

構工法テンプレートによる施工計画の自動化

片岡 誠
(技術研究所)

Automated Pre-construction Simulation Using Construction Method Templates

by Makoto Kataoka

Abstract

Current construction simulation systems need detailed architectural models and schedules in order to estimate costs and visualize the construction process. However, the process of developing a building model, formulating a schedule, and eventually synchronizing them is a time-consuming and laborious process. When changes occur, the model and schedule must be modified or rebuilt using the same time-consuming and laborious process. Therefore, systems of this kind are used only for some demonstrations. This paper describes a new way to automate construction simulations using simple architectural information and pre-defined “construction method templates.” The author proves the concept by implementing a computer system to process building models and construction methods. The concept allows designers and pre-construction engineers to build a model and simulate construction processes in a short period of time in the early stage of a construction project.

概 要

施工シミュレーションを称するこれまでのシステムは、詳細なデータを作りこみ、これを集計することで、ひとつの工法に対する工程、コスト等を算出するしくみであった。これらのシステムを利用するためには、あらかじめ構工法を想定し、それに合わせた部材分割と工程作成を行う必要がある。異なる構工法を適用する場合や設計が変更された場合には、相当の時間と労力をかけて、部材と工程の再入力が必要になる。本論文は、極めて簡素な入力であっても、短時間で多様な施工シミュレーションを自動的に生成するための手法を提案し、同時に、コンピュータプログラムを実装した上で、その有効性を示すものである。企画設計段階でも得られる、断面形状や継手位置すら持たない、躯体情報を入力とし、あらかじめ用意された「構工法テンプレート」に従って、部品展開、属性付与等の処理を施すことで、仮設を含む数量積算、工程、施工アニメーション等を作成する。

§ 1. はじめに

建築物と建築プロセスを品質、コスト、工期、安全、環境の軸で評価することは多い。これらのうち定量的に表現しやすいコストと工期は、建築プロセスを評価するために、施工者が特に注目するところである。本設のコストは建物の物量—たとえば鉄骨の重量やコンクリートの体積—に単価を乗じて得られる。実際の数量積算は、使用材料や加工の程度ごとに極めて詳細に行われるため元積もりに記述される項目は多岐にわたるが、コストの算出が数量×単価という仕組みで行われるのは同じである。より好ましい工法を選択することで、無駄なコストを削減する努力がなされることはあっても、一般的に、最初の見積もり段階で工法の最適化が図られる例は少ない。施工計画段階になると、

工法の違いによって生じるコストの差を考慮することになり、ここで初めて労務や機械などの資源使用量と、手順やラインバランスを工夫することによる工期短縮の効果が加味される。

施工者は施工計画を通して総合的に最良の工法を模索するわけであるが、評価軸がひとつでない建築プロセスについて工法を最適化することは簡単ではない。そのため、施工者はそれまでの経験から判断することになる。当然ながら、選択した工法が最適なものであるかどうかの評価する人によって異なることもある。やはり客観的な評価手法は必要である。こうした評価手法は同時に発注者に対するアカウントビリティ確保の観点からも重要な技術として価値の高いものとなる。

情報技術が建設業に徐々に採り入れられるようにな

り、施工計画を支援するツールも多数提供されてきた。建設プロセスをシミュレートし、評価するシステムもいくつか提案されてきた。しかしながら、工法の最適化はいまだに課題の多い問題である。なぜなら、施工計画を目的とする従来のシミュレーション技術では、シミュレーションの結果をもとに最適と思われる工法を選択するのではなく、工法を選択した後にシミュレーションを行って確認だけを行うという具合に、意思決定の順序が本来あるべき姿と逆転しているからである。設計が概ね確定し、さらに施工者の経験にもとづく予備的な判断がなされた後でシミュレーションが行われているのが現状であり、想定していない工法についてはシミュレーションを実行することができないというわけである。もし、想定していない、つまり施工計画者の知りえない工法についてもシミュレーションをすることができるなら、従来技術では到達しえなかった、より良い工法の選択を実現することが可能になる。

そこで本論文では、工法を想定しえない、建築プロセスのきわめて早い段階—例えば企画設計段階—で多数の工法について施工シミュレーションを実施し、より良い工法を選択するための情報を与える理論を提案する。同時に、実用に供するコンピュータプログラムを作成することで、理論の実装可能性を証明する。さらに言えば、設計初期に施工をシミュレートすることが可能となる結果として、構造形式を変更して、建物自体と作り方の両者を総合的に最適化することが可能になる。本論文では、建物自体の構造形式（構法）と作り方（工法）の両者を総合した構工法を対象として、理論の実装可能性について詳述する。理論の詳細については同時期に発表する論文¹⁾に詳しいので参照されたい。

§ 2. 既往研究

従来のシミュレーション技術として、3Dのデータを工程に対応づけることで、工程シミュレーションを称するものは存在する。当社のシステム²⁾は先駆的な例であるが、国外に目を向ければスタンフォード大学 CIFE (Center for Integrated Facility Engineering) における4Dシステムの開発³⁾などが挙げられる。これらはいずれも、建築物を示す3次元形状と、組み立て順序を示す工程を作成し、形状要素と工程要素とをマッピングすることで、時系列的な表示を可能にしたものである。建物が構築される様子を可視化することで、輻輳作業による問題や必要なリソースを検討するための情報を提供することができる。残された課題は、

先に述べたように、データを作成する段階でシナリオができていなくてはならないことである。つまり工法がある程度想定されていなくてはならないということである。

これに対して、ひとつの設計に対して複数の構工法によるシミュレーションの必要性を述べたものとして北野⁴⁾を挙げるができる。北野はひとつの建築物について二通りの工程を比較して言及しており、本論文で示す手法と類似の提案を行っている。しかしながら、シミュレーション自体は手作業で行っており、自動化のための提案は示されておらず、この点は追究の余地がある。

§ 3. 建物データと構工法データの分離

ひとつの建物に多数の構工法を適用してシミュレーションを行うためには、必要に応じて構工法を差し替えられる仕組みが望ましい。つまり、建物データと構工法データを別々に作成しておき、これらを組み合わせることが可能であれば、建物データを作成しなおすことなく、多数の構工法を適用したシミュレーションが可能になる。そこでまず構工法を「構工法テンプレート」として個別の設計に依存しない形式で記述する。同時に、建物データは構工法に依存しない形式で記述することになる。当然ながら、これら2つのデータの組み合わせに対してシミュレーションを自動化するツールが必要となるが、こうしたツールはこれまで存在しておらず、新たに作成する必要がある。

構工法テンプレートは、施工計画に関する知識をパッケージ化し、設計に依存しない形で記述したものである(図-1)。従来のシミュレーション手法では、そ

	満たすべき条件を記述しておき、これらを満たす解を探す手法	処理方法を記述しておき、処理結果で処理の妥当性を判断する手法
設計に非依存	法規 共通仕様書 標準施工要領	構工法テンプレート
設計に依存		従来の 施工シミュレーション

図-1 研究開発の対象領域

れが自動化されているかどうかにかかわらず、設計情報をもとになんらかの仮定条件を入力し、シミュレーションの結果を判断材料にしてきた。それに対して構工法テンプレートでは、設計に独立した仮定条件の記述を目指している。また、設計に独立したルールとして様々な技術情報や標準類が存在するが、これらは散文的に記述されているものが多く、これらの組み合わせが妥当かどうかは計画者の判断に委ねられている。構工法テンプレートはパッケージ化されており、パッケージとして採用する限り構工法の妥当性が保証されるのである。

ところで、構工法テンプレートと建物データを分離して記述することにより、構工法データを事前に多数用意しておくことが可能になる。構工法テンプレートは、施工者として蓄えてきた豊富な知識を記述することで用意することができる。また、技術開発の成果や現場からのフィードバックによって、継続的に蓄積されることが期待できる。

一方、建物データは構工法に関する情報を含まないため、極めてすばやく作成することができる。部材断面や継手位置は構工法に依存するため、建物データとしては必要ない。もはや建物データに必要なものは、それを構成する部材が存在する領域だけでよい。適用する構工法によって与えられる断面と継手をもつ部材が、その領域に配置されるということである。このような建物データは短時間に入力することができるうえ、なにより設計の初期段階で作成可能である点で構工法選択に有効である。

しかしながら、構工法テンプレートは技術者の知識としては存在するものの、これまで記述されていない。そこで、4章でその記述手法の一例を提案する。また、構工法情報を排除した建物データの記述手法の一例を5章で説明する。さらに、これらを組み合わせて処理するシステムを6章で説明する。

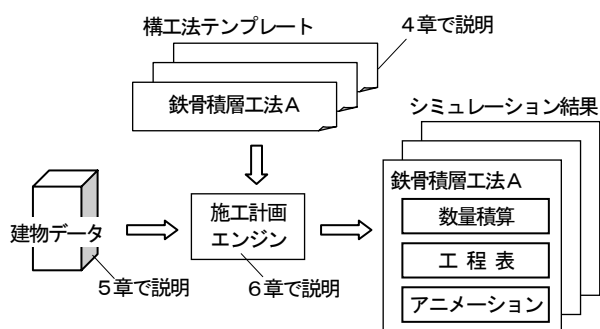


図-2 システムの概要

§ 4. 構工法テンプレート

構工法テンプレートの例を図-3に示す。主要要素は、施工部品の定義と工程の定義とする。施工部品定義は、部材分割と属性付与のルールで構成される。工程定義は、作業と作業どうしの先行後続関係とにより構成される。さらに意思決定に必要な構工法の特徴を記述しておく。

構工法テンプレートは特定の設計に依存することがない形式で記述しなくてはならない。位置(通り芯、階、工区)を指示するには絶対的な表記を避け、相対的な表記やパラメータ表示で指示する。たとえば、「4階、7階、…」というかわりに「 $3n+1$ 階」と、「4階の外壁取り付けは9階の建方の後」というかわりに「 n 階の外壁取り付けは $n+5$ 階の建方の後」と表記する。

さらに、設定した数値の根拠がわかりやすいように、数値属性は数式で与えることとした。これは同時に、設計に依存する建物データの情報をもとに属性値を設定する際にも有効である。数式に使用できる演算子や関数も多数用意した。

また、構工法テンプレートは、コンピュータプログラムで処理するため、コンピュータで読み取りやすい形式で表記するのが望ましい。今回は、仕様の変更に対応しやすく、入出力機能が入手しやすいXML (Extensible Markup Language)を採用することとした。

4.1 施工部品の定義

4.1.1 分割ルール

分割ルールは継手や割り付けの位置を決めるためのものである。ルールは条件と実行コマンドの組み合わせで記述する。たとえば、「偶数階の柱は床から1m上に継手を設ける」ことを「部材種別=柱、階=偶数ならば、FL+1mで水平分割」のように書く。条件には、部材種別と階のほか、部材の幾何情報(後述する部材記述から得られる情報で、長さや体積など)、通り芯、指定点からの平面距離などを指定することができる。実行コマンドにはいくつかの分割方法(梁のノンブラケットタイプ分割、外壁カーテンウォールの柱間の等分割など)を指定することができ、加えて、部材断面(H-700x350x12x22など)の設定、属性(材料名、比重など)の付与を可能にしている。このルールによって、部材レベルの情報を与えることになる。

4.1.2 属性付与ルール

分割ルールを適用した結果、実際の施工の際に揚重する単位、すなわち施工部品が得られる。属性付与ルールとは、この施工部品に対するルールである。

<pre># # 工区の作成 # 工区 (工区数="切り上げ (建築面積 ÷ 1000) " 分割方法="施工数量を平均化する")</pre>	<p>1工区をおよそ 1000m² 以内として工区数を決定し、施工数量が平均化するように工区を生成する。</p>
<pre># # 部材の設定 # # 柱は3層1節。ジョイントは同じフロアに設定する。 ルール (条件 (部材種別="柱" AND 階="3n+2") 処理 (命令="分割する" 種類="フロア上" 高さ="FL+1m")) ルール (条件 (部材種別="柱") 処理 (命令="断面を設定する" 断面記号="□-750X750X22X22"))</pre>	<p>柱は 3n+2 階にて、床上 1m でジョイントを生成する。断面はボックスとする。</p>
<pre># 大梁はノンブラケットとする ルール (条件 (部材種別="大梁") 処理 (命令="断面を設定する" 断面記号="H-700X350X12X22") 処理 (命令="属性を与える" 属性名="比重" 値="7.85") 処理 (命令="分割する" 種類="ノンブラケットタイプ"))</pre>	<p>大梁に断面形状を与え、ノンブラケットタイプとして、分割する。</p>
<pre># 外壁は、幅 3.6m 以内のパネルになるように柱間を分割する ルール (条件 (部材種別="壁" AND 位置="柱間") 処理 (命令="分割する" 種類="等分割" 分割数="切り上げ (壁幅 ÷ 3.6) "))</pre>	<p>外壁は、柱間のパネルが幅 3.6m 以内になるように、建物データの部材形状から幅を算出して分割する。</p>
<pre># # 施工部品の属性設定 # # 柱ユニットの抽出 ルール (条件 (要素="柱を含む") 処理 (命令="命名する" 名前="柱ユニット") 処理 (命令="属性を与える" 属性名="溶接長" 値="60(m)") 処理 (命令="属性を与える" 属性名="重量" 値="断面積×長さ×密度") 処理 (命令="属性を与える" 属性名="コラムステージ" 値="3"))</pre>	<p>分割後、柱の部分を含むユニットに「柱ユニット」の名前を与えると同時に属性を付与する。属性値は数式で与えることもできる。</p>
<pre># # 工程の作成 # 作業 (作業名="柱建方" 対象="柱ユニット" リソース (名前="クレーン" 投入量="1") リソース (名前="鳶班" 投入量="1") 歩掛り (施工時間="15分" 使用リソース="クレーン") 歩掛り (施工時間="10分" 使用リソース="鳶班"))</pre>	<p>柱建方には、複数の歩掛りが与えられている。施工時間は、1ピースあたりの値。対象は施工部品の属性設定で与えた名前を参照している。</p>
<pre>作業 (作業名="柱溶接" 対象="柱ユニット" リソース (名前="溶接工" 投入量="10") 歩掛り (施工時間="1日 ÷ 65(m)" 施工負荷="溶接長" 使用リソース="溶接工"))</pre>	<p>溶接工による柱溶接は、1日 (1人工) 65m として設定している。施工負荷は施工部品の属性を集計したもの。</p>
<pre>先行後続関係 (後続作業 (作業名="柱溶接" 階="すべて" 工区="すべて") 先行作業 (作業名="柱建方" 階オフセット="0" 種類="FS") 先行作業 (作業名="大梁取付" 階オフセット="+1" 種類="FS"))</pre>	<p>「柱溶接」は、同じ階の「柱建方」と、直上階の「大梁取付」が完了してから開始される。</p>

実際にはXMLで記述しているが、ここでは書式や表現を変更して記述している。

図-3 構工法テンプレートの例 (部分)

これも分割ルールと同様、条件と実行コマンドの組み合わせで記述するが、おおきく次のような流れで施工部品に情報を与える。まず、ひとつの施工部品は複数の部分から構成されるが、全体として柱であるのか、梁であるのかといった施工部品としてのカテゴリーを設定する。柱を含んでいけば「柱ユニット」と命名するとか、大梁と両端の柱の組み合わせを「サの字ユニット」と命名する場合などに使用する。この名前は、工程の要素である作業が参照するときに使われる。

名前を設定するのと同時に、施工部品には様々な属性を与える。施工負荷（溶接長、ボルト数、コンクリート体積など）、取り付ける仮設材（コラムステージ、親綱など）、用途によっては二酸化炭素排出量などを割り当てることも可能である。これらの属性は、作業の時間を求める際の施工負荷として利用されるほか、最終的な出力として集計され、必要な仮設材の数量や環境負荷指標として利用することができる。

4.2 工程の定義

4.2.1 作業の定義

個々の作業では対象の施工部品を指定する。さらに、生産性歩掛り（単位施工負荷あたりの必要作業時間）と作業に使用されるリソースを与える。ここで特徴的なのは、生産性歩掛りとリソースは独立に複数設定することを許容している点である。作業時間は、施工負荷と生産性歩掛りに比例し、投入リソース量に反比例するものとして計算されるが、作業時間を決定する施工負荷やリソースはかならずしも一つではない。それらの組み合わせに対して、それぞれ生産性歩掛りが想定されるわけである。

以下に具体例を示す。鉄骨柱の建方を考えたとき、まずは1ピースあたり15分というクレーンによる揚重サイクル時間が与えられる。同時に、鳶工による建て入れ調整時間が与えられる。これが15分であれば完全にクレーンと鳶工は同期しており、いずれも待ちが発生しない状態でサイクル時間は15分となる。しかし、困難な施工条件などで建て入れ調整に20分かかかるようであれば、サイクル時間は20分となり、クレーンには1サイクルあたり5分の待ち時間が発生する。ここで鳶工を2チーム投入すれば今度は鳶工に待ちが発生してサイクル時間は15分になる。

このように、ひとつの作業に複数の施工負荷、生産性歩掛りを想定することで、リソースの投入量を変化させたときのクリティカルパスが自動的に得られる効果がある。

4.2.2 先行後続関係の定義

さて、個々の作業は定義できたが、同時に作業間の先行後続関係を定義しておかなくてはならない。この関係

は施工性を大きく左右するものであり、必要な機械、道具、仮設材などにも大きく影響する。個々の作業の生産性歩掛りや必要リソースは、作業間の一定の先行後続関係のもとで決定される。

作業の先行後続関係は、一般的に使用される FS (Finish to Start) や SS (Start to Start) などのタイプと時間的なギャップを組み合わせで表現した。これにより、鉄骨建方が30%進んだ時点で溶接を開始するということなども表現できる。

設計に依存しない構工法テンプレートでは、特定の階や工区を指定することはできない。そこで、階や工区の関係は相対的に表現することにした。つまり、「 n 階の外壁取り付けは、 $n+2$ 階の梁取り付けが完了してから開始する」などの表現をとる。 n の部分には、建物データが与えられたときに、必要なだけの整数を与える。こうすることによって、基準階の1サイクルの工程を定義するだけで、建物全体の繰り返し作業の工程が得られる。

4.3 構工法の特徴の記述

施工部品の生成と工程の生成は、構工法テンプレートに記述されたルールに従った処理によって自動的に出力されるが、そのシミュレーション結果を採用すべきかどうかの判断を助けるために、構工法の特徴をテンプレートに記述しておく。その構工法を採用するための前提条件、構工法の長短、施工の際の管理ポイントなどを文章として記述しておく。

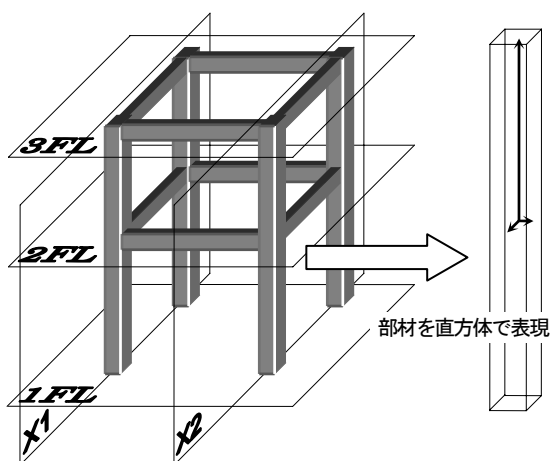
§ 5. 建物データ

5.1 部材

構工法に依存する断面形状や継手位置などの情報を取り除くと、建物データとして主に残されるものは、部材の存在する領域である。今回はその領域を示す方法として、個々の部材を包絡する直方体で表すことにした。閉鎖空間を示す数学的な手法は様々なものが考えられるが、通常の建物の部材を表現することを条件に、記述の簡易性、コンピュータでの処理コストを勘案すると、直方体は最良の選択肢の一つである。したがって、建物全体は多数の直方体の集まりとして表現される（図-4）。

個々の直方体は、その中心の位置ベクトルと、直方体の向きを示す3つの方向ベクトルで表す。方向ベクトルは、直方体の3辺に平行で、その長さは各辺の半分と定めた。これら4つのベクトルの組み合わせによって、建物を構成するすべての部材を表現する。

さらに、個々の直方体に部材種別（柱、梁、床、壁など）を与えておくことを許容する。常識的な入力に



建物データの構成要素

- 階の 名前 と 高さ
- 部材の中心の位置ベクトル
- 方向ベクトル (3方向)
- 通り芯の 名前 と 平面 (オプション)

図-4 建物データの構成要素

対しては、鉛直方向に長い直方体を柱と判断したり、水平に広がる直方体を床と判断したりするなど、個々の直方体の寸法比から部材種別は判断できるが、多様な入力方法に対応しシミュレーションの精度を向上させるために、部材種別を与えることも許容している。

5.2 階と通り芯

建物データには階の定義を必要としている。確かに床や梁の天端レベルの数値を解析することで、階レベルをある程度推定することは可能であるが、逆梁や下がり床などを含んでいても高い精度を維持するためには、設計上の階レベルを建物データに加えておくことが必要である。

一方、通り芯は建物データにかならずしも必要でない。通り芯は、整形な平面における柱、梁、壁などの部材の位置を人間に分かりやすく表現するための便宜

的なものであり、本質的には柱の位置が特定できればよい。システムの内部では、この柱芯 (かならずしも鉛直でなくてよい) と階を表す水平面との交点に格子点を設け、これを頼りに部材の位置を特定する仕組みを実装している。

実際には、構工法テンプレートを記述する上で通り芯が必要になるケースがある。例えば、隣り合う柱のパネルゾーンを大梁を介して一体化するという定義をする場合、直線状に配置された大梁を一つおきを選択することが必要となり、通り芯が参照される。この場合は建物データ内に通り芯を記述しておくことが必要となる。

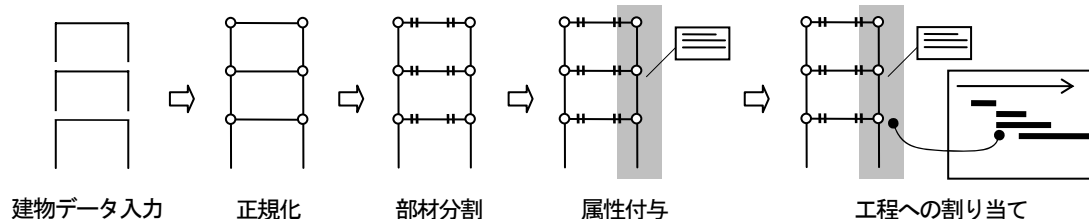
§ 6. 計画処理

構工法テンプレートを読み込み、与えられた建物データに対して、施工シミュレーションを行うコンピュータシステムを実装した。このシステムの処理は図-5に示すように、建物データの正規化、部材分割、属性付与、工程生成、工程と施工部品の割り当て、作業時間の算出を経て、数量積算、リソース使用量、工程表、アニメーションを出力するというものである。

実装言語には主に Java を使用した。処理プログラムは新規に作成したが、入出力インターフェイスはごく一般的なソフトによる。建物データの作成には主に市販の CAD ソフトを使用するものとし、出力結果の表示には一般的に使用されている表計算ソフト、プロジェクト管理ソフト、VRML (Virtual Reality Modeling Language) 用のビューアを採用した。一時的にシミュレーション結果を保存するデータベースも市販のリレーショナルデータベースを使用した。

正規化

対象物が同じでも入力される建物データがかならずしも同じ直方体のセットで表現されているとは限らな



このプロセスで構工法テンプレートが参照される

図-5 計画処理の主な流れ

い。柱を最上階から最下階まで1つの直方体で表すこともできれば、各階で分割して入力することもできる。場合によっては、なんらかの構工法を想定した継手が入力されているかもしれない。同じ建物に対しては同じ入力になるように、構工法テンプレートを適用する前に正規化を行う。

またこのとき、柱と大梁、大梁と小梁など、当然接続しているとみなされる部材どうしを接続する処理を

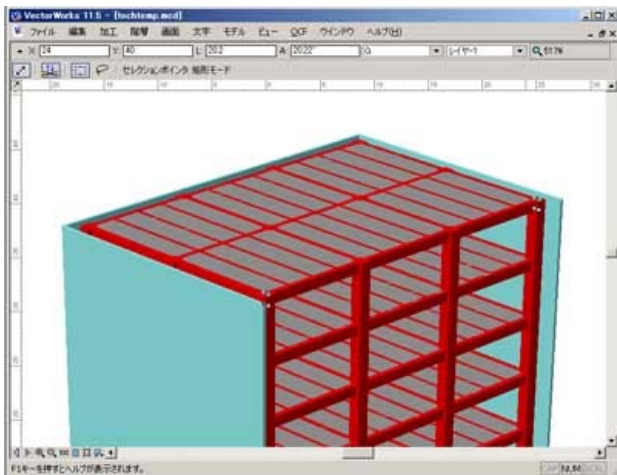
行う。仮に直方体どうしがわずかに離れていても、常識的に接続していると判断できるような距離で入力されていれば接続する。

部材分割と属性付与

構工法テンプレートの記述を読み込みながら、建物データを加工するプロセスである。主に、テンプレートに従って、部材断面を与え、継手を生成する。連続

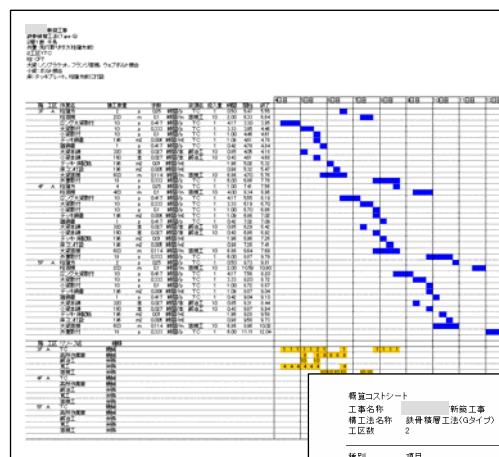
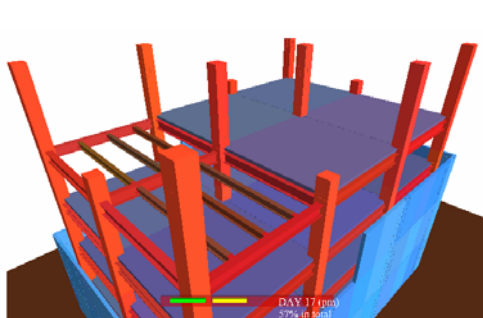
表-1 2 構工法の主な特徴

	構工法A 鉄骨積層工法	構工法B RCST構法
構造形式	柱 箱型鋼	鋼管捨て型枠付きRC造
	梁 H型鋼	H型鋼
部材と継手	柱 3層1節 FL+1mで溶接 千鳥配置	毎フロア、床上と梁下で分割 溶接等なし
	梁 ノンブラケット 溶接	ブラケット ボルト接合
主要作業	1. 床コン打設 2. 柱建方 3. 大梁取り付け 4. デッキ敷き 5. 配筋	1. 床コン打設 2. 鋼管設置 3. パネルゾーン 取り付け 4. 大梁取り付け 5. デッキ敷き 6. 配筋

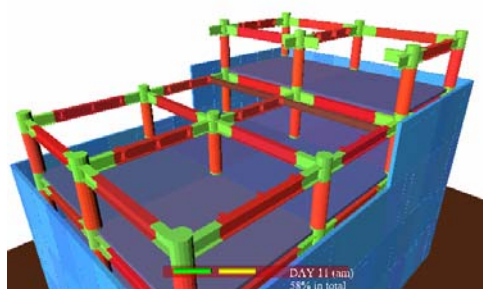


表示のために手前右の壁を削除してある

図-6 3D-CAD による建物データの入力



右上：構工法Aによる工程表
バーチャート工程表（上段）
リソース使用量表示（下段）
右下：構工法Aによる数量積算



左上：構工法Aによる部材分割
左下：構工法Bによる部材分割

種別	項目	数量	合計金額(円) =(数量×標準単価)×標準率	標準単価	期間 (日)	標準 (円/日)	固定費 (円)
仮設	外周養生	367.6 m ²			1フロア分	100	
	縦鋼	107.76 m			1フロア分	100	
	縦鋼支柱	34 本			1フロア分	100	
	垂直ネット	245 m ²			1フロア分	100	
機械	クレーン	1 台			1工区分	100	
	高所作業車	8 台			1工区分	100	
半鉄	ボルト鉄	16640 本			全鉄	100	
	重鋼	1267 t			全鉄	100	
	面鋼	5880 m ²			全鉄	100	
労務	溶接員	56400 名			全鉄	100	
	鋼冶工	10 人			1工区分	100	
	蒸工	4 人			1工区分	100	
	溶接工	10 人			1工区分	100	
総計							

図-7 シミュレーション結果

していた躯体が継手によって分割されることで、結果的に施工部品が抽出される。この施工部品に施工負荷や必要な仮設材を属性として与える。

工程作成と施工部品の割り当て

工程の要素である作業は、構工法テンプレートに記述されたものを、各階、各工区に対して発生させる。また、それらの先行後続関係定義によって、作業の順序を決定する。

その後、各作業が対象とする施工部品を割り当て、その施工負荷と生産性歩掛り、投入リソース量を使って、作業時間を計算する。同一日に完了すべき作業として制約を与えたにもかかわらず、開始日の同日に完了しないものは、待ち時間を挟んで開始時刻を翌朝に移動する。この一連のプロセスによって、工程が確定する。

結果の出力

これまでの処理によって、施工部品の生成、工程の生成、および施工部品と工程の関連付けが完了する。施工部品やその属性を集計することで、本設だけでなく仮設部品の積算を行うこと、また工程にあわせて時間軸上でリソースの必要量を集計することが可能である。工程表と施工部品が対応づけられているので、アニメーション表現も可能である。

実装上、シミュレーション結果を一旦外部のデータベース管理システムに保存し、必要な形式にあわせて変換プログラムがファイルを書き出す形をとっている。これによって、ひとつの結果から、2D図面、3Dア

ニメーション、バーチャート工程、ネットワークダイアグラム、部品リスト、見積書など、多角的な出力を得ることができる。また、下流のシステムへの入力として別の記述言語でファイルを書き出すことや、別のシステムがデータベースから結果を取り出すことも可能になっている。

建物データの入力イメージを図-6に、例として使用した構工法の主な特徴を表-1に、それらの構工法を適用した場合の出力イメージの一部を図-7に示す。

§ 7. まとめ

本論文では、構工法選択の意思決定に寄与するために、設計段階のきわめて早い段階で多数の構工法についてシミュレーションを実施する手法を提案し、その実装可能性を証明することを目的とした。これに対し、個別の設計に依存しない構工法知識を構工法テンプレートという形式で、個別の設計に依存する部分を建物データとして分離することで、これらの組み合わせを変えて施工シミュレーションを行う手法を提案した。同時に、コンピュータプログラムとして実装することにより、その可能性を証明した。

本論文は、構工法開発の成果を実案件に適用する際の工程検討業務を通じて行ってきた理論化のための考察が結実したものである。情報量の豊富なモデルを作成することなく、限定的な設計情報と一般的な知識を組み合わせることによって、新たな価値を創出する本提案手法は今後も活用の範囲を広げると考えている。

<参考文献>

- 1) 片岡誠：“建物データと構工法知識との分離による施工計画シミュレーション”，日本建築学会計画系論文集，No.609，2006
- 2) 松澤健志，内山義次，秋本学，鈴木雅代：“3次元データを利用した施工計画／管理支援システムの開発”，第17回情報システム利用技術シンポジウム論文集，日本建築学会，1994
- 3) Koo, B. and Fischer, M.: “Feasibility study of 4D CAD in commercial construction”, Journal of Construction Engineering and Management, Vol.126, No.4, ASCE, 2000
- 4) 北野信吾，安藤正雄，河合史郎，浦江真人，安藤功：“4次元構工法モデリング手法を用いた多工区分割同期化構工法計画”，第18回建築生産シンポジウム論文集，日本建築学会，2002