解析雑誌

Vol.7　2002.9

Journal of Analytical Engineering

【 Topics 】

■ 建築構造計算システム　RESP-Bird

■ 制震建物の弾塑性解析プログラム
Resp M+

■ 免制震ディバイス　免震告示対応
構造計算システム

【 Technical Reports 】

■ 振動杭打ち機を用いた原位置液状化実験に対するシミュレーション解析

■ 交通振動による地盤振動の波動伝播特性に関する研究

構造計画研究所

【巻頭言】

じわじわ来るもの

解析技術 2 部　土木構造室　藤又　康

2000 年の夏、東京の真夏日（30 度以上）は 60 日、熱帯夜（夜間 25 度以上）が 40 日あり、今年はこれに次ぐ（あるいは更新？）記録的な猛暑となった。夜間の気温が下がらないのは体に応える。高温が続く直接的な原因は、都市部での排熱と道路や建物に熱が蓄積されるために生じるヒートアイランド現象である。これに対し東京都では、平成 13 年建物の屋上緑化に関する制度を整え、施策を進めている。大規模ビルだけでなく、住宅屋上の緑化に「エコ・ガーデン」を提唱するビジネスも増えているようだ。

しかし、その背景には地球温暖化の問題がある。今回ヨハネスブルグで開催された「持続可能な開発に関する世界首脳会議」では、アメリカの不参加、発展途上国の反対などで、CO2 排出削減の目標値や達成年限などを示すことができなかった。地球温暖化で直接ヒトが死ぬわけではない。海水面上昇や異常気象、生態系の変動、紫外線の増加など思わぬ形で災害が発生する。

じわじわ来るものには、なかなか恐怖を覚えにくい。対策は先延ばしで良い、としていると取り返しがつかなくなるのは周知のことである。しかし不況対策と異なり、幸いなことは、温暖化遅延のためには企業単体や、個人レベルでもできることがあることである。積極的にゼロ・エミッションの考えを導入実現している会社は、それをどんなに広告宣伝に利用しようと、むしろ好ましい。

じわじわ来るものにもう一つ、老化がある。最近急速に老眼が進行した。もはや通勤電車内で文庫本が読めない。仕方なしに眼鏡を増やすことにする。骨密度は大丈夫だろうか。現象としてはじわじわと連続的に変化しているのだが､ある限界を超えると途端に健常者としての活動ができなくなってしまう。ずぼらな身には老化遅延策は無いに等しく、まして防止策はあろうはずがない。

そこで、なるべく自動車には乗らない、空き缶・紙パックのリサイクルに努める、暑いときは自宅のクーラーを切り、スーパーマーケットに買い物に行く、など、ほんまかいなというような温暖化遅延に協力することにする。

解析雑誌 Vol.7 2002.9 目次

【巻頭言】 じわじわ来るもの 藤又 康 02

Topic 1 建築構造計算システム RESP-Bird 05

Topic 2 制震建物の弾塑性解析プログラム Resp M+ 08

Topic 3 免制震ディバイス 免震告示対応構造計算システム 11

Technical Report 1
■振動杭打ち機を用いた原位置液状化実験に対するシミュレーション解析 15
高津 忠・原田尚幸・布引英夫・庄司正弘・内山不二男・東畑郁生

Technical Report 2
■交通振動による地盤振動の波動伝播特性に関する研究 19
庄司正弘・西村忠典

解析雑誌 読者アンケートのお願い 26

お問い合わせはこちらへ 27

本誌内では弊社(株)構造計画研究所を KKE と呼称しています。

解析雑誌バックナンバー(Vol.1～Vol.6)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。

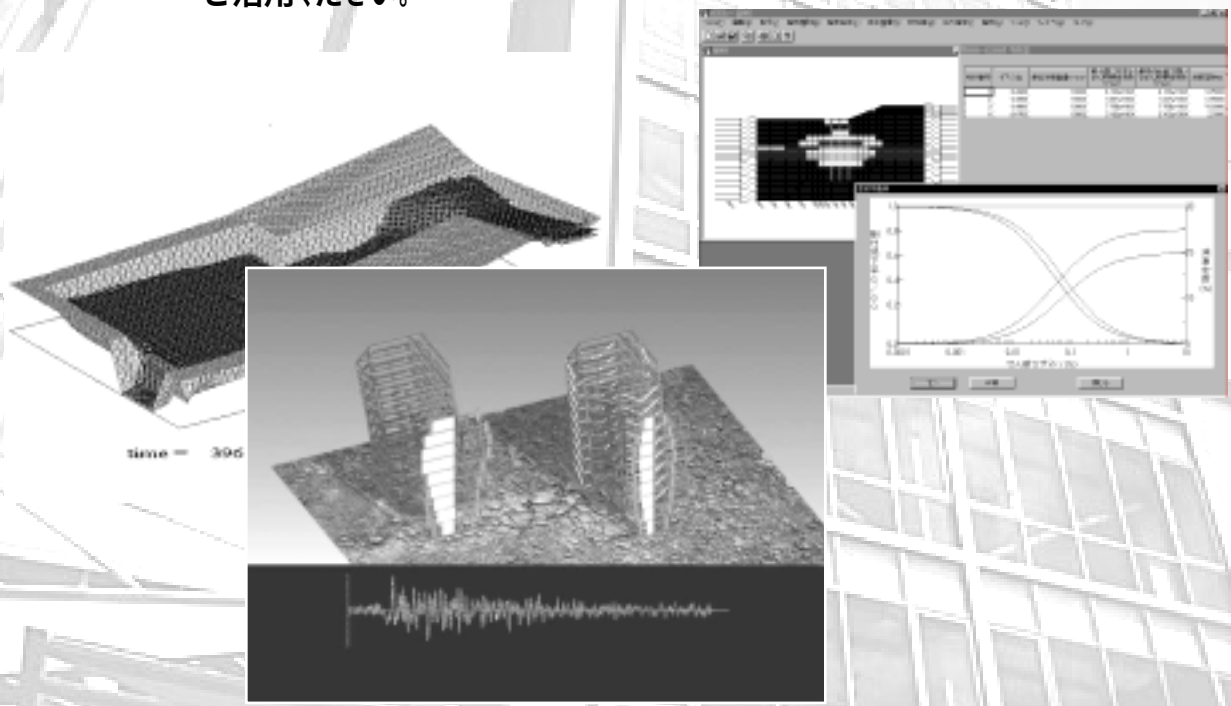
http://www4.kke.co.jp

Journal of Analytical Engineering

スピード、
コラボレーション、
フィードバック。

構造計画研究所の新しいキーワードです。

**４０年余の実績を持つエンジニアリング分野の解析問題にも、
新たなコンセプトと最前線の技術で取り組んでまいります。
蓄積されたノウハウと新たな問題を解決していくスキルを是非
ご活用ください。**



解析ソフトウェアとコンサルティング

**■建築･土木の各種構造物の耐震解析　■免震･制振構造の地震応答解析
■地盤と構造物の相互作用解析　■地盤の安定解析　■設計用入力地震動評価　■リスク評価
■ビル風･室内空調シミュレーション　■地下浸透流解析　■河川･海域流況解析　　ほか**

【お知らせ】

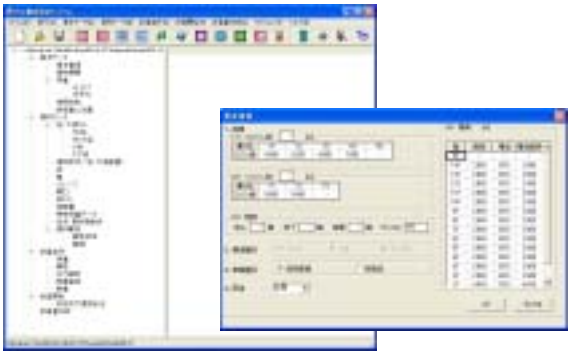
― 新ソフトご紹介 ―

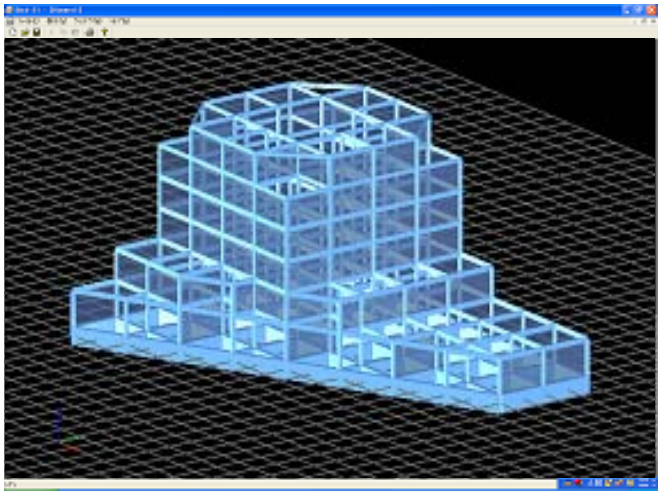
建築構造計算システム　RESP-Bird

建築設計の基本検討段階では、構造検討、コスト検討に多くの比較検討作業を行います。特に近年ではコストスタディに対する要求が高まっており、その効率化が求められています。このたび KKE が販売を開始した RESP-Bird は基本検討、基本設計段階でのパラメータスタディを効率よく進めることを目的とした躯体概算数量計算機能付きの構造計算システムです。

RESP-Bird には設計初期段階における比較検討を効率的に行う以下の特長があります。

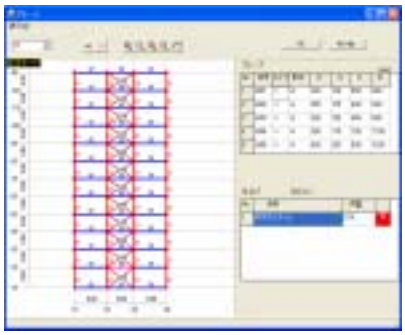
☆ スピーディな操作を実現する直感的でシンプルなユーザー・インターフェース
☆ 仮定断面の自動配置機能
☆ 部材断面の余裕度が判定しやすい許容応力度計算機能
☆ ビジュアルな計算書出力機能
☆ 躯体概算数量計算機能





■メニュー／入力システム

メニューは構造設計の手順に沿った構成になっています。また、断面リスト・部材配置等の入力は設計者になじみやすい伏図・軸組図等の構造図で表現され、入力された建物データは３次元レンダリング表示で確認できます。



■仮定断面の自動配置

建物規模と用途（住居、事務所、店舗、ホテル）、構造種別を入力すると現代の設計において標準的な柱、大梁の部材断面および使用材料、床スラブ、積載荷重が自動的に設定され、全層に自動配置されます。このときの断面は品確法の耐震等級２相当に対応するように設定されています。

■建物形状

建物平面形状はXY直交軸を基本としていますが、節点位置をマウス操作により移動させることができます。各階で節点位置をずらすことにより斜め柱の入力も可能です。

■構造種別／材料

構造種別は鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造（充填型、充填被覆型）に対応しています。使用可能な材料は一般的な材料以外にも、Fc100以上の高強度コンクリートや各種高強度鉄筋が適用可能です。

■部材

柱、大梁、基礎梁、壁（壁厚、開口により耐力壁、雑壁を自動判断）、ブレース、床スラブ、小梁、片持ち梁、片持ちスラブ、杭に対応しています。

■荷重計算／部材剛性計算

自重、積載荷重、地震荷重の自動計算を行うことが可能です。柱、大梁の部材剛性には雑壁の影響を考慮でき、壁量の自動計算も行います。

■応力解析

立体フレーム解析により長期、地震時の応力計算を行うことが可能です。地震荷重の加力方向はX,Yの直交２方向を基本としていますが、それぞれ任意の角度での加力も可能です。

■断面検定

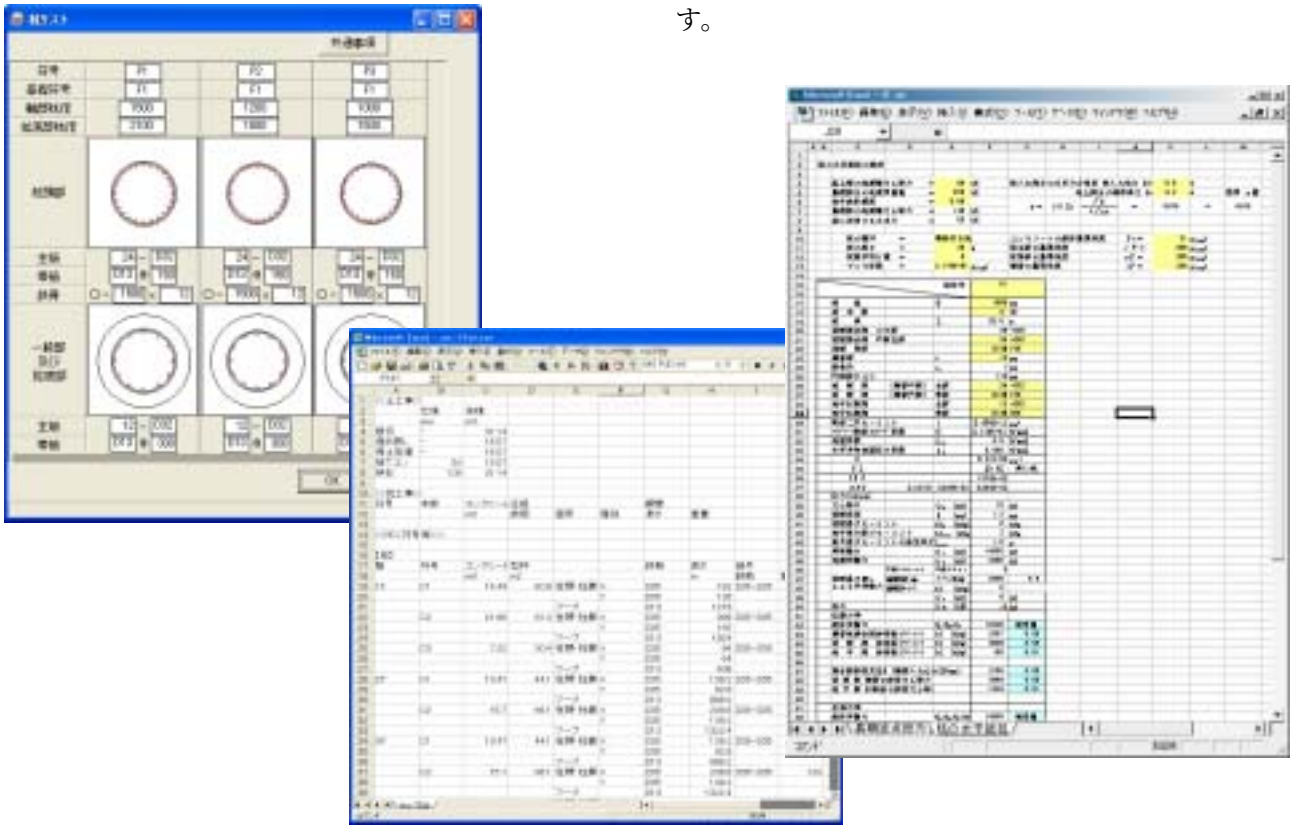
柱、大梁について各種規定、規・基準に準拠した断面の検定を行います。検定値は部材ごとに色分けされて表示され、強度不足や、過剰設計の部材が識別しやすくなっています。

■概算数量計算

入力された部材断面から、コンクリート強度別、鉄筋サイズ別の概算数量を算出します。計算結果はMicrosoft Excelで使用可能なCSVファイルとして出力されます。

■杭（場所打ちコンクリート杭）の計算

場所打ちコンクリート杭の計算と同時に数量計算を行いますので、より作業の効率化を図ることができます。



■構造計算書作成

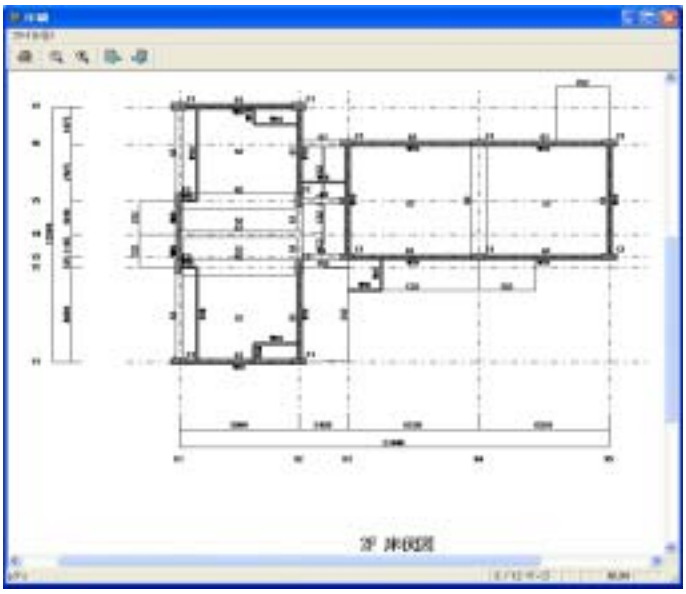
構造計算過程および計算結果は図表現を多用した構造計算書として出力されます。

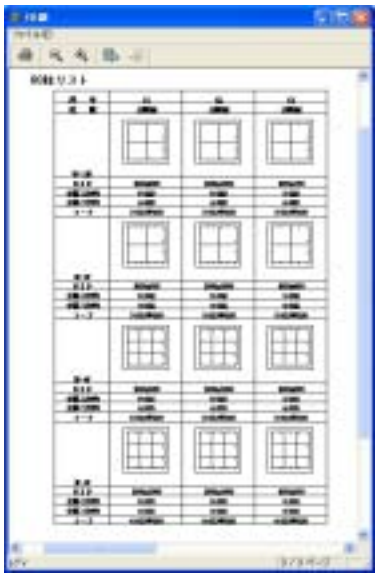
■データ連携

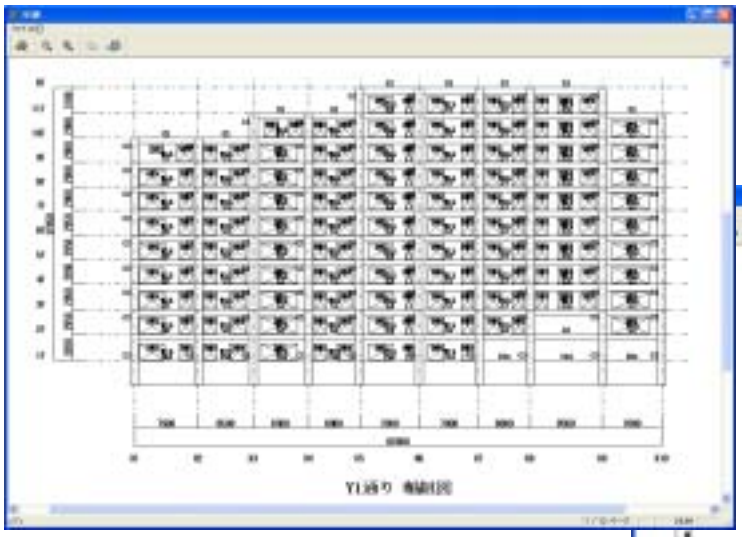
RESP-Bird の入力データ、計算結果は構造計画研究所開発の静的弾塑性解析、限界耐力計算プログラム RESP-F3 との連係が可能です。他の RESP シリーズとの組み合わせにより振動解析までデータの連続性がはかれます。

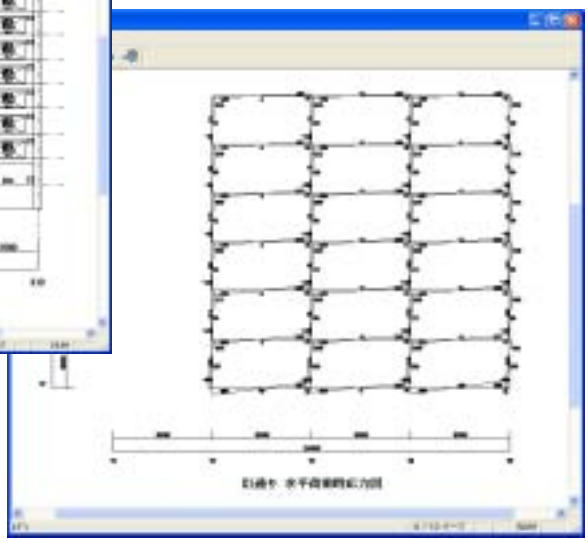
■実行環境

対応機種	： Intel Pentium 以上（Pentium 4 推奨）搭載のPC/AT互換機
対応OS	： Windows 98(SE)/Me/NT4(SP6)/2000/XP
ディスプレイ	：対応OSがサポートしているビデオ・ディスプレイで解像度800×600以上。256色以上
メモリ	： 16MB以上（256MB以上推奨） ディスク容量 ： 200MB以上の空き容量
ドライブ	： CD-ROMドライブ









【お知らせ】

― 新ソフトリリース ―

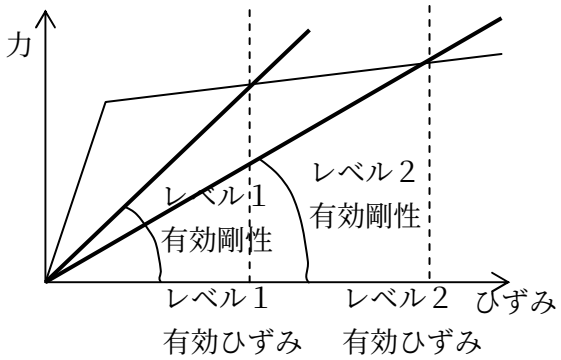
制震建物の弾塑性解析プログラム　Resp M+

RESP シリーズは、最も初期の開発から約２０年に渡り機能強化を続けてまいりました。しかし、近年の機能追加案件には、開発当初には予想もしない高度な技術テーマが含まれ、完全な対応が難しいものが現れるようになりました。KKE は、より高度な問題にスムーズに対応するため、次世代計算部を核にした串団子振動解析プログラムの開発を進めてまいりました。それが、今回ご紹介する Resp M+ です。

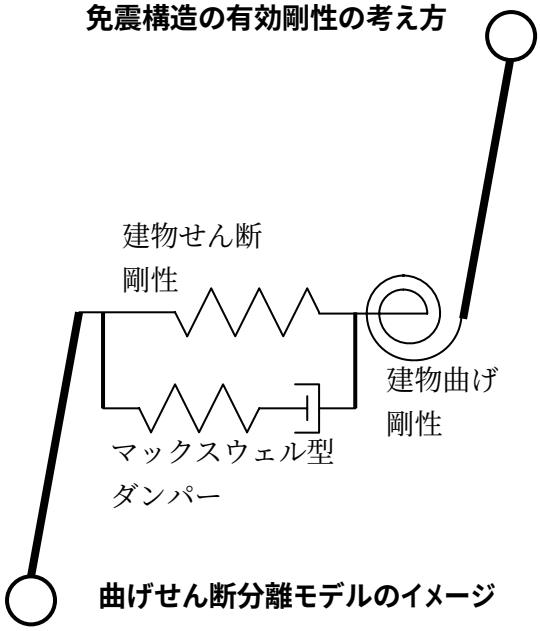
粘性・履歴ダンパーを塔状比の大きな建物に設置する場合、建物全体の曲げ変形にはダンパーの効果は期待できず、層の見かけのせん断変形ではなく、純粋なせん断変形にのみ作用させる必要があります。また、免震建物では、各入力レベルに応じた有効剛性による固有値解析が複数回行う必要があります。これらの問題の多くは、プログラムの根底に関わる内容であり、完全な対応にはプログラムの基本思想を見直す必要があると考えられます。

Resp M+ は、現時点ではまだ、従来からご利用いただいている RESP-M/Ⅱの全機能を包含する状態には至ってはいませんが、以下に示すような M/Ⅱでは対応が困難な機能を中心に開発を進めてまいりました。

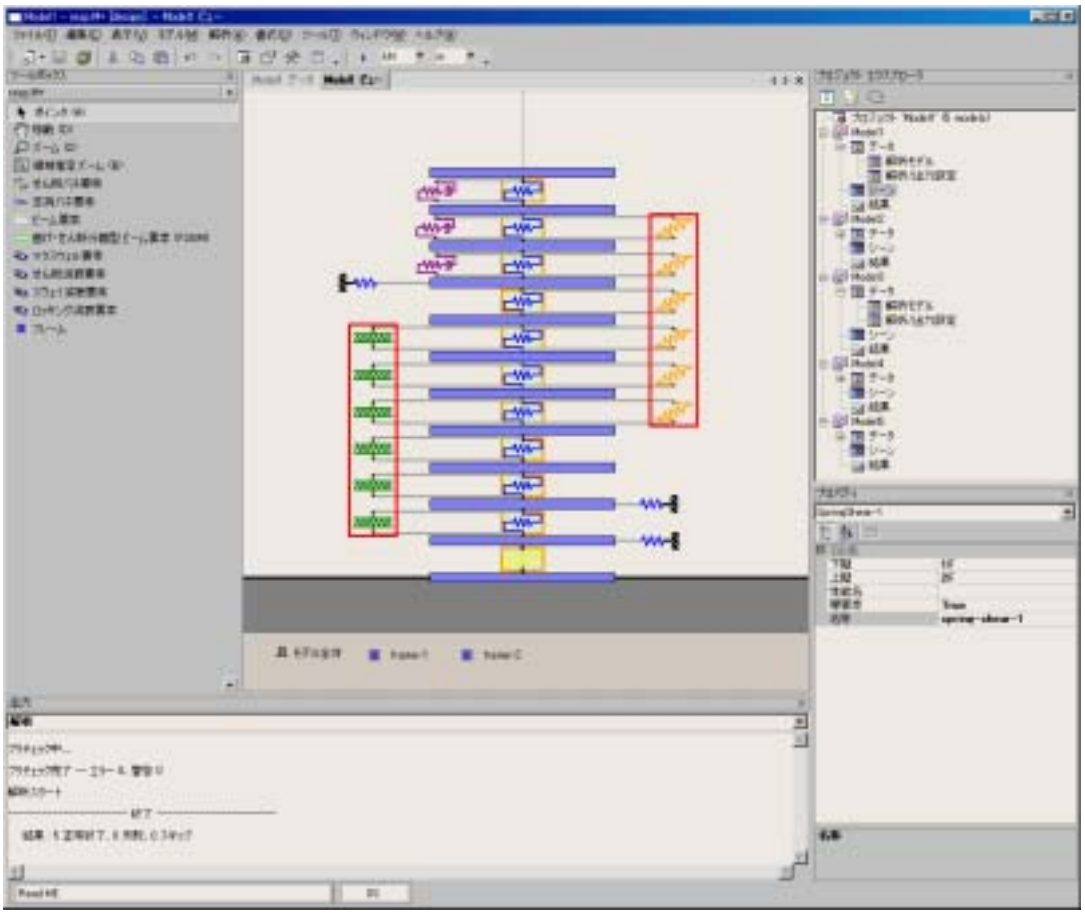
- 曲げせん断分離モデルに対応し、曲げ速度を排除した純粋せん断速度に作用する粘性ダンパーを扱うことが可能。
- 曲げせん断ビームのせん断成分に対して、複数の復元力特性・減衰定数を適用することが可能。
- 任意要素をグルーピングして分担応答せん断力・応答転倒モーメントを算出することが可能。
- スウェイ、ロッキングに複数の復元力特性を適用可能。
- 複数条件の固有値解析を一度に実行可能。
- 固有値解析用剛性を初期剛性とは別に指定可能で、ひずみを指定し有効剛性を算出させることも可能。
- 解析結果の csv ファイル出力機能（MS-Excel で即読み込み可能）。
- Windows 専用プログラムとし、Windows 操作との高い親和性を実現。

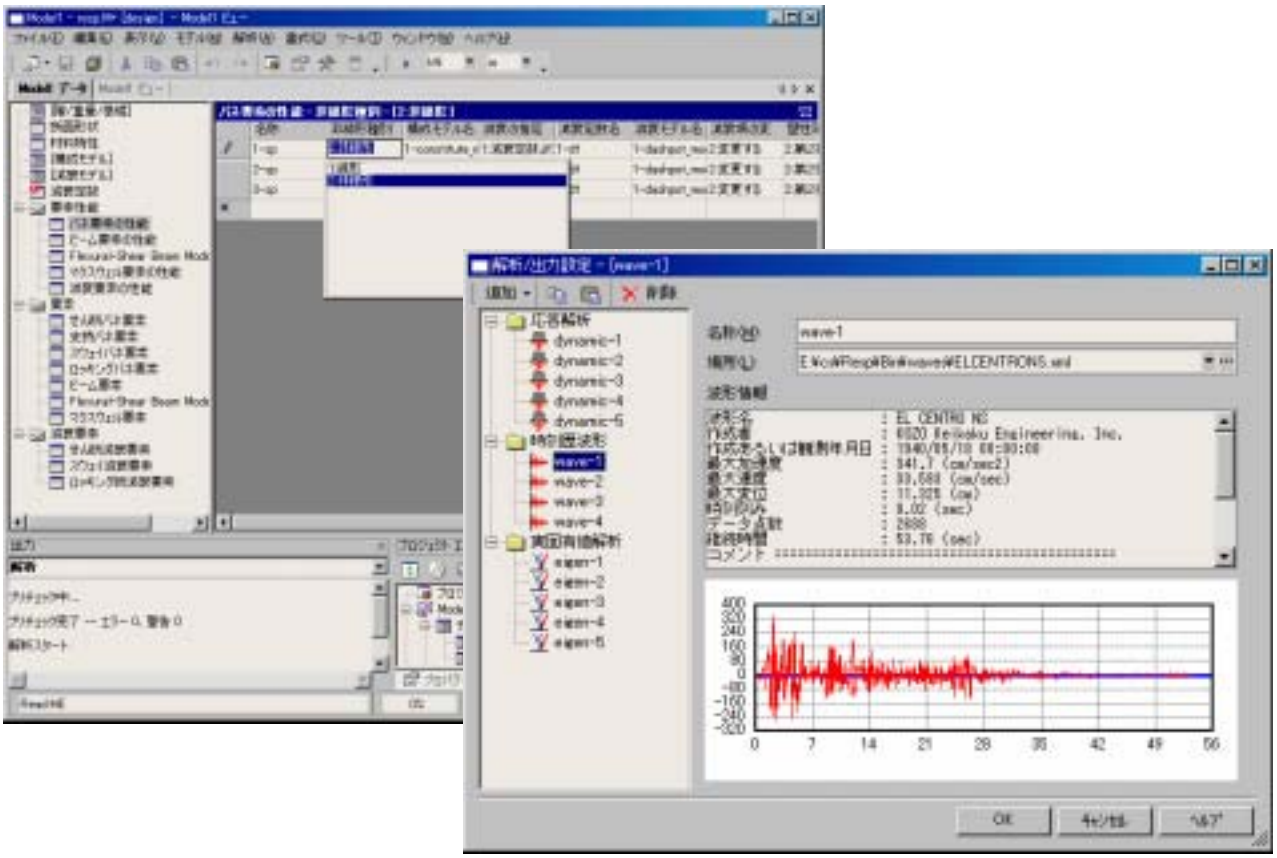


免震構造の有効剛性の考え方



曲げせん断分離モデルのイメージ

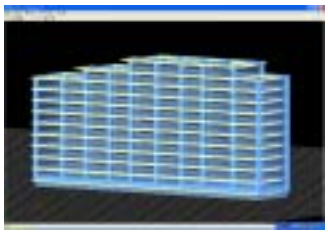


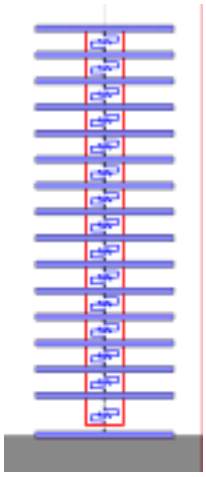


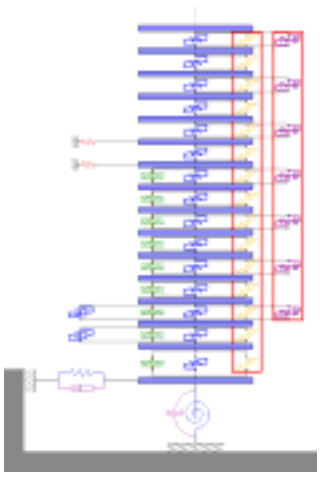
建築構造物の耐震解析プログラム

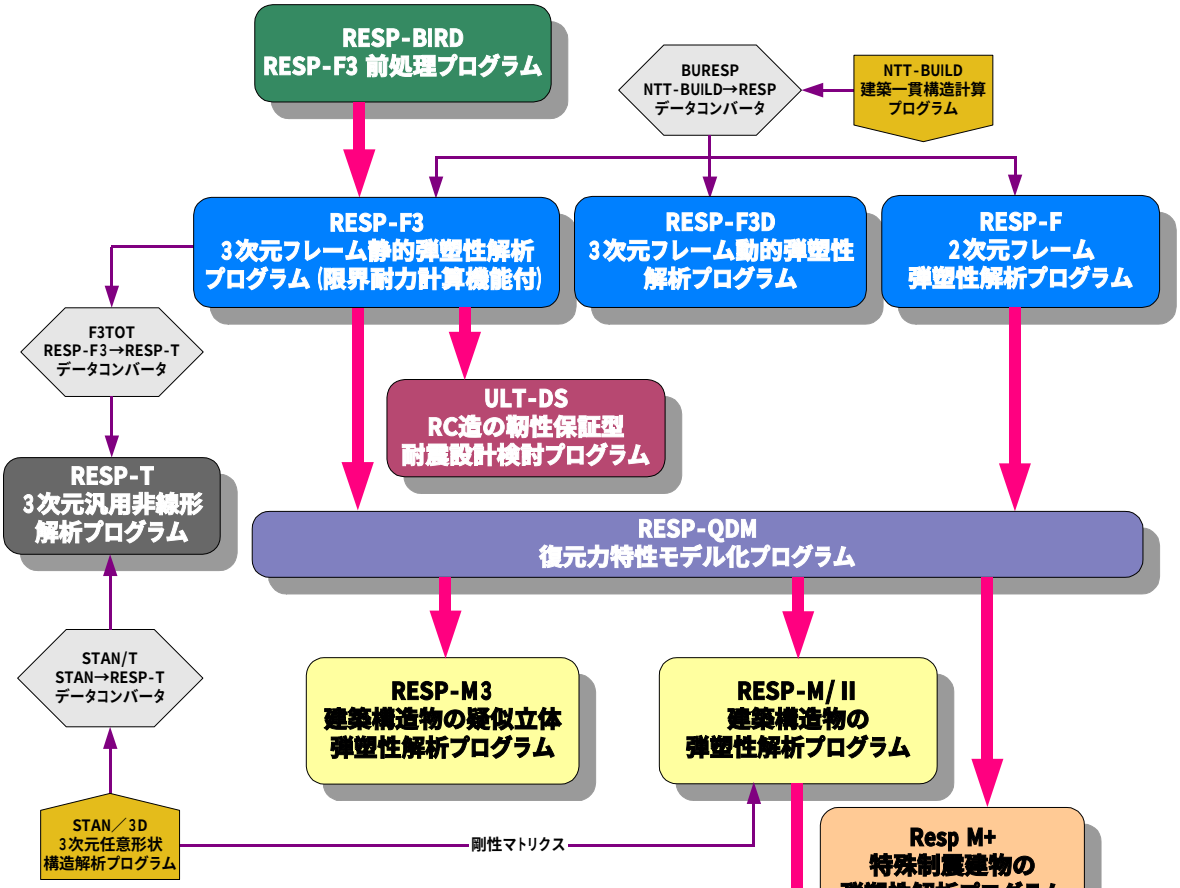
RESP シリーズ

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



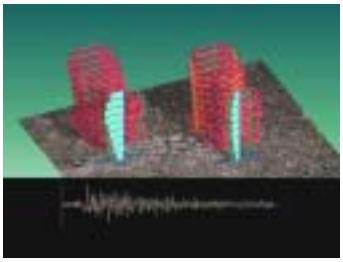


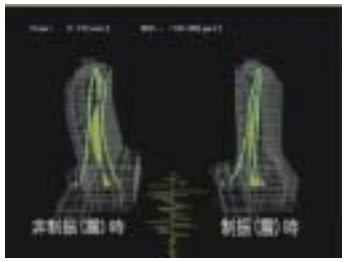




RESPシリーズ適用事例

- 超高層建築の地震応答解析
- 高層RC建築の地震応答解析
- 免震構造解析
- 各種制震構造解析
- 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
- 建築構造物の機械振動、交通振動、歩行振動解析
- ドーム構造物の大変形解析、座屈解析





【お知らせ】

― インターネット上の新サービス開始 ―

免制震ディバイス
免震告示対応構造計算システム

時刻歴解析不要の免震建築設計法(平成12年建設省告示第2009号)が告示され約２年が経過しました。本設計法による実施物件も増えてきています。株式会社免制震ディバイスと KKE は本告示に対応した免震構造計算システムを開発し、無償で利用できるサービスとしてインターネット上で公開いたしました。

構造躯体の倒壊防止は当然のこと、非構造部材・家具・什器の転倒に対する人命保全、設備機器類の機能維持、さらには地震時や地震後の不安感・恐怖感の軽減までを可能とする免震建築を実現するために役立つツールです。また免震部材の自動選定機能が、免震建築にふさわしい免震部材の選択を強力に手助けします。

本プログラムは（株）免制震ディバイスのホームページからアクセスできます。 http://www.adc21.co.jp

本プログラムの主な機能と特長を以下にご紹介します。

■ 計算機能

基本機能として告示第2009号第6に対応した免震建築物の構造計算を行うのに十分な計算機能を持ちます。

- 免震層の偏心率、応答変位、作用する地震力、せん断力分担率、免震建築物の接線周期等の計算を行います。
- 装置特性の経年変化、製造ばらつき等の変化率を考慮した検討が可能です。
- 鉛直荷重を支持する免震材料の軸応力度を個々の装置について確認します。
- 上部構造の地震層せん断力係数を算出します。
- 表層地盤の増幅率Gs の計算は、地盤種別による略算、N 値より精算、Vs より精算の３種類から選択します。

■ 支承材・減衰材データベース

免制震ディバイスの大臣認定済み支承材及び減衰材の特性をデータベースとして内蔵しています。

- 天然ゴム系積層ゴム支承（NRI）／鉛プラグ入り積層ゴム支承（LRI）／弾性すべり支承（SLR）／球体転がり支承（SBB）／直動転がり支承（CLB）／免震用復元材（HDR2）高性能減衰装置（PSA）／増幅機構付き減衰装置（RDT）

■ 免震部材の自動選定

免震部材を選択する際に強力なツールとなる自動選定機能を備えています。

- 目標周期，目標変位を入力することにより，それらの目標に適切な免震装置の組み合わせをデータベースから自動的に検索します。

免震部材自動選定画面

■　計算書出力

講習会テキスト「免震建築物の技術基準解説及び計算例とその解説」の計算例にならった計算書を出力します。

- 構造計算内容の計算書形式出力はもちろんのこと、地盤増幅率Gsの収斂計算過程も出力することが可能です。
- 主要数値は画面上で確認表示ができます。
- 計算書は MS-Word ファイル形式でユーザ側のパソコンに保存できます。

計算書出力

■　ハンドリング

使いやすさとわかりやすさに配慮しています。

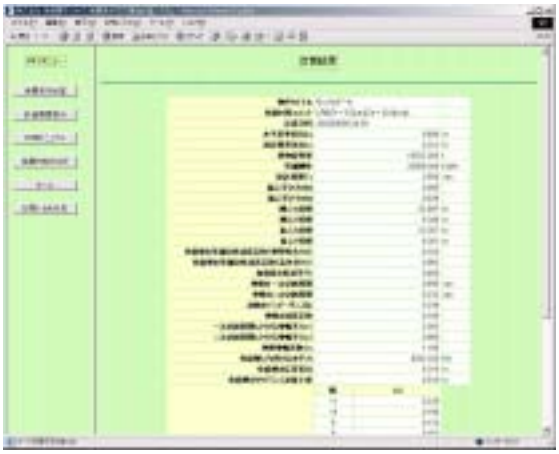
- 入力はすべて Web ブラウザ上で実行します。
- 装置情報をデータベースとして内蔵しているので、一覧から選択するだけで各種特性が設定できます。
- 装置配置後、応答計算前に偏心率、軸力の確認ができます。偏心・剛心位置は平面図に表示されます。
- 一つの上部構造に対し、複数の免震装置配置での比較検討が可能です。
- 利用マニュアルはオンラインで閲覧できます。

入力画面

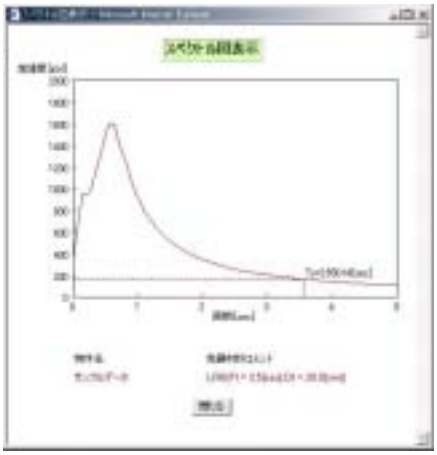
■　低コスト

運用コストは低くおさえられています。

- プログラム購入費、使用料、保守費等は不要です。
- Internet Explorer 5.01 以上がインストールされたパソコンとインターネットへの接続環境、email アドレスがあればすぐに利用可能です。
- 入力データ、計算結果データはサーバに保存できますので、ユーザ側に大容量のディスクは不要です。



計算結果

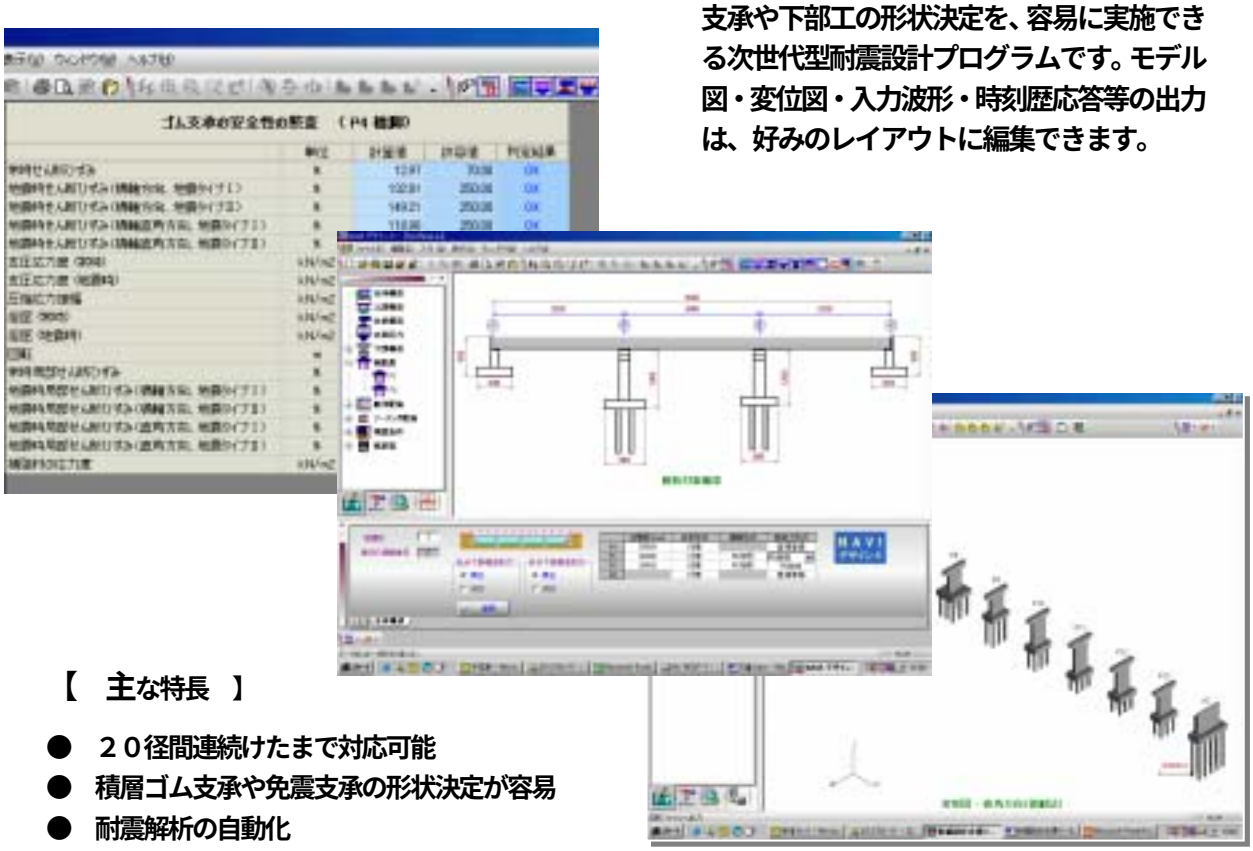


NAVIdesign-K

けた橋の耐震設計ナビゲートシステム

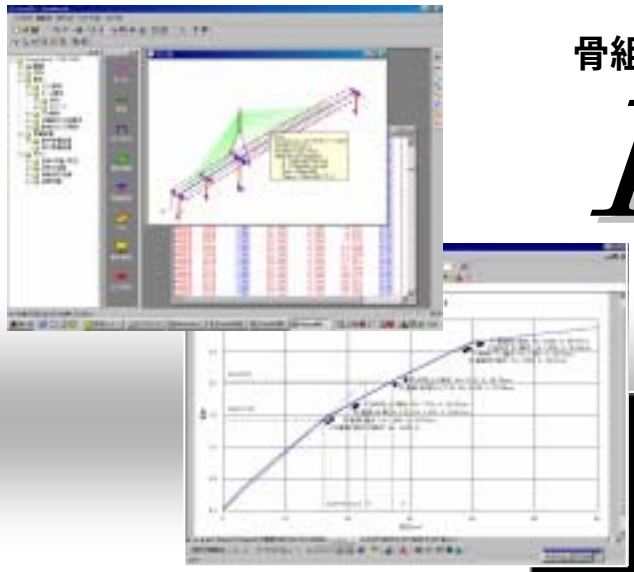
NAVIdesign-K は、予備設計の段階からけた橋の耐震設計を支援します。非線形動的解析の自動化により、多くの設計ケースを同時並行処理することでパラメータスタディを効率化し、より高品質の設計を短時間で実現します。

NAVIdesign-K は、画面に基づく入力機能により、支承や下部工の形状決定を、容易に実施できる次世代型耐震設計プログラムです。モデル図・変位図・入力波形・時刻歴応答等の出力は、好みのレイアウトに編集できます。



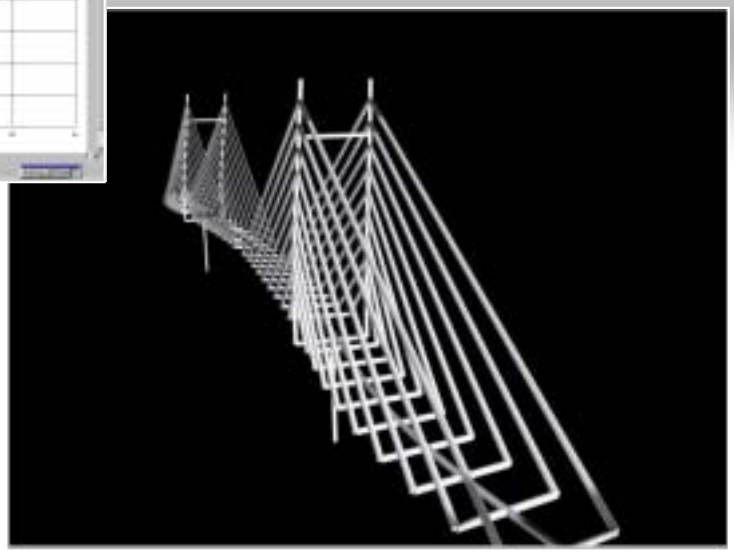
【　主な特長　】

- ２０径間連続けたまで対応可能
- 積層ゴム支承や免震支承の形状決定が容易
- 耐震解析の自動化
  静的解析・動的解析のいずれも対応
- 部材情報（入出力データ）の「丸ごとコピー機能」や「データ連動機能」による、自由なデータ作成・変更機能
- ビジュアルで簡便な入力機能
- 解析結果のビジュアルな図化出力。アニメーション機能も備え、結果をビジュアルに検討可能
- 最新基準（平成14年3月道路橋示方書・同解説）に対応



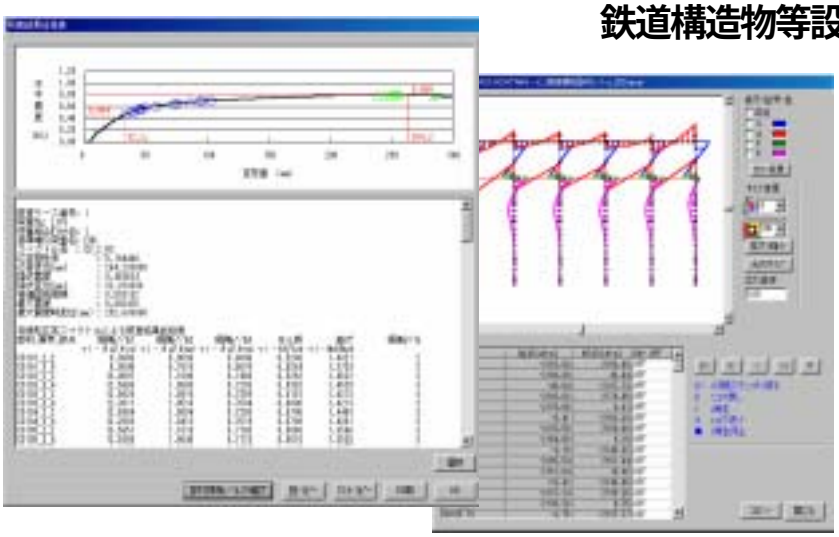
骨組構造物の汎用非線形解析プログラム

RESP-T
for Windows



非線形問題、動的問題を
高解析機能でカバー！

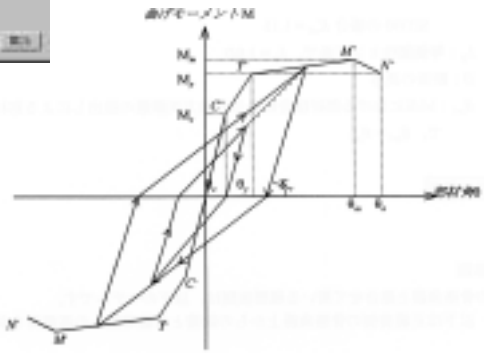
- ■3次元任意形状骨組モデル対応
- ■静的／動的／固有値／座屈固有値　解析
- ■弾塑性／幾何学的非線形
- ■各種の免震制振機構にも対応



鉄道構造物等設計標準･同解説

耐震設計編に準拠！

- ■Windows対応
- ■静的非線形解析
- ■所要降伏震度スペクトル
- ■時刻歴非線形解析
- ■部材の損傷レベルによる耐震性能チェック
- ■テトラリニア対応



鉄道構造物等の耐震性能照査プログラム

ASCARS

Assessment Program for Seismic Capacity of Railway Structure

ASCARS は㈶鉄道総合技術研究所と㈱構造計画研究所の協同開発商品です。

振動杭打ち機を用いた原位置液状化実験に対するシミュレーション解析

高津　忠[1)]　原田尚幸[1)]　布引英夫[1)]　庄司正弘[2)]　内山不二男[2)]　東畑郁生[3)]

1) 錢高組　　2) 構造計画研究所　　3) 東京大学大学院

１．はじめに

液状化対策工法としての小口径スクリーン管の排水効果については、振動杭打ち機を用いた鋼管打ち込みによる原位置液状化実験により確認されている[1)]。しかし、この排水効果を定量的に予測・評価するためには、振動体である鋼管周辺に発生する過剰間隙水圧に起因した有効応力の低下を考慮できるような詳細なシミュレーション解析を実施しなければならず、そのような検討を実際の設計で実施するのは、現状ではやや難しい問題であり、効率的ではない。

そこで本研究では、鋼管近傍での過剰間隙水圧の発生を比較的簡易な方法で考慮した解析を行い、地中加振による液状化問題に対する解析手法の適用性について検討した。

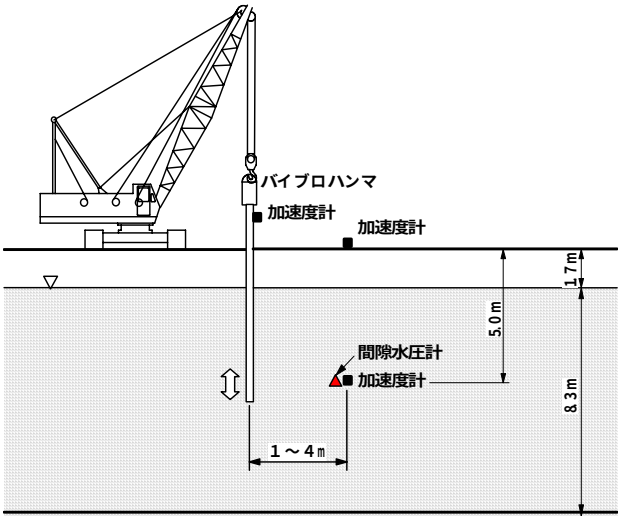
２．実験概要

実験場所は千葉県浦安市の埋立地であり、検討対象地盤は、所々にシルトを互層状に挟んでいるＮ値が６程度の緩い細砂層の堆積した地盤である１)。実験は、加振中の地盤振動性状と細砂層の液状化特性を把握するために、加速度計と間隙水圧計を図－１に示すように設置し、その近傍で鋼管（φ508㎜、L=12m）をバイブロハンマ（60kW、18.3Hz）で打ち込むことにより行った。鋼管の打ち込みは起振力一定（336kN）、貫入速度 1m/min として、GL-8m 位置で貫入を停止し、加振を１分間継続した。

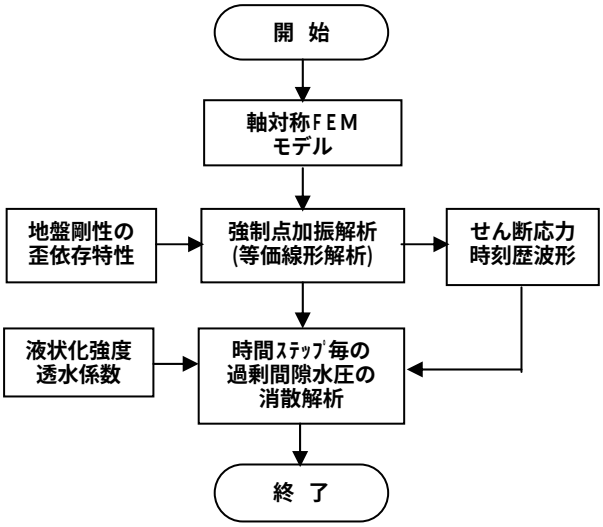
３．解析方法

地中加振による液状化地盤のシミュレーション解析に際して、本解析では、地震時の液状化地盤の過剰間隙水圧の発生・消散に関する合理的な評価手法として提案されている解析手法２）　を用いた。解析フローを図－２に示す。

初めに、地中加振した際の地盤振動の三次元的な波動伝播を的確に考慮する為に、地盤と振動体の鋼管を軸対称ＦＥＭを用いてモデル化した。次に、モデル中心軸上の鋼管を上下方向に強制点加振した際の地盤の応答加速度やせん断応力を算定した。この際、加振中の地盤の非線形性については、地盤のせん断剛性や減衰定数の歪依存性を考慮した等価線形化法により考慮した。



図－１　原位置液状化実験の概要



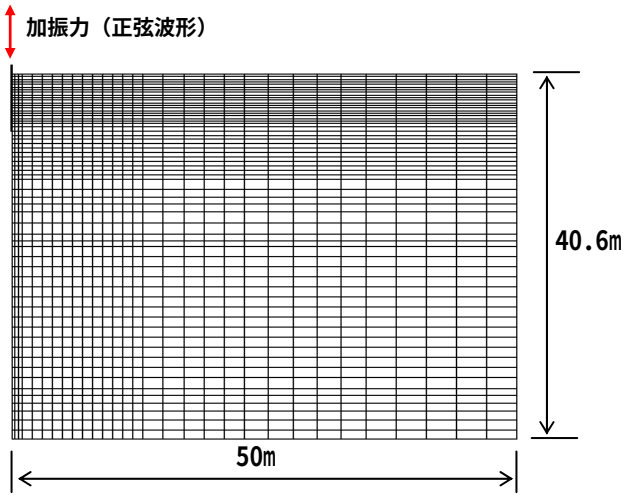
図－２　解析フロー

さらに、鋼管周辺地盤の液状化については、強制点加振解析によって算定された地盤のせん断応力時刻歴の繰り返し回数と体積歪の関係から過剰間隙水圧の発生を評価して、各時間ステップ毎の消散解析により水圧の消散を評価した。なお実験では鋼管の貫入深さが GL-6.5mに達した時に周辺地盤の過剰間隙水圧が最大となることから、解析では GL-6.5mを加振深さとした。

４．解析モデル

本解析で用いた軸対称ＦＥＭモデルを図－３に示し、地盤モデルを表－１示す。地下水位は GL－1.7m とし、地盤のせん断剛性と減衰定数の歪依存特性は土木研究所資料 3) を参考にして設定した。透水係数と液状化強度は地盤調査結果から設定した。

境界条件は、側面エネルギー伝達境界、底面粘性境界、対称軸上は鉛直ローラとした。地盤の要素分割は地盤の非線形性による剛性低下を考慮して透過振動数を満足する様に波長の 1/6 以下とした。加振力は非定常な正弦波形（振動数 18.3Hz）とし、振幅は以下のように設定した。



図－３　軸対称ＦＥＭ解析モデル

表－１　地盤モデル

深度 (m)	せん断波速度 (m/s)	密　度 (kN/m³)	ポアソン比	透水係数 (cm/s)
-1.7m	120	16.3	0.300	－
-5.8m	120	16.3	0.495	3.0×10^{-4}
-6.8m	90	16.3	0.495	3.0×10^{-4}
-8.7m	130	16.3	0.495	3.0×10^{-4}
-10.0m	140	16.3	0.495	3.0×10^{-4}
-12.8m	165	14.9	0.495	－
-15.3m	105	14.9	0.495	－
-17.8m	130	14.9	0.495	－
-19.2m	130	14.9	0.495	－
-30.3m	140	14.9	0.495	－
-34.9m	215	16.5	0.495	－
-37.4m	205	15.7	0.495	－
-40.6m	230	15.7	0.495	－
半無限地盤	230	15.7	0.495	－

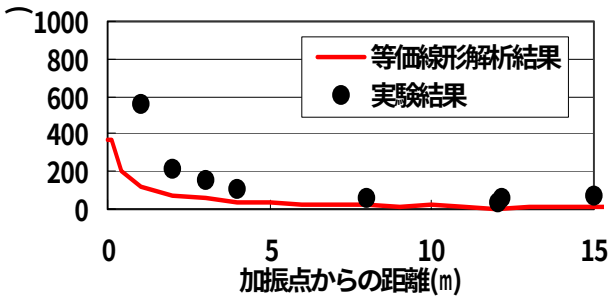
実験では鋼管周りは振動直後に液状化し、鋼管の振動が周辺地盤に伝達され難くなり、鋼管近傍地盤の加速度は鋼管加速度の約 1/10 になる。一方、等価線形化法による本解析では鋼管近傍地盤の液状化までは直接評価できないため、鋼管の振動が実験に比べて過大に伝達される。そこで本検討では、解析で用いる等価加振力として、実際の起振力の 1/10 を仮定した。なお鋼管長さは加振深さと同じとした。

５．実験結果と解析結果の比較

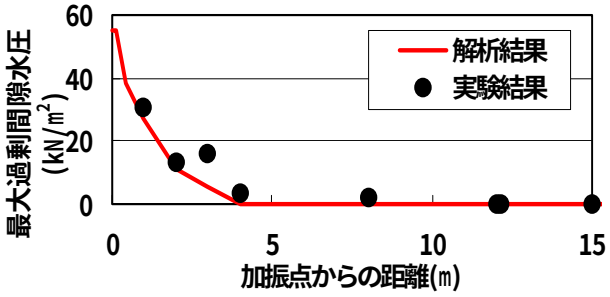
地中（GL-5m）の最大加速度と最大過剰間隙水圧に関する実験結果と解析結果の比較図を図－４、５に示す。

実験結果と解析結果の両者とも、加速度と過剰間隙水圧の最大発生量は鋼管（加振点）から離れるにしたがって急激に減少しており、定性的な傾向は良く対応している。また定量的にも、最大加速度は解析結果が過小評価となっているが、過剰間隙水圧は全体的に良く一致している。

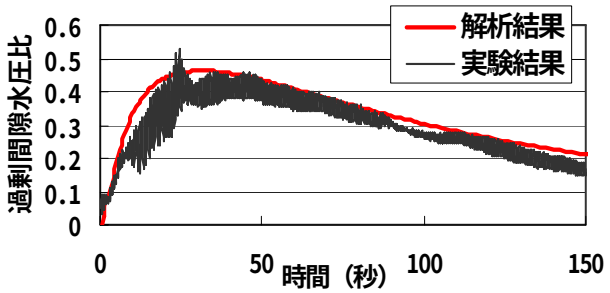
加振位置～計測器間距離 1m の場合における地中（GL-5m）の過剰間隙水圧比の時刻歴の比較図を図－６に示す。水圧が上昇して最大値が発生する時刻や水圧の減少傾向まで、実験結果と解析結果は良く対応している。



図－４　最大鉛直加速度の距離減衰



図－５　最大過剰間隙水圧の距離減衰



図－6　過剰間隙水圧比の時刻歴（加振点間距離

６．まとめ

本検討では、地中加振による地盤応答を等価線形解析で評価し、さらに液状化による地盤の過剰間隙水圧の発生・消散を比較的簡易で合理的な評価手法を用いて原位置液状化実験のシミュレーション解析を実施した。

その結果、地盤加速度や過剰間隙水圧の上昇・消散について、実験結果と解析結果は比較的良好な対応関係を示し、本検討で用いた解析手法によって、地盤の透水係数や加振力を適切に設定することで、実験結果をある程度は定性的・定量的に説明できることが確認できた。

今後は、小口径スクリーン管による液状化対策後の振動実験結果を対象にして同様のシミュレーション解析を行い、小径スクリーン管による液状化対策工法としての効果を予測・評価するための解析手法としての適用性について検討する予定である。

【参考文献】

1) 原田・角田・高津・水取・大下・小野寺：小径スクリーン管の排水効果に関する原位置液状化実験、第 37 回地盤工学研究発表会、2002.7.
2) 西・金谷他：地震時における基礎地盤の安定性評価（その 1）－動的解析に基づく砂・砂礫地盤の安定性評価手法の開発－、電力中央研究所報告、U86002、昭和 61 年 9 月
3) 土研資料第 1778 号：地盤の地震時応答特性の数値解析法―SHAKE：DESRA－、土木研究所、昭和 57 年 2 月

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*
模擬地震波作成プログラム . . . . . *ARTEQ for Windows*
成層地盤地震応答解析プログラム . . . . . *k-SHAKE+ for Windows*
波形処理プログラム . . . . . *k-WAVE for Windows*

設計用入力地震動作成システムは、免震構造物の設計には欠かせない模擬地震波や構造物の建設地域の地盤特性を考慮した入力地震動を手軽に作成できる Windows 対応の設計者のためのソフトウェアです。
ユーザは、過去の被害地震や活断層から建設地点での地震動強さを評価し、表層地盤の増幅特性を考慮した、設計用入力地震動を簡易に作成することが可能です。

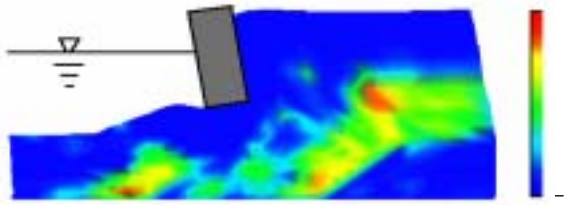
活断層による最大値一覧出力画面

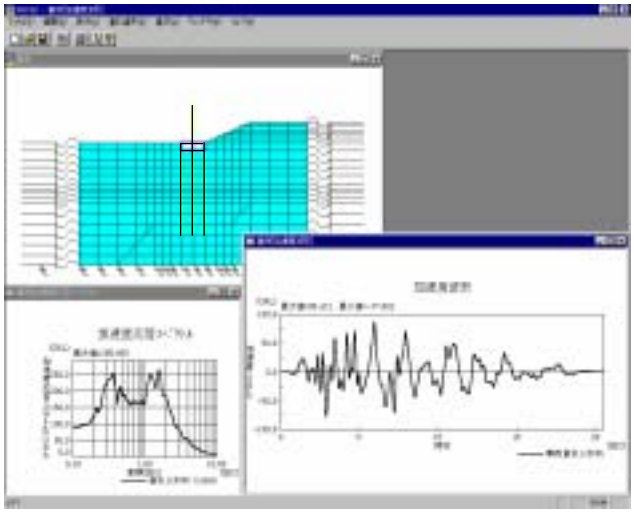
地盤と構造物の動的相互作用解析プログラム
SuperFLUSH/2D for Windows

軟弱地盤に建設される橋梁や港湾構造物、
既設埋設構造物との近接施工、
異種地盤にまたがる長大橋等の
耐震性照査に威力を発揮します。

有効応力解析手法による
相互作用解析は. . .

NANSSI





★ Super FLUSH/2DとNANSSIは（株）地震工学研究所と弊社の共同開発商品です。

交通振動による地盤振動の波動伝播特性に関する研究

－3方向加振の影響に関する3次元解析－

庄司 正弘[1)]　西村 忠典[1)]

1) 株式会社 構造計画研究所

１．はじめに

近年、交通振動などの振動予測や防振対策に関する解析的検討が実施されてきているが、主に上下振動に着目した検討例が多い。しかしながら、交通振動の振動測定結果によれば、振動源近傍でも、上下振動だけではなく走行方向ならびに走行直角方向の水平振動が比較的大きな振動レベルになることもあり、無視できない。また高架橋の交通振動の場合はそれが基礎に伝達され、基礎の上下・水平・ロッキング振動を励起させ、周辺地盤に３次元的に伝播し、高架橋からやや離れた地盤では、水平振動が上下振動より大きくなる実測結果も報告されている 1),2),3)。

本検討では、図１に示す様な高架高速道路などの交通振動を対象として、上下方向だけではなく、自動車走行方向と走行直行方向の水平２方向を加えた３方向の加振力を考慮した場合の地盤振動の波動伝播特性について３次元解析により検討した。

２．検討方法

本検討では、杭支持された高架橋基礎が自動車走行方向とその直角方向及び上下方向に振動する場合を想定し、基礎を各方向毎に加振した場合と３方向に同時に加振した場合の地盤振動について、３次元解析を行って比較検討した。

この際、図１に示した高架橋～杭基礎～地盤系と振動源を次の様に簡略化して取り扱った。

・高架橋上部：重量・剛性共に考慮しない。

・高架橋基礎：基礎マットは重量と回転慣性のみ考慮し、基礎の埋込みは考慮しない。杭は群杭係数を考慮して１本杭に縮約し、杭頭に基礎重量を付加した。

・振動源：自動車走行による高架橋の振動を杭基礎の振動に代表させて評価し、杭基礎（杭頭）を３方向に強制加振することで振動源とした。なお自動車走行による移動振源効果については、本検討では考慮せず、全ての杭頭を同位相で加振した。

・検討対象範囲：高架橋は走行方向に 900mの範囲を考慮し、基礎間隔を 30mと仮定した。地盤側受信点は高架橋中心から走行直角方向で片側に 400mの範囲を考慮し、中心杭を通る１側線上を 10m間隔で評価した。

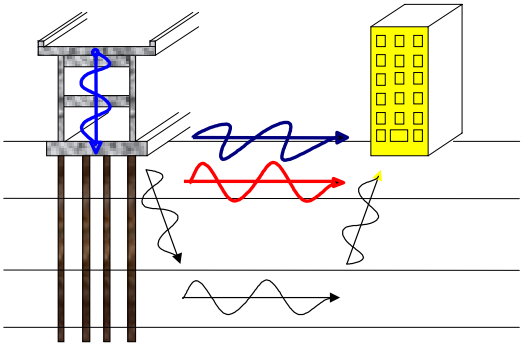


図1　高架橋上の交通振動と地盤振動の概念図

３．解析手法及び解析モデル

地盤－杭基礎系を動的サブストラクチャー法により三次元的にモデル化し、杭頭を単位振幅の正弦定常波で強制加振解析した際の地盤応答を算定した。図２に本解析で用いた連続高架橋基礎の３次元解析モデルの概念図を示し、表１と図３に地盤と杭基礎の諸元を示す。

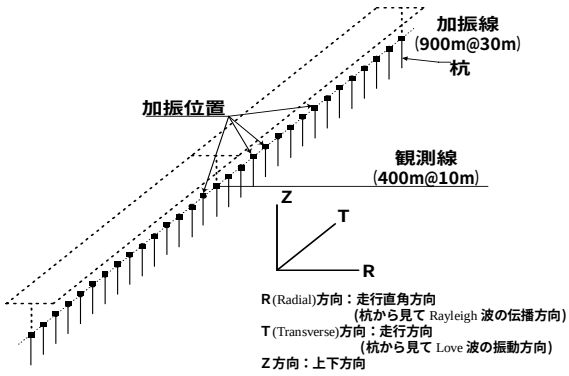


図2　連続高架橋基礎の3次元解析モデルの概念図

表１　地盤モデル諸元

深度 GL-m	P波速度 Vp (m/sec)	S波速度 Vs (m/sec)	単位体積重量γ (kN/m3)	減衰 (%)
5.00	730	120	20.0	1.5
11.00	1300	180	20.0	1.5
22.00	1600	230	20.0	1.5
36.00	1700	280	20.0	1.5
44.00	1700	330	20.0	1.5
50.00	1700	380	20.0	1.5
∞	1700	400	20.0	1.0

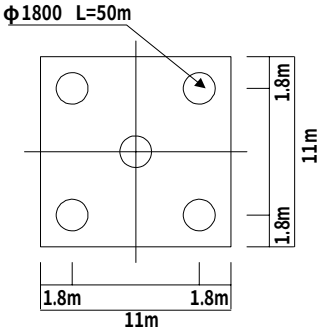


図３　杭基礎伏図

地盤は薄層要素法を用いて水平成層構造とし、杭基礎は三次元 FEM でビーム要素に置換し、杭頭に基礎重量を付加した。地盤と杭の力と変位の連続性は薄層要素法によるリング加振解で評価した。また振動源（杭頭加振力）に対する地盤応答は、薄層要素法による点加振解で評価した。応答解析は複素応答法を用いて線形解析とし、解析対象振動数は 20Hz とした。解析プログラムには SuperFLUSH/3D を用いた 4)。

４．解析結果

表２に示す４ケースの解析を実施し、地盤応答加速度に着目し、そのフーリエスペクトルを平滑化する意味も含めて、全て 1/3 オクターブバンドスペクトルで比較した。

(1) 振動源（杭頭）の振動加速度レベルの周波数特性

図４に、RTZ３方向同時加振した際の杭頭（中心杭）の加速度レベルを示す。検討対象とした基礎が正方形で上部工を無視した為、R・T 方向の振動特性の違いは小さい。Z 方向は R･T 方向に比べて応答が小さく、地盤と杭の上下方向の剛性が水平方向に比べて大きいことと対応している。

なお Z 方向の振動加速度レベルは、通常の交通振動による振動源近傍の振動レベルなどによる実測例と比べると、比較的近い振動レベルにあるものと考えられる。

表２　解析ケース

加振方向	地盤応答の方向
① RTZ 同時加振（３方向加振）	RTZ の各方向の応答
② R 方向加振のみ（R加振）	R 方向の応答
③ T 方向加振のみ（T加振）	T 方向の応答
④ Z 方向加振のみ（Z加振）	Z 方向の応答

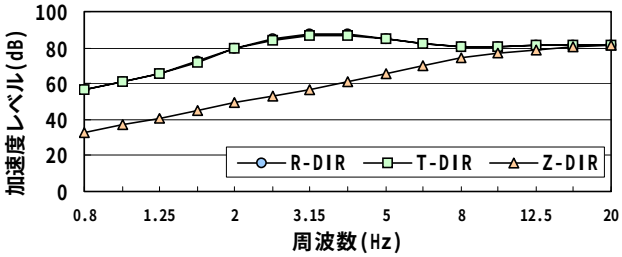


図４　振動源の振動加速度レベル（3方向同時加振）

(2) 地盤の振動加速度レベルの周波数特性の比較

図５と図６に、代表２点（振動源から 100m・300m）の振動加速度レベルの周波数特性の比較図を示す。図５は RTZ３方向同時加振した際の各方向の応答で、図６は各方向毎に加振した際の各方向の応答である。

T 方向の応答：全ての場合で T 方向の応答が最も大きく、３方向加振と T 加振の応答の違いは極めて小さく、その他２方向の加振力の影響が小さいことが判る。T 方向が Love 波の振動方向と同じであることに対応する。

R 方向の応答：5Hz より低振動数では３方向加振と R 加振の応答の違いは小さいが、これより高振動数では振動数が高くなるほど R 加振した際の応答が小さい傾向にある。R 方向の応答が Rayleigh 波の伝播と関係していることを考慮すると、低振動数では Z 方向加振の影響が小さく R 方向加振による応答が支配的であり、高振動数ほど Z 方向加振の影響が大きく、無視できないことが判る。

Z 方向の応答:R 方向の応答の場合と傾向が逆転し、8Hz より高振動数では３方向加振と Z 加振の応答の違いは小さく、8Hz より低振動数では Z 加振した際の応答が小さい傾向にある。Z 方向の応答が Rayleigh 波の伝播と関係していることを考慮すると、高振動数では R 方向加振の影響が小さく Z 方向加振による応答が支配的であり、低振動数では R 方向加振の影響が大きく、無視できないと考えられる。

(3) 地盤応答の距離減衰特性の比較

全体的に応答が卓越していた 3.15Hz の振動加速度レベルの距離減衰特性を図７に示す。この場合、３方向加振と各方向毎の加振の応答の差異は、R・T 水平２方向では小さいが、Z 方向ではそれが顕著に認められ、３方向加振に比べ Z 方向加振の方が 10dB 程度過小評価されている。

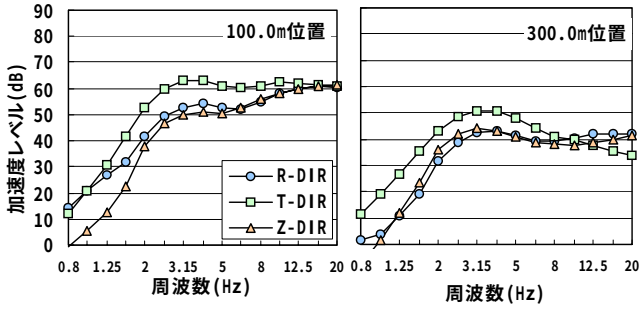


図5　地盤の振動加速度レベル（3方向同時加振）

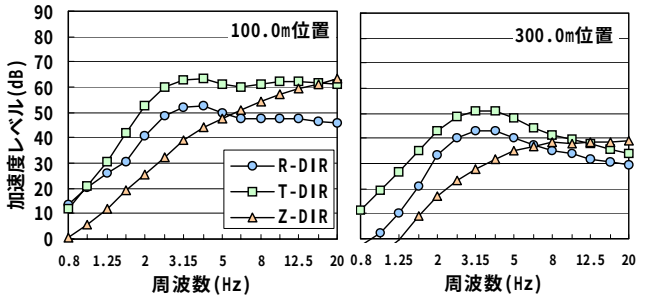


図6　地盤の振動加速度レベル（各方向毎に加振）

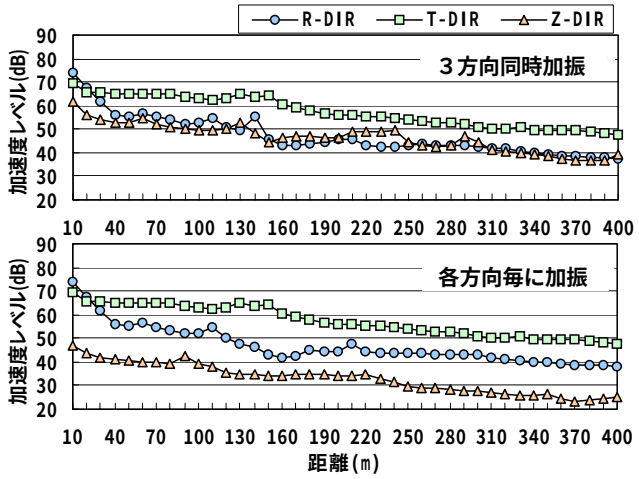


図7　地盤振動の距離減衰（3.15Hz の加速度レベル）

5．まとめ

高架高速道路などの交通振動を対象として、自動車走行(T)方向と走行直行(R)方向及び上下(Z)方向の３方向の加振力を考慮した場合と各方向毎にのみ加振した場合の地盤振動特性について３次元解析を行って比較検討した。

その結果、３方向加振と１方向加振のみの観測線上の応答の違いは、Love 波の振動方向では小さく、Rayleigh 波の振動成分に関係する方向では応答の違いが顕著に認められ、従来の上下方向のみを対象とした振動予測などの検討では、振動レベルを過小評価する可能性のあることがわかった。

参考文献

1) J.Q.JIANG,A.NISHIMURA,H.HAYA,Y.MURONO：Ground Vibration From Railway Traffic and Its Resduction Measures、第 30 回土質工学研究発表会 428、1995.7.

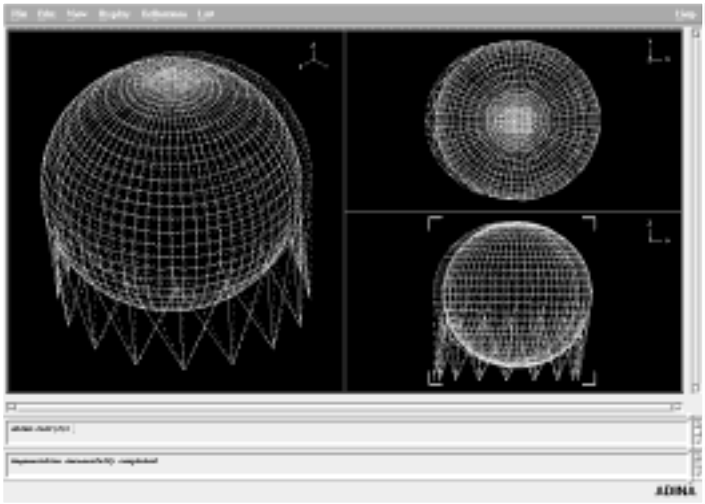
2) 小林・長瀧：列車走行による地盤及び建物の振動調査と振動予測（その１・２）、第 23 回土質工学研究発表会 315･316、1988.7.

3) 竹宮：環境振動における地盤内の波動伝播と振動対策、基礎工、pp.8-11、2002.1.

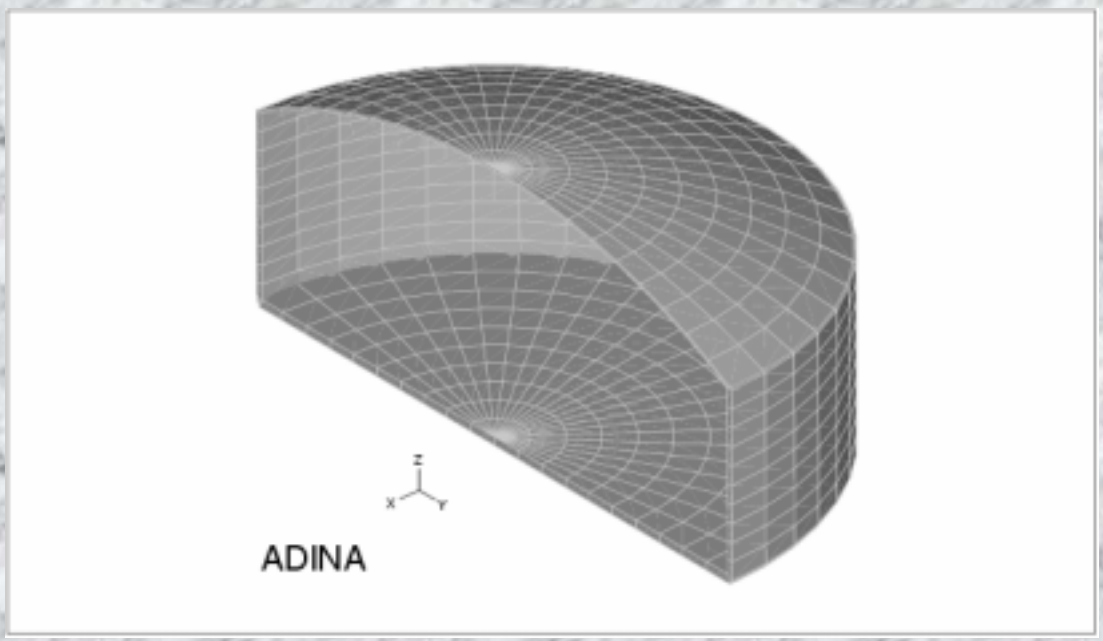
4) SuperFLUSH/3D 使用説明書 (株)構造計画研究所

有限要素法による

解析コンサルティング

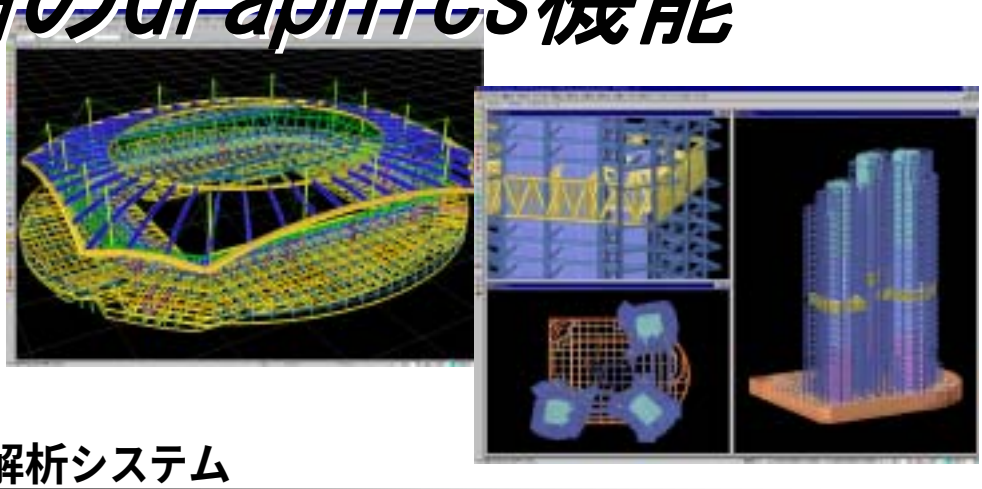


非線形有限要素法プログラム
ＡＤＩＮＡを用いた解析コンサルティングがご好評をいただいております。構造・地盤から熱流体まで、様々な問題を解決してきたノウハウにご期待ください。



★ADINAはADINA R&D,Inc.（米国）の登録商標です。

直感的なInterface
先端のGraphics機能



建設用構造解析システム

Modeling, Integrated Design & Analysis Software

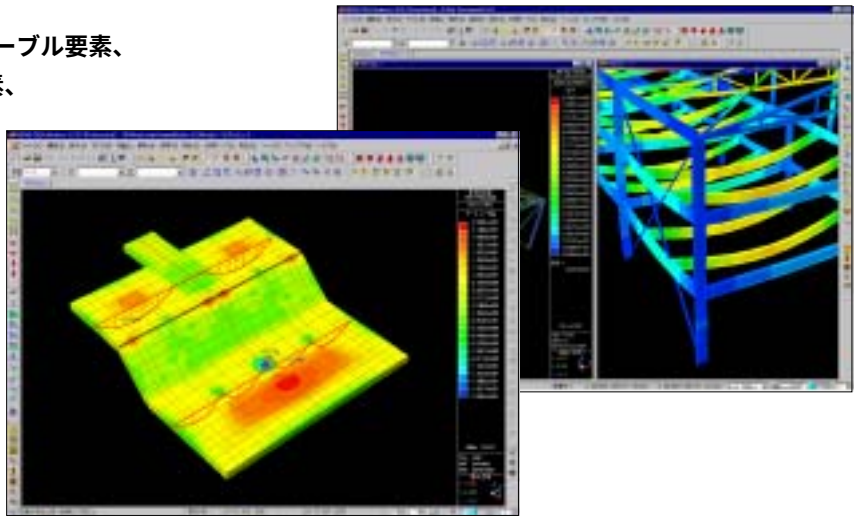
MIDAS/ Gen

適用構造物：　一般建物、競技場、工場、格納庫、鉄塔、その他の特殊構造物

CADライクのモデリングにより卓越した操作性と生産性を実現
各国4000余りのプロジェクトに利用された信頼と実績
日本建築基準法に対応（地震・風荷重、断面算定等）
MS-Excel、AutoCAD DXF、STAN/3D、STAAD/Pro、NASTRAN等との互換
便利な建築専用機能（建物モデル自動生成機能、鉄骨断面・鉄筋DB内蔵等）
多彩なモデル表現（レンダリング、透視図、ウォークスルー機能等）
Multi-frontal Solverによる計算速度の高速化（Sky-line Solverに比べ10～20倍）

■有限要素
　トラス要素、引張/圧縮専用要素、ケーブル要素、
　梁要素、テーパー断面梁要素、壁要素、
　平面応力要素、板要素、
　平面ひずみ要素、ソリッド要素、
　免震制振要素　他

■解析機能
　静的線形解析、線形座屈解析、
　固有値解析、時刻歴応答解析、
　応答スペクトル解析、
　水和熱解析、幾何学的非線形解析、
　施工段階解析、静的非線形解析、
　断面算定　他

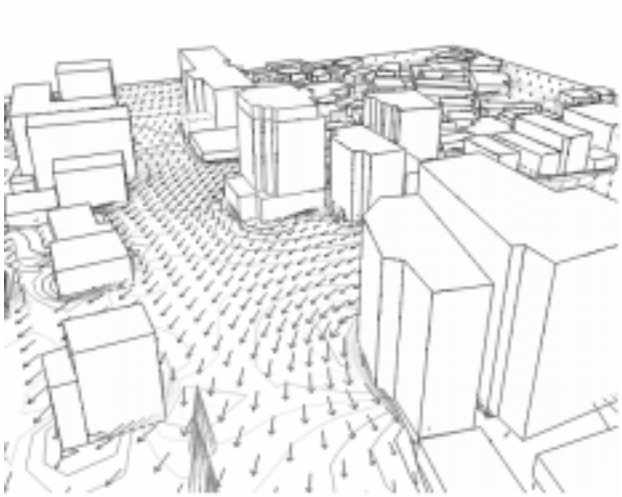


MIDAS は MIDAS IT 社の商標です。

街を流れる風を知りたいなら・・・

Wind-design

for Windows



■地図情報(bmpファイル) の読み込み可能

■2D or 3Dによる確認表示

■自動メッシュ分割機能

■GUI操作によるメッシュ範囲分割や追加・削除が可能

■簡単な計算条件設定および出力指定

■風環境評価機能による客観的評価が可能

室内の気流温熱環境を知りたいなら・・・

AC-design

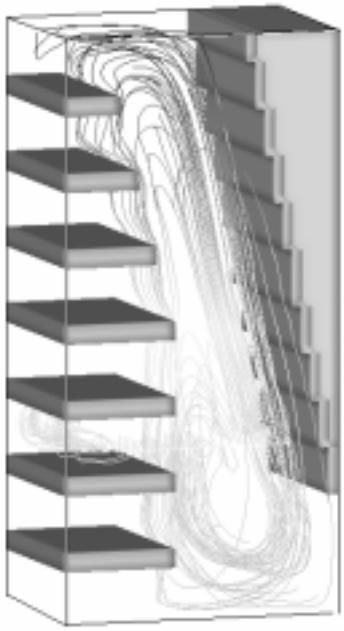
for Windows

■AutoCADをカスタマイズした容易な形状定義機能

■自動メッシュ分割機能

■高性能熱流体ソルバの搭載。流れと熱の連成計算や濃度拡散解析が可能

■豊富な可視化機能。ベクトル・コンタ等値面・マーカ粒子追跡・ストリームライン表示・アニメーション表示



水、空気、ガス拡散、地下浸透流・・・　流体解析コンサルもお任せ下さい

（株）構造計画研究所　解析技術年表

主要な解析関連実績		年　代	会社沿革
		1960	（株）構造計画研究所設立
		1965	大阪支所（現在支社）開設
●FEMによる土堤・壁・地盤の弾塑性解析 ●軟弱地盤上の剛体振動解析 ★地震波シミュレーション		1970	
●岩盤の掘削クリープ解析 ●ダム軸が湾曲したフィルダムに関する研究 ★原子力発電所の為の断層解析 ●不飽和浸透流解析		1975	九州支所開設 北海道支所開設
●燃料棒非線形解析 ●岩盤内気体拡散シミュレーション ●フィルダム浸水沈下解析 ★建築物保有耐力計算 ★原子力発電所建屋耐震解析	■SuperFLUSH	1980	
●ガラス熱流動解析 ●原子炉建屋斜め入射解析 ●3次元乱流解析 ★格子モデルよる相互作用解析 ●キャスク落下衝撃解析 ●原子力発電所立地確証調査 ★超高層ビルの耐震検討	■RESP-F	1985	新宿事務所開設 熊本構造計画研究所開設
★原子力発電所耐震リスク評価 ●ガスタンク蓄圧シミュレーション ●射出形成離形時そり解析 ★HOTFLOWによる熱流動解析 ●プラスチック射出形成CAE ★地盤の液状化を考慮した地震応答解析 ★地下構造物の耐震解析	■RESP-M3 ■SuperFLUSH3D ■NANSSI ■RESP-F3 ■HOTFLOW II ■RESP-S	1990	熊本構造計画研究所新社屋完成 福岡営業所開設
★多柱列モデルによる地震応答解析 ★トンネル近接施工解析 ★免制震構造地震応答解析 ●人工島護岸の耐震解析 ●アーチ/フィルダム動的解析 ★高層ＲＣ地震応答解析 ★シールド近接施工	■RESP-T ■RESP-F3D ■FRONT	1995	名古屋営業所開設
★道路橋の耐震解析 ★鉄道構造物の耐震解析 ★交通振動・環境評価解析 ★上下水道施設の耐震解析	■設計用入力地震動 ■各ソフトWindows化 ■AC-DESIGN ■WIND-DESIGN	2000	本所新館完成
●ボイドスラブ設計システム開発 ★地震リスク評価 ★免震ASPサービス	■ASCARS ■ASCARS Repo	2001	株式店頭公開
★杭基礎ASPサービス	■K-PILE ■NAVIdesign-K ■MIDAS Gen ■RESP-Bird ■RESP-M+	2002	

★　頻出テーマの業務本格化時期　　●　トピックステーマ　■　ソフトウェア初版リリース（現在も販売中のもの）

解析雑誌 Vol.7 読者アンケートのお願い

7月より代表取締役社長に就任しました服部正太はKKE の新コンセプトとして、「スピード･コラボレーション･フィードバック」を掲げております。これらは社内コミュニケーションもさることながら、それ以上にお客様と KKE の関係を重要視したキーワードです。

従来からお客様との協働成果発表を尊重し、スピーディーな情報発信を信条としてきた解析雑誌は、新社長を少しばかり先取りしていたなと、編集担当、密かにほくそえんでいる次第です。

今後の本誌が皆様にとって有益なものとなりますよう、是非とも本ページ下のフォームにご意見･ご要望をご記入の上、下記番号まで FAX にてお送りください。e メールにて同内容をお送りいただいても結構です。ご協力をお願いします。

尚、本誌および弊社へのお問い合わせは右ページに記載の TEL、FAX、E メールで承っております。

お名前			
会社名			
電話番号		FAX **番号**	
E **メール**			

本誌の内容について全般的なご感想をお聞かせください	**□業務上参考になった　□業務とは直結しないが興味深かった** **□あまり面白くなかった　□主旨が理解できない** **□そのほか：**
特に興味深かった記事・報文があればお書きください	
今後の刊行についてご意見をお聞かせください	**□次号があるならまた読みたい　□次号はもっと高度な内容を** **□次号はもっと入門的な内容を　□次号以降には期待できない** **□定期刊行をのぞむ（年＿＿＿回程度）** **□そのほか：**
次号以降の内容に関してのご要望があればお聞かせください	**分野：□建築　□橋梁　□地盤　□地下構造　□上下水道　□河川** **□港湾　□環境　□地震防災　□そのほか（　　）** **テーマ：**
本誌と関連の深い ＫＫ解析ホームページについてお聞きします	**□前から見ていた　□本誌で知ってアクセスした　□まだ見ていない** **ホームページのご感想を一言：**
そのほか本誌あるいは業務内容などに関して、ご意見・ご要望・お問い合わせなどありましたらお書きください	

FAX　**０３－５３４２－１２３６　構造計画研究所「解析雑誌」編集担当行**

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

〒164－0011　中野区中央 4－5－3

TEL　03－5342－1136　　FAX　03－5342－1236

E メール：kaiseki@kke.co.jp

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

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

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

各地の支社、営業所でもお問い合わせを承っております。

●大阪支社　TEL 06-6243-4500
●福岡営業所 TEL 092-482-8821 ●名古屋営業所 TEL 052-222-8461

解析雑誌　*Journal of Analytical Engineering Vol.7 2002.9*

（株）構造計画研究所　エンジニアリング営業部　編集・発行

本誌は非売品ですが、本誌掲載記事・広告等の無断転載を禁じます。

Windows は米国マイクロソフト社の登録商標です。そのほか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。

Journal of Analytical Engineering,
Vol.7, 2002.9
Kozo Keikaku Engineering, Inc.