

# 土木建設デザインの多様なニーズ

— 各分野に見るソリューションの新たな潮流 —

第2回 FORUM8デザインコンファランス UC-win/UC-1ユーザ協議会/第6会UC-win/FORUM8協議会

11:00 ~12:00	デザインコンファランス特別講演 「劣化した既設RC/PC構造物の非線形解析と維持管理」 東京大学 工学系研究科社会基盤学専攻 教授 前川 宏一 氏			
13:00 ~17:00	■技術セッション			
	●土木セッション	●建築セッション	●設計CADセッション	●水工セッション
13:00	<b>地盤解析</b> 特別講演 「最近の内陸地震による 中山間地土砂災害について」 群馬大学 大学院 工学研究科 社会環境デザイン工学専攻 教授 鶴岡 恵三 氏  「地盤解析シリーズ、 GeoFEAS3D」 UC-1サポート第1グループ	<b>3D建築構造解析</b> 開発者講演 「Multiframe新バージョンの 開発」 豪Formation Design Systems社 Jason Yang氏	<b>UC-win/FORUM8(3D)</b> ユーザ特別講演 「座屈拘束 プレースを用いた鋼上路式 アーチ橋の耐震補強設計例」 住友金属工業(株) 土木橋梁部 開発営業技術室 前島 稔 氏  「UC-win/FORUM8(3D) 解析技術・最新情報」 技術サポート/解析支援チーム	<b>第2回浸水対策技術セミナー</b> 「浸水対策と 流出解析モデルの活用」 主催：SWMMユーザー会 後援：NPO 水環境創生クラブ、 FORUM8、XP Software社 開会挨拶 SWMMユーザー会 会長 基調講演 「都市域における 氾濫解析の課題と方向性」 広島大学大学院工学研究科 教授 河原 能久 氏
14:00	<b>環境/エネルギー</b> 特別講演 「環境とエネルギーが 進化させる土木建設情報化」 大阪大学 工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 教授 矢吹 信喜 氏	<b>住宅積算見積</b> 特別講演 「新築住宅/リフォーム対応 VST5」 (株) コンピュータシステム研究所 建築企画室室長 山田 秀一 氏  「住宅VR UC-win/Road for VST5」 UC-win/Roadサポートグループ	<b>下部工・基礎</b> 特別講演 「3次元骨組解析を利用した鋼管 矢板井筒基礎の設計方法について」 (株) 竹中工務店 竹中技術研究所 建設技術研究部 地盤・基礎部門 地下工法グループ 菅野 友紀 氏  「鋼管矢板井筒基礎の 設計計算」 UC-1サポート第2グループ	<b>技術紹介 ICUDの報告</b> 「世界の流出解析の現状」 NPO法人水環境創生クラブ： 石川 高輝 氏  「浸水氾濫から リスクマネージメントへ」 芝浦工業大学工学部土木工学科 教授 守田 優 氏  技術紹介および事例 「氾濫解析ソフトウェアの 最新動向および海外での事例」
15:00	<b>橋梁設計解析</b> ユーザ特別講演 「Easy Slab Bridge 設計解析事例」 朝日エン지니어リング(株) 代表取締役社長 徳野 光弘 氏  「ポータルラーメン橋の開発」 技術サポートグループ	<b>建築BIM・避難解析</b> 特別講演 「最新BIM事情 ～3次元で建設生産プロセスが 変わり始めた～」 日経BP社建設局広告部 企画編集 家入 龍太 氏  「避難解析EXODUS」 UC-1サポート第1グループ	<b>CALS/CAD</b> 特別講演 「画像比較Logical Imageの 開発」 阪南大学 経営情報学部 准教授 北川 悦司 氏  「電子納品・ CALS/CADシリーズ新製品」 CALS/CADチーム	<b>豪XP-Software Pty Ltd.</b> Anthony Kuch氏 「実施設計時の諸元変更 に対する貯留施設の効果検証」 日本水工設計(株) 仲 剛彦 氏 「xpswmmによる管渠内に設置 したフラッシングゲートの解析」 日本工営(株) 菊池 有 氏
16:00	<b>Engineer's Studio Ver.1</b> 開発者講演 Engineer's Studio 新製品 発表講演 FORUM8 Director Brent Fleming  ディスカッション	<b>鋼構造CAD</b> 特別講演 「BIM対応・3D鋼構造CAD」 仏Graitec社 Ulrich SCHULZE 氏  「Advance Steel日本語版」 技術サポートグループ	<b>土工・仮設工</b> 特別講演 「土留め工の設計と FEM解析の利活用」 群馬大学 工学部助教 蔡 飛 氏 「土留め工の設計・ 新バージョン解説」 UC-1サポート第1グループ	<b>水工設計</b> 「UC-win/Road for xpswmmの 紹介と津波解析への取り組み」 UC-win/UC-1システム開発グループ  「水工シリーズと 下水道CADの機能」 UC-1サポート第1グループ
17:00	発表終了			

内の講演に関する記事を12月号、続く「設計CADセッション」の一部および「水工セッション」は1月号に掲載  
本特集内の写真はすべて(株)フォーラムエイト提供

増大する既設構造物の維持管理ニーズや自然災害などへのいっそう効果的な対応策が求められる中で、IT（情報技術）の進展・普及を背景に、土木建設分野ではデザインを支援する多様なツールの開発・高度な活用が広がっている。（株）フォーラムエイトが去る9月19日に開催した「第2回 FORUM8デザインコンファランス」はそうした情勢を視野に入れながら、「前川コンクリートモデル」開発者・東京大学前川宏一教授による講演を皮切りに、続く技術セッションでは「土木」「建築」「設計CAD」「水工」の4分野に分け、それぞれ関連するテーマを設定した講演により構成している。

そこで本誌は、11月号から連載で同コンファランスに焦点を当て、土木建設デザインをめぐるさまざまな課題とそれらに対するソリューションを中心に誌上での再現に迫る。そのうち、第2弾となる12月号では「建築」「設計CAD」の各セッションを取り上げる。

橋梁編集委員会・編集(ライティング・ソリューションズ) 池野 隆

## ■技術セッション<建築セッション>1 3D建築構造解析：開発者講演



### Multiframe新バージョンの開発

豪 Formation Design Systems社  
シニア・ストラクチャル・エンジニア  
Jason Yang 氏

西オーストラリア・フリーマントルに拠点を置く Formation Design Systems社シニア・ストラクチャル・エンジニアの Jason Yang 氏は、「Multiframe 新バージョンの開発」と題し、同社が開発、日本国内でフォーラムエイトが販売する3次元骨組構造解析プログラム「Multiframe」の概要と新バージョン（Ver.11）の機能、さらに Ver.12 の開発計画について説明する。

Jason Yang 氏はまず「Multiframe」を、広範な骨組構造に対応する3次元構造解析とデザインの統合パッケージで、土木構造物などに最適な UC-win/FRAME (3D)を補完する建築設計構造向けとしてとくに優れた機能を発揮するものと位置づける。次いで、そのビジュアル面やデータ交換などに関する特徴とともに、静的解析をサポートする Multiframe 3D、3D版に加えモード解析や時刻歴解析にも対応する Multiframe 4D、任意断面形状の断面定数を計算する Section Maker、断面照査を行う Steel Designer といった「Multiframe」を構成する

各モジュールの概要に触れる。

「Multiframe Ver.11」の機能に関しては、面荷重分布の容易な作成を可能にする荷重パネルおよびその他コマンドの追加をはじめ、OpenGLによるレンダリング速度の向上、NavisWorksへのエクスポートとリアルタイムなウォークスルーの実現、MultiSteelとのデータ連携、DXF形式やSDNF形式のインポート/エクスポート対応、などについてムービーによるデモを交えながら解説。併せて、「Multiframe」の象徴的な各種事例も紹介している。

さらに、続く「Multiframe Ver.12」の開発に当たっては、有限要素法の板要素解析で対話式インターフェースによるパッチや自動的な要素メッシュの作成、現行のコピー/ミラーといったコマンド機能の強化、有限要素メッシュの初期設定などに関する新しい性能の搭載が予定されているという。



## 新築住宅／リフォーム対応 VST5

(株)コンピュータシステム研究所 建築企画室 室長  
山田 秀一 氏

仙台に本社を置き、土木・建築関連の各種アプリケーション開発・販売を展開する(株)コンピュータシステム研究所建築企画室室長の山田秀一氏は最新の住宅積算見積のあり方について、同社が開発した製品ラインナップの一つ、住宅専用プレゼンテーションツール「VST5」を例にその一端を紹介する。

### 顧客要望を反映し3次元モデルや見積書を即座に作成

「VST (ビジュアル・セールス・ツール)」は、新築あるいはリフォームの住宅営業において担当者がその場で、顧客の要望を反映した3次元モデルを作成し、その仕様で建築する場合はどのくらいの予算になるかまで瞬時にプレゼンテーションするもの。これを利用することで顧客管理、3次元モデルによる提案プランの作成から仕様の決定、それに対する見積書の算出までをカバー。営業用の簡単な製図編集機能も有するが、設計については基本的に別途CADツールへ引き継ぐことになる—といった業務フローを描く。

そのうちプラン編集は、画面の入力パレットから部材を選択して配置するだけで容易に3次元のモデルを作成し、内外装の多彩なシミュレーションを可能にする。とくに昨今は、施主の住宅デザインに対するニーズが多様化・高度化。打ち合わせ時の要望も詳細に及びがちなことから、そのようなケースに対応すべく3次元モデラーの装備に繋がっているという。

また、敷地条件を入力すると、それに応じた建築可能空間を自動的に計算し、顧客の要望に沿って作成された3次元プランが同空間からはみ出した場合は当該箇所をビジュアル的に表示する機能を搭載。この建築可能空間を最大化する天空率についても、対応する専用ソフトと連動して計算できる仕組みが用意されている。

「見積に関しては、まずプレゼンボードで顧客の希望する建材など具体的な各部材を選べば、それがそのまま見積書に上がっていくという方式を取っています」。

つまり、従来の分厚いカタログを繰りながら行っていた仕様の打ち合わせに代わり、国内建材・住宅設備機器メーカー約70社の電子データを備えたノートパソコンを操作。プレゼンボードで各部材を選択して3次元モデルから自動拾いされた数量データなど所定の項目を入力していくと、初期のプレゼン段階から詳細で、しかも根拠のある見積書の算出が可能になる。同時に実行予算書なども作成可能なため、当該物件の利益率も瞬時に把握できると説明する。

これら標準機能のほかにオプション機能として、従来のマウスやキーボードに代わる、専用のシートと電子ペンを用いた入力インターフェースを開発。部屋割りや建具などのシンボルを手描きすることで、3次元プランを立ち上げられる。最近では顧客自身が手描きで表現したイメージを3次元モデル化して示すといったサービスで好評を得ている業者の例もあるという。

また、初期の営業段階から出来るだけ正確な見積を出したいとの狙いもあり、プレゼンテーションツールでありながら木造軸組伏図を起こすオプションも用意。3次元プランから構造伏図を自動的に作成する。その際、意匠CAD・プレカットCAD/CAM間データ連携仕様の業界標準CEDXM (シーデクセマ) にも対応するため、そこで起こされた構造伏図はプレカット工場とも連動する。

さらに、少し手をかければ外観および室内のパース図を作成できるほか、手描き風のCGイメージにもオプションで対応している。

一方、家そのものとは別に、シミュレーションをより効果的にするためインテリア・エクステリア・住設機器などの3D部品についても各メーカーの製品ラインナップを反映して約一万点を収録。新商品にも柔軟に対応すべく専任スタッフを配置して、随時、Webサイトを通じ公開している。

「簡単な操作で詳細な物件のモデルを作成できるた

め、いっそうリアルな街並みの表現にも繋がります」  
とくに、周辺環境と比較しながら建物の外観の色具合などを選定する際など、どの程度、街並みが実情に近い色や形で再現されるかは大きなカギとなり得る。その意味で、たとえば、この戸建住宅のプランニング

機能とUC-win/RoadのVR（バーチャルリアリティ）機能を連携させることで、広範囲かつバラエティ豊かなプレゼンテーションも容易に可能になるとの見方を示す。

## ■技術セッション<建築セッション>3

## 建築BIM・避難解析：特別講演



### 最新BIM事情

### 3次元で建設生産プロセスが変わり始めた!

日経BP社 建設局広告部 企画編集  
家入 龍太氏

「その頃、アメリカの建築家というのは個室に分かれ、(同じプロジェクトに携わる) 施主と設計者、施工者といった関係者同士のコミュニケーションが全くないイメージだったのですけれど、日本的に一堂に会して協議しながらプロジェクトを進めていこうという『Integrated Practice』、あるいは『BIM (ビルディング・インフォメーション・モデリング)』の考え方が徐々にブレイクしつつありました」。建設・不動産の総合サイト「ケンプラッツ」内で建設IT専門サイト「イエイリ建設ITラボ (<http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/it/>)」(現在は「建設ITテーマサイト」にリニューアル)を運営する日経BP社建設局広告部企画編集の家入龍太氏は、BIMに着目した06年の同ラボ開設当初をこう振り返る。

その実情を探るため、米国テキサス州サンアントニオで開催されたアメリカ建築家協会(AIA)の全国大会に参加したのが翌07年。そこでのセッションの様子を「米国BIM視察編」(07年5~7月)として紹介したのを皮切りに、「甦れ!日本の建築—3次元で建設生産プロセスを改革しよう!」(07年7~12月)、さらに今年のアIA全国大会取材を反映した「甦れ!地球の環境—BIMで建物からのCO<sub>2</sub>排出量を半減しよう!」(08年6~8月)と展開。続いて現在は、実施段階のBIMにフォーカスした「甦れ!日本の建築2008—3次元で生産プロセスが変わり始めた!」を連載中だ。

#### わが国建設業の課題とBIMがもたらす効果

まず、家入龍太氏は建設業が直面する課題として、国

内他産業と比べ90年代半ば以降とくに顕著な建設業の労働生産性低迷の問題と、地球温暖化防止に向け建設業でも求められるCO<sub>2</sub>排出量削減対策に着目。加えて、少子高齢化などを背景とする建設市場の縮小をはじめ、建設業を取り巻く厳しい情勢への認識を示す。

その上で、BIMがこれらの問題へのソリューションになり得るのではと説く。

たとえば、業界内では無駄な作業が省かれることで労働生産性が向上するとともに、活気のある業界体質へ転換する契機となり得る。また、プレハブ化や施工の自動化が進むことで現場作業を合理化できる。さらに3次元計測技術の導入は既存建造物の出来形モデル作成を容易にする。対顧客という視点からは、情報共有や完成イメージの事前把握などを通じ、施主と一体となって建設プロジェクトを進めることで顧客満足度も高まる。地球環境問題との関わりでも、CO<sub>2</sub>排出量削減や200年住宅・200年ビルへの展開が期待される—など、建設業に多様な改革をもたらすことに繋がるというわけだ。

BIMについて家入龍太氏は、「分かりやすく言えば、3次元形状のデータに建物データベースのような属性情報を合体させたもの」と位置づける。

具体的には、BIMモデル(3次元モデル)からCG・パース・図面あるいは仕上げ表や建具表の作成、構造計算やエネルギー解析、見積・積算などへのデータ連携、工程管理・資材管理・維持管理への活用など重層的な効果が見込まれるとする。これを建物のライフサ

イクルに当てはめると、計画から基本設計、詳細設計、施工管理とフェーズが進むにつれてBIMモデルには部材情報、施工データなどが次第に蓄積。完成後の維持管理段階では、実際の建物に即した仮想データベースが出来上がることになる。そこで用いられるのがBIMソフトで、家入龍太氏はそのために必要な要素として①3次元CADデータを扱える②属性情報（データベース）を扱える③BIMソフトという意識を持っている一を3大条件に掲げる。

BIMを活用した取り組みは国内でもすでに複数見られる。その一端として①基本設計段階で建物の躯体と機器・設備の配置を3次元モデルにより検討②維持管理作業を合理化可能な部材などの属性情報を設計・施工段階から蓄積③3次元CADで作成したモデルを用いて建物内の雷電磁界分布を検討④3次元モデルのデータを活用し3次元プリンターにより完成品模型を作成⑤建築設計とプレカット工場間をCEDXM形式の3次元データで連携⑥3次元スキャナーにより現実の建物空間を測量・モデル化・ウォークスルーによりチェックなどの具体例を挙げる。

一方、今年5月にボストンで開催されたIAIの全米大会では、BIMと環境設計に関する多くの発表がなされた。

「そこでは一般の住宅でもビルでも、太陽光をいかにコントロールして消費エネルギーを減らすかというパッシブソーラー（の構造を採用している例）が主流でした」

たとえば、従来であれば建築家の経験や感覚に委ねられがちだったような季節に応じて変化する窓からの自然光、あるいは盛土の蓄熱効果など自然の力を利用する設計もBIMをベースにより精密に計算。3次元CAD上の各部材とリンクしたエネルギー解析用のパラメータを基に専用ソフトを使って消費エネルギーを定量化することで、最適な設計に繋がる。こうした年間を通じて異なる自然光を反映した建物完成イメージの可視化による事前把握、建設時に得られる各部材に関する情報の維持管理段階での活用、熱交換器を使った熱エネルギー利用イメージに基づく空調設備の検討一などの事例も見られたという。

## 高まる BIM 普及への期待

建築設計におけるBIMのもたらす可能性を端的に示す例として、家入龍太氏はインターネット上で建物の設計を競う「BIMStorm」に触れる。ロンドンを舞台に48時間でビルを設計しようという今年のイベントには、日本チームも参加している。そこで作成された構造設

計や意匠設計のほか、日影・気流・熱などの解析に基づく環境シミュレーションや監視カメラのシミュレーションについて紹介。BIMにより極めて短期間にプロジェクトの初期段階からさまざまな解析を実施することで、そうした結果を反映した設計の修正も可能になると説く。

つまり、建設プロジェクトでは基本設計や詳細設計といった初期のフェーズであればあるほど設計変更が容易かつ低コストで済む。一方、従来はその後の設計図書の作成段階に多くのマンパワーが投入されており、これを上流側へ前倒し（フロントローディング）することで多くの効果が期待できる。その点、BIMの導入によりプロジェクトの初期段階にマンパワーを投入し設計案を3次元モデルとして作成することで、その間に解析ソフトで使うための多様な入力データが自動的に生成され、それを用いた繰り返し検討の結果を今度は設計に反映、さらに最適な設計に結び付けられるというわけだ。

「BIM導入のために必要なこととして、技術士や建築士の方にはすべて3次元モデルの作成を体験していただきたいのです」

これに対し、3次元モデリングの無料ソフト（Google SketchUp）をインターネットからダウンロードして利用できるサービス、あるいは3次元で設計する際に有用な3次元の建材CAD部品データを提供する内外のサービスが展開。建物の3次元モデルから建築確認申請向け図面を作成するためのガイドラインも Revit ユーザグループ（RUG）により公開されている。

それでも「3次元CADを覚えるのは大変」という意識も窺われることからこれを払拭しようと、日経BP社では今年2～8月に「BIMブートキャンプ」を実施。月に一度半日程度の講習をこなす中で、4ヵ月後には各受講者が実際にツールを使い建築確認申請図面を完成。個人差はあるにせよ、50～100時間の練習でそのレベルの図面を作成できるようになることが認識されるに至った。

したがって、建設業界ではまず、3次元モデルの作成に自らチャレンジするところから着手。併せて、経営者とエンジニアがチームを組み3次元でワークフローを変えていくという経営的視点が欠かせないと、家入龍太氏は語る。

また、ソフトベンダー側からは3次元CADに対応したアプリケーションの提供が求められるとした上で、自身が注目する例として建物内の避難解析ソフト「EXODUS」に言及する。

さらに、BIMのもう一方の当事者である発注者サイドからは「3次元設計を切望している」との意思表示とともに、それを推進・検討する機関を組織化してはとの声も聞かれる。他方、国土交通省でも建設生産全体の最適化を図るカギとして次世代型CADを位置づけて

おり、それぞれBIMを示すものとされる。

これらの具体化に向けては、3次元CADの使用義務化、あるいはBIMを活用してワークフローの改善を目指すフロントローディングといった対策も視野に入れるべきとの見方を述べる。

## ■技術セッション <建築セッション>4 鋼構造CAD：特別講演



# BIM対応・3D鋼構造CAD

仏 Graitec社 国際営業アプリケーション・エンジニア  
Ulrich Schulze 氏

スタンドアローンのソリューションを複数用いる代わりに、インターネット経由でデータベースを繋ぎ一つのソフトウェアを利用する、ビル建設のすべてのフェーズにわたる複雑なサークル。フランスの構造工学および建設用CAD・解析ソフトメーカー、Graitec社国際営業アプリケーション・エンジニアのUlrich Schulze氏は、同社にとってのBIMという観点からその概念をこう解説する。

その具体例となるのは、同社が開発したデータ交換コンポーネントにおいてモデルを作成・保存するための特化したフォーマット、GTC (Graitec Transfer Center)。これにより、同社およびパートナー各社のソフトを使って作成したモデルがデータロス、あるいはデータ再入力が必要なく同期化できる。加えて、IFC 2x3、SDNF、CIS/2など多様なファイル形式とのインポート・エクスポートに対応、CADや解析などのさまざまな図面作成を統合的に行える。建築のライフサイクルを通じて生じる修正に際しては、同期したアップデートにより自動的に反映されるため、生産性の向上とともに、エラー・リスクの減少も可能になる、などとしている。

Ulrich Schulze氏はこのようなBIMを効率的に実現するツールとして、同社の2D/3D鋼構造CADの新バージョン「Advance Steel 2009」に焦点を当てる。

これは、AutoCADのプラグインソフトで、3D鋼構造物の効率的なモデリング作業を可能にするさまざまなツールを搭載。それらを駆使した高精度なモデルの構

築、次いで同モデルを基にプロジェクトに関わる各種設計図書の作成を行えるもの。豊富な構造要素のライブラリやデザイン機能が用意され、ジョイント部の自動作図機能はカスタマイズも可能。いったんデザインが完成すると、広範な自動作図機能を使って製作図や一般配置図などが作成でき、次いで図面が完成すると、今度は部品表(BOM) やリスト、NCファイルなどの作成にも対応できる。

とくにそのマルチユーザー機能により、同じプロジェクトのモデリングに関わる複数ユーザー間でなされた修正をリアルタイムに共有、ユーザー同士で他社の作成したモデルの一部を借りたり、必要な箇所のみを表示したりすることも出来る。そのほか、BIMに必要なさまざまな技術も集約されている、と説明する。

中でも、「Advance Steel」が生産性向上をもたらす大きな要素として挙げられるのが、最初のステップで鋼構造物のモデリングを行い、そこから自動的に各種図面の作成、書類管理、製作・組立へと展開していくという、まさにBIMならではの特徴というわけだ。

引き続き、同氏は「Advance Steel」の活用例として、世界中の多様な分野に及ぶ顧客のプロジェクトを列挙。さらに、プラント設計とそこでの配管における具体的な利用シーン、PDMSあるいはVIRO Engineering、Revitと併用した際のワークフローなどにも言及。

最後に、「Advance Steel」がパワフルな3Dツールで、使いやすく、トレーニングも短期間で済むほか、自動化に対応するなどインテリジェンスに優れていること

からモデリングの生産性を向上させるものであること。精度、外観の調整なども可能で、ユーザーによる修正  
また、効率的な作図機能によりビューの自動作成、高 がアップデート後も保持される —などを挙げる。

## ■技術セッション<設計CADセッション>1 UC-win/FRAME(3D) : ユーザ特別講演



### 座屈拘束ブレースを用いた 鋼上路式アーチ橋の耐震補強設計例

住友金属工業(株) 土木橋梁部 開発営業技術室 担当副長  
前島 稔 氏

既存橋梁の耐震性が注目されていることを背景に、住友金属工業(株)土木橋梁部 開発営業技術室担当副長の前島稔氏は数多く採用されている橋梁形式の一つ、「鋼上路式アーチ橋」にフォーカス。耐震補強策として座屈拘束ブレースを採用するケースを想定し、立体骨組構造の3次元解析プログラム「UC-win/FRAME(3D)」を使い実施した耐震性評価の考え方やその結果について解説する。

#### 鋼上路式アーチ橋のモデル化と耐震検討

今回、解析対象として設定された橋梁の構造形式は上路式アーチ橋。橋長90.8m、スパン60.0m、ライズ11.0m、幅員8.5m。主桁4本と床版を配置し、床版支持ダミー部材を介して主桁の方へ荷重を分配するという構造をまずモデル化している。

「UC-win/FRAME(3D)ではファイバー要素が使われませんが、耐震検討を行おうとするとフルモデルで解析しなければならず、解析コストが上がる要因となってしまったため、それを何とか抑えたいということがありました」

そこで、部材要素の非線形特性については解析コストを考慮。まず弾性梁要素でモデル化し、固有値解析とその結果を用いた時刻歴応答解析を実施している。その際、弾性梁要素が降伏しないことを確認しつつ、降伏応力を超過した部材についてのみファイバー要素に変更していくという手順で作業を重ね、最終的に使用する要素を部材ごとに決定した。

これに基づき当該モデルでは、節点数が1812、要素数が2024、そのうち弾性梁要素237、ファイバー要素928、ばね要素376、剛体要素483 —という構成を定め

ている。計算コストを抑制するため、さまざま試みられたものの、それでも多くのファイバー要素を含む形となった。

また、このようなモデル規模の場合、地震波を1波流すのに約1時間要することから、タイプⅠ・タイプⅡそれぞれで3波を橋軸方向と橋軸直角方向から流す現況モデルの本解析だけで単純に12時間程度かかる計算となる。今回、現況モデルに対して橋軸直角方向から入力地震波を30秒間与え、0.01秒刻みで3000ステップの解析を行ったところ複数の中間支柱に降伏が見られたと、前島稔氏は振り返る。

これを受け、現況モデルの耐震性向上策として座屈拘束ブレースを設置した場合にどうなるかが検討された。

#### 座屈拘束ブレースによる耐震性向上策

前島稔氏は座屈拘束ブレースの要求性能として①レベル2地震時にブレースを必ず降伏させて地震エネルギーを吸収する②レベル2地震時に主要構造部材を降伏させない③(とはいえ)レベル1地震時あるいは風荷重用時におけるブレースの発生応力は許容応力度以内に留める —の3点を挙げる。

したがって今回検討に当たり、まずガセット長およびその設置位置、遊間距離などからブレース長を算出(それぞれ6.5m・3.9m・2.5m)し、左右対称に取り付けるため4本ずつ計12本を補強部材として使用するものとした。

座屈拘束ブレースが各種ある中で、ここでは同社のSUBを採用している。これは芯材の4辺を山形鋼で拘束し、スペーサーを挟み高力ボルトで締め付けること

で芯材の全体座屈を防止する構造。芯材に使われる低降伏点鋼は、文字通り降伏点を低く抑えるため炭素やケイ素の含有量を少なめに設定されており、板厚6mm～50mmに対応可能。降伏応力は規格値の±20N/mm<sup>2</sup>の範囲で管理され、たとえば、SLY225の場合は205～245N/mm<sup>2</sup>の間で降伏する。

「ブレースの取り付けに際して降伏軸力を577kNと設定、あとはブレース長、最大軸歪、ブレースの塑性区間が決まれば芯材の必要な可動範囲が分かり、設計が可能となります」

これらを基に解析した結果、現況モデルでは塑性が見られた主要部材もブレース設置後は設計上問題ないことが示されたと、前島稔氏は説明する。

さらに、詳細なブレースの照査項目として①最大軸変位をブレースの塑性区間長で割った最大応答軸歪(ε)が許容値内にあるか(標準設計は1.5%、限界値は3.5%)②ブレースの累積塑性変形量の合計を降伏変位で割った累積塑性変形倍率(η)が許容値内にあるか(例えば、許容値は、余震の影響などを考慮して製品限界値の1/3以下に設定する)③累積疲労損傷の繰り返し回数(N)が許容値内にあるか—の3点を設定している。

累積塑性変形倍率η(②)と破断までの繰り返し回数N(③)の限界値は、いずれも最大軸歪(①)から算出できるように同社の実験結果から定式化。そのうち、累積塑性変形倍率については鋼材ごとに定式化、歪値により変化する算出式があり、どの鋼材を使うかという設計上の選択に関係する。たとえば、前述のSLY225の場合、歪値1%で設計したηは1800、耐力上昇率は1.3、破断までの繰り返し回数は53回。これを歪値1.5%で見ると、ηは半減、破断回数は19回。歪値の

限界値3.5%では、繰り返し回数2回で破断する—ことなどから、芯材の設計最大軸歪は1.0%～1.5%に留めておくことが望ましいとする。

また、ブレースと繋がる継手については①極限軸力に対して降伏させないスライスプレート②最大軸力に対して滑らず、極限軸力に対して破断させない高力ボルト本数—などを考慮して設計する。その際、鋼材は降伏すると耐力が上昇することから、耐力上昇を起こした時の軸力を降伏軸力で割った耐力上昇率(φ)は、標準的な最大軸歪(1.5%)に対応した値(SLY225の場合は1.4)で計算する必要があるという。

「座屈拘束ブレースによる耐震性向上策としての有効性は確認できたと思います」

この耐震性向上策は、上路式アーチ橋の上部工で地震エネルギーを吸収し、アーチ支点で反力を低減させる効果を持つ。ただ、座屈拘束ブレースの設置数が増えて付加重量が大きくなると、橋軸直角方向へ揺れた時に支点部の浮き上がりが大きくなるため、その重量については留意しなければならないと、前島稔氏は説く。

併せて、座屈拘束ブレースの設計ではアーチ支点部やブレースの取り付け部は絶対降伏しないということが前提となる。したがって、設計照査に当たっては、本体の主要構造部材の照査に加え、座屈拘束ブレースの性能照査、継手およびそれらの取り付け部の照査も重要になるとしている。

一方、コスト縮減策ということでは、こうしたブレースを本体の設計段階から組み入れていれば補強工事のための撤去費が不要となる。そこで、その具体化に向けた検討も進めているところという。

## ■技術セッション<設計CADセッション>2

## 下部工・基礎：特別講演



# 3次元骨組解析を利用した 鋼管矢板井筒基礎の設計方法について

(株)竹中工務店 竹中技術研究所建設技術研究部地盤・基礎部門地下工法G  
菅野 友紀 氏

「3次元骨組解析(そのもの)は新しいものというわけではありません。ではなぜ『今、3次元骨組解析で井筒

基礎か』という点を中心にお話したいと思います」

継手を介して複数本の鋼管矢板を繋げ閉鎖形状に組み合わせさせた構造を成す「鋼管矢板井筒基礎」。その際、鋼管と鋼管を繋ぐ継手内部にモルタルを充填することで、止水性の確保と鋼管同士の間隔をともに実現できる。

㈱竹中工務店竹中技術研究所建設技術研究部地盤・基礎部門地下工法Gの菅野友紀氏は、鋼管矢板井筒基礎の設計を支援するプログラム（「3次元鋼管矢板基礎の設計計算」：フォーラムエイトから11月にリリース）の開発に携わった経緯がある。その観点からまず、鋼管矢板井筒の大きな特徴として、フーチングから上の部分は水中で施工する場合の仮締切りを兼用可能なため、工期短縮や作業面積縮小（河川阻害縮小）を図ることが出来るといったメリットに注目する。「近年、仮設材の本体利用が多く見られるようになりましたが、（鋼管矢板井筒基礎は）その走りではと考えています」。ケーソン基礎と比較して施工・管理がしやすいこともそうした流れの背景にあるものと見る。

### 鋼管矢板井筒基礎の設計・解析

鋼管矢板井筒基礎を設計する際、その形状が細長い場合あるいは変形が小さい場合は継手部分でのせん断ずれが少ないため、曲げ変形モードが卓越し、1本の“はり”としてモデル化が可能。一方、井筒基礎が太く短い場合あるいはその変形が大きい場合は継手部分のせん断ずれが大きく発生し、せん断ずれ変形モードが卓越。したがって、せん断ずれを考慮したモデル化が必要になる。

それに対し、「鋼管矢板基礎設計施工便覧」（発行：(社)日本道路協会）によれば井筒基礎の設計解析方法は①弾性床土の有有限長ばりによる解析法②継手のせん断ずれを考慮した仮想井筒ばりによる解析法③3次元骨組解析法 — の3種類。そのうち、先に触れた継手のせん断ずれを考慮できる解析法はとなると、②（仮想井筒ばり）および③（3次元骨組）に限られる。

また、有限ばり（①）は2次元問題を解き、再現性はそこそこ（菅野友紀氏）だが、計算時間は短い。上から下まで地盤も含め剛性が一樣であれば手計算も可能など、総じて計算が容易という特徴を有する。仮想井筒ばり（②）も同様に2次元問題を解き、再現性が良く、計算時間は短く、上から下まで一様の物性値であれば手計算も可能。ただ、実際に対象となるのは地層や剛性が変化するような場所であるため、はりを分割して骨組解析で解かれているのが現状。3次元骨組（③）のみ文字通り3次元問題として解き、再現性は前述の各方

法よりかなり優れる。その代わり、3次元FEMによる計算に要す時間は他と比べ若干長くなる — などと、菅野友紀氏は各設計解析方法の特徴を整理する。

これらの設計解析手法の中で、これまでは2次元はりモデル（①②）が主として用いられてきた。その際、井筒基礎は複数の鋼管から成る構造であり、それを1本のはりに束ねて井筒全体の断面剛性を計算する場合は、継手部でのせん断ずれによる不完全一体化を表すため合成効率率（ $\mu$ ）を通常「0.75」と設定して組み込んでいた。ところが、実際の $\mu$ は井筒基礎の形状により変化することが研究を通じて明らかになっている。加えて、3次元問題を2次元問題にモデル化するに当たって多くの仮定や高度な数学が用いられることから、仮想井筒ばり理論は難解な微分方程式を構成。その結果、複雑な構造形式あるいは新材料・新工法への対応が困難な状況を来す、といった問題が浮上してきたと指摘する。

このような実情にもかかわらず3次元骨組解析法（③）がなかなか普及してこなかった理由として、菅野友紀氏はまず、鋼管矢板井筒基礎の橋梁基礎としての初採用（69年）以来、計算機の性能上の制約から3次元解析が困難だったこともあって3次元FEM自体それほど浸透していなかったと見る。また、井筒基礎適用の大半を道路橋が占める中で、道路橋示方書ではその設計方法について3次元骨組解析によるのが望ましいとしながら、一般的には仮想井筒ばりによって算定しても良いとしている現状を挙げる。しかも、現在普及している井筒基礎設計専用のソフトは、仮想井筒ばりによる解析法までしか対応しておらず、汎用の3次元骨組解析ソフトを井筒基礎の設計に適用しようとすると、たいへん面倒な作業にならざるを得なかったと振り返る。

### 3次元骨組解析法の普及に向けて

では、なぜ今、3次元骨組解析法が注目されるのか。菅野友紀氏は「合理化設計によるコスト削減」と「新材料・新工法への対応」という大きく二つの背景を述べる。

公共工事予算が縮減される時代的ニーズの一方で、鋼材をはじめ建設資材は年々高騰しており、井筒基礎の合理化設計によるコスト削減は設計者にとって大きな課題となってきた。つまり、複雑な構造形式のモデル化、井筒基礎の挙動の高精度な再現、基礎の簡素化に対応した柔軟な条件設定なども可能な解析法が求められている。これとは別に、設計プロポーザルが増加、あるいは総合評価方式が一般化しつつある流れを反映

し、新材料・新工法を採用した技術提案や設計提案が  
いっそう重要になっていることがあるという。

「3次元骨組解析法では、鋼管をビーム要素で、地盤  
の抵抗を地盤ばねで、継手を継手ばねでそれぞれモデル  
化します。その際、鋼管の中心にビーム要素の節点  
を設け、そこから剛な部材を継手まで伸ばし、そこを  
二重節点にして継手ばねを設定。継手ばねは水平方向2  
方向および鉛直方向と3方向の抵抗を持つばねを設定  
することになります」

菅野友紀氏は同手法のポイントをこう解説。その上  
で、期待されるメリットとしてまず、ビーム要素を組  
み合わせて構造物をモデル化するため、多様な形状の  
複雑な構造に対応できることを挙げる。2次元ばり解析  
では複数の鋼管を一回束ねてはりとして解いた後、断  
面力の算定時に再度ばらして比較する。一方、3次元骨  
組解析ではそのまま解いて直接比較することから、た  
とえば、鉛直支持力については杭先端節点反力と許容

支持力を、杭体応力についてはビーム要素の断面力と  
許容応力をそれぞれそのまま比較することで照査が可  
能になる。また、頂版は剛な部材で連結することによ  
り杭頭の剛結条件を再現、さらに継手のせん断ずれは  
継手ばねで再現する。とくに井筒基礎は、各鋼管が不  
完全一体化された挙動、あるいはケーソンと群杭の中  
間的な挙動など複雑な挙動を示すことで知られるが、  
それらも高精度に再現できるという。加えて、3次元骨  
組解析法の柔軟な条件設定も大きな特徴で、井筒基礎  
の合理化や新材料・新工法の採用に繋がるものと見て  
いる。

「パソコンの性能がかなり向上したことで、複雑な問  
題を複雑なままモデル化して計算することが可能に  
なっています」。そこで3次元骨組解析法の導入が広がり、  
新材料・新工法を積極的に採用、合理化設計で他  
社との差異化を図るといった展開への期待を示す。

## FORUM8 <土木セッション>関連ツール情報

「第2回 FORUM8デザインコンファランス」後半の技  
術セッションでは各カテゴリに沿った講演と併せ、主催  
するフォーラムエイトの関連ツールについてそれぞれ担  
当者が解説している。誌上報告(Ⅱ)は、4セッション  
から成る技術セッションのうち、<建築セッション>お  
よび<設計CADセッション>の一部にフォーカス。本  
コーナーでは、今回取り上げた講演と関連する各ツール  
について要点をまとめた。

### ■：3D 建築構造解析

鋼構造関連ソリューションとして、2D/3D 鋼構造  
CAD「AdvanceSteel」、同じく簡易版の2D/3D鋼構造CAD  
「MultiSTEEL」、立体骨組み構造の3D解析プログラム  
「UC-win/F R A M E (3D)」、3D 構造解析ソフト  
「Multiframe」、建築・プラント基礎設計のための総合ソ  
リューション「AFES」について紹介。併せて、各ア  
プリケーション間のデータ連携、あるいは鋼道路橋(鉸  
橋・箱桁橋)上部工の自動設計ソリューション「A  
SteelPlate」(鉸桁橋)・「A SteelBox」(箱桁橋)にも言及  
している。

### ■：住宅積算見積

住宅専用プレゼンテーションツール「VST5」と3Dリ  
アルタイムVR「UC-win/Road」を連携させようという  
「UC-win/Road for VST5」にフォーカス。VST5の出力機  
能を使いエクスポートした住宅モデルをUC-win/Road  
へインポートすることで、住宅周辺の状況がよりリアル  
あるいは広範囲に再現可能になっている。

### ■：建築 BIM・避難解析

BIM に対応するアプリケーションの一例として、避  
難解析シミュレーション「EXODUS」と火災シミュレ  
ーション「SMARTFIRE」の概要を紹介。建築物を含む世

界各国における活用事例を挙げ、具体的な各種シミュ  
レーションあるいは解析シーンについて説明している。

### ■：鋼構造 CAD

「AdvanceSteel」日本語版のリリース(10月)に合わ  
せ、鋼構造物のモデル作成や設計図書作成を行うこの  
AutoCAD プラグインソフトについて紹介。多くの部材  
をデフォルトで登録している上、作画機能に優れた特徴  
などを、操作手順を示しながら解説している。

### ■：UC-win/F R A M E (3D)

「UC-win/F R A M E (3D)」に関しては、とくにその解析  
支援サービスにフォーカス。最近の利用状況およびその  
傾向、河川構造物・橋梁・建築建物の各分野におけるモ  
デル化や解析の事例・手順について説明している。

### ■：下部工・基礎

11月にリリースされた鋼管矢板井筒基礎の設計を支  
援するプログラム「3次元鋼管矢板基礎の設計計算(連  
結鋼管矢板対応)」を紹介。主な特徴や機能などにつ  
いて、操作手順を示しながら解説している。



(続く<設計CADセッション>の一部および<水工セッション>については、1月号本特集(第3弾)に掲載します)