

# BIM を利用したコンクリート打込み計画システム

金子 智 弥 浜 田 耕 史

福 士 正 洋 岡 本 隆 秀  
(本社建築本部) (本社建築本部)

## Concrete Placement Planning System Using BIM

Tomoya Kaneko Koji Hamada

Masahiro Fukushi Takahide Okamoto

### Abstract

In concrete placement planning, a placing area is the most basic planning element. In order to optimize the placing areas, it is necessary to carry out the range assumptions and volume calculation repeatedly. So, we have developed a concrete placement planning system which allows a construction manager working in the construction site to optimize placement plan without regard to such operations. It can use a skeleton model which was created by various BIM tools. It has clash detection and solving functions to eliminate the overlaps automatically. If a user specifies the range in plan or elevation view, it will divide the skeleton model in the range and calculate the volume. We carried out the functional verification of the system and it was much easier to use than the BIM tool.

### 概 要

コンクリート打込み計画において、打込み工区分割は最も基礎的な計画要素である。打込み工区を最適化するには範囲の仮定と体積計算を繰り返す必要がある。しかしそのためには、BIMツールによる立体の切断等の操作に習熟する必要がある。そこで、施工現場の工事管理者がこのような操作を意識せずに、容易に利用できるコンクリート打込み計画システムを開発した。開発したシステムは次のような特徴を持つ。(1) BIMの標準形式であるIFCを読み込めるため、市販の様々なBIMツールで作成した躯体モデルを利用できる。(2) 体積計算の誤計算の原因になる重複部分を自動的に検出し排除する包絡機能を持つ。(3) 平面図または立面図形式で工区範囲を指定し、その範囲で躯体モデルを分割して体積を計算する。このシステムの機能検証を、実際の工事で行った。

## 1. はじめに

Building Information Modeling (以下、BIM) は、コンピュータ上に作成した3次元形状情報に加え、室等の名称や仕上げ、材料・部材、コスト情報等、建物の属性情報を併せ持つ建物情報モデルを構築すること、と定義されている<sup>1)</sup>。2012年7月に社団法人日本建築家協会が、設計者の視点でBIM活用の要点をまとめたBIMガイドラインを発表した。また、2014年3月には国土交通省が、官庁営繕事業の技術提案においてBIMを利用する場合に適用するBIMガイドラインを発表した。

現状では主に、意匠、構造、設備などの異なる設計図間の整合性を確保するために用いられている。しかし、この技術を施工段階に応用すれば、工事の生産性向上が期待できる。大林組では2010年4月にBIM推進室を設置し、2014年には組織を拡充して本格的な普及展開を行っている。

コンクリート打込み計画は、施工現場内外の生コンの供給経路や打継許容時間など、様々な計画要素を総合的

に検討したうえで立案する。これらの要素の中でもコンクリート打込み工区分割は、最も基礎的な計画要素である。工区ごとのコンクリート量の積算が実際の必要量より超過していると、余ったコンクリートは廃棄物となる。一方、積算が不足していると打込み当日にコンクリートを追加注文することになり、先に打込んだコンクリートと一体化されず(コールドジョイント)、美観上あるいは漏水の欠陥となる。そのため、コンクリート所要量の正確な計算が必要である。

コンクリート躯体モデルをBIMで作成すれば、打込み工区ごとのコンクリートの所要量を正確に計算できる。しかしそのためには、BIMツールによる立体の切断等の操作に習熟する必要がある。また、打込み工区を最適化するには範囲の仮定と体積計算を繰り返す必要がある。

そこで、施工現場の工事管理者がこのような操作を意識せずに、容易に利用できるコンクリート打込み計画システムを開発した。

本システムの開発のねらいは次の通りである。

- 1) データの入力形式にBIMの標準形式であるIFC

(Industrial Foundation Class) ファイルを採用し、様々な BIM ツールで作成した躯体モデルを扱える。

- 2) 施工現場の工事管理者が容易に利用できるインターフェースを備える。

システムの実現には、IFC ファイルから形状情報を読み取る機能と、立体と立体を相互に切断する幾何計算の機能が必要である。これらの技術はコンクリート打込み計画以外にも、今後 BIM モデルを工事管理に応用したり、タブレット端末で利用する場合にも必要である。そこで、要素技術を含めて本システムを開発した。

## 2. 要素技術の開発

### 2.1 IFC からの形状読取り

IFC は、buildingSMART (旧 IAI: International Alliance for Interoperability) が作成した建物モデルの表現仕様であり、2013 年 3 月 21 日に国際標準(ISO 16739)として登録された。現在、バージョン 2x3 が多くの BIM ツールで、標準的な出力形式として採用されている。一方、入力形式のひとつとしてサポートしている BIM ツールもあるが、参照のみか、編集可能の場合でも機能が制限される場合が多い。

IFC では、参照や関連付けを行うデータや意味のまとまりを、エンティティー (Entity, 実体) と呼ぶ。敷地・棟、柱・梁、面・線分、座標・ベクトルなどは、すべてエンティティーである。

Fig.1 に BIM モデルの例を示す。比較的単純なモデルであるが、約2000個のエンティティーで構成されている。IFC はテキストファイルであり、一般のエディタソフトで閲覧と編集ができる。IFC には 980 個のキーワードがあり、Table 1 のように分類できる。エンティティーは 653 個と最も多く、また階層関係によって上位概念から属性値を継承するので、上位概念についての理解も必要になる。本システムの開発では IFC ファイルから形状情報を読み取る機能を開発した。開発にあたっては、このうち、IfcBuildingElement を親とする建築的要素のグループと、IfcGeometricRepresentationItem を親とする空間的位置と姿勢のグループが特に重要である。

### 2.2 立体の相互切断

2.2.1 立体の表現 IFC では、立体を表現する方法に、次の 2 つの方法を使用している。

- 1) CSG (Constructive Solid Geometry) 表現  
直方体、球、円錐などの基本形状の集合演算によって立体を表現する。
- 2) B-Reps (Boundary Representation) 表現  
頂点・辺・面の組合せで境界面を定義することで立体を表現する。

CSG では、描画・保存・計算処理などを基本形状の種類ごとに最適化できるが、その反面で様々な計算処理に

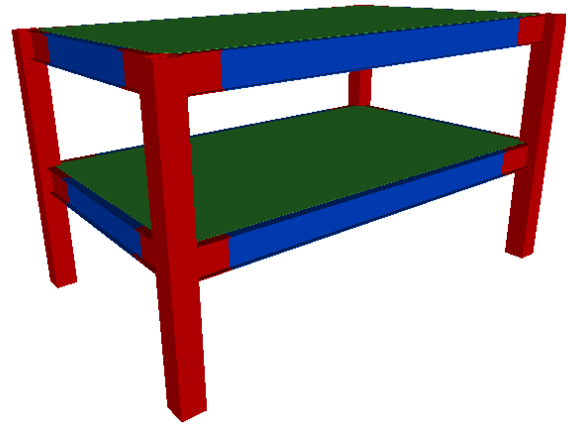


Fig.1 単純な BIM モデル  
Sample of Simple BIM Model

Table 1 IFC キーワードの分類  
Keywords of IFC

分類	意味	数
データ型	単純データ	117
列挙型	定数	164
選択型	データ型/エンティティー	46
エンティティー	データ、意味のまとまり	653
IfcRoot	名称も持つ要素	
IfcProduct	空間的な要素	
IfcBuildingElement	建築的要素	
その他の Product	非建築的要素	
その他 (関係、プロパティ定義)		
IfcRepresentationItem	表現要素	
IfcGeometricRepresentationItem	空間的位置と姿勢	
IfcTopologicalRepresentationItem	幾何要素	
その他の RepresentationItem		
その他のエンティティー		

対応しなければならない。一方 B-Reps はデータが冗長になるなど CSG に比べて不利な点もあるが、描画・保存・計算処理などを単一の方法で扱える。そこで、本システムでは、立体の表現に B-Reps を用いた。IFC ファイルの読取りにおいては CSG に対応するが、内部で B-Reps に変換する。なお曲面は、面を十分なサイズに分割することによって表現する。また、体積を正しく計算するには、B-Reps の立体は閉じている (面で囲まれている) 必要がある。

B-Reps では面の表裏を頂点の並び順で区別する。頂点の並び順は、ベクトルや体積計算の値の正負に関係するので、システム内で統一する必要がある。本システムでは頂点が左回りに見える向きを表とし、面の法線ベクトルは裏から表に向かう向きを正とする。

2.2.2 立体の求積 頂点数  $n$ 、各頂点の位置ベクトルが  $P_i$  である面と原点による多角錐の体積  $V$  は、次式で得られる。

$$V = \frac{1}{6} P_1 \cdot \sum_{i=1}^n P_i \times P_{i-1} \quad (1)$$

ただし、 $\cdot$  は内積、 $\times$  は外積、 $P_0 = P_n$

$V$  は、原点が面の表側にある場合は負、裏側にある場合は正となる。そこで、閉じた B-Reps のすべての面に対する  $V$  の和を求めると、原点とその立体の間の空間が相殺され B-Reps の体積が得られる。

2.2.3 立体の相互切断 建物モデルの表示においては、指定した平面より後方の要素だけを表示することで、その平面による断面を表示できる (Fig.2)。この方法は処理が単純で高速だが、建物モデルを構成する個々の立体を切断しているわけではないので、本システムの体積計算には利用できない。

本システムでは、後述する包絡処理と工区分割で立体の相互切断を行う。その手順は次のとおりである (Fig.3)。

- 1) 立体 A と立体 B が交差する場合、互いの面と面の交線の集合として、図中の緑線で示すような交線が得られる。
- 2) 交線によって立体 A の各面を切断すると、切断後の面は、立体 B の外部か内部かに分類できる。立体 B についても同様の処理を行う。
- 3) 互いの内部に分類した面を統合すると、立体 A と立体 B の共通部分として立体 C が得られる。
- 4) 立体 A の面で立体 B の外部にある面と、立体 B の面で立体 A の内部にある面を統合すると、立体 A から立体 C を除いた立体 A' が得られる。ただし、後者の面は表裏を反転 (頂点の並び順を逆転) する必要がある。立体 B' も同様の方法で得られる。

### 3. システムの概要

#### 3.1 システム構成と機能

本システムの構成を Fig. 4 に示す。今回開発した範囲は、IFC 読取りツールと工区分割ツールである。対象となる躯体モデルは、市販の BIM ツールで編集し、IFC ファイルとして出力されたものである。本システムは、次の 3 つの機能を持つ

- 1) IFC 読取り機能
- 2) 包絡処理機能
- 3) 工区分割機能

このうち、2 と 3 は工区分割ツールの機能である。

#### 3.2 IFC 読取り機能

IFC 読取り機能は IFC 読取りツールの主要な機能で、躯体モデルの IFC ファイルをすべて B-Reps に変換し、

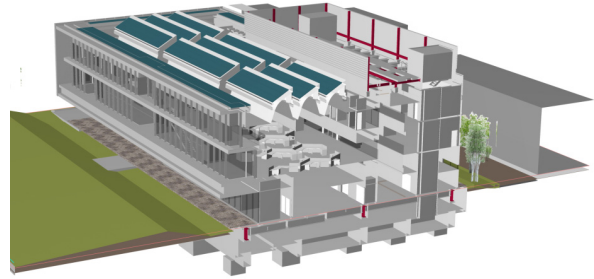


Fig. 2 BIM ツールによるモデルの断面表示  
Section View of BIM Model

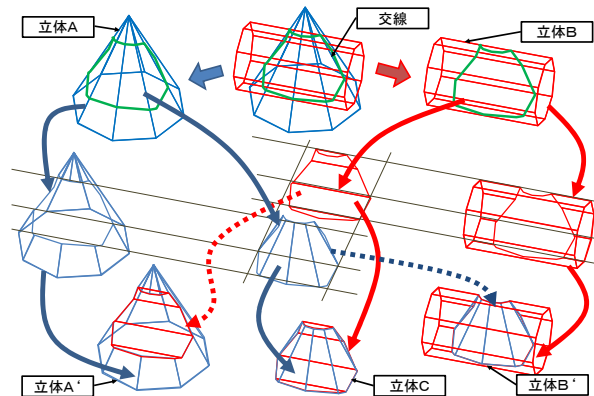


Fig. 3 B-Reps の相互切断の手順  
Cutting Process of B-Reps



Fig. 4 システムの機能構成  
Inspection Work Flow Using the Tool

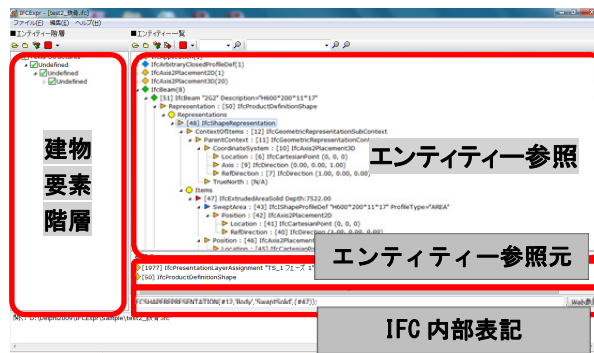


Fig. 5 IFC 読取りツール  
IFC - B-Reps Converter Tool

形状データを作成する。

Fig.5 に IFC 読取りツールの画面を示す。

- 1) 建物要素階層：敷地、棟、階、およびその階に含まれる部位をツリー状に表示する。利用者は階や部位を選択すれば、その部分だけの形状データを作成することもできる。

- 2) エンティティー参照：エンティティー間の参照関係を表示する。エンティティーの参照関係をたどって、各部材の形状表現と部材配置を詳細に確認できる。
- 3) エンティティー参照元：逆に、エンティティーを参照している別のエンティティーをリストアップする。これは、空間と部材の包含関係や材質などの付加的情報の定義を確認する場合に有効である。
- 4) IFC 内部表記:IFC ファイルでの実際の表記を確認できる。

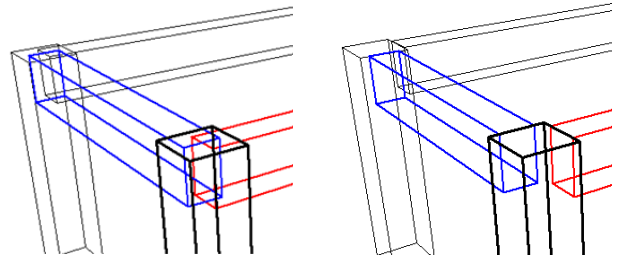


Fig. 6 柱による梁端部の包絡処理  
Crash Solving of Column and Girder

### 3.3 包絡処理機能

一般に、BIM のモデリングにおいて柱を定義する際は、通り芯の交点を柱脚とし、直上階の同じ通り芯の交点を柱頭とする。また梁を定義する際は、通り芯の交点を一方の端部とし、隣接する交点をもう一方の端部とする。この時、柱の柱頭と梁の端部には共通部分が生じる。このような共通部分は、体積計算を行う場合に誤計算の原因となる。誤計算を防ぐには、Fig.6 のように、柱に貫入している梁の端部を切断・削除すればよい。このような処理を包絡処理と呼ぶ。

市販の BIM ツールの中には、体積計算において自動的に包絡処理を行うものもある。しかし、包絡処理済みの IFC ファイルを出力するには、利用者が明示的に包絡処理を行わなければならない。そこで、本システムでは必要な包絡処理を一括して行う機能を持つ。

Fig.7 は、干渉確認中の工区分割ツールの画面である。

- 1) 工区階層：工区の階層表示。初期状態は単一の工区。
- 2) 立体リスト：選択中の工区に含まれる立体のリスト。
- 3) モデル表示：3次元のワイヤーフレーム表示と、2次元表示(水平面・垂直面)が切り替えられる。
- 4) 干渉箇所リスト：干渉確認の結果として、干渉している立体の組を表示する。リストの項目を選択すると、モデル表示に赤と青で立体をハイライトする。

工区分割ツールでは、干渉箇所リストに挙がった項目を一括して包絡する機能も持つ。Fig.8 に一括包絡処理のフローを示す。処理 12 で立体は増加し、処理 13 で立体は減少するので、処理 3 の時点で立体の数は毎回変動する可能性がある。処理 1 で立体のリストを体積で降順にソートしているため、このフローでは  $S_i$  が  $S_j$  に含まれるケースを想定する必要がなく、手順を単純化できる。

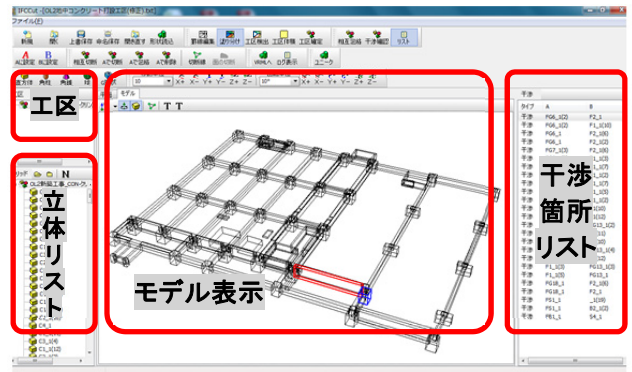


Fig. 7 干渉確認中の工区分割ツールの画面  
Crash Detection of the Planning System

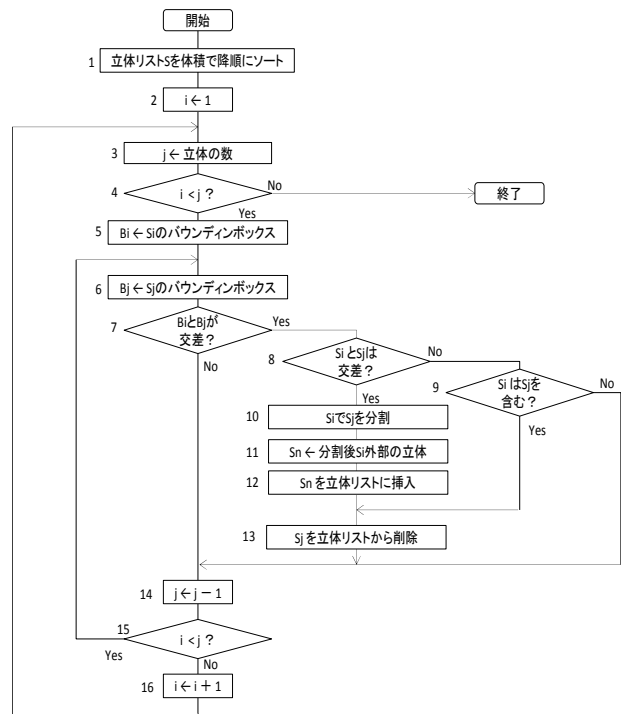


Fig. 8 一括包絡処理のフロー  
Flowchart of Crash Solving

### 3.4 工区分割機能

Fig.9 は、工区分割中の画面であり、次のような構成になっている。

- 1) 工区階層：工区の階層表示。分割後の工区の階層を示す。

- 2) 立体リスト：選択中の工区に含まれる立体のリスト。
- 3) モデル表示：3次元のワイヤーフレーム表示と、2次元表示(水平面・垂直面)が切り替えられる。

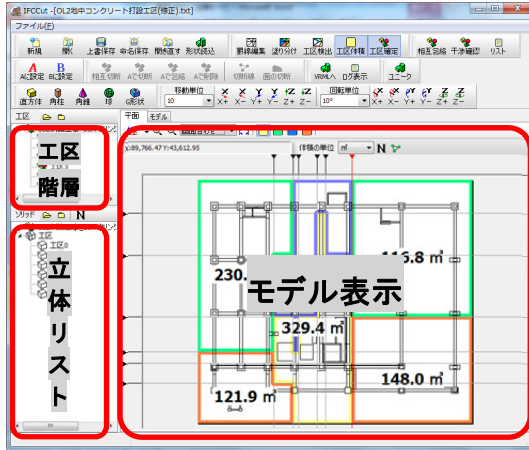


Fig. 9 工区分割中の工区分割ツールの画面  
Model Dividing of the Planning System

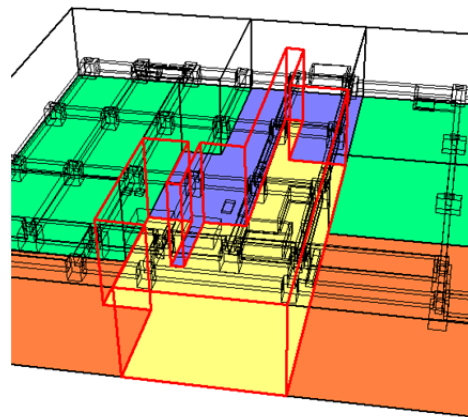


Fig. 11 工区立体  
Solid Representing Concrete Placement Area

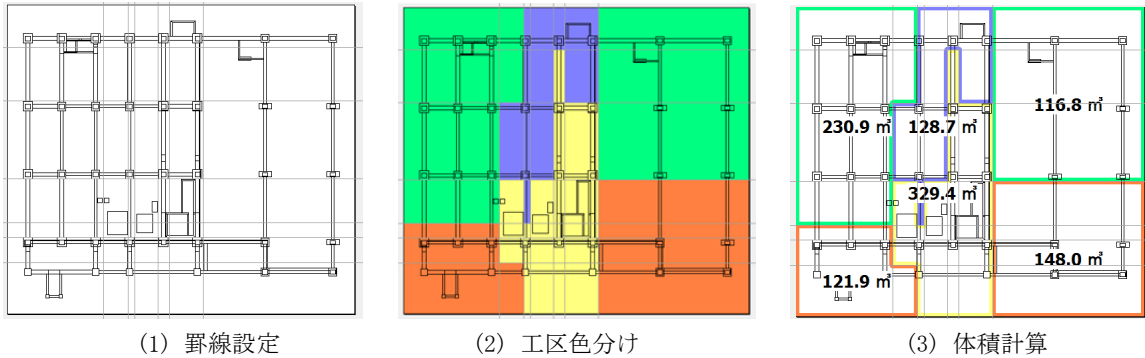


Fig. 10 工区分割と体積計算の手順  
Process of Model Dividing and Volume Calculation

工区分割はモデル表示画面の2次元表示を利用する。平面図上で分割する場合は水平面表示に、Z軸方向に上下階に分割する場合には垂直面表示にする。Fig.10に工区分割の手順を示す。

- 1) 罫線設定：任意の縦軸と横軸を設定し、画面を格子状に切り分ける。格子の交点同士を接続して、斜めに分割することもできる。
- 2) 工区色分け：罫線で囲まれた範囲を4色で塗り分ける。同じ色で辺を接していなければ別の工区として扱う。
- 3) 体積計算：工区を一連の範囲として認識し、その中に含まれる立体の体積の合計を表示する。

この処理は、3)から2)へ、2)から1)へ戻ることも可能なので、試行錯誤を繰り返すことができる。工区が確定すると、工区階層に登録する。新しく作成した工区を選択し、さらに細分化することもできる。

工区の体積計算は、2)で色分けした範囲に厚さを与えて1つの立体（以下、工区立体）とし、工区立体でモデルを分割し、工区立体の内部に分類された立体の体積を合計している。Fig.11は工区立体の状況を3次元で表示したものである。

## 4. システムの検証

### 4.1 実工事の適用

大林組技術研究所内の鉄骨造実験施設の新築工事で、本システムの検証を行った。検証用モデルは、ArchiCADで作成した建物モデルから基礎コンクリート部分をIFC2x3形式で出力したものである（Table 2）。立体形状の

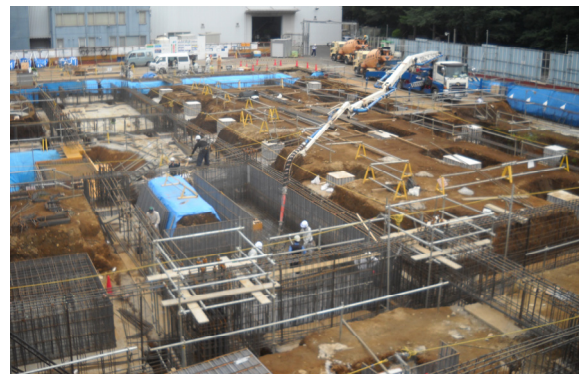


Photo 1 適用現場のコンクリート打込み状況  
Concrete Placing

エンティティーは、IfcExtrudedAreaSolid（押し出し形状）とIfcFacetedBrep（B-Reps）が使われていた。

検証結果をTable 3に示す。IFC読取りとB-Repsへの変換は、1,068 KBを3.8秒で変換できた。包絡処理では、229個の立体から重複部分を25か所検出し、0.3秒で処理を完了した。工区分割では、1日の打込み量を200m<sup>3</sup>としてFig. 12に示すような6工区を設定し、0.5秒でモデルの分割と体積計算を行えた。Fig.13は、検証用モデルが正しく分割されていることを確認するために、3次元表示で広く利用されているVRML形式で出力して、他のツールで表示したものである。算出した体積を市販のBIMツールによる結果と比較したところ、本システムによる値は0.5%少なかった。これは、本システムでは包絡処理によって体積の重複を完全に除去できたためである。

実務でBIMツールを利用している部署から本システムの評価を受けた。その結果、工区分割ツールによる体積計算は、市販のBIMツールよりも格段に使いやすく、打込み範囲の仮定と体積計算を繰り返し行うことができる。これによって打込み工区を最適化できたため施工現場に展開したい、との評価を得た。一方、IFC読取りツールについては、様々なBIMツールが出力するIFCファイルに対応できるか、さらなる検証が必要ということが分かった。

#### 4.2 コンクリート打込みシミュレーションへの応用

今回開発した立体の分割機能を利用してコンクリート躯体形状をさらに細かく分割し、各立体に打込み時刻を設定すれば、コンクリート打込み手順をシミュレートできる。Fig. 14は、前節の検証用モデルによるシミュレーションの状況である。コンクリート打込みシミュレーションは、打込み手順の事前検討と作業者への周知徹底に利用できる。また、コールドジョイントの防止にコンクリート所要量の正確な計算が重要であることを1章で述べたが、大規模なコンクリート打込み工事では打込み手順の検討もコールドジョイントの防止に必要である。今後はシミュレーション機能の追加を行う予定である。

#### 5. まとめ

施工段階のBIM利用のひとつとして、コンクリート打込み計画システムを開発し、機能検証を通じて、以下の効果を確認した。

- 1) IFCファイルを入力情報としているため、様々なBIMツールで作成した躯体モデルを統一的に扱える。
- 2) 包絡処理機能を持ち、躯体モデルに重複部分があっても、一括で重複を解消できる。
- 3) 工区分割機能は平面表示で簡単に領域の指定が可能で、BIMツールの操作に習熟していなくても簡単に扱える。

Table 2 検証用モデルの諸元  
Properties of Verification Model

項目	数量
IFC ファイルサイズ	1,068 KB
IFC エンティティー数	69 種類, 17,285 個
立体数	229 個
面数	1,449 個

Table 3 検証結果  
Result of Verification

検証項目	数量・時間
IFC 読取り→BReps 変換時間	3.8 秒
包絡処理による切断	25 か所
包絡処理の所要時間	0.3 秒
工区数	6 工区
工区分割の所要時間	0.5 秒
工区分割で分割した立体	54 個

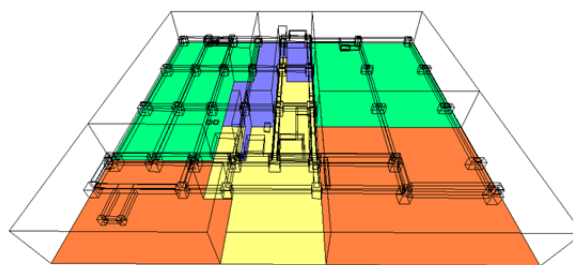


Fig. 12 工区立体と躯体モデル  
Concrete Placement Area and Skeleton Model

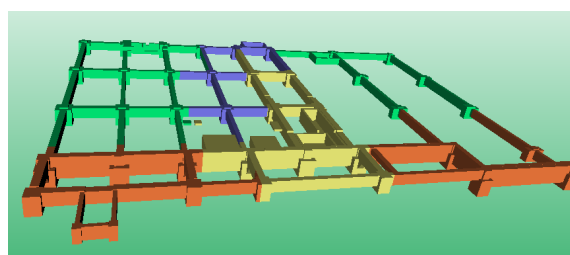


Fig. 13 工区分割の後のVRML出力  
VRML Output of Divided Skeleton Model

今後はさらに多くの工事に適用できるように機能の充実をはかる予定である。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省 大臣官房官庁営繕部「官庁営繕事業におけるBIM導入プロジェクトの開始について-参考資料」2010.3
- 2) 金子智弥, 他: 技術研究所再整備におけるBIM利用, 大林組研究所報, No74, (2010)