

海外調査報告：

建築構造設計を中心とした 米国における BIM の最新動向



EHS&S 研究センター上級研究員 兼 建築構造技術本部長 齊藤 賢二

Keyword：建築構造設計，BIM，構造解析ソフト，3次元CAD，クラウド技術，多次元CAD

1. はじめに

BIM (Building Information Modeling) は、コンピュータ上に作成した3次元の建物デジタルモデルに、コストや仕上げ、管理情報などの属性データを追加した建築物のデータベースを、建築の設計、施工から維持管理までのあらゆる工程で情報活用を行うためのソリューションである。これによって建築ライフサイクル全体でモデルに蓄積された情報を活用することにより、建築業務を効率化し、建築デザインにイノベーションを起こす画期的なワークフローと期待されている。BIMは、今や全世界で注目され徐々にその導入が進められている。

今回、BIM先進国である米国のBIMソフト会社や建築構造設計事務所を訪問し、BIMソフトの最新動向やそれらを活用した設計プロジェクトの先端的な取り組み状況について直接情報収集する機会を得た。そこで、主に構造設計者の立場から見た米国におけるBIMの現状について報告する。

今回の調査での主要な訪問先は以下の通りである。

- ・ Autodesk Waltham 支社 (Waltham, MA)
ボストン郊外の BIM 関連ソフトの開発拠点。支社ビルそのものも BIM で設計されている。
- ・ Odeh Engineers 社 (North Providence, RI)
ボストンから車で1時間ほどの閑静な住宅地にある。所員10名程の中堅構造設計専門事務所であり、すべての業務において BIM を高度利用している。Autodesk のパイロットユーザ。
- ・ BJG 社 (Reno, NV)
所員5名ほどの小規模な意匠・構造設計事務所。社長は構造技術者であり、Reno またはその周辺を中心に業務実施。
- ・ Autodesk 本社 (San Francisco, CA)
所在地は San Francisco のダウンタウン一等地。Autodesk のショールームを兼ねている。
- ・ RUTHERFORD+CHEKENE (R+C) 社 (San Francisco, CA)

所在地は San Francisco のダウンタウン。所員30名ほどの大規模な構造設計を主体とした事務所であり、所長は BIM の活用に熱心で BIM 研究会も主宰。工法コンサルティング・設計監理・積算業務なども得意とする。

- ・ Crosby 社 (San Mateo, CA)

所在地は San Francisco 国際空港の近く。所員10名ほどの中規模構造専門事務所。構造設計における BIM の効用については批判的。



写真1 Odeh 社でのプレゼンの様子。BIM モデルを大型マルチスクリーンで表示



写真2 BJG 社でのプレゼンの様子。ネバダ州立大学リノ校新振動実験棟の BIM モデル



写真3 Autodesk 本社ショールーム。右は BIM で設計された上海タワーの模型

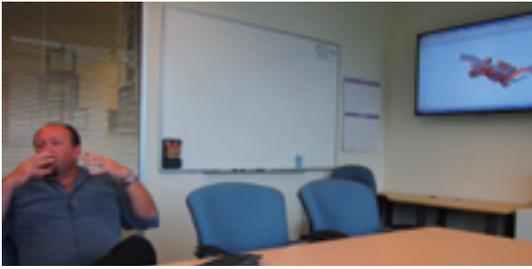


写真4 Crosby社でのプレゼンの様子。今回訪問した会社のうちBIMに対して最も批判的な立場

2. 米国における BIM の現状

2.1 BIM の普及率と今後の展望

米国で BIM が普及した最大の理由は、建築生産システムの効率化および建築生産にかかわるすべての人達の意志疎通を円滑化するためのより質の高い図面作成システムが必要とされたからである。また、米国で BIM 活用機運が特に高まってきたのは、2003年から2004年にかけてと言われている。そして最も大きな転機となったのは、2005年の AIA の大会で、BIM やプロジェクトに関する情報を関係者全員で共有してプロジェクトを進めていく「インテグレートッド・プラクティス (Integrated Practice)」という新しい建設手法に関する講演が初めて開催され、5,000人もの参加者がそれを聴講したことだとされている。

2010年の調査によれば、全米で BIM を知っている建築家は10%程度であったが、今ではほとんどの建築家が BIM を理解しているようである。2009~2012年にかけては、意匠設計事務所、構造設計事務所、設備設計事務所、コントラクターのいずれにおいても、BIM 採用企業は飛躍的に増大しており、2012年末、これら企業全体の71%が何らかの形で BIM を活用しているとのことである。

米国 Pike Research 社 (現 Navigant Research 社) の調査結果によると、2012年の全世界での BIM 関連サービスの売上高は約1,800億円と報告されている。今後とも BIM 関連の売上高は順調に伸びることが期待されており、2020年には3.5倍の約6,500億円に達すると予測されている。

2.2 Autodesk社の戦略

Autodesk の基本戦略は、時代の変化を真っ先に取り入れることである。具体的には、単にソフトを製造して販売するだけでなく、建築生産設計の具体的な中身についても提案する企業へと変貌しようとしている。また、ICTに関しては、クラウド技術の活用にも積極的である。

Autodesk は、2013年以降の BIM の動向を以下のように予測している。

<2013~2014年>

ディテール対応ソフトの充実により、施工図との連携も一層深化する。エンジニアの利用も活発化する。

<2015年以降>

意匠、構造、設備、建設すべての分野の情報が BIM に統合される。そして、あらゆるシミュレーションやディテールの検討も BIM の中で行われるようになる。

このように、各種シミュレーションの BIM への統合や、基本構想から施工までのワークフローの隅々までサポートすることで、BIM の採用はますます伸びていくと予測している。

以上のような BIM を使った建築生産システムの進化は、結果として Autodesk が目指す地球環境に優しいエコな設計生産システムの発展につながるものとしている。

2.3 多次元CADの可能性

BIM は CAD とは異なり、理論的にはすべての方向に展開可能と考えられている。しかし、建物のライフサイクルを考えた場合、設計詳細のすべてが必要というわけではないことも事実である。たとえば、鉄骨の詳細は設備機器のメンテナンスにはほとんど関係ない。建物建設完了後の長期に及ぶ BIM モデルの維持管理は、設備機器が更改されていくにつれてますます大変な作業になってくる。BIM モデルは適切な情報に基づきスケールダウンできることが必要であると考えられている。建物のライフサイクルにおける BIM モデルのスケールダウンは、BIM の多方面への展開を考えるうえで重要なポイントの一つであると思われる。

3. BIM ソフトと構造解析ソフトとの連携

3.1 BIM ソフトと連携する構造解析ソフト

ここでは、BIM ソフトと連携している構造解析ソフトについて紹介する。

構造解析ソフトとしては、CSI 社製の ETABS、SAP が最も広く使用されているようである。また、Bentley 社製の STAAD Pro や RAM などよく使われている。その他、壁式構造では ADAPT 社製の ADAPT が最もポピュラーなものようである。これらのソフトは、すべて専用のコンバーターにより BIM ソフトである Revit とデータ連携している (写真5~7)。

設計者がこれらの構造ソフトを選定する際に、これと比べて大きな採用理由はないようである。やはり仕事を始めた当初から利用している使い慣れたソフトが一番といった感じであった。大手事務所は一般に複数のソフトを所有しており、プロジェクトの特徴に応じて、それらを使い分けていた。

特に優れたソフトについての問いに対して、どのソフトにも一長一短があるとの意見が大勢を占めていた。どれが良いというより、たまたま最初に選んだものを使い

込んでいるといったところである。ベテランの構造技術者からは、比較的小規模な建物であれば構造解析ソフトに入れて計算するよりも手計算の方が早いという大変興味深い意見もあった。

また、ある大手事務所からは、設計業界は資金的に潤沢な業界ではないので、優れた解析ソフトを生み出す余裕がないとの厳しい話も聞くことができた。

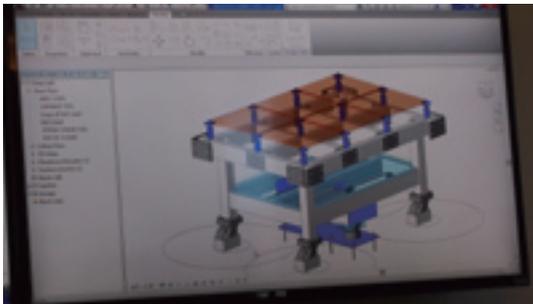


写真5 ネバダ州立大学リノ校の新コンピュータセンタに納められる予定の免震台のユニット。ユニットを連結した全体免震台システムも含めフルBIMで設計されている(BJG社)

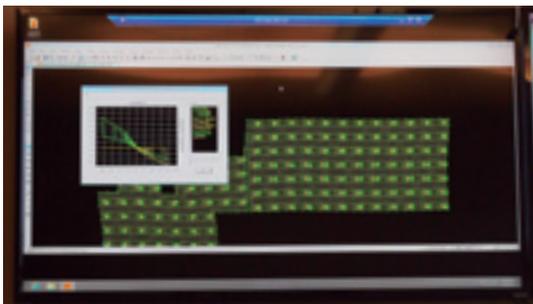


写真6 免震台のSAPによる解析例。解析モデルはBIMデータから作成されている(BJG社)



写真7 SAPによる風荷重に対する応力解析。解析モデルは同じくBIMデータから作成されている(Odeh社)

3.2 BIMと構造詳細図および躯体数量積算

一般に米国の構造設計事務所では詳細図(日本でいう施工図に近いもの)は描かないので、詳細図作成を行うソフトはほとんど所有していないようである。

今回の調査範囲では、大手事務所1社のみが施工図までTeklaを使って作成していた(写真8)。また、今回訪問したすべての事務所が、数量算出用の専用ソフトは所有しておらず、Revitを使って数量算出していた。

Autodeskでは、今後BIMソフトと構造解析ソフトとの連携を一層強化していくとの方針を打ち出している。

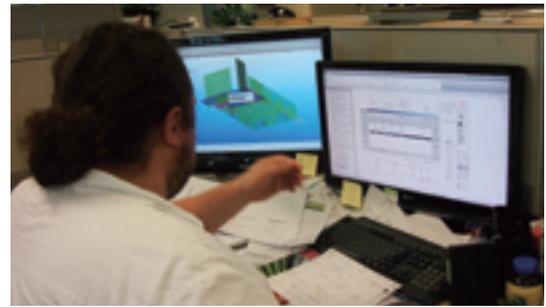


写真8 Teklaによる施工図と鉄筋リストの作成(R+C社)

その一例として、Autodeskは構造解析結果を各種設計コードによりチェックすることができるRevit用のツールを開発している。これにより、BIMのワークフローの中での解析ソフトの利用価値がより一層高まるものと期待しているようである。なぜならば、コードチェックツール利用により、構造計算書の出力やディテールに関する情報も出力することが可能となるからである。

4. 建築構造設計事務所におけるBIM利用の現状と展望

4.1 BIMを用いた標準的な設計フロー

今回調査した設計事務所では、会社ごとに程度の違いはあったが、原則としてすべてのプロジェクトにBIM(Revit)を適用していた。

標準的な設計の流れとしては、まず最初に建築家がさまざまな3次元デザインツールを駆使して全体ボリュームや配置検討を行う。そして基本構想決定以降は、完全にBIM(Revit)を使った設計作業へと移行する。最後に建築家が全体BIMモデルを作成する。そして、構造設計者は、その全体モデルから建築家の設計意図を理解するとともに、それを構造モデルへと作り込んでいくというのが一般的な流れである(写真9)。

これら一連のBIMモデル作成において、クライアントによっては、意匠、構造、設備が統合されたモデルを要求する場合もある(写真10)。構造や設備も統合したモデルを採用することにより、設計段階でいろいろな問題点が明らかとなり、設計としてはより良いものになることは確かである。とはいえ、一般的には設計料、設計工期、スキル等の問題により意匠、構造、設備の三者が

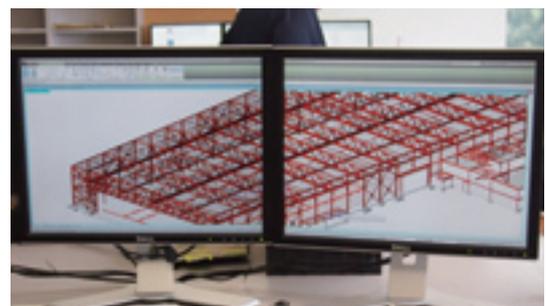


写真9 BIMを使用した建物全体モデル。マルチスクリーン表示を活用して作業性を高めている(Odeh社)

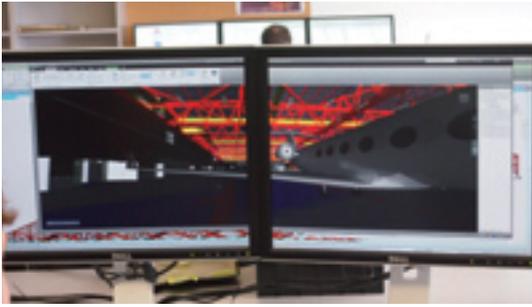


写真10 意匠、構造、設備を統合した全体 BIM モデルにより、内部におさめる飛行機を動かして干渉をチェックする (Odeh 社)

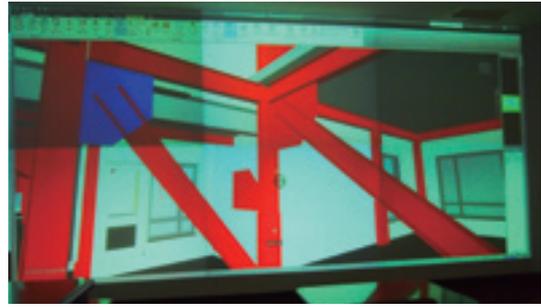


写真11 BIM によれば鉄骨の取まりまで詳細にチェックできる (Odeh 社)

統合されたモデルにより設計が進められることは稀なようである。

いずれにしても、意匠図と構造図の整合を図る上において BIM は大変有効な手段であり、設計のプロセスにおいて必要不可欠なものであるとの認識が広く一般に固まりつつあるようであった。

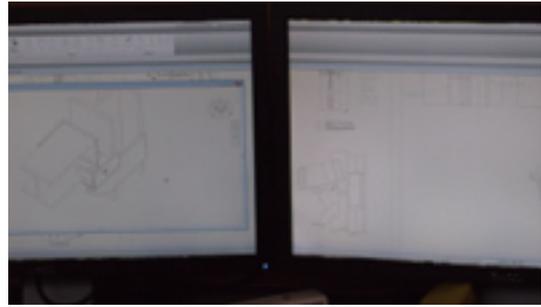


写真12 取まりが難しい部分をベテラン社員が BIM ソフトによる 3 次元パースを駆使して再チェックする (Odeh 社)

4.2 BIM利用のメリット

ここでは、構造設計者にとって BIM を使うメリットについて触れる。

まず、大手事務所にとっては、与えられた建築計画に対して素早くいろいろなパターンの構造システムを検討可能となり、より付加価値の高い提案ができることである。さらに、技術力の高い大手事務所は、施工図を作成する取り組みも始めている。設計事務所が、さまざまなリスクを認識しながらも施工図作成にも取り組もうとしている背景には、米国では施工図作成のフィーが結構大きいという事情がある。

中小の事務所では、一般に鉄骨造の接合部（ボルト、溶接）や配筋加工図の作成は行わない。理由としては、それに見合う設計料をもらうことが困難であることと、設計責任に対するリスクの問題があるからである。

今回訪問したすべての事務所に共通して、意匠設計と構造設計を同時並行で進める場合、建物モデルの座標値などが共通のデータベースとなっていることは、BIM がもたらす大きなメリットの一つであるという意見を数多く耳にした。Revit で建物モデルを作成するには非常に時間がかかるが、作成後の変更が容易なばかりでなく、さまざまな角度から外観や取まりを即座に確認することが可能となるからである (写真11)。BIM は、マスターするまでの時間とコストの負担は大きいですが、一度マスターしてしまえば著しい効率化につながる、というのが訪問各社共通した意見であった。

また、中小事務所では、若手技術者の未熟さから発生する単純なミスについても、ベテランの担当者がチェックし間違いに気づきやすくなった、という意見もあった (写真12)。

4.3 BIMソフトと構造解析ソフトとの連携

ここでは、BIM ソフトと構造解析ソフトとの連携に関する課題について触れる。

BIM ソフトと構造解析ソフトとのデータ連携については、基本設計段階～実施設計初期段階までは基本的に相互のデータ変換を行いながら設計が進められることが多いようである。しかし、実施設計の最終段階では、BIM ソフトによる図面作成と構造解析ソフトとのデータ連携は行われないのが現状では一般的なようである。これは、些細な変更を逐一データ変換によりやり取りすることがかえって設計の非効率化につながるためである (写真13)。

中小の設計事務所では、BIM ソフトと構造解析ソフトとのデータ連携をまったく行っていないところもあった。データ連携しない理由としては、あまり大きな建物でなければデータ連携のメリットがないという点と、解



写真13 意匠、構造、設備のデータを BIM 上で重ね合わせ設計変更の検討を実施した事例。米国でも公共物件は工事契約後に設備機器メーカーが決定するため決定後構造再検討が必要。この場合にはデータ連携は有効 (Crosby 社)

析に mm 単位の厳密な変更を反映させてもほとんど意味がないという点が挙げられた。

4.4 BIMの一層の普及に対する課題

BIM を効果的に使うためには、従来とは異なる思考と生産プロセスが必要と言われている。たとえば、BIM で簡単なレイアウト図を作成する場合、最初の 1 枚は非常に大変な作業になるが、2 枚目以降は最初のデータを参照することで容易に作成することが可能となる。このように、BIM を利用することで頻繁に生じる設計変更にも容易に対応できるばかりでなく、変更内容が常に関連するデータベースに自動的にリンクされる。

建築設計事務所は、一般にプログラムにはあまり投資をしたがらない傾向があるようである。特に大きな組織であれば、既存の CAD システムを使い続けることの方が安易で間違いがないという保守的な考え方が蔓延しているようである。会社によっては、BIM を「不必要な安物の装飾品」、あるいは「仕事を取るためのツール」とみなしているという話もあった。つまり、BIM ソフトは持っているが実際の設計業務にはまったく使用していない会社も存在するようである。

BIM ソフトである Revit については、構造詳細図や設備図への一層の対応強化を望む声が多く聞かれた。構造

解析ソフトについては、BIM ソフトとの親和性を高めるとともに操作性の向上も期待されている。

5. おわりに

今回、限られた範囲ではあるが主に建築構造設計分野における BIM の利用実態調査を実施した。

米国でも、構造設計者が BIM を使い始めたのは、それをやらないと仕事が取れないという事情からであった。しかし、実際 BIM を導入し、そのメリット（主に生産性向上と設計精度向上）を理解した設計者は、積極的な BIM の活用を必死に模索しているように見受けられた。かたや日本においては、建築構造設計の分野で本格的に BIM を使った事例はまだ見受けられない。しかし、当社より構造解析ソフト SEIN FAMILY と BIM ソフトとのデータ連携ツールが提供されるなど、構造設計で BIM を使いこなすのに必要な環境は整いつつある。後は、実践あるのみである。

[参考文献]

- 1) <http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/special/plus/>, 2007.5.21
- 2) <http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/it/column/>, 2007.5.21