

# 解析雑誌

Vol.30 2012.9

## Topics

【解析雑誌 30 号記念特集】

- 夢に向かって
- 解析雑誌 12 年を振り返って
- 2000 年代を振り返って

【ニュースリリース】

- 設計者向け建築構造計算プログラム「RESP-D」  
Version2.0 をリリース
- 津波・河川氾濫と避難を同時に解析する  
「避難計画策定支援システム」を開発

【解析事例紹介】

- 分布センシングデータ処理ツール SforD を  
エンジンとした計測結果による橋梁構造評価
- 時間領域有限要素法による低周波騒音解析

## Technical Reports

- ファイバ要素断面の塑性率算定に関する考察  
ーその 1 曲げ・軸塑性率の評価方法  
ーその 2 鉄骨造建物の荷重増分解析による検証
- 振幅包絡線のマグニチュードが大きい地震への  
適用性に関する一検討
- 正断層地震による地震動最大値の距離減衰特性  
について  
ー2011 年東北地方太平洋沖地震の余震の  
強震記録に基づいた検討ー
- 既存壁式鉄筋コンクリート造のリニューアルに  
おける構造検討事例  
ー群杭効果を考慮した応答解析計算法ー

Journal of Analytical Engineering

## 解析いまむかし

㈱構造計画研究所  
常勤監査役 奥村光男

私が構研に入社したのは 1968 年である。入社 1 年目だけは構造設計に従事したが、2 年目以降は構造解析に関するソフトウェア開発や解析コンサルティングが専業になり、2003 年に管理部門に移るまでのおよそ 35 年間にわたり解析業務の推進役を務めたことになる。「いまむかし」というからには、解析業務を立ち上げた 1969～70 年頃のお話をさせていただく。

私が入社する以前より、当社では、構造設計にコンピュータを有効に活用することを目指し、「STANシリーズ」と名付けた解析ソフトウェアを開発していた。当時のコンピュータのメモリは今から言えば極めて小さく、連立方程式の係数項は全て行や列番号をキーにディスクに保存され、ディスクからメモリに係数を出し入れしながら計算するので、100 節点ほどの平面フレームでも相当に時間が掛かっていました。

1969 年夏に、私はカリフォルニア大学バークレイ校において開催された、当時の有限要素法の権威者の一人である R. W. Clough 教授らの主催するマトリクス有限要素法に関するセミナーに参加し、彼らが使用しているソルバーが、マトリクスのスパース性に応じてメモリをフレキシブルに使うロジックである事を見張らされました。そこで帰国後、当社の構造解析ソフトウェアをバンド幅の制限を受けないソルバーに書き換えて整備・開発したのが、骨組み応力解析の STAN シリーズ、有限要素法による構造解析の FELAN シリーズ、地震応答解析の RESP シリーズです。これらのうち FELAN は間もなく汎用の有限要素法プログラム SAP-IV の出現により利用しなくなりましたが、STAN は現在でもパソコン用の手軽な構造解析ソフトウェアとして、中身はすっかり書き換えられています。当社の商品の一つとして相変わらず生き残っており、RESP はその後、様々な機能革新がなされたあとまでも、当社の動的構造解析ソフトウェアのシリーズ名として名を残しているのは、命名者としては誉れの極みであります。

解析コンサルティングで思い出深いのは、三次元骨組み応力解析 STAN-II（現在の STAN/3D）を完成させつつあった 1969 年頃、某大手建設会社にて設計している日蓮正宗総本山大石寺正本堂（1972 年竣工、軒高 66m、鶴が羽ばたく姿をモチーフにしたといわれる立体骨組み構造、日本建築学会作品賞受賞）の構造解析を受託した（大手建設会社を含めて他に解析できる場所はなかった）ことであった。都心にある建設会社の設計部で仮定条件を決めたり変更すると呼び出され、そこから条件等を持ち帰りデータを変更して一晩掛けて解析を実施し、翌朝早くに手書きで主要部材の応力図など整理しクライアントに届ける・・・を繰り返すという、解析以外は結果の整理やデータの受け渡しまで全て手作業でした。

ときはいま、解析雑誌の最近号をパラパラめくると、ハードウェア環境の発展とも相まって解析内容は飛躍的に発展し、私が始めた手作業の時代とは隔世の感があります・・・とは言っても、構造物の安全性を高めるという工学的目的からは解析技術の位置づけは不変です。クライアントの皆さんの目的達成のために、当社では解析内容やインタフェース環境等を更に発展させて、よりよい解析サービスを提供してゆきたいと考えています。

# 解析雑誌 Vol.30 2012.9

巻頭言 『解析いまむかし』 常勤監査役 奥村 光男 02

## Topic 1

● 解析雑誌 30号記念特集 ～創刊からの12年を振り返る～ 04

## Topic 2

● News Release 「設計者向け建築構造計算プログラム『RESP-D』Version2.0をリリース」 08

## Topic 3

● News Release 「津波・河川氾濫と避難を同時に解析する  
『避難計画策定支援システム』を開発」 12

## Topic 4

● 分布センシングデータ処理ツール SforD を  
エンジンとした計測結果による橋梁構造評価 16

## Topic 5

● 時間領域有限要素法による低周波騒音解析 24

## Technical Report 1

● ファイバ要素断面の塑性率算定に関する考察 30  
—その1 曲げ・軸塑性率の評価方法—  
鈴木 壮、會田 裕昌、梁川 幸盛、宇佐美 祐人、木村 まどか

## Technical Report 2

● ファイバ要素断面の塑性率算定に関する考察 32  
—その2 鉄骨造建物の荷重増分解析による検証—  
會田 裕昌、鈴木 壮、梁川 幸盛、宇佐美 祐人、木村 まどか

## Technical Report 3

● 振幅包絡線のマグニチュードが大きい地震への適用性に関する一検討 36  
高浜 勉、澤飯 明広、大場 政章氏、石川 智美氏

## Technical Report 4

● 正断層地震による地震動最大値の距離減衰特性について 38  
—2011年東北地方太平洋沖地震の余震の強震記録に基づいた検討—  
司 宏俊、川里 健氏、大場 政章氏、石川 智美氏、正月 俊行、澤飯 明広

## Technical Report 5

● 既存壁式鉄筋コンクリート造のリニューアルにおける構造検討事例 42  
—群杭効果を考慮した応答解析計算法—  
落合 努、浪田 裕之、梁川 幸盛、坂場 律和、渡辺 一弘氏、田沼 毅彦氏

## Editor's Note

● From Editors 47

## 解析雑誌 30号記念特集 ～創刊からの12年を振り返る～

構造計画研究所の解析技術の全体像を横断的にご紹介する場を持つことはできないだろうか—という発想から企画されたのが「解析雑誌—Journal of Analytical Engineering」です。弊社が取り組む様々な解析技術に関する知見やノウハウを、具体的な事例を通して、お客様に定期的に情報発信してまいりましたが、おかげさまでこの度、節目の30号を発行するに至りました。

そこで記念特集として創刊からご紹介してきた技術を改めてご紹介するとともに、この12年を振り返りたいと思います。

主要な紹介技術・実績		年	出来事
Vol. 1	●列車振動シミュレーション ●非線形FEMによるプレストレストコンクリート解析	2000	弊社本所新館完成
Vol. 2	●橋梁の耐震照査手法 ●ハイブリッド手法による杭の地震時応力の検討	2001	芸予地震
Vol. 3	●ASCARS ●桁間衝突の解析結果に対する影響 ●機械振動による周辺地盤震動		
Vol. 4	●大気汚染評価プログラムの開発	2002	
Vol. 5	●k-PILE ●免震告示対応構造計算システム (免震ASP) ●有効応力解析による連成系動的相互作用解析		
Vol. 6	●MidasGen ●NAVIデザインK ●Maxwellモデルを用いたオイルダンパーの解析 ●地震動最大振幅に対する方位依存性の評価		
Vol. 7	●Bird-21 ●RESP M+ ●交通振動による地盤震動の波動伝播特性	2003	十勝沖地震
Vol. 8	●k-HAZARD ●セットバック建築物への限界耐力計算の適用		
Vol. 9	●地震ハザード評価 ●一本棒振動モデルにおける曲げせん断成分の分離		
Vol. 10	●INCEC/RS ●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 ●高速道路ネットワークシステムの地震リスク評価 ●断層変位を受ける埋設ガス配管の破壊挙動解析	2004	新潟県中越地震
Vol. 11	●水環境評価システム Water-design ●十勝沖地震の最大加速度・最大速度の距離減衰特性 ●ダンパー付与による隣接橋梁システムの震動制御		
Vol. 12	●オイルダンパーの微小振幅モデルを道板環境振動応答解析 ●地震応答解析における瞬間剛性比例型減衰についての考察 ●すべり支承のモデル化に関する提案		
Vol. 13	●浮き屋根式タンクの振動応答解析	2005	福岡県西方沖地震
Vol. 14	●RESP-CG ●地盤の応答解析法について (連載技術講座) ●QUIET-Jを用いた震度分布シミュレーション—新潟県中越地震—		
Vol. 15	●福岡県西方沖地震で観測される地震動最大振幅について		
Vol. 16	●Pile-UK ●レーザー計測データを用いた洪水氾濫解析 ●地震リスク・マネジメント技術を活用した地震対策の効果検証	2006	
Vol. 17	●ricomacast		
Vol. 18	●津波浸水シミュレーションの効果 ●地震防災マップの作成	2007	
Vol. 19	●DALIA ●パイルド・ラフト基礎の設計プログラム開発		
Vol. 20	●RESP-F3T ●地震波の水平・上下同時入力による時刻歴応答解析 ●光ファイバ分布センシングによるRC曲げ構造物の荷重同定手法	2008	
Vol. 21	●パレット・ラックの地震による落下・転倒解析 ●インフラ施設維持管理における構造解析と構造保全 ●粒子法を用いた解析コンサルティングサービス ●RC架構の柱軸力変動を考慮するためのファイバモデルの開発		
Vol. 22	●家具類の移動・転倒・落下のシミュレーション ●粒子法を用いた固液混相流解析		
Vol. 23	●RESP-D ●粒子法を用いたタンクのスロッシング解析 ●FBGセンサーを用いた静的荷重裁可時の損傷同定	2009	弊社創立50周年
Vol. 24	●SeleSを用いたダムの耐震照査用地震動の検討 ●個別要素法を用いた離散体の接触・流動現象の解析 ●降伏機構分離型鉄筋コンクリート造杭の適用検討事例		
Vol. 25	●DARS ●バスによる橋梁モニタリングシステムの実証実験 ●地球シミュレータ利用による地震動解析業務	2011	東日本大震災
Vol. 26	●TSUNAMI-K ●橋梁架け替え工事に関する解析		
Vol. 27	●高次元電力時系列データの可視化 ●大規模平野の強震動評価技術 ●津波解析と応用事例 ●地震観測記録を活用した道路復旧プロセス評価		
Vol. 28	●震災後1年特集 ●極限平衡法による斜面安定解析 ●回転機械の振動データからの異常検知 ●地震リスク評価による意思決定支援	2012	
Vol. 29	●地盤変状や潮位を考慮した津波解析 ●長周期地震動作成プログラム ●天井の耐震対策		
Vol. 30	●30号特集 ●低周波騒音 ●SforDをエンジンとした計測結果による橋梁構造評価		

# 夢に向かって

㈱構造計画研究所  
耐震技術部 部長  
山本 一美

本誌の第1号が、発刊されたのが2000年9月でした。それから12年が過ぎ去ったことになりましたが、偶々ですが第1号が発刊された2000年も本誌第30号が発刊された2012年もオリンピック・イヤーとなりました。第1号が発刊された2000年のオリンピックは、オーストラリアのシドニーでの開催でした。シドニー・オリンピックと言えば、何と言っても高橋尚子選手が日本の女子陸上競技として初の金メダルを獲得したことが、強く記憶に刻み込まれています。高橋尚子選手がマラソンで初の金メダルを獲得した時代まで記憶を遡り、建設業界を取り巻く技術の変遷について振り返ってみたいと思います。

スポーツの世界においては、オリンピックが重要な契機となりますが、建設業界の技術革新においては、大地震の発生が重要な契機となります。1995年の阪神大震災以降、各種の耐震設計指針が見直され、建設業界における耐震性能評価技術は確実に進歩しました。耐震技術の進歩は、東日本大震災において地震の揺れによる建物やインフラ施設の致命的な被害が少なかったことでも実証されたと言われています。しかし、その反面、津波被害に対する防災対策や福島原発の事故対策等の新たな課題が明らかになりました。

トップ・アスリート達が、オリンピックで金メダルを獲得することを夢見るように、我々技術者は、大地震やその他の災害による犠牲者がゼロとなることを夢見ているのではないのでしょうか？

その夢の実現のためには、地震や台風等の自然現象を精度よくシミュレーションすることが必要となります。技術者の永遠の課題である「災害の予測」に関係する様々な研究開発が、近年精力的に実施されています。各種シミュレーション技術の発展と共に分散・並列処理等のコンピュータ技術の高度化も同時に進み、12年前には不可能であった地震時の大規模なシミュレーション解析が実施可能と成りつつあります。本誌においても、これまでに地震時の広域における波動伝播シミュレーションや津波による被害予測シミュレーションの事例等をご紹介させていただきました。

一方、2000年代の小泉政権下において公共事業の大幅削減政策が叫ばれる時代の中で、新たな技術開発テーマとして、「インフラ施設を対象とした予防保全」に関わる研究開発に着手しました。本研究の成果の一例として、中小橋梁を対象として公共交通機関である路線バスを利用した、新たな構造ヘルスマニタリング手法の開発に成功しております。本研究に関する記事や論文は、本誌第23,25,26号においてご紹介させていただいております。また、本研究の発展系として、対象をインフラ施設から乗物等の製造物に拡張した、製造物の保全における異常検知技術の研究開発を進めています。

耐震技術、あるいは予防保全技術の探究の目的は、夢の実現をゴールとする社会に対する安全と安心の提供です。弊社の保有技術が、読者の皆様のお役に立てることを願いつつ、また、金メダルを手中に収めることを夢見つつ、トップ・アスリートの如く、技術研鑽のためこれからも努力していく所存でございます。

## 解析雑誌 12 年を振り返って

㈱構造計画研究所  
防災・環境部 部長  
内山 不二男

私は、入社以来、解析コンサルティング業務や解析プログラムの開発業務に従事しており、12年前の解析雑誌発刊時も解析技術本部（当時）の一員として協力させていただきました。発刊に際し、論文等による先端技術の紹介とともに、その時勢において有益な実用に主眼を置いたトピックスを掲載することを心掛け、それは現在まで変わっていないと思っております。現在のページ数は当初より多くなっておりませんが、当初の思いは引き継がれていると感じており、歴代の編集担当の方々に感謝申し上げます。

解析雑誌発刊時は、1995年の阪神淡路大震災から5年目にあたり、より安全な構造物の設計や都市の防災対策等が広く考えられていた時期でした。刊行当初は、阪神淡路大震災後の技術革新等を踏まえ、建築物の免震技術や制震技術の紹介、道路橋や鉄道橋の耐震技術の紹介等を多く取り上げていました。また、防災・環境部が発足した2003年以降は、広域な防災をテーマとした技術紹介やトピックスが増えております。

解析雑誌を振り返ると、社会を取り巻く様々な状況の中、その時のニーズに応えるための技術やソフトウェアを紹介してきたことが伺えます。

昨年の東日本大震災を踏まえ、本年9月に行われた土木学会全国大会では複数の研究討論会にて、震災（地震、津波等）にどのように対応すべきかとの議論が多く成されておりました。

私たちは、長年に渡って培ってきた技術をベースとし、上記の問題に対して、構造物の耐震技術、免震技術等、地盤の地震対策、さらに、地震防災や津波防災、避難対策、エネルギー対策等で社会に貢献していきたいと考えております。

新しい技術テーマに対しても、最新の技術開発や有益な情報を、解析雑誌を通して紹介していければと考えております。

私たちの取り組みをご理解いただいて、解析雑誌をご活用いただければ幸いです。

## 2000年代を振り返って

㈱構造計画研究所  
防災ソリューション部 部長  
栗山 利男

解析雑誌は2000年に創刊してから12年、おかげさまで第30号を刊行することができました。これも本誌をご愛読されている皆様方のおかげだと感謝しております。

さて、この12年間に起きた出来事を思いつくままにあげると、アメリカ同時多発テロ事件、SARS、新型インフルエンザ、リーマンショック・金融危機、ハリケーン・カトリーナなどが思い浮かびます。これらは想定もしていなかった事象ではないでしょうか。

被害地震という観点からは、解析雑誌の創刊された2000年以降、鳥取県西部地震をはじめとして、芸予地震、十勝沖地震、新潟県中越地震、福岡県西方沖地震、能登半島地震、新潟県中越沖地震、岩手・宮城内陸地震、そして昨年の東北地方太平洋沖地震など、数多くの被害地震が相次いで、しかも日本各地で発生しており、様々な被害が起きています。

また、海外でも数多くの被害地震が発生していますが、なかでもスマトラ沖地震（2004）やハイチ地震（2010）では数多くの犠牲者をだしています。スマトラ沖地震では約28万人もの犠牲者をだし世界史上最悪の津波災害となりました。その大津波の衝撃的な映像が日本のテレビでも放映されましたが、まさか同じ光景が日本で起きるとは当時は誰も思いもしなかったのではないのでしょうか。また、ハイチ地震では死者数が推定30万人とも言われており、ハイチの人口が約1000万人であることを考えると、社会基盤の脆弱さがあるとはいえ人口の数%が犠牲になるという地震災害の大きさに驚きます。

わが国でも南海トラフの巨大地震が発生した場合には、最悪で約32万人犠牲者がでると想定されています。これは東日本大震災の犠牲者が約2万人弱ですから、約16倍もの数字になっており想像を絶します。

東日本大震災以降、最悪の事態を考え備えることの重要性が指摘されるようになりました。もちろん最悪の事態を想定することは必要と考えますが、その結果として想定すべき地震動や津波などの外力はどんどん増大し、耐震補強や防波堤の設置といったハードな対策だけで備えることは現実的には難しくなっています。これからはハードな対策だけではなくソフトな対策をも合わせて考える必要があります。「情報の正確な伝達」と「人の行動」が災害対策にとって重要になってくると考えられます。

私ども防災ソリューション部では『自然災害から都市・街・人を守る—安全な都市・街づくりのためのコンサルティングサービスの提供』をスローガンに掲げ、自然災害ハザード評価、構造物の耐震安全性評価、災害リスクマネジメントといった分野において皆様の業務のお役にたてればと思っております。今後とも解析雑誌、防災ソリューション部、構造計画研究所をご活用いただけましたら幸いです。

# 設計者向け建築構造計算プログラム「RESP-D」 Version 2.0をリリース ～杭・基礎梁と上部構造の一体解析が可能に～

株式会社構造計画研究所は、時刻歴応答解析による建築構造設計を支援する建築構造計算プログラム「RESP-D」の最新バージョン「RESP-D Ver. 2.0」の販売を開始いたしました。

## ■「RESP-D」とは

超高層建物や制振・免震構造の設計・解析に際して、第一線のツールとして実務でご利用いただいているプログラムが「RESP シリーズ」です。その中でも、業務の効率化と提案力の向上を図り、設計者が抱える様々な課題を解決するプログラムが「RESP-D」です。

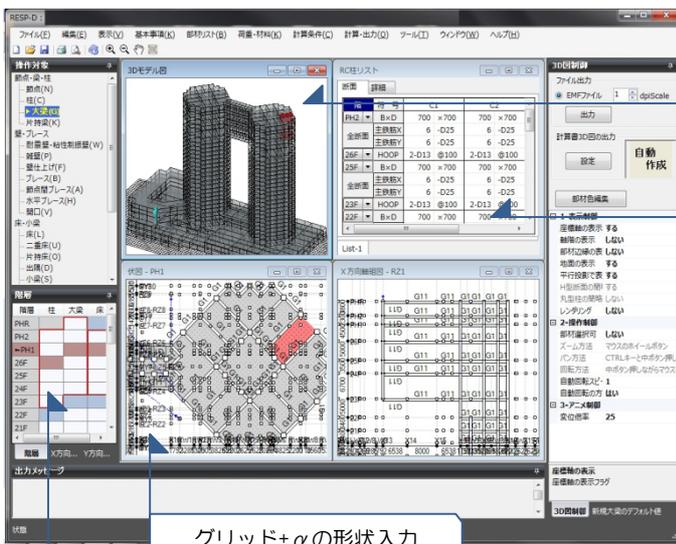
「振動解析による設計を総合的に支援するプログラムにより、業務効率化と提案力の向上を図る」

設計・解析をひとまとめに管理できるプログラム = **RESP-D**

- ・許容応力度設計から質点系および立体振動解析まで共通の建物モデルを使用し、データの**一元管理が可能**
- ・機能的な GUI によりデータ作成の**手間を抑え**、ミスがなくなり**手戻りが減少**
- ・一通りの検討にかかる時間を短縮できるため、**対応案件数が増加**

### 運用による3つのメリット

- I. 素早い検討により短納期化へ対応し、実施件数も増加。→**収益性が向上**
- II. 免震・制震等を組み込んだより高度かつ複雑な設計・提案が可能。→**提案力が強化**
- III. ケーススタディが容易なため、素早く多様な提案が可能。→**営業力が強化**



グリッド+αの形状入力  
軸を基本とした任意形状が可能です。

階のグルーピング

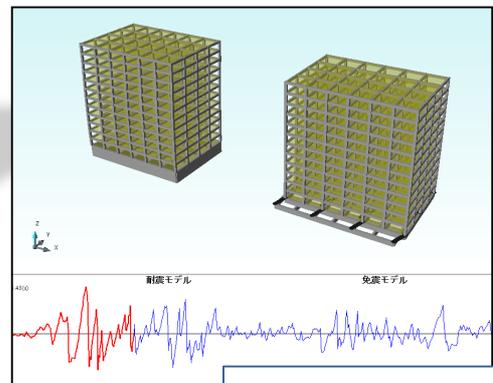
階をグループ化することで基準階の入力省力化が可能

エラーの即時表示

モデル化エラーは逐次表示されるため、ミスを早期に発見できます。

構造図ライクなリスト表示

構造図に似ているため直観的なチェックが可能です。



応答比較アニメーション

＜設計ルートにおける RESP-D の機能対応＞



企画・提案から実施設計まで RESP-D だけで全て対応。建物モデルは常に1つ。

- ・提案時から精度の高い応答値と躯体数量の把握が可能。
- ・検討用に作成した建物モデルから、プレゼンテーション用の振動アニメーションを自動作成。
- ・スイッチ1つで質点/立体の弾塑性振動解析を切り替え可能で、評定の追加検討項目にもスムーズに対応。

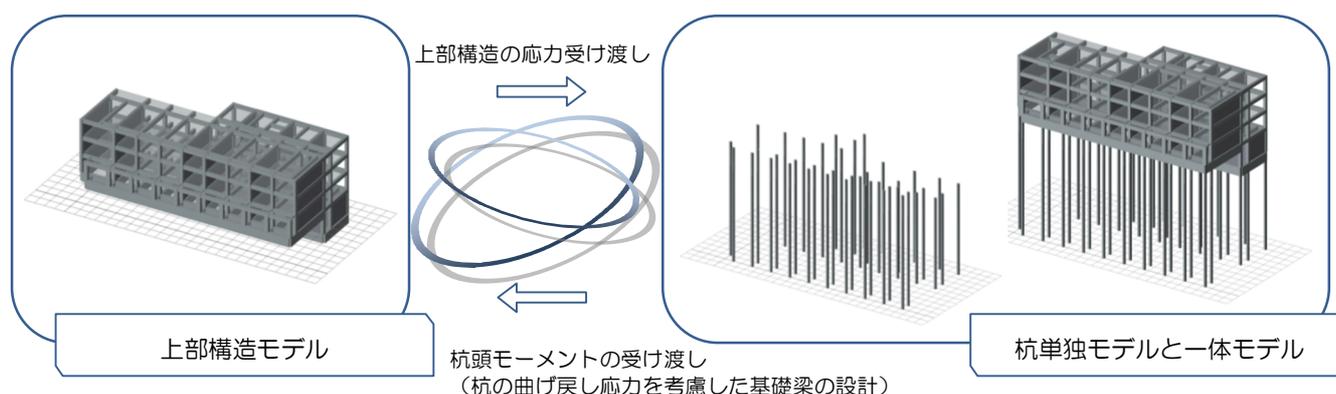
■ 「RESP-D Ver. 2.0」の新機能「杭計算・基礎梁計算」について

上部構造に加えて杭をモデル化することで、**杭および杭の曲げ戻しを考慮した基礎梁の設計が可能**となります。

《主な機能》

- ・杭と地盤ばねをモデル化した「杭単独モデル」、上部構造と杭と地盤ばねをモデル化した「一体モデル」による解析が可能です。
- ・建築基礎構造設計指針による塑性化を考慮した水平地盤バネ値に対応しています。
- ・杭頭の塑性化に対応しています。
- ・杭と基礎梁の構造計算書（杭伏図、杭断面リスト、モーメント図、検定値図、検定表）に対応しています。

※既製杭については順次対応予定です。



杭計算機能のポイント

- データの連続性 : 単一のプログラムで上部構造の設計から杭の設計まで行えるため、データの連続性が保たれます。
- 詳細なモデル化 : 一体モデルでは上部構造による杭の軸力変動を考慮した解析を行うことができます。
- カスタマイズ : 本機能をベースに自社工法など各社向けカスタマイズも承ります。複雑になりがちな独自工法の設計をプログラムにより効率化し、採用を後押しします。

RESPシリーズの詳細情報は、ホームページ <http://www.kke.co.jp/resp/> をご覧ください。

# RESP-D

時刻歴応答解析による設計を支援する統合構造計算プログラム

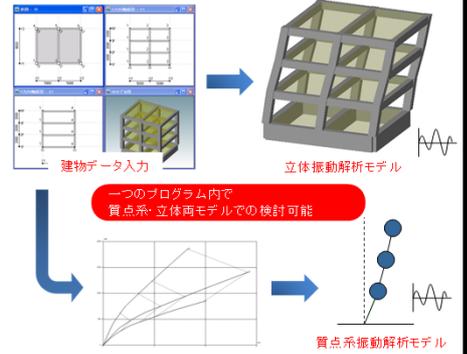
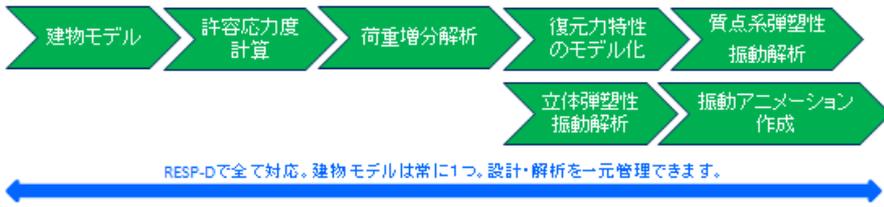


## ■ 概要

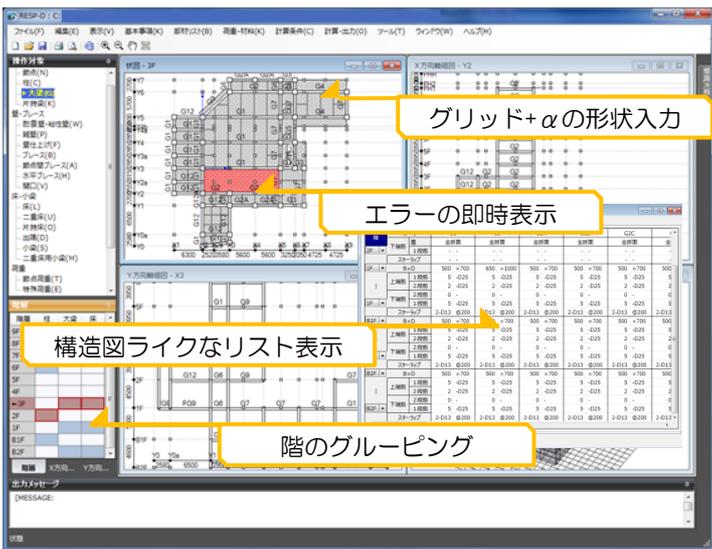
RESP-Dは許容応力度設計から質点系振動解析、立体振動解析までをシームレスで行う新世代の構造計算プログラムです。RESPシリーズが取り組んできた超高層建築、免震構造、制振構造に対して、数々の新しいアイデアを盛り込むことで、より高度で質の高い構造計算やプレゼンテーションをサポートします。

## ■ プログラムの特長

1. 許容応力度計算、荷重増分解析、振動解析まで一連処理可能です。
  2. 立体振動解析・質点系振動解析が選択可能です。
  3. 超高層、免震、制振構造に対しスピーディに振動アニメーションを作成可能です。
- これらの機能はすべて標準機能です。オプション等の購入は不要でご使用いただけます。



## ■ 建物データ入力および計算機能の特長



### ▶ 入力の特長

- 直交する通り軸を基本とした任意形状に対応します。
- エラーは逐次表示されるためミスが早期に発見できます。
- 断面リストは構造図表現に準じた直観的な入力形式です。
- 階グルーピングにより基準階の入力が大幅に省力化できます。

### ▶ 計算の特長

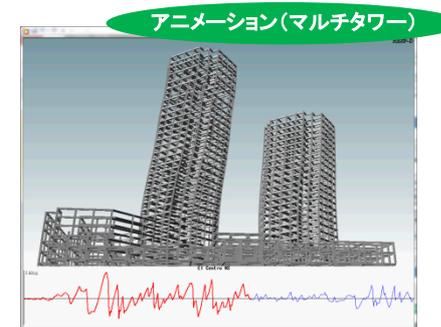
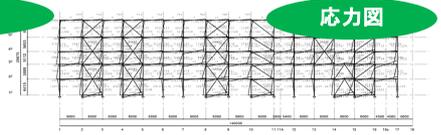
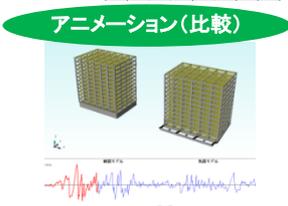
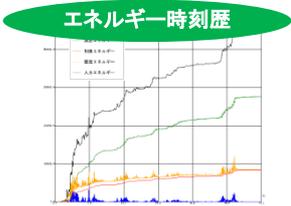
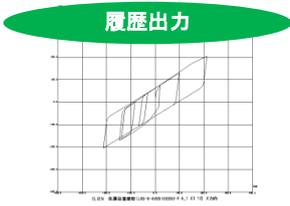
- 多剛床および剛床解除の指定がモデル化できます。
- 長期荷重に対し施工段階解析が可能です。
- 中間層免震を含む免震建物の解析が可能です。
- 免制振装置のばらつき検討を1つのデータ内で考慮可能です。
- 鉄骨、コンクリートの数量出力に対応しています。
- ファイバモデルによる袖壁の考慮が可能です。

### 最新の主要機能追加情報

機能追加項目	対応内容
位相差解析機能	ねじれ地震加速度を入力
マルチタワー解析機能	多剛床指定、独立した設計用せん断力入力
杭解析機能	杭一体・分離モデル
免震・制振の特性変動設定	メーカーごとに個別の変動値を設定可能
間柱型オイルダンパー	間柱タイプの配置

## ■ 構造計算・出力機能の特長

- 標準書式に則した構造計算書出力可能です。
- 伏図・軸図・部材断面リストは図面表現に準じています。
- 時刻歴応答解析結果に対する、ヒンジ図・部材応力・履歴等の出力が可能です。
- 伏図・軸組図の分割出力が可能です。
- 解析モデルの応答解析アニメーションが作成できます。(塑性化部材の表示が可能)
- 応答解析アニメーションでは2棟並べての応答比較が可能です。



# 自然災害 + KKE



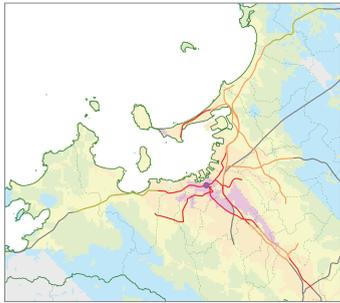
## 災害リスクマネジメントソリューション

災害リスクマネジメントソリューションは、施設の新規計画、リロケーション、BCP策定等を効率的にサポートするものです。多様な自然災害を一覧で比較できるほか、地震 PML も同時に評価可能です。専門知識を分かり易く図表で解説し、意思決定プロセスを円滑に進めるお手伝いをします。

- 災害シナリオの特定と共有
- 地震保険契約の検討
- 施設の耐震性の第三者評価
- トータルコストの削減

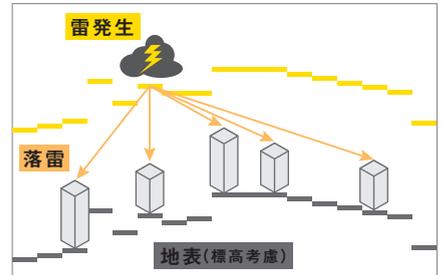
周辺で発生する可能性のある震源と、発生した場合の地域・建物・収容物の揺れ・被害程度を評価します。交通等ライフラインについても、情報をご提供します。

過去の落雷状況を分析し、モンテカルロシミュレーションにより対象施設の直撃雷・誘導雷・瞬時電圧低下の可能性を検討します。



予想運休日数  
 - 30日以上  
 - 15~30日  
 - 5~15日  
 - 3~5日  
 - 1~3日  
 - 1日以下  
 - なし

震度7  
 震度6強  
 震度6弱  
 震度5強  
 震度5弱  
 震度1~4



より強固な

## 防災対策・事業継続計画 (BCP) への発展をサポートします。

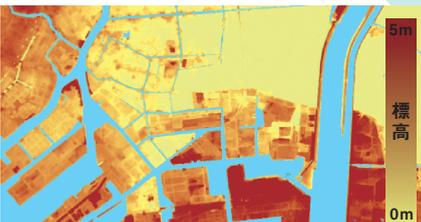
地震

落雷

浸水

台風

想定シナリオ名	地震規模	今後30年の発生確率	再現期間(年)	分析結果					
				本社	A支社	B支社	C支社		
想定東海地震	8.0	87.31	20	想定震度	6+	6-	6+	6+	
				建物被害	軽微	軽微	小破	軽微	
				復旧日数	0-1	0-1	2-5	1-5	
				電気	0-1	0-1	0-1	0-1	
				ガス	0-0	0-0	0-0	0-0	
大正型関東地震	7.9	0.15	20,000	想定震度	6-	6-	6+	6+	
				建物被害	中破	中破	大破	中破	
				復旧日数	2-10	2-10	10-60	10-40	
				電気	2-3	2-3	3-4	3-4	
				ガス	40-60	50-70	50-70	50-70	
内水氾濫	---	10.0	約300	想定浸水深	無し		1.0-2.0m	0.0-0.5m	
				復旧日数			---	---	
				電気					
				ガス			1-5	0.5-1	
				水道			1-2	0-0.5	
台風シナリオ 99パーセントスタイル	---	26%	100	想定最大風速	28.7cm/s	30.6cm/s	29.4cm/s	38.3cm/s	
				復旧日数	ほぼ無し	0-1	ほぼ無し	0.5-1	
				電気					
				ガス	0.5-1.0	0-0.5	0-0.5	0-0.5	
				水道					
落雷シナリオ 誘導雷	---	---	100	年間発生確率	90年	40年	160年	220年	
				復旧日数	0-7	2-10	0-5	0-7	
				電気					
				ガス	0.5-1.0	0-0.5	0-0.5	0-0.5	
				水道					

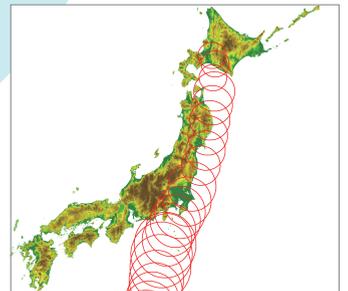


周辺地盤の標高との比較例

河川・内水氾濫・高潮・津波によるリスクを分析します。

過去の台風経路の表示例

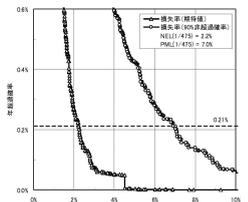
過去の台風記録を分析。施設の台風被害の可能性のほか、交通等ライフラインについても、情報をご提供します。



### 地震 PML 評価 (予想最大損失率)

不動産売買・証券化や、データセンターのファシリティスタンダードとして活用されています。既存や計画中の施設の地震 PML のほか、複数建物群を対象としたポートフォリオ地震 PML も評価可能です。

No.	シナリオ名	PPF (%)	震度	年発生率	年発生率	損失率	損失率
1	想定東海地震	87.31	7.0	2.0	2.0	0.155	0.155
2	想定大正型関東地震	0.15	7.0	2.0	2.0	0.285	0.285
3	想定内水氾濫	10.0	10.0	10.0	10.0	0.020	0.020
4	想定台風	26%	7.0	2.0	2.0	0.020	0.020
5	想定落雷	---	---	---	---	0.020	0.020



英文でのレポート作成も承ります。ご予算・目的に合わせて、評価方法・内容を提案させていただきます。お気軽にお申し付けください。

## 津波・河川氾濫と避難を同時に解析する「避難計画策定支援システム」を開発 ～自治体や企業の防災計画策定・検証を強力にサポートします～

株式会社構造計画研究所は、津波や河川氾濫時の災害の拡がりや個人個人の避難行動を同時に解析する避難計画策定支援システムを開発しました。当面はシステム販売は行わずに、自治体や企業の防災計画の立案・検証のコンサルティングに利用します。

### ■サービスの背景

#### 【ハード面の対策の限界】

東日本大震災(2011年3月11日)の際に発生した巨大津波は、防波堤を軽々と乗り越え、我が国に多大な被害をもたらしました。このことは、未曾有の自然災害を前にして、従来の防潮堤や湾口防波堤などのハード面の対策だけでは、限界があることを物語っています。この結果を受け、現在は「ハード面の対策」の見直しに加え、地域住民の避難行動や防災教育も含めた「ソフト面の対策」を適切に組み合わせた「防災まちづくり」が進められています。これにより「仮に被災した場合でも、被害をできるだけ最小限にする」という「減災」の視点に立った防災・避難計画の策定が必要となります。(2011年12月 津波防災地域づくりに関する法律施行)

#### 【対象となる地域に合わせた「避難計画の策定」の必要性】

津波発生時および河川氾濫時には、災害が到達するまでに対象となる人々を安全に避難させる必要があります。そのため対策を事前に検討しておく必要があります。また、地域ごとに観光客や高齢者の割合、避難施設の配置や避難道路の状況などが異なるため、対象となる地域に合わせた避難計画の策定が必要となります。しかし、これらの計画の課題点や妥当性を事前に把握することは困難です。そこで、災害状況と人々の避難状況を同時に考慮可能な避難シミュレーション技術を用いた評価が有効となります。

当社では、ビル火災・津波・河川氾濫等の避難計画において、数多くのコンサルティング実績を積み上げてまいりました。今回、震災以降、特に要望が多かった津波・河川氾濫に対する避難計画に着目し、津波・河川氾濫シミュレーションと人間の避難行動のシミュレーションを同時に再現する統合避難計画支援システムを開発いたしました。本システムをコンサルティング業務に活用し、より分かりやすくスピーディーに、沿岸地域や河川流域における避難に関する問題点を抽出するとともに、それに対応した施策の提案、地域・地区の特性を考慮した避難ルートや効果的な避難路・避難場所(空地・建築物・タワー等)などをご提案します。

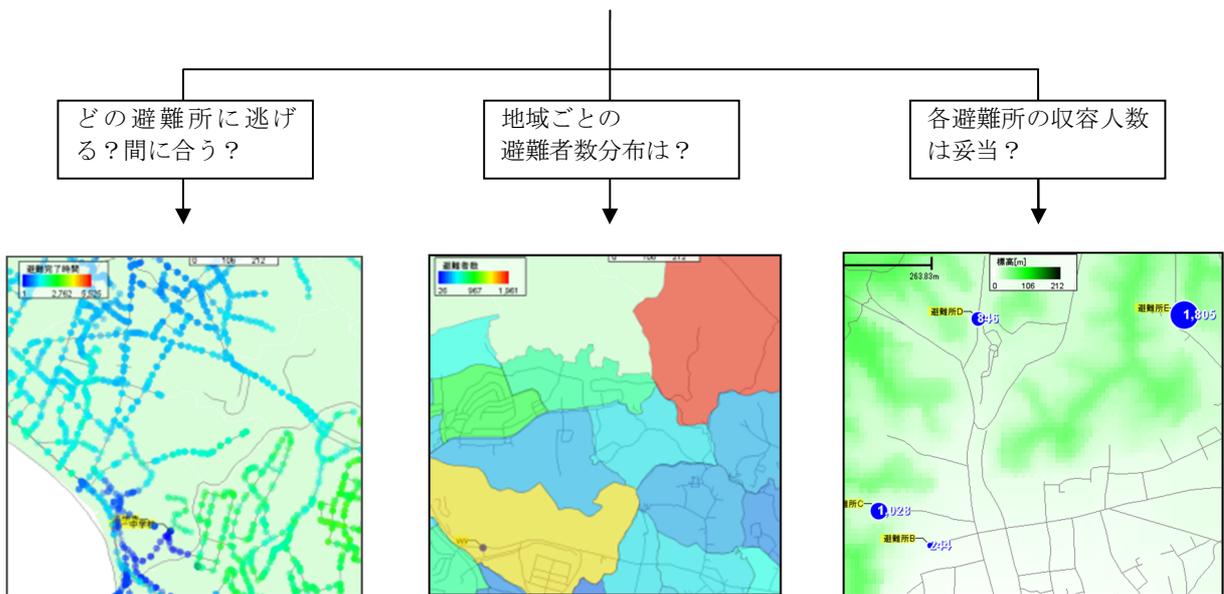
### ■「避難計画策定支援システム」の特徴

- ・個人の特性を反映した避難行動を表現
  - …津波や河川氾濫時の刻々と変わる状況に対し、出発地、目的地、年齢、属性(居住者、観光客)等の避難者個人の状況を同時に設定し、いくつものパターンを検討できます。このことにより、設定している避難所等への誘導が妥当か、また防災施設の場所や収容人数が適切か、ボトルネックがないかを検証できます。
- ・津波の伝播や陸への遡上を時系列に可視化
  - …想定される高さの津波に対して、標高、海岸構造物(防波堤等)を考慮した、津波の伝播や陸への遡上を時系列に可視化することができます。河川氾濫や入り組んだ湾岸部にも対応しているのが特徴です。
  - ※解析データを既にお持ちの場合には、その結果を利用することも可能です。

■ 「避難計画策定支援システム」のアウトプット例



▲シミュレーションイメージ



アウトプットは、以下のような防災計画の策定・検証でご活用いただけます。

- ・避難ビルの設定場所の検討
- ・避難路の整備が必要な場所の抽出
- ・避難ビル、避難路を整備した場合の効果検証
- ・避難困難地域の抽出 …等

詳細は、ホームページ [http://iit.kke.co.jp/solutions/evacuation\\_plan.html](http://iit.kke.co.jp/solutions/evacuation_plan.html) をご覧下さい。

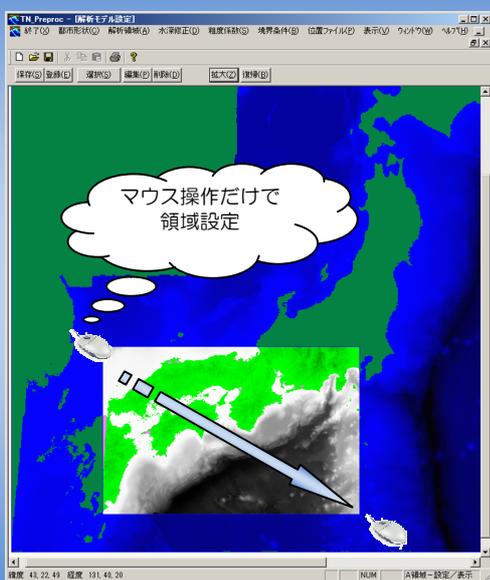
# 津波シミュレーター「TSUNAMI-K」

## 津波波高・遡上計算プログラム

### ■TSUNAMI-Kの特徴

- 特徴1：簡易な操作で津波をシミュレーション
- 特徴2：建物や地形の詳細なデータの追加・修正も可能
- 特徴3：多数の結果出力に対応

### ①まずは解析したい領域を マウスでドラッグ！



マウス操作だけで  
領域設定

- 解析したい領域をドラッグし  
メッシュサイズの入力で領域設定は完了

### ③計算条件を入力し解析実行！



出力位置は  
クリックで指定

- 計算時間や出力間隔を設定
- 時刻歴の出力位置はクリックで指定

### ②波源設定はデータベースから選択 データベースへの追加も容易！



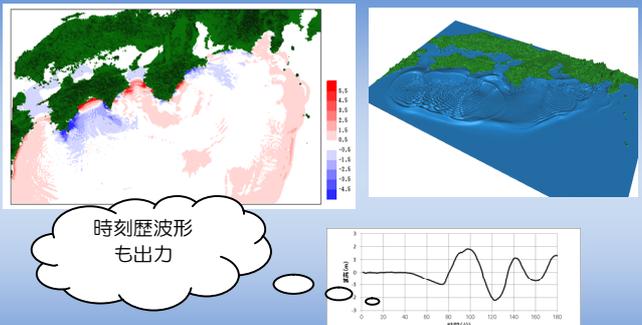
波源設定は  
選択するだけ



波源データの  
追加も簡単

- 波源設定はリストから選択するだけ
- データ追加は登録ボタンを押しパラメータを入力
- 位置の設定はクリックでも手入力でもOK

### ④結果の図化、アニメーションの作成！



時刻歴波形  
も出力

- 解析結果を読み込み3Dや2Dのアニメを作成

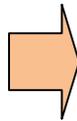
# TSUNAMI-Kの入出力と解析事例

## ■入力

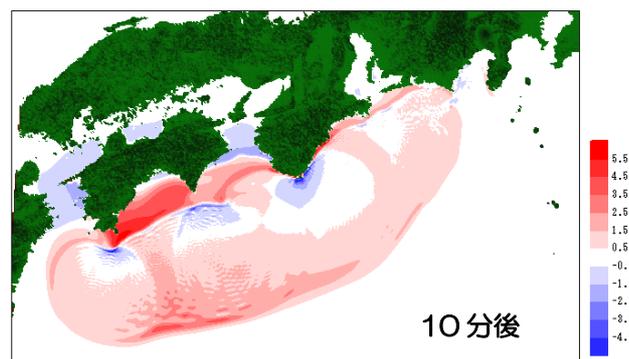
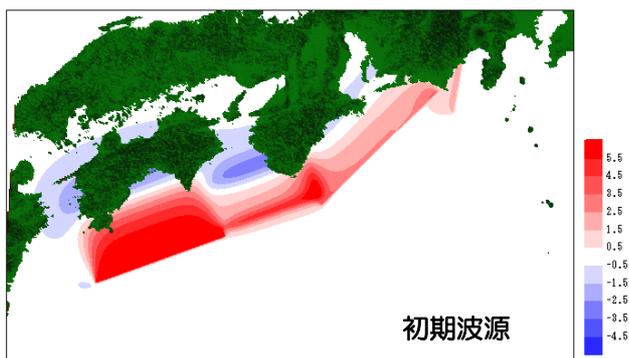
- 多重メッシュによる解析領域の設定
- 海上保安庁や国土地理院のデータに対応
- サイト近傍の詳細な地形データの取込が可能
- 地図を基にして建物の追加が可能
- 初期波源は断層以外に、任意位置での水位や流量も設定可能

## ■出力

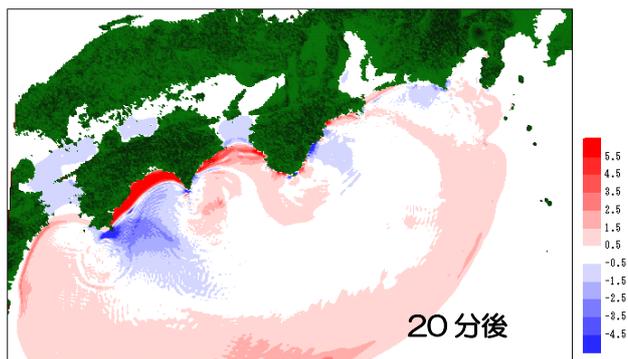
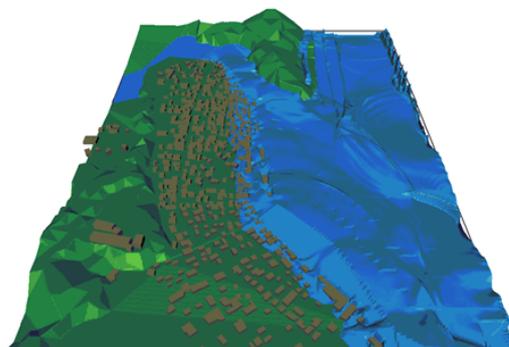
- 最大波高、流速
- 時刻毎の水位
- 時刻毎の流速
- アニメーションデータ



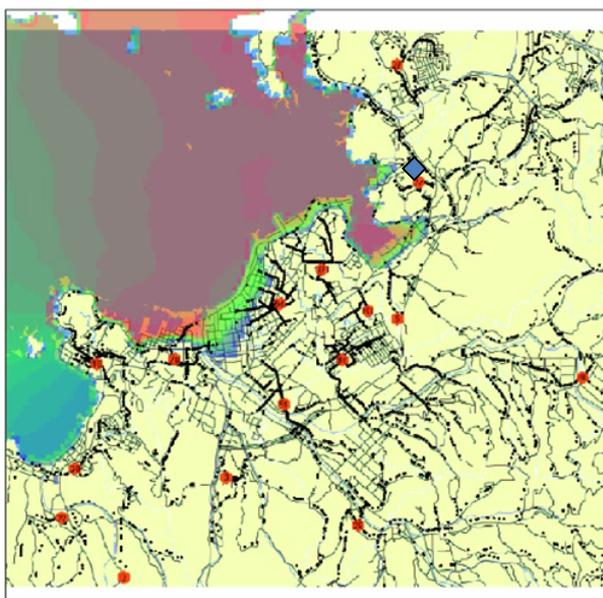
### ◆東海・東南海・南海地震波の計算例



### ◆津波の遡上解析例



### ◆津波解析結果を用いた避難シミュレーション



# 分布センシングデータ処理ツール SforD をエンジン とした計測結果による橋梁構造評価

耐震技術部 楊克俊

## 1. 分布センシングによる構造評価

分布センシングの技術進歩に伴い、既存構造現況の計測評価を今までより更に精密に実施することが可能となった。

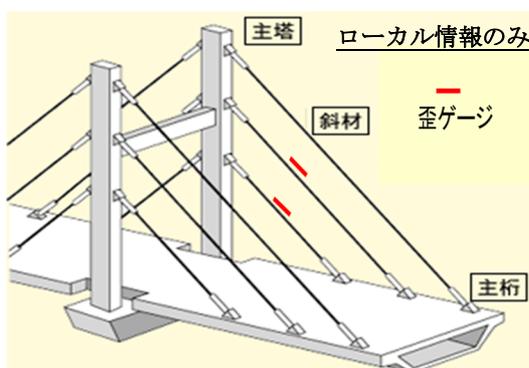


図 1. 歪みゲージによる計測

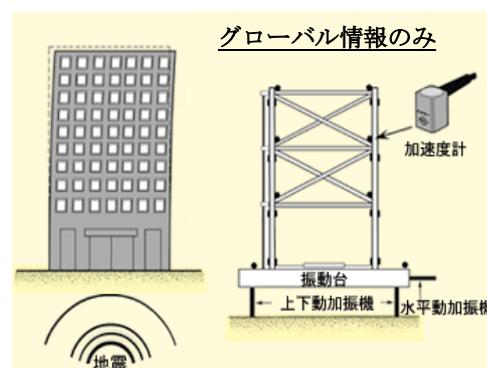


図 2. 加速度計による計測

従来使われている歪みゲージによる計測は構造物のローカル情報を得ることに有効であり、加速度計による計測は構造物のグローバル情報を得ることに有効である。図 1 と図 2 に示すように、歪みゲージの計測は局所的情報に集中し過ぎており、また加速度計の計測は全体特性のみであって情報が粗過ぎるため、これらの計測結果より既存構造物の現況を厳密に評価することには限度があると思われる。

光ファイバセンシング技術の進展に伴い、ロングゲージ光センサを分布センシングに適用し、従来センサを用いた計測により厳密に構造物を評価することができるようになった。光ファイバ分布センシングには以下の特徴がある。

- ・ 一本の光ファイバにセンサを直列接続することができるので、橋梁スパンのような構造物全体をカバーする計測が可能である
- ・ ロングゲージ化した光ファイバセンサで構造物のサイズに合わせてゲージ長を調整することにより歪み分布の測定が可能である
- ・ 静的測定は勿論、FBG 光ファイバセンサで高精度の動的測定が可能である
- ・ 離散、連続的な測定が可能、構造物の定期モニタリングにも常時モニタリングにも便利である
- ・ ロングゲージ FBG センサによる分布センシングは歪みも振動特性も得られるので、従来の歪みゲージや加速度計等による計測を完全にカバーでき、更に橋など構造物の分布特

性を測定できる

- ・ 分布センシングのシステム化により迅速に橋梁評価ができる

以下、ロングゲージFBGファイバによる分布センシングシステムの特徴を紹介する。光ファイバ分布センシングによって図3に示すように、写真のFBGロングセンサをシステム化して橋梁の桁やケーブルに分布敷設される。計測された波長変化を歪みに換算し、分布システムの各センサのマクロ歪み（ゲージ長内の平均歪み）の時刻歴情報を得られる。この分布歪みの時刻歴データを解析して、橋梁の振動特性、たわみ分布、荷重分布と時刻歴、計測区域の損傷識別判定などをリアルタイムで得られる。

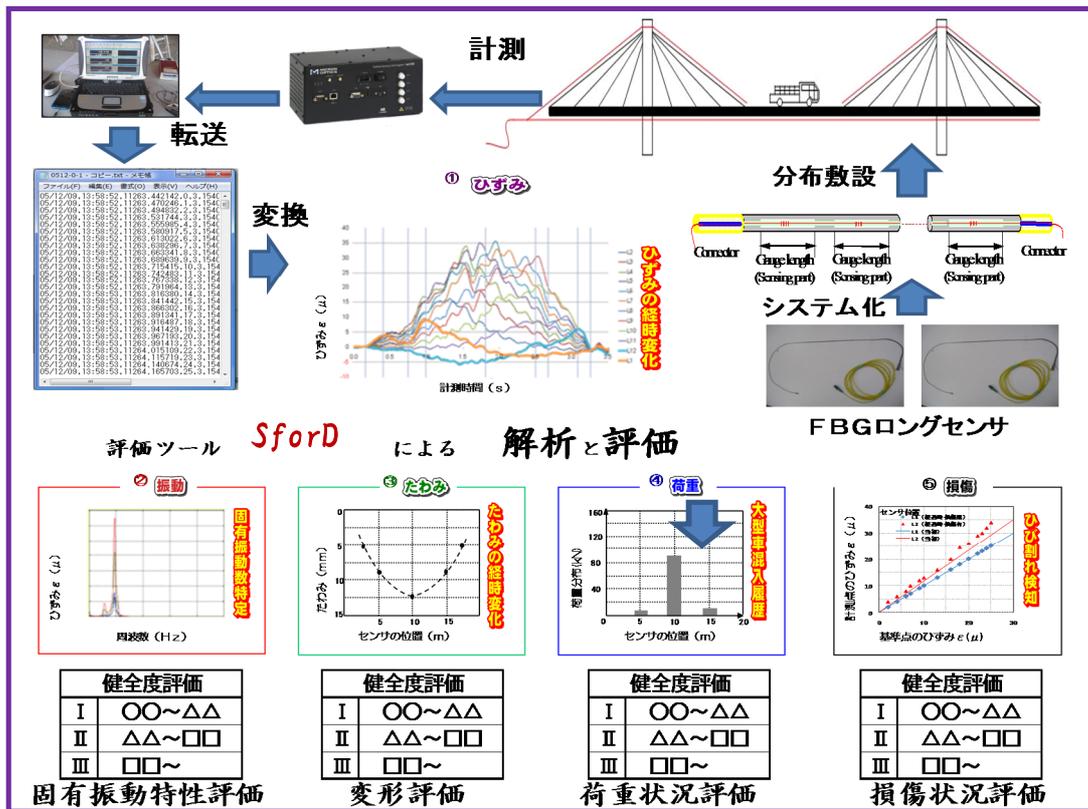


図3. ロングゲージFBG分布センシングシステム

よって、分布センシングにより以下の5つの構造特性をリアルタイムで出力できる。

- ・ 構造物の歪分布
- ・ 構造物のたわみ分布
- ・ 構造物の振動特性（固有振動数・固有モード）
- ・ 構造物を通る荷重の量と分布
- ・ 構造物の損傷同定（歪みモード指標によって損傷の発生を検出、損傷発生位置を同定）

光ファイバの分布センシングの適用は構造物維持管理モニタリングに画期的なインパクトを与えている。図4に示すように、人間の身体における神経システムと同じように構造物（橋梁）に光ファイバを敷設することにより、エンジニアは構造物（橋梁）の医者として診断（構造ヘル

モニタリング) や治療 (補修補強、維持管理) を行えるようになる。

また、高感度光ファイバセンサと高精度光センサ用インテロゲータの開発と応用により、電気式の歪みゲージのより精度のよい計測も遂行できるようになった。

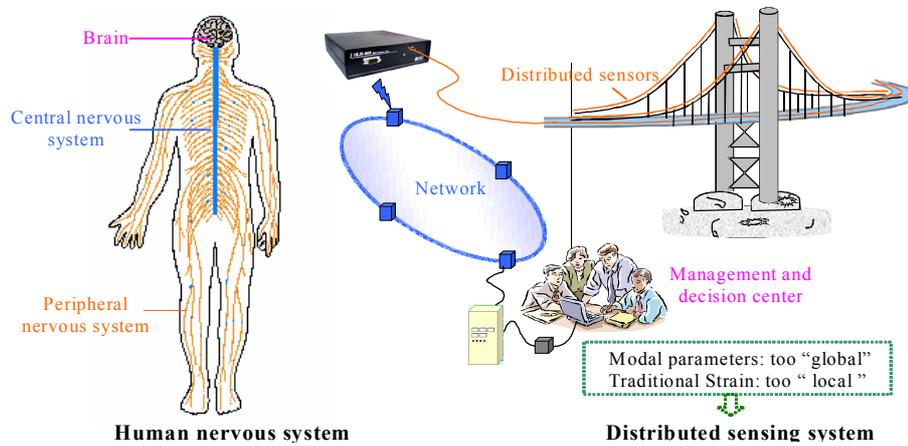


図 4. 分布センシング技術のコンセプト

## 2. 分布センシングデータ処理ツール SforD 紹介

図 5 に示すように計測された分布形歪み (Strain) の時刻歴から構造物のたわみ分布 (Displacements)、構造物の振動特性 (Dynamic behavior)、構造物を通る荷重の量と分布 (Load)、構造物の損傷検知 (Damage) を算出する分布センシングデータ処理ツール SforD (S4D) を開発した。センシング (Sensing) 結果に構造評価エンジン SforD を適用してデータ処理 (Data Processing)、分布予測 (Distribution prediction)、検知 (Detection)、診断 (Diagnose) という S4D 機能を実現することを目指している。

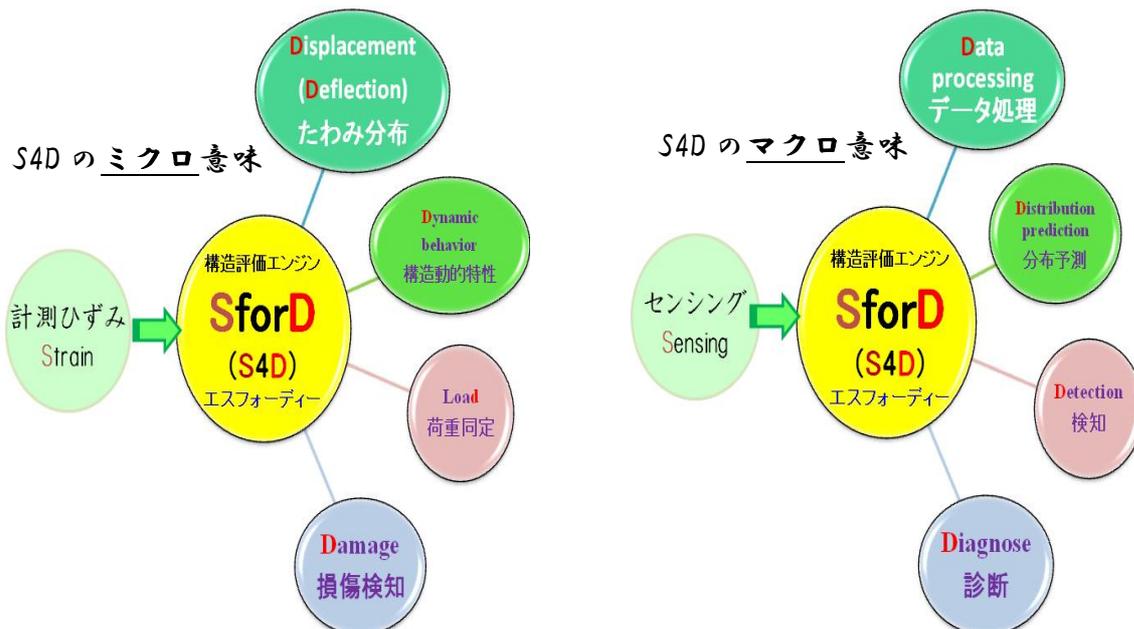


図 5. 分布センシングデータ処理ツール SforD

以下に分布センシングデータ処理ツール SforD の操作画面とデータ処理のプロセスを紹介する。

図 6.中央の画面は各分布センサより計測された歪みの時刻歴である。この歪みのオリジナルデータより、「VIEW」内の「振動」ボタンをクリックすれば、固有振動特性と振動の歪みモードが表示され、「たわみ」ボタンをクリックすれば、たわみ最大値発生時刻の歪み分布とたわみ分布および最大たわみの時刻歴が表示される。

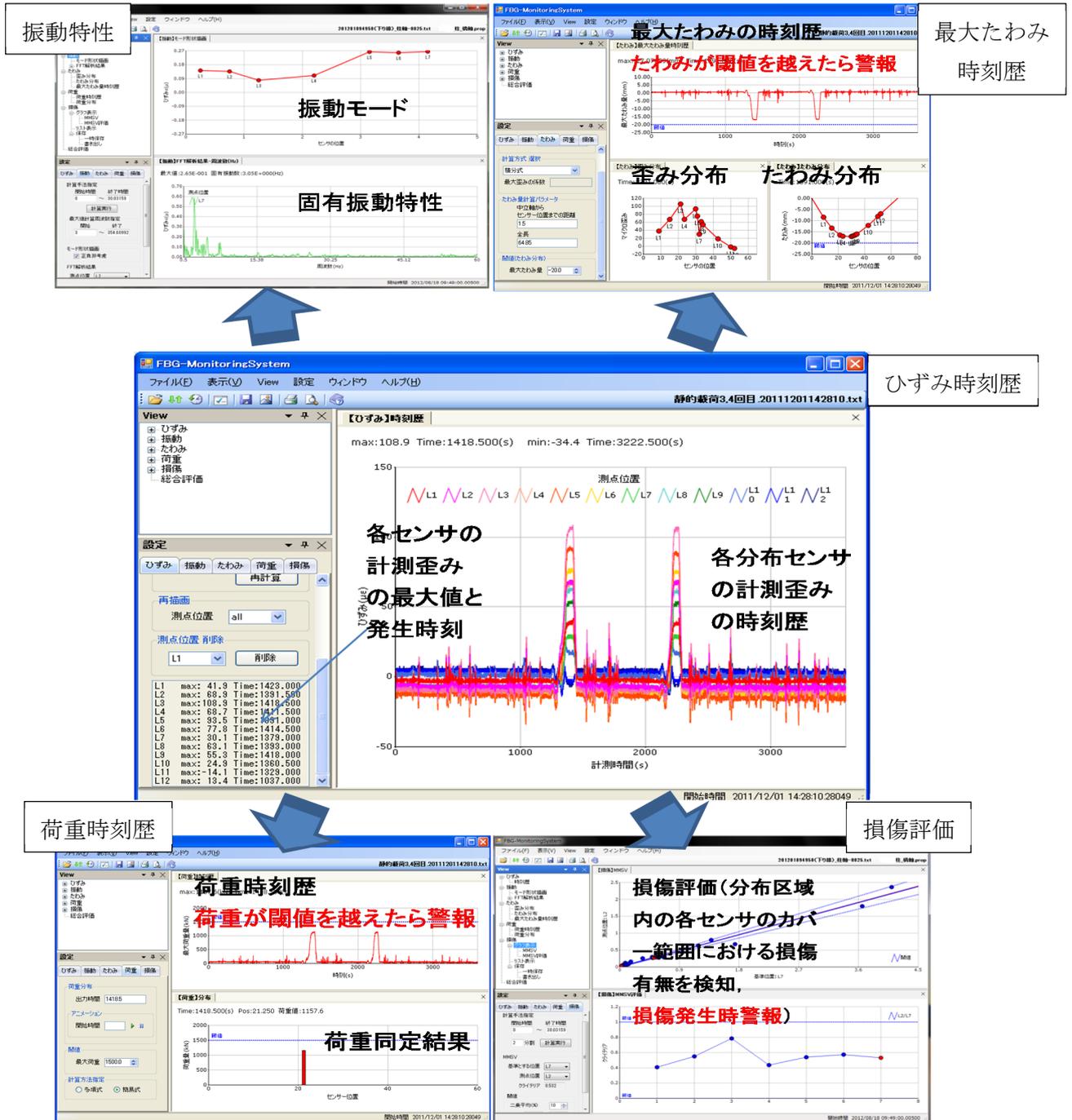


図 6. 分布センシング構造評価エンジン SforD による計測データ処理のプロセス

たわみの計算には橋スパン両端境界条件の種類ごとに計算式が用意され、単純梁・片持ち梁・連続梁・変断面梁などに対応している。たわみの閾値の設定ができ、最大たわみが閾値を超えたら警報が発報される。同様に「荷重」ボタンをクリックすれば荷重同定結果と荷重時刻歴が表示され、最大荷重が閾値を超えたら警報が発信される。

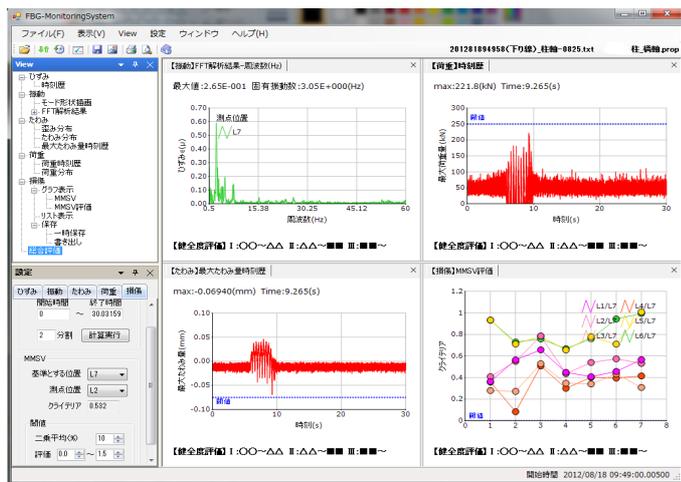


図 7. 構造評価エンジン SforD の総合評価出力

損傷は荷重変動に依存しない構造物のマクロ歪みモードベクトル (MMSV) の変動を検知指標にして、ひび割れなど損傷が発生した場合、該当センサの MMSV が反応し、損傷発生時刻と発生位置を検知して、閾値を超えたら警報が発信される。図 7.に構造物の振動、たわみ、荷重と損傷の総合評価の出力を示す。

### 3. SforD の応用例：妙高大橋、川根大橋、鉄道高架橋

分布センシング構造評価エンジン SforD を用いて、妙高大橋や川根大橋など数多くの道路橋や鉄道高架橋にモニタリングが実施されている。



図 8. 妙高大橋に実装したロングゲージ FBG 分布センシングシステム

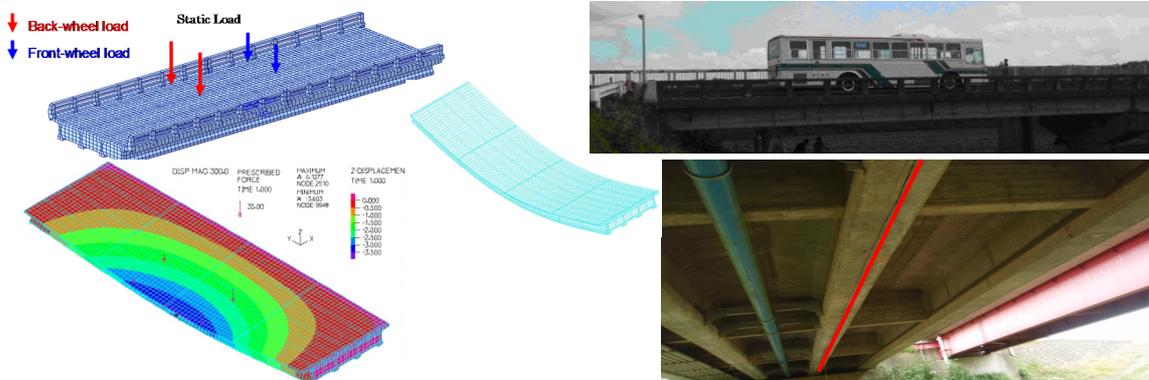


図 9. 川根大橋に実装したロングゲージ FBG 分布センシングシステム、計測と解析評価

昭和 47 年に建造された妙高大橋は国道 18 号、新潟県妙高市坂口新田に位置し、太田切川に架かる橋長 300m の長大橋である。近年コンクリートのひび割れや鉄筋の腐食が見られるようになったため、補修工事が実施され、架け替えまでの間、外ケーブルや防水対策を行い、モニタリングによる監視を継続しながら供用を継続している。外ケーブルを実装する前に光ファイバセンシングシステムを敷設し、常時モニタリングおよび外ケーブル緊張前後の載荷実験を実施し、分布センシング構造評価エンジン SforD による計測データ処理を行っている。また妙高大橋の計測計画時の予測と計測結果の評価に対して有限要素解析も行った。

昭和 38 年に建造された川根大橋（茨城県東茨城郡 1 スパン 22m×6 全長 130m の RC 橋）を対象橋梁として、分布型ロングゲージ FBG センサにより測定し、動的分布歪み情報を用いて、橋梁の健全性評価システムを構築した。本橋梁は供用後 48 年以上が経過しているが、局部的には遊離石灰の発生といった軽微な損傷は見られるものの、構造性能に影響するような大きな損傷は生じていない。自動車の走行や環境振動により発生している動的な分布歪み情報を FBG センサにより収集し、分布センシング構造評価エンジン SforD による計測データ処理を行っている。構造解析結果との比較により構造的な劣化状況を迅速かつ簡便に評価できるシステムを構築した。

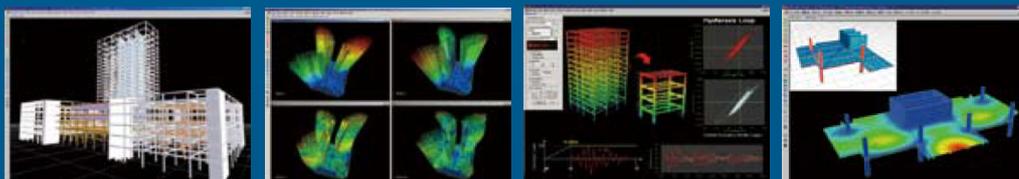
分布センシング構造評価エンジン SforD は橋梁の他、製造工場のフレーム系構造における環境振動モニタリングや荷重同定および損傷検知などにも適用される。

#### 参考文献

- 1) Kejian YANG (楊克儉), Hideaki ARAKI (荒木秀朗), Akito YABE (矢部明人), Zhishen WU (吳智深), Suzhen LI (李素貞), The optimum length of long-gage FBG sensors for structural health monitoring of flexure RC members, The Proceeding of 4th China-Japan-US Symposium on Structural Control and Monitoring, Oct.16-17, 2006, Hangzhou, China.
- 2) Suzhen LI, Structural Health Monitoring Strategy based on Distributed Fiber Optic Sensing, A Dissertation Submitted to the Graduate School of Science& Engineering, Ibaraki University for the Degree of Doctor of Engineering Division of Information and System Science Hitachi, Japan March 2007
- 3) 楊克儉, 荒木秀朗, 矢部明人, 吳智深, 李素貞, 光ファイバ分布センシングによる RC 曲げ構造物の荷重同定手法の研究, コンクリート構造物ヘルスマニタリング技術に関するシンポジウム論文集, PII-1~6, 2007 年 4 月
- 4) 楊克儉, 荒木秀朗, 矢部明人, 吳智深, 光ファイバ分布センシングによる RC 曲げ構造物の荷重分布形の同定, 日本土木学会第 62 回年次学術講演会, 2007 年 9 月
- 5) Kejian YANG(楊克儉), Hideaki ARAKI (荒木秀朗), Akito YABE(矢部明人), and Zhishen WU, ZS(吳智深). Load identification of flexure RC structures using distributed FBG sensing system, P122, The Proceeding of 3th International Conference on Structural Health Monitoring on Intelligent Infrastructure (SHMII-3), Nov.14-16, 2007, Vancouver.
- 6) Kejian YANG(楊克儉), Akito YABE(矢部明人), Kazumi YAMAMOTO(山本一美), Hideaki ARAKI(荒木秀朗), and Zhishen WU(吳智深), The Evaluation of KAWANE Bridge by distributed FBG sensors and by FEM analysis, The Proceeding of 4th International Conference on Structural Health Monitoring on Intelligent Infrastructure (SHMII-4), July22-24, 2009, Zurich, Switzerland.
- 7) 三橋祐太, 楊克儉, 渡辺一彦, 山本一美, FBG センサを用いた静的荷重載荷時の損傷同定, 日本土木学会第 64 回年次学術講演会, 2009 年 9 月

# 設計業務を広範囲でサポートする構造解析システム

## midas Gen マイダス/ジェン



- 静的線形解析
- 静的フレーム非線形解析
- 静的材料非線形解析
- 動的線形解析
- 動的フレーム非線形解析
- 免震制振解析
- 座屈解析
- P-デルタ解析
- 幾何学的非線形解析
- 施工段階解析
- 水和熱解析
- 断面算定
- 断面DB設定
- 構造図作成



詳細はこちら ↓

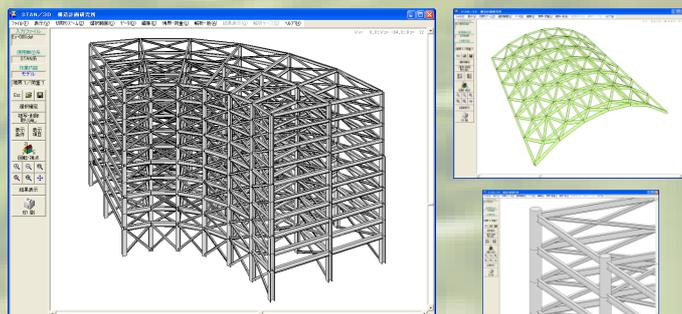
<http://www4.kke.co.jp/midas/>

midas Gen 及び midas FEA は、MIDAS IT社の商標です。表記の社名及び製品名等は、各社の登録商標または商標です。

3次元任意形状フレーム構造解析ソフトウェア

# STAN

Ver.10 リリース  
(平面応力要素追加)



3次元任意形状フレームモデルの静的・弾性  
応力解析を簡単かつスピーディに実行。  
5000節点、18000要素までのモデルを扱えます。  
形状に関する制限は一切ありません。



※画像はイメージです。実際の内容とは異なる場合がございます。

不安定でない限り、どんな形状のフレームモデルでも応力解析を実行します。  
不定形の構造物、プラント構造物、工作物の解析に威力を発揮します。

詳細はこちら → <http://www4.kke.co.jp/stan/>

## 汎用の非線形有限要素法解析プログラム

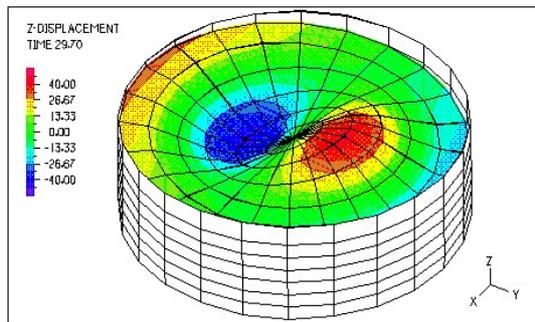
# ADINA

### 特徴

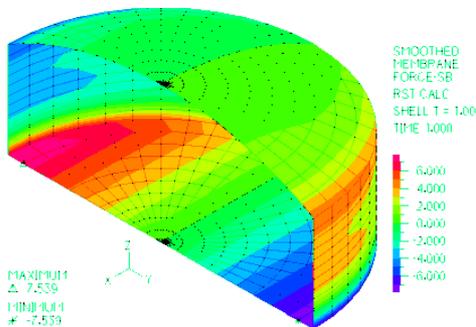
ADINA は、マサチューセッツ工科大学の研究成果を反映し ADINA R&D 社が開発した代表的な汎用の構造・熱伝導・熱流動解析プログラムです。非定常・非線形挙動を高精度な計算機能で解くことが可能です。 弊社ではプログラム販売の他、解析コンサルティング・サービスもご提供しております。

### 構造物—流体連成問題

貯蔵液体タンクのスロッシング解析



液面波形分布



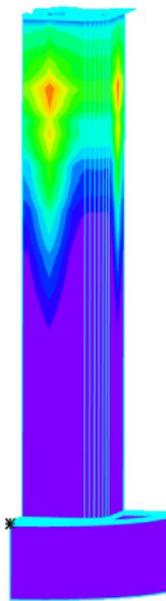
タンク壁面：断面力分布

#### ■スロッシング解析のポイント

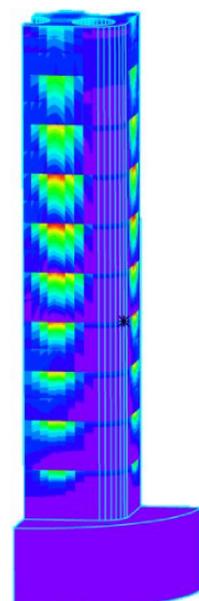
- ・構造と流体の相互作用解析
- ・タンクはシェル要素、流体は流体要素
- ・地震入力による動的応答解析
- ・スロッシング波高やタンク応力の算定
- ・浮き屋根の有無による差異の検討

### 非定常温度計算—熱応力問題

施工手順を考慮したRC橋脚の水和熱による、ひび割れ発生の予測



温度分布



引張応力度分布

#### ■水和熱によるひび割れ発生予測解析のポイント

- ・コンクリート打設サイクルの段階施工解析
- ・水和熱量の時間変化を考慮
- ・3次元非定常温度計算による温度予測
- ・型枠の脱却を反映した熱伝達境界の設定
- ・打設コンクリートのヤング係数の時間依存性

### 紹介セミナー・お試し版プログラム・教育訓練

ADINA プログラムや解析事例を紹介するセミナーをご用意しております。お試し版 CD とプログラム使用法の教育訓練もご提供致します。 また一般的な有限要素法解析についてのセミナーや教育も貴社のご事情に応じた内容で行います。 お気軽にご相談下さい。

## 時間領域有限要素法による低周波騒音解析

(株) 構造計画研究所  
防災・環境部 安重 晃

## 1. はじめに

騒音問題として近年注目されている現象に「低周波騒音」という問題があります。一般的には 100Hz 以下の周波数の騒音が低周波騒音と定義されていますが、さらに、20Hz 以下の音は超低周波音と呼ばれ、人が聴き取る事ができない音域となります。騒音問題は人の感覚的な問題であり評価が難しい現象ですが、低周波騒音による建具の振動や健康障害などの苦情が報告されており、発生源の特定や騒音対策が求められています。騒音という見えない現象の可視化や対策検討には、コンピュータシミュレーションが有効であると考えられます。

## 2. 有限要素法による騒音解析

騒音とは空気振動の伝搬問題であり、以下に示す速度ポテンシャルを導入した波動方程式を用いる事により、効率的に計算を行う事ができます。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} - C^2 \left( \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right) = 0$$

ここで  $\phi$  は速度ポテンシャル、 $C$  は音速を意味します。

速度ポテンシャルと圧力や速度には次のような関係があるので、有限要素法で速度ポテンシャルを計算した後に、容易に圧力や速度を求める事ができます。

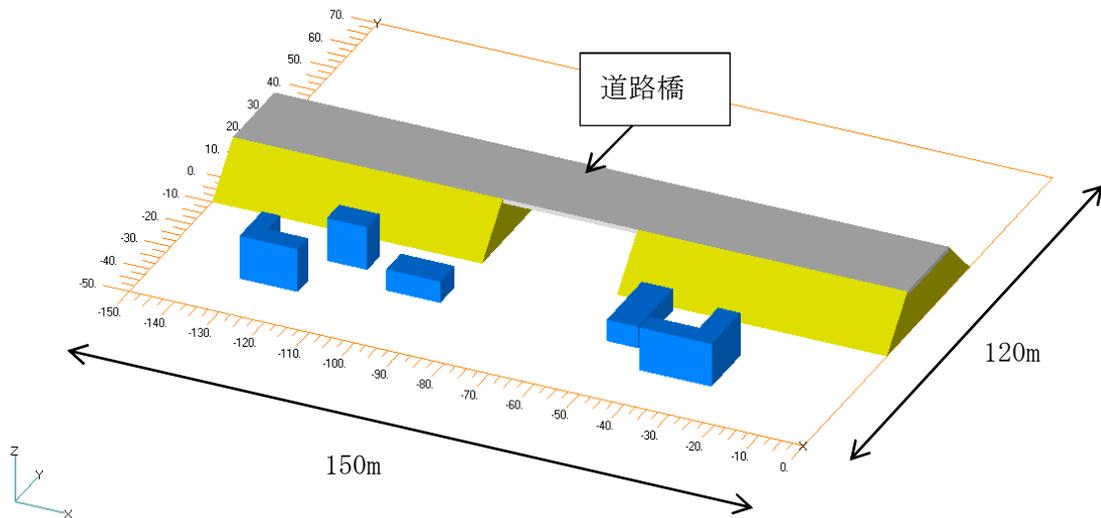
$$p = \rho \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad u = -\frac{\partial \phi}{\partial x} \quad v = -\frac{\partial \phi}{\partial y} \quad w = -\frac{\partial \phi}{\partial z}$$

騒音解析を実施する場合、音の周期性を仮定し周波数領域の方程式（ヘルムホルツ方程式）を用いる場合もありますが、本解析では時間領域の方程式（波動方程式）を用いて解析をする事とします。波動方程式の時間微分は中心差分で離散化し、重み付き残差法を適用して有限要素方程式を導出します。

波動伝搬問題を有限要素法で計算する場合には、一波長を数メッシュで表現する必要があり、ある程度細かい計算メッシュを作成する必要があります。30Hz 程度の低周波音であれば、波長は 10m 程度となりますから 1m 程度のメッシュで計算領域をモデル化する事になります。近年の PC の性能向上から 100 万メッシュ程度の 3 次元解析もそれほど難しい事ではなくなりましたので、100~200m 程度の範囲であれば、3 次元有限要素法で騒音解析を実施することも十分可能です。

### 3. 低周波騒音解析事例

図一1に示すような道路橋が10Hzで振動している状況を想定します。道路橋の振動が空気振動として伝わる騒音問題を計算したものです。



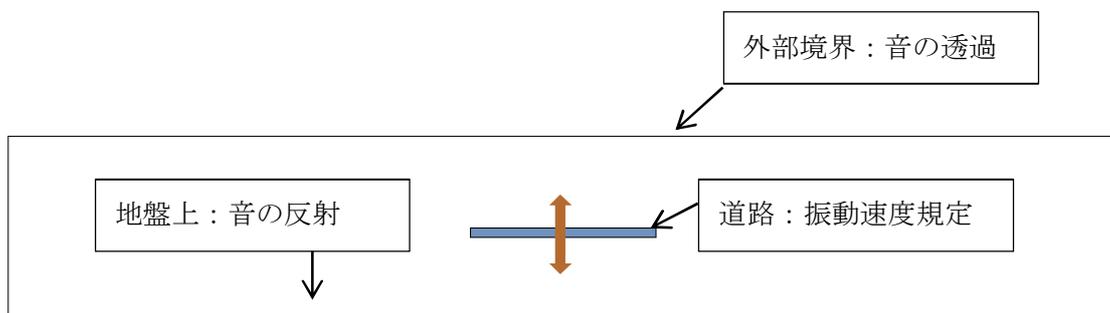
図一1 計算モデル

### 4. 境界条件と荷重条件

騒音解析を実施するための境界条件と荷重条件には次のような条件を適用します。

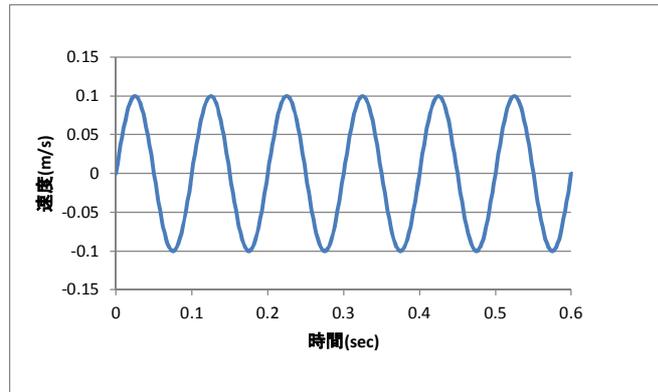
- (1) 固体境界上：音の反射（法線方向速度=0）
- (2) 振動物体上：物体速度の規定
- (3) 外部境界上：音の透過

図一1の計算モデルに適用すると以下のような条件となります。



図一2 境界条件と荷重条件

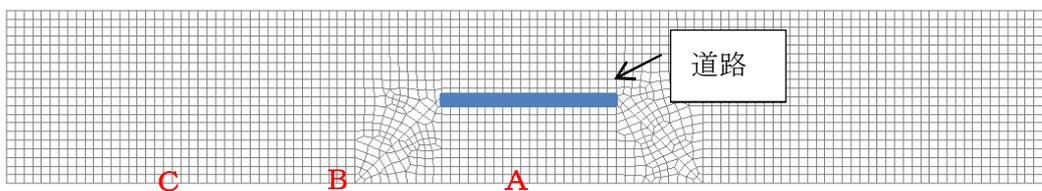
本解析では、道路橋の床版が右図のように10Hzで振動している状態を想定し、道路橋周辺の騒音伝搬状況を計算しています。



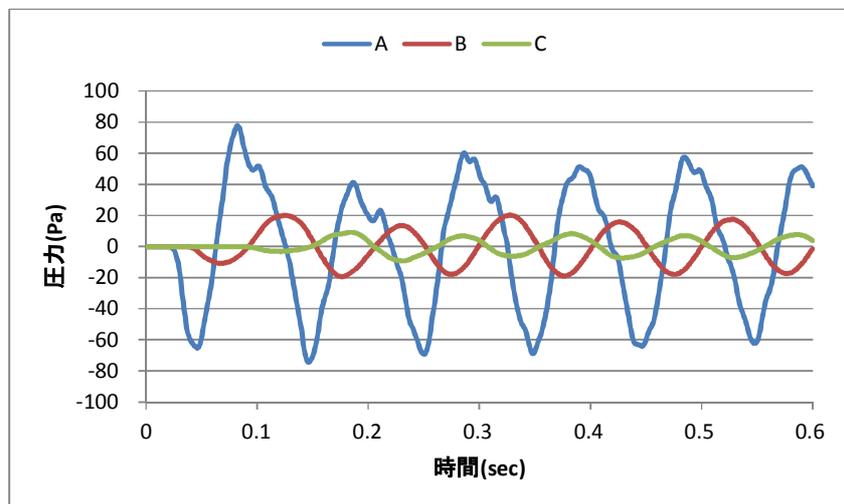
図一3 道路橋の振動速度変化

### 5. 計算結果

道路断面での圧力変化を以下に示します。道路橋直下では大きな圧力となっていますが、道路橋から離れるに従い圧力変動が小さくなっている事が分かります。

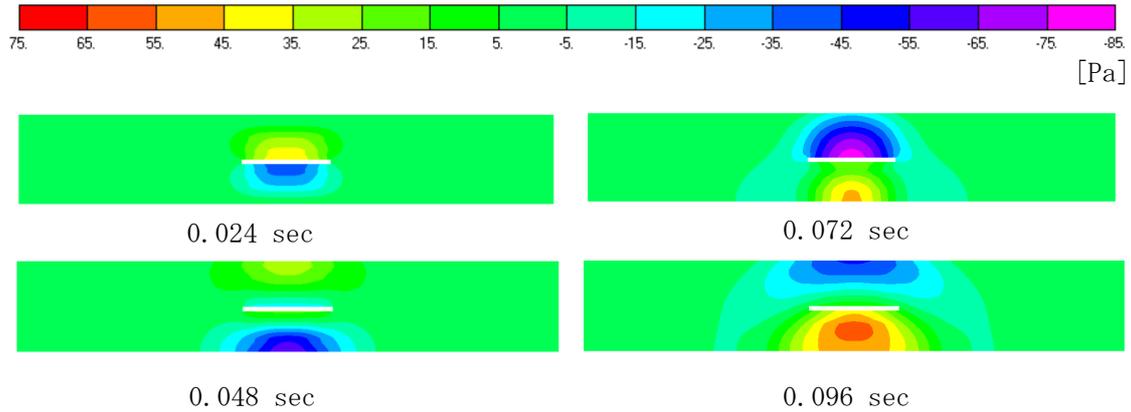


図一4 圧力変化の作図位置



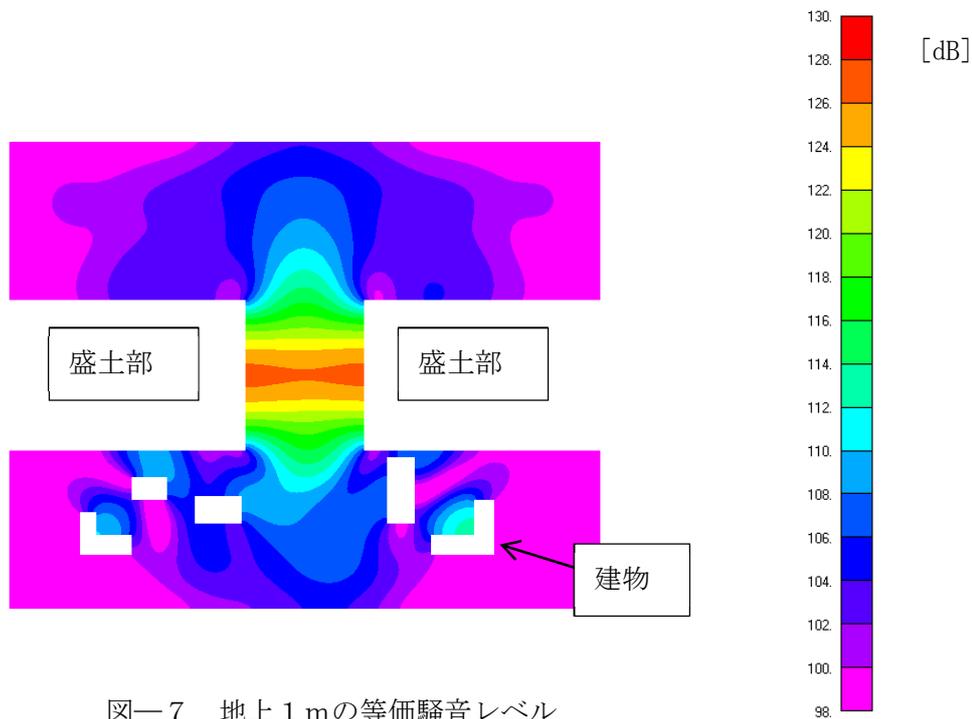
図一5 道路下の圧力変動

図一6に道路床版付近の圧力分布の変化を示します。道路床版の振動により、道路床版の上下に圧力波が発生し、圧力が伝搬している状況が分かります。床版下面から発生した圧力は地盤上で反射する状況が計算されています。



図一六 道路床版周辺の圧力分布の変化

図一七に圧力の時間変化から計算した等価騒音レベルを示します。道路周辺の建物配置や形状の影響により局所的に騒音が大きくなる箇所や、建物の後背部で騒音レベルが小さくなる箇所が発生している事が分かります。



図一七 地上1mの等価騒音レベル

## 6. まとめ

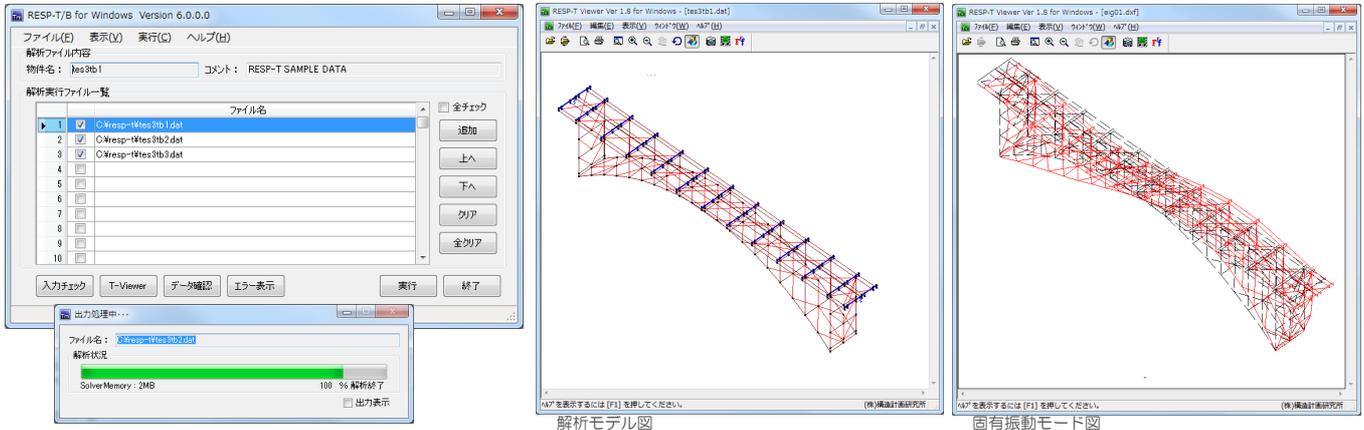
有限要素法による低周波騒音の解析事例を示しました。本解析では道路橋の振動に単純なサイン波を仮定しましたが、実測データや動的振動解析による振動速度を適用する事も可能であり、より現実的なシミュレーションを実施する事も可能です。

# RESP-T

Version 6.0

3次元静的・動的複合非線形解析プログラム

あらゆる土木・建築構造物に対応する3次元静的・動的複合非線形解析プログラムです。公的研究機関、大学、建設会社、設計コンサルタント等多数の導入実績と豊富な使用実績に裏付けられた信頼性を有し、充実したサポート体制による高い信頼度を持った製品です。



- 相関モデル(M-N、M-M、M-M-N) 時々刻々と変化する軸力に対して、対応する曲げ耐力を計算し、剛性変更の制御をすることが可能
- 幾何学的非線形対応 修正ラグランジュ定式化による幾何学的非線形を考慮可能
- 様々な復元力モデルに対応 硬化則型を始め、さまざまな復元力を使用することが可能
- 粘性減衰力モデル 質量比例型、剛性比例型(部材別指定可)、Rayleigh型(部材別指定可)、モード別、ひずみエネルギー比例型が考慮可能

## 適用事例

道路橋、鉄道橋、地中構造物、上下水道施設、河川構造物、港湾施設、電力施設  
プラント構造物、高層建築物、免震・制振構造物、鉄塔

## 解析機能

初期応力状態作成、静的解析<sup>(1)</sup>(荷重増分法、変位増分法、弧長増分法、強制変位法)、固有値解析、動的解析(モード合成法、直接積分)、座屈固有値解析  
\* (1)荷重増分と強制変位の同時作用が可

## 要素

トラス要素<sup>(1)(2)</sup>、ビーム要素<sup>(1)(2)</sup>、材軸直交分割要素<sup>(1)(2)</sup>、パネ要素<sup>(2)</sup>、剛域付き4点支持パネ要素<sup>(2)</sup>、剛域付き2点支持パネ要素<sup>(2)</sup>、MSS要素<sup>(2)</sup>、平面ひずみ要素<sup>(1)(2)</sup>、平面応力要素<sup>(1)(2)</sup>、板要素、減衰要素<sup>(2)</sup>、剛域付き4点支持減衰要素<sup>(2)</sup>、剛域付き2点支持減衰要素<sup>(2)</sup>、Maxwell要素<sup>(2)</sup>  
\* (1)幾何学的非線形考慮可 (2)材料非線形考慮可

## 復元力特性

逆行型、武田型、スリップ型、JR総研RC型<sup>(1)</sup>、JR総研SRC型<sup>(1)</sup>、辻モデル、岡本型、D-Tri(電共研案)型、武藤型、標準型、深田型、原点指向型、最大点指向型、標準型テトラリニア<sup>(1)</sup>、原点指向型テトラリニア<sup>(1)</sup>、最大点指向型テトラリニア<sup>(1)</sup>  
\* (1)最終勾配負考慮可

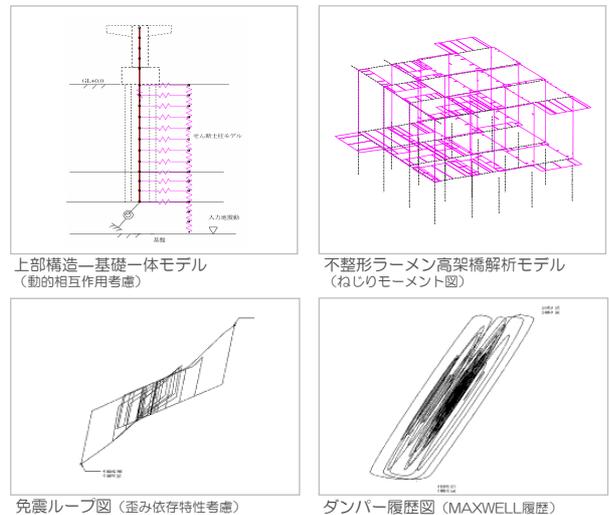
## 特殊復元力特性

D-Tri型、ひび割れ域剛性低減型、バイリニアスリップ型、D-Tri(電共研案)型、3次関数逆行型、歪み依存型バイリニア型、高減衰積層ゴム修正バイリニア型、Ramberg-Osgood(hardning考慮)型、(株)ブリジストン鉛入り積層ゴム型、東洋ゴム(株)HDR型修正バイリニア型、新日鐵(株)鋼棒ダンパー関数近似型、新日鐵(株)鋼棒ダンパーバイリニア型、5社共通仕様新LRB型、新日鐵U型ダンパー(関数定義式)型、ゴム支承トリリニア、オイレス工業(株)BMRダンパー型

## 復元力特性(減衰)

変位依存マルチリニア逆行型、変位依存3次関数逆行型、制震壁(オイレス)型、速度依存バイリニア逆行型、速度依存トリリニア逆行型

◆ 解析コンサルティングも行っております。



## 製品

- RESP-T/B for Windows (大変形対応版)
- RESP-T/A for Windows (弾塑性対応版)
- RESP-T/E for Windows (機能限定版)
- RESP-T/S for Windows (静的解析限定版)

## 動作環境

- 対応OS  
Windows XP / Vista / 7 (64bitOS対応)
- 必要メモリ  
256MB以上
- 必要ディスク  
1GB以上

<http://www.kke.co.jp/respt/>

# DARS

Version 1.2  
 鉄道構造物等の3次元耐震性能照査プログラム

鉄道構造物等の3次元耐震性能照査プログラム「DARS」が鋼・複合構造物に対応しました。これによりさらに鉄道構造物の3次元評価の手間を削減できます。

## 鋼・複合構造物対応

The screenshot displays the DARS software interface with several key windows:

- Model Input Window:** Shows a 2D cross-section of a truss member with dimensions (width: 2000, height: 1186, depth: 2550). It includes a table for section properties:
 

断面種別	Steel断形	寸法	板厚	板幅	引出長さ	本数	補綴材
圧縮側フランジ	GSSteel	32	2760	175	4	18	
引張側フランジ	GSSteel	32	2350	0	4	2	
ウェブ	GSSteel	25	1186	0	2		
- Analysis Settings Window:** Shows analysis parameters such as "破壊モード推定解析結果" (Failure mode estimation analysis results) and "所要降伏震度スペクトル法" (Required yield seismic intensity spectrum method).
- Results Window:** Displays a "荷重-変位曲線(eILp)" (Load-Displacement Curve) graph showing the relationship between load and displacement for different structural components.

- 対象構造形式
  - ✓ ラーメン高架橋
  - ✓ ラーメン橋脚
  - ✓ 連続桁橋
  - ✓ 杭基礎（場所打ち杭・直接入力）
  - ✓ SRバネ（直接入力）
  - ✓ 支承バネ（直接入力）
- 対象部材
  - ✓ RC（矩形・円形・T型）
  - ✓ 鋼部材（矩形・円形）
  - ✓ SRC（矩形・T型）
  - ✓ CFT（円形）
- 計算機能
  - ✓ 破壊モード推定解析（静的非線形解析）
  - ✓ 所要降伏震度スペクトル法（静的非線形解析）
  - ✓ 時刻歴動的非線形応答解析
  - ✓ 固有値解析

- ◆ 改訂作業中の鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）にも対応予定です。
- ◆ 解析コンサルティングも行っております。

<http://www.kke.co.jp/dars/>

DARSは、（公財）鉄道総合技術研究所と（株）構造計画研究所との共同開発によるプログラムです。



とし、二次勾配は 1/10000 とした。軸力は初期応力として与え、軸力一定状態で片持ち梁の先端に水平荷重を載荷した。各ケースの M- $\theta$  曲線を図 1 に示す。また、表に全塑性モーメントによる塑性率基点と提案式による塑性率基点の比率を示す。検討した 9 ケースすべてにおいて 10%以内の差で塑性率基点を評価できていることが確認できる。

(2)軸塑性率

曲げ塑性率と同様の片持ち柱のモデルにおいて、解析ケースとして全塑性モーメントの 80%、40%、モーメント 0 のモーメントを初期応力として与え、モーメント一定状態で片持ち梁の先端に鉛直荷重を載荷した。結果を図 1 に示す。

モーメントなしの場合は軸力しか考慮されていないため、降伏軸力でバイリニアとなり塑性率基点も適切に評価されている。モーメントが大きくなるにつれ、軸剛性が十分低下した点が塑性率基点となっている様子が見てとれる。

5. まとめ

- 1.提案した方法により、ファイバモデルにおいて M-N モデルに近い塑性率が計算できた。
  - 2.曲げ塑性率については断面ごとに傾向は異なるもの、おむね M-N モデルと近い塑性率基点を設定できた。
  - 3.軸塑性率については剛性が十分低下する点を基点とすることができた。
- その 2 では骨組みモデルによる妥当性の検証を行う。

参考文献

- 1)岡田恒夫・関松太郎「電算機-アクチュエータオンラインシステムによる鉄筋コンクリート骨組みの地震応答実験(その1)」日本建築学会論文報告集、第 275 号,pp25-31,1979
- 2)為広尚起ほか「軸力と 2 軸曲げを考慮した立体構造物の非線形解析について」日本建築学会・第 14 回情報システム利用技術シンポジウム 1991 年
- 3)宇佐美他「鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン」社団法人 日本鋼構造協会

表 1 鉄骨断面形状

	形状
H 型	H-750x150x16x32
BOX 型	□-500x500x19x19
PIPE 型	○-500x12

表 2 塑性率基点比較

ケース/形状	提案式基点 $\theta$ / 全塑性 $\theta$		
	H	BOX	PIPE
降伏軸力 80%	1.08	1.04	1.07
降伏軸力 40%	0.95	0.95	0.92
軸力なし	0.99	0.99	1.00

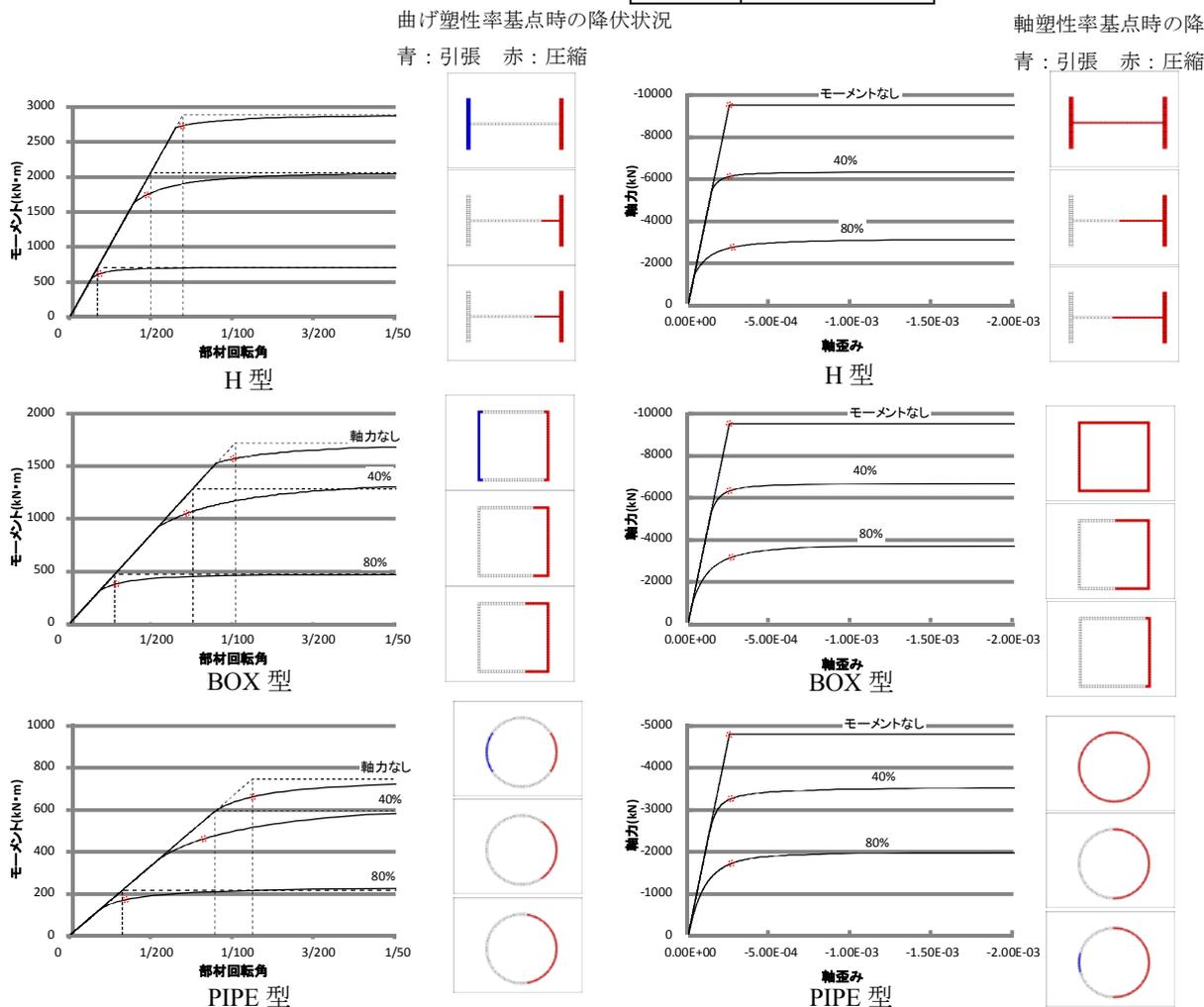


図 1 M- $\theta$  および N- $\epsilon$  曲線

ファイバー要素断面の塑性率算定に関する考察  
その2 鉄骨造建物の荷重増分解析による検証

正会員○會田裕昌\*1  
同 鈴木 壮\*1  
同 梁川幸盛\*1  
同 宇佐美祐人\*1  
同 木村まどか\*1

弾塑性解析                      塑性率                      ファイバーモデル

1. はじめに

その 1 で提案した塑性評価方法について建物レベルでファイバーモデルと M-N モデルで弾塑性解析における応力解析と塑性率算定を行い、柱の軸力と曲げモーメントが刻々と変動する場合についての比較検証を行う。

2. 検証モデルの概要

検証に用いる建物モデルは柱に高軸力状態を作る高層モデルと低軸力状態の低層モデルの 2 パターンを用いた。解析モデルは 1 階柱でヒンジが発生しやすくなるように断面を調整している。

表 2.1 に各モデルの緒元、図 2.1 にモデル図を示す。

表 2.1 建物モデル緒元

	低層モデル	高層モデル
階数	3 階	15 階
梁代表断面	G3 : H-550x200x12x16	G3 : H-800x250x16x28
柱代表断面	BX-300x300x19	BX-500x500x28
使用鋼材	柱梁 SM490	柱梁 SM490
1 階までの建物総重量	7776kN	40622kN

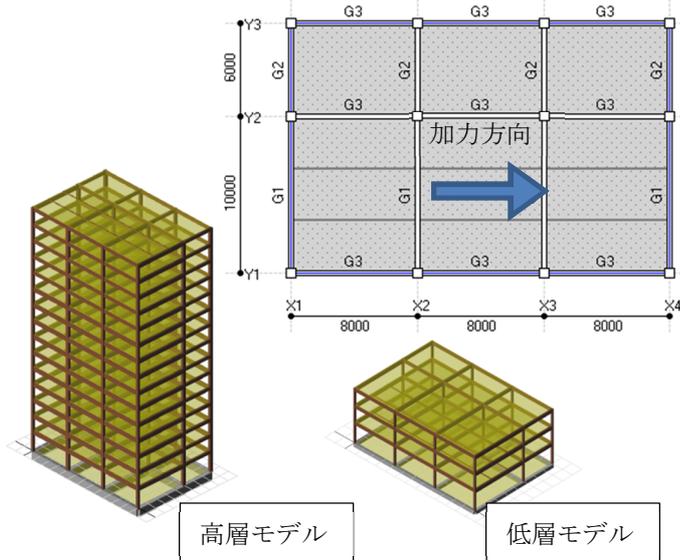


図 2.1 建物モデル図（平面図は共通）

3. 応力解析結果

図 3.1、3.2 に各モデルごとの荷重増分解析による応力解析結果を示す。応力は 3 階モデル、15 階モデル共に 1/75 変形時を採用した。なお、解析はファイバーモデルの解析には RESP-F3T（構造計画研究所）、M-N モデルの解析には RESP-F3（構造計画研究所）を用いた。

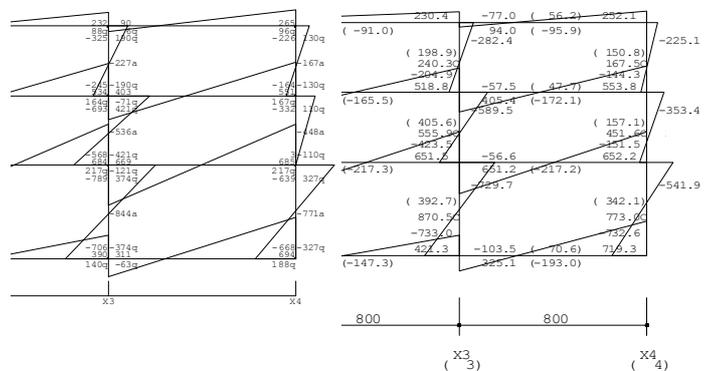


図 3.1 応力解析結果（3 階モデル）

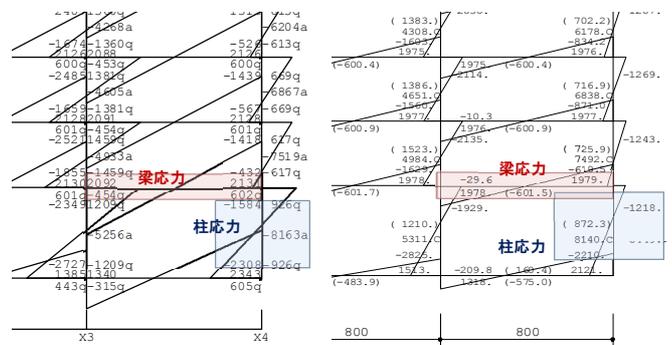


図 3.2 応力解析結果（15 階モデル）

図 3.1 の 3 階モデルでは柱応力が 1 割程度の誤差があるが 15 階モデルではファイバーモデルと M-N モデルでほぼ同様の結果となっている。

4. 塑性率算定結果

図にファイバーモデルによる 1 階柱の M-θ グラフ及び塑性率基点のグラフ、図にファイバー断面内の塑性状況、

また、表に算出した塑性率のまとめを示す。

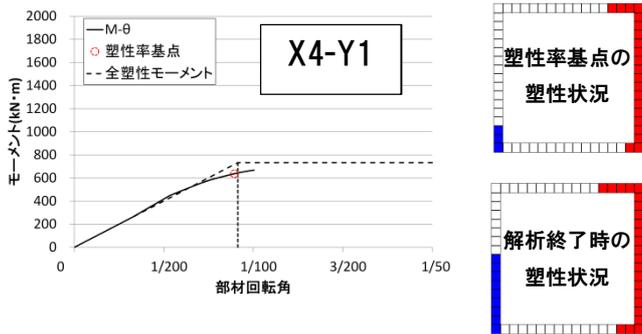


図 4.1 M-θ グラフと塑性率基点 (3 階)

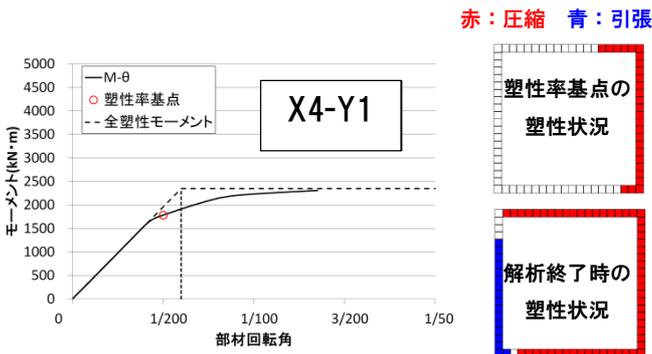


図 4.2 M-θ グラフと塑性率基点 (15 階)

表 4.1 1 階柱曲げ塑性率算定結果まとめ

柱位置	3 階モデル		15 階モデル	
	ファイバー	M-N	ファイバー	M-N
X1-Y1	1.04	弾性	1.51	1.58
X2-Y1	1.71	1.62	2.69	2.29
X3-Y1	1.67	1.60	2.73	2.41
X4-Y1	1.11	1.00	2.70	2.86
X1-Y2	1.13	弾性	1.44	1.45
X2-Y2	1.80	1.59	2.66	2.30
X3-Y2	1.78	1.57	2.70	2.50
X4-Y2	1.18	1.06	2.86	3.03

表 4.2 1 階柱軸塑性率算定結果まとめ (15 階)

柱位置	ファイバー	M-N
X1-Y1	36.39	0.18
X2-Y1	16.21	0.29
X3-Y1	7.51	0.31
X4-Y1	26.01	0.47
X1-Y2	弾性	0.22
X2-Y2	6.88	0.33
X3-Y2	9.77	0.36
X4-Y2	35.6	0.53

表を見ると曲げ塑性率は高層で 10%、低層で 5%程度の誤差が出ているが概ね近い値を出している。

また、軸塑性率は 15 階でファイバーモデルが軸降伏する挙動をしているのに対して MN モデルでは一様に弾性となっている。これはファイバーモデルでは断面内の分割要素が曲げモーメントにより一部塑性化しているため、断面全体での軸剛性が低下し、負担できる軸力が頭打ちになってくるため M-N モデルに比べ負担する軸力が小さくなる。図 4.3 に柱の N-ε の履歴を示す。

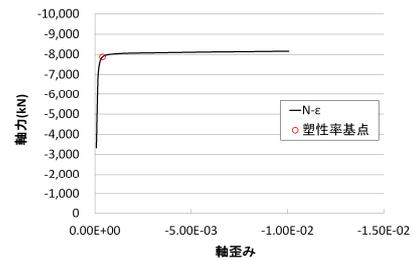


図 4.3 N-ε グラフ (15 階 X4-Y1)

図の履歴を見ると応力ひずみ関係としては軸降伏していることが明らかであるが、M-N モデルでは軸耐力を曲げモーメントが 0 の時の軸耐力で判定しているため応力解析結果に違いが生じる。

グラフを見ると軸方向においても本評価方法による塑性率基点は概ね妥当な位置にあるが、M-N モデルとの整合性という点で課題が残る。

## 5. まとめ

ファイバーモデルを用いた際に M-N モデルにおける塑性率と同等の評価を行う手法を提案した。

以下に要点を挙げると

- ・曲げモーメントの塑性率は M-N モデルと概ね近い結果を得ることができた。

- ・軸塑性率についてはモデル手法の違いによる影響から高軸力域では応力及び塑性率の整合性を合わせるのは困難となった。ただし、ファイバーモデルとしての塑性率評価としては有用であると言える。

今後は RC 造の建物に対しての検証も課題としていく。

### 参考文献

- 1)岡田恒夫・関松太郎「電算機-アクチュエータオンラインシステムによる鉄筋コンクリート骨組みの地震応答実験 (その1)」日本建築学会論文報告集、第 275 号、pp25-31、1979
- 2)為広尚起ほか「軸力と 2 軸曲げを考慮した立体構造物の非線形解析について」日本建築学会・第 14 回情報システム利用技術シンポジウム 1991 年
- 3)宇佐美勉「鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン」社団法人 日本鋼構造協会

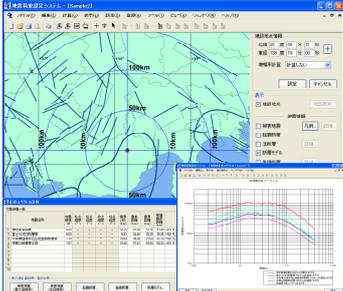
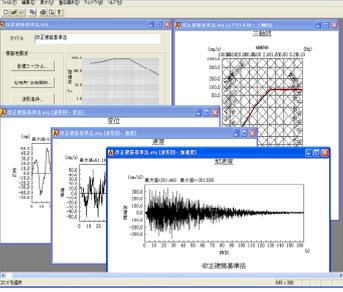
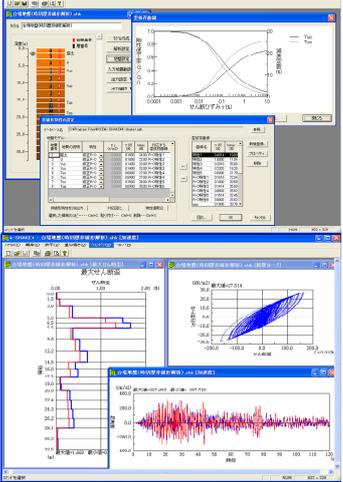
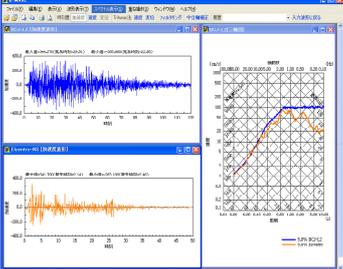
# 設計用入力地震動作成システム

## 【設計用入力地震動作成システムとは】

耐震設計に用いる入力地震動を建設地点に応じて作成することができるソフトウェアです。基準・法令等で定められている応答スペクトルに適合する模擬地震波を作成するだけでなく、建設地点周辺での地震環境や地盤特性を考慮した入力地震動を作成することができます。

2011年6月までに、各パッケージを順次6.0または6.1にバージョンアップし、Windows 7への対応や新機能の追加等を行いました。また、SeleSの被害地震DBを更新し、2011年4月までに発生した地震を追加収録しました。

## 【各パッケージの機能概要と販売価格】

パッケージ名	概要	
<p>地震荷重設定システム <b>SeleS for Windows</b> セレス</p> <p>販売価格 フル機能版 : 2,205,000円 (税込) 翠川・小林版 : 1,890,000円 (税込) ダム機能版 : 1,890,000円 (税込)</p>	<p>耐震設計の際の地震荷重を設定するために、建設地点周辺の地震環境を検索し、被害地震および活断層によってもたらされる建設地点での地震動強さを評価するシステムです。各種距離減衰式による建設地点での最大振幅計算や再現期待値計算、安中ほか(1997)やH20ダム式による応答スペクトルの計算、断層の拡がりを考慮した翠川・小林手法によるスペクトル評価が可能です。</p>	
<p>模擬地震波作成プログラム <b>ARTEQ for Windows</b> アーテック</p> <p>販売価格 フル機能版 : 1,050,000円 (税込) 建築限定版 : 735,000円 (税込) 土木限定版 : 525,000円 (税込)</p>	<p>構造物設計用の地震応答スペクトルを設定して、その応答スペクトルに適合する地震波を作成するプログラムです。改正建築基準法の告示1461号や設計用入力地震動作成手法技術指針(案)、道路橋示方書に準拠した目標スペクトル、耐専スペクトル、ダムの照査用下限スペクトル、SeleSで算定した地震応答スペクトル等を設定することが可能です。</p>	
<p>成層地盤の地震応答解析プログラム <b>k-SHAKE+ for Windows</b> ケイシェイク プラス</p> <p>販売価格 フル機能版 : 840,000円 (税込) 基本機能版 : 525,000円 (税込)</p>	<p>水平方向に半無限に拡がる成層地盤を対象とした地震応答解析プログラムです。強震記録波形やARTEQで作成した模擬地震波を入力地震波として与えることが可能です。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■基本機能 重複反射理論による等価線形解析機能を有します。土の非線形性は歪依存特性により考慮することが可能です。</li> <li>■非線形解析機能(フル機能版のみ) 直接積分法による時刻歴非線形解析機能を有します。直接積分法は線形加速度法を用いて、レーリー減衰により粘性減衰を指定することができます。復元力特性として、線形/非線形(Ramberg-Osgoodモデル、Hardin-Drebnichモデル、骨格曲線・履歴曲線を別々に設定する方法)を選択することが可能です。</li> </ul>	
<p>波形処理プログラム <b>k-WAVE for Windows</b> ケイウェイブ</p> <p>販売価格 : 210,000円 (税込)</p>	<p>強震記録波形データやARTEQ、k-SHAKE+で得られた波形データを読み込み、積分・微分・フィルタ処理・中立軸補正処理・各種スペクトル表示を行う波形処理プログラムです。複数の波形に対して行った処理結果を簡単に重ね描き表示することが可能です。また、波形データに対する処理過程を保存することができ、前回終了時の状態から作業を再開することができます。</p>	

設計用入力地震動作成システム



振幅包絡線のマグニチュードが大きい地震への適用性に関する一検討

高浜 勉\* 澤飯明広\*  
大場政章\*\* 石川智美\*\*

模擬地震波 振幅包絡線 継続時間

1.はじめに

高層建築物や原子炉施設などの大規模な建築物では、時刻歴応答計算による構造計算が行われている。その時刻歴応答計算に用いられる模擬地震波の作成では、目標とする応答スペクトルに適合するように、正弦波の重ね合わせにより、振幅を調整して時刻歴波形を作成する方法が多く用いられる。この方法で位相角に一樣乱数を用いる場合には、過去の地震記録の統計解析から得られた振幅包絡線に乗じることにより経時特性を与える。

このような振幅包絡線はいくつか提案されており、例えば原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-2008)<sup>1)</sup>(以降、技術指針という)では、Nishimura et al.(2001)<sup>2)</sup>の振幅包絡線の設定方法が掲載されている。しかし、この論文には、現在のような地震観測網の整備後観測された地震が反映されていない。そこで本研究では、近年の地震観測記録を用い、技術指針に掲載されている振幅包絡線の設定方法について、マグニチュードが大きいレンジ(M7~8)での適用性を検討した。

2.振幅包絡線の推定方法

技術指針の振幅包絡線の設定方法は検討方法の詳細が記載されていない。そのため、既往の研究を参考に以下の方法で推定した振幅包絡線を利用して適用性を検討した。式形は技術指針の振幅包絡線と同じ Jennings 型とし、時刻  $t_D$  で振幅包絡線の最大値の 0.1 倍となる形状とした。

$$\begin{aligned}
 E(t) &= 0 & (0 \leq t \leq t_A) \\
 E(t) &= A((t-t_A)/(t_B-t_A))^2 & (t_A \leq t \leq t_B) \\
 E(t) &= A & (t_B \leq t \leq t_C) \\
 E(t) &= A \cdot \exp\left(\frac{\ln(0.1)}{t_D-t_C}(t-t_C)\right) & (t_C \leq t \leq t_D)
 \end{aligned} \tag{1}$$

地震観測記録は、表面波や表層地盤の影響が小さい KiK-net の地中記録を利用し、(1)式の各パラメータの推定には、佐藤ほか(2002)<sup>4)</sup>と同様に加速度波形から 0.4 秒のウィンドウで絶対値の最大値を 0.2 秒間隔で取り出した波形(以降、モデル化波形という)を利用した。

パラメータの推定は、壇・渡辺(1989)<sup>3)</sup>および佐藤ほか(2002)<sup>4)</sup>を参考に、以下の①~④の手順で行った。

- ① 振幅値 :  $A$  以下の面積と全面積との比が一定値以上となる最小値を探索する。この一定値は、試行錯誤により 95%と設定した。
- ② 振幅が初めて  $A$  以上となる時刻を  $t_B$ 、最後に  $A$  以

上となる時刻を  $t_C$  とする。

- ③ 時刻  $t_C$  以降で、モデル化波形と振幅包絡線との対数の差の二乗和が最小となる時刻を  $t_D$  とする。
- ④ 時刻  $t_B$  から時刻を戻していき、モデル化波形と振幅包絡線との面積比を計算する。これが初めて一定値以上となる時刻を  $t_A$  とする。この一定値も試行錯誤の結果 95%と設定した。

図 1 に本研究の方法と佐藤ほか(2002)<sup>4)</sup>と同様に非線形最小二乗法で振幅包絡線のパラメータを推定した場合との比較を示す。本研究の方法は非線形最小二乗法に対しやや大きめに振幅包絡線を設定していることがわかる。

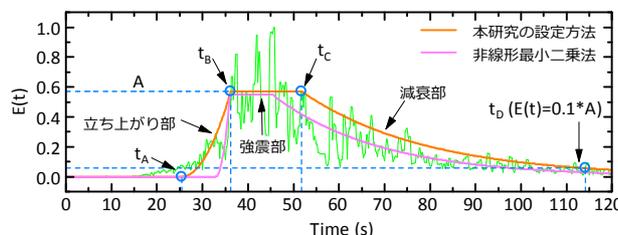


図 1 本研究の推定方法と最小二乗法との比較例

3.振幅包絡線の比較

検討に利用した地震を表 1 に示す。これらは M7 以上で断層モデルが公開されている地震から、地震タイプとマグニチュードの値が偏らないように選定したものである。これらのうち、滑り分布一定で算出した等価震源距離が 200km 以内の水平動の観測記録を比較対象とした。

表 1 検討に利用した地震一覧

発生日	Mj	名称/震央	地震タイプ
2000/10/06	7.3	2000 年鳥取県西部地震	地殻内
2003/09/26	8.0	2003 年十勝沖地震	プレート境界
2005/03/20	7.0	福岡県西方沖	地殻内
2008/06/14	7.2	2008 年岩手・宮城内陸地震	地殻内
2008/09/11	7.1	十勝沖	プレート境界
2011/03/09	7.3	三陸沖	プレート境界
2011/04/07	7.2	宮城県沖	スラブ内

図 2 に立ち上がり部( $t_A-t_B$ )の継続時間について、本研究の推定結果と技術指針の振幅包絡線の設定方法との比較を示す。左図は本研究の立ち上がり部の推定結果との比較、右図は佐藤ほか(2002)<sup>4)</sup>と同様に、強震部( $t_C-t_B$ )の推定結果の 1/3 とした場合との比較である。技術指針の振幅包絡線の設定方法は本研究の結果の平均から下限程度であり、強震部の 1/3 の方が平均的には近い。

図 3 は強震部( $t_C-t_B$ )の比較である。技術指針の振幅包絡線の設定方法は、本研究の結果の平均値+1σ 程度である。

本研究の方法は、図 1 のように強震部の継続時間を比較的長めに設定するが、技術指針の振幅包絡線の設定方法はこれよりもさらに長い継続時間を与える可能性が高い。

図 4 は減衰部( $t_D-t_C$ )の比較である。左図は  $M=8.0$ 、右図は  $M=7.0\sim 7.3$  で比較している。ばらつきは大きいものの、技術指針の設定方法は概ね平均的な関係を説明している。しかし、本研究の結果は、鳥取県西部地震、岩手・宮城内陸地震で技術指針の設定方法に対し全体的に継続時間が長い傾向が見られている。一例を図 5 に示す。この点は今後さらなる検討が必要である。

図 6 では、Trifunac and Brady(1975)<sup>5)</sup>と同様に、加速度波形の振幅の 2 乗和の累積値が 5~95%の時間を波形継続時間として、観測記録と本研究の方法・技術指針の振幅包絡線の設定方法からこの値を算出して比較を行った。

本研究、技術指針共に継続時間が短い場合で観測記録よりも短い傾向が目立つものの、概ね倍半分の範囲に含まれている。観測記録との対応が良好ではない地震記録は、特に減衰部の対応が良好ではない地震記録が多い。これらを除けば、技術指針の設定方法は概ね観測記録と同等か長めの継続時間を与える傾向にあると言える。

以上のように、技術指針の振幅包絡線の設定方法は、立ち上がり部はやや短い傾向、強震部・減衰部はやや長い傾向、波形の継続時間としては観測記録とほぼ同等かやや長めの傾向にあり、全体としては概ね近年のマグニチュードの大きい地震を説明できていると言える。

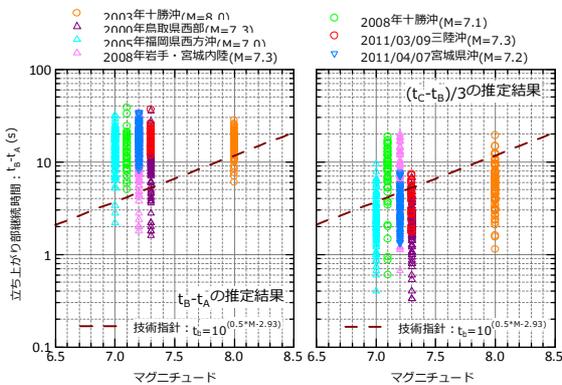


図 2 立ち上がり部の比較

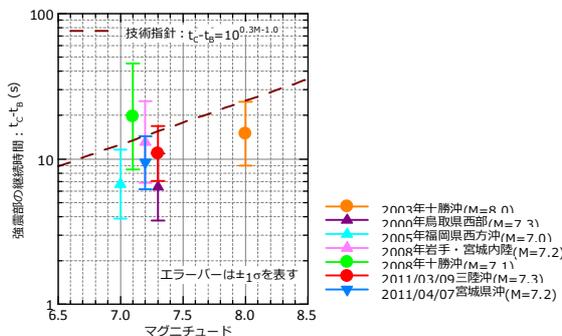


図 3 強震部の比較

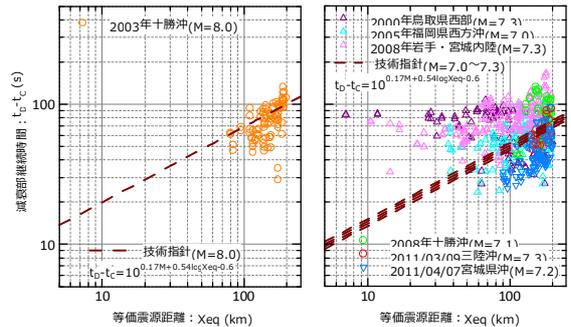


図 4 減衰部の比較

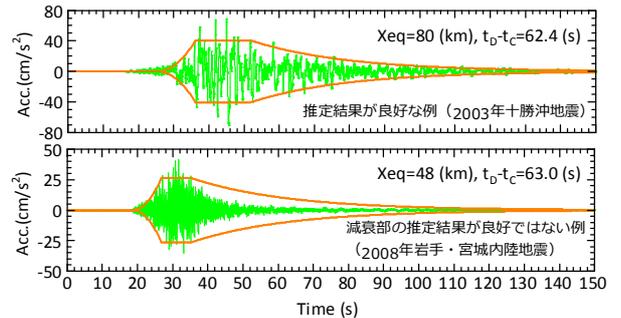


図 5 推定した振幅包絡線と観測記録との対応例

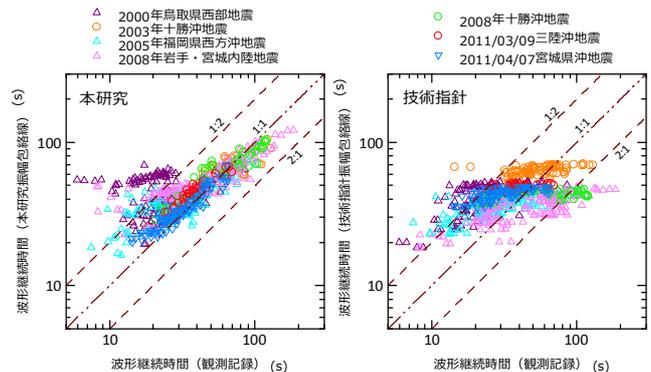


図 6 波形継続時間の比較

#### 4.まとめ

近年の地震を用い、既往の研究を参考とした方法により、原子力発電所耐震設計技術指針の振幅包絡線の設定方法について  $M7\sim 8$  での適用性を検討した。

その結果、技術指針の振幅包絡線の設定方法は、立ち上がり部はやや短めであるが、強震部・減衰部は観測記録よりもやや継続時間を長く与える傾向があり、近年の  $M7\sim 8$  の地震も概ね説明できることがわかった。今後は検討方法の高度化などにより、さらに精査していきたい。

#### 謝辞

独立行政法人防災科学技術研究所の KiK-net の地震観測記録を利用させていただきました。

#### 参考文献

- 1) 日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針、2008。
- 2) Nishimura et al.: Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites, SMIRT 16, #1133, 2001。
- 3) 壇・渡辺：地震波形の包絡関数に関する一考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.773-774、1989。
- 4) 佐藤・片岡・奥村：K-Net 強震記録に基づく工学的基盤における加速度応答スペクトルと経時特性の推定式の検討、第 11 回日本地震工学シンポジウム、pp.615-620、2002。
- 5) M. D. Trifunac and A. G. Brady: A STUDY ON THE DURATION OF STRONG EARTHQUAKE GROUND MOTION, BSSA, Vol.65, No.3, pp.581-626, 1975。

\*株式会社構造計画研究所

\*\*日本原子力発電株式会社

\*Kozo Keikaku Engineering, Inc.

\*\*The Japan Atomic Power Company

正断層地震による地震動最大値の距離減衰特性について  
—2011年東北地方太平洋沖地震の余震の強震記録に基づいた検討—

司 宏俊\* 川里 健\*\*  
大場政章\*\* 石川智美\*\*  
正月俊行\* 澤飯明広\*

最大加速度 最大速度 正断層  
距離減衰特性 残差 地震動強さ

## 1. はじめに

NGAによる距離減衰式では、正断層地震による地震動が他の発生様式(震源メカニズム)より小さい傾向にあると評価する式がある(たとえば Abrahamson and Silva, 2008)。これまでに、日本では正断層地震の強震記録がほとんど得られていないため、距離減衰式における正断層地震の適用性が検討できなかった。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震が発生した後、活発な余震活動、誘発地震活動の中で比較的規模の大きい正断層メカニズムの内陸地震が複数発生している。本稿では、これらの地震のうち、 $M_w$ 5.7以上の3地震について観測記録と距離減衰式による推定値と比較することによって、正断層地震への既存の距離減衰式の適用性を検討した。

## 2. 検討方法

本稿では、検討対象の地震について、観測記録の最大値と距離減衰式による予測値の残差を計算する。この残差をもとに、距離減衰式との一致度を定量的に評価し、既往の距離減衰式の正断層地震への適用性を評価する。

## 3. 検討地震と観測記録

検討対象の地震を表1に示す。正断層地震である福島県浜通りの地震( $M_w$ 6.7)と比較するために、同規模かつメカニズムの異なる鳥取県西部地震と能登半島地震を選択した。検討に用いた強震記録は、K-NET、KiK-netによって得られたものである。これらの強震記録について、0.1~10Hzのバンドパスフィルターを施し、地表における最大加速度の値を求めた。また、地盤のVs30が推定されている地点について加速度波形を積分して速度波形に変換して、地盤の増幅率とVs30の関係から硬質地盤上の最大速度の値を求めた。震源距離は $M_w$ 5.8、5.9の2地震については震源距離を、 $M_w$ 6.7の3地震については断層最短距離(FD)と等価震源距離(EHD)を用いて検討を行った。なお、震源距離を算定するにあたり、福島県浜通りの地震については芝(2011)、鳥取県西部地震は関口・岩田(2000)、能登半島地震は野津(2007)により推定された震源モデルを用いた。

## 4. 検討結果

図1に2011年福島県浜通りの地震( $M_w$ 6.7)、図2に2011年3月23日の地震( $M_w$ 5.7)による強震記録と司・翠川(1999)の距離減衰式(EHDを用いた場合)との比較

表1 検討に用いた地震のリスト

地震名	発震日	$M_w$	震源メカニズム	備考
2011/03/19の地震	2011/03/19	5.8	正断層	F-NET
2011/03/23の地震	2011/03/23	5.7	正断層	F-NET
福島県浜通り地震	2011/04/11	6.7	正断層	GCMT
鳥取県西部地震	2000/10/06	6.7	横ずれ断層	GCMT
能登半島地震	2007/03/25	6.7	逆断層	GCMT

を示す。これらの図から、50 kmより遠距離での一部観測点では、観測記録が距離減衰式より大きな値を示すが、特に近距離では観測記録が距離減衰式による予測値と調和的であることが分かった。図3、図4に福島県浜通りの地震( $M_w$ 6.7)をはじめとする正断層メカニズムの3地震について、観測記録と距離減衰式による予測値の残差と距離の関係を示す。図5には、鳥取県西部地震、能登半島地震の結果を示す。ここで、定量的に距離減衰式との一致度を確認するために、各地震について100 km以内の観測点について残差の平均値を計算した。その結果を表2に示す。表から、正断層地震については、PGAではすべてプラス(距離減衰式より大きい)、PGVでは2地震プラス、1地震マイナスとなっており、平均的にはPGAは大きく、PGVは距離減衰式と同程度であることが分かった。福島県浜通りの地震はPGAでは0.18、PGVでは0.08となっており、鳥取県西部地震より大きく、能登半島地震と同程度であることが分かった。これらのことから、今回の観測記録から、正断層地震による地震動は系統的に小さい傾向は確認されず、PGAでは今回検討対象の逆断層の地震と同程度であった。

## 5. まとめ

本稿では、2011年東北地方太平洋沖地震後に発生した正断層地震の観測記録の最大値と距離減衰式による予測値を比較したところ、 $M_w$ 5.7以上の3地震に対しては、他の発生様式(震源メカニズム)の地震に比べて小さいという傾向は見られなかった。

## 謝辞

本研究では、(独)防災科学技術研究所のK-NET、KiK-netの強震記録を用いた。関係者に御礼を申し上げます。

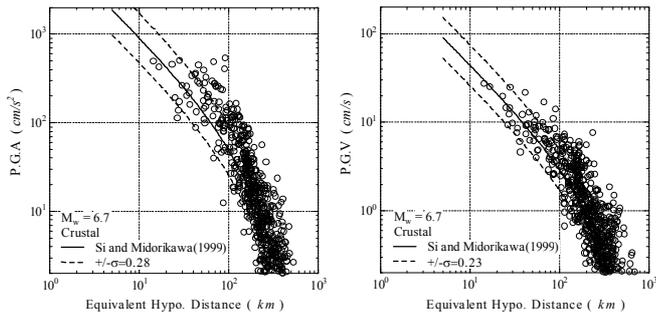


図1 2011年福島県浜通りの地震(M<sub>w</sub>6.7)の距離減衰特性

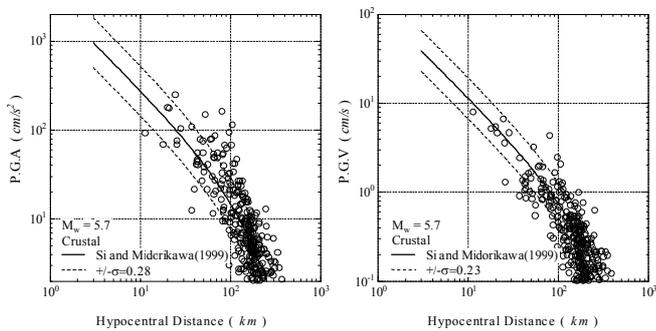


図2 2011年3月23日の地震(M<sub>w</sub>5.7)の距離減衰特性

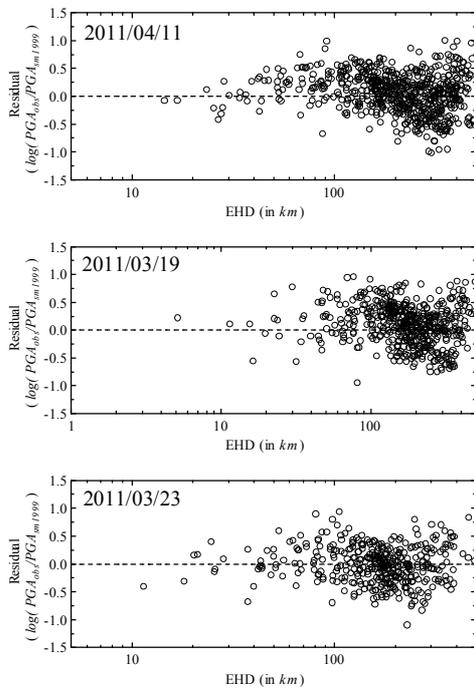


図3 正断層による地震の残差と距離の関係 (PGA)

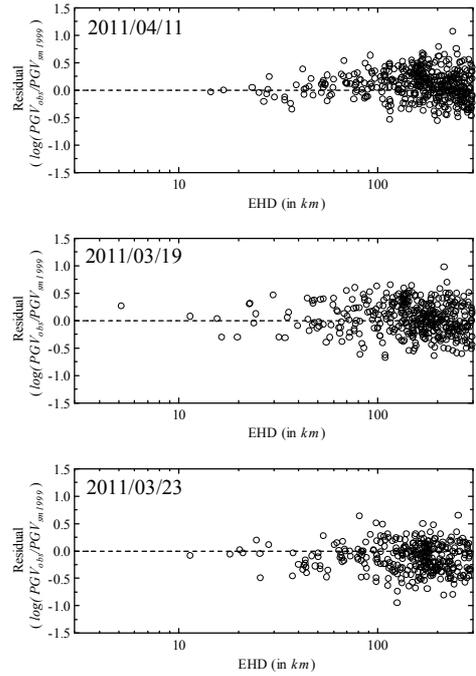


図4 正断層による地震の残差と距離の関係 (PGV)

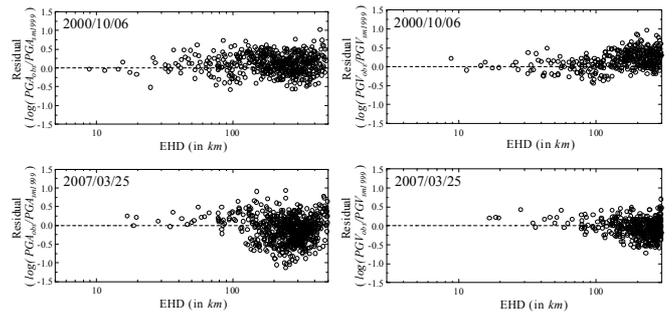


図5 2000年鳥取県西部地震(上段)と2007年能登半島地震(下段)の残差と距離の関係(左:PGA;右:PGV)

表2 距離が100 km以内の残差平均値

Earthquake	PGA	PGV
2011/03/19の地震	0.21	0.06
2011/03/23の地震	0.06	-0.11
2011/04/11 福島県浜通りの地震	0.18	0.08
正断層地震の平均	0.16	0.02
2000/10/06 鳥取県西部地震	0.06	-0.01
2007/03/25 能登半島地震	0.15	0.09

参考文献

(1) Abrahamson and Silva (2008): Earthquake Spectra, 24(1). (2) F-NET : www.fnet.bosai.go.jp; GCMT : www.globalcmt.org. (3) 芝(2011): 日本地震工学会・大会-2011 梗概集, pp.414-415. (4) 関口・岩田(2000): http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/iwata/zisin/tr.source.html. (5) 野津(2007): http://www.pari.go.jp/. (6) 司・翠川(1999): 日本建築学会構造系論文集, No.523.

\*株式会社構造計画研究所 防災ソリューション部

\*\*日本原子力発電株式会社 開発計画室

\* Dept. of Disaster Prevention Solution, Kozo Keikaku Engineering Inc.

\*\* The Japan Atomic Power Company, Projects Development Dep.

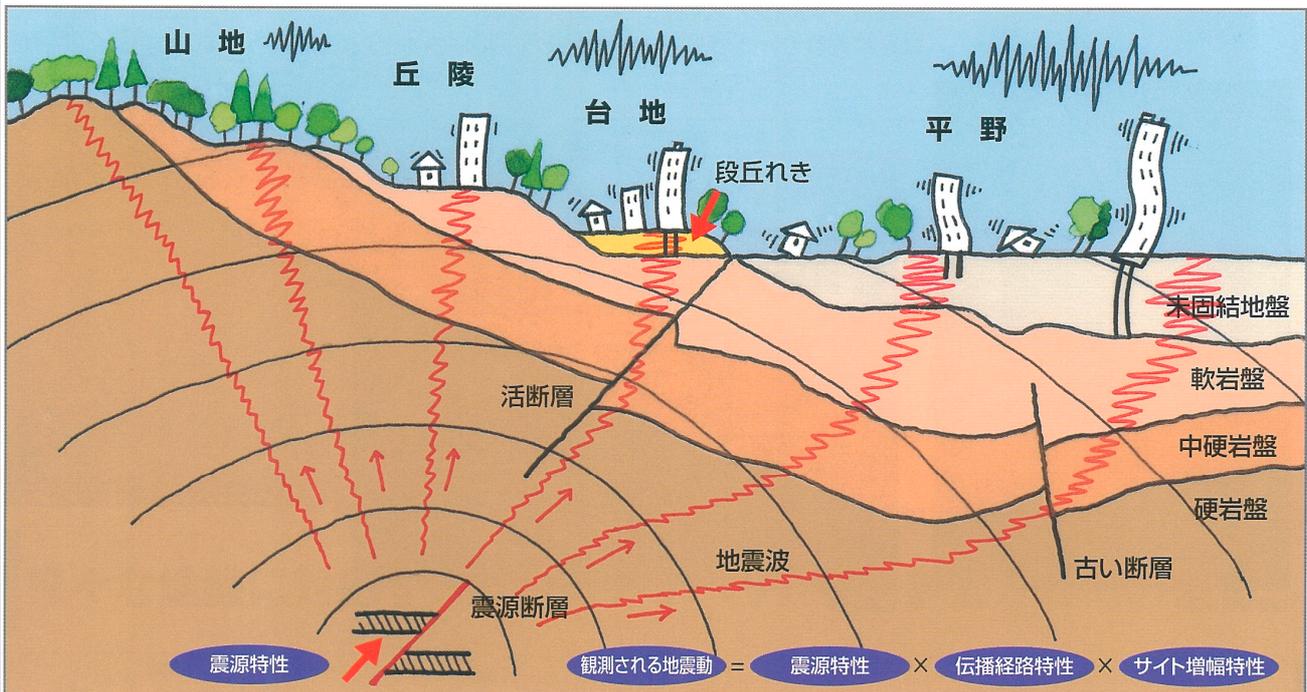
# 強震動評価・シミュレーション・設計用入力地震動

## 断層モデルによる地震動評価

地表で観測される地震動の特性は、震源特性・震源から基盤への伝播特性・表層地盤の増幅特性により決定されます。断層モデルを考慮した地震動評価は広く行なわれ、様々な手法が提案されています。弊社では永年培ってきた地震動評価の経験と実績に基づき、お客様の目的・予算に応じた手法により地震動の評価・シミュレーション・各種構造物への設計用入力地震動の作成を行ないます。

### ■地震動評価のためのモデル化

- 震源断層のモデル化（断層パラメータの設定）
- 伝播経路のモデル化（深部地盤構造の設定）
- 表層地盤のモデル化（表層地盤構造の設定）



### ■基盤での地震動評価手法

- 経験的手法（翠川・小林の方法）  
／半経験的手法（経験的グリーン関数法、統計的グリーン関数法）
- 理論的手法／ハイブリッド合成法

### ■地表での地震動評価手法

- 等価線形化手法／非線形地震応答解析法
- 有効応力解析法（液状化の考慮）

地震観測記録のシミュレーション  
各種構造物への設計用入力地震動の作成  
広域を対象とした強震動評価・予測  
地震動の可視化（アニメーション）

統計的グリーン関数法を用いて短周期を予測



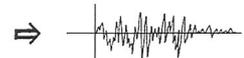
+

3次元地盤構造に基づき理論的手法により長周期を予測



||

現実的な地震波を予測（短周期～長周期）

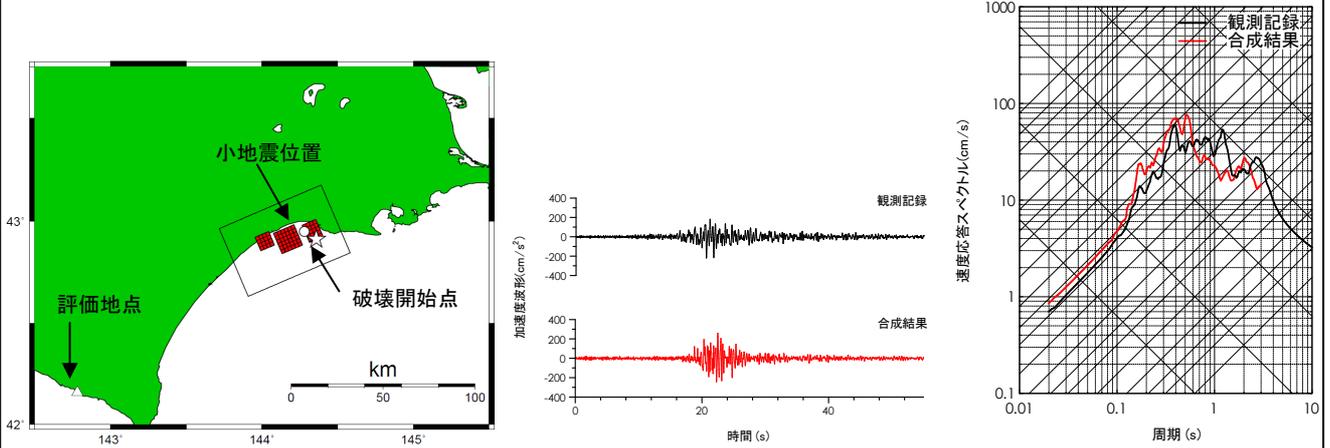


ハイブリッド合成法の概念

# 断層モデルによる地震動評価の事例紹介

弊社がこれまでに行った地震動評価の一例を紹介します。1993年釧路沖地震を対象とした経験的グリーン関数法による地震動評価では、評価地点の観測記録を精度よく再現できました。また、上町断層を対象に行った3次元差分法シミュレーションでは、大阪盆地のような3次元地下構造の影響を評価できるとともに、計算結果をアニメーションとして可視化することで地震波伝播の様子をよく理解することができます。

## ■ 経験的グリーン関数法を用いた1993年釧路沖地震の地震動評価

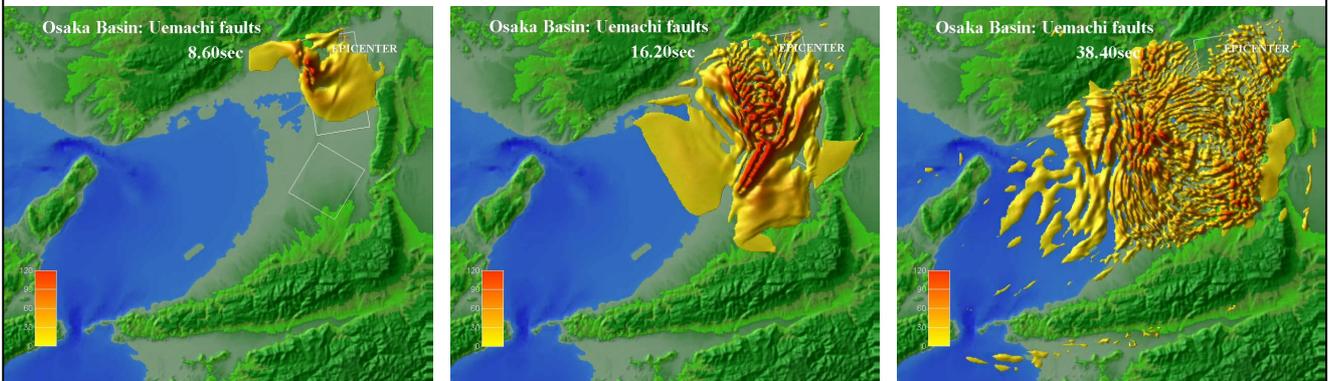


## ■ 3次元差分法を用いた上町断層の波動伝播シミュレーション

地震発生 8.6 秒後

地震発生 16.2 秒後

地震発生 38.4 秒後



## ■ 地震動評価手法の種類と概要

地震動評価手法		概要
経験的手法	翠川・小林手法	点震源の距離減衰式に断層モデルによる地震動評価手法を結び付けた手法。地震基底での応答スペクトルを評価する。断層面の広がりや破壊過程を考慮でき、比較的簡便に行える。
半経験的手法	経験的グリーン関数法	震源メカニズム、伝播経路が似通った小地震記録を重ね合わせることで、大地震による地震波形を求める。伝播経路、表層地盤の影響は小地震記録に含まれているため、詳細な地下構造情報が無くても、それを考慮した評価が可能。但し、評価地点で小地震記録が得られていることが前提となる。
	統計的グリーン関数法	経験的グリーン関数法で用いる小地震記録が得られていない場合に、小地震波形を人工的に作成することで、大地震波形を評価できる。
理論的手法	波数積分法	断層モデルあるいは点震源による波動場を理論的に求める方法。設定する地下の媒質構造は水平成層の場合にのみ用いることができる。計算時間は短い。
	有限差分法	3次元的に変化する媒質に対し、理論的に波動場を求めることができる。但し、3次元的な媒質構造の情報が必要であり、計算負荷も大きい。
ハイブリッド合成法	理論的手法＋半経験的手法	長周期側を理論的手法、短周期側を半経験的手法で評価し、それぞれを重ね合わせる手法。両者の利点を活かした広帯域の地震動評価が可能となる。

※本製品・サービスの内容の条件は、改善のために予告無く変更することがあります。

既存壁式鉄筋コンクリート造のリニューアルにおける構造検討事例  
 一群杭効果を考慮した応答解析計算法

落合 努\*                      浪田 裕之\*  
 梁川 幸盛\*                  坂場 律和\*  
 渡辺 一弘\*\*                 田沼 毅彦\*\*

群杭効果                      耐力スペクトル法          地震応答解析  
 既存ストック                 有効利用                      壁式構造

1. はじめに

我が国では、1970年代以前に中層の壁式鉄筋コンクリート構造の集合住宅が数多く建てられ、大量に現存している。これらについて、これまでは建替えや住戸内の模様替えという形で再生を図ってきたが、これからは持続可能なまちづくりという観点から住宅ストックの長期有効活用が求められている。そのためには、構造躯体の改造を伴う幅広い設計上のアイデアを盛り込んで改修・再生していく必要があるが、現行の仕様規定型の設計法は活用しづらく、より設計自由度が高い性能規定型の設計法の適用を視野に入れた考えが重要と考えられる。

本稿では、これら住宅ストックとして代表的な形式の機構住宅を検討対象とし、耐力スペクトル法による応答推定を軸とした構造検討事例を示す。はじめに表層地盤による揺れの増幅・減衰を評価するため、既往の文献 1) の方法（群杭効果）と、薄層法の結果を比較し妥当性の確認を行う。次に、上記方法により求めた地盤ばねと減衰を用いて、耐力スペクトル法による応答推定を実施する。また質点系 SR モデルや、許容応力度計算および保有水平耐力計算と比較することで、本手法（群杭効果+耐力スペクトル法）の推定精度を検証する。

2. 建物モデル・地盤モデル

検討に用いる建物モデルは、住宅ストックとして多く現存している公団住宅 66-5N-2DK-2 型を対象とする。本建物は 5 階建ての長辺・短辺方向共に RC 造壁式構造であり、基礎形式は既製杭（PC 杭 φ300、杭長 15m）とする。建物立面図と杭配置図を図 1 に示す。杭最外縁の杭間距離は長辺方向が 37.8m、短辺方向が 6.59m であり、杭の総本数は 76 本となる。建物の諸元を表 1 に、建物の各階 Q-D 曲線、等価一自由度モデルの Q-D 曲線を図 2 に示す。

検討に用いる地盤モデルは、第 2 種地盤を想定し、2 層地盤にモデル化する。地盤物性値を表 2 に示す。

3. 入力地震動

地震動は一様乱数位相の告示波（稀、極稀）を用いる。基礎位置に規定した地震動を SHAKE で立ち上げ基礎底面位置での応答波を入力地震動とした。図 3、図 4 に加速度応答スペクトルおよび加速度応答の増幅率を示す。

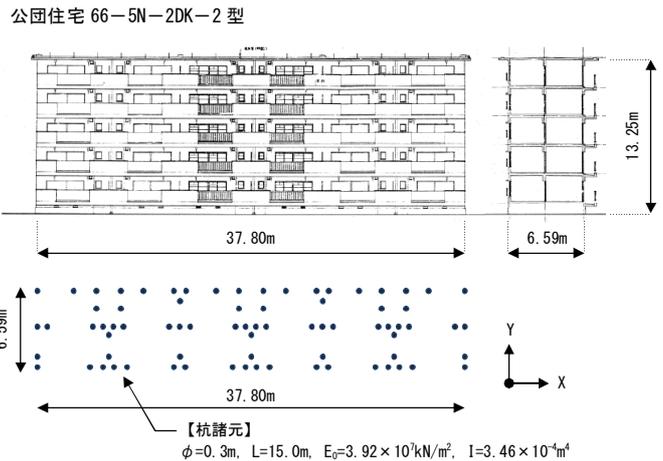


図 1 立面図，杭配置図

表 1 建物諸元

階	階高hi(m)	重量Wi(kN)	建物重量 Σ Wi(kN)	層せん断力係数 Ci	層せん断力 Q(kN)
5	2.550	2066	2066	0.347	716
4	2.550	2736	4802	0.279	1340
3	2.550	2698	7500	0.246	1847
2	2.550	2785	10285	0.222	2279
1	3.495	2934	13218	0.200	2644
基礎	-	3361	-	-	-

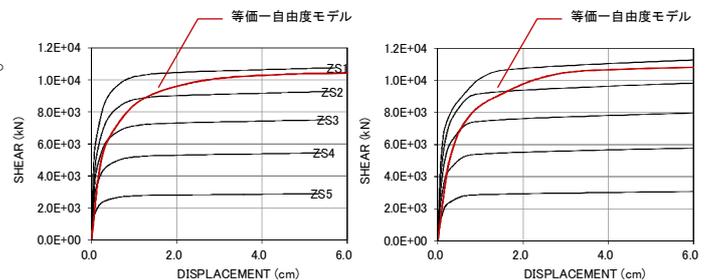


図 2 Q-D 曲線（左：X 方向，右 Y 方向）

表 2 地盤物性値（二種地盤相当）

	層厚(m)	密度 ρ(t/m3)	S波速度(m/s)	ポワソン比ν	減衰定数h
表層地盤	15.0	1.4	220	0.46	0.05
基礎地盤	-	1.8	400	0.48	0.05

4. 地盤ばねと地盤ばねの減衰の算出

(1) 水平地盤ばね

水平地盤ばねは文献 1)を参考に算出する。この方法は、これまで適用が困難であった杭配置が不規則な場合の群杭係数を評価し、水平地盤ばねを求める方法である。杭配置が不規則な場合の群杭の水平地盤ばねは、加振杭の杭頭変位( $u_i$ )と受振杭の杭頭変位( $u_j$ )の比である影響係数( $g_{ij}=u_j/u_i$ )を用いて(1)、(2)式より求める。

算出した水平地盤ばねの算定結果を表 3 に示す。また文献の式より算定した水平地盤ばね値の妥当性を確認するため、薄層法による地盤-杭の連成モデルを作成し検証を行った。文献の方法より算定した水平地盤ばね値と薄層法から得られる水平インピーダンスの比較結果を図 5 に示す。図より、短辺方向ではややばらつきが大きいのが、長辺方向では文献の方法と薄層要素法がよく一致していることが確認できる。

$$\beta_H = \{1\}^T [g_{ij}]^{-1} \{1\} / n \quad (1)$$

$$K_{HG} = \beta_H \times K_{HS} \times n \quad (2)$$

ここに、

$\beta_H$  : 水平地盤ばねの群杭係数,  $n$  : 杭本数

$K_{HG}$  : 群杭の水平地盤ばね定数

$K_{HS}$  : 単杭の水平地盤ばね定数

(2) 水平地盤ばねの減衰係数の算定

水平地盤ばねの減衰係数は、文献 2)を参考に(3)式で求める。次式において基礎面積  $A$  は、杭最外縁を囲む面積(辺長=最外縁の杭心距離+杭径)とする。

$$C_{sw} = \rho \times V_s \times A \quad (3)$$

ここに、

$C_{sw}$  : 水平地盤ばねの減衰係数,

$\rho$  : 密度,  $V_s$  : せん断波速,  $A$  : 基礎面積

(3) 回転地盤ばね

回転地盤ばねは文献 2)を参考に、Randolf による杭周上下地盤ばねと杭先端上下地盤ばねを用いて杭単体の杭頭での上下ばねを求め、杭配置を考慮して回転の地盤ばねを評価する。回転地盤ばねの算出は(4)式を用いる。

$$K_R = \beta_R \times \Sigma K_{vs} \times X_i^2 \quad (4)$$

ここに、

$K_R$  : 回転地盤ばね,  $\beta_R$  : 群杭係数,  $K_{vs}$  : 上下地盤ばね,

$X_i$  : 回転中心からの距離

(4) 回転地盤ばねの減衰係数の算定

回転地盤ばねの減衰係数は文献 2)を参考に、(5)、(6)式を用いて算出する。

$$C_R = h_R K_R / (2\pi f) \quad (f \leq 2f_g) \quad (5)$$

$$C_R = h_R K_R / (\pi f) + C_{R2}(f - 2f_g) / f \quad (f > 2f_g) \quad (6)$$

ここに、

$C_R$  : 回転地盤ばねの減衰係数,  $h_R$  : 減衰定数,

$f$  : 建物の固有周波数,  $f_g$  : 地盤の固有周波数

(1)~(6)の各式より算出した各地盤ばねの剛性と減衰係数を表 4 に示す。

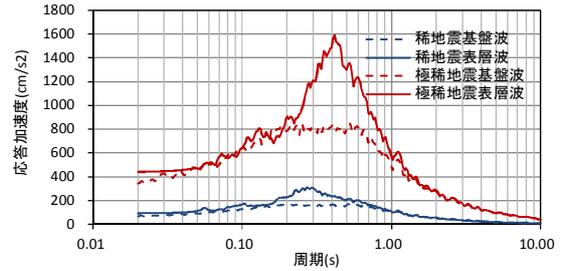


図 3 入力地震動の加速度応答

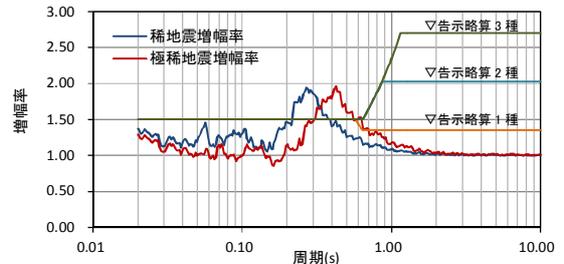


図 4 加速度応答増幅率

表 3 水平地盤ばね定数の算定結果

		単杭のばね定数	杭本数	群杭係数	群杭のばね定数
		$K_{HS}$ (kN/m)		$\beta_H$	
損傷 限界	長辺方向	159000	76	0.534	6450000
	短辺方向			0.571	6910000
安全 限界	長辺方向	121000		0.519	4780000
	短辺方向			0.541	4990000

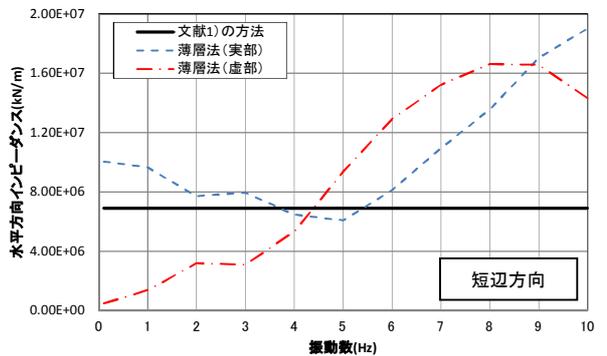
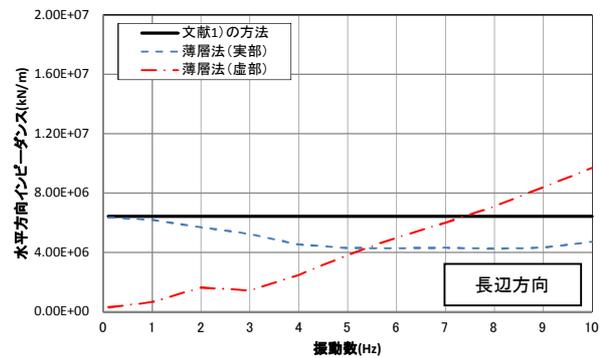


図 5 文献 1)の方法と薄層法の比較

表 4 地盤ばね定数の算定結果

		ばね定数(kN/m, kNm/rad)		減衰係数(kNs/m, kNms/rad)	
		長辺方向	短辺方向	長辺方向	短辺方向
損傷 限界	水平地盤ばね	6.450E+06	6.910E+06	8.085E+04	8.085E+04
	回転地盤ばね	3.537E+09	4.861E+08	7.073E+06	9.720E+05
安全 限界	水平地盤ばね	4.780E+06	4.990E+06	6.248E+04	6.248E+04
	回転地盤ばね	2.610E+09	3.587E+08	6.843E+06	9.403E+05

5. 耐力スペクトル法

本稿で用いる耐力スペクトル法は、文献 3) に示される地盤との相互作用を考慮した限界耐力計算法を参考に計算する。損傷限界時では、水平地盤ばねと回転地盤ばねによる等価固有周期の伸びを考慮し、周期調整係数  $r$  を等価一自由度モデルの変形に乗じて応答値を算出する。安全限界時では、水平地盤ばねと回転地盤ばねによる等価固有周期の伸びと相互作用を考慮した等価減衰定数  $he$  を考慮し、応答値を算出する。計算に用いる周期調整係数  $r$ 、地盤との相互作用効果を考慮した等価減衰定数  $he$  および加速度低減率  $\eta$  の各式を以下に示す。

$$r = \sqrt{1 + (T_{sw}/T_b)^2 + (T_{ro}/T_b)^2} \quad (7)$$

$$he = 1/r^3 (hb + (T_{sw}/T_b)^3 h_{sw} + (T_{ro}/T_b)^3 h_{ro}) \geq 0.05 \quad (8)$$

$$\eta = 1.5 / (1 + 10 \times he) \quad (9)$$

ここに、

- T<sub>b</sub> : 建物の固有周期, T<sub>sw</sub> : 水平地盤ばねの固有周期,
- T<sub>ro</sub> : 回転地盤ばねの固有周期, hb : 建物の減衰定数 0.03
- h<sub>sw</sub> : 水平地盤ばねの減衰定数,
- h<sub>ro</sub> : 回転地盤ばねの減衰定数

前章に示した地盤の水平地盤ばね・回転地盤ばねの剛性および減衰係数の各値を用いて、耐力スペクトル法により応答推定を実施した。損傷限界時における応答値を図 6 に、安全限界時における応答値を図 7 に、耐力スペクトル法のみをまとめた表 5 にそれぞれ示す。図表より、周期調整係数は損傷限界時で長辺方向 1.214、短辺方向 1.316、安全限界時で長辺方向 1.026、短辺方向 1.046 となる。水平地盤ばね剛性、回転地盤ばね剛性に対して建物剛性が小さいため連成系等価周期  $T_e$  はさほど伸びておらず、建物の固有周期  $T_b$  の比率が大きい。そのため、等価減衰定数  $he$  は建物単体の減衰定数  $hb$  よりも小さい値となる。

損傷限界時の層せん断力係数は、長辺方向 0.135、短辺方向 0.185 となり、許容応力度設計時の層せん断力係数  $C_b=0.20$  よりも小さい値となる。安全限界時の層せん断力係数は、長辺方向 0.785、短辺方向 0.815 となり、必要保有水平耐力時の層せん断力係数  $C_b=0.55$  よりも大きな値となる。

6. 時刻歴地震応答解析

時刻歴応答解析の解析モデルは、4 章に示した水平・回転地盤ばねおよび減衰係数を用いて、地盤ばねを考慮した多質点系モデル（以下 SR モデル）とする。また参考として基礎固定とした多質点モデルの地震応答解析も行う。多質点系モデルの復元力特性は武田モデルを用いる。また減衰タイプは瞬間剛性比例型減衰とし、減衰定数は 3% とする。多質点系の復元力特性を表 6 に示す。また基礎固定モデルと SR モデルの固有値解析結果を表 7 に示す。表 5 の耐力スペクトル法の損傷限界時（弾性時）の固有周期と比較すると、基礎固定の固有周期(=T<sub>b</sub>)、SR モデルの固有周期(=T<sub>e</sub>)共に近い値となっていることがわかる。

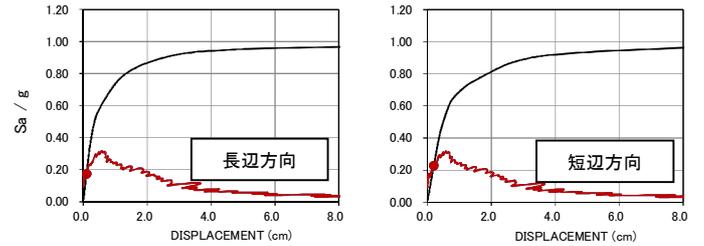


図 6 損傷限界時における応答値

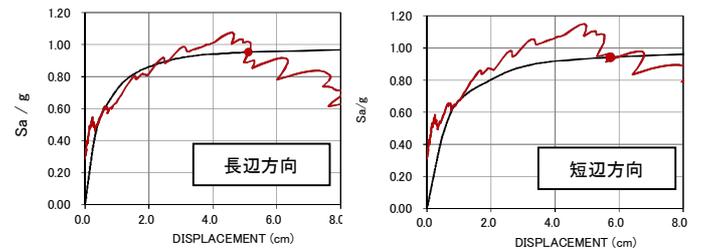


図 7 安全限界時における応答値

表 5 耐力スペクトル法応答値のまとめ

		損傷限界		安全限界	
		長辺方向	短辺方向	長辺方向	短辺方向
全質量	M (t)	1348	1348	1348	1348
有効質量	Mu (t)	1055	1088	1109	1166
有効質量比	Mu/M	0.78	0.81	0.82	0.87
建物代表高さ	H (m)	10.13	10.13	10.13	10.13
周期	T <sub>b</sub> (s)	0.127	0.144	0.452	0.474
	T <sub>sw</sub> (s)	0.080	0.079	0.096	0.096
	T <sub>ro</sub> (s)	0.035	0.095	0.041	0.115
	T <sub>e</sub> (s)	0.155	0.190	0.464	0.497
周期調整係数	$\gamma$	1.214	1.316	1.026	1.049
減衰定数	hb	0.050	0.050	0.133	0.124
	h <sub>sw</sub>	-	-	0.429	0.410
	h <sub>ro</sub>	-	-	0.199	0.072
	he	-	-	0.127	0.111
低減率	$\eta$	1.000	1.000	0.662	0.710
代表応答変位	$\Delta d$ (cm)	0.070	0.118	4.846	5.254
最大層間変形角	$\Delta di/hi$	1/10991	1/7154	1/178	1/168
応答加速度	Sa (gal)	170	224	935	924
応答せん断力	Q (kN)	1791	2439	10373	10771
層せん断力係数	C <sub>b</sub>	0.135	0.185	0.785	0.815

表 6 多質点系モデルの復元力特性

X方向					
階数	K1(kN/cm)	Q1(kN)	$\alpha 2$	Q2(kN)	$\alpha 3$
5	2.958E+04	1551	0.149	2431	0.0226
4	4.453E+04	2942	0.155	4582	0.0279
3	5.424E+04	4042	0.147	6358	0.0298
2	6.700E+04	4811	0.142	7828	0.0288
1	1.322E+05	5428	0.085	9139	0.0162
Y方向					
階数	K1(kN/cm)	Q1(kN)	$\alpha 2$	Q2(kN)	$\alpha 3$
5	2.219E+04	1254	0.346	2263	0.0671
4	3.711E+04	2358	0.369	4256	0.0739
3	4.853E+04	3431	0.313	5883	0.0753
2	5.995E+04	4601	0.243	7466	0.0628
1	7.776E+04	5658	0.145	8149	0.0395

表 7 SR モデルと基礎固定モデルの固有周期

	長辺方向		短辺方向	
	基礎固定モデル	SRモデル	基礎固定モデル	SRモデル
損傷限界	0.133	0.163	0.149	0.195
安全限界		0.173		0.208

時刻歴応答解析による解析結果を図8、図9に示す。また図には、耐力スペクトル法の結果および許容応力度計算( $C_b=0.20$ )、保有水平耐力計算( $C_b=0.55$ )の結果も同時に示している。なお、耐力スペクトル法、許容応力度計算および保有水平耐力計算の層せん断力の高さ方向分布は $A_i$ 分布を用いている。

基礎固定モデルとSRモデルを比較すると、損傷・安全限界ともにSRモデルの方が応答が大きくなる。建物の固有周期が短周期領域に位置しているため周期が延びることで加速度応答スペクトルも大きくなり、応答も大きくなっている。

耐力スペクトル法と基礎固定モデル、SRモデルを比較すると、損傷・安全限界ともに耐力スペクトル法の応答値はSRモデルに近い値になる。ただし、安全限界時では耐力スペクトル法の層間変形角が大きく生じている。これは建物が塑性領域に達しているため、わずかな外力の違いが大きな差となっていることが原因と考えられる。しかし層せん断力係数は適切な評価を行っており、地盤ばねによる周期の延びと減衰を適切に評価できていると判断する。

## 7. おわりに

本稿では、既存壁式鉄筋コンクリート構造の集合住宅ストックの改修・再生のために性能規定による設計法として耐力スペクトル法の適用性を調べた。得られた結論を以下にまとめる。

- ・不規則な杭配置を考慮した群杭効果は、薄層要素法による結果と対応する。
- ・損傷限界、安全限界における応答推定値について、本手法の結果はSRモデルの解析結果と良い対応を示す。

上記から、提案手法は既存住宅ストックの活用において、有力な設計法となることが期待できると考える。また今後において、耐力スペクトル法による評価事例を増やすことと、上部構造の解析と地盤の解析(SHAKE)で解析手法の簡易性のバランスが取れていないため、地盤増幅の簡易評価法の提案が課題と考える。

## 謝辞

本検討にあたり、飯場正紀氏(独立行政法人建築研究所)、小豆畑達哉氏(国土交通省国土技術政策総合研究所)、井上波彦氏(同)、岡野創氏(株式会社小堀鐸二研究所)にご助言を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

## 【参考文献】

- 1) 小鹿, 加藤, 岡野: 地震力の入力と応答に関する基準の合理化に関する検討, 建築センタービルディングレター, 2012年2月
- 2) 日本建築学会: 建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計, 2006年2月
- 3) 日本建築センター: 2001年版限界耐力計算法の計算例とその解説, 2001年3月

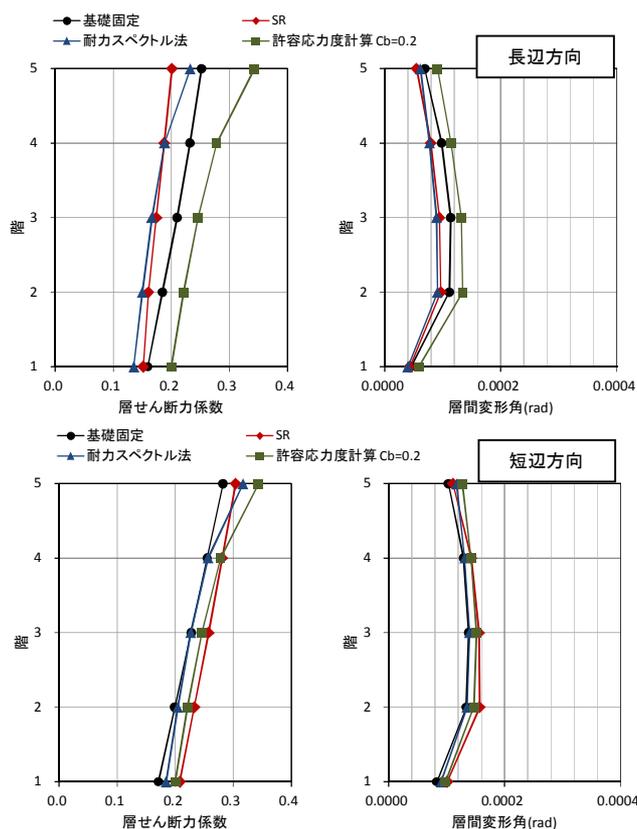


図8 損傷限界時における応答値

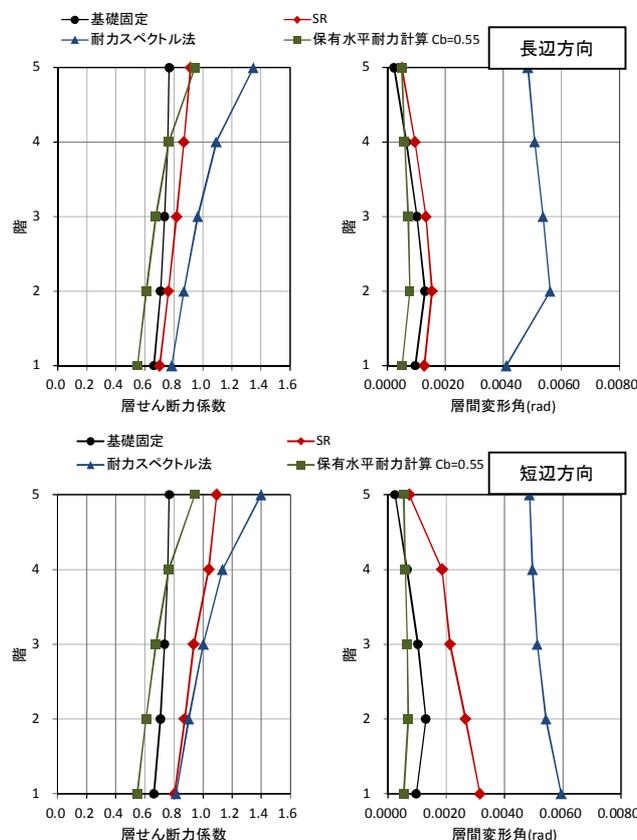


図9 安全限界時における応答値

\*株式会社構造計画研究所

\*\*独立行政法人都市再生機構

\*Kozo Keikaku Engineering Inc.

\*\*Urban Renaissance Agency

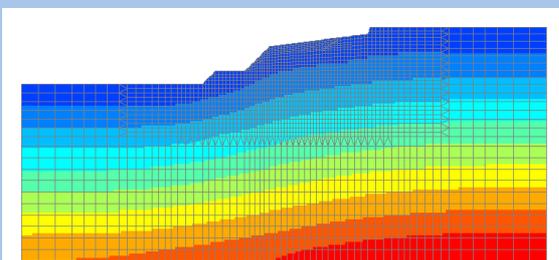
# 降雨時の地盤安定性問題に対するソリューション

近年、台風や大雨による土砂災害の増加に伴い、斜面や盛土の安定性に対する関心が高まっております。降雨時の地盤安定性を確認することは、災害発生危険度予測や有効な対策の第一歩となります。

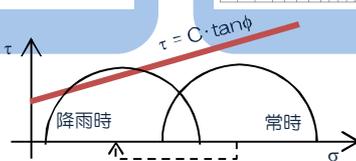
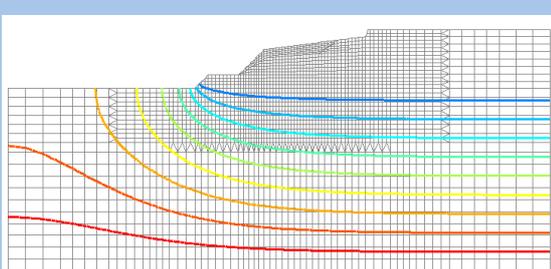
弊社では非定常浸透流解析プログラムをはじめ、すべり安全率・すべり変形量の算出プログラムなど様々な自社開発を積極的に行っております。これにより、浸透流解析結果から降雨時に時々刻々と変化する水圧や水位を把握し、有効応力を用いて想定すべり面の危険度を判定するなど、総合的な検討が実施可能です。

また、永年培ってきた解析コンサルティングの経験と実績に基づき、お客様の目的・予算に応じたモデル化や解析手法のご提案などニーズに合わせた柔軟な対応を行っています。

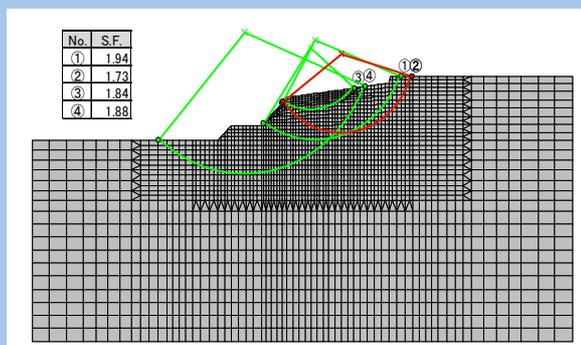
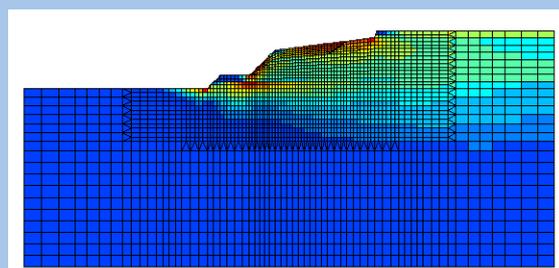
● 平時の応力状態（常時応力解析結果）



● 降雨時の水圧分布（非定常浸透流解析結果）



● 有効応力を用いた斜面安定性の検討



🔗 局所安全係数と破壊状況のチェック

🔗 想定したすべり面毎にすべり安全率を時刻歴で算出

## 実績

降雨時の斜面安定性評価（某コンサル）

降雨による地下水位面の変動予測（某コンサル）

ロックフィルダムコア部の定常浸透流解析および非定常浸透流解析（二次元と三次元の比較。自社検討）

## 使用ソフト

UNSAT	二次元飽和-不飽和浸透流解析プログラム（自社開発）
NASKA	二次元応力と浸透流の連成解析プログラム（自社開発）
POST-S	二次元すべり安全率・すべり変形量の算出プログラム（自社開発）
GEOACE	三次元土水連成FEM解析プログラム（他社と共同開発）

## Kaiseki Portal

「解析ポータル」サイトでは、災害、環境、維持管理、建築、土木の各分野での解析に関する様々な情報やコンサルティングサービス、構造解析、設計用入力地震動作成システム、地震リスク評価、災害時対策、地盤と構造物の動的相互作用、熱・流体解析に関するソフトウェアについてご紹介しています。

本誌のバックナンバー(PDF形式)をダウンロードいただけます。ぜひお立ち寄りください。

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



## From Editors

先日、上野の東京都美術館で行われていた「マウリッツハイス美術館展」を鑑賞してきました。ヨハネス・フェルメールの有名な作品の一つである「真珠の耳飾りの少女」が展示されていることもあり、平日にもかかわらずたくさんの方が訪れていました。この絵は、1881年にオークションで現在の1万円に満たない金額で落札されたそうです。保存状態が悪かったため、このような価格になったとのことですが、現在の価値からは考えられないような金額です。このような価値のある発見はできないにしても審美眼を養うために、これからは美術館やギャラリーに足を運びたいと思います。

防災ソリューション部 災害リスクマネジメント室 行武哉子

サッカーの香川真司選手がマンチェスター・ユナイテッドというビッグクラブにおいて上々のデビューを果たしたそうです。一方、にわかの浅い感想で恐縮ですが、日本代表においては必ずしもその能力を発揮しきれていないように見えます。どんな凄い選手でも置かれた環境次第では持てる力を発揮するのは難しいということでしょうか。さて、各種構造物が置かれた環境下において正しく力を発揮できるのか？ということが気になったら、ぜひ弊社までご連絡ください。お力になりたいと思います！

耐震技術部 構造保全技術室 八木康仁

# 構造計画研究所

KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

本誌掲載記事ならびに弊社の商品・サービスに関するお問い合わせは下記までお願いいたします。

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

(株)構造計画研究所 エンジニアリング営業部

〒164-0011 東京都中野区中央 4-5-3

TEL (03) 5342-1136

(株)構造計画研究所 エンジニアリング営業部 大阪支社

〒541-0047 大阪市中央区淡路町 3-6-3 NMプラザ御堂筋 5F

TEL (06) 6226-1231

(株)構造計画研究所 中部営業所

〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄 1-3-3 アムナットビル朝日会館 11F

TEL (052) 222-8461

## 解析雑誌 *Journal of Analytical Engineering Vol.30 2012.9*

発行日 平成24年9月25日

編集・発行 株式会社構造計画研究所 エンジニアリング営業部

〒164-0011 東京都中野区中央 4-5-3

お問い合わせ 電話 (03) 5342-1136 FAX (03) 5342-1236

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