

# 構造設計を中心としたBIM利用の現状と課題

構造設計システム部

柿崎 大  
齊藤 賢二

EHS&S 研究センター上級研究員 兼 建築構造技術本部長

Keyword : BIM, CIM, 構造設計, 構造計算, IFC, ST-Bridge, IAI日本

## 1. はじめに

大手ゼネコン、大手設計事務所ではBIMの活用が浸透しつつある。海外ではすでに、BIMでの発注・設計・建築申請などに取り組んでいる国や地域も少なくない。そこで、本稿では構造設計からみたBIM利用の現状と課題について、日本国内で情報収集・調査を実施したので報告する。

## 2. 国土交通省BIMガイドラインの策定<sup>1)</sup>

### 2.1 ガイドラインの概要

国土交通省の「BIMガイドライン」(2014年策定)では、BIMの設計業務での利用目的として下記の2つが想定されている。

- ・技術的な検討(各種シミュレーション、内外観・納まり等の可視化、干渉チェック等)
- ・図面の作成(基本設計図書、実施設計図書の作成等)

いずれの目的においても、BIMモデルを作成する上では詳細度の設定が重要となる。つまり、ガイドラインにおいても問題提起されているように、BIMモデルにあらゆる情報を盛り込むとデータ容量は膨大となり、操作性の低下、プラン変更に伴うモデル修正のための作業量の増加につながってしまう。そこで、ガイドラインでは表1に示すように詳細度の目安を設けている(構造のみ抜粋)。

### 2.2 BIMモデルでの成果物

BIMを設計成果物とする場合、特に技術的な検討を行う場合のBIMモデルを成果物として提出する場合には、各ソフトウェアにおける独自のファイル形式の他に、IFC

表1 設計図書作成のためのBIMモデルの詳細度の目安(参考)<sup>1)</sup>

	BIMモデルを作成する対象の代表例
構造 (基本設計)	(1)構造耐力上主要な部分に該当するもの ・鉄筋コンクリート造の場合 柱、はり、スラブ、基礎、壁(耐力壁とそれ以外を区別する) ・鉄骨造の場合 柱、はり、スラブ、ブレース(H型、I型等の断面の部材は包絡する外形とする) (2)はり、スラブの段差
構造 (実施設計)	(1)壁、柱、壁の寄り (2)電気設備および機械設備用スリーブの開口寸法、位置 (3)鉄骨継手、スプライスプレートの位置(鉄骨造の場合)

(Industry Foundation Classes)形式のファイル提出が必要となる。IFC形式ファイルはIAIが定義した仕様で、建物を構成するすべてのオブジェクト(たとえばドア、窓、壁などのような要素)の体系的な表現方法である。IFCは、建設業界のソフトウェア・アプリケーション間のデータ共有化とその相互運用を可能にし、電子情報によるデータ(図面、レポートおよび仕様書など)を共有することを可能としている。

## 3. IAI日本とST-Bridge

### 3.1 IAI<sup>2)</sup>

IAIは、建物のライフサイクルを通して、その間利用する設計や維持管理用ソフトウェア間で、有効な相互運用を可能にするための標準化作成を目的として、建設業界に携わる北米12の会社によって設立された。その後1995年9月、世界中の建設業界に参加を募り、現在のIAIが誕生した。IFCの仕様書は、IAIに加盟するさまざまな会社の協同作業によりまとめられている。IAIの主な機能は、ソフトウェアそのものの作成ではなく、ソフトウェア会社とともに建設業界にIFC標準を普及すること、そして革新的な建築生産方式につながるようなコンピュータソフトウェアを作り出すための支援を行うことにある。

現在、IAIは全世界14の支部から形成され、一般社団法人IAI日本もその一つである。IAI日本では2014年11月現在、123の企業、学校、研究機関が会員となっており、意匠・構造・設備などそれぞれの分野において分科会の活動を行っている。構造分科会においては、構造モデルの普及活動と実証実験結果の展開およびアグリメント作成とソフトウェアへのIFC実装環境整備を主な活動目的とし、1997年から活動を行っている。

### 3.2 ST-Bridgeの開発

IAI日本の構造分科会では、1997年頃からIFC導入に向けての調整を開始し、2006年にはIFCに対する実証実験を行った。IFCは国際的な標準フォーマットであるが、IFCの形状定義の柔軟さに起因するデータ交換の困難さ、IFCのデータ構造の複雑さにより国内一貫計算ソフトウェアとのデータ連携が困難である等の問題が明らかとなった。

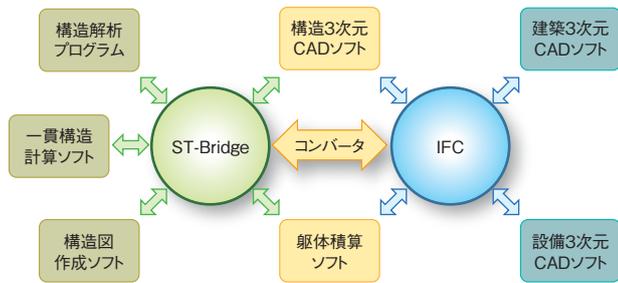


図1 ST-BridgeとIFCの関係<sup>3)</sup>

そこで、利用範囲を明確化することで、IFCよりシンプルで扱いやすく、日本独自の表現方法も取り込むことができる標準フォーマット「ST-Bridge」を開発し、現在普及のための取り組みを精力的に進めている。図1に示すようにST-BridgeとIFCを連携させることにより、構造分野において必要な情報と他分野における情報とを共有可能となる。ST-Bridgeは、国内の構造系ソフトウェア、躯体積算ソフトウェア、3次元オブジェクトCADとの相互データ連携を目指しており、将来的には日本発の国際標準とすることを目標としている<sup>3)</sup>。

### 3.3 Build Live JAPANでの構造検討<sup>4)</sup>

IAI日本では、Build Live JAPANと題したイベントを毎年実施している。このイベントは、ある一定時間(2014年は100時間)内にBIMを活用して課題のプロジェクトを完成させるものである。参加した設計者は、BIMを用いた新しい設計フローに挑戦している。イベント主催者は、参加者が課題への取り組みを通して、建築物に関係する多くの業種がBIMにどのようにかわれるかなど、BIMをフル活用した新たなイノベーションが起こることを期待している。

2014年の課題は、石垣島の県営住宅の建て替え跡地の活用であった。14の団体が参加し、多種多様な提案がなされている。参加団体は企業の単独参加に加え、企業とソフトウェアメーカー混在のチーム、学生単独チームなどさまざまなチームであった。その中で、株式会社八千代都市建築設計と八千代エンジニアリング株式会社との合同チーム「キセキ」が、構造に関して比較的詳細な検討を行っている。そこで、八千代都市建築設計の遠藤氏に課題取り組み状況を伺うことにした<sup>4)</sup>。

八千代エンジニアリングは、建築分野よりも土木分野のCIM (Construction Information Modeling) に先行して取り組んでおり、数々の実績を上げている。この実績を建築分野にも活かすべく、BIM導入の検討を始めたとのことである。しかしながら、実際に運用を開始したものの、どうしても使い慣れたツールから脱却できず、BIMを実務に活かすことができていなかった。そこで「社内でのBIMに対する認識向上」と「今後の業務改善の足掛かり」にとの思いから、主に20～30代の社員を中

心にチームを結成した。チームメンバーの過半は、BIM初体験という状況であったが、ここでやらなければ未来永劫何も変わらないとの強い決意のもと、参加の意思を固めたとのことである。

「キセキ」構造チームの主な実施目標を以下の3項目に絞り、実施計画を立案した。

- 構造計算ソフトウェアとBIMソフトウェアの相互リンクの確認
- Revitからの図面変換
- 意匠と構造のデータ共有での問題点の洗い出し

使用するプログラムは、一貫構造計算ソフトウェアとしてSuper Build/SS3 (ユニオンシステム株式会社製)とSEIN La CREA (NTTファシリティーズ総合研究所製)、BIMモデル作成用ソフトウェアとしてRevit (オートデスク株式会社製)を使用した。

当初、作業効率向上を意図し意匠の作成したRevitデータの構造計算ソフトウェアへの直接リンクに取り組んだが、断念することとなった。思うようにいかなかった理由としては、意匠サイドで作成したデータは構造要素という認識にはなっていないことが大きな原因であった。つまり、部材など入力もはされていても構造部材なのか非構造なのか不明確な部分が多く、改めて構造モデルを作成し直さなければならない部分が存在した。

目標1つ目の構造計算ソフトウェアとBIMソフトウェアの相互リンクの確認に関して、RevitからSuper Build/SS3への変換、RevitからSEIN La CREAへの変換などを試みたが、以下の問題が発見された。これらの主な原因は、Revitでのデータの作成方法にあると考えられる。

- 壁開口・スラブがリンクされない
- 基礎梁と柱の取り合いに不整合が生じる
- 柱、梁の断面が0 mmとして変換されている

構造設計においてBIMを導入する最大のメリットは、図面と計算書とのデータリンクによる不整合のない図面作成が可能となることである。そして、そのためにはモデルの作り込みなどが必須であり、またディテールまでをリンクさせることが重要である。今回こういった問題が発見できたことは収穫であった。

BIMモデルを作成するメリットとして、これまでよりも容易にさまざまなシミュレーションができること、敷地面積外の部分を作り込むことによって周辺との景観などをあらかじめ十分に検討できることなどを挙げていた。

一方で、多くの課題も指摘されている。たとえば、BIMモデルを技術者が作成する場合、これまで以上に多くの時間をこの作業に費やすことになり、効率化のためには専門の入力オペレーターが必要となる。また、建物全体モデルはそれなりにチェックしているが、細部が詰まれない、あるいは複数の担当者により分担してモデルを入力する場合、各担当者が上手く連携して入力作業

を進めることができずモデル統合時に不整合が生じることなどである。Revitでは複数の担当者が同時に作業できるワークシェアリングの機能もあるが、この機能を使いこなすことも今後の課題であるとしている。

## 4. 構造設計事務所でのBIM利用例

### 4.1 BIM導入のきっかけ

長崎県にある株式会社PAL構造では、2005年頃から3D CADを使用し、海外のプロジェクトを中心にBIMモデルによる設計を行っている。海外のプラントや国内の塔状構造物などをBIMによりモデル化し、干渉チェックなど設計に活用している。

BIMに取り組む端緒は、干渉チェックに最善の方法であったからである。たとえば鉄塔架台であれば、鉄塔の脚部のアンカーボルトと基礎RC部の配筋との干渉チェ

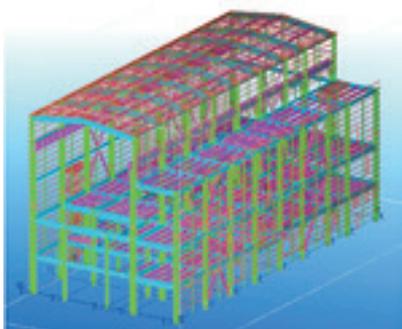


図2 PAL構造が作成したBIMモデルの例

ック等に活用している。PAL構造は、BIMによる設計を行う以前から鉄骨系を得意とする事務所であり、BIMモデルソフトウェアはTekla Structures（テクラ株式会社製）を使用している。

図2にPAL構造が作成したBIMモデルの一例を示す。モデルは、鉄骨造の建屋で屋根面には水平ブレースが配置されている。ブレース端部の納まり確認、干渉チェックなどにBIMモデルを活用している。このモデルは比較的整形な建物であるが、形状がより複雑になれば、BIMモデルの有効性は一層向上する。

### 4.2 BIMの活用法

BIMを使用する主な目的は、干渉チェック、構造計算モデルへの流用、詳細モデル（取り合いのモデリング）の作成、工作図の作成、報告書の作成などである。工作図作成の有無は発注者の指示によるが、原則としてBIMモデルを作成後、報告書を作成することとしている。図3にPAL構造が独自に作成している設計業務フローを示す。

このフローでは、構造計算とBIMモデルを同時に作成していくようになっている。つまり、構造設計業務に着手する段階で、計算フローとBIMモデルを作成するフローの2本立てで業務を実施している。ただし、すべての設計業務においてこのフローを忠実に守っているわけではなく、臨機応変に対応しているとのことである。フローでは、構造計算とBIM作成が平行に動いているよう

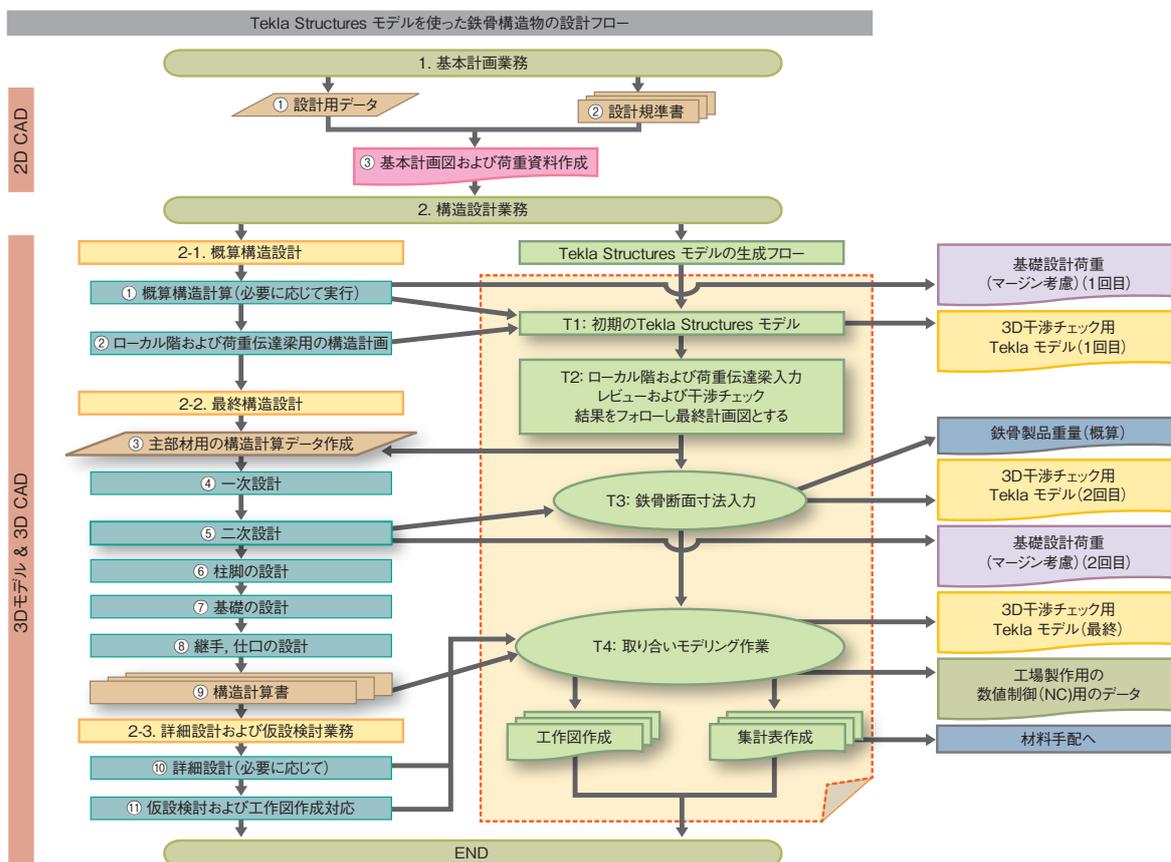


図3 設計業務フロー

に表現されているが、実際にはBIMモデルを作成し、それを構造計算ソフトウェアに受け渡し、あるいは構造計算ソフトウェアで作成したデータをBIMモデルに変換するところから設計作業が始まることが多いようである。また、場合によってはBIMモデルのT1, T2のフローは省略し、T3から始める場合もあるとのことである。構造計算の結果、断面等が変わったり、BIMモデルにおいて納まりを確認したりしながら、大幅な変更が発生する都度ソフト間でデータを受け渡し、構造計算での「⑤二次設計」、BIMモデル作成の「T3：鉄骨断面寸法入力」までの各々のデータを完成させることがBIMモデル作成の基本としている。しかし、「⑤二次設計」「T3：鉄骨断面寸法入力」のステップ以降については、それぞれのフロー間でのデータのやり取りは原則行わないようにしている。その理由として、細かい部分に変更になる都度データを共有すると、かなりの手間が掛かるためとしている。ある程度大枠が固まった時点で、それぞれの業務フローごとに作業を進めていく方が効率とのことである。

現在は鉄骨造だけではなく、鉄筋コンクリート造の構造物での鉄筋同士の干渉、鉄筋と埋込金物（アンカーボルト等）との干渉チェックにも活躍の場が広がってきている。

## 5. 構造設計へのBIM活用の課題と可能性

### 5.1 BIM利用のメリット

BIMモデルを作成し、設計を行うことで具体的にどのようなメリットがあるのか以下にまとめた。

<構造BIMのメリット<sup>5,6)</sup>>

- 設計内容の可視化
- 建物情報の具現化・統合化
- 干渉チェック
- 二次元図面作成における構造図間の整合性、構造図と計算書との整合性向上
- 躯体数量の積算精度の向上

3次元のモデルを作成することで、設計内容を可視化することができ、意匠図、設備図と重ね合わせることでよりさらに精度よく干渉チェックなどが行えるようになる。また、これまで構造設計者が多くの時間を費やしてきた計算書と構造図の整合性や、構造図における軸組図と伏図との整合性を効率的に図ることができる。計算書と構造図の整合が図られている場合、手戻りの発生も減少する。

「BIMによって変わる組織－職能？職域？－」<sup>6)</sup>の講演資料によれば、BIMの活用で最も期待することとして、「設計図書との整合性の向上、確認」が64.6%と高い数値を示している。その次には「顧客との正しいイメージ共有」(58.3%)、「意匠、構造、設備設計者間でのデータ共有」と続いている<sup>5)</sup>。

構造BIMのメリットとBIMに期待することはほぼ同じ内容となっているが、一方でBIMに対する課題も見られる。

### 5.2 BIM活用の課題

表2は、一般財団法人日本建築学会が、BIM活用における課題を「意識」「制度・体制」「標準化・共有」「ソフトウェア」「ハード・デバイス」の5つのカテゴリーに分類した結果から抜粋したものである<sup>6)</sup>。

表2 BIM活用における課題<sup>6)</sup>

制度・体制	事務所系	・設計者とCADオペレーターがそれぞれ専任化していく ・操作方法の教育、人員（社内ポストの位置付け）、費用対効果（教育、操作に要する時間コストも含む）
	施工系	・習得までに時間がかかる、外部環境（外注先等とのデータのやり取り）、内部環境（BIM推進、現場担当者とのデータのやり取り） ・理想論だけでなく利用者自身がしっかりメリットを享受できるものでなければならない
標準化・共有	事務所系	・ソフトウェア間のデータ受け渡しに関する技術向上 ・異なるBIMソフトウェアでのデータ共有化
	施工系	・IFCがデータ連携として適切なのか考える必要がある ・維持管理などにも使用するため、永続的に使用できる統一されたデータ形式を実現してほしい
ソフトウェア	事務所系	・新しいソフトウェアへの対応、移行が課題 ・投資コスト、教育普及、BIMソフトウェアの操作が難しく技術習得に時間を要する
	施工系	・加工図や構造解析ソフトウェアとの連携 ・結局はBIMソフトウェアだけでは完結せず、2D CADも必要のようなので、その辺が解決されていけばもっと普及する気もする

いずれの分野においても、価格、操作性、ソフトウェアの機能不足、ソフトウェア間でのデータ互換性などが大きな課題となっている。

SEIN La CREAは当社が開発する一貫構造計算ソフトウェアで、2015年4月現在ではRevitとの双方向データ連携が可能となっている。また、SEIN La CREAの特徴の一つは、Revit側のテンプレートに合わせた変換が可能である。Revitとのデータ連携を実現するにあたっては、さまざまな角度から問題点の洗い出しを行い、それらの解決にあたった。しかし、たとえば、Revitデータにおいて必要な情報がSEIN La CREA上では不要であるといったような双方で取り扱いが異なる情報をどのように処理するかなどは、今後の検討課題としている。

### 5.3 今後期待するBIM活用

コンピュータの進化に伴い、高性能な情報処理が行えるようになった現代において、これまで設計者が多くの時間と労力を費やしてきた図面作成や計算書作成の稼働時間を削減することにより、設計する上で最も重要な構造計算やデザインの検討などにより多くの時間をあてることができる。また、それと同時に図面の整合性向上にもつながり、設計者の負担軽減が可能となる。さらに、設計の初期段階で顧客とのイメージ共有が確実にできれば、手戻りの減少、意匠・構造・設備の整合、業務フローの最適化などさまざまなプラス要因が増えていく

であろう。多くの事務所が目先の仕事をこなすのに精一杯という状況の中、BIMを活用することで革新的な業務フローの改善を期待したい。

## 6. おわりに

本稿では、国土交通省のBIMガイドライン、IAI日本の活動状況、構造設計事務所におけるBIM活用事例について、筆者らの調査した範囲内で述べた。今回の調査により、推進者側と利用者側それぞれの立場から期待することは同じであることが明らかとなった。しかし一方で、BIMでの設計を進めるにあたり、担当者レベルではBIMに対するメリット、BIMで何をしたいのかが見いだせないでいたり、BIMモデルを作成し設計に活かす機会がない状況であることも明らかとなった。

大規模プロジェクトのみならず、小規模プロジェクトにおいてもBIMのメリットを見出し、より効率的な設計業務を行えることが理想である。ソフトウェアメーカーとして、BIMモデルを作成する上での手間の軽減、構造モデルとBIMソフトウェア間のデータ連携をいかに容易かつ精度よく実行できるようにするかが当面の課題と考え、今後の開発を進めていく所存である。

### [参考文献]

- 1) 国土交通省：「BIMガイドライン」の策定とその運用について、2014.3.19, [http://www.mlit.go.jp/report/press](http://www.mlit.go.jp/report/press/eizen06_hh_000019.html)

/eizen06\_hh\_000019.html

- 2) IAI日本：分科会活動構造, 2015.4.1, <http://www.building-smart.jp/meeting/structure.php>
- 3) IAI日本：IAI日本分科会技術セミナーST-Bridgeの開発, 2010.8
- 4) IAI日本：Build Live JAPAN 2014, pp.1~4, pp.15~16, 2015.2
- 5) 日経アーキテクチャ：日経アーキテクチャ建築実務セミナーBIMで磨く設計力, 2014.11
- 6) 日本建築学会：BIMの日2015シンポジウム, BIMによって変わる組織-職能? 職域? -, 2015.2



かきざき だい  
柿崎 大  
構造設計システム部  
構造計算プログラムの開発・SE業務に従事



さいとう けんじ  
齊藤 賢二  
EHS&S 研究センター上級研究員 兼 建築構造技術本部長 兼 構造設計システム部長 兼 耐震構造技術部長  
構造解析システムの開発製造, 構造関連のSI業務に従事  
2004年日本免震構造協会賞技術賞受賞  
工学博士, 一級建築士, 構造設計一級建築士, 技術士(建設部門), APEC Engineer  
日本建築センター構造計算適合性判定委員, 日本建築学会, 日本建築構造技術者協会会員

## Synopsis

### Status of and Issues regarding the use of BIM with the Focus on Structural Design

Dai KAKIZAKI

Kenji SAITO

With the growing spread of BIM in Japan, each company is adopting a different approach to its use. Rather than using BIM solely for large-scale buildings with complex shapes, one issue is finding merits in the use of BIM even for small-scale buildings of regular shape. Moreover, in cases where BIM is applied solely in the field of structure, rather than use simply in producing structural drawings, there is a demand for more extensive application and companies are trying to discover what methods of usage are available. Although abundant merits for construction companies are emerging, while the ideal for architectural design offices is to use BIM to unify design, structures and equipment, making it possible to handle all information using BIM, in practical terms, completing all of these elements using BIM software presents difficulties in the current situation.

To resolve this requires compatibility between the different types of software used in the various fields involved. Our company is developing an architectural structural calculation program and we believe its linkage to non-structural fields is also one of the factors for the spread of BIM. Although the most accurate and simple way of achieving compatibility is to directly convert data, this approach would detract from the capability for methods of universal usage such as connecting to multiple types of software. We also hope to see the further development of shared formats such as “IFC” and “ST-Bridge” that will resolve this kind of problem.

Thanks to the ability to perform high-performance information processing brought about by the advance of computers, we believe that the greatest merit and goal of BIM is its ability to realize reductions in the operating time involved in creating deliverables on which designers traditionally spend so much time and energy, thus freeing up more time to spend on the most important tasks in the process of design such as case studies and analysis of details.