

# 数値解析グループの設立と業務内容

## Computer-Aided Engineering (CAE) Service on Multi-Fields of Buildings

試験研究センター 新技術開発支援室 数値解析グループ

### 1. はじめに

2年間の準備期間を経て、このたび数値解析グループの業務を開始しました。当グループは試験研究センターに設置され、新技術開発支援室に所属します（p.65組織図参照）。

当グループには高度な知識と経験を有し、さらに構造物の破壊現象など、実挙動をよく理解している技術員を配置し、数値解析をサポートいたします。主な業務は新技術開発支援室や他部門の業務をサポートして技術開発その他の依頼案件に貢献することであり、独自の委託業務も扱います。

本稿では、数値解析業務の目的や業務内容を解説するとともに、これまでに実施した解析事例や保有ソフトとその機能を紹介します。

### 2. 数値解析業務の目的

数値解析の目的は、実現象をできるだけ正確に模擬して必要な数値情報を得ることにあります。そのため、実験結果との不断の照査を欠かすことはできませんし、実現象を理論的に把握することが創意工夫や新たな技術開発の展開につながります。

当法人は構造物や構造部材・接合部、熱、音、風などに関する実験業務を長年にわたって実施してきました。実験による性能確認は技術開発に欠かせない手続きですが、多額の経費と時間を伴う場合があります。このような場合に数値解析を採用することで、実験費用や開発期間の削減に貢献することを当グループの主業務と考えています。

### 3. 業務内容

#### 3.1 保有する解析ソフトと機能

保有する解析ソフトの一覧と解析機能の概要を表-1に示します。このうち、LS-DYNAとNX-Nastranは汎用有限要素解析ソフトであり、LS-DYNAは構造力学解析、流体力学解析、熱力学解析を含む、きわめて広範囲な解析内容に対して対応可能です。

表-1 保有解析ソフトの一覧

解析ソフト名	解析機能
LS-DYNA	汎用有限要素解析
FEMAP +NX-Nastran	汎用有限要素解析 (FEMAP: プリポスト処理プログラム)
DRAIN-2DX <sup>1), 2)</sup>	梁要素による非線形平面骨組解析
DRAIN-3DX <sup>1), 2)</sup>	梁要素による非線形立体骨組解析
VECTOR 2 <sup>3)</sup>	平面応力解析
VECTOR 3 <sup>3)</sup>	ソリッド要素による有限要素解析

ご要望に応じて、汎用有限要素解析ソフトADINA<sup>4)</sup>、Marc<sup>5)</sup>を用いた解析も対応可能です。

#### 3.2 対象業務

当グループの主な対象業務は以下のとおりです。

- (1) 技術開発支援
- (2) 構造物、構造部材・接合部の安全性に関する検討
- (3) 音、熱、気流等建築環境要素に関する検討
  - (1) 技術開発支援では、多額の予算と時間が必要な、実験を伴う技術開発に対し、数値解析を採用することによって予算と時間を節約できる場合があります。
  - (2) 構造物、構造部材・接合部の安全性に関する検討では、地震、台風、津波などの外乱に対する詳細な応答

情報が求められる場合があります。これらの外乱に対して、建物やそれを構成する部材・接合部の安全性の余裕はどの程度かといった情報を提供いたします。許容限度を超えて大きな変形領域における応答情報（建物が倒壊するか否かも含めて）が必要な場合は、幾何非線形や材料非線形に加えて局部座屈や破断などの現象を考慮した解析技術が必要不可欠です。これらの高度な解析技術により、変形集中部位の局所的な数値情報に対するご要望にも対応いたします。

(3) 建築環境要素に関する検討では、①室内温熱環境や居室の遮音・防音解析、②火災時の構造部材熱伝導解析、室内気流解析やビル風予測、を対象としており、実験と併せた評価手法が設計上有益となります。

具体的な解析内容として以下が挙げられます。

- (1) 構造部材・接合部の応力・変形解析
- (2) 構造物の詳細な応力・変形解析（大地震に対する倒壊現象を含む）
- (3) 地盤内の杭や基礎部材の応力・変形解析
- (4) 燃焼解析
- (5) 台風、津波などの流体解析
- (6) 熱伝導、環境振動、音響解析

その他、熱と流体など、多分野連成解析（マルチフィジックス）も対象とします。

これらの3次元立体解析を実施することが可能です。また、動画などにより解析結果をわかりやすく提示することもできます。

#### 4. 解析業務の流れ

解析業務の一般的な流れを図-1に示します。

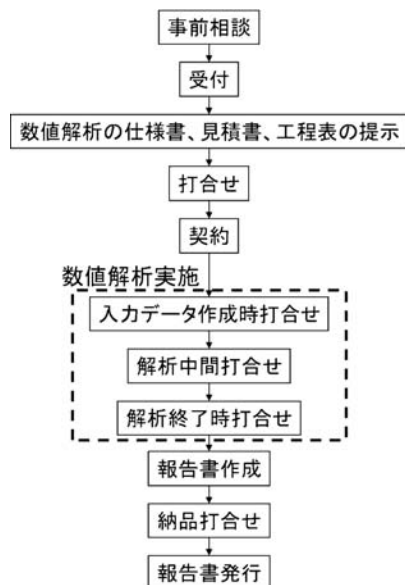


図-1 解析業務の流れ

事前相談に当たっては、解析内容に応じて専門知識を有する技術員が対応いたします。解析目的やご要望に応じて、適切な解析方法を提案させていただきますので、お気軽にお問い合わせください。お問い合わせ先は、本稿の最後に示しています。

#### 5. 解析事例

##### 5.1 鉄骨造の技術開発における解析事例<sup>6)</sup>

鉄骨造の技術開発を目的とした実験業務支援のための解析事例として、MC鉄塔（図-2）の平面トラス（図-3）に対する梁要素を用いた立体骨組解析を紹介します。本件は関西電力(株)、(株)酒井鉄工所との共同の研究成果です。

平面トラスのメッシュ分割図を図-4に示します。図-5に、ファイバー梁要素による非線形立体骨組解析プログラムDRAIN-3DX<sup>1), 2)</sup>を用いた解析結果として、図-4に示す平面トラス下側の圧縮斜材の軸力 $N$ と軸歪 $\varepsilon$ の関係を示します。斜材に座屈が生じると、圧縮歪と引張歪がそれぞれ正・負方向に進展します。分岐点の軸力、すなわち座屈荷重と座屈モード（長さ）は、解析と実験で対応しています。

この事例では、DRAIN-3DXによる解析結果から、実験は立体でなく平面骨組で実施すればよいことが確認でき、また、試験変数が低減できました。

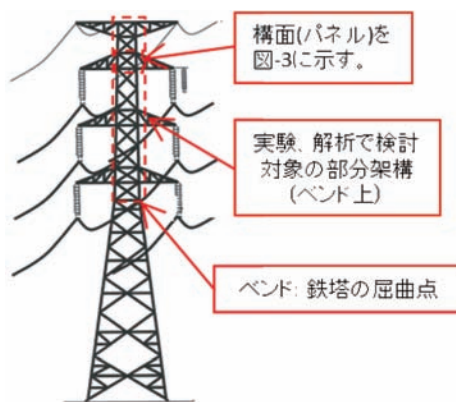


図-2 MC鉄塔の全体図

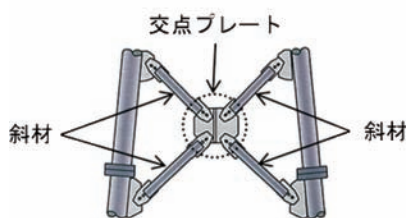


図-3 MC鉄塔の構面（パネル）の側面図

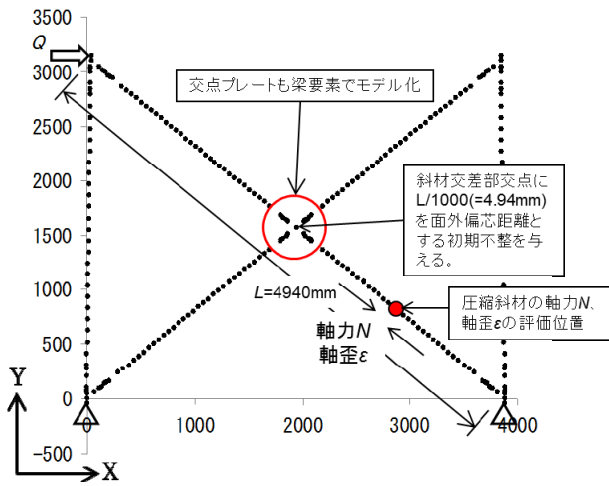


図-4 平面トラスのメッシュ分割図

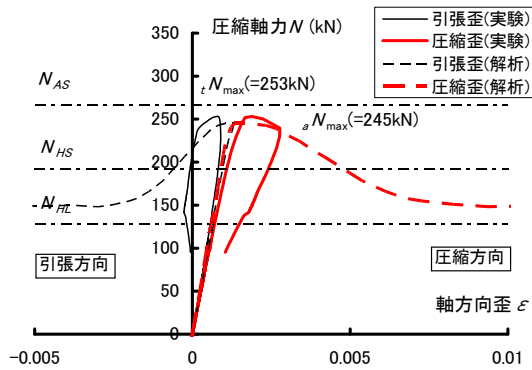


図-5 圧縮斜材軸力と軸歪関係図

また、図-4 の平面トラスに対し、汎用有限要素解析ソフト ADINA<sup>4)</sup>により静的増分解析を行いました。面外変形の状態を示す変形図を図-6 に、鳥瞰図を図-7 に示します。ADINA<sup>4)</sup>では大変形時における幾何非線形、材料非線形を精密に考慮しているため、構面外たわみが下側の圧縮斜材に集中するという、実験で観察された座屈モードが再現できており、設計用の座屈長さの評価が可能となりました。

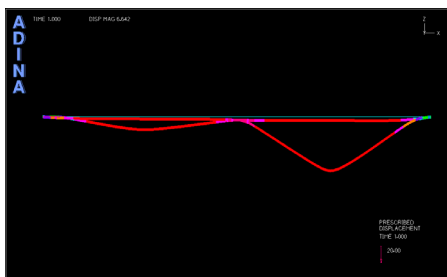


図-6 構面外変形図 (ADINA)

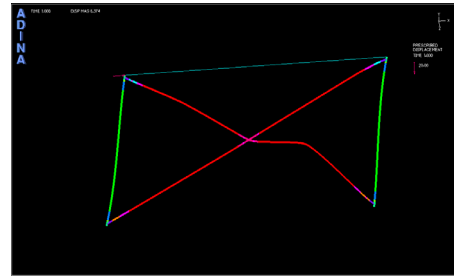
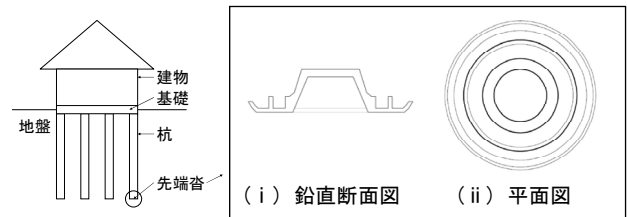


図-7 変形図の鳥瞰図 (ADINA)

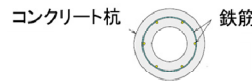
## 5.2 土質基礎構造における解析事例

地盤内の杭や基礎部材の解析事例として、RC 基礎杭の先端開口部補強部品 (先端沓) の有限要素応力・変形解析を紹介いたします。RC 基礎杭と先端沓の形状の軸対称性を考慮し、軸対称ソリッド要素を用いた静的応力・変形解析を行いました。本件は越智建設 (株) からの依頼案件です。

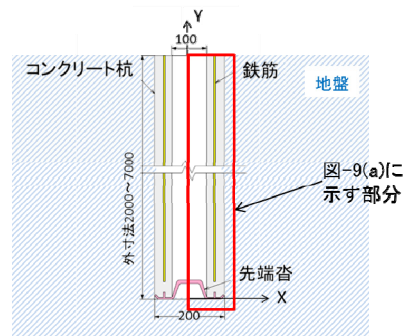
RC 基礎杭と先端沓の構造設計図を図-8 に示します。解析では、RC 基礎杭および先端沓の応力値が許容応力度以下かどうかを照査し、開発対象である補強部品の構造安全性を確認しました。図-9 に、杭先端部の RC 基礎杭、先端沓および地盤の鉛直方向応力コンター図の鉛直断面図を示します。軸対称性を考慮し、右半分の断面を示しています。



(a) 建物と RC 基礎杭および先端沓の関係と先端沓の形状

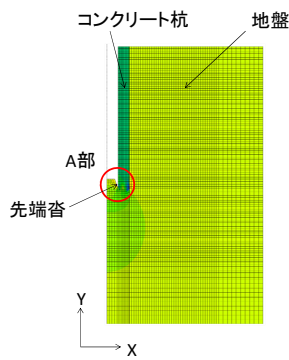


(b) RC 基礎杭の水平断面図

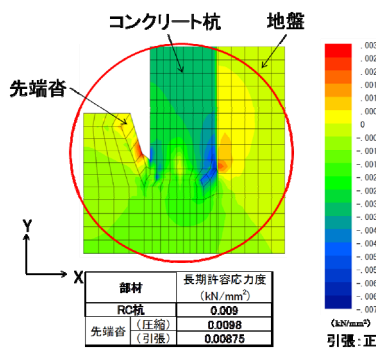


(c) RC 基礎杭および先端沓の鉛直断面図

図-8 解析対象の RC 基礎杭と先端開口部補強部品 (先端沓)



(a) RC基礎杭、先端沓および周辺地盤のメッシュ分割図



(b) A部拡大図

図-9 杭先端部のRC基礎杭、先端沓、地盤のメッシュ分割および鉛直方向応力コンター図（鉛直断面図）

### 5.3 実大実験再現計算の解析事例

防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター（E-Defense）<sup>7)</sup>で2007年9月、実大4層鋼構造建物の完全崩壊再現実験が実施されました<sup>7), 8), 9)</sup>。写真-1に試験体である実大4層鋼構造建物<sup>7)</sup>を示します。この実大4層鉄骨造建物に対して、汎用有限要素解析ソフト ADINA<sup>4)</sup>と MARC<sup>5)</sup>を用いて、実験の模擬計算を行いました。



写真-1 実大4層鉄骨造建物（E-ディフェンス提供）<sup>7)</sup>

図-10に、ADINA<sup>4)</sup>による時刻歴応答解析の結果得られた、加振中の変形図と部材に作用する2軸まわりの曲げモーメント分布図を重ねて表示した図を示します。このように、部材断面に生じる断面力を可視化することで、応力や歪の設計情報を効率よく照査することが可能です。また、動画などで応答解析結果をリアルに分かりやすく表示することもできます。

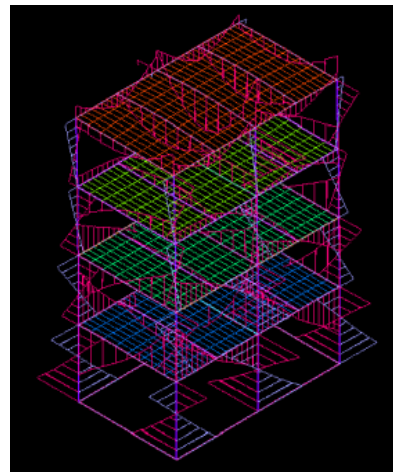


図-10 変形図および2軸まわりの曲げモーメント図（ADINA）

図-11、図-12に、MARC<sup>5)</sup>による時刻歴応答解析結果の変形図を示します。図-11は柱・梁を梁要素、床スラブをシェル要素でモデル化したものです。入力地震波の加速度振幅を実験時の200%として加振した場合に、図のように最下層に変形が集中して倒壊しました。この倒壊モードは実験と対応しています。

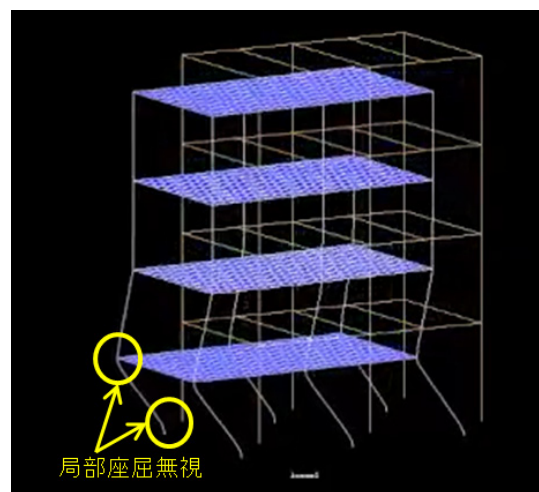


図-11 倒壊過程の変形図（梁要素モデル、MARC）



図-12は図-11のモデルの柱頭および柱脚をシェル要素でモデル化したもので、入力地震波の加速度振幅は実験時の100%です。このモデルでは、図-13に示すように柱頭・柱脚での局部座屈が計算できており、倒壊モードと加速度振幅が実験と一致しました。

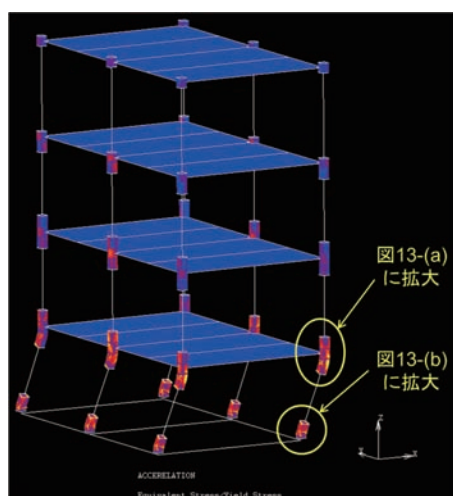


図-12 倒壊過程の変形図（柱頭・柱脚シェル要素モデル、Marc）

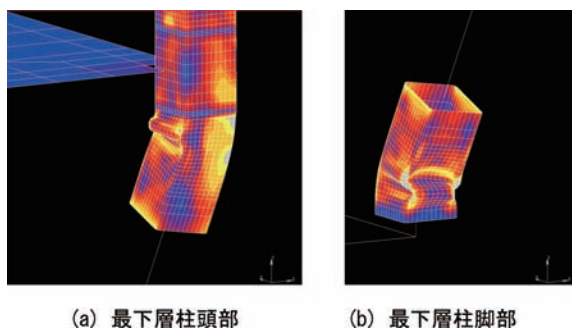


図-13 柱頭・柱脚部の局部座屈状況  
(柱頭・柱脚シェル要素モデル、Marc)

このように、実際の構造特性を精密に反映したモデルを用いた計算によって、建物が倒壊に至る現象を詳細に追跡することができ、建物の安全性に関する定量的な評価を行うことが可能です。

#### 問い合わせ先

試験研究センター  
 新技術開発支援室 数値解析グループ  
 〒 565-0873 大阪府吹田市藤白台 5-8-1  
 TEL : 06-6834-5317 FAX : 06-6834-1230  
 E - Mail : g-sim@gbrc.or.jp  
 担当 : 市岡 有香子

#### 【参考文献】

- 1) V. Parakash, G. H. Powell, S. Campbell: DRAIN-3DX BASE PROGRAM DESCRIPTION AND USER GUIDE, Version 1.10, Report No.UCB/SEMM-94/07, University of California, Berkeley, 1994.8 (PEER: DRAIN-3DX)
- 2) <http://peer.berkeley.edu/nisee/nisee.html> (PEER: DRAIN-3DX)
- 3) <http://www.civ.utoronto.ca/vector/> (Vector2, Vector 3)
- 4) <http://www.adina.com/index.shtml> (ADINA)
- 5) <http://www.mssoftware.co.jp/products/marc> (Marc)
- 6) 足立将人, 井根達比古, 田川浩之, 山田容文, 長尾研治, 峯宣廣, 竹内信雄, 内川啓: MC鉄塔の高耐久化構造の開発, GBRC2013年4月号.
- 7) <http://www.bosai.go.jp/hyogo/research/project/steel0.html>
- 8) 吹田啓一郎, 松岡祐一, 山田哲, 島田侑子, 赤澤資貴, 多田元英, 大崎純, 笠井和彦: 実大4層建物完全崩壊実験の概要 (E-ディフェンス鋼構造建物実験研究 その21), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 2008年9月
- 9) 山下拓三, 大崎純, 宮村倫司, 小桧山雅之, 堀宗朗, 秋葉博, 梶原浩一: E-Simulatorによる実大4層鋼構造骨組の震動台実験の高精度有限要素解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 2012年9月