

# 解析雑誌

Vol.14 2005.1

## 【 Topics 】

- 超高層建築構造設計の現状と今後
- 構造表示プログラム RESP-CG
- 地盤の応答解析法について (その1)

## 【 Technical Reports 】

- 地震防災情報システムを利用した震度分布シミュレーション  
— 平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震 —
- ベースプレート降伏型ロッキングシステムを適用した鉄骨架構の地震応答有限要素法解析

Journal of Analytical Engineering

【巻頭言】

# あれから 10 年

防災・環境部 地震防災室長 栗山 利男

今から 10 年前、1995 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震は、近代都市神戸を襲ったマグニチュード 7.2 の直下型地震であり、6,433 名もの尊い人命を奪う戦後最大の地震災害を引き起こしました。ビルや住宅の倒壊、同時多発火災の発生、水道などのライフラインや道路・鉄道などのインフラストラクチャー等の被害は都市機能を完全に麻痺させ、過密都市の脆弱性をさらけだし、誰もが地震災害の恐ろしさを目の当たりにしたことでしょう。

阪神・淡路大震災以降この 10 年間に、鳥取県西部地震（2000 年）・芸予地震（2001 年）・宮城県北部を震源とする地震（2003 年）・十勝沖地震（2003 年）・新潟県中越地震（2004 年）などの地震が起き、様々な物的被害や人的被害が発生しました。特に十勝沖地震のタンク火災や新潟県中越地震の地盤崩壊・土砂災害などは記憶に新しいところです。阪神・淡路大震災をはじめとするこれらの地震災害から私たちは何を学んできたのでしょうか。

さて、昨年末に政府の中央防災会議首都直下地震対策専門調査会から首都直下地震の被害想定結果（中間報告）が発表されました。想定結果によると、最悪のケースでは死者約 12,000 名、全壊・焼失棟数約 85 万棟と想定されています。これを 10 年前の阪神淡路大震災の被害と比べると、死者で約 2 倍、全壊・焼失で約 8 倍といった数字となり、想像を絶する被害が予想されています。巨大過密都市を襲う首都直下を震源とするマグニチュード 7 クラスの地震の発生確率は、今後 30 年以内に 70%、50 年以内では 90%と言われています。今後、この被害想定結果を受け、国をはじめとする行政などが、地震被害軽減のためにハード・ソフト両面から様々な震災対策を講ずることはもちろんのことですが、首都圏を基盤としている企業、地域社会、個人ひとりひとりが、それぞれの立場で具体的な対策を早急に講じることが、迫り来る首都直下地震の被害軽減に最も有効な対策ではないかと思います。

防災白書によれば、「阪神・淡路大震災により高まった国民の防災意識は、風化の兆しが見られる」との報告がなされています。今年は阪神淡路大震災からちょうど 10 年の折目です。阪神・淡路大震災をはじめとする過去の地震災害の教訓を踏まえ、いつどこで起きてもおかしくない地震に対して、企業あるいは個人としてどう備えるのか、何ができるのかを考えてみませんか。

## 解析雑誌 Vol.14 2005.1 目次

|                    |                                 |       |    |
|--------------------|---------------------------------|-------|----|
| 【巻頭言】              | あれから10年                         | 栗山 利男 | 02 |
| Topic 1            | 超高層建築構造設計の現状と今後                 |       | 05 |
|                    | 西川孝夫 都立大教授 KKE-VISION 2004 講演要旨 |       |    |
| Topic 2            | 構造表示プログラム R E S P — C G         |       | 08 |
| Topic 3            | 地盤の応答解析法について（その1）               |       | 11 |
| Technical Report 1 |                                 |       |    |
| ■                  | 地震防災情報システムを利用した震度分布シミュレーション     |       |    |
|                    | — 平成16年(2004年)新潟県中越地震 —         |       | 15 |
|                    | 橋本光史                            |       |    |
| Technical Report 2 |                                 |       |    |
| ■                  | ベースプレート降伏型ロッキングシステムを適用した        |       |    |
|                    | 鉄骨架構の地震応答有限要素法解析                |       | 19 |
|                    | 川上 誠・竹内百合・緑川光正・小豆畑達哉・石原 直       |       |    |
| 解析雑誌               | 読者アンケートのお願い                     |       | 26 |
|                    | お問い合わせはこちらへ                     |       | 27 |

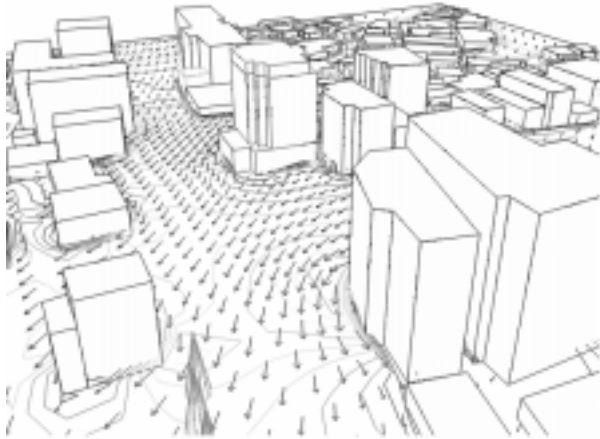
解析雑誌バックナンバーは KKE 解析ホームページでご紹介しています。  
PDF 形式でダウンロードも可能ですので、是非下記アドレスにお立寄りください。

<http://www4.kke.co.jp/kaiseki/>

‘KKE’は弊社（株）構造計画研究所の略称です。

# *Wind-design*

## *for Windows*

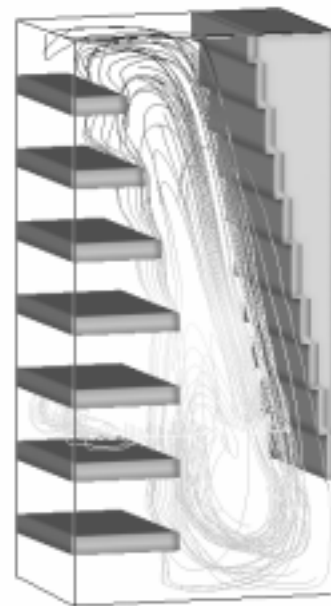


- 地図情報(bmpファイル)の読み込み可能
- 2D or 3Dによる確認表示
- 自動メッシュ分割機能
- GUI操作によるメッシュ範囲分割や追加・削除が可能
- 簡単な計算条件設定および出力指定
- 風環境評価機能による客観的評価が可能

# *AC-design*

## *for Windows*

- AutoCADをカスタマイズした容易な形状定義機能
- 自動メッシュ分割機能
- 高性能熱流体ソルバの搭載。流れと熱の連成計算や濃度拡散解析が可能
- 豊富な可視化機能。ベクトル・コンタ等値面・マーカ粒子追跡・ストリームライン表示・アニメーション表示



水、空気、ガス拡散、地下浸透流・・・ 流体解析コンサルもお任せ下さい

## [セミナー報告]

# 超高層建築構造設計の現状と今後

西川孝夫 都立大教授 KKE-VISION 2004 講演要旨

2004年9月28日、弊社主催のKKE-VISION 2004セミナーにて、西川孝夫都立大教授（日本建築センター超高層建築物構造審査委員長）に「超高層建築構造設計の現状と今後」の表題でご講演をお願いしました。超高層建築の歴史から構造審査の概要、最近の耐震設計に関する話題、社会変化と建築構造の今後の対応等幅広い内容で、多くの受講者の方々から「現状の課題がよくわかった」「すぐに実務の役に立つ」など大変好評でした。

以下に、講演内容の概略を紹介します。

## 1. 超高層建物の変遷

超高層建築の構造種別は、80年代前半までは鉄骨造が主流であったが、その後SRC造・RC造が登場した。90年代後半からSRC造は減少、RC造が増加し、2000年にはRC造が過半数となった。建物用途は、現在、事務所が極めて少なく、80%以上がRC高層住宅である。

建物固有周期は概ね表-1の式で回帰され、年々長周期化する傾向にある。

表-1 建物固有周期の回帰式

| 構造種別 | 固有周期(秒) $h$ : 軒高(m) |               |               |
|------|---------------------|---------------|---------------|
|      | 制振・非制振              | 制振            | 非制振           |
| S造   | $0.029h-0.32$       | $0.030h-0.28$ | $0.026h-0.13$ |
| CFT造 | $0.030h-0.40$       | $0.031h-0.56$ | $0.028h-0.12$ |
| SRC造 | $0.028h-0.60$       | -             | -             |
| RC造  | $0.027h-0.70$       | -             | -             |

設計用せん断力係数は1次固有周期 $T_1$ に反比例し、鉄骨造で $0.30/T_1$ 、SRC造は $0.20/T_1$ 、RC造では $0.18/T_1$ で近似される。

鉄骨造・CFT造の耐震要素は過半数がラーメンであり、最近10年間変わっていない。鉄骨造・CFT造に制振構造を採用し、応答低減を図っている建物の件数は、10%程度だったものが10年間で90%以上に急増している。制振デバイスは低降伏点鋼が過半数であり、粘性系・流体系が約4割である。

RC造のコンクリート強度平均値は10年間で $48 \text{ N/mm}^2$ から $60 \text{ N/mm}^2$ へとゆるやかに上昇してきている。90年代

後半から $100 \text{ N/mm}^2$ 超のコンクリートも使用されてきているが、許容応力の根拠が問題となることもある。

以前は整形なプランがほとんどであったが、最近10年間では変則プランが急増している。これにともない、コーナー部の曲り梁、外周の逆梁、継手、制振装置基部など新たな問題点が発現している。

審査方法の変化としては、以前は総合評価であったが、平成12年(2000年)の建築基準法改正により、設計・材料・工法の分別評価となり、これによる弊害も生じている。

解析手法では、立体弾塑性解析が静的で普通に用いられ、動的でも徐々に一般化してきている。

## 2. 耐震設計トピック

模擬地震動の位相バラツキや設計目標の設定など、設計者による判断の重要性が高まっている。

プレート境界のすべりで発生する地震が活動期に突入している。地震調査研究推進本部発表の今後30年以内の地震発生確率は、南海トラフで南海40%、東南海50%、宮城県沖で98%と発生はほぼ確実と考えられる。兵庫県南部地震は発生当時0.4%~8%であり、活断層直下型は予測が困難である。

平野部の固有周期に基づく5~10秒以上の長周期地震動の存在を認識する必要がある(図-1)。兵庫県南部地震で問題となった1~2秒の「キラーパルス」に対して、広帯域にパワーを持つ「ブロードバンド」型地震の認識が広まってきており、長周期化を理由に入力を低減して

設計された構造物の耐震性に疑問が生じている。

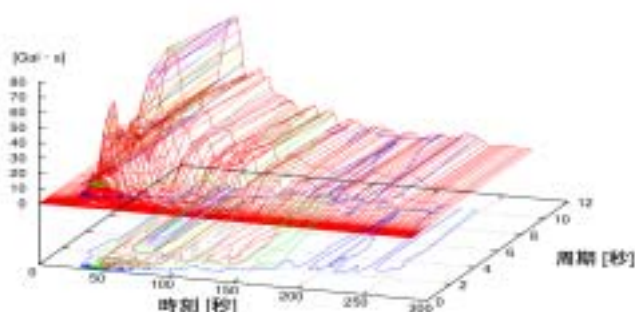


図-1 十勝沖地震（2003年9月26日）苫小牧EW成分ランニングスペクトル（発表スライドより）

また、免震構造の問題点として、風方向風力により免震層にクリープ変形が発生することがわかっている。特に中間層免震では影響が大きいため注意が必要である。

### 3. 巨大地震災害への対応

巨大地震災害のキーワードは「長周期」と「ブロードバンド」である。

2004年3月に日本建築学会・土木学会の協同委員会を結成した。地震動部会では入力地震動の作成、標準地震動の策定を行い、建築構造部会は超高層および免震等の長周期地震に対する動的応答・損傷度の推定、耐震診断法と補強法を提示する計画である。土木構造部会は長大橋梁等の土木構造物の動的応答・損傷度の算定、耐震診断法と補強法の提示、ガイドライン作成を担当することになっている。

日本建築学会においても、特別調査委員会により既存長周期構造物の耐震性の再評価がおこなわれる予定である。

### 4. 建築を取り巻く環境の変化

日本の少子高齢化社会と世界の人口爆発への対応がせまられている。このため、産業構造の変化、国際競争の激化、グローバルスタンダードへの取組みなどが予測される。

エネルギー・食料・地球環境・地震防災などが問題となり、食料をのぞけば建築は諸問題に大きく関係することとなる。

4E技術（電子・エネルギー・高性能材料・環境保護）の急速な発達は建築にも影響をもたらすことが予想される。

### 5. これからの建築設計

性能（対象・目的・条件）の規定に対して、自由な解決策を提示する方向に向かっていく。

外乱時に建物がどのように振舞うかの把握、モニタリングの重要性が高まり、解析技術（動的・非線形・立体）の活用とモニタリングによる裏付けが可能となる。

超高強度（ $F_c150N$ 以上）・高靱性・超軽量コンクリートや、超鉄鋼（ $TMCP$ 以上の微細粒子： $800MPa$ 級、超高強度： $1500MPa$ 級）が登場し、設計の自由度がより高まるものと考えられる。

高層中間層免震にて上部構造をマスダンパーとするなど、大胆な構造形式にも取り組んでほしい。

単なる構造計算だけでなく、技術開発も含めた挑戦を設計者に期待したい。

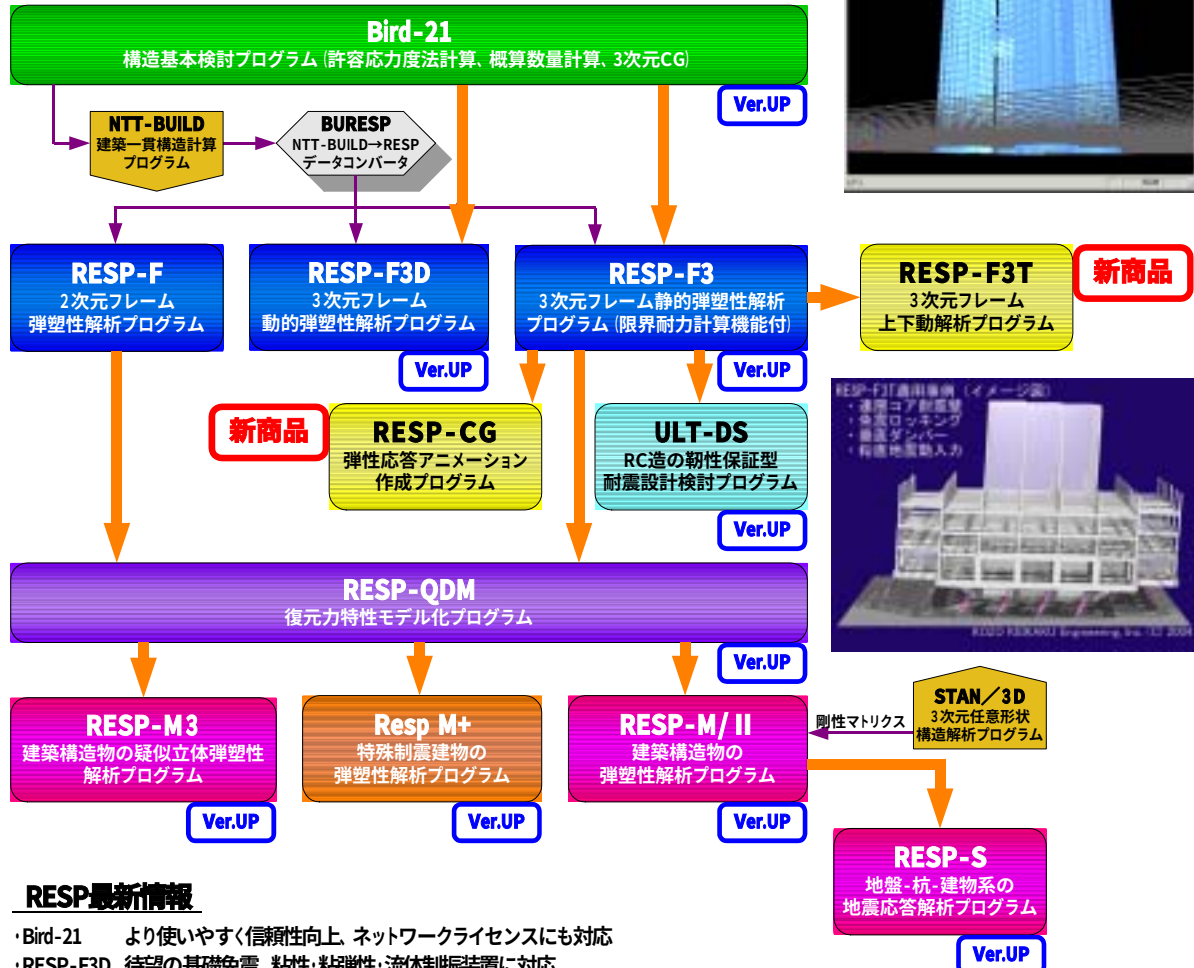
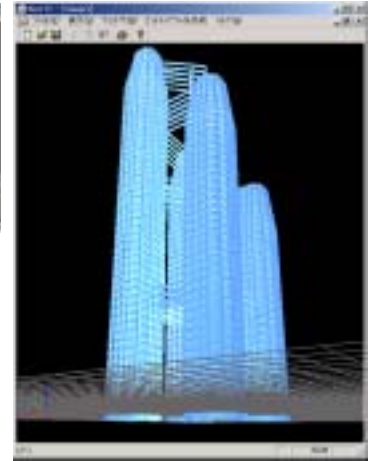


ご講演中の西川孝夫先生



# 建築構造物の耐震解析プログラム RESPシリーズ

建築構造の高性能化を支援し続ける構造解析プログラム

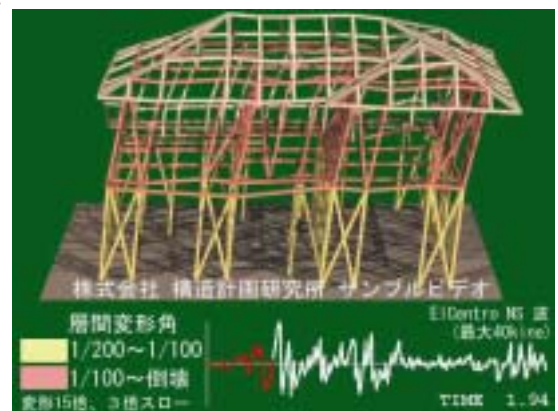


## RESP最新情報

- ・Bird-21 より使いやすく信頼性向上、ネットワークライセンスにも対応
- ・RESP-F3D 待望の基礎免震、粘性・粘弾性・流体制振装置に対応
- ・RESP-F3 杭・建物一体荷重増分解析、最新手法モードアダプティブに対応
- ・ULT-DS 都市基盤整備公団超高層RC造建物設計指針に対応

## RESPシリーズ適用事例

- ・超高層・高層RC建築の地震応答解析
- ・免震建築、超高層免震建築解析
- ・各種制震構造解析 (曲げせん断分離型制振要素)
- ・不整形構造のねじれ応答解析
- ・非剛床構造の静的動的解析
- ・高層建築、免震建築の地盤・杭連成解析
- ・長大構造物の位相差入力解析
- ・大スパン構造物の上下動水平動同時入力解析
- ・高層建築の風応答解析
- ・建築構造物の機械振動、交通振動、歩行振動解析



● 短時間で構造基本検討・数量計算が可能なBird-21が大好評、体験セミナーを定期開催中 ●

実績豊富なRESPシリーズを1ヶ月単位でレンタル利用いただけます。 また、解析業務の受託も承っております。

[新商品ご紹介]

## 構造表示プログラム **RESP-CG**

これまでRESPシリーズでは、質点系振動解析プログラム (M/II・M3) に始まり、フレーム静的動的解析 (F)、フレーム3次元立体 (F3/F3D)、汎用解析 (T)、杭―地盤連成 (S)、免震・制振と適用範囲を大きく広げてまいりました。また、振動解析機能を充実するのと並行し、構造基本検討・1次設計・立体モデル作成 (Bird-21)、靱性保証型設計検討 (ULT-DS)、必要保有水平耐力算定 (RESP-UN) など、主に設計を補助するプログラムも充実してまいりました。

現在、RESPシリーズにとって新たな適用領域となる「表現」をサポートするプログラム「RESP-CG」を開発しております。本プログラムの開発の狙いと機能をご紹介します。

### ■開発コンセプト

構造設計者が、下記のような場面で簡単に利用できる商品を目指しています。

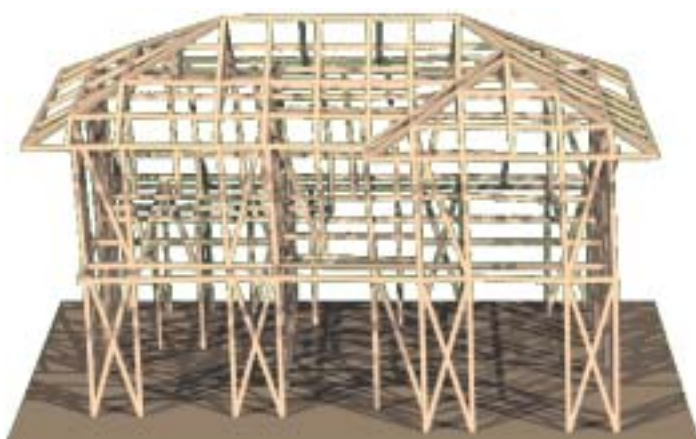
- ・施主、または、意匠設計者に対する構造プレゼンテーション
- ・構造設計者間、または、構造性能評価者に対する迅速な意思の疎通

従来からの寡黙な構造設計スタイルから一転し、昨今は「コンペティション」「プロポーザル」あるいは「施主への説明義務」「構造性能評価」といった「構造プレゼンテーション」の機会が飛躍的に増えているのを肌で感じられている方も少なくないと思います。また、構造設計者間においても短時間で効果的なプレゼンが期待されます。このような社交的な構造設計が求められる状況では、やはり表現を専門にサポートするツールが必要だと考えられます。

そこで、従来型の表現方法(モーメント図や構造図)の枠から外れた直感的な表現を扱えるプログラムを開発することになりました。

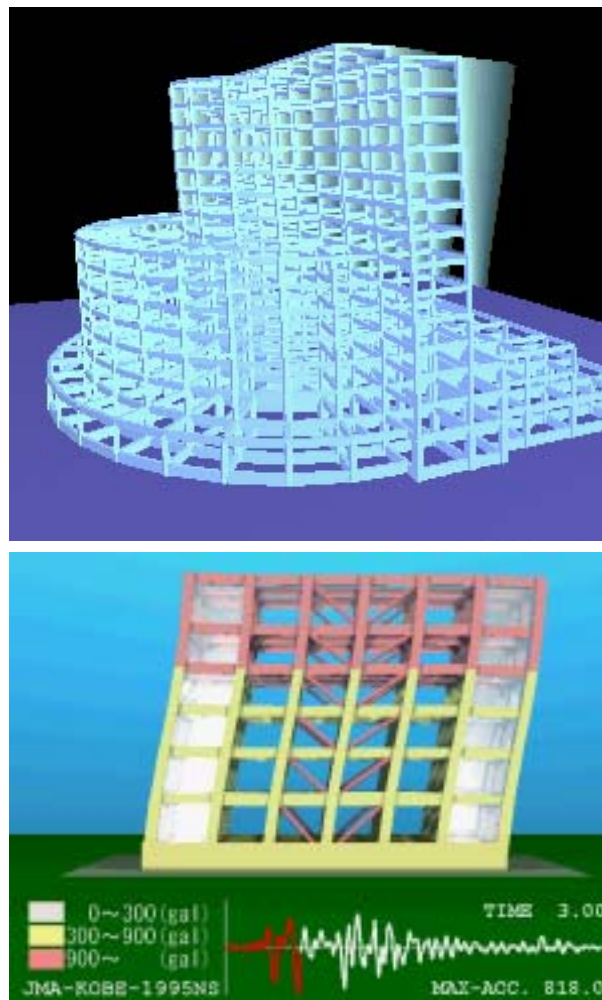
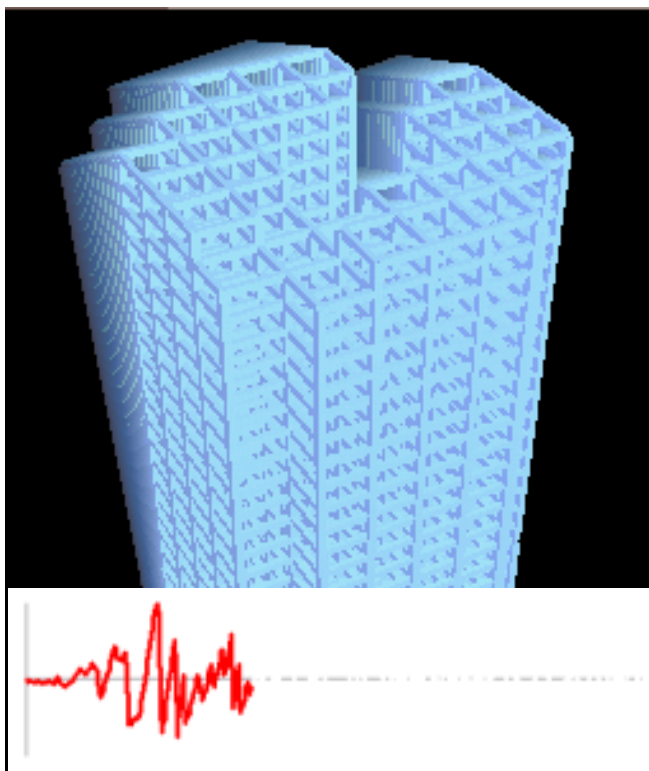
### ■機能概要

- ・解析モデルのパス図 (3Dソリッド表示)
- ・固有モード図のリアルタイムアニメーション (立体固有値解析機能を内蔵)
- ・減衰を考慮した自由振動のリアルタイムアニメーション (振動解析機能を内蔵)
- ・弾性応答解析のアニメーション (振動解析機能を内蔵)
- ・入力波形グラフのアニメーション
- ・加速度・層間変位の大小による色分け
- ・アニメーション (AVI) ファイルの直接生成
- ・リアルタイムアニメーションでは、マウスによる動的な視点変更が可能
- ・RESP-F3/F3Dのデータを直接読み込み



サンプル画像

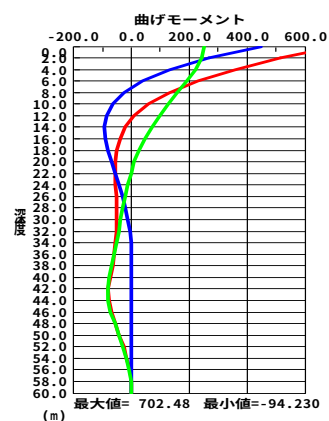
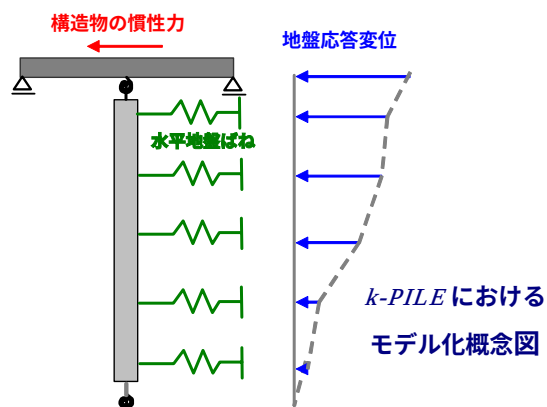




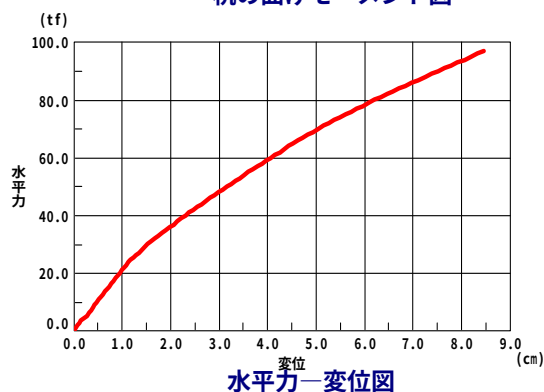
# k-PILE

*k-PILE*は、建築、土木構造物の杭基礎設計において広く用いられる応答変位法のプログラムです。杭の断面力、基礎梁—杭の荷重—変形関係を算定します。

*k-PILE* では、地盤ばねの非線形特性の自動計算機能、*k-SHAKE* の地盤応答変位の自動読み込み機能を有しており、構造設計者が手軽に用いることができます。



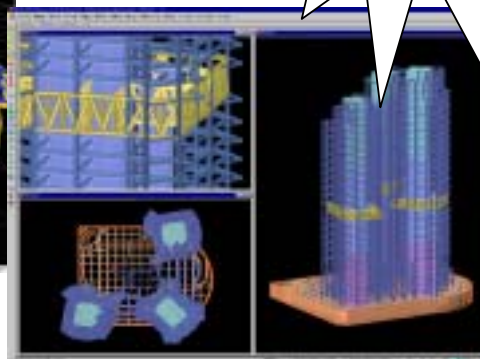
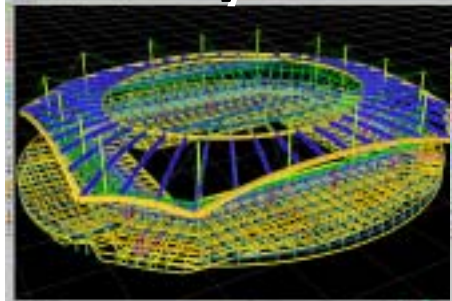
杭の曲げモーメント図



水平力—変位図

# 直感的なInterface 先端のGraphics機能

Ver.6 リリース  
静的材料非線形解析  
動的材料非線形解析



## 建設用構造解析システム

Modeling, Integrated Design & Analysis Software

# MIDAS/ Gen

適用構造物：一般建物、競技場、工場、格納庫、鉄塔、その他の特殊構造物

CAD ライクのモデリングにより卓越した操作性と生産性を実現

各国 4000 余りのプロジェクトに利用された信頼と実績

日本建築基準法に対応 (地震・風荷重、断面算定等)

MS-Excel、AutoCAD DXF、STAN/3D、STAAD/Pro、NASTRAN 等との互換

便利な建築専用機能 (建物モデル自動生成機能、鉄骨断面・鉄筋 DB 内蔵等)

多彩なモデル表現 (レンダリング、透視図、ウォークスルー機能等)

Multi-frontal Solver による計算速度の高速化 (Sky-line Solver に比べ 10~20 倍)



### ■ 有限要素

トラス要素、引張/圧縮専用要素、ケーブル要素、

梁要素、テーパ断面梁要素、壁要素、

平面応力要素、板要素、

平面ひずみ要素、ソリッド要素、

免震制振要素 他

### ■ 解析機能

静的線形解析、線形座屈解析、

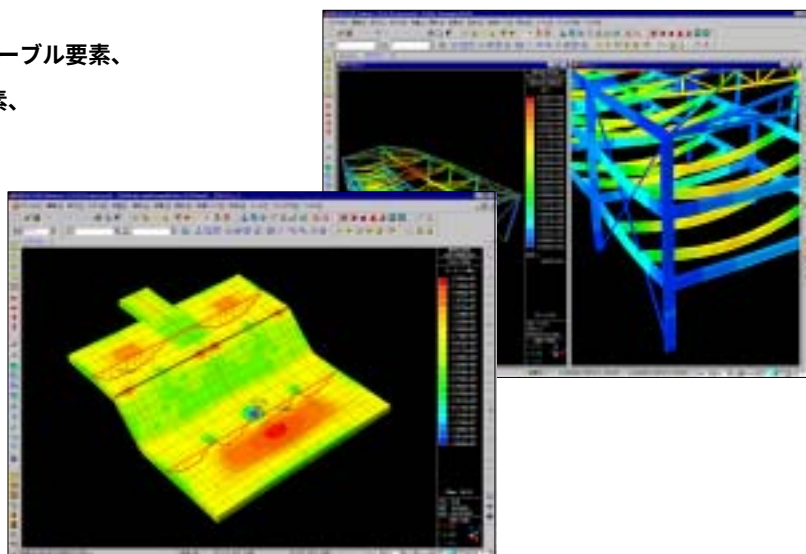
固有値解析、時刻歴応答解析、

応答スペクトル解析、

水和熱解析、幾何学的非線形解析、

施工段階解析、静的非線形解析、

断面算定 他



MIDAS は MIDAS IT 社の商標です。



# 地盤の応答解析法について(その1)

本号から、構造、地盤、熱流体などを対象とした KKE の数値解析技術の基礎から応用までを、連載でご紹介していくことになりました。

まずは土木・建築分野に広く関連する地盤の地震応答解析手法から始めます。

## 1. はじめに

地盤の応答解析手法として、Seed 等が発表した重複反射理論に基づく解析プログラム「SHAKE」<sup>1)</sup>が広く用いられており、現在ではパソコン上で簡易に扱えるプログラムとして普及している。

SHAKEは、古くから用いられており実績も十分にある解析プログラムである。ただし、地盤の非線形性を等価線形化手法により、簡便に扱っていることから非線形性が顕著である場合や液状化が懸念される等の軟弱地盤での使用には十分な注意が必要である。

一方、直接積分法による時刻歴非線形解析では、従来から用いられているH-DモデルやR-Oモデルに加え、実験、実測結果により整合するように改良された構成則等も報告されている。改良された構成則の一つにR-Oモデルを改良したMDMがある。また、間隙水圧の上昇を簡便に評価できる簡易液状化解析手法等<sup>2)</sup>も提案されている。

本報では、SHAKEを始めとした地盤の応答解析法について、その概要およびトピックスを紹介する。

## 2. SHAKEの概要

SHAKEは、一次元波動理論を適用した連続体の応答解析を行っており、層境界における上昇波(E)と下降波(F)が別々に算出される。地盤の層内波は上昇波と下降波を合わせた波形(E+F)として表され、露頭波はその層より上層の地盤が存在しないものとして上昇波の2倍(2E)として表される。

SHAKEによる等価線形化法は、図1に示すように応答解析で得られた有効ひずみ(最大ひずみに係数を乗じる)を元に物性値を再評価し、収束するまでイタレーションを行う。

SHAKEは、全時刻上で同一の物性値を採用していることから、相対的にひずみが小さな高周波数領域では減衰を過大に評価する傾向にある。

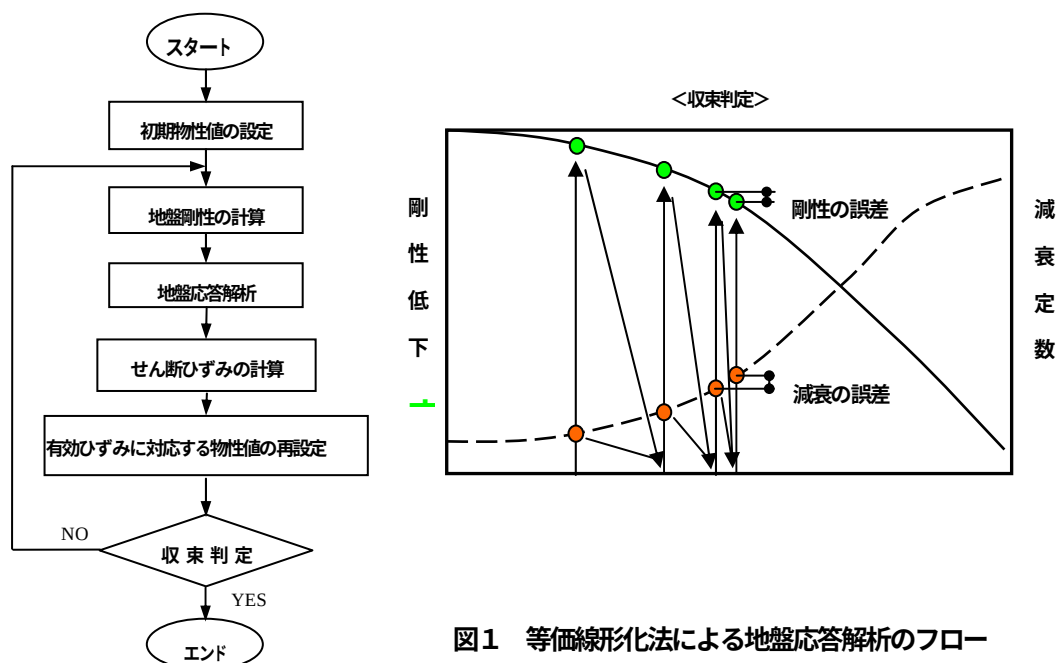


図1 等価線形化法による地盤応答解析のフロー

### 3. 非線形地盤モデル

SHAKE は地盤の非線形性を等価線形化手法により簡便に扱っているが、地盤は小さなひずみレベルから非線形性を呈する材料であり、地盤応答解析では非線形性を考慮することが近年重要になってきている。地盤の非線形性は、室内試験にて得られるひずみ依存特性 ( $G \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ ) で表されることが多く、地盤応答解析では、このひずみ依存特性を直接もしくは模擬された構成則 (関数) として考慮している。

図2に示すように地下水位以深の地盤は、土粒子と間隙水 (空隙を無視) から構成されている。土粒子と間隙水を一体 (一相系) としたモデルは全応力モデルと呼ばれ、土粒子と間隙水を別々 (二相系) にモデル化したモデルは有効応力モデルと呼ばれる。地下水位以深の砂質地盤では、強震時に土粒子間に作用する有効応力が減少して間隙水圧が上昇する。この有効応力がほぼゼロになる状態が液状化であり、有効応力モデルを用いて有効応力の減少を追跡する解析法は有効応力解析法と呼ばれる。

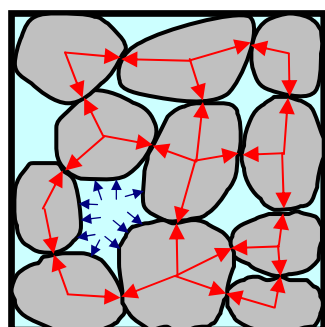


図2 地下水位以深の地盤

### 4. 時刻歴非線形解析

時刻歴非線形解析は、地盤の非線形挙動を追跡できるよう、微小な時間刻みで振動方程式を解くものである。地盤の履歴減衰は、応力-ひずみ関係にて生じる履歴ループとして解析的に評価される。ただし、弾性として扱う層等に材料がもつ粘性減衰を付加する場合は、レーリー減衰等の粘性減衰を与える必要がある。

全応力モデルとして広く使われている構成則に、双曲線近似させたハーディンデルネビッチモデル (H-Dモデル) やランバークオスグッドモデル (R-Oモデル) がある。

H-Dモデルは、与えられた  $G-\gamma$  関係のみでパラメ

ータが決定され、最大せん断応力 ( $\tau_{\max}$ ) に漸近する特徴を有する。一方、R-Oモデルは、与えられた  $G-\gamma$ 、 $h-\gamma$  関係によく一致するようにパラメータを設定する必要がある。

有効応力解析の解説は次回以降とする。

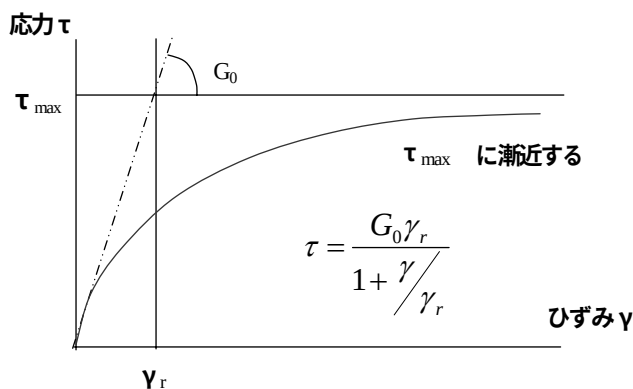


図3 H-Dモデルの構成則

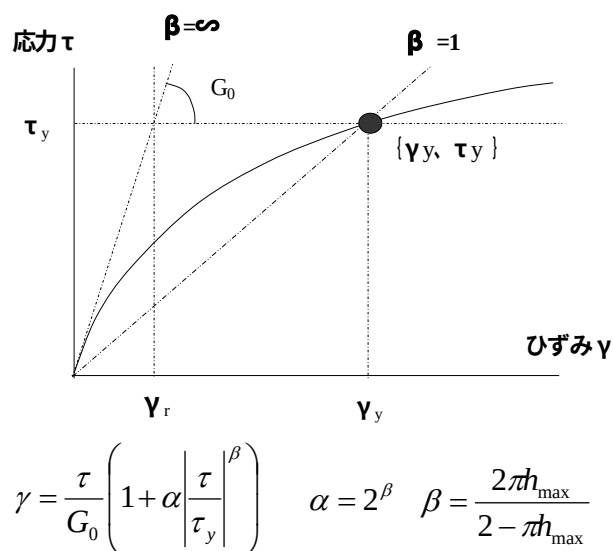


図4 R-Oモデルの構成則

### 参考文献

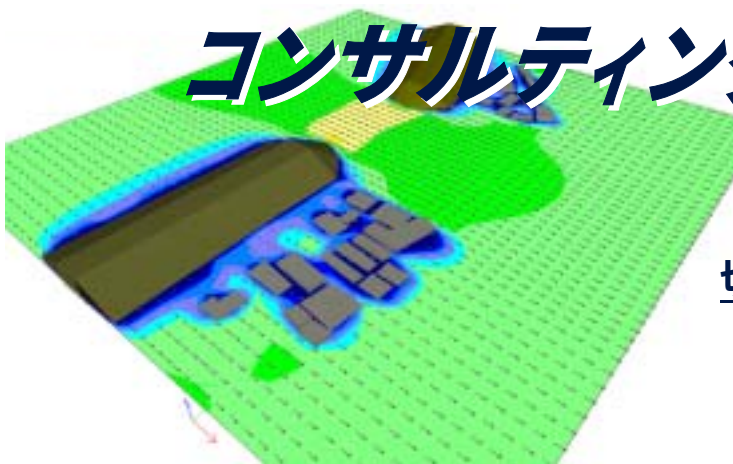
- 1) Schnabel, P.B. , Lysmer , J. and Seed, H.B. : SHAKE - A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites, Report No. EERC72-12 EERC, 1972.
- 2) 累積損傷度を考慮した簡易液状化解析手法 その1 簡易液状化解析手法の提案 塩見、土方等、日本建築学会大会学術梗概集 1999年



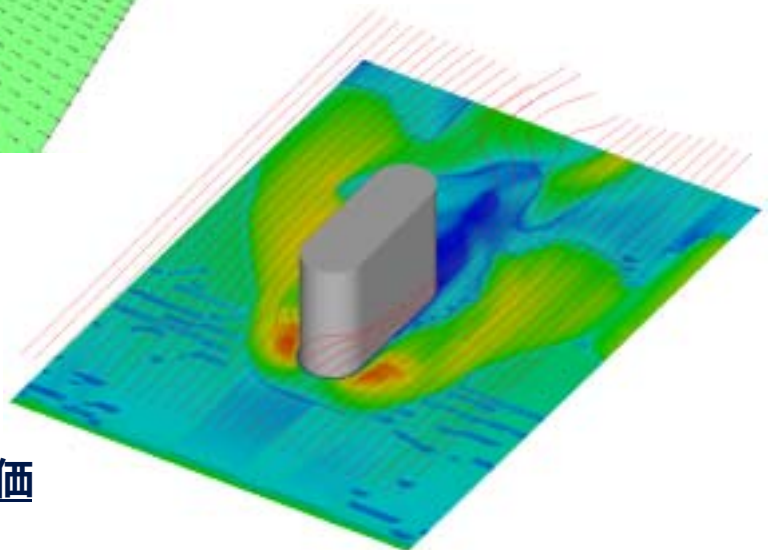
流れが見える！ 温度が見える！ 大気質が見える！

おまかせください！

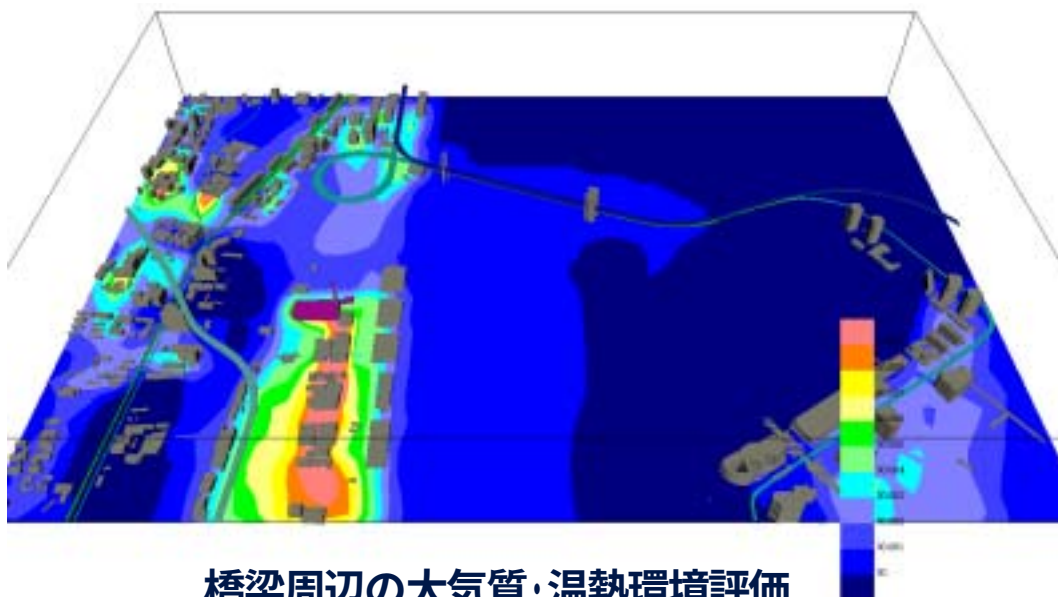
# 環境影響評価シミュレーション・ コンサルティングサービス



切土・盛土に伴う風環境評価



橋脚周辺の流況評価



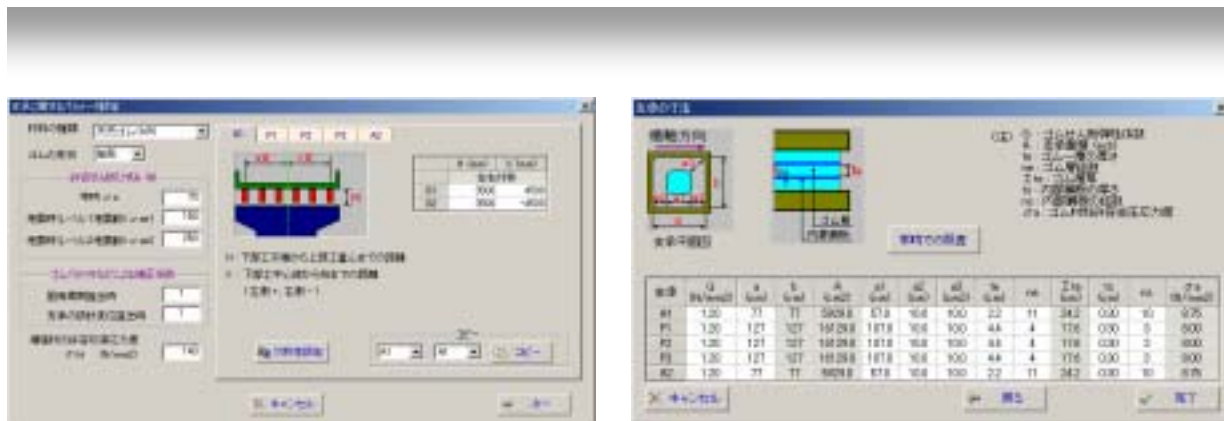
橋梁周辺の大気質・温熱環境評価



けた橋の耐震設計ナビゲートシステム

# NAVI design-K

Version1.6



## ●簡単な操作で高度な解析を実現

- ・桁橋の一連の静的、動的非線形解析機能を完備
- ・分かりやすい画面構成で入力をサポート
- ・基本的な設計諸元から解析モデルを自動生成
- ・解析結果の豊富な出力機能
- ・報告書の自動作成機能

## ●支承周りの設計機能を充実

- ・常時荷重から支承形状を自動設定
- ・免震支承の動的解析時の繰り返し計算の自動化

## ●RESP-T(\*)とのデータ互換性

## ●道路橋示方書・同解説

道路橋支承便覧[改訂版] に対応

(\*)RESP-Tは弊社が開発しました汎用非線形解析ソフトウェアです。



支承形状決定画面

対応支承：固定、反力分散、LRB、HDR、任意バネ、HDR-S

対応橋脚：RC(矩形／円形／小判型)、任意 M-φ、M-θ

好評オプション機能：支承金物設計機能

Ver1.6 リリース！ ライト版販売開始！

橋脚補強設計、インターロッキング対応オプション追加

お試し版や報告書例がダウンロードできます。

[www.navi-design.com](http://www.navi-design.com)

# 地震防災情報システムを利用した震度分布シミュレーション

— 平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震 —

橋本 光史<sup>1)</sup>

1) 株式会社構造計画研究所 防災・環境部

## 1. はじめに

10月23日17時56分頃に新潟県中越地方を震央とした地震(M=6.8 暫定値)では、新潟県川口町で最大震度7を観測し、死者40名、負傷者2,869名、住家全壊被害2,572棟など(11/24日現在、総務省消防庁<sup>1)</sup>発表)、甚大な被害がでた。ここでは、KKEが開発した地震防災情報システム QUIET-J を利用した新潟県中越地震に関する震度分布シミュレーションについて紹介する。

## 2. 地震防災情報システム QUIET-J

地震被害の予測には、建築物棟数データや人口データなど、膨大なデータを取り扱う必要がある。そこで有効なのが GIS (地理情報システム) を利用した地震防災情報システムである。

地震防災情報システム QUIET-J は、想定地震あるいは過去の被害地震といった地震情報データベースと日本全国の表層地盤データなどの数値情報を用い、広域を対象とした地震被害推定シミュレーションシステムのプラットフォームである。対象地域の建物データ、人口データなどの必要なデータを追加することにより、建築物の被害棟数、人的被害者数などの各種被害をシミュレーションすることで防災対策を支援するシステムである。ここでは、QUIET-J を用いて経験的手法による震度分布のシミュレーションを行った。

## 3. 震度分布シミュレーションの手順

### (1) 断層モデル

断層モデルは、国土地理院<sup>2)</sup>が12月3日に発表した表-1に示すモデルを使用した。

表-1 断層パラメータ

| 緯度     | 経度      | 深さ    | 走向角  | 傾斜角 |
|--------|---------|-------|------|-----|
| 37.4°  | 138.96° | 2.8km | 210° | 53° |
| 幅      | 長さ      | 滑り量   | 滑り角  | Mw  |
| 10.2km | 20.6km  | 1.82m | 92°  | 6.6 |

### (2) 基盤速度の推定

司・翠川(1999)<sup>3)</sup>による断層最短距離を用いた最大速度の距離減衰式を適用して、基盤(せん断波速度600m/s程度)における最大速度を推定した。なお、本地震は地殻内地震と考えられるため、Crustal に対する距離減衰式を採用した。

### (3) 表層地盤の増幅

約1kmメッシュ単位で整備されている国土数値情報の地形分類に対して、松岡(1996)<sup>4)</sup>の方法により微地形区分に分類して表層地盤速度増幅率を約250mメッシュ単位で求め、基盤最大速度に乗ずることにより、地表面最大速度を計算した。

### (4) 地表速度から震度階への変換

童・ほか(1996)<sup>5)</sup>より示されている地表最大速度と計測震度との関係式を用いて計測震度を算定し、対応する震度階を求めた。

## 4. シミュレーション結果

以上の条件、手順で計算した震度分布を図-1に示す。また参考のため気象庁<sup>6)</sup>が発表した震度分布を図-2に示す。シミュレーションでは広範囲において震度5強以上となり、小千谷市、川口町で震度6強が得られるなど、経験的手法を用いた簡便な評価ではあるが観測記録と調和的な結果が得られた。

## 参考文献

- 1) 総務省消防庁 <http://www.fdma.go.jp/>
- 2) 国土地理院 <http://www.gsi.go.jp/>
- 3) 司宏俊・翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文報告集、第523号、pp.63-70、1999年
- 4) 松岡昌志：国土数値情報を利用した広域での地震ハザード評価に関する研究、東京工業大学学位論文、1996年
- 5) 童華南・山崎文雄・清水善久・佐々木裕明：計測震度と従来の地震動強さ指標の対応関係、土木学会第51回年次学術講演会、平成8年
- 6) 気象庁 <http://www.jma.go.jp/>

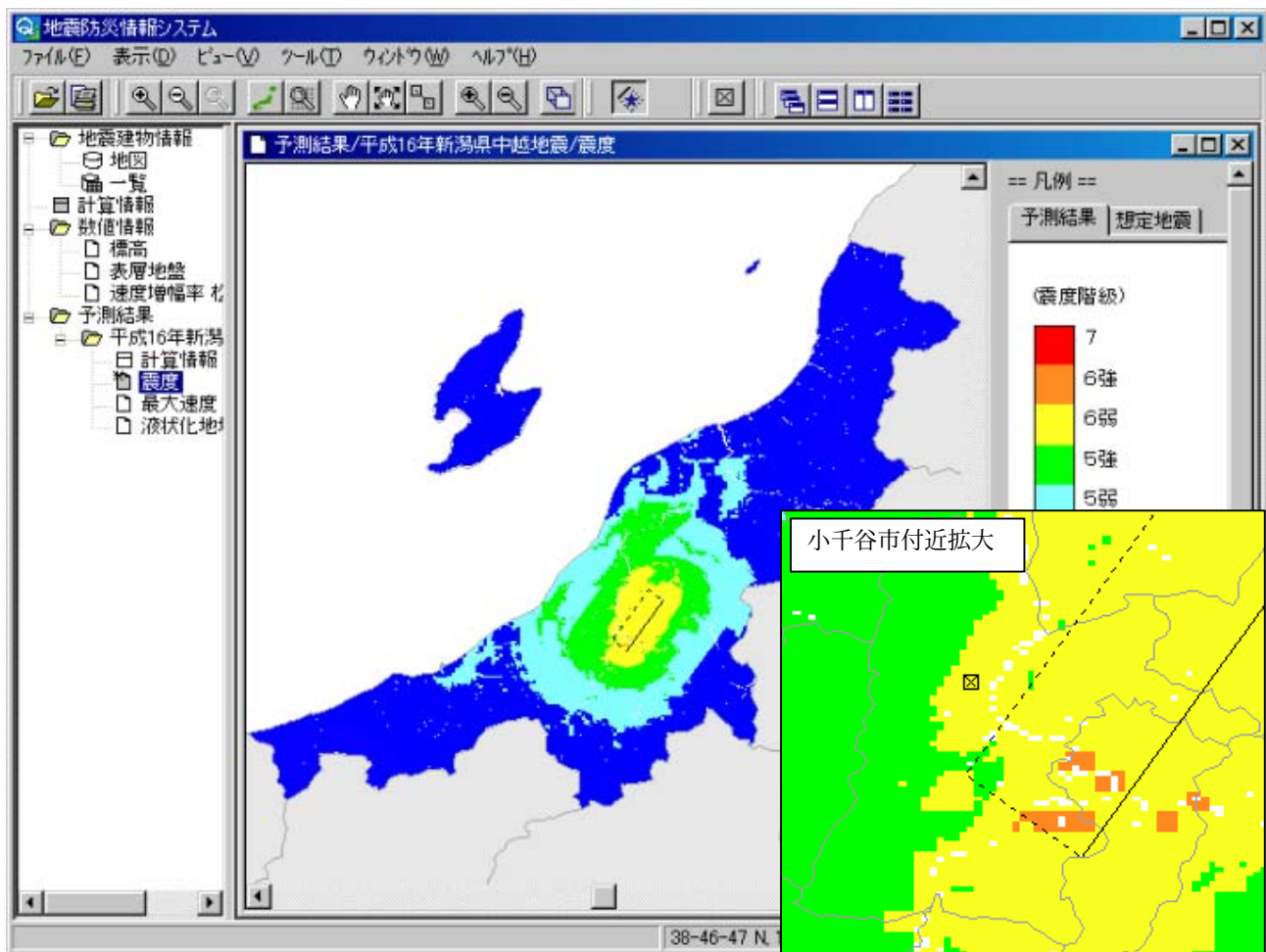


図-1 シミュレーション結果(震度分布)

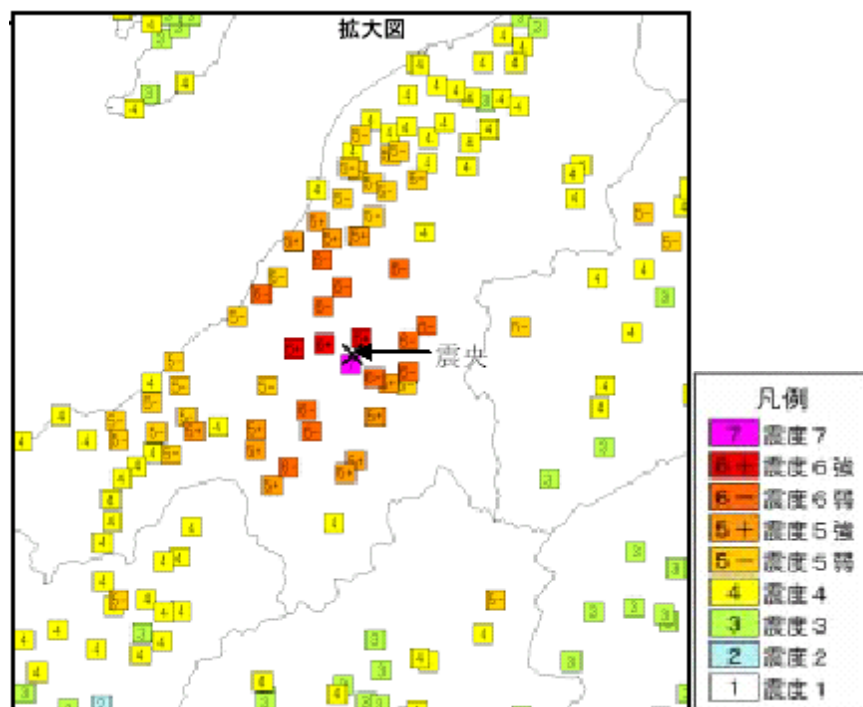


図-2 震度分布 (気象庁資料<sup>6)</sup> より引用)

# 設計用入力地震動作成システム

地震荷重設定システム . . . . . *SeleS for Windows*  
 模擬地震波作成プログラム . . . . . *ARTEQ for Windows*  
 成層地盤地震応答解析プログラム . . . . . *k-SHAKE+ for Windows*  
 波形処理プログラム . . . . . *k-WAVE for Windows*

ARTEO、k-SHAKE+、k-WAVE についてはネットワークライセンス版の販売を開始しました！

**設計用入力地震動作成システムは、免震構造物の設計には欠かせない模擬地震波や構造物の建設地域の地盤特性を考慮した入力地震動を手軽に作成できる Windows 対応の設計者のためのソフトウェアです。**

ユーザは、過去の被害地震や活断層から建設地点での地震動強さを評価し、表層地盤の増幅特性を考慮した、設計用入力地震動を簡易に作成することが可能です。



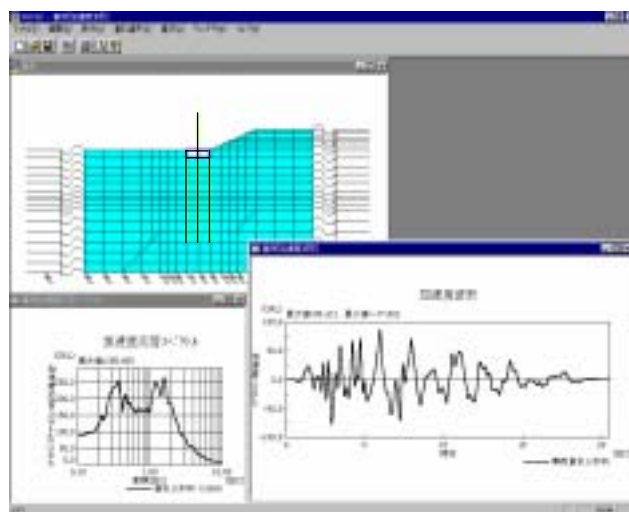
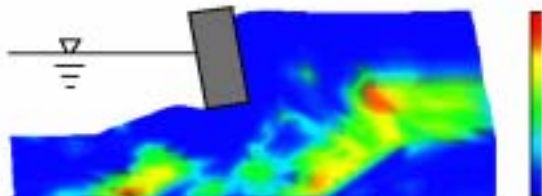
活断層による最大値一覧出力画面

地盤と構造物の動的相互作用解析プログラム  
***SuperFLUSH/2D for Windows***

軟弱地盤に建設される橋梁や港湾構造物、  
既設埋設構造物との近接施工、  
異種地盤にまたがる長大橋等の  
耐震性照査に威力を発揮します。

## 有効応力解析手法による 相互作用解析は...

# NANSSI



★ Super FLUSH/2DとNANSSIは（株）  
地震工学研究所と弊社の共同開発商品です。



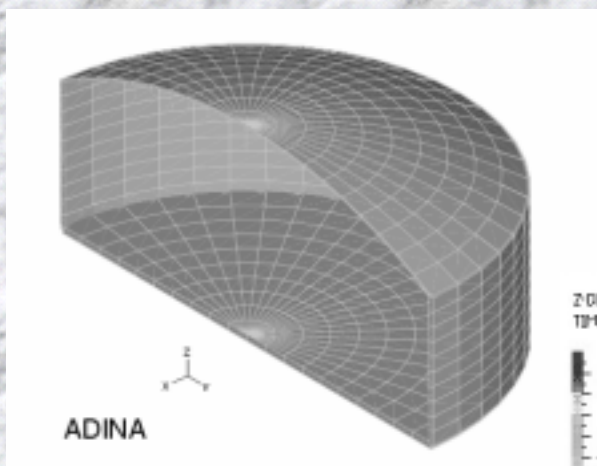
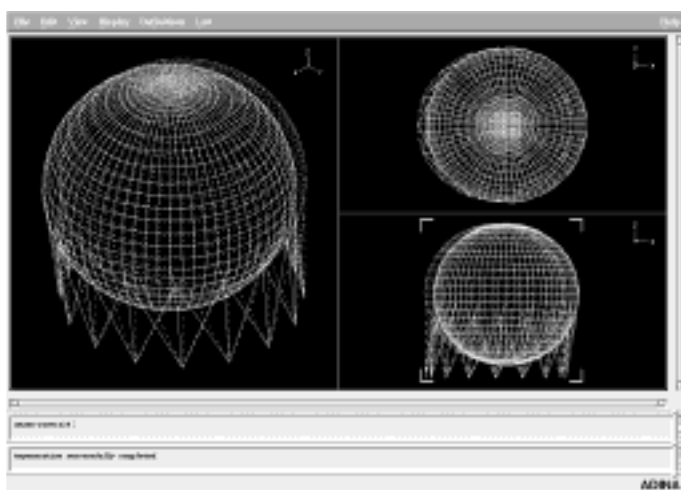
# 有限要素法による

# 解析コンサルティング

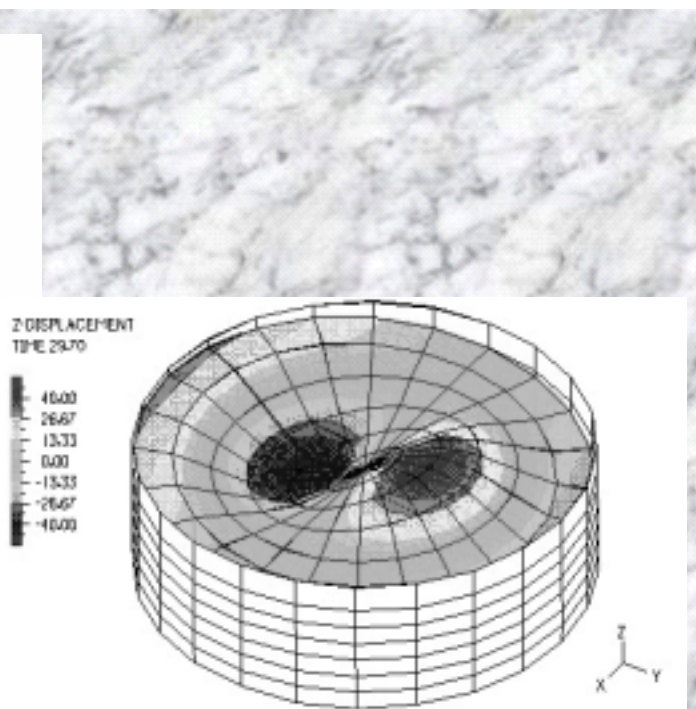


非線形有限要素法プログラム

ADINAを用いた解析コンサルティングがご好評をいただいております。構造・地盤から熱流体まで、様々な問題を解決してきたノウハウにご期待ください。



★ ADINAはADINA R&D, Inc.  
(米国) の登録商標です。



# ベースプレート降伏型ロッキングシステムを適用した鉄骨架構の地震応答有限要素法解析

川上 誠<sup>a)</sup>・竹内 百合<sup>a)</sup>

緑川 光正<sup>b)</sup>・小豆畑 達哉<sup>c)</sup>・石原 直<sup>c)</sup>

a) 株式会社構造計画研究所 耐震技術部

b) 独立行政法人 建築研究所 研究専門役

c) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部

## 1. はじめに

強震を受ける建築物において、ロッキング振動による効果はその地震時損傷を低減し得ることが明らかにされている。このような知見を踏まえ、筆者 b), c) は鉄骨造 1 階柱脚部分に早期に降伏するベースプレートを配置するロッキングシステムの開発<sup>1)</sup>を行っており、振動台実験<sup>2)</sup>および構造解析<sup>3)</sup>による検討を行ってきている。本報告は既報<sup>3)</sup>を補足するものとして、有限要素法解析の結果を実験結果と比較考察したものである。なお、解析には筆者 a) が協力し、汎用の非線形有限要素法解析プログラム ADINA<sup>4)</sup> を適用した。

## 2. 解析の対象

図 1 と表 1 に振動台実験で使用された試験体および部材寸法と床質量を示す。試験体は南構面、

中央構面、北構面の 3 つの構面が床および東西構面で一体化された立体架構であり、地震動は東西方向に入力された。よってその対称性を考慮して、解析では南構面のみをモデル化し、その面内挙動のみを解析した。また、本報では振動台実験<sup>2)</sup>で最大応答を示した試験体 BP9-2 モデルの計算結果を示す。

表 1 部材寸法と床質量

| 部材      | 寸法(mm)         |
|---------|----------------|
|         | 縮小試験体モデル       |
| 2-3F 柱  | H-148×100×6×9  |
| 梁       | H-150×150×7×10 |
| ブレース    | Φ-11           |
| ベースプレート | 板厚-9           |
| Roof 質量 | 4.6 ton        |
| 2 階質量   | 5.2 ton        |
| 1 階質量   | 5.2 ton        |

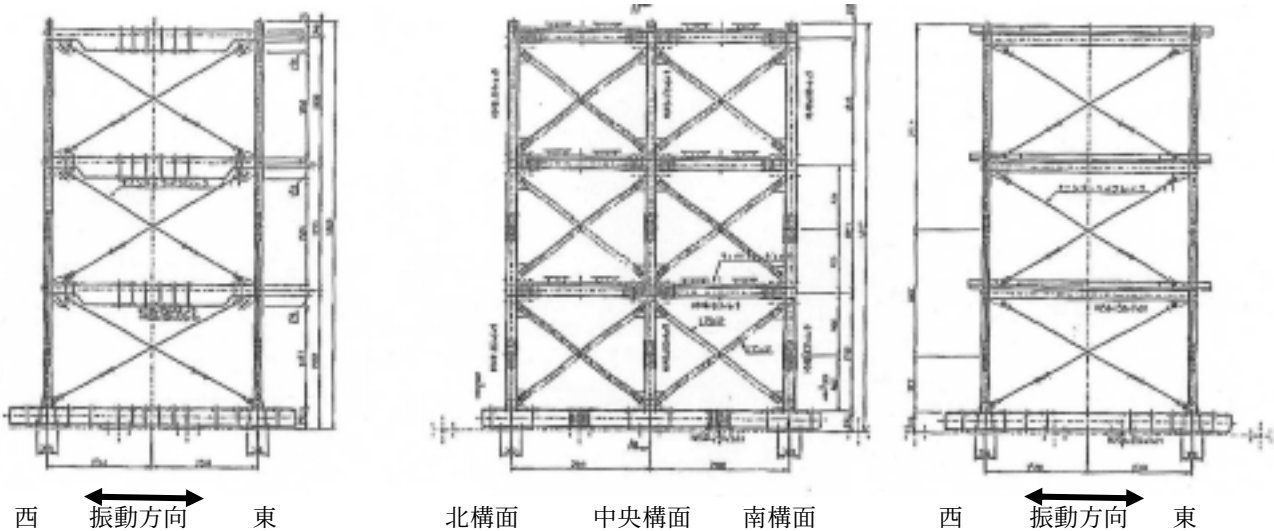


図 1 試験体（左図：中央構面、中図：西側側面、右図：南・北構面）

### 3. 解析の方法

図2と図3に有限要素モデルを示す。ベースプレートと1階柱をシェル要素、2・3階の柱と梁を梁要素、筋違をトラス要素でモデル化した。1階柱頭(図2のA部)ではシェル要素と梁要素を剛体接続した。ベースプレートのみ大変形を考慮した弾塑性材料とし、移動硬化則を適用してミーゼス応力による降伏判定を行った。筋違は引張力のみを負担し圧縮には抵抗しない非線形弾性モデルを適用し、初期張力として1050 $\mu$ の初期歪を与えた。

ベースプレート下部の基礎梁は剛体とし、図3に示すように、ベースプレート端部の押さえ鋼板位置で完全固定とした。また、架構の頂部2点では加振直交方向(X方向)並進成分のみを拘束した。

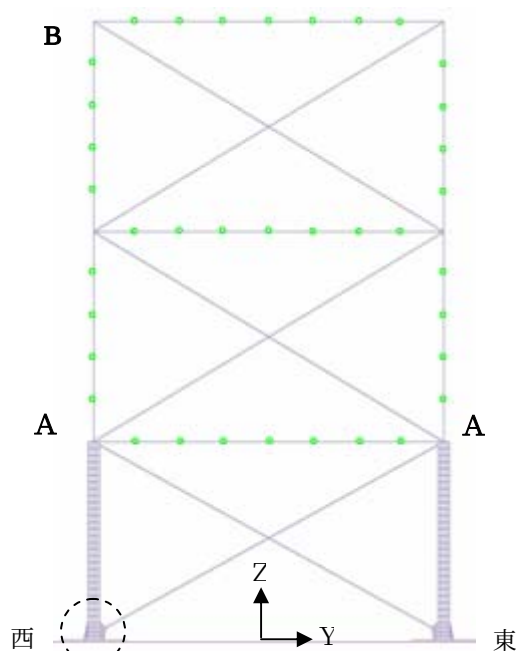


図2 有限要素モデルの全体

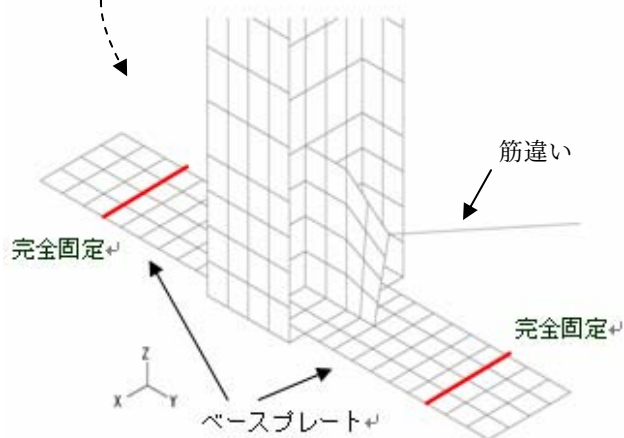


図3 西側柱脚部の有限要素モデル

入力地震動は図4に示すように、1940 E1 Centro 記録 NS 成分を最大加速度  $6.02\text{m/s}^2$  に基準化し、時間軸縮尺を  $1/\sqrt{2}$  倍して、6 秒間(図4の2s~8s)を作用させた。減衰は柱脚固定時の固有振動数に基づいて  $h=0.5\%$  の初期剛性比例型とした。直接時間積分法には Newmark の  $\beta$  法 ( $\beta=1/4$ ) を用いて Newton-Raphson 法の平衡反復計算を併用し、時間刻みは  $1/1000\text{s}$  とした。

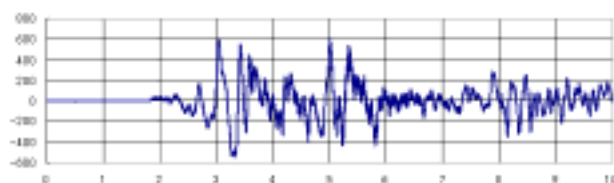


図4 入力地震動(最大振幅  $602\text{cm/s}^2$ )

### 4. 解析結果

#### 4.1 固有振動解析

図5に、浮き上がりを許容した場合の水平方向変位に関する1次・2次固有振動モードを示す。1次モードは引張側柱が浮き上がり、圧縮側柱は着地する変形モードである。曲げ変形モードの固有周期の1次は0.26s、2次は0.066sである。なお、柱脚固定の場合は1次0.16s、2次0.056sであり、浮き上がりを考慮した場合よりも短周期であった。

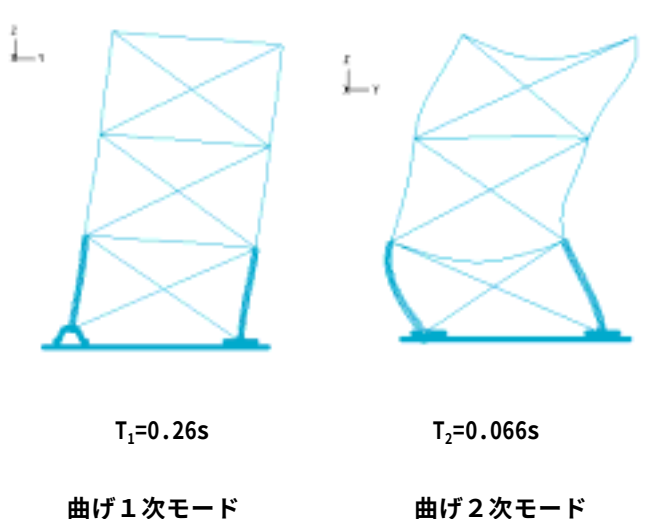


図5 固有振動モードと振動数

## 4.2 変位時刻歴

図6に頂部（図2のB部）の水平変位時刻歴を示す。解析値の振幅と周期特性は実験値をよく再現しており、その振動はほぼ1次固有周期0.26sで応答していることがわかる。

図7と図8に西側と東側のベースプレートの鉛直方向浮き上がり変位時刻歴を示す。解析は実験をよく近似している。また、ベースプレートが東西で交互に浮き上がっている様子が確認できる（たとえば両図の破線対応部分）。なお、最大浮き上がり変位は西側柱の5.1sにおいて、解析で約12.5mmに対して実験で約10mmである。

## 4.3 柱と筋違の軸力時刻歴

図9と図10に西側・東側1階柱の軸方向力時刻歴を示す。解析の各ピークは実験よりやや小さいが、両者は比較的良好に近似している。この柱軸方向力時

刻歴を、図7と図8の浮き上がり変位時刻歴と対応付けて見ると、柱が着地する時間帯で高振動数の大きな衝撃力が発生していることがわかる（たとえば、図7と図9の5.2s～5.3s、あるいは図8と図10の5.0s～5.1s）。衝撃力により生じる大きな圧縮応力が実験より解析の方が小さい理由は、衝撃力によって発生する柱の軸力変動に対応する高次振動モードが、解析で適用している剛性比例型減衰の高次振動減衰特性により減衰されやすいためと考えられる。

図11に西側柱脚に取り付けられた筋違の軸方向力時刻歴を示す。解析値の振幅と周期特性は実験値をよく近似している。この軸力は初期張力2tonfを中立軸として振動しており、降伏軸力（約10tonf）以下であるため、筋違は弾性範囲内の引張力として応答していることがわかる。なお短時間ではあるが零軸力を示す時間帯（たとえば5.2s～5.3s）が見られるのは、圧縮抵抗のない非線形弾性材料モデルを適用しているためである。

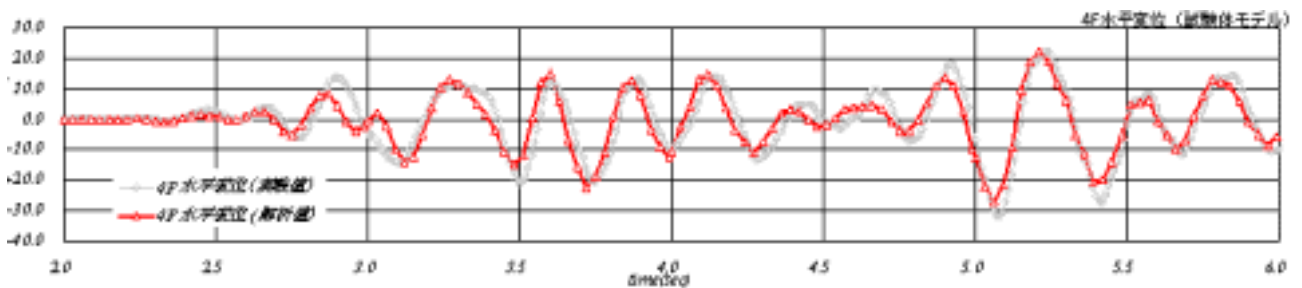


図6 頂部（図2のB部）の水平変位時刻歴

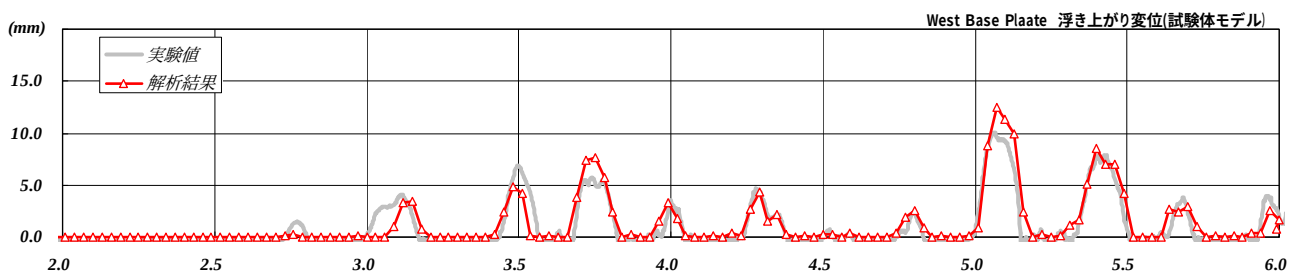


図7 西側ベースプレートの鉛直浮き上がり変位時刻歴

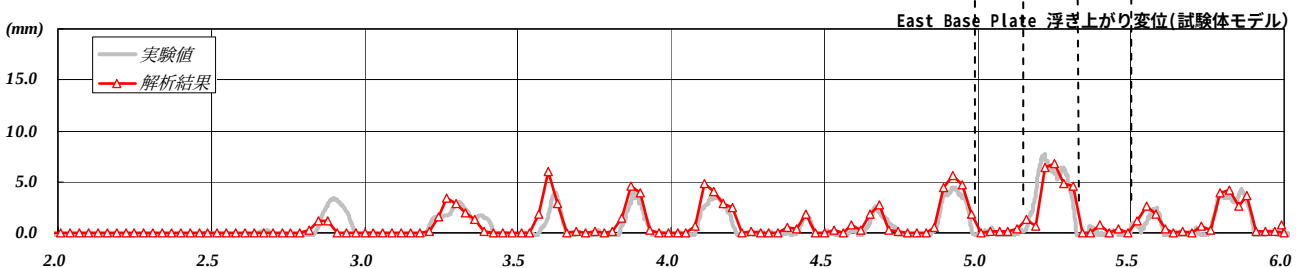


図8 東側ベースプレートの鉛直浮き上がり変位時刻歴



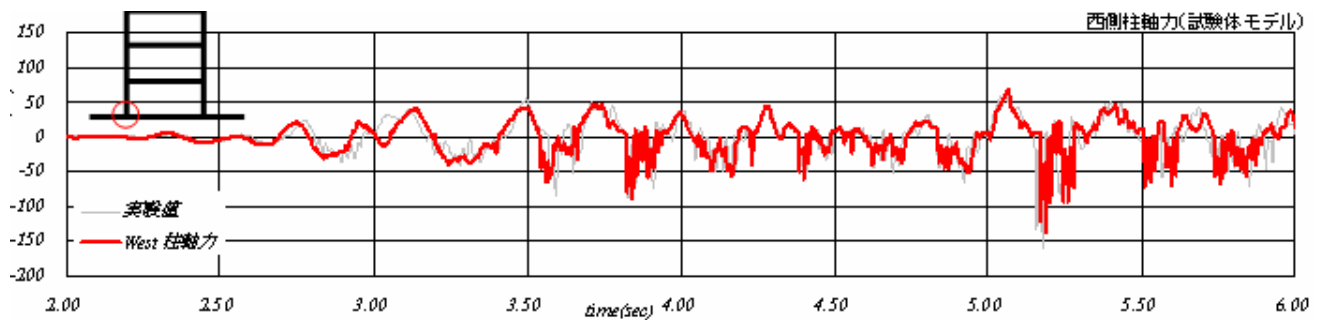


図 9 西側 1 階柱の軸方向力時刻

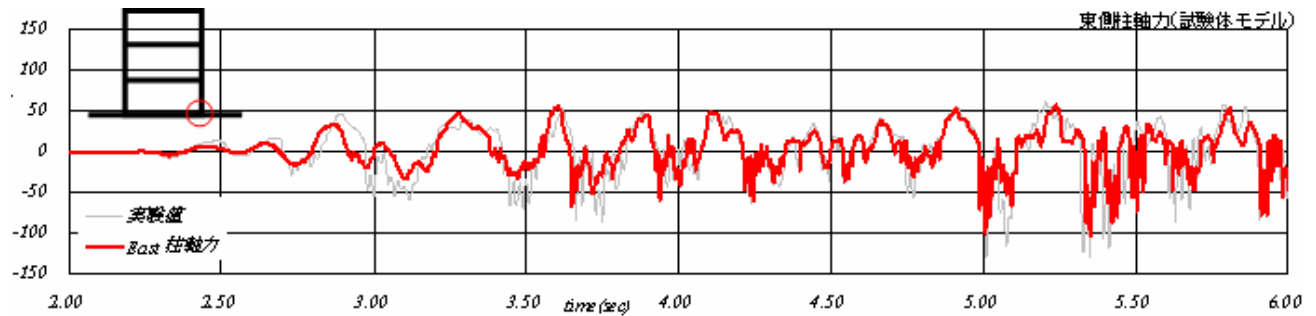


図 10 東側 1 階柱の軸方向力時刻歴

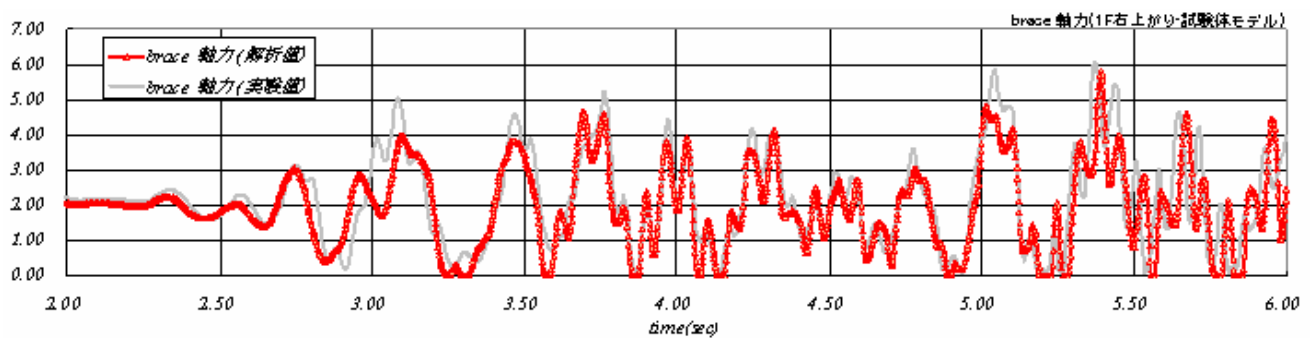


図 11 1 階筋違の軸方向力時刻歴

#### 4. 4 歪み分布

図 12 に最大浮き上がり時 (5.07s) における西側ベースプレート下面の加振方向歪分布を示す。最大歪は、完全固定端側 (C 部) では引張歪  $18800\mu$ 、柱側 (D 部) では圧縮歪  $6800\mu$  に達している。

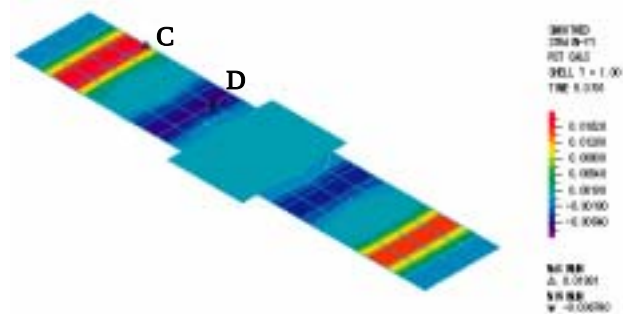


図 12 西側ベースプレート下面の加振方向歪 (5.07s)

図 13 に図 12 の C 部近傍における相当塑性歪の時刻歴を示す。図 7 (浮き上がり変位時刻歴) と対応させて見ると、ベースプレートが浮き上がる時間帯 (たとえば 5.0s~5.1s) において塑性歪が累積されてゆくことがわかる。最大歪は約 6 % に達している。



図 13 図 12 の C 部近傍における相当塑性歪時刻歴

図 14 に西側柱の最大鉛直方向圧縮歪発生時（5.28s）における鉛直方向歪分布（シェル要素表面）を示す。この柱はY方向に加振され、X軸周りの曲げ回転を受ける。従ってこの歪分布から柱全体がほぼ1次振動モードで変形していることがわかる。図 14 の柱脚部近傍のみの拡大図を図 15 に示す。

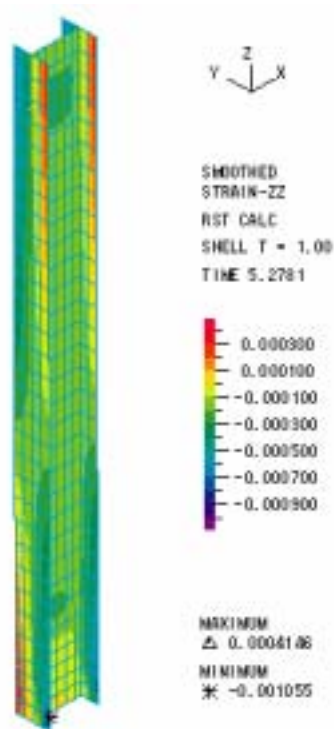


図 14 西側柱の鉛直方向歪分布  
(鉛直圧縮歪の最大値発生時：5.28s)

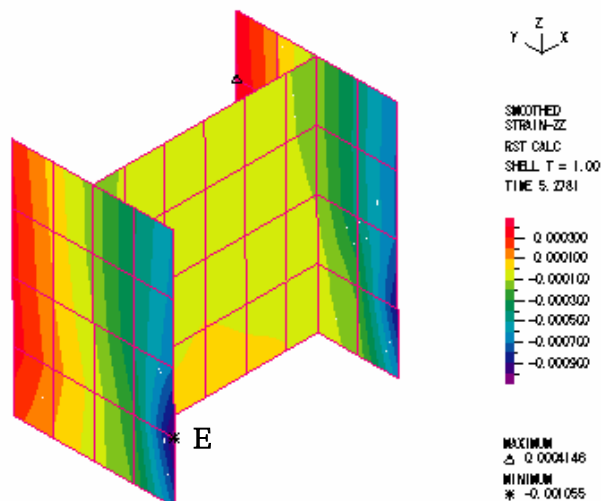


図 15 図 14 柱脚部の鉛直方向歪分布

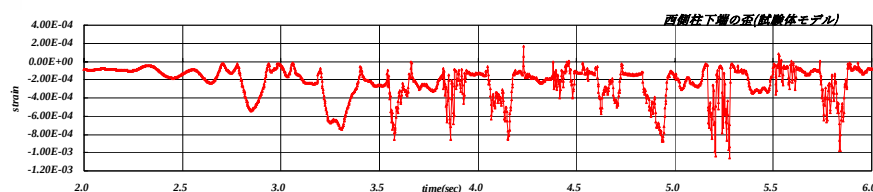


図 16 図 15 E 部の鉛直方向歪時刻歴

## 7. まとめ

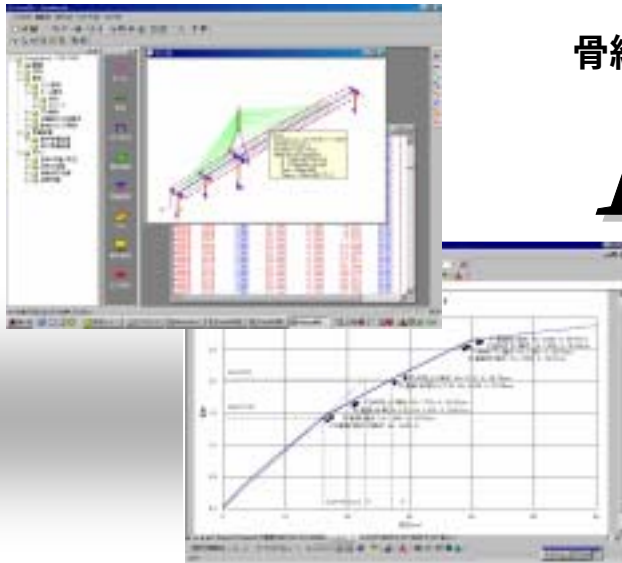
ベースプレート降伏型ロッキングシステムを適用した鉄骨架構を対象として非線形有限要素法による地震応答解析を行い、振動台実験と比較した。その結果、架構頂部水平変位、柱脚浮き上がり変位、柱軸力、筋違軸力などの振動挙動に関して、解析は実験をよく再現できることを示した。

## 参考文献

- 1) 緑川、他：ベースプレート降伏型ロッキングシステムに関する研究，鋼構造年次論文報告集，第9巻，pp.359-364，2001.11
- 2) 緑川、他：高知能建築構造システムに関する日米共同構造実験研究（その64）ベースプレート降伏型ロッキングシステムを適用した3層筋違付鉄骨架構の振動台実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-2，pp.875-876，2003.9
- 3) 緑川、他：ベースプレート降伏型ロッキングシステム3層筋違付鉄骨架構の地震応答有限要素法解析，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-2，pp.163-164，2004.8
- 4) ADINA R&D, Inc. : Theory and Modeling Guide-ADINA, Report ARD 02-7, 2002

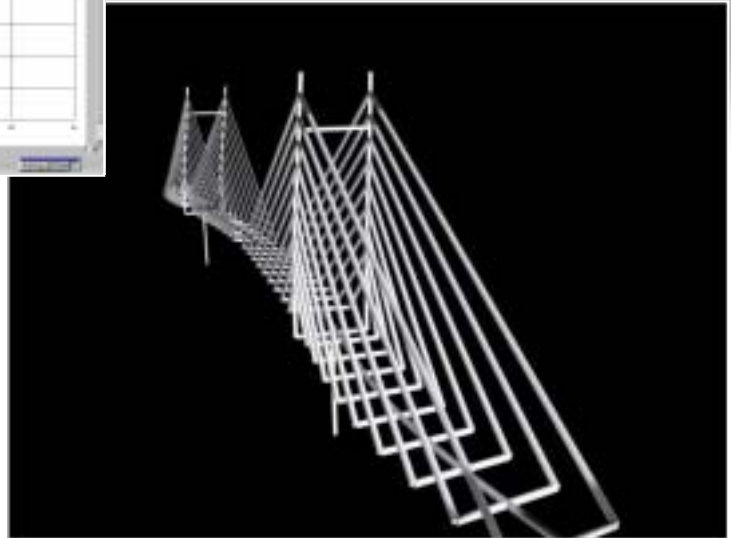
骨組構造物の汎用非線形解析プログラム

# *RESP-T* for Windows



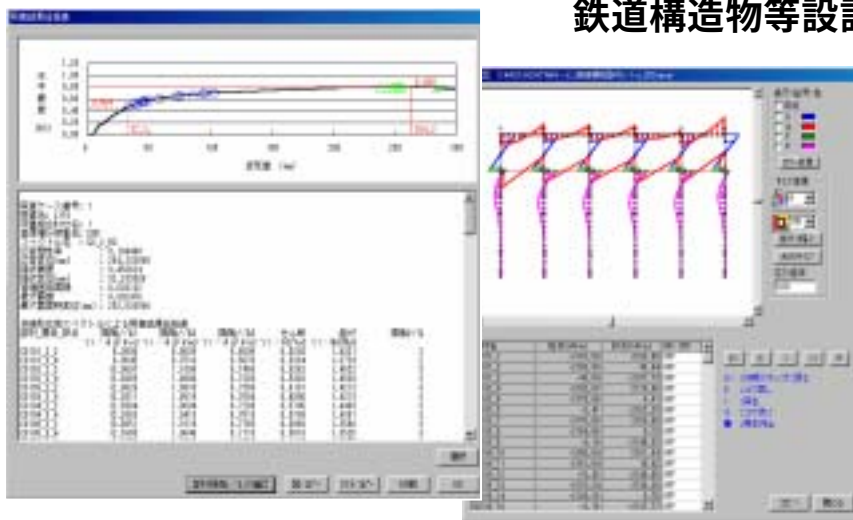
非線形問題、動的問題を  
高解析機能でカバー！

- 3次元任意形状骨組モデル対応
- 静的／動的／固有値／座屈固有値解析
- 弾塑性／幾何学的非線形
- 各種の免震制振機構にも対応



鉄道構造物等設計標準・同解説

耐震設計編に準



- Windows対応
- 静的非線形解析
- 所要降伏震度スペクトル
- 地盤応答変位解析
- 部材の損傷レベルによる  
耐震性能チェック
- テトラリニア対応

鉄道構造物等の耐震性能照査プログラム

# *ASCARS*

Assessment Program for Seismic Capacity of Railway Structure

プログラム体験セミナー企画中！  
ホームページ他で近々ご案内します。  
ご希望の日時がありましたら、右ページの土  
木構造室までご連絡ください。

ASCARS は(財)鉄道総合技術研究所と(株)構造計画研究所の協同開発商品です。

# 建設解析セミナーのお知らせ

## 建設構造物における有限要素法解析の活用

### ●特別講演

### 最近の複合橋およびコンクリート橋脚の耐震

池田 尚治先生

(株) 複合研究機構 代表取締役

横浜国立大学名誉教授

### ●コンクリート構造の有限要素法解析

プレキャストPC梁およびPC柱の力学挙動を実験との比較により解析した事例をご紹介します。

### ●鋼構造・複合構造の有限要素法解析

波形鋼板ウェブ橋の力学挙動および円筒タンクのスロッシング挙動を解析した事例をご紹介します。

### ●橋梁解析における新技術・続報

昨年2月に発表させて頂きました弊社の研究テーマ「橋梁の免制震」、「走行振動シミュレーション」の続報です。

■日時:平成17年2月1日(火) 13:00~17:00 (12:30開場)

■会場:弊社新館ビル(下記住所) ■参加費:無料

■定員:90名 参加者の方に非線形有限要素法プログラムADINA評価版をお配りします。

## 橋梁設計技術者のための動的解析体験セミナー

### ■内容

①橋梁の動的解析入門講座

②実際にプログラムを用いながらの一連の動的解析手順の体験

|     |          |                           |          |             |
|-----|----------|---------------------------|----------|-------------|
| ■日時 | 1月13日(木) | 13:00~15:00 / 17:00~19:00 | 1月22日(土) | 13:00~15:00 |
|     | 2月10日(木) | 13:00~15:00 / 17:00~19:00 | 2月26日(土) | 13:00~15:00 |
|     | 3月16日(水) | 13:00~15:00 / 17:00~19:00 | 3月26日(土) | 13:00~15:00 |

■会場 弊社新館ビル(下記住所) ■参加費用:お一人様 10000円

\*上記時間内の内容のほか、ご質問やご相談は必要に応じて時間を延長してお受けします。

けた橋の耐震設計ナビゲートシステム

NAVI design-K

新支承便覧対応!

セミナーの詳細はホームページでご案内しています。

<http://www4.kke.co.jp/kaiseki/>

上記セミナーのお問い合わせは下記までお願いいたします。

(株) 構造計画研究所 耐震技術部 土木構造室

東京都中野区中央4-5-3 TEL:03-5342-1138 FAX:03-5342-1238



# 解析雑誌 Vol.14 読者アンケートのお願い

仕事でよく行く都内 JR 駒込駅沿いに看板屋さんがあります。家業の宣伝と道楽を兼ねてのことと思いますが、以前から駅ホームから見える位置に掲げた大きな看板上でエッセイを連載しています。失礼ながら、毎回卓見だとか面白い深いとは限らないのですが、新しく書き変わっていると、私はつい足を止めてしまいます。先日も全部読み終わるまで電車を1本見送ってしまいました。

本誌の新号が皆様のお手元に届いたときは、どんな

風に読んでいただいているのでしょうか？

今後の本誌が読者に皆様の新しい飛躍に繋がる有益なものとなりますよう、是非とも本ページ下のフォームにご意見・ご要望をご記入の上、下記番号まで FAX にてお送りください。Eメールにて同内容をお送りいただいても結構です。ご協力をお願いします。

尚、本誌および弊社へのお問い合わせは右ページに記載の TEL、FAX、Eメールで承っております。

|      |  |        |  |
|------|--|--------|--|
| お名前  |  |        |  |
| 会社名  |  |        |  |
| 電話番号 |  | FAX 番号 |  |
| Eメール |  |        |  |

|                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 本誌の内容について全般的な感想をお聞かせください                           | <input type="checkbox"/> 業務上参考になった <input type="checkbox"/> 業務とは直結しないが興味深かった<br><input type="checkbox"/> あまり面白くなかった <input type="checkbox"/> 主旨が理解できない<br><input type="checkbox"/> そのほか：                                                                                                                                 |
| 特に興味深かった記事・報文があればお書きください                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 今後の刊行についてご意見をお聞かせください                              | <input type="checkbox"/> 次号があるならまた読みたい <input type="checkbox"/> 次号はもっと高度な内容を<br><input type="checkbox"/> 次号はもっと入門的な内容を <input type="checkbox"/> 次号以降には期待できない<br><input type="checkbox"/> 定期刊行をのぞむ（年____回程度）<br><input type="checkbox"/> そのほか：                                                                            |
| 次号以降の内容に関してのご要望があればお聞かせください                        | 分野： <input type="checkbox"/> 建築 <input type="checkbox"/> 橋梁 <input type="checkbox"/> 地盤 <input type="checkbox"/> 地下構造 <input type="checkbox"/> 上下水道 <input type="checkbox"/> 河川<br><input type="checkbox"/> 港湾 <input type="checkbox"/> 環境 <input type="checkbox"/> 地震防災 <input type="checkbox"/> そのほか（        ）<br>テーマ： |
| 本誌と関連の深い K K 解析ホームページについてお聞きします                    | <input type="checkbox"/> 前から見ていた <input type="checkbox"/> 本誌で知ってアクセスした <input type="checkbox"/> まだ見ていない<br>ホームページのご感想を一言：                                                                                                                                                                                                |
| そのほか本誌あるいは業務内容などに関して、ご意見・ご要望・お問い合わせなどありましたらお書きください |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

FAX 03-5342-1236 構造計画研究所「解析雑誌」編集担当行

# お問い合わせはこちらへ

本誌あるいは弊社の解析サービス・解析ソフトに関してのお問い合わせは下記までお願いいたします。

## **(株) 構造計画研究所 エンジニアリング営業部**

〒164-0011 中野区中央 4-38-13 日本ホルスタイン会館内

TEL 03-5342-1136 FAX 03-5342-1236

Eメール: [kaiseki@kke.co.jp](mailto:kaiseki@kke.co.jp)

また、本誌と連携して情報発信を行っております、構造計画研究所解析関連部門のホームページにも是非お立ち寄りください。

URL: <http://www4.kke.co.jp/kaiseki/>

尚、構造計画研究所全社の URL は <http://www.kke.co.jp/> です。

各地の支社、営業所でもお問い合わせを承っております。

●西日本営業所 06-6243-4500 ●中部営業所 052-222-8461

---

---

**解析雑誌**

*Journal of Analytical Engineering Vol.14 2005.1*

**(株) 構造計画研究所 エンジニアリング営業部 編集・発行**

本誌は非売品です。本誌掲載記事・広告の無断転載を禁じます。

---

---

Windows は米国マイクロソフト社の登録商標です。

*Journal of Analytical Engineering,  
Vol.14, 2005.1*

*Kozo Keikaku Engineering, Inc.*