解析雑誌

Vol.21　2008.12

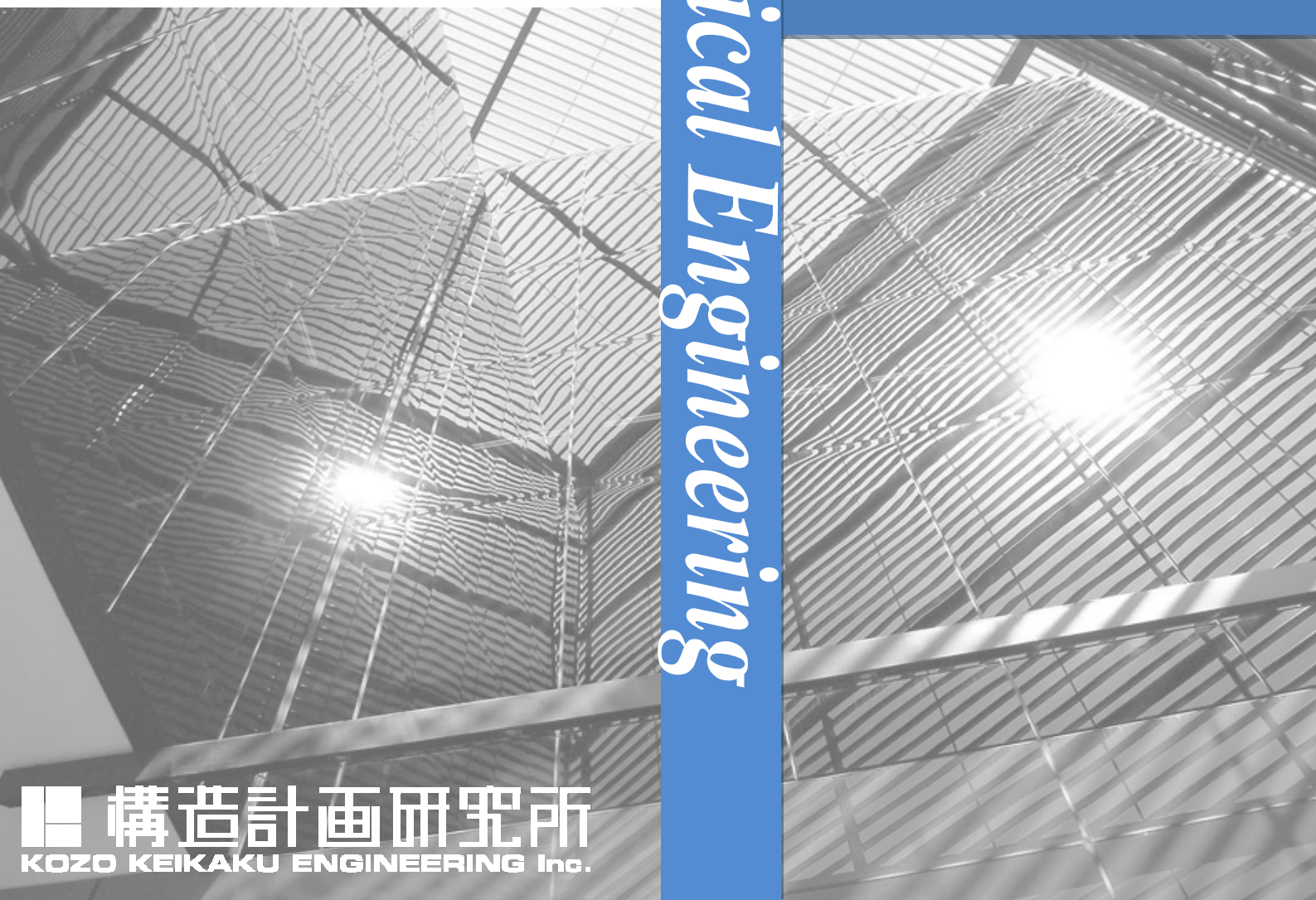
Journal of Analytical Engineering

【 Topics 】

- 地震ハザード評価プログラムのご紹介
- インフラ施設維持管理における構造解析と構造保全に向けた取り組み
- 粒子法を用いた解析コンサルティングサービスのご紹介

【 Technical Reports 】

- ＲＣ架構の柱軸力変動を考慮するためのファイバモデルの開発と評価
- 地域の地形に対応した地震防災マップの作成（その３）微地形区分に基づく神奈川県の 50ｍメッシュ地盤増幅率
- SIMULATION OF STRONG MOTION AT KASHIWAZAKI DURING THE 2007 NIIGATAKEN CHUETSU-OKI, JAPAN,EARTHQUAKE
- Application of a simulator to damage detection for bridge maintenance



構造計画研究所
KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

解析業務について思うこと



株式会社構造計画研究所
エンジニアリング営業部長　庄司正弘

私が解析コンサルティング業務に従事していた頃、お客様が言われたことで良く覚えていることがあります。その意味は、「実物を知って解析を行っているか？」ということです。このことは、解析業務の品質を維持するためにも重要なことであると思っています。

一時期、私は、ロックフィルダムの３次元モデルによる地震観測記録のシミュレーション解析を行っており、対象ダムを見学する機会を得ました。その時、お客様から、「実際のダムは見ての通り（ダム表面は人間の背丈程もあるような大きな岩石で敷き詰め覆われている）ですが、解析では連続体として（３次元有限要素法を用いて）モデル化しています。本当に地震時の挙動を再現できているのでしょうか？」と問いかけられました。その時、私は解析業務を行う上で、解析対象の実物を見ておくことは非常に大切であると感じました。

通常、机上で図面を見ながら解析モデルを作成し、静的応力解析や地震応答解析を行い、その変形図や応力分布図等から解析結果を評価しますが、解析目的に合った解析モデルであろうか？　対象構造物がこの外力に対して本当にこれほど変形するのだろうか？　ここに応力集中は発生するのだろうか？　という様な感覚を持つためにも、対象構造物を実際に見て知っておくことが肝要です。

解析技術者にとって、解析をする前に、解析モデルを作りながら、設定した解析条件で得られる解析結果をある程度予測しておくことは非常に大切なことです。解析結果が自分の予想どおりであればさらに深く結果の評価を進めますが、もし予想と異なる場合には、その理由は何か？　を的確に探る必要があるからです。この様な事前予測や結果評価においても、実物を把握していないと容易にできません。

また最近の解析業務では、新規の構造物の設計に関わることは少なくなり、既存の構造物の耐震補強や維持管理に関わることが増えてきています。このような場合でも、検討課題やモデル化上の問題点を的確に把握し、検討方法やモデル化方法を提案したり、解析前の事前評価をしたりする上で、解析対象物の大きさや構造形式などを見て知っておくことは重要であると考えています。

しかしながら、私どもだけでは、実際の構造物や工事現場などを見ることは難しいところがあります。経験が少ない担当者が経験豊富な技術者と一緒に業務を進め、経験知を共有･継承する努力もしていますが、必ずしも十分ではないと考えています。

このようなことから、皆様と実際の業務で関係することができた場合などで、もし可能でしたら業務で対象とする構造物や工事現場などを見学させて頂きたいと、あつかましくもお願いすることがあるかもしれませんが、その時は、ご都合のつく範囲で構いませんので、ご検討を頂ければ大変ありがたく思います。

私どもは、このたびの『解析雑誌』に掲載していますように、新しい解析技術に対するチャレンジも進めながら、これまでの経験を効果的に発揮して、皆様のお役に立てるような解析コンサルティングサービスをご提供すべく努力してきています。また上記のように『解析雑誌』は、私どもからの情報発信の場のひとつとして考え、皆様と「一緒に進化し」、「もっと良くなる」という思いを共有し、お互いに信頼し合える関係を築いていく上で活用して頂ければ、大変幸いに思います。

今後とも、これまで以上に皆様の暖かいご支援を賜りますようお願い申し上げます。

解析雑誌 Vol.21 2008.12 目次

【巻頭言】 解析業務について思うこと エンジニアリング営業部 部長 庄司 正弘 02

Topic 1 地震ハザード評価プログラムのご紹介 04
Topic 2 インフラ施設維持管理における構造解析と構造保全に向けた取り組み 10
Topic 3 粒子法を用いた解析コンサルティングサービスのご紹介 18

Technical Report 1
■ RC架構の柱軸力変動を考慮するためのファイバモデルの開発と評価 20
梁川 幸盛、宇佐美 祐人

Technical Report 2
■ 地域の地形に対応した地震防災マップの作成 24
（その３）微地形区分に基づく神奈川県の 50ｍメッシュ地盤増幅率
橋本 光史、栗山 利男、荏本 孝久、山本 俊雄

Technical Report 3
■ SIMULATION OF STRONG MOTION AT KASHIWAZAKI DURING THE 2007 NIIGATAKEN CHUETSU-OKI, JAPAN,EARTHQUAKE 28
司 宏俊、内山 不二男、松元 康広、西條 裕介、正月 俊行、栗山 利男

Technical Report 4
■ Application of a simulator to damage detection for bridge maintenance 38
矢部 明人、荒木 秀朗、宮本 文穂

お問い合わせはこちらへ

解析雑誌バックナンバーは KKE 解析ホームページでご紹介しています。
PDF 形式でダウンロードも可能ですので、是非下記アドレスにお立寄りください。

http://www4.kke.co.jp/kaiseki/

‘KKE’は弊社 （株）構造計画研究所の略称です。

Journal of Analytical Engineering

【新商品のご紹介】

地震ハザード評価プログラム

2009 年 3 月リリース（予定）

地震調査研究推進本部地震調査委員会では、活断層で発生する地震や海溝型地震の長期評価に関する最新の知見をふまえて日本列島周辺で発生する地震活動をモデル化しており、そのモデルを用いて確率論的地震動予測地図を作成しています。2005 年の地図公表以降、時間の経過や大地震の発生による地震発生確率の変化をふまえ、年に1度の頻度で更新されており、約 1km 四方メッシュ単位の地震ハザード評価結果を確認することができます。ここで紹介する地震ハザード評価プログラムは、任意地点の地震ハザードを、任意の基準日で自由に評価できるプログラムです。加えて、最大値のみならず、応答スペクトルの地震ハザード（一様ハザードスペクトル）を評価することができます。本稿では、2009 年 3 月のリリースに向けて現在開発中の、地震ハザード評価プログラムの概要とその利用例をご紹介します。

■　地震ハザード評価プログラム

現在、確率論的な地震ハザードについては、例えば、地震ハザードステーション J-SHIS[1]にアクセスすると約 1km 四方メッシュ単位で、今後 30 年や 50 年に予想される震度や最大速度といった情報を知ることができます。

しかし、確率論的な地震ハザード情報を構造物の耐震安全性の検討に活かすためには、地震動の最大値だけではなく、周期特性をふまえた地震動強さの情報が得られることが望ましいと考えられます。

本プログラムは、地点や基準日を設定することにより、内蔵された震源モデルを利用して当該地点の確率論的な地震ハザード評価を行うことができるプログラムです。最大速度に加えて、加速度応答スペクトルの距離減衰式を用いた地震動評価が可能であり、建物の固有周期に合わせた地震ハザード曲線の出力や、一様ハザードスペクトルの出力、また、地震ハザードに影響を及ぼす地震種別の分析など、様々な評価を行うことができます。

プログラムに内蔵される地震活動モデルは、地震ハザードステーション J-SHIS より取得可能な断層データをベースに構築したモデルです。この地震活動モデルはユーザによる編集が可能となっており、新たな知見により地震活動モデルが更新された場合や、大地震後に地震発生確率が更新された場合などには、ユーザ側でデータ更新を行って利用することができます。

評価結果の確認は、本プログラムに付属されている簡易ビューア（Microsoft Excel 上で動作）で行います。

プログラムに内蔵される地震活動モデルや距離減衰式、表層地盤増幅度の詳細は次のとおりです。

<u>地震活動のモデル化</u>

・主要 98 断層帯※1
・主要 98 断層帯以外の活断層※1
・海溝型地震※1※2
・震源断層を予め特定しにくい地震※2

※1　地震ハザードステーション（J-SHIS）で利用されている防災科学技術研究所の断層形状データを利用

※2　地震ハザードステーション（J-SHIS）で利用されている防災科学技術研究所の断層形状データを数値化

<u>地震動の予測に用いる距離減衰式</u>

最大速度
・司・翠川(1999)[2] <基盤面>

加速度応答スペクトル
・安中・山崎・片平(1997)[3] <基盤面>
・内山・翠川(2006)[4] <基盤面>
・Kanno *et al.* (2006)[5] <基盤面>

<u>表層地盤増幅率</u>

最大速度
・藤本・翠川(2003)[6]に基づき評価した地盤増幅度データベース
・ユーザ指定

加速度応答スペクトル
・藤本・翠川(2003)に基づき整備した AVS30 データベース（約 250m メッシュ単位）を用いた地盤増幅度（Kanno *et al.*(2006)利用時のみ）
・ユーザ指定

■　プログラムの利用例

本プログラムの利用例として、「着目した周期の地震ハザードカーブ」、「地震ハザードカーブの地点比較」、「一様ハザードスペクトル」、「地震ハザードマ

ップ」、「地震ハザードへの影響度分析」の５項目をご紹介します。

いずれの利用例も地震動の予測に用いた距離減衰式は Kanno *et al.* (2006)とし、評価基準日を 2008 年 1 月 1 日としています。

1. 着目した周期の地震ハザードカーブ

図 1に、評価期間 50 年における大阪市の基盤上の周期 0.05 秒、0.1 秒、1.0 秒の地震ハザードカーブを示します。地点や周期を指定することにより、構造物の周期特性に合わせた地震ハザードの評価を行うことができます。

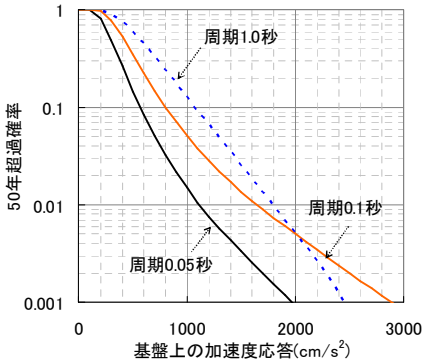


図 1　着目した周期の地震ハザードカーブ

2. 地震ハザードカーブの地点比較

図 2に、評価期間 50 年における大阪市、名古屋市、新宿区の基盤上の周期 0.1 秒、1.0 秒の地震ハザードカーブを示します。複数地点を指定することにより、地点間の周期特性の比較評価を行うことができます。

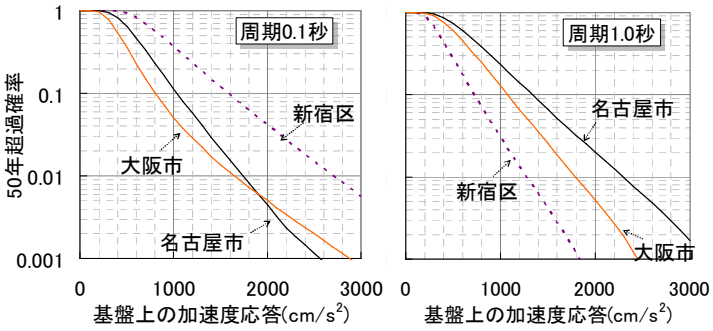


図 2　地震ハザードカーブの地点比較
（左：周期 0.1 秒、右：周期 1.0 秒）

3. 一様ハザードスペクトル

図 3に、50 年超過確率 2%（再現期間 2475 年）、50 年超過確率 5%（再現期間 975 年）、50 年超過確率 10%（再現期間 475 年）、50 年超過確率 39%（再現期間 100 年）における、基盤上の一様ハザードスペクトルを示します。任意の再現期間に対応する加速度応答スペクトルを確率論的に評価することができ、設計用地震動の検証などに利用することができます。

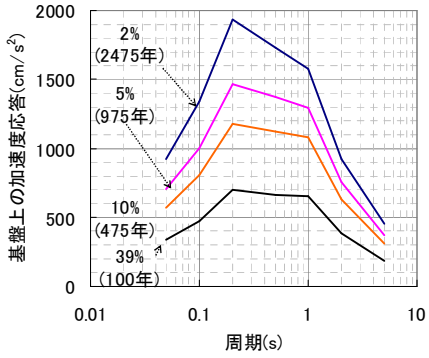


図 3　一様ハザードスペクトル（評価期間 50 年）

4. 地震ハザードマップ

図 4に、0.04° 間隔で関東圏の基盤上および地表面の 50 年超過確率 10%（再現期間 475 年）の加速度応答（周期 1.0 秒）を評価し、GIS 上に表示した例を示します。基盤から地表面までの増幅度は藤本・翠川(2006)に基づき整備した AVS30 データを Kanno *et al.* (2006)に適用して評価を行っています。

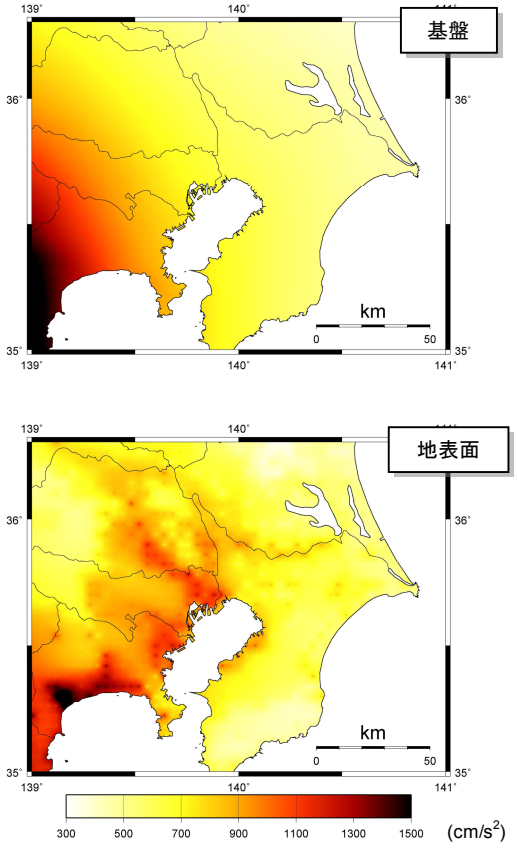


図 4　50年超過確率10%に対応する周期1.0秒の地震動強さの分布（上段：基盤、下段：地表面）

（本プログラムに地図ビューアは含まれておりません）

5.　地震ハザードへの影響度分析

地震ハザードへの影響度とは、地震ハザード評価の対象となる全地震をいくつかの地震群にグルーピングし、全地震による超過確率に対する各グループの超過確率の割合を評価したものです。本事例では「海溝型地震（震源特定）」、「海溝型地震（震源不特定）」、「内陸の浅い地震」の 3 種類にグルーピングを行いました。

図 5は、評価期間 50 年における、大阪市、名古屋市、新宿区の基盤上の地震動強さが 400cm/s^2 以上となる確率に対する各グループの影響度を周期 0.1 秒と 1.0 秒について円グラフで示したものです。

周期 0.1 秒では、周辺地域の地震環境の特徴によって影響度の傾向が異なりますが、周期が長くなるとどの地域も長周期成分が卓越する「海溝型地震（震源特定）」の影響が大きくなることがわかります。

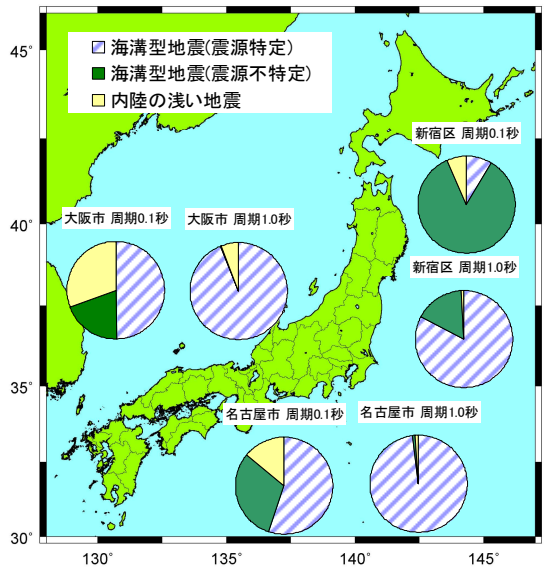


図 5　評価期間 50 年で基盤上の地震動強さが 400cm/s² 以上となる超過確率への影響度

■　販売価格

本プログラムの販売価格および販売開始時期は次のとおりです。

・販売価格（予定）：380 万円（税抜）
・販売開始日（予定）：2009 年 3 月

※今後、見直す可能性がございます。

■　カスタマイズ対応

本プログラムについては、機能追加や出力形式の変更等、お客様のご利用目的に応じてプログラムのカスタマイズを受託開発として対応させていただく予定です。ご質問、ご要望などございましたら、本誌最終頁のお問い合わせ先までお願いいたします。

参考文献

1)　地震ハザードステーション J-SHIS
http://www.j-shis.bosai.go.jp/

2)　司宏俊・翠川三郎: 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, No.523, pp.63-70, 1999

3)　安中正・山崎文雄・片平冬樹: 気象庁 87 型強震計記録を用いた最大地動及び応答スペクトル推定式の提案, 第 24 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.161-164, 1997

4)　内山泰夫・翠川三郎: 震源深さの影響を考慮した工学的基盤における応答スペクトルの距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, No.606, pp.81-88, 2006

5)　Kanno, T., A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara and Y. Fukushima: A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data, Bull. Seis. Soc. Am., Vol.96, No.3, pp.879-897, 2006

6)　藤本一雄・翠川三郎: 日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均S波速度分布の推定, 日本地震工学会論文集, Vol.3, No.3, pp13-27, 2003

本稿の記載内容、評価結果は開発段階のものであり、今後見直す可能性がございます。

本稿の一部の図の作成については、GMT Ver.4.1.3 を使用させていただきました。記して感謝いたします。

設計用入力地震動作成システム　2008 年度バージョンアップ

【2008 年度のバージョンアップ項目】

設計用入力地震動作成システムは、2008 年度中にバージョンアップを行います（4.x→5.0）。
本年度のバージョンアップでは、各パッケージの Windows Vista 対応、新規機能の追加、使いやすさの向上のための改良を実施します。
その他、保守契約ユーザ様を対象に最新版プログラム等のダウンロードサービスも開始する予定です。
なお、保守契約ユーザ様および過去のバージョンを保有のお客様へは、特別価格にてご提供する予定です。

【各パッケージの機能追加・リリース予定一覧】

	パッケージ名	追加機能など	リリース予定
設計用入力地震動作成システム	地震荷重設定システム *SeleS* for Windows セレス Version 5.0 販売予定価格：1,890,000円（税込）	・Windows Vistaに対応します。 ・新しい地図データに対応します。	・2009年2月リリース予定
	模擬地震波作成プログラム *ARTEQ* for Windows アーテック Version 5.0 販売予定価格 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）	■共通機能 ・WindowsVistaに対応します。 ・任意の減衰定数の応答スペクトルを目標スペクトルとして設定できる機能を追加します。 ・地域係数を最大1.5まで設定できるよう変更します。 ■フル機能版 ・耐専スペクトル計算機能を追加します。	・2008年12月リリース予定
	成層地盤の地震応答解析プログラム *k-SHAKE+* for Windows ケィシェイク プラス Version 5.0 販売予定価格 フル機能版　：　840,000円（税込） 基本機能版　：　525,000円（税込） 非線形ｵﾌﾟｼｮﾝ　：　315,000円（税込）	■共通機能 ・WindowsVistaに対応します。 ・CSV形式の入力地震動ファイルに対応します。 ■基本機能 ・日本建築学会：「建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計」に掲載されている古山田・宮本・三浦によるひずみ依存特性を追加します。 ・改良型の複素剛性係数による計算機能を追加します。 ■非線形解析機能（オプション） ・復元力特性として、骨格曲線と履歴曲線を別々に設定する方法（石原・吉田の方法）を追加します。	・2008年12月リリース予定
	波形処理プログラム *k-WAVE* for Windows ケィウェイブ Version 5.0 販売予定価格：　210,000円（税込）	・WindowsVistaに対応します。 ・処理状態の保存機能を追加します。 ・スペクトルの平滑化ウィンドウにParzenウィンドウを追加します。	・2008年12月リリース予定

構造計画研究所
KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
エンジニアリング営業部
〒164-0012　東京都中野区本町4-38–13　TEL：(03)5342-1136
〒541-0047　大阪府大阪市中央区淡路町3-6-3 NMプラザ御堂筋ビル5F　TEL：(06)6226-1231
E-mail：kaiseki@kke.co.jp　www.kke.co.jp/kaiseki/

※このパンフレットの記載内容は2008年10月現在のものです。※本製品・サービスの内容の条件は、改善のために予告無く変更することがあります。
※構造計画研究所、構造計画研究所ロゴは、株式会社構造計画研究所の登録商標です。※記載されている会社名や製品名は、各社の商標または登録商標です。

ricomacast

地震リスク評価プログラム

建物に効果的な地震対策の検討を支援する

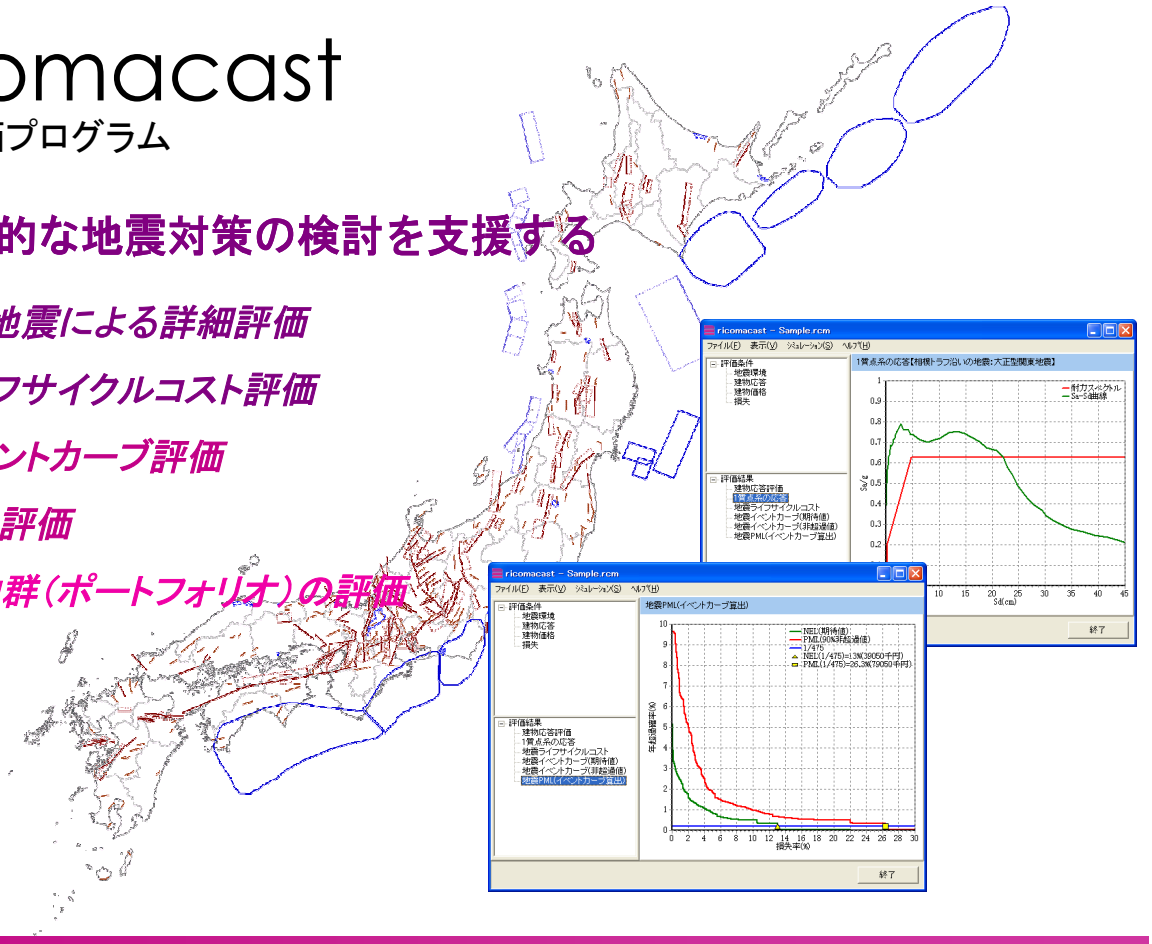
■シナリオ地震による詳細評価

■地震ライフサイクルコスト評価

■地震イベントカーブ評価

■地震PML評価

■複数建物群（ポートフォリオ）の評価



ricomacastとは？

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

震源

現在の工学的知見に基づく地震情報データベースを利用して評価することができます。また、GIS機能を標準搭載しており、建物周辺の地震環境を地図上で確認することができます※1。

[地震情報データベース]

□主要98断層帯※2
□主要98断層帯以外の活断層※2
□海溝型地震※2※3
□震源断層を予め特定しにくい地震※3

※1 国土地理院刊行の数値地図25000（行政界・海岸線）を基本地図として利用
※2 地震ハザードステーションJ-SHISで利用されている防災科学技術研究所の断層形状データを利用。
※3 地震ハザードステーションJ-SHISで利用されている防災科学技術研究所の断層形状データを数値化。

震源特性・伝播経路特性と増幅特性の評価

応答スペクトルの距離減衰式と表層地盤の増幅特性を与えて地震動を評価します。

[距離減衰式・増幅特性]

□安中・山崎・片平（1997）
　・建築基準法に基づく地盤種別の増幅特性
　・ユーザー指定によるサイト増幅特性
□山内・山崎・若松・SHABESTARI（2001）
　・11種類に分類された地盤種別の増幅特性

建物応答評価

応答スペクトル法により建物応答を評価します。建物の耐力スペクトルは、以下の4つの設定方法を用意しています。構造計算や耐震診断結果等に基づいた設定を支援しています。

[耐力スペクトルの設定方法]

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

損失評価

イベントツリー分析により建物損失を評価します。フラジリティおよび再調達価格はユーザーが自由に設定することができます。また、既往の研究結果を参考に設定したフラジリティを内蔵しています。

[フラジリティ]

□鉄筋コンクリート造
□鉄骨造
□鉄骨鉄筋コンクリート造
□非構造部材（加速度依存）
□非構造部材（層間変形角依存）

動作環境

対応OS	：	Microsoft Windows XP　日本語版 Microsoft Windows Vista　日本語版
CPU	：	Pentium　4以上
必要メモリ	：	512MB以上
プロトコル	：	TCP/IP（同一ルータ内で接続されている範囲）
その他	：	USBポートにセキュリティデバイスの接続が必要です インストールには管理者権限が必要です

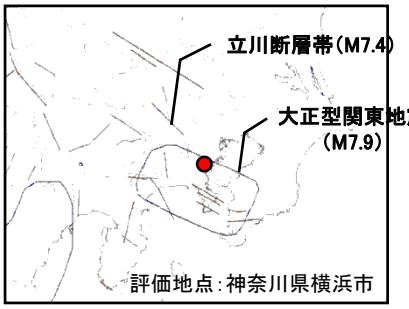
ricomacast をベースとしたシステム開発（受託開発）

ricomacastは単独で動作するソフトウェアですが、お客様のニーズに合わせたカスタマイズに対応いたします。

「自社独自の損傷評価モデルやコストモデルをricomacastに導入したい」、「自社の仕様に合わせたレポート出力機能が欲しい」等のご要望にお応えします。

ricomacast を利用した地震リスク評価例

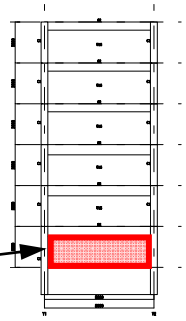
評価地点と周辺の地震環境



建物モデル

・現状
地上6階、RC造
1Fにピロティを有する
旧耐震に準拠した建物
建物再調達費用 3億円

・耐震対策案
1Fピロティに壁を増設
補強費用 1千万円



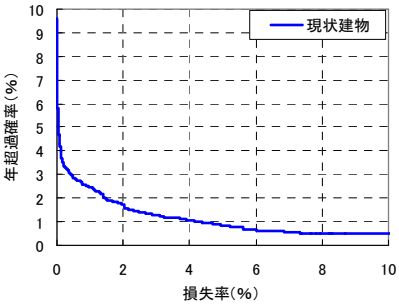
評価条件

距離減衰式:安中・山崎・片平(1997)
地盤種別:第2種地盤(建築基準法)
評価基準日:2007年8月

周辺の地震環境をふまえた現状建物の地震リスクはどの程度?

現状建物の地震リスクを評価します。

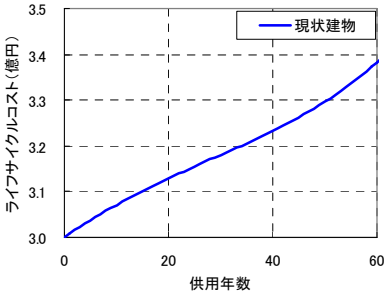
地震イベントカーブ(期待値)



損失率とは、建物が地震を受けたときに生じる損失を建物の再調達費用で除した割合です。年超過確率とは、それ以上の損失が生じる年間あたりの確率です。

再現期間100年(年超過確率1%)の地震に対して予想される損失期待値は約4%(0.12億円)である。

地震ライフサイクルコスト



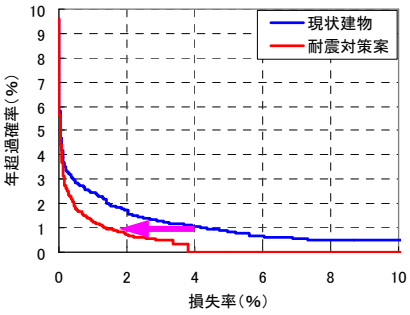
地震がもたらす長期的なキャッシュフロー(ライフサイクルコスト)への影響を評価します。

30年間の地震ライフサイクルコストの期待値は約2千万円。

耐震対策の効果は?

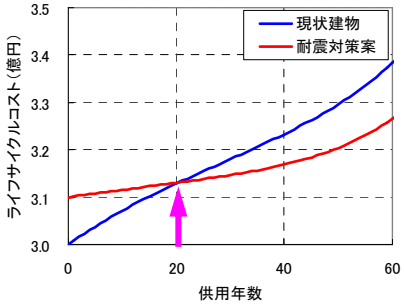
耐震対策前後の地震リスクを比較評価することにより、耐震対策の効果を検討します。

地震イベントカーブ(期待値)



再現期間100年(年超過確率1%)の地震に対して再調達費用の約2%の損失低減。

地震ライフサイクルコスト

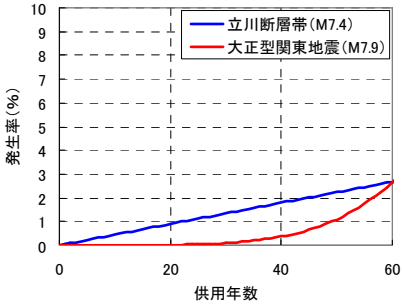


旧耐震基準の現状建物は地震に対するリスクが高いために急勾配のグラフになっています。一方、耐震対策を施した場合には初期投資が発生しますが、地震に対するリスクが低減されるために緩勾配のグラフになります。

耐震対策のために初期投資は発生するが20年後には地震ライフサイクルコストが逆転する。

発生リスクの高い地震は?

建物周辺で予想される地震の発生リスクを地震調査研究推進本部による長期評価結果に基づき評価します。



評価基準日と確率分布(BPT分布、ポアソン過程)により評価します。

M7.4クラスの立川断層帯による地震の40年発生確率は約2%である。

その他にも・・・

ricomacast では、以下のような評価を行うことができます。

□建物の応答結果の確認
シナリオ地震に対する等価1質点系の建物応答評価結果(加速度、変位)を確認することができます。

□地震PMLは?
90%非超過値のイベントカーブより地震PMLを評価することができます。

□複数の建物についての地震リスクは?
複数建物群(ポートフォリオ)の評価を行うことにより、保有する複数の建物に対する地震リスクを評価することができます。

構造計画研究所
KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
〒164-0011 東京都中野区中央4-5-3 防災・環境部
TEL : (03) 5342-1137 E-mail : ricomacast@kke.co.jp
http://www.kke.co.jp/kaiseki/

※このパンフレットの記載内容は2007年09月現在のものです。※本製品・サービスの内容の条件は、改善のために予告無く変更することがあります。
※ricomacast、構造計画研究所、構造計画研究所ロゴは、株式会社構造計画研究所の登録商標です。※記載されている会社名や製品名は、各社の商標または登録商標です。

【コラム】

インフラ施設維持管理における構造解析と構造保全に向けた取り組み



株式会社 構造計画研究所
耐震技術部 構造保全技術室長 矢部 明人

１．はじめに

昭和の高度成長期時代に建設された多くの構造物が一斉に設計上の耐用年数を迎えようとしています．構造物は，その長い供用期間に様々な環境作用の影響を受け劣化します．それは，コンクリートの中性化やアルカリ骨材反応，鋼材の錆，亀裂といった様々な化学的変化として現れます．また，頻発する中小規模の地震や強風，日常の車両通行などの外乱は，構造物の劣化を早め，構造上，致命的になりかねない力学的特性の変化を引き起こします．そのような状態を，万が一にも放置することがあれば，我々の日々の安全を脅かすような重大事故につながります．一方で，その老朽化した構造物の更新や，大規模な補修に当てる為の財政的見通しは不透明なままであり [1]，しかし，その一方で我々が今後とも今の生活水準を維持するにあたっては，老朽化している事実があろうとも，それらの構造物を使い続けることを避けて通ることはできません．そのような背景を基に，供用中の多くの構造物の劣化の進行具合をより正確に把握することが求められており，橋梁構造物においては，国内各地の地方自治体においては Bridge Management System（BMS）の導入をはじめとする構造物の診断・調査の取り組みが進められています．

これまでも，いわゆる定期点検による構造物の安全性や第 3 者影響度に係わる確認は行われています．しかし，設計上の耐用年数を迎え，あるいは超えて供用される構造物にあっては，余寿命を予測し，更新や補強が必要な時期を見極める為に，より頻繁に精緻に点検結果を定量化することが必要です．しかし，財政面，技術者確保の面で，現実的には全て老朽化構造に対して，これまで通りの点検を踏襲し，点検頻度を高めることは困難であると考えられます．

そこで今日，橋梁をはじめとする各種構造物の維持管理を目的とした構造ヘルスモニタリングの有用性が注目されています．得られた計測データから損傷劣化を検知し，荷重をはじめとする様々な作用を推定し，健全度判定や，橋梁の正確な寿命予測や，劣化進展に合わせた LCC(Life Cycle Cost）最小化のための検討に利用されています [2]．構造ヘルスモニタリングを含めたインフラ維持管理システム全体像を図-1 に示します．

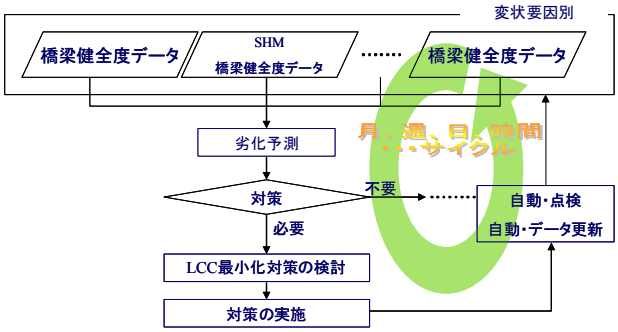


図-1 SHM を含めた BMS と構造物の維持管理サイクル

一方で SHM から得られたデータを基に，より簡易に健全度を定量化する方法についての成果はいまだ数少ないのが現実で，有効な手法の開発が急がれています．

２．維持管理サイクルにおける解析エンジニアリングとモニタリングの関係

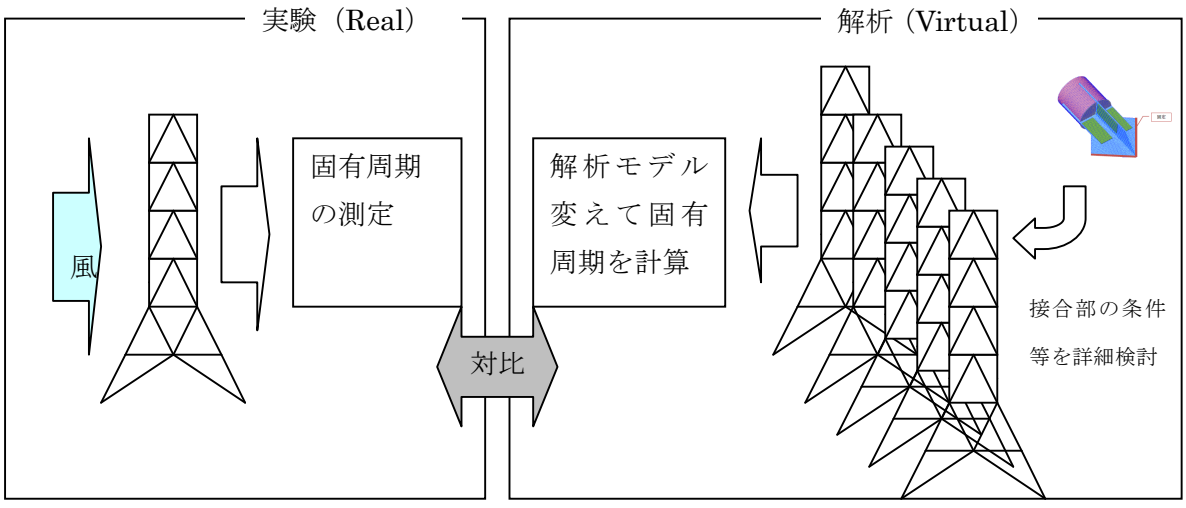
SHM 導入を検討するに当たって，実際に加速度，変位，歪みと言った物理量を計測し，その情報から維持管理に必要な構造工学的指標として利用する場合に，その実測情報のみで，有効なデータであるかどうかの識別や，現状の把握，劣化の予測を行うことは困難です．一般に計測情報から意味のある情報を抽出するに当たっては，実験計測がそうであるように，「実測データ」と「構造解析」がセットとなってその双方の結果を補完し合いながら，現状の把握における評価データとして信頼度を高めることが行われます．そう言った意味で SHM においては「実測＝Real」と「構造解析=Virtual」は双対関係をなしており，実測データが存在すれば，そのデータの信憑性を裏付けるための構造解析結果が存在し，その解析結果の信憑性を担保するためにまた，実測データが存在するといった関係にあります．図-1 の維持管理サイクルのデータ収集とその評価・予測，各フェーズにおいて，それらのデータ相互補完は行われており，モニタリングと構造解析の相互補完関係を構築することが SHM を利用した点検サイクルを健全に回し続ける一つの重要な要素となっています．

３．最近の取り組み

以上，インフラ施設維持管理における SHM に対する期待と SHM 導入に当たっての実測と解析の関係の重要性について触れてまいりましたが、ここでは，実際の「Virtual」と「Real」による相互検証において，実際に行われた構造解析事例と，現在当部門と茨城大殿と共同で進めている FBG（Fiber Bragg grating）歪みセンサを用いた実橋梁の計測と解析事例の紹介をいたします．

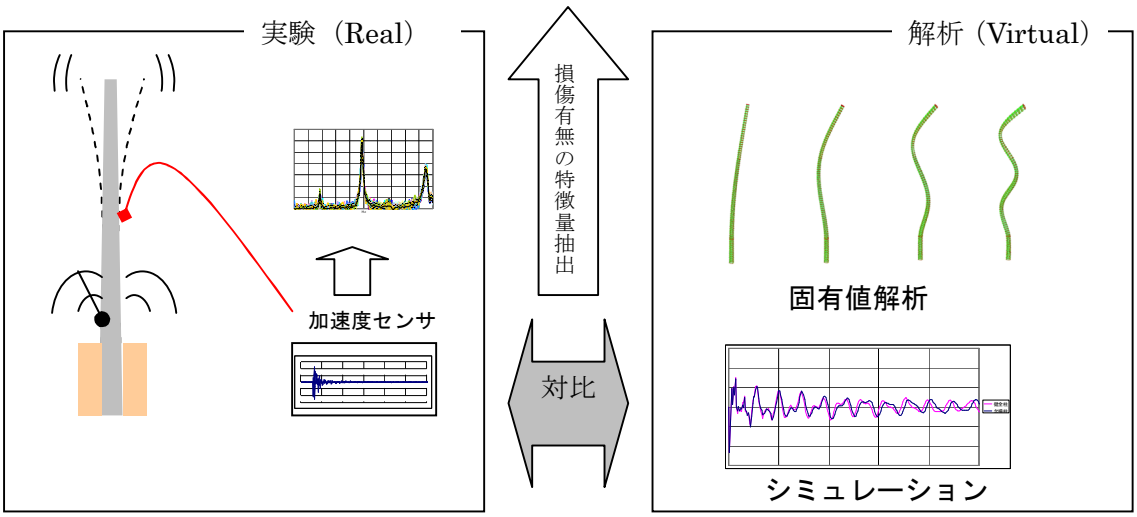
（１）鉄塔構造物

鉄塔構造物を対象とした損傷要因把握の為の解析事例です．実測およびその結果による実固有振動数をご提供いただき，設計時の解析モデルを元により実測に即した固有周期となる構造解析モデルを推定・同定し，損傷の要因（この場合は共振）を検討した事例です．



（２）ＣＰ柱

ＣＰ柱を対象とした損傷検知の為の構造解析と実測事例です．損傷有り無しのＣＰ柱に対して，打突による弾性衝撃振動を加速度センサを用いて計測し，弾性衝撃シミュレーションの結果と照らし合わせることで計測した加速度波形から損傷有無の特徴量を抽出する事を目的とした研究開発事例です．本件では，弊社にて加速度センサを用いた計測を行っております．

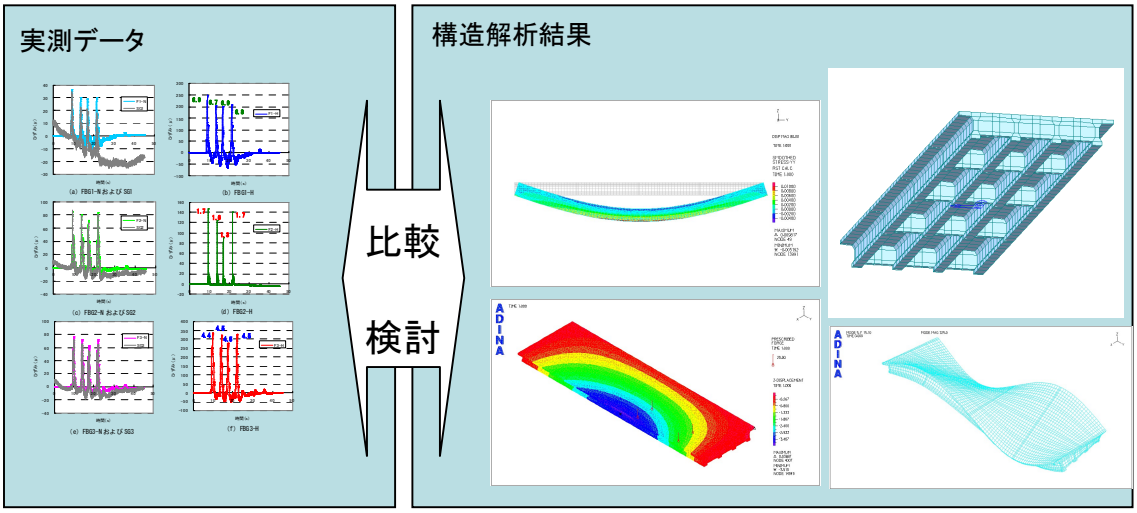


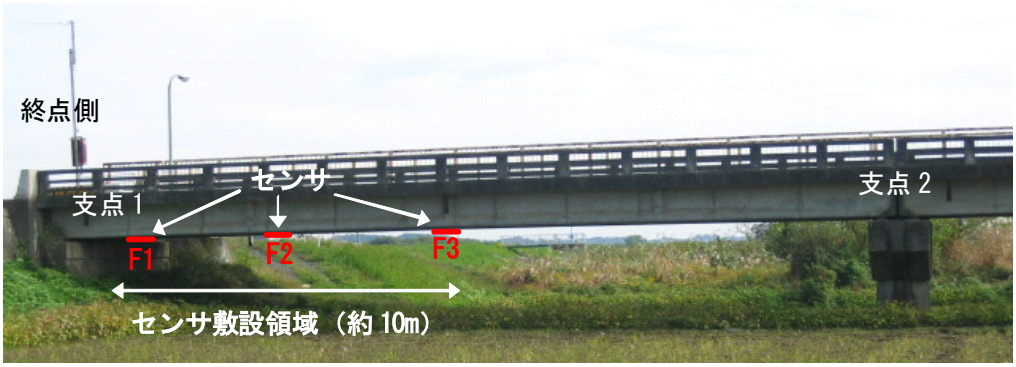
（３）川根大橋 FBG センシング事例

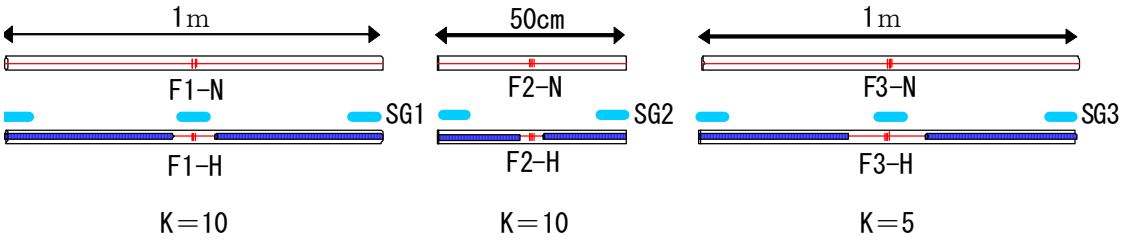
川根大橋（茨城県東茨城郡　1 スパン 22m×6 スパン全長 130m・RC 造）を対象橋梁として，分布型ロングゲージ FBG センサにより測定し，動的分布ひずみ情報を用いて，橋梁の健全性評価システムを構築した事例です．本橋梁は供用後 44 年以上が経過しており，局部的には遊離石灰の発生といった軽微な損傷は見られますが，構造性能に影響するような大きな損傷は生じていません．



自動車の走行や環境振動により発生している動的な分布ひずみ情報を FBG センサにより収集し，構造解析結果との比較により構造的な劣化状況を迅速かつ簡便に評価できるシステムを構築しました．







４．最後に

今後よりいっそうインフラ施設に対する合理的な維持管理の仕組みが必要とされることが予想されます．そう言った時代に今我々の持っている解析技術をどのように有効利用していくか，また多様化する解析ニーズに応えていくかが重要であると考えております．今回は限られた紙面にての事例紹介でありましたが，維持管理を目的とした実構造物における「Virtual」と「Real」の対比事例や，「DALIA」（移動活荷重のシミュレーション技術:別項参照）を用いた比較的新しい解析技術の事例も今後増えていく物と考えております．今後とも，皆様からの期待にお応え出来るように，新分野へ技術開拓に向けたチャレンジを続ける所存です．

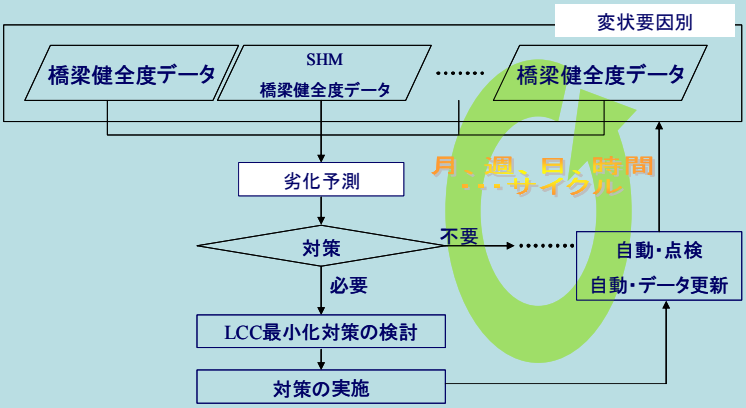
参考文献

1) 国土交通省，国土交通白書 2006.

2) （社）土木学会：橋梁振動モニタリングのガイドライン，構造工学シリーズ，No10，2000.

FEMとモニタリングを活用した
構造保全技術の紹介
～安心・安全を支える技術～

今日，橋梁をはじめとする各種構造物の維持管理を目的とした構造ヘルスモニタリングの有用性が注目されています．得られた計測データから損傷劣化を検知し，荷重をはじめとする様々作用を推定し，健全度判定や，構造物の正確な寿命予測や，劣化進展に合わせたLCC(Life Cycle Cost)最小化のための検討に利用されています．構造ヘルスモニタリングを含めたインフラ維持管理システム全体像を下図に示します．



SHM導入を検討するに当たって、実際に加速度、変位、歪みと言った物理量を計測し、その情報を維持管理に必要な構造工学的な指標として利用する場合に、実測情報のみで、有効なデータであるかどうかの識別や、現状の把握、劣化の予測を行うことは困難です。一般に計測情報から意味のある情報を抽出するに当たっては、「実測データ」と「構造解析」がセットとなってその双方の結果を補完し合いながらより現状の把握における評価データとしての信頼度を高めることが行われます。

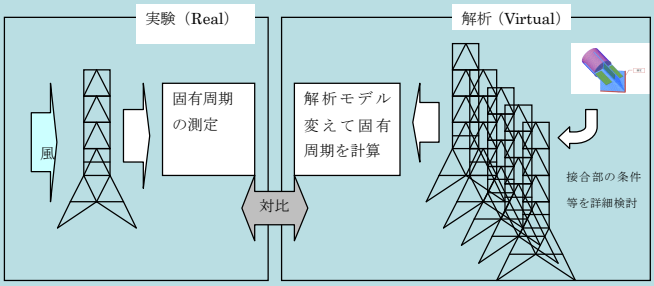
これまでの提案ソリューションのご紹介

当社では、環境問題、維持管理対策等様々な目的で実測データを保有されている方々へ、構造解析技術を応用した様々なソリューションのご提案をさせていただいております。また、最近においては、実測と合わせた、トータルでの安全管理に関わるソリューションのご提案も行っております。今後とも、我々が保有する要素技術を駆使し、安全管理に関わる様々な諸問題に対して、お客様に一番あったソリューションご提案をして参ります。

＜使用実績のある要素技術＞

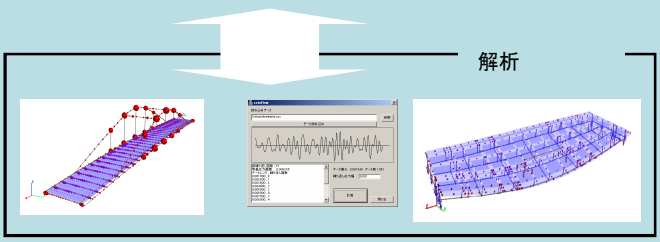
- FEM構造解析
- FFT、ウェーブレット等の波形処理
- 加速度センサ計測
- FBGによる歪み計測
- レーザ変位計測
- HMMによる状態推定と予測

実測と固有値解析による構造同定問題



実測とDALIA(走行振動解析)による環境振動・疲労対策検討

実測との対比

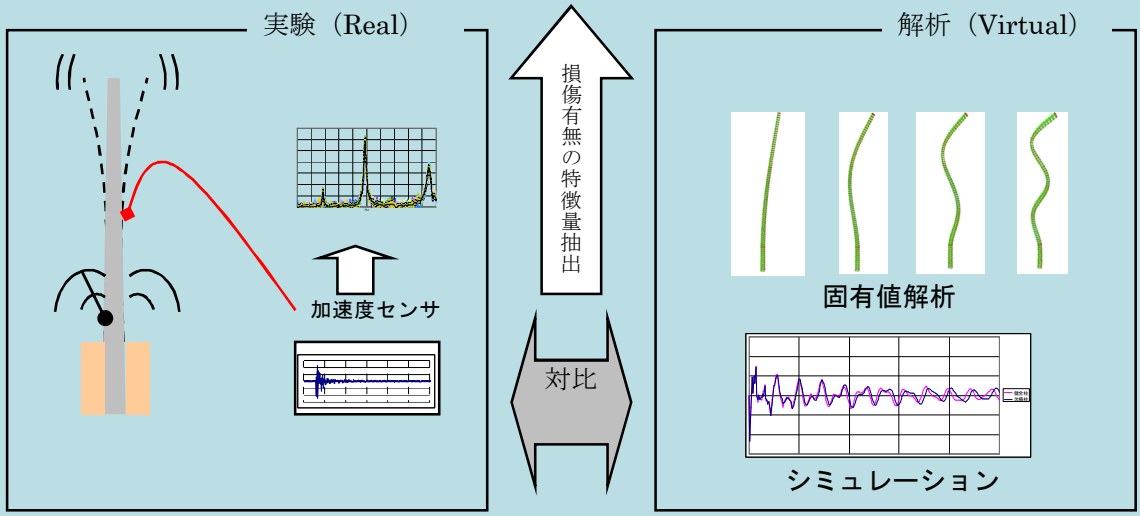


連絡先：構造計画研究所　耐震技術部　構造保全技術室　03-5342-1138 hozen@kke.co.jp

CP柱弾性衝撃波計測による損傷有無の検知技術の研究開発

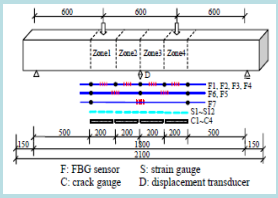
CP柱構造物を対象とした損傷検知の為の構造解析と実測事案です。損傷有りなしのCP柱に対して、打突による弾性衝撃振動を加速度センサ用いて計測し、弾性衝撃シミュレーションの結果と照らし合わせることで計測した加速度波形から損傷有無の特徴量を抽出する事を目的とした研究開発事案です。本件は、弊社にて加速度センサを用いた計測を行っております。

CP柱衝撃構造解析を用いた実験計画
↓
CP柱弾性衝撃波計測実験
↓
構造解析の実施と実測との対比
↓
損傷有無に関する特徴量の抽出



※要素技術キーワード：FEM,FFT,加速度センシング，ノイズ除去技術，特徴量抽出技術

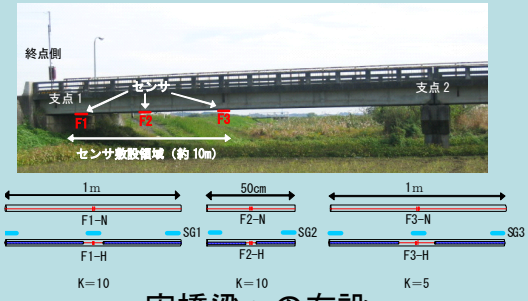
FBGひずみセンサ配置計画最適化検討および実橋梁での計測



構造解析によるセンサ配置間隔の検討

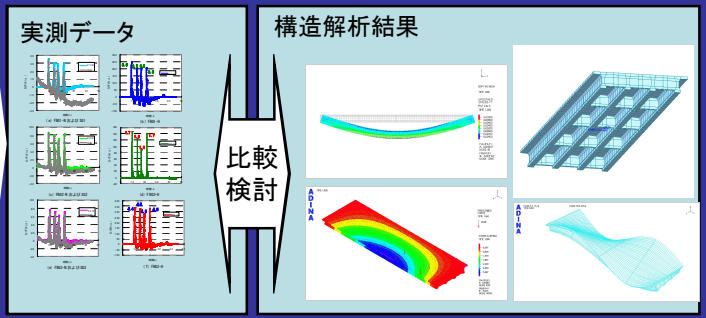
↓

最適配置間隔の決定



実橋梁への布設

FEMによるFBGセンサー配置計画
↓
実橋梁への布設と実測
↓
実測による歪み計測
↓
構造解析の実施と実測との対比
↓
橋梁健全度特徴量の抽出



※FBGセンサー最適配置計画および実橋梁計測実験は茨城大学との共同研究開発です

連絡先：構造計画研究所　耐震技術部　構造保全技術室　03-5342-1138 hozen@kke.co.jp

活荷重と構造物の動的相互作用解析プログラム

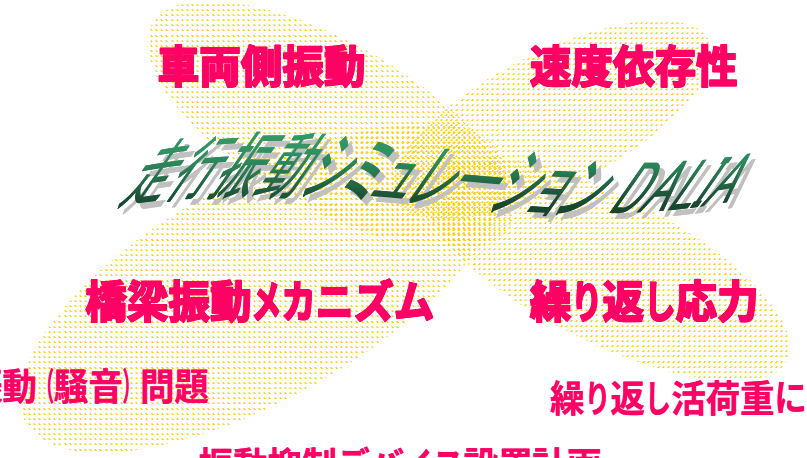
DALIA

ver 1.00

Dynamic interaction Analysis program for LIve load and Any structure

乗り心地性能評価用

車両側デバイスの性能評価用　　**運行計画**



環境振動（騒音）問題　　**繰り返し活荷重による疲労問題**

振動抑制デバイス設置計画

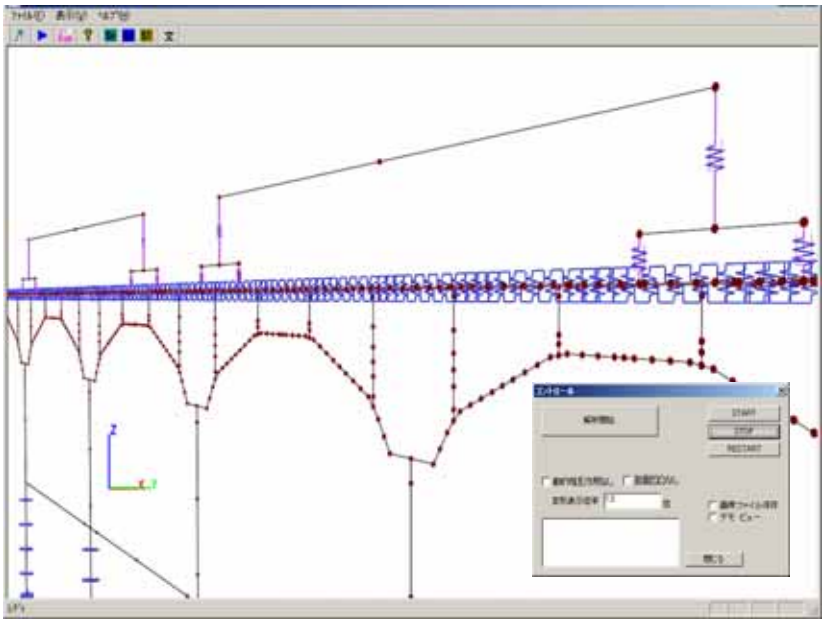
モニタリングセンサー設置計画

☆CSV形式でのテキストデータ書式　各種表計算ソフトが利用可能

☆入力したデータをすぐに確認

3D部材表示機能搭載

スペック	
バネ	2自由度間バネ
ビーム	材端バネビーム
板曲げ	ミンドリン・ライスナー8点厚板要素
ソリッド	8点1次立体要素
ダンパー	2自由度間ダンパー
節点数	10000
要素数	10000
構造減衰	レーリー減衰
計算方法	サブストラクチャー法
応答計算方法	ニューマークベータ法による直接積分
固有値解析手法	サブスペース法
データ書式	CSVフォーマット書式
出力	節点：加速度、変位履歴
	要素：バネ、ビーム断面力履歴
	その他、固有モード図、応答変位図（BMP）



※　車両情報、軌道狂い等の情報はプログラムに含まれていません

製品・運用環境

製品　　プログラム・マニュアル一式をメール及び、専用ダウンロードサイトより配布

運用環境　機種：IBM PC/AT互換機
OS：Windows 2000,Xp
CPU：PentiumIII以上推奨（OpenGL対応グラフィックカードが必要です）

価格　　価格表を参照

取り扱い元：（株）構造計画研究所 〒164-0011 東京都中野区中央4-5-3 耐震技術部 構造保全技術室
電話：03-5342-1138　　FAX：03-5342-1236　　hozen@kke.co.jp

設計業務を広範囲でサポートする構造解析システム

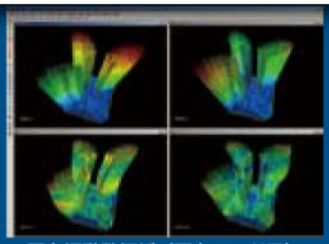
midas Gen マイダス／ジェン

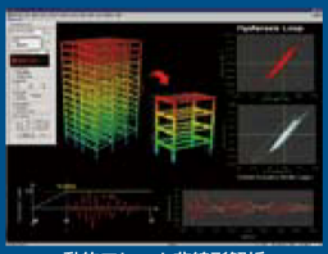
ボリューム・キャンペーン実施中

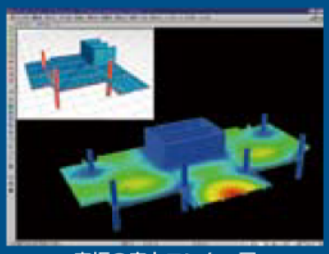
プラスワン「＋１キャンペーン」実施中

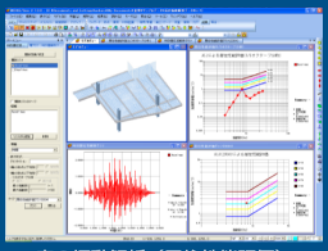
- 静的線形解析
- 静的フレーム非線形解析
- 静的材料非線形解析
- 動的線形解析
- 動的フレーム非線形解析
- 免震制振解析
- 座屈解析
- Pーデルタ解析
- 幾何学的非線形解析
- 施工段階解析
- 水和熱解析
- 断面算定
- 断面DB設定
- 構造図作成
- メッシュ・ジェネレータ

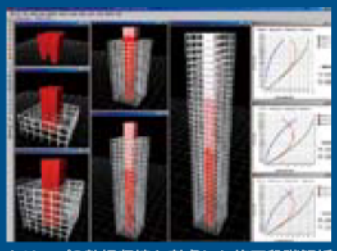

層の自動生成機能を使ったモデリング

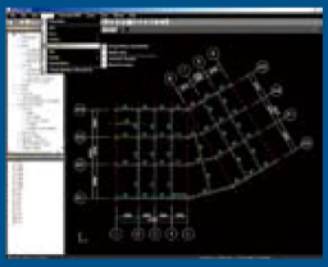

固有振動数解析（固有モード図）


動的フレーム非線形解析


床板の応力コンター図


床の振動解析（居住性能評価）

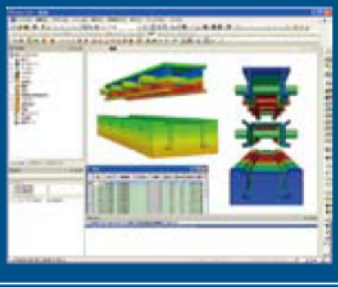

クリープ&乾燥収縮を考慮した施工段階解析


図面自動生成


図面・断面リスト出力

midas FEA

建設用 FEM専用解析ツール



midas Gen 及び midas DrawingShopは、MIDAS IT社の商標です。
midas FEAは、JIPテクノサイエンス社の商標です。　表記の社名及び製品名等は、各社の登録商標または商標です。

各種お問合せ先

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

耐震技術部 midas Gen担当
TEL：03-5342-1050　FAX：03-5342-1238
Mail：midas@kke.co.jp

【新サービスのご紹介】

粒子法を用いた解析コンサルティングサービスのご紹介

構造計画研究所はプロメテック・ソフトウェア株式会社と業務提携し、粒子法を用いた解析コンサルティングサービスを開始しました。

粒子法には流体計算に用いられる今までの差分法や有限要素法に比べて、以下のような特徴があります。

1. メッシュ作成がいりません。CAD 形状があれば粒子を配置するだけで解析モデルを作成できます。モデルの作成に要する時間が大幅に短くなります。
2. 強力な自由表面計算機能。波しぶきなどの分離や合体も計算できます。
3. 剛体－流体連成解析機能。剛体移動を計算できます。移動境界も可能です。

粒子法とは？

粒子法（MPS 法：Moving Particle Semi-implicit Method）は、東京大学大学院工学研究科の越塚教授が独自に考案した新しい流体シミュレーションの手法で、水や空気などの流れを粒子の動きで模擬します。差分法や有限要素法のように格子や節点などに対して離散化するのではなく、微分演算子：勾配・発散・ラプラシアンに対応する以下のような粒子間相互作用モデルを用いて離散化します。

粒子間相互作用モデル

$$\text{勾配：}\left\langle \nabla\phi \right\rangle_i = \frac{d}{n^0}\sum_{j\neq i}\left[\frac{(\phi_j-\phi_i)(\mathbf{r}_j-\mathbf{r}_i)}{\left|\mathbf{r}_j-\mathbf{r}_i\right|^2}\mathrm{w}\left(\left|\mathbf{r}_j-\mathbf{r}_i\right|\right)\right]$$

$$\text{発散：}\left\langle \nabla\cdot\mathbf{u} \right\rangle_i = \frac{d}{n^0}\sum_{j\neq i}\left[\frac{(\mathbf{u}_j-\mathbf{u}_i)\cdot(\mathbf{r}_j-\mathbf{r}_i)}{\left|\mathbf{r}_j-\mathbf{r}_i\right|^2}\mathrm{w}\left(\left|\mathbf{r}_j-\mathbf{r}_i\right|\right)\right]$$

$$\text{ラプラシアン：}\left\langle \nabla^2\phi \right\rangle_i = \frac{2d}{\lambda n^0}\sum_{j\neq i}\left[(\phi_j-\phi_i)\mathrm{w}\left(\left|\mathbf{r}_j-\mathbf{r}_i\right|\right)\right]$$

重み関数と粒子数密度

$$\text{粒子間の関係を規定する重み関数：}\ \mathrm{w}(r)=\begin{cases}\dfrac{r_e}{r}-1 & (0\le r<r_e)\\ 0 & (r_e\le r)\end{cases}$$

$$\text{粒子数密度：}\ n_i=\sum_{j\neq i}\mathrm{w}\left(\left|\mathbf{r}_j-\mathbf{r}_i\right|\right)$$

ここで

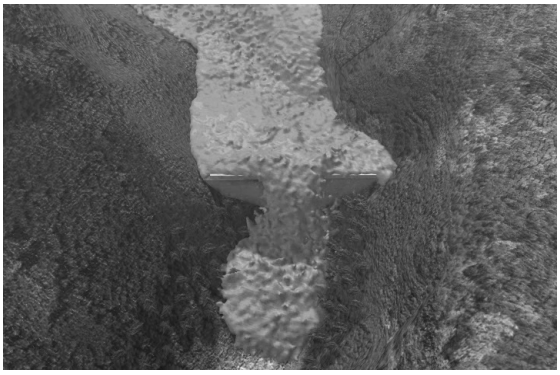
r：粒子間距離、r_e：影響半径、n_i:粒子数密度

参考文献　越塚誠一著：粒子法（丸善株式会社、2005）

粒子法による解析例

粒子法を用いたコンサルティングサービスでは、粒子法の特徴である自由表面計算機能、剛体－流体解析機能を生かした解析が可能です。土石流や津波・洪水などの自由表面のある流れや、溢流を考慮した浮き屋根のあるタンク内のスロッシング解析など従来の解析では難しかった現象を対象としています。

◎土石流



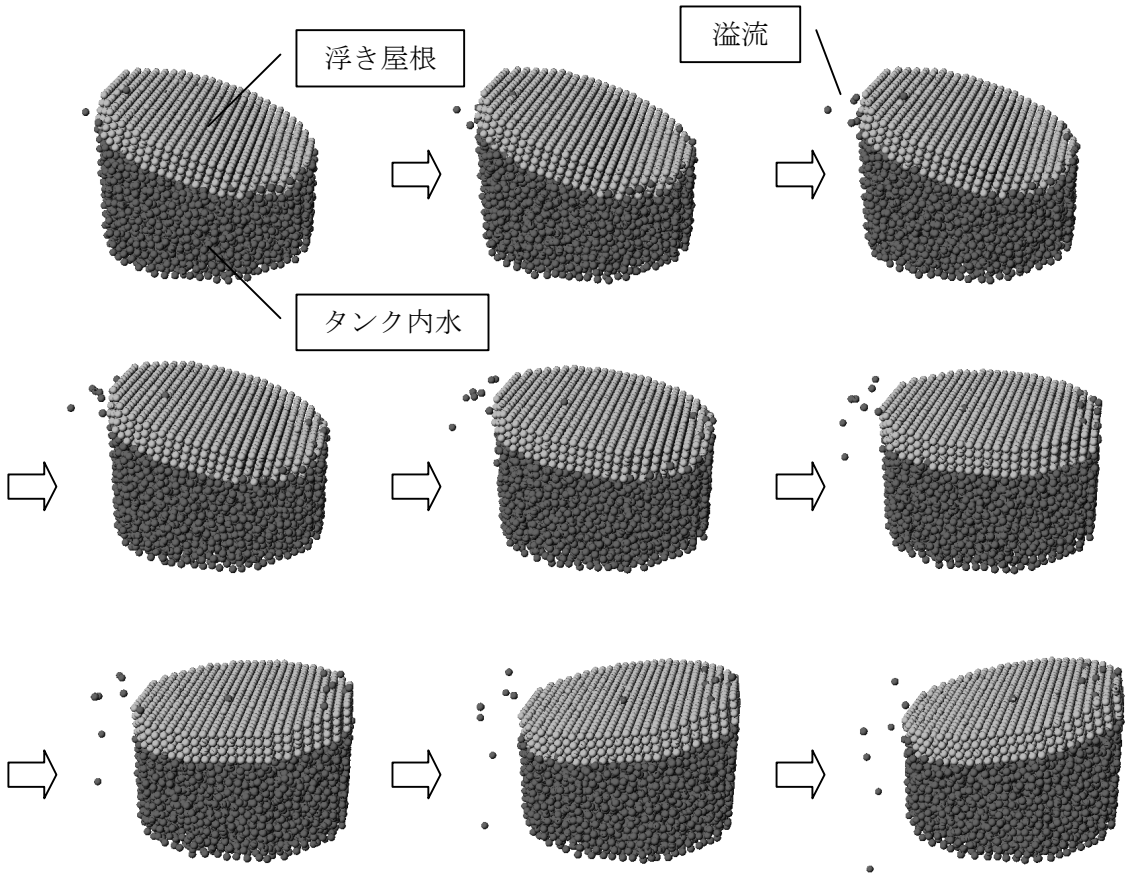
@Prometech Software,Inc.

◎都市洪水（地下施設への流入）



@Prometech Software,Inc.

◎浮き屋根のあるタンク内のスロッシング



ＲＣ架構の柱軸力変動を考慮するためのファイバモデルの開発と評価

正会員　○梁川 幸盛*
宇佐美 祐人*

鉄筋コンクリート　ファイバモデル　マルチスプリング
柱軸力

はじめに

超高層ＲＣ造建物の構造設計の場面では、柱の端部の曲げモーメント－軸力相関関係を評価するための数値解析モデルとして、塑性論モデル [1]が用いられてきた。塑性論モデルは、降伏後に生じる様々な状態変化（弾性領域への戻り・再降伏など）の判定、接線剛性の決定、および、履歴規則への適合において矛盾無く評価決定することが難しいため、実務での運用では工学的判断が必要とされているが、塑性化の程度が小さい領域では、こうした問題が顕在化しにくく扱い易いモデルと考えられる。

しかし、近年では塔状比が大きい（4 を越える）計画のために極端に軸力変動が大きくなること、また任意の断面形状を持つ連層壁を有する計画など、塑性論モデルが不適切となる状況が増えてきている。筆者らは、断面内の力の釣り合いを評価するためにマルチスプリングモデル [2]（材断面中央に弾性バネ、曲げに関わるバネとして四隅の４本に断面を単純化したモデル）を検討したが、断面内の挙動を大胆に代表化させたバネの設定が難しく、特に大変形・高引張軸力下において挙動を安定化させることが難しいことが分かった。

このため、筆者らはファイバモデル [3]を採用することにしたが、終局時に至る解析を安定させるためには細かい断面分割（以下セグメントと呼ぶ、文献 [4] では縦 100×横 100 分割で１万セグメント）が必要であり、実務設計に利用するには負担が大きいことが分かった。

そこで筆者らは、ファイバモデルに工夫を加え、セグメント分割を粗くしても、安定的に数値解析が進み、精度面の問題が少ない計算方法を検討したので報告する。

ファイバモデルの計算方法と精度検証

通常、ファイバ断面モデル（図 1）の増分軸力（ΔN）・増分曲げモーメント（ΔM）は、下式のように表される。

$$\Delta N = \int \sigma \cdot dA = \sum \sigma_i \cdot A_i$$
$$\Delta M = \int \sigma \cdot y \cdot dA = \sum \sigma_i \cdot A_i \cdot y_i \quad \cdots\cdots(1)$$

ここで、σｉ：ｉ位置での断面応力度
A_i：ｉ位置での断面積、
y_i：図心からｉ位置への距離

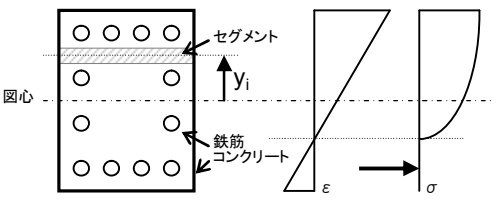


図１　断面図・ひずみ（ε）と応力（σ）分布

通常、(1)式の積分式を離散化した総和（Summation）に置き換えて計算することが行われている。これは、鉄筋のように離散集中断面の場合には計算精度の問題が無いが、コンクリート断面のように連続体の場合には積分の精度が低下する可能性がある。この場合には FEM で用いられるガウス等の高次積分を採用するべきと考えられる。ここでは、積分点が等間隔となる表１の公式 [5]を用いる。

表１　１次元ニュートン・コーツ公式（９点積分）

積分位置	重み	
0	-4540/14175	積分位置は長さ２、中央座標位置ゼロとした場合の位置を示す。本９点積分の等価多項式次数は９である。
±1/4	10496/14175	
±2/4	-928/14175	
±3/4	5888/14175	
±1	989/14175	

本積分方法の精度を確認するために、本方法（9 分割数値積分）と単純総和（10・20・30・100・1000 分割）とを比較した。対象断面を図２～３に示す。比較は、軸力を引張耐力の 1/2 で固定し、曲げモーメントを増分して圧縮側縁ひずみが 0.6%となる時点において行った。単純総和方式の 1000 分割による結果を基準点として相対比較した。

比較結果を表２に示す。表によれば、文献 [4]にて単純分割法で 100 分割を採用したことは妥当であると確認できる。本方法は単純総和の 10 分割よりは良い精度であるが、積分式を工夫するよりは、分割数を増す方が良い推定精度につながることが確認できた。

表２　積分方法の違いによる比較

積分方法		曲率	曲げﾓｰﾒﾝﾄ	接線剛性
本法(9 分割)		109.3 %	101.2 %	182.5 %
単純総和式	10	114.2 %	99.9 %	224.5 %
	20	97.2 %	99.9 %	93.1 %
	30	98.8 %	100.0 %	101.5 %
	100	99.9 %	100.0 %	100.5 %
	1000(基準)	100.0 %	100.0 %	100.0 %

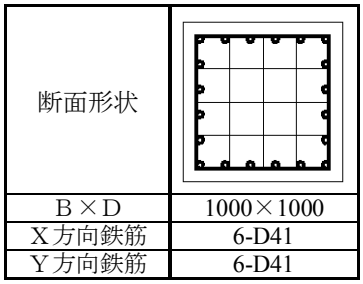


図２　柱断面(Fc60,SD490)

Development and Evaluation of Fiber-Column-Model for consideration of Axial-Force and Bending Moment Interactions for R.C. Frames.

Yukimori YANAGAWA, Masato USAMI

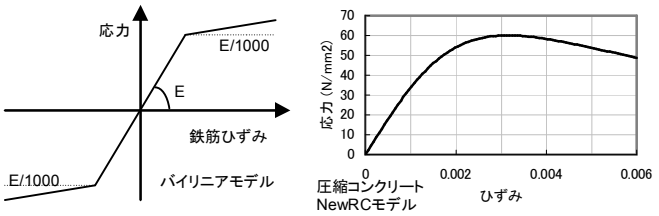


図３　鉄筋・コンクリートの応力ーひずみモデル [6)]

中立軸位置を調べると、圧縮縁から断面サイズの 10%程度の所であるため、精度を高めるためには中立軸位置周辺で十分分割されている必要があると考えられる。

フレームモデルによる精度検証

柱モデルは、図４に示すように材長方向に節点間を５分割した梁要素とし、端から「接合部内剛域」-「塑性ヒンジ領域」-「中間部」-「塑性ヒンジ領域」-「接合部内剛域」と分割した。

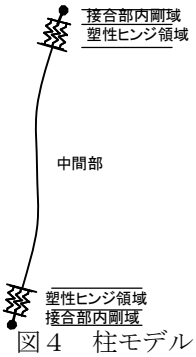


図４　柱モデル

塑性ヒンジ領域は、端部に近い位置において曲げモーメントを評価することにし、領域全体の剛性を一律に低下させた。中間部は、両端のうち曲げモーメントが大きい方を同様に評価することにした。

ファイバモデルは、基本的に領域中の平均曲率を評価するため、平均曲率(ϕ)を基に端部の最大曲げモーメント位置での曲率(ϕ')を下式にて求めた。

$$\phi' = \phi + \frac{Q \cdot L_p}{2 \cdot E \cdot I} \quad \cdots\cdots (2)$$

ここで、Q：柱のせん断力、

L_P：塑性ヒンジ領域長さ

E：その時点のヤング係数、

I：その時点の断面二次モーメント

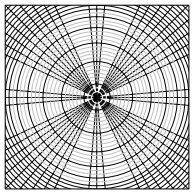


図５　断面分割

柱断面の分割は、前節の結果を踏まえ図５に示すように放射方向に対数分割（四隅は等分割）、円周方向に等分割した約 700 セグメント（比較のために 100 分割・10000 分割の解析も行う）として今回の高次積分式を採用した。

試解析モデルとして、図６に示す純ラーメン構造の 30 階建てＲＣ造架構を取り上げ、荷重増分解析にて崩壊形を調べた。１階柱の断面は図２と同じとし、全層の柱を同じ分割数のファイバモデルとした。

表３　ファイバ分割数と解析の収束性

断面分割数	非収束せず計算打ち切りとなる荷重倍率[注)]	引張側１階柱に起因する最終状況
100 分割	1.610	反復計算収束せず
700 分割	2.085	変形の過多で停止
10000 分割	2.093	

注）設計用せん断力に対する比

解析結果の状況を表３に示す。同表によれば、ファイバ分割数が少なく場合には、引張側の１階柱に負剛性が発生し反復計算が収束しない。分割数が在る程度確保できている場合には、安定的に崩壊形が得られる。

最終的に全体変形が過大となって解析打ち切りとなるが、そのきっかけとなるのが、図７に示す１階柱の挙動である。図によれば、引張側柱が、曲げ耐力曲線（圧縮縁ひずみ＝0.3%時）に達した後、曲線上を推移するが、この直後に大部分の梁の端部に降伏ヒンジが発生し、崩壊形が得られる。断面分割数が 100 の場合には、耐力曲線に達する前に計算が収束しない。

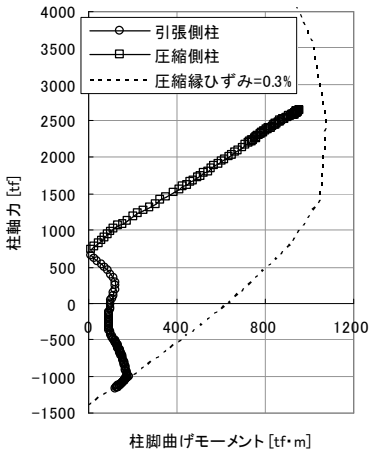


図７　１階柱（引張側・圧縮側）の軸力ー曲げモーメント履歴曲線

まとめ

1. ファイバモデルの積分式を改善することにより、若干の精度改善を行うことが出来るが、中立軸位置を考慮した分割数の確保の方が計算精度への影響が大きい。
2. 断面分割では、圧縮縁近傍では放射方向に柱せいの 1/30 以下となることが望ましい。
3. 柱のファイバ断面分割を放射状に行い（約 700 分割）、終局時まで安定的に荷重増分解析を行うことが出来た。高層ＲＣ造の設計解析での指標となると考えられる。

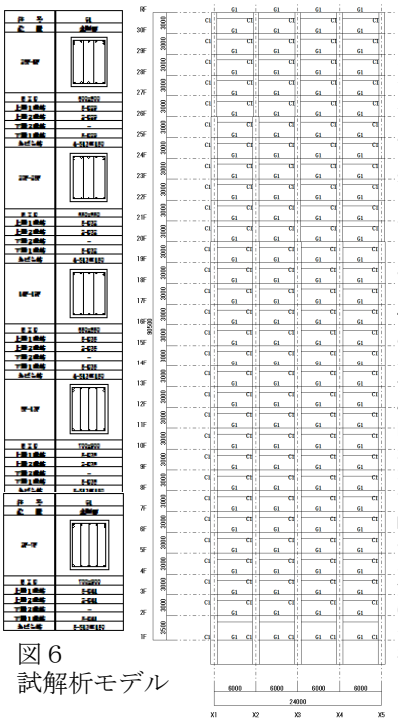


図６
試解析モデル

1）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.

2）小谷俊介・青山博之ほか「軸力ー曲げモーメントの相互作用を考慮した鉄筋コンクリート構造物の弾塑性振動応答」日本建築学会大会学術講演梗概集,構造Ⅱ,pp.303-304,1988.

3）岡田恒夫・関松太郎「電算機ー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。

4）長屋圭一・堀田久人「FIBER-MODEL を用いて柱の曲げ軸力連成挙動を考慮した RC 骨組の地震応答解析」日本建築学会大会学術講演梗概集,構造 B2, pp.25-26,2000。

5）鷲津久一郎ほか「有限要素法ハンドブックⅠ基礎編」培風館,1981.

6）建設省総合技術開発プロジェクト「New RC 研究開発概要報告書」,pp.3-2-79～3-2 -98, 平成4年度。

＊ 構造計画研究所

＊ KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

建築構造物の耐震解析プログラム

RESPシリーズ

建築構造の高性能化を支援し続ける構造解析プログラム

Bird-21 Ver.UP
構造基本検討プログラム〈許容応力度法計算、概算数量計算、3次元CG〉

Bird-21オプション
・保有水平耐力計算
・ひび割れ応力断面算定
（RESP－F３解析結果の読み込み）

新商品
ricomacast®
地震リスク評価
プログラム

RESP-F
2次元フレーム
弾塑性解析プログラム

RESP-F3 Ver.UP
3次元フレーム静的弾塑性解析
プログラム（限界耐力計算機能付）

RESP-F3D Ver.UP
3次元フレーム
動的弾塑性解析プログラム

ULT-DS
RC造の靭性保証型
耐震設計検討プログラム

新商品
RESP-F3T
3次元フレーム
汎用解析プログラム

RESP-QDM
復元力特性モデル化プログラム

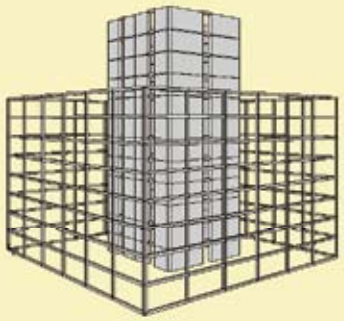
RESP-M3
建築構造物の疑似立体弾塑性
解析プログラム

RESP-M/Ⅱ
建築構造物の
弾塑性解析プログラム

RESP-S
地盤－杭－建物系の
地震応答解析プログラム



RESP-F3T 適用事例（イメージ図）



・コア壁　・境界梁ダンパー
・フラットスラブ　・ロッキングダンパー

RESP&Bird-21最新情報

- Bird-21　より使いやすく、アンボンドブレースに新規対応
- RESP-F3　地盤－杭－建物 の一体増分解析、V字柱に対応
- RESP-F3D　基礎免震、制振装置（粘性・粘弾性・流体）に対応
- RRESP-F3T　上下動解析・コア連層壁（ファイバー要素）に対応
- ULT-DS　靭性保証だけでなく SH-RC（UR 都市機構）に対応

RESPシリーズ適用事例

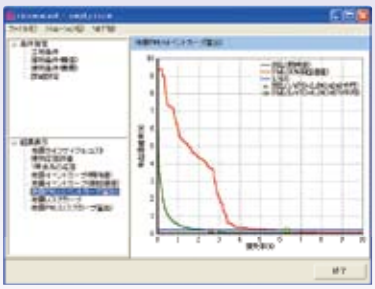
- 超高層・高層RC建築の地震応答解析、断面設計
- 免震建築、超高層免震建築解析
- 各種制震構造解析（曲げせん断分離型制振要素）
- 不整形構造のねじれ応答解析
- 非剛床構造の静的動的解析
- 高層建築、免震建築の地盤-杭連成解析
- 長大構造物の位相差入力解析
- 大スパン構造物の上下動水平動同時入力解析
- 高層建築の風応答解析（風洞実験に基づく外力を作用）

地震リスク評価プログラムricomacast®新登場

建物が保有する地震リスクを、周辺の地震環境を考慮して評価します。ricomacast®には、地震リスクの評価に必要な専門知識と、日本全国の地震データベースが統合され、簡単な操作で地震リスク評価を行うことができます。単独利用の他に、Bird-21保有水平耐力データ読み込みが可能です。



半径300km以内の活断層の検索例



地震PMLの計算例

● 短時間で構造基本検討・数量計算が可能なBird-21が大好評●

実績豊富なRESPシリーズを１ヶ月単位でレンタル利用いただけます。　また、解析業務の受託も承っております。

構造計画研究所
KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
http://www.kke.co.jp

株式会社 構造計画研究所　耐震技術部
〒164-0011　東京都中野区中央4-5-3　TEL：(03) 5342-1138　E-mail：resp@kke.co.jp
RESP ホームページ：http://www.kke.co.jp/resp/

※このパンフレットの記載内容は２００８年９月現在のものです。 ※本製品・サービスの内容および条件は、改善のために予告無く変更することがあります。
※構造計画研究所、構造計画研究所ロゴは、株式会社構造計画研究所の登録商標です。※記載されている会社名や製品名は、各社の商標または登録商標です。

近接施工影響解析

コンサルティングサービス

開削工、基礎工、トンネル、盛土等の施工において、地盤の変形に伴う近接構造物等への影響予測解析を行います。

＜解析の流れ＞

対象とする問題の認識

↓

解析手法の検討

↓

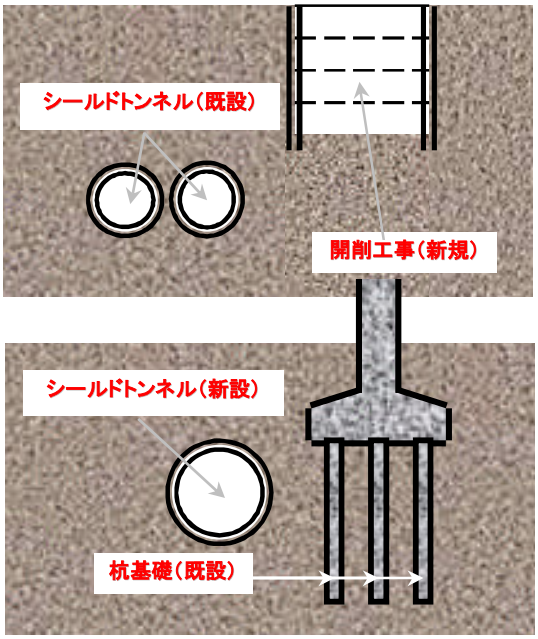
解析条件の整理
・解析モデルの領域
・地形、地層境界
・物性値
・結果の評価方法

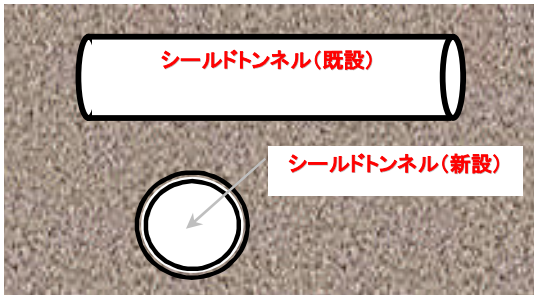
↓

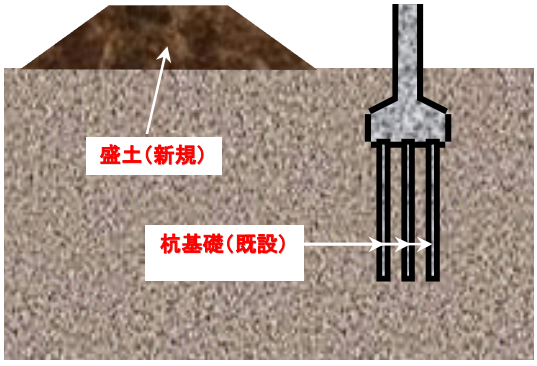
解析モデル作成・解析計算

↓

安定性の評価







地域の地形に対応した地震防災マップの作成
（その３）微地形区分に基づく神奈川県の 50ｍメッシュ地盤増幅率

正会員　○橋本 光史[*1]　栗山 利男[*1]
正会員　　荏本 孝久[*2]　山本 俊雄[*3]

微地形区分　地盤増幅率　50ｍメッシュ
揺れやすさマップ　防災マップ　神奈川県

１．はじめに

地域防災力の向上には、住民が地域の地震災害に対する危険性を正しく理解・認識することが必要である。地域における揺れやすい場所を把握することは極めて重要であり、揺れやすさを把握するツールの一つとして揺れやすさマップがある。全国の揺れやすさマップは、2005 年に内閣府が統一的な作成方法マニュアル（地震防災マップ作成技術資料、以下、技術資料）をまとめ、1km メッシュで作成した事例を公表しており、地域内の詳細な揺れの違いを把握するためには、地域の地形の違いに対応したメッシュ規模での評価が必要であるとしている。

著者らは、昨年度までに神奈川県平塚市、小田原市を対象として 50m メッシュ（標準地域メッシュ第 3 次区画を 20×20 分割したメッシュ）での震度マップを試作し、50m メッシュで評価することにより、地域の地形の違いに対応した詳細な揺れやすさマップが作成できることを確認した。本報は、神奈川県内各自治体レベルの詳細な地盤の揺れやすさマップ作成のために、神奈川県全域を対象として 50m メッシュでの微地形区分図と地盤増幅率図の作成について報告する。

２．微地形区分図

神奈川県の微地形区分を縮尺 1／5 万の土地分類基本調査図のうち、地形分類図と表層地質図を用いて 50m メッシュ単位で地形、地質を読み取って作成された荏本ほか（2007）による神奈川県のデジタル地盤区分図を用い、技術資料による微地形区分設定手順に基づき 15 区分の微地形を設定し、微地形区分図を作成した。作成した微地形区分図を図 1 に示す。また、比較のため図 2 に国土数値情報に基づいて作成した 250ｍメッシュによる微地形区分図を示す。両者を比較すると、基本的には同様な微地形区分となっているが 50ｍメッシュの方がより詳細に自然に近い形で微地形区分が表現されている。

３．地盤増幅率図

地盤の増幅率は Midorikawa et al.（1994）による表層地盤の平均せん断波速度 AVS30 と最大速度の増幅率の経験式を用いて設定した。AVS30 は、松岡･翠川（1994）の微地形区分と AVS30 の経験式を用い、この際に必要となる微地形区分ごとの係数は技術資料に基づいて設定した。ただし、新第三紀とローム台地については技術資料の係数をそのまま用いて AVS30 を算定し増幅率を計算すると、図 3 に示すように標高が 80m を越えるとローム台地の増幅率が新第三紀よりも小さく評価される。これは、山地（新第三紀）よりもローム台地の方が揺れやすい（増幅率は大きい）といった一般的な傾向とは矛盾する。そこで本検討では、新第三紀の係数には若松ほか（2005）の山地（第三系）の係数を用いた。若松ほか（2005）の山地の係数を用いた場合は、図 3 に示すように標高に係わらずローム台地の方が山地よりも増幅率は大きくなり、一般的な傾向と矛盾しない。作成した地盤増幅率図を図 4 に示す。

４．ホームページでの公開

本研究で作成した神奈川県全域の 50m メッシュによる微地形区分図と地盤増幅率図は、神奈川大学荏本研究室が運営する防災フロンティアのホームページ（http://bousai-frontier.net/index.html、図 5）にて「神奈川県版揺れ易さマップ」として公開を行った。ホームページでは神奈川県全域版のほかに市区町村単位に分割した微地形区分図と地盤増幅率図を公開した。市区町村単位の例として横浜市神奈川区の地盤増幅率図を図 6 に示す。

５．まとめ

神奈川県を対象として 50m メッシュでの微地形区分図と地盤増幅率図を作成した。50m メッシュで評価することにより、地域の違いに対応したきめ細かい分布図が作成できた。また、作成した微地形区分図と地盤増幅率図はホームページ上で公開を行い、県内の市町村レベルにおける詳細な地震防災マップ作成や住民が地域の揺れやすさを把握するための有益な情報を提供した。ただし、本研究での地盤増幅率図にはボーリングデータなどの地盤情報は考慮されていない。筆者らは、神奈川県内におけるボーリング柱状図の収集とデータベース化、および常時微動測定を実施しており、今後これらの地盤情報を考慮して増幅率を評価する予定である。

謝辞

微地形区分図の作成にあたっては、釘宮康郎氏（元㈱環境防災技術研究所）に協力をいただいた。ここに記して感謝します。

Earthquake disaster prevention map corresponding to the topography of the area. Part3. 50m-mesh of foundation amplification rate of Kanagawa Pref. that used small topography classification.

Mitsufumi HASHIMOTO, Toshio KURIYAMA
Takahisa ENOMOTO, Toshio YAMAMOTO

参考文献

1） 地震防災マップ作成技術資料：内閣府、平成 17 年 3 月
2） 栗山利男ほか（2006）：地域の地形に対応した地震防災マップの作成（その１）微地形区分を用いた 50m メッシュでの震度マップ，日本建築学会大会（関東）
3） 橋本光史ほか（2007）：地域の地形に対応した地震防災マップの作成（その２）微地形区分に基づく神奈川県の 50mメッシュ増幅率マップ，日本建築学会大会（九州）
4） 荏本孝久ほか（2007）：神奈川県を対象としたデジタル地盤区分図作成に関する研究　その 1～4，日本建築学会大会（九州）
5） 1/5 万土地分類基本調査（地形分類図、地質分類図）「横須賀・三崎」「藤沢・平塚」「小田原・熱海・御殿場」「八王子」「上野原・五日市」「秦野・山中湖」「横浜・東京西南部・東京東南部・木更津」（神奈川）
6） 松岡昌志・翠川三郎（1994）：国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング、第 22 回地盤震動シンポ，建築学会，23-24
7） Midorikawa,S., et.al.（1994）：Site Effect of Strong-Motion Records Observed during the 1987-Chiba-ken-toho-oki, Japan Earthq. Eng. Sympo, Vol.3,85-90
8） 若松加寿江・久保純子・松岡昌志・長谷川浩一・杉浦正美（2005）：日本の地形・地盤デジタルマップ，東京大学出版会

本研究は、神奈川大学における文部科学省学術フロンティア研究プロジェクト「災害リスク軽減を目的としたソフト・ハード融合型リスクマネジメントシステムの構築に関する研究（研究代表者：荏本孝久）」の一環として実施したものである。

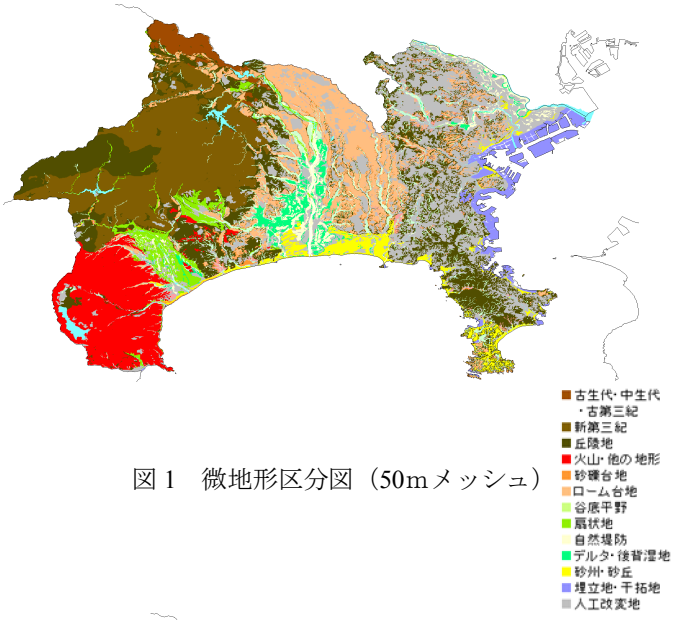


図 1　微地形区分図（50mメッシュ）

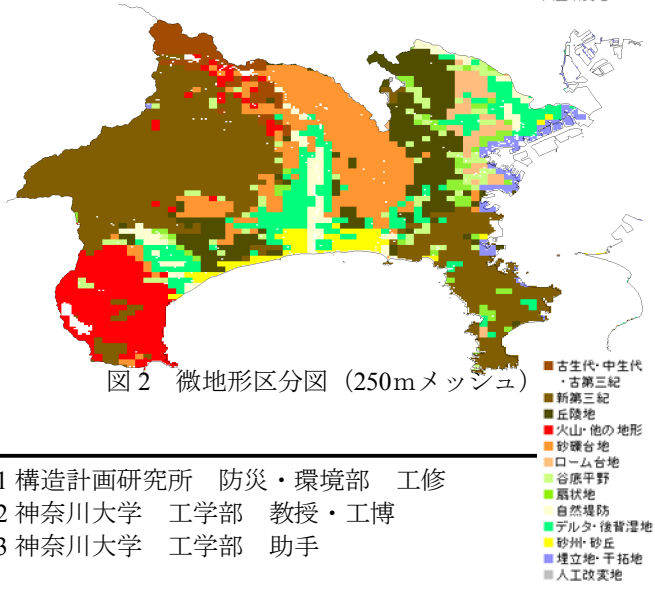


図 2　微地形区分図（250mメッシュ）

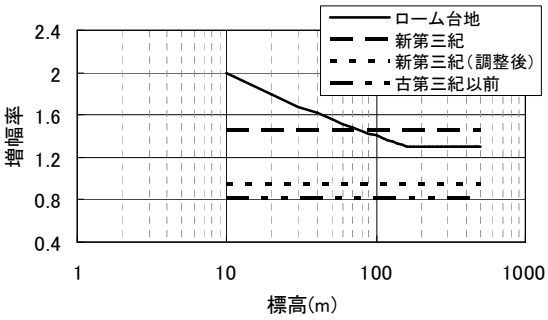


図 3　標高と増幅率の関係

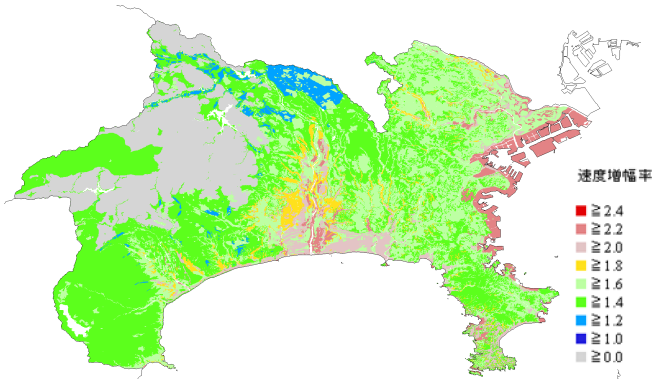


図 4　地盤増幅率図



図 5　防災フロンティアのホームページ
（揺れ易さマップ）

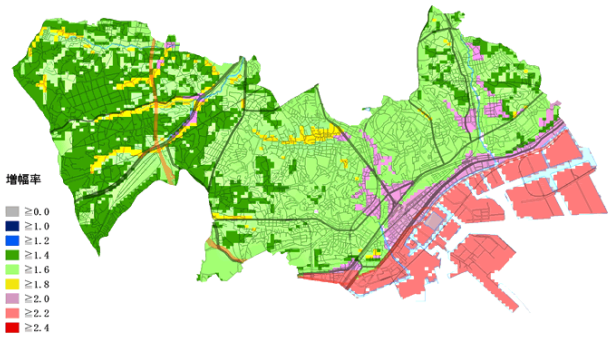


図 6　市区町村単位の地盤増幅率図の例（神奈川区）

*1 構造計画研究所　防災・環境部　工修
*2 神奈川大学　工学部　教授・工博
*3 神奈川大学　工学部　助手

*1 Kozo Keikaku Engineering Inc., M.Eng.
*2 Prof., Dept. of Engineering, Kanagawa University., Dr.Eng.
*3 Assoc., Dept. of Engineering, Kanagawa University.

防災コンサルティングサービス



地域防災力向上に役立ちます！

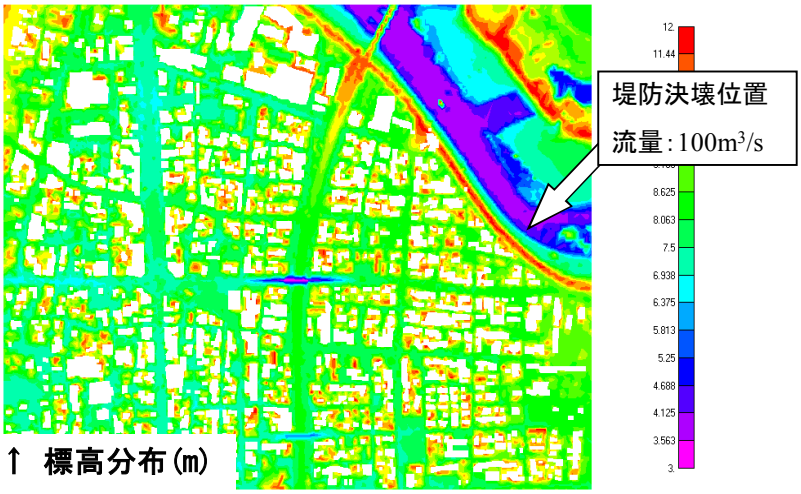
数値計算による津波・洪水解析、火災延焼
コンサルティングサービスを提供！

大地震の発生による津波、豪雨による洪水、近年多発している局地的なゲリラ豪雨による浸水、また火災延焼など、地域にとって重大な被害をもたらす問題に最先端の技術で対応します。

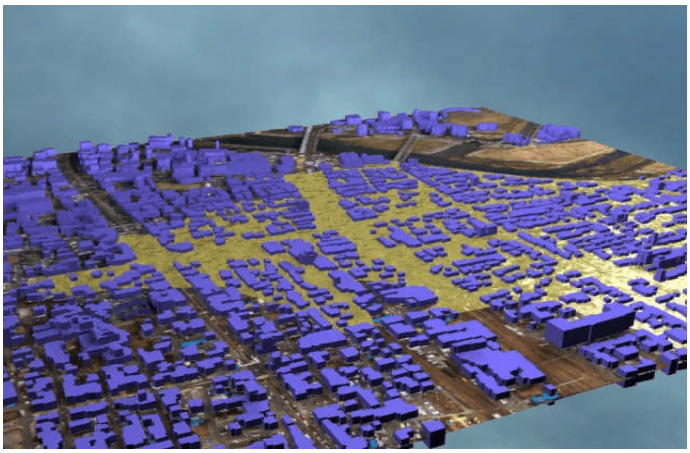
【適用事例】
■河川氾濫による市街地の浸水予測
■集中豪雨による内水氾濫予測
■避難シミュレータによる避難計画検討
■大地震発生時の津波伝播予測
■建物分布、風向を考慮した火災延焼予測

洪水予測

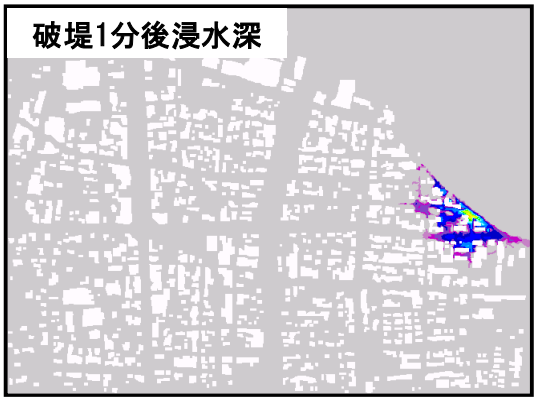
・河川氾濫による市街地の浸水予測

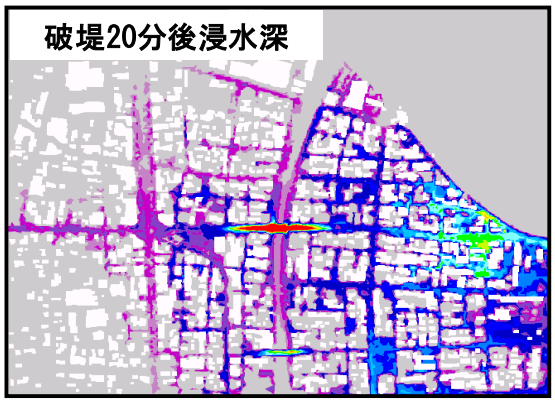


↑ 標高分布(m)





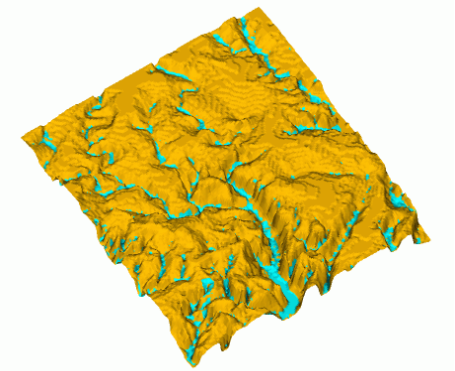




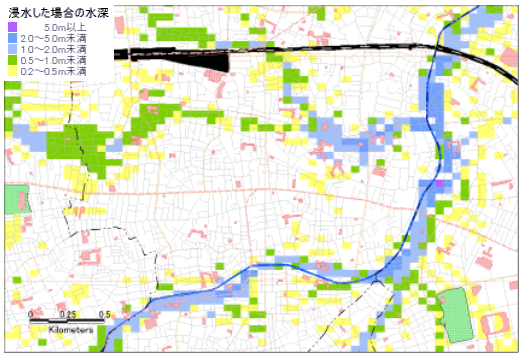
リアルタイム浸水予測システム　　㈱東芝との共同開発

・集中豪雨による浸水予測

気象レーダー観測から天候予測→1時間毎・5km四方の降雨量→浸水予測解析



計算結果６０分後（浸水深 20cm 以上）

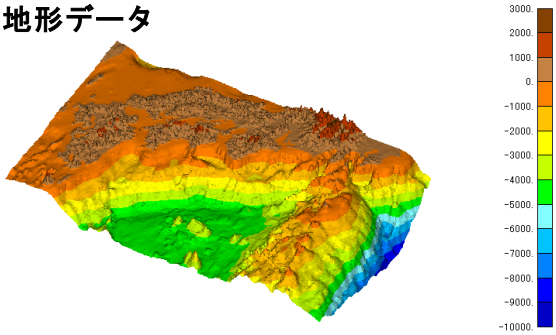


浸水深分布図（降雨強度 100mm/hr）

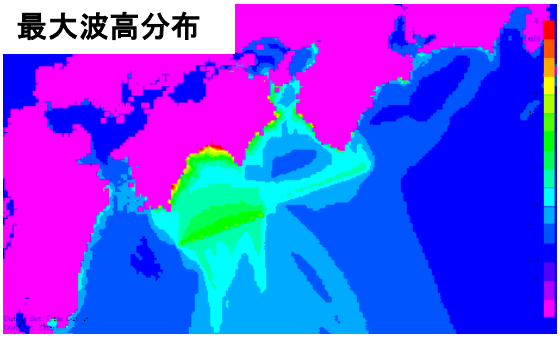
津波予測

・建物形状、地盤標高を考慮した津波シミュレーション

地形データ

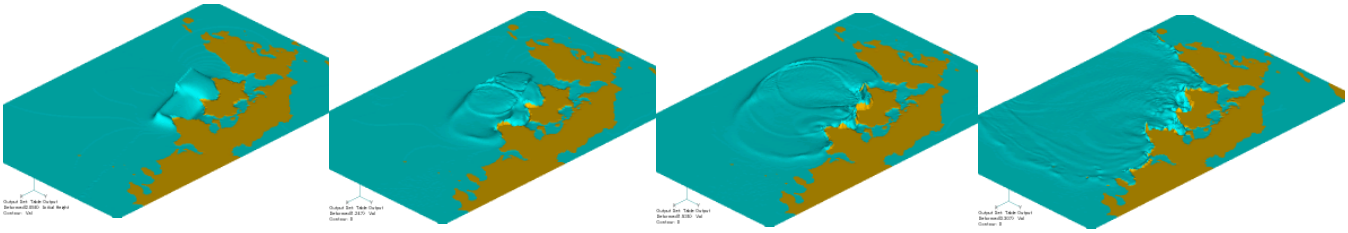


最大波高分布



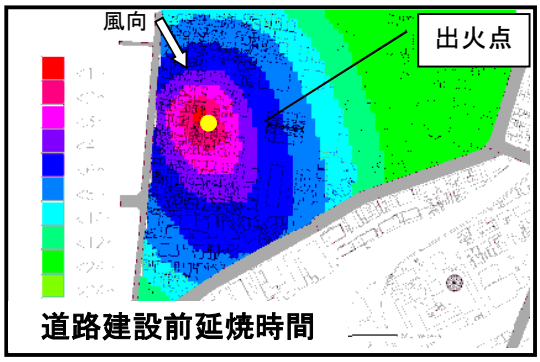
・南海地震発生時の津波予測

津波の伝播過程

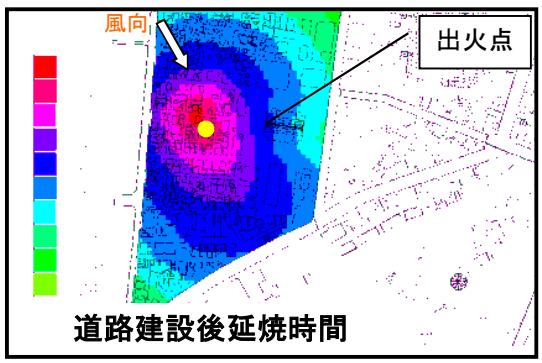


火災延焼予測

・道路建設前後での火災延焼予測



道路建設前延焼時間



道路建設後延焼時間

The 14th World Conference on Earthquake Engineering
October 12-17, 2008, Beijing, China

SIMULATION OF STRONG MOTION AT KASHIWAZAKI DURING THE 2007 NIIGATAKEN CHUETSU-OKI, JAPAN, EARTHQUAKE

Hongjun Si[1], Fujio Uchiyama[1], Yasuhiro Matsumoto[1], Yusuke Saijo[1], Toshiyuki Masatsuki[1], Toshio Kuriyama[1]

[1] *Dept. of Environment and Seismic Engineering, Kozo Keikaku Engineering Inc., Tokyo. Japan*
Email:shj@kke.co.jp

ABSTRACT :

In this study, we evaluated the strong motion on engineering bedrock at a K-NET station NIG018, based on the Empirical Green's function method. For verifying the results, we calculated the response wave on surface using a dynamic effective stress method, and compared the synthetic seismic waves with the observed ones. The results show that the synthetic waves matches the observed ones well in response spectra, implicating that the amplitude of the synthetic wave on the engineering bedrock are adequate, with a PGA of about 823 cm/s^2 and a PGV of 103 cm/s.

KEYWORDS: The Niigata-ken Chuetsu-oki earthquake, Empirical Green's function method, Engineering bedrock

1. INTRODUCTION

A destructive earthquake, the 2007 Niigataken Chuetsu-oki, Japan, Earthquake occurred off Middle-Niigata-ken on 16, July, 2007. During the earthquake, a severe damage occurred, with fourteen people killed, 2,354 injured and 6,494 houses collapsed or seriously damaged. Especially, a large scale nuclear power plant located near the source area was slightly damaged. For understanding the reason of the occurrence of the disaster, it is important to evaluate the strong motion in the damaged area, especially on the engineering bedrock. Among the records derived in this earthquake, the records at NIG018, a K-NET station is right in the area, but the records show the cyclic mobility phenomena obviously (as shown in figure 1), implicating that the liquefaction phenomena occurred in the area. This means that the seismic waves on the engineering bedrock cannot be estimated using the traditional methods such as SHAKE. In this study, we use the empirical Green's function method to simulate the strong motions at NIG018 on the engineering bedrock, and then calculate the surface wave for checking the results by comparing the synthetic waves with the observed ones.

2. METHODOLOGY

In this study, we use the empirical Green's function method to simulate the strong motions at NIG018 on the engineering bedrock, and then use the dynamic effective stress method to simulate the response wave on surface for checking the results by comparing the synthetic waves with the observed ones. The scheme of the empirical Green's function method adopted here is that proposed by Irikura (1986) and Irikura et al.(1997), and the dynamic effective stress analysis was performed by a computer code NANSSI/1D [Kanatani et al., 1994]. The steps of the analysis in the study are as follows: (1) construct a source model of the earthquake; (2) simulate the strong motion on the engineering bedrock based on the empirical Green's function method; (3) evaluate the seismic response on surface based on the dynamic effective stress method, including the effects of liquefaction; (4) compare the results at step 3 with the observed ones.

3. SIMULATION OF THE INCIDENT WAVE ON THE ENGINEERING BEDROCK

3.1.Source model of the earthquake

Irikura et al. (2007) has proposed a characterized source model for simulate the strong motion recorded during the 2007 Niigata Chuetsu-oki earthquake. Here, we adopt their source model in our study but with a minor modification, that is, changing the dip angle of the asperity 1 and 2 from 30 degree to 40 degree, according to the distribution of the aftershocks. Figure 2 shows the location of the source model, and Table 1 shows the main

parameters of the source model. For our target is to simulate the strong motion, only the asperities, refer to as ASP1 to ASP3 hereafter, are considered. The asperities are divided into element faults based on the scaling law, as shown in Figure 2. The initial point for each asperity is shown as a star in Figure 2, and the initial time for each asperity is adjusted by comparing the onset time of the observed and simulated pulses.

3.2. The Records used for Green's function

The records used as empirical Green's functions are from two aftershocks, refer to as AFT1 and AFT2 hereafter, in the source area, the same as used by Irikura et al. (2007). The parameters of the aftershocks are shown in Table 2, and the stress drop is estimated by the corner frequency as done by Irikura et al. (2007). Here, we made some modification for all the empirical Green's functions used. Firstly we filtered the records to cut off the low-frequency component longer than 2 sec to avoid the possible noise because the magnitude of the aftershocks is relatively small. Secondly we modified the records to correct the difference of the F_{max} between the aftershocks (Fs) and the target main shock (Fm), by multiplying the records by a factor defined in Equation (3.1) proposed by Kamae et al. (1990). The F_{max} of the aftershocks, estimated by the equation (3.2) proposed by Faccioli (1986), is 13.7Hz for AFT1 and 20.9 for AFT2. The F_{max} of the main shock is set to 6 Hz. The waveform and the Fourier spectra of the modified waves at NIG018 on engineering bedrock are shown in figure 3.

$$c(f) = \frac{1+(f/F_s)^n}{1+(f/F_m)^n} \tag{3.1}$$

$$F_{max} = 7.31\times10^3 \times M_0^{-0.12} \tag{3.2}$$

In the simulation, we adopt AFT1 as an empirical Green's function for ASP1 and ASP2, and adopt AFT2 for ASP3.

3.3. Simulation of the incident wave at NIG018 in Kashiwasaki City

3.3.1 Verification of the source model

For checking the source model, we calculated the strong motion on surface at NIG005, and NIG018, the K-NET stations, NIGH01 and NIGH11, the KiK-net stations. The location of the sites is shown in Figure 2. The stations except NIG018 are selected for that they are near the source area but are enough distant to avoid obvious nonlinear effects. The synthetic seismic waves of EW component for the stations except NIG018 are shown in Figure 4. The results show that, the synthetic waves matched the observed one well, both in waveforms and in 5% damped velocity response spectra. These implicated that the source model and the aftershocks used for the empirical Green's functions is almost adequate.

Figure 5 shows the synthetic seismic waves and its velocity response on surface at NIG018. The results show that, the waveforms of acceleration for two horizontal components are overestimated in short periods, while the waveforms of vertical component and the velocity waveforms are well matched, since the vertical component and the longer component of horizontal motions are not easy to be affected by the nonlinear phenomena, including liquefaction. The above implicated that the difference between the observed and calculated waves at short periods may be caused by liquefaction phenomena, and it is difficult to evaluate the seismic wave on the engineering bedrock from the records on surface.

3.3.2 The synthetic waves on engineering bedrock at NIG018

In this section, we evaluate the seismic waves on engineering bedrock based on the empirical Green's function method. To do this, firstly the seismic waves of the aftershocks on engineering bedrock are estimated based on the Haskell's Matrix method. Here, we define the engineering bedrock as the layer with Vs of about 400 m/s. The substructure used here is assumed by Yoshida et al. (2007). The results are shown in Figure 3.

Using the seismic wave on engineering bedrock derived above, we simulated the seismic waves on engineering bedrock for the main shock based on the empirical Green's function method. Figure 6 shows the synthetic waves and showing a Peak ground acceleration and velocity are about 823 cm/s^2 and 103 cm/s. The velocity response of the results shows that at the short periods less then 0.5s synthetic waves are greater than the observed one.

3.3.3 Response analysis of the surface geology at NIG018

For checking the results derived in 3.3.2, we use the synthetic seismic wave on engineering bedrock as an incident wave to simulate the response wave on the surface based on the dynamic effective stress analysis. The calculation was performed by computer code called NANSSI/1D [Kanatani et al., 1994].

In the analysis, the substructure at the site is modeled by an elastoplastic FEM model employing a 2D plane strain element, and the bottom boundary condition is set to be a viscosity dash pot for representing the continuity to the deeper understructure. The incident waves are filtered to cutoff the components longer than 2s. The parameter of substructure used in the analysis is shown in Table 3, while Vs is calculated according to N-value, and the level of underground water is assumed by Yoshida et al. (2007). The dynamic characteristics of the layers besides the assumed liquefaction layer is based on R-O model fitting Kowada-Miyamoto model, and the evaluation of the Build-up of Excess Pore Water Pressure based on the model called Nishi-model. The internal friction angle is calculated by the empirical equation proposed by Hatanaka et al.(1996) The time step in the analysis is 0.001s, and the integration method is Newmark β (β =0.25). In the analysis, we adjust the liquefaction strength of the sand layer under the underground water to reproduce the cyclic mobility phenomena, and finally the value is set to 0.18. Figure 7 shows the results in waveform and response spectra for the main motion up to 12 s. The results indicated that, for completely reproduce the time history recorded at NIG018, further more analysis should be performed, but even though there are differences between the synthetic seismic waves and the observed ones, the nonlinear effects, including the cyclic mobility phenomena are successfully reproduced, and the response velocity is well matched. These show that the amplitude of the synthetic waves on the engineering bedrock at NIG018 may be adequate.

4. CONCLUSION

In this study, we evaluated the strong motion on engineering bedrock at a K-NET station NIG018, based on the empirical Green's function method. For verifying the results, we calculated the response wave on surface using a dynamic effective stress method, and compared the synthetic seismic waves with the observed ones. The results show that the synthetic wave matches the observed one well in response spectra, implicating that the amplitude of the synthetic wave on the engineering bedrock are adequate, with a PGA of about 823 cm/s^2 and a PGV of 103 cm/s. But for completely reproduce the time history recorded at NIG018, further more analysis should be performed.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank Dr. Hideaki Tsutsumi for his helpful discussion. The authors also appreciate Prof. Irikura for providing their source model and helpful comments. We appreciate National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED) for providing the data from K-NET and KiK-net.

REFERENCES

Hatanaka, M. and Uchida, A.(1996). Empirical correlation between penetration resistance and internal friction angle of sandy Soils. *Soils and Foundation* **36:4**, pp.1-9

Irikura, K. (1986). Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function. *Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp., Tokyo*, 151-156.

To be continued on the final page of this article

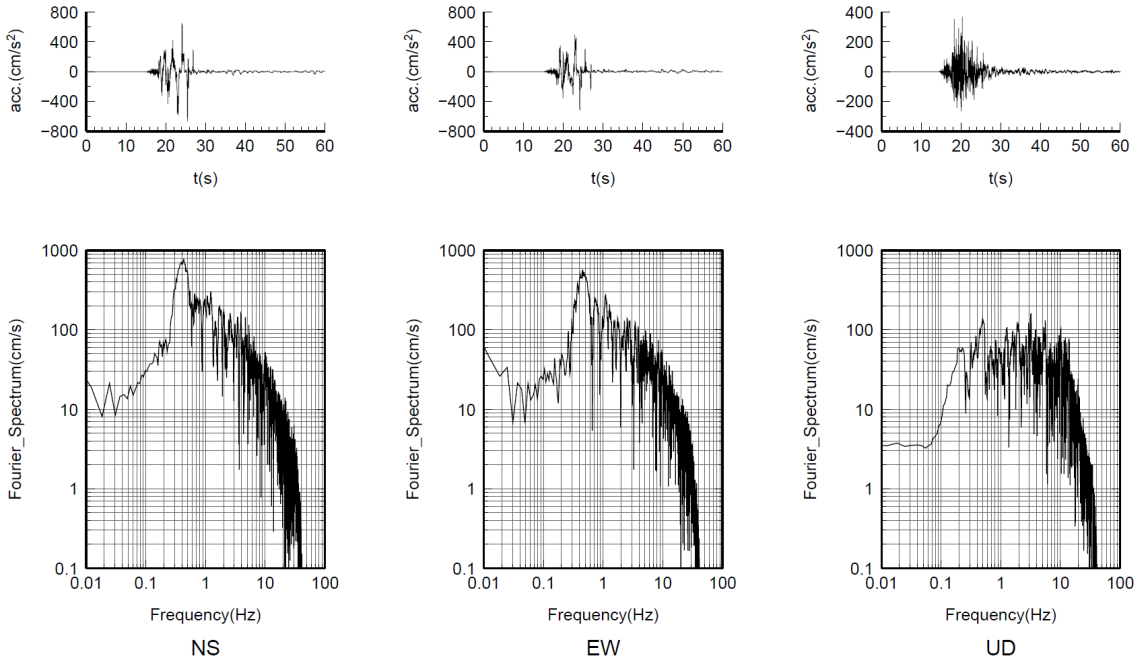


Figure 1 The waveforms and Fourier spectra of the records at NIG018

Table 1 Source parameters used in the analysis

Parameter		Asperity 1	Asperity 2	Asperity 3
Strike		37.0°	37.0°	37.0°
Dip		40.0°	40.0°	30.0°
Length	*km*	5.5	5.5	5.04
Width	*km*	5.5	5.5	5.04
M_{0a}	*Nm*	1.76E+19	2.22E+19	2.22E+19
S_a	km^2	30.25	30.25	25.4016
D_a	*cm*	623.1	221.2	221.2
$\Delta\sigma_a$	*MPa*	23.7	23.7	19.8
Rise time	*s*	0.5	0.5	0.5
No. of subfaults		5x5	5x5	9x9
Time delay	s	0.0	5x5	9x9
V_s	*km/s*	3.4		
V_r	*km/s*	2.7		
μ	N/m^2	3.30E+10		

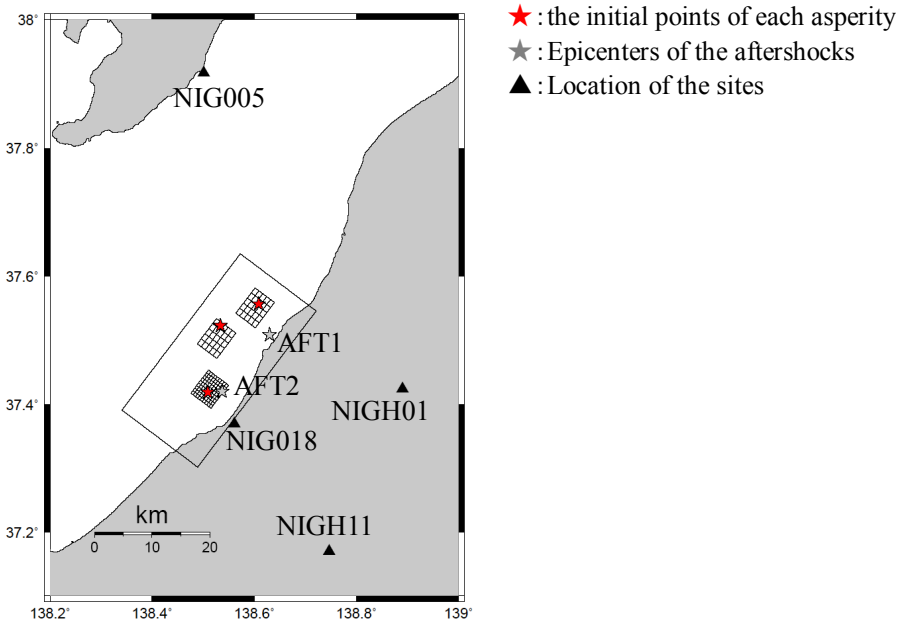


Figure 2 Location of Source model, site, and main shock and aftershocks

Table 2 Parameter of the main shock and aftershocks

	Main shck	*AFT1*	*AFT2*
Initial time	2007/7/16 10:13	2007/7/16 21:08	2007/8/4 0:16
Epicenter	138.609, 37.557	138.630, 37.509	138.537, 37.420
Focus depth	10 km	13.6 km	11.1 km
Moment	8.37E+18Nm	5.21+15Nm	1.56E+14Nm
Corner Freq.	-	1.5 Hz	4.0 Hz
Stress drop	-	3.9 MPa	2.2 MPa

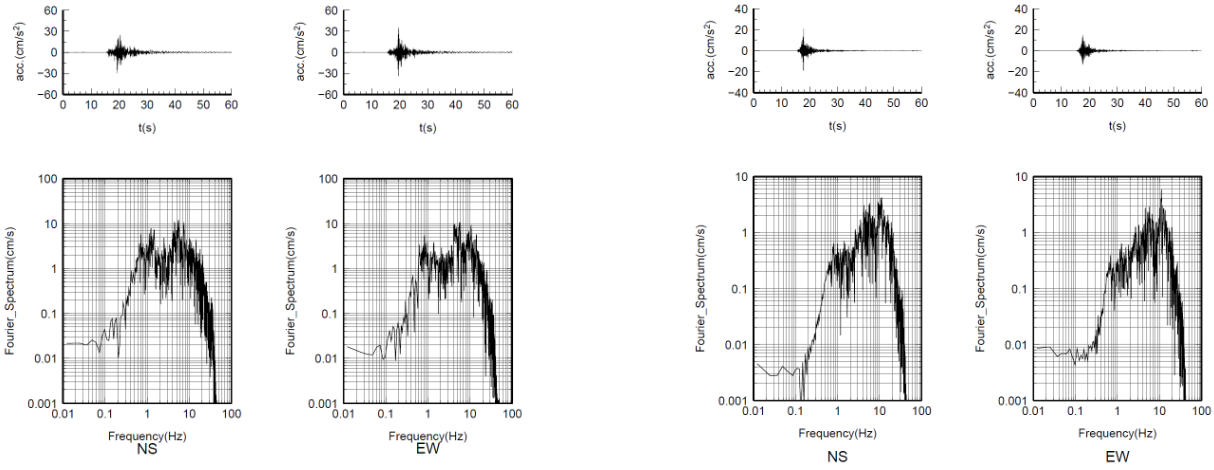
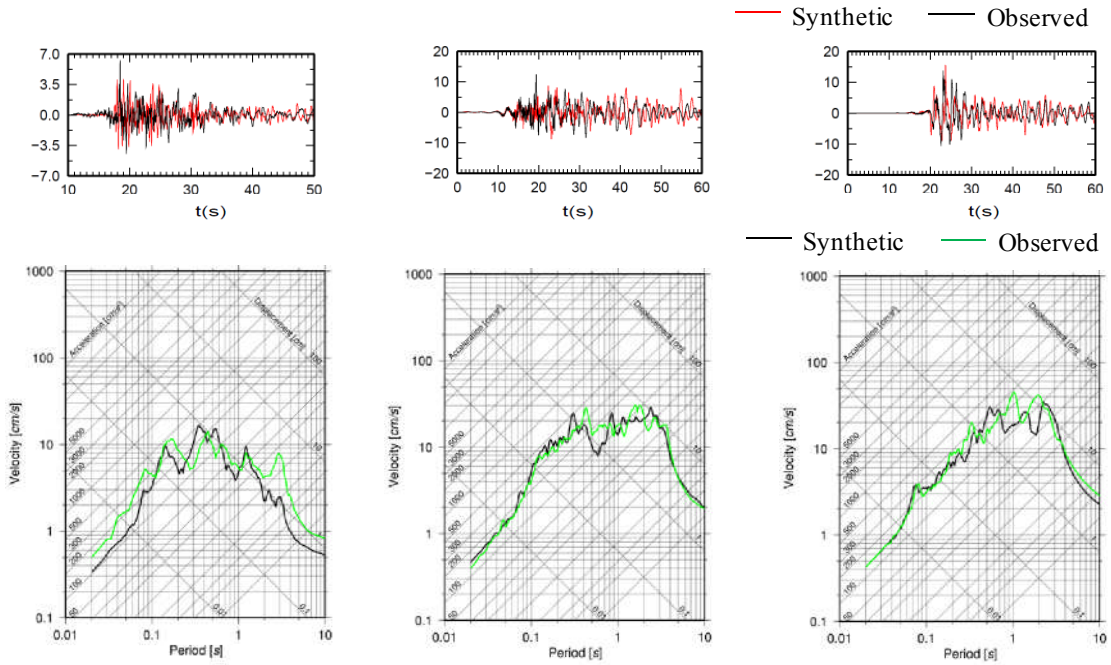


Figure 3 the Green's functions on engineer bedrock (left: AFT1; right: AFT2)



NIG005 EW NIGH01 EW NIGH11 EW

Figure 4 The synthetic waves and response spectra at NIG005, NIGH01 and NIGH11

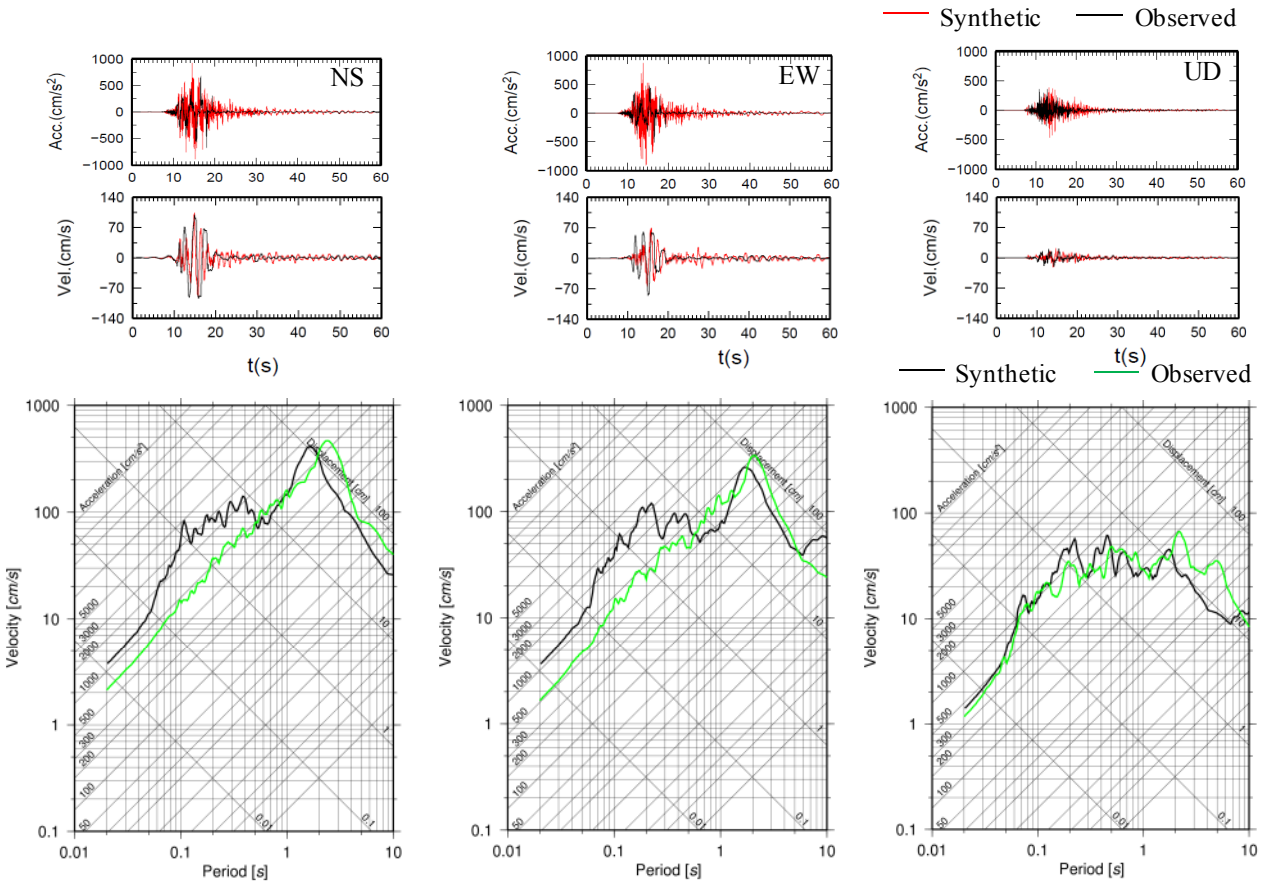


Figure 5 The synthetic results at NIG018 on surface

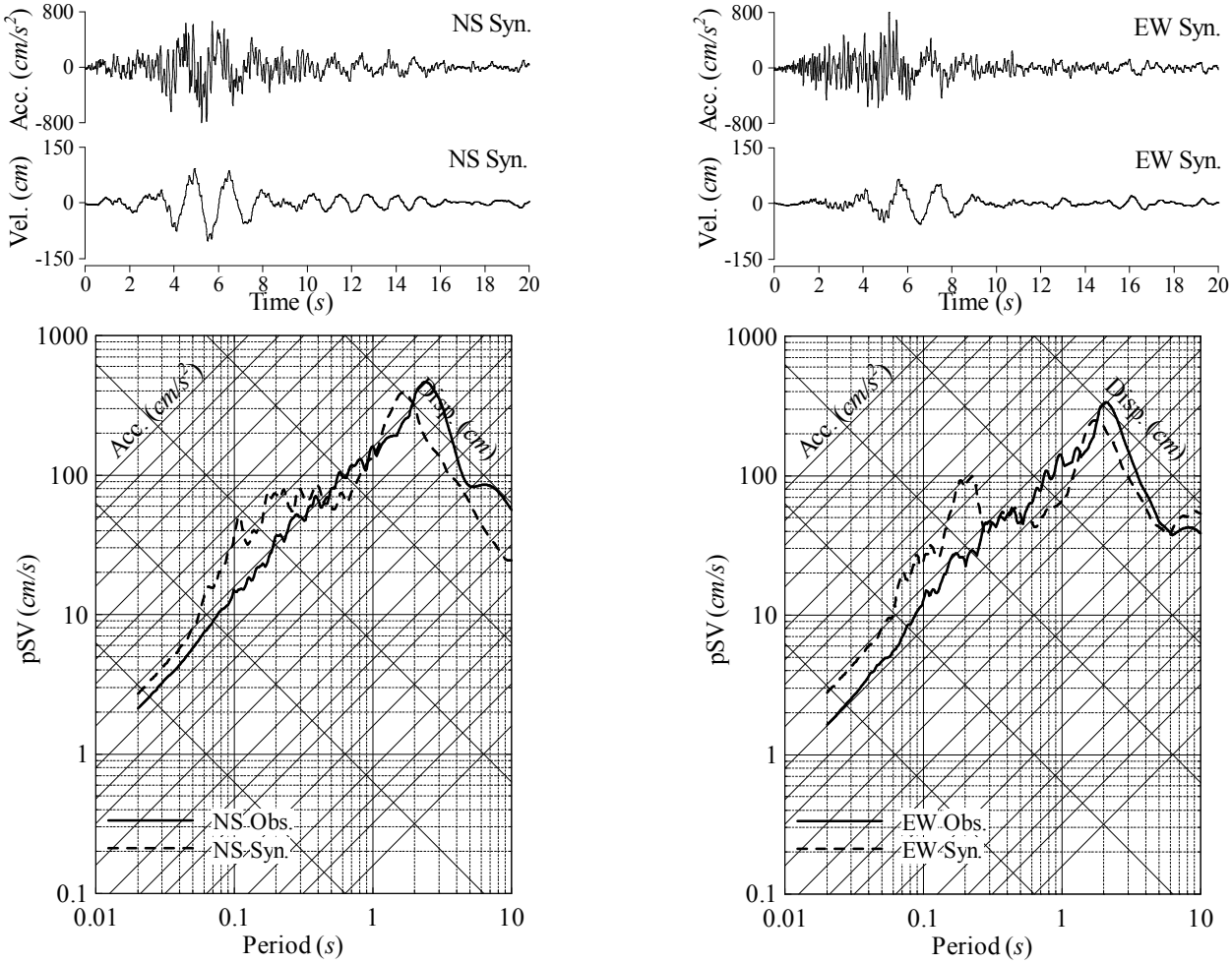


Figure 6 Synthetic waves on engineering bedrock at NIG018

Table 3 soil profile assumed at NIG018 for the dynamic effective analysis

No.	Layer	Thickness (m)	ρ (kN/m^3)	Vs (m/s)	N-value	ϕ (Degree)	Coments
1	Surface/Alluvium sand	1.10	18	84	4		
2		1.10	18	105	4		
3		1.10	18	116	20		
4	Alluvium sand (above underground water)	0.77	19	162	20		
5		0.77	19	168	20		
6	Alluvium sand (bebeath underground water)	1.09	20	174	20	43.1	liquefaction layer
7		1.09	20	181	20	42.1	
8	diluvium sand	1.14	17	274	40		
9		1.14	17	281	40		
10		1.14	17	288	40		
11		1.14	17	295	40		
12		1.14	17	301	40		
13	Diluvium clay	0.86	17	222	10		
14		0.86	17	225	10		
15		0.86	17	227	10		
16		0.86	17	230	10		
17		0.86	17	232	10		
18	Alluvium sandy clay	1.17	17	199	15		
19		1.17	17	202	15		
20		1.17	17	204	15		
21	Engineering bedrock		21	400			

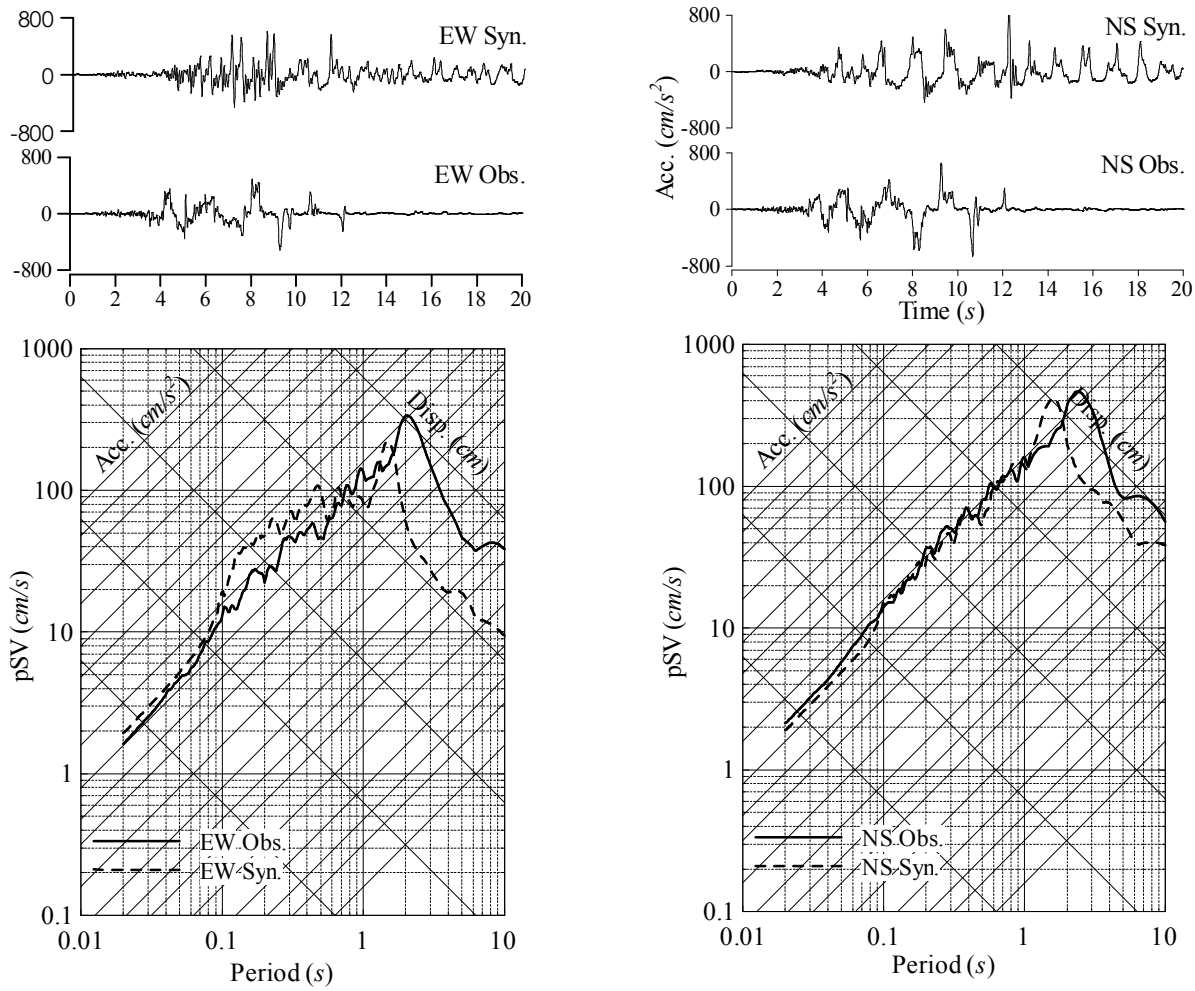


Figure 7 Comparison of the synthetic and observed in waveform and pSV

REFERENCES (continued)

Irikura, K. , Kagawa, T., Miyakoshi, K., and S. Kurahashi (2007). Strong motion during the 2007 Niigataken-chuetsu-oki earthquake. on *http://www.kojiro-irikura.jp/pdf/cyuetsu_080319.pdf (in Japanese)*

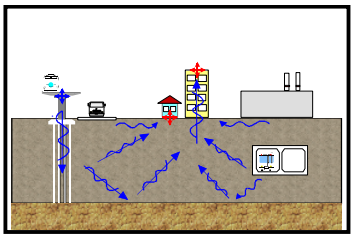
Irikura, K., Kagawa, T., and Sekiguchi, H. (1997). Revision of the empirical Green's function method by Irikura(1986). *Proc. of the fall meeting of Japan Society of Seismology on 1997.* B25.

Kanatani, M., Nishi, K., Tohma, J., and Ohnami, M. (1994). Development of Nonlinear analysis method of ground based on effective stress and its verifications. *Journal of Society of Civil Engineering* **505:3-29,** 49-58.

Kamae, K., Irikura, K., and Fukuchi, Y.(1990). Prediction of site specific ground motion for large earthquake. *Journal of structural and construction engineering. Transactions of AIJ* **409:3,** 11-25.

Yoshida, N., Goto, H., Wakamatsu, K., Aoi, S., Fukumoto, S., and Mikami, T. (2007). Investigation on Record at K-NET Kashiwazaki during the 2007 Niigataken-chuetsu-oki earthquake, *http://www.civil.tohoku-gakuin.ac.jp/yoshida/inform/chuetsuoki/k-net-e.pdf*

環境振動影響評価
コンサルティングサービス

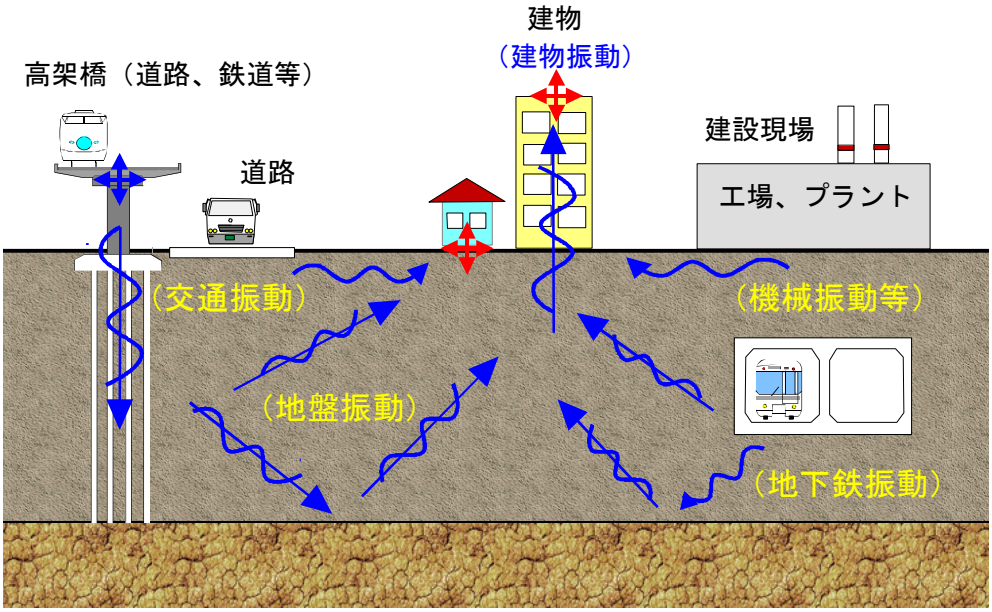


身近な振動問題の解決に！

数値計算による環境振動・振動低減対策の
コンサルティングサービスを提供！

　自動車や列車等の走行時に発生する交通振動、工場での大型機械稼働時に発生する機械振動、建物内部で発生する床振動等、地盤、建物を介して日常感じる振動を環境振動と呼びます。
　近年、高速・大量輸送に適応するため、道路の拡張や列車の高速化が進み、合わせて幹線道路の沿道や鉄道沿線に近接して居住する住民から、環境振動に対しする苦情が多くなる傾向にあります。
　(株)構造計画研究所は、これまで培ってきた建物の振動解析や地盤と構造物の動的相互作用解析のノウハウを基に、これら環境振動問題に対する実態把握及び振動低減対策等のコンサルティングサービスを提供致します。

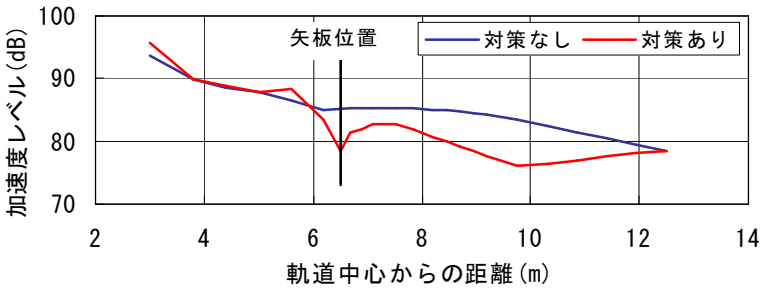
振動の発生と伝播



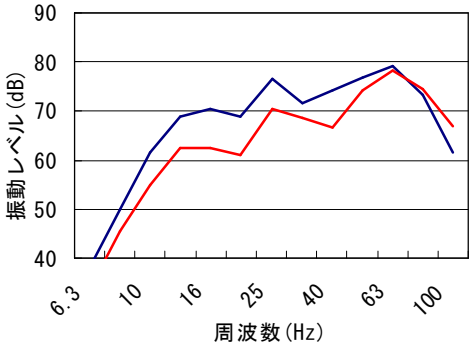
検討事例

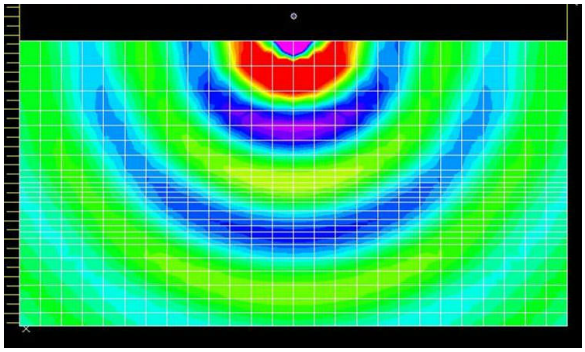
- 列車走行時の防振対策シミュレーション（右ページ上参照）
- 線路に近接する医療機関の防振対策効果の検討
- 自動車高架橋からの周辺住宅への影響評価及び対策効果の検討（右ページ中央参照）
- 工場内機械稼動時の周辺地域及び周辺機器への影響評価
- 振動台稼動時の周辺機器への影響評価
- 列車走行による移動荷重を考慮した地盤振動のシミュレーション
- 地下鉄走行時の地盤内振動伝播シミュレーション
- 大型機器稼動時の工場基礎内での振動伝播予測と対策（右ページ下参照）

列車走行時の防振対策シミュレーション

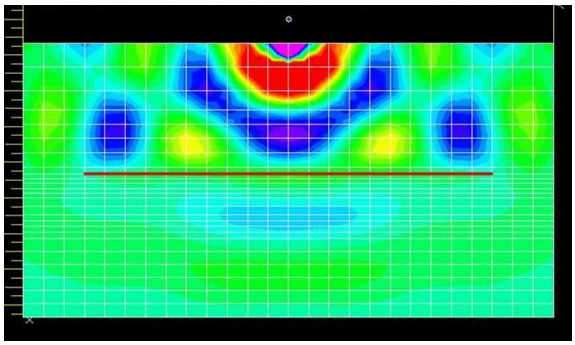


振動伝播の距離減衰



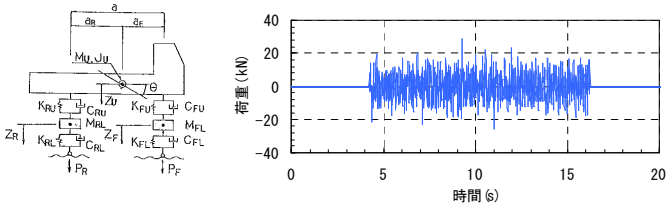


振動の地表面分布（対策なし）

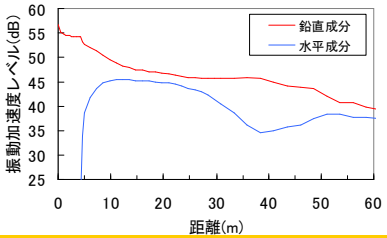


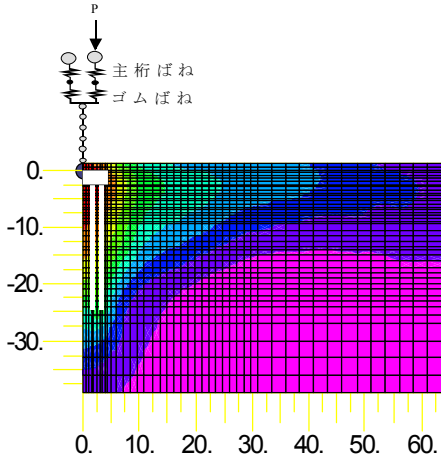
振動の地表面分布（対策あり）

自動車高架橋からの周辺住宅への影響評価



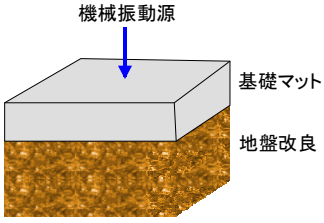
自動車走行時の想定荷重と自動車モデル

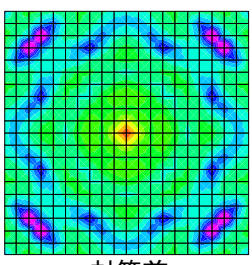




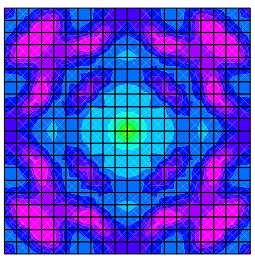
振動の距離減衰傾向（左）と地盤内鉛直加速度分布（右）

大型機器稼動時の工場基礎内での振動伝播予測と対策

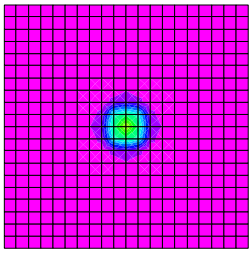




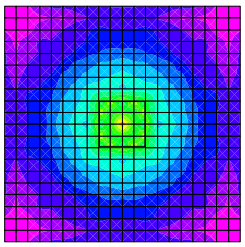
対策前



振源下のみ改良



基礎下全域改良



改良なし:振源基礎を分離



(dB)

Application of a simulator to damage detection for bridge maintenance

Akito YABE(NAGAI)
Civil Engineer
KOZO KEIKAKU Engineering Inc.
Tokyo, Japan
nagai@kke.co.jp

Hideaki ARAKI
Manager
KOZO KEIKAKU Engineering Inc.
Tokyo, Japan
h_araki@kke.co.jp

Ayaho MIYAMOTO
Professor
Yamaguchi University
Yamaguchi, Japan
miya818@yamaguchi-u.ac.jp

Summary

Now, the structural health monitoring gives us more useful data by damage investigation. So, we have to research what is important data for structural health monitoring, and study about using monitoring data to get a reasonable analysis data. In this paper, the concept of detecting damage was proposed in long-term service bridges based on the study of applied "Traffic vibration simulator". That is new dynamic analytical technique applied to “substructure method”. This method has been used for a dynamic interaction problem with structures and vehicles moving over them. This simulator results show not only a bridge and vehicle motion but also fatigue weak points about all over the bridge. The conclusions of this paper give a good reference to detecting a more detailed damage situation, and life time information by using this simulator result and structural health monitoring data.

Keywords: Dynamic interaction analysis, Finite element analysis, Substructure method Damage Detect, Structural health monitoring.

1. A traffic vibration simulator system

1.1 Substructure Algorithm

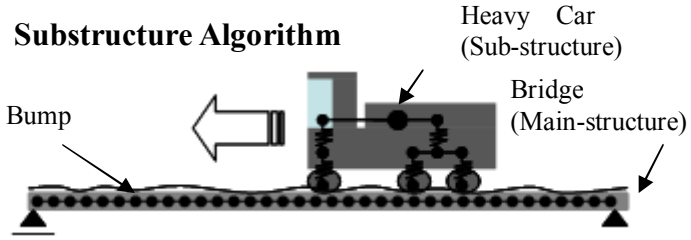


Fig.1 *substructure model*

When a vehicle passes a bridge, a vehicle vibrates cased by expansion joint and the bump of the road surface. The vibration is transmitted to the bridge .These dynamic interaction makes the vibration of both vehicle and a bridge much more. (Fig.1)

Substructure method equation is shown as (1). These equations are composed by only symmetrical matrix. The calculational time is very short.

$$\begin{bmatrix} M_{ff} & M_{fg} \\ sym & M_{gg} \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \ddot{u}_f \\ \ddot{u}_g \end{Bmatrix}+\begin{bmatrix} C_{ff} & C_{fg} \\ sym & C_{gg} \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \dot{u}_f \\ \dot{u}_g \end{Bmatrix}+\begin{bmatrix} K_{ff} & K_{fg} \\ sym & K_{gg} \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} u_f \\ u_g \end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix} F \\ R_g \end{Bmatrix}\cdots\cdots①(Main-structure)$$

$$\begin{bmatrix} M_{ff} & M_{fg} \\ sym & M_{gg} \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \ddot{u}_f \\ \ddot{u}_g \end{Bmatrix}+\begin{bmatrix} C_{ff} & C_{fg} \\ sym & C_{gg} \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \dot{u}_f \\ \dot{u}_g \end{Bmatrix}+\begin{bmatrix} K_{ff} & K_{fg} \\ sym & K_{gg} \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} u_f \\ u_g \end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix} 0 \\ R_g \end{Bmatrix}\cdots\cdots②(Sub-structure) \quad (1)$$

1.2 Fatigue damage point detecting system

The flow chart of fatigue damage points detecting system is shown in Fig.2.

The factors affecting fatigue problems could be as following repeated stresses in structural members and their joints. There is “Miner rule” between the repeated stress and fatigue strength.

We mixed calculation of "Traffic vibration simulator" by substructure method and rain flow method.

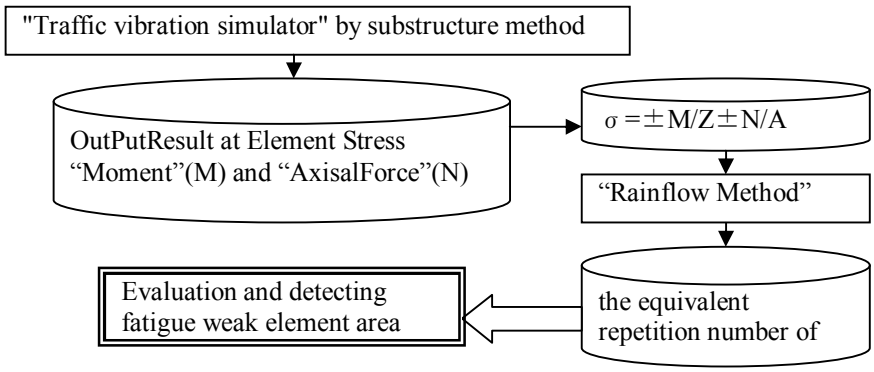


Fig. 2 *Fatigue damage point detecting system*

1.3 Simulation Result

In this arch structure example model, by using our simulation and damage index calculation system for all structural members, comparisons of fatigue damage indexes and detecting fatigue weak points is shown in Fig.3. The larger scale node means that larger fatigue index elements concentrated. As application of a traffic vibration simulator, fatigue weak element points can be detected in all over the bridge. Generally in this arch structure fatigue weak points are always appeared at joints between structure members each other, as show in Fig.3. This phenomenon is simulated well by our simulation system. The summary of calculation speed showed in Table 1.

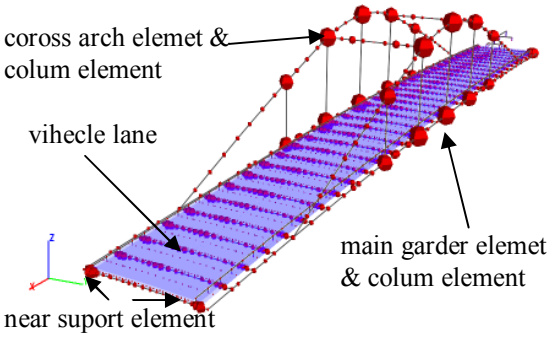


Fig. 3 *Fatigue weak areas*

Taible.1 *Calculation speed*

Machine speck	Value	Unit
CPU Clock	1.5	GHz
Calculation Length	10.0	Sec
Calculation Pitch	0.04	Sec
Calculation Time	7.0	min

2. Conclusions and Considerations

2.1 About vibration simulation system

In this paper, the concept of detecting fatigue damage points was proposed in long-term service bridges, based on the study of applied "Traffic vibration simulator". The Current phenomenon of fatigue concentration was simulated well. Fatigue weak points in all over the bridge were detected by this simulation system. And we succeeded in visualization of fatigue concentrated points by the traffic vibration. This detecting system can be used to point out effective measuring spots for structural health monitoring system. By means of “substructure method”, it becomes possible to solve complex interaction problems on much lower cost computer such as personal computer with much higher speed. It is also useful for getting life time information and current structural health monitoring.

2.2 References

[1] JEAN-ARMAND CALGARO, ROGER LACROIX, “Maintenance et Reparation des ponts”, 2002.6, Nippon Structural Inspection and Technology Association., pp.48-51

[2] JSSC, “Fatigue Design Recommendations for Steel Structures”, 1995, pp.261-269

[3] JSCE, “Standard Specifications for concrete structures-2007, Design”, 2007, pp. 1718-1731.

汎用の非線形有限要素法解析プログラム

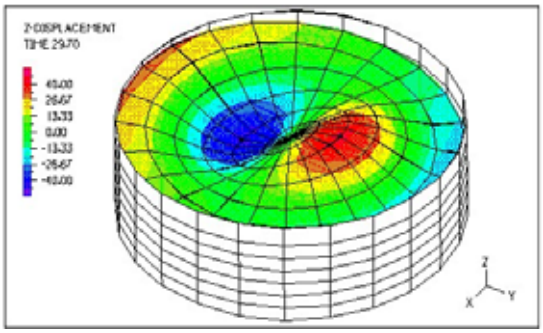
ADINA

特徴

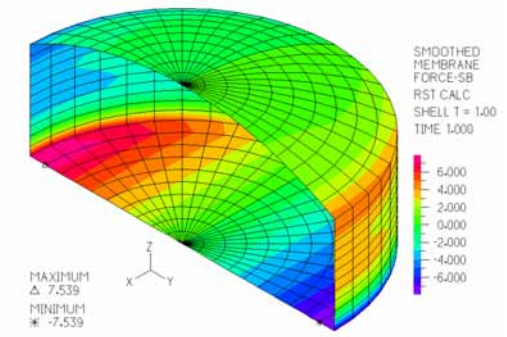
ADINA は、マサチューセッツ工科大学の研究成果を反映し ADINA R&D 社が開発した代表的な汎用の構造・熱伝導・熱流動解析プログラムです。非定常・非線形挙動を高精度な計算機能で解くことが可能です。　弊社ではプログラム販売の他、解析コンサルティング・サービスもご提供しております。

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



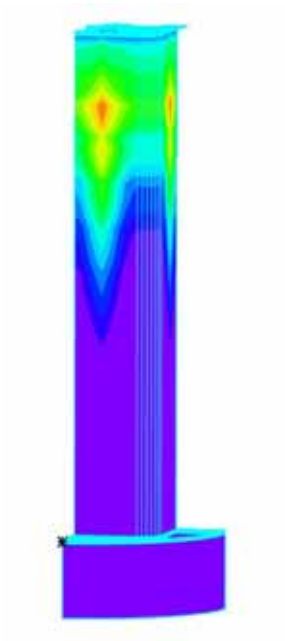
タンク壁面：断面力分布

■スロッシング解析のポイント

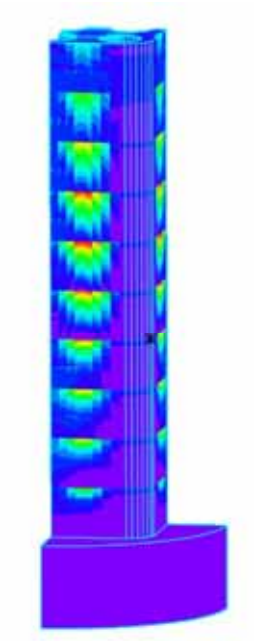
- 構造と流体の相互作用解析
- タンクはシェル要素、流体は流体要素
- 地震入力による動的応答解析
- スロッシング波高やタンク応力の算定
- 浮き屋根の有無による差異の検討

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。

設備・機器・家具・什器の
耐震解析コンサルティングサービス

近年、日本国内では被害地震が相次いで発生し、建物の耐震化が急速に進んでいます。しかし、一方で設備機器や商品などの建物内の収容物に対する耐震対策は遅れているのが実状です。建物が健全であったとしても収容物が機能しないことによる被害は深刻です。実際に、製造設備やサーバの稼動停止といった数多くの被害が発生しています。これらの被害を最小限にとどめるために建物内の収容物の耐震安全性について検討する必要があります。

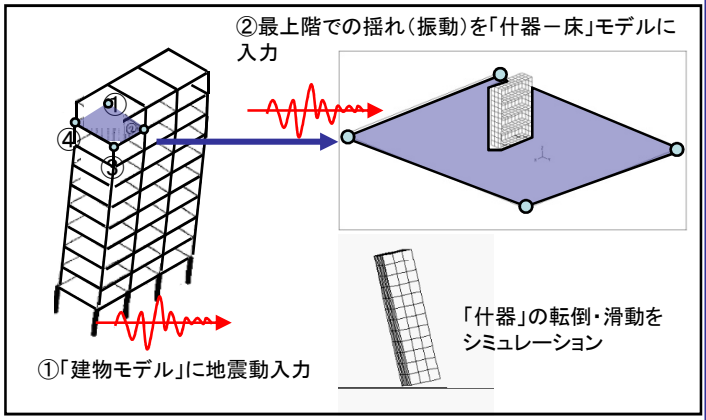
株式会社構造計画研究所では、豊富な建築・土木構造物の耐震解析実績と最新の地震に関する解析技術をもとに、お客様の目的に合った設備機器や商品などの耐震解析コンサルティングサービスをご提供いたします。

■耐震検討事例

□什器の転倒・滑動シミュレーション

オフィス内での什器（本棚等）の転倒・滑動（すべりによる移動）をシミュレーションした事例です。

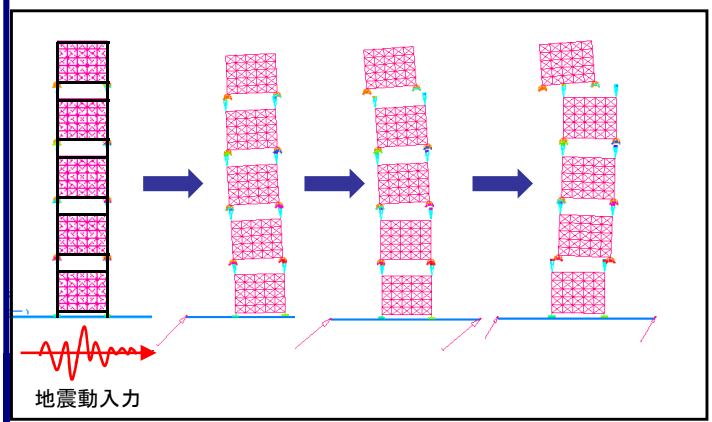
地震の揺れは、建物の構造やフロアによって異なります。事例では、まず建物全体を地震動で揺らし、次に最上階で得られた揺れ（振動）を用いて、什器の転倒・滑動について検討を行いました。



□段積みされた商品ラックの落下検討

5段積みされた商品のラックが地震を受けた際に、倒壊や落下しないかどうかを検討した事例です。

検討では、水平方向と上下方向の地震動により、ラックの接合部がはずれ、落下する現象を確認しました。



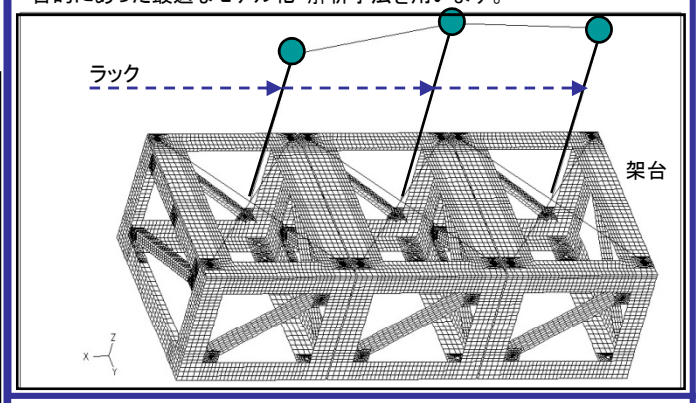
□工場建屋内に設置されたクレーンの落下検討

工場建屋の天井に設置された移動式クレーンが地震を受けた際に、落下しないかどうかを検討した事例です。

□通信機器ラック・架台の耐震検討

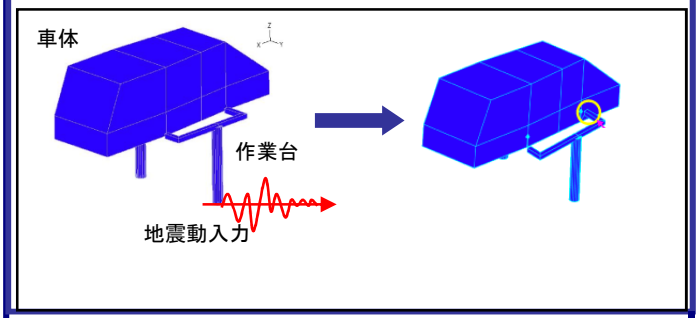
通信機器を搭載したサーバーラックの架台が地震によってどのような損傷を受けるかを検討した事例です。

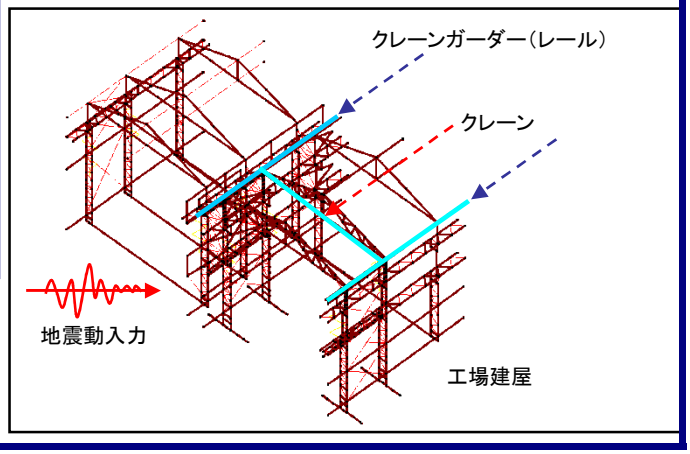
架台の挙動に着目し、ラックは簡略化したモデル化を採用しています。目的にあった最適なモデル化・解析手法を用います。



□生産ライン上に設置された車体の落下検討

自動車製造ラインにおいて、作業台に設置された車体が地震を受けた際に、車体が落下しないかどうかを検討した事例です。





RESP-T

３次元汎用静的・動的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次元汎用静的・動的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の高いプログラムです。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。

解析機能

	適　用	備　考
初期応力状態作成	初期の釣り合い状態の解析	・固定荷重として節点荷重、部材荷重、温度荷重、テンション材の初期導入張力を静的に作用させる
静的解析	制御法： 荷重増分、変位増分、 弧長増分、強制変位	・材料非線形（弾塑性）および幾何学的非線形（大変形）の考慮が可能 ・節点荷重、部材中間荷重及び温度荷重の入力も可能 ・荷重増分と強制変位の同時作用が可能
固有値解析	固有周期、固有振動モードの計算	・サブスペース法により各次の固有周期、固有振動モードを計算
動的解析	解法： モード合成法、直接積分法	・モード合成法は線形（弾性）解析のみ ・直接積分法では材料非線形（弾塑性）および幾何学的非線形（大変形）を考慮した解析が可能 ・単一または多点での地震波または加振力の入力が可能
座屈固有値解析	座屈荷重倍率と座屈モードの計算	・初期応力状態作成で評価された幾何剛性（初期応力）マトリクスを用いて固有値解析を行い、座屈荷重倍率と座屈モードを計算

要素

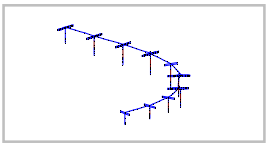
要素種別	備考
トラス要素	・２点間を結合する３次元線材要素 ・テンション材の指定も可能
ビーム要素	・２点間を結合する３次元線材要素 ・剛域の考慮、材端M-θ関係。 ・応力相関M-N、M-M、M-M-Nインタラクションの考慮が可能
バネ要素	・２点自由度間の剛性(相対バネ)または１点自由度の剛性(絶対バネ)を設定する要素 ・免震復元力特性などの設定が可能
剛域付き４点支持バネ要素	・上下端に剛ビームが接続され、かつ剛域を有する４点間を結合する３次元の線材要素
剛域付き２点支持バネ要素	・剛域を有する２点間を結合する３次元の線材要素
ＭＳＳ要素	・X-Y方向に関する複数のせん断バネ要素とZ方向の１つの軸方向バネ要素を組み合わせた要素 ・免震装置等の設定に用いられる
メンブレン平面要素	・３点または４点を結合する３次元の面要素
材軸直交分割要素	・２点間を結合する３次元線材要素 ・内部的に材軸と直交方向に要素分割を行う（区間分割、断面分割） ・剛域の考慮、M-φ関係 ・M-N、M-M応力相関の考慮が可能
減衰要素	・２点自由度間の減衰(相対減衰)または１点自由度間の減衰(絶対減衰)を設定する要素
剛域付き４点支持減衰要素	・上下端に剛ビームが接続され、かつ剛域を有する４点間を結合する３次元の線材要素
剛域付き２点支持減衰要素	・剛域を有する２点間を結合する３次元の線材要素
マクスウェル要素	・バネ-ダッシュポット直列要素

適用事例

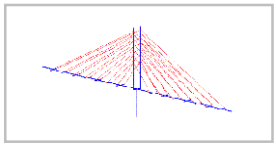
道路橋



■荷重増分解析による
橋脚の地震時保有水平耐力の計算
■曲線橋の動的非線形解析
■斜張橋の動的複合非線形解析
■ラーメン橋/ラーメン橋脚の軸力変動を
考慮した解析
■アーチ橋の動的複合非線形解析

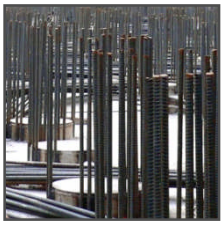


曲線橋動的解析モデル

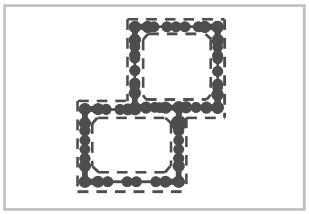


斜張橋動的解析モデル

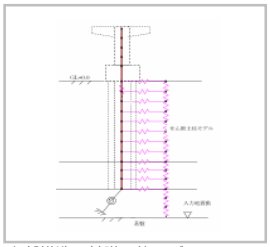
地中構造物



■応答変位法による杭基礎の応力解析
■応答変位法によるカルバートの応力解析
■応答震度法によるカルバートの応力解析



カルバート解析モデル

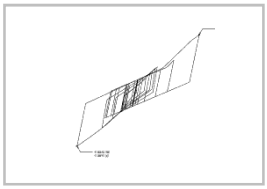


上部構造—基礎一体モデル
（動的相互作用考慮）

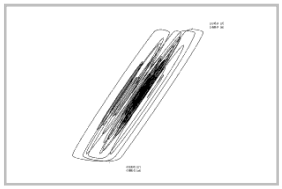
橋梁の耐震補強



■各種免震／制震装置による補強検討
■免震支承
（LRB、HDR、歪み依存特性も可）
■すべり支承（各種依存性考慮）
■制震ダンパー ／ 座屈拘束ブレース
履歴ダンパー ／ 粘弾性ダンパー等



免震ループ図（歪み依存特性考慮）

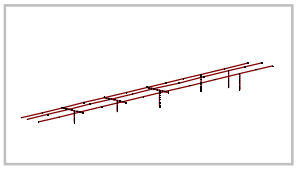


ダンパー履歴図（MAXWELL履歴）

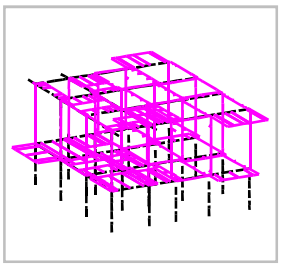
鉄道橋



■立体架構による不整形ラーメン高架橋の
耐震解析
■免震支承を使用した鉄道橋の耐震解析



鉄道橋解析モデル図



不整形ラーメン高架橋解析モデル
（ねじりモーメント図）

超高層建築



■非剛床立体フレーム動的弾塑性解析
■平面フレーム弾性上下動解析
■３階吹き抜けの長柱の座屈検討
■中間層免震高層住宅の耐火検証

上下水道施設



■水門、堰の耐震解析
■ポンプ棟等の耐震解析
■送・配水管の耐震解析

電力施設／プラント構造物



■配管、設備、架台の耐震解析
■送電鉄塔の地震応答解析

港湾施設



■配管、設備、架台の耐震解析
■桟橋の耐震解析

構造物と地盤に関する解析コンサルティング

構造計画研究所では、土木構造物・建築構造物の耐震問題、地盤安定性問題、地盤ー構造物の動的相互作用解析等の解析コンサルティング業務を行っております。

例えば、超高層ビルや原子力発電所などの重要構造物の地震時の安全性評価、確率論的手法を取り入れた構造物の信頼性評価等を、長年の実績の中で蓄積した豊富な経験と独自の技術、ノウハウを駆使して取り組んでおります。また、顧客の要望に対応できるよう、独自の解析プログラムを開発してきました。以下に掲げる様々な対象構造物、個別問題に対し適切な検討方法、解析モデルをご提案させて頂きます。

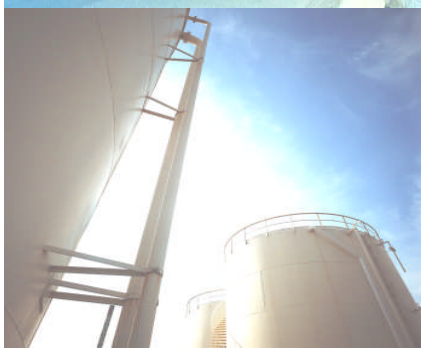
コンサルティング事例

- 杭基礎構造物
- 地下構造物
- 海洋構造物
- タンク構造物
- ダム
- 護岸構造物
- 河川堤防









●近接施工の影響解析

開削工、基礎工、トンネル、盛土等の施工において、地盤の変形に伴う近接構造物等への影響予測解析を行います。

- 堀削時の支保の検討
- トンネル掘削

●地中構造物の耐震検討

構造物の地震時挙動を把握し、構造物の変形や土圧を詳細に評価します。

- 構造物の影響度検討
- 斜面の安定性検討

●液状化の予測

護岸、河川堤防、杭基礎構造物などを、有効応力非線形解析により、地盤の応力変形、過剰間隙水圧（液状化）を検討します。

- 護岸構造物の検討

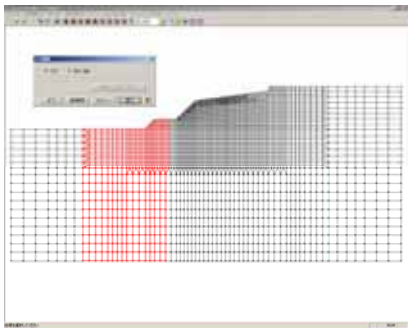
二次元有限要素法の統合解析システム

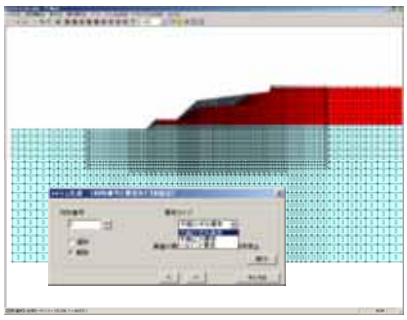
FRONT for Windows

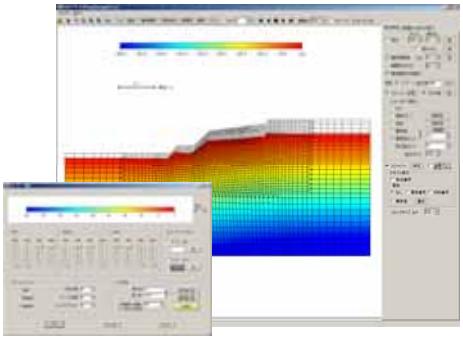
FRONT for Windowsは、地盤に関する様々な変化を予測する統合解析システムです。

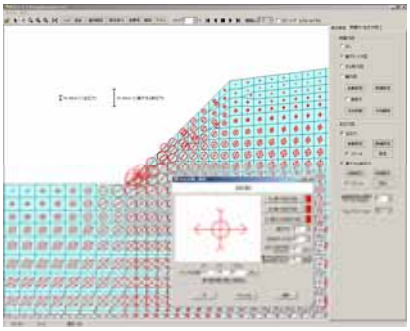
❋特長❋

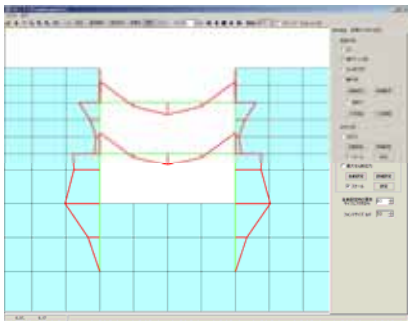
1) 二次元有限要素モデルの作成～解析～結果の図化を Windows 上で容易に行うことができます。
2) 必要な機能のプログラムのみを組み合わせて導入できます。
3) 有限要素法による静的･動的解析
   掘削･盛土などの施工過程を考慮した地盤の安定問題
   地盤と構造物の相互作用を考慮した動的挙動解析
   交通や機械などから発生する振動の影響評価解析











❋構成プログラムの紹介❋

有限要素モデルの作成プログラム

—— F- Mesh for Windows

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

地盤の掘削･盛土を考慮した静的解析プログラム

—— EXAP for Windows

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

地盤･構造物連成系の動的解析プログラム

—— SuperFLUSH/2D for Windows

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

すべり安全率･すべり変形量の算出プログラム

—— POST- S for Windows

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

解析結果図化プログラム

—— POST- P for Windows

変形図、主応力図、断面力図の作成を行います。応答値のコンタ図表示、動画再生が可能です。

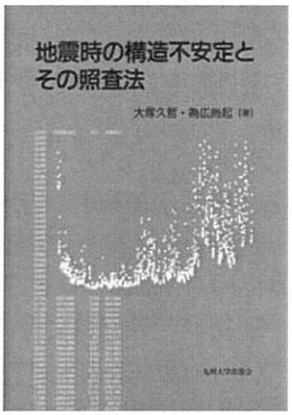
FRONT システムのプログラム以外の解析結果も図化を行うことができます。

■WindowsはMicrosoft Corporationの登録商標です.
■SuperFLUSH/2D for Windowsは（株）構造計画研究所と（株）地震工学研究所の共同開発商品です.

本誌限定特価にて発売いたします！

新　刊

地震時の構造不安定とその照査法



大塚久哲・為広尚起　著

定価　3,990 円（消費税 5%込）　B5 判　112 頁　ISBN 978-4-87378-961-3

著者紹介

大塚久哲：1971 年，九州大学工学部土木学科卒業。1976 年，同大学大学院工学研究院博士課程修了。同大学助手，助教授などを経て，現在，九州大学大学院工学研究院建設デザイン部門教授。

為広尚起：1985 年，東京理科大学建築学科卒業。2007 年，九州大学大学院工学研究院博士課程修了。現在，（株）構造計画研究所勤務。

本書は，構造物の地震時不安定現象を予測する新しい解析手法である「増分形式座屈固有値解析」を詳細に解説するものである。振動中の不安定現象の代表例として「動的座屈」と「パラメトリック励振」を取り上げ，模型実験結果と解析結果を併せて示すことで，これらの現象を理解し，解析手法の有効性を認識できるようになっている。さらに座屈現象が現れない場合の余裕度の定量的評価，座屈現象への対処方法を決定するためのシミュレーション手法なども丁寧に解説されている。また，既設のアーチ橋の座屈性能照査事例や，耐震補強による座屈性能の改善が具体的に示されており，本手法を適用して，地震時不安定現象を見逃すことなく，地震に強い構造物の設計が行えるように配慮されている。

注 文 書

地震時の構造不安定とその照査法	ISBN 978-4-87378-961-3	特価 3,000 円（税込）	冊
（好 評 既 刊 書）			
最新 地中・基礎構造の耐震設計［改訂増補版］	ISBN 978-4-87378-907-1	特価 4,000 円（税込）	冊
中径間橋梁の動的耐震設計［改訂版］	ISBN 978-4-87378-702-2	特価 4,000 円（税込）	冊

ご住所　〒　　-

お名前

（Tel）　　-　　-　　請求書宛名（　　）

九州大学出版会
URL: http://www1.ocn.ne.jp/~kup/

Fax: 092-641-0172
Phone: 092-641-0515
E-mail: salesdep@mocha.ocn.ne.jp

*　このご案内に記載の特価は，**小会へ直接お申し込みいただいた場合にのみ**適用されます。
*　小会へ直接ご注文いただく際は，送料として別途 380 円をいただいております。発送は代金引換郵便となります。
*　社費によるご注文の場合は，請求書の宛名を明記して下さい。

お問い合わせはこちらへ

本誌あるいは弊社の解析サービス・解析ソフトに関してのお問い合わせは下記までお願いいたします。

(株)構造計画研究所　エンジニアリング営業部

〒164－0012　東京都中野区本町 4-38-13

TEL　03－5342－1136　　FAX　03－5342－1236

Eメール　：　kaiseki@kke.co.jp

● 大阪支社　06-6226-1231　●中部営業所　052-222-8461

また、本誌と連携して情報発信を行っております、構造計画研究所　解析関連部門のホームページにも是非お立寄りください。

http://www4.kke.co.jp/kaiseki/

尚、構造計画研究所全社の URL は　http://www.kke.co.jp/　です。

お客様が当社に提供された氏名・年齢・住所・電話番号等の個人情報は、当社の製品・ソリューションなどの情報提供や営業などの目的で使用することがあります。あらかじめご了承ください。お客様がご自身の個人情報の内容について照会または変更することをご希望される場合には、あるいは当社による個人情報の利用の中止をご希望される場合には、上記宛てにご連絡ください。可能な限り対処させていただきます。

解析雑誌　　*Journal of Analytical Engineering Vol.21 2008.12*

（株）構造計画研究所　エンジニアリング営業部　編集・発行

本誌は非売品です。本誌掲載記事・広告の無断転載を禁じます。

Journal of Analytical Engineering,
Vol.21, 2008.12

Kozo Keikaku Engineering, Inc.