

Topics

【イベント開催報告】

- KKE Vision 2013
- 企業防災・事例紹介セミナー2013
- ものづくり NEXT ↑ 2013 / 第18回震災対策技術展

【解析事例紹介】

- 津波シミュレータ TSUNAMI-Kバージョンアップのお知らせ
- 打撃によるコンクリート電柱の健全度診断技術

【ニュースリリース】

- 「超高層ビル用火災時避難シミュレーションシステム」に関する特許を取得

Technical Reports

- 三次元地震波動伝播解析プログラムのGPU化
- ファイバー要素断面の塑性率算定に関する考察
ーその3 RC部材への適用検討
ーその4 RC造建物の荷重増分解析による検証

Journal of Analytical Engineering



構造物の地震時シミュレーション技術の発展

(株)構造計画研究所
建築構造工学部長
梁川 幸盛

社会インフラの維持管理が大きなテーマと言われはじめてから、かなりの年月が経っています。現在では、民間企業の所有する施設（生産施設、倉庫、設備など）にもこの考えが波及し、古いものを改修しながら長く使っていくスタイルに移行しつつあるように思います。特に大型施設（工場・プラント・電力施設・鉄塔など）に関しては、築 50 年近い構造物に対して継続稼働が期待される場面すら珍しくありません。このような状況において、数値解析によるさまざまな評価技術に、もう一段の進歩が求められているように感じます。

大きなきっかけは古い構造物の制震改修、もう一つは事業継続計画 BCP の作成における構造物の耐震性能評価が挙げられると思います。Eディフェンスで頻繁に実施されるようになった実大構造実験も後押ししている気がします。このような場面では「構造物がどのように壊れていくのか、どの程度の損傷がどこに生じるのか、内容物は大丈夫か」という問いかけが主体となります。建物がどのように壊れていくのかという問いに対しては、超高層ビルの設計で行われる立体弾塑性振動解析を実施すれば正確に予測できるのではないかと期待されます。構造設計者ですらそのように考える方が多いのではないのでしょうか。しかし、振動解析に用いるための材料強度や部材の耐力式を決定するには、現在のところ設計基準式以外に整理された方法がありません。設計基準では個々の強度や耐力にさまざまな安全率がかかっており、トータルとしてどの程度の安全率が掛かっているのか把握が困難です。部位毎・破壊モード毎に安全率が異なることも問題です。また、評価が難しい項目については単純に安全側に設定することで十分とってしまう傾向があります。例えば、地盤ばねや地盤逸散減衰、鉄骨部材の材端のみなしピンなど、いたるところで「安全側の評価」が行われています。設計では避けられる破壊モード（せん断破壊や座屈のような脆性的な破壊）に関しても、発生以後の挙動推定の精度が良くありません。このような崩壊形の挙動について、設計の場面で求められないため、研究や経験が不足して計算方法・手段も十分に練られていないためです。

現在、このような問題に対して、より精度の高い推定を可能にするための取り組みが行われています。脆性破壊部材、座屈が生じる部材、および、繰り返し劣化が生じる部材を含む構造物や、P- Δ 効果の影響が大きい構造物の精密なシミュレーション技術に関して、以前よりも研究やプログラム開発が進んできています。進行性崩壊設計といった耳慣れない設計手法についても手法の整備が進んでいます。弊社でも、学会委員会や大学での研究をプログラム開発提供の面で支援しながら、一緒に勉強させていただいております。構造解析ソフトウェア STAN/3D および RESP シリーズの開発担当者である我々も、同じグループとして一緒に問題解決に取り組んでいます。

このような形で得られた成果は、学術論文や学会報告書だけでなく、実際に動くプログラムとしてユーザーの方々に提供していきたいと考えています。構造物の解析技術、シミュレーション技術の発展に貢献し続けたいと願っております。

解析雑誌 Vol.34 2013.12

巻頭言 『構造物の地震時シミュレーション技術の発展』 建築構造工学部 梁川 幸盛 02

Topic 1

- 「KKE Vision 2013 –イノベーションをカタチに–」 開催報告 04

Topic 2

- 企業防災・事例紹介セミナー2013 06
～地震被害を最小限にとどめるために企業がすることはなにか？
関係拠点網まで含めた BCP 対策のススメ～ 開催報告

Topic 3

- ものづくり NEXT ↑2013 出展報告 08
第 18 回震災対策技術展（2014/2/6～7 開催）出展のご案内

Topic 4

- 津波シミュレータ TSUNAMI-K バージョンアップのお知らせ 09

Topic 5

- 打撃によるコンクリート電柱の健全度診断技術 12

Topic 6

- News Release 「超高層ビル用火災時避難シミュレーションシステム
に関する特許を取得」 16

Technical Report 1

- 三次元地震波動伝播解析プログラムの GPU 化 20
正月 俊行、田島 礼子

Technical Report 2

- ファイバー要素断面の塑性率算定に関する考察 その3 RC 部材への適用検討 24
鈴木 壮、會田 裕昌、梁川 幸盛、宇佐美 祐人、木村 まどか

Technical Report 3

- ファイバー要素断面の塑性率算定に関する考察 26
その4 RC 造建物の荷重増分解析による検証
會田 裕昌、鈴木 壮、梁川 幸盛、宇佐美 祐人、木村 まどか

Editor's Note

- From Editors 31

「KKE Vision 2013 –イノベーションをカタチに–」 開催報告

プライベートイベント「KKE Vision 2013 –イノベーションをカタチに–」を10月17日（木）、18日（金）の2日間、ヒルトン東京にて開催いたしました。

本イベントは構造計画研究所の企業理念である「大学、研究機関と実業界をブリッジする総合エンジニアリング企業」の精神のもと、大学、研究機関とビジネスパートナーとの間に立ち、工学知を共有する“場”のご提供を目的として毎年開催してまいりました。

今年も、時流に合わせた様々なテーマに沿って、各分野の専門家の方々にご講演いただきました。基調講演では、スタンフォード大学 ファイナンス教授の星 岳雄氏にご登壇いただきました。

■ 開催概要

- ・ 日時：2013年10月17日（木）～18日（金）
- ・ 会場：ヒルトン東京
- ・ 主催：株式会社構造計画研究所



■ プログラム

10/17(木) :

【インフラ維持管理の高度化】	
● 維持管理情報基盤としてのCIMのあり方と今後の課題	大阪大学大学院 教授 矢吹 信喜 氏
● 道路点検の課題とICTを活用した点検技術	株式会社ネクスコ東日本エンジニアリング 藤原 博 氏
● ICTを活用した鉄道メンテナンス業務の革新	東日本旅客鉄道株式会社 瀧川 光伸 氏
● 社会資本のエイジングに対応するセンサとロボット技術	東京大学大学院 教授 下山 勲 氏
【Design&Engineeringの伝統と多彩】	
● 構造解析の今昔～構造設計者の立場から～	東京理科大学 名誉教授 寺本 隆幸 氏
● 日本の洋上風力発電の最新情報と今後の展望	東京大学大学院 教授 石原 孟 氏
● 木質構造のこれまでとこれから	京大大学生存圏研究所 教授 五十田 博 氏

他セッションテーマ：未来の情報インフラデザイン／新たなるエネルギーマネジメントの展開／ものづくりを支援するIT／ものづくりを発展させる新技術

10/18(金) :

【基調講演】	
アベノミクスは日本経済を救えるか？	スタンフォード大学 ファイナンス教授 星 岳雄 氏
【これからの危機管理と防災まちづくり】	
● 東日本大震災～岩手県の対応と教訓～	岩手大学地域防災研究センター 教授 越野 修三 氏
● 震災による経済損失予測と復興シミュレーション	立命館大学歴史都市防災研究所 副所長 谷口 仁士 氏
● 時代の潮流と今後の防災まちづくりのあり方	東京大学生産技術研究所 准教授 加藤 孝明 氏
● 想定外への挑戦、リスク新時代の危機管理と価値選択、戦略としてのレジリエンス～金融力で災害レジリエンスの高い日本社会をデザインします～	株式会社日本政策投資銀行 蛭間 芳樹 氏

他セッションテーマ：社会・企業・イノベーション

KKE Vision 2013 公式WEBサイト → <<http://kkevision.kke.co.jp/kv2013/>>

自然災害 + KKE



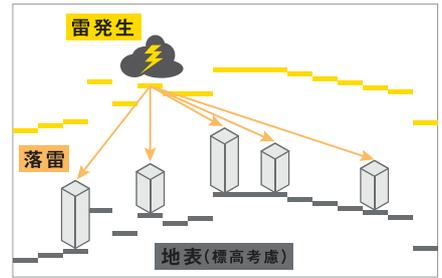
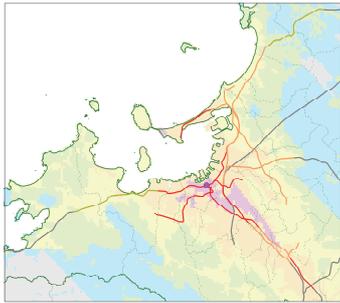
災害リスクマネジメントソリューション

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

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。

過去の落雷状況を分析し、モンテカルロシミュレーションにより対象施設の直撃雷・誘導雷・瞬時電圧低下の可能性を検討します。



より強固な

防災対策・事業継続計画 (BCP) への発展をサポートします。

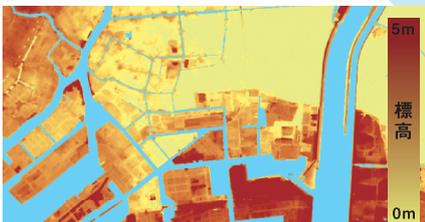
地震

落雷

浸水

台風

想定シナリオ名	地震規模	今後30年の発生確率	再現期間(年)	分析結果				
				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
				水道	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
				水道	20-35	25-35	25-35	25-40
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				
				水道			1-5	0.5-1
				交通			1-2	0-0.5
台風シナリオ99パーセント	---	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				
				水道	0.5-1.0	0-0.5	0-0.5	0-0.5
				交通				
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				
				水道	0.5-1.0	0-0.5	0-0.5	0-0.5
				交通				

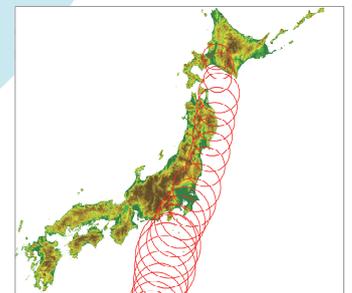


周辺地盤の標高との比較例

河川・内水氾濫・高潮・津波によるリスクを分析します。

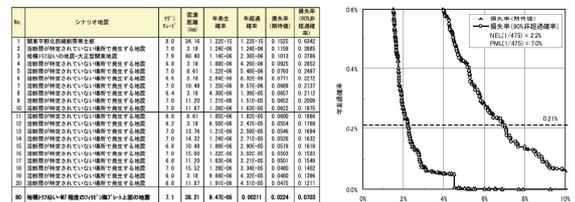
過去の台風経路の表示例

過去の台風記録を分析。施設の台風被害の可能性のほか、交通等ライフラインについても、情報をご提供します。



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。

企業防災・事例紹介セミナー2013

～地震被害を最小限にとどめるために企業ができることはなにか？

関係拠点網まで含めたBCP対策のススメ～ 開催報告

近年、企業活動に大きな影響を与える地震が繰り返し発生しています。自社の施設だけでなく物流網も大きな被害を受け、長期間活動が停滞してしまった企業が数多く発生していたのは記憶に新しいことでしょう。今後も大きな地震の発生が予測される中、事業継続リスクとして巨大な地震への対応が今問われています。

本セミナーでは、従業員の生命を守るのはもちろん、致命的な事業の中断を回避し、災害に強い現場にするためのソリューションをご紹介します。

■開催概要

- ・2013年11月6日（水）：構造計画研究所（東京）
- ・2013年11月14日（木）：ウィンクあいち（名古屋）
- ・2013年11月15日（金）：コンファレンスプラザ大阪御堂筋（大阪）

■主催：株式会社構造計画研究所

■共催：株式会社ゼンリンデータコム

■講演プログラム

●セッション1 自社施設の地震被害を最小限に食い止めるために

限られた予算の中で自社施設の地震被害対策を行うためには、対策の優先順位付けが欠かせません。どの施設から地震災害対策を講じていくのが適切か、どの程度まで対策を行えば従業員の安全が確保できるのか、致命的な事業の中断を回避するには何から手をつけるべきなのか。自社施設の地震対策として、「何をどのように考えていくべきか」についてご説明しました。

Keyword:耐震対策優先度評価、施設の地震時脆弱性分析、天井落下リスク診断

●セッション2 位置情報ビッグデータ、“人の流れ”を防災に活かす

インターネットサービスを通じて蓄積された位置情報を計画策定や調査に活用する動きが出てきています。ゼンリンデータコムでは、地図や経路検索に関連するアプリを提供する中で、許諾を得て蓄積した位置情報を統計処理。“人の流れ”データを作成し、都市や地域の中での人の動きや量を定数的に把握することで、企業の様々な計画策定や意思決定を支援しております。これまで存在しなかった“人の流れ”が見えるデータサービス「混雑統計®」を企業防災でどのように活かすか。その利用可能性についてご紹介しました。

●セッション3 サプライチェーンの早期復旧のために

サプライヤの被災は企業リスクに直結します。1次、2次、3次と階層的につながるサプライヤのどこかが被災した場合、その影響はサプライチェーン全体に広がります。このような複雑な問題には、事前と事後の両方の対策が必要になります。ここでは、大規模災害に備えた事前／事後に活用できるサプライヤ診断システムのあり方をご紹介します。

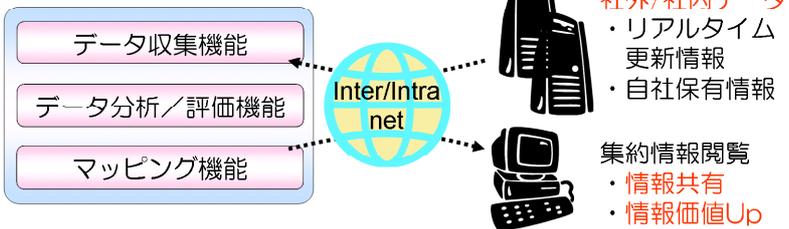
Keyword:地震時サプライヤの被災状況の想定、部品調達ルート検討、支援計画策定

防災情報システム

■ システム概要

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

【システム(サーバ)】



【地震選択画面(クライアント)】

地震選択一覧

2011年 7月 最新の情報に更新 閉じる

発生日時	状態	マグニチュード	震源深さ	観測点数	計算	表示
2011-07-11 09:09:00.0	未計算	4.4	10.0	J4	計算	表示
2011-07-10 09:57:00.0	計算済	7.1	10.0	426	計算	表示
2011-07-09 22:41:00.0	未計算	4.1	50.0	22	計算	
2011-07-08 22:10:00.0	未計算	4.8	40.0	45	計算	
2011-07-08 11:43:00.0	未計算	4.0	50.0	31	計算	
2011-07-08 03:35:00.0	未計算	5.6	50.0	230	計算	
2011-07-07 00:15:00.0	未計算	5.8	0.0	122	計算	
2011-07-05 19:34:00.0	未計算	4.4	10.0	56	計算	
2011-07-05 19:18:00.0	計算済	5.4	10.0	181	計算	表示
2011-07-04 20:00:00.0	未計算	4.3	20.0	53	計算	
2011-07-04 11:07:00.0	未計算	4.1	50.0	33	計算	
2011-07-03 18:19:00.0	未計算	3.9	30.0	10	計算	
2011-07-03 02:11:00.0	未計算	3.8	10.0	25	計算	
2011-07-02 07:28:00.0	未計算	4.0	10.0	10	計算	

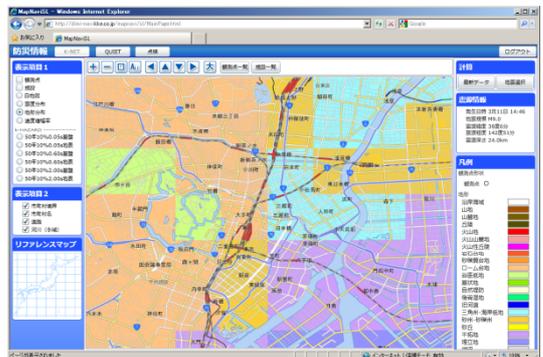
【処理確認画面(サーバ)】



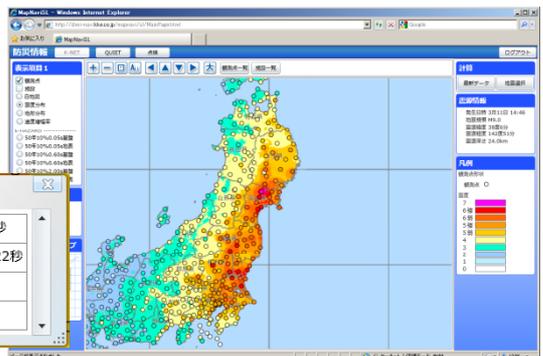
■ 機能概要(基本機能)

- データ収集機能
 - ・地震を指定することで、多観測点の観測情報(記録)を自動的に収集します。
- データ分析/評価機能
 - ・観測情報から地震動強さを算定し、表層地盤の増幅率で除することにより基盤の地震動強さを算定します。
 - ・基盤における地震動強さの分布を空間補間により推定します。
 - ・基盤における地震動強さに表層地盤の増幅率を乗じて地表における地震動強さ分布を算定します。
- マッピング機能
 - ・GISを利用して、観測点、分布図を描画します。
分布図(地形分類、表層地盤増幅率、推定震度)
観測点(観測点名、位置情報、観測点における震度)
 - ・評価結果はブラウザにて閲覧することができます。

【地形分布確認画面(クライアント)】



【震度分布確認画面(クライアント)】



■ 動作環境

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

ものづくりNEXT ↑ 2013 出展報告

第18回震災対策技術展（2014/2/6～7 開催） 出展のご案内

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。

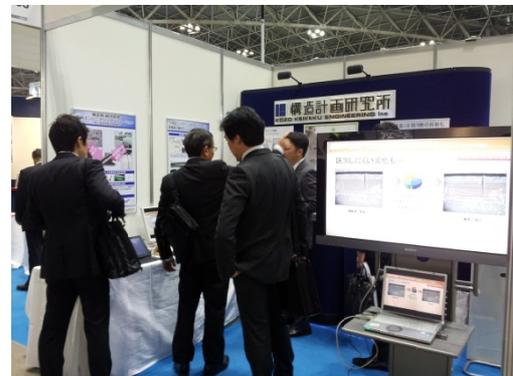
■出展のご報告

ものづくりNEXT ↑ 2013 インフラ検査・維持管理展

会 期	2013年10月30日(水)～11月1日(金)
会 場	東京ビッグサイト (東京国際展示場)
主 催	公益社団法人日本プラントメンテナンス協会、社団法人日本能率協会
セミナー	ICTを活用したインフラ維持管理の高度化 エンジニアリング営業部 スtockマネージメント室 佐藤 壮

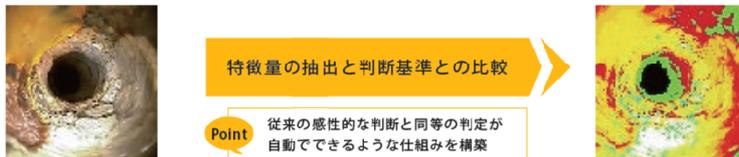
○出展内容

- 振動分析による異常検知
 - タービンの故障前兆発見
- 画像認識による状況判断
 - 鋼管内の劣化進展度評価
 - クラック形状から内部損傷度推定
- 力学モデルによる解析
 - CP柱弾性衝撃波計測による損傷有無の検知
 - 光ファイバーセンサーによるモニタリング
 - 重車両による橋梁モニタリング

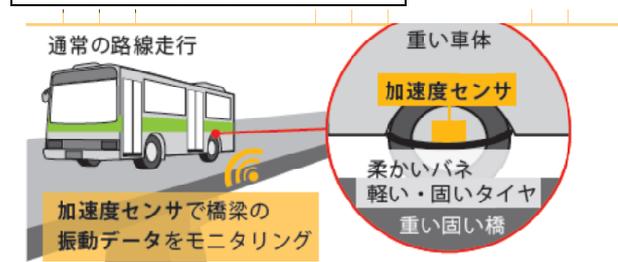


展示ブース風景

鋼管内の劣化進展度評価



重車両による橋梁モニタリング



光ファイバーセンサーによるモニタリング



■出展のご案内

第18回 震災対策技術展—自然災害対策技術展—

会 期	2014年2月6日(木)～7日(金)
会 場	パシフィコ横浜 / Bホール 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	粒子法を用いた災害評価事例のご紹介 防災・環境部 地圏環境室 戸井 隆

※招待状をご希望の方は、本誌裏面の「お問い合わせ先」までご連絡ください。

津波シミュレータTSUNAMI-Kバージョンアップのお知らせ

構造計画研究所は、津波シミュレータTSUNAMI-K ver2.0をリリースしました。TSUNAMI-K ver2.0では、順次断層破壊等を考慮したさらに高度な津波シミュレーションを行うことができます。

■はじめに

弊社の津波シミュレータTSUNAMI-Kは、建物の作成、津波波源の設定、津波・遡上計算、結果の表示を1つのプログラムで、特別な専門知識がなくとも簡単にご利用頂けるプログラムです。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ち、販売開始以降、建築・土木分野のお客様を中心に、多種多様な分野のお客様にご利用頂いております。

このたび、世の中の動向やお客様のご要望等を反映し、TSUNAMI-K ver2.0としてリリースする運びとなりました。本ニュースリリースではTSUNAMI-K ver2.0を用いた計算事例、およびバージョンアップ内容をご紹介します。

■バージョンアップ内容

● 断層の破壊時間設定機能の追加

断層の破壊時間を、断層毎に設定できる機能を追加しました。これにより中央防災会議等でも実施されている順次断層破壊を考慮した計算が可能になりました。

● 堤防の入力・計算機能の追加

画面上で任意地点に堤防を追加し、考慮できるよう対応しました。

● 計算範囲の拡大

地形データがJTOPO30（日本近海30秒グリッド水深データ）に対応し、沖縄・小笠原諸島などさらに広範囲な領域に渡って計算を行うことができるようになりました。

● UTM座標系への対応

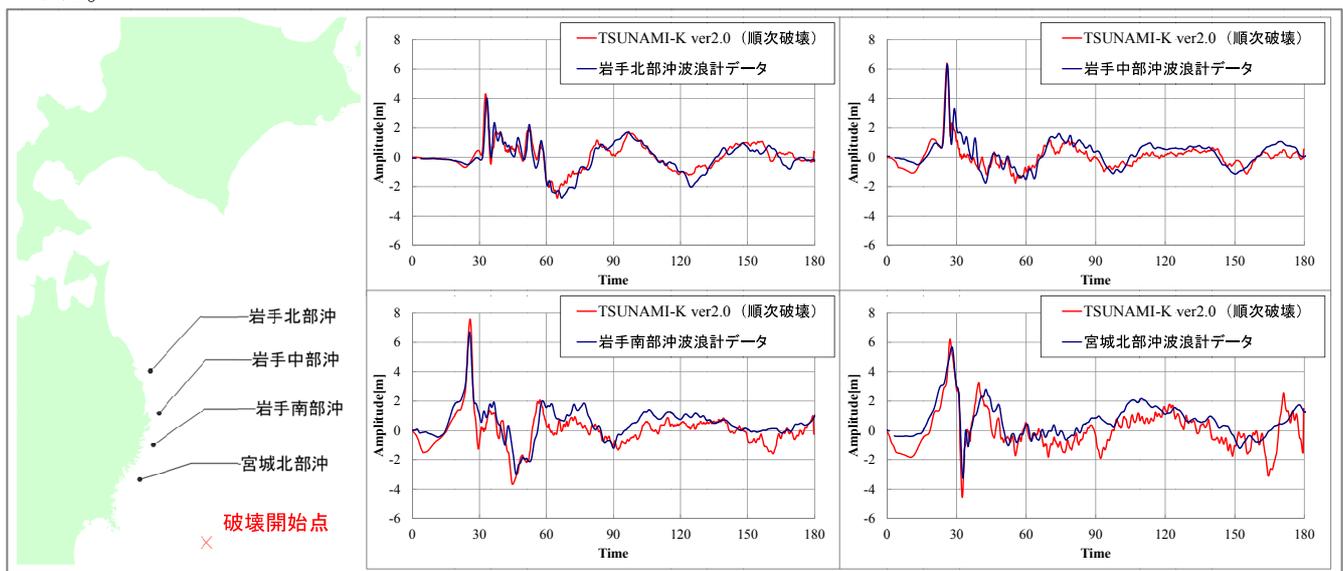
UTM座標系に対応した地形データの作成が可能になりました。任意のUTM座標系ゾーン番号を指定でき、GIS等での結果の描画が容易になりました。

● 計算領域数の拡大

従来、計算領域数は5領域が上限でしたが、7領域まで計算できるよう対応しました。

■計算事例 - 順次断層破壊を考慮した東北地方太平洋沖地震津波の再現解析

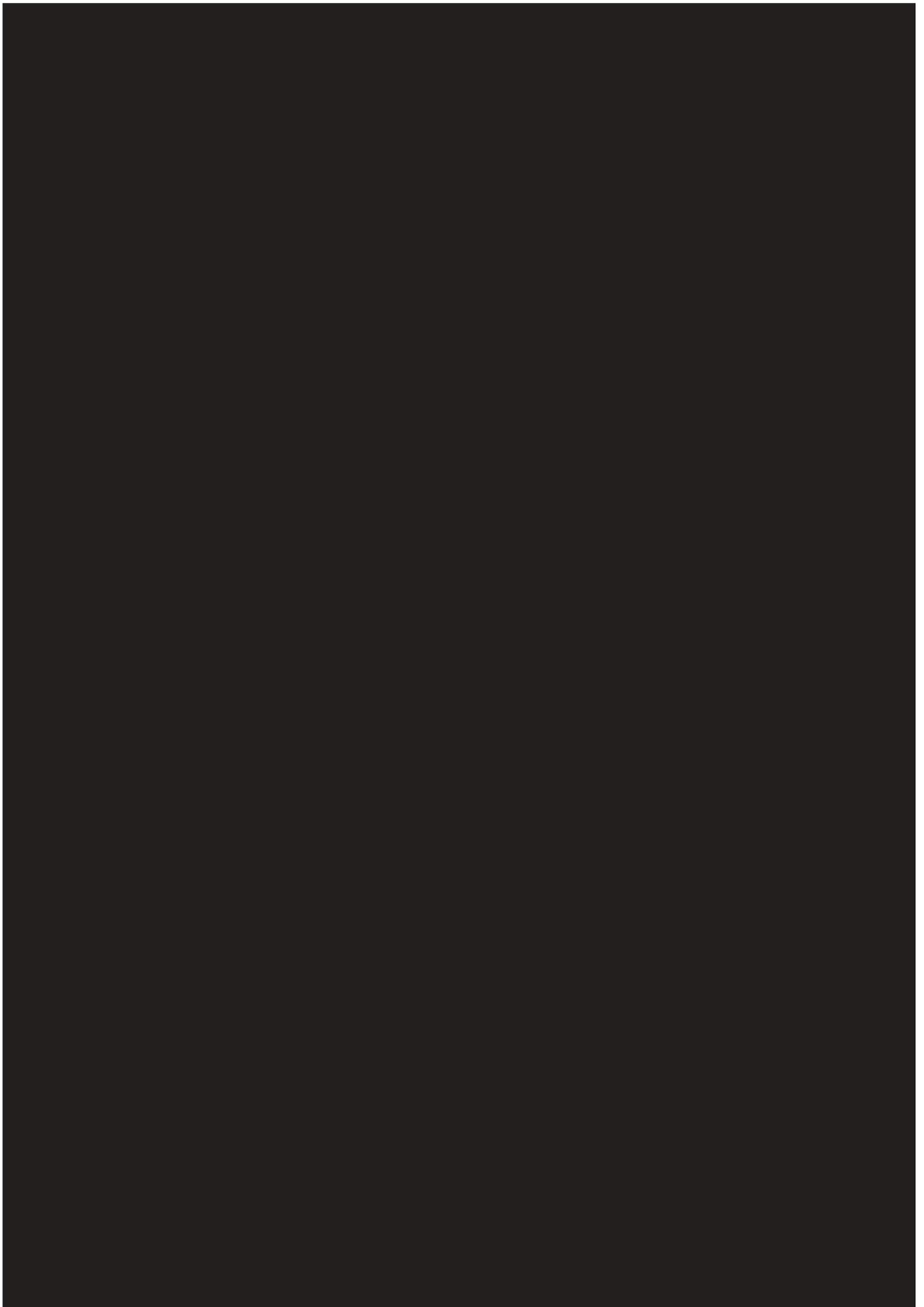
TSUNAMI-K ver2.0に新たに導入された断層の破壊時間設定機能を利用して、東北地方太平洋沖地震津波の再現解析を行いました。従来、東北地方太平洋沖地震のような巨大地震の再現解析は困難であるとされていましたが、本機能を用いて順次断層破壊を考慮することで、精度の良い津波解析が可能となりました。



TSUNAMI-K ver2.0 の計算結果（赤）と GPS 波浪計による波高実測値（青）との比較

※本稿で用いた東北地方太平洋沖地震における断層モデルは、原子力安全基盤機構により推定、公表されたものです。また、本稿で用いた東北地方太平洋沖地震におけるGPS波浪計データは、国土交通省港湾局によって観測され、港湾空港技術研究所で処理されたものです。





打撃によるコンクリート電柱の健全度診断技術

(株)構造計画研究所
耐震技術部 八木 康仁

わが国には、約 3,000 万本を超える電柱が存在するといわれている。これらの膨大な数の電柱に対し、目視以外の方法でセンサー等を使って電柱個々の構造的な特性を定量的に把握する場合、多大なコストと高度な技術が必要となる。今回は、それらを効率良くかつスキルレスで計測して健全度診断を行う新たな技術を紹介する。

1. 健全度診断技術開発の背景

電柱（コンクリート柱：以下 CP と記す）の点検は現在、主に目視にて行われている。目視による点検結果から CP 個々の構造的な特性を定量的に把握することは、点検結果のばらつきの影響など難しい課題がある。

CP の状態を定量的に把握する手法はいくつか存在する。たとえば磁気センサーによって CP 上端付近の内部の鉄筋破断状況を検査する手法があるが、その場合には高所作業が必要になる等、計測に相応のコストと高い技術を要することになる。

そこで、NTT アクセスサービスシステム研究所殿と弊社は共同で、地上で CP 側面を打撃し、その振動データを分析することで、効率的かつスキルレスに CP 地上部全体の健全度を診断する技術を新たに開発した。

2. 健全度診断手法の概要

CP をはじめとする柱状構造物は、打撃による振動の情報から、それぞれの剛性に応じた固有振動数を抽出することができる。このとき、ひび割れや材料劣化等の要因により CP の剛性が低下すると、固有振動数が低振動数側にシフトする。（図 1）。

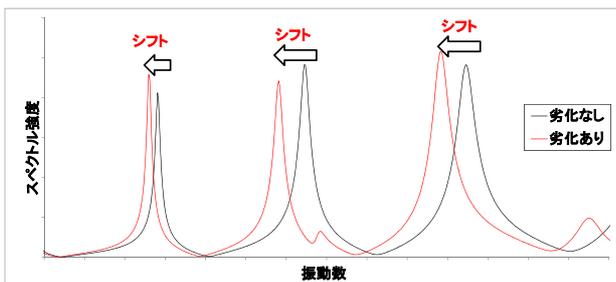


図 1 剛性の低下による固有振動数のシフト

しかし、実際に使用される CP は、同一規格のものであっても、製造過程における材料・厚みや施工時の根入れの深さのばらつき等の原因により、健全状態であっても CP 個々に固有振動数が違う。そのため、健全状態の固有振動数を一意的に求めることは難しく、一定の固有振動数を基準とした健全度診断は困難である。

そこで、CP 周面法線方向別の「剛性の差」に着目する。つまり、健全な CP では CP 周面法線方向別の「剛性の差」は小さく、その固有振動数の差異は小さい。一方で、ある方向の剛性が低下すればその方向の固有振動数は低振動数側にシフトし、方向ごとの固有振動数差を取ると、その差違が大きくなる。そういった性質を利用し健全度診断を行う。（図 2）。

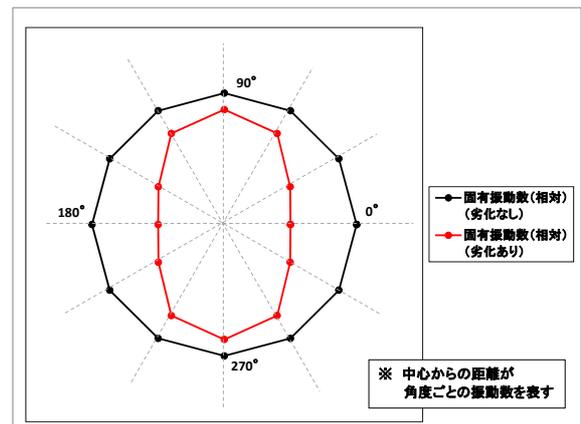


図 2 劣化の有無による固有振動数の角度ごとの差異

本診断方法における診断の流れを以下に示す。

- 1) 方向の基準となる位置を決定し、その箇所にハンマー等による打撃を加え、打撃によって生じた方向別の加速度振動データから固有振動数を取得する。

- 2) 1)にて打撃を行った方向を 0° とし、そこから 30° 刻みで 150° まで合計 6 箇所について打撃を加え、固有振動数を取得する (図 3)。

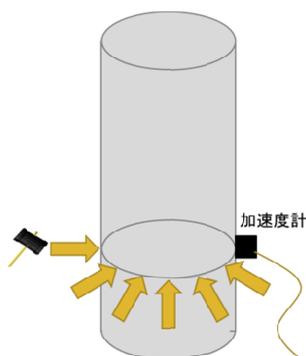


図 3 CP の計測方法

- 3) 2)にて取得した各方向の固有振動数について、最大値と最小値の差異を求め、その差異が一定の閾値を超えた場合に重篤な劣化が生じている可能性があるとして診断する。

3. 技術的着目点

本技術においては、CP の固有振動数の方向ごとの差異を健全度診断に用いているが、実際の CP においては、図 4 に示すような設備の影響で様々な振動数のノイズが発生する。これらの影響により FFT を用いた方法では CP の固有振動数の抽出は困難となっている。



図 4 実際の CP に存在する設備(例)

一方で、実験と解析シミュレーションの検討結果から、設備等に起因するノイズが発生するのは、打撃を行ってからある程度の時間が経過した後であることが確かめられた。すなわち、ノイズが発生する時間帯を見極め、その時間帯を避けて、CP そのものの振動が優位に発現する時間帯における固有振動数を抽出することができれば、固有振動数の差異を CP の健全度診断に利用できるようになると思われる。

そこで、CP の振動が優位に発現する時間帯における固有振動数を抽出する手法として、ウェーブレット変換を使用した。ウェーブレット変換とは、時刻 t の近傍を除いて値が 0 となる「マザーウェーブレット」とよばれる関数 $\varphi(t)$ を用いて、信号 $f(t)$ を以下の通りに変換する手法である。

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

ウェーブレット変換を用いることにより、特定の振動数および時刻における振動の強度を得ることができる。設備に起因するノイズの影響が小さく、かつ、CP そのものによる振動が優位な時間帯が特定できれば、ウェーブレット変換を用いて、その時間帯における CP の卓越振動数を得ることができ、CP の健全度診断の精度を向上させることができる。

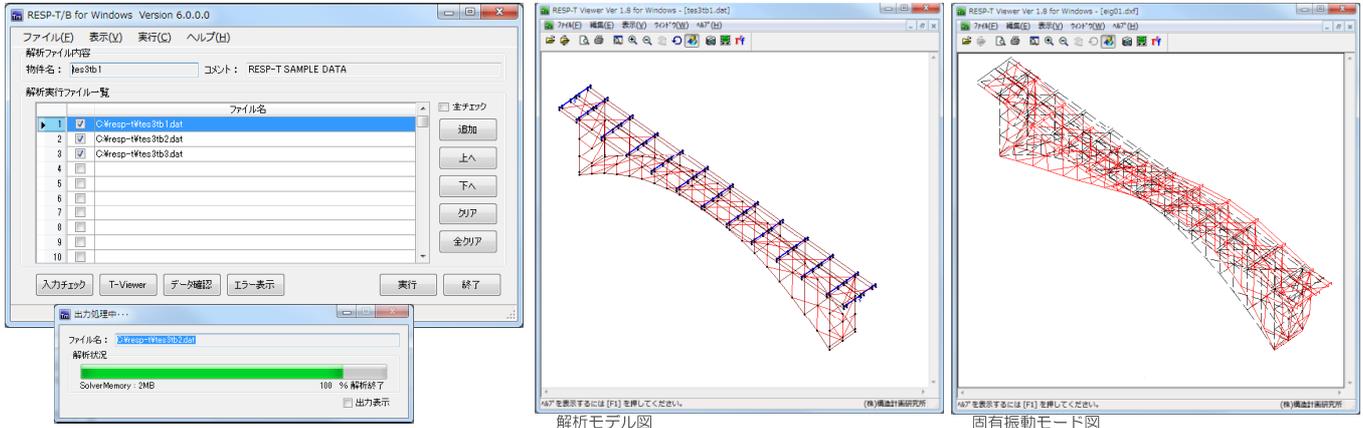
4. 今後の課題

以上、CP の構造特性を効率良くかつスキルレスで計測して健全度診断を行う新たな技術を紹介した。今後の検討課題として、本技術の適用できる範囲を拡大していくことが挙げられる。

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 硬化剛型を始め、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

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

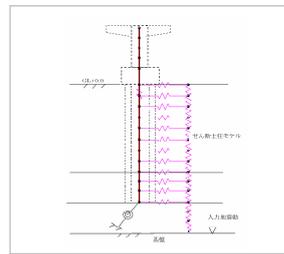
特殊復元力特性

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

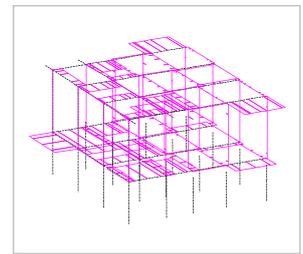
復元力特性(減衰)

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(オイレ工業)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。



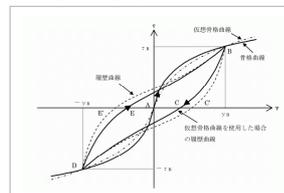
上部構造—基礎一体モデル
(動的相互作用考慮)



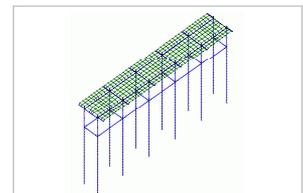
不整形ラーメン高架橋解析モデル
(ねじりモーメント図)

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

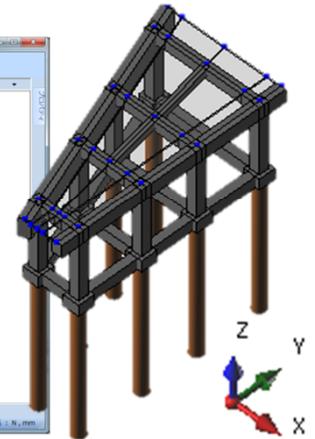
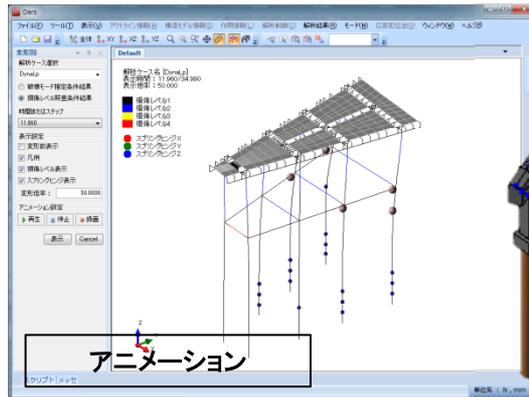
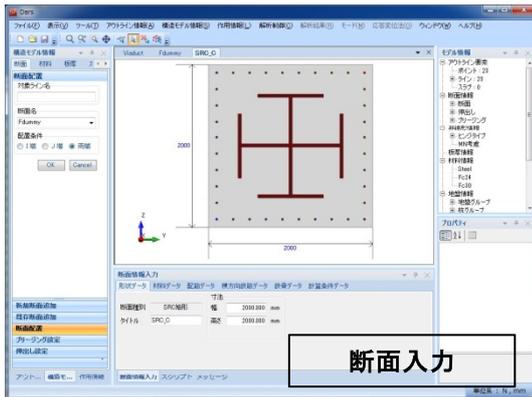
<http://www.kke.co.jp/respt/>

DARS

Version 1.2
鉄道構造物等の3次元耐震性能照査プログラム

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

平成24年鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計に平成25年12月頃対応予定



特徴

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

対象構造形式

- ◆ ラーメン高架橋
- ◆ ラーメン橋脚
- ◆ 連続桁橋
- ◆ 杭基礎(場所打ち杭・直接入力)
- ◆ SRIばね(直接入力)
- ◆ 支承ばね(直接入力)



対象部材

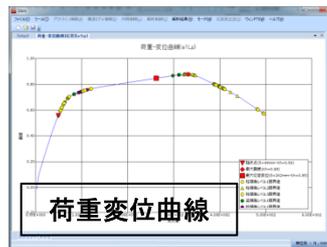
- ◆ RC(矩形・円形・T型)
- ◆ 鋼部材(矩形・円形)
- ◆ SRC(矩形・T型)
- ◆ CFT(円形)

計算機能

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

動作環境

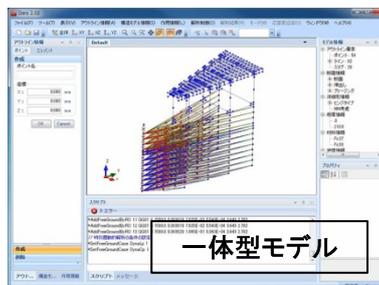
- ◆ Windows XP / Vista / 7 / 8
- 解析コンサルティングも行っております。



照査結果総括表

H24年鉄道構造物等設計標準・同解説 対応予定

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



* 追加内容は変更になる可能性もあります。

<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。

「超高層ビル用火災時避難シミュレーションシステム」に関する特許を取得 ～ エレベーター避難も視野に入れた避難計画検証も可能 ～

株式会社構造計画研究所（本社：東京都中野区、代表取締役社長 CEO：服部正太）が森ビル株式会社と2008年に共同開発した「超高層ビル用火災時避難シミュレーションシステム」が、この度、特許権を取得しました。本システムは、火災発生時の避難完了時間や避難者密度等、多方面から避難安全性を評価することが可能で、より現実に即した避難計画立案に有効なシステムです。この度、東京消防庁が指針を発表した火災時の避難誘導用エレベーターの活用を想定した避難計画の検証にも対応しています。

■特許の概要

- 【発明名称】 避難シミュレーションシステム、避難シミュレーション方法、避難シミュレーションプログラム、及び記録媒体
【特許取得日】 平成 25 年 9 月 27 日

＜システムの特長および有効性＞

- 設計段階で避難時に問題となる箇所を特定することで、安全性の高いビル作りの実現
- 個人特性(例:障害者、高齢者などの避難弱者)を考慮した避難計画の作成が可能、エレベーターを活用した避難検証も可能
- 評価結果要因を特定し、迅速かつ安全性の高い有用な避難計画の作成が可能
- シミュレーション画面を活用することで在館者への避難計画(避難誘導方法や避難時ルール)の周知および教育が可能

■関心が高まる、エレベーターを利用した避難計画の検証にも有効

本年10月1日より、東京消防庁管内の高層ビルや高層マンションで火災が発生した際、高齢者や障害者等の歩行困難者に限り、一定条件のもとで非常用エレベーターによる避難が可能となりました。

構造計画研究所では、2007年より、当時はまだ認められていなかったエレベーター利用も視野に入れ、森ビル株式会社と本システムの共同研究を開始（注1）、システム完成後（2008年）は、混雑や混乱を回避する有効な避難誘導の検証、避難計画の再検討を進めるとともに、エレベーター避難の有用性についても検証をまいりました。

森ビル株式会社が管理運営する中国・上海の超高層ビル「上海環球金融中心」（地上101階、高さ492m、構造計画研究所は構造設計業務にて寄与）では、歩行避難の補助手段として、一定条件のなかでエレベーターを利用した避難計画をすでに導入しています。

構造計画研究所は、地震や津波、河川氾濫など災害時の避難方法をシミュレーションにより検証する研究と実績を蓄積してまいりました。今後も本システムを用いて、人の行動特性を考慮したより有効な避難計画の立案を行い、建物に住み、利用するひとりひとりの「人」に配慮したソリューションの提供を通して、これまで以上に安全な社会の維持に貢献してまいります。

■「超高層ビル用火災時避難シミュレーションシステム」概要

従来の避難安全性の評価法は、利用者情報、建物の規模・間取り情報等を略算式に入力して避難完了時間を求めるという手法でしたが、本システムでは、避難者の一人一人の行動特性を緻密にモデル化し、避難中の各個人がその場の状況に応じて意思決定し行動する状態を逐次再現することで、より現実に即したシミュレーションが可能です。

※本システムは、構造計画研究所が開発した汎用マルチエージェント・シミュレータ「artisoc（アーティソック）」（注2）上に、避難シミュレーションモデルを組み込んで開発されました。

従来の避難安全性の評価法

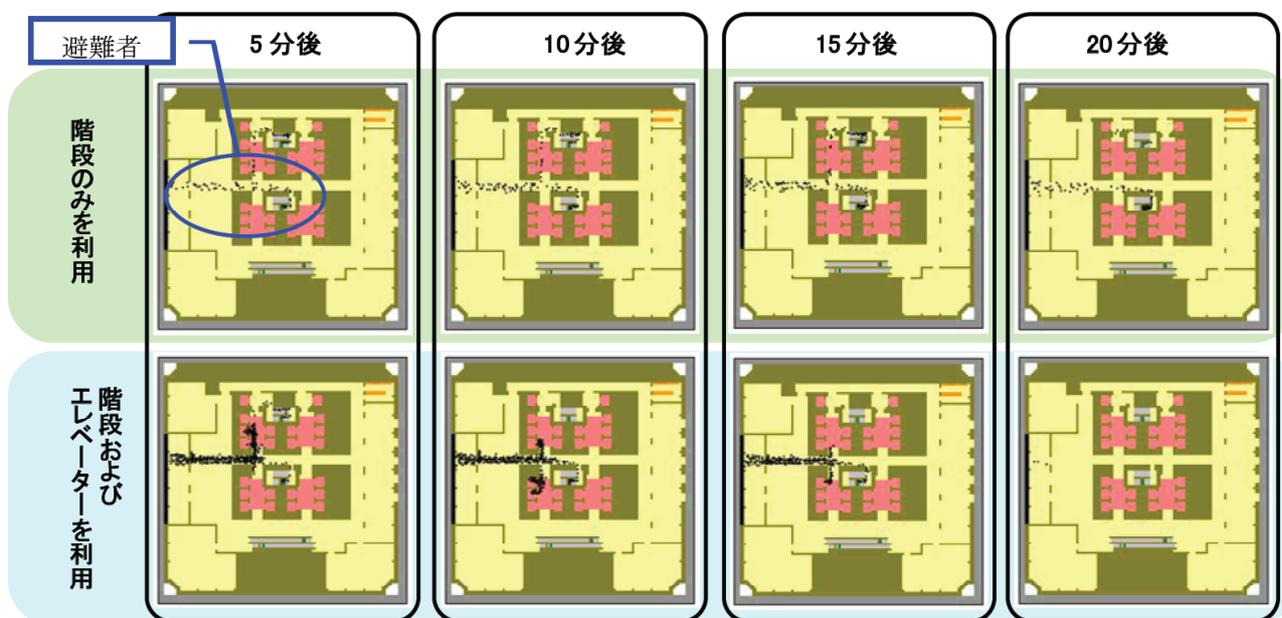
利用者情報（在館者密度）、建物情報（室・廊下等の大きさ、出口の幅等）を入力することにより、避難完了時間を簡易的に算出



超高層ビル用火災時避難シミュレーションシステムによる評価法

- ① 避難者ひとりごとをモデル化し、特性（歩行速度等）の違いを設定
- ② 実際の建物形状を入力
をすることにより、任意の時点における避難状況および局所的な混雑の集中等の視覚的な確認と、その要因の特定や、火災発生告知のタイミング、避難誘導の有無など様々なシナリオを想定した検証が可能

<シミュレーションサンプル画面> ※避難開始後の建物出口付近の様子を検証



- ・ フloorごとの避難状況を確認できる
- ・ 避難方法（利用可能な階段、エレベーター）を予め入力することで、様々な避難計画の検証が可能

(注1) 関連ニュースリリース：2008年7月29日

「超高層ビル用火災時避難シミュレーションシステム」発表

http://www.kke.co.jp/news/pdf/2008/NewsRelease_moribuilding.pdf

(注2) マルチエージェント・シミュレータ「artisoc」について

artisocは、2003年度より5年計画で実施した科学研究費補助金学術創成プロジェクト「マルチエージェント・シミュレータによる社会秩序変動の研究」の一環として開発されたものです。著作権は、構造計画研究所と青山学院大学国際政治経済学部・山影進教授の双方に帰属します。

詳細はこちらからご覧いただけます：

<http://mas.kke.co.jp/modules/tinyd0/index.php?id=9>

液状化問題に対するソリューション

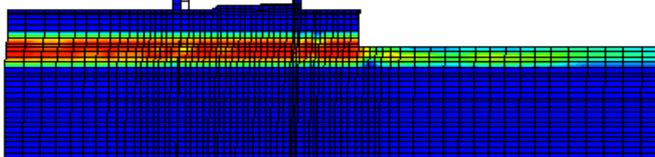
護岸および河川堤防などは、防災上重要な土木構造物です。これらは大地震時に背後地盤の変形や液状化により地盤が大きく変状することが予想され、防災対策として現状の変形、沈下を把握すること、および対策工による効果を検討することが重要です。

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

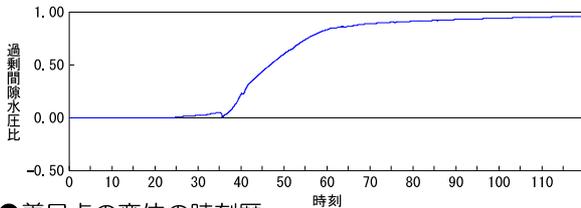
弊社では、自社開発の有効応力非線形解析プログラムの他に、各種解析プログラムを使用した解析にとりくんできております。予測された地震動強さと地盤種別から簡便的に評価する方法から有効応力解析に基づく方法まで、検討内容に応じた解析手法、解析ツールを選択し対応いたします。

■海岸付近の地盤における液状化検討事例

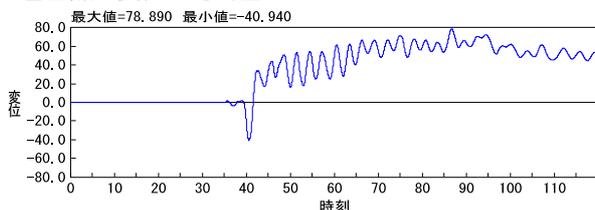
●過剰間隙水圧比コンタ図



●過剰間隙水圧比の時刻歴

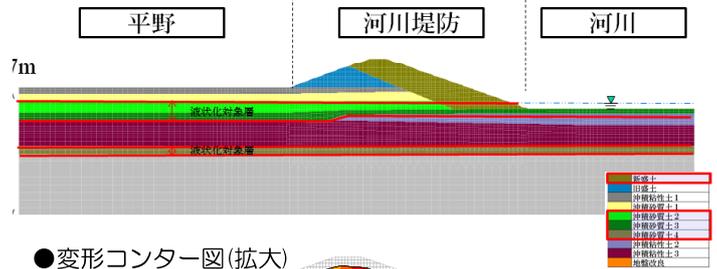


●着目点の変位の時刻歴

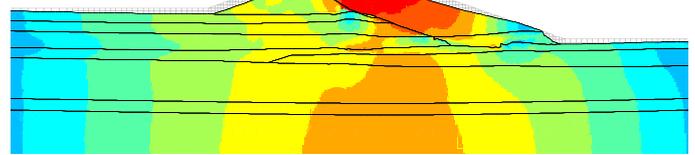


■FEMにより河川堤防の液状化による挙動をシミュレーション

●解析モデル図(全体)

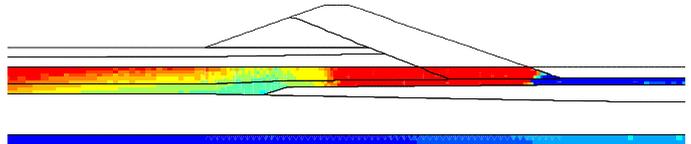


●変形コンター図(拡大)



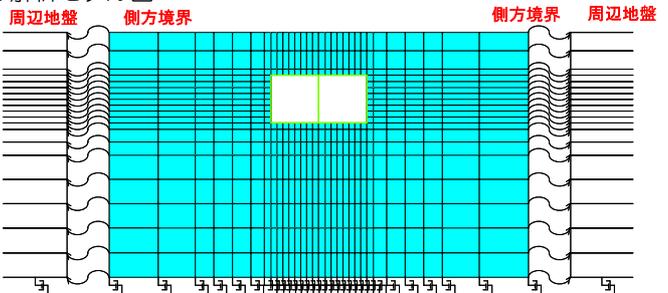
●過剰間隙水圧比コンター図

(拡大：赤色は液状化している状態)

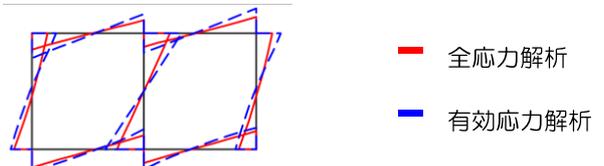


■有効応力解析と全応力解析により地中構造物の耐震性を比較検討

●解析モデル図



●モーメント図



実績 (2007年以降で異なる内容の6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

NANSS I	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)
FLIP	2、3次元有効応力非線形解析プログラム
L IQCA	2次元有効応力非線形解析プログラム
ALID	2次元FEM液状化流動解析システム
L i QSMART	1次元簡易有効応力解析プログラム

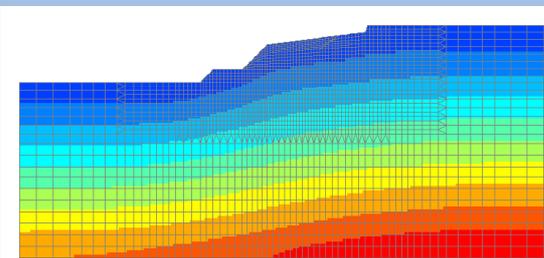
降雨時の地盤安定性問題に対するソリューション

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。

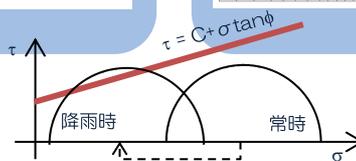
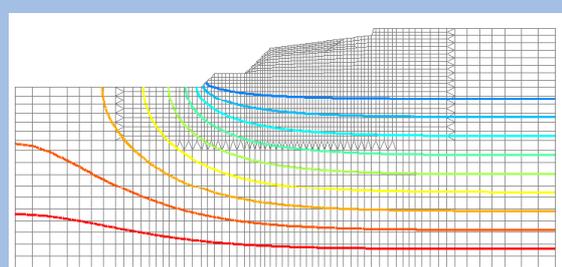
弊社では非定常浸透流解析プログラムをはじめ、すべり安全率・すべり変形量の算出プログラムなど様々な自社開発を積極的に行っております。これにより、浸透流解析結果から降雨時に時々刻々と変化する水圧や水位を把握し、有効応力を用いて想定すべり面の危険度を判定するなど、総合的な検討が実施可能です。

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。

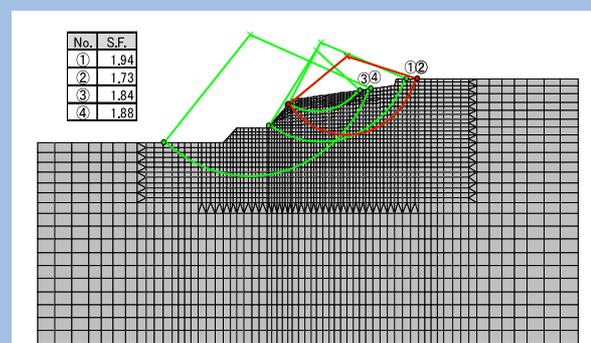
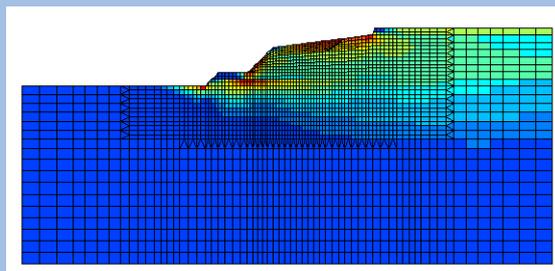
● 平時の応力状態（常時応力解析結果）



● 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）

降雨による地下水位面の変動予測（某コンサル）

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

使用ソフト

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

三次元地震波動伝播解析プログラムの GPU 化

正月 俊行, 田島 礼子

株式会社構造計画研究所 防災ソリューション部

1. はじめに

平成 23 年度の TSUBAME2.0 の産業利用トライアルユースにて、波動伝播解析プログラムを GPU 化して TSUBAME2.0 に移植し、大規模な計算を実用的な時間で実施できる環境を構築したので、その結果について報告する。また、TSUBAME2.5 上でのプログラムのベンチマークの結果についても言及する。

2. 波動伝播解析プログラムの GPU 化

2.1. プログラムの概要

本稿で GPU 化したプログラムは、3 次元の有限差分法 (FDM: Finite-Difference Method) を用いて、細かな格子 (スタガード格子) に離散化した計算領域に対して、地震波の伝播を理論的に計算する。空間差分精度は 4 次精度で、時間差分精度は 2 次精度である。図 1 のような処理フローで、格子点の速度と応力を交互に更新しながら、計算ステップを進めていく。大規模な計算を行う場合は、図 2 のように 3 次元の計算領域を X・Y・Z 方向に分割して、各副領域の計算を MPI の 1 プロセスが担当するようにしている。また、MPI の 1 プロセスは GPU 1 基と対応している。なお、プログラムは Fortran で記述しており、GPU 化にあたっては、Fortran から CUDA を用いることが出来る PGI コンパイラを用いた。



図 1 処理フロー

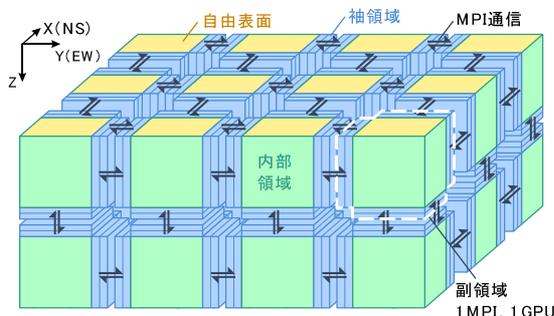


図 2 MPI による計算領域の分割

2.2. プログラムの GPU 化

プログラムの GPU 化は、竹中(2011)^[1]を参考に行った。地震波の波動伝播解析は計算に必要な 1 単位セルあたりの変数の数が多いため、全計算時間の内、変数

へのメモリアクセスに費やされる時間が占める割合が非常に大きい。そのため、GPU のグローバルメモリのバンド幅の大きさ (M2050:148GB/s, K20X:250GB/s) を最大限活かせるように、最初に全格子のデータをグローバルメモリに転送しておき、その後のほぼ全ての処理を GPU 内で実行するようにした。

本プログラムでは、計算時間の 8~9 割を占める差分計算を GPU 化するにあたり、図 3 に示すような方針で実装を行っている。各 GPU が担当する副領域を差分方向に垂直な面でスライスし、複数のストリームを用いて同時に処理するようにした。また、必要に応じて、高速なレジスタと共有メモリをキャッシュメモリとして利用している。なお、本プログラムは、1 ブロックあたりの 2 次元スレッド数を $32 \times 4 = 128$ 、ストリームの数を 32 とした時に、データの規模に関わらず、比較的良好な性能を示すことが分かった。

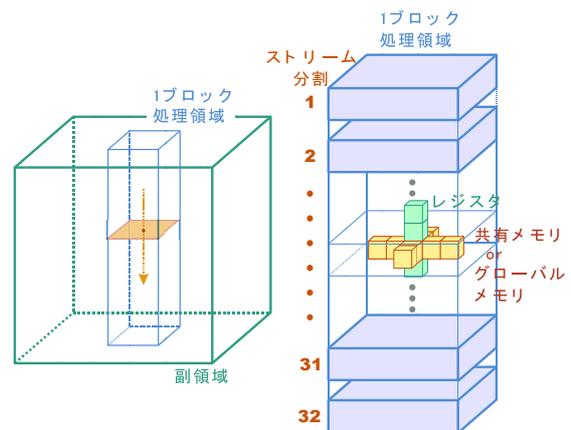


図 3 GPU 化の方針

2.3. 並列化効率の向上

複数の GPU を用いて計算する場合、隣接する副領域間で袖領域のデータを交換する際に、MPI の通信時間に加えて、GPU-CPU 間のデータ転送時間も必要になるため、これらの時間を如何に短くできるかが、高い並列化効率を実現するためのポイントとなる。MPI による通信が必要なのは、速度と応力の空間差分と自由表面の処理の部分 (図 1 参照) である。

速度・応力の空間微分の処理においては、2 メッシュ分の厚みをもった袖領域の通信を行う。空間微分の方角によっては、3 次元配列のメモリ上の並びが必ずしも連続となるとは限らない。並びが不連続となる場合、CPU-GPU 間のデータ転送・MPI の通信共に効率が悪くなるため、袖領域通信用の配列を GPU

のグローバルメモリと CPU にそれぞれ定義し、CPU-GPU 間の転送の際には、まず、GPU 内で通信用配列に値を格納した後、GPU から CPU へ同じサイズを持った通信用配列に対して、一度に転送を行うことで転送時間を短縮している。また、CPU-GPU 間の転送時間と MPI の通信時間を隠蔽するため、最初に袖領域だけ計算を行った後、非同期で通信を行い、それと同時に内部領域の計算を行っている。自由表面の処理については、ストリームを分割して、応力の時間積分の処理とオーバーラップさせることで、自由表面の処理時間を隠蔽するようにした。

2.4. プログラムの性能

前述のような改造を行ったことで、TSUBAME2.0 (M2050) の場合、GPU を用いると、CPU のみの場合 (-fastsse オプションを使用) と比較して、10 倍程度計算速度が向上 (約 31 億メッシュ規模、100 ノード、300GPU の場合) することが確認できた。また、強スケーリング性能は図 4(a) のようになっており、GPU 数が 400 以上になると計算速度が若干落ちるが、600GPU まである程度のスケーリングは保たれていることが分かる。TSUBAME2.5 (K20X) でも同様の性能測定を行っており、スケーリング性能に大きな違いは見られなかった。図 4(b) は TSUBAME2.5 と 2.0 の計算速度の比較を示しており、TSUBAME2.5 用の改造やチューニングを行わない状態で、計算速度は 1.3~1.6 倍程度となった。なお、グローバルメモリのサイズが 2 倍程度となったため、従来と同じ規模の計算を少ない GPU 数でも実行できるようになった。

3. 東海・東南海・南海地震の大規模強震動シミュレーション

改造したプログラムを用いて、実用的な大規模計算を行った結果について述べる。計算対象とした地震は、東海・東南海・南海地震の 3 連動地震である。計算規模は 31 億メッシュ規模(550×750×60km)、メッシュ間隔を 0.2×0.2×0.2km、計算時間刻みを 0.006 秒とし、計算ステップ数は 50000 (継続時間 300 秒) とした。計算可能周期は、2 秒以上である。図 5 に波動伝播の様子のスナップショットを示す。地表面の速度の大きさをコンターで示している。断層の破壊開始から約 75 秒で大阪平野や濃尾平野に波が到達し、その後、盆地構造の平野で揺れが長く続いている様子が分かる。

計算時間は TSUBAME2.0 で約 2.7 時間となり、十分実用に耐える時間で計算が実行可能なことを確認することが出来た。TSUBAME2.5 では、さらに計算時間が短縮され、約 1.5 時間 (計算速度は、約 1.8 倍) となった。

4. まとめ

本稿では、地震動の波動伝播解析プログラムを GPU 化し、巨大な計算領域を必要とする計算を多数の GPU を用いて実用的な時間で計算できる環境を構築したことを示した。

計算条件

メッシュ規模: 2750×3750×300, ステップ数: 100

GPU 数を 96 から 798 まで変化させる
(TSUBAME2.0 計測時は 210~600GPU)

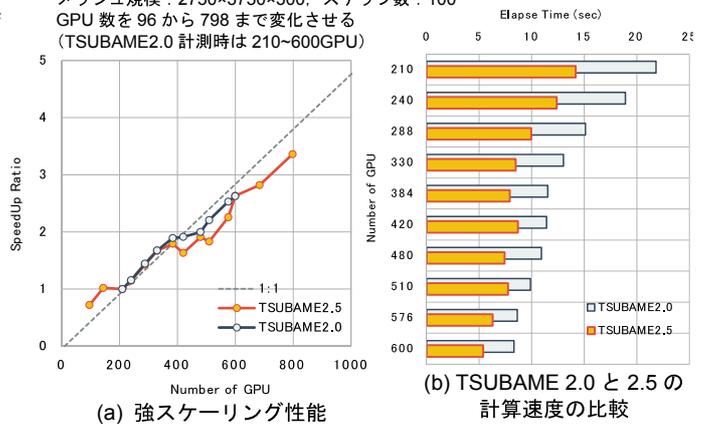


図 4 プログラムの性能測定結果

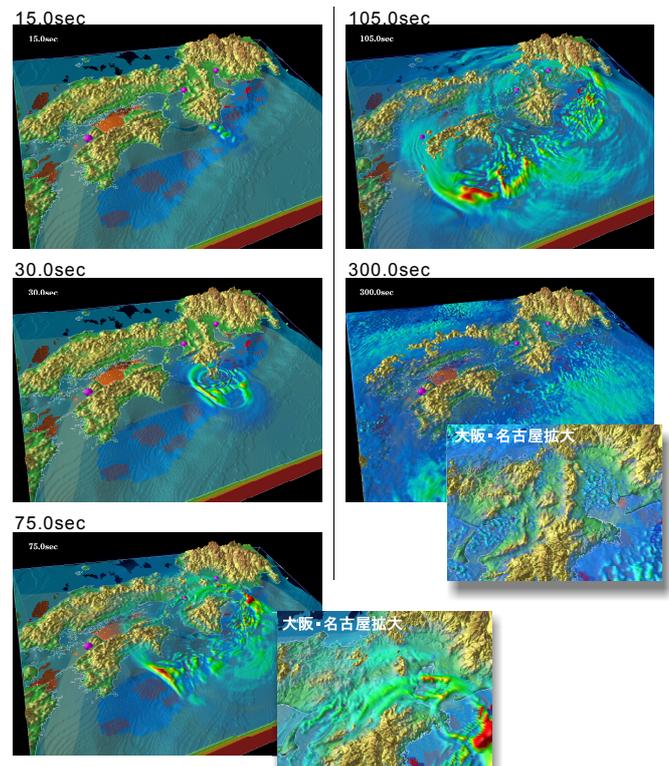


図 5 東海・東南海・南海地震のシミュレーション

謝辞: 本研究は、文部科学省の先端研究施設共用促進事業の補助をいただき、東京工業大学 学術国際情報センターのスーパーコンピュータ TSUBAME を用いて行いました。東京工業大学 学術国際情報センターの佐々木淳氏には開発および研究についての貴重なご指導、ご助言をいただきました。また、本研究の内容については平成 25 年度 TSUBAME 産業利用シンポジウムでポスター発表を行いました。

参考文献

- [1] 竹中 博士: 並列 GPU を用いた大規模地震波伝播シミュレーション, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 平成 23 年度共同研究中間報告書, 2011, 12.

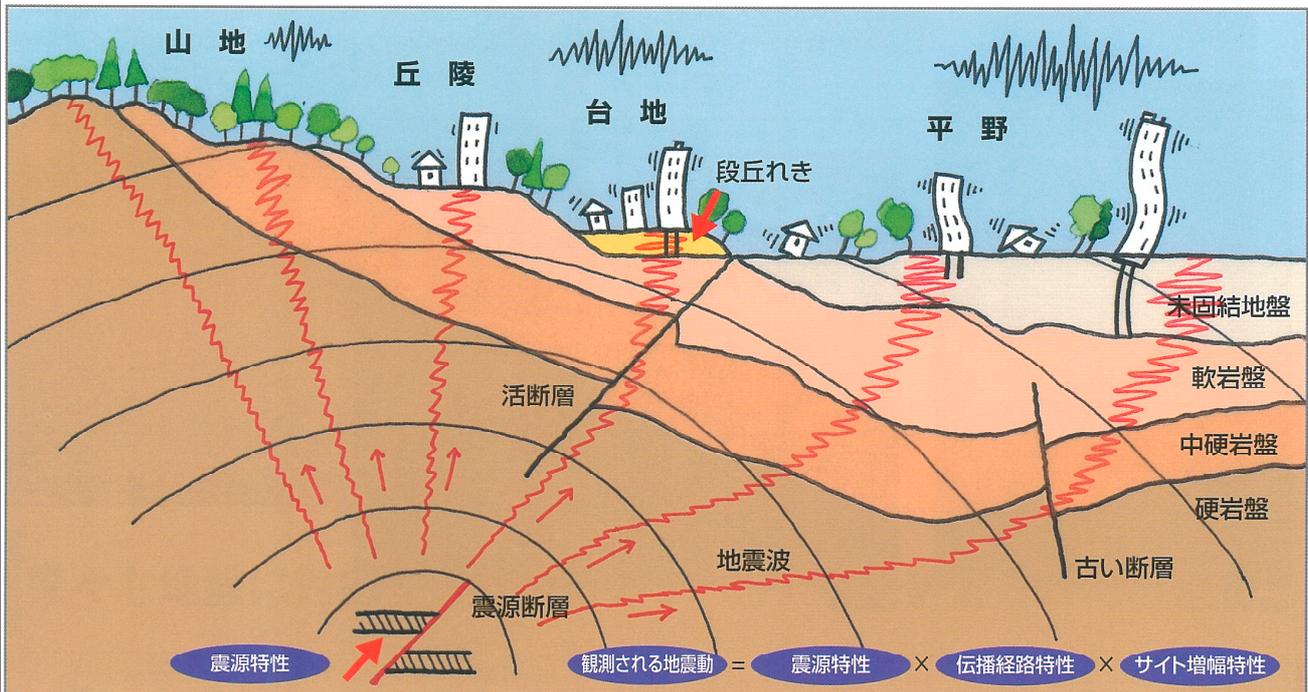
強震動評価・シミュレーション・設計用入力地震動

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



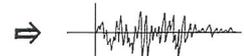
+

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）

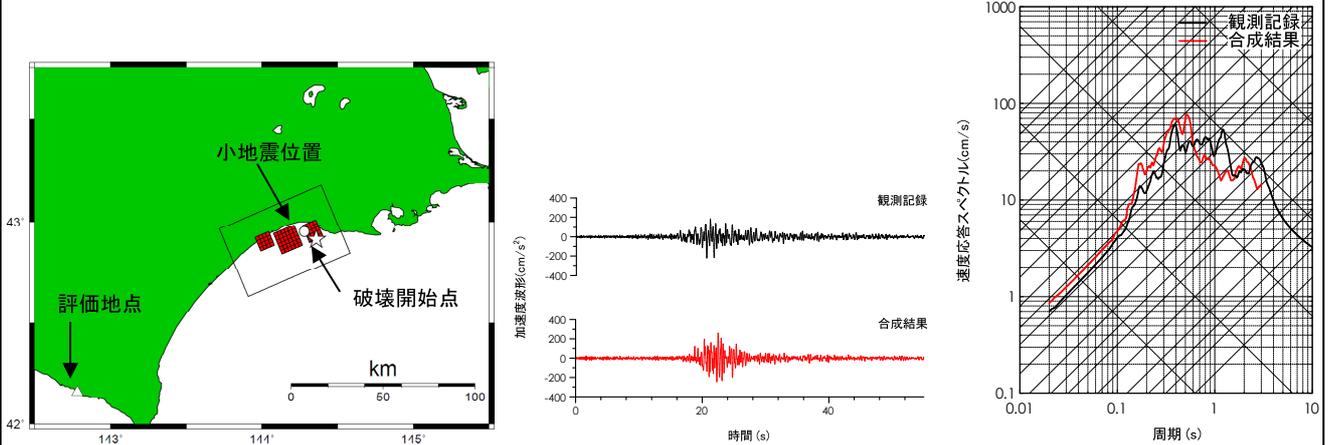


ハイブリッド合成法の概念

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

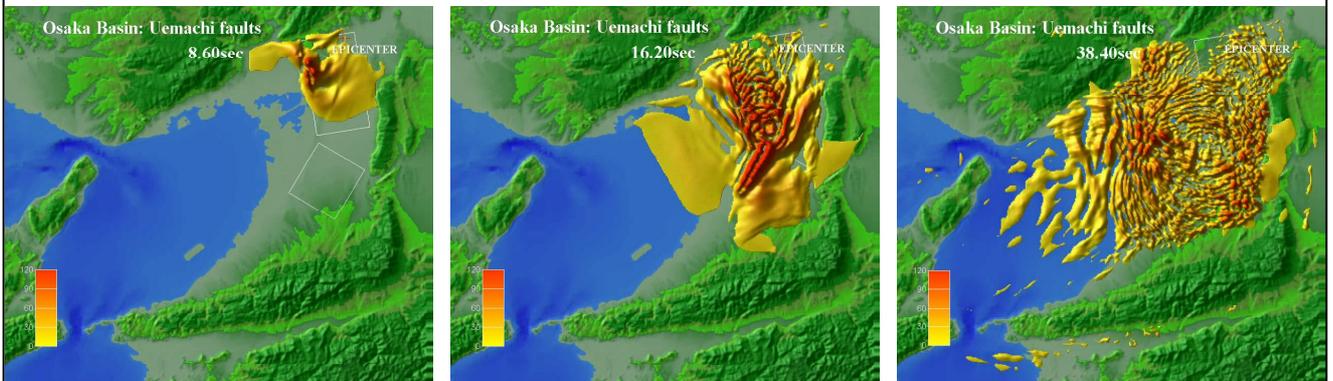


■ 3次元差分法を用いた上町断層の波動伝播シミュレーション

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。

ファイバー要素断面の塑性率算定に関する考察
その3 RC 部材への適用検討

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

弾塑性解析 塑性率 ファイバーモデル
RC 部材

1. はじめに

既報¹⁾ではファイバーモデルの塑性率算定方法について提案を行い、鉄骨部材の塑性率評価の妥当性を確認した。本報では RC 部材への適用に関する検討を行い、単独の柱部材の解析により妥当性を検証する。

2. トリリニアモデルの RC 部材の塑性率基点

RC 部材は材端剛塑性ばね法によるトリリニアのモデル化がよく行われる。その際の塑性率基点は第 2 折点とされることが一般的であり、第 2 折点は終局耐力と降伏後剛性低下率 α_y により決められる。その場合、第 2 折点は終局耐力と塑性率基点の 2 つの意味を持つこととなる。参考文献²⁾によると塑性率基点は部材降伏時の変形とする旨が記載されているが、トリリニアの場合は慣例的に終局耐力に達する点を塑性率基点としている。これは降伏耐力を塑性率基点にすると終局耐力に対して 1 割程度耐力を過小評価する場合があるため、便宜的に設定していると考えられる。一方ファイバーモデルでは荷重変形関係が終局耐力に漸近するように推移していくため、終局点における変形を基点とすると塑性率基点が過大になり、結果として塑性率を過小評価することになる。したがって、ファイバーモデルにおける塑性率基点は終局耐力時ではなく主筋降伏時付近の変形を取ることが望ましいと考えられる。本報告における塑性率基点の妥当性は、主筋降伏のステップを概ね捉えられているかどうかを定性的に評価することで確認する。

3. ファイバーモデルの塑性率評価方法の RC 部材への拡張

既報では曲げ塑性率基点を以下のように定義した。

$$Jm = \frac{\sum A_i \mu_i (x - x_n)}{\sum A_i (x - x_n)} \dots\dots\dots(1)$$

- A : 分割断面断面積
- x : 分割断面断面内座標
- x_n : 中立軸位置
- μ_i : 分割断面の塑性率
(符号つき、符号の向きは歪みの符号と同一とする)

ここで、 Jm が 1.0 を最初に超えた時点の回転角 θ をそれぞれ曲げ塑性率基点 $\theta_{\mu 0}$ として定義する。本評価式は鉄骨のような全断面でヤング係数、降伏応力度が均一な場合には適用できるが、RC のように材料が異なる分割断

面が混在する場合にはそのまま適用することができない。そこで、評価式を以下のように拡張することとした。

$$Jm = \frac{\sum \sigma_y A_i \varepsilon_x \mu_i}{\sum \sigma_y A_i \varepsilon_x} + \frac{\sum \sigma_y A_i \varepsilon_y \mu_i}{\sum \sigma_y A_i \varepsilon_y} \dots\dots\dots(2)$$

- σ_y : 分割断面降伏応力度
- $\varepsilon_x, \varepsilon_y$: 分割断面歪み

本評価式の基本的な概念は(1)式と同様であるが、分割断面の降伏応力度 σ_y を重み付けに含んでいる点が異なる。これにより、コンクリートと鉄筋それぞれについて適切に重み

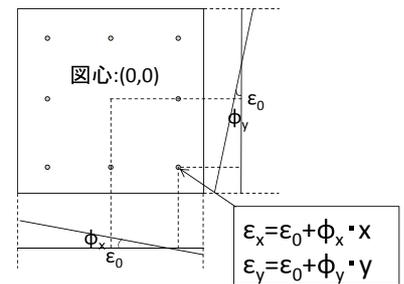


図1 重み付け歪み

付けすることが可能になる。また、(1)式では $(x - x_n)$ として中立軸からの距離が重み付けに含まれていたが、(2)式では中立軸からの距離の代わりに $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ を重みづけに利用することとした。曲率を φ とすると $\varepsilon = \varphi \cdot (x - x_n)$ の計算が成り立つことから意味としては中立軸からの距離を用いる場合と等価である。 $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ の計算例を図 1 に示す。ここで、断面内の X 方向と Y 方向で塑性率基点を個別に決定するため、ここで用いる $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ はそれぞれ X 方向、Y 方向の応力によって生じる歪みとした。なお、鉄骨では全断面で降伏応力度が同一であるため、(2)式は鉄骨の場合には(1)式と等価になる。本方法は以下のような特徴も備えている。

- 矩形断面だけでなく、様々な形状の断面に汎用的に適用することができる。
- 二軸曲げの場合、独立した評価ではなく直交方向の影響を考慮できる。

4. 単独部材レベルでの比較検討

提案した手法を用いて RC の両端固定の単独柱を例にとり妥当性の検証を行った。解析モデル図を図 2 に示す。断面は矩形、円形、袖壁付柱の 3 ケースに加え、矩形断面の二軸曲げについ

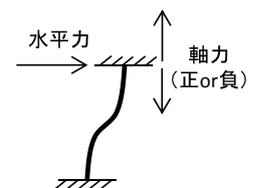


図2 解析モデル

Consideration about the rate calculation of plasticity of a fiber element section (Part3 Application of reinforced concrete element)

SUZUKI So, AIDA Hiromasa,
YANAGAWA Yukimori, USAMI Masato,
KIMURA Madoka

でも検討を行った。また、軸力による塑性率への影響を検討するため、モーメントと軸力を同時に漸増载荷する解析を行った。各断面の諸元を表 1 に示す。鉄筋の分割断面は標準型バイリニアとし、コンクリートは NewRC 式³⁾でモデル化した。なお、コンクリートは引張応力度を負担しないこととし、圧縮時の塑性率基点は最大強度時歪みの 1.5 倍の歪みとした。各荷重ケースの断面塑性化状況を図 3～図 6 に示す。分割断面の色は青色が引張降伏、赤色が圧縮降伏としている。

5. 結果およびまとめ

1. 提案した方法による塑性率基点は各断面において概ね主筋の降伏を捉えていることが確認できた。
2. 二軸曲げでも概ね期待通りの塑性率基点を設定できることが確認できた。

その 4 では RC 建造物の荷重増分解析による検証を行う。

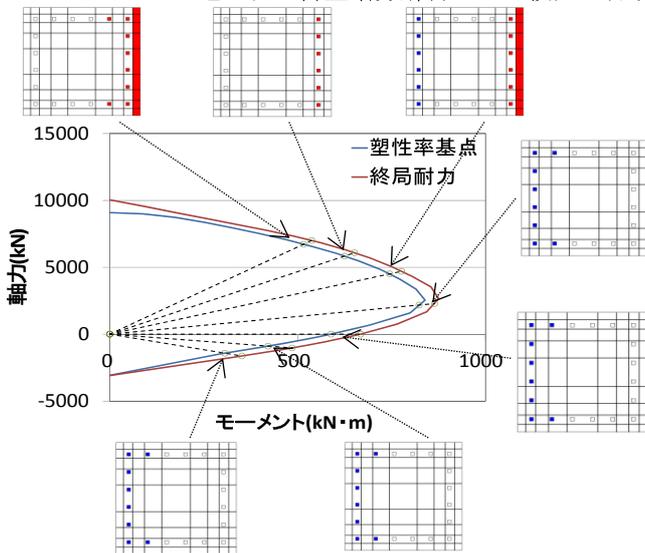


図 3 矩形柱の塑性率基点

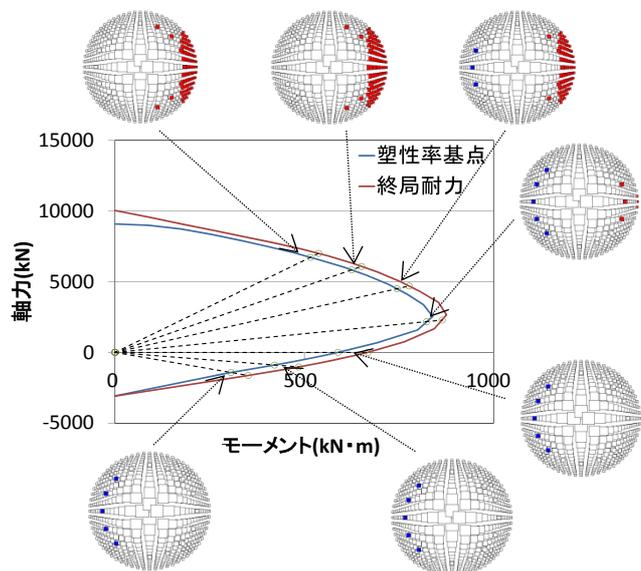


図 4 円形柱の塑性率基点

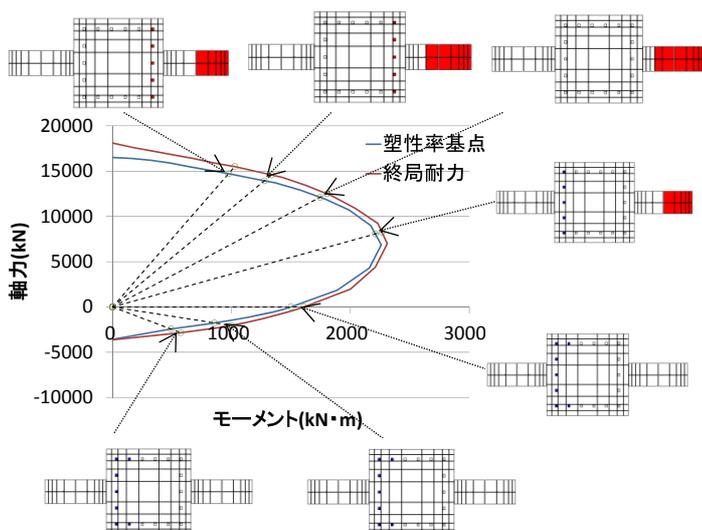


図 5 袖壁付柱の塑性率基点

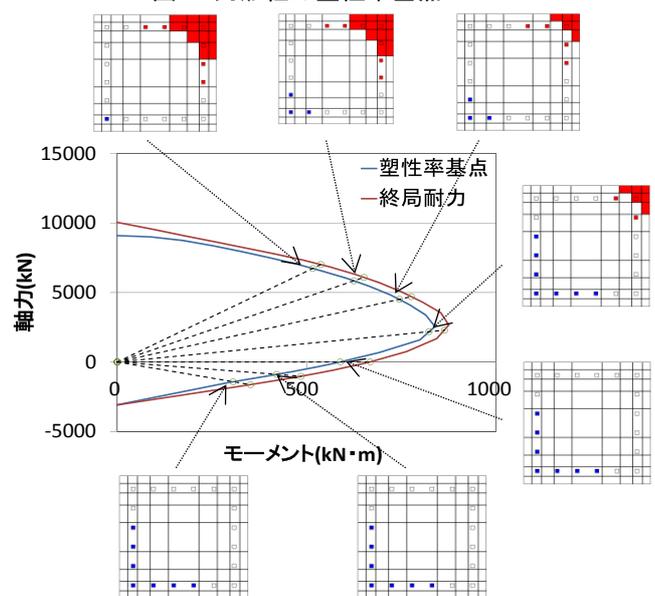


図 6 二軸曲げ矩形柱の塑性率基点

参考文献

- 1) 會田裕昌, 鈴木壮ほか「ファイバー要素断面の塑性率算定に関する考察その 1、その 2」日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012
- 2) 「道路橋示方書 V 耐震設計編」公益社団法人 日本道路協会
- 3) 建築省総合技術開発プロジェクト：鉄筋コンクリート造の軽量化・超高層技術の開発, 平成 4 年度 NewRC 研究開発概要報告書, 国土開発技術センター, 1993.3

表 1 断面の諸元

	形状	配筋	コンクリート材料	鉄筋材料
矩形	700x700	X:6-D25, Y:6-D25	Fe21	SD345
円形	650R	16-D25	Fe21	SD345
袖壁付柱	柱: 700x700	X:5-D25, Y:6-D25	Fe21	SD345
	袖壁: 500x20	D13@200	Fe21	SD295

ファイバー要素断面の塑性率算定に関する考察
その4 RC造建物の荷重増分解析による検証

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

弾塑性解析 塑性率 ファイバーモデル
RC 部材

1. はじめに

その3で提案した塑性評価方法について荷重増分解析によって解析を行い、M-θにおける塑性率基点の位置を確認する。また、建物モデルを用いて現実的な応力状態における塑性率の検証と建物復元力特性との関係性を確認する。

2. 部材単体での M-θ グラフ

図2.1にその3で解析をした部材単体での荷重増分解析結果のうち矩形断面の M-θ グラフを示す。

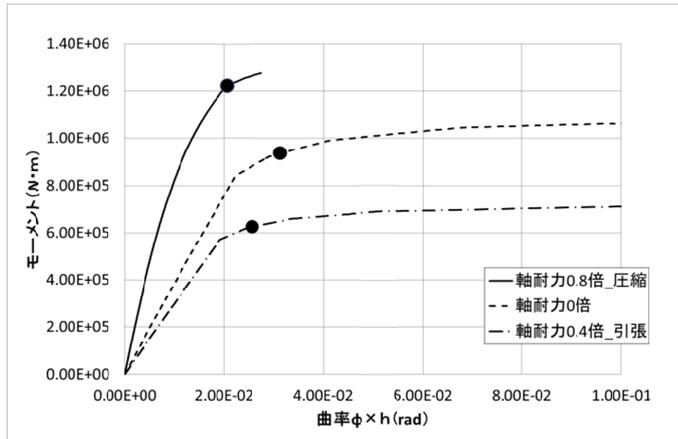


図 2.1 部材単体での M-θ グラフ

本手法による塑性率基点は M-θ グラフにおいて急激に剛性低下が生じている変形域と概ね一致している。

いずれのケースにおいても引張側の鉄筋の大半が降伏したタイミングと概ね一致しており、塑性ヒンジの発生タイミングとして考えると妥当な位置と思われる。

3. 建物モデルでの検証

次に建物モデルを想定し、現実的な応力状態での塑性率について検証を行う。

検証に用いる建物モデルは柱に高軸力状態を作る高層モデルと低軸力状態の低層モデルの2パターンを用いた。解析モデルは結果評価の簡単のため、1階柱でヒンジが発生しやすくなるように柱曲げ先行降伏するように調整するとともに、2階以降はRC耐震壁を配置してピロティ

形式としている。

表3.1に各モデルの緒元、図3.1にモデル図を示す。

表 3.1 建物モデル緒元

	低層モデル	高層モデル
階数	3 階	15 階
梁代表断面	450 × 600	700 × 800
上端 1 段/2 段	5-D25/2-D25	5-D35/2-D32
下端 1 段/2 段	5-D25	5-D32
STP	2-D13@200	4-D13@150
柱代表断面	650 × 650	950 × 950
主筋 X/Y/芯鉄筋	6-D25/6-D25	9-D35/9-D35/5-D41
HOOP	6-D13@100	8-S16@100
使用材料	梁 SD345/SD295A 柱 SD345/ SD295A Fc24	梁 SD390/SD295A 柱 SD390/KSS785 Fc36
1 階までの 建物総重量	16898kN	103496kN

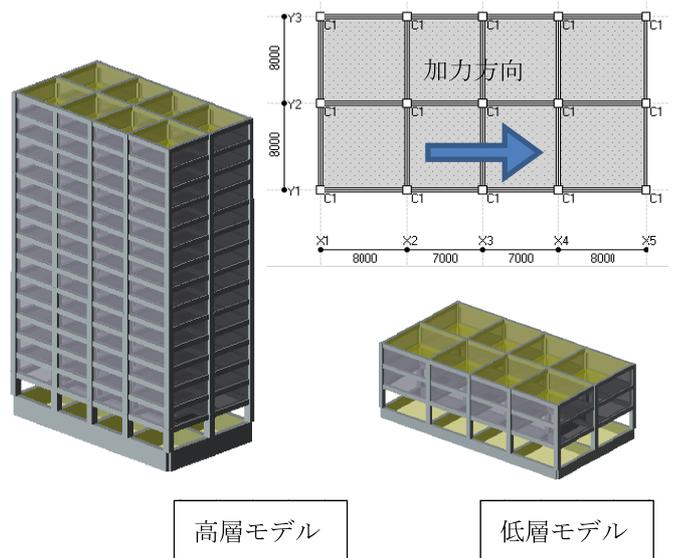


図 3.1 建物モデル図（平面図は共通）

4. 塑性率算定結果

表 4.1 に各モデルの荷重増分解析による塑性率を示す。荷重増分解析は 3 階モデル、15 階モデル共に 1/100 まで加力した。なお、解析には RESP-F3T (構造計画研究所) を使用している。

表 4.1 1 階柱曲げ塑性率算定結果まとめ

柱位置	3 階モデル	15 階モデル
X1-Y1	1.12	1.27
X2-Y1	ヒンジ無	1.46
X3-Y1	1.05	2.49
X4-Y1	1.16	3.00
X5-Y1	1.13	2.08
X1-Y2	ヒンジ無	1.5
X2-Y2	ヒンジ無	1.45
X3-Y2	1.04	2.48
X4-Y2	1.15	2.99
X5-Y2	1.15	2.12

次に代表的な柱として

- ・引張側の X1-Y1 柱
- ・初期軸力程度の X3-Y3 柱
- ・圧縮側の X5-Y2 柱

の M- θ グラフ及び塑性率基点時における断面の塑性状況を図 4.1、4.2 に示す。

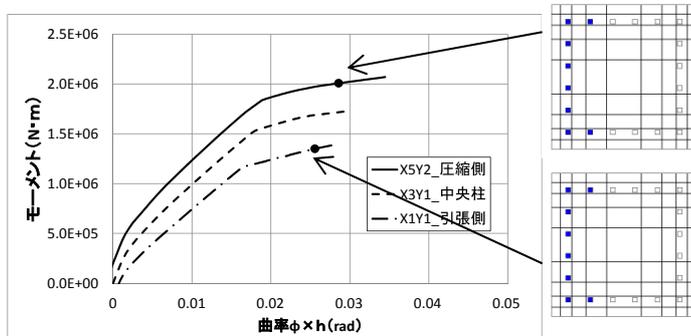


図 4.1 3 階モデルにおける塑性率基点

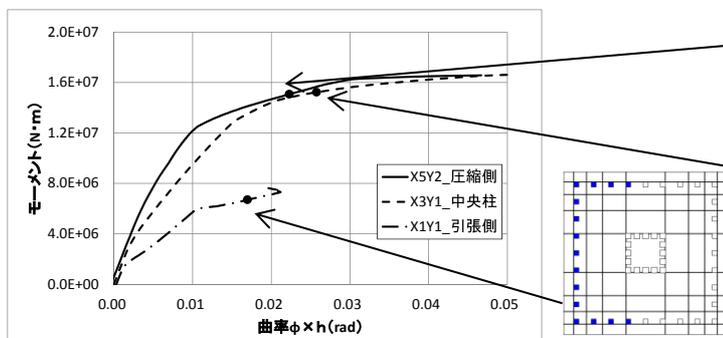


図 4.2 15 階モデルにおける塑性率基点

5. 部材塑性率と層塑性率の比較

荷重増分解析により得られた建物の Q- δ 曲線上に各柱の塑性率基点決定ステップをプロットしたグラフを図 5.1 に示す。

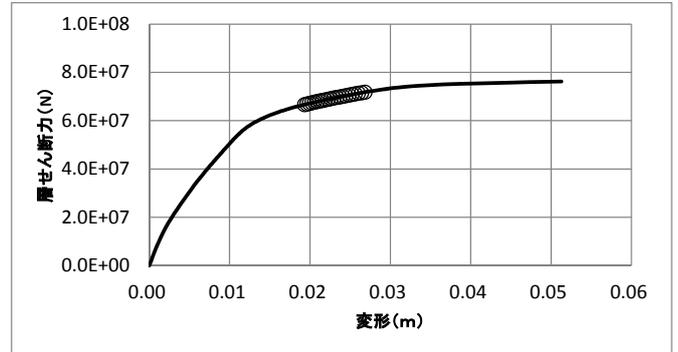


図 5.1 建物 Q- δ 曲線と部材塑性率基点の関係 (15 階)

今回のモデルは 1 階の柱頭・柱脚で曲げ降伏が生じて層崩壊となるようなモデルとしているため、建物の層としての降伏位置と柱の塑性率基点が概ね一致する性状となっている。

6. まとめ

ファイバーモデルを用いた RC 造部材について、塑性率基点となる降伏変位を決定する手法について検証を行った。

本手法における塑性率基点は引張側鉄筋の降伏タイミングと概ね一致しており、塑性率算定における塑性ヒンジの発生位置の推定に有効と考えられる。

参考文献

- 1) 岡田恒夫・関松太郎「電算機-アクチュエータオンラインシステムによる鉄筋コンクリート骨組みの地震応答実験 (その 1)」日本建築学会論文報告集、第 275 号、pp25-31、1979
- 2) 為広尚起ほか「軸力と 2 軸曲げを考慮した立体構造物の非線形解析について」日本建築学会・第 14 回情報システム利用技術シンポジウム 1991 年
- 3) 佐佐美勉「鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン」社団法人 日本鋼構造協会

概要

RESP-Dは許容応力度設計から質点系振動解析、立体振動解析までをシームレスで行う新世代の構造計算プログラムです。RESPシリーズが取り組んできた超高層建築、免震構造、制振構造に対して、数々の新しいアイデ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。

SIRCADとのデータ連携対応

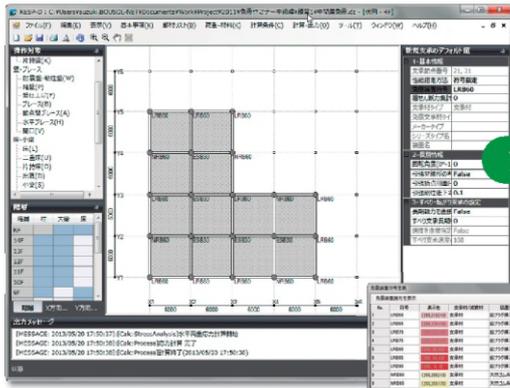
構造図への変換作業を軽減!

RESP-Dは国内の建築構造分野の標準フォーマット(ST-BRIDGE)出力に対応しています。

RESP-Dで作成したモデルをST-BRIDGE出力します。出力したモデルは、建築構造図躯体図作図・設計量算ソフトSIRCAD(注)(株式会社ソフトウェアセンター)で読み込むことができます。注:7月末リリース予定のSIRCADの機能です。

現在RESP-DからはRC造、S造の柱・梁の出力ができます。

→対応部材は順次拡張予定!



免震装置の符号定義

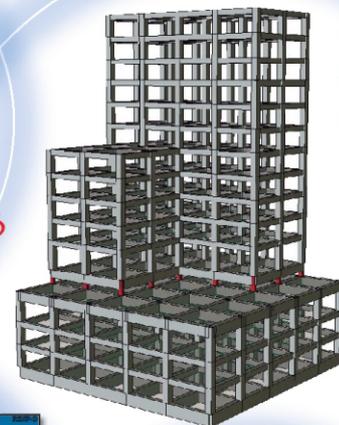
免震部材配置計画



推奨長期軸力による自動選定機能

免震層の偏心率リアルタイム計算

立体振動解析

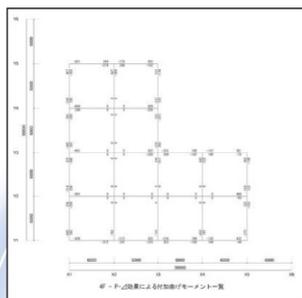


- ・柱頭免震
- ・中間層免震
- ・ロングスパン大梁の上下動検討

免震機能が充実オールインone!

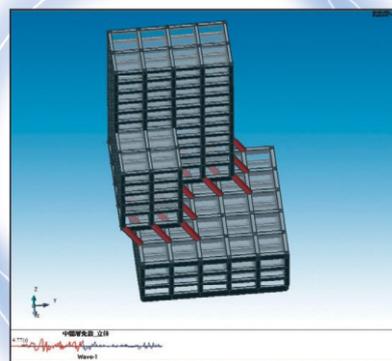
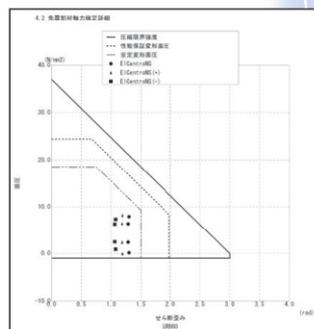
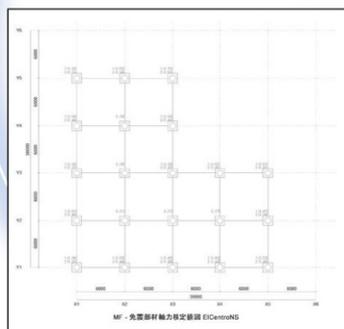
免震設計計算書出力

歪レベルに応じた固有周期



歪率 (%)	固有周期 (sec)	減衰率 (%)	応答倍率
0.05	0.15	5	2.5
0.1	0.2	10	2.0
0.2	0.3	20	1.5
0.5	0.5	40	1.2
1.0	0.7	60	1.1
2.0	1.0	80	1.05
5.0	1.5	100	1.0

面圧検定機能



アニメーション

振動解析特性変動考慮

質点系解析



免震層のねじれ考慮

プログラムの特長

1. 許容応力度計算、荷重増分解析、振動解析まで一連処理可能です。
2. 立体振動解析・質点系振動解析が選択可能です。
3. 超高層、免震、制振構造に対しスピーディに振動アニメーションを作成可能です。

これらの機能はすべて標準機能です。

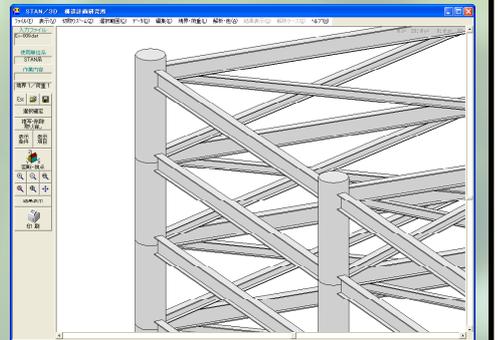
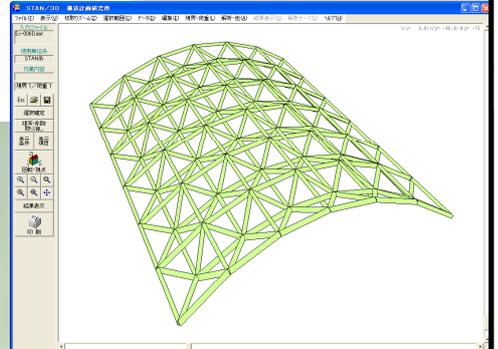
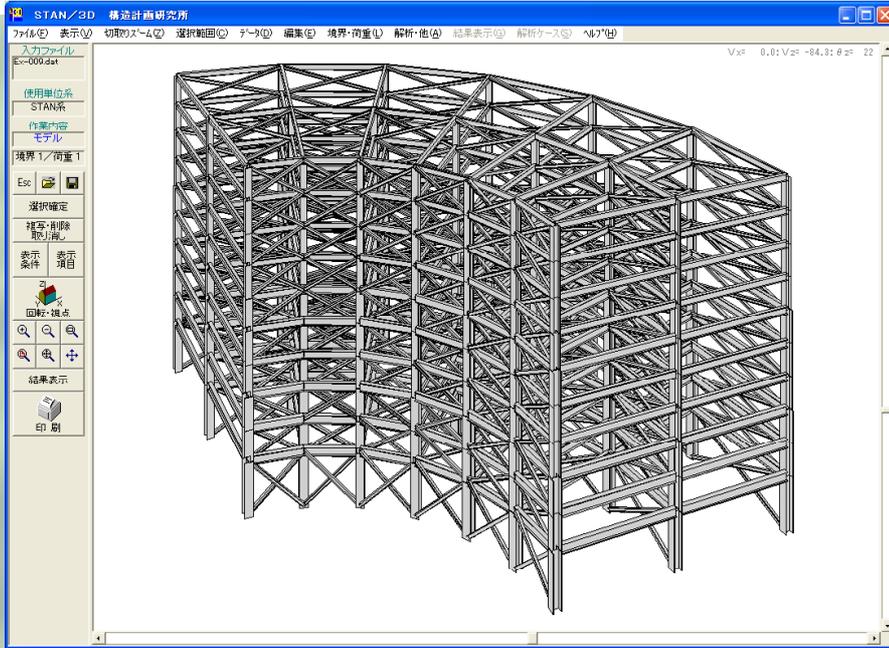
オプション不要



RESP-Dで全て対応。建物モデルは常に1つ。設計・解析を一元管理できます。

3次元任意形状フレーム構造解析ソフトウェア

STAN



太陽光発電システムの架台、テントのフレーム、収納ラック、広告塔、
立体駐車場、通信・送電 鉄塔、軸組構法、プラント構造物 全般、
全ての「フレームの応力解析」に！

平面応力要素の主応力図



次期バージョン(Ver11)にて
板曲げ要素(厚板)を追加予定
(Windows 8.1 対応)
※ リリース:2014年春 予定

2013年_年末キャンペーンのご案内

期間：2013年12月1日(日)～2014年1月15日(水)

内容：

【既存ユーザー向け】

- ・期間内に追加ライセンスの購入(特別価格)で所有ライセンスのバージョンアップ費用が無償になります。お持ちのライセンスのリリースに最適です。

【新規 ご検討の方向け】

- ・期間内に新規ライセンスの購入(特別価格)でオプションの一つ(選択)が無償で付きます。

※ 現行バージョン(Ver10.5) のキャンペーンとなります。

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

詳細はこちら → <http://www4.kke.co.jp/stan/>

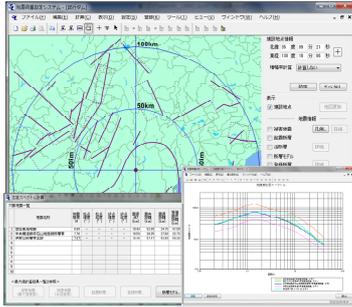
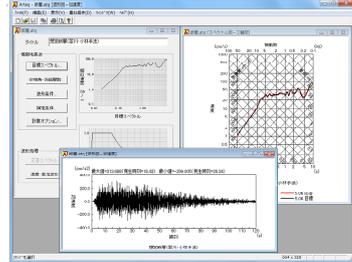
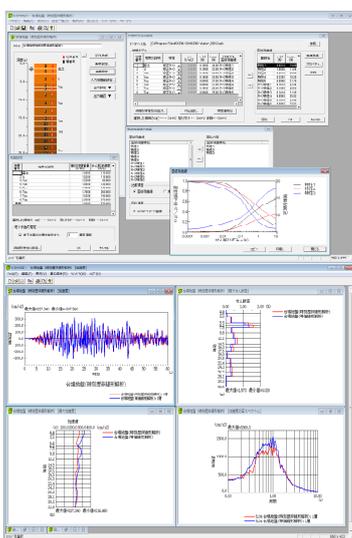
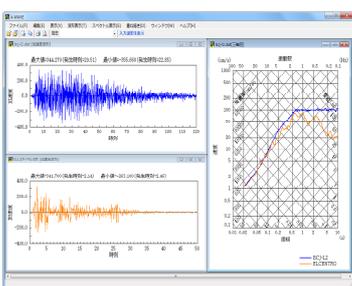
設計用入力地震動作成システム

【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。

2013年8月までに、各パッケージを順次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、2013年7月までに発生した地震を追加収録しました。

【各パッケージの機能概要と販売価格】

パッケージ名	概要	
<p>地震荷重設定システム SeleS for Windows セレス</p> <p>販売価格 フル機能版 : 2,205,000円(税込) 翠川・小林版 : 1,890,000円(税込) ダム機能版 : 1,890,000円(税込)</p>	<p>耐震設計の際の地震荷重を設定するために、建設地点周辺の地震環境を検索し、被害地震および活断層によってもたらされる建設地点での地震動強さを評価するシステムです。各種距離減衰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、断層の拡がりや考慮した翠川・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>	

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

ここ最近ゴルフに興じております。ゴルフは老若男女問わず楽しめるスポーツですが、学ぶ事が非常に多くあります。例えば、「リスクマネジメントの重要性」や「自分をコントロールする方法」です。ゴルフはミススポーツであり、どんな名プレーヤーでも完璧なプレーをすることは不可能で、リスクを最小限にするような戦略をコース、天候、自分の調子を把握した上で立てる必要があります。そして、失敗やトラブルが起きた場合にそれとどう向き合うか、どのように気持ちを切り替えるかが、その後の結果に大きく左右するため、どのように自分をコントロールするかが重要となってきます。これらは、ゴルフだけでなく、私生活やビジネスの場でも必要となる事だと思います。多くを学べるゴルフを皆さんも始めてみては如何ですか。

防災・環境部 地盤・構造室 藤枝 拓海

休日に息子の少年サッカーチームのコーチをしています(自分自身ではサッカー経験はないので、ほとんどマネージャーのようなものですが。)。春と秋に大会があるのですが、大会ごとに色々な発見があります。試合中にどう動いたら良いのかわからずピッチの中をウロウロしていた子が、きっちりとポジションを守ってプレーできるようになっていたり、ひよろひよろとしか飛ばなかったゴールキックがセンターラインを超えるようになっていたり。成長が目に見えるという体験は、ちょっとおおげさですが感動的です。ただ、振り返ってみると、そういった成長を見せるのは、ほぼ例外なく毎週の練習で自覚的に努力を積み重ねていた子です。あたかも非線形に見える成長も、裏には毎日の練習の蓄積があったこと。子どもたちに負けてはいられないですね。

エンジニアリング営業部 ストックマネジメント室 佐藤 壮



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.34 2013.12*

発行日 平成 25 年 12 月 9 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