

## Topics

### 【イベント・セミナー開催報告】

- KKE Vision 2012
- 危機管理産業展 2012/ものづくり NEXT↑2012
- 企業防災・事例紹介セミナー2012

### 【ニュースリリース】

- プロメテック・ソフトウェア株式会社との  
資本・業務提携に関するお知らせ

### 【解析事例紹介】

- ウェーブレット変換を用いた  
構造物の変状検知
- 新幹線高架橋と妙高大橋における  
FBG 分布センシングの解析評価

## Technical Reports

- 平野における高周波数帯域まで適用できる  
強震動評価技術の開発
- 局所地盤のモデル化のための平面波近似を用い  
た波動伝播の効率的な解析方法の検討  
－その1 解析方法の提案  
－その2 実地盤モデル・実地震への適用
- 浮き上がり非線形を考慮した直接基礎平面架構  
の地震応答解析について
- 地震応答解析における瞬間割線剛性比例型減衰  
の提案

## 震災復興への願い

(株)構造計画研究所  
エンジニアリング営業部 副部長  
村上 通章

時が過ぎるのは早いもので、東日本大震災から二回目の冬を迎えました。今なお仮設住宅で不便な生活を送られている方、職を探している方が数多くいらっしゃいます。復興に向けた歩みを緩めることなく、一日でも早く復旧・復興することを願っております。

弊社においては、防災・減災への取り組みの観点から、長年培ってきた耐震設計に関する技術や地震動・津波防災や避難対策、エネルギー供給問題まで様々なソリューションを提供することで、社会に貢献していきたいと考えております。

さて、復旧・復興に欠かすことができないのが交通インフラの整備です。橋梁・トンネル・鉄道・道路等の構造物の耐震性能評価や対策も重要ですが、先日発生した、中央自動車道の笹子トンネルの天井板崩落事故に代表される事故を未然に防ぐ努力も怠ってはいけません。目視や打音による点検も重要ですが、それだけでは判断できない異常を検知する手段が必要です。この問題を解決する弊社の取り組みのひとつとして、センシングによる構造ヘルスモニタリングがあります。このようなセンシングに画像モニタリングも加えた異常検知は、構造躯体だけではなく、レール軌道、舗装面、斜面、車両・乗り物機材内の装置設備の分野などにも適用が広がっています。

もうひとつ重要なのは、安定かつ効率的なエネルギー供給問題です。風力発電や太陽光発電の分野においては、効率的な発電技術が開発されてきてますが、課題が多く残されているのも事実です。特に、原子力発電の存廃は、環境問題や将来のエネルギー政策を含めて、より議論を深めていく必要があります。

構造計画研究所は、「学会と実業界をブリッジする総合エンジニアリング企業」として、関連する技術開発についての学会等での発表はもちろんのこと、各種技術セミナーの開催、展示会等を通じて各種ソリューションの紹介を行ってきました。本誌『解析雑誌』も弊社の取り組みを発信する「場」のひとつであり、このような情報提供を継続的に実施していくことで、皆様の課題解決に少しでもお役に立てれば幸いです。

今後とも、私たちの取り組みをご理いただき、これまで以上にご支援を賜りますようお願い申し上げます。

# 解析雑誌 Vol.31 2012.12

<b>卷頭言</b>	『震災復興への願い』	エンジニアリング営業部 村上 通章
		<b>02</b>
<hr/>		
<b>Topic 1</b>		
● 「KKE Vision 2012 -エンジニアリングにときめく-」 開催報告		04
<b>Topic 2</b>		
● 危機管理産業展 2012／ものづくり NEXT↑2012 出展報告 第 16 回震災対策技術展出展のご案内		05
<b>Topic 3</b>		
● 企業防災・事例紹介セミナー2012 ～地震・津波に関する企業リスクの把握と対策～ 開催報告		08
<b>Topic 4</b>		
● News Release 「プロメテック・ソフトウェア株式会社との 資本・業務提携に関するお知らせ」		10
<b>Topic 5</b>		
● ウエーブレット変換を用いた構造物の変状検知		14
<b>Topic 6</b>		
● 新幹線高架橋と妙高大橋における FBG 分布センシングの解析評価		18
<hr/>		
<b>Technical Report 1</b>		
● 平野における高周波数帯域まで適用できる強震動評価技術の開発 田島 礼子、西條 裕介、正月 俊行、司 宏俊、廣川 雄一氏		28
<b>Technical Report 2</b>		
● 局所地盤のモデル化のための平面波近似を用いた波動伝播の 効率的な解析方法の検討（その 1）—解析方法の提案— 松元 康広、司 宏俊、澤飯 明広、大場 政章氏		38
<b>Technical Report 3</b>		
● 局所地盤のモデル化のための平面波近似を用いた波動伝播の 効率的な解析方法の検討（その 2）—実地盤モデル・実地震への適用— 西條 裕介、田島 礼子、澤飯 明広、大場 政章氏、石川 智美氏		40
<b>Technical Report 4</b>		
● 浮き上がり非線形を考慮した直接基礎平面架構の地震応答解析について 坂場 律和、梁川 幸盛、庄司 正弘、木村 まどか、 井上 波彦氏、小豆畑 達哉氏、壁谷澤 寿一氏、田尻 清太郎氏		44
<b>Technical Report 5</b>		
● 地震応答解析における瞬間割線剛性比例型減衰の提案 梁川 幸盛、宇佐美 祐人、木村 まどか		46
<hr/>		
<b>Editor's Note</b>		
● From Editors		51

## 「KKE Vision 2012 ～エンジニアリングにときめく～」開催報告 ～ 3日間でのべ1340名が参加～



プライベートイベント「KKE Vision 2012 ～エンジニアリングにときめく～」を 10 月 24 日（水）から 26 日（金）まで、ヒルトン東京にて開催いたしました。

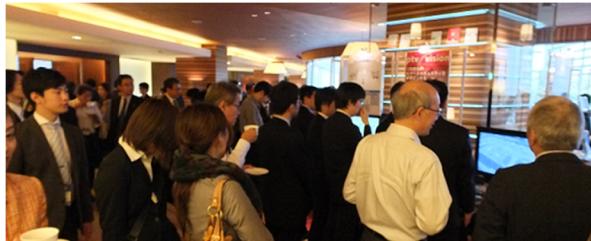
本イベントは構造計画研究所の企業理念である「大学と産業界をブリッジする Professional Design & Engineering Firm」を基に、ステークホルダーの皆様（顧客の皆様や大学、研究機関、海外パートナー、株主の皆様など）とともに、5 年、10 年、15 年の長期的な将来を見据えた知の交流の場となることを目指して、「減災への新たなアプローチ」（24 日）、「ものづくりを支える経営・品質・テクノロジー」（25 日）、「未来社会と豊かな生活」（26 日）の各日三テーマにわたり開催されました。

世界的な経営学者として知られる野中 郁次郎氏（一橋大学 名誉教授）によるスタートアップセッション（モデレータ：徳岡 晃一郎氏（フライシュマン・ヒラード・ジャパン パートナー・SVP、多摩大学 大学院 教授））に始まり、藤本 隆宏氏（東京大学 大学院 経済学研究科 教授、東京大学ものづくり経営研究センター長）、安田 豊氏（株式会社 KDDI 研究所 代表取締役会長）による基調講演など、当社に縁のある方々を中心に、豪華な講師陣による全 20 セッションを開催しました。

### ■ 開催概要

- ・ 日時：2012 年 10 月 24 日（水）～26 日（金）
- ・ 会場：ヒルトン東京

### ■ 来場者数（3 日間）：1,340 名



### ■ プログラム

10/24(水)：減災への新たなアプローチ

【スタートアップ・セッション】	
ビジネスモデル・イノベーションにときめく ～真の知恵が問われる時代の戦略・イノベーション・リーダーシップ～	一橋大学 名誉教授 野中 郁次郎 氏 (モデレータ：多摩大学大学院教授 徳岡 晃一郎 氏)
【減災への新たなアプローチ】	
● 過去の震災に学ぶ大都市の地震対策	名古屋大学 福和 伸夫 氏
● 東日本大震災による大規模集客施設の天井被害そしてその復旧対策	東京大学 川口 健一 氏
● 過酷な地震動に対する建築物の備え方	早稲田大学 曽田 五月也 氏
● 鉄道構造物の震災復旧と今後の災害対策	東日本旅客鉄道株式会社 野澤 伸一郎 氏
● 都市ガス事業における事業継続性の確保に向けた地震防災対策	東京ガス株式会社 猪股 渉 氏
● 震災の教訓：輝ける日本の再構築へ	東北大学 加藤 修三 氏
● 合意形成の壁をどう乗り越えるか ～震災直後の修羅場での経験を通じて～	前女川町長 安住 宣孝 氏 (モデレータ：ノンフィクション作家 山岡 淳一郎 氏)
【交渉学ワークショップ～復興リーダーシップ教育～】	
● 合意形成と交渉学～減災・震災復興に生かす～	慶應義塾大学 田村 次朗 氏
● ショートケースのグループディスカッションと交渉学の理論解説	
● 模擬交渉（1対1）体験	
● 模擬交渉のフィードバックと交渉学の理論解説	

10/25(木)：ものづくりを支える経営・品質・テクノロジー

【基調講演】良いものづくり現場と日本に残すためのITとは

東京大学大学院 経済学研究科 教授 藤本 隆宏 氏

10/26(金)：未来社会と豊かな生活

【基調講演】スマートシティと未来生活～仮想世界と現実世界の融合に向けて～

株式会社 KDDI 研究所 代表取締役会長 安田 豊 氏

## 危機管理産業展2012／ものづくりNEXT↑2012 出展報告 第16回震災対策技術展（2013/2/7～8 開催）出展のご案内

構造計画研究所では、これまでに建築、建設分野において蓄積してきた構造解析技術や地震動、津波、地盤液状化等の自然災害シミュレーション技術について、製造業をはじめとする様々な業界の方に広く紹介し、交流を促進することを目的に、展示会への出展を積極的に行ってています。

3月11日の東日本大震災では、東北地方を中心に甚大な被害が発生し、多くの企業において実効性のある事前の災害対策、事業継続計画（BCP）の必然性が改めて見直されています。また、自然災害だけではなく、施設や設備の老朽化に対する保全・維持管理対策の重要性が高まっています。

こうした社会的背景を踏まえて、「構造解析技術」、「計測技術」、「データマイニング技術」を応用した、施設や設備の「災害・保全対策ソリューション」をテーマにご紹介をしております。

### ■出展内容

- 災害対策ソリューション
  - 大規模地震による強震動、長周期地震動、津波、地盤液状化問題への解析技術の適用
  - プラント・工場・設備の耐震対策のための解析技術の適用
  - BCP（事業継続計画）策定のための災害リスク評価コンサルティング
  - 防災計画策定・検証のための避難シミュレーション
- 保全・維持管理ソリューション
  - 設備管理データ解析コンサルティング～「データマイニング技術」による異常検知・変状予測～
  - FBGやカメラセンサなどによる「センシング技術（実測データ）」と「構造解析技術」を活用した構造ヘルスモニタリング

～構造同定問題、環境振動問題、疲労劣化、損傷劣化問題への適用～

### ■出展のご報告

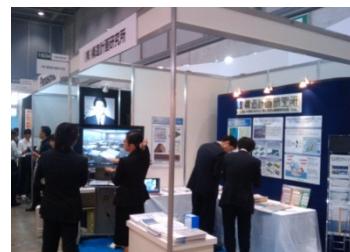
#### 危機管理産業展（RISCON TOKYO）2012

会期	2012年10月17日（水）～19日（金）
会場	東京ビッグサイト（東京国際展示場）
主 催	株式会社 東京ビッグサイト
セミナー	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 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 エンジニアリング営業部 防災対応室 児玉徹也

#### ものづくりNEXT↑2012 メンテナンステクノジー

会期	2012年11月14日（水）～16日（金）
会場	東京ビッグサイト（東京国際展示場）
主 催	社団法人日本能率協会
セミナー	構造物や施設の維持管理・災害対策における情報活用 エンジニアリング営業部 ストックマネージメント室 田邊功一

セミナー風景



展示ブース風景

### ■出展のご案内

#### 第17回 震災対策技術展－自然災害対策技術展－

会期	2013年2月7日（木）～8日（金）
会場	パシフィコ横浜／アネックスホール
主 催	「震災対策技術展」実行委員会
セミナー	津波浸水予測と粒子法－構造解析連成による構造物への影響評価

※招待状をご希望の方は、本誌裏面の「お問い合わせ先」までご連絡ください。

# 地震ハザード評価プログラム

## k-HAZARD Ver.2.0

地震活動データに基づいた地震危険度を確率論的に評価する

### =特徴=

- 任意の地点・再現期間・基準日に対する地震ハザードの評価が行えます
- 最大速度や加速度応答スペクトルによる地震動評価が行えます
- 対象建物の固有周期に合わせた地震ハザードカーブや一様ハザードスペクトルの出力、  
また、地震ハザードに影響を及ぼす地震種別の分析など、様々な評価が行えます
- 内蔵されている地震活動データはユーザにより編集が行えます
- 評価結果の図化が行えます※

(※一部の評価結果を除く。図化にはMicrosoft Excelが必要です。)

## 地震ハザードの評価方法

### 地震活動のモデル化

- 主要98断層帯※1
  - 主要98断層帯以外の活断層※1
  - 海溝型地震※1※2
  - 震源断層を予め特定しにくい地震※2
- ※1 地震ハザードステーション(J-SHS)で利用されている防災科学技術研究所の断層形状データを利用(2008年度版)
- ※2 地震ハザードステーション(J-SHS)で利用されている防災科学技術研究所の断層形状データを数値化(2008年度版)

### 地震動の予測に用いる距離減衰式

- 最大速度
  - 司・翠川(1999)<基盤面>
- 加速度応答スペクトル
  - 安中・山崎・片平(1997)<基盤面>
  - 内山・翠川(2006)<基盤面>
  - Kanno et al.(2006)<基盤面>

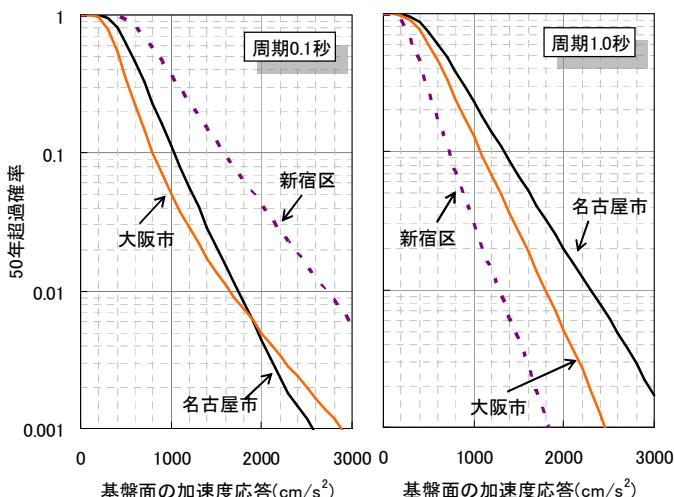
### 表層地盤増幅率

- 最大速度
  - 藤本・翠川(2003)に基づき評価した地盤増幅率データベース
  - ユーザ指定
- 加速度応答スペクトル
  - 藤本・翠川(2003)に基づき整備したAVS30データベース(約250m メッシュ単位)を用いた地盤増幅率(Kanno et al.(2006)利用時のみ)
  - ユーザ指定

## 評価事例

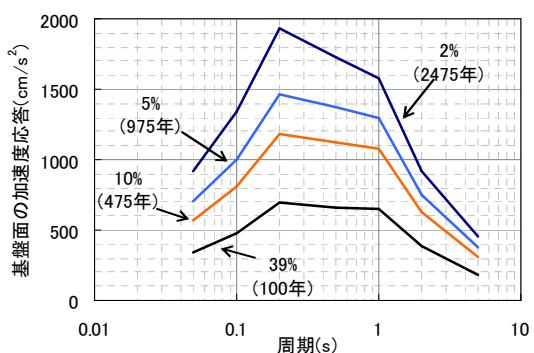
- 地震動の予測に用いた距離減衰式:Kanno et al.(2006)
- 評価基準日:2008年1月1日

## 地震ハザードカーブ地点比較



評価期間50年における大阪市、名古屋市、新宿区の基盤面の地震ハザードカーブ(周期0.1秒、1.0秒)を示します。複数地点の地震ハザードを比較することにより、周期によって、地点間の傾向が異なることがわかります。

## 一様ハザードスペクトル



50年超過確率2%(再現期間2475年)、50年超過確率5% (再現期間975年)、50年超過確率10%(再現期間475年)、50年超過確率39%(再現期間100年)における、大阪市の基盤面の一様ハザードスペクトルを示します。

任意の再現期間に応じた加速度応答スペクトルを確率論的に評価することができ、設計用地震動の検証などに利用することができます。

## システム開発(受託開発)

k-HAZARDは単独で動作するソフトウェアですが、機能追加や出力形式の変更等、お客様の利用目的に合わせたカスタマイズに対応しております。

## 動作環境

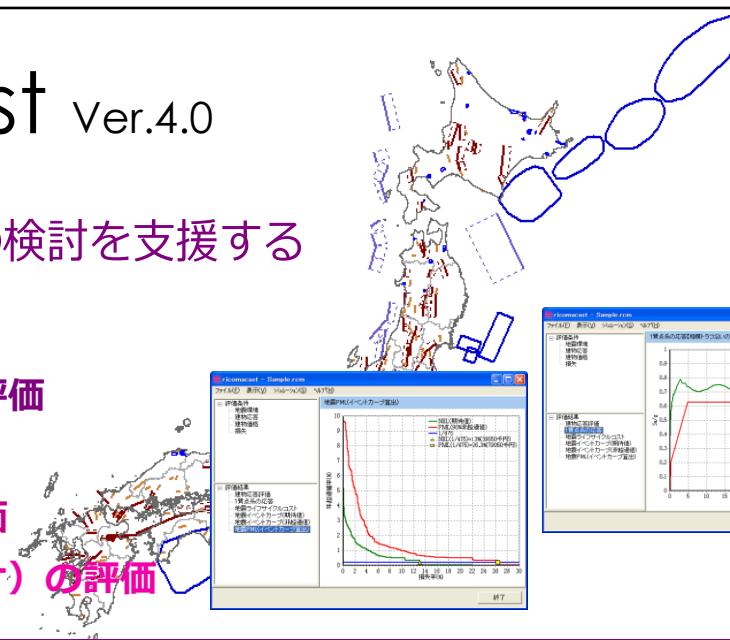
対応OS: Microsoft Windows XP 日本語版  
Microsoft Windows Vista 日本語版  
Microsoft Windows 7 日本語版  
必要メモリ: 1GB以上 必要ディスク: 100MB以上

# ricomacast Ver.4.0

地震リスク評価プログラム

## 建物に効果的な地震対策の検討を支援する

- 地震PML評価
- 地震ライフサイクルコスト評価
- 地震イベントカーブ評価
- シナリオ地震による詳細評価
- 複数建物群（ポートフォリオ）の評価



### Ver.4.0の主な変更点

#### J-SHISの最新DBを追加

2010年度版の地震情報データベースを追加しました。

#### 連動型地震を考慮

南海トラフの地震、宮城県沖地震、十勝沖・根室沖の地震について連動型地震を考慮できるようになりました。

#### 主要活断層帯の発生確率を選択

平均ケース／最大ケースの選択ができるようになりました。

#### 各階の応答加速度の推定方法の選択項目を追加

新たに以下の方法を追加しました。

- ・地表最大加速度×Ai分布で算出
- ・地表最大加速度×ユーザー指定倍率で算出

### ricomacastとは？

ricomacastは、建設地周辺の活断層・プレートの状況や過去の地震活動状況をふまえて、建物の地震リスクを評価するプログラムです。日本全国の地震活動モデルのデータベースと、建物の地震リスクを評価するために必要な基本機能を内蔵しており、建物の属性を設定することにより、対象建物の地震リスクを評価することができます。

#### 震源

現在の工学的知見に基づく地震情報データベースを利用して評価することができます。また、GIS機能を標準搭載しており、建物周辺の地震環境を地図上で確認することができます<sup>※1</sup>。

#### [地震情報データベース]

- 主要活断層帯<sup>※2</sup>
- 主要活断層帯以外の断層<sup>※2</sup>
- 海溝型地震断層<sup>※2</sup>
- 震源断層を予め特定しにくい地震<sup>※2</sup>

※1 国土地理院刊行の数値地図25000（行政界・海岸線）を基本地図として利用  
※2 J-SHISで利用されている防災科学技術研究所の断層形状データを利用。

#### 建物応答評価

建物応答は応答スペクトル法により評価します。建物の耐力スペクトルは、以下の4つの設定方法を用意しています。構造計算や耐震診断結果等に基づいた設定を支援しています。

#### [耐力スペクトルの設定方法]

- 保有水平耐力（せん断力係数C）の入力
- Bird-21保有水平耐力計算結果を利用する
- Is値の入力
- 耐力スペクトルの直接入力

### システム開発（受託開発）

ricomacastは単独で動作するソフトウェアですが、お客様の利用目的に応じたカスタマイズに対応しております。

「自社独自の損傷評価モデルやコストモデルをricomacastに導入したい」、「自社の仕様に合わせたレポート出力機能が欲しい」等のご要望にお応えします。

#### 震源特性・伝播経路特性とサイト増幅特性の評価

応答スペクトルの距離減衰式と浅部地盤の増幅特性を与えてシナリオ地震の地震動の強さを評価します。

#### [距離減衰式・地盤種別]

- 安中・山崎・片平（1997）
  - ・ユーザー指定によるサイト増幅特性
  - ・建築基準法に基づく地盤種別のサイト増幅特性
- 山内・山崎・若松・SHABESTARI（2001）
  - ・11種類に分類された地盤種別のサイト増幅特性

#### 損失評価

フラジリティおよび再調達価格に基づき評価します。フラジリティはユーザーが自由に設定することができます。また、既往の研究結果を参考に設定したフラジリティを内蔵しています。

#### [フラジリティ]

- ラーメン構造
- 壁・ブレース構造
- 非構造部材（加速度依存）
- 非構造部材（層間変形角依存）

#### 出力項目

- 地震イベントカーブ（期待値、90%非超過値）
- 地震PML
- 地震ライフサイクルコスト など

### 動作環境

対応OS	:	Microsoft Windows XP 日本語版 Microsoft Windows Vista 日本語版 Microsoft Windows 7 日本語版
CPU	:	Pentium 4以上
必要メモリ	:	512MB以上
プロトコル	:	TCP/IP（同一ルータ内で接続されている範囲）
その他	:	USBポートにセキュリティデバイスの接続が必要です インストールには管理者権限が必要です

## 企業防災・事例紹介セミナー2012 ～地震・津波に関する企業リスクの把握と対策～ 開催報告

万一の災害においても従業員の生命を守る、致命的な事業の中止を回避できる、災害に強い現場にするためには事前の対策が不可欠です。構造計画研究所では、地震・津波に関する企業リスクを分析し、お客様の効果的な事前対策のためのお手伝いをしてまいりました。

このたび、その豊富な業務実績をベースに、皆様に地震・津波に対する効果的なリスクマネジメントのあり方を事例を交えてご紹介させていただくセミナーを開催いたしました。

セミナー終了後には、弊社の経験豊富なコンサルタントによる無料相談会（先着6名様）も行いました。

### ■開催概要

- ・2012年11月27日（火）：構造計画研究所（東京）
- ・2012年11月29日（木）：野村コンファレンスプラザ大阪御堂筋（大阪）



### ■主催：株式会社構造計画研究所

### ■講演プログラム

#### ●セッション1 東日本大震災で何が変わったか

講師：坪田 正紀（防災ソリューション部 災害リスクマネジメント室室長）

東日本大震災をふまえ、企業では事業継続の見直しが行われています。想定外の震災を経験して得た教訓について、首都直下地震、南海トラフの巨大地震などに関する最新情報と合わせてご紹介しました。

#### ●セッション2 地震被害リスクに関する検討事例

講師：梁川 幸盛（防災ソリューション部 建築構造室室長）

懸念される地震が発生した場合に、ビルや工場などの施設の柱、壁や室内の状況、また煙突や鉄塔などの特殊な工作物は大丈夫なのかを把握するには地震シミュレーションが有効です。地震被害に関する企業リスクの検討を行った耐震性に懸念がある施設や工作物の事例を中心にご紹介しました。

#### ●セッション3 津波被害リスクを把握する

講師：安重 晃（防災・環境部 地図環境室技術担当）

政府や関連機関から発表されている最大津波高さを想定したとき、敷地内は浸水するのか、従業員の安全を守れるのか、近隣の河川による影響はないのかなどを把握するには浸水シミュレーションが有効です。津波被害に関する企業リスクの検討を行った浸水評価事例や避難のあり方に関する検討事例をご紹介しました。

#### ●セッション4 限られた予算でどう備えればよいのか

講師：坪田 正紀（防災ソリューション部 災害リスクマネジメント室室長）

敷地にどういった地震がくるのか、予想される地震リスクや津波リスクの大きさをどのように把握するのか、リスクの大きさをふまえてどのような対策をとるべきなのか、ここでは災害に備えたリスクマネジメントのあり方についてご紹介しました。

### ●無料相談会

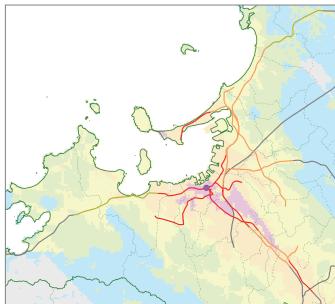
ご参加頂いたお客様を対象に弊社の経験豊富なコンサルタントによる個別相談を実施しました。

# 自然災害 + KKE



## 災害リスクマネジメントソリューション

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。

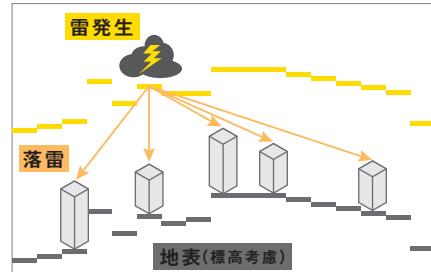


震度分布・公共交通の被害予測例

想定運休日数	
30日以上	震度7
15～30日	震度6強
5～15日	震度6弱
3～5日	震度5強
1～3日	震度5弱
1日以下	震度1～4
なし	

- 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

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。



### より強固な

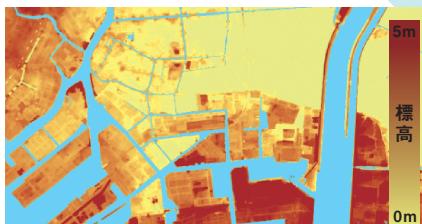
## 防災対策・事業継続計画 (BCP) への発展をサポートします。

地震

浸水

落雷

台風



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。

### 地震 PML 評価 (予想最大損失率)

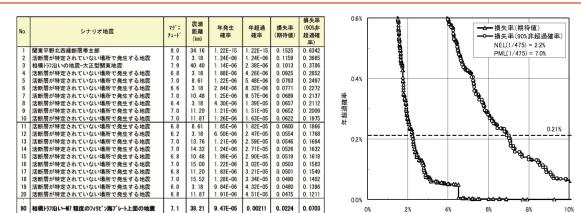
不動産売買・証券化や、データセンターのファシリティスタンダードとして活用されています。既存や計画中の施設の地震 PML のほか、複数建物群を対象としたポートフォリオ地震 PML も評価可能です。

シナリオ地図		年間発生確率	直面	年発生	年超過	最大発生	年超過
1	地震等級と直面確率	8.0	34.1%	122.15	122.15	0.155	0.642
2	震度7以上の直面確率	7.9	48.4%	146.40	146.40	0.160	0.650
3	震度7以上の直面確率	7.8	50.0%	148.00	148.00	0.163	0.658
4	震度7以上の直面確率	7.0	8.1%	28.00	28.00	0.070	0.297
5	地震等級と直面確率	7.0	8.1%	22.25	22.25	0.070	0.297
6	地震等級と直面確率	6.5	3.8%	5.86	5.86	0.071	0.277
7	地震等級と直面確率	6.5	3.8%	5.86	5.86	0.071	0.277
8	地震等級と直面確率	6.4	3.8%	5.86	5.86	0.071	0.277
9	地震等級と直面確率	6.4	3.8%	5.86	5.86	0.071	0.277
10	地震等級と直面確率	7.0	11.1%	246.00	246.00	0.062	0.375
11	地震等級と直面確率	7.0	11.1%	246.00	246.00	0.062	0.375
12	地震等級と直面確率	6.2	3.8%	5.86	5.86	0.054	0.277
13	地震等級と直面確率	6.2	3.8%	5.86	5.86	0.054	0.277
14	地震等級と直面確率	7.0	14.3%	246.00	246.00	0.062	0.375
15	地震等級と直面確率	7.0	14.3%	246.00	246.00	0.062	0.375
16	地震等級と直面確率	7.0	14.3%	221.00	221.00	0.070	0.300
17	地震等級と直面確率	6.5	3.8%	5.86	5.86	0.071	0.277
18	地震等級と直面確率	6.0	15.3%	281.00	281.00	0.040	0.159
19	地震等級と直面確率	6.0	15.3%	281.00	281.00	0.040	0.159
20	地震等級と直面確率	6.0	15.3%	281.00	281.00	0.040	0.159

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。

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・  
内容をご提案させていただきます。  
お気軽にお申し付けください。



## プロメテック・ソフトウェア株式会社との資本・業務提携に関するお知らせ

株式会社構造計画研究所は、2012年10月29日、流体シミュレーション理論「粒子法」に基づく革新的なCAEソリューションを提供しているプロメテック・ソフトウェア株式会社（本社：東京都文京区、代表取締役社長 CEO：花田孔明）の株式 36.7%を株式会社東京大学エッジキャピタル（UTEC、本社：東京都文京区、代表取締役社長：郷治友孝）が運営するベンチャーキャピタルファンドより取得することが決定しましたので、下記の通りお知らせいたします。

プロメテック・ソフトウェアは、2004 年に設立された東京大学発のベンチャー企業です。構造計画研究所とは、2008 年より粒子法ソフトウェアの販売及びコンサルティング業務に関する提携を行い、プロメテック・ソフトウェア創業者の一人である越塚誠一教授（東京大学大学院 工学系研究科）の研究成果「粒子法」を基にプロメテック・ソフトウェアが独自開発した CAE ソフトウェア「Particleworks」の市場創出に向けて共同で取り組んで参りました。

構造計画研究所は、総合エンジニアリング企業として、大学・研究機関と実業界の橋渡し役を経営理念に掲げております。今回の資本参加により、プロメテック・ソフトウェアの東京大学発ベンチャーというアイデンティティとのシナジーを最大限に発揮させることで、両社の「知の循環」を図り、事業の拡大を推進いたします。また、中長期的な視野にたち、ベンチャー企業を支援することで、当社の企業風土を保持し、社会に役立つイノベーションを実現していきたいと考えております。

業務提携に関しては、これまで、主に製造業に向けて展開していた「Particleworks」などのソフトウェア販売を、建設・防災分野に拡大させます。特に昨年の大震災以降、関心の高まっている津波、河川氾濫や地盤の液状化シミュレーションなどに応用させることで、ソフトウェアの販売と併せて、高い付加価値のコンサルティング・サービスの提供を目指します。また、海外市場への展開や、両社の技術者の交流によるソフトウェアの高性能化など、戦略的な取り組みを強化して参ります。

### <<粒子法について>>

粒子法は日本発の、世界で通用する、ものづくりソフトウェアとして注目を集めている期待の技術です。従来の手法では困難とされていた液体のシミュレーションを計算・可視化する革新的な手法として、製造業を中心に、その認知と利用が急速に広がりつつあります。この技術の応用範囲は幅広く、医療、建設、映像制作などの利用も期待されています。

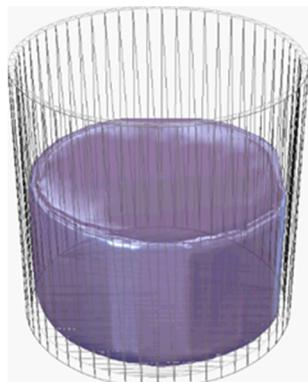
### ■ 会社情報 プロメテック・ソフトウェア株式会社（<http://www.prometech.co.jp>）

プロメテック・ソフトウェアは、粒子法によるシミュレーションと CG の融合技術の事業化を目指して、東京大学生産技術研究所の研究員であった藤澤智光氏と、同大学大学院工学系研究科の越塚誠一教授が 2004 年 10 月に設立した東京大学発ベンチャーです。東京大学ほか諸大学との密接な产学連携体制を有し、常に最新の大学の研究成果を取り入れて、産業界に製品やソリューションとして提供しています。事業内容は、粒子法 CAE ソフトウェア「Particleworks」の開発・販売や、製造業・原子力産業向けの CAE 解析技術の提供、映像制作向けのミドルウェアの提供などで、2009 年にリリースした「Particleworks」は、自動車産業から化学・医療・食品産業まで幅広く産業界で活用されています。

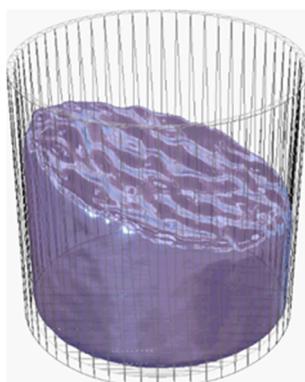
## 粒子法による解析事例のご紹介

### ■スロッシング解析

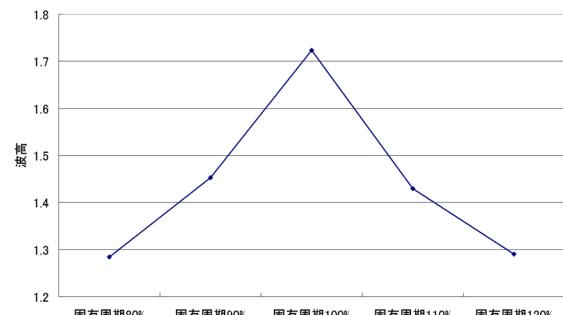
スロッシングはタンクなどに入っている液体が地震動などにより振動する現象で、スロッシングによる容器からの液体の溢流や液面の衝突による容器の破損などが生じ、大きな災害を引き起こす可能性のある現象です。そのため、スロッシングによる液面の高さの評価やスロッシングの防止方法の検討が欠かせません。粒子法を用いたスロッシングの解析例を紹介します。



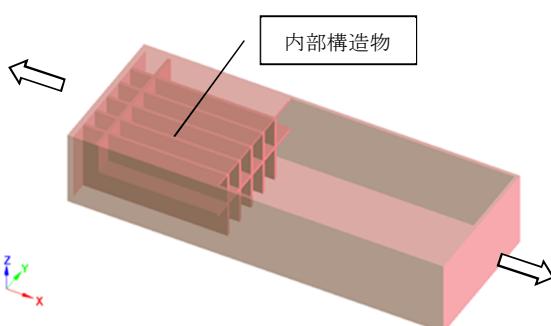
円筒タンク内液面  
初期状態



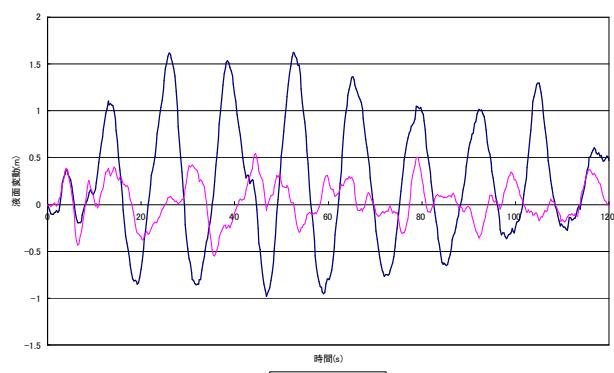
円筒タンク内液面  
振動状態



振動周期による液面最大高さの変化



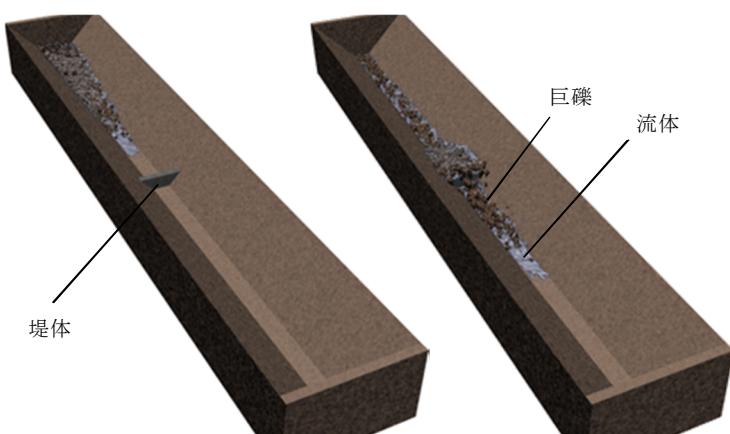
内部構造物を含む矩形容器



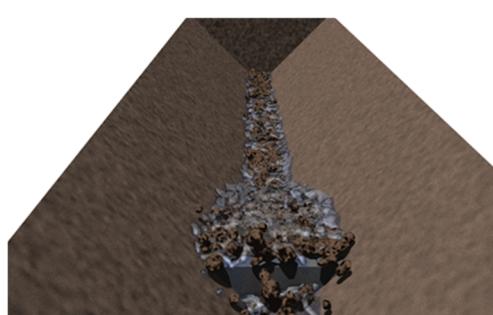
矩形容器における内部構造物の有無による波高の変化

### ■MPS-DEM 連成による土石流解析

土石流のような固液混相流問題（高濃度の粗粒分を含む流れ）を粒子法（MPS 法：Moving Particle Semi-implicit Method）と DEM（Distinct Element Method）を連成することで解くことができます。巨礫を含む土石流が砂防ダムに衝突する過程を粒子法と DEM の連成解析により行った解析事例をご紹介します。



MPS-DEM 連成による土石流の解析結果(鳥瞰図)



MPS-DEM 連成による土石流の解析結果(堤体付近)

# 津波シミュレーター「TSUNAMI-K」

## 津波波高・遡上計算プログラム

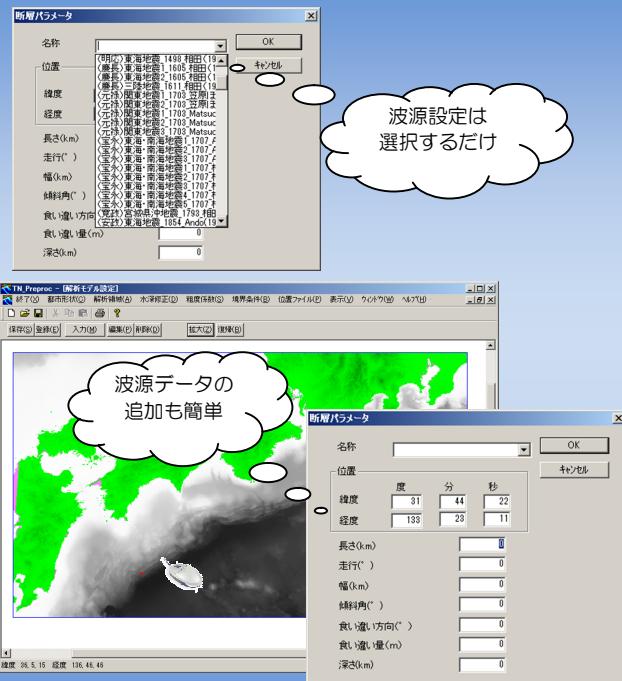
### ■ TSUNAMI-Kの特徴

- 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！



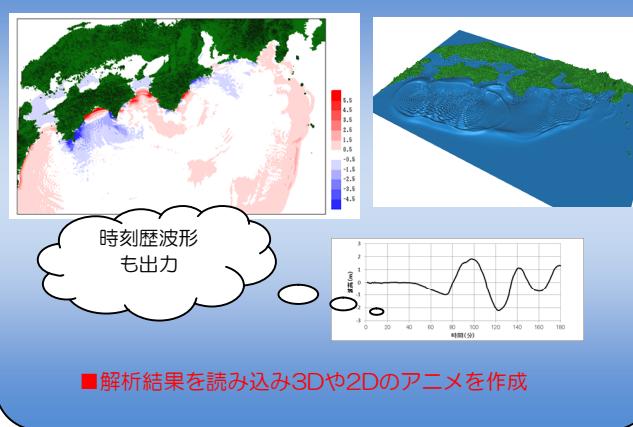
### ②波源設定はデータベースから選択 データベースへの追加も容易！



### ③計算条件を入力し解析実行！



### ④結果の図化、アニメーションの作成！



# TSUNAMI-Kの入出力と解析事例

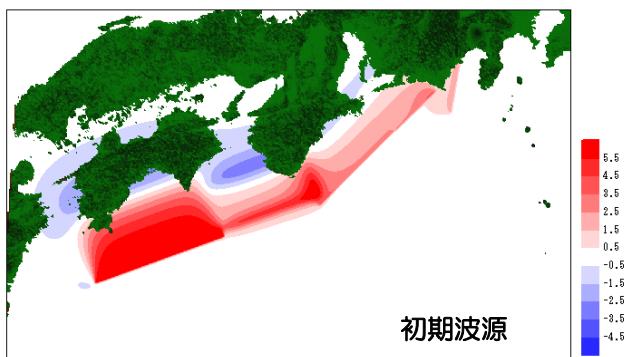
## ■入力

- ・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

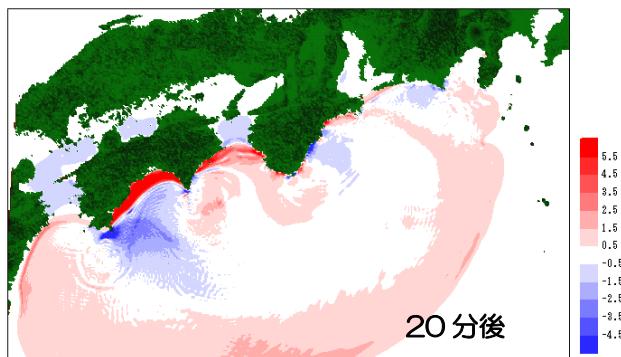
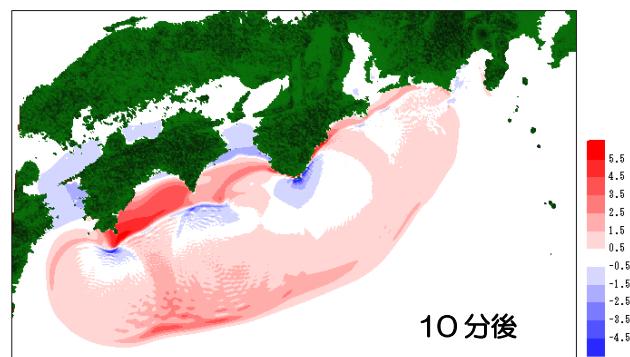
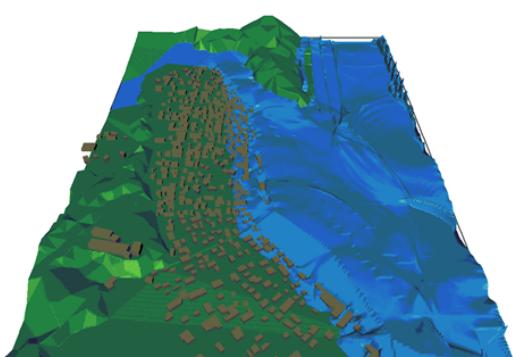
## ■出力

- ・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

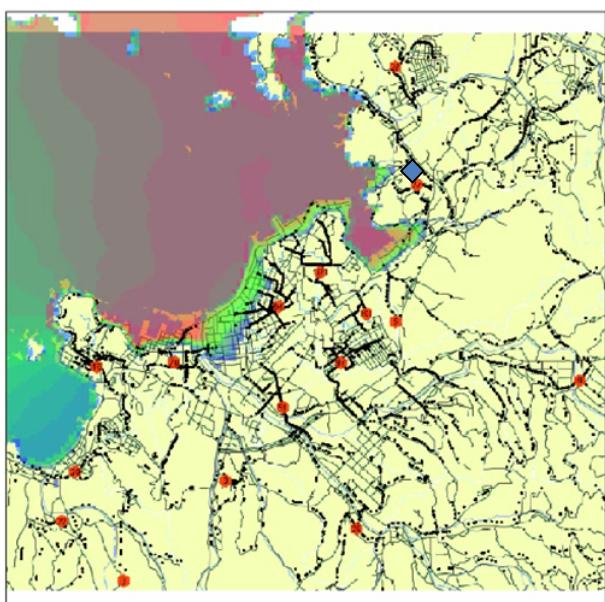
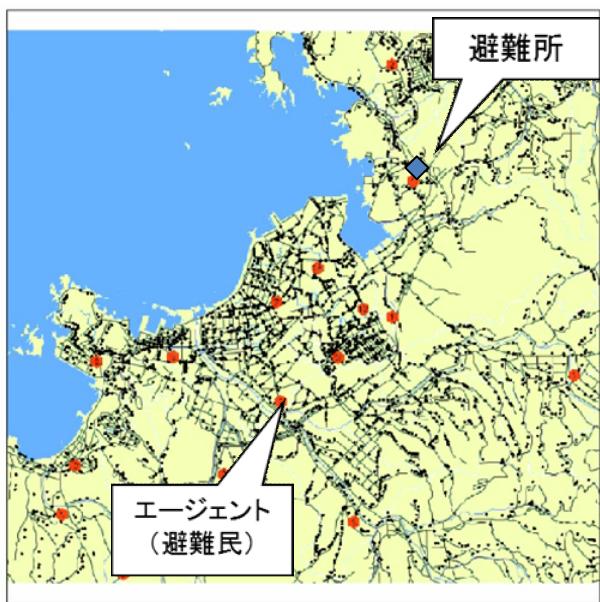
## ◆東海・東南海・南海地震波の計算例



## ◆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



## ウェーブレット変換を用いた構造物の変状検知

(株)構造計画研究所  
耐震技術部 八木 康仁

構造物に生じた変状を検知する際に用いられる手法の1つとして、高速フーリエ変換(FFT)に代表される周波数分析手法が挙げられます。特に近年着目されている周波数解析手法に、ウェーブレット変換とよばれる手法がございます。今回はウェーブレット変換を用いて構造物に生じた変状を検知するための方法をご紹介いたします。

### 1. 構造物の変状検知に用いる波形分析

構造物の変状を検知する方法として、構造物の加速度やひずみ等の時刻歴データを取得してその特徴を抽出する手法は広く用いられています。

時刻歴データを分析する手法として、高速フーリエ変換(FFT)は波形の周波数特性を抽出する手法として非常に広く用いられており、様々な分野に応用されております。しかし、FFTにより得られた周波数特性は取得した全時刻歴波形についての周波数特性となっており、時間の情報は欠落しているため、たとえば「ある特定の時刻の周波数特性」といった情報を得ることができません。

この欠点を補うために、一定の時間間隔で時刻歴波形を切り出し、次々にFFTを行うことにより各時刻ごとの周波数特性を抽出する手法（短時間フーリエ変換）が存在します<sup>[1]</sup>が、時間間隔を短くすると低周波数帯の情報が得られず、逆に低周波数帯の除法を得るためにには時間間隔を長くする必要があるという、いわゆる「不確定性原理」により、分析精度に限界があるという欠点があります。そこで考え出されたのがウェーブレット変換とよばれる手法です。

### 2. ウェーブレット変換とは

ウェーブレット変換とは、「マザーウェーブレット」とよばれる、時刻  $t$  の近傍を除いて値が 0 となる関数  $\varphi(t)$  を用いた関数

$$(W_\varphi f)(b, a) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\varphi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt$$

による  $x(t)$  の変換を指します<sup>[1]</sup>。この関数は高周波成分を分析する際には切り出す時間間隔が自動的に狭まり、低周波成分を分析する際には時間間隔が自動的に広がるため、分析精度を落とさずに分析が可

能となります。この手法を用いることにより、FFTでは得られなかった、波形の時刻ごとの周波数特性の情報を得ることができます。なお、マザーウェーブレットは図1に示すように様々な波形が存在し、用途によって使い分けています。

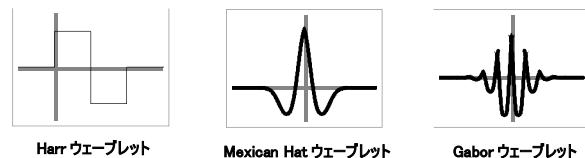


図1 マザーウェーブレットの例

ウェーブレット変換は非常に様々な分野において応用されておりますが、本稿ではこれを構造物の変状検知に用いた例を紹介致します。

### 3. 構造物の変状検知への適用事例

例として、2径間橋梁を梁要素で模擬したFEMモデル(図2)において、床板のプレストレス力の低下を模擬した変状検知を行いました。健全な橋梁のモデルと、床板の損傷を模擬したモデルの2モデルについて柱に橋軸方向の衝撃を与えた際の、衝撃を与えた点の近傍における橋軸方向加速度波形データを取得して比較を行いました。なお、床板のプレストレス力が50%低下した場合に曲げ剛性が約50%低下するという知見<sup>[2]</sup>に基づき、損傷時のモデルについては床板の剛性を健全時の50%に設定しました。

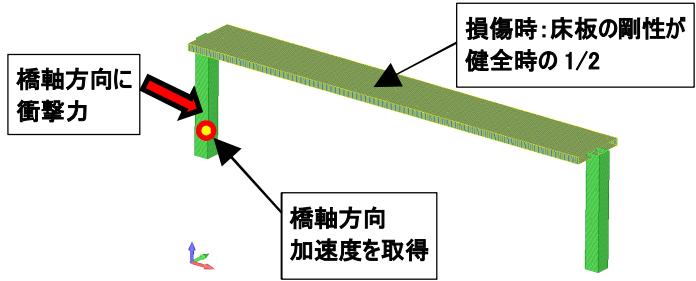


図2 変状検知用模擬解析モデル

解析結果として得られた加速度時刻歴波形を図3に、波形にFFTを施した結果得られた加速度フーリエスペクトルのグラフを図4に示します。

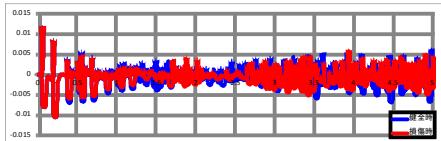


図3 加速度時刻歴波形グラフ

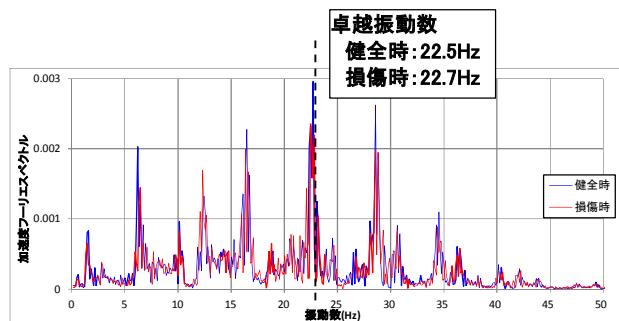


図4 FFT結果グラフ

図4に示された加速度フーリエスペクトルにおいて、損傷によるものと考えられる差異はみられませんでした。これは様々な時間帯の振動データがフーリエスペクトルに含まれることにより、卓越周波数の情報が全時刻で平均化されたことが原因と考えられます。また、図3に示された加速度時刻歴について位相のずれがみられます、これが損傷によるものとは断定できないと考えられます。

一方、同じ加速度波形にウェーブレット変換を施した結果を示したグラフが図5および図6となります。ただし抽出周波数は0Hz～50Hzとし、抽出時間帯は図5においては0ms～1,000ms、図6においては4,000ms～5,000msとしました。また、マザーウェーブレットにはガボールウェーブレットを用いました。

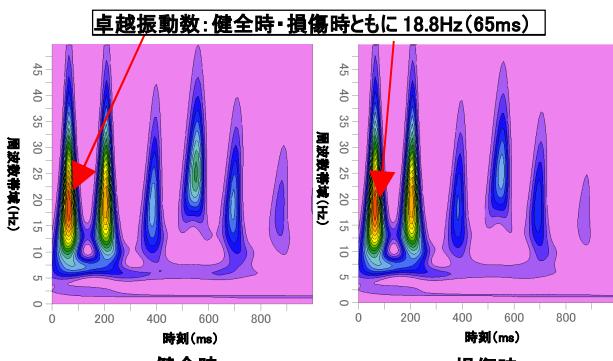


図5 ウェーブレット変換結果(0ms～1,000ms)

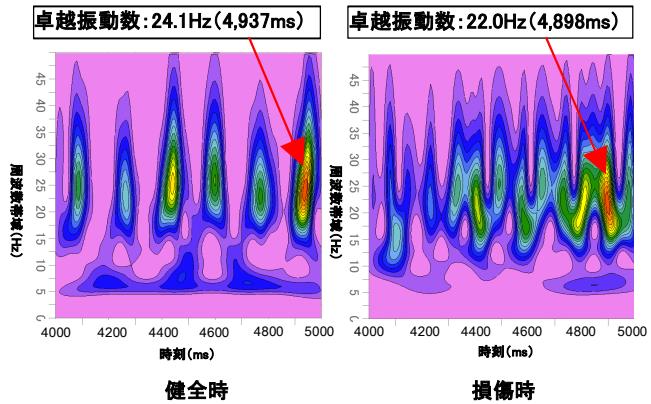


図6 ウェーブレット変換結果(4,000ms～5,000ms)

打撃直後においては、図5に示すように卓越振動数に変化はみられませんが、図6からは、打撃後4秒～5秒の時間帯で振動が最も卓越している時間帯（健全時：4,937ms、損傷時：4,898ms）において、損傷時の卓越振動数帯域が健全時と比較して2Hzほど低周波数側にシフトしていることが読み取れます。

一般的に構造物の剛性が低下すると卓越振動数は低周波数となるので、図6において示した卓越振動数のシフトから橋梁の剛性低下を示すことができたといえます。

#### 4.まとめ

ウェーブレット変換を用いて時刻ごとの周波数特性を取り出すことによって、FFTでは検出できなかった構造物の変状を検出する事が可能になります。

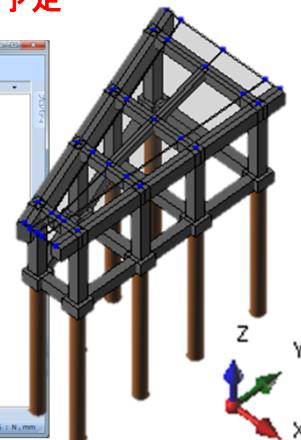
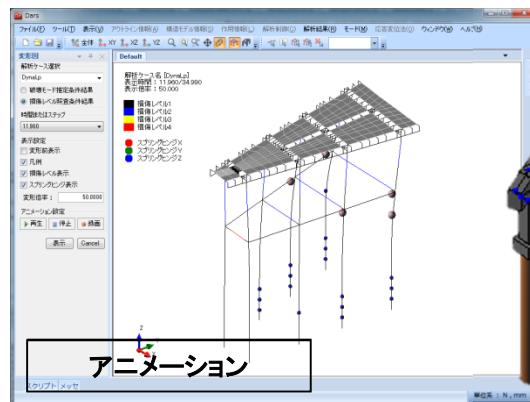
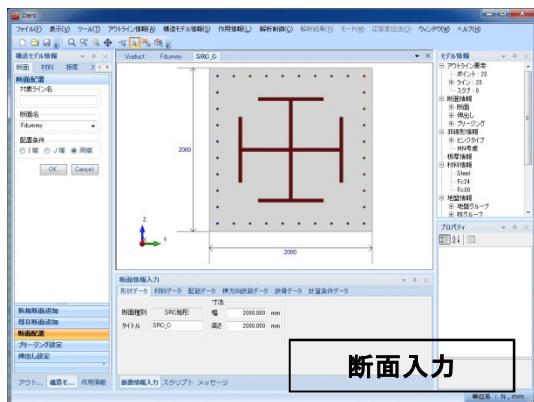
今回はウェーブレット変換による変状検知手法をご紹介させて頂きましたが、弊社におきましては、他にも様々な分析手法を用いて構造物の変状検知に関するコンサルティングを行っておりますので、お気軽に声掛けいただけますと幸いです。

#### 参考文献

- [1]数理科学 ウェーブレット入門 (Charles K. Chui 著、桜井明・新井勉共訳)
- [2] 国総研資料第613号 PC道路橋の健全度評価の高度化に関する共同研究 4章 (国土技術政策総合研究所・社会法人プレストレスト・コンクリート建設業協会共著)

DARSは、鉄道構造物全体を3次元骨組構造としてモデル化し、非線形スペクトル法または時刻歴動的解析法により地震時の動的応答を算出し、線路方向、線路直角方向の損傷レベルを部材毎に求めるプログラムです。

**平成24年鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計に平成25年3月頃対応予定**



## 特徴

3次元での動的解析により、不整形なラーメン高架橋などに対応します。また、スラブへの直接的な荷重配置により複雑な荷重計算、荷重分担計算の省略や、1モデル2方向に解析・照査することにより解析ケース数、作業量を大幅に軽減し、これまでの設計者の悩みを解決します。

## 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)
- ◆ SRIばね(直接入力)
- ◆ 支承ばね(直接入力)



## 対象部材

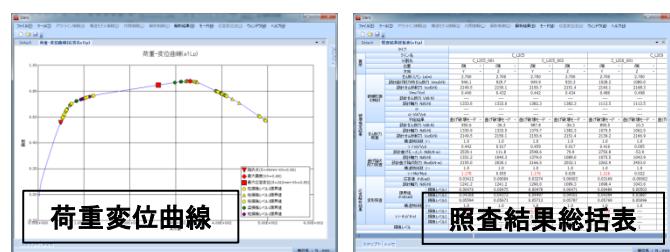
- ◆ RC(矩形・円形・T型)
- ◆ 鋼部材(矩形・円形)
- ◆ SRC(矩形・T型)
- ◆ CFT(円形)

## 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

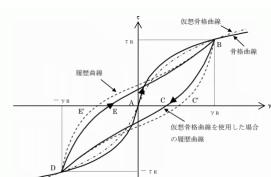
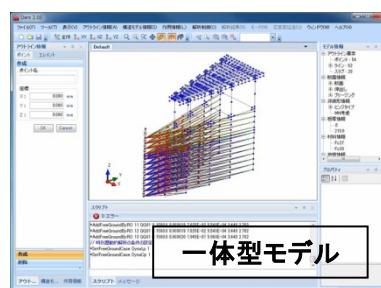
## 動作環境

- ◆ Windows XP / Vista / 7 / 8



## H24年鉄道構造物等設計標準・同解説 対応予定

- ◆ H24鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物
  - ・ 杭基礎対応
  - ・ 直接基礎の分布ばねモデル対応
- ◆ H24鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計
  - ・ **一体型モデルによる動的解析**
  - ・ 応答変位法
  - ・ 土の非線形モデル GHE-S



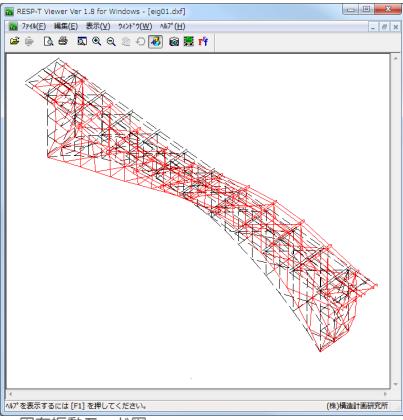
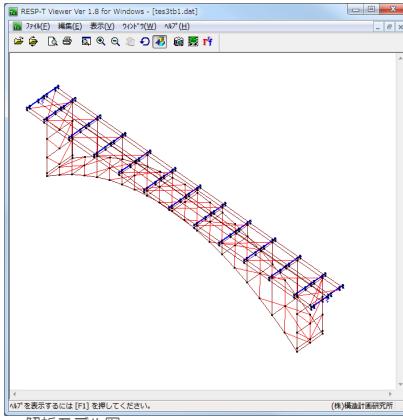
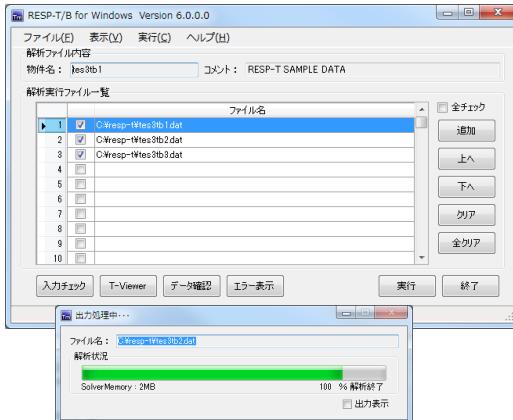
\* 追加内容は変更になる可能性もあります。

■ 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。

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>、バネ要素<sup>(2)</sup>、  
剛域付き4点支持バネ要素<sup>(2)</sup>、剛域付き2点支持バネ要素<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>

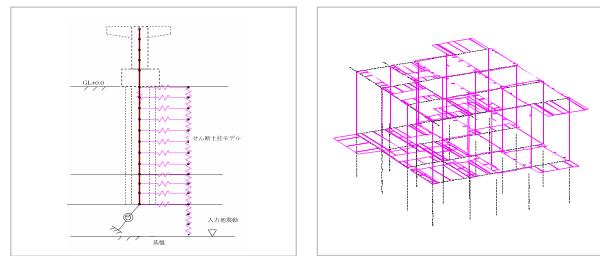
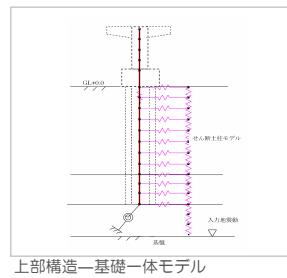
\* (1)最終勾配負荷考慮可

#### 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(hardening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

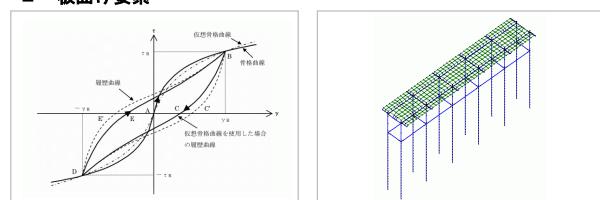
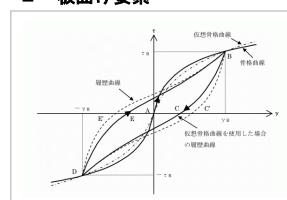
#### 復元力特性(減衰)

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



#### 機能追加予定

- GHE-S履歴モデル
- 板曲げ要素



#### 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 / 8 (64bitOS対応)
- 必要メモリ、ディスク  
メモリ256MB以上、空きディスク容量1GB以上

◆ 解析コンサルティングも行っております。

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

## 汎用の非線形有限要素法解析プログラム

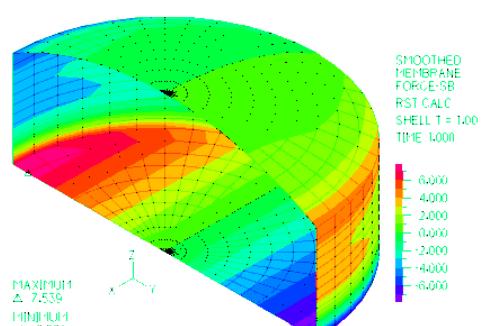
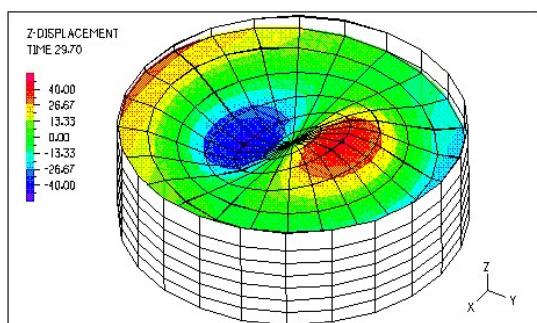
# ADINA

### 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。

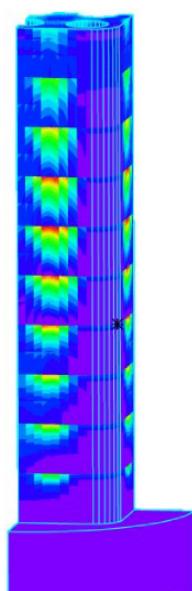
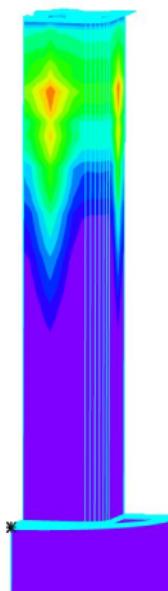
### 構造物－流体連成問題

貯蔵液体タンクのスロッシング解析



### 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



### ■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

### ■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

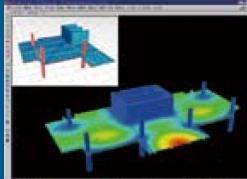
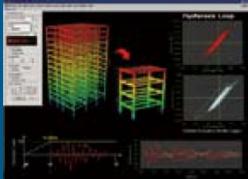
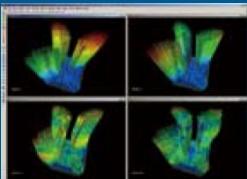
ADINA プログラムや解析事例を紹介するセミナーをご用意しております。お試し版 CD とプログラム使用法の教育訓練もご提供致します。また一般的な有限要素法解析についてのセミナーや教育も貴社のご事情に応じた内容で行います。お気軽にご相談下さい。



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

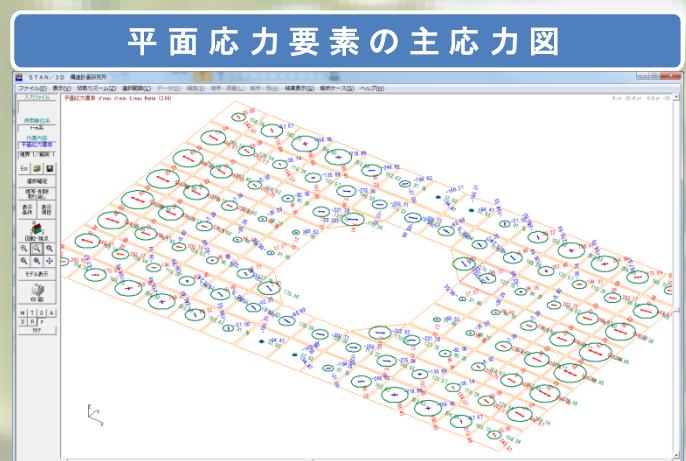
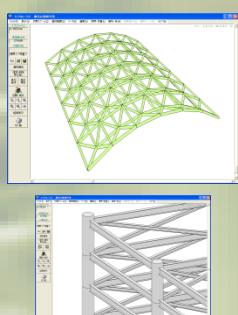
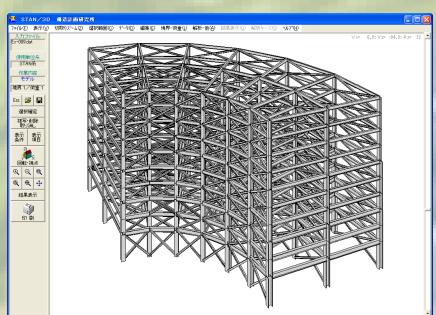
詳細はこちら ↓

<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ありません。

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/>

平成23 年度先端研究施設共用促進事業「地球シミュレータ産業戦略利用プログラム」利用成果報告書  
※本研究は、独立行政法人海洋研究開発機構の地球シミュレータを利用し、文部科学省の「先端研究施設共用促進事業」の補助を受けた平成23 年度の「地球シミュレータ産業戦略利用プログラム」において実施されました。

## 平野における高周波数帯域まで適用できる強震動評価技術の開発

### プロジェクト責任者

司 宏俊 株式会社構造計画研究所

### 著 者

田島 札子<sup>\*1</sup>、西條 裕介<sup>\*1</sup>、正月 俊行<sup>\*1</sup>、司 宏俊<sup>\*1</sup>、廣川 雄一<sup>\*2</sup>

\*1 株式会社構造計画研究所

\*2 独立行政法人海洋研究開発機構

利用施設：独立行政法人海洋研究開発機構 地球シミュレータ

利用期間：平成 23 年 4 月 1 日～平成 24 年 3 月 31 日

### アブストラクト

地震災害の軽減のためには、ある特定の地震が発生した際の地震動をシミュレーションによって正確に予測し、それに基づいた対策を検討しておくことが有効と考えられる。近年では、地面をガタガタと揺する短周期の地震動から、高層建築物や巨大構造物に影響を与えるゆっくりした長周期の揺れ（長周期地震動）までの、広帯域にわたる地震動シミュレーションを行うことが求められている。広帯域での地震動シミュレーションを精度良く行うためには、精度の高い 3 次元的な地下構造モデルと対象地震の震源断層モデルを用いて、理論的手法による計算を行うことが望ましい。しかしながら、長周期地震動が卓越する関東平野などの大規模平野を対象として、短周期を視野に入れた 3 次元の地震動シミュレーションを実施する場合には、通常の PC クラスタでは計算が困難となる。また、強震動被害に大きく寄与する短周期地震動（周波数 1 Hz 以上）は伝播経路中のスケールの小さな地震波速度のゆらぎや複雑な表層での散乱の影響を受け非常に複雑な伝わり方をすることが知られていることから、従来の層境界内を均質媒体とする 3 次元地下構造モデルでは観測されている短周期波形を説明することが難しいと考えられる。

平成 21・22 年度には、震源の物理や地震波動理論に基づいた 3 次元有限差分法の地震波伝播解析プログラムを計算能力の高い地球シミュレータに移植し、改良および最適化を行い、大規模問題の取り扱いを可能にした。さらに、地震が発生した場合に長周期地震動の卓越や大きな被害が予測される大阪平野および関東平野を対象に、想定地震および過去の被害地震の大規模シミュレーションを実施した。

本年度は、1 Hz 以上の短周期地震動の計算精度の向上を目的に、関東地域で起こった中規模地震を対象に、3 次元地下構造モデルの層境界内の物性値にゆらぎを与えたランダム媒質導入モデルでの計算（2 Hz まで）を行い、観測記録との比較によりモデルの適用性を確認した。また、前年度の計算で発生していた解の発散について対策を実施し、計算におけるノウハウを蓄積した。

キーワード：波動伝播、差分法、関東平野、ランダム媒質、発散

## 1. はじめに

日本は4つのプレートがぶつかり合う地域に位置し地震が多く発生するため、古くから地震災害の脅威にさらされてきた。地震による被害を軽減するためには、あらかじめ起こりうる被害を予測しておき、予測結果に基づいた対策を講じておくことが重要である。近年では、短い周期の波によるガタガタした強い揺れ（短周期地震動）と、高層建築物や巨大構造物に影響を与える長い周期の波が伝わることによって生成されるゆっくりした揺れ（長周期地震動）の両者を考慮した地震動評価を行うことが求められている。実際に、2011年3月11日に起きた東北地方太平洋沖地震（Mw 9.0）の際には、震源に近い宮城県北部で最大震度7、岩手県から千葉県にかけて震度6弱以上を観測するなど広範囲で強い揺れとなつたほか、長周期地震動による揺れが首都圏や大阪府など震源から離れた地域にも大きな影響を与えた（気象庁, 2011<sup>1)</sup>）。南海トラフの巨大地震では首都圏での長周期地震動はプレート構造による伝播経路により、東北地方太平洋沖地震よりも大きくなることも指摘されている（例えば、古村・前田, 2012<sup>2)</sup>）。

理論的な波動伝播シミュレーションにおいては、より現実的な3次元地下構造モデルと対象地震の震源断層モデルを用いた地震動シミュレーションを精度良く行うことが望ましい。しかし、現状では長周期成分を3次元差分法などの理論的手法で計算し、約1Hz以上の短周期成分については統計的グリーン関数法等により計算し、両者を合成するハイブリッド合成法が用いられている。これは、理論的手法で高周波数域まで計算しようとすると透過振動数の関係から差分格子間隔を非常に細かく設定しなければならず、結果的に莫大な格子点数となり、PCクラスタなどで計算することが困難なためである。

また、強震被害に大きく寄与する短周期地震動（ $f \geq 1\text{ Hz}$ ）は、伝播経路中のスケールの小さな地震波速度のゆらぎ（短波長不均質構造）や複雑な表層での散乱の影響を受け非常に複雑な伝わり方をすることが知られており、これらの影響を考慮した差分法による地震動シミュレーションの研究も行なわれている（例えば、古村・齊藤, 2006<sup>3)</sup>; Kennett and Furumura, 2007<sup>4)</sup>; 武村・他, 2011<sup>5)</sup>）。これらの研究で採用されている地震波速度のゆらぎを3次元地下構造モデルに導入した計算を行うことは短周期地震動の計算精度の向上に繋がると考えられる。

平成21・22年度には、震源の物理や地震波動理論に基づいた3次元有限差分法の地震波伝播解析プログラムを計算能力の高い地球シミュレータに移植し、改良および最適化を行い、大規模問題の取り扱いを可能にした。さらに、地震が発生した場合に長周期地震動の卓越や大きな被害が予測される大阪平野および関東平野を対象に、上町断層での想定地震および過去の被害地震（1923年関東地震）のシミュレーションを実施した。関東地震については、地下構造の最小地震波速度を変えて、1Hzおよび2Hzまでの計算を実施し、観測記録が得られている長周期の観測記録（0.067  $\leq f \leq 0.33\text{ Hz}$ ）との比較を行った。

本年度は、1Hz以上の短周期地震動の計算精度の向上を目的に、観測記録が豊富に得られている関東地域で起きた中規模地震を対象に、前年度使用していた3次元地下構造モデルの層境界内の物性値にゆらぎを加えたランダム媒質を用いた計算（ $f \leq 2\text{ Hz}$ ）を行い、観測記録との比較により精度の確認を行った。また、前年度の1923年関東地震を対象とした検討では、計算において発散の問題が発生していたため、解決のための対策を実施した。

## 2. ランダム媒質を導入した中規模地震の計算

### 2.1. 計算プログラム

波動伝播シミュレーションには、3次元有限差分法に基づく地震波伝播解析プログラムを使用する。本プログラムは、平成21年度に地球シミュレータに移植し、平成22年度並列化およびベクトル化のチューニングを実施したものである。最終的なプログラム性能は96ノード(768 CPU)の場合において、平均ベクトル化率99.190%、並列化率99.898%となった。

### 2.2. 計算条件

#### 2.2.1. 計算対象周波数

離散化した波動方程式を数値的に解く場合、十分な演算精度を安定して得るために、計算対象の地震波の波長に比べて十分に小さな格子間隔を取る必要があり、空間4次精度の差分演算子を用いる場合は、1波長あたり6格子程度が必要となる。本検討では、最小地震波速度=600 m/sに対し、格子間隔=50 m とすることで2 Hzまでを対象周波数とした。

#### 2.2.2. 対象地震

より高精度に短周期波形を計算するために、1 Hz以上の地震動に影響する地下構造の物性値のゆらぎを考慮した計算を行った。図1に、計算領域における対象地震および対象観測点の位置を示す。対象地震は、豊富な観測記録が得られている関東平野で起こった中規模地震（2008年8月8日12:57の東京都多摩区直下の地震：Mw 4.6, 震源深さ38 km）とし、地震規模が小さいため、点震源を仮定した。地震動の評価地点は関東地域のK-NET, KiK-net観測点とした。

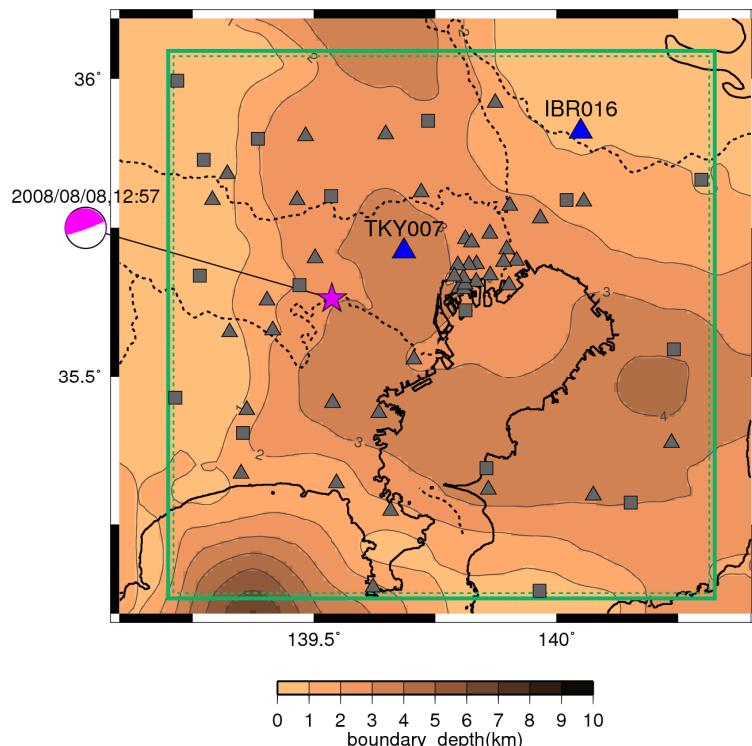


図1 計算領域（緑色枠）における対象地震（星印）および

観測点（△：K-NET, □：KiK-net）の位置

※センター図は地震基盤 ( $V_s=3.2\text{km/s}$ ) の上面深度

### 2.2.3. 計算モデル

シミュレーションで使用する地下構造モデルは、長周期地震動予測地図 2009 年試作版（地震調査研究推進本部, 2009<sup>6)</sup>）において公開されている想定東海地震・東南海地震のための 3 次元地下構造モデルのうち、対象地震を取り囲む領域を抽出して使用した。計算領域の大きさは南北方向 102.4 km × 東西方向 102.4 km × 深さ方向 51.2 km で、格子間隔は 50 m、計算規模は約 43 億格子規模である。このモデルは層内が均質である従来の 3 次元地下構造モデルである（以後「従来モデル」と呼ぶ）。

本検討では、図 2 に示すように、従来モデルにランダム媒質（相関距離  $Ax, Az = 0.3$  km、標準偏差 4% のフォン・カルマン型の速度揺らぎ分布）を掛け合わせることで、物性値のゆらぎを考慮したモデルを作成した。図 3 にランダム媒質を導入したモデルと従来モデルの地下構造の比較を示す。

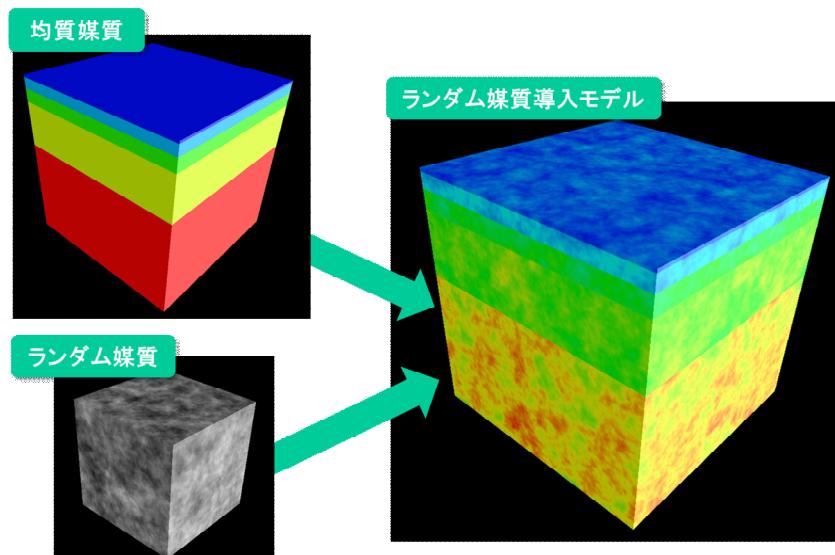


図 2 ランダム媒質導入モデルの作成イメージ

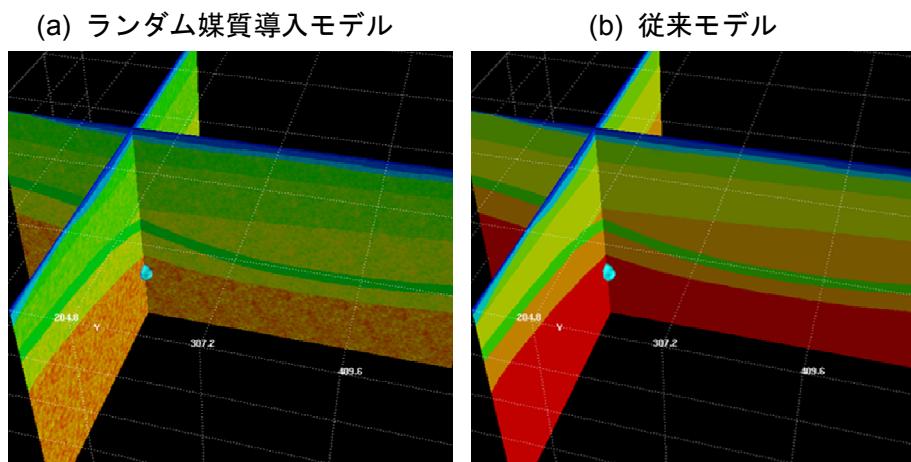


図 3 地下構造モデルの断面図（水色球：震源）

### 2.3. 結果

図 4 に計算結果と観測記録の比較例を示す。ランダム性を考慮することで、地下構造モデル（媒質）の全体で地震波の散乱が起こり、観測記録に見られる初動および主要動の後に続く後続波の再現性が改善されることが分かった。図 5 に、波動伝播の様子のスナップショットを示す。この図を見ると、深さ 38 km の震源から放出された地震波が地表に到達し伝播していく様子が分かる。S 波による主要動が地用に到達する付近（15 秒前後）までは、従来モデルとランダム媒質導入モデルで伝播の様子に大きな違いは見られないが、20 数秒以降のスナップショットでは、ランダム媒質導入モデルの方が散乱により大きな振幅の揺れが広範囲で継続している様子が分かる。このようなランダム媒質導入モデルによる後続波の再現性の向上は、より長い継続時間の波形を生成する大きな地震のシミュレーションにおいて効果的であることが示唆される。今後、ランダム媒質の相関距離を地層のラミナ状に近づける、上部地殻・下部地殻・マントルでゆらぎの度合いを変化させる等の改良を行うことで、より現実的なシミュレーションが可能と考えられる。

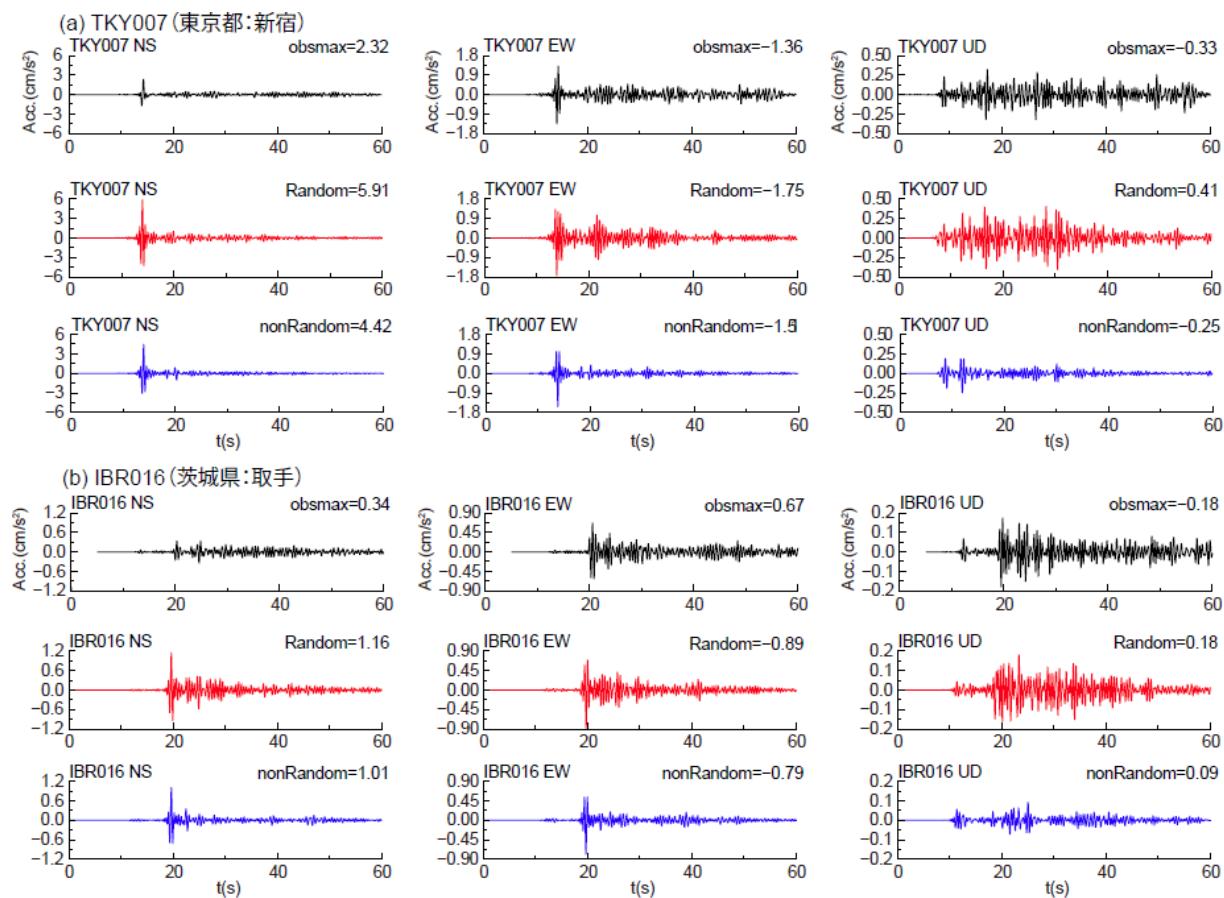


図 4 観測記録と計算結果の比較（加速度波形）

K-NET 観測点 (a) TKY007 (東京都 : 新宿), (b) IBR016 (茨城県 : 取手)

(黒線 : 観測, 赤線 : ランダム媒質導入モデル, 青線 : 従来モデル)

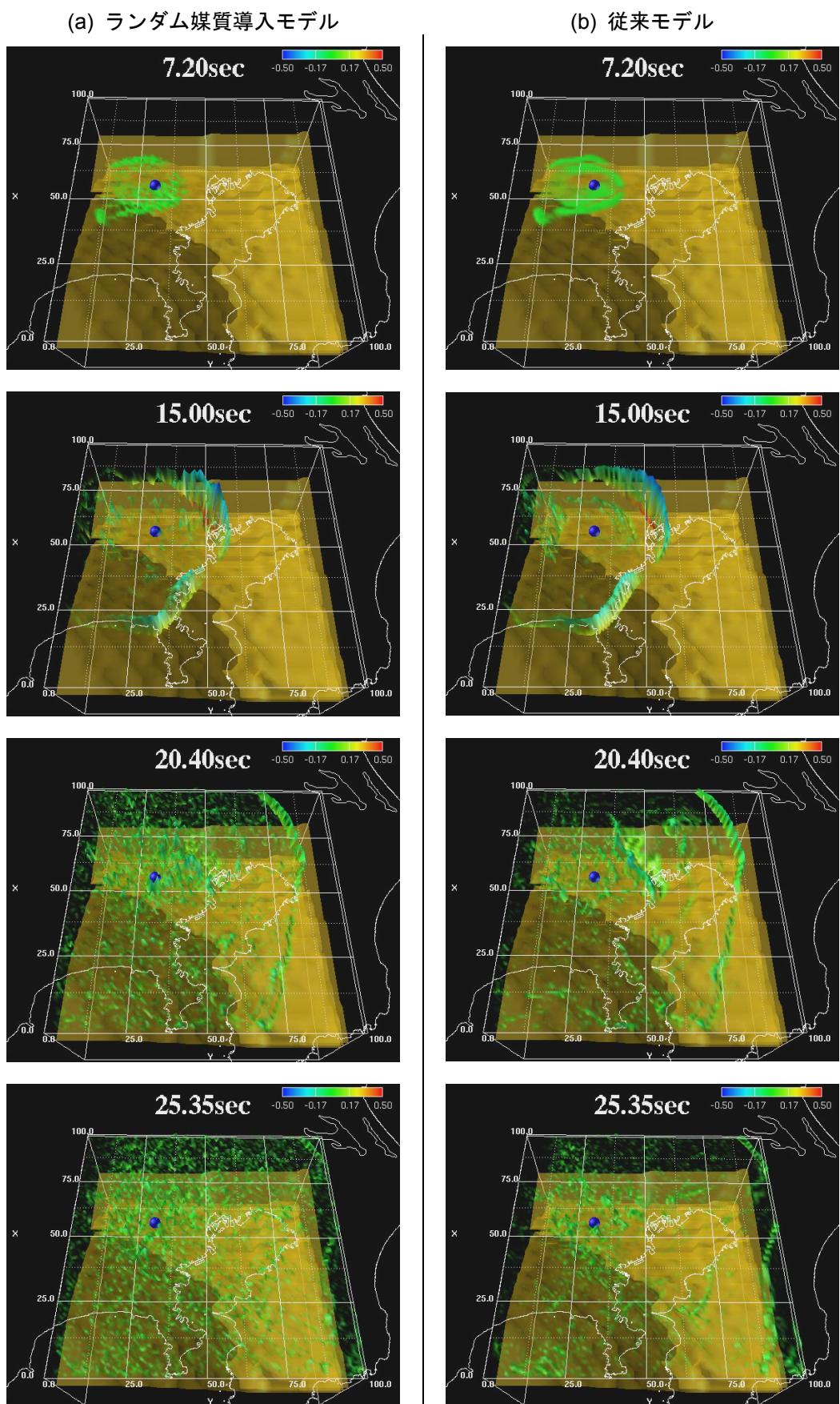


図 5 波動伝播の様子

### 3. 計算の発散対策に関する検討

前年度に検討した関東平野における1923年関東地震のシミュレーション（格子間隔50m, 最小地震波速度=350m/sで1Hzまでの計算）においては、解の発散の問題が生じていたため、解決のための対策を実施した。図6に発散領域を含む小領域での計算結果を示す。発散は120秒間の計算のうち60秒前後から現れ始める。原因の究明のために、計算時間刻み、並列数、プログラムの最適化等についても検討し、最終的に地下構造モデルの地表に現れている数百m以下の薄い層が原因であることが分かった。そこで、図7に示すように、なるべく地下構造を変化させないように発散領域付近の構造を対象に、薄い層を削除する処理を施した。最終的に、図7dの全層に処理を加えた場合に発散が解消されることを確認した。同様の処理を加えた本計算のモデルでも発散が起らぬことを確認し、3次元モデル作成のためのノウハウを得ることができた。

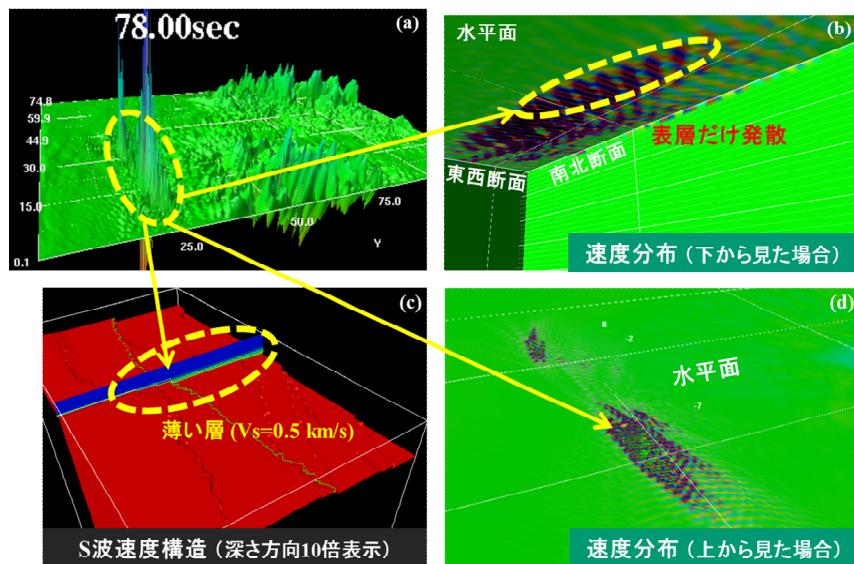


図6 発散領域を含む小領域での計算結果

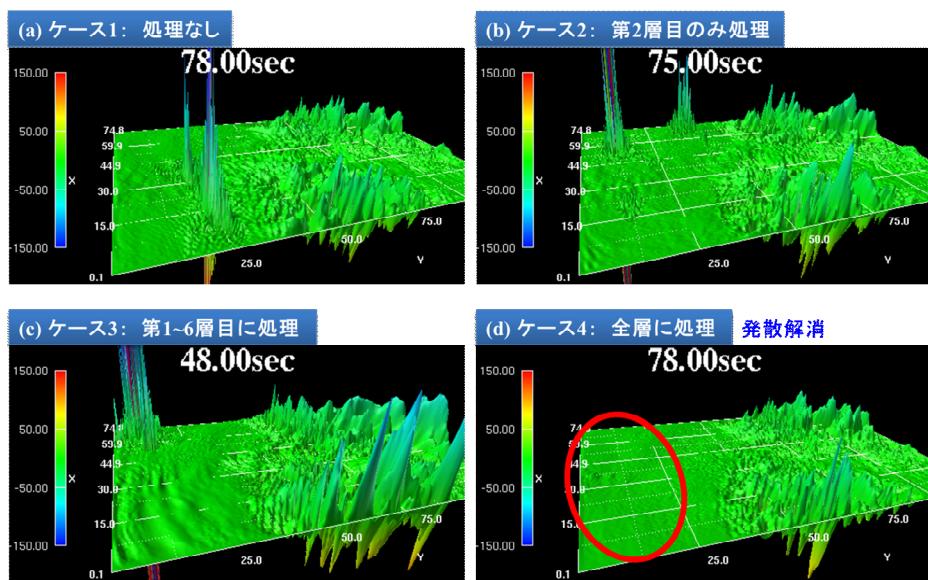


図7 発散対策の検討ケース

#### 4. まとめ

大規模平野における 1 Hz 以上の短周期地震動の計算精度の向上を目的に、観測記録が豊富な関東地域で起こった中規模地震を対象に、従来の 3 次元地下構造モデルの層境界内の物性値にゆらぎを与えたランダム媒質導入モデルを用いた計算（2 Hz まで）を実施した。その結果を観測記録と比較することにより、ランダム媒質導入モデルでは、特に後続波の再現性が向上することが分かった。波形の継続時間がより長くなる大地震のシミュレーションにおいても有効な手段となる可能性が示唆された。

また、前年度の 1923 年関東地震を対象とした検討では、計算において発散の問題が発生していたため、原因究明のための検討を行い、3 次元地下構造での地表に現れている数百 m 以下の薄い層が原因であることが分かった。また、それらの層を取り除くことで発散が解消されることを確認した。

今後はさらに現実的な 3 次元地下構造を考慮した広帯域地震動シミュレーションの計算精度を高めることにより、結果を高層ビルの設計用地震動、被害予測、ハザード評価、家具転倒などの屋内被害予測といった様々な分野へ適用することが可能と考えられる。

#### 謝辞

東京大学情報学環総合防災情報研究センター（東京大学地震研究所兼務）の古村孝志教授にはプログラム開発および研究についての貴重なご指導、ご助言をいただきました。地球シミュレータの利用に際しては、独立行政法人海洋研究開発機構地球の新宮哲氏、上原均氏にご指導、ご協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

#### 参考文献

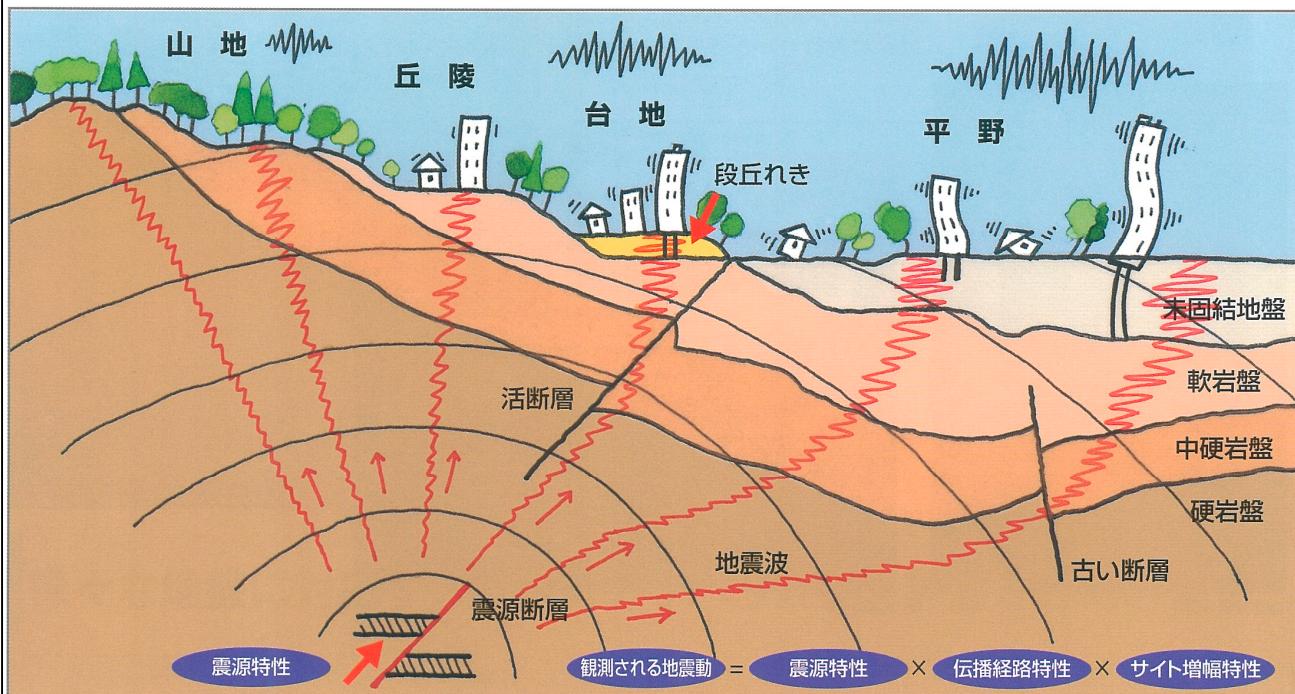
- 1) 気象庁, 長周期地震動に関する情報のあり方検討会（第 1 回）資料 ,  
[http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tyoshuki\\_kentokai/kentokai1/index.html](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tyoshuki_kentokai/kentokai1/index.html), 2011.
- 2) 古村孝志, 前田拓人, 東北地方太平洋沖地震を踏まえた、南海トラフ地震の時間差運動による長周期地震動の再評価, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会予稿, 2012.
- 3) 古村孝志, 齋藤竜彦, 構造不均質により生まれる地震波伝播の異方性, 平成 18 年度東京大学 地震 研究 所 研究 集会 発 表 資 料 ,  
<http://wwwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/viewdoc/scat2006/14-Furumura.pdf>, 2006.
- 4) Kennett, B.L.N, and T. Furumura, Stochastic waveguide in the lithosphere: Indonesian subduction zone to Australian Craton, *Geophys. J. Int.*, 172, 363-382, 2007.
- 5) 武村俊介, 古村孝志, 前田拓人(2011): リソスフェア内の不均質構造と表層地形が地震波動場におよぼす影響－高密度地震記録とシミュレーションの比較による検討－, 平成 23 年度 東京大学 地震 研究 所 研究 集会 発 表 資 料 ,  
[http://wwwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/viewdoc/scat2011/25Takemura\\_et\\_al2011.pdf](http://wwwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/viewdoc/scat2011/25Takemura_et_al2011.pdf), 2011.
- 6) 地震調査研究推進本部, 長周期地震動予測地図 2009 年試作版 ,  
[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09\\_choshuki/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_choshuki/index.htm), 2009.

# 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・表層地盤の增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

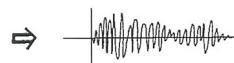
- 経験的手法（翠川・小林の方法）  
／半経験的手法（経験的グリーン関数法、統計的グリーン関数法）
- 理論的手法／ハイブリッド合成法

## ■ 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）

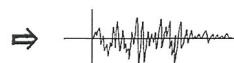
統計的グリーン関数法を  
用いて短周期を予測



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)

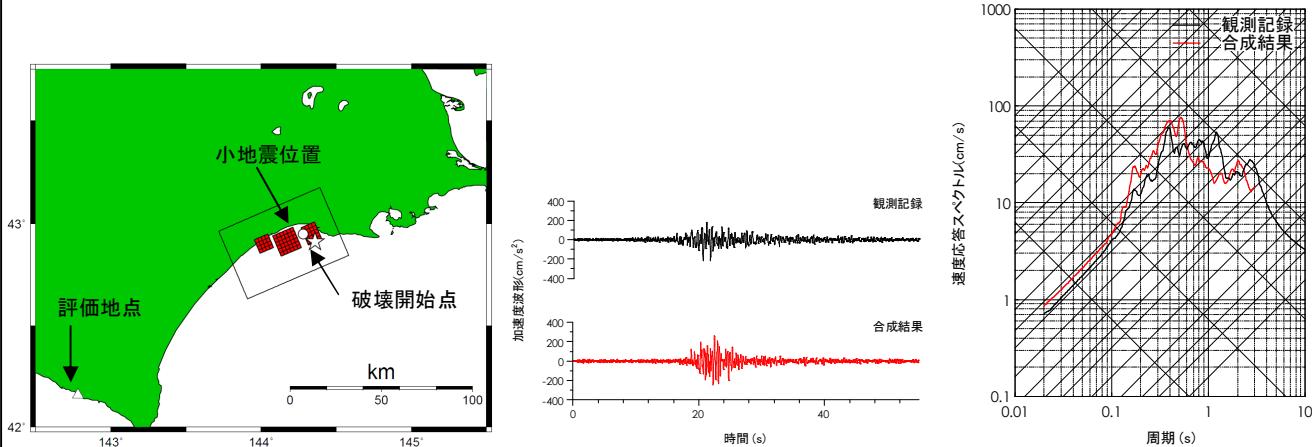


ハイブリッド合成法の概念

# 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なった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組み合わせた手法。 地震基盤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出来る。 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、それらを重ね合わせる手法。両者の利点を活かした広域域の地震動評価が可能となる。

## 局所地盤のモデル化のための平面波近似を用いた波動伝播の効率的な解析方法の検討（その 1）

## —解析方法の提案—

正会員 ○松元 康広\* 同 司 宏俊\*  
同 澤飯 明広\* 同 大場 政章\*\*

理論的手法	2 次元差分法	地盤モデル
波動伝播	平面波	

## 1. はじめに

2007 年新潟県中越沖地震や 2009 年駿河湾の地震では、近接した地震観測記録に大きな違いが見られた。この原因は局所的な地下構造の違いによるところが大きいと考えられる。それを検討するためには有限要素法や有限差分法による波動伝播シミュレーションによる検討が有効であるが、詳細に短周期地震動までを対象にした時の有限要素法や有限差分法による検討は、次のような問題点がある。短周期地震動は局所的な地下構造の影響を受けるため、地盤モデルの格子間隔を小さくする必要がある。のために格子数が増え、時間刻みも小さくなるので、計算時間を要する。また、一般的に震源はモデル内に配置する。震源と評価地点が遠く離れている場合は、モデル内に震源から評価地点までの伝播経路部分を含める必要があるため、モデルの格子数が増え、計算時間を要する。さらには、計算機のメモリの制約により計算ができない場合もある。

そこで、評価地点周辺の小さなモデル内に、震源と同じ効果（震源効果）を取り込むことができれば、計算時間を短縮した効率的な検討が可能となる。そこで、本検討では局所地盤のモデル化のための効率的な解析方法の提案を 2 次元差分法で行う。

## 2. 震源効果を取り込んだ効率的な解析方法の提案

本検討での震源効果とは「振幅の違い」と「位相の違い」の両方を合わせたものとする。「振幅の違い」とは、広範囲の敷地への地震波入力は震源からの伝播距離に応じた減衰で生じる振幅差を意味する。「位相の違い」とは、鉛直下方入射が仮定できないような斜め入射の場合で生じる評価地点間の位相差を意味する（図 1）。

2 次元差分法における震源効果の取り込みは、モデル内に平面波を生成させることで可能と考えられる。平面波は同一波面上では振幅が同一であるため、地表に到達する平面波は「振幅の違い」と「位相の違い」が表現できる。また、震源と評価地点の間に十分な距離がある場合は地表付近に到達する地震波は平面波として近似できることからも、震源効果の取り込みを平面波で表現することは適切だと言える。

平面波の作成方法は、図 2 に示すように加振点を入射角に対応した線分上に配置し、全加振点を同時に加振させる。

## 3. 計算モデル、計算条件

図 3 に平面波作成の検討に用いたモデル図を示す。計算条件は次の通りである。計算領域は 94km × 50km、格子間隔は 0.2km × 0.2km、時間ステップは 0.005 秒、設定した地下構造モデルは均質地盤 ( $V_s=3.0 \text{ km/s}$ ,  $V_p=5.2 \text{ km/s}$ ,  $\rho=2.63 \text{ g/cm}^3$ ,  $Q=100$ ) とした。境界条件は Clayton and Engquist(1977) 及び Cerjan *et al.*(1985) の吸収境界条件を用いた。なお、本検討では波動場をできるだけ単純化するために、各加振点は S 波震源（P 波は放射させずに S 波のみを放射する）とした。

評価地点は地表 ( $Y=0$ ) の  $X=43 \sim 51 \text{ km}$  の 8km の範囲内で 1km 間隔に 9 点配置した。 $X=47 \text{ km}$  地点が中央評価地点となる（図 3 中の赤三角印）。入射角は  $0^\circ$ 、 $11.3^\circ$ 、 $21.8^\circ$  の 3 種類で検討を行う。

## 4. 計算結果

図 4 に全評価地点の波形の重ね描き、図 5 に全評価地点の加速度最大値、図 6 に中央評価地点の加速度最大値に対する比を示す。図 4 より入射角  $0^\circ$  の X 成分は、全評価地点で主要動部分は位相も振幅も重なっている。約 8.5 秒以降の後続波の違いは、計算領域端部からの反射波の影響の違いである。入射角  $0^\circ$  の Y 成分は X 成分の主要動が表れる時刻（およそ 7.5～8.5 秒）に振幅が見られない。これは、本検討の加振点は S 波震源としているため、加振点からは SV 波のみの放射となる。そのため、振動方向は平面波の進行方向に直交する成分（入射角が  $0^\circ$  の場合は X 成分）のみとなり、Y 成分は表れない。

図 4 より入射角が大きくなるにつれて評価地点間の位相差が大きくなっている。これは入射角が大きくなると、地表に入射する波面の到達時刻の差が大きくなるためである。図 6 より入射角が大きくなるにつれて評価地点の両端で加速度最大値の違いが大きくなっている。これは、入射角が大きくなると、左端の評価地点までと右端の評価地点までの伝播距離の差が生じているためである。

\*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

以上のことから、本検討で提案した方法により平面波を生成できることを確認できた。

## 5. まとめ

本検討では局所地盤のモデル化のために波動伝播の効率的な解析方法の提案を行った。その方法は震源を含んでいない評価地点周辺の小さなモデル内に、平面波を生成させることで震源効果を取り込みこむ。平面波は地表の入射角に対応した加振点を線分上に配置し、それらを同時に加振させることで作成できる。本検討で提案した方法により、評価地点周辺の局所的には地下構造の違いによる地震動の違いを検討する際はモデル領域を小さくすることができ、計算時間も少なくて済むことから効率的に検討を行うことが可能と考えられる。

その2では本検討で提案した方法を、実地盤モデル・実地震への適用を試み、その有効性を検討する。

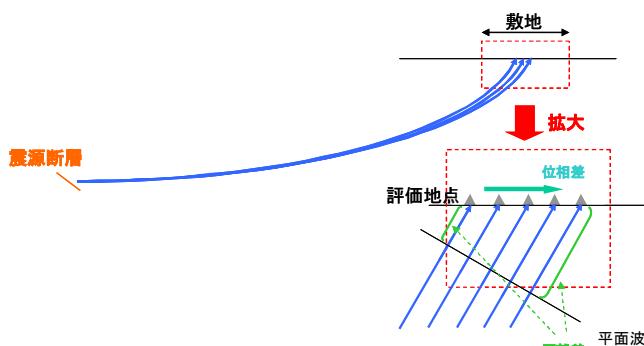


図1 震源効果

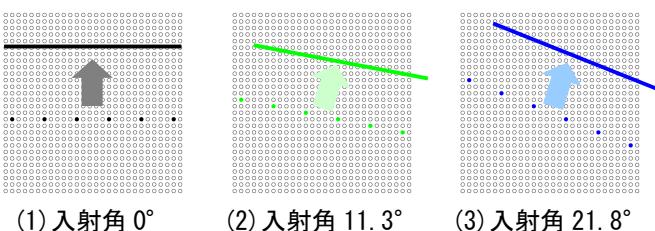


図2 加振点配置のイメージ

(丸印:格子点、色つきの丸印:加振点、直線:波面、矢印:波面の進行方向)

## 参考文献

- 1) Cerjan, C., D. Kosloff and M. Reshef : A nonreflecting boundary condition for discrete acoustic and elastic wave equation, *Geophysics*, 50, 171-176, 1985
- 2) Clayton, R. and B. Engquist : Absorbing boundary conditions for acoustic and elastic wave equation, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 67, 1529-1540. 1977

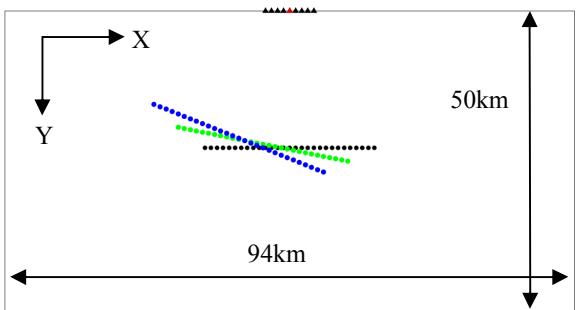


図3 計算モデル

(丸印:加振点 三角印:評価地点 赤三角印:中央評価地点)

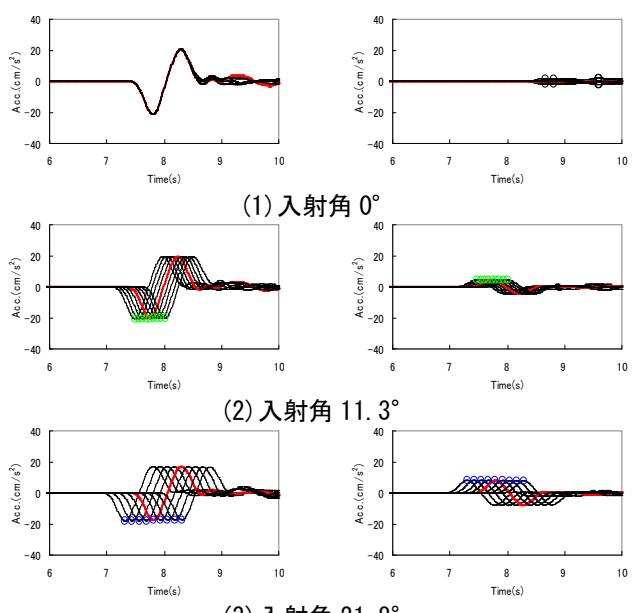


図4 全評価地点の波形 (左:X成分 右:Y成分)

(赤色:中央評価地点 丸印:最大値)

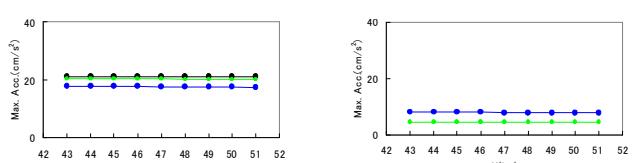


図5 全評価地点の加速度最大値 (左:X成分 右:Y成分)

(黒:入射角 0° 黄緑:入射角 11.3° 青:入射角 21.8° )

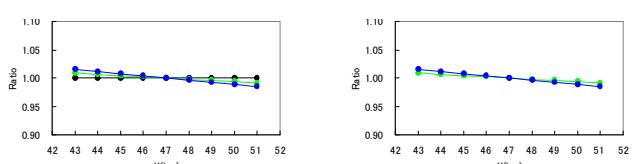


図6 中央評価地点の加速度最大値に対する比

(左:X成分 右:Y成分)

(黒:入射角 0° 黄緑:入射角 11.3° 青:入射角 21.8° )

## 局所地盤のモデル化のための平面波近似を用いた波動伝播の効率的な解析方法の検討（その 2） —実地盤モデル・実地震への適用—

正会員 ○西條 裕介\* 同 田島 礼子\*  
 同 澤飯 明広\* 同 大場 政章\*\*  
 同 石川 智美\*\*

理論的手法	2 次元差分法	地盤モデル
波動伝播	平面波	

### 1. はじめに

局所的な地下構造の違いによる地震動への影響を詳細に検討するため、地盤モデルを詳細にしつつ、解析範囲を合理化するため『その 1』では、評価地点周辺の局所地盤モデル内に平面波を生成させることで、震源効果（振幅・位相の違い）を取り込んだ効率的なシミュレーションを行う手法を提案し、2 次元差分法を用いた解析的な検討を行った。本検討（その 2）では、本提案手法を実地盤モデル、実地震に適用し、本提案手法の有効性を検討した。

### 2. 対象サイト、対象地震

対象サイトと対象地震の位置を図 1 に示す。計算対象サイトでは、鉛直アレー地震観測（GL-0m、-25m、-200m、-380m）を実施しており、そこで観測した 2 地震を対象に計算した。

- ①ケース 1：サイト直下の深い地震（Mw4.3,深さ 53km）
- ②ケース 2：サイト北方の浅い地震（Mw4.2,深さ 5km）

ケース 1 はサイトに対し鉛直入射が仮定でき、比較的単純な伝播過程が期待される例として、ケース 2 は地下の浅い部分を長距離伝わってくるため、伝播過程での地下構造の複雑さの影響が大きくなる例として取り上げた。

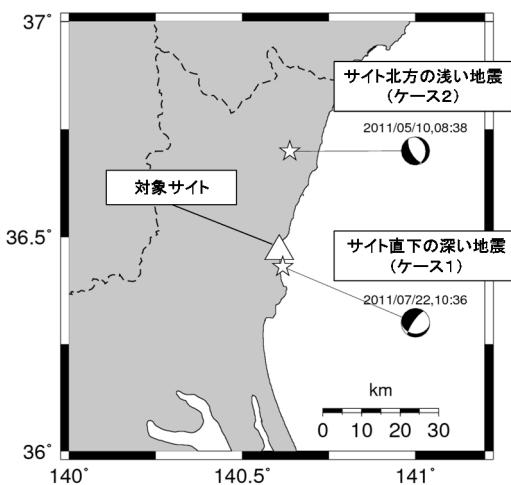


図 1 計算対象サイトと対象地震の位置

### 3. 計算モデル、計算条件

計算手法には 2 次元差分法を用いた。各ケースの計算条件を表 1 に示す。2 ケースとも 12.5Hz 以下を計算の対象周波数帯とした。このように高周波数まで計算できるのは、震源を含まず局所領域のみをモデル化する本提案手法のメリットである。

表 1 計算条件

ケース	計算領域	格子間隔	計算ステップ数 (時間刻み)	対象周波数帯
ケース 1	水平：5km 深さ：3km	2.5m	180000 (0.0001 秒)	≤ 12.5Hz
ケース 2	水平：8km 深さ：5km	2.5m	180000 (0.0001 秒)	≤ 12.5Hz

本検討の計算モデルを図 2 に示す。2 ケースとも対象サイトを通る南北断面をモデル化した。対象サイト周辺は、Vs=2.9km/s の硬い層が北から南方へ深くなるように傾斜して分布している。

図中星印で示すように、各地震の地震波入射角度を想定するために点震源とサイトを結ぶ直線の接線方向に点震源を配置し、同時に加振することで平面波を生成する。なお、ケース 2 は事前の試計算により、点震源の列をある程度離れた位置に置く必要があったため、X=5km における構造をそのまま北方に延長した。

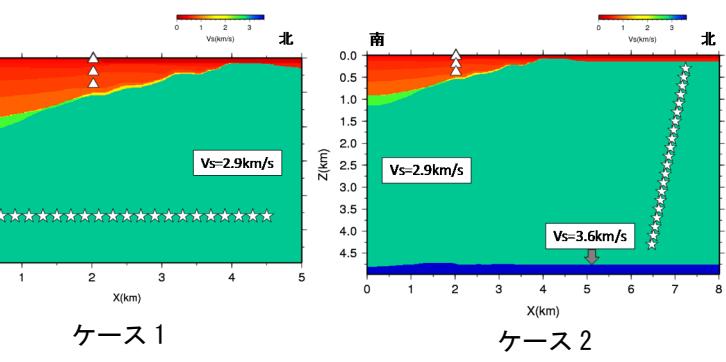


図 2 計算モデル  
(△：計算地点、☆：点震源)

#### 4. シミュレーション結果と観測記録の比較

ケース 1 の計算結果と観測記録の比較を図 3 に、ケース 2 の場合を図 4 に示す (GL-380m 地点)。なお、計算結果の振幅値は直接比較できないため、観測記録に合わせて振幅を係数倍して表示している。

2 ケースとも直達波部分や後続波群が計算で再現することができた。フーリエスペクトルの周波数特性もよく再現できている。また、試行錯誤の結果、ケース 2 は Vs=2.9km/s 層全体に点震源を展開する必要があることが分かった。ケース 2 の対象地震はサイトから遠く、かつ震源が浅いため、地震波が Vs=2.9km/s の層内をトラップされ伝わってきたためと考えられる。地震波伝播経路のイメージ図を図 5 に示す。このような伝播経路が複雑な地震の場合、対象地盤の特徴を把握したうえで最適な局所地盤モデルを作成することが必要であると考えられる。

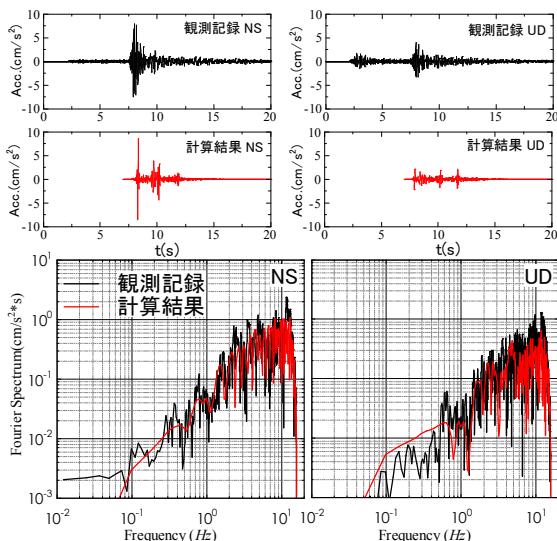


図 3 ケース 1 の計算結果と観測記録 (加速度)

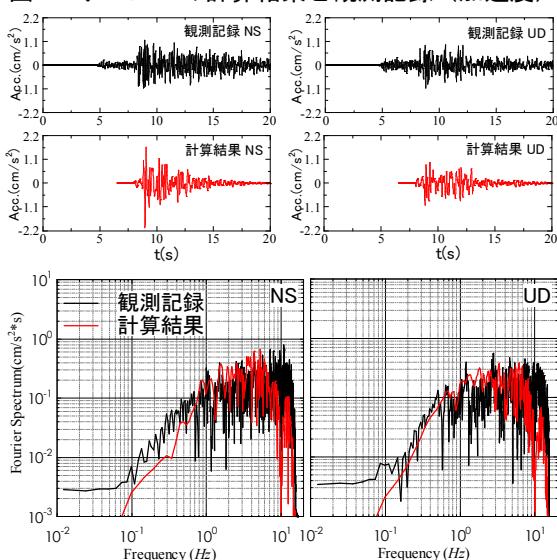


図 4 ケース 2 の計算結果と観測記録 (加速度)

図 6 にケース 1 の波動伝播のスナップショットを示す。鉛直上昇する平面波が、傾斜する Vs=2.9km/s 層上面から上部層に入射後、波面が傾斜する様子、その後、反射、屈折をしながら南方へ伝播していく様子が分かる。

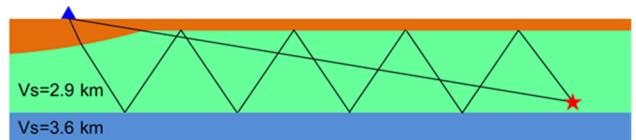


図 5 ケース 2 の地震波伝播経路のイメージ

▲ : サイト、★ : 実際の震源位置

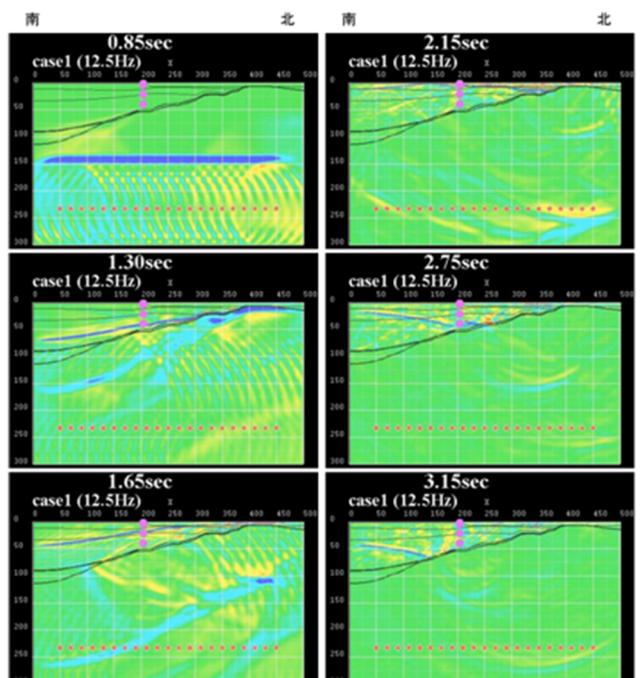


図 6 波動伝播のスナップショット (ケース 1)

● : 計算地点、◆ : 点震源

#### 5. まとめと今後の課題

本研究で提案する解析方法を実地盤モデル・実地震に適用した。計算結果と観測記録との比較を行い、以下の結果を得た。

- 1) サイト直下の深い地震に対し、S 波主要動部分の継続時間や增幅特性等について観測記録を再現することができた。

- 2) サイト北方の浅い地震に対し、平面波を地盤モデル内の明瞭な速度境界面がある深さまで展開することで、観測記録を概ね再現することができた。

これらの検討結果から、本提案手法の有効性が示された。

今後の課題としては、絶対振幅値の評価方法や、観測記録がない場合の平面波モデル化方法、M7~8 クラスの地震への適用性の検討等が挙げられる。

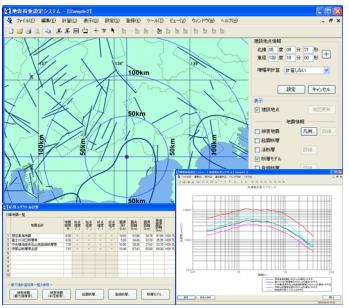
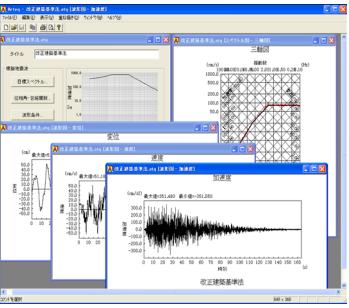
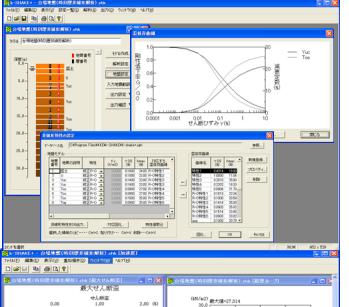
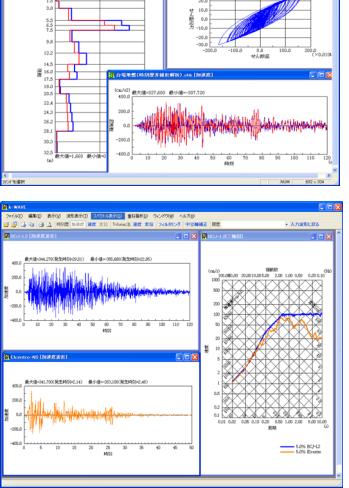
# 設計用入力地震動作成システム

## 【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はなく、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、Windows7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】

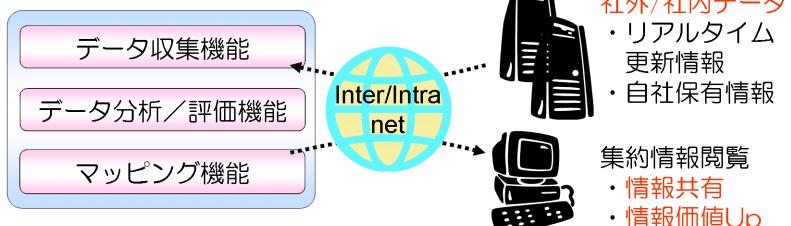
パッケージ名	概要
<p><b>地震荷重設定システム SeleS for Windows</b> セレス</p> <p><b>販売価格</b> フル機能版 : 2,205,000円（税込） 翠川・小林版 : 1,890,000円（税込） ダム機能版 : 1,890,000円（税込）</p>	<p>耐震設計の際の地震荷重を設定するために、建設地点周辺の地震環境を検索し、被害地震および活断層によってもたらされる建設地点での地震動強さを評価するシステムです。各種距離減衰式による建設地点での最大振幅計算や再現期待値計算、安中ほか(1997)やH2Oダム式による応答スペクトルの計算、断層の拡がりを考慮した翠川・小林手法によるスペクトル評価が可能です。</p> 
<p><b>模擬地震波作成プログラム ARTEQ for Windows</b> アーテック</p> <p><b>販売価格</b> 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できます。</p> 
<p><b>成層地盤の地震応答解析プログラム k-SHAKE+ for Windows</b> ケイシェイク プラス</p> <p><b>販売価格</b> 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できます。</p> <p>■ 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できます。</p> <p>■ 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-Drnevichモデル, 骨格曲線・履歴曲線を別々に設定する方法)を選択することができます。</p> 
<p><b>波形処理プログラム k-WAVE for Windows</b> ケイウェイブ</p> <p><b>販売価格</b> : 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できます。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> 

# 防災情報システム

## ■ システム概要

- 「WEB-GIS」を基盤した地震被害シミュレーションの「プラットフォーム」です。
- 地震後、準リアルタイム配信される観測記録を収集し、波形処理を行い、地震動強さ(震度や最大速度等)の面的分布を推定・マッピングします。(プラットフォームに付属する基本機能)
- 多観測点の観測情報を自動的に収集するため、情報収集の手間が削減できます。
- WebGISの利用により、システムはサーバで一元管理します。ユーザーはブラウザを介してアクセス(インターネット)するため、情報の共有が容易となります。
- 「お客様保有情報+公開情報」による「情報価値向上・高度化」をご提供します。(カスタマイズ対応)
- 社会条件データ(建物分布、拠点等)を用いて地震被害推定を行うことが可能です。(カスタマイズ対応)

【システム（サーバ）】



【地震選択画面（クライアント）】

地震選択一覧					
発生日時	状態	マグニチュード	震源深さ	観測点数	計算
2011-07-11 09:57:00.0	未計算	7.1	10.0	426	計算
2011-07-10 22:41:00.0	未計算	4.1	50.0	22	計算
2011-07-08 22:10:00.0	未計算	4.8	40.0	45	計算
2011-07-08 11:43:00.0	未計算	4.0	50.0	31	計算
2011-07-08 03:35:00.0	未計算	5.6	50.0	230	計算
2011-07-07 00:15:00.0	未計算	5.8	0.0	122	計算
2011-07-05 19:34:00.0	未計算	4.4	10.0	56	計算
2011-07-05 19:18:00.0	計算済	5.4	10.0	181	計算
2011-07-04 20:00:00.0	未計算	4.3	20.0	53	計算
2011-07-04 11:07:00.0	未計算	4.1	50.0	33	計算
2011-07-03 18:19:00.0	未計算	3.9	30.0	10	計算
2011-07-03 02:11:00.0	未計算	3.8	10.0	25	計算
2011-07-02 07:28:00.0	未計算	4.0	10.0	10	計算

【処理確認画面（サーバ）】



## ■ 機能概要(基本機能)

### データ収集機能

- 地震を指定することで、多観測点の観測情報(記録)を自動的に収集します。

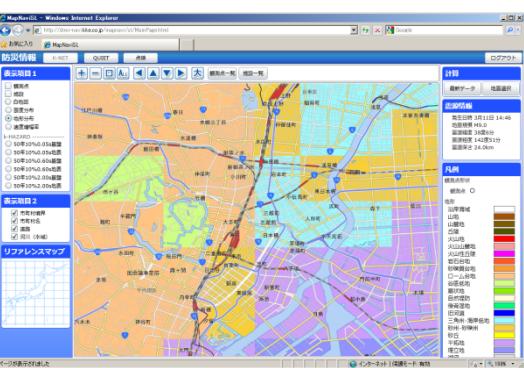
### データ分析／評価機能

- 観測情報から地震動強さを算定し、表層地盤の增幅率で除することにより基盤の地震動強さを算定します。
- 基盤における地震動強さの分布を空間補間により推定します。
- 基盤における地震動強さに表層地盤の增幅率を乗じて地表における地震動強さ分布を算定します。

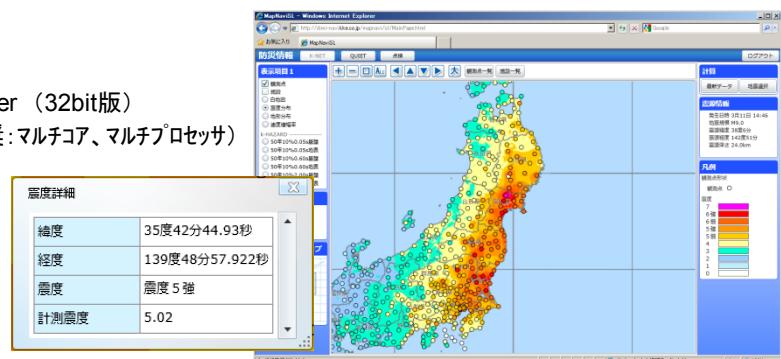
### マッピング機能

- GISを利用して、観測点、分布図を描画します。  
分布図(地形分類、表層地盤増幅率、推定震度)  
観測点(観測点名、位置情報、観測点における震度)
- 評価結果はブラウザにて閲覧することができます。

【地形分布確認画面（クライアント）】



【震度分布確認画面（クライアント）】



## ■ 動作環境

対応OS : WindowsXP, Windows2003Server (32bit版)  
CPU : Intel Pentium 4 3GHz以上 (推奨:マルチコア、マルチプロセッサ)  
メモリ : 1GB以上 (推奨:2GB)  
ディスク容量:40GB以上推奨  
GIS : MapServer  
DB : PostgreSQL、PostGIS  
ブラウザ : IE6以上推奨

## 浮き上がり非線形を考慮した直接基礎平面架構の地震応答解析について

正会員 ○坂場律和 1*	同 梁川幸盛 1*
同 庄司正弘 1*	同 木村まどか 1*
同 井上波彦 2*	同 小豆畑達哉 2*
同 壁谷澤寿一 2*	同 田尻清太郎 3*

浮き上がり非線形 多質点系 地震応答解析  
直接基礎 RC 造耐震壁構造 相互作用効果

## 1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震の建物被害調査では基礎の浮き上がり現象によって応答を軽減されたと推測される事例が報告されている<sup>1)</sup>。近年では基礎の浮き上がり非線形による上部構造の応答低減効果が注目され種々の実験や解析が行われており<sup>2,3)</sup>、浮き上がり非線形を考慮した合理的な設計法が提案されている。そこで本稿では、一般に多く普及している連層耐震壁の RC 造板状タイプの集合住宅を対象として浮き上がり非線形を考慮した地震応答解析を行い、浮き上がり非線形の有無が 1 階層せん断力係数や層せん断力係数の高さ方向の分布にどのような影響を及ぼすかを解析的に検討する。

## 2. 建物モデル

検討に用いる建物モデルは、第一種地盤相當に建設される直接基礎の RC 造板状タイプの集合住宅とする。検討では短辺方向（耐震壁付きラーメン構造）を対象とし、建物高さは 5F, 8F, 14F の 3 モデルを用いる。建物の伏図、軸組図を図 1 に示す。

## 3. 振動解析モデル

振動解析モデルは、多質点系 SR モデルとする。5F, 8F は等価せん断モデル、14F は等価曲げせん断モデルとし、復元力特性は原点指向型を用いる。上部構造の減衰定数は 3% の瞬間剛性比例型減衰とする。回転ばねは基礎の広がりを考慮することで Winkler モデルの鉛直ばねに置換する。基礎部は剛体とし、基礎部各節点の水平変位と回転角は同一となる。鉛直ばねと水平ばねは 1.0m ピッチに設け、各ばねに個別減衰を与える。各ばねの剛性および減衰は文献 4) を参考に振動アドミッタンスより算定する。

SR モデルは、地盤と基礎が常に接触した SR-浮き上がり線形と地盤と基礎が接触・非接触となる SR-浮き上がり非線形モデルの 2 モデルで検討を行う。振動解析モデルを図 2 に示す。SR-浮き上がり非線形モデルの鉛直ばねは、軸応力が引張となった際に当該鉛直ばねの剛性を零とし、かつ水平ばねの応力を解放する。また鉛直ばねの剛性が零となった際は当該ばねの減衰を考慮しないようにする。上記解析モデルによる 5F, 8F, 14F の各固有値を表 1 に示す。なお表には参考として基礎固定の周期を同時に示す。

## 4. 入力地震動

入力地震動は、LV2 告示波乱数位相を第一種地盤で表面に引き上げた波形である。図 3 に加速度波形を示す。

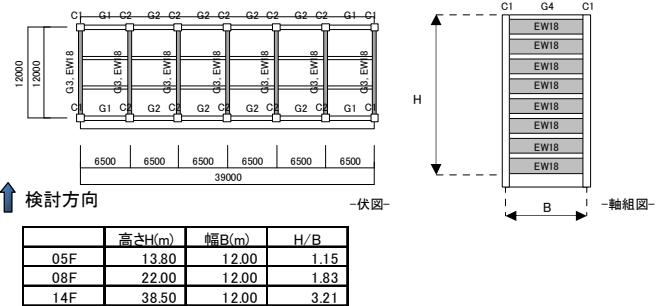


図 1 建物モデル

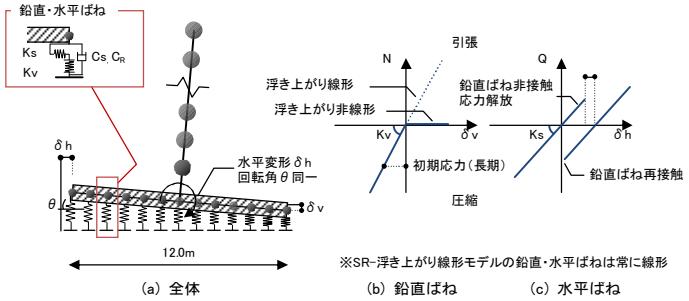


図 2 振動解析モデル

表 1 固有値解析結果

	05F		08F		14F	
	基礎固定	SR	基礎固定	SR	基礎固定	SR
1次	0.104	0.174	0.206	0.328	0.447	0.736
2次	0.045	0.065	0.081	0.096	0.111	0.156
3次	0.040	0.057	0.067	0.089	0.103	0.131

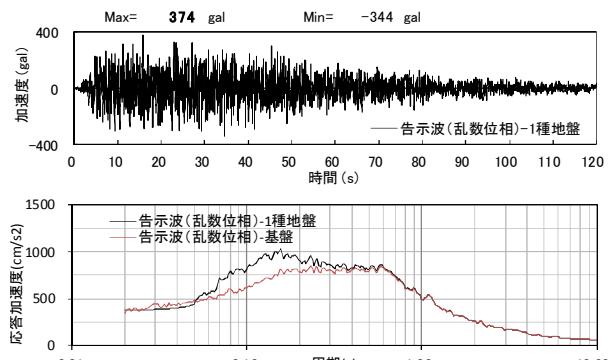


図 3 入力地震動の加速度波形・加速度応答スペクトル

1\* 構造計画研究所

2\* 国土技術政策総合研究所

3\* 建築研究所

1\* Kozo Keikaku Engineering Inc.

2\* National Institute for Land and Infrastructure Management

3\* Building Research Institute

## 5. 解析結果

地震応答解析による接地率の時刻歴波形を図4に示す。なお接地率は文献5)より次式で算出した。

$$\eta = (\theta_0/\theta)^{2(\alpha-2)} \quad (\text{三角形分布 } \alpha=6.0, \eta \leq 1.00) \quad (1)$$

ここに、 $\theta_0$ : 浮き上がり時回転角,  $\theta$ : 基礎の回転角

図より、5F, 8F, 14F モデルの順で接地率が 1.00 を下回る回数が増えている。また浮き上がりから着地までの時間間隔は 5F に比べ 14F モデルの方が長くなっている。

各モデルの最大応答変形を図5に示す。図より浮き上がり非線形を考慮することで、建物応答変形は小さくなる。また一方で浮き上がり非線形による影響で基礎ロッキング変形は大きくなっている。建物全体変形に占める基礎ロッキング変形の割合が大きくなっている。

各建物の層せん断力分布および1階層せん断力係数の比較を図6, 表2に示す。図には、参考として必要保有耐力時、限界転倒モーメント WL/6 時、倒壊転倒モーメント WL/2 時の層せん断力を示している。浮き上がり非線形モデルは浮き上がり線形モデルよりも応答せん断力は小さくなり、1階層せん断力係数の応答低下率は 0.68~0.98 程度となる。なお一部の応答で倒壊転倒モーメントを超えており、これは基礎の回転質量の影響により倒壊転倒モーメントが略算値 WL/2 よりも大きくなるためである。

## 6. まとめ

本稿では、建物事例に対し浮き上がり非線形を考慮した地震応答解析を行った。得られた結論を以下に示す。

- ・浮き上がり非線形を考慮することで、応答せん断力係数は小さくなる傾向にある。
- ・応答せん断力の低減率は、5F, 8F, 14F モデルの順で大きくなっている。特に 14F モデルは限界転倒モーメントが小さいため大きな応答低減が見受けられた。

以上より、浮き上がり非線形を考慮することで地震時の建物応答が小さくなり、合理的な設計が行える可能性があることを示した。また今後において、P-Δ効果や軸ばねの圧縮非線形等を考慮した検討が必要であると考える。

### 【謝 辞】

本検討にあたり、石原直氏（建築研究所）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) 林康裕, 直接基礎構造物の基礎浮上りによる地震被害低減効果, 日本建築学会構造系論文集, 第485号, 1996年7月
- 2) 例え、村木, 藤田, 麻里, 緑川, 地震動を受ける基礎浮上がり構造物のエネルギー応答と振動特性, 日本建築学会北海道支部研究報告集, 2010年7月
- 3) 例え、石原, 小豆畑, 野口, 森田, 緑川, 層剛性分布を考慮した多層建築物の浮き上がり地震応答模型実験, 鋼構造年次論文集第14巻, 2006年11月
- 4) 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, 日本建築学会編, 2006年
- 5) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008, 原子力規格委員会編

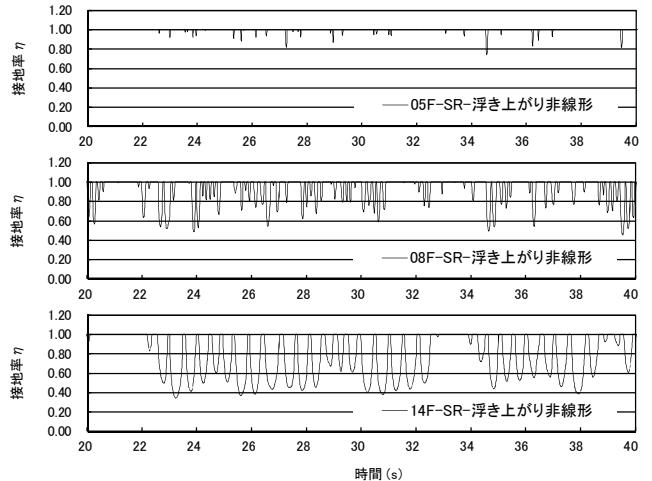


図4 接地率時刻歴 (SR-浮き上がり非線形モデル)

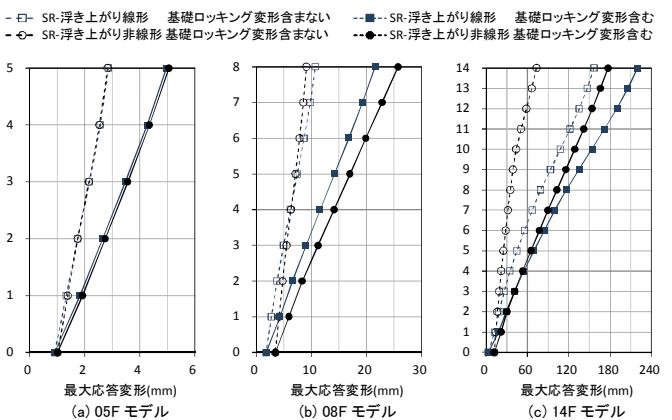


図5 最大応答変形

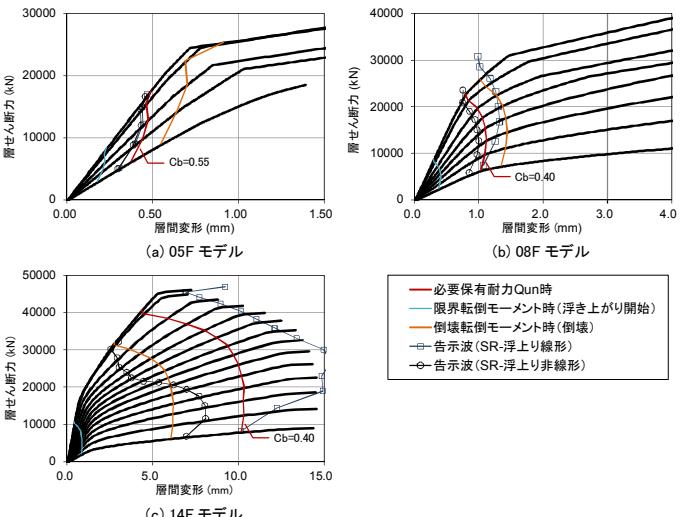


図6 Q-δ曲線と各応答値

表2 応答比較

	5F	8F	14F
SR-Without 層せん断力係数Cb	0.527	0.541	0.441
SR-Uplift 層せん断力係数Cb	0.516	0.414	0.302
Cb応答比率(Uplift / Without)	0.979	0.765	0.684
最小接地率η	0.742	0.439	0.344

## 地震応答解析における瞬間割線剛性比例型減衰の提案

正会員 ○梁川 幸盛\*  
 同 宇佐美 祐人\*  
 同 木村 まどか\*

長周期地震動 内部粘性減衰 瞬間剛性比例型減衰  
 非線形振動解析 時刻歴応答解析

## 1. はじめに

平成 22 年末に国土交通省から提案された「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について」<sup>1)</sup>を契機に、長周期地震動対策は、研究段階から設計検証の段階に移行しようとしている。長周期地震動波形の特徴としては、図 1 に示すように一つの波形の中に、長い継続時間の中で、複数の揺れのピークを持ち、様々な周期帯が連続して変化していくことが挙げられる。

このような地震動波形に対して、筆者らが既報<sup>2)</sup>において提案した「割線剛性比例型減衰」を適用した場合、揺れが収まって建物が初期剛性に近い状態に戻ったとしても、減衰を決定づけるための割線剛性は低下方向にしか推移せず、減衰は元に戻らずに低下したままになるという問題があることが指摘されている。特に、2 回目以降の揺れのピークが大きい長周期地震動に対する耐震安全性の検討や、大きな揺れの後に小さな揺れが長く続く状態での室内揺れの検討の場面では、大きな問題となる可能性がある。

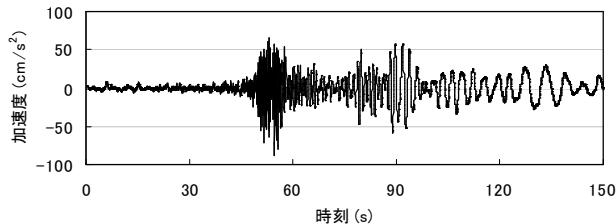


図 1 長周期地震動波形の例  
 (国土交通省が提案する領域 9)

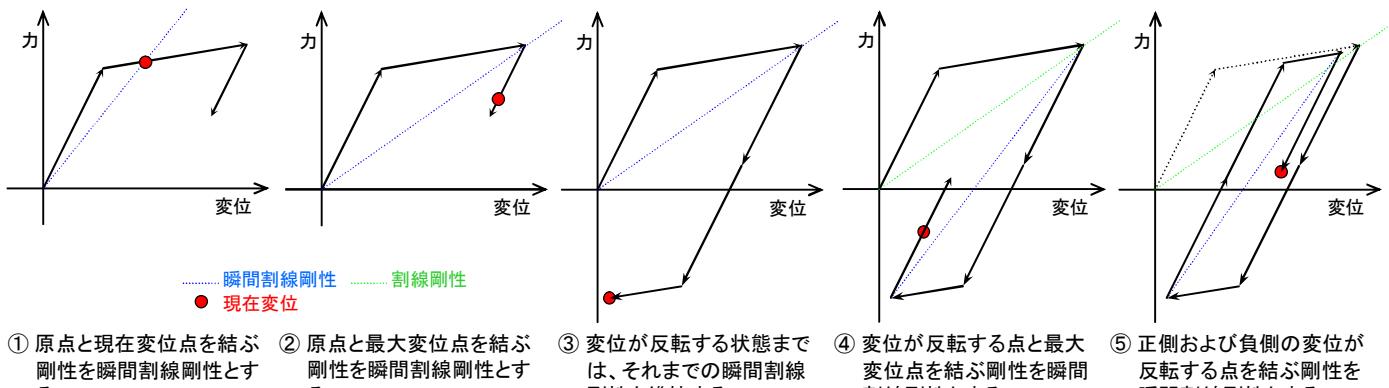


図 2 瞬間割線剛性の考え方

①原点と現在変位点を結ぶ剛性を瞬間割線剛性とする

②原点と最大変位点を結ぶ剛性を瞬間割線剛性とする

④変位が反転する点と最大変位点を結ぶ剛性を瞬間割線剛性とする

⑤正側および負側の変位が反転する点を結ぶ剛性を瞬間割線剛性とする

しかし、本モデルでは変位が反転する際に減衰係数を変化させるため、速度がゼロの時点における減衰係数の変化となるため、瞬間剛性比例型減衰で見られた問題（速度がゼロでない状態で減衰係数を変化させることによる問題）が発生しない。

### 3. 瞬間割線剛性比例型減衰の計算例

解析モデル・解析条件は、既報<sup>1)</sup>に示す通り 14・26 階の建高層 RC 住宅とした。振動モデルの骨格曲線は、立体静的荷重増分解析の結果をトリリニアカーブにモデル化したものである。履歴規則は、武田モデル<sup>4)</sup>とした。基本振動モデルは等価せん断型とした。入力地震波は、BCJ-L2 波<sup>5)</sup>を 80%に縮小した地震波、および、図 1 に示す領域 9 波形<sup>1)</sup>を基礎に入力した。

比較のため、下記に示す 4 ケースの解析を実施した。

- ・初期剛性比例：減衰は初期剛性に比例し計算中一定
- ・瞬間剛性比例型（連続モデル）<sup>2)</sup>
- ・瞬間剛性比例型（非連続モデル）<sup>2)</sup>
- ・割線剛性比例型減衰
- ・瞬間割線剛性比例型減衰（提案モデル）

いずれも、一次固有周期に対する初期減衰定数  $h_i=3\%$  とし、文献<sup>1)</sup>中に示す  $\alpha=2h/\omega$  は計算中一定とした。

図 3～4 に BCJ-L2 波を入力した場合の最大応答値分布を示す。既報<sup>2)</sup>にて示したとおり、瞬間剛性比例型減衰による最大応答加速度分布が乱れる中、割線剛性比例型および瞬間割線剛性比例型の応答値は、乱れはみられず、瞬間剛性比例型減衰の最大値に近い応答値が得られた。表 1 に内部粘性減衰による消費エネルギーの比を求めた結果を示す。若干ではあるが提案モデルの値が大きい。

表 1 内部粘性減衰による消費エネルギー比 (BCJ-L2)

	初期剛性比例	瞬間-連続	瞬間-非連続	割線剛性比例	提案モデル
14階	1.000	0.554	0.565	0.561	0.583
26階	1.000	0.609	0.617	0.602	0.622

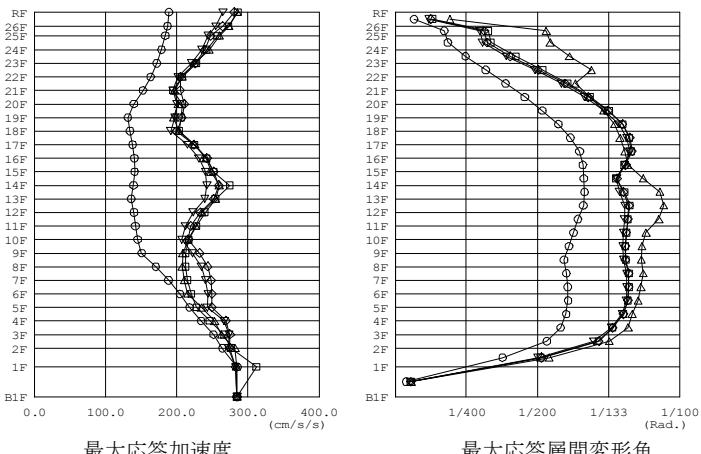


図 4 26 階モデルに最大応答値分布 (BCJ-L2)

エネルギー消費率の差が小さいのは、最大値発生後の入力エネルギーが小さいためと考えられる。

図 5 に領域 9 波形を入力した場合の時刻歴を示す。最大応答値発生までは、今回提案する瞬間割線剛性比例型減衰および割線剛性比例型減衰の応答値はほぼ一致し、最大応答値発生以降に、今回提案する瞬間割線剛性比例型減衰による応答値が若干小さくなっていることが確認できた。

### 4. まとめ

割線剛性比例型減衰の問題点を改良した瞬間割線剛性比例型減衰を示した。同減衰を用いることによって、設計における応答解析において一般的に用いられている瞬間剛性比例型減衰とほぼ同じ程度の最大応答値を、比較的乱れが少なく求めることができ、さらに長周期地震動に代表されるピークが複数あり、ピーク発生後の揺れが長く続く地震波に対しても有効であることを確認した。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省住宅局建築指導課「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について」、2010 年 12 月 21 日、  
[http://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000218.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000218.html).
- 2) 梁川・宇佐美「地震応答解析における割線剛性比例型減衰の提案」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2010 年、および「同（その 2）」2011 年。
- 3) 梁川・閑口・宇佐美「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」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2004 年 21501 番、p.1001.
- 4) 江戸・武田、「鉄筋コンクリート構造物の弾塑性地震応答解析（その 2）」、大林組技術研究所報 No.13, 1976.
- 5) 日本建築センター模擬波（基盤波）BCJ-L2 及び BCJ-L2、  
<http://www.bcj.or.jp/download/wave.html>

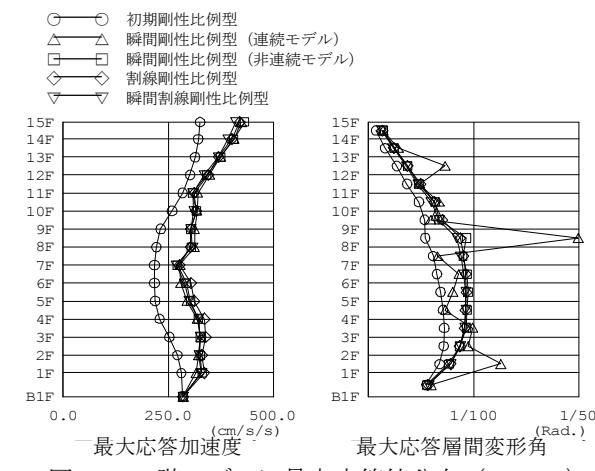


図 3 14 階モデルに最大応答値分布 (BCJ-L2)

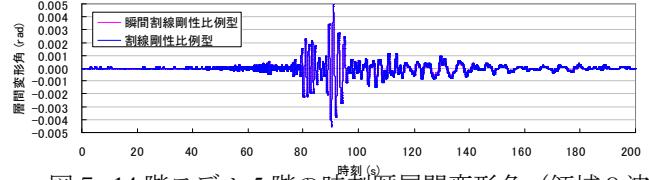


図 5 14 階モデル 5 階の時刻歴層間変形角 (領域 9 波)

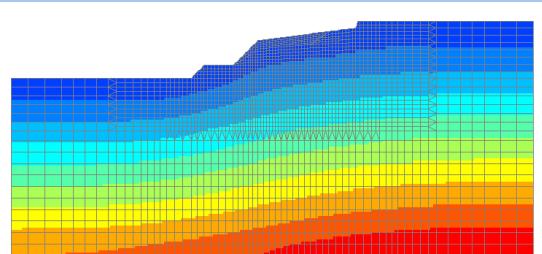
# 降雨時の地盤安定性問題に対するソリューション

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います。降雨時の地盤安定性を確認することは、災害発生の危険度予測や有効な対策の第一歩となります。

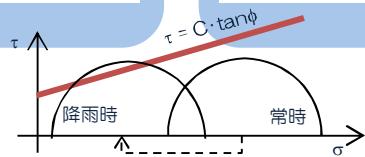
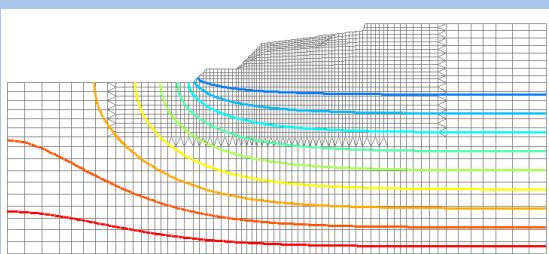
弊社では非定常浸透流解析プログラムをはじめ、すべり安全率・すべり変形量の算出プログラムなど様々な自社開発を積極的に行っております。これにより、浸透流解析結果から降雨時に時々刻々と変化する水圧や水位を把握し、有効応力を用いて想定すべり面の危険度を判定するなど、総合的な検討が実施可能です。

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。

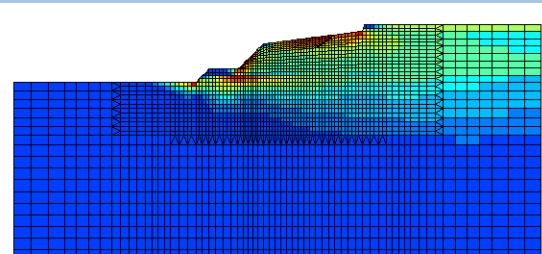
●平時の応力状態（常時応力解析結果）



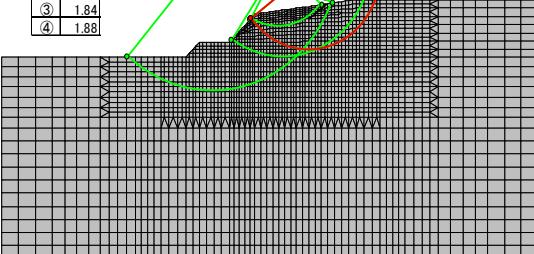
●降雨時の水圧分布（非定常浸透流解析結果）



●有効応力を用いた斜面安定の検討



No.	S.F.
(1)	1.94
(2)	1.73
(3)	1.84
(4)	1.88



☞ 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）

# 液状化問題に対するソリューション

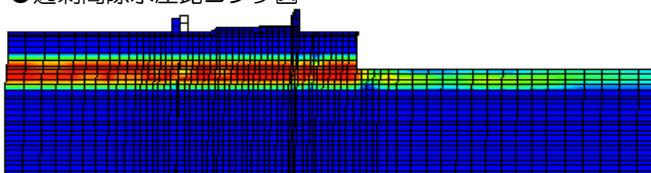
護岸および河川堤防などは、防災上重要な土木構造物です。これらは大地震時に背後地盤の変形や液状化により地盤が大きく変状することが予想され、防災対策として現状の変形、沈下を把握すること、および対策工による効果を検討することが重要です。

また、住宅地、工場敷地内の地盤が液状化することにより、地盤沈下、インフラとして重要な地中構造物の破損、工場施設の破損などを引き起こし住民生活、事業継続に対して大きな被害が生じます。これら防災対策の検討を行う上で、地盤と構造物をともに考慮した解析モデルによる有効応力非線形解析が有効です。

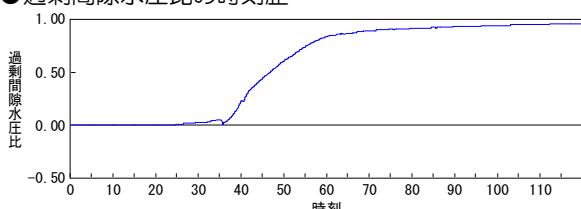
弊社では、自社開発の有効応力非線形解析プログラムの他に、各種解析プログラムを使用した解析にとりくんできております。予測された地震動強さと地盤種別から簡便的に評価する方法から有効応力解析に基づく方法まで、検討内容に応じた解析手法、解析ツールを選択し対応いたします。

## ■海岸付近の地盤における液状化検討事例

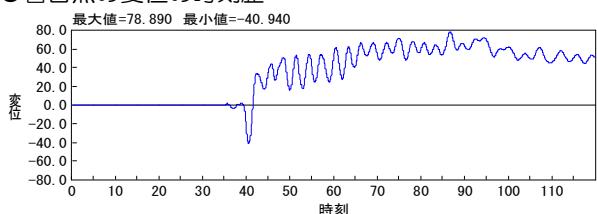
### ●過剰間隙水圧比コンタ図



### ●過剰間隙水圧比の時刻歴

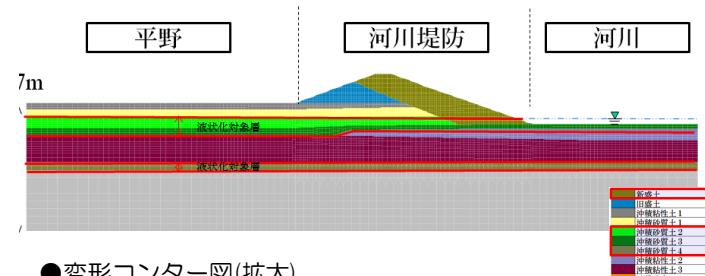


### ●着目点の変位の時刻歴

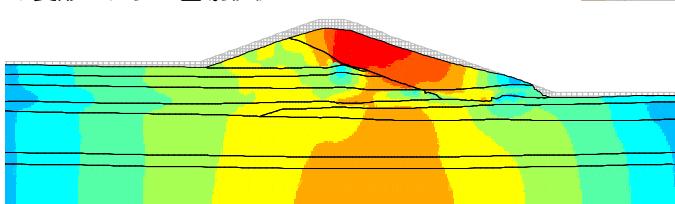


## ■FEMにより河川堤防の液状化による挙動をシミュレーション

### ●解析モデル図(全体)

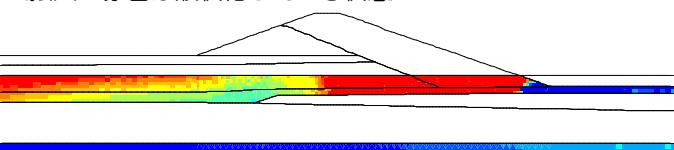


### ●変形センター図(拡大)



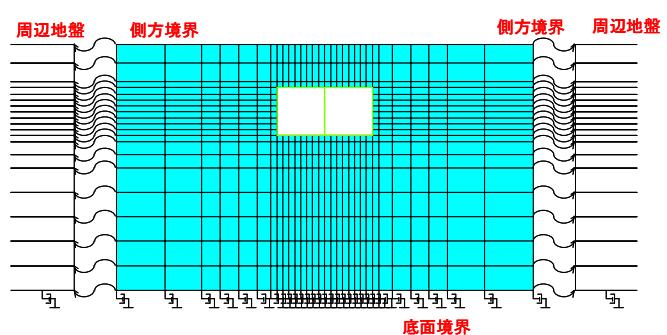
### ●過剰間隙水圧比センター図

(拡大：赤色は液状化している状態)

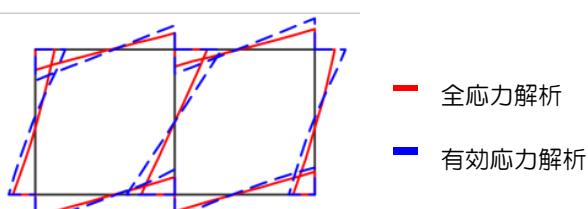


## ■有効応力解析と全応力解析により地中構造物の耐震性を比較検討

### ●解析モデル図



### ●モーメント図



# RESP-D

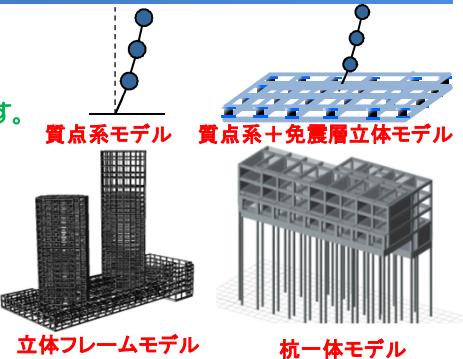
時刻歴応答解析による設計を支援する統合構造計算プログラム

## ■ 概要

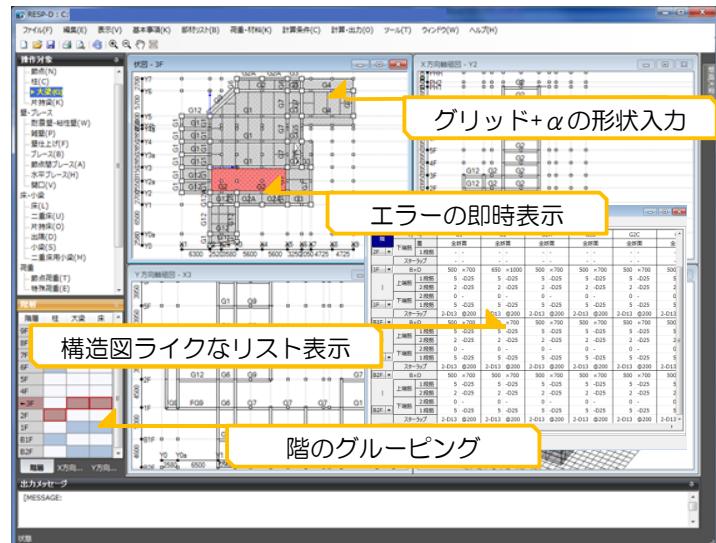
RESP-Dは許容応力度設計から質点系振動解析、立体振動解析までをシームレスで行う新世代の構造計算プログラムです。RESPシリーズが取り組んできた超高層建築、免震構造、制振構造に対して、数々の新しいアイディアを盛り込むことで、より高度で質の高い構造計算やプレゼンテーションをサポートします。

## ■ 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・質点系振動解析をはじめ多様な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

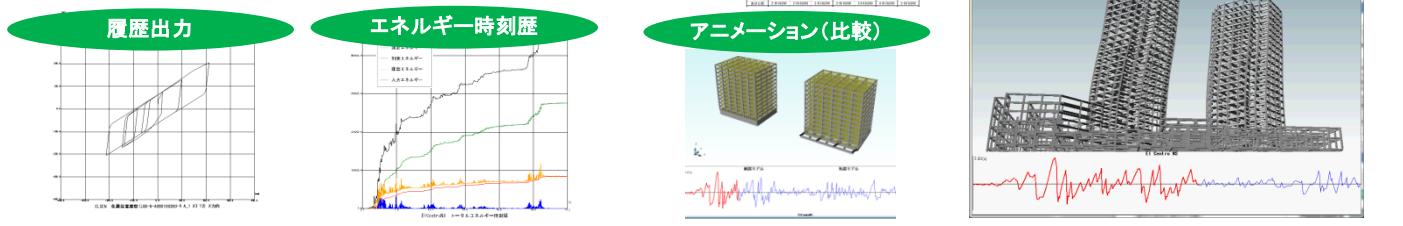
- 直交する通り軸を基本とした任意形状に対応します。
  - エラーは逐次表示されるためミスが早期に発見できます。
  - 断面リストは構造図表現に準じた直観的な入力形式です。
  - 階グルーピングにより基準階の入力が大幅に省力化できます。
- 計算の特長
- 多剛床および剛床解除の指定がモデル化できます。
  - 長期荷重に対し施工段階解析が可能です。
  - 中間層免震を含む免震建物の解析が可能です。
  - 免制振装置のばらつき検討を1つのデータ内で考慮可能です。
  - 鉄骨、コンクリートの数量出力に対応しています。
  - ファイバモデルによる袖壁の考慮が可能です。
  - 位相差の考慮がスイッチャー一つで行えます。

Ver.2.2における主要機能追加情報

機能追加項目	対応内容
ST-BRIDGE出力	国内の建築構造分野標準フォーマット対応
免震装置符号定義	免震装置に符号を定義して配置
平面応力要素	平面応力要素の配置、計算
支点ばねの非線形性定義	支点ばねの非線形性考慮機能
層の復元力特性設定高度化	質点系モデル作成をより直観的に操作性向上

## ■ 構造計算・出力機能の特長

- 標準書式に則した構造計算書を出力可能です。
- 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。



## 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、私用で富山に行ってきました。帰りに黒部ダムに寄ったのですが、その大きさと雄大な景色に圧倒されました。聞けばダム建設の作業人数は1000万人を超える、工事期間中の殉職者は171人に及んだそうです。この素晴らしい建造物の裏には想像を絶する苦難があったのだなと感慨にふけりました。ダム建設の裏側が気になる方は是非、黒部の太陽を見てみて下さい（と言いつつ私はまだみてませんが…）。

富山でもう一つ衝撃を受けたのはブラックラーメンです。その強烈な味の濃さから、ご飯のおかずにラーメンを食べるという驚異的な料理です。好き嫌いがわかれるが、富山に行かれた際には是非食べてみて下さい。衝撃を受けると思います。

防災・環境部 地図環境室 奥野峻也

入社以来、主に意思決定支援系なる弊社業務分野に携わってきましたが、10年を境に学生時代以来、久々に解析分野に携わる事となりました。いくら学生時代に長く解析に関わっていたとはいえ、10年も離れていると、キャッチャアップに四苦八苦しておりますが、この解析雑誌の編集に携わりながら、自分の勉強もあらためてしております。今後は Input だけでなく Output として、多分野での経験を生かし、皆さまのお役に立てる情報を様々発信していきたいと思っておりますので、よろしくお願ひいたします。

エンジニアリング営業部 ストックマネージメント室 田邊功一



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ひいたします。

[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.31 2012.12

発行日 平成 24 年 12 月 17 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)