

Topics

—イベント開催報告—

- 「KKE Vision 2011 —発信、工学知。—」
- 「企業防災・事例紹介セミナー2011」
～今よりも強固な事業継続（BC）へ～

—展示会出展—

- 出展報告と今後の出展のご案内

—技術紹介—

- 次元削減を用いた高次元電力時系列データの可視化
- 津波解析とその応用事例のご紹介
- RESP-D 技術レポート
ファイバー要素による袖壁付柱のモデル化

Technical Reports

- 準リアルタイム配信される地震観測記録を活用した道路復旧プロセス評価に関する検討
- 大規模平野の強震動評価技術の開発
- シミュレーションを活用した災害対策
- 各種構造計算プログラムによる解析結果の比較
その1) モデル化方針の違いによる結果比較
- 各種構造計算プログラムによる解析結果の比較
その2) 偏心率の計算方法の違いによる結果比較
- 地震応答解析における割線剛性比例型減衰の提案（その2）

今後の復興に向けて

㈱構造計画研究所
防災・環境部 副部長
内山 不二男

本年の3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、東北地方、関東地方に大きな被害をもたらしました。地震発生から半年以上が過ぎ、東北地方太平洋沖地震に関する被害調査や検証などが関係省庁や学会などで報告されつつあります。それらを踏まえた新たな耐震対策、防災対策が早急に興じられることを期待しております。

その本年も残すところあと1ヶ月程度となり、東日本大震災の復興を柱とする2011年度第3次補正予算も確定され、来年は、最優先課題である復興事業が本格的に動き出すこととなります。

私どもは、長年関わってきた建造物の耐震設計に関する分野や地震動評価、津波評価等をベースとした耐震対策、防災対策、避難対策等で社会に貢献していきたいと考えております。

また、原子力発電所や火力発電所の被災により電力供給量が不透明な中、環境問題が改めてクローズアップされており、省エネルギー対策などを進めていくことも来年以降の重要な国策であると言えます。

そのような状況の中、私どもは社会の変化にスピーディに対応すべく、関係部署間のネットワークを深め、皆様のご期待に答えるべく努力してまいります。

私自身、入社以来より建築・土木建造物の耐震対策、防災対策に関わっており、17年前の阪神・淡路大震災、今回の東日本大震災における甚大な被害に深く心を痛めている一員です。阪神・淡路大震災から素晴らしい復興を遂げた兵庫県や淡路島のように、東北の被災地域が一刻も早く復興することを願っております。

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

解析雑誌 Vol.27 2011.12

巻頭言 今後の復興に向けて 防災・環境部 副部長 内山 不二男 02

Topic 1

● 「KKE Vision 2011 - 発信、工学知。 -」 開催報告 04

Topic 2

● 危機管理産業展 2011/ものづくり NEXT↑2011 出展報告 05

● 第16回震災対策技術展 出展のご案内

Topic 3

● 「企業防災・事例紹介セミナー2011」 06

～今よりも強固な事業継続 (BC) へ～ 開催報告

Topic 4

● 次元削減を用いた高次元電力時系列データの可視化 08

Topic 5

● 津波解析とその応用事例のご紹介 12

Topic 6

● RESP-D 技術レポート ファイバー要素による袖壁付柱のモデル化 18

Technical Report 1

● 準リアルタイム配信される地震観測記録を活用した 20

道路復旧プロセス評価に関する検討

坪田 正紀、橋本 光史、森 俊勝、志村 泰知、北上 靖大、村地 由子

Technical Report 2

● 大規模平野の強震動評価技術の開発 24

西條 裕介、正月 俊行、田島 礼子、司 宏俊、廣川 雄一

Technical Report 3

● シミュレーションを活用した災害対策 34

矢野 夏子、大江 悠介、森 俊勝

Technical Report 4

● 各種構造計算プログラムによる解析結果の比較 40

その1) モデル化方針の違いによる結果比較

久保田智子、長瀬悦子、梁川幸盛、坂場律和、小豆畑達哉、井上波彦、石原直

Technical Report 5

● 各種構造計算プログラムによる解析結果の比較 42

その2) 偏心率の計算方法の違いによる結果比較

久保田智子、長瀬悦子、梁川幸盛、坂場律和、小豆畑達哉、井上波彦、石原直

Technical Report 6

● 地震応答解析における割線剛性比例型減衰の提案 (その2) 44

梁川 幸盛、宇佐美 祐人

Editor's Note

● From Editors 55

「KKE Vision 2011 ー発信、工学知。ー」開催報告

～ 53の講演及び体験セミナーを開催。3日間で約1900名が参加 ～



プライベートイベント「KKE Vision 2011 ー発信、工学知。ー」を10月12日（水）から14日（金）まで、ヒルトン東京にて開催いたしました。

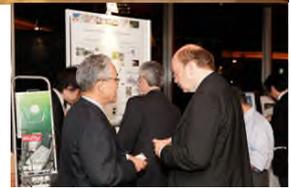
本イベントは構造計画研究所の企業理念である「大学、研究機関と実業界をブリッジする総合エンジニアリング企業」の精神のもと、大学、研究機関とビジネスパートナー間の交流を促進する場として、年一回、開催しています。

今年は「安心・安全社会の構築」（12日）、「製造業の未来を切り拓く技術」（13日）、「復興と未来の都市インフラ」（14日）と、開催日ごとに異なる3つのテーマのもと、全53件の講演及び体験セミナーを開催いたしました。開催期間中には、防衛大学校長で東日本大震災復興構想会議議長の五百旗頭 真氏をはじめとした各分野の第一人者による基調講演を実施し、開催最終日には日本建築学会会長で東京工業大学名誉教授の和田 章 氏による記念講演を開催いたしました。

■ 開催概要

- ・ 日時：2011年10月12日（水）～14日（金）
- ・ 会場：ヒルトン東京

■ 来場者数（3日間）：1,891名



■ プログラム

10/12(水)：安心・安全社会の構築

| | |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| 【基調講演】 | |
| 東日本大震災の被災経験および今後の研究と展望 | 東北大学大学院 井上 範夫 氏 |
| 【災害に負けない都市づくり】 | |
| ● 時空間で考える地域防災 | 大阪市立大学 宮野 道雄 氏 |
| ● 災害対応におけるモデリング&シミュレーション技術の活用 | ボーイング ジャパン 神藤 猛 氏 |
| ● 「東京における緊急輸送道路沿道建築物の耐震化を推進する条例」 | 東京都 吉野 敏郎 氏 |
| 【重要施設の災害対策】 | |
| ● 震災の教訓と今後のRC造建物の設計と補強 | 東北工業大学／日本建築学会東北支部長 田中 礼治 氏 |
| ● 大地震への備え ～津波、地盤の液状化の被害予測～ | (株)構造計画研究所 島袋 深井 ホルヘ / 安重 晃 |
| ● 事業継続（BC）のための災害リスクマネジメント | (株)構造計画研究所 坪田 正紀 |
| ● 重要施設の電力信頼性～自然エネルギーによる安定供給を目指して～ | 東京理科大学 渡邊 均 氏 |
| ● 石油タンクの地震および津波被害と対策 | 消防庁消防研究センター 西 晴樹 氏 |
| 【地震と構造技術】 | |
| ● 2011年東北地方太平洋沖地震による地震動 | (株)構造計画研究所 司 宏俊 |
| ● 巨大地震に備えた超高層建物の長周期地震動対策 | 東京理科大学 北村 春幸 氏 |
| ● 未来にむけた構造技術～東日本大震災を経験して～ | 福岡大学 高山 峯夫 氏 |
| ● 3次元免震の歩み | 東京大学 藤田 隆史 氏 |
| 【維持管理の最新技術】 | |
| ● 地震による設備の落下など不測の被害の現象解明と防止策 | (株)構造計画研究所 楊 克俊 |
| ● 3次元振動試験システムを活用したICT装置耐震性能向上への取組み | (株)NTTファシリティーズ 鈴木 幹夫 氏 |
| ● 既存橋梁の健康診断・余寿命推定とその検証 | 山口大学大学院 宮本 文穂 氏 |
| ● 欧州におけるセンシング・モニタリング技術最新動向 | Fraunhofer 研究所（ドイツ）Wolfgang Schade 博士 |

10/13(木)：製造業の未来を切り拓く技術

【基調講演】 リスクマネジメントのための失敗学

東京大学大学院 濱口 哲也 氏

10/14(金)：復興と未来の都市インフラ

【記念講演】 宇宙原理と建築

日本建築学会会長／東京工業大学 和田 章 氏

【基調講演】 跳躍の歴史へ向けて～悲慘のなかの希望～

防衛大学／神戸大学／東日本大震災復興構想会議議長 五百旗頭 真 氏

危機管理産業展2011／ものづくりNEXT↑2011 出展報告 第16回震災対策技術展（2012/2/2～3 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、今年は「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、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
- 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～
 - 「実測データ（センシング）」と「構造解析技術」を活用した構造ヘルスマonitoring
～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）2011

| | |
|------|---|
| 会 期 | 2011年10月19日（水）～21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 | 保有施設・設備の保全と災害対策をささえる解析技術のご紹介 ～危険を予測し、未然に防ぐ 安全・安心・事業継続のために～ エンジニアリング営業部 防災対応室室長 古川欽也 |

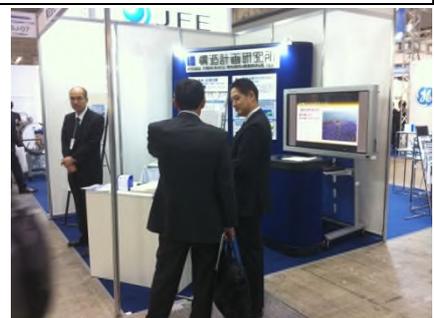
ものづくりNEXT↑2011 メンテナンステクノショー

| | |
|------|---|
| 会 期 | 2011年11月16日（水）～18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 | プラント・工場・設備の保全・災害対策～危険を予測し、未然に防ぐ～ エンジニアリング営業部 防災対応室 金山亨 |

セミナー風景



展示ブース風景



■出展のご案内

第16回 震災対策技術展—自然災害対策技術展—

| | |
|------|---|
| 会 期 | 2012年2月2日（木）～3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 | 地域性を考慮した経済的な耐震・補強対策 と BCP 策定のための災害リスク評価について |

※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。

企業防災・事例紹介セミナー2011 ～今より強固な事業継続（BC）へ～ 開催報告

数十年に一度しか起きない大地震ですが、ひとたび発生すると、その被害は計り知れません。3月11日の東日本大震災では、東北地方の製造業の被災による影響が国内に留まらず、国外にも波及する結果となり、実効性のある事業継続計画の必然性が改めて見直されています。

万一の災害においても致命的な事業の中断を回避できる、災害に強い工場／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、震災以前よりお客様の効果的な事前対策のためのお手伝いをして参りました。

このたび、その豊富な業務実績をベースに、製造業の皆様へ地震に対する効果的なリスクマネジメントのあり方を、具体的な事例を交えてご紹介させていただきセミナーを企画、開催いたしました。また、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）を行いました。

■開催概要

- ・2011年10月27日（木）：ウインクあいち（名古屋市）
- ・2011年10月28日（金）：野村コンファレンスプラザ大阪御堂筋（大阪市）

■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 地震対策に関連する東日本大震災後の動向・情報のご案内

講師：吉松慶（防災ソリューション部 災害リスクマネジメント室）

東日本大震災以降、政府や関連機関において震災状況をふまえた様々な分析や検討がなされています。ここでは、その中から地震対策に関連して知っておくべき動向や情報についてご紹介をしました。

●セッション2 地震に対する脆弱点の分析事例のご紹介

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）

効果的な事前対策を行うには、まず事業継続を妨げる脆弱点を分析することが必要です。弊社ではお客様の意思決定に必要となる情報に応じて、スクリーニングを目的とした簡易レベルから具体的な対策の効果を検討する詳細レベルまで3つの分析レベルをご提案しております。ここでは各レベルの内容と分析事例についてご紹介をしました。

●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。

担当コンサルタント：防災ソリューション部 災害リスクマネジメント室 室長 坪田正紀
同 技術担当 村地由子

※「KKE Vision 2011 - 発信、工学知。-」、および本セミナーに関するご質問やご要望は、本誌裏表紙に記載されているメールアドレス、またはお電話にてお問い合わせください。



セミナー講演風景

自然災害 + KKE

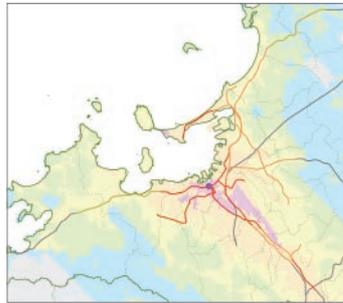


災害リスクマネジメントソリューションは、施設の新規計画、リロケーション、BCP 策定等を効率的にサポートするものです。多様な自然災害を一覧で比較できるほか、地震 PML も同時に評価可能です。専門知識を分かり易く図表で解説し、意思決定プロセスを円滑に進めるお手伝いをします。

- 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

災害リスクマネジメントソリューション

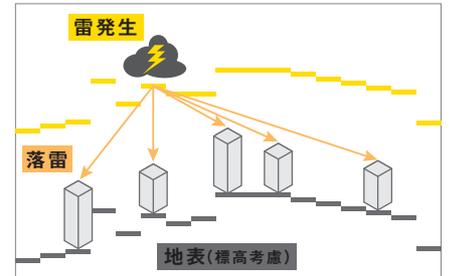
周辺で発生する可能性のある震源と、発生した場合の地域・建物・収容物の揺れ・被害程度を評価します。交通等ライフラインについても、情報をご提供します。



| 予想連休日数 | 震度 |
|--------|-------|
| 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 | |

震度分布・公共交通の被害予測例

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。

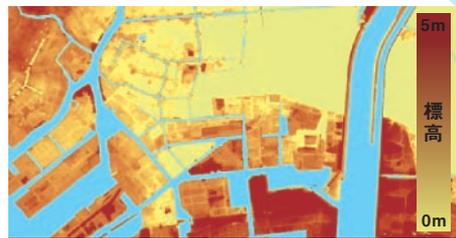
地震

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 | 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



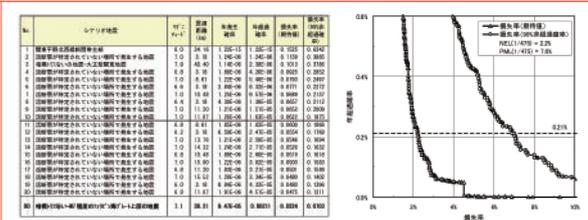
過去の台風経路の表示例

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。



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。

次元削減を用いた高次元電力時系列データの可視化

(株)構造計画研究所
耐震技術部 鈴木 由宇

設備を保全するための管理データは、今後より一層蓄積されていくことが予想されます。一方で、設備に起きうる異常を発見するなど、これらのデータを有効活用して意思決定につなげる、ということはあまり行われていないのが現状です。今回はこれらのデータの活用方法として、データの次元削減によってデータを見やすい形に変換し、データに潜む異常を早期に発見するための方法をご紹介します。

■設備管理データの処理の問題

建築物やインフラなどの設備を保全するために、これらにセンサを取り付けて、加速度やひずみ・電力といった管理データを取得するという事例が増えています。そしてこれら設備管理データの蓄積も進んでいます。一方でこれらの設備管理データは、実際に異常が起きてからその原因を突き止めるために用いられていることが多く、日々の設備の運用・管理には十分に活用しきれていないのが現状です。

これは設備管理データが持つ特徴が原因として考えられます。設備管理データは「監視場所の数×サンプリング時点数」という大規模なデータ(高次元時系列データ)であるため、すべてのシステムを監視するのに大きな負担がかかります。設備管理データを日々の点検に活かし、設備の故障や異常を早期発見するには、設備管理データに対してデータ分析を行い、管理者が意思決定しやすい形に変換する必要があります。

■次元削減による高次元データの可視化

設備管理データを有効に活かすための方法として、機械学習の分野で研究が進んでいる次元削減をご紹介します。次元削減は、高次元時系列データを低次元に圧縮する手法です。次元削減を用いて1日分の時系列データを2次元のマップ上に1つの点で表現します。こうすることで、ある特定の1日のデータが、普段のデータの分布からどの程度離れているか(異常度)を示すことができるようになります(図1)。

■多次元尺度構成法

今回は、次元削減の手法のうち「多次元尺度構成法」(Multidimensional Scaling, MDS)をご紹介します。

多次元尺度構成法は、データ間の距離が与えられている

ときに、そのデータの座標を復元するアルゴリズムです。データ間の距離を保つように座標を復元するので、遠いデータ点同士は遠くに、近いデータ点同士は近くに配置されるようになります(図2)。

データ点の座標を復元する手順は以下の通りです。

データ点の距離行列が $D=\{d_{ij}\}$ で与えられているとします。この距離行列のもとになっているデータ点の座標行列を X としたときに、 $B=XX^T$ で定義される行列 $B=\{b_{ij}\}$ の成分はデータ点の内積で定義されます。距離行列 D を用いて行列 B を表現することができれば、行列 B の平方根を求めることで座標行列 X を推定することができます。

成分に着目すると、

$$d_{ij} = b_{ii} + b_{jj} - 2b_{ij}$$

という関係式が得られます。これより、

$$B = -\frac{1}{2}JDJ^T \quad \left(J = I - \frac{1}{N}\mathbf{1}\mathbf{1}^T \right)$$

と書き表すことができますので、 D により B が求まります。その後に B を固有値・固有ベクトルで表現すると、

$$B = V\Lambda V^T = \left(V\Lambda^{1/2} \right) \left(V\Lambda^{1/2} \right)^T$$

となります。固有値・固有ベクトルを上位2つまで取ると、 X の推定量

$$\hat{X} = V\Lambda^{1/2}$$

は2次元にマッピングすることができます。

■実データへの適用事例

高次元データの可視化の事例として、ある工場設備における電力の使用状況のデータ(1か月分、100系列×24時間×31日)を用いました。

この工場設備において監視すべき系列数は合わせて

100 系列あります(図 3)。このため、熟練者であれば波形パターンから異常がないかどうかを見分けることができますが、経験の浅い管理者にとってはこの監視業務は大きな負担になります。

多次元尺度構成法を用いるために、1 か月分のデータを 1 日ごとに区切り、100 系列×24 時間のデータ(2,400 次元のベクトル)を 31 日分作成しました。そしてこのデータに対してユークリッド距離で距離行列を作成し、多次元尺度構成法を用いて 31 日分のデータを 2 次元にマッピングしました。その結果が図 4 です。この図からわかるとおり、2011/07/22 のデータのみが他の日のデータが集中している場所から外れているということが確認できました。この日のデータを詳細に確認したところ、ある特定の 3 つの電力系統が、普段と異なる挙動を示していることが確認できました(図 5)。この日のデータは、他の日のデータとの距離が大きいため、このように離れて配置されます。

■まとめ

多次元尺度構成法を用いることにより、設備管理データのような人間の目で追いかけるには難しい高次元時系列データを、2 次元にマッピングすることができます。このことにより、設備の管理者にデータを見やすく表現することが可能になるため、見落としがちな異常などを早期に発見するサポートをすることができるようになります。

構造計画研究所では、次元削減以外にも様々なデータ解析手法を用いることで、設備管理データの有効活用のお手伝いをいたします。

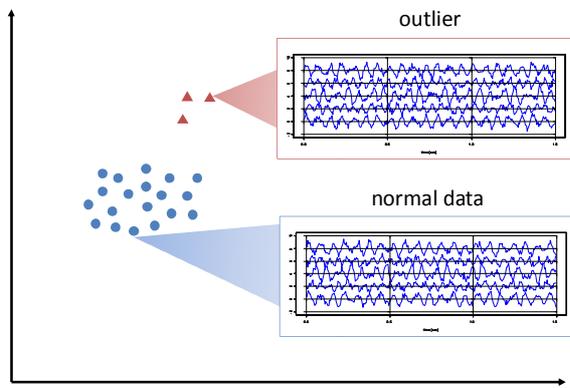


図 1 次元削減によるデータの可視化

| | p_1 | p_2 | p_3 | p_4 |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| p_1 | | | 4 | 4 |
| p_2 | | | 4 | 3 |
| p_3 | | | | 2 |
| p_4 | | | | |

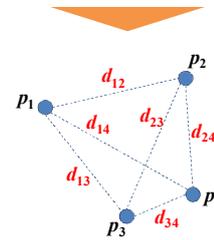


図 2 多次元尺度構成法の概念図

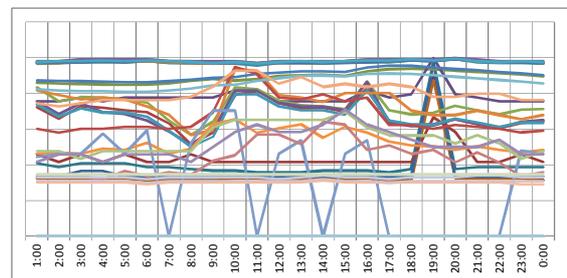


図 3 工場設備における 1 日分の監視対象データ

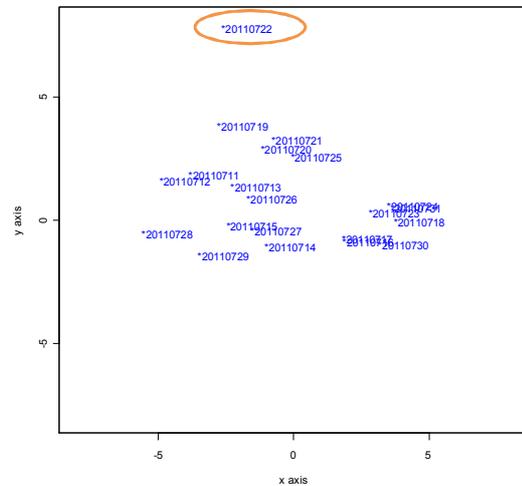


図 4 多次元尺度構成法による電力データの可視化

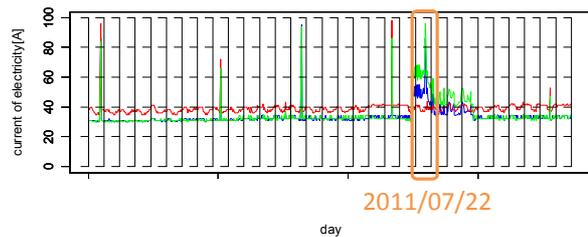


図 5 通常と異なる挙動が確認できた 3 系統

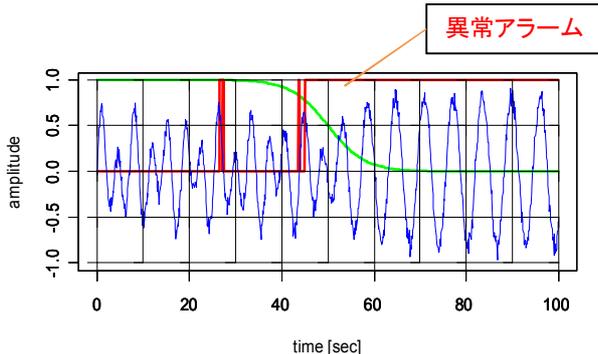
危険を予測・検知し、未然に防ぐ

設備管理データを眠らせていませんか？

設備管理のために蓄積されたデータは、施設を守るための財産です。しかしこれらのデータも、適切な分析を行い有効活用しないとその価値は半減してしまいます。

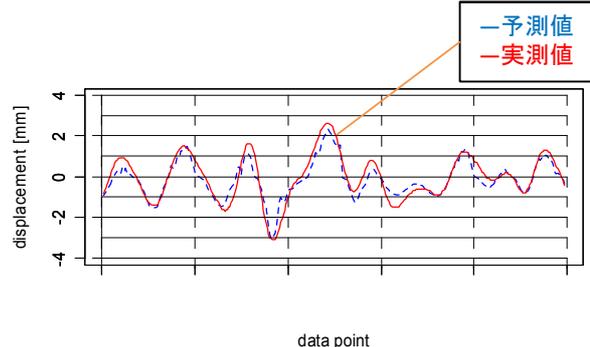
蓄積されたデータは、データマイニング技術により設備の異常や変状を事前に告げてくれる有用なデータになり得ます。設備管理データを用いた異常検知、変状予測、可視化事例をご紹介します。

テーマ1 データからの異常検知



設備管理データの正常値と異常値が際立つようにデータ処理し、**検知精度を向上させます**

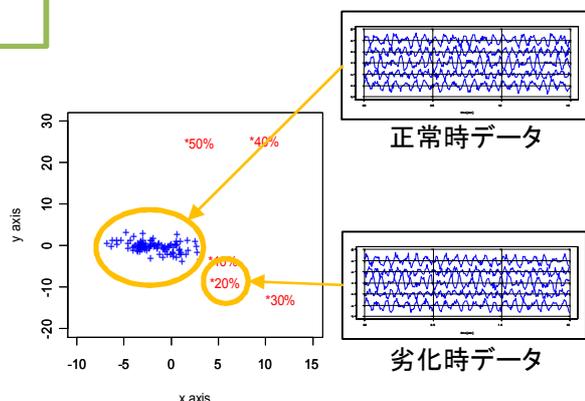
テーマ2 データからの時系列予測



過去データから将来の変形・変動量の予測値を算出し、**運用効率を改善させます**

テーマ3 次元削減によるデータの可視化

同時に確認する時系列数が多すぎて見づらい維持管理データを、2次元にマッピングすることにより普段の挙動とどの程度離れているかを可視化し、**施設管理者の負担を軽減します**



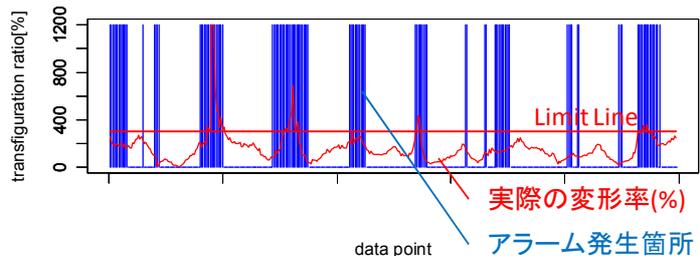
設備管理データ解析の実例

事例1 大規模構造物の急激変形検知

老朽化が進んだ構造物は、一度変形が始まると急激に変形が進むという性質を持っています。そのため、変形があまり進んでいない段階で兆候をつかみ対処することが、維持管理上重要になります。

パターン認識技術であるサポートベクトルマシン(SVM)を用いると、過去のデータとの比較により急激に変形が進む可能性がある箇所を検知し、アラームを出すことが可能になります。

過去データを用いて、急激変形が起きる可能性がある箇所にアラームを出しました。その結果、**実際に急激変形が起きた箇所を100%検知できました。**

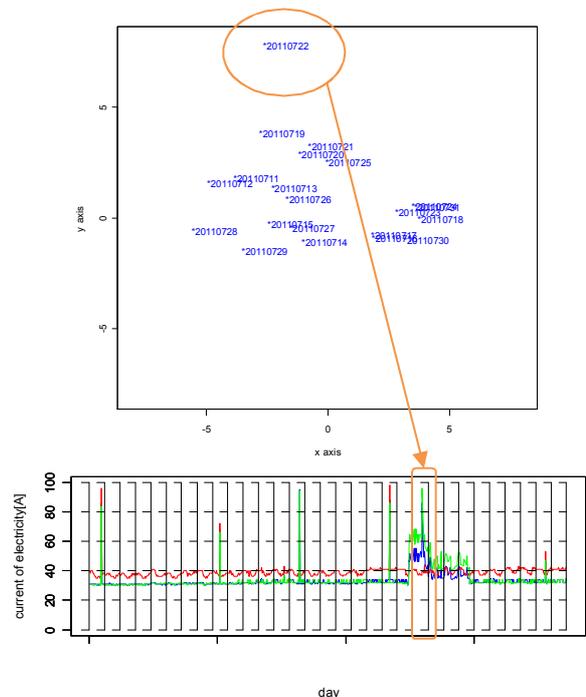


事例2 設備における電力利用状況の可視化

電力システムは1つの施設において100系列以上あることがあります。これだけのシステムを毎日監視するのは膨大な時系列データを処理することになり、管理者にとって大きな負担になります。

次元削減技術である多次元尺度構成法(MDS)を用いると、運用者の負担を減らすことが可能になります。ある1日の電力データを他の日の電力データとの距離を定義することで、その日のデータが普段のデータからどれだけ離れているかを可視化することができます。

1か月の電力使用状況をMDSを用いて可視化したところ、特定の1日だけが普段のデータから離れていました。100系列を詳細に確認したところ、その日のみある特定の3系列の電力使用状況が通常と異なっていることに気づきました。



お持ちの設備管理データを試解析いたします

設備管理の時系列データを試解析いたします。解析内容は、

- (1)異常検知
- (2)時系列予測
- (3)高次元データの可視化 などです。

詳細は、下記連絡先までご連絡ください。

津波解析とその応用事例のご紹介

(株)構造計画研究所
防災・環境部 落合 努

2010年3月11日午後2時46分、東北地方太平洋沖地震が発生しました。この巨大地震によりもたされた津波は、北海道、東北、関東地方にかけての太平洋沿岸を中心に、北海道から沖縄まで、日本海側を含む広い範囲に押し寄せました。地震発生後の各種研究機関の調査によると、岩手県の宮古市等で30m以上の遡上も確認されました。また、国土地理院による調査などでは、津波による浸水面積は約535km²と、東京の山手線内側面積の約8.5倍にまで及んでいることが確認されています¹⁾。

この地震発生以降、津波防災に対する意識が高まり、特に南海トラフの地震被害が予測される地域では、早急な検討・対策が望まれています。

構造計画研究所は、地震発生以前から津波解析に関するコンサルティングやプログラム開発を進めており、ここでは津波解析の概要や解析事例等をご紹介します。

1. 津波解析の概要

(1) 解析手法の概要

津波とは、地震によって発生した海底地盤の急激な変化により海水面が上昇（下降）し、水面の変動が海面を伝播して海岸に打ち寄せる現象です。津波の挙動を計算するためには以下の手順が必要となります。

- ①海底および陸上地形の作成
(海底地形データや地上標高データを活用)
- ②地震による海底地盤の変化量を設定
- ③海底地盤の変化量を水面変動として設定
- ④波の伝播計算

波の伝播計算は、以下の非線形長波方程式を差分法を用いて解くことにより水平方向の流量と水位変動量を計算しています。

運動方程式：

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

連続式：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

M : x 方向流量 N : y 方向流量 η : 水位上昇量
h : 水深 g : 重力加速度
D : 全水深 (h + η) n : マニングの粗度係数

(2) 格子の細分化

波源のある外洋から、陸上遡上域まで図1のように領域を分け、多重格子を用いて計算を行っています。この手法を用いることにより、効率的な計算が可能となり遡上域付近のみ詳細な検討を行うことが可能などのメリットがあります。

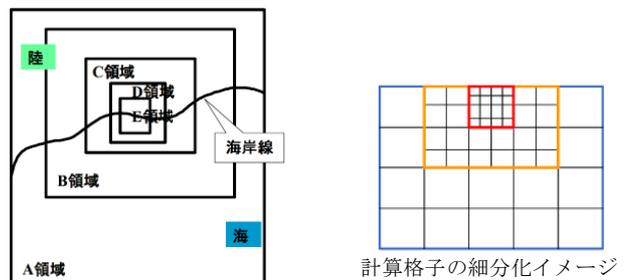


図1 多重格子による領域設定

(3) 津波波源の設定

津波波源の基となる海底地盤の変動量は、断層パラメータを設定し、Manshinha&Smylie 式によって求めています。

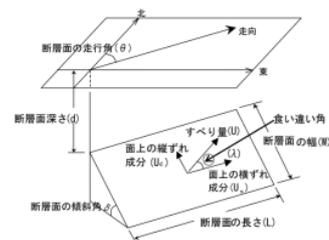


図2 断層パラメータの設定

2.津波解析事例

ここでは、弊社のプログラム「津波シミュレータ」による解析事例を紹介します。図3は南海トラフで想定されている海溝型地震3つ（東海+東南海+南海）が同時に発生した場合の解析事例です。沿岸部で、5mを超えるような大きな津波が到達していることが確認できます。

「津波シミュレータ」を用いると、図のような波高の2次元分布図、任意地点の時刻歴の波高変動量、3次元のアニメーション等が比較的簡易に出力可能です。

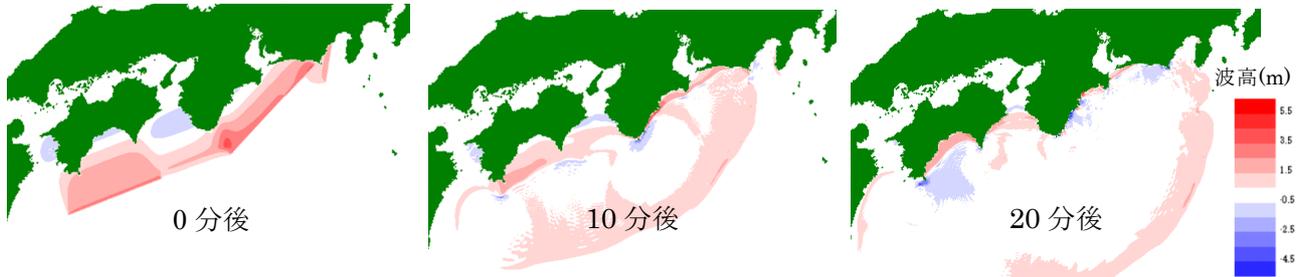


図3 解析事例（東海+東南海+南海地震津波）

3.津波解析の応用

(1) 建築物の影響と粗度

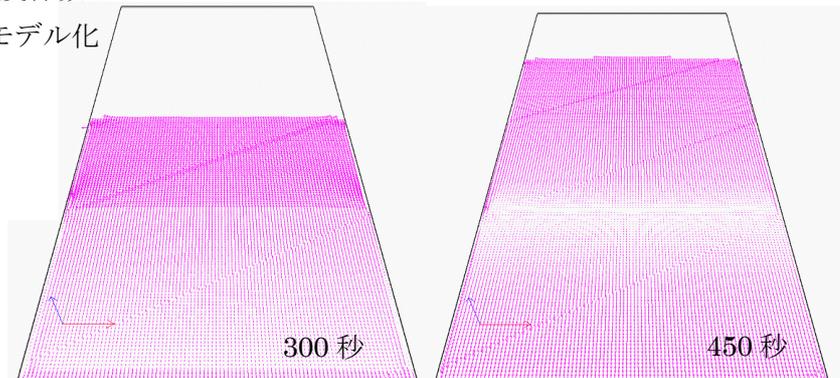
一般に、遡上解析の際、土地利用状況は粗度（摩擦力）によって考慮します。

ここでは、遡上域（住宅地）を粗度で設定した場合と、住宅を建物としてモデル化した場合（建物の格子に高さを持たせる）の違いを検討した例を示します。

図の上段は粗度で設定したモデル、下段は建物としてモデル化した例です。同一時間で遡上の先端は概ね同一の位置となっていますが、遡上域での水の流れがモデル化方法で大きく異なっていることが確認できます。

粗度係数で

モデル化



建物として

モデル化

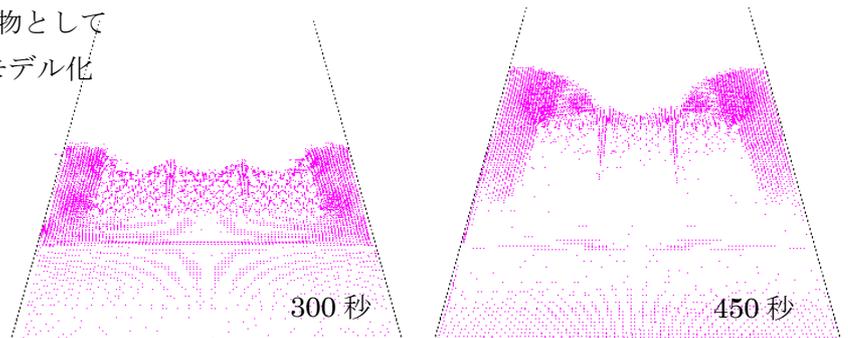


図4 建築物の影響と粗度

(2) 波源の設定

津波シミュレーションでは、初期波源をどのように設定するかが非常に重要となっています。前記したとおり、初期波源は断層パラメータより求められ、通常断層パラメータは「過去の歴史地震」や「中央防災会議等の公開資料」から設定します。しかし、「過去の歴史地震」はある特定のマグニチュードの地震であり、今後さらに大きな地震が発生する可能性もあります。ここでは、津波波源として歴史地震を基にさらに大きなマグニチュードを仮定する場合の方法について一例を示します。

一般に、地震のマグニチュードは、断層の面積や移動量等から下式によって求められます。

$$M_w = (\log_{10} M_o - 9.1) / 1.5$$

M_o : 地震モーメント ($M_o = \mu DS$)

D : 断層の移動量、 S : 断層面積、 μ : 弾性率

式からわかるように、地震のマグニチュードを大きくするには、地震モーメントすなわち断層面積や移動が大きくなる必要があります。この式を変換すると、マグニチュードを0.1大きくするためには以下の変更で対応可能となります(図5)。

①移動量のみ大きくする場合

移動量 (D) を 1.41 倍する

②移動量と面積を大きくする場合

移動量、長さ、幅をそれぞれ 1.12 倍する

(3) 波圧の評価

東北地方太平洋沖地震で発生した津波により、多くの構造物に被害が発生しました(図6:堤防の崩壊例、岩手県下閉伊郡山田町の例)。現在津波の波圧は、計算式としてはいくつか提案されていますが、砕波による衝撃力などを考慮した評価は困難です。

津波の衝撃力(波圧)の評価としては、簡易的に浸水深のみを用いる方法とシミュレーション等によって得られる流速と浸水深を用いる方法があります。浸水深のみを用いる方法では圧力を静水圧力の3倍として評価します。浸水深と流速より評価する場合は、圧力を静水圧力と動圧から評価します。

$$p = \rho g(3h - z) \quad (\text{浸水深のみ})$$

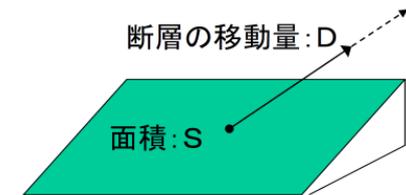
$$p = \rho g(h - z) + \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (\text{浸水深と流速})$$

p : 圧力、 ρ : 密度、 g : 重力加速度、

h : 浸水深さ、 v : 流速、 z : 圧力を求めたい高さ

浸水深と流速で求めた圧力を図8に示します。図から、静水圧力の約3倍が合成圧力となっていることが確認でき、浸水深が求められると簡易的に波圧の最大値レベルの評価は可能であることが分かります。ただし、波圧の時間的な変化やより詳細な検討が必要な場合には流速のデータが必要となります。

①移動量のみ大きくする



②移動量と面積を大きくする

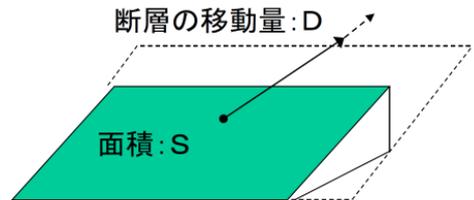


図5 マグニチュードの変更手法



図6 津波で崩壊した堤防

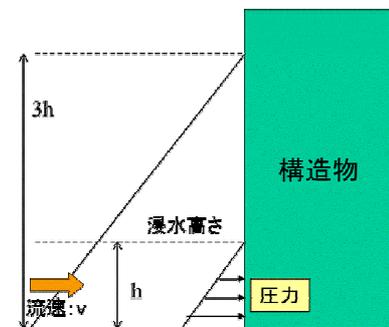


図7 波力評価方法

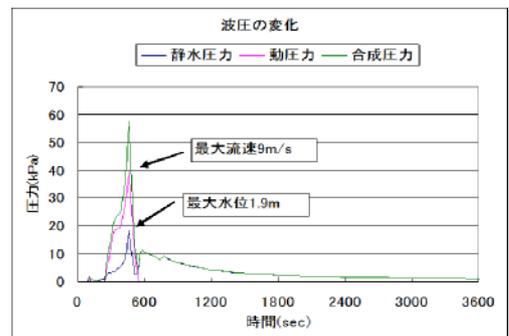


図8 波圧の計算例

(4) 避難シミュレーション

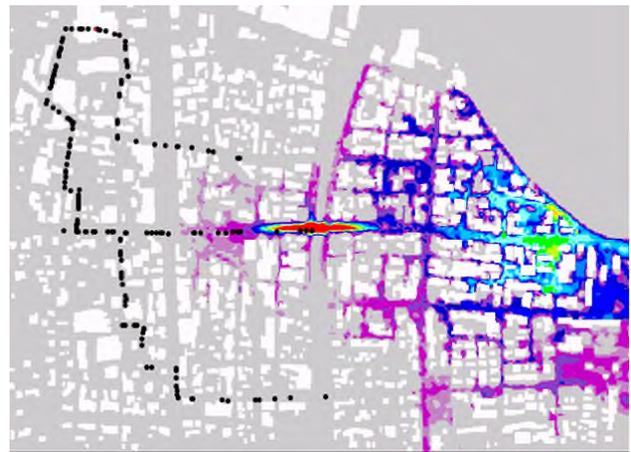
津波に対する被害の軽減を考えるには、ハード面のみでなくソフト面の対応（減災）の考え方が重要となってきます。ここでは、浸水解析とマルチエージェントシミュレーション^{※1}を組み合わせた避難シミュレーションを行った事例を紹介します。

この解析では、あらかじめ避難可能なルート、避難所や避難開始時間を設定し、人（●）を配置します（図9左）。浸水解析によって時間を追って避難可能なルートが変化していくなか、どのように人が動き避難するのかをシミュレーションしています（図9右）。

このようなシミュレーションをすることで、避難経路や避難所の検討を行うとともに、住民の方々への防災意識の向上等のソフト面の対応に役立つと考えています。



避難ルートの設定



浸水解析とマルチエージェントによる避難シミュレーション

図9 避難シミュレーションとの連携例

※1：自らの価値基準に従って、行動を自由に選択できる自立的な要素が多数共存する環境下のシミュレーション

4.おわりに

ここでは、構造計画研究所が行っている津波解析やその応用例について、事例を主体に紹介させていただきました。

津波解析については、いまだ発展途中の技術であり、「想定する地震の不確かさ」、「断層の不均質や破壊の伝わり方」や「構造物に作用する詳細な波圧」等さまざまな課題があります。弊社では、これらの課題に対して、プログラムの改良や新たな解析手法を検討するなど常に最新の知見等を取り込む努力を続けています。

今後も、これらの努力を続けることにより弊社の技術が少しでも今後の防災・減災に役立ち、安心・安全な世の中への手助けになれば幸いです。

最後に、東北地方太平洋沖地震によって被災された方々が一日も早く復興することを願います。

参考文献

¹⁾：平成22年度 国土交通白書、国土交通省

²⁾：津波シミュレーター マニュアル：構造計画研究所

津波波高、遡上計算プログラム 津波シミュレーター

地震発生頻度の高い日本は、周囲を海洋に囲まれており、津波発生の確率も高い状況にあります。東北地方太平洋沖地震により津波の甚大な被害が生じました。また、今後発生すると予想される、東海・東南海・南海地震でも津波の発生が予想されており、海岸付近での防災対策が必要です。

構造計画研究所では、従来から蓄積してきました流体問題の解析技術を基に、作成した津波の波高や遡上の計算プログラム「津波シミュレーター」を提供しています。

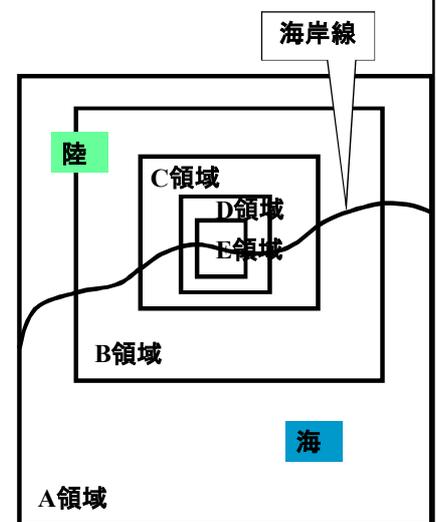
特徴

<データ作成>

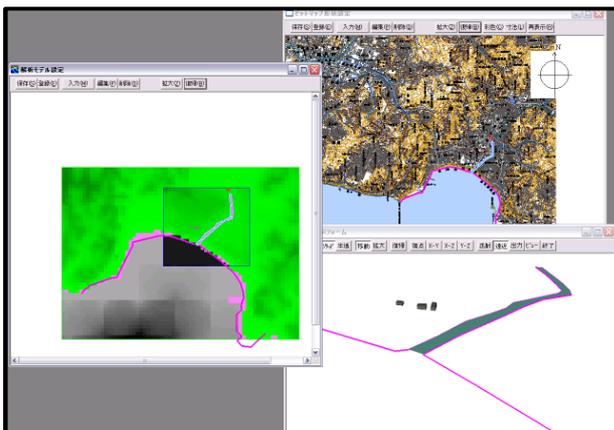
- 多重メッシュによる解析領域の設定
- 海上保安庁の 500mメッシュ水深データ、国土地理院の 50mメッシュ標高データに対応
- 地図（ビットマップ形式）を基にした建物、地形の追加および修正
- 初期波高の設定
 - ・ 断層パラメータ
 - ・ 任意位置での水位（一定または時刻歴）
 - ・ 任意位置での流量（一定または時刻歴）

<結果出力>

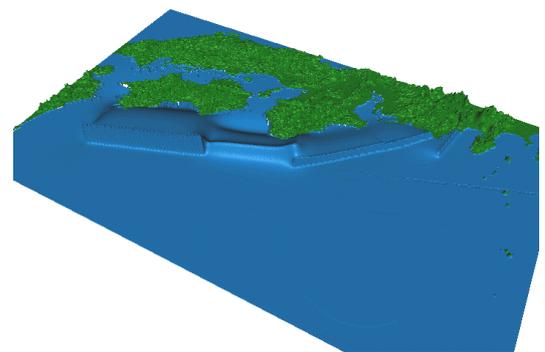
- 最大波高、流速（コンタ、俯瞰）
- 時刻毎の水位（コンタ、俯瞰、アニメーション）
- 時刻毎の流速（ベクトル、俯瞰）



多重メッシュによる解析領域



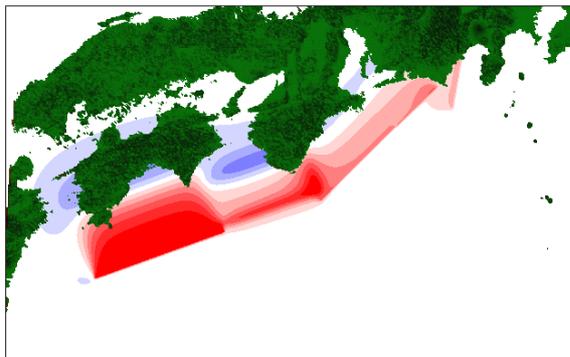
遡上計算領域のデータ



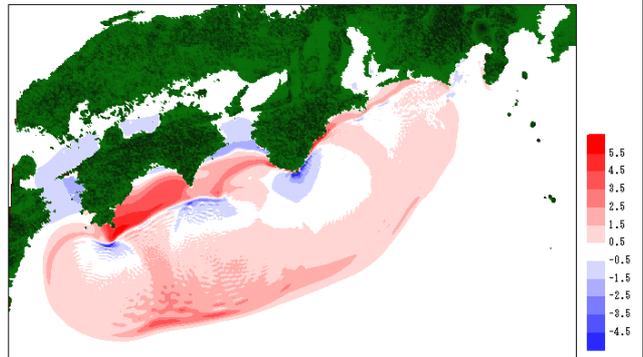
初期波高の設定
(断層パラメータ)

評価事例

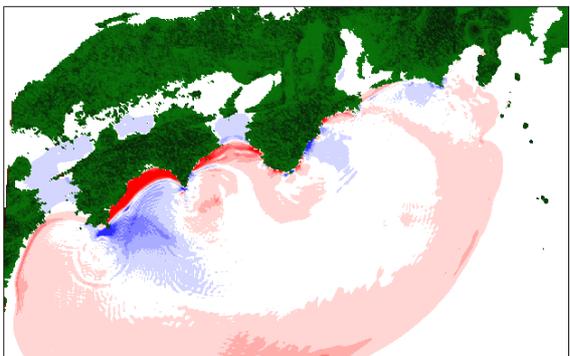
東海・東南海・南海地震3連動を想定した津波解析



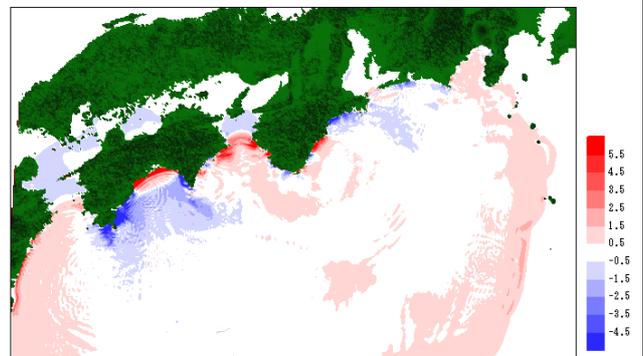
初期波高



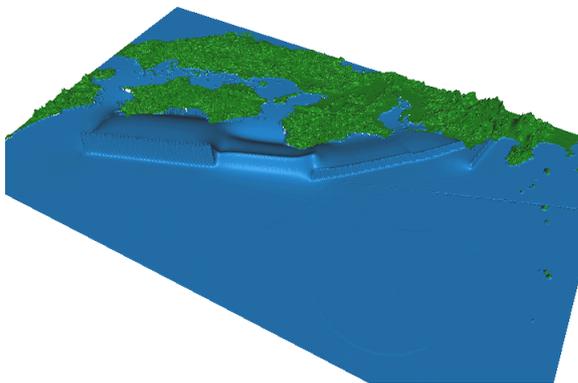
10分後の状況



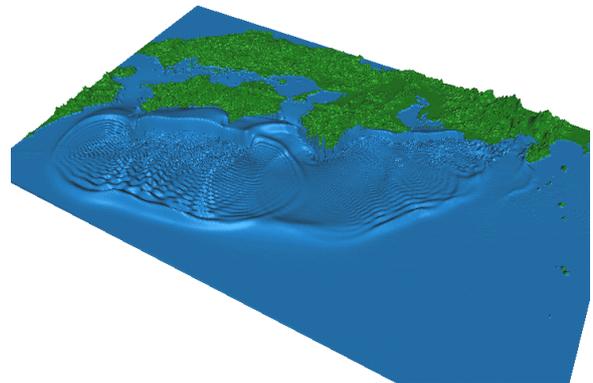
20分後の状況



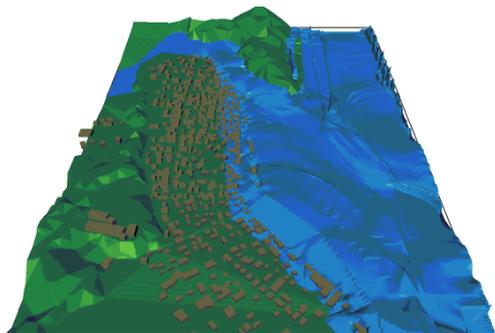
30分後の状況



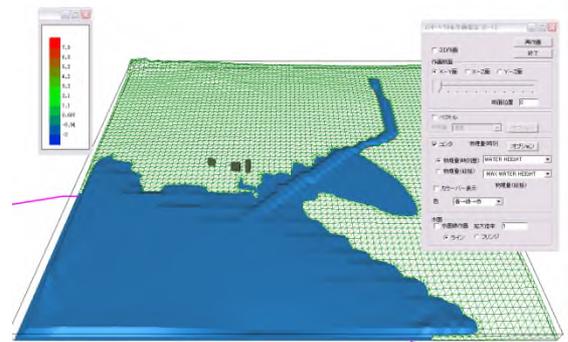
初期波高 (3D表示)



10分後の状況 (3D表示)



遡上計算例 (3D表示)



遡上計算例 (俯瞰表示)

RESP-D 技術レポート ファイバー要素による袖壁付柱のモデル化

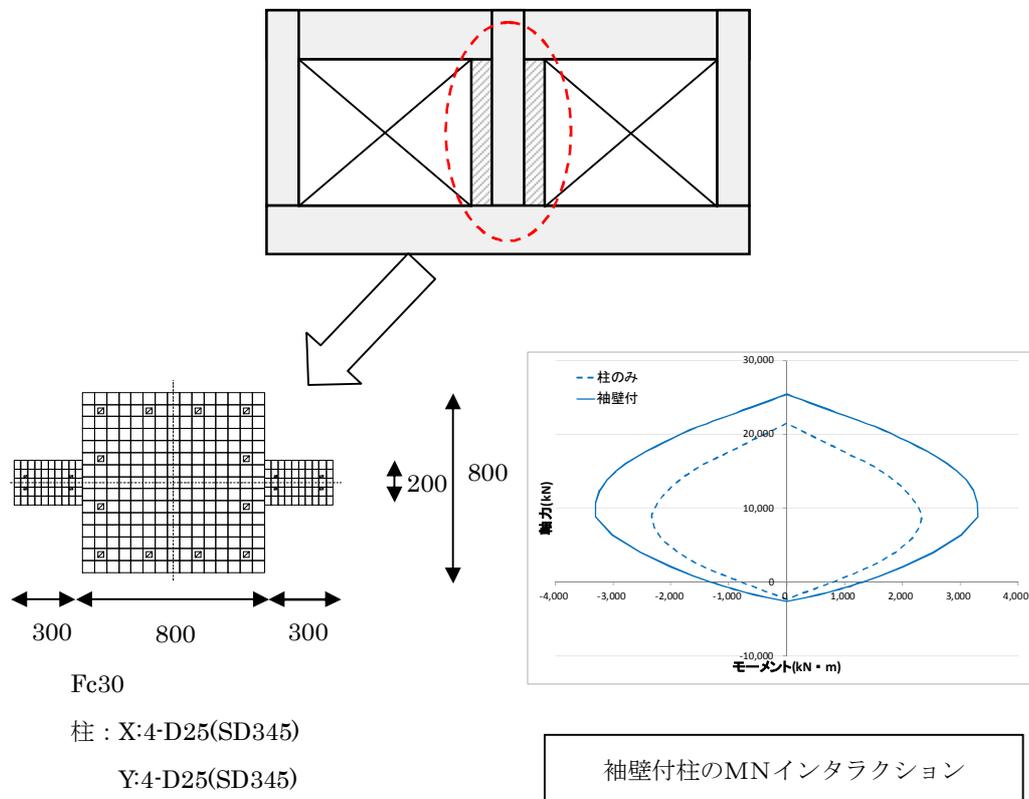
(株)構造計画研究所

防災ソリューション部 鈴木 壮

袖壁付柱の非線形モデル化については、鉄筋コンクリート規準 2010 で関連する記述があります。しかしながら、2軸曲げの考え方や武田型など複雑な履歴則を適用する際のルールなどの点で明確になっていない部分も多いのが現状です。RESP-D ではこれらの問題を解決するため、袖壁付柱をファイバーモデルによりモデル化しています。

ファイバーモデルは従来のMNインタラクションモデルと比較して理論的に明快で、2軸曲げについても妥当性の高い評価が行える特徴があるため、立体振動解析との相性がよいモデル化といえます。RESP-D では耐震壁に開口を配置することにより袖壁付柱の判定がなされた場合、自動的に袖壁付柱をファイバーモデルにモデル化します。

以下に袖壁付柱をモデル化してMN曲線を計算した結果を示します。結果から、袖壁の考慮により曲げ耐力が大きくなっている様子が確認できます。近年は補強建物において立体振動解析を行う例も増えてきており、今後 RESP-D のこういった機能が活用できる場面が増えてくると考えています。



※圧縮ひずみ 0.5%または引張ひずみ 1.0%に達した時点
 を耐力として定義しています。

RESP-D

RESP SERIES

Program Package for Seismic Study of Building

制震補強向け機能追加
Version UP

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

プログラム概要

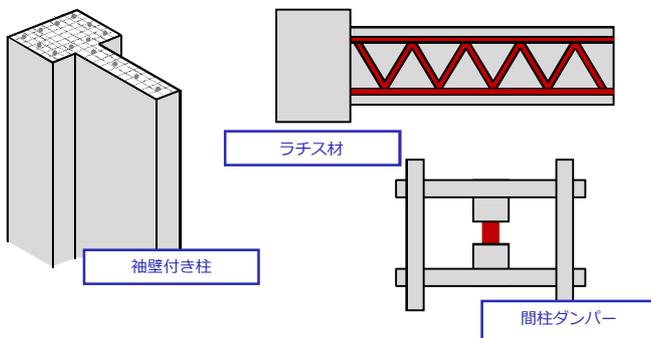
現在、一般建築だけでなく、超高層・免震構造などの設計においても、解析条件・結果の整合性、あるいは設計作業の時間短縮・高効率化が厳しく求められています。専門性が高い解析プログラムを複数組み合わせる従来の作業方法では、将来に不安を持たれているのではないのでしょうか。

RESP-Dは、今後の時刻歴応答解析による設計の核となるべく開発されたプログラムです。建物データ（建物形状・荷重・部材断面）の入力・許容応力度設計から、プッシュオーバー解析・質点系振動解析・立体振動解析・地震アニメーション作成までをカバーする統合構造計算プログラムです。

既存建物の制振補強向け機能の強化

この度、これまでRESPシリーズが取り組んできた超高層建築・免震建築・制振構造向けの機能に加えて、既存建物の制振補強向けの機能を拡充いたしました。

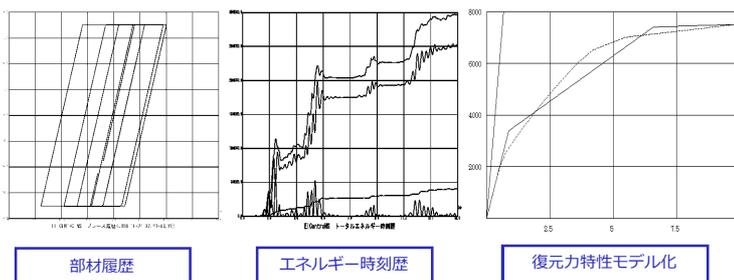
鉄骨ラチス梁・格子梁を内蔵するSRC部材、柱に取りつく袖壁の剛性耐力評価、柱梁のせん断耐力、間柱型ダンパー（履歴型・粘性型）、層を飛び越えるブレースダンパー（履歴・オイル）など、これまでの構造計算プログラムがうまく扱えなかった改修設計・制振補強に関わる技術要素を扱うことができます。



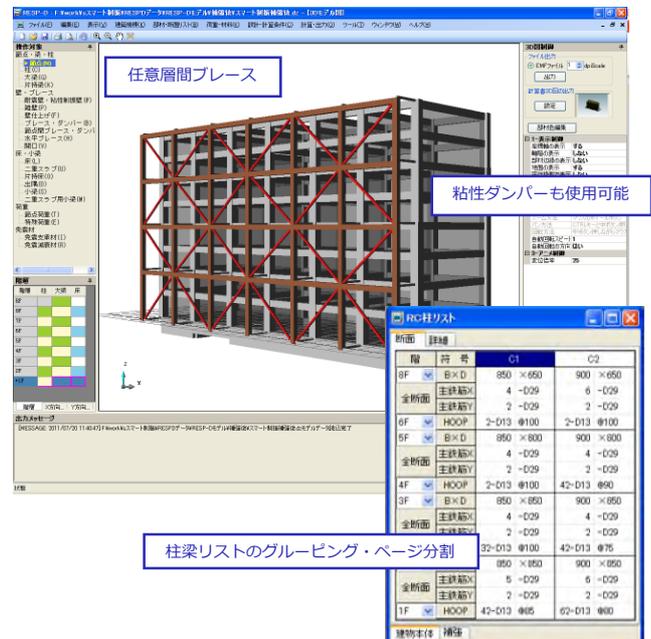
補強建物のモデル化

解析結果出力機能の強化

立体振動解析結果の出力機能を強化しました。応答時刻歴、部材履歴、エネルギー履歴を始め、最大応力図や最大塑性率図の図化機能を搭載しています。また、質点系モデル化は画面上で対話的に行うことが可能です。



モデル作成画面



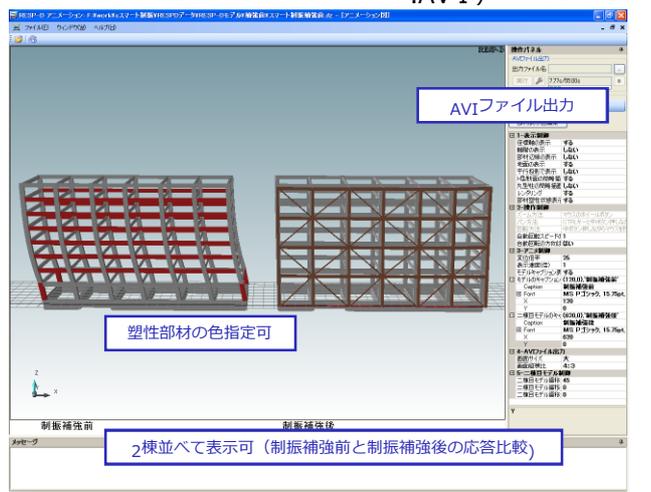
アウトフレーム制振補強の立体解析例

構造計算書作成

- 告示等で定められた書式による構造計算書出力
- 断面検定比図は数値ごとに色分け表示

アニメーション作成

- 2棟まで同時表示ができ、応答比較が可能
- アニメーションを動画ファイル（.AVI）に出力可能



その他の特徴

- コンクリートボリューム・鉄骨トンの計算機能
- カスタマイズ (有償によるRESP-Dへの独自工法・独自設計法の組み込み)



準リアルタイム配信される地震観測記録を活用した道路復旧プロセス評価に関する検討

坪田正紀* 橋本光史* 森俊勝* 志村泰知* 北上靖大* 村地由子*

Restoration Process Assessment of Roads Based on Near-Real-Time Seismic Records

by

Masaki TSUBOTA*, Mitsufumi HASHIMOTO*, Toshikatsu MORI*, Taichi SHIMURA,
Yasuhiro KITAKAMI* and Yuko MURACHI*

In order to rapidly resolve the problem of isolated towns/settlements due the post-earthquake simultaneous damages of roads, it is important to collect information on damaged roads, identify the sections in priority to be recovered, and assign the recovery teams as quickly as possible. However, all necessary information for decision-making of restoration strategy planning wasn't supplied enough, such as the Mid-Niigata Earthquake in 2004. In this paper, near-real-time seismic records are utilized to evaluate the damage of road traffic network in order to supply the information gaps immediately after the huge earthquakes. And the time-reduction effect of differences in roads restoration strategies is studied using Multi-Agent Simulation, which is modeling the virtual space where agents (i.e., recovery teams) will make decision by themselves based on the restoration strategy rules defined preliminarily. The simulation results indicate that there is relatively-minor reduction of total extrication time if the strategy rule is given a weight to reduce the total number of rescued people more than same level of a distance for the damaged area.

Key words: Estimation of damage, Disaster recovery, Multi-agent simulation

1 緒 言

平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震では、強い揺れにより脆弱な地質構造の山間部において土砂災害が多発した。土砂災害に伴う交通の分断や情報通信の途絶は、各地で多数の孤立集落を発生させた。平成 17 年に行われた内閣府の調査¹⁾によると、地震に伴う土砂災害や道路施設の被害等の要因により道路交通が途絶し、孤立する可能性がある中山間地の農業集落は、全国で約 17,000 に上ると報告されている。その後、平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震でも孤立集落が発生したことを受け、フォローアップ調査²⁾が実施されたが、孤立する可能性のある全国の農業集落数に大きな変化が見られない状況であった。

一般的に中山間地域はアクセス経路が少なく、一刻を争う事態にはヘリコプターの活用が不可欠である。しかし、本格的な人命救助・避難・物資輸送・ライフライン復旧活動において、道路が担う役割は非常に大きい。内閣府の提言³⁾においても、発災後に迅速な孤立の解消を図るためには、特に道路の被災情報を速やかに収集・関係機関で共有し、優先的に啓開・復旧すべき被災箇所への迅速な対応を行うことが重要とされている。

しかしながら中山間地域においては、地震発生直後の初動期において、同時多発的に発生する道路の被災情報を十分に把握して復旧対応の意思決定を行うことは困難である。そこで本稿では、そのような状況下における研究的試みとして、準リアルタイムに配信される地震観

測記録を活用して集落へ至る道路網の被害状況を推定することにより初動期の情報不足を補い、道路復旧プロセスに関して検討を行った事例を報告する。道路復旧プロセスについては、作業班が復旧戦略に基づいて意思決定して行動する状況をマルチエージェント・シミュレーションにより再現し、作業班のふるまいが復旧作業全体に及ぼす影響について検討を試みた。

2 地震観測記録を活用した道路被害推定

2-1 準リアルタイム災害シミュレータ

道路被災状況の推定は準リアルタイム災害シミュレータを用いて行う。Fig.1 に示す準リアルタイム災害シミュレータは、発災後に準リアルタイム配信される情報を自動収集し、その情報を活用してピンポイントまたは広域の被害推定を行うことを目的に開発したシステムである。推定結果は携帯端末でも確認できる。

地震災害の場合、準リアルタイム配信される情報とは地震観測記録である。シミュレータが自動収集した地震観測記録にはその観測点の局所的な地盤性状に起因する揺れの特徴が含まれるため、Fig.2 に示すように次の手順で地震被害推定を行う。①観測記録から各観測点の地盤性状に起因する揺れの特徴を取り除き、基盤面での地震動強さを評価する。②局所的な地盤性状の影響が取り除かれた基盤面で地震動強さの空間補間を行う。③補間結果から評価地点の基盤面の地震動強さを求める。④評価地点の地盤性状に起因する揺れの特徴を③に加味し、

* (株) 構造計画研究所 〒164-0011 東京都中野区中央4-5-3 Kozo Keikaku Engineering Inc., 4-5-3, Chuo, Nakano-ku, Tokyo

評価地点の地震動強さを評価する。⑤その地震動強さが生じたときの評価地点の被害状況を推定する。

基盤面での地震動強さの空間補間には、観測点が密ではない状況や外挿時の精度を考え、空間現象を連続空間確率場でモデル化し、観測データから任意の位置の確率場の値を予測する Kriging 法を用いる。本シミュレータでは、平均値と共分散値を既知とする単純型 Kriging を内蔵し、平均値は地震動強さの距離減衰式により与える。

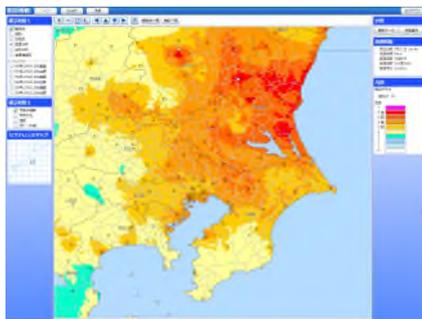


Fig.1 Near-real-time disaster damage simulation system

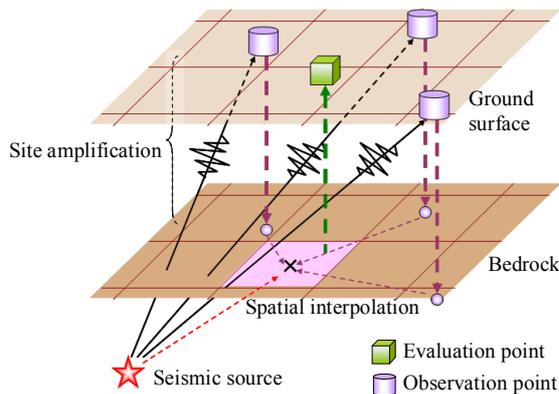


Fig.2 Evaluation of seismic intensity at unobserved points

2.2 適用事例

2.2.1 対象地震と対象地域

平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震の観測記録を用いて、Fig.3 に示す新潟県の中山間地域における幅員 13m 以上の国道、県道を対象に道路被害推定を行った。

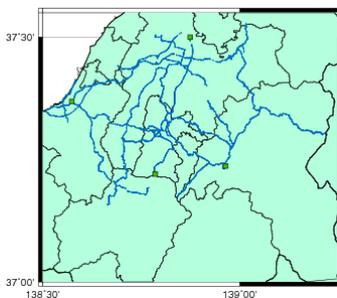


Fig.3 Simulation area for case study

2.2.2 推定条件

地震観測記録は、独立行政法人防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET の観測記録を用いた。観測された 3

成分の加速度波形から計測震度を算定し、藤本・翠川⁴⁾による(1)式を用いて計測震度から地表速度を推定した。

$$I = 2.002 + 2.603 \cdot \log PGVs - 0.213 \cdot (\log PGVs)^2 \quad (1)$$

ここに、 I は計測震度、 $PGVs$ は地表速度(m/s)である。

地震ハザードステーション J-SHIS で用いられている 250m メッシュ単位に整備された表層 30m の平均 S 波速度データ⁵⁾を利用して、藤本・翠川⁶⁾による(2)式を用いて算出した表層地盤の速度増幅率を、各地点の地盤性状に起因する揺れの特徴とし、地表速度に除して基盤速度を推定した。

$$\log(amp) = 2.367 - 0.852 \cdot \log AVS30 \quad (2)$$

ここに、 amp は S 波速度が 600m/s である硬質地盤の最大速度に対する地表最大速度の増幅率、 $AVS30$ (m/s) は表層 30m の平均 S 波速度である。

基盤速度を対数正規確率場でモデル化し、単純型 Kriging を用いて補間計算を行った。平均値成分は(3)式に示す・翠川による距離減衰式⁷⁾で評価した硬質地盤上の最大速度とし、共分散は距離の 1 乗に比例する指数関数型を仮定した。なお相関距離は、観測点密度をふまえて 20km とした。

$$\log PGVb = 0.58Mw + 0.0038H + d - 1.29 - \log(X + 0.0028 \times 10^{0.50Mw}) - 0.002X \quad (3)$$

ここに、 $PGVb$ (m/s) は S 波速度が 600m/s である硬質地盤上の最大速度、 Mw は地震のモーメントマグニチュード、 X (km) は断層最短距離、 H (km) は震源深さ、 d は地震タイプ別係数 (地殻内地震 0.0, プレート間地震 0.02, プレート内地震 0.12) である。

補間計算した評価地点の基盤速度に、(2)式を用いて算出した評価地点の表層地盤の速度増幅率を乗じて地表速度を求め、(1)式を用いて計測震度を推定した。

道路被害については、Table1 に示す常田ら⁸⁾により分析された新潟県中越地震における震度別の国道の全面通行止め発生率を用いて、全面通行止め発生箇所数を簡易推定した。

Table 1 Occurrence rate of fully blocked national roads after the Mid-Niigata Earthquake in 2004 (JMA: Japan Microphotography Association)

| JMA Seismic intensity | 5- | 5+ | 6- | over 6+ |
|--|-------|-------|-------|---------|
| Rate of fully blocked roads (place/km) | 0.003 | 0.030 | 0.105 | 0.291 |

2.2.3 推定結果

先に示した条件に基づき推定した地表の計測震度分布を Fig.4 に示す。図中の○印は空間補間に用いた観測点である。道路データは数値地図 25000 空間データ基盤を用い、道路網を構成する道路リンク単位 (リンク数 12,339) で全面通行止め発生箇所数を推定した。

初動期での適用を考える際には、推定結果が得られるまでに要する時間も重要な条件となる。本事例で観測記録の自動収集開始から道路被害推定までに要した時間はおよそ 8 分程度であった。

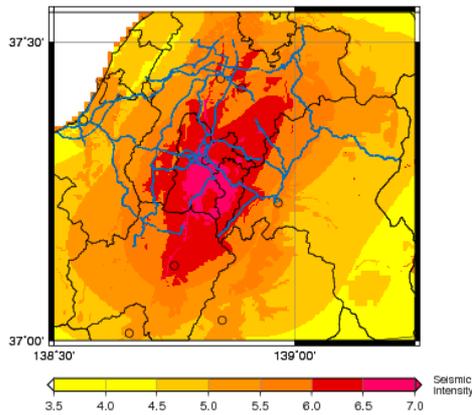


Fig.4 Estimated spatial distribution of JMA seismic intensity using K-NET seismic records in the 2004 Mid-Niigata Earthquake

3 被害結果をふまえた復旧プロセスの評価

3.1 復旧プロセスシミュレーション

交通の分断や情報通信が途絶されている初動期には、復旧作業において個々の作業班は、限られた情報の中で、状況に応じた意思決定に迫られるケースが想定される。

そこで本検討では、自律的な因子をモデル化した「エージェント」を定義し、仮想的な社会上で多数のエージェントに同時進行的に一定のルールを実行させて、その結果出現する「現象」を観察するためのシミュレーション技法であるマルチエージェント・シミュレーションを用いて道路復旧プロセスの評価を行った。

作業班を「エージェント」と定義し、孤立状況を解消する復旧戦略ルールに基づき意思決定して行動する状況を再現し、作業班のふるまいが復旧作業全体に及ぼす影響について検討を試みた。

3.2 適用事例

3.2.1 対象地区と補給地点

孤立判定を行う地区は、Fig.3に示す道路網にかかる町丁目単位の地区（地区数 450）と定義し、各地区の人口は国勢調査データに基づき与えた。

復旧作業班の出発点であり、物資の補給基地である補給地点を、道路網の中で第1次緊急輸送道路に該当する道路の端点の4箇所を設定し、補給地点から各地区までアクセス可能な道路が存在する場合には当該地区は『孤立していない』、アクセスする道路の全てが被害を受けている場合には『孤立している』と定義した。

3.2.2 復旧作業班の行動モデル

各補給地点には1つの作業班が所属するものとし、計4つの作業班が復旧にあたるものとした。復旧作業班は各補給地点から復旧活動を開始し、行動タスクは、指定箇所に移動する、復旧活動を行うの2パターンとした。道路被災情報として、先の検討において道路リンク単位で推定した全面通行止め発生箇所を与え、作業班がいる位置から道路の被害を通過せずに到達できる被害箇所を復旧候補箇所とした。また、作業班は、指定箇所まで到達可能な最短経路の道路上を移動するものとした。

3.2.3 復旧戦略シナリオ

現在到達可能な復旧候補箇所の中で、どこを優先的に啓開・復旧すべきかを判断する際に、どの因子をどの程度重視するかというルールを復旧戦略シナリオとして与えた。

本検討では、孤立状況の解消の観点から「①被害箇所を復旧することで孤立が新たに解消される総人数」、復旧スピードの観点から「②現在位置から被害箇所までの距離」という2つの因子を戦略設定の感度指標として与えた。①については、候補被害を復旧したことにより補給地点からの補給が可能となり、新たに孤立状況が解消される人数を候補被害リストの最低値を0、最高値を1として正規化し、人スコアとしてスコア化した。②については、作業班の現在地から各候補被害までの距離を候補被害リストの最高値を0、最低値を1として正規化し、距離スコアとしてスコア化した。

意思決定に用いる戦略スコアを(4)式のとおり、人スコアと距離スコアの和として定義し、各復旧作業班は最も戦略スコアの高い復旧候補箇所を優先的に復旧するものとした。なお、他の班が作業中または作業予定の被害箇所については、戦略スコアから2を減じたものを戦略スコアとすることで、他班との競合を回避した。

$$\text{戦略スコア} = (a \times \text{人スコア}) + (b \times \text{距離スコア}) \quad (4)$$

ここに、 a 、 b はスコアの重み係数（0～1）である。

Table 2に示す重みの組み合わせからなる8つの戦略（A～H）を設定し、全復旧時間（全ての地区がいずれかの補給地点に接続するまでの時間）と救出時間（全住民の孤立時間の平均）を比較することで、戦略ルールとして、孤立解消の観点と復旧スピードの観点の意思決定の重みをもたらす影響を検討した。

Table 2 Scenarios of restoration strategies

| Scenario | Weight | |
|----------|-------------------------|----------|
| | The number of residents | Distance |
| A | 0.0 | 0.0 |
| B | 0.0 | 1.0 |
| C | 0.25 | 0.75 |
| D | 0.333 | 0.666 |
| E | 0.5 | 0.5 |
| F | 0.666 | 0.333 |
| G | 0.75 | 0.25 |
| H | 1.0 | 0.0 |

3.2.4 シミュレーション結果

復旧作業班の移動は自動車で行うものとして、移動速度を時速15kmと与えて移動時間を考慮した。全面通行止め箇所の暫定的な復旧に要する時間を12時間/箇所（1日2箇所）と設定して、各戦略に基づくシミュレーションを行った。先の検討において道路リンク単位で推定した全面通行止め発生箇所をその道路リンクの全面通行止め発生確率として与え、500試行した全復旧時間

と救出時間の中央値と 25~75 パーセントイルの幅を Fig.6 (a)に示す. なお, 図化に際してシナリオ A の中央値を 100 とした基準化を行っている.

現在位置から被害箇所までの距離のみを重視した戦略(シナリオ B)の場合, 復旧候補箇所をランダムに復旧する(シナリオ A)よりも救出時間がやや長くなり, ばらつきも大きくなる結果となった. 被害箇所を復旧することで孤立が新たに解消される総人数を重視した戦略をとることで救出時間は短縮されるが, 意思決定の重みを 0.5 以上に増加させてもあまり効果が見られない結果となった. また, 現在位置からの被害箇所までの距離を重視しても全復旧時間が短縮される様子はあまり見られなかった. 8つの戦略を比較した結果, 全復旧時間, 救出時間を短縮する観点からはシナリオ E または F が効率的と判断された.

Fig.6 (b)には, 全面通行止めの暫定復旧に要する時間を 3 時間/箇所と短く設定したときの結果を示す. 距離の重みを増加させるほど, 全復旧時間が短縮される傾向が見られ, 距離を重視した戦略は復旧に要する時間が短い場合には効果的と考えられた.

本検討では, 全面通行止め発生箇所に対する復旧時間を確定値として与えたが, 実際には復旧時間にはばらつきがあり, その不確定さをふまえた復旧時間の検討が必要である. その場合, 例えば, 被害復旧のための作業時間について候補被害リストの最低値を 0, 最高値を 1 として正規化した作業スコアを戦略スコアに反映する必要がある.

4 結 言

中山間地域において, 地震発生直後の初動期に道路被害の全容をふまえた復旧対応を行うことが困難な状況を想定して, 準リアルタイムに配信される地震観測記録を活用して集落へ至る道路網の被害状況を推定し, 推定結果に基づく道路復旧プロセスに関して検討を行った. 道路復旧プロセスについては, マルチエージェント・シミュレーションを用いて孤立状況を解消する復旧戦略ルールに基づき復旧作業班が意思決定して行動する状況を再現し, 作業班のふるまいが復旧作業全体に及ぼす影響の検討を試みた.

本事例では, 実被害から整理された震度別の全面通行止め発生率を用いて道路被害の簡易推定を行ったが, 今後, 詳細な地形条件を考慮した盛土崩壊や斜面崩壊による被害, 河道閉塞による二次的被害などの考慮について検討を進めていく予定である. 復旧プロセスの評価については, より現実的な行動状況の再現のために, 道路の重要度を考慮した戦略スコアの設定や, 復旧作業班の能力・機能の差や作業班同士の協調作業の考慮, 巡視班により収集された情報を反映した意思決定のアップデートなどが必要であり, さらに検討する必要がある.

謝辞

一部の図の作成には, GMT (Wessel and Smith, 1998) を用いました. 地震観測記録は, 独立行政法人防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET を用いました. 記して感謝いたします.

参考文献

- 1) 内閣府:中山間地等の集落散在地域における孤立集落発生の可能性に関する状況調査, 平成17年8月
- 2) 内閣府:中山間地等の集落散在地域における孤立集落発生の可能性に関する状況フォローアップ調査, 平成22年1月
- 3) 中山間地等の集落散在地域における地震防災対策に関する検討会:中山間地等の集落散在地域における地震防災対策に関する検討会提言, 平成17年8月
- 4) 藤本一雄, 翠川三郎:近年の強震記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法, 地域安全学会論文集, No.7, pp.1-6, 2005.
- 5) 松岡昌志, 若松加寿江:地形・地盤分類250mメッシュマップ全国版に基づく地盤のゆれやすさデータ, 産業技術総合研究所, 知的財産管理番号 H20PRO-936.
- 6) 藤本一雄, 翠川三郎:近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度の関係, 日本地震工学会論文集, No.6-1, pp.11-22, 2006.
- 7) 司宏俊, 翠川三郎:断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, No.523, pp.63-70, 1999.
- 8) 常田賢一, 小田和広, 鍋島康之, 江川祐輔:新潟県中越地震における道路施設の被害水準と道路機能の特性, 土木学会地震工学論文集, Vol.28, No.9, pp.1-9, 2005

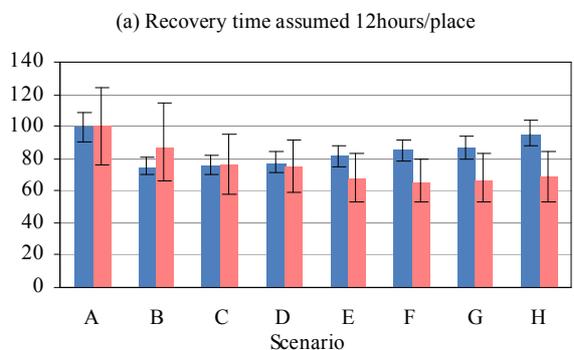
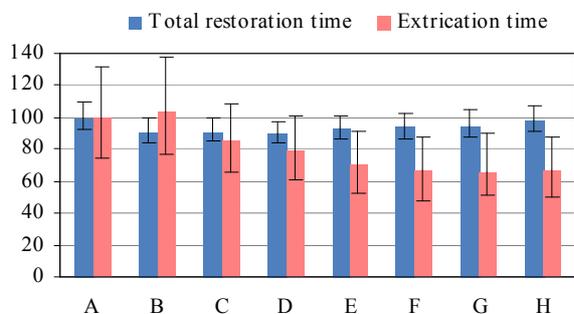


Fig.6 Median value of 500 trails for each strategy (shown by reduction ratio to strategy A)

平成 22 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 22 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。

大規模平野の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

西條 裕介^{*1}、正月 俊行^{*1}、田島 礼子^{*1}、司 宏俊^{*1}、廣川 雄一^{*2}

*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 22 年 4 月 1 日～平成 23 年 3 月 31 日

アブストラクト

地震災害軽減のためには、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だけでなく、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）も適切に評価することが求められている。特に、大規模平野や盆地などでは長周期地震動が卓越することが知られている。これらの地域を対象に短周期から長周期までの広周期帯域における地震動シミュレーションを精度良く行うためには、正確な対象地震の震源モデルと広範囲にわたる 3 次元的地下構造モデルを用いた計算が必要となる。しかしながら、計算規模が非常に大きくなるため、通常の PC クラスタでは計算速度やメモリなどの制約から実現が困難である。

昨年度は、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、(株)構造計画研究所所有の PC クラスタの約 90 倍の計算速度が得られることを確認した。本年度は、プログラムの計算速度が昨年度よりも約 48 倍速くなるように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。本プログラムを使用して、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関東平野を対象に、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。結果として、最も遅い地震波速度(V_{s-min})が 350 m/s となる地下構造モデルを用いた場合に 1 Hz まで、 $V_{s-min} = 600$ m/s のモデルを用いた場合に 2 Hz までの地震動シミュレーションを実現し、観測波形との比較により計算精度の確認を行うことができた。

キーワード： 波動伝播、差分法、長周期地震動、関東地震

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）だけではなく、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）も考慮した地震動評価を行うことが求められている。長周期地震動は、2003年十勝沖地震（気象庁マグニチュード8.0）の際に震央から約250km離れた苫小牧市内で発生した石油タンク火災の原因の一つとして注目されるなど、地震動による被害を考える上で、主要な課題の一つとなっている。2011年3月に起こった東北地方太平洋沖地震（気象庁マグニチュード9.0）の際には、震源地から比較的離れた東京都の高層ビルが10分以上にわたり、最上階では1mを超えて揺れ続けていたことが報告されている（例えば朝日新聞社, 2011¹⁾を参照）。

このような背景と計算技術の向上に伴い、地震波伝播の理論的なシミュレーションを被害の予測に用いることが多くなってきている。図1に地震動評価におけるモデル化の概念図を示す。理論的な計算においては、精度の高い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て、長周期から短周期までの広帯域にわたる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。これは、理論的手法でS波速度(V_s)が遅い ($V_s = 350$ m/s 程度の) 層を含む地下構造を伝播する波形を短周期まで計算しようとする、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する必要があり莫大な格子点となり、PCクラスタなどで計算する計算速度やメモリなどの制約が発生するためである。

本プロジェクトでは、昨年度に地球シミュレータに移植した地震波の伝播解析プログラムを改良および最適化して、大規模問題の取り扱いを可能にした。また、本プログラムを使用して、大規模平野での強震動シミュレーションシステムを構築する。具体的には、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関東平野を対象に、過去の被害地震である1923年関東地震のシミュレーションを実施し、観測波形との比較により計算精度の確認を行った。

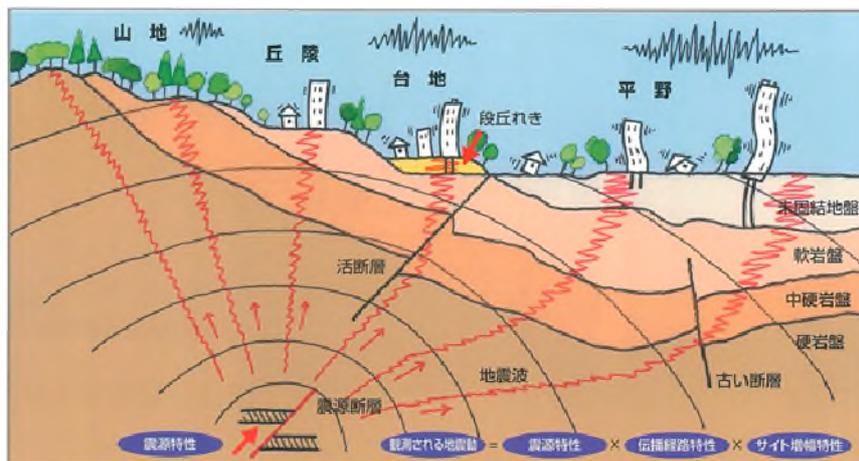


図1 地震動評価におけるモデル化の概念図

2. 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。昨年度、地球シミュレータに移植した本プログラムに並列化およびベクトル化のチューニングを実施した。最終的なプログラム性能は96ノード(768CPU)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。計算速度は、構造計画所有の計算PCクラスタ(3ノード(6CPU), AMD AthlonX2 2.1GHz)の約4,300倍、前年度の48倍となった。

3. 計算条件

3.1. 対象地震

対象地震として、関東平野付近での過去の被害地震である1923年の関東地震(関東大震災, マグニチュード7.9)を採用した。図2に対象地震の断層設定、破壊開始点、および評価地点(サイト)を示す。震源断層モデルは、Wald and Somerville (1995)²⁾が推定した関東地震の震源断層の不均質すべりモデルから、Somerville *et al.* (1999)³⁾の手順により強い地震動を生成するアスペリティ(図2の黄緑色の部分)を抽出した特性化震源モデルおよび地震調査研究推進本部(2009a)⁴⁾を参考に設定した。また、壇・佐藤(1998)⁵⁾で使用された震源断層の不均質すべり分布を考慮した震源断層モデルを用いた計算も行った。

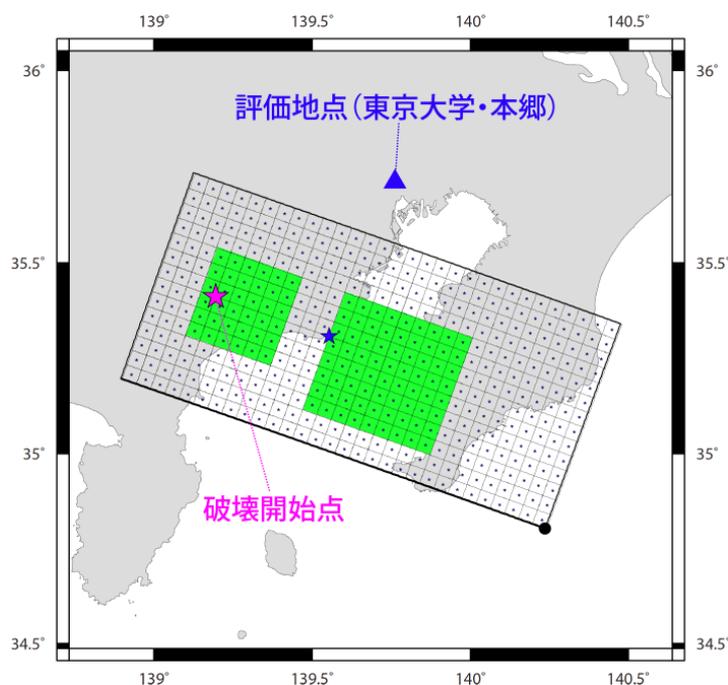


図2 震源モデル

3.2. 計算領域（格子数、格子間隔）

地震波伝播シミュレーションの対象地域には関東平野を含む断層周辺の領域を採用し、地震動の評価地点（サイト）は東京大学の本郷とした。図 3 に 3 次元地下構造モデルと断層の配置を示す。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, 2009b⁶⁾）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、地震断層を取り囲む領域を抽出して使用した（図 4 参照）。計算の大きさは南北方向 153.6 km × 東西方向 204.8 km × 深さ方向 51.2 km で、格子間隔は 50 m、計算規模は約 130 億格子規模である。

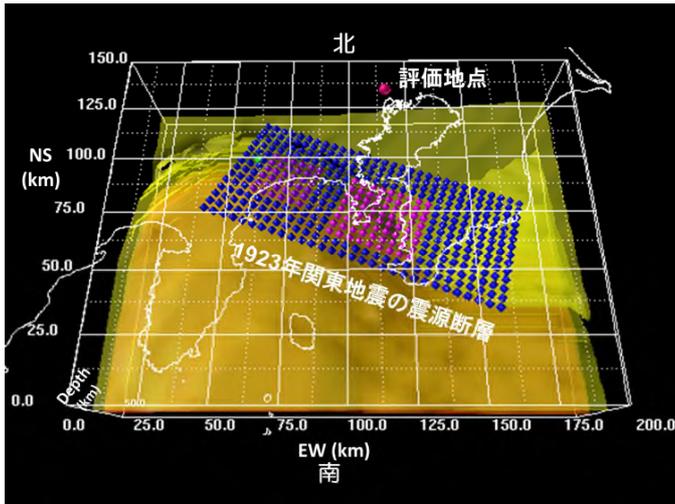


図 3 地下構造モデルと断層の位置

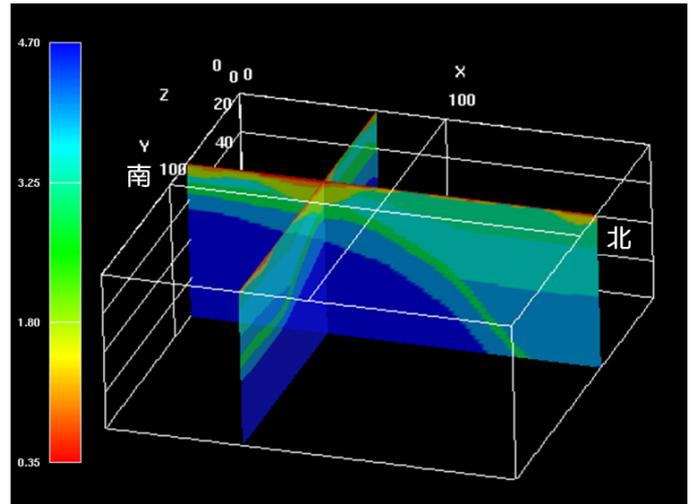


図 4 地下構造モデルの断面図（S 波速度構造）

3.3. 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、数値計算の不安定性に注意する必要がある。十分な演算精度を安定して得るためには、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。これらの関係は、以下の安定条件により表される。

$$f < \frac{V_{\min}}{6h}$$

ここで、

V_{\min} : 対象地盤の最小地震波速度(m/s)

h : 格子間隔(m)

f : 周波数(Hz)

本プロジェクトにおいては、ケース 1 では対象とする地下構造モデルの最小地震波速度($V_{s-\min}$) = 350 m/s とし、ケース 2 では最小 $V_s = 600$ m/s として計算を行う。格子間隔 (50 m) とケース 1 およびケース 2 の最小の地震波速度 (350 m/s および 600 m/s) を代入すると、それぞれ対象周波数帯は約 1 Hz および 2 Hz までとなる。従って、格子サイズが同様であっても地下構造モデルの $V_{s-\min}$ の値が大きいケース 2 の方が、より短周期まで安定して計算される。

4. 結果

図 5 に、東京大学の本郷（サイト）における観測記録、既往研究（壇・佐藤, 1998⁵⁾）による計算波形、および本プロジェクトで特性化震源モデルを用いてシミュレーションした計算波形の比較を示す。計算した波形の振幅および位相（波形の形状）は観測記録を再現している。また、サイトは震源（破壊開始点）から約 62 km 離れているが、関東平野の影響で最初の大きな揺れの後に周期的な長周期の波が生成されていることが分かる。図 6 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、断層面上から放出された地震波が伝播していく様子が分かり、堆積層の厚い平野部では比較的大きな振幅の波が 120 秒後にも続いているのが分かる。短周期を視野に入れた波形計算という視点では、大規模な 3 次元地下構造モデルにおいて $V_s\text{-min} = 350 \text{ m/s}$ とした場合（ケース 1）には 1 Hz まで（図 7a）、 $V_s\text{-min} = 600 \text{ m/s}$ とした場合（モデル 2）には 2 Hz まで（図 7b）の波形計算を実現することができた。

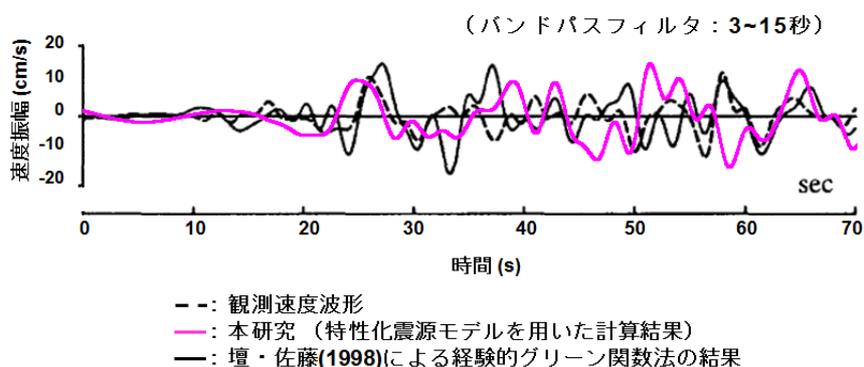


図 5 観測記録と計算波形の比較

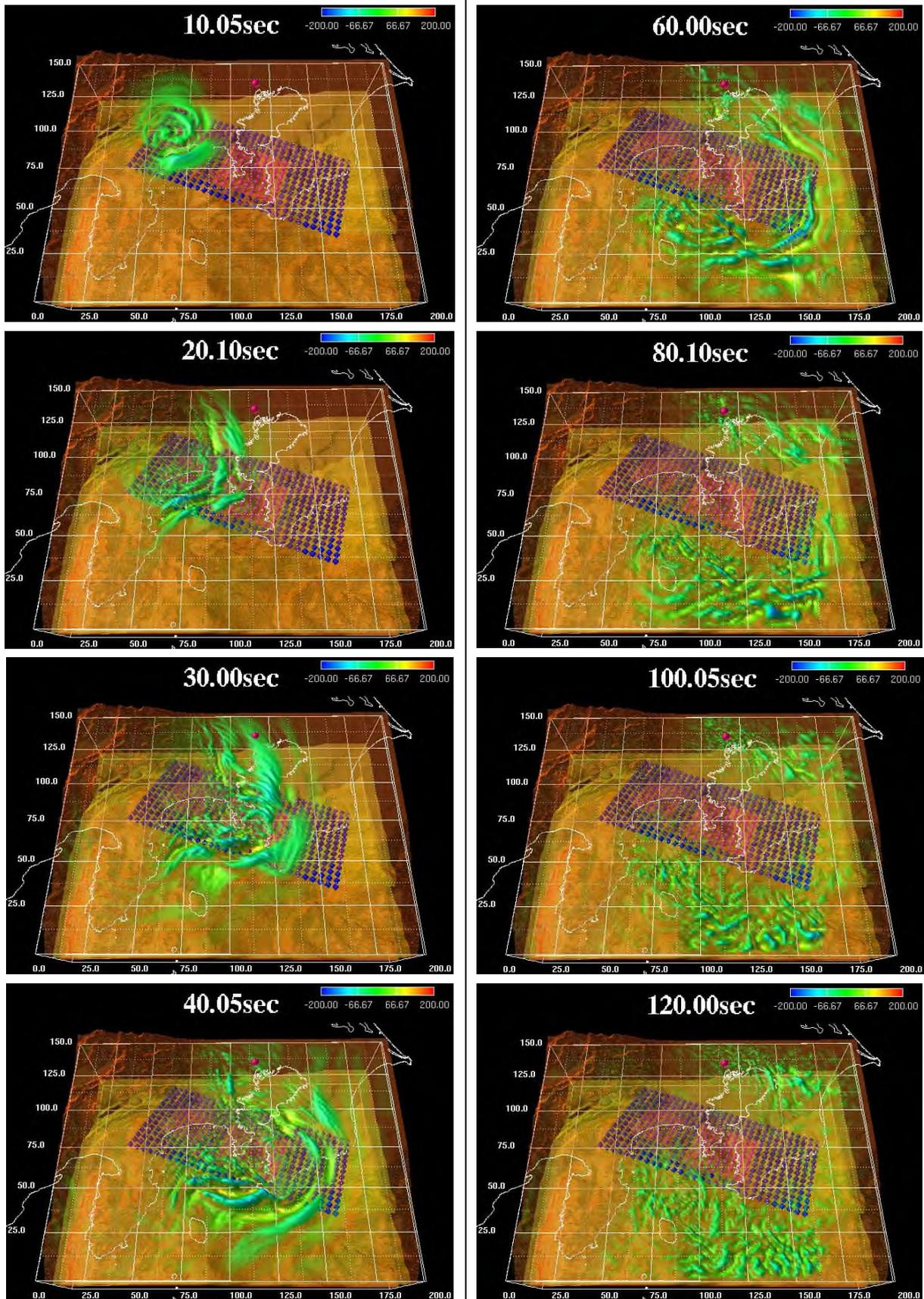


図 6 波動伝播の様子

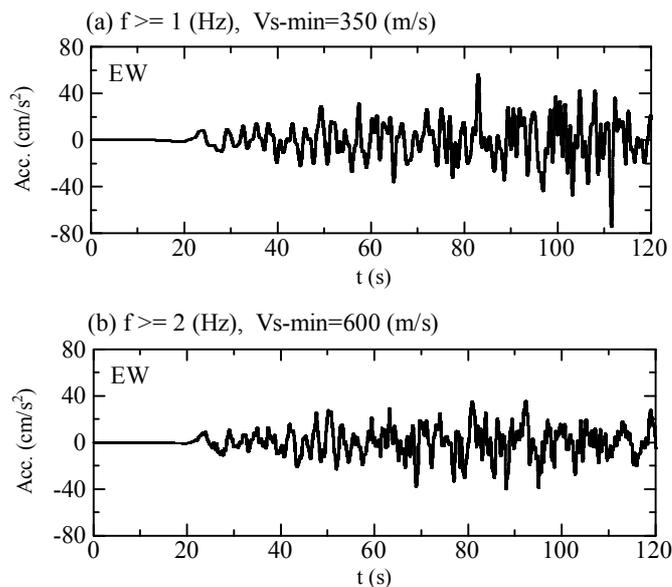


図 7 短周期を視野に入れた波形計算の結果

5. まとめ

地震時の大規模平野の地震動シミュレーション技術の開発を目的に、計算能力の高い地球シミュレータを利用した大規模な計算が出来るように、計算プログラムのチューニングを行い、(株)構造計画研究所所有の PC クラスターの約 4,300 倍（昨年度の約 48 倍）の計算速度が得られることを確認した。地震波の波動伝播解析については、本プログラムを用いて、地震が発生した場合に大きな被害が出ると予測されている関東平野を対象に大規模な波動伝播解析を行い、過去に起こった被害地震の観測記録とも調和的な結果が得られた。今後さらに 3 次元地盤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などの様々な分野へ適用可能と考えられる。

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) 朝日新聞社(asahi.com), 新宿センタービル、13分揺れた 国の耐震基準強化へ、<http://www.asahi.com/special/10005/TKY201104190244.html>, 2011.
- 2) Wald, D. J. and P. G. Somerville, Variable-slip rupture model of the great 1923 Kanto, Japan, earthquake: geodetic and body-waveform analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 85, 159-177, 1995.
- 3) Somerville, P. G., Irikura, K., Graves, R., Sawada, S., Wald, D., Abrahamson, N., Iwasaki, Y., Kagawa, T., Smith, N. and Kowada, A., Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, *Seism. Res. Letters*, 70, 59-80, 1999.
- 4) 地震調査研究推進本部, 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/g_furoku3.pdf, 2009a.
- 5) 壇一男, 佐藤俊明, 断層の非一様すべり破壊を考慮した半経験的波形合成法による強震動予測, 日本建築学会構造系論文集, 509, 49-60, 1998
- 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, 2009b.

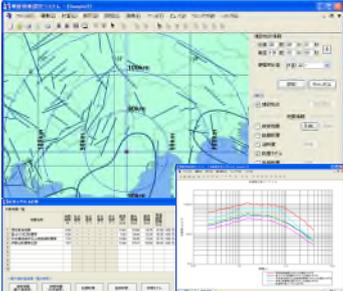
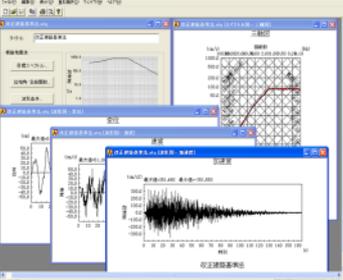
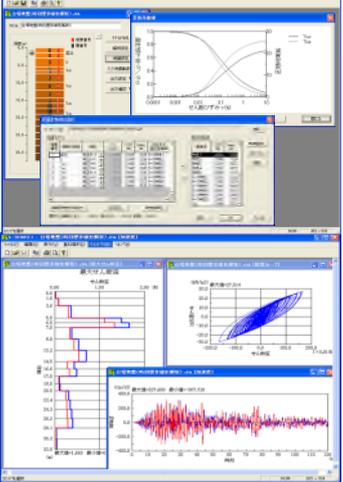
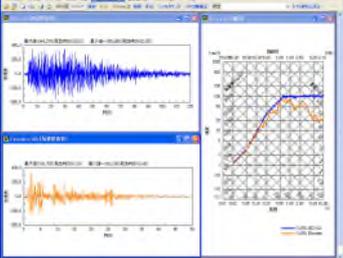
設計用入力地震動作成システム

【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3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 SeleS for Windows 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 ARTEQ for Windows 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 k-SHAKE+ for Windows 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広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"> ■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。 ■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)を選択することが可能です。 |  |
| <p>波形処理プログラム k-WAVE for Windows 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

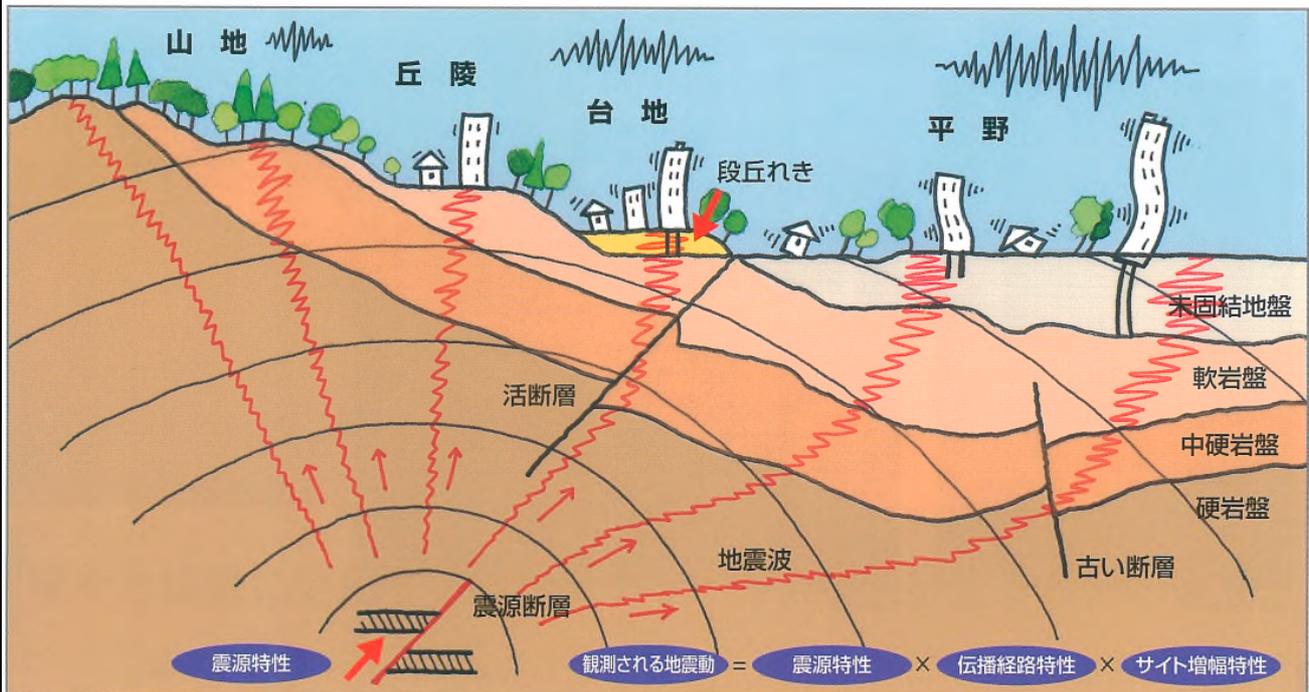
強震動評価・シミュレーション・設計用入力地震動

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



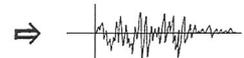
+

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）

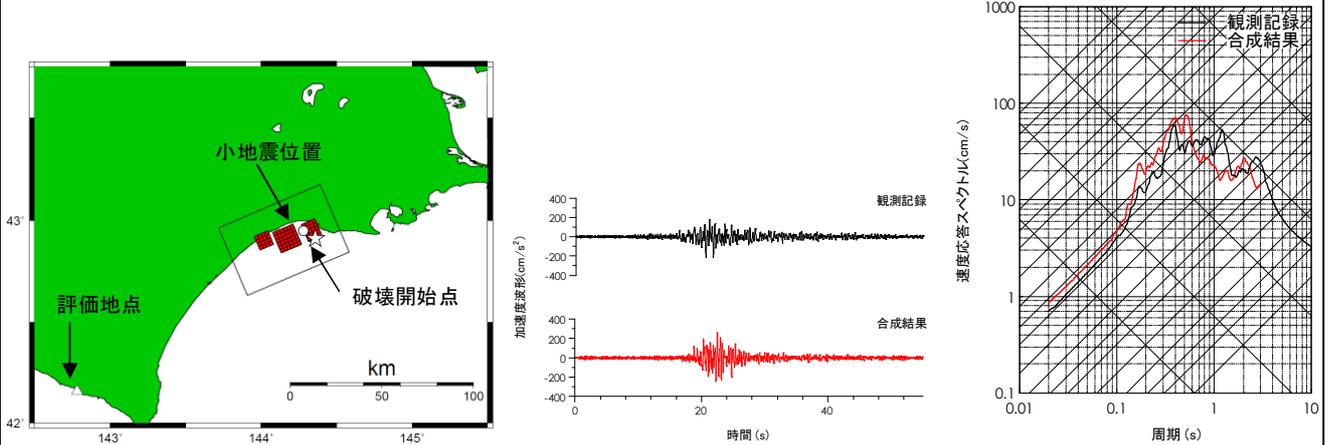


ハイブリッド合成法の概念

断層モデルによる地震動評価の事例紹介

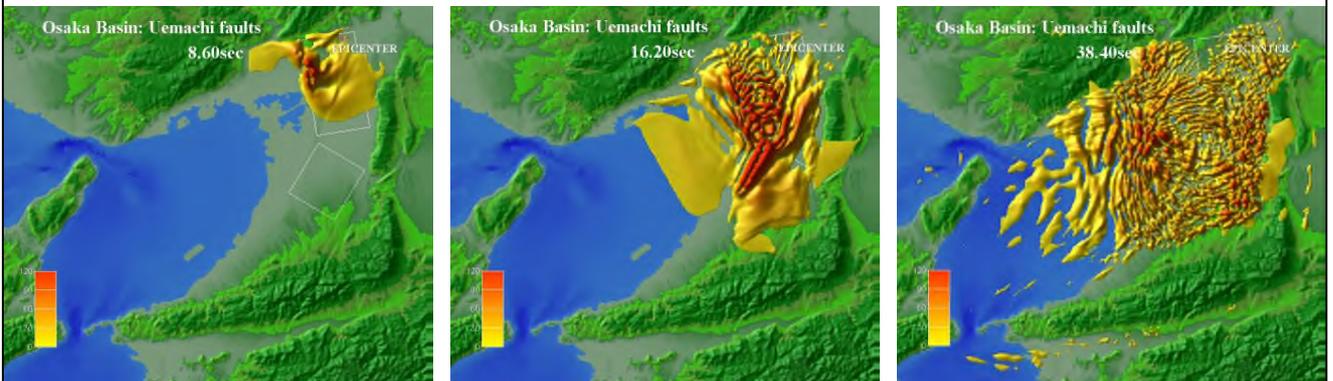
弊社がこれまでに行った地震動評価の一例を紹介します。1993年釧路沖地震を対象とした経験的グリーン関数法による地震動評価では、評価地点の観測記録を精度よく再現できました。また、上町断層を対象に行った3次元差分法シミュレーションでは、大阪盆地のような3次元地下構造の影響を評価できるとともに、計算結果をアニメーションとして可視化することで地震波伝播の様子をよく理解することができます。

■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。

シミュレーションを活用した災害対策

株式会社 構造計画研究所

OR部 矢野 夏子

OR部 大江 悠介

創造工学部 森 俊勝

1. はじめに

人々が災害に対処する方法は、災害が起こる前に行う事前対策と、災害が起きてから行う事後対策に大別される。事後対策はさらに、災害の発生から時間を追って、緊急対策、社会フローの復旧、社会ストックの再建のように分けることができる。これらの実行を支えるロジスティクスは非常に重要であるが、東日本大震災では、初動遅れ、混乱状況における非効率的な対処等の問題により有効に機能しなかった事は明らかである。これらの事からすると、災害発生後の的確なオペレーションを担保する為には、事前に災害発生後の計画について十分に検討しておくことが重要である。事前計画を立案するにあたり、全てのシナリオに対応するシステム作りや計画策定は不可能ではあるが、発生しうるシナリオを洗い出した上で対策を講じることは必要である。その為には、局所的な事象をマルチエージェント・シミュレーション手法によって明らかにし、ロジスティクス計画についてはシステムシミュレーション手法を用いて、事後のオペレーションの妥当性をあらかじめ評価することが有効と言える。

本稿では、避難所への支援物資の輸送需要を満たす輸送計画の作成について事前、事後対策について述べる。まず、2章の「津波避難シミュレーション」では、マルチエージェント・シミュレーション手法を用い、想定した災害シナリオに応じた住民の避難行動を明らかにした事例について紹介する。3章の「災害対応のロジスティクス支援システム」では、避難所に想定される支援物資の輸送需要に対して、輸送計画を作成、評価するシステムの開発事例について紹介する。

2. 津波避難シミュレーション

災害対策として、これまでは防波堤・堤防の構築や避難施設の構築、インフラ整備などハード的な対策に力が入られていた。しかし、東日本大震災での教訓として、ハード的な対策だけでは限界があることが分かった。想定外の

事態においても人的被害を最小限にするためには、津波を防ぐ、または津波の到達を遅らせるようなハード的な対策だけではなく、住民の早期避難計画や防災意識の向上などのソフト的な対策も併せて実施することが効果的である。そのため、ハード対策とソフト対策を組み合わせた多重防御の発想による防災・減災対策が注目されている。

そこで、本章では津波シミュレーションと住民の避難シミュレーションを組み合わせた手法(図1)について紹介する。

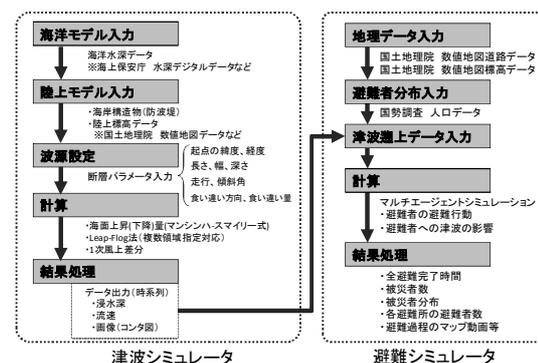


図1 シミュレーション全体イメージ

2.1 津波シミュレーション



図2 津波の発生プロセス

津波の発生プロセス(図2)は、まず、地震が発生し海底岩盤が変形することにより海面が上昇・下降することで波が発生する。その波が周囲に伝播し、陸上へ遡上していく。陸への遡上に関しては、湾岸や陸上の地形や防波堤などの設置状況により、同じ津波でも地域によって津波の高さや到達時間が異なる。このことを表現するため、海洋水深データ、陸上標高データ、海岸構造物(防波堤)を入力デー

タとし、断層パラメータから波源を設定後、波の伝播シミュレーションを行う。シミュレーションの計算には Leap-Frog 法を用いることで多重メッシュによる複数の計算領域指定が可能となり、広領域と狭領域に分けて計算し、入り組んだ湾岸部に関しては狭領域として詳細な計算を行う。これにより、対象地域の時系列ごとの津波の高さおよび陸への遡上状況の結果を得る（図3）。

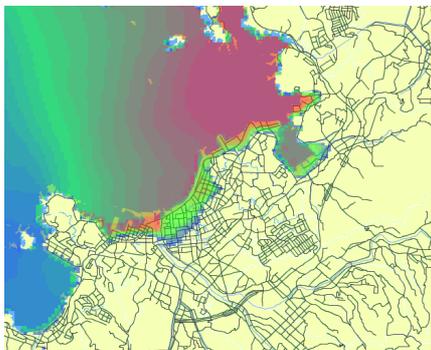


図3 津波シミュレーション結果例

2.2 避難シミュレーション

津波は、一般的に地震発生後から陸への到達までにタイムラグが存在する。その間に、可能な限り早期かつ適切な避難を行うことで被害は最小限に抑えることができるだろう。しかし、実際の災害時には、避難者は限られた情報の中で、その場の状況に応じた意思決定に迫られた上での避難行動を行っていると思定される。そのため、実際の避難状況は、個々の避難者は必ずしも全体最適な行動をとっているわけではなく、個々の避難者が行った意思決定の結果である行動が積み重なった状況と言える。そのため、災害の避難状況を表現する場合には、個々の意思決定に基づいた行動を表現できたモデルであることが望ましい。

そこで、自律的な因子をモデル化した「エージェント」を定義し、仮想的な社会上で多数のエージェントに同時進行的に一定のルールを実行させて、その結果出現する「現象」を観察するためのシミュレーション技法であるマルチエージェント・シミュレーションを用いて災害時の避難プロセスの評価を行う。避難者を「エージェント」と定義し、個々の避難者の避難行動をルール化して組込む。個々の避難者エージェントは、組込まれたルールに基づき、意思決定を行い行動する。これらの個々の避難者エージェントのふるまいが、地域全体の避難状況に及ぼす影響を評価するシミュレーションを行う。

まず、避難シミュレーション対象地域の空間のモデルとして、標高データ、道路データなどのGISデータを利用し、

地理情報を構築する。

避難者エージェントの初期位置として、国勢調査の丁目単位の人口分布データを参考に、対象地図上に配置する。

各避難者エージェントは、それぞれに設定された避難開始時間に達すると、避難を開始する。避難行動としては、交差点に到達した時点で次に目指す交差点を逐次的に決定して避難していく。移動先となる交差点の選択は、その地点から最寄りの避難所までの距離の方向、海から離れていく方向、標高の高い方向といった複数の要因を考慮した上で決定する。ここで、現実の避難者の避難行動を表現するために、どの要因を重視するかについては、実際の避難訓練など現実の避難行動データをもとに効用パラメータを推定しエージェントへ組み込む。組込んだパラメータは、下記のとおりである。

- $\beta 1$: 避難所までの距離重み
- $\beta 2$: 海からの距離重み
- $\beta 3$: 標高の高さ(勾配)重み

$\beta 1$ は、避難所までの最短距離のパラメータであり、負の符号の場合は経路距離が短い方が選択されやすいことを意味している。 $\beta 2$ は、単位距離あたりに海から離れる距離要因の重みパラメータであり、津波から避難する場合は海から離れる方へ作用すべきで正の符号が想定される。 $\beta 3$ は、勾配要因の重みパラメータである。海から避難する場合、高い方への避難が想定され、正の符号を持つパラメータが想定される。これらの効用パラメータをもとにした効用モデルをもとに、各避難者は複数存在する経路の選択を行う。なお、津波避難は原則海側方向への避難は行わないものとする。

また避難者エージェントは、周囲の避難者の混雑状況によって歩行速度を変化させることができる。周囲が混雑しているほど歩行速度が遅くなる。避難者エージェントの歩行避難可能条件は、流速 u と水深 h 、重力加速度 g で表現される単位幅比力が閾値以上の場合とする¹⁾。

避難者エージェントは、以上のようにモデリングを行う。

津波シミュレータと避難シミュレータを連携させることで、津波の到達時間および陸上遡上状況と住民の避難状況を重ね合わせて表現することが可能となり、時系列での津波の住民への影響を評価できる（図4）。

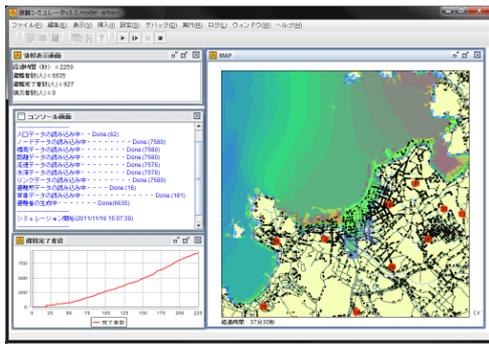


図 4 津波避難シミュレーション画面

以上の個々の避難者の行動および津波の到達状況を考慮したシミュレーションにより、災害時の地域全体の避難状況を表現することで、津波対策としての防波堤等の到達への効果と、避難対策としての避難者への避難所への誘導等の効果を合わせて検討することができる。本シミュレータは、各地区の避難時間算出、避難困難地域の把握、災害時要援護者対策の検討、臨時避難施設の検討など、様々な検証が行えるようになっている。また津波の襲来状況と避難する人々の過程をアニメーションとして提示することで、実際の津波に際して、「どう避難すべきか」、「早期に避難すれば安全性が高まる」ということを住民にわかりやすく示すことにより住民の防災意識を高めることに活用できるだろう。

ただし、人間の意思決定は、現実では様々な要因が影響しており、それらを完全にモデル化することは困難である。そのため、シミュレーションによる現実の再現は困難である。しかし、施策の検討を行う上では、何らかの想定される状況の情報が必要であり、シミュレーション結果からは少なからず示唆が得られるだろう。

これらのシミュレーションの結果として得られた地域ごとの被害状況、避難所への避難状況やそこから推定される緊急支援物資のニーズ等を事前の輸送計画を検討する上で、シナリオや入力データとして利用可能である。

3. 災害対応のロジスティクス支援システム

ここで紹介する災害対応ロジスティクスシステム(震災総合シミュレーションシステムのサブシステム)は、自治体災害対応を支援する目的で文科省の「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」の一環として開発されたものである²⁾。災害時を想定し、一部道路が閉塞した状況の下で、支援物資の最適な配送計画を作成する機能を有している。

物資配送計画の最適化機能は、道路閉鎖のある道路ネットワーク上で、利用可能な車両を用いて物資輸送拠点から

避難所等へ支援物資を配送する時の、最短配送時間を目的としている。(図 5)

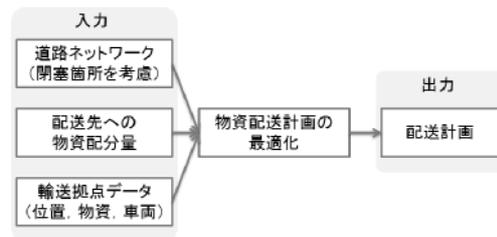


図 5 配送計画の最適化システム概要

災害時の緊急物資配送は、平常時の物資輸送と比較して、状況と目的がかなり異なっている。

状況の違いの1つに、以下のような道路ネットワークの問題がある。災害時では一部の道路が土砂崩れや建物の倒壊、液状化によって使用できない場合がある。また、橋梁や高架、トンネルも同様に被害を受けている可能性があり使用できる道路は限られてくる。したがって、こうした使用できない道路を考慮する必要がある。これについては道路の閉塞率を事前に予測するシステムと連携することで道路の被害状態を推定した。

また、平時には納期順守かつ配送コスト最小が主な目的であるが、支援物資の配送の場合には、配送コストを増大しても使える資源は全て活用し出来る限り早く届けることが求められる。ただし、全車両の配送時間の総和を最小にすることだけを考慮しても、車両によっては配送時間が極端に大きくなる可能性があり、緊急物資配送の観点からは、あまり好ましくない。そこで、各車両の配送時間の分散を小さくしながら、配送時間の総和を最小化することを考えた。また、ある避難所の配量が車両の空き積載量より大きい場合は、物資を分割する必要がある。これらより、配送物資への車両割当てについては、図6に示す尺度を用いることとした。

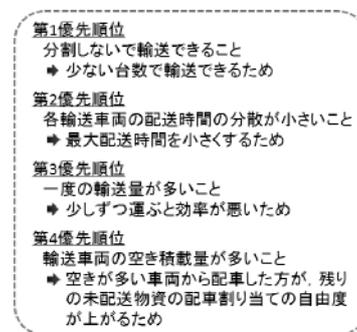


図 6 車両割当て尺度

このような問題を解く手法として、部分分解である現在の配送計画のルートに対し、最も適切な部分に新しい配送先

を順次挿入していく方法（挿入法³⁾）を用いた。一般に、配送計画問題は最適解を求めることが非常に難しい問題であり、挿入法で厳密な最適解を得られる保証はない。そこで、解の精度を上げるために、挿入法をランダムに繰り返す多スタート挿入法を構築した^{4,5)}(図 7)。

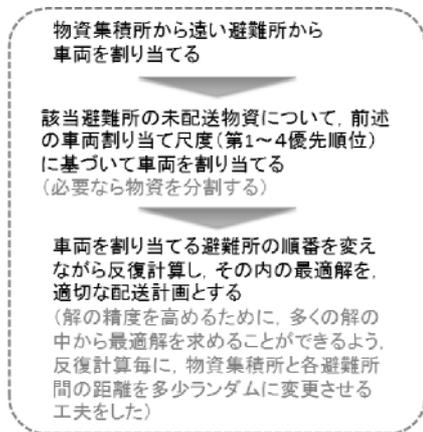


図 7 多スタート挿入法の流れ

本システムは道路の実際の被害状況についてはあくまで推定となっている。今後の課題の一つとしては推定と現実とのギャップを埋めるべくより多くのデータソースを統合して確実性の高い道路ネットワークを構築することがある。例えば、ナビゲーションシステムによって収集された通行実績データの利用や各自治体で独自に調査、公開されている道路被害、復旧状況取得の取り込みが有効であると考えられる。また、地震発生後、準リアルタイム性のある地震情報を収集し、その情報を元に地震分布の計算や浸水域等を推定する地震被害シミュレーションシステム(図 8)⁶⁾を利用し、斜面、建物、橋梁、高架の崩壊や液状化、等により寸断道路を推定することも有効である。

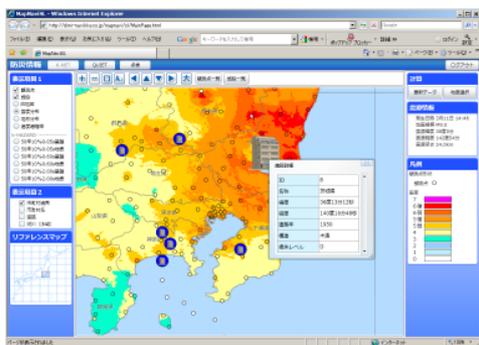


図 8 防災情報ナビシステム

また、広域の災害で特に問題となるのが給油である。限られたガソリン供給の下、どこでどのくらい給油を行えばよいのかは、これまでの仕組みでは意思決定を行うことは困難である。これについては、例えばtwitter等ソーシャルネットワーク等のロコミ情報を利用して各地の給油状況の把

握に役立つことも考えられる。いずれにしても、物流ネットワークや道路ネットワークを、ITのネットワークを用いて状況を把握し意思決定することが重要である。

加えて言えば、このようなシステムは、災害発生時だけでなく、平常時の事前対策にも適用可能である。任意の地震を想定して被害状況をシミュレーションすることで、防災計画の作成や、災害発生時のオペレーション検討などにも活用できる。また、ロジスティクスネットワークを設計する場面においては、同時に被災する地域への物流拠点配置を避ける等することで、災害に強いネットワーク設計が可能になる。

4. おわりに

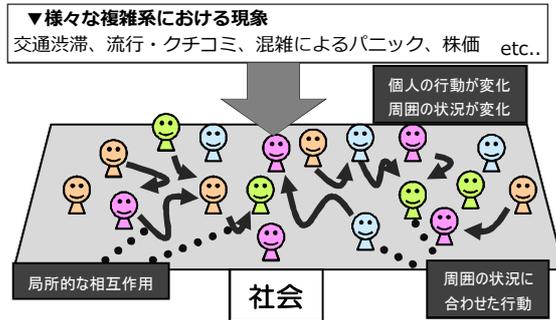
災害に対して、これまで災害対策として堤防の構築や避難施設の構築、インフラ整備などに力が入れてきた。しかしながら、東日本大震災での教訓として、施設に過度に依存した防災対策には限界があることが明らかになった。今後、企業や自治体においては、本稿で取り上げたような「ハード・ソフトを組み合わせた多重防御の発想による防災・減災対策」が求められている。本稿で紹介した課題のように、シミュレーションという工学的手法を駆使することで、社会システムにおける様々な課題の解決に助力できれば幸いである。

参考文献

- [1] 大西良純, 石垣泰輔, 馬場康之, 戸田圭一: 地下空間浸水時における避難困難度指標とその適用, 土木学会水工学論文集, 第52巻, 2008年2月
- [2] 文部科学省研究開発局, 防災科学技術研究所: 震災総合シミュレーションシステムの開発, 大都市大震災軽減化特別プロジェクト 平成18年度成果報告書, III-1, pp.219-225 (2007.3)
- [3] B.コルテ, J.フィーゲン: 組合せ最適化-理論とアルゴリズム, シュプリンガー・フェアラーク東京 (2005.11)
- [4] 矢野夏子, 斉藤努, 小玉乃理子: 航空貨物コンテナの最適詰め込みと大都市災害における緊急物資の最適配送計画, 第19回RAMPシンポジウム論文集, pp.139-149 (2007.10)
- [5] 斉藤努: OR手法を用いた大都市災害における緊急物資の最適配送計画, Journal of Analytical Engineering, Vol.24, Topics2, pp.12-13 (2010.9)
- [6] 防災情報ナビホームページ
<http://www4.kke.co.jp/kaiseki/software/bousai-navi.html>

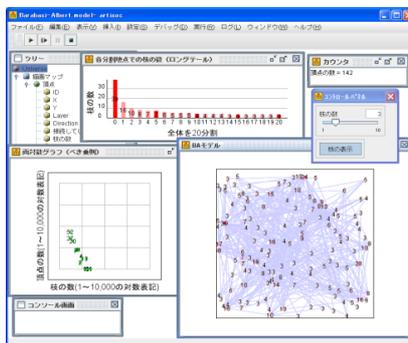
コンピュータのなかの人工社会による意思決定支援

- ◆ 自然現象を解析・予測するとき、これまで還元主義に基づくトップダウン的な手法が多く用いられてきました。他方、社会現象など人間の意思決定に基づいたシステム（複雑系）を扱うとき、このような既存の手法では適切に分析できないことが知られています。この複雑系を分析するアプローチとして、『マルチエージェント・シミュレーション（MAS）』が注目されています。
- ◆ 構造計画研究所は、複雑系とMASのアプローチを世の中に広めるために様々な活動を行っています。その一つとして、簡単にモデルを構築できる意思決定支援・分析ツールとして多くの方にご利用いただくために、マルチエージェント・シミュレーションプラットフォーム『artisoc』（アーティソック）を提供しています。



artisocの特徴

- **エージェントの種類・型の定義**
・基本的にマウス操作だけで定義可能
- **簡単な言語での行動ルール作成**
・VisualBasicライクな分かりやすい言語
・変数や関数名に日本語を利用可能
- **多様な入出力形式**
・DB、XML、テキストデータ読み込み・書出し
・マップ・グラフ出力をGUI上で簡単に設定可能

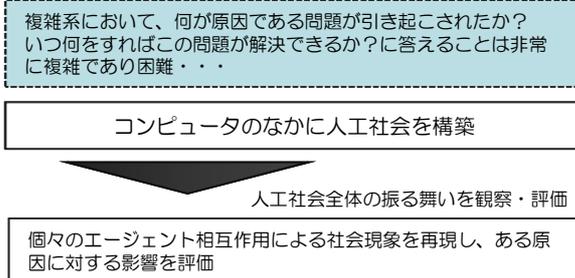


シミュレーション実行画面例：
ロングテールとべき乗則を再現するパラバジアルパートモデル

動作環境

- ・Windows 7/Vista/XP
- ・MacOS X SnowLeopard/Lion
- ※ Java1.6.0以上がインストールされていること

MAS (Multi Agent Simulation) のアプローチ



m artisoc 3.0 の新機能！



- 3Dマップ出力**
・3次元表示で、よりリアルな人工社会を表現
・カメラの位置をマウス指定やエージェント視点で設定可能
・汎用3D形状モデルをエージェントに割り当て可能
- 出力画面のグループ化**
・複数の出力画面を1つの画面にグループ化
・グループ化した画面はタブで切り替え可能
- 2Dマップ出力の拡張**
・エージェントの表示サイズ、透明度を指定可能
・マップ画面上に任意の文字列を表示可能
- 64ビットメモリ空間対応**
・従来よりも大規模なモデルを扱うことが可能
※Windows版のみ対応（MacOSX版は32bitのみ）

◆ **利用事例** ◆

- ▼ **都市計画**
 - ・都市インフラ整備・保全に関するシミュレーション
 - ・電気自動車充電ステーション配置検討に関するシミュレーション 等
- ▼ **防災・避難**
 - ・河川氾濫・洪水避難シミュレーション
 - ・災害救援物資の水上輸送に関するシミュレーション 等
- ▼ **マーケティング**
 - ・テレビ視聴率予測シミュレーション
 - ・店内レイアウト変更の効果検証に関するシミュレーション 等
- ▼ **制度設計・政策評価**
 - ・雇用政策の有効性に関するシミュレーション
 - ・電力取引自由化に関するシミュレーション 等

◆ **関連書籍** ◆

- 『artisocで始める歩行者エージェントシミュレーション』（兼田敏之 著ほか）
- 『コンピュータのなかの人工社会』（研究事例・論文集）
- 『人工社会構築指南』（山影進 著）
- 『人工社会』（エプスタイン 著、邦訳）

書籍『人工社会構築指南 ～artisocによるマルチエージェント・シミュレーション入門～』

『artisoc』を使い、「人工社会」という新しい社会分析の発想と手法を懇切に説く完全版入門書

東京大学大学院総合文化研究科
山影 進(著)
ISBN 978-4-88611-503-4
出版・発売 書籍工房早山
(Tel:03-5835-0255)
B5版 446頁 CD-ROM付
2007年1月30日発行
定価(本体3,600円+税)

英語版の書籍『Modeling and Expanding Artificial Societies』も販売しています。

- **目次**
- 第0部** 人工社会をもっと身近に
人工社会を作ろうなぜ人工社会を作るのか ほか
 - 第1部** モデル作りの基本を身につける
シミュレーションの準備をする エージェントを動かす ほか
 - 第2部** 人工社会の発想と技法に慣れる
状況に応じた行動の選択肢を増やす
エージェントの属性を豊富にする ほか
 - 第3部** 本格的な人工社会をめざす
エージェントを空間上で複雑に動かす
属性を文字列で表す ほか
 - 第4部** 研究・実務のツールにする
実行順序を制御する モデルのミスをチェックする ほか

書籍『artisocで始める歩行者エージェントシミュレーション』

歩行者エージェントシミュレーションの概念および手法について、『artisoc』の実例を交えて紹介した入門書

名古屋工業大学 兼田敏之代表編者(著)
構造計画研究所創造工学部(著)
名古屋工業大学兼田研究室(著)
ISBN 978-4904701171
出版・発売 書籍工房早山
(Tel:03-5835-0255)
B5版 210頁 CD-ROM付
2010年4月16日発行
定価(本体4,200円+税)

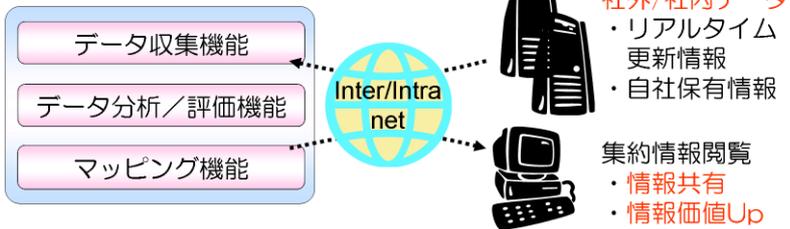


防災情報システム

■ システム概要

- 「WEB・GIS」を基盤と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。ユーザはブラウザを介してアクセス(イントラネット)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

2011年 7月 最新の情報に更新 閉じる

| 発生日時 | 状態 | マグニチュード | 震源深さ | 観測点数 | 計算 | 表示 |
|-----------------------|-----|---------|------|------|----|----|
| 2011-07-11 09:09:00.0 | 未計算 | 4.4 | 10.0 | J4 | 計算 | |
| 2011-07-10 09:57:00.0 | 計算済 | 7.1 | 10.0 | 426 | 計算 | 表示 |
| 2011-07-09 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 | 表示 |
| 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 | |

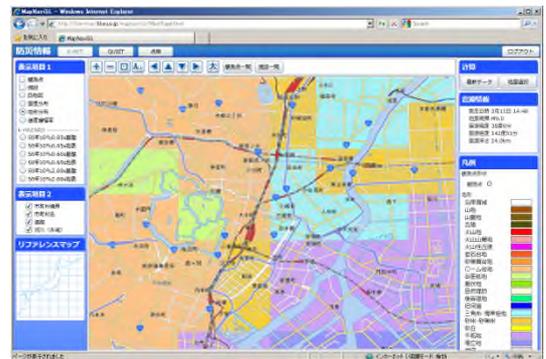
【処理確認画面(サーバ)】



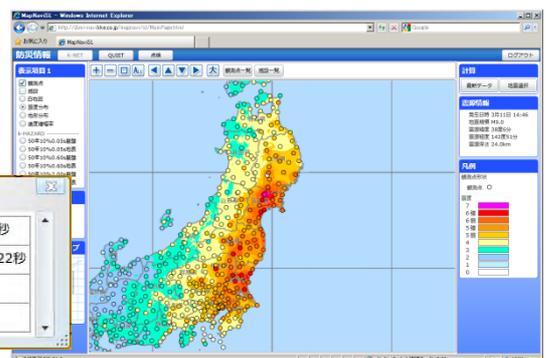
■ 機能概要(基本機能)

- 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、表層地盤の増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増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

震度詳細

| | |
|------|----------------|
| 緯度 | 35度42分44.93秒 |
| 経度 | 139度48分57.922秒 |
| 震度 | 震度5強 |
| 計測震度 | 5.02 |

各種構造計算プログラムによる解析結果の比較
その 1) モデル化方針の違いによる結果比較

久保田智子* 長瀬悦子*
梁川幸盛* 坂場律和*
小豆畑達哉** 井上波彦**
石原直***

構造計算プログラム 構造解析 モデル化

1. はじめに

2007 年建築基準法改訂に伴い構造計算プログラムの重要性が新たに認知された。それにより、構造計算プログラムによる解析結果の安定化が求められている。しかし、現状では市販の構造計算プログラムを用いた解析結果は使用したプログラムによりばらつきが生じる。そこで本報では解析結果のばらつきの程度及び原因を検証する。解析には構造計算プログラム 3 種類を使用し、建築構造の標準的な建物となる基本モデルを 3 例、各目的に応じてパラメータを変動させた派生モデルを 13 例作成する。

2. 解析モデル概要

2.1. 基本モデル概要

基本モデルとして、RC 造純ラーメン構造、RC 造耐震壁付きラーメン構造、S 造純ラーメン構造の計 3 種類を作成する。各構造形式共に X 方向 5.5m×3 スパン、Y 方向 7.0m×4 スパン、高さ方向 3.0m×5 階とする。モデル図を図 1 及び 2 に示す。また、解析結果を比較する部材を同図に示す。

各モデル共、積載荷重として事務所ビルを想定し、許容応力度設計を満足させた全体崩壊系の建物とする。解析条件は 3 つのプログラム（以下、プログラム A,B,C）で極力一致させる。長期荷重時において節点の鉛直変位は考慮しないこととする。弾塑性時の柱のモデル化として、プログラム A はファイバー要素、B,C は材端ばね法によるビーム要素とする。解析結果の比較項目は設計用地震力、梁反力 CMQ、部材剛性倍率、部材応力、検定比、層間変形角、偏心率、剛性率、荷重-変形曲線、保有水平耐力等とする。

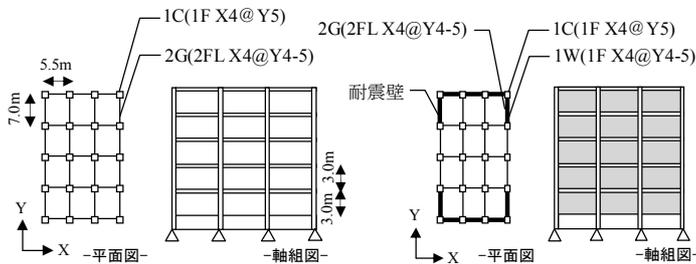


図 1 RC 造, S 造純ラーメン構造モデル図

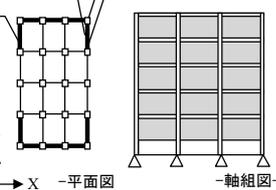


図 2 RC 造耐震壁付きラーメン構造モデル図

2.2. 派生モデル概要

派生モデルは、基本モデルに対して変動パラメータを

設定する。意図したパラメータ以外が変動しないよう、部材断面は基本モデルと同じとする。また、解析結果の比較項目は変動パラメータに応じたものとする。各派生モデルの設定目的及び変動パラメータを表 1 に示す。

表 1 派生モデル概要

| 名称 | 目的 | 変動パラメータ | |
|----------------|--------|------------------|------------------|
| RC造純ラーメン構造 | No.1-1 | 円形断面の耐力評価 | 柱形状を円形にする |
| | No.1-2 | 荷重分配の評価 | 様々な種類の荷重を設定する |
| | No.1-3 | 建物全体の剛性の評価 | 階高を変更する |
| | No.1-4 | 剛性倍率の評価 | スリット付きの垂壁を設ける |
| | No.1-5 | 偏心率の評価①(剛性偏心) | 一部を、斜め部材、斜め架構とする |
| | No.1-6 | 偏心率の評価②(重量偏心) | 各階にセツトバックを設ける |
| RC造耐震壁付きラーメン構造 | No.2-1 | 開口付き耐震壁の評価 | 壁開口を設ける |
| | No.2-2 | 鉛直支点ばねの評価 | 各支点に鉛直支点ばねを設ける |
| | No.2-3 | 偏心率の評価③(重量・剛性偏心) | 耐震壁を偏在させる |
| S造純ラーメン構造 | No.3-1 | 円形断面の耐力評価 | 柱形状を円形とする |
| | No.3-2 | 材端ばねの評価 | 柱脚を半剛接合とする |
| | No.3-3 | 荷重分配の評価 | 一部において柱抜けを設ける |
| | No.3-4 | H形断面の耐力評価 | 柱形状をH形とする |
| | | プレースの耐力評価 | プレースを設ける |

3. 解析結果

3.1. 基本モデル一次設計, 層間変形角, 剛性率, 偏心率

各基本モデルの比較結果の抜粋を表 2~4 に示す。

表 2 及び 4 より、解析結果に若干のばらつきが見られるが結果は概ね一致する。

表 3 より、壁軸力と柱軸力において、プログラム間で結果が大きく異なる。これは、応力図の表現の違いである。例えば長期応力図において、プログラム A,C では、壁の軸力を柱軸力に加算して表示しており、壁の軸力は表示されない。B は壁と柱の軸断面積の比でそれぞれの部材に軸力を表示する。数値解析モデルには違いがないため、支点反力は A,B,C で概ね一致する。また、C の層間変形角が A,B と比較して小さい結果となるが、これは大梁と断面が重なる部分の壁の剛性評価が A,B と異なるためだと考えられる。1 階は基礎梁せいが大きいいためこの違いが顕著に表れると考えられる。

3.2. 派生モデル一次設計, 層間変形角, 剛性率, 偏心率

派生モデル 13 例の解析を比較した結果、設計用地震力、

表 2 RC 造純ラーメン構造比較結果

| 項目 | | プログラムA | プログラムB | プログラムC | | |
|------------|---------|-----------|----------|--------|-----|-----|
| 設計用地震力[kN] | 1F | 24047 | 23934 | 24166 | | |
| | 梁 2G | 端部M[kNm] | 120 | 114 | 108 | |
| | | 中央M[kNm] | 64 | 72 | 76 | |
| | | 端部Q[kN] | 72 | 75 | 73 | |
| | 柱 1C | 柱頭M[kNm] | 50 | 49 | 48 | |
| | | 柱脚M[kNm] | 61 | 60 | 61 | |
| | | せん断力Q[kN] | 31 | 30 | 30 | |
| | | 軸力N[kN] | 676 | 674 | 683 | |
| | 水平荷重時応力 | 梁 2G | 端部M[kNm] | 356 | 354 | 358 |
| | | | 端部Q[kN] | 99 | 98 | 99 |
| 柱 1C | | 柱頭M[kNm] | 151 | 151 | 153 | |
| | | 柱脚M[kNm] | 510 | 506 | 511 | |
| | | せん断力Q[kN] | 185 | 184 | 186 | |
| | | 軸力N[kN] | 363 | 364 | 367 | |
| 層間変形角 | X方向 1F | 1/748 | 1/740 | 1/733 | | |

Comparison of analytical results by various structural calculation programs

Part 1) Result comparison by difference of modeling policy

KUBOTA Tomoko, NAGASE Etsuko, YANAGAWA Yukimori,
SAKABA Norikazu, AZUHATA Tatsuya,
INOUE Namihiko, ISHIHARA Tadashi

表 3 RC 造耐震壁付きラーメン構造比較結果

| 項目 | | プログラムA | プログラムB | プログラムC | |
|-------------------|-----------|---------|--------|--------|------|
| 設計用地震力[kN] | 1F | 26061 | 26004 | 26238 | |
| 長期応力 | 柱1C | 軸力N[kN] | 782 | 110 | 796 |
| | 壁1W | 軸力N[kN] | 0 | 829 | — |
| 長期支点反力[kN] | ※1と同一箇所 | 1034 | 983 | 1021 | |
| 水平荷重時 応力 | 柱1C | 軸力N[kN] | 565 | 663 | 1215 |
| | 壁1W | 軸力N[kN] | 340 | 263 | — |
| 水平荷重時 支点反力[kN] | せん断力Q[kN] | 1075 | 1080 | 1118 | |
| | | 最大値** | 1232 | 1251 | 1242 |
| 水平力分担率[%] | X方向 1F | 87.1 | 87.5 | 89.5 | |
| 層間変形角 | X方向 1F | 1/6005 | 1/6028 | 1/7079 | |

表 4 S造純ラーメン構造比較結果

| 項目 | | プログラムA | プログラムB | プログラムC | |
|-------------|--------|-----------|--------|--------|-----|
| 設計用地震力[kN] | 1F | 15102 | 15019 | 15037 | |
| 長期応力 | 梁2G | 端部M[kNm] | 72 | 72 | 72 |
| | | 中央M[kNm] | 35 | 35 | 35 |
| | | 端部Q[kN] | 49 | 49 | 49 |
| | 柱1C | 柱頭M[kNm] | 23 | 22 | 22 |
| | | 柱脚M[kNm] | 15 | 15 | 16 |
| | | せん断力Q[kN] | 11 | 10 | 10 |
| 水平荷重時 応力 | 梁2G | 軸力N[kN] | 360 | 356 | 356 |
| | | 端部M[kNm] | 237 | 237 | 237 |
| | | 端部Q[kN] | 67 | 67 | 67 |
| | 柱1C | 柱頭M[kNm] | 169 | 171 | 170 |
| | | 柱脚M[kNm] | 299 | 295 | 296 |
| | | せん断力Q[kN] | 130 | 130 | 130 |
| 層間変形角 | X方向 1F | 軸力N[kN] | 272 | 273 | 273 |
| | | 1/429 | 1/419 | 1/417 | |

梁反力 CMQ,部材剛性係率,部材応力,検定比,層間変形角等は概ね一致した。ただし、No.1-5,2-3 の偏心率、No.3-4 の層間変形角にややばらつきが見られる。No.1-5,2-3 は本報その2)で考察する。No.3-4 は以下で考察する。

No.3-4 のモデル図を図 3 に、比較結果を表 5 に示す。表 5 より、応力に関しては概ね一致しているが、圧縮ブレースの短期断面検定比においてプログラム C の結果が A,B と異なっている。A,B は座屈長さ L を節点間距離としているのに対し、C は節点から基礎梁フェイスまでとしている。従って C の許容圧縮応力度 f_c は大きくなり、検定比が小さくなっている。また、A の層間変形角が B,C と比較して大きくなるが、これは表 3 の層間変形角が異なるのと同様の理由で、大梁と断面が重なる部分のブレースの剛性評価が B,C と異なるためだと考えられる。

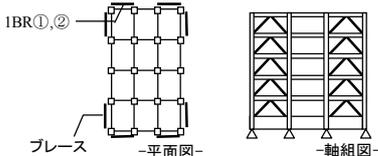


図 3 No. 3-4 モデル図

表 5 No. 3-4 比較結果

| 項目 | | プログラムA | プログラムB | プログラムC | |
|-------------|----------|-----------|--------|--------|------|
| 水平荷重時 応力 | ブレースIBR① | 軸力(引)[kN] | 477 | 478 | 475 |
| | ブレースIBR② | 軸力(圧)[kN] | 502 | 503 | 500 |
| 短期断面 検定比 | ブレースIBR② | 圧縮側 | 1.20 | 1.20 | 1.00 |
| | ブレースIBR① | 引張側 | 0.58 | 0.58 | 0.59 |
| 水平力分担率[%] | X方向 1F | 79 | 79 | 79 | |
| 層間変形角 | X方向 1F | 1/796 | 1/864 | 1/870 | |

3.3. 基本モデル保有水平耐力計算

X 方向 1 階,5 階の荷重-変形曲線の比較結果を図 4 に、X 方向加力時 1 階の保有水平耐力を表 6 に示す。ここで保有水平耐力は、RC 造,S 造純ラーメン構造は層間変形角 1/100、RC 造耐震壁付きラーメン構造は層間変形角 1/250 となる時の層せん断力とする。

図 4(a)より、初期剛性は概ね一致するが、曲げひび割れ

発生以降の剛性低下率が異なる。これは、プログラム A は材料の応力-歪関係性を平面保持の仮定の下に解くファイバー断面モデルを採用しているのに対し、B,C は菅野式を採用して剛性低下率を評価しているためである。B と C の剛性低下率の差は柱の推定曲げ終局強度の評価の違いによるものだと考えられる。最終的な層せん断力は概ね一致するがこれらの理由により、A,B,C で保有水平耐力にばらつきが見られる。

図 4(b)より、初期剛性は概ね一致するが、曲げひび割れ発生時の層せん断力が異なっている。これは、プログラム A はスパン毎で一つの壁として耐力を評価するのに対し、B,C はスパン方向に連続する複数の壁を 1 枚の壁と評価しているためである。曲げひび割れ発生時以降の剛性低下率が異なる理由は図 4(a)と同様の理由が考えられる。また、最終的な層せん断力の差は荒川式に用いる軸力の違いによるものである。保有水平耐力は比較的よく一致しているが保有水平耐力以降の層せん断力はこれらの理由により、ばらつきが見られる。

図 4(c)より、プログラム A,B,C の初期剛性、降伏耐力、保有水平耐力共によく一致している。

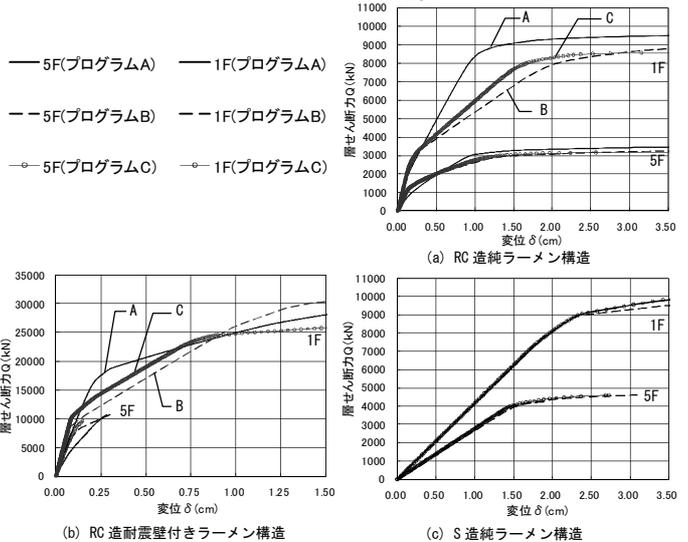


図 4 荷重-変形曲線

表 6 保有水平耐力

| | プログラムA | プログラムB | プログラムC |
|----------------|-----------|-----------|-----------|
| RC造純ラーメン構造 | 9074[kN] | 7891[kN] | 8282[kN] |
| RC造耐震壁付きラーメン構造 | 25253[kN] | 25691[kN] | 25391[kN] |
| S造純ラーメン構造 | 9363[kN] | 9154[kN] | 9402[kN] |

4. まとめ

3.1 項及び 3.2 項では、結果は概ね一致しているが一部で壁軸力の表現、大梁と断面が重なる部分の壁,ブレースの剛性評価の考え方の違いによる若干のばらつきが見られた。3.3 項では、RC 造は、初期剛性は概ね一致するが、剛性低下率及び壁耐力の評価方法の違いにより柱壁の耐力と最終的な層せん断力にばらつきが見られた。S 造は、よく一致した。

*構造計画研究所

**国土交通省 国土技術政策総合研究所

*** (独) 建築研究所

* KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

**National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

***Building Research Institute

各種構造計算プログラムによる解析結果の比較
その 2) 偏心率の計算方法の違いによる結果比較

長瀬悦子*
梁川幸盛*
小豆畑達哉**
石原直***

久保田智子*
坂場律和*
井上波彦**

偏心率 剛心 計算方法

1. はじめに

本報その 1)では基本モデルと派生モデルの解析結果を比較した。その 2)では派生 No.1-5, No.2-3 の偏心率の計算方法について検討する。偏心率の計算方法は複数提案されており、方法の違いにより結果に差異が生じる。そこで、本報では 4 つの計算方法を用いて偏心率を算出し、結果を比較する。

2. 解析概要

2.1. 偏心率の計算方法

各層ごとに重心及び剛心を求め、偏心率を算出する。重心は鉛直部材の長期軸力より算出する。剛心は次の 4 つの計算方法により算出する。計算方法 1 及び 2 として構造関係技術基準解説書¹⁾による方法を用いる。計算方法 1 では加力直交方向の変位を拘束するが、計算方法 2 では拘束しない。計算方法 3 として NTT BUILD の方法²⁾、計算方法 4 として栗田らの方法³⁾を用いる。

計算方法 1 及び 2 では並進方向の変位を用いて剛心を算出する。計算方法 3 では並進方向の変位に加え、並進直交方向の変位も考慮し剛心を算出する。なお、この際 X 方向加力、Y 方向加力の各々に対しそれぞれ剛心が算出される。計算方法 4 では各鉛直部材の主軸方向を予め特定せずに水平剛性を求め、剛心を算出する。

2.2. 解析モデル

派生 No.1-5, No.2-3 のモデル図を図 1 に示す。派生 No.1-5 は剛性偏心の影響を検討するため一部を斜め架構及び柱回転させたモデルとする。派生 No.2-3 は剛性偏心と重量偏心による影響を検討するため耐震壁を偏在させたモデルとする。その他の部材断面等の解析条件は基本モデルと同じとする。

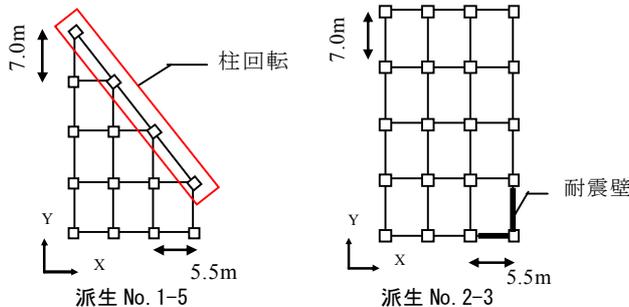


図 1 モデル図

3. 計算結果

派生 No.1-5 及び No.2-3 の計算結果を以下に示す。

派生 No.1-5 において、変位図を図 2 に示す。X 方向では建物に捩れが生じている。Y 方向では建物に捩れがほとんど生じていない。算出した偏心率 Re と偏心による必要保有水平耐力の割増係数 Fe を表 1 に示す。また、各計算方法により求めた剛心位置図を図 3 に示す。X 方向の偏心率は上階ほど大きくなる。Y 方向の偏心率は計算方法 1,2 では上階ほど大きくなり、計算方法 3,4 では全階で同程度となる。各計算方法による Re と Fe の相関図を図 4 に示す。X 方向の偏心率は 5 階でばらつきが見られる。Y

表 1 偏心率の算出結果（派生 No. 1-5）

計算方法1

| 階 | 剛心(m) | | X | | Y | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | X | Y | Re | Fe | Re | Fe |
| ZS05 | 5.746 | 8.228 | 0.192 | 1.141 | 0.101 | 1.000 |
| ZS04 | 5.891 | 8.831 | 0.125 | 1.000 | 0.076 | 1.000 |
| ZS03 | 5.906 | 8.780 | 0.132 | 1.000 | 0.073 | 1.000 |
| ZS02 | 5.932 | 9.037 | 0.105 | 1.000 | 0.068 | 1.000 |
| ZS01 | 6.081 | 9.102 | 0.098 | 1.000 | 0.049 | 1.000 |

計算方法2

| 階 | 剛心(m) | | X | | Y | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | X | Y | Re | Fe | Re | Fe |
| ZS05 | 5.714 | 8.339 | 0.181 | 1.103 | 0.105 | 1.000 |
| ZS04 | 5.879 | 8.726 | 0.137 | 1.000 | 0.077 | 1.000 |
| ZS03 | 5.890 | 8.783 | 0.132 | 1.000 | 0.076 | 1.000 |
| ZS02 | 5.931 | 8.947 | 0.114 | 1.000 | 0.069 | 1.000 |
| ZS01 | 6.066 | 9.065 | 0.102 | 1.000 | 0.051 | 1.000 |

計算方法3(X方向加力時)

| 階 | 剛心(m) | | X | |
|------|-------|-------|-------|-------|
| | X | Y | Re | Fe |
| ZS05 | 5.541 | 8.808 | 0.133 | 1.000 |
| ZS04 | 6.199 | 8.997 | 0.113 | 1.000 |
| ZS03 | 6.217 | 9.052 | 0.107 | 1.000 |
| ZS02 | 6.552 | 9.155 | 0.095 | 1.000 |
| ZS01 | 6.485 | 9.194 | 0.092 | 1.000 |

計算方法3(Y方向加力時)

| 階 | 剛心(m) | | Y | |
|------|-------|--------|-------|-------|
| | X | Y | Re | Fe |
| ZS05 | 6.498 | 8.963 | 0.005 | 1.000 |
| ZS04 | 6.457 | 9.699 | 0.008 | 1.000 |
| ZS03 | 6.441 | 9.847 | 0.009 | 1.000 |
| ZS02 | 6.429 | 9.769 | 0.010 | 1.000 |
| ZS01 | 6.471 | 10.586 | 0.005 | 1.000 |

計算方法4

| 階 | 剛心(m) | | X | | Y | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | X | Y | Re | Fe | Re | Fe |
| ZS05 | 6.491 | 8.764 | 0.138 | 1.000 | 0.006 | 1.000 |
| ZS04 | 6.476 | 8.949 | 0.116 | 1.000 | 0.006 | 1.000 |
| ZS03 | 6.454 | 9.025 | 0.109 | 1.000 | 0.008 | 1.000 |
| ZS02 | 6.449 | 9.139 | 0.096 | 1.000 | 0.008 | 1.000 |
| ZS01 | 6.491 | 9.163 | 0.093 | 1.000 | 0.003 | 1.000 |

全方法共通

| 階 | 重心(m) | |
|------|-------|--------|
| | X | Y |
| ZS05 | 6.540 | 10.036 |
| ZS04 | 6.524 | 10.063 |
| ZS03 | 6.519 | 10.072 |
| ZS02 | 6.517 | 10.075 |
| ZS01 | 6.515 | 10.077 |

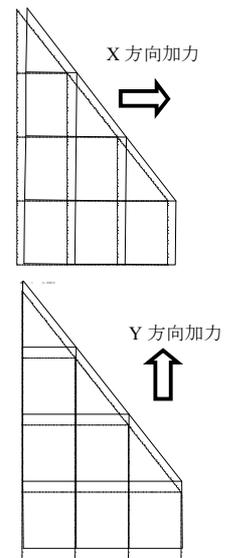


図 2 変位図
(派生 No. 1-5, 5 階)

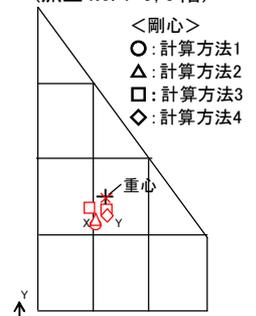


図 3 剛心位置図
(派生 No. 1-5, 5 階)

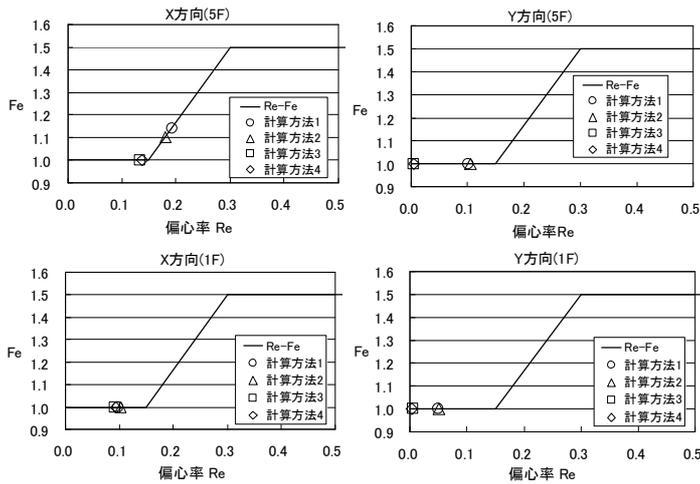


図4 Re-Fe 相関図 (派生 No. 1-5)

方向の偏心率は計算方法 1,2 と計算方法 3,4 とで二極化が見られる。これは剛心を算出する際に並進直交方向の情報を取り入れるか否かの違いと考えられる。計算方法 3,4 では Y 方向加力時の X 方向変位を用いるが、捩れ変形が生じていないことより偏心率が小さくなる。

派生 No.2-3 において、変位図を図 5 に示す。X 方向、Y 方向共に偏在した耐震壁により捩れが生じている。算出した Re と Fe を表 2 に示す。また、各計算方法により求めた剛心位置図を図 6 に示す。各計算方法において X 方向、Y 方向共に上階ほど偏心率が小さくなる。これは上階ほど耐震壁のせん断力分担率が徐々に小さくなり、壁剛性が偏心率に与える影響が小さくなるためと考えられる。各計算方法による Re と Fe の相関図を図 7 に示す。X 方向、Y 方向共に 1 階ではほとんどばらつきがなく、5 階でばらつきが見られる。

4.まとめ

偏心が生じる 2 つの解析モデルに対し、4 つの計算方法を用いて偏心率を算出した。計算方法の違いにより偏心率にばらつきが見られた。計算方法 1 は捩れない状態での剛性を用いる方法であったが、計算方法 2 との大きな違いは見られなかった。計算方法 3,4 は計算方法 1,2 に比べ、捩れの有無に応じた偏心率が算出され、建物の変形状態を良く表現出来ているといえる。しかし計算方法 3 は二次元フレーム解析で考案された方法を立体フレーム解析へ拡張したものである。そのため、X 方向、Y 方向でそれぞれ異なる剛心が算出されるという不自然さが残る。本報では X 方向加力時の剛心より X 方向の偏心率、Y 方向加力時の剛心より Y 方向の偏心率を算出している。計算方法 4 は X 方向、Y 方向の変位、せん断力を用い、1 つの剛心を求めることが出来る明快な方法であるといえる。

参考文献

- 1)2007 年版建築物の構造関係技術基準解説書,日本建築センター編
- 2)NTT-BUILD リファレンスマニュアル

3)栗田他,不整形立体架構の剛心と偏心率の計算方法の提案 (その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集,平成 22 年

謝辞

本検討を行うにあたり、東京理科大学の栗田哲教授、横浜国立大学大学院の楠浩一准教授には有益な御助言を頂いた。ここに深く感謝の意を示す。

表 2 偏心率の算出結果 (派生 No. 2-3)

計算方法1

| 階 | 剛心(m) | | X | | Y | |
|------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | X | Y | Re | Fe | Re | Fe |
| ZS05 | 9.967 | 11.851 | 0.161 | 1.038 | 0.156 | 1.020 |
| ZS04 | 11.691 | 8.686 | 0.411 | 1.500 | 0.317 | 1.500 |
| ZS03 | 12.273 | 7.603 | 0.509 | 1.500 | 0.380 | 1.500 |
| ZS02 | 12.901 | 6.457 | 0.630 | 1.500 | 0.457 | 1.500 |
| ZS01 | 11.521 | 9.132 | 0.373 | 1.500 | 0.288 | 1.460 |

計算方法2

| 階 | 剛心(m) | | X | | Y | |
|------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | X | Y | Re | Fe | Re | Fe |
| ZS05 | 9.415 | 11.774 | 0.171 | 1.070 | 0.105 | 1.000 |
| ZS04 | 11.295 | 9.309 | 0.359 | 1.500 | 0.277 | 1.423 |
| ZS03 | 11.974 | 8.180 | 0.456 | 1.500 | 0.347 | 1.500 |
| ZS02 | 12.548 | 7.314 | 0.537 | 1.500 | 0.407 | 1.500 |
| ZS01 | 11.581 | 8.914 | 0.393 | 1.500 | 0.297 | 1.489 |

計算方法3(X方向加力時)

| 階 | 剛心(m) | | X | |
|------|--------|--------|-------|-------|
| | X | Y | Re | Fe |
| ZS05 | 6.500 | 11.774 | 0.218 | 1.227 |
| ZS04 | 9.243 | 9.309 | 0.378 | 1.500 |
| ZS03 | 10.648 | 8.180 | 0.470 | 1.500 |
| ZS02 | 11.295 | 7.314 | 0.536 | 1.500 |
| ZS01 | 11.169 | 8.914 | 0.407 | 1.500 |

計算方法3(Y方向加力時)

| 階 | 剛心(m) | | Y | |
|------|--------|--------|-------|-------|
| | X | Y | Re | Fe |
| ZS05 | 9.415 | 16.085 | 0.170 | 1.068 |
| ZS04 | 11.295 | 12.646 | 0.312 | 1.500 |
| ZS03 | 11.974 | 10.549 | 0.373 | 1.500 |
| ZS02 | 12.548 | 9.427 | 0.416 | 1.500 |
| ZS01 | 11.581 | 9.774 | 0.315 | 1.500 |

計算方法4

| 階 | 剛心(m) | | X | | Y | |
|------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | X | Y | Re | Fe | Re | Fe |
| ZS05 | 11.098 | 10.382 | 0.270 | 1.400 | 0.254 | 1.348 |
| ZS04 | 12.090 | 8.727 | 0.400 | 1.500 | 0.349 | 1.500 |
| ZS03 | 12.508 | 7.807 | 0.483 | 1.500 | 0.398 | 1.500 |
| ZS02 | 12.830 | 7.177 | 0.543 | 1.500 | 0.432 | 1.500 |
| ZS01 | 11.887 | 8.669 | 0.413 | 1.500 | 0.325 | 1.500 |

全方法共通

| 階 | 重心(m) | |
|------|-------|--------|
| | X | Y |
| ZS05 | 8.302 | 13.910 |
| ZS04 | 8.339 | 13.845 |
| ZS03 | 8.352 | 13.825 |
| ZS02 | 8.358 | 13.815 |
| ZS01 | 8.358 | 13.814 |

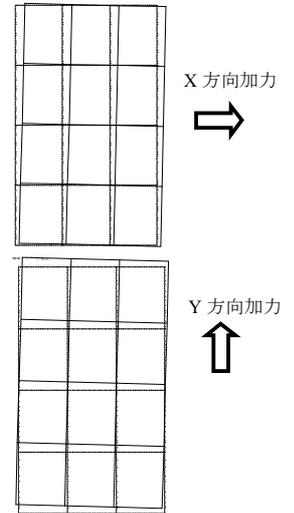


図5 変位図 (派生 No. 2-3, 5階)

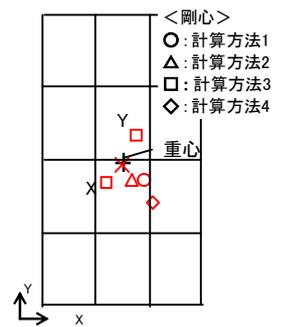


図6 剛心位置図 (派生 No. 2-3, 5階)

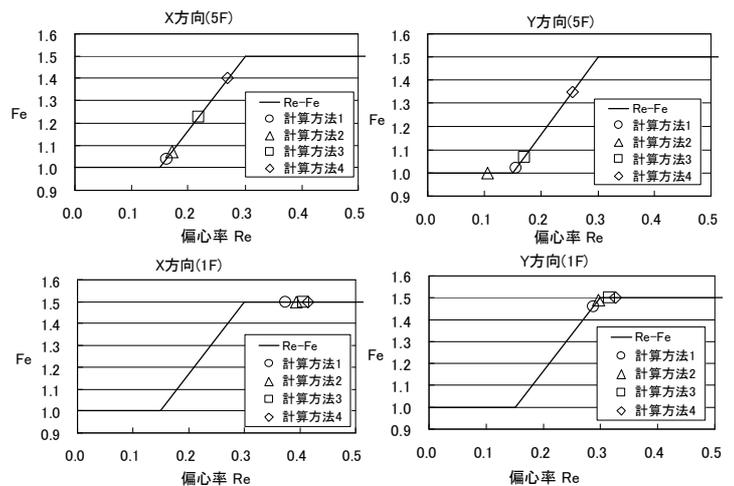


図7 Re-Fe 相関図 (派生 No. 2-3)

*構造計画研究所

**国土交通省 国土技術政策総合研究所

*** (独) 建築研究所

* KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

**National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

***Building Research Institute

地震応答解析における割線剛性比例型減衰の提案（その2）

梁川 幸盛*
宇佐美 祐人*

非線形振動解析 内部粘性減衰 瞬間剛性比例型減衰
時刻歴応答解析

1. はじめに

筆者らは、既報^{1~2)}において鉄筋コンクリート造超高層建物の設計において一般的に用いられる瞬間剛性比例型減衰³⁾の問題点を指摘するとともに、それらの問題点を緩和できるモデルとして割線剛性比例型減衰を提案した。

内部粘性減衰とは、外力が無い状態で建物の揺れが時間とともに徐々に小さくなっていく現象を簡単な仕組みで表現しようとして導入された考え方であって、厳密な物理モデルではなく様々なモデルが考えられる。既報では、瞬間剛性比例型減衰が常に剛性に比例した減衰力が得られるというミクロな側面を尊重しているが、全体として不自然な挙動がみられ、全体挙動のマクロな物理現象のモデル化に繋がっていないのではないかと疑問から、より自然な挙動を示す割線剛性比例型を提案した。

既報²⁾における提案では、主に割線剛性比例型減衰の概念の提案に留め、詳細な挙動を定義していなかった。本稿では、割線剛性比例型減衰をより詳細に示し、実務設計での利用のための試解析を行う。

2. 割線剛性の定義

割線剛性の定義を図1に示す。割線剛性とは、ばねの復元力-変位関係において、原点とその時点の最大変位と復元力を結ぶ剛性とする（図1a）。履歴規則が除荷に入った場合には、最大変位の時点のまま割線剛性を維持する（図1b）。また、最大変位より小さい変位領域における内部の履歴規則に入った場合であっても、割線剛性は最大変位の時点の剛性を採用する（図1c）。

以上のように、本減衰における割線剛性とは、原点と最大変位の点と応力を結ぶ剛性と定義する。よって、複雑な内部ループを有することで知られている鉄筋コンクリート構造向けの剛性低減型モデル（武田モデル⁴⁾に適用した場合には（履歴ループを図2aに示す）、瞬間剛性（接線剛性）よりも本稿にて提案する割線剛性の方が安定的に低下していくことが確認できる（減衰の根拠となる剛性評価の履歴を図2bに示す）。このため、時刻歴応答解析においても、減衰力や不平衡力の不連続性が生じにくいと考えられる。

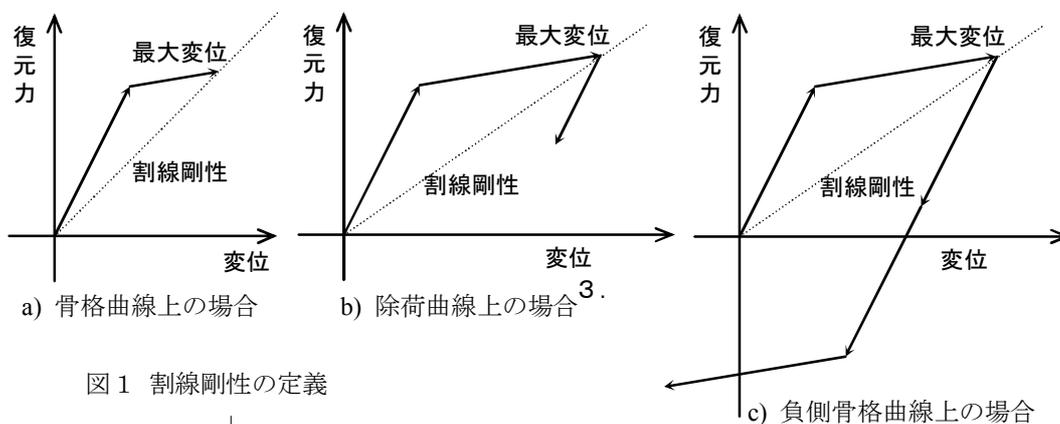


図1 割線剛性の定義

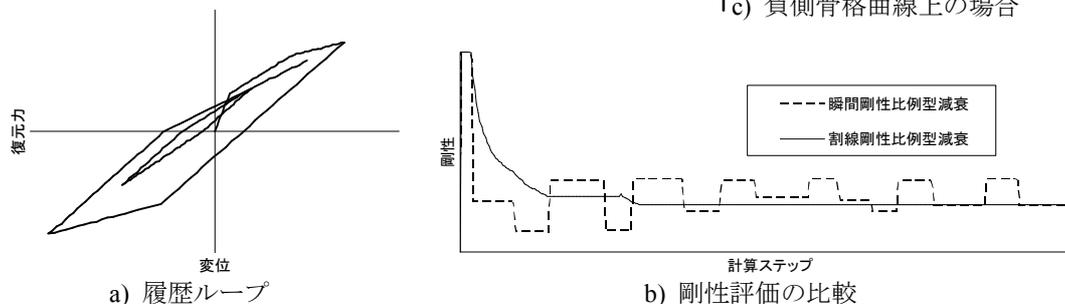


図2 鉄筋コンクリート構造向け剛性低減型復元力特性における剛性の比較

3. 割線剛性比例型減衰モデルの計算例

解析対象となるモデルは、14・26・50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。履歴規則は、武田モデル⁴⁾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⁵⁾を 80%に縮小した地震波とした。

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）²⁾
- ・瞬間剛性比例型（非連続モデル）²⁾
- ・割線剛性比例型減衰

いずれも、一次固有周期に対する初期減衰定数 $h_1=3\%$ とし、文献2)中に示す $\alpha=2h/\omega$ は計算中一定とした。

図4に各モデルの最大応答値（加速度・層間変形角）を示す。共通に見られる傾向として、瞬間剛性比例型および割線剛性比例型は、いずれも初期剛性比例型に対して2～3割大きな応答値を示す。図4中に示す①に見られるように、瞬間剛性比例型（非連続モデル）は他のモデルに比べて応答加速度が大きくなる傾向がある。また、図4中の②に見られるように、瞬間剛性比例型（連続モ

デル）は他のモデルに比べて応答変位が乱れる傾向がある。このような瞬間剛性比例型減衰の応答が乱れる傾向は、低層のモデルに強く表れ、高層のモデルではあまり表れない。割線剛性比例型減衰の応答には、乱れが少なく、瞬間剛性比例型減衰の平均的な応答値に一致する。

4. まとめ

割線剛性比例型減衰の詳細を示した。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ることを確認した。

参考文献

- 1) 梁川ら「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.
- 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21491番、p.981.
- 3) 小谷 俊介、「鉄筋コンクリート造骨組の動的破壊実験 一動的非線形解析の資料一」、日本建築学会大会学術講演梗概集、1980年2552番、p.1555.
- 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>

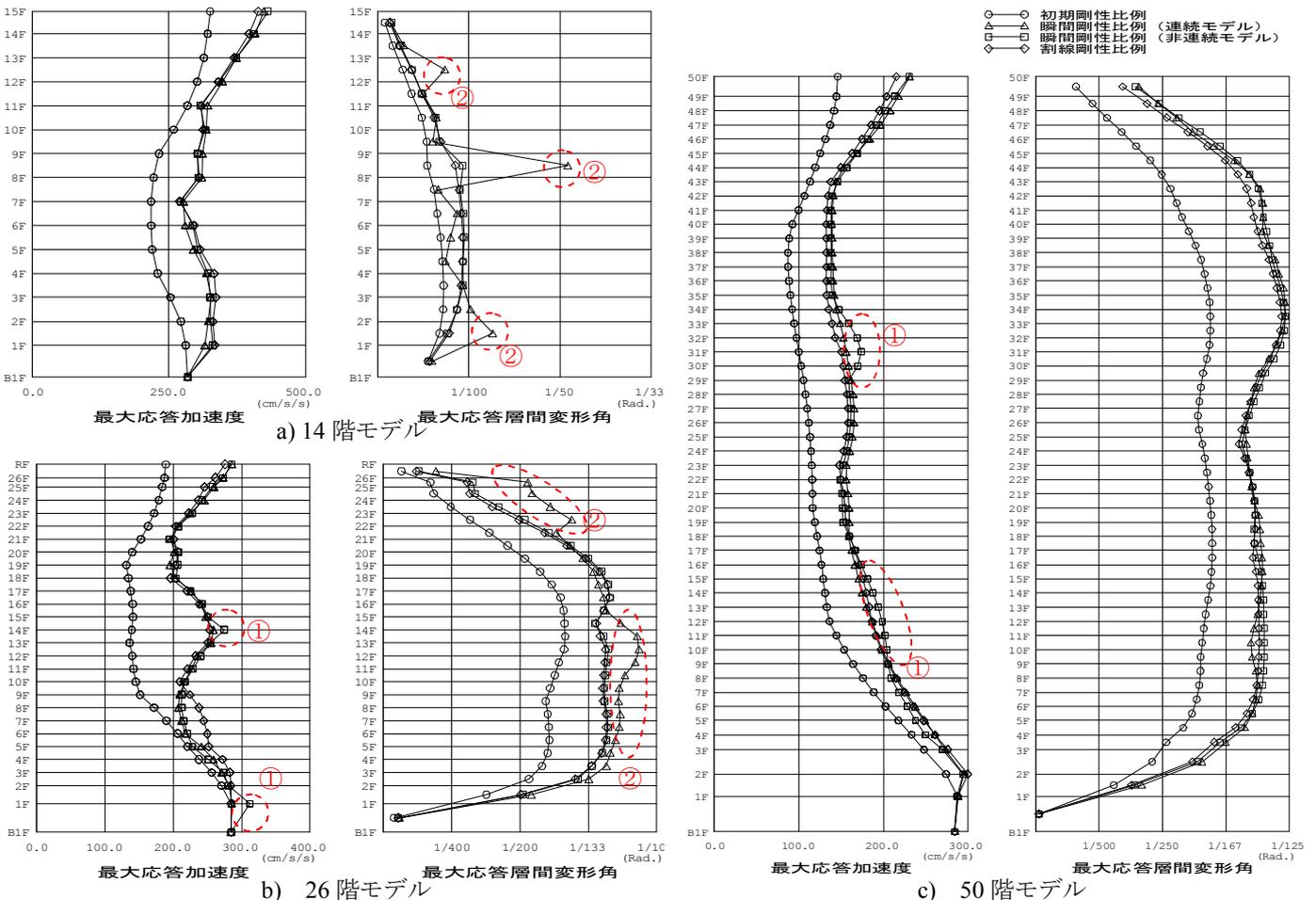
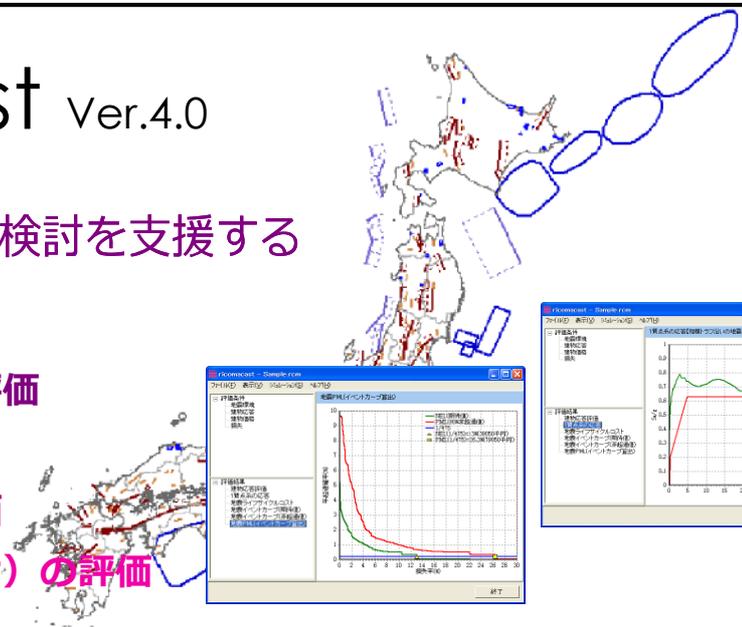


図4 各モデル最大応答値（加速度・層間変形角）

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× A_i 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*1。

[地震情報データベース]

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

*1 国土地理院刊行の数値地図250000（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。建物の耐カスペクトルは、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。

[耐カスペクトルの設定方法]

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

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 非構造部材（加速度依存）
- 壁・ブレース構造 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

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。

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インストールには管理者権限が必要です

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-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(2008年度版)

※2 地震ハザードステーション(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〉

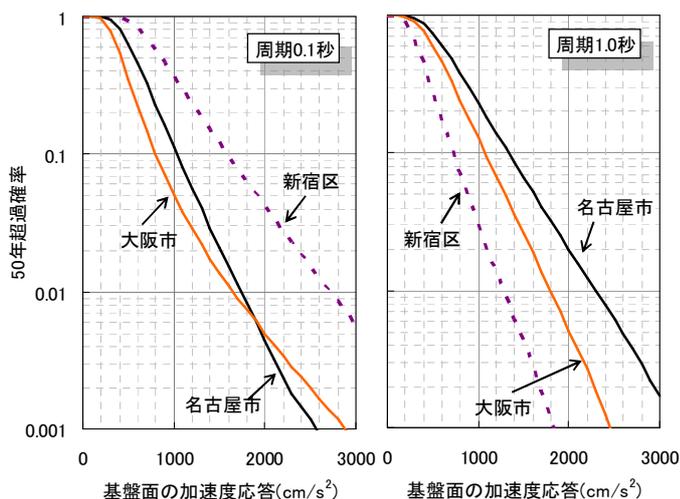
表層地盤増幅率

- 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

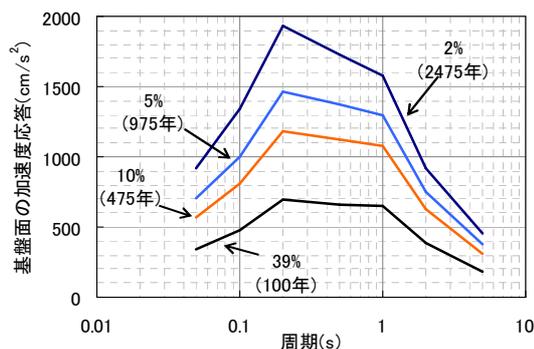
- 地震動の予測に用いた距離減衰式: Kanno et al.(2006)
- 評価基準日: 2008年1月1日

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

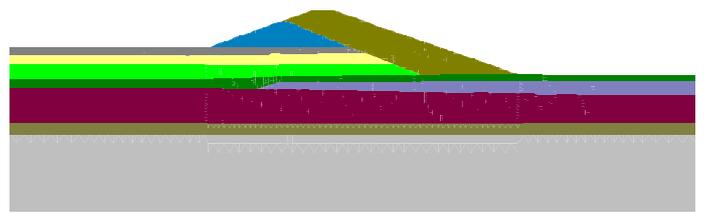
液状化問題に対するソリューション

株式会社 構造計画研究所

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。

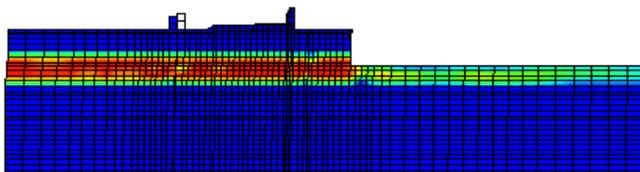
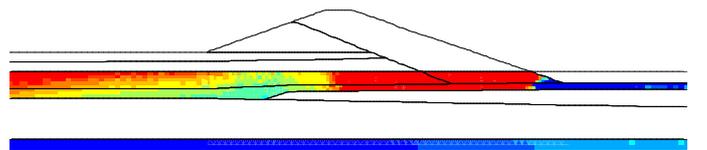
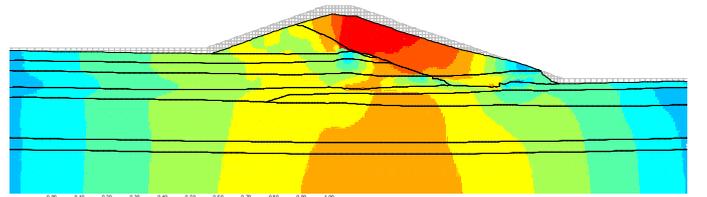
また、住宅地、工場敷地内の地盤が液状化することにより、地盤沈下、インフラとして重要な地中構造物の破損、工場施設の破損などを引き起こし住民生活、事業継続に対して大きな被害が生じます。これら防災対策の検討を行う上で、地盤と構造物をともに考慮した解析モデルによる有効応力非線形解析が有効です。

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こんできております。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。

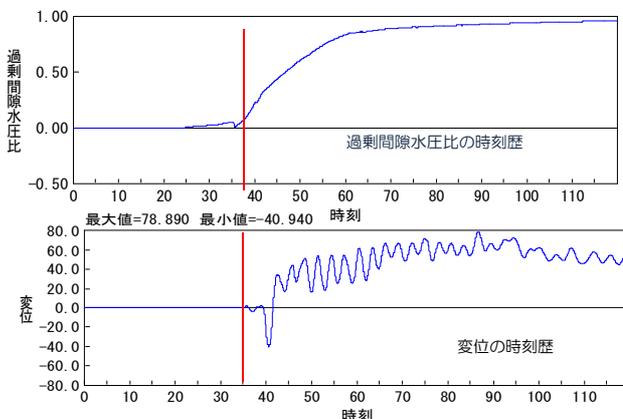
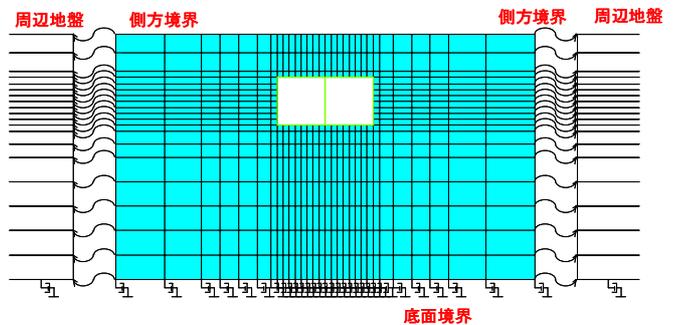


 : 液状化対象層

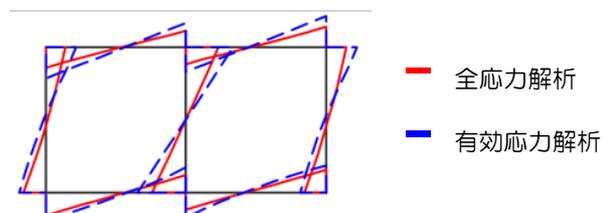
| |
|---------|
| 新盛土 |
| 旧盛土 |
| 沖積粘性土 1 |
| 沖積砂質土 1 |
| 沖積砂質土 2 |
| 沖積砂質土 3 |
| 沖積砂質土 4 |
| 沖積粘性土 2 |
| 沖積粘性土 3 |
| 地盤改良 |



過剰間隙水圧比コンタ図



海岸付近の地盤における液状化検討事例



モーメント図

地中構造物の耐震性に関する検討事例



二次元有限要素法の統合解析システム

FRONT for Windows

FRONT for Windowsは、地盤に関する様々な変化を予測する統合解析システムです。

●特長●

- 1) 二次元有限要素モデルの作成～解析～結果の図化を Windows 上で容易に行うことができます。
- 2) 必要な機能のプログラムを組み合わせることで導入できます。
- 3) 有限要素法による静的・動的解析
掘削・盛土などの施工過程を考慮した地盤の安定問題
地盤と構造物の相互作用を考慮した動的挙動解析
交通や機械などから発生する振動の影響評価解析

●構成プログラムの紹介●

■ 有限要素モデルの作成プログラム

—— F-Mesh for Windows Ver.1.1

二次元有限要素モデルを作成することができます。DXF 形式の CAD データより、形状をインポートすることもできます。

■ 地盤の掘削・盛土を考慮した静的解析プログラム

—— EXAP for Windows Ver.1.2

建物基礎、地下構造物、トンネルの掘削工事に伴う周辺地盤の挙動を解析することが可能です。

■ 地盤・構造物連成系の動的解析プログラム

—— SuperFLUSH/2D for Windows Ver.5.3

杭基礎建物、地中構造物、ダムなど、地盤・構造物連成系の動的解析を行います。地震応答解析、地震時安定解析の他、機械振動、交通振動による応答解析も可能です。

■ すべり安全率・すべり変形量の算出プログラム

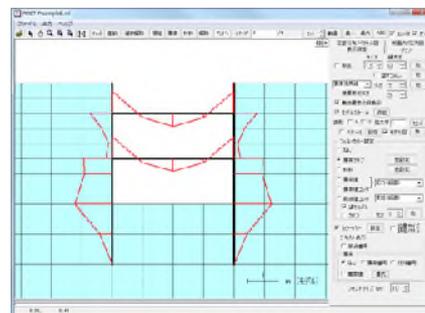
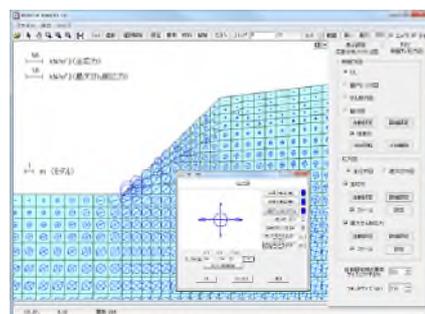
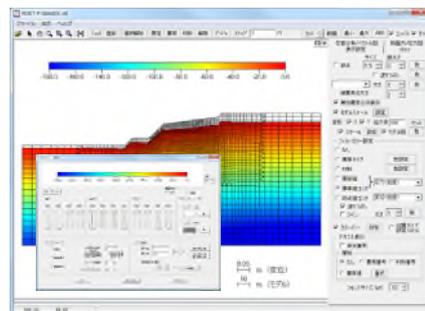
—— POST-S for Windows Ver.1.1

斜面の安定解析を行います。渡辺・馬場の方法による残留すべり計算にも対応しています（オプション機能）。

■ 解析結果図化プログラム

—— POST-P for Windows Ver.2.1

変形図、主応力図、断面力図の作成を行います。応答値のコンタ図表示、動画再生が可能です。FRONT システムのプログラム以外の解析結果も図化を行うことができます。



■WindowsはMicrosoft Corporationの登録商標です。

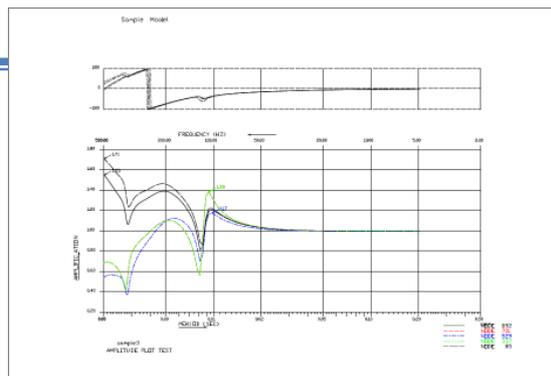
■SuperFLUSH/2D for Windowsは(株)構造計画研究所と(株)地震工学研究所の共同開発商品です。

POST-P オプション追加 (予定)

以前弊社より EWS 版 SuperFLUSH/2D のポスト処理として販売しておりました SFPOST1 を Windows 上に移植し POST-P のオプションとして販売いたします。

このオプションでは伝達関数、応答スペクトル、フーリエスペクトル、時刻歴波形、最大応答の図化に対応しています。

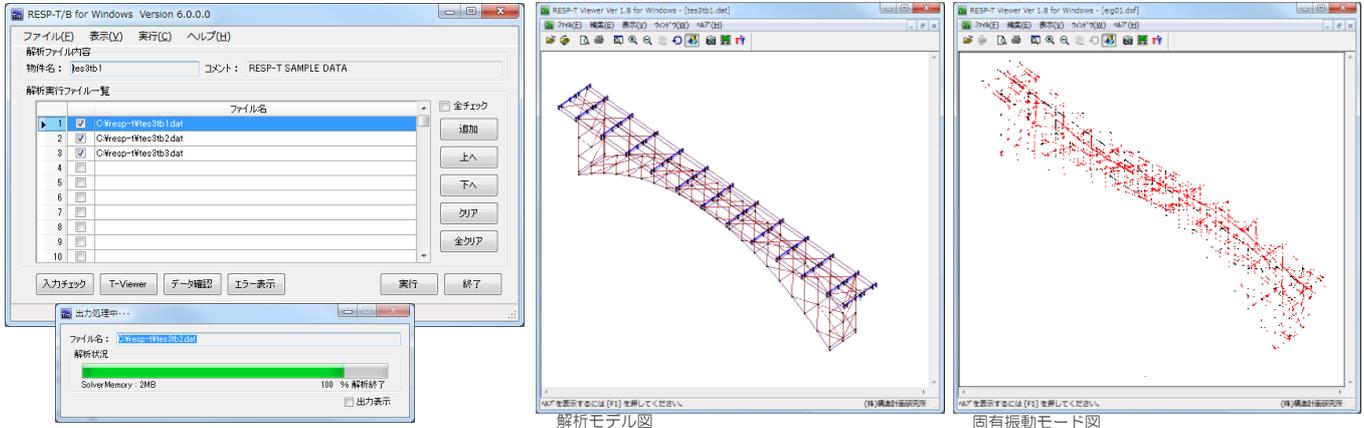
- ✓ DXF 形式ファイルの出力
- ✓ 大量のデータの一括処理



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⁽¹⁾(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)、座風固有値解析
* (1)荷重増分と強制変位の同時作用が可

要素

トラス要素⁽¹⁾⁽²⁾、ビーム要素⁽¹⁾⁽²⁾、材軸直交分割要素⁽¹⁾⁽²⁾、パネ要素⁽²⁾、剛域付き4点支持パネ要素⁽²⁾、剛域付き2点支持パネ要素⁽²⁾、MSS要素⁽²⁾、平面ひずみ要素⁽¹⁾⁽²⁾、平面応力要素⁽¹⁾⁽²⁾、板要素、減衰要素⁽²⁾、剛域付き4点支持減衰要素⁽²⁾、剛域付き2点支持減衰要素⁽²⁾、Maxwell要素⁽²⁾
* (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⁽¹⁾、JR総研SRC型⁽¹⁾、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⁽¹⁾、原点指向型テトラリニア⁽¹⁾、最大点指向型テトラリニア⁽¹⁾
* (1)最終勾配負考慮可

特殊復元力特性

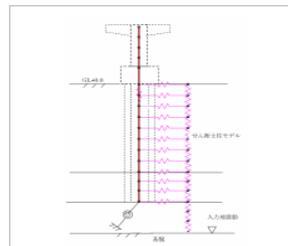
D-Tri型、ひび割れ域剛性低減型、バイリニアスリップ型、D-Tri(電共研案)型、3次関数逆行型、歪み依存型バイリニア型、高減衰積層ゴム修正バイリニア型、Ramberg-Osgood(hardning考慮)型、(株)ブリジストン鉛入り積層ゴム型、東洋ゴム(株)HDR型修正バイリニア型、新日鐵(株)鋼棒ダンパー関数近似型、新日鐵(株)鋼棒ダンパーバイリニア型、5社共通仕様新LRB型、新日鐵U型ダンパー(関数定義式)型、ゴム支承トリリニア、オイレ工業(株)BMRダンパー型

復元力特性(減衰)

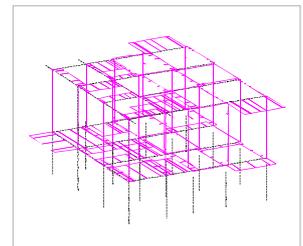
変位依存マルチリニア逆行型、変位依存3次関数逆行型、制震壁(オイレ)型、速度依存バイリニア逆行型、速度依存トリリニア逆行型

◆ 解析コンサルティングも行っております。

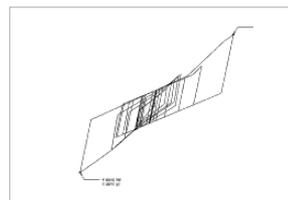
<http://www.kke.co.jp/respt/>



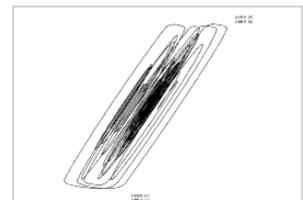
上部構造—基礎—一体モデル
(動的相互作用考慮)



不整形ラーメン高架橋解析モデル
(ねじりモーメント図)



免震ループ図(歪み依存特性考慮)



ダンパー履歴図(MAXWELL履歴)

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



DARS

バージョンアップ 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 windows open. On the left, a 3D model of a truss bridge is shown. In the center, a 3D model of a composite structure is visible. On the right, a window shows a cross-section of a composite structure with dimensions. Below these, a window displays a table of material properties and a graph of load-displacement curves.

| 断面種別 | Steel形状 | 寸法 | 板厚 | 幅 | 長さ | 重量 | 本数 | 補綴材 |
|---------|---------|----|----|------|-----|-----|----|-----|
| 圧縮側フランジ | GSSteel | | 32 | 2700 | 175 | 4.0 | 1 | |
| 引張側フランジ | GSSteel | | 32 | 2350 | 0 | 4.0 | 1 | |
| ウェブ | GSSteel | | 25 | 1186 | 0 | 0 | 1 | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | 幅 | 高さ | 重量 |
|-------|-------|----|---------|---------|----|
| Steel | Steel | | 2000000 | 2000000 | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |
| Fc30 | Fc30 | | | | |

| 材料種別 | 材料種別 | 寸法 | |
|------|------|----|--|
|------|------|----|--|

汎用の非線形有限要素法解析プログラム

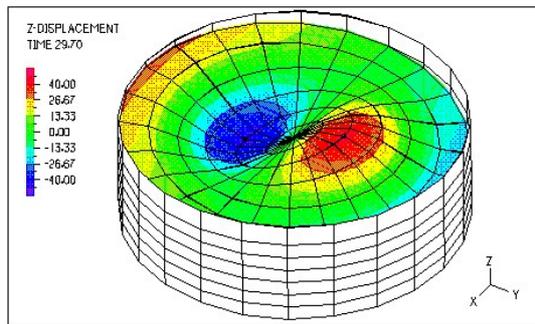
ADINA

特徴

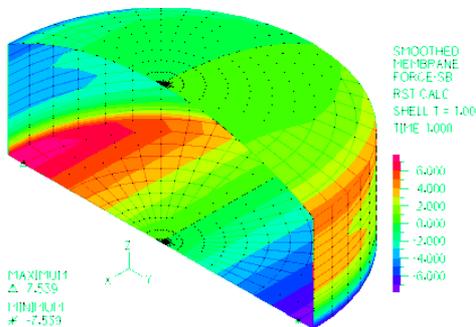
ADINA は、マサチューセッツ工科大学の研究成果を反映し ADINA R&D 社が開発した代表的な汎用の構造・熱伝導・熱流動解析プログラムです。非定常・非線形挙動を高精度な計算機能で解くことが可能です。 弊社ではプログラム販売の他、解析コンサルティング・サービスもご提供しております。

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



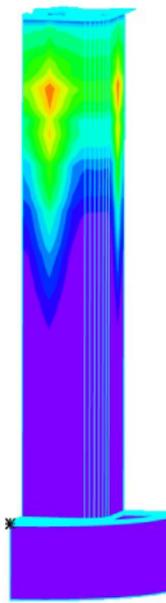
タンク壁面：断面力分布

■スロッシング解析のポイント

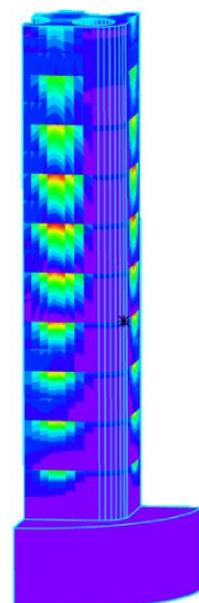
- ・構造と流体の相互作用解析
- ・タンクはシェル要素、流体は流体要素
- ・地震入力による動的応答解析
- ・スロッシング波高やタンク応力の算定
- ・浮き屋根の有無による差異の検討

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。

災害時の対応・評価ソリューション

災害時において、インフラシステムは早急な復旧が求められることから、被災状況の確認、影響度の把握、対策の検討、無駄のないスケジューリングが必要となります。日常業務で蓄積されたデータを最大限に活用したシステム化により被災状況の把握～災害時の対策検討・実施を効率的に行うことができます。

目視点検のIT化やモニタリング技術により、被災状況をいち早く把握します。

▼画像処理による目視点検の高度化



ガードレールの劣化検知



送電線の劣化によるむくみ検知

▼日常の点検・修復業務



WEBサイトから被災状況把握に必要な情報を収集します。

▼他機関サーバ(Webサイト等)



【他機関サーバの例】
・防災科学技術研究所 (K-NET)
・気象庁

準リアルタイム自然災害データ

▼情報の一元管理

点検・修繕履歴データの蓄積
保有施設データ

データ収集

kkeonsite

一元管理された施設情報を活用して各種施設の被災状況を推定し、災害時の影響予測を行います。

被害推定

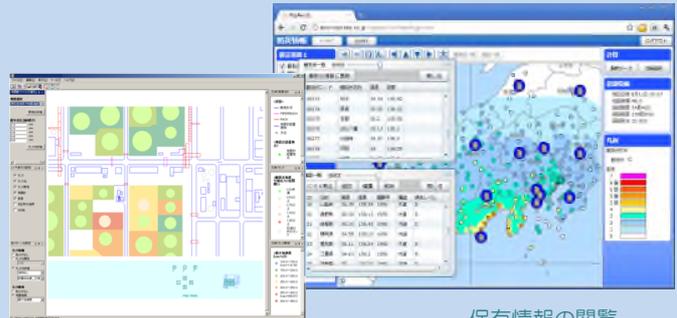
データ収集機能

データ管理機能

災害ハザード評価機能

マッピング機能

▼影響波及予測&視覚化



防災情報ナビ

保有情報の閲覧
履歴情報の閲覧
災害ハザード情報の閲覧

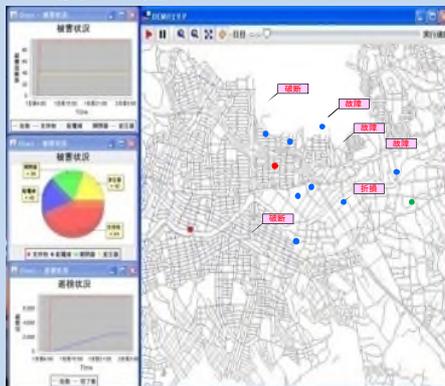
対策検討・評価



- ・復旧スケジュールの検討
- ・要員配置の検討

応急復旧時間の算出
復旧過程の評価
スケジュールの妥当性の評価

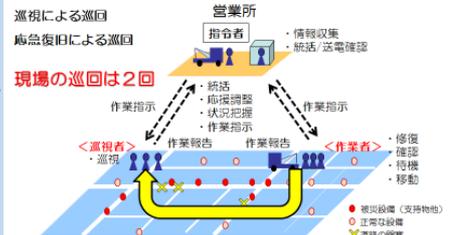
▼復旧過程のシミュレーション



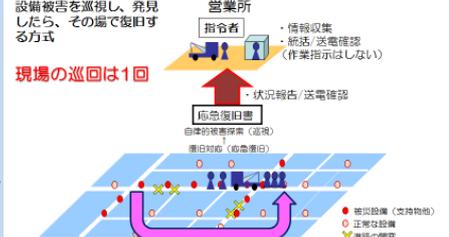
設備の被害推定箇所

どのような状況のときにどのような復旧戦略、要員配置、スケジュールが妥当かを評価します。

巡視後復旧作業方式



巡視・復旧作業並行復旧方式



ptv vision

PTV Visionは、**マイクロシミュレータ VISSIM**、**マクロシミュレータ VISUM**からなる統合型交通モデリングプラットフォームです。**VISUM**では広域ネットワークのモデリング、四段階推定法などの**需要予測モデリング**の多様なサポート機能を備えております。また**VISSIM**では**VISUM**で決定した交通量配分をベースに、より精密なマイクロシミュレーションを行うことで、**歩行者やモード間の相互作用の考慮、レーン分岐、合流部の安全性検証**や、**インタラクティブな交通制御による高度道路交通システムの検証**などを行うことが可能です。

VISSIM

マイクロシミュレータ

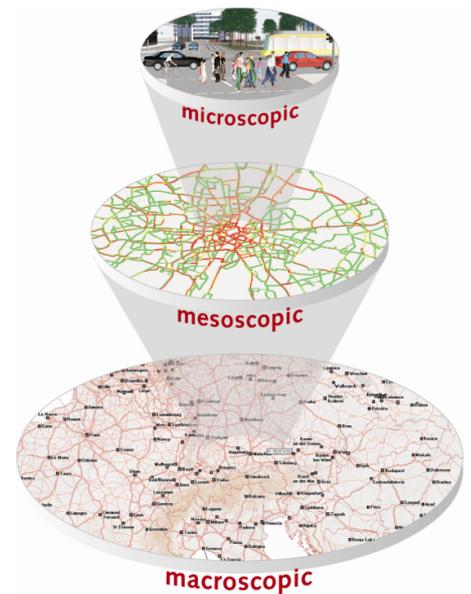
- > 歩行者シミュレーション
- > モード間インタラクション
- > レーン分岐・合流部モデリング
- > 交通信号モデリング
- > 3Dアニメーション
- > CO2排出量評価



実交通流シミュレーション



交通量配分



VISUM

マクロシミュレータ

- > ネットワークモデリング
- > グラフィカルエディタ
- > GIS統合プラットフォーム
- > ネットワーク分析・最適化
- > 需要予測(四段階推定法など)
- > フレキシブルなゾーン定義
- > トリップチェーンモデリング
- > 多彩な手段選択モデル
- > 多種・最新の配分アルゴリズム
- > 交通量配分量の多彩な分析機能



構造計画研究所では、VISSIM、VISUMの販売のほか、アンケート調査の設計・実施から需要予測モデリングのコンサルティング、マイクロ交通流モデリングのコンサルティングなど、トータルな交通ソリューションを提供しています。

※VISSIM、VISUMは独PTV社で開発・販売され、世界90カ国、2500を超えるユーザー様にご利用いただいております

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、ヘアサロンで美容師さんと東北地方太平洋沖地震やその余震が起こった時の話をしていた際に「地震の揺れを感じた段階で、何となくその地震がどれくらい離れた場所で起こったどれくらいの規模の地震なのか分かるから…」という話をしたら、とても驚かれました。皆さん興味津々で周りの方からも質問をされ、私も私で驚きました。現在、私は主に地震動を解析するお仕事をさせて頂いています。そして、個人的には専門的すぎるかもしれない地震の知識や技術をどうやったらもっと社会や人に繋げていけるか?ということにも興味があります。最近、科学コミュニケーションの勉強も始めました。この解析雑誌の編集に関わることも私にとっては良い勉強です。

防災ソリューション部 地震工学室 田島礼子

広島カープファンに、この時期が再びめぐってきました。我らが4番打者のFA権取得。行使するのかしないのか、移籍するのかとどまるのか。生まれた瞬間からカープファンであり、幼い頃から何度もその背中を見送ってきた私の心の中では、あきらめの境地と、この選手ならもしかして・・・という儂い希望がせめぎあいます。貧乏球団であるがゆえに、そしてプロスポーツ界である以上これは覆せない宿命なのか、せめて生きているうちに、一度でいいので優勝してほしい・・・昔は何度選手が去ってもピュアな気持ちで応援していましたが、世俗に染まった今では、プロスポーツチームを応援する意義すら見失いそうです。しかしもはやカープ以外愛せないのも事実。もし栗原選手が移籍する場合は、心の傷をいやすため1日有給を取得する予定です。

(※この文章は11月上旬に書かれたものです)

耐震技術部 施設耐震室 山内春絵

「あの頃おの未来にい僕らは立あっているのかなあ〜♪」

今年も日本各所で局所的集中豪雨に見舞われました。私は大学で河川工学を専攻していたのですが、学部4年生の秋、洪水被害をうけ激特事業に採択された河川の護岸模型を作成するというお仕事がありました。4人で約1か月を費やした模型は約1m×6mと大型です。「コンサルが同じ模型をつくと10倍費用がかかる」と聞いた時には、その額に目玉が飛び出ました。お金貰うってことはそれだけ“質”の高い模型になるんだろう、学生とはきっとポテンシャルが違うんだろう、しかし人件費って高いんだなー。と、当時は別世界(社会)に思いを巡らせていました。社会人歴8か月の新人のわたしですが、本誌をはじめ、さまざまなものにふれることで“質”を磨いていけたらと思います。

防災・環境部 地盤・構造室 上野あやな



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

(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.27 2011.12*

発行日 平成23年12月1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