

建築構造設計分野における BIM の動向

EHS&S 研究センター上級研究員 兼 建築構造技術本部長
マーケット開発部長
構造設計システム部担当部長

齊藤 賢二
奥村 幸司
平賀 章

Keyword : BIM, 一貫構造計算プログラム, IAI, IFC, ST-Bridge, Revit, SEIN, ファミリ

1. はじめに

近年、建築設計業務や積算・施工業務における BIM (Building Information Modeling) の活用が話題になっている。たとえば、意匠データを中心とした建物モデルを用いて、設計内容の可視化によりオーナーへのプレゼンテーション等に効果を発揮している。また、構造躯体データを中心とした建物モデルや設備データによる建物モデルの活用も推進されており、意匠・構造・設備の不整合あるいは干渉チェックや積算・施工情報へ展開されつつある。

本稿では、構造躯体データを中心とした建物モデル（以下、構造 BIM）活用の現状と課題について述べる。また、国内における構造計算ソフトと BIM との連携状況についても触れる。最後に、構造計算プログラム「SEIN FAMILY」と BIM との連携状況および SEIN-Revit Structure データコンバータについて述べる。

2. BIM の概要

2.1 BIM のメリット

建築業界では、プロジェクトの協力体制や役割分担が相変わらずあいまいである現状の中で、図 1 に示すような多くの業務をより効率的に進めるため、常に新しい技術やビジネスモデルが求められている。新しい技術は建築技術のハード面での進歩もあるが、CAD 技術をはじめとしたソフト面での進歩が期待されている。BIM は、建築生産業務の各段階でさまざまなツールを別々に動かしていたものから、単に 1 対 1 の連携性ではなく、図 2 に示すようにそれぞれを相互連携により結びつけようとするソフトである。これにより、個別最適から全体最適

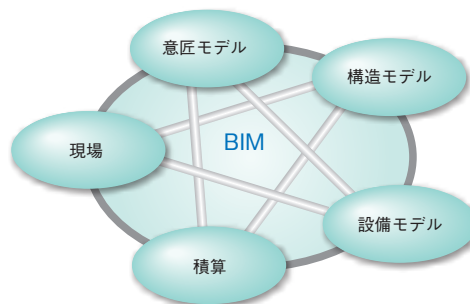


図2 BIMによる各ツール間の相互連携

という生産性の向上と建物情報のデータベース化を図ることが可能となる。BIM は建築設計の方法を変え、設計事務所、施工会社、建物管理会社のビジネスの進め方も変化させる。BIM は今後、建築ビジネスを大きく改革すると思われる仕組みと期待されている。

2.2 構造設計におけるBIM

すでに述べたように、BIM は建物形状だけでなく、さまざまな情報を統合したモデルであることから、構造設計においても作図に特化した仕組みとして BIM を使うことは、極めて限定的な活用法である。構造 BIM のメリットとして、図 3 に示すように統合化された仕組みとすることで、これまでのような複数のソフトを使用することによるデータ管理の煩雑さや不整合を回避することが可能となる。

しかしながら、現在のところこういった管理を十分に引き受けられる仕組みが存在しないことから、今後何によって構造設計のデータを管理するかの吟味が必要である。特に、BIM だけでなく、構造設計において中心的な役割を果たす一貫構造計算プログラムなどの解析ソフトについてもそれらの動向が注目される。



図1 建築プロジェクトにおける種々の業務

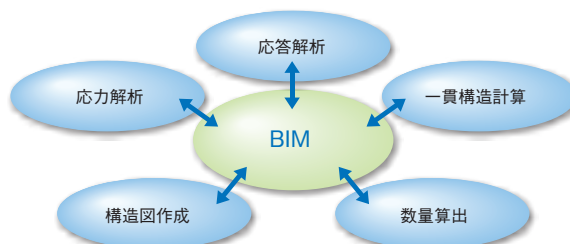


図3 構造BIMによる構造躯体データの統合化

3. IAI 構造分科会

3.1 ST-Bridge 開発の背景と目的

ST-Bridge は、建築構造設計に関する情報の標準データフォーマットとして、日本国内での情報交換のために(社)IAI 日本・構造分科会が策定しているものである。

建築に関するデータフォーマットとしては、国際標準である IFC (Industry Foundation Classes) が存在し、構造分野についても多くの情報を取り扱うことができるが、日本国内での利用は進んでいない。その理由として、以下の要因があげられる。

- ・ IFC の複雑さが日本国内の一貫構造計算プログラムなどの障害になっている
- ・ 構造関係の仕様 (たとえば鉄筋) が日本では使いにくい形で IFC に実装されている
- ・ IFC の形状定義の柔軟さに起因するデータ交換の難しさがある

そこで ST-Bridge では、構造設計や構造解析にとって再現可能なデータ形式を定義し、構造関係アプリケーションや 3 次元オブジェクト CAD 間でのデータ交換を実現することを意図し、開発が進められている。

【ST-Bridge の開発経過】

2009年：開発着手

2010年：RC 造仕様定義、プロトタイプ作成

2011年：S 造ほか仕様定義、IFC コンバータの仕様策定

2012年：RC 造および S 造の仕様 (Ver.1.0) に関するアンケート調査、およびアンケート調査に基づく仕様の見直しおよび拡張

3.2 ST-Bridgeの適用範囲

ST-Bridge は、最終的には建築構造設計に関するあらゆる情報を扱う予定であるが、当面の目標として「一貫構造計算プログラムと意匠 CAD 間のデータ交換」を目指し、当面表 1 の点線で囲まれた適用範囲内で開発が進められている。

- ・ 構造種別：RC 造、S 造、SRC 造、CFT 造
- ・ 構造形式：耐力壁・ブレースを含むラーメン構造
- ・ 部材種別：柱、間柱、大梁、小梁、ブレース (鉛直・水平)、壁、スラブ (基礎スラブを含む)、

表 1 ST-Bridge の適用範囲 (構造種別と部材種別)

	RC 造	S 造	SRC 造	その他
柱	○	○	○	CFT 造
梁	○	○	○	—
ブレース	—	○	—	—
壁	○	—	—	—
スラブ	○	—	—	デッキプレート
フーチング	○	—	—	—
杭	○	—	—	既製杭
その他	制震デバイス、免震装置、母屋、胴縁など			

基礎 (布基礎、独立基礎)、杭 (場所打ち杭)

- ・ 対象データ：位置、符号、コンクリート (形状、強度)、鉄筋 (本数、ピッチ、強度)、鉄骨 (形状、強度)、解析情報 (耐力壁か一般壁か、剛接合かピン接合か、スラブ荷重伝達方向など)
- ・ その他：壁・スラブの開口、鉄骨柱脚、免震・階段・パラペット等の簡易形状

3.3 ST-Bridgeの概要

ST-Bridge の構成について述べる。まず、建物形状を表現するために節点を定義する。階 (FL) や通り芯も節点の集合として定義する。部材の位置は節点によって定義し、そこに配置される部材断面の符号を定義する。また、位置ごとの情報 (梁のレベルなど) を位置オプションとして定義する。

部材の断面はコンクリート・鉄筋・鉄骨の情報を定義する。また、断面ごとの情報 (かぶり厚など) を断面オプションとして定義する。鉄骨は強度と規格名によって定義する。既製形鋼はあらかじめ決められた規格名によって識別し、ビルト材は鉄骨寸法を定義する。そのほかに、共通データとして使用材料のデフォルト値を定義し、部材断面で未定義の場合に使用する。

ST-Bridge では、単位や部材配置のオフセット情報を表現する際の基準点についても細かいルールが設けられている。

図 4 に ST-Bridge の構成図を示す。

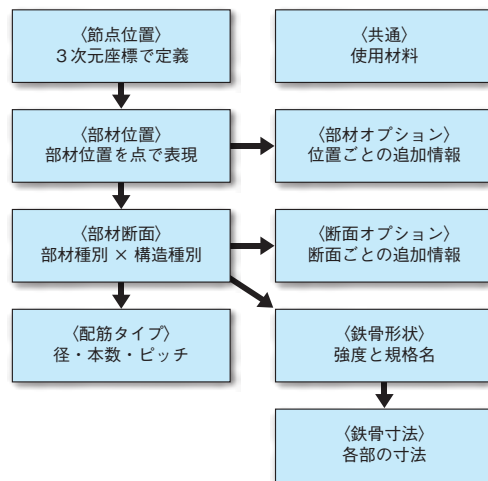


図 4 ST-Bridge の構成図

3.4 ST-Bridgeの方向性

ST-Bridge は、IFC のみでは実現が難しい日本国内の構造設計情報について、IFC と構造関連ソフトウェアの橋渡しのための標準フォーマットである。特に、一貫構造計算プログラムとの連係に重点をおき、構造設計者のメリットの実現を目指している。図 5 に、ST-Bridge と IFC および各ソフトウェアの関連図を示す。

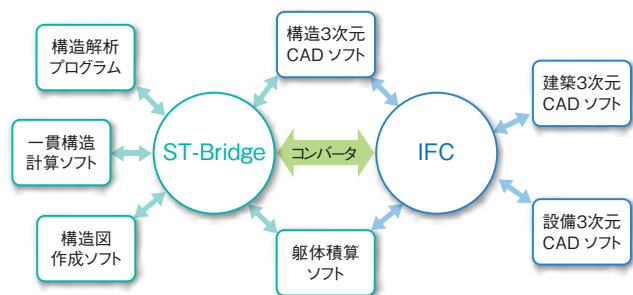


図5 ST-Bridge と IFC および各ソフトウェアの関連図

表2 ST-Bridge の LOD (Level of Detail)

LOD	分類	内容
1 躯体 情報	1-1	躯体の 基本情報 階、通り芯、部材位置、部材断面属性、材端 接続条件、鉄骨柱脚形式
	1-2	躯体の 詳細情報 LOD1-1+制震デバイス、免震装置、階段、 母屋、胴縁、鉄骨接合部、鉄筋(継手、定着) など
2 解析 設計 情報	2-1	構造解析 情報 LOD1-1+荷重条件、解析条件、解析結果
	2-2	構造設計 情報 LOD2-1+設計条件など

表2に、ST-Bridgeの現状の策定レベル(LOD)および今後の方向性を示す。現状のレベルは、LOD1-1 躯体の基本情報の仕様を策定したものであるが、平成23年度以降は、LOD2-1 構造解析情報の作成、LOD2-2 構造設計情報の策定が進められている。

ST-Bridgeの将来性は、ST-Bridgeのインポート、エクスポートが可能なソフトウェアがどこまで普及するかにかかっている。現状で、いくつかの構造計算ソフトは実装を表明している。

4. 構造計算プログラムのBIM化としての項目

4.1 構造計画のBIM化

構造計画では、意匠および設備のバランス、法令等を考慮し、構造種別の検討、構造形式の検討、平面的・立面的な部材の配置検討、基礎構造の検討、仮定断面の検討を行う。これらの検討により、品質の向上と工期の抑制を目指し、トータルコストの低減を図る。構造計画のBIM化を行うためには、意匠モデルの活用が不可欠である。

4.2 構造計算のBIM化

構造計算では、構造計画した架構・構造要素の性能や安全性を確認する。具体的な作業としては、構造計算ソフトのためのデータ作成が主となる。BIM化が考えられる具体的な内容を以下に示す。

- ・意匠モデルの活用：意匠芯や柱、梁などの部材の仮定断面および位置を構造モデルに取り込むなど

- ・経済設計：複数パターンの解析による積算数量の比較検討
- ・データ入力効率化：2次元CADデータからの座標値の取り込み

4.3 構造図のBIM化

一貫構造計算データから構造図を自動で作図することは、計算書と図面の整合性をとる意味で、広く行われている。そのツールとしては、SIRCADが知られている。ただし、SIRCADは通り軸がないと柱、梁を置けないため、任意形状には向かない。

SEINのような任意形状の解析が可能なソフトの場合、3次元CADに構造モデルを渡し、そのモデルから構造図が描けるような仕組みが理想である。さらに、構造計算データと3次元CADとの差分データの相互関係が、計算書と図面の不整合をゼロとするために有効である。

4.4 構造的な収まり検討のBIM化

3次元のモデル化は、構造と意匠の収まり、構造と設備の収まり、あるいは鉄筋や鉄骨の収まりを検討するうえで極めて有効である。これを「部分BIM」と呼んでいる。「部分BIM」に対して、意匠、構造、設備の全項目を3次元のモデルにすることを、「フルBIM」と呼んでいる。「部分BIM」は、BIMという概念が提唱される以前から行われてきたことである。

5. 各社構造計算プログラムのBIMソフトへの対応について

5.1 一貫構造計算プログラムのBIMとの連携状況

一貫構造計算プログラムとBIMソフトの連携状況マトリクスを表3に示す。連携は、一貫プログラムからの一方向のものがほとんどであり、双方向の場合も構造種別が限定されるなど、まだ内容的に十分ではない。また、これらの連携は基本的にソフトごとのダイレクトな連携であり、BIM標準フォーマットであるIFCによる連携ではない。しかし、表3に示すほとんどのBIMソフトは、BIMデータの標準仕様としてIFCをサポートしている。さらに、これらのソフトはIAIによるIFC適合認証を取得しており、これによりIFC対応ソフト間のIFCデータ連携品質の向上、ソフトベンダーとエンドユーザーに対するIFCデータ連携機能の啓発・フィードバック等の活性化が常に図られている。したがって、一貫構造計算プログラムにおいても、これらIFC適合認証を受けたBIMソフトとデータ連携を図ることで、多くのBIM対応ソフトとのデータ連携の実現が期待される。

SEIN La CREAは、従来の一貫構造計算プログラムがいわゆる「グリッドモデル」を扱うのに対し、グリッド上以外に自由に部材配置ができ、配置状態に応じて各部

表3 BIMソフトと構造計算プログラムの連携状況マトリクス

BIM 構造プログラム	一貫構造計算プログラム				構造図 CAD
	SEIN La CREA	SuperBuild/SS3	BRAIN	ASCAL	SIRCAD/SSC
ArchiCAD					○
Bentley Structure			○		
GLOOBE					○
Revit Architecture				◎	○
Revit Structure	◎	◎		◎	○
TEKLA Structure			○		○

◎：双方向に連携，○：関連プログラムからBIMへ連携

材の機能をプログラムで判定する機能を有している。このため、BIMソフトとの相性にすぐれ、ST-Bridge（3章参照）を介さずとも直接BIMソフトと必要なデータ連携を取ることができる。そこで、まずは代表的なBIMソフトの一つであるRevit Structureとのデータ連携に取り組むこととした。次節では、SEIN FAMILYとRevit Structure間で双方向の連携ができるコンバータプログラムの開発について述べる。

5.2 SEINのBIM対応状況

SEIN FAMILYとは、当社が開発・販売・SEを行っている一貫構造計算プログラム「SEIN La CREA」、立体動的弾塑性解析プログラム「SEIN La DANS」等で構成される建築構造計算用プログラムの総称である。図6に構成とデータ連携を示す。その最大の特長として、建物形状に制限を持たない点が挙げられる。従来の一貫構造計算プログラムは、前節で述べたように「グリッドモデル」であり、通り軸とフロアレベルで構成される直交グリッド上に柱、大梁、壁、ブレース等の部材を配置する形式を取っている。建物形状が整形でない場合、グリッドを変形することで対応し、あくまでグリッド上に部材を配置する。一方SEIN La CREAは、グリッド上以外に自由に部材配置ができ、配置状態に応じて各部材の機能をプログラムで判定する機能を有している。したがって、整形な建物以外に、プラント構造物や自走式駐車場等のグリッドモデルではモデル化できない建物も入力、解析することが可能である。

一貫構造計算プログラムとBIMを連携させる場合、双方向のデータ変換が必要である。BIMモデラー（3次元CAD）で入力された建物を構造計算プログラムに取り込む際に、建物形状制限がネックとなる。前述の通り、SEIN FAMILY（特にSEIN La CREA）は建物形状に制限を持たない。よって、BIMとの双方向の連携を保つことが可能である。SEINの建物情報では、小梁、床スラブ、積載荷重の配置をいわゆる床組形式で行うのではなく、それぞれの配置情報を保持しており、双方向に連携する上で制限を持たない。また、壁の配置については、従来の壁板と開口を重ねる方式と、袖壁や方立壁等を形状通りに配置する方法があり、間仕切り壁、面外壁等を含めて、データ連携の対象となる。

部材の配置情報（端点の座標）と合わせて必要な情報が配置属性（プロパティ）である。各々のプログラムで配置属性を持っているが、建物を表現する場合に共通するパラメータとして、部材のオフセット距離（寄り、鉛直方向位置等）や回転角度、継手位置等が挙げられる。今回開発したコンバータプログラムでは、建物形状と配置属性を双方向に変換することを実現している。

建物形状については非常に親和性が高いが、データ構造では大きく異なる点が存在する。SEINでは、部材の断面情報に符号を付けてリストとして登録し、その符号を配置することで建物形状を構成している。一方、Revitを含む多くのBIMでは、配置した部材に対して断面情報を与えるデータ構造となっている。このことから、SEINからRevitへの変換については問題ないが、

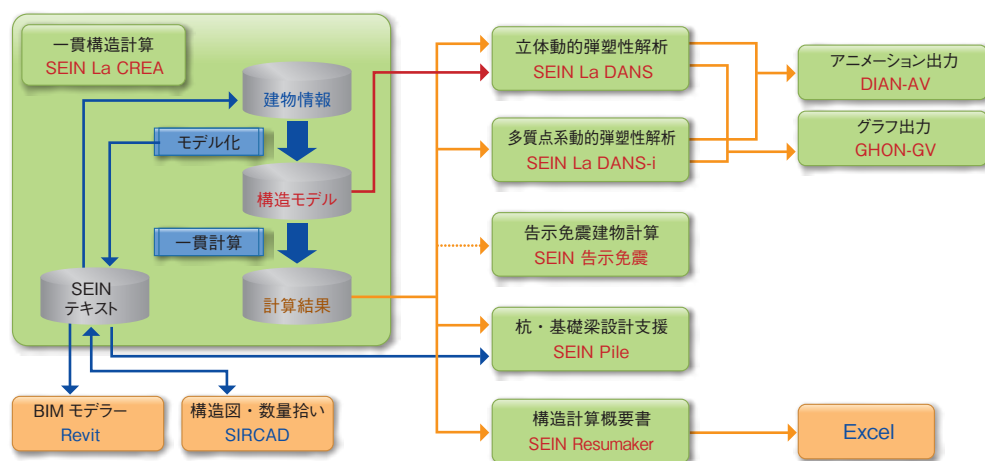


図6 SEIN FAMILYの構成とデータ連携

Revit から SEIN へ変換する場合、符号と連携階（層）の情報が必要となる。今回の開発では、Revit の「ファミリタイプ」に、符号や連携階等の SEIN 独自の情報を加味した、「SEIN S 梁」や「SEIN 鋼管ブレース」といった SEIN 独自のファミリタイプを生成することとした。SEIN から Revit に変換する際は、SEIN ファミリタイプを生成するので、変換後、Revit で変更されたデータを再び SEIN データに変換することができる。また、SEIN ファミリタイプを使って入力された Revit データであれば、SEIN に変換することが可能である。今後、Revit のテンプレートで入力された建物データを SEIN データに変換することを検討する。方法として、ファミリタイプ間の変換ユーティリティの開発や配置されている部材情報から符号を自動的に割り付け、リスト化する機能を付加すること等が考えられる。

SEIN ⇄ Revit コンバータ（プロトタイプ）は鉄骨造建物を対象とし、Revit Structure 2013 のアドインコマンドとして開発した。変換対象の要素を以下に示す。

- ・鉄骨造：柱、間柱、大梁、小梁、鉛直ブレース、水平ブレース
- ・RC 造：基礎梁、基礎小梁、スラブ（配筋情報を除く）

データ変換は、「SEIN テキスト」と Revit データ間で行う。「SEIN テキスト」とは、SEIN の建物情報をテキスト化したファイルで、SEIN データからのエクスポートと SEIN データへのインポートが可能となっている（処理は SEIN La CREA で行う）。連携のイメージを図 7 に、データ変換結果の表示を図 8、9 に示す。

5.3 SEINとRevit連携の今後の展開

現状は、S 造の躯体をターゲットとして相互連携を行っているが、今後の開発としては、以下の項目に関して検討を進める。

- ・現状未対応の主要構造部材（RC）の双方向変換
- ・Revit で入力されたデータの変換（Revit → SEIN）：構造テンプレート等を使って、他のファミリタイプで入力されたデータの変換
- ・差分変換機能：設計変更等で変更のあった部材のみ変換
- ・荷重データの連携：積載荷重、仕上り荷重、特殊荷重の双方向変換

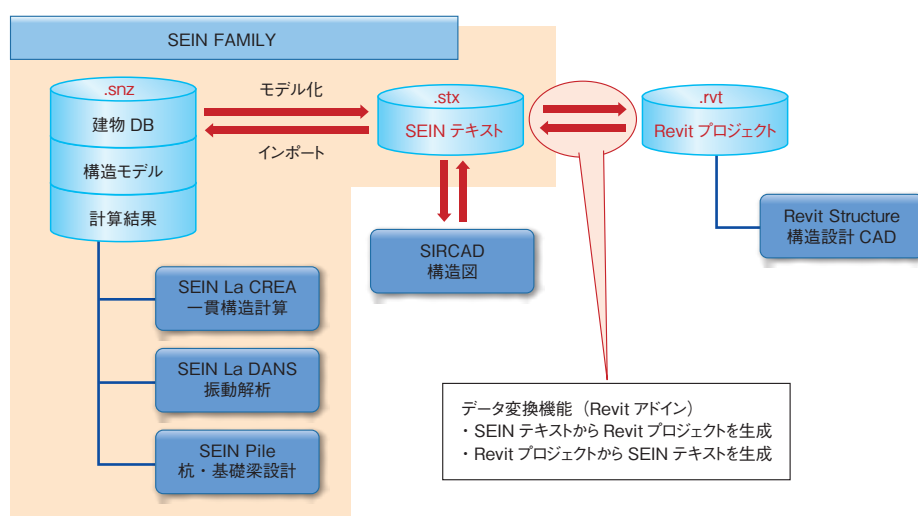


図 7 SEIN ⇄ Revit データ連携イメージ

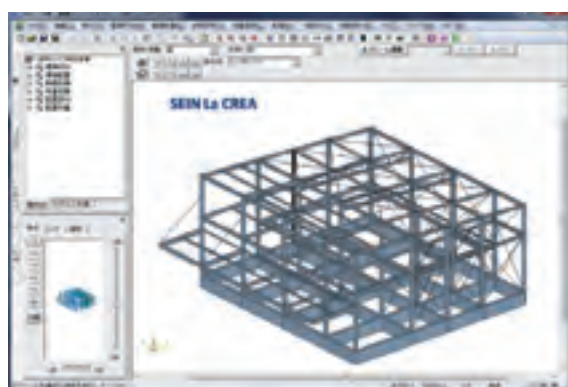


図 8 SEIN La CREA

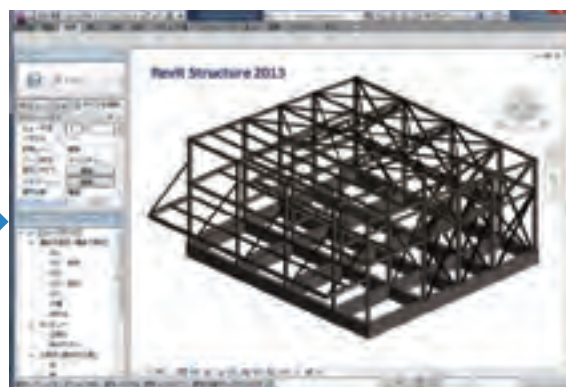


図 9 Revit Structure 2013

6. おわりに

BIM 全体のなかで、構造 BIM はやっとスタートラインに立ったといったところであろう。国内においては、共通データフォーマットである ST-Bridge の早急なリリースが待たれる。また、並行して構造計算ソフトと BIM ソフトとのデータコンバータをどのように活用すれば設計業務の効率化につながるのかを見極めることが直近の課題と思われる。

近い将来、BIM を中心としてさまざまな荷重条件に対するシミュレーションを素早く処理し、構造骨組をリファインしながら、デザイン・設備との統合もリアルタイムで行えるようになるものと思われる。また、コストや施工計画も設計初期段階から高精度で実施可能となり、さまざまな情報を施主と共有しながら、現状よりもはるかにスムーズにプロジェクトが進むものと期待される。これにより、構造設計者の業務範囲も拡大し、プレゼンスも向上するものと期待できる。

〔参考文献〕

- 1) 月刊『鉄構技術』, (株)鋼構造出版, 2012年2月号~7月号
- 2) 一般社団法人 IAI 日本 <http://www.building-smart.jp/>
- 3) オートデスク(株) <http://www.autodesk.co.jp/>



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
構造解析システムの開発製造, 構造関連 SI 業務に従事
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, 建築学会, 建築構造技術者協会会員



おくむら こうじ
奥村 幸司

マーケット開発部長
1980年より現在まで一貫して、構造計算プログラムの開発, SE, 販売に従事



ひらが あきら
平賀 章

構造設計システム部担当部長
DEMOS-E 建築ライブラリの開発および SE を担当。
その後 EWS 版, PC 版の建築パッケージおよび構造 CAD システムの開発とその SE に従事
一級建築士, 構造設計一級建築士

Synopsis

The Trend of BIM in the Field of Structural Design

Kenji SAITO

Koji OKUMURA

Akira HIRAGA

We describe the current status and problems of the use of structural framework data in BIM in this report. In addition, we also describe the cooperation situation between BIM software and structural analysis software in Japan. Finally, we describe the current of cooperation situation between BIM software and structural analysis program "SEIN", and we also describe the example of the use of SEIN-Revit Structure data converter in detail.