

解析雑誌

Vol.28 2012.3

Topics

【セミナー開催報告】

- KKE VISION NAGOYA
～スマートシティと未来のモビリティ～
- 第16回震災対策技術展
～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～

【震災後1年 特集】

- 特別寄稿
- 構造計画研究所の震災対策技術

【解析事例紹介】

- 粒子法による矩形水槽のスロッシング解析
- 極限平衡法による斜面安定解析
- 1class-SVM による回転機械の振動データからの異常検知

Technical Reports

- シミュレーション技術を用いた施設の
地震リスク評価による意思決定支援

Journal of Analytical Engineering

1 年を振り返って

㈱構造計画研究所
取締役 常務執行役員
澤飯 明広

昨年の3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震から、早一年が過ぎました。この一年は、地震発生の考え方の変化、首都直下、東海、東南海、南海地震を含めた各地での地震規模の見直し、津波被害の対応、防災・減災のあり方、特に、情報伝達と危機管理のあり方、そして原子力発電の存廃を含めたエネルギー施策など、さまざまな議論が取り交わされてきました。特に、原子力発電の存廃には、環境問題や安定的なエネルギー供給問題と合わせて世界的な議論となっています。

一方で、被災地域での復旧、復興については、中央政府や被災地行政体、学会なども含めていろいろな場で議論され、復興計画が示されています。一年たった今、ガレキ処理は未だ十分ではありませんが、政府の第3次復興費用や2012年度予算案など、これを執行する復興庁が動き出したところであり、ようやく復興への一步を踏み出せる機会提供が整ってきたと言えます。

弊社においては、防災・減災への取り組みの観点から、関係する技術・研究開発についての学会等での発表はもちろんのこと、KKE VISION 2011での講演会における「安心・安全社会の構築」・「復興と未来の都市インフラ」と題したセッションや基調講演開催のほか、各種技術セミナーの開催、展示会等を通じ、防災・減災対策の取り組みや課題、各種ソリューションの紹介を行ってきました。このうち各種研究・技術開発の内容は、本誌刊行以来継続して紹介して参りましたが、この度、震災から一年を機に、弊社の防災・減災に関する各ソリューションについてのアニメーションなど、コンテンツを取りまとめて、3月12日に「復興支援サイト」を開設しました。更に、弊社の技術開発の実証の場として建設した世界初の3次元免震建物「知幹館」についても、エネルギーモニタリングの状況を含めて、随時見学会を行っています。

このような活動を通じて、弊社は防災・減災に関し、これまで種々のソリューションを提供してきましたが、これらの技術は日進月歩であり、また、IT環境も大きく発展しています。したがって今後も、これまで実現できなかった有益なソリューションの開発も含めて、継続的に取り組んでいくことが重要であると考えています。特に、IT技術の進展とともにクラウドやスーパーコンピューターを駆使したシミュレーション技術の高度化、リアルタイム地震情報や被災の見える化、災害情報のあり方など、観測・通信技術を最大限に生かす技術開発に取り組み、安全・安心な社会の構築に貢献していく所存です。

上記の背景から、今回は震災後一年の特集として、建築・建設関連の著名な研究者である東京工業大学 和田章名誉教授、九州大学 大塚久哲教授のお二方に寄稿いただきました。これまでの取り組みや今後の方向性を考える機会となれば幸いです。

構造計画研究所は、今後も「学会と実業界をブリッジする総合エンジニアリング企業」として、防災・減災技術による安全・安心な社会の構築を1つのテーマとして取り組んでいくとともに、エネルギー問題に代表される環境技術についても、積極的に取り組んでいく所存です。今後とも、私たちの取り組みをご理解いただき、これまで以上の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.28 2012.3

巻頭言	1年を振り返って	取締役 常務執行役員 澤飯 明広	02
------------	----------	------------------	----

Topic 1

●	「KKE Vision NAGOYA –スマートシティと未来のモビリティ–」	開催報告	04
---	--	------	----

Topic 2

●	第16回震災対策技術展／第3回振動技術展	出展報告	05
---	----------------------	------	----

Topic 3

●	News Release「ボーイング社との戦略的パートナーシップを発表」		06
---	--------------------------------------	--	----

Topic 4

●	News Release「東京都 帰宅困難者対策訓練にて Remoto Guideware を活用」		07
---	--	--	----

Topic 5

●	News Release「交通シミュレーションソフトウェアの独 PTV 社との日本市場での販売提携」		08
---	--	--	----

Topic 6

●	震災後1年 特別寄稿「Think before type」	和田 章氏	10
---	-------------------------------	-------	----

Topic 7

●	震災後1年 特別寄稿「東日本大震災を経験して考える日本の将来」	大塚 久哲氏	11
---	---------------------------------	--------	----

Topic 8

●	震災後1年 特集「構造計画研究所の震災対策技術」		14
---	--------------------------	--	----

Topic 9

●	極限平衡法による斜面安定解析		24
---	----------------	--	----

Topic 10

●	粒子法による矩形水槽のスロッシング解析		28
---	---------------------	--	----

Topic 11

●	1class-SVMによる回転機械の振動データからの異常検知		32
---	--------------------------------	--	----

Technical Report 1

●	シミュレーション技術を用いた施設の地震リスク評価による意思決定支援		36
	村地 由子、坪田 正紀		

Editor's Note

●	From Editors		51
---	--------------	--	----

「KKE Vision NAGOYA スマートシティと未来のモビリティ」 開催報告

～ 中部営業所 開設20周年記念 ～



プライベートイベント「KKE Vision NAGOYA スマートシティと未来のモビリティ」を2月21日(火)、名古屋観光ホテルにて開催いたしました。

KKE Vision 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開催してきました。

このたび、中部営業所 開設 20 周年を記念いたしまして、このイベントを初めて名古屋にて開催いたしました。

今回は、2011年10月12日～14日に東京で開催しました「KKE Vision 2011 - 発信、工学知-」において、特に好評でした環境と交通をテーマに東京大学の西成教授や、日経BP社の望月氏など著名な講師の方々にご登壇いただき、最新の研究成果や活動についてご講演いただきました。

■ 開催概要

- ・ 日時：2012年2月21日(火)
- ・ 会場：名古屋観光ホテル

■ お申込み者数：426名

■ プログラム

スマートモビリティの実現に向けて【基調講演】
東京大学 先端科学技術研究センター 西成 活浩 氏
交通と物流の最適化による世界のまちづくり～PTV - Moving people & goods worldwide～
PTV社(ドイツ) CEO Vincent Kobesen 氏
社会シミュレーションの現在～要素還元法から複雑系シミュレーションへ
構造計画研究所 CEO/社会デザイン・マーケティング部長 服部 正太
スマートシティの事業化に向けた課題と方策
日経BP クリーンテック研究所 所長 望月 洋介氏



■ 名古屋でのセミナー・イベントについてのご案内

弊社では、各分野別ソリューション及びサービスに関するセミナーを名古屋地区でも開催しております。こちらもぜひご活用下さい。

セミナー・イベントについてのご案内ページはこちら → <http://www.kke.co.jp/kvn/followup/>

第16回震災対策技術展／第3回振動技術展 出展報告

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
 - 津波避難シミュレーション
 - 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
 - 復旧作業遠隔支援ツール
 - 耐震診断・3次元免震
- 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ニタリング
～構造同定問題、環境振動問題、疲労劣化、損傷劣化問題への適用～

■出展のご報告

第16回震災対策技術展

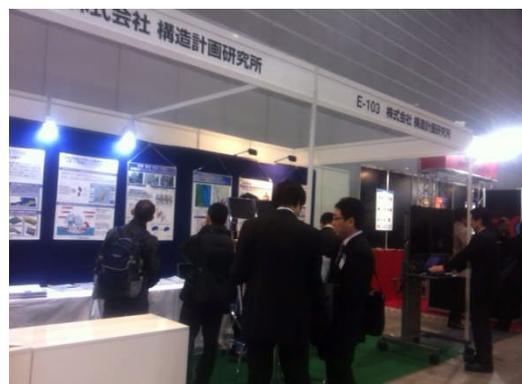
会 期	2012年2月2日(木)～3日(金)
会 場	パシフィコ横浜／アネックスホール
主 催	「震災対策技術展」実行委員会
セミナー	地域性を考慮した経済的な耐震・補強対策とBCP策定のための災害リスク評価について 防災ソリューション部 建築構造室室長 梁川幸盛 防災ソリューション部 災害リスクマネジメント室室長 坪田正紀

第3回振動技術展

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	「振動技術展」実行委員会
セミナー	未来に向けた構造技術～3次元免震の実用化～ 執行役員 構造設計部長 兼 西日本設計部担当 高橋 治



セミナー風景



展示ブース風景

ボーイング、構造計画研究所との戦略的パートナーシップを発表 ～両社の革新的なモデリング&シミュレーションによる災害支援へ～

2012年2月10日、ボーイングと株式会社構造計画研究所は戦略的パートナーシップを発表しました。これにより両社は、防災に関する包括的なコンサルティング、および意思決定支援サービスを提供してまいります。

ボーイングの防衛・宇宙・安全保障部門ビジネス・デベロップメント日本担当バイス・プレジデントであるジム アーミントン氏は、「昨年の東日本大震災以降、日本の地方自治体は包括的な地震対策をこれまで以上に必要としています。ボーイングの最先端のモデリング&シミュレーション技術、そして分析能力は、構造計画研究所と補完性を持ち、緊急災害時における防災計画構築に貢献できるものと確信しています」と語りました。

ボーイングのファントム・ワークスでは、防衛計画、軍備体制の分析、運用構想の開発、軍用機評価にモデリング&シミュレーション・ツールを活用しており、日本ではファントム・ワークスの日本先端戦略分析ラボ(JASA:Japan Advanced Strategy Analysis Lab)がモデリング&シミュレーションを展開し、安全保障関連、さらに発展させて重要インフラ保護、防災分野でもモデリングやシミュレーションの専門性を提供していきます。

構造計画研究所は、自然現象や災害対策のコンサルティングに長年取り組み、中でも地震や津波のシミュレーションや被害想定、リスク分析、避難行動のシミュレーションなどにおいて、多くの実績を持っています。

構造計画研究所の代表取締役社長 CEOである服部 正太氏は、「今回の提携で、ボーイングの世界レベルでの防衛や危機管理のノウハウと、日本で培った弊社の防災コンサルティングノウハウを融合することになり、より包括的で付加価値の高いサービスを提供できると考えています」と述べています。

この提携により、需要に対して即対応できる包括的な防災コンサルティングを提供することが可能となります。数百万人を恐怖に陥れる可能性のある非常事態に対するより良い防災計画の構築に向け、両社は今までにないモデリング&シミュレーション技術を日本の顧客に提供してまいります。



「東京都 帰宅困難者対策訓練(2/3開催)」にてRemote Guidewareを活用 ～緊急時のコミュニケーション手段を提供～

2月3日に東京都主催で行われた帰宅困難者対策訓練の会場の1つである池袋駅周辺(豊島区)にて、株式会社構造計画研究所の「Remote Guideware(リモートガイドウェア)」をプラットフォームとしたコミュニケーション・システムが活用されました。

豊島区では、東日本大震災の際に交通機関の停止によって駅周辺に混乱が生じたことを教訓に、区、事業者及び商店会等による情報通信主体の訓練を行い、「Remote Guideware」を評価いただきました。

構造計画研究所は、今後も多くの地域において、駅周辺の混雑状況やライフライン被災状況、各滞在施設の一時受入れ体制の確認など、地方自治体と事業者間での情報伝達・確認手段が益々重要になると考え、災害時に大量の滞留者が発生した場合の情報伝達の有効な方法について、豊島区の協力のもと、実地での検証を続けてきました。

緊急時のコミュニケーションでは、各拠点の状況を迅速にかつ確実に把握することが必要となる一方で、情報の錯綜や混乱を防ぐため会議全体を統制することも必要となります。「Remote Guideware」を導入いただくことで、災害時においても映像やメッセージを通じて遠隔でのコミュニケーションを支援するとともに、各地からあげられた情報をサーバーに自動的に保存することができるようになります。また、このシステムを拡張することで蓄積された過去事例から、緊急時における対応方法についての課題分析にも活用いただくこともできます。

■活用イメージ



■「Remote Guideware」とは

従来のTV会議システムとは異なり、特別な機器を導入することなく、インターネット回線にて普及型のパソコンやスマートフォン端末で、遠隔地の映像や音声をリアルタイムに共有することができます。構造計画研究所では、2010年5月よりこうした取り組みを開始し製品化しております。

交通シミュレーションソフトウェアの独PTV社との日本市場での販売提携 ～都市モビリティの構築にシミュレーションを提案～

株式会社構造計画研究所は、2012年2月1日、交通シミュレーションソフトウェアのリーディングカンパニー、PTV AG(本社：独 カールスルーエ、CEO:Vincent Kobesen)と日本市場における販売契約を締結いたしました。これにより当社では今後、PTV AG製の交通シミュレーションソフトウェア「PTV Visionシリーズ」を日本国内で販売及びサポート致します。

PTV社は、世界90カ国以上に導入実績を持つ交通シミュレーションソフトウェアの開発元であり、大規模な都市開発・交通計画から、より詳細な交通流の検証など様々な課題を解決できるソフトウェアおよびコンサルティングサービスを提供しており、欧州はもちろん北米、中南米、中東など世界中の交通計画にPTV社のソフトウェアが活用されています。

今回の提携で当社が日本で取り扱う製品「PTV Visionシリーズ」は、新規都市開発や将来的なモーダルシフトを考慮した交通計画のための需要予測や、経路ごとの交通量を予測する交通量配分を行う「VISUM」と、高度にモデル化されたマルチエージェントシミュレーションにより自動車、電車を初め、歩行者、自転車の相互影響を考慮することができる「VISSIM」で構成されています。「VISUM」「VISSIM」を組み合わせることで、大規模な都市開発・将来交通計画から詳細な交差点・道路合流形状、施設内動線の設計までトータルなソリューションを提供することができます。



VISSIM による駅構内シミュレーション

当社では現在保有している防災対策ソリューションや避難シミュレーション、災害リスクマネジメント、物流計画の最適化、無線通信シミュレーションなどのビジネスに、新たに交通シミュレーションのソフトウェア販売及びコンサルティングを加え、交通・モビリティを中心とした社会シミュレーションを提供することで、より良い社会デザインの構築に貢献してまいります。

2011年3月の東日本大震災後、いまだに仮設住宅での生活を余儀なくされている被災地の方々が多数おり、被災地の方々の生活を考慮した被災地復興再開が早急に求められます。被災地以外においても首都圏では帰宅困難者問題が取りざたされているほか、4年以内に直下型地震の発生確率が70%という研究結果も公表されています。同様に東海・東南海自身も近い将来高確率で発生すると考えられており、日本全体で災害に強い街づくりが求められます。当社ではこのような今後の街づくりにも役立つサービスを提供できると考えています。

PTV社の交通シミュレーションソフトウェアを当社の技術力と共に提供することで、以下の現象や課題に効果的に取り組むことができると考えています。

- 被災地復興再開に向けた新たな都市交通計画検討
- 災害時の広域避難計画(避難場所・避難経路)、高層ビル・駅などの施設内避難シミュレーション
- パークアンドライド、ロードプライシングなどソフト施策の持続可能性評価
- 無線通信シミュレーション、交通シミュレーションを考慮したITS検証
- 新モビリティ導入時の交通影響の検証、専用レーン設置検討
- 混雑による列車運行遅延・復旧シミュレーション、運行ダイヤ最適化
- EV用充電インフラ設置最適化、CO2排出量・エネルギー消費などを考慮したスマートシティ計画
- ショッピングセンターなど大規模施設設置時の来場者予測と交通計画、駐車場計画、施設内動線計画

その他製品の詳細はホームページからご覧いただけます。

詳細Web: <http://www.kke.co.jp/ptv-vision/>

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

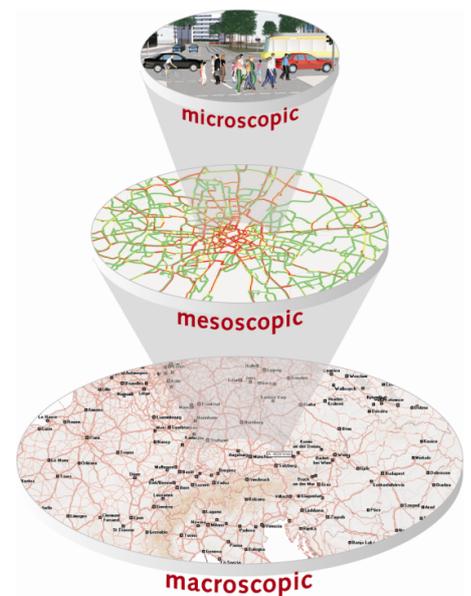
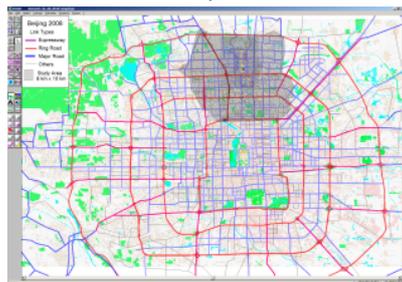
- > 歩行者シミュレーション
- > モード間インタラクション
- > レーン分岐・合流部モデリング
- > 交通信号モデリング
- > 3Dアニメーション
- > CO2排出量評価



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

震災後1年 特別寄稿

Think before type

日本建築学会 会長 / 東京工業大学 名誉教授
和田 章

構造計画研究所を起業された服部 正博士に会ったことのある人は少なくなったと思う。建築の設計界でいち早くコンピュータの導入を決心され実行に踏み切った第一人者であり、1960年代、当時の通商産業省が国産コンピュータ開発を振興していたとき、圧倒的に性能の優れた米国製のIBM1620を輸入するための並大抵でないご苦労は、服部博士の伝記に書かれている。今でも、そうであるが、書類作りのための膨大な構造計算を手計算で進めるのはやりきれない、もっと人間が頭を使うのは別のことだと主張されていた。

1970年に大阪で開かれた万国博覧会のパビリオンが設計されていた頃には、三代目にあたるIBM360が導入されていた。細かな部材を立体格子的に組合せ、この集合で構成した万博スイス館の設計を進めていて、当時の所員が電卓を使って大きな紙の上に無数の節点の座標を書き込んでいたら、当時には既にお酒を飲まない服部博士は水の入ったコップをここに投げつけて、「構研はコンピュータを使って社会に乗り出そうとしているのだ、こんな計算を電卓でやっているとは何事だ」といって怒った。

同じ服部博士は、荷重計算から応力計算、そして配筋計算まで自動的に済ませるソフトを使い、その出力をもとに構造設計図を書いていた所員に、「ところでこの柱の軸力と曲げモーメントは幾つなの」と聞き、即座に答えの無かった所員を怒っていた。力のオーダーも知らずに、構造設計ができるわけがないということである。

建築は人の住む処、その構造設計は一つ一つの部材の設計から全体まで心をこめて行うべきことだが、これにはどうしても大量の計算が必要になる。ただ、この作業をコンピュータに任せているうちに、人間の方がおろそかになってくる。人の指にも脳があるといわれる。指がただの出力装置なら、左手で右手と同じように上手な文字が書けるはずである。人は手を動かしながら賢くなるようにできていることを忘れてはいけない。

さらに、このころプログラムの信憑性を審査機関が審査し、建設大臣がこれに認定を出すことが始められた。これに関する事前の研究会で、服部博士は断固に反対を唱えた。「プログラムの信憑性を人に任せ、ユーザーである構造設計者が自ら判断できないようどうするのだ」という主張であり、今、考えても当たり前のことである。

服部博士には、今でも、どこかから鋭い眼で睨まれているような気持ちがする。突然亡くなられたのは1983年の1月末頃だったと思うが、小生はその前年の元旦に東京工大の助教授になった。着任直後に新宿の事務所にご挨拶に伺ったが、そのときの言葉は今でも忘れない。「マトリックス法の構造理論、ニューマークのβ法などを用いた振動解析理論、この二つが理解できてプログラムが書ければ、普通のエンジニアとして一生生きていけるかも知れない。しかし、君はそんなことではだめだよ、もっと新しいことに取り組みなければ」といわれた。このときの服部博士の歳を10年以上前に通り過ぎたが、まだまだこの域に達することはできない。服部博士の偉大さを皆さんにも知って欲しい。

昨年3月11日に起きた東日本大震災は、科学的知見をもとに工学を進め、人々の住む、そして活動する建築やまちを作ってきた我々に大きな衝撃を与えた。人ごとではない。過去に津波が来たことを知っていて、同じ場所に、家建て、小学校を作ってきた。原子力発電所の破壊は、東京電力だけの責任ではない。大量の電気を使って生活をエンジョイしている何千万の人々がいて、CO2の大量排出による地球温暖化が叫ばれ、エネルギー資源のない日本で、3月11日以前に過去の大きな津波の存在を知らされた関係者が、即座に発電所を停止できなかったことを責めることはできない。

我々工学に関係するものは、科学的想像力を高めることが必要であり、これを社会に説明する責任と、社会を説得できる力が必要である。少なくとも、目の前の仕事で、コンピューターの計算結果を見てから、そのことについて考えを始める人がいたら、今から改めるべきである。入力データを打ち込む前に頭を使って良く考えよう。計算には仮定条件があり、プログラムには論理が組込まれている。コンピュータからこれ以上の答えは期待できない。

人間は何を考えるのも自由である。人間の素晴らしさを満喫して欲しい。

震災後1年 特別寄稿

東日本大震災を経験して考える日本の将来

九州大学 工学研究院 建設デザイン部門教授
大塚 久哲



■東北地方太平洋沖地震発生と津波襲来

2011年3月11日午後2時46分三陸沖を震源とするM9の超大地震が発生し、この地震とその後襲来した津波による死者行方不明者は1万9千人を超えました。まさかの大津波による被災地の惨状を映し出すテレビ映像に驚愕の声があがりました。

過去の三陸津波の経験により15mの防潮堤を築いていた岩手県普代村は津波の越流を免れましたが、10mを越す防潮堤を築いていた宮古市田老地区では越流を阻止できず、平地の街並みはほぼ壊滅しました。岩手県・宮城県・福島県の三県では地形によって被害の形態は異なりますが、海岸地区の惨状はどこも目を覆うほどの凄まじさでした。

■少子高齢化社会における震災復興

被災を受けた地域の復興は11年度第三次補正予算の成立によりようやく端緒についたと報道されています。政府の復興基本方針では、復興財源の確保、農林水産業の集約化・効率化、土地利用規制の見直し、規制緩和の特区創設、エネルギー政策の抜本的見直し、防災から減災へのシフトと防災教育の充実、などをうたっています。これらの方針の実施にあたっては、漁村・農村の過疎化と高齢化に注意が必要でしょう。これまでの災害復興のような現状復帰という発想から、将来の人口動態・経済動向を見据えた再生プランが必要とされています。1993年北海道南西沖地震の津波で甚大な被害が生じた奥尻島青苗地区の復興後の推移をみると、復興事業によっても人口減少に歯止めをかけることは難しく、国土の開発と保全に関してなお一層の柔軟な発想が期待されます。

■交通インフラの復興のこと

今回の地震での道路橋の被害は地震動によるものは少なく、津波による流出がほとんどでした。地震動による被害が少なかったのは1995年の兵庫県南部地震を教訓として、道路橋示方書を改訂し耐震補強を進めたことによるといえます。東北新幹線の被災高架橋は、耐震補強が間に合っていなかったからでしょう。津波による流出が多数発生したことにより、津波に対する橋梁設計が今後、確立することが期待されます。

津波浸水域における避難支援として、筆者は高架道路の整備が有効と考えています。陸前高田市や三陸町志津川地区、気仙沼港湾地域、大槌町など、市街地が広く高台が海岸線から遠い地域には、徒歩の避難者も高架道路に上れるような工夫をして、一人でも多くの人が無事、高台に避難できるようにすることが重要と考えています。

■原発事故における痛恨の全電源喪失

今回、甚大な被害を受けた福島第1原子力発電所では、想定津波高を大幅に超える津波が発電所敷地を襲いました。これによって原子炉建屋周辺の諸施設が流出・冠水・損傷し、機能不全に陥っています。大事故に至る直接的な原因は冷却用非常用電源の機能停止であり、原発事故対策の3原則である「止める・冷やす・閉じ込める」のうち、止めるだけしか行えませんでした。

問題は想定津波高を超える津波が来たときの備えがどれだけ真剣になされていたかだと考えます。後述のように福島原発では、その備えがなかったと言わざるを得ません。

報道等で明らかになっていますように、原発関係の技術者は外部電源が必ず確保されているとの前提で、複雑な原発システムを運用しています。もちろん3重、4重のバックアップ電源を備えていたわけですが、送電鉄塔の崩壊と津波による浸水で、これらの電源システムは簡単に破壊されました。想定津波高を越えたときのことを考えて、バックアップ電源の諸施設をもっと高いところに移すなどの処置をあらかじめ実施しておけば、少なくとも津波に起因する事故は防げたと思われれます。今回の地震の前に改訂されていた原発の耐震基準に対するバックチェックの委員会などで、研究者から想定津波の見直し

の提言などがなされていたという報道に接し、当事者の対応に義憤を禁じ得ません。

原子力発電所などのように一旦事故が起きると、人的・経済的影響が想像を絶するほど広範囲に及ぶ最重要構造物に対しては、想定以上の外力に対する備えを十分にしていく慎重さが求められます。このような事業に関わる人々の災害に対する想像力の欠如は、今回の事故に対する外国の反応を見てもわかるように、国家の信用を失墜させるほどの影響を及ぼすこととなります。この事故で、技術レベル、安全への配慮、行政の仕組み、データ公開などに関して、日本の評価が決定的に低下したことは本当に残念なことです。

このようなことが将来、別の原発や他の自然災害で起きない保証はありません。今後、このような事故は防ぐために、そのような立場の人々に責任を果たさせるべき社会的仕組み作りや法律上の罰則の適用を行うことを痛感します。

■原発事故により脱原発依存社会へ

原発事故発生後、活断層直上に立地し日本で最も危険とされる浜岡原発が運転中止になったほか、定期点検済みの原子力発電所も再開が困難な状況が続き、電力不足が危惧される日本列島となりました。国民の節電意識と産業界の電力需要平滑化などの努力によって今夏の電力不足は何とか凌げました。各種世論調査では大部分の国民が原発に依存しないか依存度を極力小さくした社会を望んでいます。再生可能エネルギーによって必要な電力供給が本当に行えるかを不安視したり、原子力産業の衰退を不安がる人も多くいます。脱原発を達成するための電力供給に関する工程表もいまだ明確にはなっていません。

巷間話題になっている再生可能エネルギーは太陽光・風力・地熱・バイオマスなどありますが、現在のところ微々たる供給量しかありません。再生可能エネルギーによる電力供給の最大シェアは現在のところ水力発電であり、これによる電力供給量の増大が、今後の日本の電力供給量を安定させる上で重要な鍵となると考えています。

■再生可能エネルギーとしての水力発電への期待

資源エネルギー庁による包蔵水力の調査によれば、2007年度の一般水力（混合揚水を除く）発電設備容量は2220万kW、発電電力量は927億kWh/年となっています。総発電電力量を9565億kWh/年（2009年）としますと、その割合は約9.7%です。これに対し工事中・新規水力開発地点による一般水力発電電力量の見込み高は468億kWh/年とされています。しかもこれらはダムに頼らない流込式の割合が多く、ダム等の大型工事を行うことなく、これらの発電量の開発が期待されます。

一方、(社)日本プロジェクト産業協議会の報告書によればダムの弾力的運用・嵩上げ等による発電電力量の見込み高は343億kWh/年とされています。また、(財)新エネルギー財団の報告書によれば既存ダム・水路の未利用落差発電により、発電電力量17億kWh/年が可能とされています。これらの合計値は828億kWh/年となります。

さらに、(財)新エネルギー財団の報告書によれば日本の小水力発電の可能性は大きく、10~100kWのもので出力200万kW程度とされています。1~10kWの発電も同程度の量が期待できるとの見解もあります。仮に、発電容量を400万kWとし、その年間稼働時間を4000時間とすると、発電電力量は160億kWh/年となります。

上記の828億kWh/年と160億kWh/年を足しあわせると約988億kWh/年の総発電量となり、前述の2009年の総発電電力量9565億kWh/年に対する割合は、10.3%となります。このように日本に与えられた数少ないエネルギー資源である水力エネルギーを本気で開発する決意があれば、将来これだけの発電電力量の上乗せが可能となる計算です。大いに期待したいところです。

■震災で国家が没落する？

近い将来必ず起きると言われている地震に首都直下地震と東海・東南海・南海地震（以下、西日本大地震と呼称）があります。（今後30年での発生確率は首都と南海が70%、東海が88%、東南海が60%程度となっています。）

前者は内閣府の中央防災会議が、最大で死者1万人以上、経済被害総額112兆円と想定しています。後者は東海地方から四国地方にかけて起きるプレート境界型の巨大地震で、これの被害想定は、死者2万4千人以上、被害総額81兆円となっています。（最近はこれに日向灘地震と海溝よりの震源域も連動し得るとしてありますので規模と被害はもっと増えることを覚悟しなければなりません。）

ここで、1755年リスボン地震による津波と火災によって、ポルトガルの主要港リスボンとその周辺の工業が壊滅したことを思い出しましょう。この地震により、津波による死者6万人前後の人が死亡したといわれています。大航海時代にはスペインと並ぶ強国だったポルトガルは、この地震を契機に国力が徐々に衰退し、新興国イギリスなどとの競争に負け、250年後の今日まで経済的地位は回復していません。ポルトガルは日本と同じ加工貿易国家であり、主要港リスボンとその周辺の工業が壊滅し、当時のGDPの3~5割が地震により失われて、没落が始まっています。

もし近い将来、首都直下地震と西日本大地震が相次いで起こったとしたら、その被害総額は前述の数値を足し合わせて193兆円になります。この額は2011年の名目GDPの予測値470兆円の4割に達します。日本の没落を現実のものにしないために、早急に将来の大地震に備えなければなりません。

■国民に愛される公共事業を

公共事業の多くは住民の希望によって実現されています。高速道路や新幹線、港湾や空港など、これらの多くは地域住民の希望によって実現してきました。ところが地域住民の利益に直接には結びつかない、例えば、ダムや発電所や下水処理施設などは地元が忌避するいわば迷惑施設なのではないでしょうか。わが国土に与えられたほとんど唯一の天然資源であります水力発電を活用しようという声が、現在の状況にあっても、大きく湧きあがってこない理由の一つとして、このような認識が必要です。

食物の世界では昔から地産地消という言葉がありますが、今後は、地元が活用（消費）できる形での水力発電形態を考えていくなどの工夫を行って地産地消型の発電を実現し、豊富な包蔵水力を活用していくことが、これからの日本がとるべきエネルギー政策であることを思うとき、国民に愛される公共事業のやり方をこの震災を機に真剣に考え直すことも肝要です。

震災後1年 特集:構造計画研究所の震災対策技術

1. 構造物の耐震対策

地震に耐える建築・土木構造物の実現

東日本大震災では、津波による被害の他、地震の揺れによる被害も多く発生しました。地震に“強い”構造物実現のために私たちの技術がきつとお役に立てると信じています。

既存不適格建築物の耐震化

昭和56年に改正された建築基準法(新耐震設計法)以前の旧耐震基準により設計された建物は「阪神・淡路大震災」、「東日本大震災」において大きな被害を受けました。私たちは耐震診断はもちろん、各種工法による補強設計も行っています。

- ・耐震壁の増設による補強
- ・外付け鉄鋼ブレースによる補強
- ・制振装置（オイルダンパー）による補強
- ・補強間柱による補強



補強前



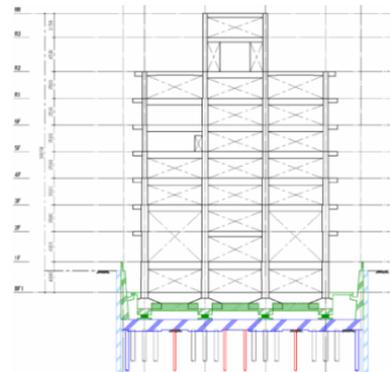
制振装置（オイルダンパー）による補強例
会津田島合同庁舎

防災拠点施設の耐震性能向上

震災時には防災拠点となる施設にはより高度な耐震性能が求められます。このような建物は、例えば免震構造とすることで、その耐震性を飛躍的に向上させることができます。私たちは新築の免震建物を多数設計してきました。これらの経験で培った技術を既存建物の免震化（免震レトロフィット）でも活用しています。

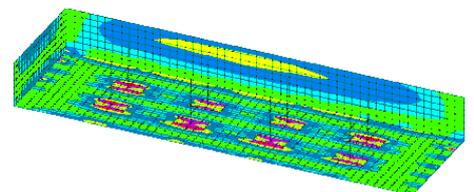


高知県庁本館 免震レトロフィット



施設構造物の耐震化

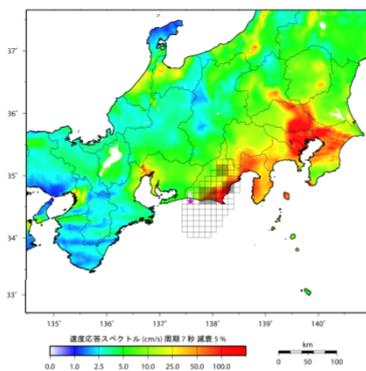
土木構造物の耐震性、あるいは地盤と構造物の動的問題をFEM、DEM、粒子法などを駆使して解決いたします。東日本大震災で大きな被害を受けた堤防、水門等の河川構造物、防波堤等の港湾構造物、上下水道施設等の耐震性の評価に役立てると考えます。



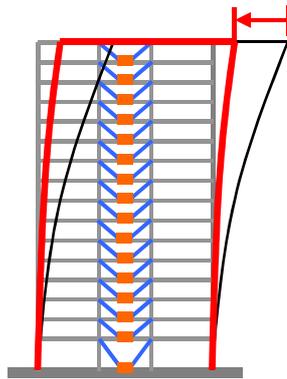
池状構造物の解析例（水道施設）

長周期地震動対策(T-RESPO構法)

東日本大震災で発生した長周期成分の地震動により、超高層建物は大きく揺れる結果となりました。こうした長周期地震動の揺れを抑えるにはオイルダンパーで地震エネルギーを吸収する「T-RESPO構法」が有効であると考えます。



周期10秒の揺れの分布予測
(地震調査研究推進本部 地震調査委員会)



間柱タイプ



ブレースタイプ

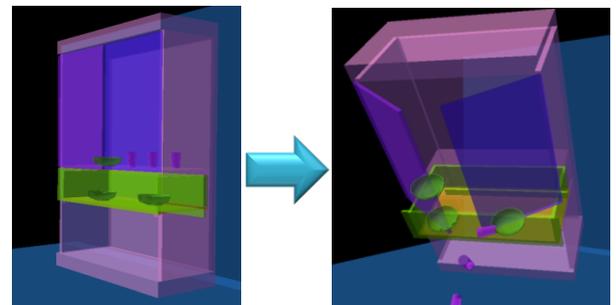
※「T-RESPO構法」は株式会社構造計画研究所、大成建設株式会社、カヤバシステムマシナリー株式会社の共同開発です。

屋内安全性評価

東日本大震災では、建物を壊すほどの揺れでなくとも、屋内の家具・什器、あるいは、多数の商品等が転倒したり、落下したりすることで、甚大な人的・物的被害が発生することが改めて認識されました。私たちは、オフィス・住宅・工場等の屋内に設置されている物の地震時の挙動をシミュレーションし、地震時の屋内の様子や物の転倒や移動量を評価することで、防災対策やBCPを考える上での材料となる知見を提供します。



超高層建物上階のオフィスにおける地震時の家具の挙動評価
(東京工業大学翠川研究室との共同研究)



収納棚の転倒解析

液状化対策

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の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、および対策工事による効果を検討することが重要です。



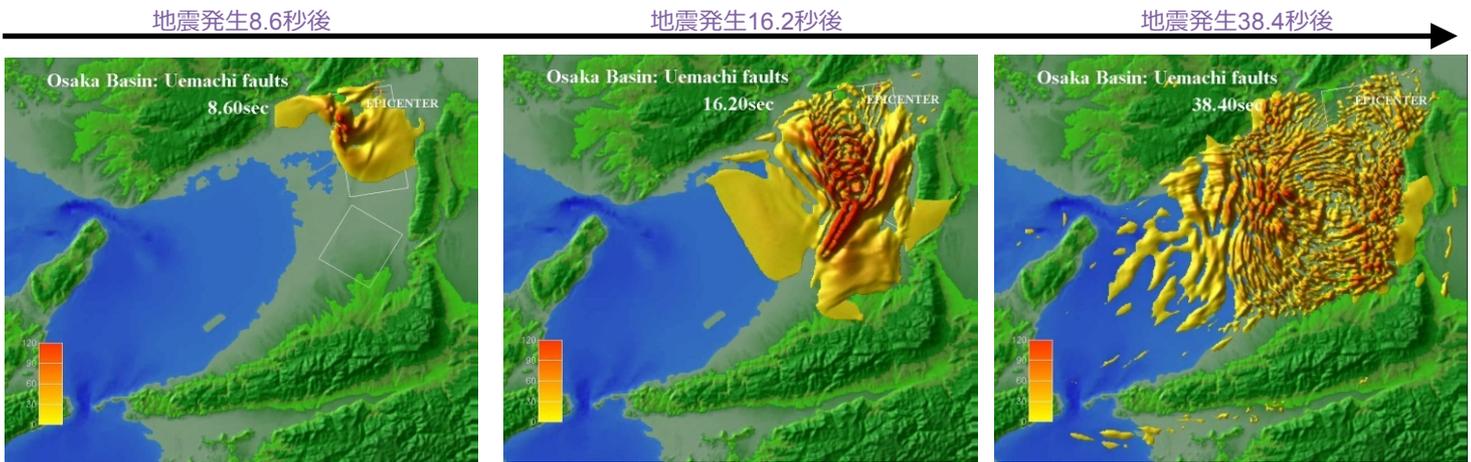
2. 自然災害シミュレーション

自然災害を事前に予測する

東日本大震災においては、これまでの常識、情報、経験から事前対策を行っていたものの、準備が不十分であったと思われる場面が多くみられました。しかし今後発生する自然災害については、シミュレーション技術を用いることで、自然現象をより詳細に事前検討しておき、被害を軽減するための具体的な対策に役立てることが可能です。

地震発生時の波動伝播

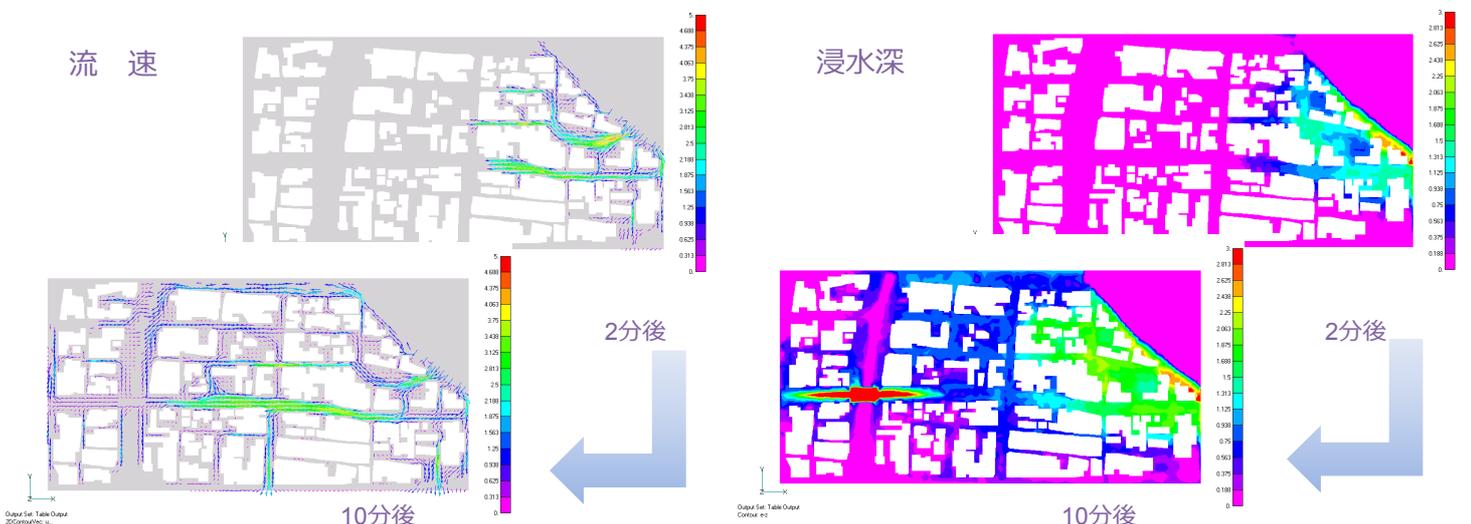
保有している施設、建物、エリアなどが、地震が発生した場合にどの程度の大きさの、どのような特性を持った揺れを受けるのか。地震動がもたらす各々の地域への影響度合いについて、3次元差分法などを用いた波動伝播シミュレーションにより事前に予測することができます。



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

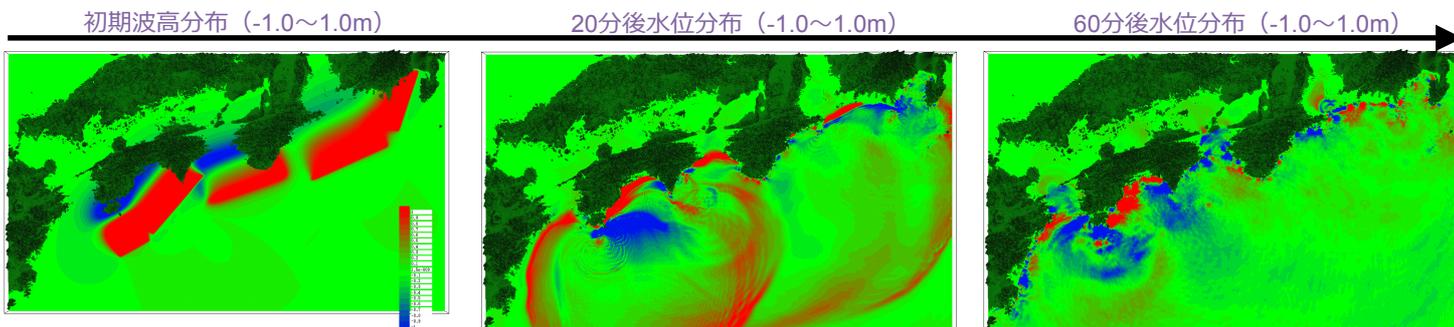
河川氾濫による被害想定

台風や豪雨などによる河川氾濫などの水害は、満ち引きなどから、各々の被害状況が時々刻々と変化します。このような場合には、3次元FEM解析などを用いることで、流速、浸水深について、時系列的かつ視覚的に、または数値的に確認することができます。



津波による被害想定

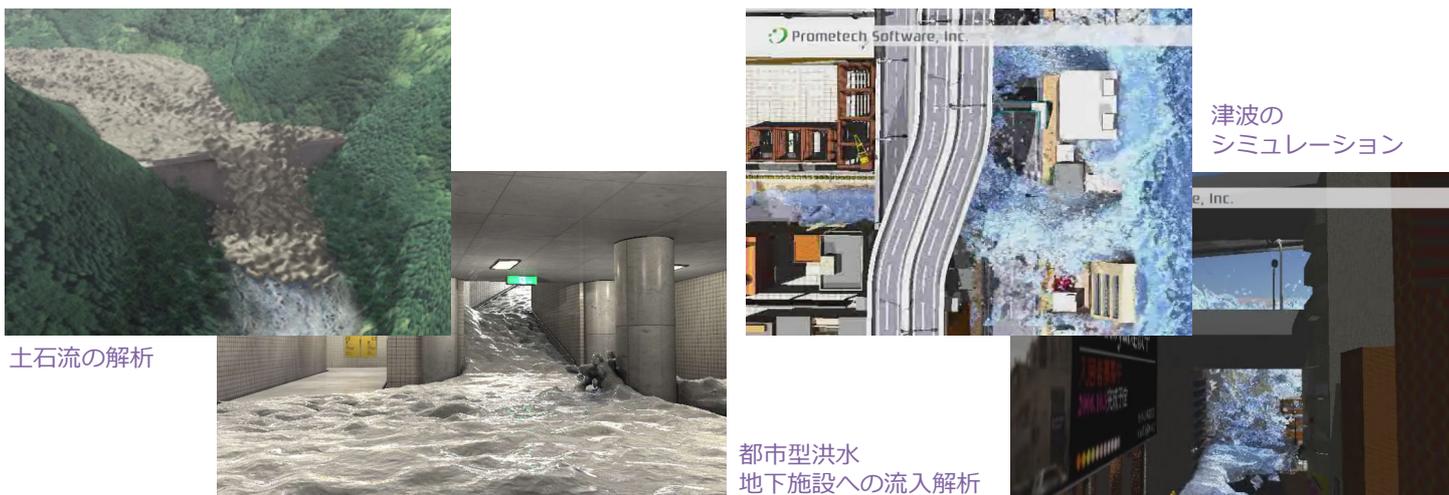
東日本大震災では、津波による被害の甚大さが再認識されました。このような津波による被害状況を事前に確認するために、過去に起きた地震や、新たに想定する地震における、各々の地域への津波の影響度合いを時系列かつ視覚的に、または数値的に確認する方法があります。



1707/10/28 (宝永)東海・東南海・南海地震 計算例

粒子法によるシミュレーション

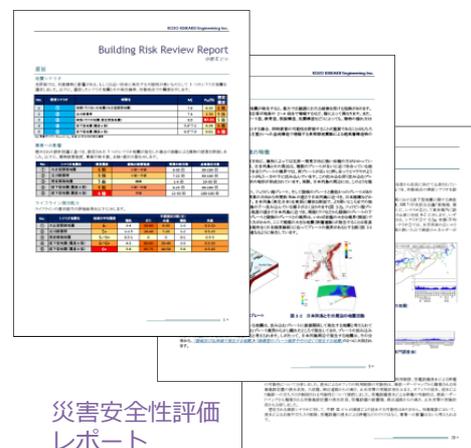
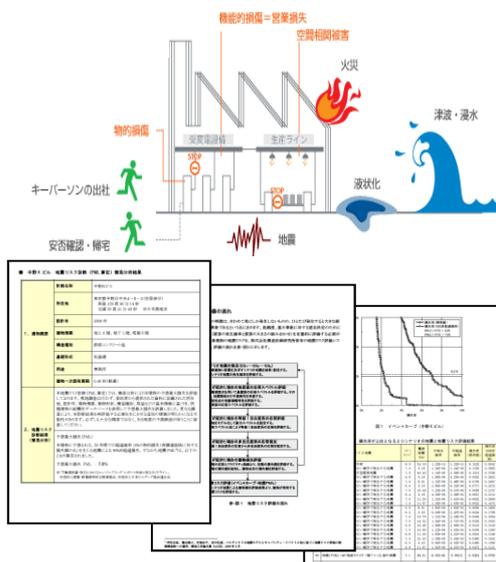
粒子法を用いることで、従来法と比べ、例えば自由曲面や水しぶきなどについては、よりリアルな視覚的映像を作成することができます。それらの映像を用いることで、災害の怖さ、被害の状況などを事前に確認できるだけでなく、住民の災害対策に関する意識向上などの効果が期待できます。



災害リスクマネジメント

地震・液状化・津波・洪水・火災・台風・落雷などの自然災害に対して、敷地や建物、収容物、ライフラインに潜在する災害リスクを評価し、第三者機関としてレポートいたします。

保有施設の耐災害性のチェックや、出店計画時の候補施設の耐災害性チェックなどの際にご利用いただけます。また、不動産売買・証券化のための地震PML（予想最大損失率）や複数建物群を対象としたポートフォリオ地震PMLを評価します。



災害安全性評価レポート

地震PMLレポート

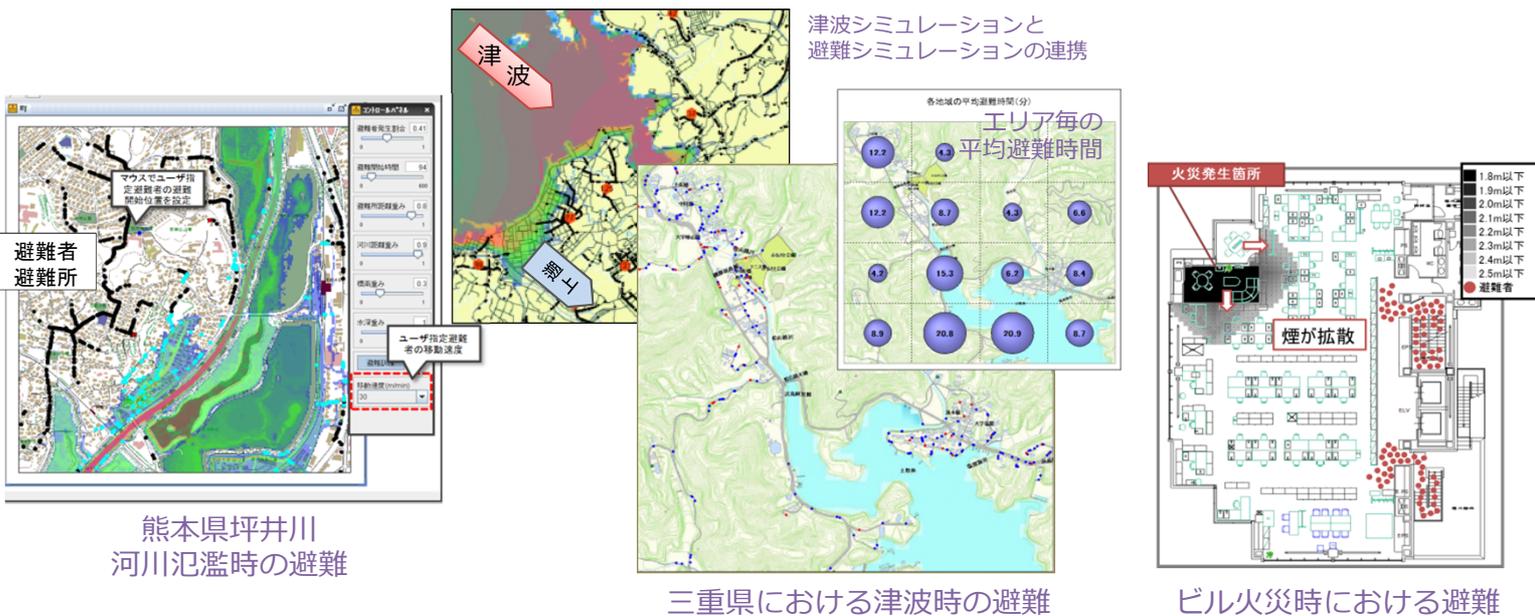
3. ライフラインの予防保全

迅速な災害復旧が被災者を救う

自然災害の場合、防波堤などハード的な対策ですべての被害を防ぐことは不可能です。そのため、各地の災害時の被災状況から、どのような対応・行動をとるべきか、また、どのようにして情報網を確保し、情報伝達が寸断されない状況を作成しておくかを事前に検討しておくことが重要です。当社では、シミュレーション技術、OR技術、分析技術などの様々な技術をもとにしたソリューションをご提案しております。

避難シミュレーション

災害時に住民が避難する上で、避難所の位置や避難所までの経路、避難時に存在するリスクなどの条件を考慮したうえで、それを回避するための手段はどうすべきかなど、事前に施策を検討しておくことが重要です。コンピュータ上に災害状況を模擬した空間を構築し、その状況における避難者一人ひとりの避難行動を定義できる「マルチエージェント・シミュレーション技術」を用いた避難シミュレーションにより、これらの施策案の妥当性を事前に視覚的かつ定量的に検討できます。

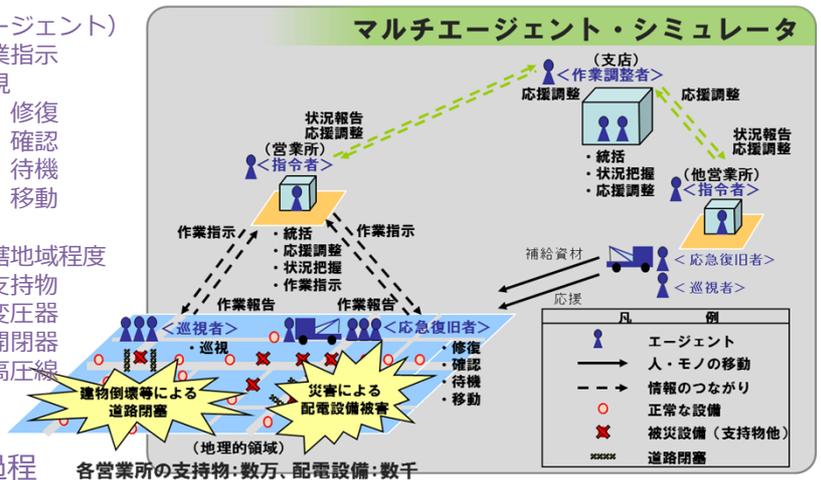


災害復旧対応、復旧人員最適配置

災害時に、保有している設備や施設、建物などを早急に復旧するために、設置場所や各担当者の場所、人数、スキル等を考慮し、どの担当者がどの施設を対応すべきかを事前に検討しておくことが可能です。

- 担当者（エージェント）
 - 指令者：作業指示
 - 巡視者：巡視
 - 応急復旧者：修復
 - 確認
 - 待機
 - 移動
- 対象地域：
 - 1 営業所管轄地域程度
- 対象設備：支持物
変圧器
開閉器
高圧線

配電線の応急復旧過程



カメラセンサを活用した点検作業の効率化／品質向上

「カメラ」をインテリジェントセンサーとして活用することで、施設の防災や保全・保安に関する業務の効率化や点検品質の向上が図れます。たとえば、カメラ映像から人やモノを自動検知することにより、危険区域への侵入監視、危険防止を行うことや、設備の疲労破断の前兆亀裂を、従来の目視点検だけではなく、画像処理から自動検知することが可能です。



交通規制の発見の自動化（巡回パトロール）



鋼製梁の亀裂箇所検出

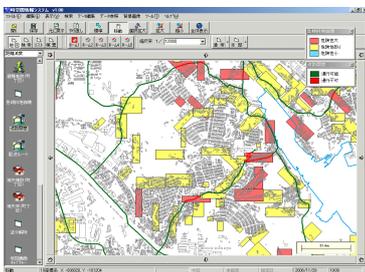


工場内の資材や機器稼働状況の自動検知

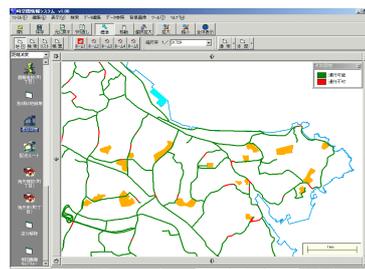
災害時の物資輸送シミュレーション

緊急物資輸送やサプライヤーからの部品輸送について、災害時における道路閉塞情報と、限られた資源（車両、人員など）を最大限に活用して、最適な輸送ルート及び配分計画の作成を行うことができます。当社の災害シミュレーション技術との組み合わせにより、想定される地震や、かかる地震によって発生する津波や河川氾濫など、それぞれの事象にて事前に検討することが可能です。

【震災総合シミュレーションシステム】

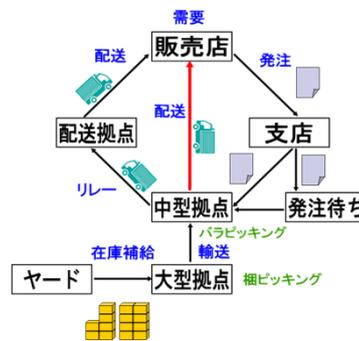


道路損壊情報
地震災害による地域の揺れや液状化の可能性、建物被害程度、道路の損壊状況を数値解析によって予測



配送可能ルートの提示
道路損壊状況に基づき、目的の配送を実現する必要車両や配送可能なルートの提示

画像提供:(独)防災科学技術研究所



ロジスティクスネットワーク最適化

物資の輸送拠点を集約させる場合と、分散させる場合では、コスト面、リスク面で評価すると、どちらがよいのか？
物流ネットワークを数理モデル化して拠点の立地やその必要キャパシティを算出

災害時の輻輳対策

大規模災害時は、携帯電話がつながりにくい状況になります。限られた周波数を有効活用し、多くの人が携帯電話で通信できるようにするための通信方式を検討することが可能です。



ネットワークシミュレーションシステム
画像提供:(独)情報通信研究機構

4. 災害時の情報共有・伝達

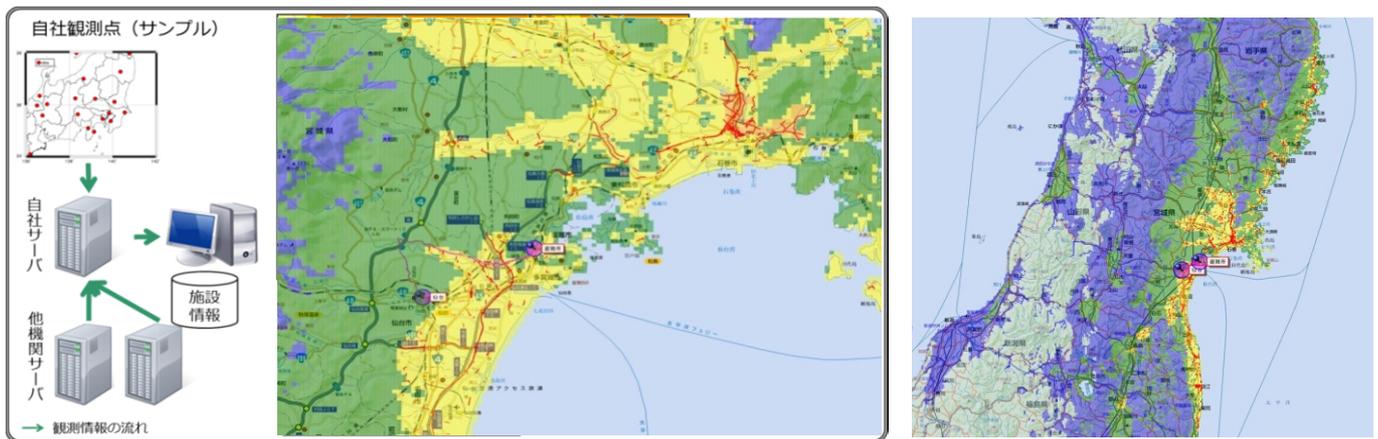
災害発生時における 情報共有・伝達のあり方

災害発生時、建物、インフラ、人の被災状況を素早く、正確に収集することにより、被害を最小限に抑えることが可能です。

リアルタイムでの被害推定、復旧優先度の評価

強震観測施設で計測した加速度データをもとに、対象設備の振動と被害状況を推定し、結果をリアルタイムに表示します。特に、広域に展開するライフライン設備において、どこの設備が優先度の高い点検箇所であるのかを即座に切り分けすることができます。

また、自社の施設情報や資産情報とを組み合わせることで、地震による被害や損失額の推定を行うことも可能です。



東北地方太平洋沖地震データを基にした道路の準リアルタイム被害推定 (防災情報ナビ)

インターネット回線を使った遠隔地とのコミュニケーション支援

災害時に回線が逼迫した通信環境においてもコミュニケーション手段を確保しておくことが重要です。

また、復旧作業においては、建物や設備の点検業務に専門家が不足する中、効率よく、作業を進めていく必要があります。

スマートフォンなどの端末を通じて、現場の作業員が見ている映像や音をリアルタイムに共有し、本部から画像で状況を確認することで、遠隔地とのコミュニケーションを支援します。



スマートフォンとインターネット回線を使った情報共有の構成イメージ (Remote Guideware)

帰宅困難者対策・滞留者誘導

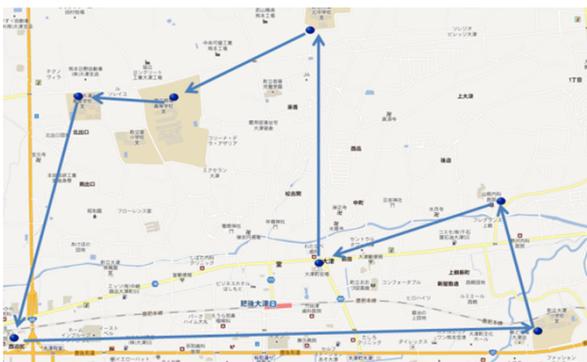
災害時にターミナル駅周辺に大量の滞留者が発生した場合に備え、混乱を招かないように市区町村、事業者、商店街等によって、インターネット通信を主体とした情報共有の仕組みを確保することが有効です。当社では、帰宅困難者、滞留者をスムーズに誘導する仕組みをご提供しています。以下の図は、2012年2月3日に開催された東京都主催の帰宅困難者対策訓練にて、緊急時におけるコミュニケーションツールとして、当社製品の「Remote Guideware」が活用された様子です。



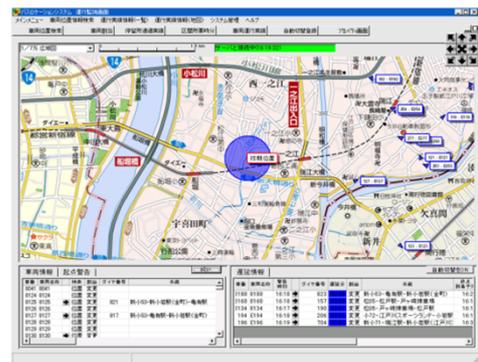
池袋駅周辺混乱防止訓練の様子（撮影協力：豊島区）

災害時における交通手段の有効利用

災害時の混乱した状況下において、物資支援や人員の移動等で、オンデマンドバス等の活用を支援することが可能です。GPS機能を有する携帯電話やタブレット端末等を活用し、バスの位置情報を把握することで、利用者が携帯端末からピックアップ場所や時間を予約したり、支援本部等においてバス運行状況監視や最適経路探索等を実施したりすることが可能です。



オンデマンドバス最適経路検索画面イメージ



運行監視画面イメージ

自然災害 + KKE

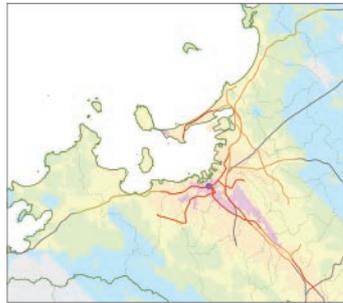


災害リスクマネジメントソリューションは、施設の新規計画、リロケーション、BCP 策定等を効率的にサポートするものです。多様な自然災害を一覧で比較できるほか、地震 PML も同時に評価可能です。専門知識を分かり易く図表で解説し、意思決定プロセスを円滑に進めるお手伝いをします。

- 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

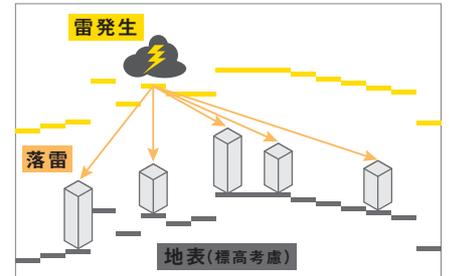
災害リスクマネジメントソリューション

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	

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。

震度分布・公共交通の被害予測例

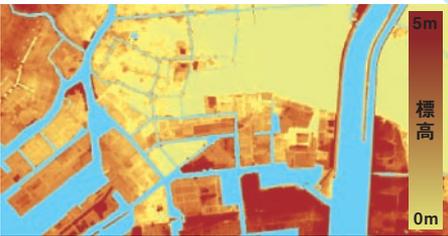
地震

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				
台風シナリオ99パーセントスタイル	---	26%	100	想定最大風速	28.7cm/s	30.6cm/s	29.4cm/s	38.3cm/s
				復旧日数	ほぼ無し	0-1	ほぼ無し	0.5-1
				電気				
				ガス	0.5-1.0	0-0.5	0-0.5	0-0.5
				水道				
落雷シナリオ誘導雷	---	---	100	年間発生確率	90年	40年	160年	220年
				復旧日数	0-7	2-10	0-5	0-7
				電気				
				ガス	0.5-1.0	0-0.5	0-0.5	0-0.5
				水道				



周辺地盤の標高との比較例

過去の台風経路の表示例

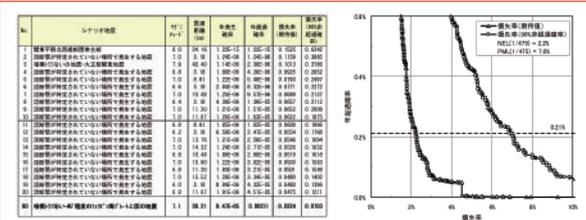


河川・内水氾濫・高潮・津波によるリスクを分析します。

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。



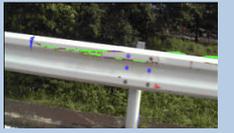
英文でのレポート作成も承ります。ご予算・目的に合わせて、評価方法・内容をご提案させていただきます。お気軽にお申し付けください。

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きみ検知

▼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

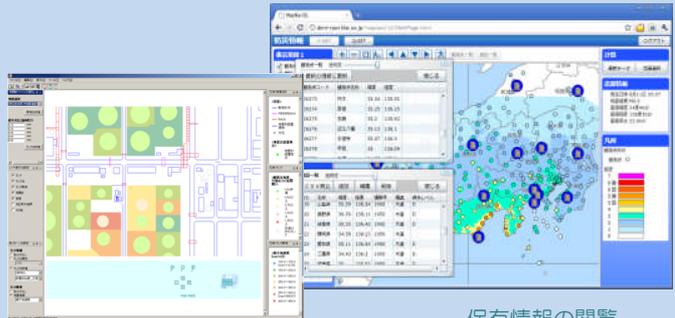
データ収集機能

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

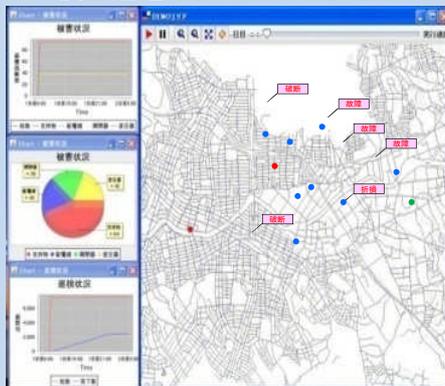


防災情報ナビ

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

▼復旧過程のシミュレーション



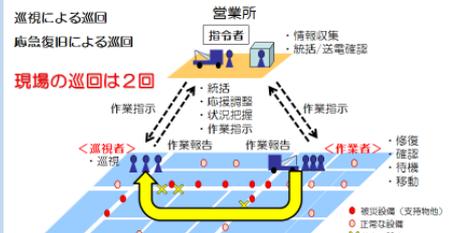
設備の被害推定箇所

- ・復旧スケジュールの検討
- ・要員配置の検討

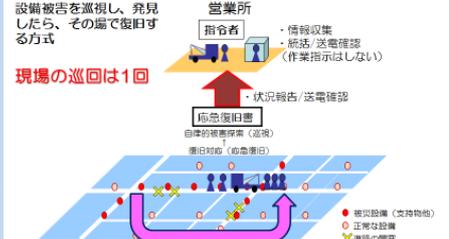
応急復旧時間の算出
 復旧過程の評価
 スケジュールの妥当性の評価

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



極限平衡法による斜面安定解析

(株)構造計画研究所
防災・環境部 富尾 祥一

構造計画研究所では、これまで斜面安定解析として“有限要素法（FEM）による安定性評価”や今回ご紹介させていただく“極限平衡法による安定性評価”を実施してきました。前者は予めFEMのためのメッシュを作成し、応力変形解析を行うという手間を必要とするのに対し、後者は、計算結果の精度はFEMに劣るものの、FEMを用いないことから前述した手間を必要としません。また、極限平衡法による斜面の安定性検討は土木分野にFEMが普及する前から行われている斜面安定性評価であり、簡易的な評価としては実績があることから、現在でも臨界すべり面（最小すべり安全率となるすべり面）を求めるために用いられることがあります。今回、ここで改めてこういった技術なのか、また現在ではどのような評価が可能なのかをご紹介します。

■ はじめに

斜面の崩壊は崩落型の斜面崩壊を除き、一般的に図1に示すような変形を生じるとされている。この変形（移動様式）から“すべり”現象と定義されており¹⁾、変位発生が顕著な領域とわずかな領域の境界面をすべり面と呼ぶ。また、すべり面に沿って崩壊する現象であることから、すべり破壊と呼ばれることもある。

斜面の安定解析とは、主にこのすべり面における作用力と抵抗力の釣合いを定量化することで安定性評価を行う手法である。また、題目にある極限平衡法とは斜面安定解析の一つで、すべり土塊を想定し、すべり面上の土のせん断強度がモール・クーロン式で表現可能であると仮定した上で、すべり土塊に作用する力とモーメントの釣合いを式を用いて斜面の安全率を計算し、評価する手法である²⁾。なお、本資料では、対象とするすべり土塊をいくつかの土塊に分割し、各土塊で力やモーメントの釣合いを考慮する“分割法”を極限平衡法と呼称して扱うものとする。図2には極限平衡法の土塊分割と土塊に作用する力を示す。

■ 極限平衡法による計算手法

極限平衡法には複数の計算手法が存在する。いずれの計算手法も、図2の左図に示すようなすべり土塊の分割を考えているものの、各土塊に作用する力やその方向、作用位置などに対する計算上

の仮定が異なる。逆に言えば、図2の右図に示すような各土塊における力の作用を考えた場合、未知量に比べ、既知条件が少ないことから、何らかの仮定を設定することで問題を静定化させる必要があるということである。例えば、最も簡単な計算手法とされるFellenius法は土塊側面に作用する断面力を無視（図2の右図において、 $\Delta V_i = V_{i+1} - V_i = 0$ 、 $\Delta H_i = H_{i+1} - H_i = 0$ と仮定）しており、土塊側面に作用する断面力の釣合いを考慮している計算手法に比べると、特にすべり面端部などすべり面の角度が急勾配となる箇所では、その計算精度が落ちることが予想される。

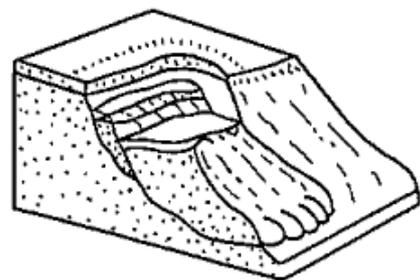


図1 一般的な斜面崩壊の変形状

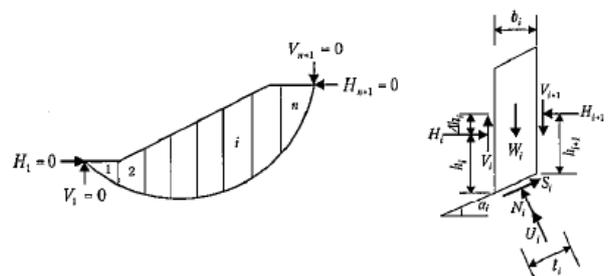


図2 極限平衡法の土塊分割と土塊に作用する力

■ 極限平衡法による斜面安定解析例

解析は図3に示す解析モデルを用いて行う。図中に想定すべり面 No.1 と No.2 を示している。解析はこのすべり面を対象に実施する。また、解析モデルは材料番号①から③までの地層から構成され、表1にそれらの解析用物性値を示す。

表2に解析ケースを示す。CASE1は極限平衡法による解析として“修正 Fellenius 法”を用いて行う。CASE2はCASE1の比較対象として、予め実施した FEM による応力解析結果を用いてすべり安全率を求めるケースである。なお、本資料では FEM 計算の詳細は割愛する。CASE1 と CASE2 の解析結果を表3に示す。表より、極限平衡法を用いた解析結果（すべり安全率）と FEM を用いた解析結果は同程度であることから、同程度の精度を確保できることが分かる。

表2に示した解析ケースのうち、CASE3は3次元極限平衡法による解析ケースである。このケースで用いた計算手法は“3次元簡易 Janbu 法”である。この手法は土塊に作用する水平力、鉛直力の釣合い式から誘導された手法である。解析モデルは、図3に示す2次元断面が奥行き方向に半無限的に連続していると仮定する。想定すべり面は No.1 を対象とするが、3次元すべり面を想定するため、すべり面は奥行き方向への定義も必要となる（すべり面の形状は球面となる）。本検討では、奥行き方向のすべり面半径を 10m から 200m まで 10 等分で変化させ、解析を実施した。その結果を図4に青色のプロットで示す。図には表3に基づき2次元解析結果も示している。図より、すべり面の奥行き方向半径を大きくするほど、すべり安全率が小さくなり、2次元解析結果に漸近することが分かる。これは、すべり面の奥行き方向半径を無限大と考えた場合、2次元解析と同等と考えることができ、今回 200m という半径まで実施し、この状態に近付いたためと考えられる。

■ おわりに

以上より、極限平衡法による検討は有限要素法

による検討と同程度の精度を確保できることが分かる。ただし、破壊時に地盤の残留強度を評価するなど、より高度な斜面安定解析を行う場合には、現状では有限要素法による検討に限られる。また、今回実施した3次元極限平衡法は斜面形状が3次的に複雑で、2次元検討では十分な斜面安定性を評価できない場合に有効な手法である。

【参考文献】

- 1) 地盤工学ハンドブック
- 2) 斜面の安定・変形解析入門—基礎から実例まで—（地盤工学会, 2006）

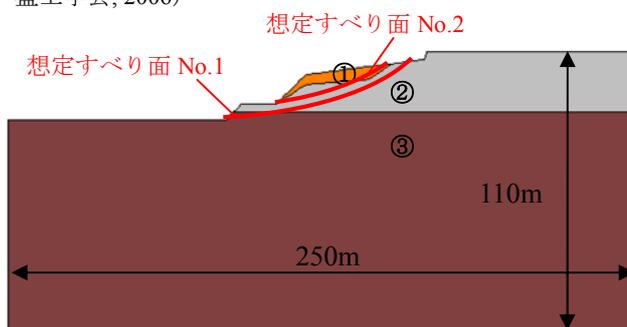


図3 2次元解析モデル 10
└─┘ モデルスケール[m]

表1 解析用物性値

材料番号	単位体積重量 (tf/m^3)	(kN/m^3)	ヤング係数 (tf/m^2)	ポアソン比 (-)	粘着力 (tf/m^2)	(kN/m^2)	内部摩擦角 (deg)
①	1.9	18.633	100000	0.45	10.0	98.067	30
②	1.7	16.671	100000	0.45	8.0	78.453	30
③	2.0	19.613	100000	0.45	15.0	147.100	40

表2 解析ケース

解析ケース	解析手法	次元	想定すべり面	備考
CASE1	極限平衡法	2次元	No.1, No.2	修正 Fellenius 法による計算
CASE2	有限要素法		No.1, No.2	別途実施した FEM 解析による応力結果を使用
CASE3	極限平衡法	3次元	No.1	解析モデル奥行き方向を考慮した解析

表3 解析結果（2次元）

解析ケース	すべり安全率	
	すべり面 No.1	すべり面 No.2
CASE1	4.93	4.42
CASE2	5.09	4.58
CASE1/CASE2	96.9%	96.5%

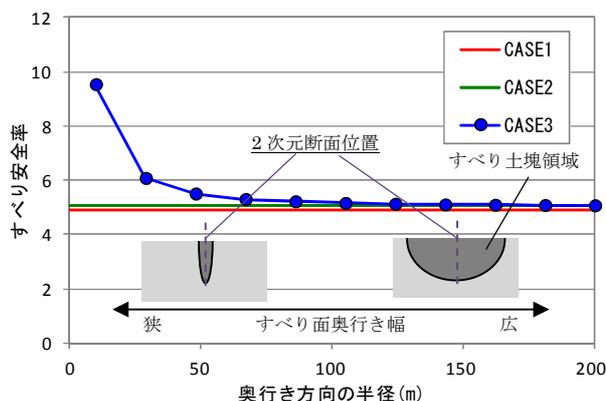


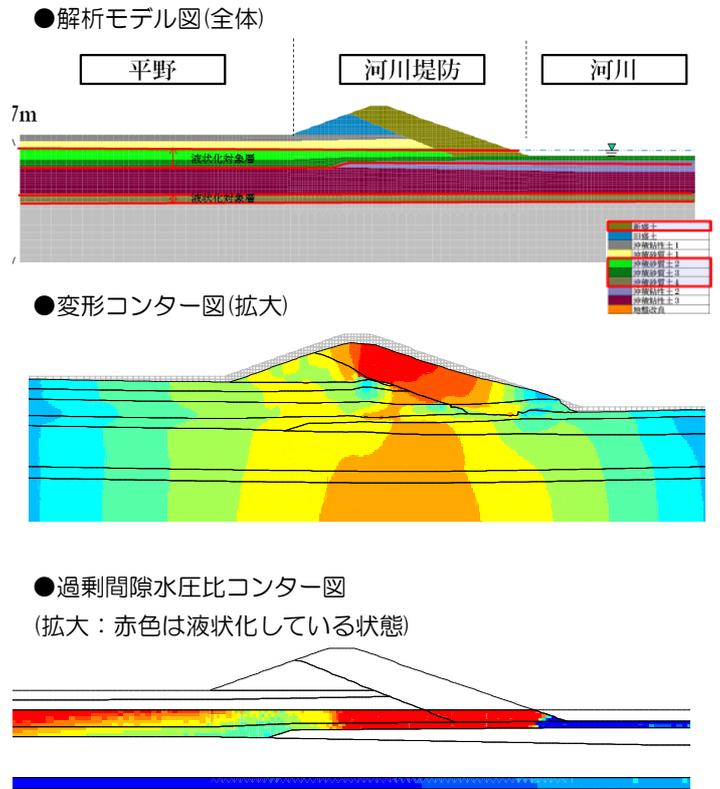
図4 すべり面 No.1 の解析結果（2次元&3次元）

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

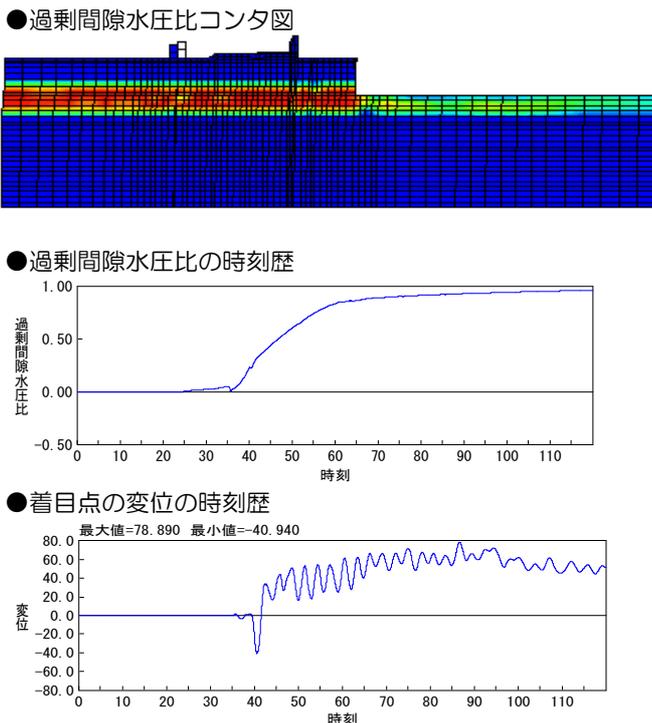
また、住宅地、工場敷地内の地盤が液状化することにより、地盤沈下、インフラとして重要な地中構造物の破損、工場施設の破損などを引き起こし住民生活、事業継続に対して大きな被害が生じます。これら防災対策の検討を行う上で、地盤と構造物をともに考慮した解析モデルによる有効応力非線形解析が有効です。

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

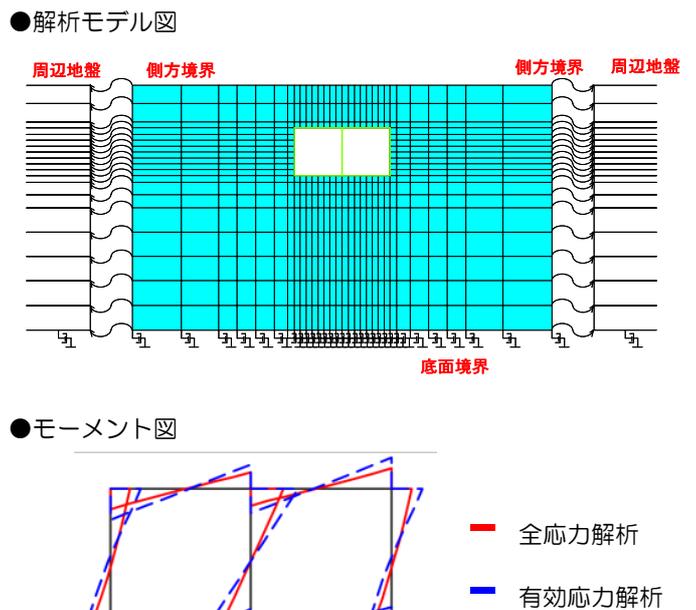
■FEMにより河川堤防の液状化による挙動をシミュレーション



■海岸付近の地盤における液状化検討事例



■有効応力解析と全応力解析により地中構造物の耐震性を比較検討



地盤安定性問題に対するソリューション

株式会社 構造計画研究所

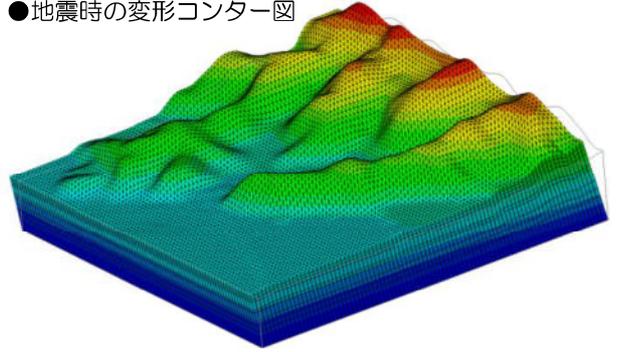
近年の大規模地震により護岸、河川堤防、ため池、盛土などの土構造物や住宅地あるいは重要施設に隣接する急傾斜地などが崩壊することで大きな被害が発生しています。防災対策の観点から、数値シミュレーションにより危険度の把握、効果的な対策の検討をお手伝いいたします。

地盤安定性を評価する手法は、簡便的に評価する方法から、FEMにより地盤を詳細にモデル化し、動的解析によりすべりを計算する方法まで、各種手法があります。

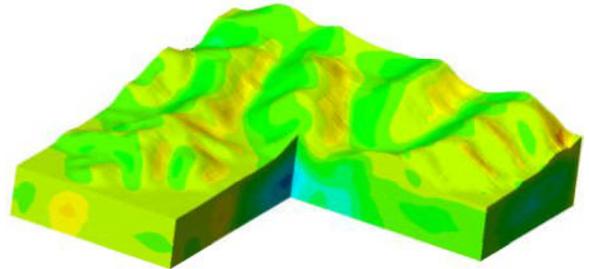
簡易式による評価～FEM・DEM・粒子法などの数値シミュレーションによる評価まで、さまざまなアプローチにより問題を解決いたします。

■FEMにより斜面の各種挙動をシミュレーション

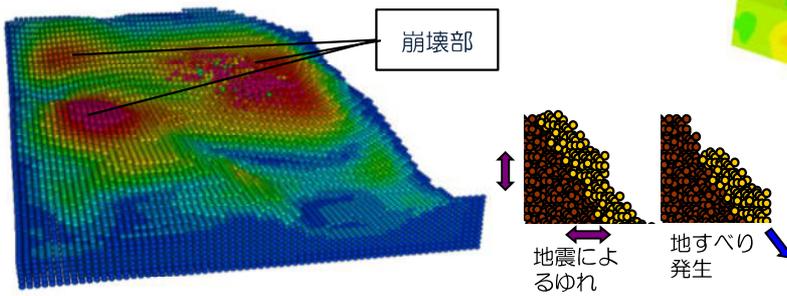
●地震時の変形コンター図



●地盤表面・内部のせん断応力コンター図

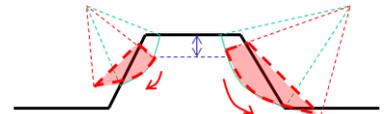
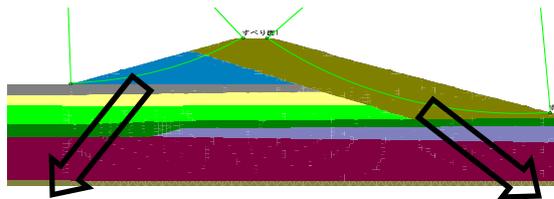


■DEMにより斜面崩壊をシミュレーション

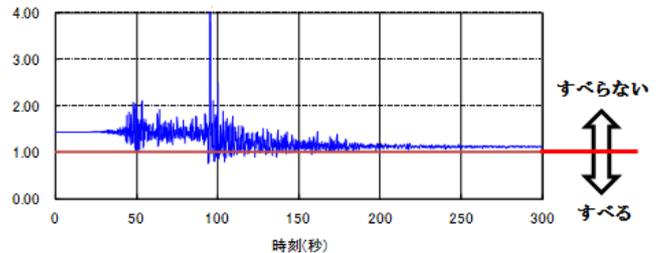
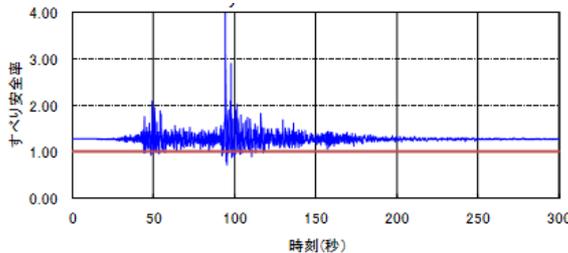


■河川堤防を対象にFEMによりすべり変形量をシミュレーション

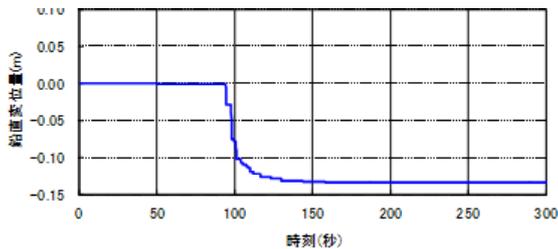
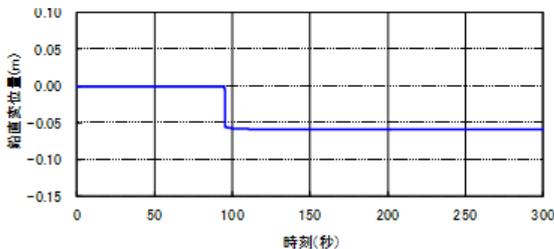
■	新盛土
■	旧盛土
■	沖積粘性土1
■	沖積砂質土1
■	沖積砂質土2
■	沖積砂質土3
■	沖積砂質土4
■	沖積粘性土2
■	沖積粘性土3
■	地盤改良



●すべり安全率時刻歴図



●すべり量(残留変形量)時刻歴図



粒子法による矩形水槽のスロッシング解析

(株) 構造計画研究所
防災・環境部 渡辺 高志

石油タンクなどの貯槽液体は地震等の作用を受けて液面揺動（スロッシング）を生じ、この現象は防災上の非常に重要な問題となっております。スロッシング現象は自由表面を有することや、液深に対して揺動が大きい場合の非線形性の大きさ、特に碎波が発生する領域においては極めて非線形性が大きく、数値解析の適用が難しい問題の一つとして挙げられます。

この現象については液体運動の重要な研究分野として今日までに、矩形タンクや円筒タンクのような様々な形状の容器を対象に、規則波や地震波の入力を加振条件としての実験や解析が行われてきました。本報では、矩形水槽に規則波を入力した際のスロッシング応答を、自由表面や非線形性の大きな問題への適用性の高いことが知られている粒子法を用いて計算し、解析例の中からその一部を紹介致します。

解析の概要

解析対象は内寸で幅 1m、奥行 10cm の矩形水槽をモデル化し、内部流体として水を設定液深まで貯留し、重力加速度をかけて静水位計算を実施し作成しました。液深は 5cm と 10cm の 2通り作成し、入力変位は正弦波 $x = a \sin \omega t$ とし、振幅 a を 2.5mm および 5mm とし水平 1 方向に入力しました。入力変位の角振動数 ω はモデルの 1 次固有振動数付近の値を設定しました。3 次元解析モデルの粒子間隔は 3mm とし、液深 5cm のケースで約 18.6 万粒子、図-1 に示す液深 10cm のケースで約 37.2 万粒子の解析規模となります。図中の白線グリッドは液位や変位を把握するために 5cm 間隔で描画しており初期静水状態を示しています。

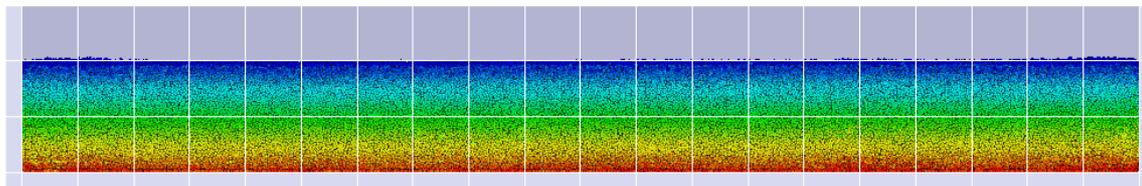


図-1 液深 0.1m のケースの静水位状態（中央断面圧力図）

解析結果例

解析事例として液深 $H=5\text{cm}$, $a=5.0\text{mm}$, $\omega=0.683$ のケースと $H=10\text{cm}$, $a=2.5\text{mm}$, $\omega=0.513$ のケースを取り上げます。このような容器幅に対して液深の浅いケースでは非線形が大きくなり、モデルの固有振動数は線形解からのズレを生じます。また、設定した入力波の角振動数は線形解の 1 次の固有振動数より若干大きな値を設定しており、固有振動数からのズレによってうなり

や高次の共振などが確認されます。2つのケースについて時間軸を周期で示した波高応答時刻歴を図-2に、揺動の様子が特徴的に現れている時刻断面の中央断面圧力図を図-3と図-4に示します。

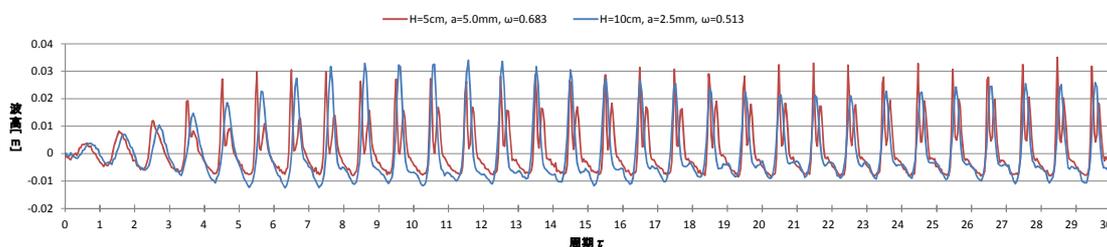


図-2 H=5cm, a=5.0mm, $\omega=0.683$ と H=10cm, a=2.5mm, $\omega=0.513$ のケースの波高時刻歴

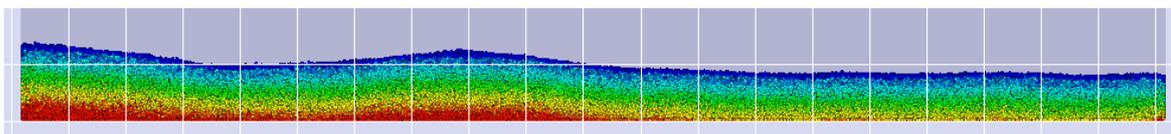


図-3 H=5cm, a=5.0mm, $\omega=0.683$ のケースの $\tau=22.68$ のときの中央断面圧力図

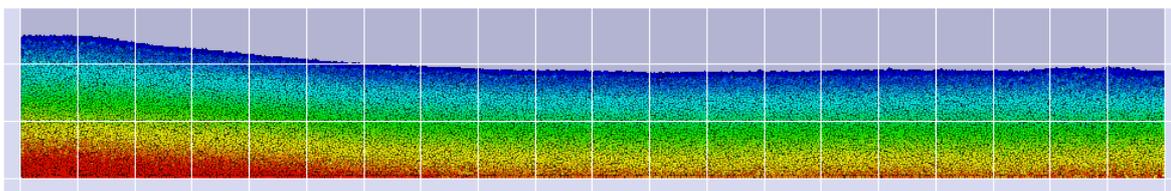


図-4 H=10cm, a=2.5mm, $\omega=0.513$ のケースの $\tau=26.58$ のときの中央断面圧力図

解析結果より

H=5cm のケースではスロッシング揺動の発達の過程で波が2つの山に分かれており、3次モードが卓越して現れたことが確認できます。短い周期のうなりが生じており、うなりによる振幅は比較的小さくなっています。一方で、H=10cm のケースでは揺動による波の山は1つであり、波高時刻歴からもほぼ1次のモードが卓越していることが確認できます。うなりは長い周期で生じており、振幅も大きくなっていることが確認できます。両方のケースで揺動の上昇時と下降時で波高が非対称になっていることが確認できます。これは液深が浅いため生じる非線形性のためで、下降時は圧力が大きくなり上昇時ほど液位変動が生じないためであると考えられます。

まとめ

矩形水槽を対象に小さな1方向加振を行った際のスロッシング応答を粒子法により解いた事例を紹介致しました。比較的小さな加振条件の計算において、励起される振動数の違いによりモードの異なるスロッシングの発生を確認出来ました。地震時において生じる飛沫の発生を伴うより大きな液面揺動についても粒子法による非線形時刻歴解析への適用性が期待できます。

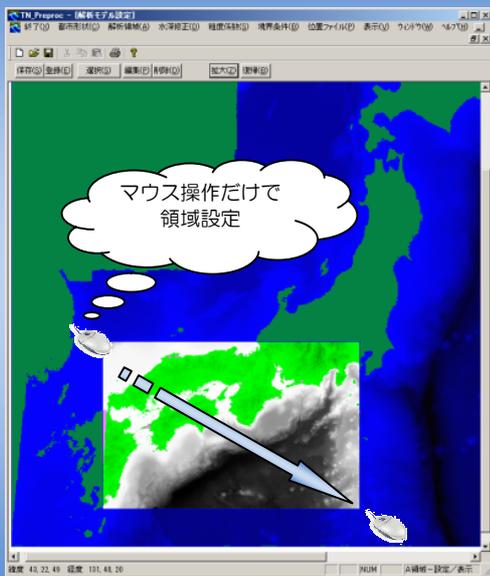
津波シミュレーター「TSUNAMI-K」

津波波高・遡上計算プログラム

■ TSUNAMI-Kの特徴

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

① まずは解析したい領域を
マウスでドラッグ！



- 解析したい領域をドラッグし
メッシュサイズの入力で領域設定は完了

③ 計算条件を入力し解析実行！



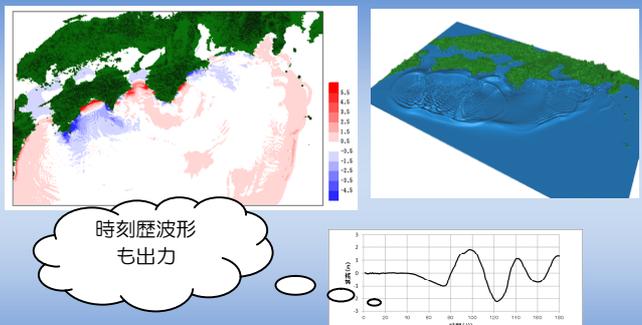
- 計算時間や出力間隔を設定
- 時刻歴の出力位置はクリックで指定

② 波源設定はデータベースから選択
データベースへの追加も容易！



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

④ 結果の図化、アニメーションの作成！



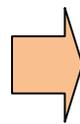
- 解析結果を読み込み3Dや2Dのアニメを作成



TSUNAMI-Kの入出力と解析事例

■入力

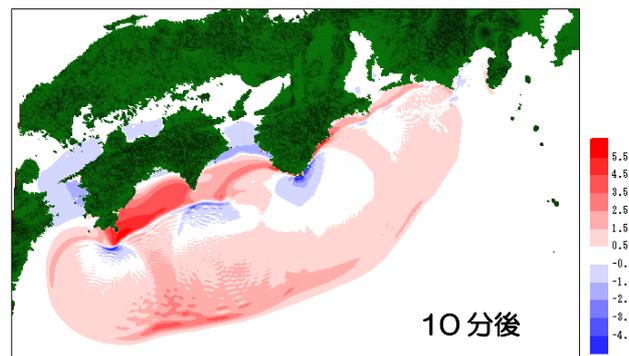
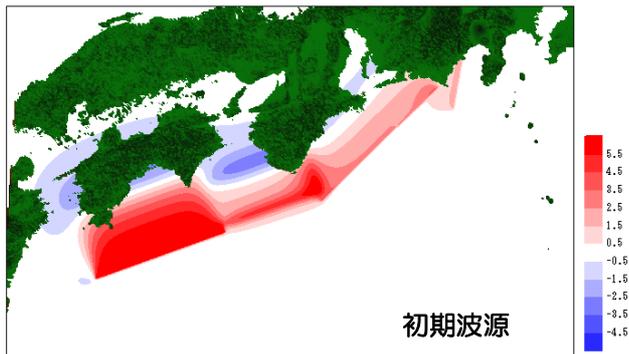
- 多重メッシュによる解析領域の設定
- 海上保安庁や国土地理院のデータに対応
- サイト近傍の詳細な地形データの取込が可能
- 地図を基にして建物の追加が可能
- 初期波源は断層以外に、任意位置での水位や流量も設定可能



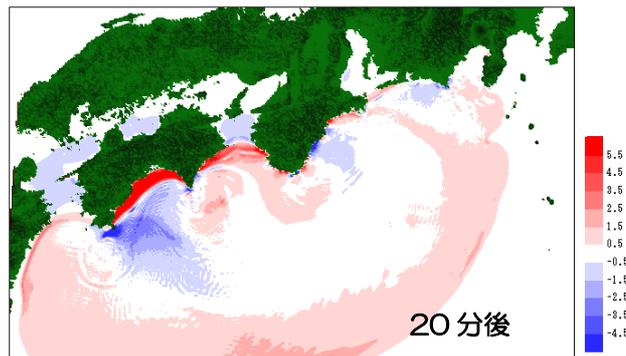
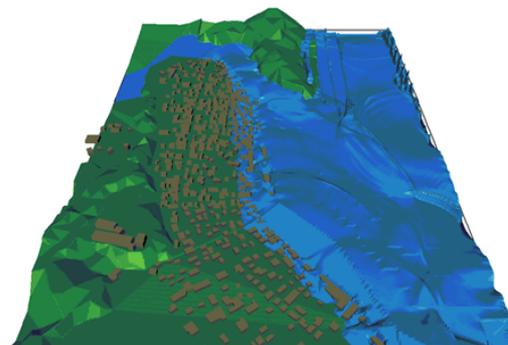
■出力

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

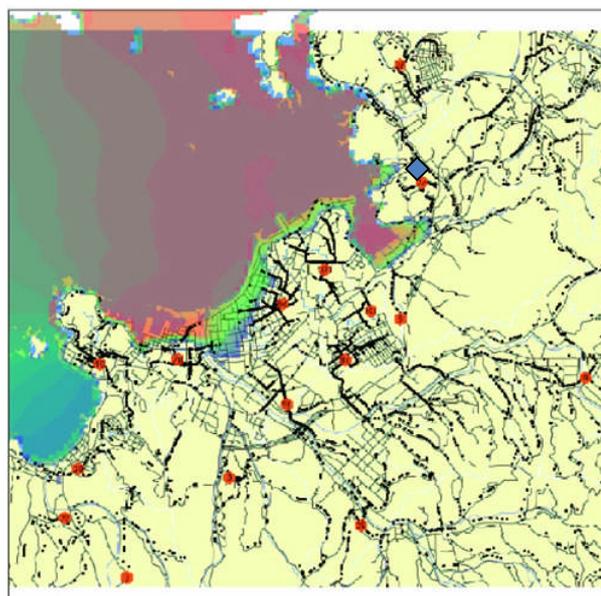
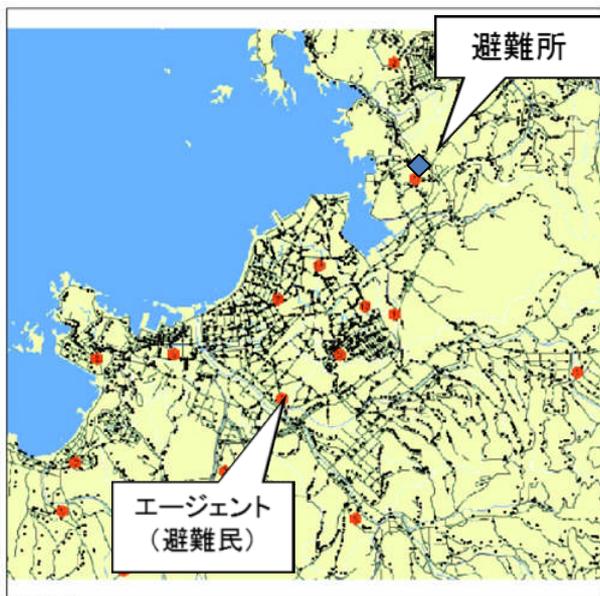
◆東海・東南海・南海地震波の計算例



◆津波の遡上解析例



◆津波解析結果を用いた避難シミュレーション



1class-SVM による回転機械の振動データからの異常検知

(株)構造計画研究所
耐震技術部 鈴木 由宇

データに潜む異常を検知する手法として、品質工学分野では伝統的にマハラノビス・タグチシステム(MTS)が用いられております。MTSは計算がしやすく結果も解釈しやすいという利点がありますが、MTSでは「データは正規分布に従って出現する」という強力な仮定を置いてしまっているため、データ分布によっては柔軟に対応できなくなります。今回は近年データマイニング(機械学習)分野で注目を集めているサポートベクトルマシン(SVM)を外れ値検出に適用した1class-SVMを用いた異常検知技術をご紹介します。

■機械学習による異常検知

機械学習とは、大量のデータに対して統計的な処理を施すことで、データの中に含まれる「知識」を抽出するための技術です。ここで得られる「知識」とは、大きく分けて次の2種類です。

1)データが持つ規則性(時系列の変化の仕方や、状況の分類の仕方): 将来値の予測につながります

2)データに潜む異常: リスクの回避につながります

弊社では、2)の「データに潜む異常」を、機械学習を用いて効率よく見つけるための手法開発をご提供しております。今回は弊社が取り組んだ異常検知の事例として、回転機械の振動データからの異常検知をご紹介します。

■マハラノビス・タグチシステム(MTS)と 1class-SVM

異常値や外れ値の検出は、品質工学においても重要なテーマの1つです。品質工学で伝統的に用いられている手法は、マハラノビス・タグチシステム(Mahalanobis Taguchi System, MTS)です。

MTSは、もともと不良品の調査などに用いられておりましたが、これを運用中のシステムから得られる健康状態データに当てはめることで、システムの異常検知に活用できます。

このときに問題になるのが、MTSにおける仮定です。MTSでは、データは単一の変数正規分布から出現する、すなわち正常値と異常値の境界面が「楕円のふち」という綺麗なカーブであるとしています。しかし、現実のシステムから得られるデータに対して、この境界面は膨らんでいたりへこんでいたり、もっと複雑である可能性があります。

■テストデータによる解析

例として、図1のようなデータ分布を考えます。ここではデータが2カ所に集中した分布になっています。しかしMTSを用いて異常検知をしようとすると図2の楕円の外側が異常値と見なしてしまうため、2つのデータ群の間のデータ点は正常であると判定してしまいます。

弊社ではこの問題に取り組むため、最新の機械学習の手法である1class-SVM(1クラスSVM)という手法を用いました。1class-SVMでは、非線形データ解析における現在の主流である「カーネル法」を用いています。

カーネル法では、データの特徴や構造を取り出すために、データを高次元の特徴空間へ写像します。この写像は一般的には非線形な写像が用いられるため、データが持つ多様な複雑な構造を取り出すことが可能になります。そのためMTSに比べて柔軟な境界面を作成することができます。

図1のデータに対して1class-SVMを適用した結果が図3です。赤点が異常であると判定した結果です。2つのデータ群の外側の点を異常と判定しており、データ分布に対して柔軟に境界面を作成していることが分かります。

■異常検知事例紹介

回転機械は日常的に用いられている機械です。大型のものですとタービン、中型のものですと空調などの家電、小型のものではCD・DVDプレーヤーなど、様々な種類の製品があります。

回転機械は歯車を駆動させるため、長時間使用していると歯車が磨耗したり歯が欠けたりして劣化が進み、運用上問題となります。そのため振動データを取得してその振動データをモニタリングすることで、早期に駆動部に生じた

異常を検知する必要があります。

回転機械から得られた振動データに対する異常検知について、MTS と 1class-SVM とで検知性能の比較を行いました。異常モードによっては MTS も 1class-SVM も 100% の精度で検知することが可能でした。しかし、一部の異常モードでは MTS の検知性能は 60% だったのに対し、1class-SVM では 100% の検知性能を出すことができました。

■ 1class-SVM の運用上の問題点

1class-SVM を用いることで異常検知性能は MTS よりも向上しましたが、運用上は異常尺度の問題などがあります。MTS では、正常なデータの分布と調べたいデータの間のマハラノビス距離を測り、その距離の大きさで正常か異常かを判定しています。正常なデータのマハラノビス距離がどの程度の範囲に収まっているかをあらかじめ調べておき、調べたいデータのマハラノビス距離がその範囲から外れていたら異常であると見なします。1class-SVM では、調べたいデータが「境界線より内側か外側か」という 0/1 の結果しか得ることができず、このような異常度を計算することはできません。

実際の運用上は、普段とは全く異なった挙動もあれば、普段から微妙に外れただけという場合もあります。異常と判断されたデータに対して、点検の優先順位をつけるためには異常度を測れているほうが実用上有利になります。したがって 1class-SVM に加え、異常尺度を計算できる他の異常検知手法と組み合わせて用いることが有効です。

■ まとめ

今回は機械学習を用いた異常検知技術の一つである 1class-SVM についてご紹介しました。1class-SVM は従来用いられてきた異常検知技術である MTS よりも、異常値と正常値の間の境界線を柔軟にモデリングできるため、MTS に比べて高い異常検知性能を発揮することができます。弊社では構造物や機械のセンサデータを用いてシステムの状態監視を行い、安全な構造物やメンテナンスがしやすい機械システム構築のご提案をしております。設備データの蓄積が進んでいて、これらを有効活用したい際にはお気軽にお声掛けください。

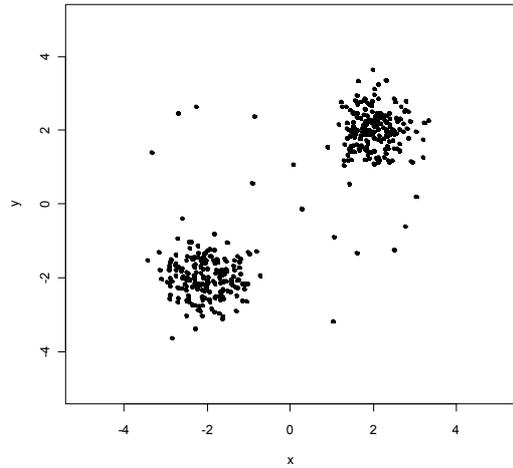


図 1 対象となるテストデータ分布

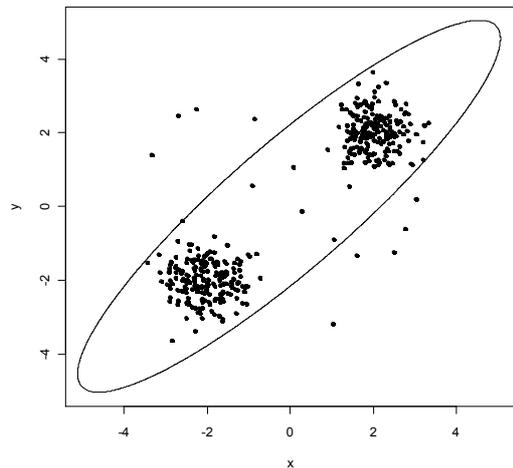


図 2 テストデータに楕円を当てはめた場合

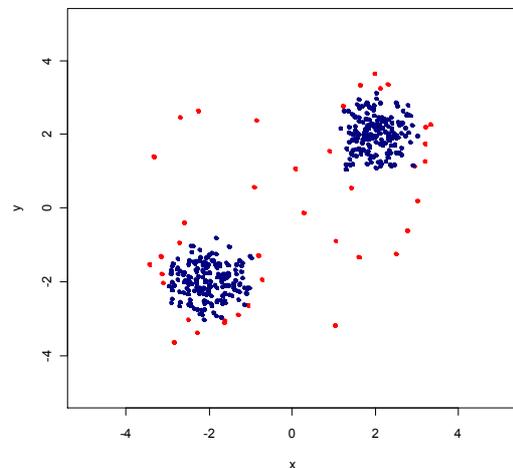


図 3 1class-SVM による外れ値の設定

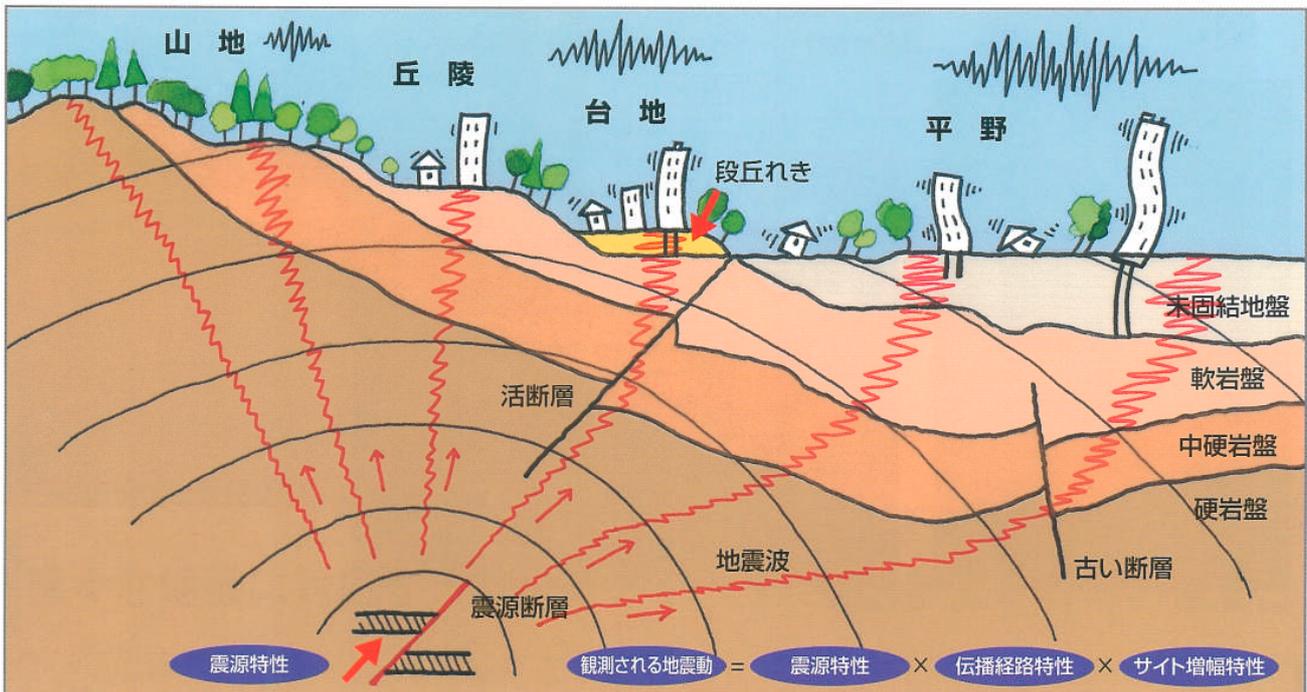
強震動評価・シミュレーション・設計用入力地震動

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



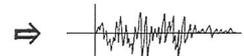
+

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）

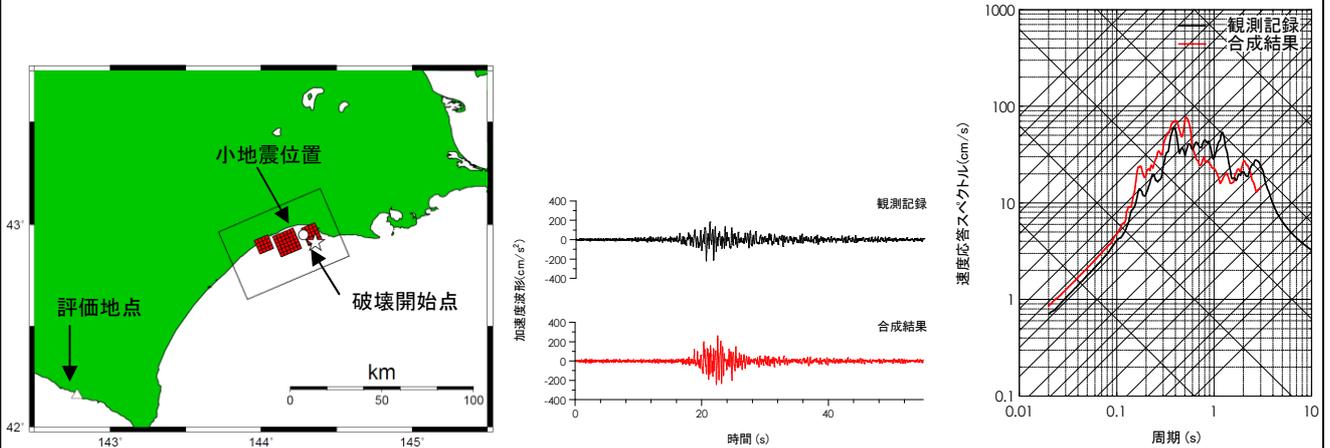


ハイブリッド合成法の概念

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

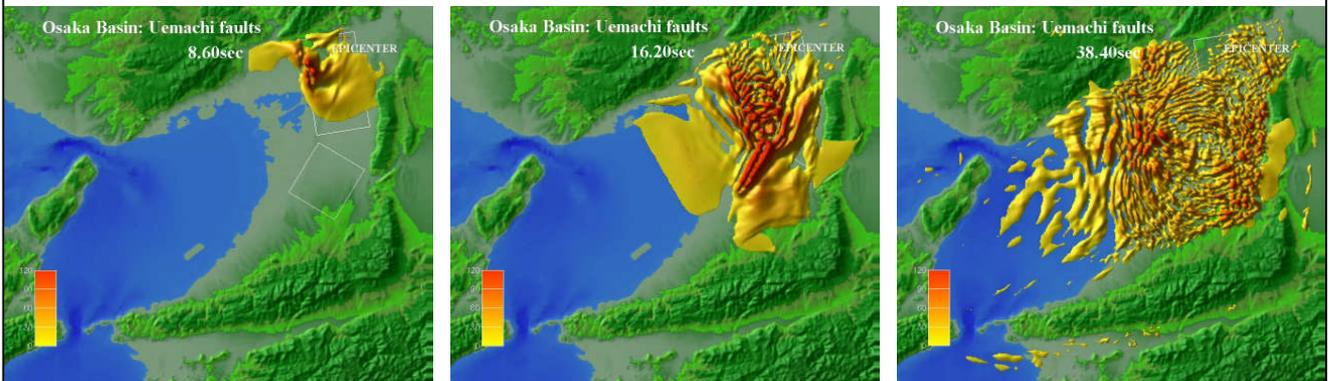


■ 3次元差分法を用いた上町断層の波動伝播シミュレーション

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。

シミュレーション技術を用いた施設の地震リスク評価による意思決定支援

○村地 由子, 坪田正紀 (株式会社構造計画研究所)

Decision-making supported by simulation based seismic risk assessment of facilities

* Y. Murachi, M. Tsubota (KOZO KEIKAKU Engineering Inc.)

Abstract— It comes near the stating the obvious that seismic disasters are possible to be huge impact on the business continuities of Japanese companies, however, it is usually assessed utilizing the earthquake damage assessment results conducted by Japanese or local governments. In this paper, an example of business continuity management supported its decision-making by simulation based seismic risk assessment of buildings and facilities. The feature of a proposed method is to use 2 different traditional ways, such as (A) scenario based assessment method and (B) probabilistic analysis of seismic activities in the pivotal points through the process of seismic risk assessment.

Index terms— Business Continuity Management, Seismic Activity, Hazard Curve, Response Analysis

1 緒言

1995年阪神淡路大震災以降、国内で相次ぐ地震災害を受け、日本を拠点とする多くの事業会社にとって、地震はビジネスのサステナビリティを脅かす重要なリスクであることは言うまでもない。しかしながら、大地震によるリスクは低頻度・重大事象であるため、一般的なりスク分析で用いられるモンテカルロシミュレーション等、確率論的な方法でリスクを計量化するというよりは、個別の地震シナリオを設定し、被害想定を行うことが主流である。実際に、政府や地方自治体による地域防災計画や地震被害想定では、対象エリアに多大な影響を与えると考えられるシナリオを複数設定し、人的・物的被害を計量化している。ここで問題となるのは、政府や自治体により選定されたシナリオが科学的根拠に基づく確定情報であるとみなされ、民間の事業企業の防災対策で一人歩きを始めることである。地震災害の大きな特徴は、事前に予知ができないということである。したがって、シナリオ設定の際は常に、専門家による工学的判断を伴う。この工学的判断は、被害想定を行う主体者の意図を反映するためのさじ加減のような役割を果たすこともある。被害想定を必要とする主体者の立場が異なれば、異なった設定となることは十分に考えられるし、当然考慮すべき重要なシナリオが抜け落ちる可能性も考えられる。

一方で、地震リスクを確率論的に評価し、マネジメントの意思決定支援に活用する方法は、以前から開発されている。例えば、不動産証券化・売買の際に使用される地震PML値 (Probable Maximum Loss, 最大予想損失率) などである。地震PML値の算出は、周辺で考えられる全ての震源の発生確率を考慮した上で、特定の再現期間 (日本では475年とすることが多い) に想定される損失額を90%非超過値として算出する。しかし、この値は特定の地震シナリオに対する被害を想定するものでないため、最終的な目標値とすることはできても、具体的な補強案や対策案の策定につなげにくい場合が多い。

災害時の事業継続マネジメントにおける地震のリスク評価は、最終的に具体的な対策案へつながるものでなければリスクの低減を行うことはできない。しかし上述の通り、シナリオを特定すれば具体的な想定が可能な反面、想定外のシナリオが生まれ、全ての可能性を考慮すると、具体的な現象の想定が難しい、という

ジレンマがある。

この問題の解決策として、まず、地震や地盤、耐震工学の分野で開発されたシミュレーション技術を民間の事業会社のリスク評価においても活用し、被害想定を具体化していくことが考えられる。シミュレーションにはシナリオが必要となるが、このシナリオの前提条件や結果を補足し、意思決定につなげる方法として、確率論的手法は有効と考えられる。本稿では、様々なシミュレーション技術を、確率情報で補足しながら、具体的なシナリオによる地震リスク評価を行い、災害時の事業継続戦略策定の意思決定支援を行った事例を紹介する。

2 地震リスク評価の現状と課題

施設や事業の地震リスクを評価するには、まず対象地点周辺で考えられる震源にどのようなものがあるかを整理する必要がある。次に①対象地点での地震動の大きさを評価し、②建屋や設備の耐震性能を考慮した上で、③建屋や設備の揺れ方から被害程度を評価する。

ここで、①の評価で考慮する震源の情報としては、一般的によく知られている海溝型地震や陸域の活断層など震源断層を予め特定できるものはもちろんであるが、特定できる震源断層以外の場所でも地震は多数発生していることから、震源断層を予め特定しにくい地震も考慮する必要がある。独立行政法人防災科学技術研究所¹⁾が、考慮すべき全ての震源を分類した結果は、以下のようになっている。

(1) 主要 98 断層帯に発生する固有地震

(2) 海溝型地震

(3) その他の地震

①震源断層をある程度特定できる地震

1) 主要 98 断層帯以外の活断層に発生する地震

②震源断層を予め特定しにくい地震

・プレート間で発生する地震のうち大地震以外の地震

・沈み込む (沈み込んだ) プレート内で発生する地震のうち大地震以外の地震

・陸域で発生する地震のうち活断層が特定されていない場所で発生する地震 など

上記の分類で整理された全国の震源情報は、政府の地震調査研究推進本部や独立行政法人防災科学技術研究所が日本全国に対して調査・研究の上、公開しており、活用できる。(1)の主要98断層帯の発生する固有地震の例をFig. 1に、(2)の海溝型地震からフィリピン海プレート上面の地震(M7.0~7.2)の例をFig. 2に示す。

この震源情報のデータベースによると、震源の数は日本全国で約37万個あり、例えば、東京都区内で半径300kmに入る震源を全て検索すると、5万個程度の震源が抽出される。これらの震源に対して、実際の対象地点での地震動の大きさを評価する方法としては(A)いくつかの震源を検討対象用の「シナリオ地震」として絞り込む方法と、(B)全ての震源の位置・規模・発生確率を考慮して対象地点での揺れの大きさとその超過確率を表す関係(「地震ハザードカーブ」)として整理する方法がある。以下に、それぞれの方法のメリット・デメリットを示す。

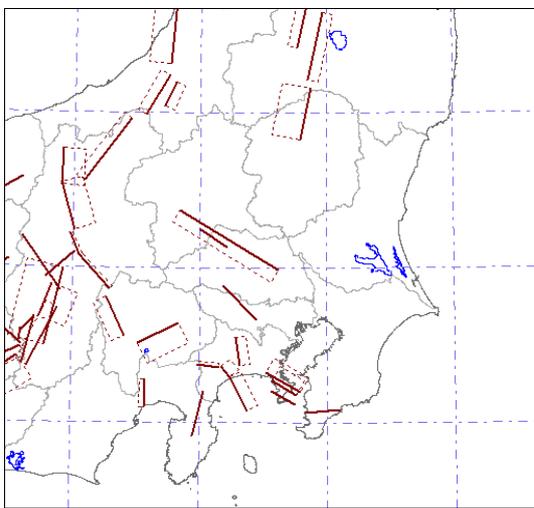


Fig. 1: Map of (1) major 98 active faults in the Kanto region

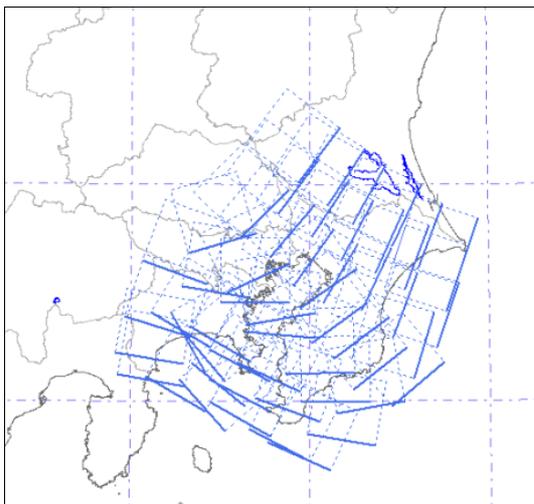


Fig. 2: Map of seismic sources around ocean trench (Example of sources on the Philippine Sea plate (M7.0~7.2))

(A) シナリオ地震を絞り込む方法

この方法では、絞り込んだ「シナリオ地震」それぞれについて、何らかのシミュレーション手法を用いて

地表の震度や最大加速度、最大速度、地震応答スペクトル、地震波形等を計算し、③の建屋や設備の揺れ方を評価する際の地表の揺れの大きさとして使用することができる。

ただし、何故そのシナリオを選択したかの根拠を明確にするには、個別の震源の発生確率に関する情報や影響度を整理する必要がある。約5万個の震源情報を個別に企業の防災担当者が調査し、検討することは容易ではないが、確率が低いからと言って最初から排除するのは2011年3月11日の東日本大震災以降、許容されがたい。

(B) 地震ハザードカーブによる方法

地震ハザードカーブ (Seismic Hazard Curve) の例をFig. 3に示す。独立行政法人防災科学技術研究所による確率論的地震動予測地図¹⁾は、この方法を用いて揺れの大きさを震度階級で表した例である。「今後50年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率」が10%の場合、再現期間はポアソン過程とすると前述のPML値の算出で用いられる475年と同じなる。

この方法では、計算された「地震ハザードカーブ」に対して、超過確率(または再現期間)をいくつか設定すると、揺れの大きさを規定することができる。しかし、いったいどの程度の確率を採用すべきかが問題となる。

また、事業継続計画のリスク評価へ繋げるためには、ライフラインの途絶や人の行動を考える際に、被害の発生する場所がどこなのか、範囲が広域なのか等も具体化する必要がある。被災シナリオが一つにつながらないという問題も出てくる。

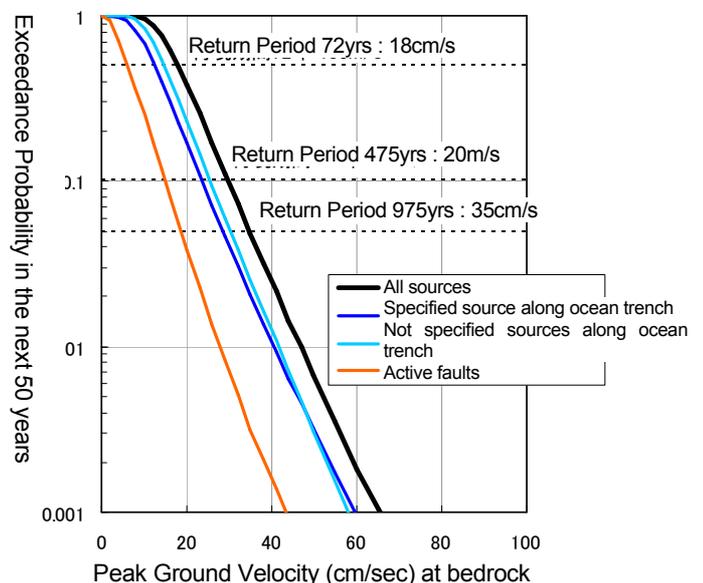


Fig. 3: Example of seismic hazard curves of the target site

(A)か(B)のいずれかの方法で①地表の揺れを評価した後、②建屋や設備の耐震性能を考慮した上で、③建屋や設備の揺れ方から被害程度を評価する必要があるが、実は①から③までのプロセスには様々な不確実性が存在している。震源に関わる不確実性のみを挙げて、位置、規模等の震源特性のほか、対象地点までの

伝播経路の特性、表層地盤の揺れ易さの特性など、全ての特性の評価を確定値として扱うには、ばらつきが大きい。建屋や設備の耐震性能の評価についても同様である。更に、液状化現象発生の有無や、津波、火災の発生など、被害想定に関わる全ての事象を網羅的に評価することは、一般の事業会社のリスク評価では現実的とは言い難い。

そこで筆者らは、(A)の方法でシナリオ地震を特定した後、①から③までのプロセスにモンテカルロ法を適用し、確率論的にリスク分析を行う方法を提案している²⁾。モンテカルロ法においてばらつきを考慮しサンプルを設定する場合、求める被害状態は理論上、如何なるシミュレーションモデルでも用いることができる。Fig. 4には、現時点で想定されるメニューの例を示す。

どのメニューを採用するかは、求める想定結果の確からしさがどの程度必要かがポイントとなる。もちろん人命に被害が及ぶ可能性については、高い精度で安全であることを検証することが必要であり、建築基準法等では人命の安全に対する最低限のクライテリアが定められている。まずこの基準を満たすことはもちろんであるが、事業の継続性については、重要度によって求められる確からしさが変わってくる。緻密な検証によりばらつきが少ない結果を求めるのではなく、ばらつきの幅はあるが主体者の情報をできるだけ正確に加味し評価する方法もある。更に、検討に用いる地震の揺れの大きさに関する指標は、地表の震度のような包括的な被害を表す指標でなく、最大加速度や速度、変形量といった、より具体的な被害事象に結び付きやすい指標を用いて考えていくことが重要だ。以下にその事例を示す。

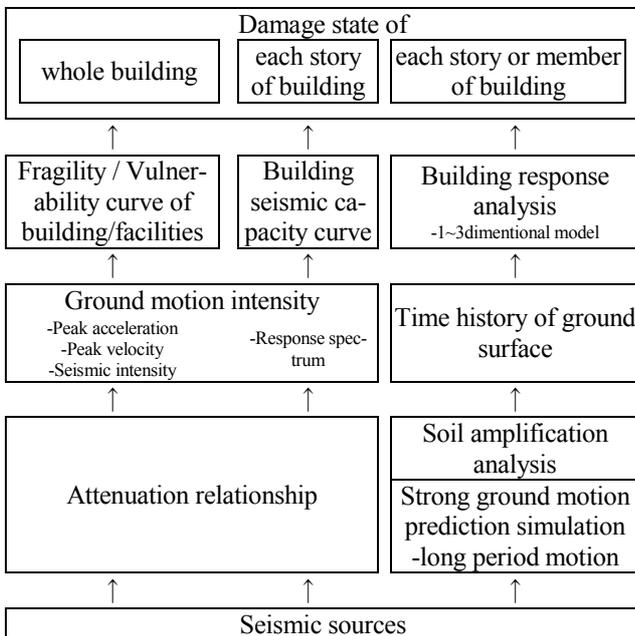


Fig. 4: Example of current simulation models for the computation of the damage state due to earthquake motion.

3 確率情報に基づく地震リスク評価

3.1 シナリオ地震の選定

ここでは対象地点の地表の揺れを評価するために、

(A)のシナリオ地震を絞り込む方法の例を示す。まず、日本全国で37万個ある震源データベースから、対象地点から半径300km程度の距離に入る震源をピックアップする。前述のとおり、東京の場合、約5万個程度に絞り込まれる。次に、各震源に対して、対象地点での揺れの強さを想定する。想定する震源の数は約5万個となるため、高度なシミュレーションは現実的ではない。Fig. 4右側のメニューに示す距離減衰式

(Attenuation Relationship)を用いるのが一般的であり、代表的な提案式としては司・翠川(1999)等がある。ここで、対象地点の地盤の揺れ易さについては、可能な限り対象地点で実施した地盤調査結果を用いて評価することが望ましい。政府や地方自治体の被害想定では、500mや1km四方の代表値として地盤条件を考慮している場合が多いが、地盤条件は数十メートルの場所の違いでも大きく異なる場合がある。地盤の揺れ易さはリスク評価の結果を大きく左右する重量なファクターとなることが多く、筆者らは対象敷地の地盤調査報告書が得られる場合は、実際の地盤をモデル化した上で、既往の観測地震波を数波入力し、地盤の揺れ易さを検討している。

約5万個の震源それぞれに対して、距離減衰式により基盤の地震動を算定し、表層地盤の揺れ易さを考慮すると地表での震度や最大加速度、最大速度等が計算できる。これを各震源の発生確率とともに整理するとFig.5に示すような縦軸に発生確率(緊急度:likelihood)、横軸に震度(影響度:impact)をとったマトリクスとして表すことができる。

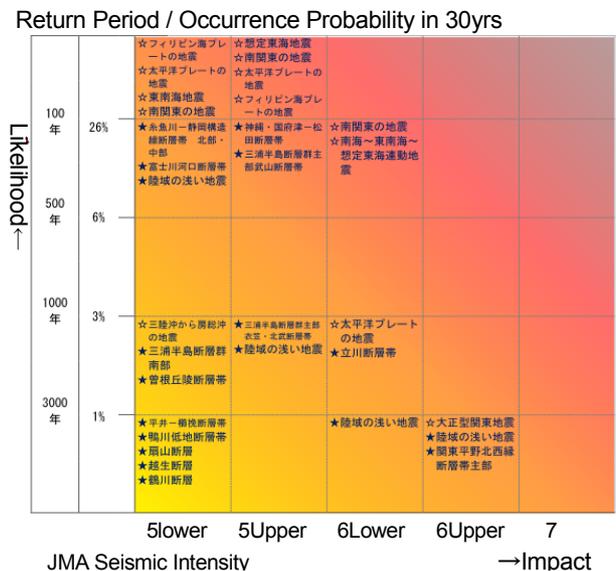


Fig. 5: Example of likelihood-impact matrix of seismic sources in surrounding area of the target site

目的とするシナリオ地震を絞り込むには、Fig.5の左上から右下の対角線より右側の領域にマッピングされる震源に着目する。同じエリアにマッピングされているものは、大きい震度が想定される震源で代表させることができるが、海溝型のプレート境界地震と陸域の浅い地震では被災範囲の広さが異なるため、この2タイプは別に扱う必要がある。そのほかに、一番右下にマッピングされた震源について、最悪シナリオとして

考慮すべきであり、最低でも3~5個程度の震源をシナリオ地震として選定する。

また、各震源の発生確率は独立行政法人防災科学技術研究所の手法と同様に、BPT分布またはポアソン過程に基づき、現時点や将来の任意の時点からの発生確率として算定することも可能である。なお、各震源の発生確率は幅を持って示されている場合がある。活動間隔および最新活動時期のそれぞれの幅の両端の中央の値に基づく地震発生確率を「平均ケース (Average case)」と称し、地震発生確率が最も高くなる状況を「最大ケース (Maximum case)」と称している。例えば、神奈川県に位置する神縄・国府津-松田断層帯の平均ケースと最大ケースの活動モデルは Table1 に示すとおりである。発生確率は現時点からの時間経過に応じて、Fig. 6 のような差が生じてくる。したがって、Fig. 5 に示す緊急度-影響度マトリクスは、平均ケースおよび最大ケースの2パターンについて作成している。

Table1: Assessment results of seismic activity of Kannawa・Khouzu-Matsuda faults zone (as of Jan. 2005)

Information from database		Average case	Maximum case
Average interval of activity	Approx. 800 ~ 1300years	1050years	800years
Latest activity	In 12 th ~14 th century	780years ago	905years ago
Occurrence probability in the 30 years	0.2%~16%	4.2%	16%
Occurrence Probability in 50 years	0.4%~30%	7.3%	26%

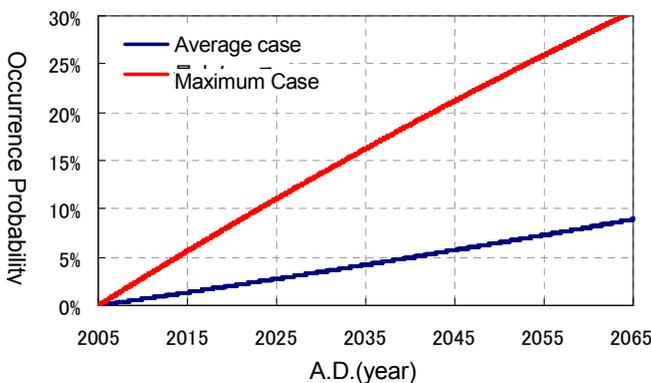


Fig.6: Occurrence probability of Kannawa・Khouzu-Matsuda faults zone estimated from information of seismic activity model (as of Jan. 2005)

3.2 被害想定

次に、3.1 で選定した震源で地震が発生した場合の被害を想定する。被害想定の際は、既にシナリオ地震の数が絞り込まれているので、より詳細に地盤の揺れ易さをシミュレーションにより評価することが望ましい。地震動の大きさによって地盤の揺れ易さの性状も異なることから、数種類の地震動強さを設定して、地盤の揺れやすさを評価することも必要である。

建物の耐震性を評価する際は、Fig. 4 のメニューに示すように、目的と予算に応じて様々な手法を使い分けることが可能だ。ここでは Fig. 4 の中央のメニュー

を用いて、最低限、各階の床応答加速度・変位が分かる方法を紹介する。Fig. 7 に示すよう、各階の揺れ方が分かると、被害程度の目安を具体的に検討することができる。

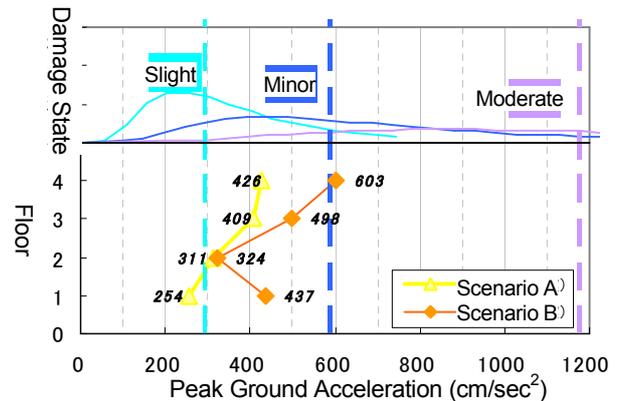


Fig. 7: Example of assessment results of building floor response and corresponded damage state

4 結言

本稿では、様々なシミュレーション技術を、確率情報で補足しながら、具体的なシナリオによる地震リスク評価を行い、災害時の事業継続戦略策定の意思決定支援を行った事例を紹介した。シミュレーション手法は Fig. 4 に示すように多数存在するが、例えば右側の簡易なメニューで対象をスクリーニングの上、詳細調査へ進み、事業継続のための打ち手を検討することもできる。この方法は段階を追って実施する必要があるが、地震対策の打ち手をはじめから耐震補強に限定することなく、多様な打ち手の可能性を検討できる点にメリットがあると考えられる。

一方、確率的なリスクの考え方自体が、日本では一般に浸透していないという課題もある。このため、地震等の災害事象に対する確率情報の理解・判断が難しく、結局、最終結果は確定情報としてみなされることが多い。確率情報の考え方、あるいはリスクコミュニケーションに関する研究は今後の課題である。

参考文献

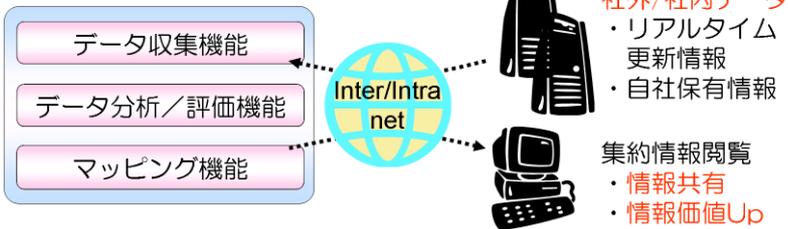
- 1) 地震ハザードステーション J-SHIS (Japan Seismic Hazard Information Station)による確率的地震動予測地図, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>, 独立行政法人防災科学技術研究所
- 2) Yuko Murachi, Yuji, Takahashi, A case study of seismic risk management of industrial buildings based on safety of employees, Proceedings of the 5th International Conference on Computational Stochastic Mechanics (CSM-5), (2006)

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）】

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		
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	

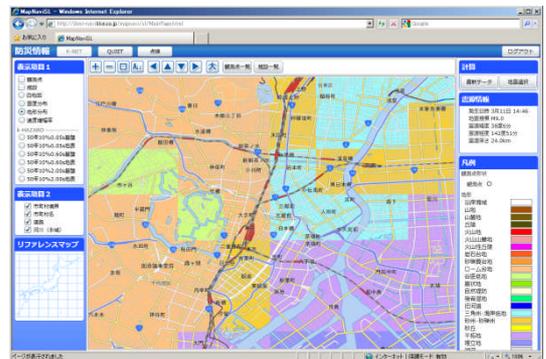
■ 機能概要（基本機能）

- 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。

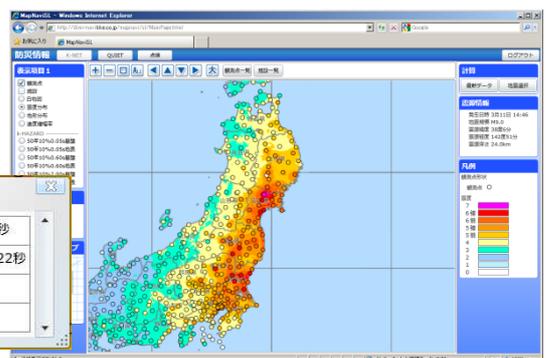
【処理確認画面（サーバ）】



【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

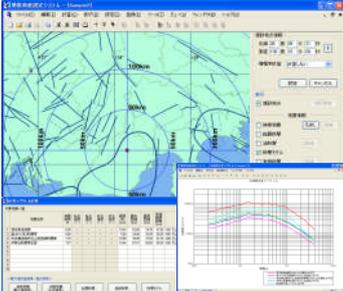
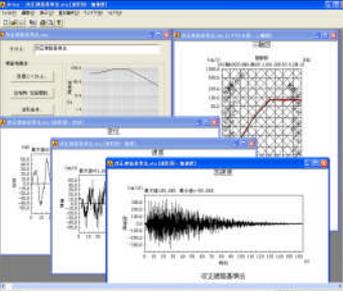
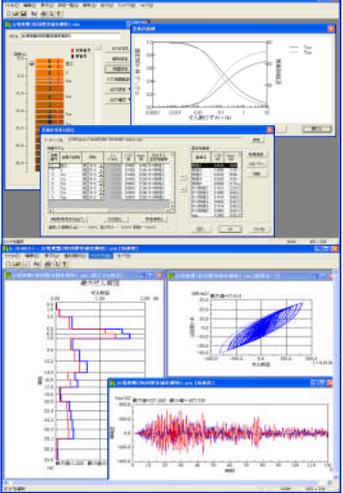
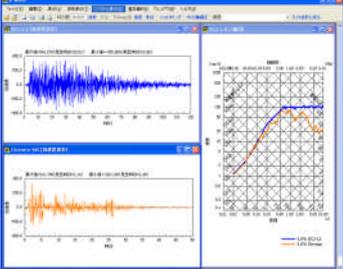
設計用入力地震動作成システム

【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。

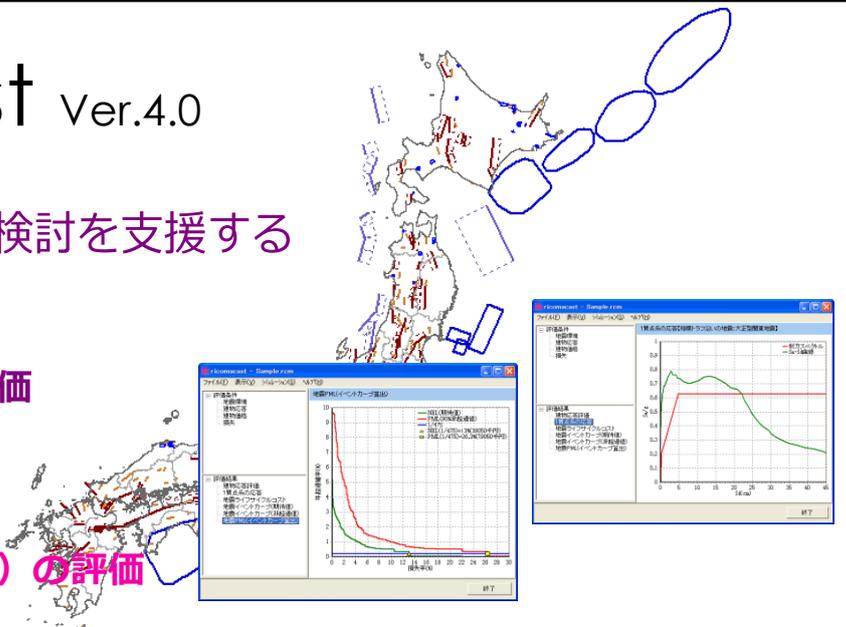
【各パッケージの機能概要と販売価格】

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査し、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拡がる成層地盤を対象とした地震応答解析プログラムです。強震記録波形やARTEQで作成した模擬地震波を入力地震波として与えることが可能です。</p> <ul style="list-style-type: none"> ■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

建物に効果的な地震対策の検討を支援する

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



Ver.4.0の主な変更点

- J-SHISの最新DBを追加**
2010年度版の地震情報データベースを追加しました。
- 連動型地震を考慮**
南海トラフの地震、宮城県沖地震、十勝沖・根室沖の地震について連動型地震を考慮できるようになりました。
- 主要活断層帯の発生確率を選択**
平均ケース/最大ケースの選択ができるようになりました。
- 各階の応答加速度の推定方法の選択項目を追加**
新たに以下の方法を追加しました。
 - ・地表最大加速度×Ai分布で算出
 - ・地表最大加速度×ユーザー指定倍率で算出

ricomacastとは？

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

震源

現在の工学的知見に基づく地震情報データベースを利用して評価することができます。また、GIS機能を標準搭載しており、建物周辺の地震環境を地図上で確認することができます※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Ci）の入力
- Bird-21保有水平耐力計算結果を利用する
- Is値の入力
- 耐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て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〉

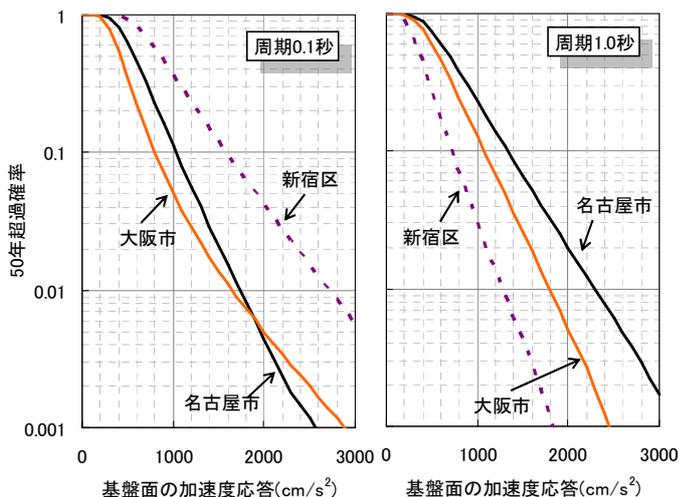
表層地盤増幅率

- 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

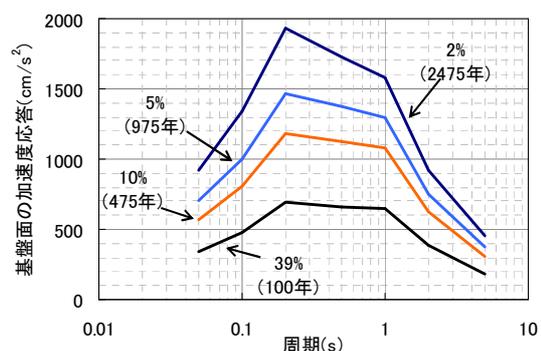
- 地震動の予測に用いた距離減衰式:Kanno et al.(2006)
- 評価基準日:2008年1月1日

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

RESP-D

RESP SERIES
Program Package for Seismic Study of Building

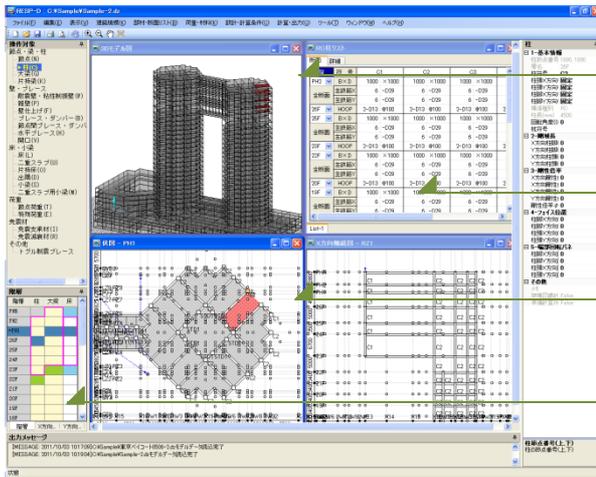
時刻歴応答解析による設計を支援する統合構造計算プログラム

■ 概要

■ プログラム概要

RESP-Dは一貫構造計算から質点系振動解析、立体振動解析までをシームレスで行う新世代の構造計算プログラムです。RESPシリーズが取り組んできた超高層建築、免震構造、制振構造に対して、数々の新しいアイデアを盛り込むことで、より高度で質の高い構造計算やプレゼンテーションをサポートします。

■ 建物データ入力の特徴



エラーの即時表示

モデル化エラーは逐次表示されるため、ミスを早期に発見できます。

構造図ライクなリスト表示

構造図に似ているため直観的なチェックが可能です。

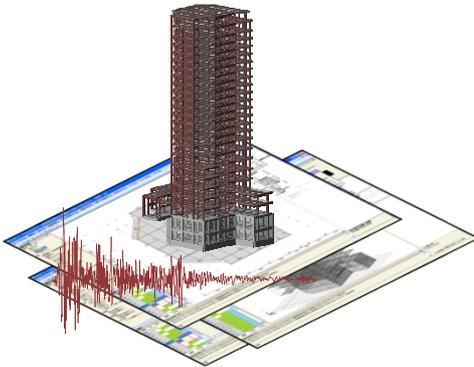
グリッド+αの形状入力

軸を基本とした任意形状が可能です。

階のグルーピング

基準階の入力省力化が可能です

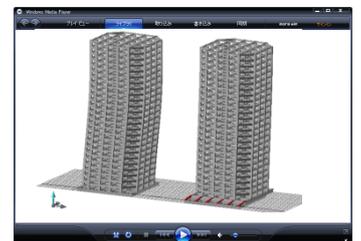
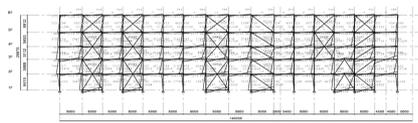
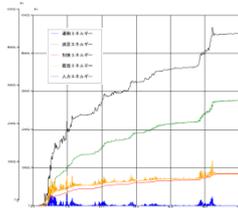
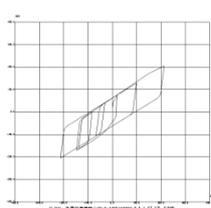
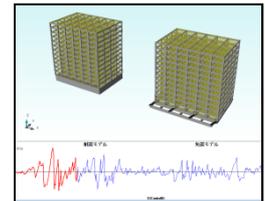
■ 計算機能の特徴



- ・非剛床解析の指定（剛床解除節点の指定）が可能、水平ブレースに対応しています。
- ・荷重増分解析での保有水平耐力計算、部材余裕度計算、水平・上下の3成分地震波入力による弾塑性立体振動解析が実行可能です。
- ・柱のM-Nインタラクションモデルはファイバー断面モデルを採用し、2軸曲げ柱に対して妥当性の高い解析が可能です。
- ・オイルダンパーなど粘性型の制振装置も配置でき、立体による検討が簡単に行えます。
- ・中間層免震を含む免震モデルの解析が可能、免震装置の引張非線形の設定が可能です。
- ・一つのデータで免制振装置の特性変動を考慮した解析が可能です。
- ・質点系モデルの作成および振動解析に対応しています。 **NEW**
- ・位相差入力解析に対応しています。 **NEW**
- ・鉄骨・コンクリート数量出力に対応しています。 **NEW**
- ・袖壁および垂壁の考慮が可能です。 **NEW**
- ・非充腹SRC部材（ラチス・格子）に対応しています。 **NEW**

■ 構造計算・出力機能の特徴

- ・告示等で定められた書式による構造計算書出力が可能です。
- ・構造図に近い、伏図・軸図・部材断面リストが出力できます。
- ・時刻歴応答解析結果に対する、ヒンジ図・部材応力・履歴等の出力が可能です。
- ・印刷前のプレビューが行えます。
- ・解析モデルの応答解析アニメーションが作成できます。（塑性化部材の表示が可能）
- ・応答解析アニメーションでは、2棟並べての応答比較が可能です。



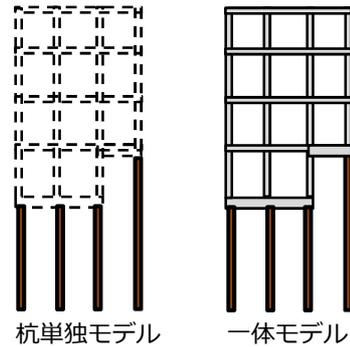
杭計算機能バージョンアップ 4月リリース予定

■ 杭計算機能の概要

RESP-Dでは現在、杭計算機能の機能追加を行っています。
主な機能としては下記を予定しています。

- 杭のみをモデル化した「杭単独モデル」、上部構造・杭・地盤ばねをモデル化した「一体モデル」による解析機能。
- 1次設計（短期）、2次設計（終局）の検定機能。
- 構造計算書印刷（杭伏図、杭断面リスト、モーメント図、検定値図、検定表）

4月リリース時点では場所打ち杭に対応し、既成杭については順次対応予定です。



■ RESP-Dによる杭計算機能のメリット

データの連続性

単一のプログラムで上部構造の設計から杭の設計まで行えるため、データの連続性が保たれます。

詳細なモデル化

一体モデルでは上部構造による杭の軸力変動を考慮した解析が行えます。

カスタマイズ

本機能をベースに自社工法など各社向けのカスタマイズも承ります。

直観的な画面入力

伏図、軸組図による配置の確認

位置	符号	P1	P2
杭長(m)		10	10
杭径		1600	1600
一段筋		20-D29	20-D29
帯筋		D13 @200	D13 @200
鉄骨		-	-
材料		STKR490	STKR490
杭長(m)		10	10
杭径		1600	1600
一段筋		20-D29	20-D29
帯筋		D13 @200	D13 @200
鉄骨		-	-
材料		STKR490	STKR490

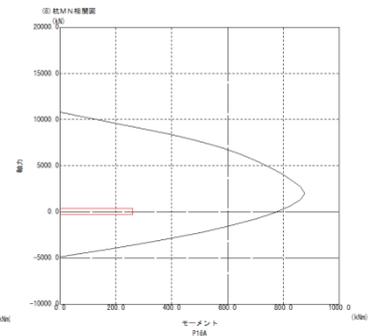
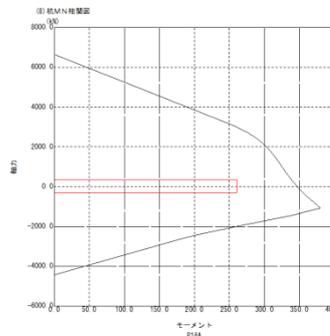
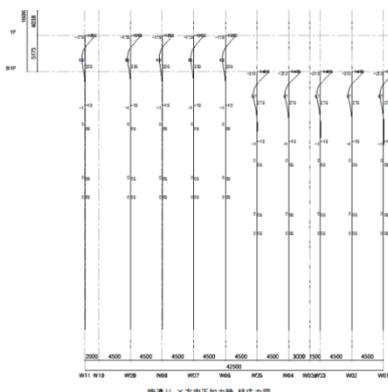
杭各種設定

杭符号	本数	地盤ばねタイプ	基礎重量(kN)	杭長(m)	偏心ex(mm)	偏心ey(mm)			
WE		W11	W10	W09	W08	W07	W06	W05	W04
WD							P1	P1	
WC									P1
WB		P1		P1	P1	P1	P1	P1	P1
WA		P1		P1	P1	P1	P1	P1	P1
W0			P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1

グリッドによる編集でExcelからのCopy&Paste可能

杭計算に関する各種計算結果出力機能

符号	P1	P2
軸組杭径	φ-1600	φ-1600
杭底杭径	φ-1600	φ-1600
杭長	10	10
主筋	20-D29	20-D29
帯筋	D13@200	D13@200
鉄骨		
材料		
杭長	10	10
主筋	20-D29	20-D29
帯筋	D13@200	D13@200
鉄骨		
材料		
杭長	-	20-D29
主筋	20-D29	20-D29
帯筋	D13@200	D13@200
鉄骨		
材料		



断面リスト

応力図

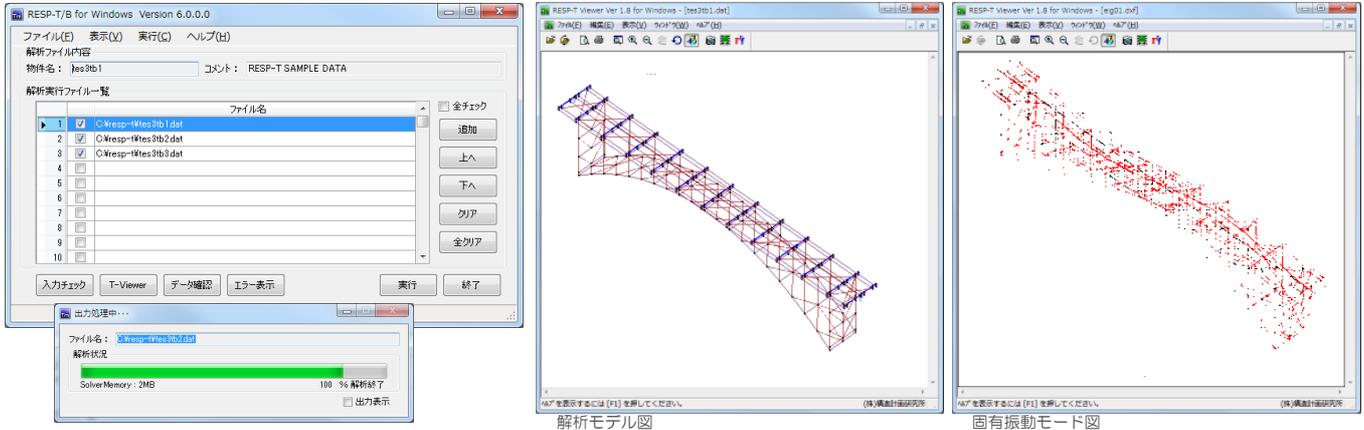
許容応力度、終局耐力による
インタラクションカーブ

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)、座屈固有値解析
* (1)荷重増分と強制変位の同時作用が可能

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

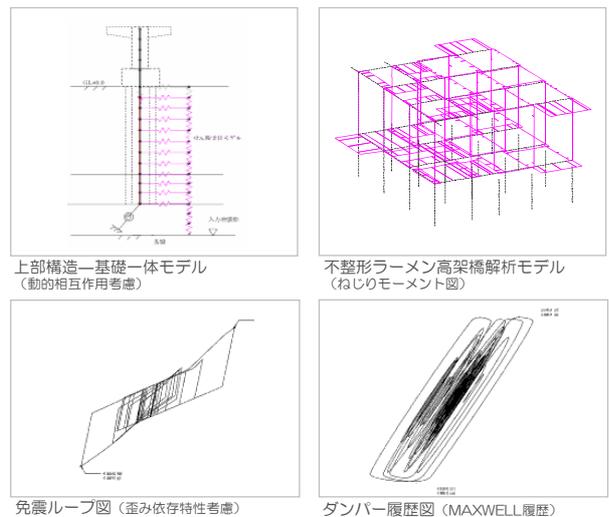
D-Tri型、ひび割れ域剛性低減型、パイリニアスリップ型、D-Tri(電共研案)型、3次関数逆行型、歪み依存型パイリニア型、高減衰積層ゴム修正パイリニア型、Ramberg-Osgood(hardning考慮)型、(株)プリジストン鉛入り積層ゴム型、東洋ゴム(株)HDR型修正パイリニア型、新日鐵(株)鋼棒ダンパー関数近似型、新日鐵(株)鋼棒ダンパーパイリニア型、5社共通仕様新LRB型、新日鐵U型ダンパー(関数定義型)型、ゴム支承トリリニア、オイレ工業(株)BMRダンパー型

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、速度依存パイリニア逆行型、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/>



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 structure is shown. In the center, a 3D model of a bridge structure is visible. On the right, a 3D model of a composite structure is shown. The software windows include 'モデル情報' (Model Information), '断面情報入力' (Section Information Input), '分析結果' (Analysis Results), and '荷重-変位曲線' (Load-Displacement Curve).

■ 対象構造形式

- ✓ ラーメン高架橋
- ✓ ラーメン橋脚
- ✓ 連続桁橋
- ✓ 杭基礎（場所打ち杭・直接入力）
- ✓ SRバネ（直接入力）
- ✓ 支承バネ（直接入力）

■ 対象部材

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

■ 計算機能

- ✓ 破壊モード推定解析（静的非線形解析）
- ✓ 所要降伏震度スペクトル法（静的非線形解析）
- ✓ 時刻歴動的な非線形応答解析
- ✓ 固有値解析

◆ 改訂作業中の鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）にも対応予定です。

◆ 解析コンサルティングも行っております。

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

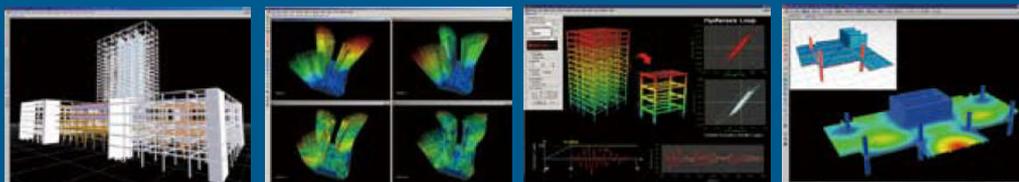
DARSは、（公財）鉄道総合技術研究所と（株）構造計画研究所との共同開発によるプログラムです。

構造計画研究所
 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

※構造計画研究所、構造計画研究所ロゴは、株式会社構造計画研究所の登録商標です。
 ※DARSは、株式会社構造計画研究所の登録商標です。
 ※記載されている会社名や製品名は、各社の商標または登録商標です。
 ※本製品は、公益財団法人鉄道総合技術研究所と株式会社構造計画研究所との共同開発によるものです。

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

設計業務を広範囲でサポートする構造解析システム



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



midas FEA
建設用FEM専用解析ツール

詳細はこちら ↓

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

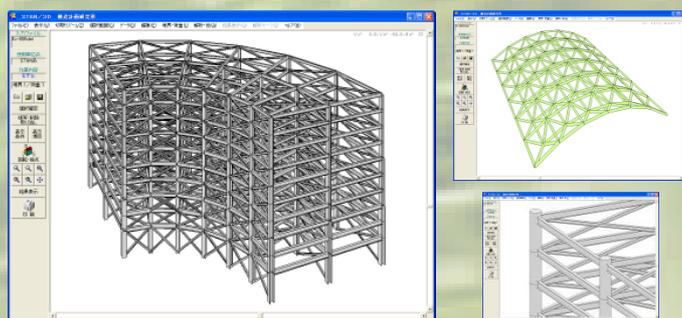
midas Gen 及び midas FEA は、MIDAS IT社の商標です。
表記の社名及び製品名等は、各社の登録商標または商標です。

株式会社 構造計画研究所 midas サポート係
TEL : 03-5342-1050 FAX : 03-5342-1238 E-Mail : midas@kke.co.jp

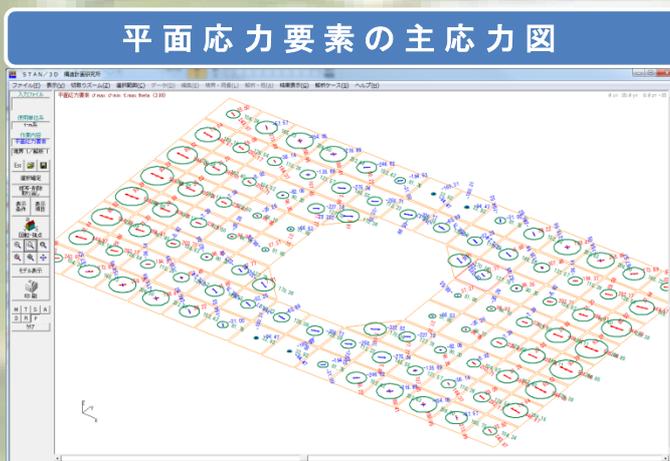
3次元任意形状フレーム構造解析ソフトウェア

STAN

2012年4月バージョンアップ
(平面応力要素追加)



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



※2012年2月時点の開発内容をもとにしております。実際にリリースされる内容とは異なる場合があります。

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

お問い合わせ先

株式会社構造計画研究所 STAN 係
〒164-0011 東京都中野区中央 4-5-3
TEL : 03-5342-1052 FAX : 03-5342-1238

URL : <http://www4.kke.co.jp/stan>
E-Mail : stan@kke.co.jp

汎用の非線形有限要素法解析プログラム

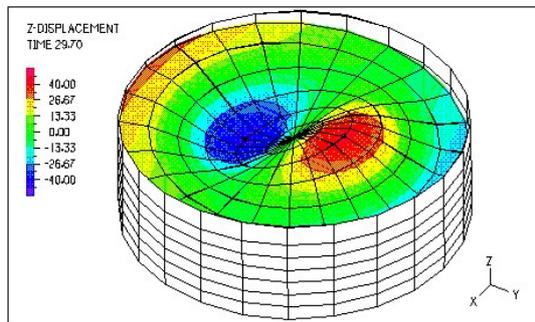
ADINA

特徴

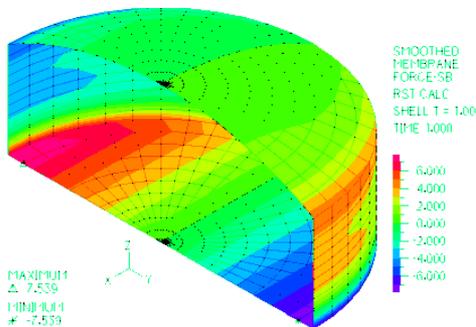
ADINA は、マサチューセッツ工科大学の研究成果を反映し ADINA R&D 社が開発した代表的な汎用の構造・熱伝導・熱流動解析プログラムです。非定常・非線形挙動を高精度な計算機能で解くことが可能です。 弊社ではプログラム販売の他、解析コンサルティング・サービスもご提供しております。

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



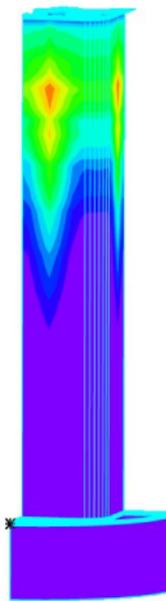
タンク壁面：断面力分布

■スロッシング解析のポイント

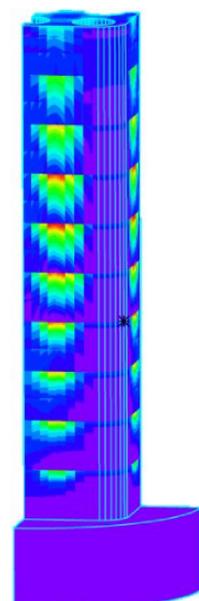
- ・構造と流体の相互作用解析
- ・タンクはシェル要素、流体は流体要素
- ・地震入力による動的応答解析
- ・スロッシング波高やタンク応力の算定
- ・浮き屋根の有無による差異の検討

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。

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/>



Structural Design

「Structural Design」サイトでは構造設計・監理、耐震診断・補強などに関する実績等をご紹介しています。英語版のサイトもオープンしました。ぜひお立ち寄りください。

日本語サイト：<http://www.kke.co.jp/stdn/>

英語サイト：<http://www.kke.co.jp/stdn/en/>



Reconstruction Portal

東日本大震災から一年を迎えるにあたり、当社の持つ耐震、防災、避難等の復旧・復興に役立つ技術、サービスをご紹介する復興支援ページを公開しました。本ページは、過去に実績のあるソリューションの事例と、当社が「YouTube」で公開している動画をリンクさせた構成となっています。動画は主に、自然現象や社会現象を数値モデル化し、コンピュータでシミュレーションした結果をアニメーションで表現しています。この現象の「見える化」は、これから進められていく「復旧・復興」における意識共有・合意形成・意思決定の場面で有効な手法であると考えています。多様なシーンに役立つ豊富なコンテンツがございますので、是非、ご覧いただき、ご相談いただければ幸いです。

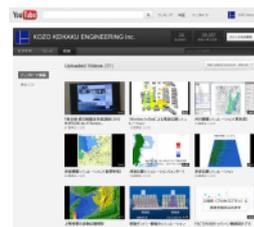
http://www.kke.co.jp/product/reconstruction_aid/



YouTube

弊社では、公式チャンネル「KKEchannel」でさまざまな動画を配信しています。解析結果のアニメーションやソリューションのご紹介、セミナー講演の映像など。ぜひ迫力ある映像をご覧ください。

<http://www.youtube.com/user/KKEchannel/>



twitter (@KKE_Inc)

140字でわかる構造計画研究所！平日は日本語、土曜日は英語で、弊社セミナー・イベント・ニュースリリースなどの情報を配信しております。ここでしか見られないこぼれ話をつぶやくことも。”@KKE_Inc”のフォローをお願いいたします。

http://twitter.com/#!/KKE_Inc



Facebook

弊社セミナー・イベント・ニュースリリースなどの情報を毎日更新しております。より具体的にセミナー・イベントの雰囲気をお伝えするため、多くの写真を掲載しております。ぜひ Facebook ページ「株式会社構造計画研究所」をご覧ください。

<http://www.facebook.com/KKE.Inc>



From Editors

「ラ・フォル・ジュルネ・オ・ジャポン」というクラシック音楽フェスが5月のGWにあるそうです。クラシックを身近にということでチケット料金が破格の1500円！だそうです。建物と地震に肩まで浸かっていると世間からどんどん離れています。人間らしい文化を体験して世間に近づこうとの試みで、鑑賞しに行きたいと思っています。クラシックコンサートの鑑賞は実に小学生以来の15年ぶりです。鑑賞時の目標は「寝ないこと」でかなり低い意識ですが、音楽も地震も同じ振動仲間なのでなんとか耐えられるのではないかと勝手に思っています。「ラ・フォル・ジュルネ・オ・ジャポン」のチケットの発売は3月末からだそうです。良かったら行って下さい。

防災ソリューション部 建築構造室 坂場律和

年明けにロボット掃除機を購入しました。今までは掃除機をかけられるのが週末のみだったため、金曜日には床がゴミだらけになり気分が落ち込みがちでしたが、入社前にボタンを押すだけで綺麗な床をキープできるので大助かりです。排気がないこともあって、子育て世代を中心に急速に普及が進んでいるというロボット掃除機。保育園のママ友も購入検討中で、先日我が家の掃除機がお試し出張してきました。お仕事中のロボット掃除機の後ろを興味津々でついて回っていた彼女の息子は、帰宅したパパにむかって「ル〇バはパパより仕事できるね♪」と満面の笑みで言ったそうです。便利になるのは助かりますが、ロボット任せでサボっていると「ダメ親」と判断されてしまうようなので、気を付けたいと思います。

エンジニアリング営業部 社会環境ソリューション室 木村まどか

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.28 2012.3

発行日 平成 24 年 3 月 26 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