーンでも不可能であることが確認された。タワー型クロークレーンの活用も考えられたが、タワーを組み立てるスペースがないことから、建方案 A は現状では実現性が低いと判断された。

(2) 建方案 B

建方案 B は鉄骨躯体を建逃げ工法により建方し、同時に、外装 PCa 板を建方していく案である。

a. 本案の建方工区の設定においては、

Fig. 6 に示すように、鉄骨躯体を、平面上で 3 つのブロックとして捉え、各ブロックの各節を 1 つの特小工区に設定した。

PCa 板についても、同様にブロックごと及び節ごとに特小工区とした。

鉄骨躯体の施工中の自立安定性を考慮し、Fig. 7 に示すように、まず、階段状に躯体の建方を行い、その後、PCa 板の建方を行う工区設定とした。

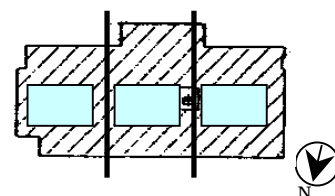


Fig. 6 平面上のブロック (建方案 B)
(Blocks on Plan (Plan B))

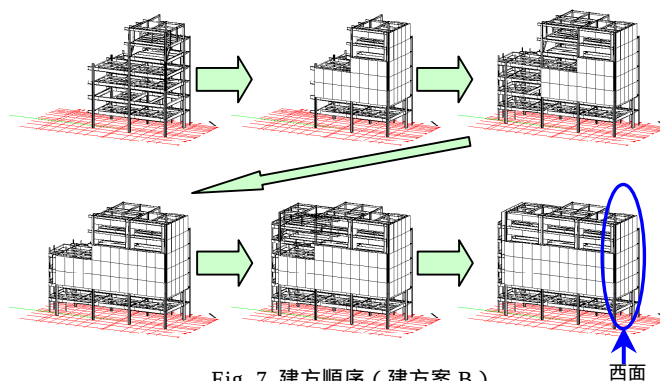


Fig. 7 建方順序 (建方案 B)
(Erection Sequence (Plan B))

b. 敷地余裕を勘案し、躯体の建逃げ方向にクレーン動線を設定した。Fig. 8 は、

躯体の平面図で

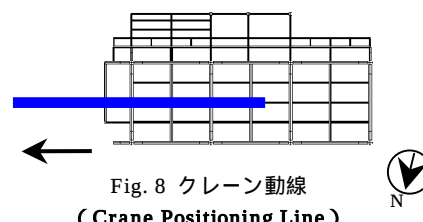


Fig. 8 クレーン動線
(Crane Positioning Line)

あり、太線はクレーン動線を、矢印は建逃げ方向を示している。

- c. 建方工区とクレーン動線の設定の基、100、120、160 及び 200 トンクラスの油圧式クレーン 4 機種について、メインブームで建方するケースと複数タイプのジブを装着したケースの建方シミュレーションを行った。その結果、100 及び 120 トンクラスの定格総荷重判定において、PCa 板が不合格であった。このことから、160 トンクラス以上のクレーンを使用する必要があることが判明した。
- d. 160 並びに 200 トンクラスのシミュレーション結果では、メインブームのみによる建方では、西面 PCa 板を建方する際に、メインブームと既設梁部材が接触するとの判定結果であった。クレーンにジブを装着したケースにおいても、同じ梁部材と接触する判定結果が算出されたため、クレーンの自動配置結果を手動で修正することを試みた。しかし、メインブームが梁部材に接触することなく西面 PCa 板を建方できる位置は見当たらなかった。
- e. 既設部材との接触回避策として、部材の建方順序を変更した。すなわち Fig. 9 に示すように接触する梁部材とそれに付随する小梁を、西面 PCa 板の建方が完了した後に建方するよう設定し、再度 160 並びに 200 トンクラスのクレーンについてクレーン動線によるシミュレーションを実施した。その結果、両クレーンにおいて、ジブを装着したケースで合格と判定された。

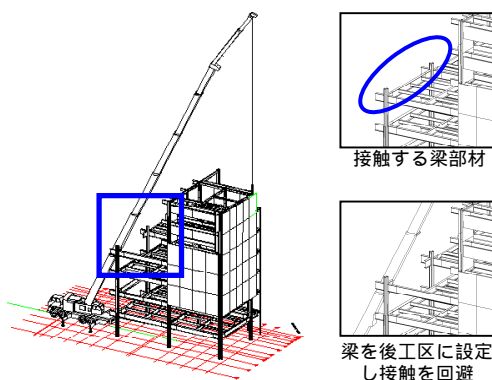


Fig. 9 建方検討の状況
(Erection Investigation)

- f. 西面 PCa 板と既設梁部材の接触を回避した結果、残りの全ての部材についても 160 トンクラスの同一ジブを装着した移動式クレーン 1 機種により建方できることを確認した。建方進捗に合わせ、クレーンが動線上に自動配置されている様子を Fig. 10 に示す。

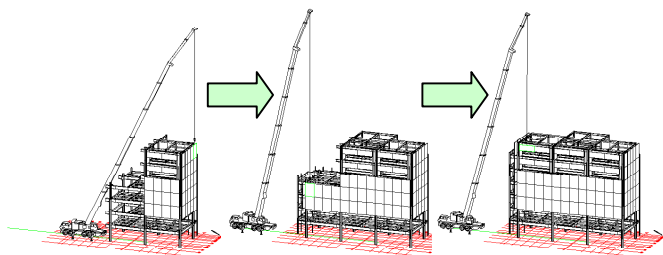


Fig. 10 建方進捗
(Erection Progress)

4. 適用結果

(1) 結果の概要

N 工事の生産計画段階において、本システムを適用し、建方計画書の作成支援を行った。その結果、システムについて以下の知見を得た。

- a. 同時に複数クレーンによる建方シミュレーションが可能であり、より適切な機種の割り出しが短時間で行える。
- b. 建方状況が三次元で確認でき、建方計画上の問題点の早期発見につなげることができる。

(2) 省力化に関する考察

N 工事におけるシステム適用による概略建方案の検討には、合計で約 8 時間を費やした。一方、システムを適用しない従来方法での検討に要する合計時間は、約 9 時間と推定され、省力化効果はそれほど大きくないという結果となった。

システム使用時には、鉄骨躯体及び PCa 板のモデル化に、それぞれ約 3 時間を費やしており、部材のモデル化には多くの時間を要していることがわかった。モデル化の所要時間は、外注委託による専任の CAD オペレータの活用、設計データとの連携、モデラの改良などにより短縮することができると考えられる。

モデル化を除く建方計画作成業務のみに着目すると、従来方法の約 9 時間に比べ、システム使用時には約 2 時間であり、計画作成業務を大幅に効率化していると言える。

さらに、本システムにより作成した概略計画案で活用したデータを、実施計画書の作成時に利用することが可能であることから、実施計画作成時におけるさらなる省力化が見込まれる。

(3) シミュレーション結果の活用に関する考察

シミュレーションの結果は、建方進捗図やクリティカルな部材の建方状況図を三次元図面上で視覚的に確認することができることから、工事段階における施工支援部署、工事担当者並びに協力会社間での意思疎通のためのツールとしても有用であると考えられる。

・おわりに

本システムの N 工事への適用により、適切な機種の割り出しが短時間で行え、建方計画上の問題点の早期発見につながったことから、開発の狙いどおり、本システムは、敷地余裕の少ない工事での移動式クレーンを用いた建方計画の検討に役立つことが実証された。

従来方法に比べシステム使用時には、モデル化を除く建方計画作成時間を 7 割以上削減し、作業を効率化できることが判明した。

本報告は、建方計画への適用であるが、シミュレーション結果の工事進捗段階での活用方法とその有効性の評価を継続して進める必要がある。

今後の課題は、モデラの改良及び設計段階で作成される躯体データを本システムへ連携させることである。今後、さらなるシステム機能の拡充を図り、多くの実工事への展開を推進していきたい。

参考文献

- 1) 正村; 躯体モデルによる建方計画の支援方法に関する研究, 第 17 回建築生産シンポジウム, (2001), pp.295-302.
- 2) 正村; 躯体建方計画の 3 次元シミュレーションシステムに関する研究, 第 9 回建設ロボットシンポジウム, (2002), pp.57-64.