

Topics

【イベント出展報告】

- 事前防災・減災対策推進展&気象環境展
(2016/7/20~22 開催) 出展報告

【ニュース】

- ドローン活用分野とその可能性
- 木構造専用設計支援システムのご紹介

Technical Reports

- 粘弾性モデルを用いた GPS データの逐次インバージョンによる 2011 年東北沖地震の余効すべり分布の推定
- 2011 年東北沖地震後の海底地殻変動：プレート境界深部の余効すべりとアセノスフェアの粘性緩和の複合効果



2016 年熊本地震について

(株)構造計画研究所
代表取締役社長
服部正太

この度の熊本県、大分県で発生した一連の地震で亡くなられた方、負傷された方に謹んで哀悼の意を表しますとともに、お怪我の快復をお祈り申し上げます。現在も被災され避難生活を余儀なくされている方々に心よりお見舞い申し上げます。一日も早く、被災された皆様が日常生活を取り戻されることを願ってやみません。

4月14日夜に発生した前震およびその後発生した4月16日未明の本震で、熊本県大津町にあります当社熊本構造計画研究所も激しい揺れを受けました。震災の報道情報等により、お客様、大学研究者、海外のパートナーなど、多くの方々からお見舞い、ご心配のお問い合わせをいただきましたことを感謝申し上げます。おかげさまで、所員、嘱託、アルバイト、出向社員に至るまで誰一人として人的被害は受けおりません。また、昭和61年（1986年）に竣工し、約100名が勤務する建屋や設備についても重大な被害は出でていないことをご報告申し上げます。

弊社の熊本とのご縁は、昭和35年（1960年）に竣工した熊本城の天守閣再建計画に構造設計業務として創業者の服部正（まこと）が関わさせていただいた時に始まります。再建にあたり意匠と考証を担当された日本建築史の専門家、故藤岡通夫先生の指導で、数百年前に建設された熊本城の石垣に影響を与えないよう、杭を地中深く堅い地盤まで打ち込み、天守閣を支えるよう設計しております。今回は、残念なことに歴史的建造物の石垣が崩れ、宇土櫓まで損傷を受けておりますが、天守閣の基礎は十分に役割を果たしております。もし機会をいただけるのであれば、真摯に熊本城の復旧工事に関わりたいと願っております。

また、創業者は、昭和58年（1983年）当時の細川護熙知事のテクノポリス構想に沿った企業誘致の末、熊本空港近くのテクノポリス団地ではなく、白川を挟んだ反対側の熊本県大津町の台地に事業所を構える決定を下し急逝しました。あれから33年の歳月が過ぎ、熊本の地で採用した人材は、当社の屋台骨として全国で活躍しております。熊本県出身者あるいは熊本県内の大学出身者は、当社の所員の約3割を占めております。私ども構造計画研究所は、専門的技術エンジニアリングの側面から、これからも熊本の復旧、復興に正面から関わっていきたいと願っております。

今後とも皆様方のご指導、ご鞭撻をよろしくお願い申し上げます。

末筆ながら、多くの方々にいろいろとご心配いただき、誠にありがとうございました。

解析雑誌 Vol.41 2016.8

巻頭言 『2016年熊本地震に関して』 代表取締役社長 服部正太 02

Topic 1

- 事前防災・減災対策推進展&気象環境展（2016/7/20～22 開催）出展報告 04

Topic 2

- ドローン活用分野とその可能性 06

Topic 3

- 木構造専用設計支援システムのご紹介 12

Technical Report

- 粘弾性モデルを用いた GPS データの逐次インバージョンによる 2011 年東北沖地震 16 の余効すべり分布の推定

野田朱美、高浜 勉、大場政章氏、松浦充宏氏

- 2011 年東北沖地震後の海底地殻変動：プレート境界深部の余効すべりとアセノス 18 フェアの粘性緩和の複合効果

野田朱美、松浦充宏氏

連載

- 解析プログラムの便利な使い方 22

Editor's Note

- From Editors 23

メンテナンス・レジリエンス TOKYO 2016

事前防災・減災対策推進展&気象環境展（2016/7/20～22 開催）出展報告

構造計画研究所では、建築、土木分野において蓄積してきた構造力学的視点に立ったシミュレーション技術やデータ分析技術、リスクアナリシスコンサル技術、構造設計・耐震補強におけるノウハウを、様々な業界の方に広く紹介し、交流を促進することを目的に、展示会への出展を積極的に行ってています。

■出展のご報告

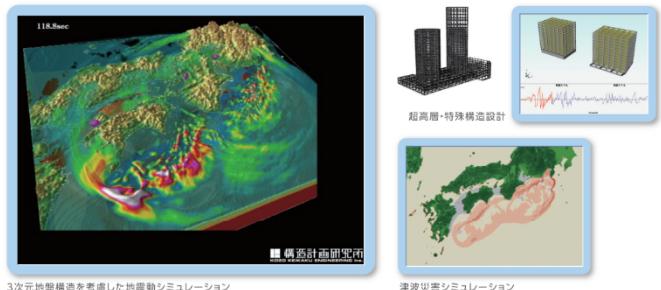
事前防災・減災対策推進展&気象環境展

会期	2016年7月20日(水)～22日(金)
会場	東京ビッグサイト(東京国際展示場) 東ホール
主催	一般社団法人日本能率協会
出展テーマ	・シミュレーションによる自然災害コンサルティング ・BCP総合サービス ・施設の免震・耐震補強
出展者セミナー	BCP担当者様必見!!リスク評価から始める自社BCPの再点検 ～実効性を高める10の実務ポイント～
	森総合研究所 森 健氏

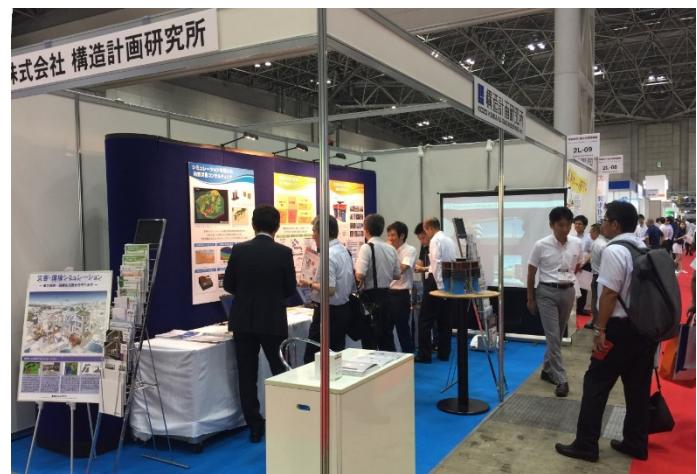
価値ある防災投資へ BCP総合サービス



シミュレーションを用いた 自然災害コンサルティング



防災拠点となりうる 建物を考えます



「事前防災・減災対策推進展&気象環境展」
展示ブース風景

鉄道構造物等の3次元耐震性能照査プログラム「DARS」が、平成24年「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」（以下、耐震標準）、平成24年「鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物」に対応しました。 主な変更・追加内容は、以下となっております。

■ 一体型モデルによる動的解析

自由地盤と構造物を一体として扱うことで地盤と構造物の相互作用を自動的に考慮できるモデルであり、動的解析法を用いる場合は、耐震標準では地盤と構造物の相互作用を適切に評価する必要があるため一体型モデルを用いるのが良いとされている。DARSでは、質点系モデルでの一体型モデルによる動的解析が可能です。

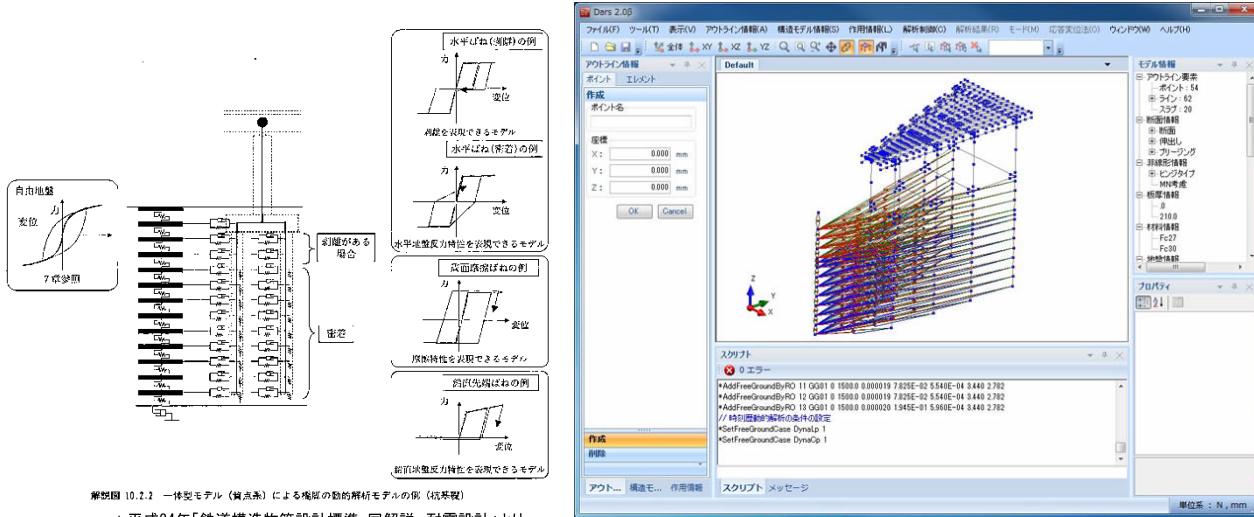


図10.2.2 一体型モデル（質点系）による地盤の動的解析モデルの例（根基盤）

* 平成24年「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」より

■ 土の非線形モデル

Ramberg-Osgood (ROモデル) に対応しています。

■ 減衰

以下の減衰が使用可能です。

- ・部材別剛性比例減衰
- ・レーリー減衰

■ RC部材の断面算定

RC部材の断面算定プログラムを変更しました。これによりVepp-RC と同等な断面照査を実施します。

■ 非線形応答スペクトル法に用いる降伏震度の変更

「構造物全体系の折れ曲がり点」に対応する震度Kheqを用います。

■ 地盤ばねの変更

平成24年「鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物」の杭基礎のトリリニア型の地盤バネへ対応しました。

■ 今後の予定

- ・土の非線形モデルGHE-Sへの対応
- ・平成28年「鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物」対応

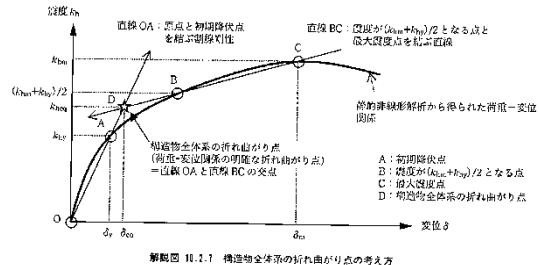
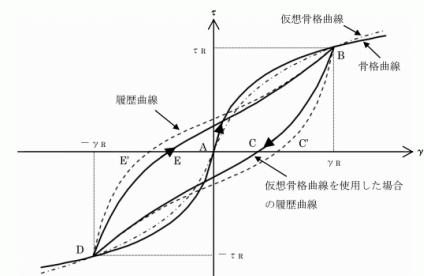


図10.2.7 構造物全体系の折れ曲がり点の考え方

* 平成24年「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」より



GHE-Sモデル（今後予定）

<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。



ドローン活用分野とその可能性

通信システム部 相川 梓
 公共企画マーケティング部 中村 保則
 事業開発部 西浦 升人

はじめに

皆さんご周知のとおり、昨今「ドローン」と呼ばれる無人航空機の性能向上と低価格化が進み、身近に活用されるようになってきました。構造計画研究所では2014年からその発展に注目し、調査、適応技術領域の検討を行っています。

そこで本稿では構造計画研究所が考えるドローンの活用分野とその可能性について掘り下げてみたいと思います。

1. ドローンとは

「ドローン」とは、無人航空機全般を指して使われている言葉ですが、別名UAV(Unmanned Aerial Vehicle)、周辺システムを含めUAS(Unmanned Aerial Systems)と呼ばれることもあります。ドローンと聞いてみなさんが思い浮かべる複数のプロペラを持つものは、マルチコプターと呼ばれる機体で、複数のプロペラを制御することによって空中での一時停止(ホバリング)が容易であることが特徴です。その他にも固定翼機や飛行船も含めてドローンの一種といえます。

2. ドローンの活用範囲

ドローンは空撮(空を飛ぶカメラ)の分野ではすでに活躍していますが、今後は宅配や通信機、空を飛ぶセンサ、作業を行うロボットとしての活躍が期待されています。構造計画研究所ではセンサとしてとらえ、そこから得られる情報を如何に活用していくかという視点で活用の検討を進めています。

表 1 ドローン+センサによる活用分野

分野	活用目的	どうやって
測量	施工計画・管理・出来形計測等	画像から3次元モデル生成→3次元測量
点検	建造物、太陽光パネルの点検	画像からひび割れ、劣化抽出、故障個所の抽出
管理	資材管理、家畜管理	ICタグ・温度データ取得による生物検知・異常検知
農業	農業の生育確認	マルチスペクトル画像による育成分布図作成
科学	気象調査、放射線量測定	各種センサと位置情報による、データ取得
災害	被害状況の把握	画像から3次元モデル作成

3. 測量分野での活躍

空撮以外の産業で、ドローンを利用した産業利用が進んでいる分野として測量があります。平成28年度から国交省が進める「ICTの全面的な活用 (ICT土工)」による建設生産システム全体の生産性向上を図る取組であるi-Constructionの大きな原動力としてドローンがICT建機として組み込まれています。

具体的には、ドローンで対象を空撮した画像から3次元モデルを構成し、そのモデルから土量計算や施工管理に利用します。

CIM(コンストラクション・インフォメーション・モデリング)推進力の一つであり、「判断の迅速化」「施工の効率化」「工期短縮とコスト削減」に貢献すると期待されています。

国交省の基準として、調査、測量、設計、施工、検査の各工程で、「UAVを用いた公共測量マニュアル」が定められており、現場の土木技術者が3D土量計算を行うことが想定されています。

2016年5月号の土木学会誌は、UAV特集となっており、誌面では施工面積30,000m²の従来測量とUAV測量の人工比較の実績を載せています。従来測量21.5人工であったものが、UAV測量では、5.5人工になったとのことで、大幅な効率化が実現しています。今後は測量精度の向上も含めて技術開発が期待されています。

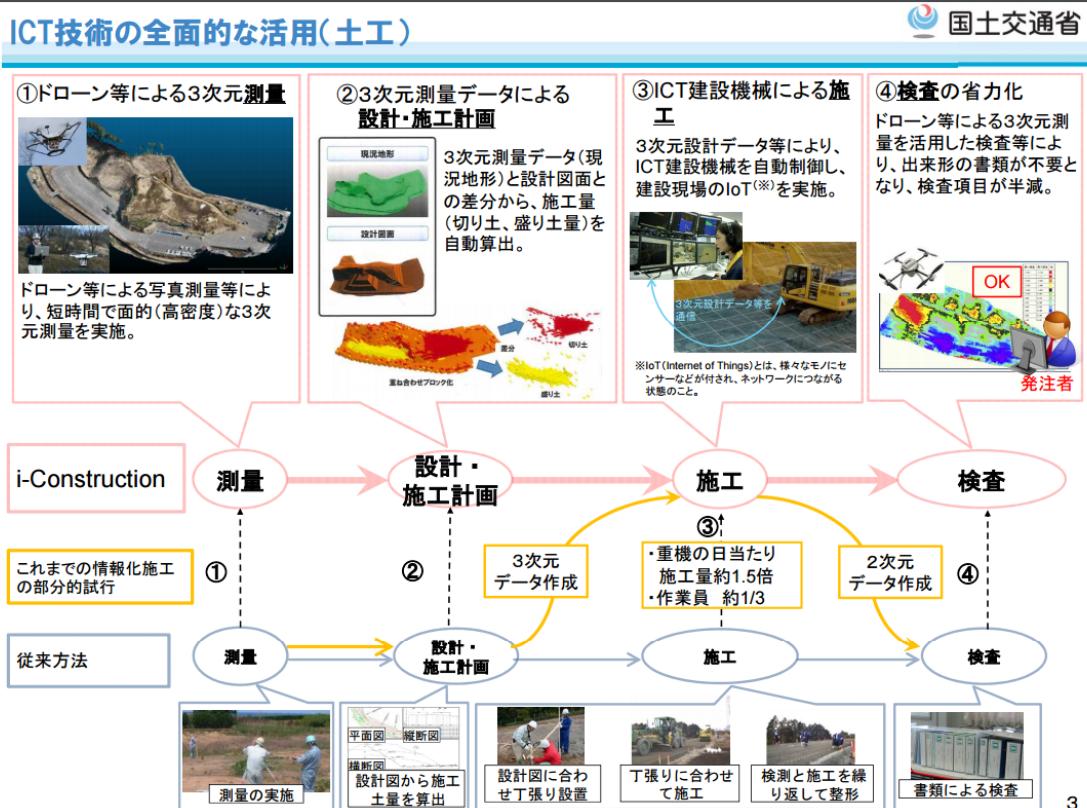


図 1 国交省「i-Construction の取組」(<http://www.mlit.go.jp/common/001111976.pdf>)

ロボットの機能	機能の評価
行く	<ul style="list-style-type: none"> ・移動範囲の広さ、速さに優位性 ・狭所への侵入・安定性・安全性に課題 ・今後も適用範囲の拡大が見込まれる
見る 撮る	<ul style="list-style-type: none"> ・鮮明な画像は、点検情報取得に実用的なレベル ・叩く、集音する機構はほぼ実用段階
検出する	<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ幅、長さ検出は、実用的な精度はない ・検出作業が最も手間の占める割合が大きく、この改良が効率向上に大きく向上する見込み
記録する	<ul style="list-style-type: none"> ・点検調書（紙）レベルの記録品質のものあり ・ICTの進歩を鑑み、従来調書に依らない管理方法（3次元化モデル等）を検討

図 2 H27 インフラ点検ロボット(橋梁)評価概要

4. 点検・維持管理分野での活躍の可能性

もう一つ大きな期待として、点検分野でのドローンの活用があります。

平成26、27年に国交省ではインフラ点検ロボット導入重点分野を設定しています。維持管理分野として「トンネル」、「橋梁」、「水中」、災害対応分野として、「調査」、「応急復旧」を取り上げ、現場検証技術を募集し評価を行っています。特に橋梁分野の点検ロボットとして多数のドローンがエントリーされました。初年度の評価は厳しいものでしたが、翌年は点検現場で支援が行える可能性がある、と評価も実用化を踏まえた表現に変わってきています。

今後期待されているものは、検出技術の向上です。これは画像の解析および評価の自動化と言い換えることができます。

単純に撮影したひび割れの大きさだけでなく、部材種別を把握することも必要です。ドローンの安定した飛行による撮影技術と、点検のノウハウを如何に画像解析技術に落とし込めるか、ということがポイントになると考えています。

撮影した大量の画像データをシステムとして管理を行い、経年変化を記録・管理・将来の劣化を予測することで真に意味のあるリスク評価につながるといえます。構造計画研究所においても保有する画像解析技術と組合せ、点検フローの見直しおよびシステム化に向けて取り組みを進めています。

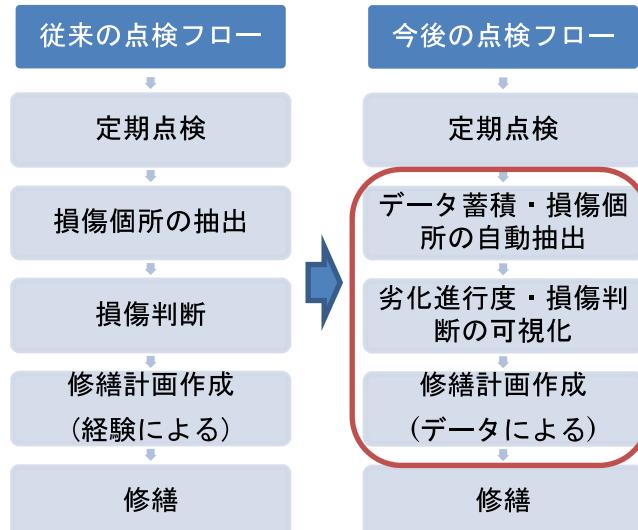


図 3 今後期待される点検フロー

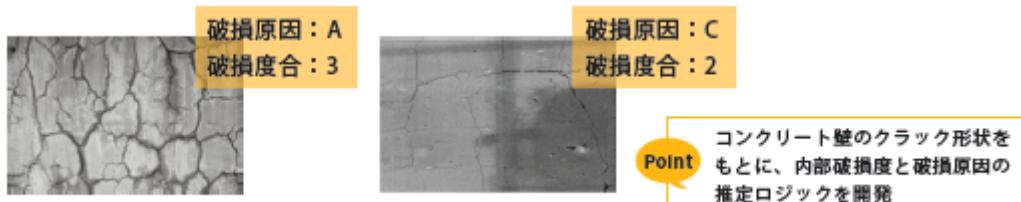


図 4 画像解析技術を用いた目視点検・目視判断支援事例

5. ドローン活用に必要な課題解決技術

現段階ではドローンを安心安全に活用する為には様々な課題があります。現場でよく聞かれるのはドローンパイロットの養成で、これは最初に直面する課題の1つですが、私たちは様々な課題があるなかでも、無線通信の高度化に注目しています。

無人航空機であるドローンは有人航空機と同様に、無線通信の品質・安定性が重要です。遠隔制御による飛行、飛行空域の違いがある為、ドローン特有の課題が存在します。弊社では長年、移動体通信や広域電波伝搬に関わる「無線通信」の業務に携わってきました。電磁界・電波伝搬シミュレーション、GPS/GNSSを用いた位置測位のシミュレーション、およびネットワークのシミュレーション技術を保有しており、これらの技術・実績がドローンの安全かつ安定的な運航に活用できると期待しています。

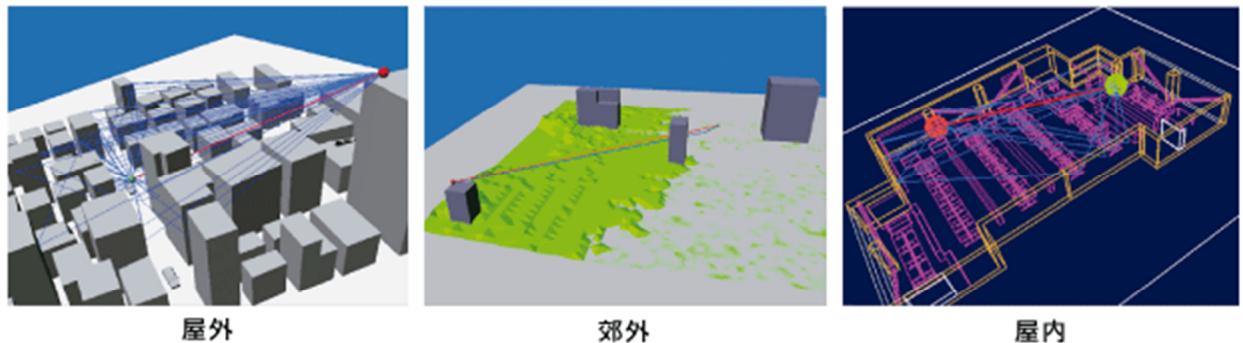


図 5 無線シミュレーション事例

現在の日本の法律では、目視外の飛行は許されていませんが、将来的に目視外で飛行するドローンが登場してくることでしょう。しかし自由な飛行を実現しようとする際、遮蔽物があるとドローンに命令を送ったり、ドローンからの映像を受信したりすることができません。そこで遮蔽物を回避し無線を中継する技術が重要になると考えており、『ドローンdeリレー』という中継技術の開発も行っています。



図 6 『ドローン de リレー』イメージ図



図 7 『ドローン de リレー』適用範囲

6. 終わりに

ドローンは「空の産業革命」を担うと世界的に注目されています。海外、特に中国メーカーの台頭が目覚ましいですが、日本においても官民一体となり活用の現場を広げ、新たな産業を興すことが期待されています。携帯電話がこの20年で一般的になったように、ドローンが空飛ぶロボットとして、多様なシーンで活躍する日もそう遠くない未来に実現することでしょう。

構造計画研究所もドローンで取得できるデータを活用したソリューションと、ドローンの安心安全な運用を支援する技術の2つの側面から貢献していきます。

ドローン活用時の様々な課題は、建設・通信・画像解析等の技術を合わせ持つ弊社に、是非ご相談ください。

津波シミュレータ **TSUNAMI-K**

津波波高・遡上計算プログラム

津波による浸水や被害を
事前に予測することができます

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では津波による甚大な被害が発生しました。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。

(株)構造計画研究所では、従来から蓄積してきました建築計画・構造設計や流体問題の解析技術を基に、津波シミュレータ「TSUNAMI-K」を使った津波解析コンサルティングサービスを実施しております。

TSUNAMI-K 3の特徴



特徴 **1 簡単操作**

簡易な操作で
津波シミュレーション
が可能です。

特徴 **2 編集自由**

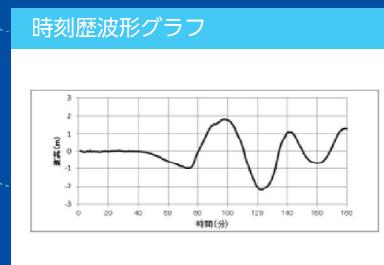
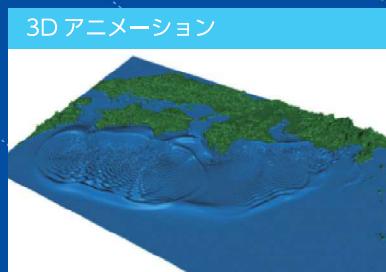
建物や地形の詳細な
データの追加・修正などの
編集が可能です。

特徴 **3 出力多彩**

アニメーション等の
多彩な結果出力に
対応可能です。

2D・3Dアニメーション表示だから解析結果が一目瞭然

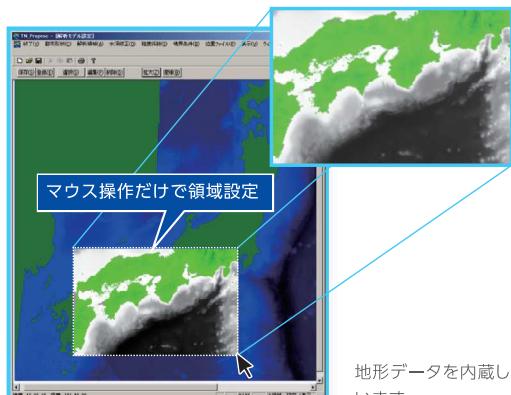
今まで津波・遡上解析を行う場合は、専門的な知識を要求される3つのプログラムを実行する事が必要でした。TSUNAMI-Kは地形・建物の作成、波源の設定、津波・遡上計算、結果の表示を1つのプログラムで、誰でも簡単に実行できます。津波・遡上計算機能は最新の知見を導入しており、高度な解析機能を有します。また、最大波高などの分布図や、時刻ごとの水位・流速等の表示や出力、アニメーション作成機能を持っています。様々な範囲での津波・遡上評価にご利用下さい。



津波シミュレータ「TSUNAMI-K」の使い方

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



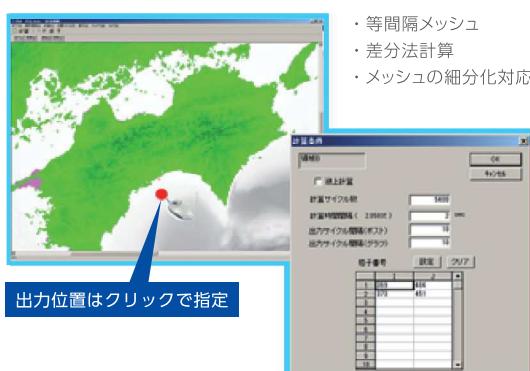
2 波源設定はデータベースから選択 データベースへの追加も容易!

- 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



3 計算条件を入力し 解析実行

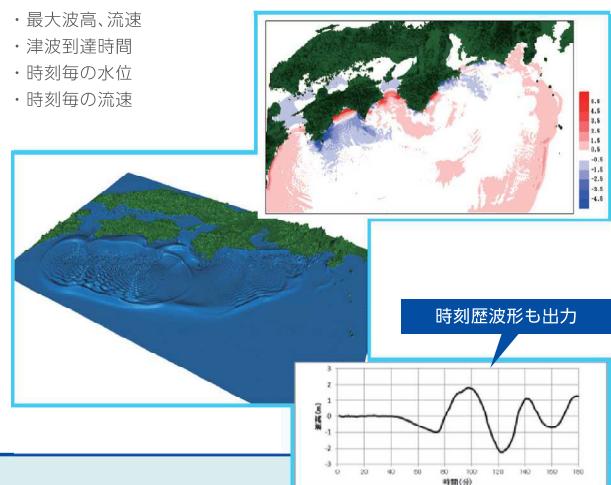
- 計算時間や出力間隔を設定
- 時刻歴の出力位置はクリックで指定



4 結果の図化、 アニメーションの作成

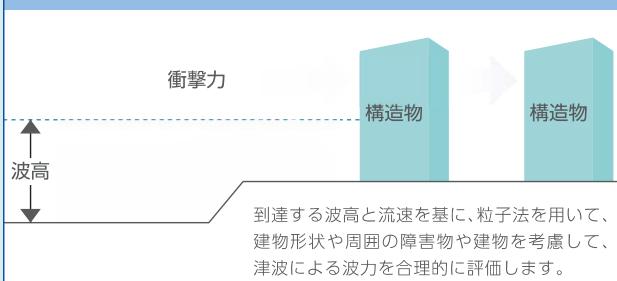
- 解析結果を読み込み2Dや3Dのアニメーションを作成

- ・ 最大波高、流速
- ・ 津波到達時間
- ・ 時刻毎の水位
- ・ 時刻毎の流速

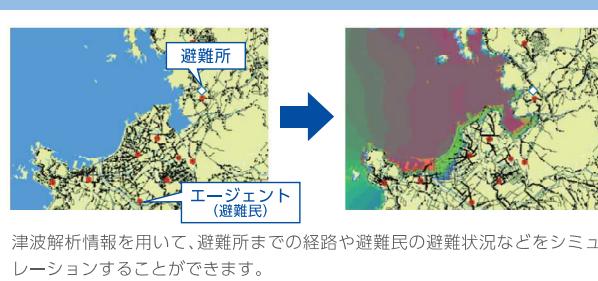


別ソフトとの併用で下記のようなシミュレーションも可能です

粒子法+FEMによる構造物の安全性評価

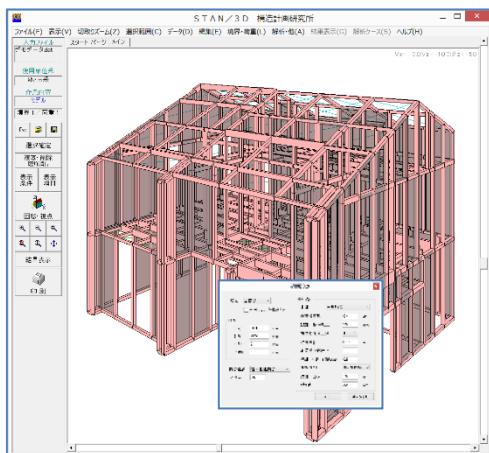


避難シミュレーション

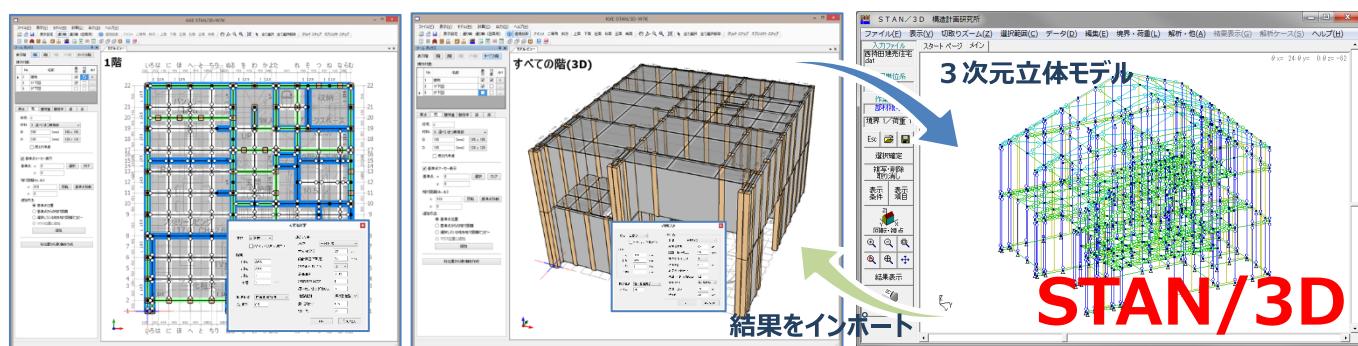


木構造専用 設計支援システム の紹介

構造計画研究所では、約30年前から立体で応力解析を行うソフト「STANシリーズ」を販売しています。ユーザには木造住宅の構造設計に取り組まれている方も多く、木構造向け機能追加のご要望も増えております。この期待に応えるべく、STANを利用した木構造専用の設計支援システムを開発しましたのでご紹介いたします。



- ・ STAN/3D を利用した木構造設計支援システムです。
- ・ 3階建（ペントハウスも考慮可）までの木造建築を対象にしています。
- ・ 立体フレーム解析により「耐震等級3を担保する設計」を目的としています。
- ・ 木構造専用機能により、データ作成や結果整理までを効率よく行うことができます。
- ・ 参考例：モデル入力 ⇒ 計算書出力 までを1棟4時間で仕上げることを目指しています。
- ・ 実作業の流れに沿った操作手順をプログラム化。多様化する木造建築に柔軟に対応します。



【主な機能】

- ・ 2次元CADライクな部材配置、3次元モデル表示、平面図（DXF）の下図表示
- ・ 壁量の自動チェック、仮定断面の自動設定
- ・ STAN/3D データの自動生成、STAN/3D で行ったデータ変更の反映
- ・ STAN/3D の解析結果の取込み、偏心のチェック、断面算定、金物検定
- ・ csvファイルと計算書による結果出力、部材配置図・金物図等のDXF出力

【今後の予定】

木造住宅の設計に携わっている方々にご利用いただけるように、パッケージ化を進めています。システム詳細は弊社 STANシリーズのWebサイト（下記URL）に掲載予定です。

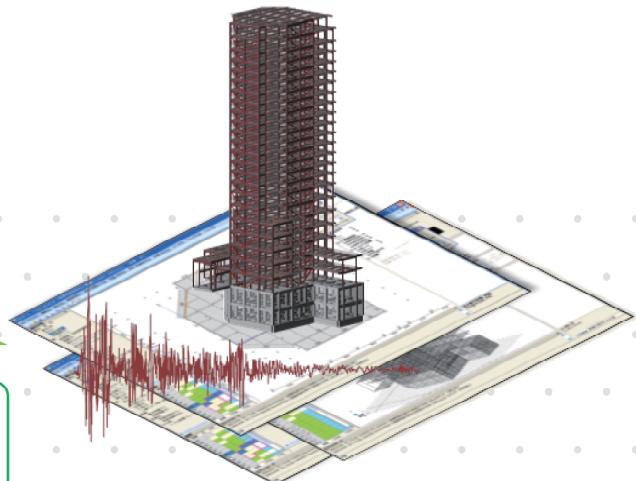
<http://www4.kke.co.jp/stan/>

また、お試し版の予約受付サイトの開設も予定しています。今後も皆様からの貴重なご意見をもとに、改良を進めていきたいと考えております。

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

RESP-D

RESP-D は Ver.3 へ。

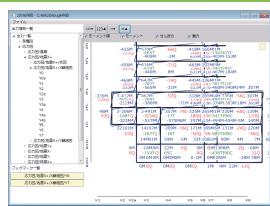


操作性向上で、設計をよりスムーズに。

▶ 解析結果のテーブル表示 ▶ 履歴出力の対話操作による確認

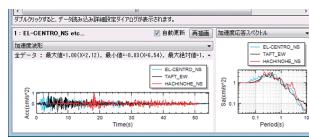
▶ モデル間の解析結果比較

▼ 2 次元作図機能



- 1 クリックでフォント・モーメント倍率調整
- 応力の表示・非表示も切り替え可能
- ブックマーク機能で結果に素早くアクセス

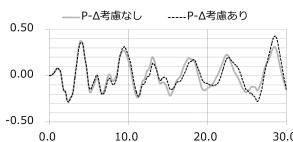
▼ 入力波形のプレビュー機能



- 複数の波形重ね書きにも対応
- 応答スペクトルのデジタル値取得

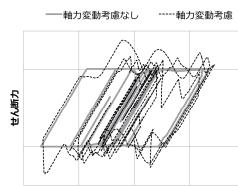
計算機能の強化で、より精緻な解析も。

▼ 柱・壁・支承材の P-Δ 効果考慮



- 塔状比の極めて大きな超高層建物
- 杭頭免震・柱頭免震構造

▼ すべり支承の軸力変動考慮



- 水平上下同時入力による軸力変動

復元特性のモデル化 立体弾塑性振動解析

質点系弾塑性振動解析 振動アニメーション

『RESP-D ならできる 50 のこと』公開中

www.kke.co.jp/resp/ [RESP 50のこと] で検索

- ・ 柱頭免震もそのままモデル化
- ・ マルチタワー立体・質点系モデル対応
- ・ 層とばし・シアリングのダンパー配置

※ 一部の機能は Ver.2 で先行公開されます。

3 次元任意形状フレーム構造解析ソフトウェア

STAN/3D

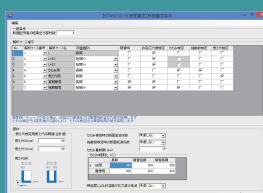
断面算定オプションに「木造用断面検定」機能を追加！

<適用規準類> ・ 木造軸組工法住宅の許容応力度設計 (2008 年版)

・ 木質構造設計規準 (2002 年版)

※ 接合部等の検定は対象外

- 許容応力度検定 + たわみ・振動数検定 *
- 燃え代検定、断面欠損を考慮した断面検定
- 複数のケースを一度に断面検定



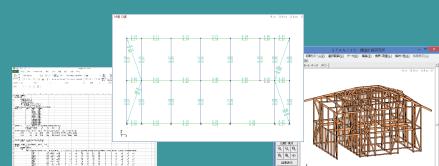
■ 分断された部材を 1 部材として断面検定

[STAN/3D-3D 断面算定] - 一本部材検定													
No.	部材1	部材2	部材3	部材4	部材5	部材6	部材7	部材8	部材9	部材10	部材11	部材12	部材13
1	120	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
2	114	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126
3													

■ 部材別に詳細設定可能 *

[STAN/3D-3D 断面算定] - 各部材別検定													
No.	部材番号	部材名	断面	寸法									
1	1	1	1	120	140	140	140	140	140	140	140	140	140
2	2	2	2	114	126	126	126	126	126	126	126	126	126
3	3	3	3	120	140	140	140	140	140	140	140	140	140

■ CSV 形式 & 図化による結果確認



* 次回バージョンアップ時に機能追加予定

詳しくは → [STAN/3D](http://www.kke.co.jp/stan/) で検索

液状化問題に対するソリューション

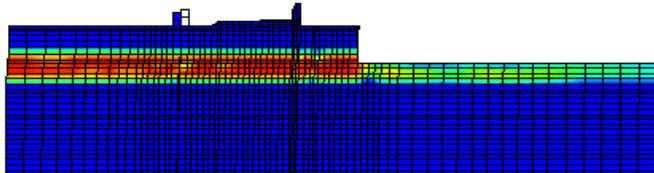
護岸および河川堤防などは、防災上重要な土木構造物です。これらは大地震時に背後地盤の変形や液状化により地盤が大きく変状することが予想され、防災対策として現状の変形、沈下を把握すること、および対策工による効果を検討することが重要です。

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

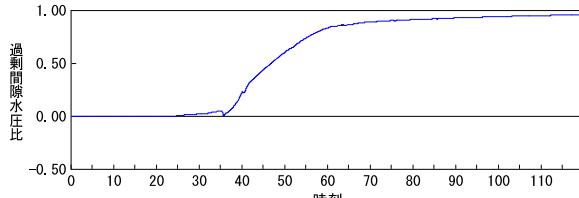
弊社では、自社開発の有効応力非線形解析プログラムの他に、各種解析プログラムを使用した解析にとりくんでおります。予測された地震動強さと地盤種別から簡便的に評価する方法から有効応力解析に基づく方法まで、検討内容に応じた解析手法、解析ツールを選択し対応いたします。

■海岸付近の地盤における液状化検討事例

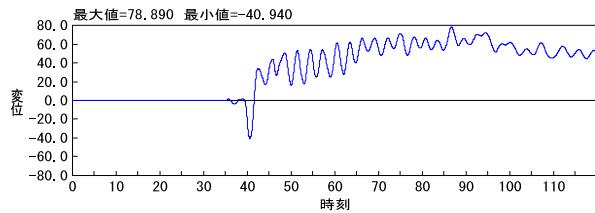
●過剰間隙水圧比コンタ図



●過剰間隙水圧比の時刻歴

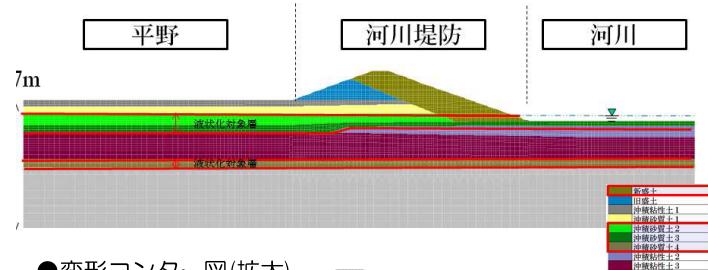


●着目点の変位の時刻歴

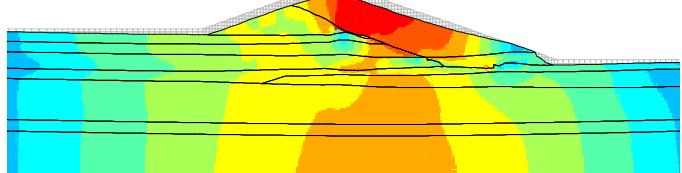


■FEMにより河川堤防の液状化による挙動をシミュレーション

●解析モデル図(全体)

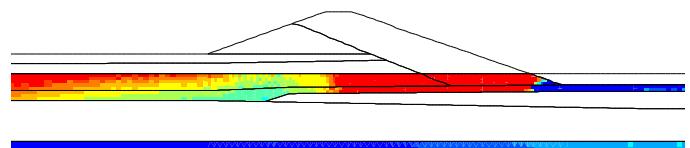


●変形センター図(拡大)



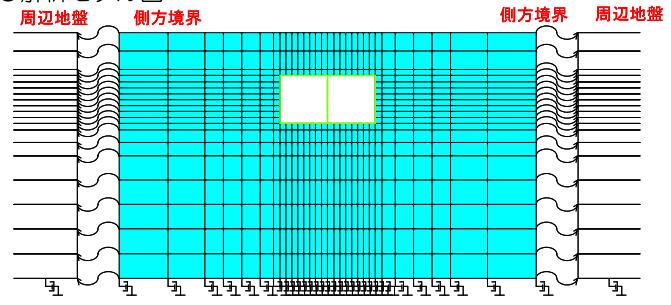
●過剰間隙水圧比コンタ図

(拡大：赤色は液状化している状態)

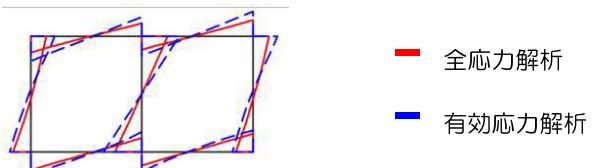


■有効応力解析と全応力解析により地中構造物の耐震性を比較検討

●解析モデル図



●モーメント図



実績（2007年以降で異なる内容の4件を抽出）

盛土の液状化解析（某コンサルタント）

護岸の液状化解析（某電力研究所）

液状化対策工の影響に関する検討（某コンサルタント）

土木構造物基礎岩盤の液状化解析業務（公）

使用ソフト

NANSSI 2次元有効応力非線形解析プログラム(自社開発・地震工学研究所と共同開発)

F L I P 2、3次元有効応力非線形解析プログラム

L I Q C A 2次元有効応力非線形解析プログラム

A L I D 2次元 F E M 液状化流動解析システム

L i Q S M A R T 1次元簡易有効応力解析プログラム

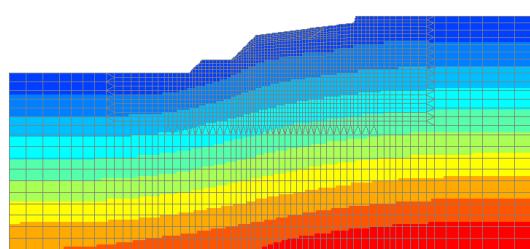
降雨時の地盤安定性問題に対するソリューション

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

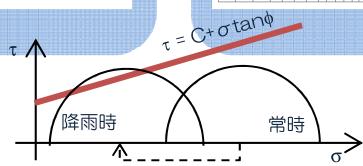
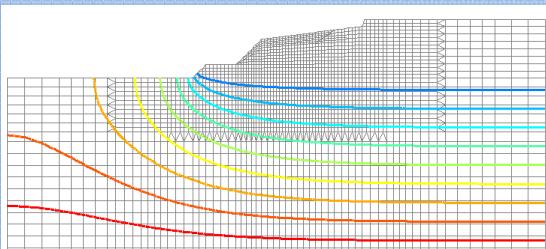
弊社では非定常浸透流解析プログラムをはじめ、すべり安全率・すべり変形量の算出プログラムなど様々な自社開発を積極的に行っております。これにより、浸透流解析結果から降雨時に時々刻々と変化する水圧や水位を把握し、有効応力を用いて想定すべり面の危険度を判定するなど、総合的な検討が実施可能です。

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

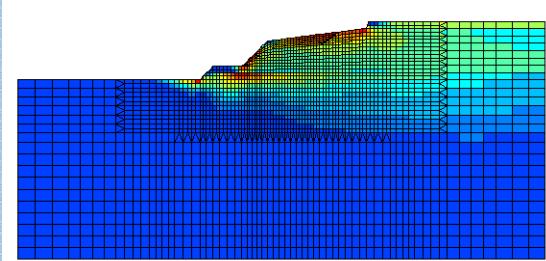
●平時の応力状態（常時応力解析結果）



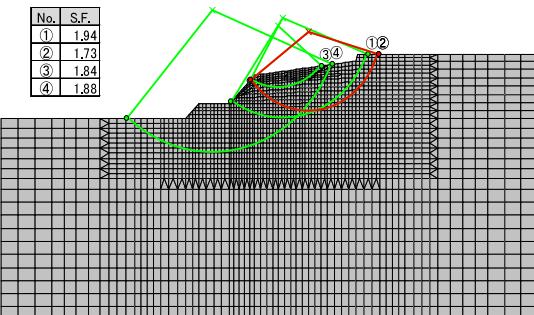
●降雨時の水圧分布（非定常浸透流解析結果）



●有効応力を用いた斜面安定の検討



☞ 局所安全係数と破壊状況のチェック



☞ 想定したすべり面毎にすべり安全率を時刻歴で算出

実績

降雨時の斜面安定性評価（某コンサルタント）

降雨による地下水位面の変動予測（某コンサルタント）

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

使用ソフト

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

粘弾性モデルを用いた GPS データの逐次インバージョンによる 2011 年東北沖地震の余効すべり分布の推定

#野田朱美・高浜 勉（構造計画研）・
大場政章（日本原電）・松浦充宏（統計数理研）

Afterslip distribution of the 2011 Tohoku-oki earthquake inferred from
the sequential inversion of GPS data using a viscoelastic model

#Akemi Noda, Tsutomu Takahama (KKE),
Masaaki Ohba (JAPC), Mitsuhiro Matsu'ura (ISM)

＜はじめに＞

2011 年東北沖地震後の余効変動の今後の推移を正しく理解するためには、余効すべりによる変動とアセノスフェアの粘性緩和による変動を適切に分離する必要がある。ここで鍵となるのは、原因が異なる 2 つの変動の時空間パターンの違いである。例えば、Sun et al. (2014) のように、余りに自由度の高い粘性構造モデルを用いて余効変動を説明しようとすると、余効すべりと粘性緩和の効果を適切に分離することが却って難しくなる。そこで、本研究では、標準的な弾性-粘弾性層構造モデルを用いて東北沖地震後 3.5 年間の余効すべり分布の推定を試みた。

＜逐次インバージョン解析＞

国土地理院の GPS 観測点日々の座標値 (F3 解) から求めた 2011 年 3 月 11 日～2014 年 9 月 11 日の変位データ (図 1) を Noda et al. (2013) に従って歪みに変換した後、逐次インバージョン法 (野田・松浦, 2014) を適用して地震時のすべり分布とその後 2 ヶ月ごとの余効すべり分布を推定した (図 2, 3)。その際、すべり応答関数の計算には厚さ 60km の弾性層 (リソスフェアに相当) と粘性率 10^{19} Pa·s の Maxwell 粘弾性基盤層 (アセノスフェアに相当) から成る構造モデルを用い、地震時すべりだけでなく余効すべりに起因するアセノスフェアの粘性緩和も考慮した。また、鉛直変位は観測誤差が大きい上に地殻構造の影響を強く受けるため使用せず、水平変位のみを用いた。

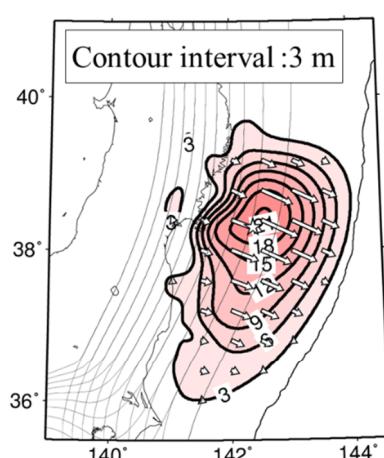


図 2. 地震時すべり分布の
推定結果。

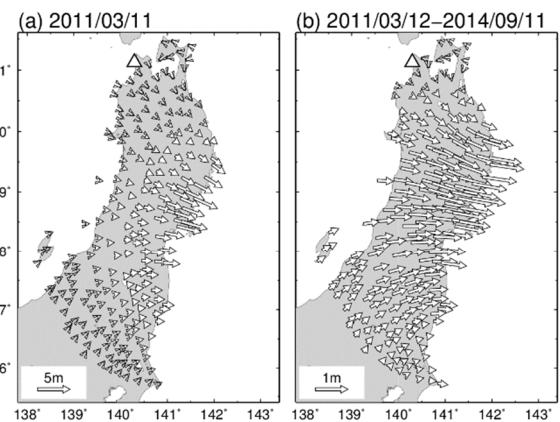


図 1. 解析に用いた水平変位データ。
(a) 地震時変位, (b) 地震後の余効変動（累積変位）
※三角印は固定点を示している。

インバージョン結果から、余効すべりは 2011 年東北沖地震の主破壊域より深部のプレート境界に集中しており、地震直後からほぼ同じパターンのまま減衰していることが分かった。なお、得られた余効すべりの時空間分布の妥当性は、今回の解析では用いなかった海域地殻変動観測の結果（海上保安庁水路部）との整合性から確認できる（野田・松浦, 2015；本誌 Technical Report 2 参照）。

＜議論 1：アセノスフェアの粘性率の影響＞

アセノスフェアの粘性率 η を変更した場合の解析結果の例を図 4 に示す。アセノスフェアの粘性率を 5×10^{18} Pa·s 以下とすると（図 4c），インバージョン結果は不安定になる。これは、粘性率が小さいとアセノスフェアの粘性緩和が早く進むため、粘性緩和の効果を過大評価したことによると考えられる。一方、アセノスフェアの粘性緩和を無視し、弾性

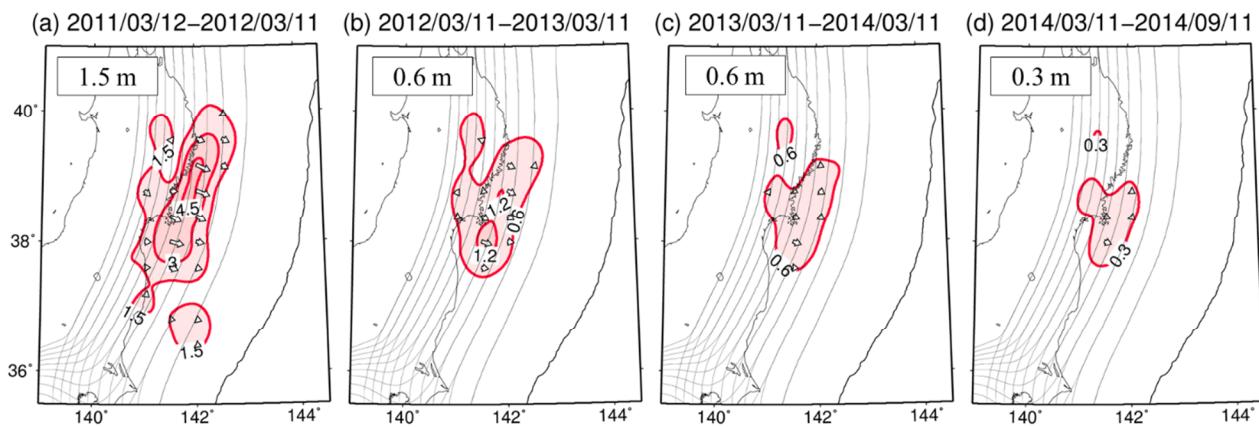


図3. 余効すべりの時間変化の推定結果(各期間のすべり量).

※左上の数値はセンター間隔.

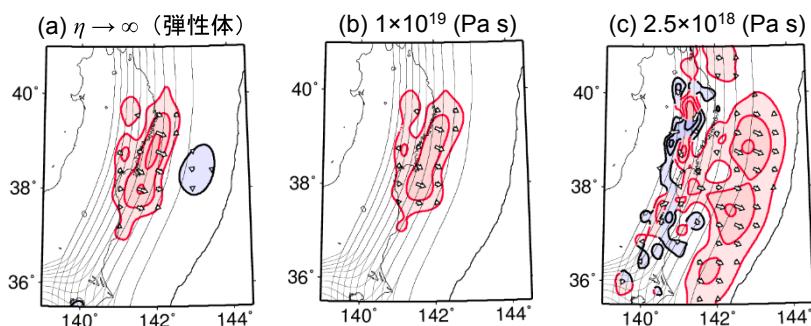


図4. アセノスフェアの粘性率 η を変更した場合の解析結果例.
※2012/01/11-2012/03/11 の
余効すべり分布
(センター間隔 0.1 m).

応答のみを用いてインバージョン解析を行うと(図4 a), プレート境界浅部にプレート収束方向と逆向きのすべりが現れる. この逆向きのすべりはプレート収束速度よりも有意に大きく, 物理的に説明できない.

余効すべりによる変動パターンはアセノスフェアの粘性緩和による変動パターンと異なるため, アセノスフェアの粘性緩和の効果を過大/過小評価した分は系統誤差として振る舞い, 正しい余効すべりパターンを歪めてしまう可能性がある.

〈議論2：データ誤差のモデルの評価〉

本研究のインバージョン解析では, 観測方程式のデータ誤差の分散を平均ゼロのランダム誤差の分散と観測点間の距離に比例するモデル誤差の分散の和として表現した(Noda et al., 2013). インバージョン解析の結果からランダム誤差とモデル誤差の相対的な大きさを評価すると, 2011年東北沖地震時とその後2ヶ月間はモデル誤差よりランダム誤差が大きく, その後はランダム誤差よりモデル誤差が大きくなることが分かった. このことは, 地震時とその直後の変動は弾性モデルで充分説明可能だが, その後の変動を説明するには適切な粘性構造モデルが必要であることを示唆している.

謝辞：すべり応答関数の計算には Fukahata and Matsu'ura (2006) の計算プログラムを改造して使用しました. 記して感謝します.

参考文献：

- Sun, T., K. Wang, T. Iinuma, R. Hino, J. He, H. Fujimoto, M. Kido, Y. Osada, S. Miura, Y. Ohta and Y. Hu (2014) Prevalence of viscoelastic relaxation after the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Nature*, vol. 514, 84-87, doi:10.1038/nature13778.
- Noda, A., C. Hashimoto, Y. Fukahata and M. Matsu'ura (2013) Interseismic GPS strain data inversion to estimate slip-deficit rates at plate interfaces: application to the Kanto region, central Japan, *Geophys. J. Int.*, 193, 61-77.
- 野田朱美・松浦充宏 (2014) GPS 時系列データの逐次インバージョンによるプレート間カップリング変化の推定, 日本地球惑星科学連合 2014年大会, SCG66-05.
- 野田朱美・松浦充宏 (2015) 2011年東北沖地震後の海底地殻変動：プレート境界深部の余効すべりとアセノスフェアの粘性緩和の複合効果, 日本地震学会 2015年秋季大会, S03-05.
- Fukahata, Y. and M. Matsu'ura (2006) Quasi-static internal deformation due to a dislocation source in a multilayered elastic-viscoelastic half-space and an equivalence theorem, *Geophys. J. Int.*, 166, 418-434.

2011 年東北沖地震後の海底地殻変動：

プレート境界深部の余効すべりとアセノスフェアの粘性緩和の複合効果

#野田朱美(構造計画研)・松浦充宏(統計数理研)

Interpretation of seafloor geodetic observations after the 2011 Tohoku-oki earthquake by afterslip and viscoelastic relaxation

#Akemi Noda (KKE), Mitsuhiro Matsu'ura (ISM)

<はじめに>

海上保安庁水路部による海底地殻変動観測が明らかにした 2011 年東北沖地震後の水平変位（北米プレート固定）は、図 1(c) に青矢印で示すように、主破壊領域（岩手-宮城沖）直上の海溝側で西向き、陸側で東向き、副破壊領域（福島-茨城沖）より南は東向きという複雑なパターンを示している (Watanabe et al., 2014)。この複雑な水平変位パターンはプレート境界深部の余効すべりとアセノスフェアの粘性緩和の複合効果に依るものと考えられる。そこで、野田・他 (2015) (本誌 Technical Report 1 参照) では、アセノスフェアの粘性緩和を考慮した逐次インバージョン法を陸域の GPS データに適用し、東北沖地震の地震時のすべり分布と余効すべりの時空間分布を推定した。本研究では、その推定結果に基づいて東北沖地震後の海域の地殻変動を理論計算し、余効すべりと粘性緩和の複合効果で観測結果が合理的に説明できることを示す。なお、理論計算には、インバージョン解析と同様、厚さ 60km の弾性層（リソスフェアに相当）と粘性率 10^{19} Pa s の Maxwell 粘弹性基盤層（アセノスフェアに相当）から成る構造モデルを用い、地震時すべりだけでなく余効すべりに起因するアセノスフェアの粘性緩和も考慮した。

<海底地殻変動の空間パターン>

先ず、2011 年東北沖地震後 2 年 10 ヶ月間（2011 年 3 月 12 日～2014 年 1 月 11 日）の累積水平変位の計算結果を図 1 に示す。余効すべりに対する弾性応答（図 1a）は、余効すべりが集中するプレート境界深部（傾き約 35 度）の延長と海底面が交わる位置より陸側（上盤側）で大きな東向きの変位、海溝側（下盤側）で小さな西向きの変位を示す。一方、アセノスフェアの粘性緩和に対する応答（図 1b）は、海域全体で小さな西向きの変位を示す。空間パターンの異なるこれらの応答を足し合わせたものが東北沖地震後の海底地殻変動ということになるが、図 1c から見て取れるように、プレート境界深部延長と海底面が交わる位置より陸側では余効すべりに対する弾性応答が卓越して大きな東向きの変位

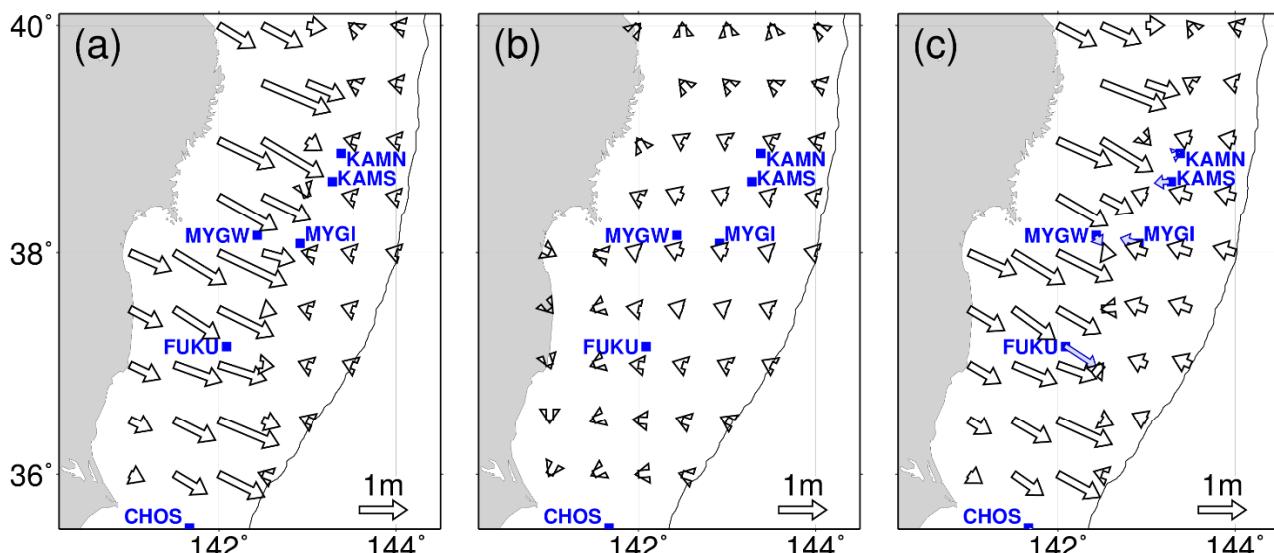


図 1. 東北沖地震後 2 年 10 ヶ月間の累積水平変位（モデル計算結果）。

(a) 余効すべりに対する弾性応答, (b) アセノスフェアの粘性緩和, (c) 弾性応答 + 粘性緩和

※ 図中の青色の四角は海底地殻変動の観測点,

(c)の青矢印は Watanabe et al. (2014) による観測結果を示している。

を示す。一方、海溝側では余効すべりの弾性応答とアセノスフェアの粘性緩和の相乗効果で西向きの変位がやや大きく現れる。ちなみに、観測点 MYGW は陸側領域と海溝側領域の境に位置していて殆ど変位しない。このような空間パターンの特徴は観測結果と調和的である。

〈海底地殻変動の時間的推移〉

余効すべりに対する弾性応答とアセノスフェアの粘性緩和に対する応答は、空間パターンだけでなく、減衰の時定数も異なる。このことは個々の観測点の時間的振る舞いに反映される。海溝側領域にある観測点 KAMS と MYGI では、時定数の長い粘性緩和の効果が支配的なので、西向き変位が一定レートで進行する。一方、陸側領域にある観測点 FUKU と CHOS では、時定数の短い余効すべりの効果が支配的なので、東向き変位レートは急激に低下する。代表例として、観測点 MYGI と FUKU の観測結果とモデル計算結果の比較を図 2 に示す。

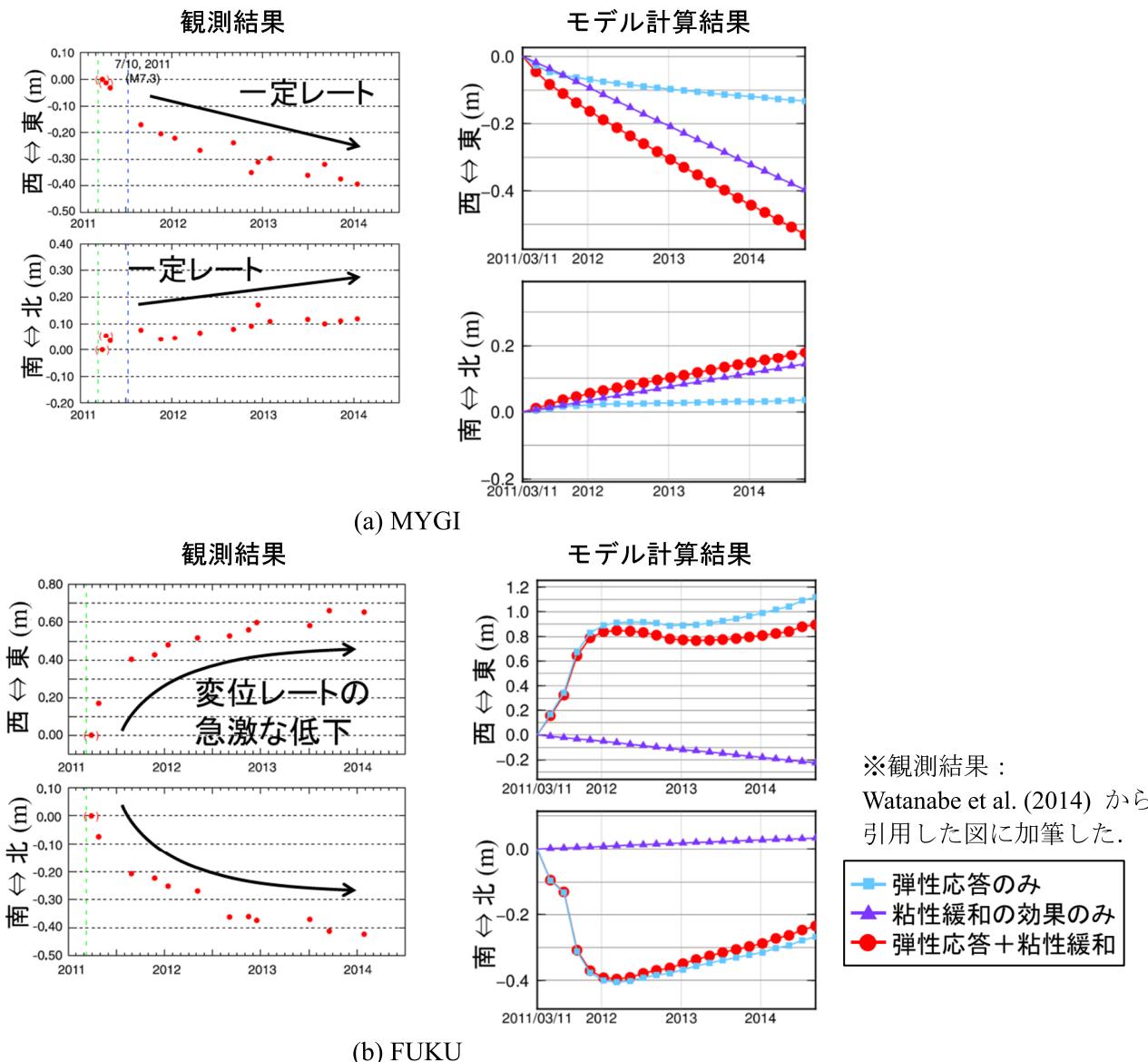


図 2. 東北沖地震後の累積水平変位の時間変化（観測結果とモデル計算結果の比較）。

参考文献 :

Watanabe, S., M. Sato, M. Fujita, T. Ishikawa, Y. Yokota, N. Ujihara and A. Asada (2014) Evidence of viscoelastic deformation following the 2011 Tohoku-Oki earthquake revealed from seafloor geodetic observation, Geophys. Res. Lett., 41, 5789–5796, doi:10.1002/2014GL061134.

野田朱美・高浜勉・大場政章・伊藤利治・松浦充宏 (2015) 粘弾性モデルを用いた GPS データの逐次インバージョンによる 2011 年東北沖地震の余効すべり分布の推定, 日本地震学会 2015 年秋季大会, S01-P06.

地震から建物を守る 設計用入力地震動作成サービス

構造計画研究所
KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

その地震動、 自信を持って 使っていきますか？



- 建設場所や構造物の特徴に応じた設計用入力地震動が必要
- 地震環境の調査や地震動の評価においては判断が難しいケースが多い
- 時刻歴応答解析による構造計算を伴う高度な設計技術を求められることが増加
- 使用する地震動への説明責任を十分に果たすことが難しい

構造設計者



構造計画研究所

構造設計者

地震動を専門とする技術者

豊富な実績をもとに必要な情報を繋ぎ合わせて
自信ある判断をサポートします

強み1

幅広い実績

一般建築から重要インフラ施設を対象に
過去15年間で400件以上

強み2

豊富な評定経験

これまでに200件以上の性能評価に対応

強み3

柔軟な対応

自社開発のプログラム
を利用して作成

長周期地震動作成プログラム

ARTEQ-LP Ver.2.0

● 長周期地震動作成機能

- ✓ 建設地点の緯度経度より算出

● 連動地震動作成機能

- ✓ 遅延時間を考慮して算出

国土交通省発表（平成28年6月24日）

「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について」※に対応

国土交通省「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について」

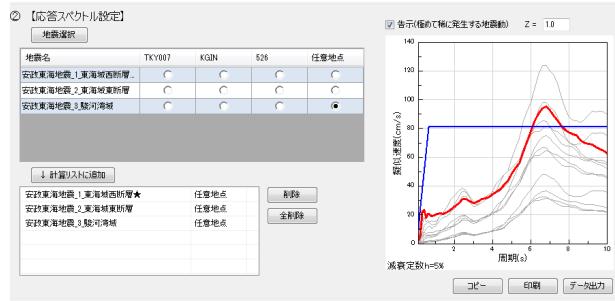
平成28年6月24日に国土交通省から、超高層建築物等(既存及び新築)における長周期地震動への対策が発表されました。本対策では検討が必要な各区域に長周期地震動が設定されていますが、その地震波を用いない場合は、建設地点毎に加速度応答スペクトルと群遅延時間から、建設地点、または、その近傍の地震観測点において想定地震の時刻歴波形を作成する必要があります。

ARTEQ-LP

ARTEQ-LPは、国土交通省の対策における「別紙3の手法で直接建設地点の地震動を作成」に対応しています。

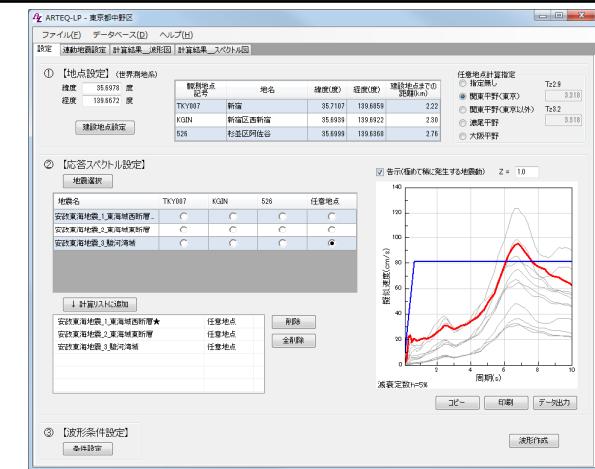
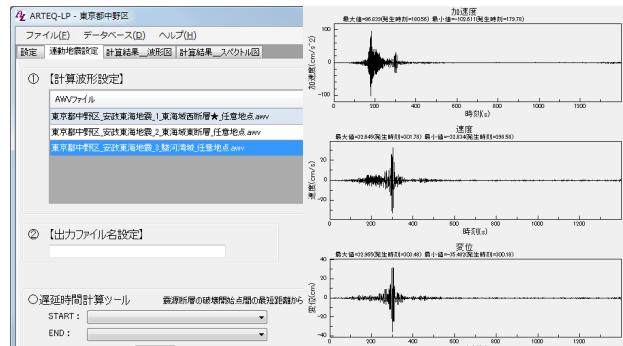
■ 応答スペクトル・波形計算の計算ケースの選択

応答スペクトル計算では、安政東海地震(Mw8.6)、または、宝永地震(Mw8.9)から断層モデルを選択することができます。また、波形計算を行う計算ケースは応答スペクトルの結果を確認しながら選択することができます。



■ 対策に基づいた長周期地震動・連動地震作成機能

各セグメントの波形計算結果と遅延時間を用い、連動地震を作成することができます。



② [応答スペクトル設定]

地盤選択

地盤名 TKY007 KGDN S26 任意地点

安政東海地震_1.東海域西折層

安政東海地震_2.東海域東折層

安政東海地震_3.豊河沖断層



解析プログラムの便利な使い方

各種パッケージプログラム（PKG）のユーザサポートにいただくお問い合わせ内容や注目機能、小ネタについて自由にご紹介するこのコーナー。第2回目も建築構造解析プログラム『RESP-D』を取り上げたいと思います。

RESP-D

時刻歴応答解析による設計を支援する統合構造計算プログラム

【テーマ：架構設計変形時の荷重倍率を知りたい】

韌性保証型設計指針などに基づく二次設計を行う場合、極めて稀に生じる地震動による最大応答値に対して十分な余裕を見るために「架構設計変形時」という概念に基づいた設計応力を採用することがよくあります。「架構設計変形時」を算出するには、静的増分解析条件の設計を行う必要があります。

○操作のステップ○

- 重心位置高さ、基準点、面積倍率を指定します。

重心位置高さはたとえば略算として総高さの 2/3 の位置を取り考えがよく用いられます。入力された高さが階の中間にある場合、上下階の相対変位を線形補間して重心位置変位を算出します。

基準点はせん断力もしくは変位を基点に設定できます。応答解析結果における 1 階の最大層せん断力もしくは重心位置の最大相対変位を設定します。

面積倍率は原則的に 2.0 倍以上を設定します。

例の場合、この高さが 22,000 kN となります。

※『モデル名>立体振動解析』&『モデル名>.dyna00.story.csv』

最大応答値グラフから読み取る場合 CSV ファイルから読み取る場合

『静的増分解析条件』を開き、『増分解析条件 2』のタブから、重心位置高さ、基準点、面積倍率を指定します。

1 階層せん断力で基準点を決める場合、応答解析結果のグラフや結果の CSV ファイルから結果を読み取り、設定します。

基準点のせん断力を入力します。

- 荷重増分解析まで計算を実行し、静的解析構造計算書の「各階のせん断力変形曲線」を出力します。

- 計算書に「架構設計変形時」の荷重倍率が表示されます。

RESP-Dは、時刻歴応答解析による設計をよりスムーズに実施していただくための機能追加や工夫が多くなされ、日々進化しています。近日リリース予定のVer.3でも、解析機能や作図機能が強化されます（詳細は本誌p. 13）。お試し版のご用意や無料体験セミナーの企画もございますので、是非下記ホームページにアクセスください。

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

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

山口大学で留学生をやっていた頃、僕はありとあらゆるアルバイトをやっていました。その中で、最も印象に残っていたのは、深夜バイト先のおばさんの孫の家庭教師でした。たどたどしい日本語で不登校の小学校6年生に異分母分数の足し算と掛け算を教えていたことを今でも覚えています。講義への興味を誘うために、毎回ゲームとバラエティの話をしていました。恐らく、この子にとっては勉強するより、僕にゲームのコツを教えることが楽しみだったのかもしれません。暫く経つと、教え子が学校に戻り、この変わったバイトも次第になくなりました。

今年に入ってから、久しぶりに教え子の親からのメールが届きました。内容は、この教え子が地元の公立大学に合格したお知らせでした。メールを読んだ僕は感激し、外食先の店で涙をこぼしました。こぼれた涙は、親御さんからお礼を頂いたことより、教え子の成長ぶりによる感動が大きかったです。

人間の成長も感動的だし、街や地域の変化も時に私たちの心を揺さぶります。本誌の表紙に飾っている写真は、昨年9月に石巻市日和山で撮れたものです。この時点で、町はまだ復興途中であります。皆さんの記憶の中の風景と比べて、少しの変化と感動が見つけられれば幸いです。

エンジニアリング営業部 焦 凝



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

kaiseki@kke.co.jp

(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 大阪支社

〒541-0047 大阪市中央区淡路町 3-6-3 御堂筋 MTRビル 5F

TEL (06) 6226-1231

(株)構造計画研究所 名古屋支社

〒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

(株)構造計画研究所 福岡支社

〒812-0012 福岡県福岡市博多区博多駅中央街 8 番 1 号 JRJP 博多ビル 8F

TEL (050) 5305-1380

解析雑誌 Journal of Analytical Engineering Vol.41 2016.8

発行日 平成 28 年 8 月吉日

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