

# 解析雑誌

Vol.40 2016.4

## Topics

### 【イベント出展報告】

- 防災・危機管理実践セミナー2016 講演報告
- 第20回「震災対策技術展」横浜 出展報告  
事前防災・減災対策推進展&気象環境展出展案内

### 【ニュース】

- 次世代屋内デジタル化プラットフォームの NavVis 社と日本市場展開で提携
- 長周期地震動作成システム ARTEQ-LP for Windows バージョンアップのご案内

### 【解析事例紹介】

- 3次元FEMによるすべり安全率の評価

### 【解析雑誌40号特別企画】

- 解析雑誌の今までとこれから

## Technical Reports

- 二次壁の脆性破壊を生じる既存RC建物の静的・動的非線形解析
- 不完全減衰マトリクスを用いたモード別減衰の高速解法の検証

Journal of Analytical Engineering

## 自然災害に対する防災・減災技術の高度化

(株)構造計画研究所  
専門役員  
大波 正行

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震は、岩手県沖から茨城県沖までの南北約500km、東西約200キロメートルの広範囲を震源域とする巨大地震であり、東日本各地に甚大な被害をもたらしました。

この地震では、東北地方および関東地方の太平洋沿岸部に最大波高で10m以上にも及ぶ巨大な津波が発生し、壊滅的な被害が発生しました。また、地震の揺れによる地盤の液状化や沈下、ダムの決壊等によって、北海道南岸から關東南部に至る広大な範囲で被害が発生しています。地震の発生から、はや5年が経過し、ようやく復旧から復興に向けた動きがようやく本格化して来たと言われていています。

土木・建築の耐震設計の分野では、大きな地震を契機として設計指針等が改定され、評価技術も高度化してきております。

建築の分野では、1978年6月の宮城県沖地震を契機に建築基準法施行令が改正（新耐震、1981年6月）され、1995年1月の兵庫県南部地震に際しては、性能規定の概念が導入され、限界耐力法が採用されるようになっていきます。

土木の分野でも建築の場合と同様に各種指針等の見直しがされていますが、大きいのは兵庫県南部地震の際に高架橋に大きな被害が発生したことにより、耐震設計に静的な検討のみならず動的な検討が取り入れられるようになって来たことだと思います。

また、東北地方太平洋沖地震の際は、前述のように東北地方および関東地方の太平洋沿岸部に巨大津波による甚大な被害をもたらしたことで、従来の地震のゆれによる被災のみならず津波による浸水による被災に対する評価等も広がりを見せております。

弊社では、これまでも数値解析技術とソフトウェアの開発技術とを融合し、かつ各種構造物の耐震設計に関するノウハウを吸収することで、よりスピーディで合理的なコンサルティングサービスの提供を心掛けて来ました。今後も、自然災害を対する防災・減災関連技術を高度化し、施設のリスク評価、耐震性能の評価、さらには防災対策の提案等の分野で社会に貢献できるよう、精進して参りたいと思っております。何卒、今後とも皆様の温かいご支援を賜りますようお願い申し上げます。

この度の熊本地震において、被災された皆様に心よりお見舞い申し上げますとともに、犠牲になられた方々のご遺族の皆様に対し、深くお悔やみを申し上げます。皆様の安全と一日も早い復旧・復興を心よりお祈り申し上げます。

## 解析雑誌 Vol.40 2016.4

---

巻頭言 『自然災害に対する防災・減災技術の高度化』 専門役員 大波 正行 02

---

### Topic 1

- 防災・危機管理実践セミナー2016 講演報告 04  
今、見直しを求められるBCP  
～災害リスク評価に基づく防災・危機管理体制の再点検～

### Topic 2

- 第20回「震災対策技術展」横浜 出展報告 06  
事前防災・減災対策推進展&気象環境展（2016/7/20～22 開催）出展案内

### Topic 3

- 次世代屋内デジタル化プラットフォームの NavVis 社と日本市場展開で提携 08  
～屋内空間データと位置情報を活用したリアルな ICT 活用を提案～

### Topic 4

- 解析雑誌 40号記念企画 12  
「解析雑誌の今までとこれから」編集委員による座談会 開催

### Topic 5

- 3次元 FEM によるすべり安全率の評価 14

### Topic 6

- 長周期地震動作成システム ARTEQ-LP for Windows バージョンアップのご案内 18
- 

### Technical Report

- 二次壁の脆性破壊を生じる既存 RC 建物の静的・動的非線形解析 22  
鈴木壮、梁川幸盛、宇佐美祐人、木村まどか
  - 不完全減衰マトリクスを用いたモード別減衰の高速解法の検証 24  
梁川幸盛、鈴木壮、宇佐美祐人、木村まどか
- 

### 新連載

- 解析プログラムの便利な使い方 26

### Editor's Note

- From Editors 27

## 防災・危機管理実践セミナー2016 講演報告

### 今、見直しを求められるBCP

#### ～災害リスク評価に基づく防災・危機管理体制の再点検～

近年わが国では、地震・噴火・津波・水害・竜巻・土砂災害など、様々な自然災害が多発しています。中でも南海トラフ地震やM7クラスの首都直下地震は企業の喫緊の課題とされています。しかし、これらの災害が引き起こす被害は、『防災・危機管理』の取り組みによって軽減させることも可能です。

今回のセミナーの主眼は、科学的なリスクの把握と計画策定を融合させることで、より高いレベルのBCP(事業継続計画)の再構築を目指していただくことでした。まず、BCPを構築する上で陥りやすい課題とその克服ポイントや、形骸化したBCPを蘇らせ組織の文化として根付かせるために必要なポイントをリーガル・リスクマネジメント研究機構の森氏にご講演いただきました。続いて、BCPを構築する上で必要となる「地震リスク評価」を弊社 坪田よりご紹介しました。

#### ■講演のご報告

##### 防災・危機管理実践セミナー2016

日時	2016年3月9日(火)
会場	(株)構造計画研究所 新館 B1F レクチャールーム
主催	A I U損害保険株式会社
協力	株式会社構造計画研究所
セミナー	第一部：BCP策定における課題 講師：リーガル・リスクマネジメント研究機構 代表理事 森 健氏 第二部：地震リスク評価 講師：防災ソリューション部長 坪田 正紀

ここでは、第二部：地震リスク評価の講演内容をご報告します。

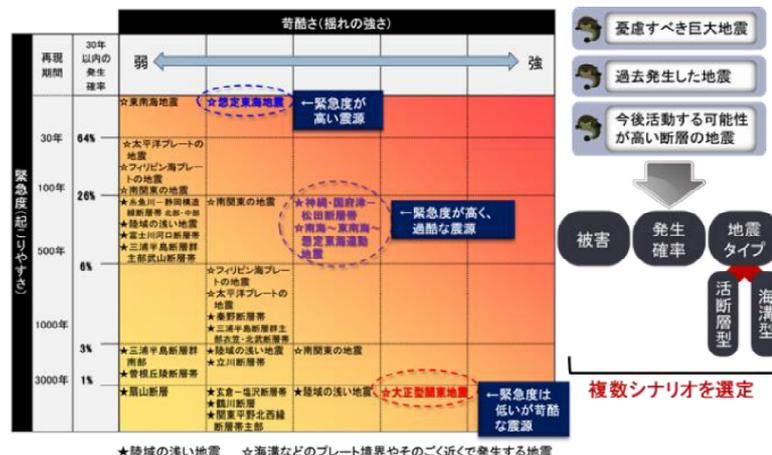
#### ■講演内容

##### ● 国や自治体の被害想定マップで留意すべきこと

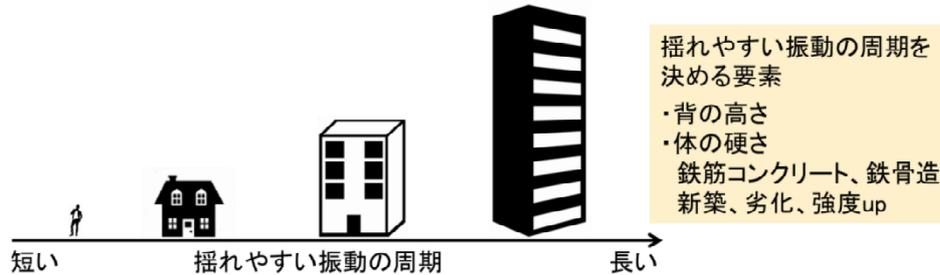
BCPを策定する際に、国や自治体で公開されている被害想定マップを参考しているケースを良く聞きます。この場合、以下の二つの点に留意する必要があります。

- ① 被害想定マップは特定の甚大な災害に絞って作成されており、その立地で考慮すべき他の災害による被害を見落としてしまう危険性がある。
- ② 被害想定マップは防災観点の啓蒙が主体で緊急度を考えない最大級を想定しているケースがあり、上記とは逆にあきらめで対策を放棄してしまう危険性がある。

見落としやあきらめを回避するには、自社の立地に考えられる地震シナリオを正しく理解し、「緊急度」や「苛酷さ」を踏まえて考えることが重要です。緊急度が高い中小地震には速やかな復旧を目標に、極めて稀に発生する大地震に対しては人命の安全確保、被害軽減を目標にするなど、個別に対応目標を設定することで、実効性のある計画を立てることが可能になります。



- 震度だけでは施設被害の大きさは分からない  
震度6弱、震度6強といった震度から、施設被害の大きさが把握できるでしょうか？  
建物はその高さや硬さなどの構造的な特徴により、得意な地震と苦手な地震があります。揺れが強くなる周期と建物固有の周期が合ってしまうと共振現象が起こり、被害は大きくなります。  
施設被害を正しく把握するには、揺れの周期の特徴と建物の構造との相性を分析することが必要で、揺れの周期的な特徴が読み取れない震度(計測震度)情報だけでは、施設の被害は分かりません。



- なぜ、地震リスク評価が必要か？  
科学的な根拠が乏しい災害リスクに基づくBCPは、危機発生時に有用なものにはなりません。また、被害を防止・軽減するための事前対策投資は企業にとって大切ですが、利益を投資に投入する以上、その投資対効果を考えた合理的な判断が求められます。その際、耐震診断結果(Is値：構造耐震指標)は、建物が倒壊する危険性の大小を判断するには有用な指標となりますが、個別の地震シナリオに対する具体的な被害の大きさを示してはくれませんが、的外れな対策を打つことがないよう具体的な被害リスクの大きさを把握するために、土地の地震発生リスクを分析し、地震による揺れと建物の相性を反映した地震リスクの評価が必要となります。  
地震リスク評価は自社の目標指針を作る上で必要であり、そのリスクの大きさをふまえた対策の指針を示すことは、ステークホルダーに対しても納得感をもたらします。

● 施設に想定される被害状況や復旧に必要とされる期間などが、あるべき姿とギャップがないか、ギャップがある場合にはどのような対策が有効かを検討します。

〇〇工場	建物に想定される被害レベル	大破以上となる確率	損傷程度	想定される復旧期間	人命保護	復旧期間
南海トラフ地震 (M8.7)	軽微～小破	0.1%	ブレース座屈: 無 柱座屈: 無	7日	懸念なし	目標内
東京湾北部地震 (M7.5)	小破～中破	0.3%	ブレース座屈: 有 柱座屈: 無	21日	対策①	目標内

対策① 天井から吊られている重量の重い設備は落下の危険性があります。直下型地震の場合、緊急地震速報が間に合わないことが考えられるため、落下の危険性があるエリアは、リスクの排除を行うか、シェルター設置などの対策が必要です。

シナリオ名	両層1ラフ地震	上層新築地震
想定震度	震度5強	震度5強
考慮対象範囲	10.2%	2%
設備の被害程度	壊滅	壊滅
天井の配置	あり	あり
土留め	あり	あり
ライン用電子レンジ	あり	あり
作業スペースのフック	あり	あり
作業スペースのフック	あり	あり
作業スペースのフック	あり	あり

- まとめ  
危機管理戦略は、自社の立地や事業特性を反映した危機的状況をベースにしてこそ意味があります。
  - 自社立地でどういった災害シナリオが考えられるのか、考えておかねばならない災害の「緊急度」や「苛酷さ」をふまえ、何を防災レベル対応として何を減災レベル対応とするのか、科学的根拠に基づいたチェックを行う必要があります。
  - 地震時の具体的な被害状況は耐震診断だけではわかりません。地震リスク評価を行い、具体的な危機的状況を共有することで、企業としてあるべき姿とのギャップがないか、ギャップがある場合にはどのような対策が有効かを関係者間で検討することができます。

今回は、科学的なリスクの把握と計画策定との融合をコンセプトに、BCPの策定に関わられているご担当者の方に見直しを行う上でのポイントや課題を総合的に解決する手段をご紹介いたしました。  
マニュアルや訓練を見直し組織文化として根付かせるにはどうすべきか、地震に限らず災害リスク評価の取り入れかたや、評価結果を事前対策にどう活かすべきかなど、より詳しい説明をご希望の方は是非弊社までご相談ください。

## 第20回「震災対策技術展」横浜 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）出展案内

構造計画研究所では、これまでに建築、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、最適化手法や統計学的手法といったデータマイニング技術を、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います。

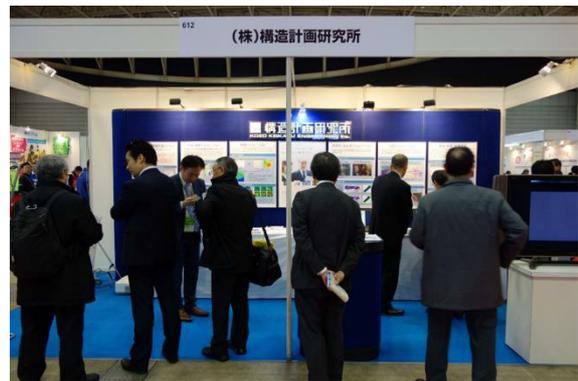
#### ■出展のご報告

#### 第20回「震災対策技術展」横浜

会 期	2016年2月4日(木)～5日(金)
会 場	パシフィコ横浜
主 催	「震災対策技術展」横浜 事務局 / エグジビション テクノロジーズ 株式会社
セミナー	様々な災害における備えについてICTで何が出来るか? 地震、津波、土砂崩れ、火災、気象災害に対する取り組み エンジニアリング営業部 スtockマネジメント営業課長 金山 亨



「震災対策技術展」横浜 展示ブース風景



「震災対策技術展」横浜 展示ブース風景

#### ■開催のご案内

#### 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)東ホーム
主 催	一般社団法人日本能率協会
出展テーマ	・災害シミュレーションおよび避難シミュレーション ・災害リスク評価コンサルティングサービス

地震動評価・津波解析・河川氾濫解析・浸水予測・土砂災害解析・土砂災害の影響検討・液状化解析といった、自然災害の影響評価を、シミュレーション技術を活用して行います。また、帰宅困難者対策や避難計画策定、さらには防災拠点の備蓄物資検討など、防災対策のソフト面もシミュレーション技術で支援します。また、BCP(事業継続計画)策定や建物補強への投資をお考えの製造業の皆様に対しては、災害リスク評価コンサルティングを実施し、工学的根拠のある被害想定をご提示します。

## 汎用の非線形有限要素法解析プログラム

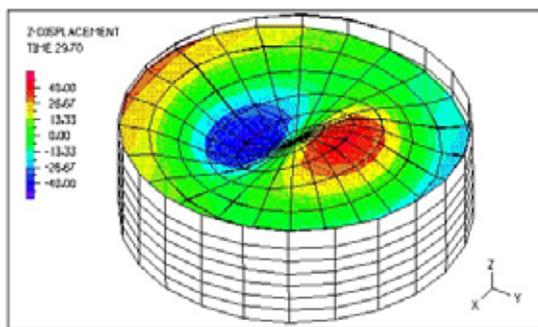
# ADINA

### 特徴

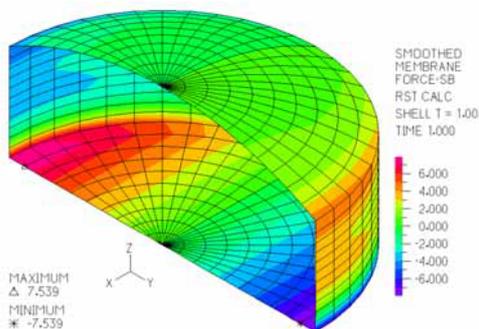
ADINA は、マサチューセッツ工科大学の研究成果を反映し ADINA R&D 社が開発した代表的な汎用の構造・熱伝導・熱流動解析プログラムです。非定常・非線形挙動を高精度な計算機能で解くことが可能です。 弊社ではプログラム販売の他、解析コンサルティング・サービスもご提供しております。

### 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



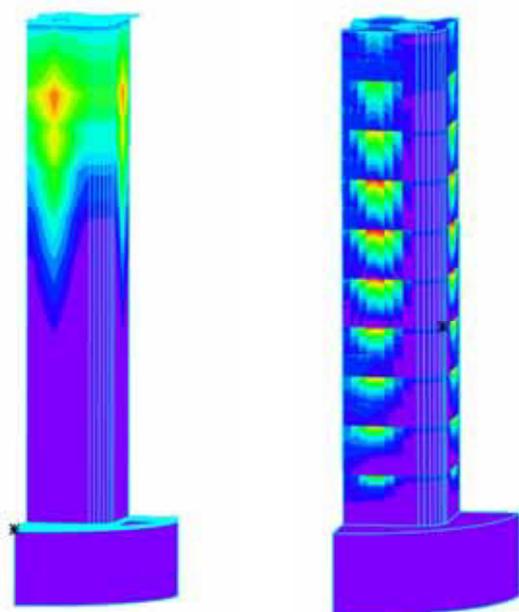
タンク壁面：断面力分布

#### ■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。

## 次世代屋内デジタル化プラットフォームのNavVis社と日本市場展開で提携 ～屋内空間データと位置情報を活用したリアルなICT活用を提案～

株式会社構造計画研究所と、屋内3Dデジタル化技術を提供するスタートアップ企業、NavVis GmbH（本社：独 ミュンヘン、CEO：Felix Reinshagen、以下NavVis社）は、インドアマッピング&ナビゲーションプラットフォーム「NavVis(ナビビズ)」の日本市場における販売及びソリューション展開について業務提携契約を締結しました。

### ■背景と目的

近年のモバイルデバイスの普及により、屋外では位置情報(GPS)と地理情報(地図)に基づくソリューション・サービスが普及し、人々の活動を支援する様々なサービスが実現されています。一方で、経済活動の80～90%を占める屋内では、実用レベルのサービスはほとんど実現されていません。このような中、NavVis社は独自のデジタル化技術を駆使し、実用性の高い屋内3Dマッピング及びナビゲーションプラットフォームの開発に成功し、2013年の創立以降、様々な賞を受賞するとともに、多くのドイツ企業に採用され、その有益性は高く評価されています。

同様のニーズが高まっている日本では、当社で現在展開している維持管理やリテール向けマーケティング支援、構造設計などのビジネスにおいても、屋外だけでなく屋内環境へのニーズは高く、今回の業務提携によりGPSに代わる位置測位と屋内環境で有用なデジタルマップを作成・提供するソリューションを加えることで、屋内における人々の活動を支援するソリューションやシミュレーションを提供し、社会に貢献することができると考えております。

当社は、永年、様々な海外の有用なソフトウェアやサービスを日本市場に積極的に取り入れ、日本市場に合わせた付加サービスを展開してまいりました。今回の業務提携においても、構造計画研究所による日本語でのNavVis製品の販売・サポートだけでなく、実証実験的な取り組みから大規模なシステム構築まで幅広くサポートすべく、構造計画研究所の所員・機材によるマッピングサービスのご提供、そして活用ソリューションのご提案からカスタマイズ構築まで、NavVis社とのパートナーシップのもと事業展開をしてまいります。

### ■プロダクト概要



図1. 次世代屋内デジタル化プラットフォーム NavVis

- M3 Trolley**： 建物・地下街等の屋内空間を 1600 万画素の高精度な画像と点群でデジタル化する 3D マッピングシステム。マッピングした 3D 屋内空間データは統合されたソフトウェアによりワンクリックで自動処理され IndoorViewer を用いてブラウザで閲覧・共有可能となります。
- IndoorViewer**： M3 Trolley でマッピングした 3D 屋内空間データをブラウザで閲覧・共有可能にする WEB アプリケーション。閲覧だけでなく 3D 空間の任意の場所に、設備・展示物の詳細や履歴・ストーリー・SNS 連携等のコンテンツを付加でき、様々な対話アプリケーションの構築を容易にします。
- Navigation App**： 屋内位置情報サービス向けに開発された NavVis 社の先進的なビジョンベース測位エンジンで、屋内でも歩行者・来場者への turn-by-turn ナビゲーションが可能になります。

## ■ 適用例



**【設備管理】** 巨大で入り組んだ建物や、図面のない建物もわずか1日で完全にモデル化し、迷路のようなフロアも完璧にナビゲーション。保有資産の情報を屋内の位置情報と紐付けることで、現場での作業管理とワークフローを最適化します。またリアルな3Dマップを利用した保守保全業務のオリエンテーションやノウハウ伝承も可能となります。

**【リテール】** オンラインとオフラインそれぞれの良いところを組み合わせ、顧客にとって最良のショッピング環境を手頃な費用で簡単に実現し提供します。また、リアルな仮想環境で商品を提示し生き生きとしたオンラインショッピングを体験できます。



**【建設現場監理】** 計測した3Dモデルを元に、ブラウザ上でサイズや距離を算出したり、位置を測定したりすることができます。また、建設現場の状況と品質を記録し、各工程の進捗をオンラインで追跡可能にします。様々な工事関係者間での円滑で確実なコラボレーションを可能にし、効率的な建設管理を実現します。

## ■ 会社情報

**【NavVis GmbH】** (<http://www.navvis.com>)

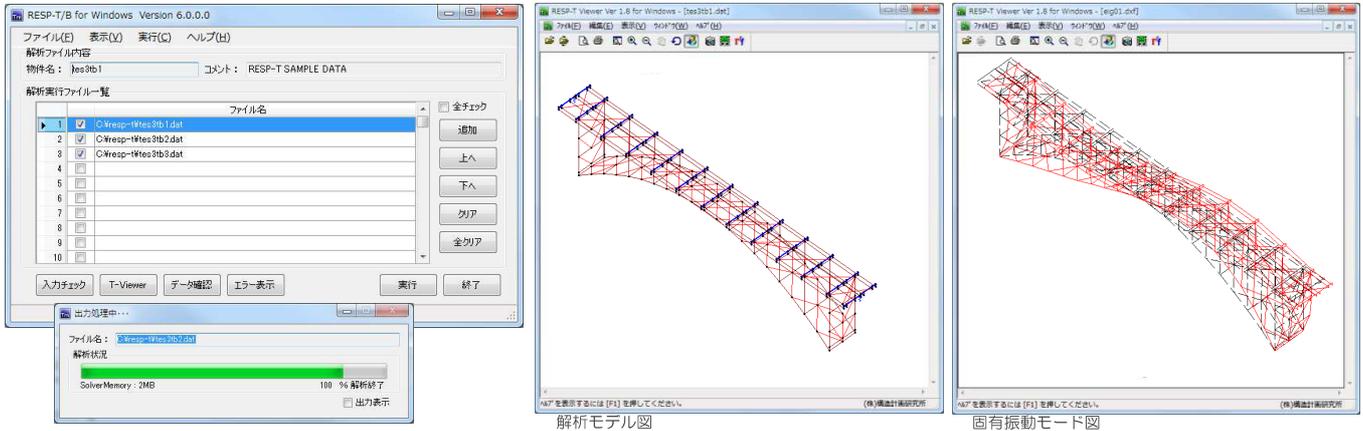
2013年5月に設立したNavVis社は、次世代の屋内マッピングとナビゲーションのためのロボティクス、コンピュータビジョン、機械学習技術で数々の賞を受賞する、独ミュンヘンの急成長中ハイテクスタートアップ企業です。

NavVis紹介ページ：<http://www.kke.co.jp/solution/theme/navvis.html>

# RESP-T

Version 5.1.2.2  
3次元静的・動的複合非線形解析プログラム

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



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

## 適用事例

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

## 解析機能

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

## 要素

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

## 復元力特性

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

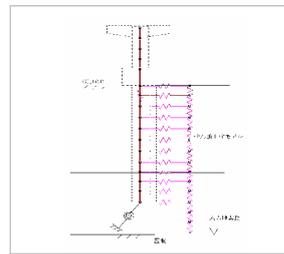
## 特殊復元力特性

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

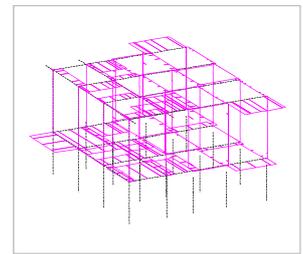
## 復元力特性(減衰)

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

◆ 解析コンサルティングも行っております。



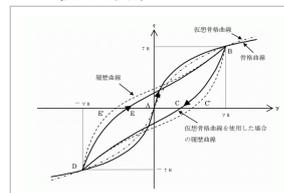
上部構造—基礎一体モデル  
(動的相互作用考慮)



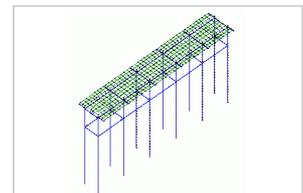
不整形ラーメン高架橋解析モデル  
(ねじりモーメント図)

## 機能追加予定

- GHE-S履歴モデル
- 板曲げ要素



GHE-Sモデル



板曲げ要素

## 製品

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

## 動作環境

- 対応OS  
Windows XP / Vista / 7 / 8 (64bitOS対応)
- 必要メモリ、ディスク  
メモリ256MB以上、空きディスク容量1GB以上

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

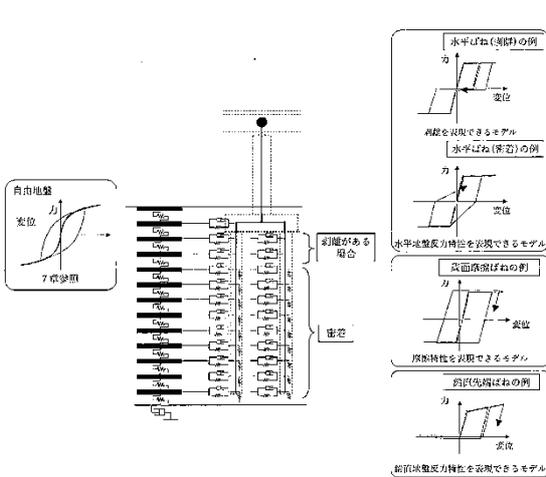
# DARS

Version 2.0  
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、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。

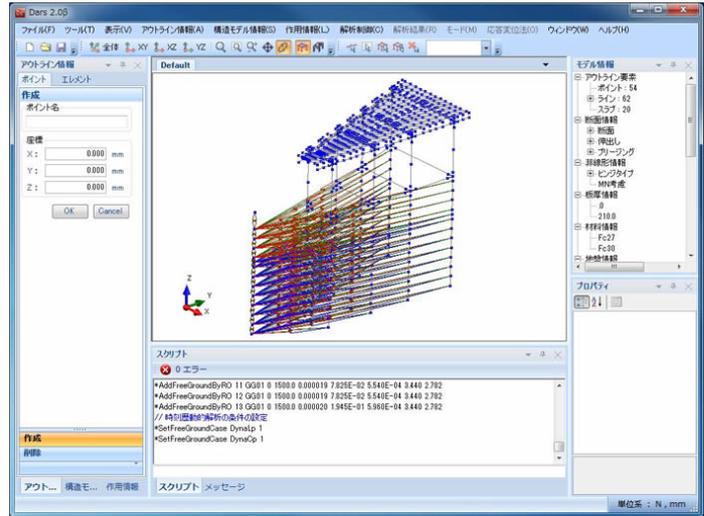
## ■ 一体型モデルによる動的解析

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。



解説図 10.2.2 一体型モデル（質点系）による構造物の動的解析モデルの例（結果概観）

\* 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

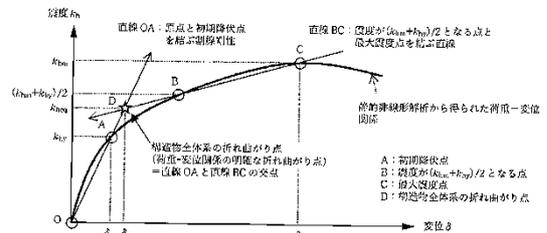
「構造物全体系の折れ曲がり点」に対応する震度 $K_{heq}$ を用います。

## ■ 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ばねへ対応しました。

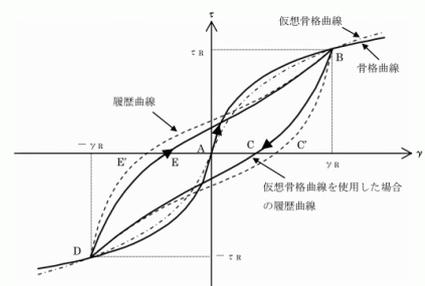
## ■ 今後の予定

- ・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



解説図 11.2.7 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。



## 解析雑誌40号記念企画

### 「解析雑誌の今までとこれから」編集委員による座談会 開催

2000年に創刊した解析雑誌が、16年の時を経て記念すべき40号の発行を迎えました。この間、編集担当者も代替わりが進み、現在は編集委員を組織して掲載記事集めや原稿の執筆を行っています。

今回は初代編集担当を筆頭に新旧編集委員より代表者を集め、解析雑誌に込められた思いや裏話、今後の意気込みについて語り合ってみました。



#### 《今回参加のメンバー》

防災・環境部	奥野 峻也
耐震技術部	八木 康仁
防災ソリューション部	田島 礼子
エンジニアリング営業部	為廣 尚起
	木村 まどか
	焦 凝
(写真等協力) 広報・IR室	田村 翔

#### 《他の現役編集委員》

防災・環境部	吉野亜香利・岡村 航
耐震技術部	佐々木義志・岩崎祐二
建築構造工学部	佐藤 克哉
防災ソリューション部	竹越 美佳

#### 解析雑誌のなりたち

為廣： 創刊号にも実は記述しているのですが、KKEの解析技術の全体像を横断的に紹介する場を持ちたいという発想から解析雑誌を企画しました。面会するお客様にホットな技術情報をお土産としてお持ちしたいということもあって、年3回発行を目標にしたんです。過去、解析グループでは『季刊RESP』<sup>注1</sup>を発行するなど同様の試みはあったのですが、テーマが絞られるとなかなか記事集めが難しく続かなかった。解析雑誌は「こうあるべき」という形にとらわれず、内容も広く扱うことで40号まで続いたのだと思います。途中発行ペースが落ちた時期もありましたが、正直思っていたより続いていますね。2号くらいで既にネタ切れになりそうだったし(笑)。

木村： 私が編集を担当するようになってからも一度、技術部隊からネタが全く集まらなかったことがあります。苦し紛れに為廣さんがコーディネートしたセミナーから記事を起こした「インフラ維持管理の高度化 特集」という号<sup>注2</sup>を作ったのですが、在庫ほぼゼロになるほど予想外の大人気。

焦： 笹子トンネルの事故直後だったこともあって、手渡しするにも持っていきやすかったし、展示会で持ち帰る方も多かったのでしょう。タイムリーな記事作成は今後も取り組んでいきたいですね。

田島： 長く続けるために、その時に出せるものを記事にするというスタンスは変えられなくても、時々はそのような特集号を作成できるといいですね。

(注1：建築構造解析プログラムRESPシリーズに関連する情報誌 注2：解析雑誌 Vol.32 2013.4)

#### 解析雑誌はどうやってお客様に届くのか？ どう使われているのか？

焦： 営業が商談に持って行ってお客様に個別にお渡ししたり、セミナーや展示会でお配りしたりしています。バックナンバーについては解析ポータルからダウンロードできるようにもなっているので、自分は入社前に読んでみたりもしました。

為廣： 確かあの号にあのテーマの記事があったよな…とバックナンバーを持ち出して活用することもある。実績を示す資料として昔のテクニカルレポートの役割も果たしているよね。

木村： お渡しすると喜んでいただけることが多くて、持って来られないときは送ってほしいという方もいらっしゃいます。編集者としてはうれしいですね。そんな感じで、発行の間隔があくと社内外から声をかけられるほど営業では活用していますが、技術では冊子を置いておいても使っている気配がないですね。



- 八木： 発行のたびに何部かフロアに置く用で預かるんですけど、ほとんど減らずに年末の大掃除で営業部門に戻したり。
- 田島： 自部門の記事が掲載されている号については時々使っているみたいですが、意外と中身について把握できていないので、思い出したときだけです。
- 奥野： 技術側は入稿前の事前回覧くらいでしか、目を通す機会がないですから。
- 焦： よりたくさんのお客様にお届けするためには、社内での周知とか浸透が実は課題ですね。

## 編集担当として苦労したことは？

- 為廣： 意外なところでは表紙の写真かな。自分で撮ったりもしたけれど、ネタが尽きてくるよね。で、旅行で海外に行った人に写真を提供してもらったり、子供に修学旅行先で撮ってきてもらった写真を使ったこともあったなあ。
- 木村： 私も昔、旅行で撮ってきた写真を提供しましたよ。自分が担当するようになった頃にはカラー冊子になっていたの、鮮やかな写真も使いたいのと思って風景ではない写真を採用することも増えましたけど。特集が組めるようになったら、表紙と連動させるんですけどね。意外と悩んで表紙写真や色合いは考えているので、手に取った方には時々気にしてみてくださいと嬉しいです。
- 奥野： 技術側としては、この座談会で解析雑誌が思っていた以上に有意義に使われていると知ることができたのでよかったのですが、今まではモチベーションの維持が難しかったです。忙しい業務の合間に確認をとったり連絡をしたりの手間が意外と大変なので、「こなす」だけになりがちでした。
- 焦： そこはまとめ役の営業が、きちんと目的や活用状況をみなさんと共有する場を作って、今後さらに充実した記事をお届けできるように頑張らないといけないですね。



実はこの表紙、構造計画研究所のロゴ (K) がモチーフになっていることご存知ですか？  
白黒からカラーになっただけでなく、紙も少しずつ変わってきています。  
今は持ち帰っていただきやすいようにあえて薄い紙を使っています。

## やってみたかった企画、やってみたい企画

- 木村： 今日のこの座談会も技術情報誌である解析雑誌のネタとしては今までやったことのない企画だと思います。「構造計画の技術」だけではなく「構造計画の人」を知っていただくのも面白いかなと思って。読者の方が読んで面白いものになるのかやや心配ですが。。
- 田島： 何年前前から掲載を再開した編集後記も趣旨としては同様の試みですよ。次は「構造計画という会社」を知っていただく企画もいいかもしれません。うちって外から見ると不思議な会社みたいですし。普段お付き合いのあるお客様の大半が解析グループには比較的なじみがあるけれど、他にも通信系とか意思決定系とかのビジネスもやっているとお話しすると興味をもってくれますよ。
- 八木： 部門紹介コーナーを作って、そこで各部門の技術についても記事にしたら面白そうですね。解析グループ以外の技術についても活用のチャンスが広がって、お客様に新しい価値提供ができればいいですし。
- 焦： 早速次回41号から実現できるように頑張ります。



毎回発行に向けては3か月前から動き出して、通常業務の合間に頑張っています。

打ち合わせなどで編集委員を見かけましたら、是非感想等お声がけください。励みになります。

解析雑誌の今後にもご期待ください。

## 3次元FEMによるすべり安全率の評価

(株)構造計画研究所  
防災・環境部 富尾祥一

現在、原子力発電所の敷地内にある斜面や建屋直下の地盤は周辺斜面や基礎地盤と呼ばれ<sup>1)</sup>、その耐震安定性評価は有限要素法（以下、FEM）に基づく安定性評価が行われることが一般的です。別途、FEMを用いた常時解析と地震応答解析を実施しておき、それらの応答結果を用いて想定すべり面に対する安定性を評価するという方法です。常時解析や地震応答解析は2次元FEMに基づくことが一般的ですが、2次元モデルの場合、奥行き方向には同じ断面が続くという仮定が入りますので、実際の3次元のすべり面形状で期待される側方の拘束効果がなく、すべり安全率が安全側に評価されることとなります。昨今ますます原子力発電所の安全性が求められる中で、評価用の地震動も大きくなっているのが現状です。よって、これまでの2次元モデルによる評価では評価基準値を下回ることも考えられます。そこで本文では、3次元FEMに基づくすべり安全率の算定に関する解析事例をご紹介します。3次元FEMにより、これまで2次元モデルを用いて実施してきた評価をより精度良く評価することが可能となります。

### 1. 3次元FEMに基づくすべり安全率

#### 1.1 すべり安全率の計算方法

3次元FEMに基づくすべり安全率を算定するためには、予め3次元の応力状態が必要です。本文の冒頭に示した原子力分野では、地震時の安定性に関する評価を行うことが多いため、地震応答解析結果として得られる3次元の応力状態を用いることとなります。以下、応力状態が既知であると仮定し、それ以降からすべり安全率の算出までの流れを示します。

コーシーの式より地盤内部の仮想切断面*i*に働く作用力 $f_i$ は式(1)で計算できます。

$$f_i = \sigma_i n_i a_i \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_i$ はコーシー応力テンソル、 $n_i$ は切断面の単位法線ベクトル、 $a_i$ は切断面の面積を示しています。

連続する仮想切断面で区切られた外側領域が剛体的に滑動すると考えると、切断面には各時間断面において不平衡力が生じています。ここで、作用力 $f_i$ は垂直抗力 $f_i^n$ と滑動力 $f_i^t$ に分解できます（式(2)(3)参照）。

$$f_i^n = (f_i \cdot n_i) n_i \quad (2)$$

$$f_i^t = f_i - f_i^n \quad (3)$$

以上より、滑動力の向きを考慮した場合、任意時間断面におけるすべり安全率 *S.F.* は式(4)から計算できます。

$$S.F. = \frac{|f_i^n| \cdot \tan \phi_i + C_i \cdot a_i}{\sum f_i^t \cdot s_i} \quad (4)$$

ここで、 $C_i$ は要素*i*の粘着力、 $\phi_i$ は内部摩擦角、 $s_i$ はすべり方向を表すベクトルを示しています。

#### 1.2 解析コード

解析コードは弊社で開発している POST-S/3D を用います。

### 2. 解析事例の紹介

#### 2.1 解析条件

本文で紹介する評価事例の解析モデルは既往論文<sup>2)</sup>を参考としています。図 2.2 にモデル図を示し、表 2.1 に解析用物性値を示します。図 2.2 に示している通り、解析モデルは2種類の材料(材料AとB)から構成されています。

図 2.1 に作業フローを示します。まず、自重解析を行いモデルの常時応力を評価します(①)。この時の側方境界条件は鉛直ローラとし、底面境界条件は固定とします。次に、①で算定された応

力を初期状態として、水平方向の震度を 0.3<sup>1)</sup>とした加力解析を実施します (②)。このときの加力方向は X 方向から 45° だけ傾けた方向であり、図 2.2 にて赤矢印で示した方向です。なお、この時の側方境界条件は加力方向ローラとし、底面境界条件は固定とします。最後に、②で算定された応力状態を用いてすべり安全率の算定を行います (③)。このとき想定するすべり方向は②の加力方向と同一とし、想定するすべり面は楕円体とします。楕円体の形状は、楕円体の中心座標、全体座標系 3 方向成分の半径をパラメータとする約 30 万通りのすべり面を設定します。

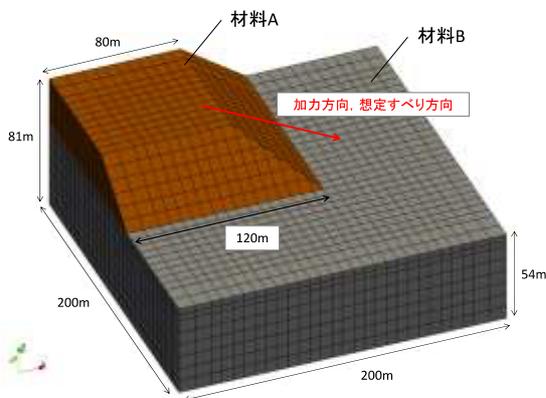


図 2.2 解析モデル

表 2.1 解析用物性値

項目	材料A	材料B
単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	17.8	16.8
ポアソン比	0.48	0.45
せん断波速度(m/s)	337.6	499.4
せん断弾性係数(Mpa)	210	427
粘着力(kPa)	98.1	1500
内部摩擦角(deg)	38.6	0.0
引張強度(kPa)	0.0	222

## 2.2 解析結果

解析結果として図 2.3 に最小すべり安全率となるすべり面形状を示します。このすべり面が解析条件で示した約 30 万通りのすべり面のうち、最小すべり安全率となるすべり面形状となります。図より、すべり面は凸部を含む形状となっていることが分かります。凸部は他に比べて 3 次元的な側

### 参考文献

- 1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601-2008) 日本電気協会
- 2) 3次元性を考慮した斜面の安定解析 金戸俊道, 高尾誠, 吉田郁政 (電力土木, No.296, 16-21, 2001)

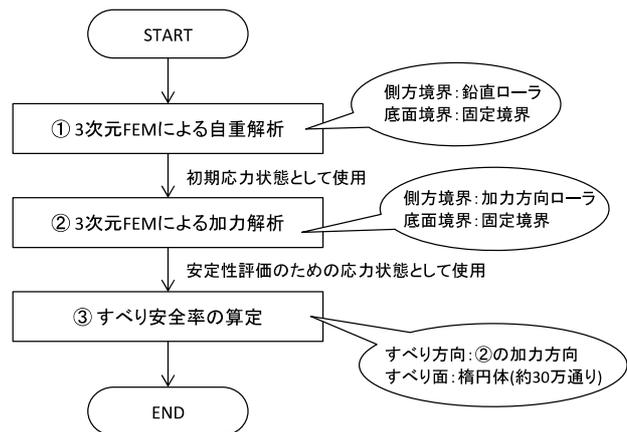


図 2.1 作業フロー

方拘束効果が期待できないため、すべり安全率が低くなる傾向があります。今回、実施した解析結果は最小すべり安全率となるすべり面が凸部を含んでいることから、この傾向と整合しているといえます。なお、今回の条件では、最小すべり安全率は 2.75 となりました。原子力分野の場合、周辺斜面の評価基準値は 1.2 と定められていますが、これは 2 次元モデルによる評価基準ですので、そのまま用いることはできません。別途、3 次元モデルを用いた場合の基準値が必要となります。今回ご紹介した解析事例は水平震度を 0.3 と設定しましたが、3 次元の応力状態は地震動 (時刻歴データ) を入力した地震応答解析結果を用いることも可能です。また、現状は大量の想定すべり面を機械的に処理しておりますが、最小すべり安全率となるすべり面の効率的な探索方法を調査中です。

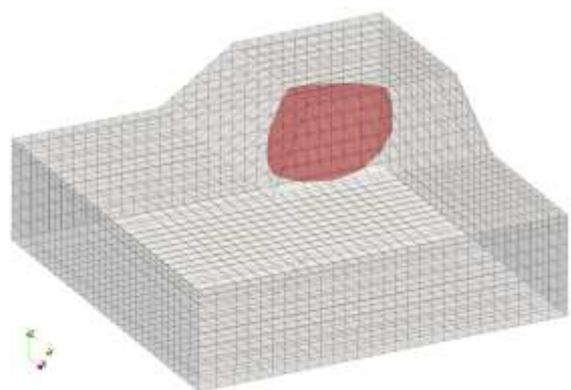


図 2.3 最小すべり安全率となるすべり面形状

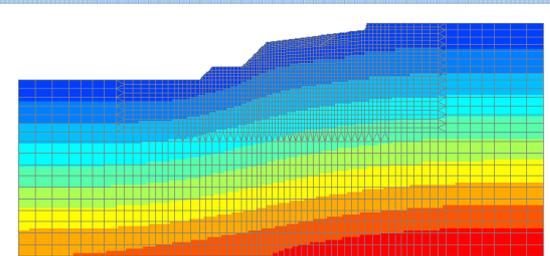
# 降雨時の地盤安定性問題に対するソリューション

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

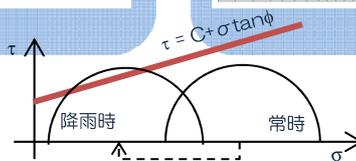
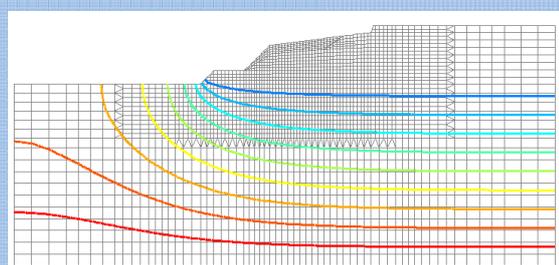
弊社では非定常浸透流解析プログラムをはじめ、すべり安全率・すべり変形量の算出プログラムなど様々な自社開発を積極的に行っております。これにより、浸透流解析結果から降雨時に時々刻々と変化する水圧や水位を把握し、有効応力を用いて想定すべり面の危険度を判定するなど、総合的な検討が実施可能です。

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。

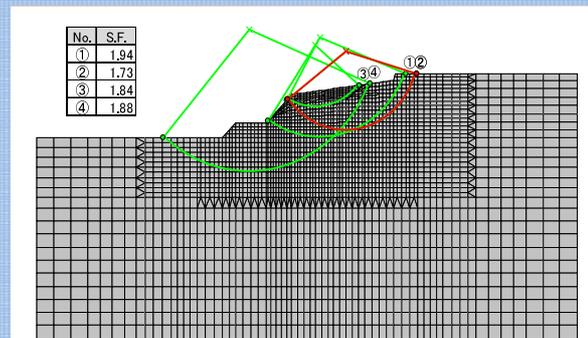
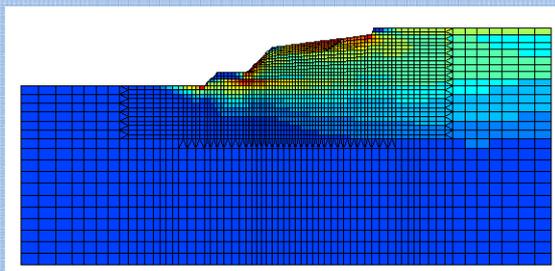
● 平時の応力状態（常時応力解析結果）



● 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性の検討



☞ 局所安全係数と破壊状況のチェック

☞ 想定したすべり面毎にすべり安全率を時刻歴で算出

## 実績

降雨時の斜面安定性評価（某コンサルタント）

降雨による地下水水位の変動予測（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）

## 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

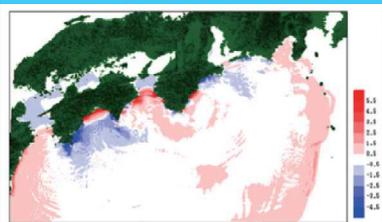
### 出力多彩

アニメーション等の  
多彩な結果出力に  
対応可能です。

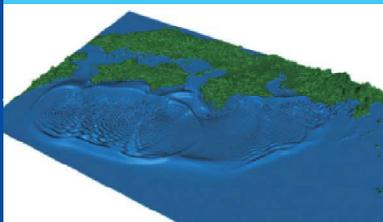
### 2D・3Dアニメーション表示だから解析結果が一目瞭然

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。

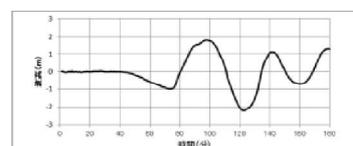
2D アニメーション



3D アニメーション



時刻歴波形グラフ



# 長周期地震動作成プログラム ARTEQ-LP for Windows

## バージョンアップのご案内

(株)構造計画研究所  
防災ソリューション部 村田 諒平

### ■はじめに

弊社の設計用入力地震動作成システムは、1997年に販売を開始して以来、建築・土木分野を中心に多くのお客様にご利用いただいております。

販売開始後、世の中の動向・各種基準の改定やお客様のご要望等を反映し、構成プログラムの追加やバージョンアップを行って参りました。プログラムごとの直近のバージョンアップ内容を表1に示します。

表1 直近のバージョンアップ内容

プログラム名	最新版リリース日 (バージョン番号)	直近の主なバージョンアップ内容
SeleS for Windows	2015年11月 (7.0)	H23ダムの距離減衰式
ARTEQ for Windows	2013年 8月 (6.1)	上下動成分係数の掛け合わせ機能
ARTEQ-LP for Windows	2012年 7月 (1.0)	
k-SHAKE+ for Windows	2014年 9月 (6.2)	歪み依存特性設定支援ツール
k-WAVE for Windows	2014年 9月 (6.2)	計測震度算出ツール

ARTEQ-LP for Windowsは、2010年の国土交通省の『「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について」に関するご意見募集について』<sup>※1</sup>を受け、2012年7月にバージョン1.0のリリースを行いました。本プログラムの機能は、上記の対策試案について「正式な情報が公開され次第バージョンアップを実施予定」としていました。このたび、国土交通省から2015年12月18日に発表された『「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案について」に関するご意見募集について』<sup>※2</sup>に伴って、これを反映したバージョンアップ版（バージョン2.0）を2016年6月末にリリースする運びとなりました。本稿では、プログラムの改良項目を簡単に紹介いたします。

### ■主なバージョンアップ内容

主なバージョンアップ内容を以下に示します。なお、この内容は、パブリックコメント募集時の情報を基にしており、今後、正式な情報が公開されるなどで内容を変更する場合がありますことあらかじめご了承ください。

#### ① 任意地点での評価

- これまで指定された地震観測点のみで評価が可能でしたが、3大都市圏の一部地域においては、任意地点を緯度・経度で指定した評価が可能となります。(図1)

- ② 応答スペクトルの計算方法
  - ・ 式および係数の変更 (※)
- ③ 郡遅延時間の計算方法
  - ・ 係数の変更 (※)
- ④ 断層モデルデータベース
  - ・ データ項目の追加 (図 2)
  - ・ 南海地震の追加 等

(※) バージョン1.0の式や係数についても、選択してご利用いただけるよう開発予定です

地点によっては、  
任意の地点が選択可能

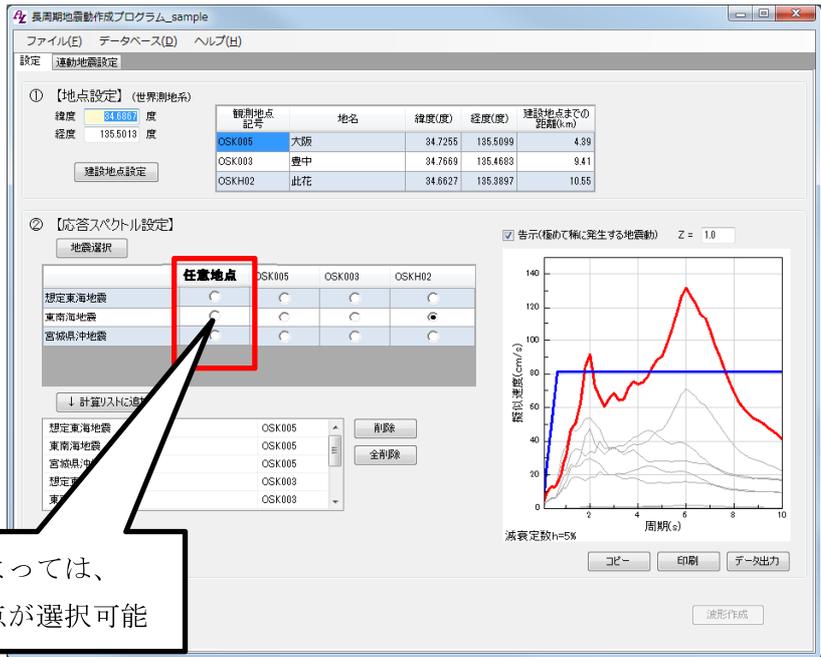


図 1 設定画面

■バージョンアップ版のご提供について

この度のバージョンアップ版は、ARTEQ for Windows の技術サポート契約ご締結のユーザー様・ARTEQ-LP for Windows ご購入後半年以内のユーザー様には、無償でご提供いたします。最新版のプログラム・マニュアルのご提供は、弊社サポート窓口 (tech@kke.co.jp) までお問い合わせください。

また、過去のバージョンを保有するユーザー様へは優待価格で最新版をご提供いたします。この機会にプログラムの更新並びに技術サポート契約の締結を是非ご検討ください。



データ項目に「プレート」を追加

図 2 断層モデルデータベース登録画面

■終わりに

設計入力地震動作成システム開発チームは、今後も多くのお客様にご利用いただけるプログラムを目指し、改良や機能追加を行って参ります。2016年にはARTEQ-LP for Windowsのほか、Windows 10 対応と SeleS for Windows のデータベース更新を行う予定です。改良や機能追加にあたりましては、ユーザーの皆様のご意見やご要望も取り入れていきたいと考えておりますので、お気づきの点やご意見・ご要望等ございましたら、サポート・営業担当までお寄せください。

※1: 国土交通省『「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について」に関するご意見募集について』 [http://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000218.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000218.html) (2016年3月閲覧)

※2: 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案について」に関するご意見募集について』 [http://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000601.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000601.html) (2016年3月閲覧)

# 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。

2015年11月にSeleSをバージョンアップし、新機能の追加等を行いました。また、SeleSの断層モデルDB、被害地震DBを更新し、J-SHIS(2015)および2015年10月までに発生した地震を追加収録しました。さらに、全てのパッケージにてウェブ認証ライセンスへの対応を行いました。

### パッケージ名

### 概要

地震荷重設定システム

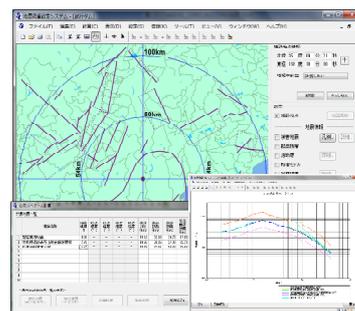
## SeleS for Windows

セレス

販売価格

フル機能版	: 2,100,000円 (税抜)
翠川・小林版	: 1,800,000円 (税抜)
ダム機能版	: 1,800,000円 (税抜)
ダム式限定版	: 1,200,000円 (税抜)

耐震設計の際の地震荷重を設定するために、建設地点周辺の地震環境を検索し、被害地震および活断層によってもたらされる建設地点での地震動強さを評価するシステムです。各種距離減衰式による建設地点での最大振幅計算や再現期待値計算、安中ほか(1997)や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。



模擬地震波作成プログラム

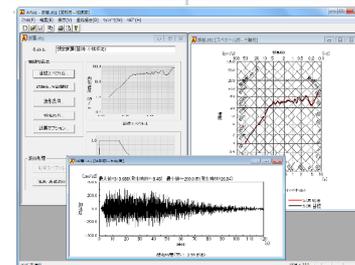
## ARTEQ for Windows

アーテック

販売価格

フル機能版	: 1,000,000円 (税抜)
建築限定版	: 700,000円 (税抜)
土木限定版	: 500,000円 (税抜)

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、耐震スペクトル、ダムの照査下限スペクトル、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。



成層地盤の地震応答解析プログラム

## k-SHAKE+ for Windows

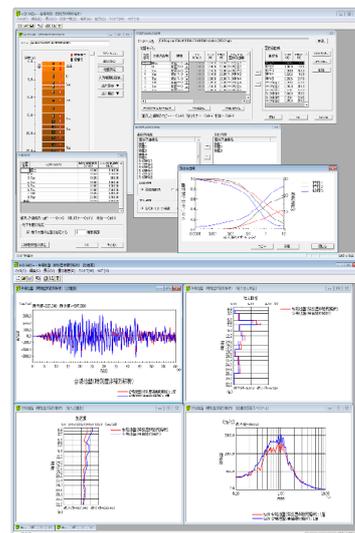
ケイシェイク プラス

販売価格

フル機能版	: 800,000円 (税抜)
基本機能版	: 500,000円 (税抜)

水平方向に半無限に広がる成層地盤を対象とした地震応答解析プログラムです。強震記録波形やARTEQで作成した模擬地震波を入力地震波として与えることが可能です。

- 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。



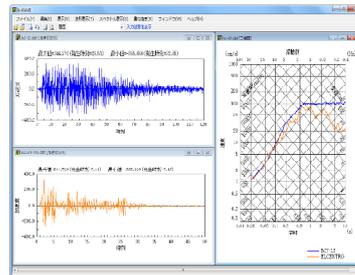
波形処理プログラム

## k-WAVE for Windows

ケイウェイブ

販売価格 : 200,000円 (税抜)

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書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。



断面算定オプションに  
新機能追加!

3次元任意形状フレーム構造解析ソフトウェア

STAN/3D

三次元任意形状フレームモデルの静的・弾性応力の解析機能を、多分野に応用できる汎用性の高いプログラムです。

形状に関する制限は無く、一般の建築構造物はもちろん、ドーム・鉄塔・橋梁・プラントなどの特殊な構造物、工作物の解析まで、その威力を発揮しています。

## STAN/3D の断面算定オプション (STAN/3D-M) に 木造用断面検定機能が追加されます!

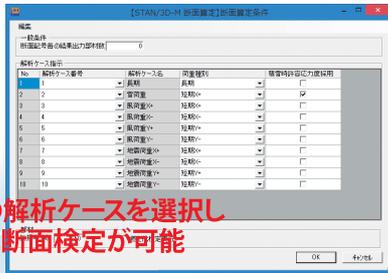
### 木造用許容応力度計算機能

許容応力度計算に基づき柱・梁の検定値を算出  
＜適用規準類＞

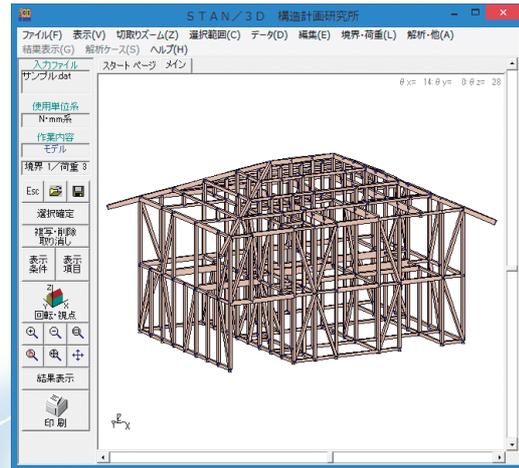
木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年版)

※柱、梁の曲げ、せん断、軸に対する断面検定にのみ対応

### 複数のケースを一度に断面検定



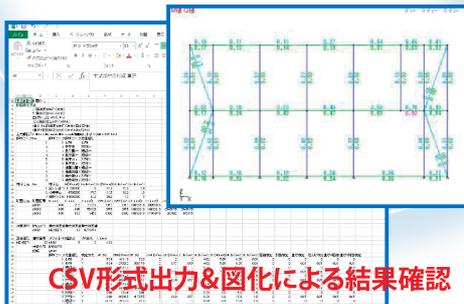
複数の解析ケースを選択し  
一度に断面検定が可能



分断された部材を1部材として断面検定※

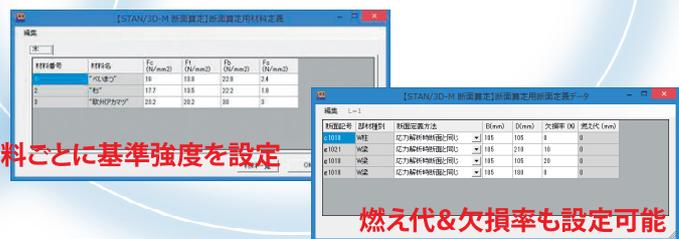
## データ管理・結果検討をスムーズに

### CSV形式による結果出力※



CSV形式出力&図化による結果確認

### 燃え代検定、断面欠損を考慮した断面検定



材料ごとに基準強度を設定

燃え代&欠損率も設定可能

※印の項目は Ver11.5 の STAN-M(S 造) でも対応しています。

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**

成層地盤地震応答解析プログラム **k-SHAKE+ for Windows**

地震波作成から建物の振動解析まで **k-SHAKE+ & RESP-D**

合同体験セミナーを2016年5月24日(火)東京開催決定!!

お申込みは <http://www.kke.co.jp/kaiseki/> または <http://www.kke.co.jp/resp/> より受付中

実務者視点の  
設計支援機能を  
是非体験ください。



二次壁の脆性破壊を生じる既存 RC 建物の静的・動的的非線形解析

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

RC 造 脆性破壊 負勾配  
 立体動的解析 段階的耐力喪失 既存中層建物

1. はじめに

既存中層 RC 建物の構造性能評価において、袖壁・垂壁・腰壁（以下、二次壁と呼ぶ）のせん断破壊を適切に考慮することが課題となっている。既報<sup>1)</sup>では部材のせん断破壊後の層復元力特性を評価する方法として、せん断破壊した部材を両端ピンとして載荷を繰り返して保有耐力を求める方法（以下、段階的耐力喪失解析）による検討が報告されている。本報では既報<sup>1)</sup>で検討を行った 11 層建物について立体弾塑性動的解析を行い、段階的耐力喪失解析との整合について確認を行うことを目的とする。解析にあたっては (株)構造計画研究所の「建築構造物 3 次元フレーム解析・設計プログラム：RESP-D」を用いた。

2. 検討対象建物とモデル化

対象建物は既報<sup>1)</sup>で対象とした 11 層建物とする。大梁は材端剛塑性ばねモデルとし、柱はファイバーモデルとしてモデル化した。諸条件は既報と同様とした。

3. 段階的耐力喪失解析条件

段階的耐力喪失のフローチャートを図 2 に示す。また、段階的耐力喪失解析の各部材の条件を表 1 に示す。外力分布については  $A_i$  分布および動的解析時の最大応答外力分布としたものについて検討を行った。

4. 弾塑性立体振動解析条件

入力地震動は文献<sup>2)</sup>から取得した観測地震動を用いた。入力地震動の時刻歴波形、加速度応答スペクトルをそれぞれ図 4、図 6 に示す。

負勾配の設定概念図を図 1 に示す。本検討では柱、大梁、壁において劣化開始歪みを 1/200、耐力喪失歪みを 1/125 として設定した。なお、せん断履歴特性は原点指向型として定義した。減衰については部材の弾塑性を考慮しているため瞬間剛性比例減衰とすることが望ましいが、瞬間剛性比例とすると部材が負勾配に入った場合に減衰が負になってしまう問題が生じる。質点系振動モデルであれば次善の策として層剛性が負になる場合は減衰を 0 とする考え方もあるが、部材モデルの場合には周辺部材と相互に関連しあうため、単独の部材だけで減衰を 0 にするような方法は望ましくない。それらを踏まえ、本稿では減衰を初期剛性比例減衰とし、減衰定数は 1.5% および 0.5% の 2 パターンについて検討した。

5. 動的解析と段階的耐力喪失解析の結果比較

図 7、図 8 にそれぞれ  $h=1.5\%$ 、 $h=0.5\%$  の各層のせん断力-変形関係を示す。結果については最大層間変形が大きくなる 5 階から 7 階について示した。等価 1 自由度に置換した場合のせん断力-変形を図 9 に示す。さらに動的解析結果による破壊状況としてヒンジ図を図 10 に示す。段階的耐力喪失解析結果については、今回の検討では  $A_i$  分布と最大応答分布でそれほど差が生じなかったことから、外力分布を変えたことによる影響は 1 割以下にとどまった。

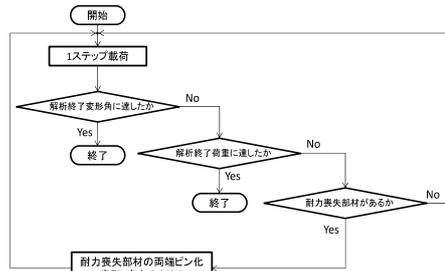


図 2 段階的耐力喪失解析フローチャート

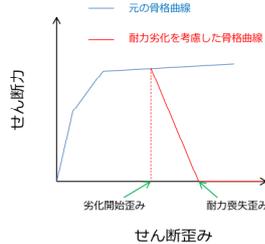


図 1 負勾配の設定概念図

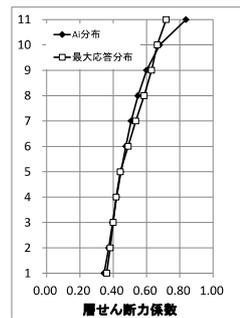


図 5 静的解析の外力分布

表 1 段階的耐力喪失における各部材の設定

	せん断復元力特性	耐力喪失時せん断ひずみ
柱	Bi-linear	1/150
大梁	Bi-linear	1/150
壁	Tri-linear	1/150



図 3 検討対象モデル 3D 図

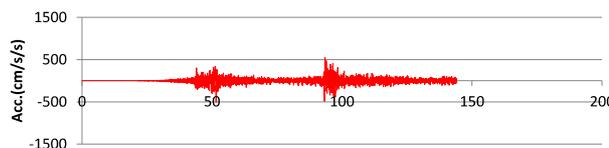


図 4 入力地震動加速度波形

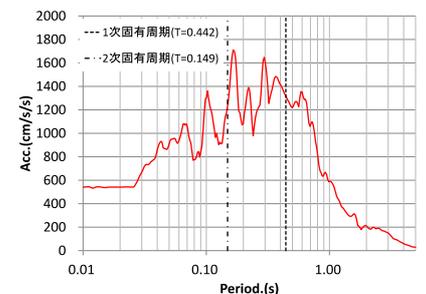


図 6 入力地震動加速度応答スペクトル(h=5%)

Static & dynamic non-linear analysis for existing RC building with shear collapse of non-structural walls

SUZUKI So,  
 YANAGAWA Yukimori, USAMI Masato,  
 KIMURA Madoka

h=1.5%では動的解析の方が段階的耐力喪失解析よりもやや保有耐力が大きめとなる傾向が見られるが、h=0.5%では概ね近い傾向になっている。h=1.5%では耐力低下を生じても初期剛性による減衰が比較的大きな力を保持し続けてしまうため、静的解析結果と差異が生じたと考えられる。このことから、動的解析において耐力低下を生じる部材の内部粘性減衰を適切に考慮することが非常に重要であることが確認された。

### 6. まとめ

- ・負勾配を考慮した動的解析による層の保有耐力は減衰定数により有意な差が生じる。
- ・負勾配を考慮した動的解析においては耐力低下を生じる部材の内部粘性減衰評価を適切に行うことが重要である。

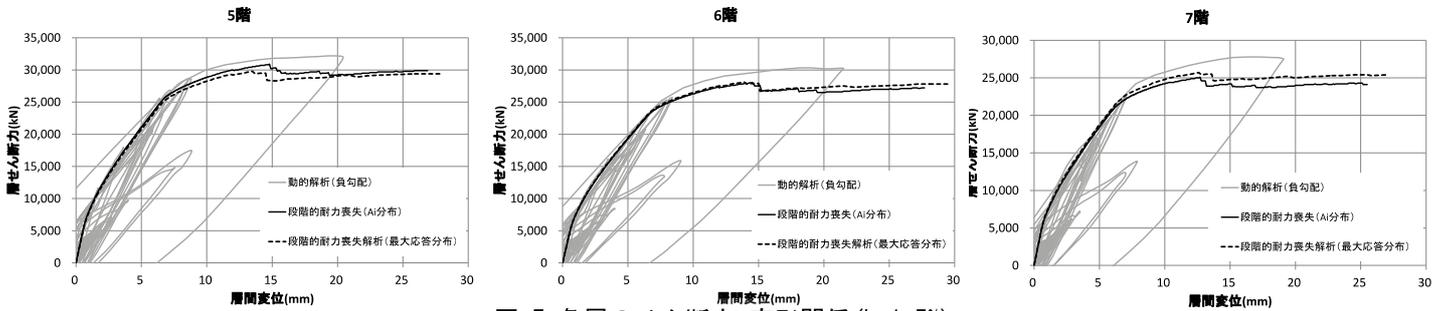


図 7 各層のせん断力-変形関係 (h=1.5%)

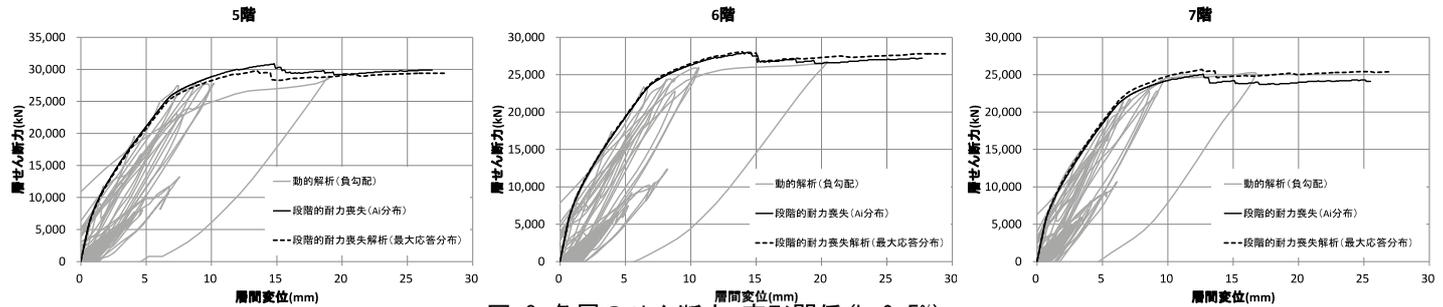


図 8 各層のせん断力-変形関係 (h=0.5%)

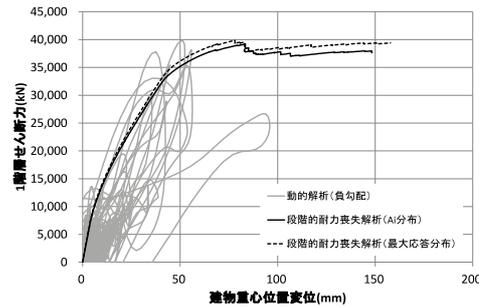


図 9 等価 1 自由度のせん断力-変形関係 (h=0.5%)  
(動的解析負勾配と段階的耐力喪失解析)

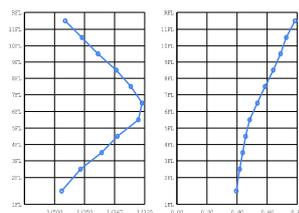


図 11 最大応答結果

### 7. 謝辞

本稿で解析に用いた地震動は、東北工業大学ハイテク・リサーチセンター・リアルタイム強震観測センターより提供を受けた。

本稿の作成にあたり、既存中層 RC 建物の耐震性能評価小委員会の委員各位には多大なご助言をいただいた。ここに謝意を表する。

### 8. 参考文献

- 1) 梁川幸盛, 鈴木壮, 稲井栄一, 松井智哉, 渡辺一弘: 「二次壁を有する既存建物の静的非線形解析手法」, 日本建築学会大会 2014 パネルディスカッション, 既存中層鉄筋コンクリート造建物の等価線形化法を用いた耐震性能評価法
- 2) Small-Titan (<http://smweb.tohtech.ac.jp/smalltitan/>)

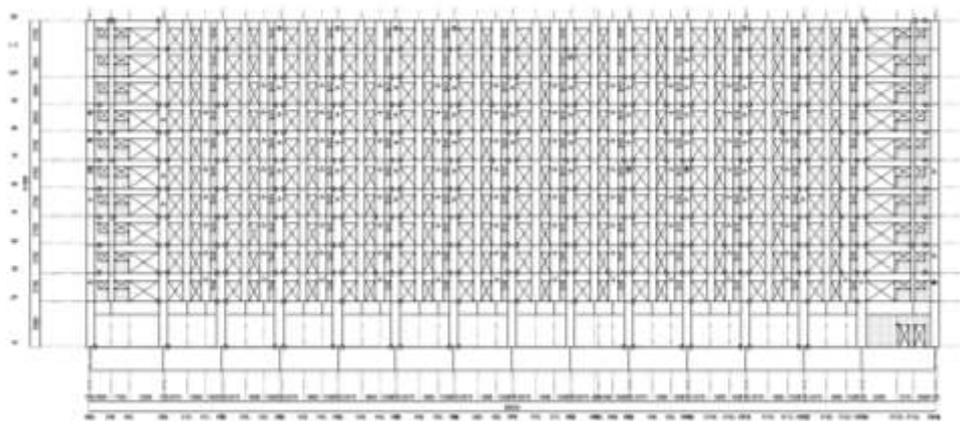


図 10 動的解析ヒンジ図 (h=1.5%)

不完全減衰マトリクスを用いたモード別減衰の高速解法の検証

正会員 ○梁川 幸盛\*1 同 宇佐美 祐人\*1  
 同上 鈴木 壮\*1 同 木村 まどか\*1

減衰マトリクス ひずみエネルギー比例型減衰 スパースマトリクス  
 モード別減衰 運動エネルギー比例型減衰

はじめに

原子力分野の構造物の地震応答解析においては、減衰モデルとして「ひずみエネルギー比例型減衰」を用いることが一般的である<sup>1)</sup>。この方法は、質点系モデルにおいて高次モードの減衰を過大評価することなく、設計的に安全側に評価することに重点を置く方法として有益である。しかし、この減衰モデルを立体解析や FEM 解析に適用しようとした場合に、致命的な問題が発生する。

すなわち、ひずみエネルギー比例型減衰による減衰マトリクス ([C]) の作成方法は、モード別減衰マトリクス (式(1)) によるが、この方法では減衰マトリクス ([C]) はフル (密) マトリクスになるため、計算機の必要記憶容量および計算時間が莫大になってしまう。

$$[C] = [M][U][D][U]^{-1} = [M][U][D][M]^{-1}[U]^T[M] \dots (1)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} 2 \cdot h_1 \omega_1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 2 \cdot h_n \omega_n \end{bmatrix} \dots (2)$$

ここで、 $\omega_n$  : n 次の固有円振動数

$h_n$  : n 次の減衰定数

[C] : 減衰マトリクス

[M] : 質量マトリクス

[U] : 固有モードベクトル列

そこで筆者らは、既報<sup>2)</sup>においてフルマトリクスになることを避けながらひずみエネルギー比例型減衰 (モード別減衰) を近似する方法として、不完全減衰マトリクスを提案した。しかし、どのように不完全減衰マトリクスを作成するのが良いのか、明らかにすることができなかった。本稿では、不完全減衰マトリクスとして剛性比例減衰マトリクスを用いる方法の精度を検証する。

本稿での「不完全な減衰マトリクス」の作成方法

式(1)の右辺を、式(3)および(4)のように分解する。式(3)の列数および式(4)の行数は採用するモード次数である。地震応答解析において影響が大きい固有モードは、低次の数十から数百であることが一般的であるため、劇的に計算機の記憶容量を節約することができる。

$$[matL] = [M][U] \dots (3)$$

$$[matR] = [D][M]^{-1}[U]^T[M] \dots (4)$$

しかし、振動方程式に組み込むために式(1)の形になるため、結局フルマトリクスになってしまう。これを解

決するため、減衰マトリクスを式(5)のように置き、第1項 (剛性比例項) を振動方程式の減衰項に組み込み、第2項は逐次積分の次ステップの外力項に組み込む方法を提案する。

$$[C] = \alpha[S] + [M][U][D][M]^{-1}[U]^T[M] \dots (5)$$

$$[D'] = \begin{bmatrix} 2 \cdot h'_1 \omega_1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 2 \cdot h'_n \omega_n \end{bmatrix} \dots (6)$$

ここで、 $\alpha = 2h_0/\omega_1$  ,  $h_0$  : 仮の減衰定数 (=0.01)

$$h'_n = h_n - h_0 \dots (7)$$

ニューマーク  $\beta$  法などで取り扱う有効剛性マトリクスにおいては、剛性比例減衰と同じ形式のスパースマトリクスとして扱うことができ、剛性比例減衰に対する補正外力として式(5)の第2項による減衰力 ( $\{F\}$ ) を加える。この減衰力は、式(8)のように求められる。式(8)は計算中にフルマトリクスにはならない。

$$\{F\} = [matL] \cdot [matR] \cdot \{\dot{x}\} \dots (8)$$

ここで、 $\{\dot{x}\}$  : 速度ベクトル

$\{F\}$  : 補正のための減衰力

地盤-建屋連成モデルによる検証

図1に示すような二次元の地盤-建屋連成モデルを設定した。地盤メッシュは高さ方向 30 分割、水平方向 98 分割で、建屋は 3 階、全体自由度は 5845 である。フルマトリクスとなった場合の有効剛性マトリクスのサイズは、倍精度浮動小数点を用いることを前提すると約 130[MB]である。固有周期は、建屋 (基礎固定時) が 1.194 (s)、地盤が 0.807 (s)である。モデルは線形とした。減衰定数は、建屋が 3%、地盤は 20%と設定した。入力

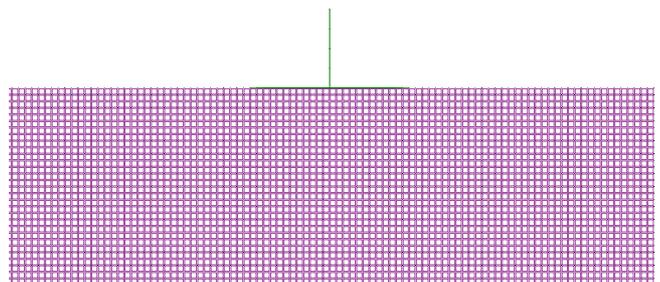


図1 地盤連成解析モデル (2次元 FEM モデル)

地震波は、BCJ-L2 波を縮小した波形の先頭 30 秒間を採用した。時刻歴積分の積分時間間隔  $\Delta t=1/400$  とした。

本検証で考慮した固有モードの次数は、最大 100 とした。参考として、1~20 次の固有周期・ひずみエネルギー比例型減衰として求めたモード減衰定数・本稿での  $h'$  を表 1 に示す。表中の 10 次は、モード減衰定数が小さいため補正  $h'$  が負になっている。

表 2 に解析に要する計算時間の比較を示す。計算には、4 年前に販売されていた通常のデスクトップ PC (Intel Core i7 880 @ 3.07 (GHz) Windows 7(64bit)) および市販の解析プログラム (RESP-F3T) の改造版を用いた。ひずみエネルギー比例型を式通り解く場合に比べて本提案方法は大幅に時間短縮でき、剛性比例型減衰の 2~3 割増し程度で解けることが確認できた。

表 3 に建屋部分の最大応答層間変位の比較を示す。本提案方法の 100 次まで考慮したケースは、ひずみエネルギー比例型減衰の結果と極めてよく一致している。また、本提案方法の 20 次まで考慮したケースでも概ね問題ない範囲であると言える。

表 1 固有周期・モード減衰定数・ $h'$  (二次元 FEM)

次数	固有周期 [s]	モード減衰定数	$h'$	次数	固有周期 [s]	モード減衰定数	$h'$
1	1.245430	0.101700	0.091700	11	0.270722	0.200000	0.046004
2	1.132680	0.129419	0.118424	12	0.235943	0.196282	0.052785
3	0.705639	0.200000	0.182350	13	0.232003	0.200000	0.053682
4	0.437008	0.044668	0.016169	14	0.231785	0.193751	0.053732
5	0.402212	0.192958	0.161993	15	0.225542	0.063340	0.055219
6	0.391057	0.194793	0.162945	16	0.219096	0.175863	0.056844
7	0.381774	0.200000	0.167378	17	0.203577	0.199826	0.061177
8	0.347308	0.197096	0.161236	18	0.199264	0.200000	0.062502
9	0.284490	0.200000	0.156222	19	0.182436	0.200000	0.068267
10	0.281948	0.031876	-0.012296	20	0.172952	0.200000	0.072010

表 2 解析に要する計算時間の比較

減衰タイプ	モード次数	解析時間	
		[s]	比
ひずみエネルギー比例型	100	7350	27.222
提案法	100	500	1.852
提案法	50	408	1.511
提案法	30	353	1.307
提案法	20	328	1.215
提案法	10	309	1.144
剛性比例型	-	270	1.000

表 3 最大応答層間変位 (建屋) の比較

減衰タイプ	モード次数	建屋の最大応答層間変位 [m]			
		1階	2階	3階	4階
エネルギー	100	0.015125	0.016203	0.016472	0.010498
提案法	100	0.015121	0.016202	0.016470	0.010498
提案法	50	0.015121	0.016202	0.016470	0.010498
提案法	30	0.015117	0.016202	0.016470	0.010498
提案法	20	0.015119	0.016196	0.016471	0.010498
提案法	10	0.015190	0.016570	0.016487	0.010651
剛性比例型	-	0.013510	0.015608	0.017160	0.010498

### 建物モデルによる検証 (3 層立体フレームモデル)

既報<sup>2)</sup>において、ひずみエネルギー比例型減衰との差が大きかったモデルについて、本稿での提案方法を適用して再度検証した (詳細は既報参照)。本モデルは、原発タービン建屋を立体フレームで模擬したものである。

表 4 に固有周期・モード減衰定数・ $h'$  をまとめた。実際の計算では、100 次までを評価した。また、このモデルにおける  $h_0$  は、0.003 と仮定した。

表 5~7 に最大応答値の比 (提案手法/ひずみエネルギー比例型) を示す。いずれも、0.5% 以下の差であり、本提案手法の実用性は高いと考えられる。

表 4 固有周期・モード減衰定数・ $h'$  (3 層立体モデル)

次数	固有周期 [s]	モード減衰定数	$h'$	次数	固有周期 [s]	モード減衰定数	$h'$
1	0.208213	0.025781	0.022781	11	0.097760	0.021379	0.014989
2	0.176501	0.023779	0.020240	12	0.091995	0.022156	0.015366
3	0.169510	0.029962	0.026277	13	0.088348	0.042525	0.035455
4	0.148479	0.022554	0.018347	14	0.086704	0.044341	0.037137
5	0.129282	0.023928	0.019096	15	0.084726	0.022643	0.015270
6	0.125491	0.025639	0.020661	16	0.082875	0.036900	0.029363
7	0.105469	0.027194	0.021272	17	0.080130	0.036149	0.028354
8	0.104141	0.025687	0.019689	18	0.079976	0.036927	0.029117
9	0.102655	0.024444	0.018359	19	0.079395	0.038659	0.030791
10	0.098382	0.025433	0.019084	20	0.075553	0.034703	0.026435

表 5 最大応答加速度の比

階	EiCentro NS	Taft EW	HachinoheNS	JMA-KobeNS	BCJ-L2
3	100.15278%	99.42470%	99.60930%	100.11350%	100.06629%
2	100.03846%	99.99289%	100.02359%	99.90669%	99.69251%
1	100.02847%	100.00942%	99.86199%	99.95523%	99.93764%

表 6 最大応答変位の比

階	EiCentro NS	Taft EW	HachinoheNS	JMA-KobeNS	BCJ-L2
4	99.95162%	99.98626%	99.99224%	100.00094%	99.98970%
3	99.98739%	99.97819%	100.00882%	99.97949%	99.98991%
2	99.97627%	99.97946%	99.99801%	99.95868%	99.98520%

表 7 最大層間変位の比

階	EiCentro NS	Taft EW	HachinoheNS	JMA-KobeNS	BCJ-L2
3	100.08065%	100.01050%	99.93203%	100.03783%	99.98898%
2	99.99104%	99.98546%	100.01153%	99.98492%	99.99127%
1	99.97627%	99.97946%	99.99801%	99.95868%	99.98520%

### まとめ

本稿にて提案する「不完全減衰マトリクス」を用いたモード別減衰の解法は、従来の完全な減衰マトリクスを用いる解法と比較して、非常によい結果の近似ができた上で、大型モデルでは 20 倍以上の計算の短縮化を実現できることが確認できた。

今後は、式(5)の  $\alpha$  について、合理的に決定する方法を考えていきたい。

### 【参考文献】

- [1] 原子力規格委員会「原子力発電所耐震設計技術規格 JEAC4601-2008」(日本電気協会) 2008 年。
- [2] 梁川ほか「不完全減衰マトリクスを用いたモード別減衰の高速解法の提案」日本建築学会大会学術講演梗概集, 2014 年 9 月。

\*1 構造計画研究所

\*1 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.



## 《新連載》解析プログラムの便利な使い方

構造計画研究所では、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、津波等の自然災害シミュレーション技術について、各種パッケージプログラム（PKG）のご提供も行っております。

この場では、これらのPKGユーザー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していきたいと思っております。第1回目は建築構造解析プログラム『RESP-D』を取り上げたいと思っております。

RESP-D では現在、特徴的な機能の使い方について「RESP-D ならできる 50 のこと」と称して、ホームページに順次情報を公開しています。今回はこのうちの1つの記事を取り上げたいと思っております。

### 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：柱頭免震をモデル化したい】**

RESP-D の得意分野の1つである免震構造。近年では基礎免震以外の免震形式の採用もよく耳にします。中でも特に他のプログラムでは扱いにくく、問い合わせの多い柱頭免震のモデル化についてご紹介します。

○操作のステップ○

- 免震部材を配置する階を、柱頭の免震部と柱部で階を分割します。
- 柱頭部を免震層指定します。  
《階名称変更・免震層指定》を開き、追加した免震層に指定のチェックを入れます。
- 階グループを分割し、免震部とその上階を単一のグループとします。  
グループ内編集が連動するため、下記色分けのようなグループとする。
- 免震部レベルの梁・床および免震部材配置位置の柱を削除します。
- 柱頭側節点を剛床解除します。
- 免震部材を配置します。

※ただし、層間変形角を計算するため、平面内に1節点「剛床解除しない」としておく必要があります。層の最大応答値グラフを描く際の層間変位を取得する位置となるのみです。この位置を採用しても解析モデル自体には影響はありません。

○ポイント○

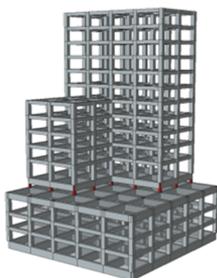
通常の基礎免震であれば、免震階の上下大梁は設計上非常に大きな梁せいとなるのが一般的です。その場合は免震部材上下の節点に大きな回転が生じませんが、柱頭免震の場合には柱頭部に大きな回転が生じる可能性があります。

RESP-D では、免震部材の P-δ 効果を考慮した解析モデルとして剛棒曲げモデル（三山モデル）と呼ばれる手法を研究的に組み込んでいます。このモデルを採用すると、P-δ 効果による影響を時々刻々解析に反映できますので、梁・柱の設計時に改めて設計応力として加算する必要はありません。その代わりに、解析時における免震部材周辺の応力は増加しますのでヒンジ発生などの確認が必要となります。

その他詳細は RESP ホームページ「RESP-D ならできる 50 のこと」をご参照ください。

今回ご紹介したRESP-Dは・・・

許容応力度設計から質点系振動解析、立体振動解析までをシームレスで行う新世代の構造計算プログラムで、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。



建物モデルは常に1つ。設計も解析も、質点系モデルも立体モデルも一元管理。



提案・基本検討から実施設計まで RESP-D だけで解決！！

## 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

北海道新幹線の開業に伴い、青函トンネルを通過する在来線特急が廃止になることから昨年末、陸路で北海道へ行ってきました。

ポイント故障により新青森で1時間ほど足止めを食らいましたが、無事、特急に乗り換えることができ、車窓の景色(ほぼ雪)を眺めていました。途中、中小国信号場を過ぎたあたりで新幹線との共用区間に入り、数ヵ月後には走行する列車が新幹線に置き換わることに思いを馳せたり、木古内から伸びる廃線跡(木古内-江差間、2014年5月12日廃止)を見て時代の移り変わりを感じたり・・・。

新幹線の開業によって本州-北海道の移動時間が短縮されることによる広域経済の活性化が期待される反面、不採算路線の廃止による地域経済への影響も心配されています。開業直後だけではなく、長期にわたって注目していきたいものです。そして、新幹線を造ってよかった、という結論が導かれるといいな、ということを感じた旅でした。

耐震技術部 佐々木義志

この度は、解析雑誌40号を読んでいただきありがとうございます。今回初めて後書きを担当するのですが、記念すべき40号で担当できるとはとても光栄です。

つい先日桜が咲き始め、近くの中野通りもすっかり桜色に変わりました。この風景を見ると、もう1年が経ったんだなと実感します。以前耳にした話ですが、体感時間で換算すると20歳時点が人生の半分に当たるらしいですね。確かにあっという間に1年が経ってしまいました。学生時代にはあまり意識していませんでしたが、体感的にも実情的にも自分の時間が短くなっているため、最近では時間を大切に感じるようになりました。

社会人になってから、色々と挑戦したいことが増えてきたのですが、自分の時間が確保しづらく、少々焦りを感じています。そのため、もっと時間の使い方を工夫して、仕事もプライベートも充実させていきたいと思えます。

また、来年も桜に埋め尽くされた風景を見て、時間の大切さを再確認するんでしょうね。そのとき私がどのように感じるのか、今から楽しみです。

建築構造工学部 佐藤克哉

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

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

(株)構造計画研究所 エンジニアリング営業部

〒164-0011 東京都中野区中央 4-5-3

TEL (03) 5342-1136

(株)構造計画研究所 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 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.40 2016.4*

発行日 平成 28 年 4 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](mailto:kaiseki@kke.co.jp)