

解析雑誌

Vol.4 2001.9

Journal of Analytical Engineering

【 Topics 】

- RESP シリーズバージョンアップ
- 地震荷重設定システムバージョンアップ
- 大気汚染評価プログラムの開発

【 Technical Reports 】

- 街区の風環境に関する風洞実験
および数値計算結果比較
- MRダンパーの
スカイフック・セミアクティブ制御
- 道路付属構造物向け非衝突型制振
装置 (Advanced 制振装置) の開発



【巻頭言】

変革進む建設業界と数値解析技術

都市・自然環境、IT...

解析技術本部 部長代理 澤飯 明広

今年の7月は、晴天にも恵まれ、昨年同様に気温30度以上の非常に暑い日々が続きました。環境省の調査では、東京や名古屋などの大都市における7月～9月の気温が30度以上となった時間は過去20年間で倍増したと報告しています。これは、冷房の排熱などが、土の地面や樹木が少ない都市部にこもって気温を押し上げる「ヒートアイランド現象」が原因とのことです。また、8月に入り、水不足が深刻化し、各地において渇水対策として給水制限が実施されてきています。これらの現象は、今後益々深刻化することが考えられ、都市部のヒートアイランド対策や都市部内での水の供給能力向上について今後益々議論されてくるものと考えられます。

ところで、7月に実施された参議院選挙では、小泉首相の唱える構造改革を旗印にした自民党が大勝し、8月には構造改革の一環として、経済財政諮問会議で、2002年度予算の概算要求基準が決定されました。この概算要求基準によると2002年度の一般歳出における公共投資関係費の予算が10%減額され、科学技術振興費が5%の上積みとなっています。

縮小された形の公共事業ですが、そんな中、最近いくつかの自然環境の復元を目的とする事業が決定され、今後の建設事業のあり方として注目を集めています。このような情勢は、先に述べたヒートアイランド現象や都市部での水の供給能力向上といった都市環境問題と併せて、今後、建設業の業務内容に大きく影響してくるものと思われます。

一方、予算増額となった科学技術振興の方に着目しますと、昨今情報技術(IT)関連の発展はめざましい動きを示しており、ハード(計算速度や記憶容量など)では数年前と比べ飛躍的に向上し、科学技術計算においても、従来実施することが困難であったような3次元解析等が比較的容易に実施できるような環境となってきました。また、通信手段としてのインターネットは、現在では業務遂行に不可欠となっており、ITを活用した管理手法などが盛んに研究・導入されてきています。これらもまた、建設業の業務内容に多大な影響があることは、既に多くの方が体感されていることでしょう。

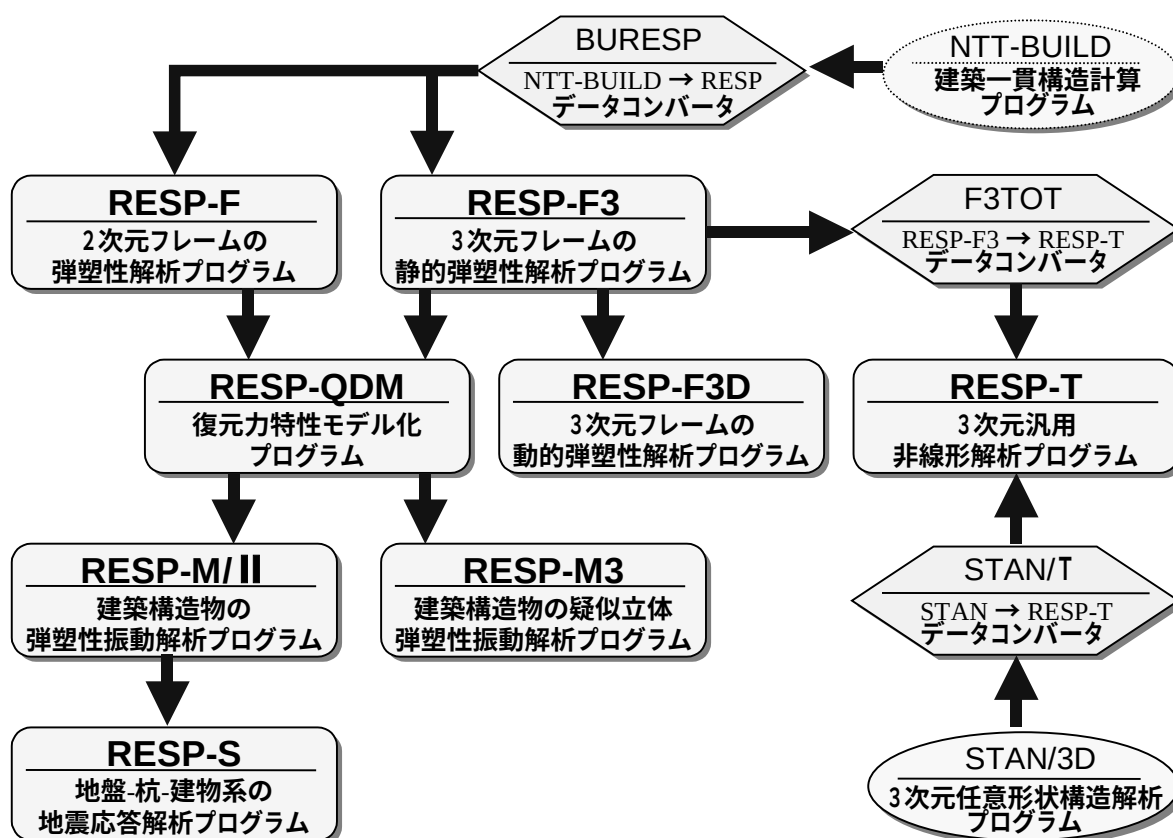
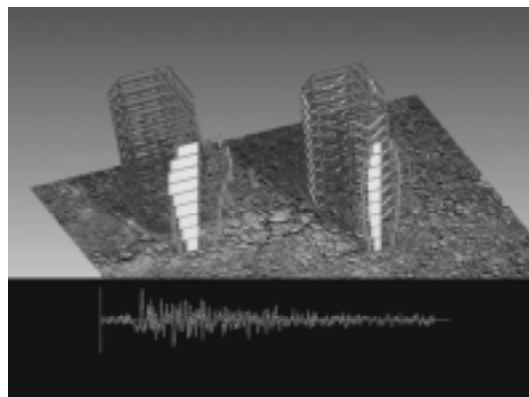
このような社会情勢を鑑み、我々技術者としても、都市計画・環境のあり方、ITを利用した業務遂行形態、経済性等について再度見直し、そこで必要となる技術取得や技術開発を効率的に進めていくことが重要であると思われます。また、ITにおけるハードが向上する中での数値シミュレーションは、設計業務などにおいて効率的で経済的な評価をなしえる手段として、益々重要性が高まっていくものと考えられ、私どもとしても、お客様にとって必要な情報をいち早く発信できるよう、今後とも努力して行く必要性を痛感しています。

解析雑誌 Vol.4 2001.9 目次

【巻頭言】 変革進む建設業界と数値解析技術	沢飯 明広	02
Topic 1		05
RESP シリーズバージョンアップ		
Topic 2		07
地震荷重設定システムバージョンアップ		
Topic 3		09
大気汚染評価プログラムの開発		
Technical Report 1		13
■街区の風環境に関する風洞実験および数値計算結果比較		
戸井 隆・登柳 正夫		
Technical Report 2		17
■MRダンパーのスカイフック・セミアクティブ制御		
関口 洋平・梁川 幸盛・高橋 治・藤谷 秀雄		
Technical Report 3		21
■道路付属構造物向け非衝突型制振装置 (Advanced 制振装置) の開発		
飯嶋 俊比古・長谷川 泰稔・八木 茂治・石原 競		
解析雑誌 読者アンケートのお願い		30
お問い合わせはこちらへ		31

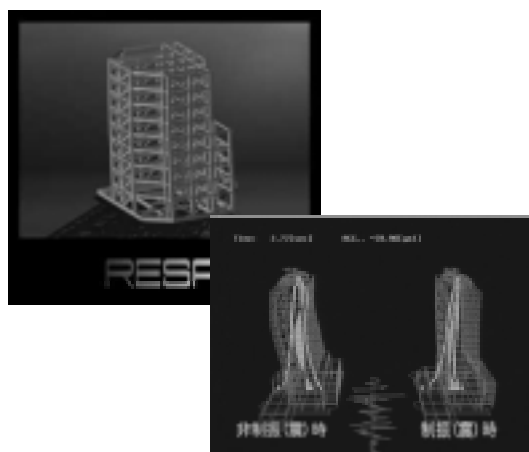
建築構造物の耐震解析プログラム RESP シリーズ

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



BUILD の開発元は（株）NNT データです。

【お知らせ】

RESP シリーズバージョンアップ

本号では、ふたつの解析プログラムシリーズの最新追加機能や近々のバージョンアップ予定をご紹介します。

まずは RESP シリーズから。今回ご紹介しているものはおおむね建築構造に着目した機能ですが、各種の制振要素などは橋梁の桁衝突緩衝機構の検討解析への適用の観点でも注目されています。

■RESP-M/ II (2001 年 4 月公開済み)

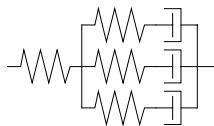
○SI単位対応

単位系 (重力単位系、SI単位系) の選択が可能になりました。

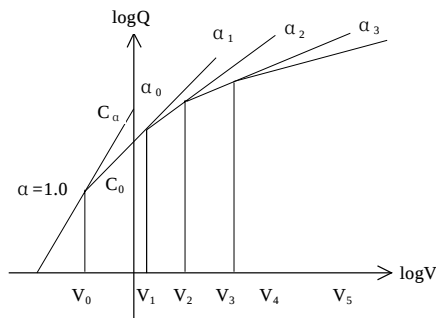
○粘性・粘弾性制振要素の計算機能追加

以下の制振要素に対応しました。

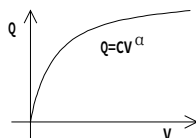
・取り付けバネ付一般化マックスウェル要素



・免制震デバイス社製制震壁



・取り付けバネ付速度べき乗型ダンパ



・取り付けバネ付オイレス粘性制震壁

・昭和電線電纜粘弾性ダンパ

一般化マックスウェルモデルの各バネおよびダッシュポットの値を自動設定します。

○免震要素の追加

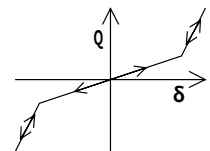
以下の免震要素に対応しました。

- ・LRB 統一式
- ・新日本製鐵免震U型ダンパ

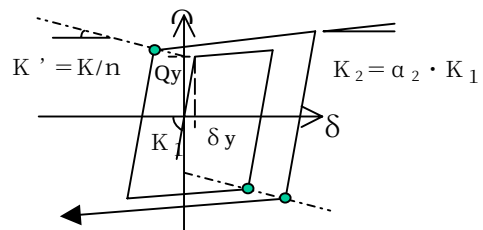
○複素固有値解析機能整備

○せん断バネのハードニング特性対応

せん断バネにハードニングを考慮したバイリニア・トリリニアの逆行型復元力特性が設定できます。



○NKK 製極低降伏点鋼用復元力特性対応



○プレストレストコンクリート部材用復元力特性 (林モデル) 対応

■RESP-M3 (2001 年 8 月公開予定)

○制振要素の計算機能追加

- ・取り付けバネ付一般化マックスウェル要素
- ・免制震デバイス社製制震壁
- ・取り付けバネ有速度べき乗型
- ・取り付けバネ有オイレス粘性制震壁

○免震要素の追加

- ・LRB 統一式
- ・新日本製鐵免震U型ダンパ

○NKK 製極低降伏点鋼用復元力特性対応

○プレストレストコンクリート部材用復元力特性(林モデル) 対応

○スウェー・ロッキングと免震バネの混合

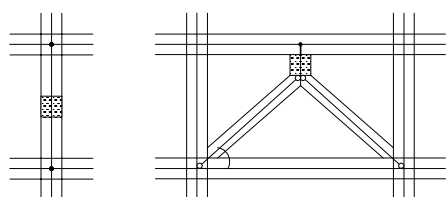
以下の併用が可能になりました。

- ・スウェーと鉛直バネ
- ・ロッキングと MSS(マルチシアスプリング)バネ

■RESP-F3 (2001 年 10 月公開予定)

○新要素の追加

- ・履歴ダンパ付き間柱
- ・履歴ダンパ付きK型ブレース



○曲げひび割れ強度計算用係数及び曲げ耐力倍率の指定機能

■RESP-F3D (2001 年 10 月公開予定)

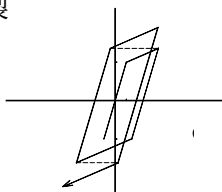
○新要素の追加

- ・履歴ダンパ付き間柱
- ・履歴ダンパ付きK型ブレース

○プレストレストコンクリート部材用復元力特性(林モデル) 対応

○極低降伏点鋼用復元力特性対応

- ・新日本製鐵製



- ・NKK 製

○減衰タイプの追加

- ・内部粘性型歪エネルギー比例減衰を追加

■RESP-S (2001 年 5 月公開済み)

[RESP-SF(自由地盤解析)]

○液状化簡易判定機能追加

- ・道路橋示方書・同解説(日本道路協会)による方法
- ・建築基礎構造設計指針(日本建築学会)による方法

○絶対速度、変位の計算機能追加

○双曲線(H-D)モデル復元力特性対応

[RESP-SI(連成系解析)]

○k-SHAKE との連動

- ・自由地盤解析解析を k-SHAKE で実行することも可

○歪エネルギー比例減衰対応

○制振要素の追加

- ・フォークト型
- ・マックスウェル型
- ・オイレス制震壁型
- ・取り付けバネ付一般化マックスウェル要素
- ・免制震デバイス製制震壁
- ・取り付けバネ有速度べき乗型
- ・取り付けバネ有オイレス粘性制震壁

○免震要素の追加

- ・LRB 統一式
- ・新日本製鐵免震U型ダンパー

■RESP-T

(2001 年 10 月公開予定)

○免震装置用復元力特性の追加

以下の復元力特性を追加します。

- ・ブリヂストン LRB 免震装置の更新
- ・東洋ゴム工業 MRB の追加
- ・新日鐵鋼棒ダンパー (関数近似)
- ・新日鐵鋼棒ダンパー (バイリニア近似)

○Visual RS ポストプロセッサ

(2002 年 2 月公開予定)

○免震装置復元力特性の追加

- ・LRB 統一
- ・新日本製鐵免震U型ダンパー (関数近似)

○線形応答スペクトル法の追加

RMS,CQC 法による解析を追加します。

【お知らせ】

地震荷重設定システム バージョンアップ

SeleS for Windows Version 3.0

本誌前号の技術解説でもご紹介した設計用入力地震動作成システムは、建設地周辺の地震環境を考慮して設計用入力地震動を作成するシステムとして数多くの方にご利用いただいております。システムは、周辺の地震環境を考慮して工学的基盤面の地震動強さ（応答スペクトル）を設定する SeleS、応答スペクトルから模擬地震波を作成する ARTEQ、成層地盤の地震応答解析を行う k-SHAKE+、作成した波形処理を行う k-WAVE の4つのプログラムで構成されています。ここでは、平成13年10月にリリースを予定しております SeleS の最新バージョンについてご紹介します。

■ SeleS とは

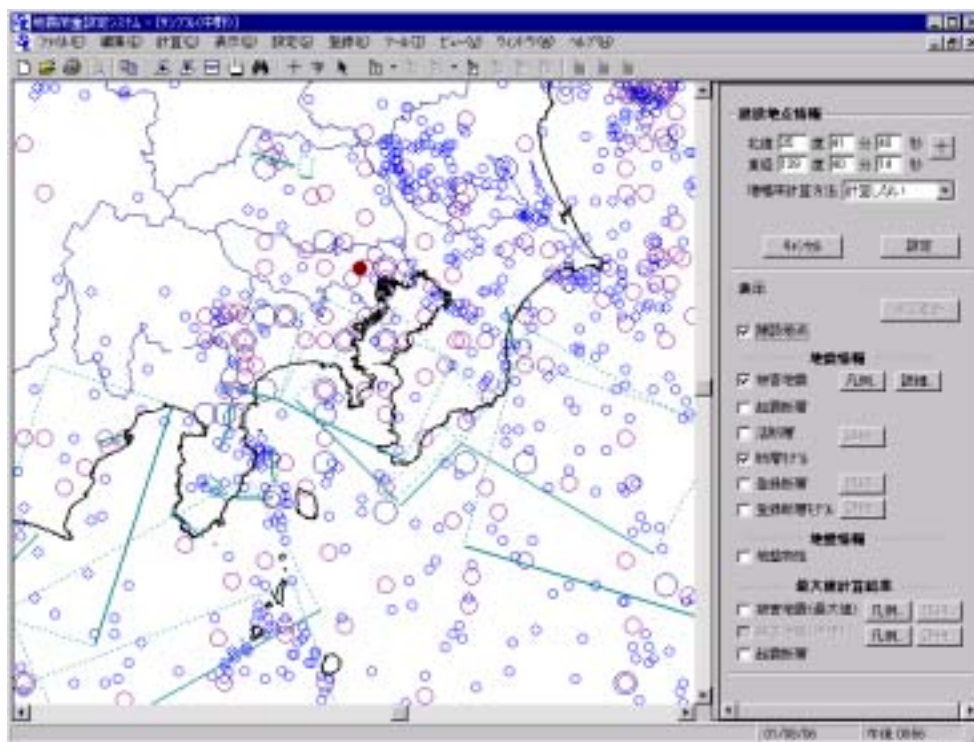
SeleS は、建設地周辺の地震資料や活断層データを考慮して耐震設計のための地震荷重設定を支援するシステムです。従来、周辺の地震環境を考慮した地震荷重の設定には専門知識と膨大な時間を要しましたが、SeleS は地震情報データベースと評価に必要な各種計算機能を統合した地理情報システムであり、簡単な操作で地震荷重を設定することができます。

地震荷重を設定するために SeleS には次のような機能があります。

- ・地震資料・活断層データの地図表示機能
- ・地震資料を用いた再現期待値計算機能
- ・距離減衰式を用いた最大値計算機能
(金井式、福島・田中式など16手法)
- ・距離減衰式を用いた応答スペクトル計算機能
(翠川・小林手法、大崎法など6手法)

■ バージョンアップ内容

主なバージョンアップ内容は次ページの通りです。



SeleS メイン画面

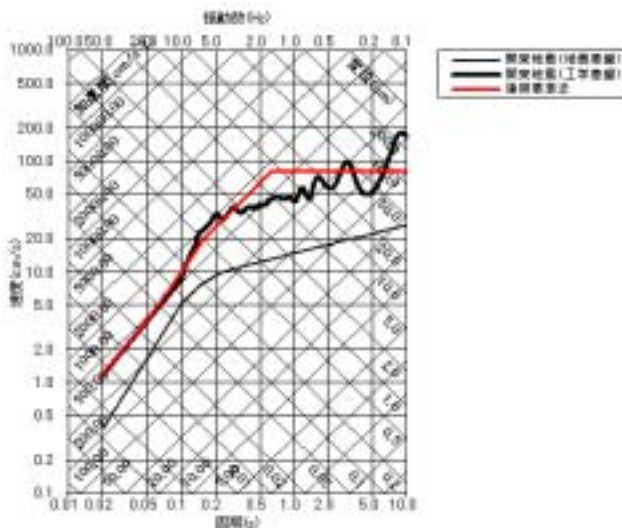
(1) 多面断層モデルに対する翠川・小林手法

各断層面の断層パラメータや破壊遅延時間を設定することにより、複数の断層面（最大 5 面）で構成される断層モデルに対して翠川・小林手法を用いた応答スペクトルの計算が可能になります。

関東地震や濃尾地震、南海地震など、複数の断層面で断層モデルが構成されている場合でも、複数の断層面が破壊した場合に建設地点に生じる地震動強さを計算することが可能になります。

(2) 翠川・小林手法における計算周期の延長

翠川・小林手法を用いて応答スペクトルを計算する場合、周期 10 秒までの応答スペクトルを出力することが可能になります。Haskell 法により計算される深部地盤の伝



三軸図

達関数についても、周期 10 秒までの増幅率が計算されます。超高層、免震建築構造物などで焦点となる長周期部分の地震動強さについての評価も SeleS で行うことが可能になります。

(3) 建築基準法告示第 1461 号スペクトル表示機能

三軸図上での重ね合わせ機能として、新たに「建築基準法告示第 1461 号に準拠した加速度応答スペクトル」が追加されます。建設地点の地震地域係数を設定するだけで、告示に準拠した加速度応答スペクトルが重ね描き表示され、告示の設計用応答スペクトルと周辺の地震環境を考慮して計算した応答スペクトルとの比較が速やかに行えます。

(4) 登録断層・断層モデルデータの任意表示機能

これまで、ユーザーが登録した登録断層や登録断層モデルについてはそれぞれ全てのデータを表示することしかできませんでしたが、最新バージョンでは、登録したデータを任意に選択して地図上に表示することが可能になります。「この断層モデルだけを地図上に表示したい」、そんなご要望に速やかにお応えします。

(5) 被害地震のマグニチュード別切り替え表示

被害地震データをマグニチュード別に切り替え表示することが可能になります。また、マグニチュード別に色を分けて地図上に表示することが可能になります。円の半径+色分けによる表示により、建設地周辺の被害地震の発生状況をより明確に把握できるようになります。



登録断層モデルの 選択表示機能

【お知らせ】

大気汚染評価プログラムの開発

Wind-design for Air Pollution

本号巻頭言でも述べておりますように、都市環境の再評価・改善事業に関心を集めています。KKEも従来から、ビル風・室内空調・水環境などの評価問題に取り組んでまいりましたが、現在これらに次ぐ環境新テーマとして大気汚染問題を取り上げ、新たなソフトの企画開発を実施しています。

1. 開発の経緯

表1は、一定規模の事業が計画され、施設が供用されたときに、それが環境へどう影響するか評価しなければならない項目(環境影響評価項目)です。KKEでは、これら環境影響評価項目の内、「風環境・風害」問題及び「省エネ」に関連して室内の気流温熱環境問題を評価・検討するためのツールとして、それぞれWind-design及びAC-designを提供するとともに、「大気汚染」、「水質汚濁・低質」、「地下水流動・汚染」問題を含めた解析コンサルティングサービスを実施して参りました。

表1 環境影響評価項目

大気汚染	地下水流動・汚染
騒音	土壌汚染
振動	地盤沈下
悪臭	日照
低周波音	廃棄物処理
風環境・風害	温室効果ガス
水質汚濁・低質	省エネ

今回、Wind-design／AC-design に継ぐ環境影響評価項目の評価・検討ツールとして Wind-design for Air Pollution を企画・開発することになりましたので、ここに、開発の概要をご説明致します。

2. 開発の概要

以下に示す 2 種類のサブシステムを用意し、大気汚染問題を、簡便に評価したいユーザと詳細に評価したいユーザのニーズにお応えします。

①拡散式による簡易評価プログラム

②数値流体力学 (CFD) による詳細評価プログラム

ユーザは、風速や風向、汚染源の種別、建物・地形等現

地の状況に応じて、上記 2 種類のサブシステムを使い分けることができます。

3. 機能概要

(1)拡散式による大気汚染簡易評価プログラム

- ・ 拡散式として、有風時プルームモデル、無風時パフモデルを採用。
- ・ 汚染源として、点源、線源、面源の設定が可能。煙源は bmp 地図上でマウス入力。これら煙源での汚染物質の拡散状況を重ね合わせて算出することが可能。
- ・ 気象DBを使用し、年平均値として、風向毎に汚染物質の拡散状況を重ね合わせて算出することが可能。また、ある風向・風速に対する汚染物質の拡散状況の算出が可能。
- ・ bmp 地図上に濃度をコンタ表示。

図1は本システムによる(年平均値)の計算例です。



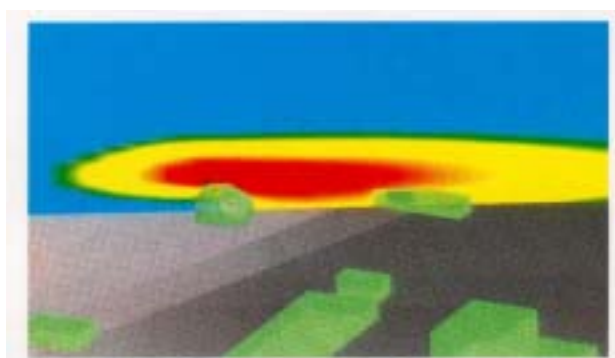
図1 拡散式による大気汚染評価結果

(2)数値流体力学による大気汚染詳細評価プログラム

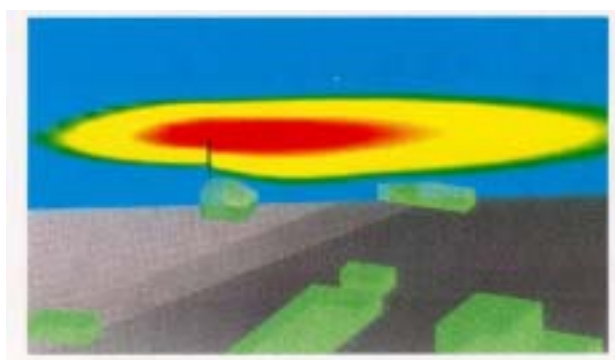
- ・ 流体の運動を表す Navier-Stokes 方程式及び連続の式、温度を計算するエネルギー式、濃度の拡散状況を表す移流拡散方程式を解く。
- ・ 地形や建物等を考慮して汚染物質の拡散状況を計算することが可能。建物 DB や地形 DB との連携により、入力処理を簡略化。
- ・ 多彩な可視化機能を有し、いろいろな視点から汚染物質の拡散状況を評価検討することが可能。

本システムによる計算結果(年平均値)の例を図2～3に示します。

このうち、図2は市街地における排煙の拡散状況を表しています。上図が煙突高さ 20m、下図が煙突高さ 40m の濃度分布を表しています。建物や煙突高さの影響を比較検討することが可能です。



煙突高さ 20m の場合



煙突高さ 40m の場合

図2 CFDによる大気汚染評価結果
(濃度分布)

図3は、建物を含む起伏のある地形での流速及び濃度を表しています。ベクトルの長さが風速を、向きが風向を、色が濃度を表しています。

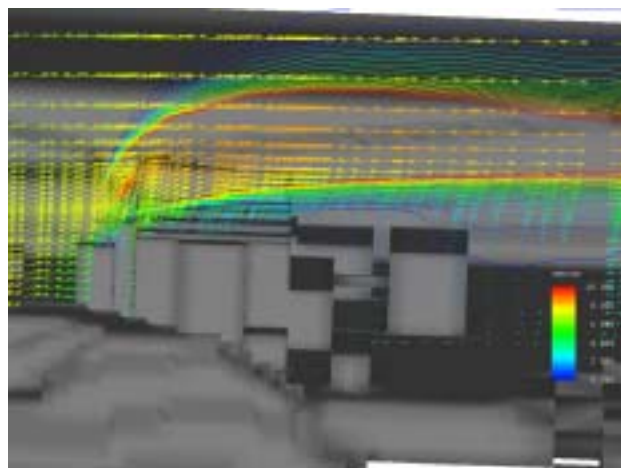


図3 CFDによる大気汚染評価結果
(流速ベクトル及び濃度)

4. 今後の予定

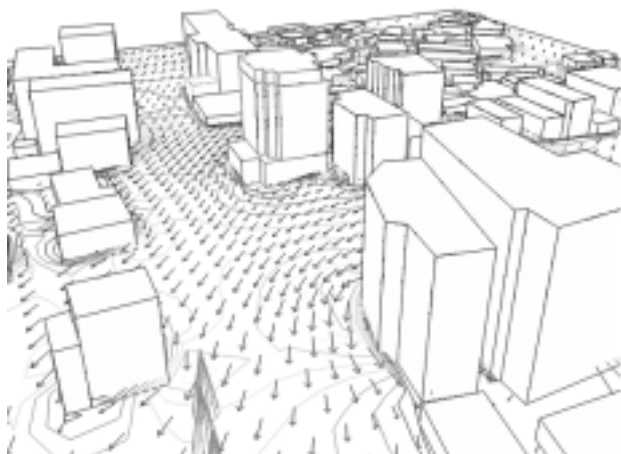
本2つのサブシステムは、来春発売の予定で現在開発中です。稼動環境は、

・OS	:	Windows98 以上
・CPU	:	Pentium II 600MHz 以上
・メモリ	:	128MB 以上
・ディスク	:	1GB 以上

を予定しております。

また、今後は、表1に示します環境影響評価項目を簡易／詳細評価を合わせて、随時企画開発していく予定です。

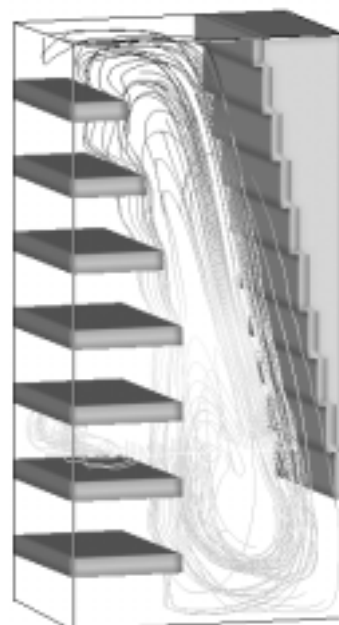
街を流れる風を *Wind-design* for Windows



- 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 *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

有限要素法による

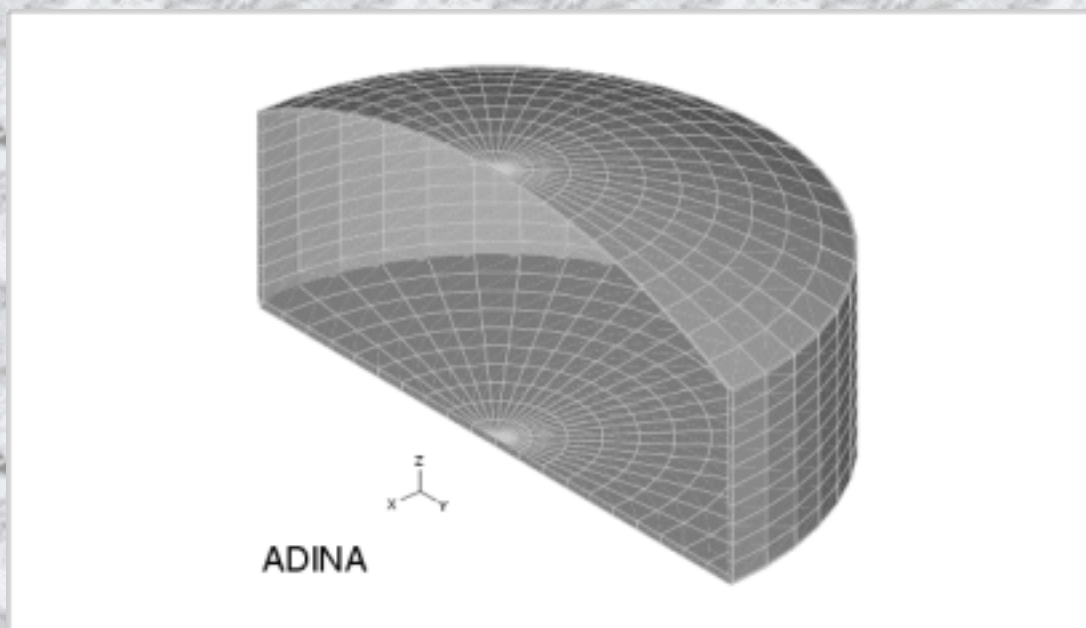
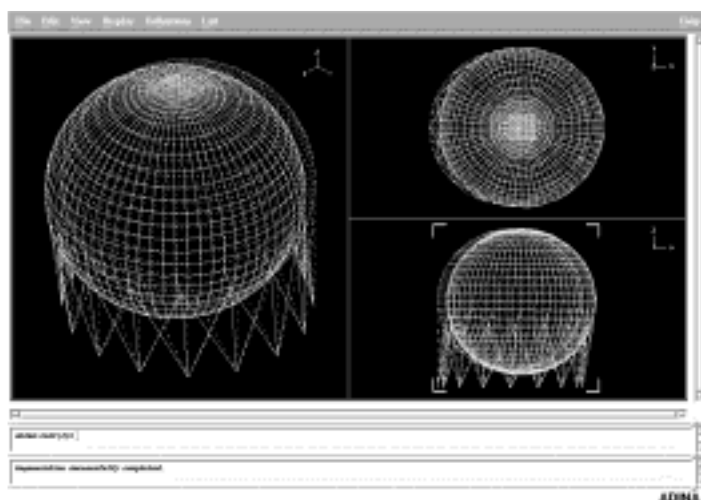
解析コンサルティング



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



★ADINAはADINA R&D, Inc. (米国) の登録商標です。

街区の風環境に関する風洞実験および数値計算結果比較

戸井 隆¹⁾・登柳 正夫¹⁾

1) 構造計画研究所 環境評価グループ

1. はじめに

近年のコンピュータ資源の急速な発達にともない、数値計算により建物周りの数値計算を行うことが多くなってきた。しかし、1つの建物を対象として詳細な計算を行っているものが殆どであり、街区全体を計算したものはあまり見られない。本報告では街区全体をモデル化して建物周りの風環境を数値計算によって求め、風洞実験と比較した結果について報告する。

2. 風洞実験および数値計算概要

2.1. 風洞実験概要

実験に使用した風洞は、境界層型風洞で、測定部は長さ16.5(m)、幅2.2(m)、高さ1.8(m)である。風速計は多点同時計測システムを用い、模型縮尺は1/600、模型再現範囲は計画建物高さHに対して半径6Hの範囲とした。図1に風洞実験模型を示す。



図1 風洞実験模型

2.2 数値計算概要

図2に計算モデルを示す。計算領域は風洞実験と同程度の領域とし、実スケールにてモデル化を行った。数値計算は、(株)構造計画研究所所有の街区の風環境評価システム『Wind-design for Windows』を用いて行った。流れの支配方程式は、非圧縮性流体の連続の式と



図2 計算モデル

式であり、不等間隔のスタaggerドメッシュを用いて有限体積法により離散化しSMAC法により計算を行った。また、メッシュの制限からメッシュの粗い領域や形状が斜めになっている建物では、建物形状とメッシュ線は一致しないが、メッシュ内での建物の占有率を考慮する事によって近似的に建物形状を模擬している^{文1)}。メッシュ数は77(x)×77(y)×71(z)である。

2.3 流入風速および計算風向

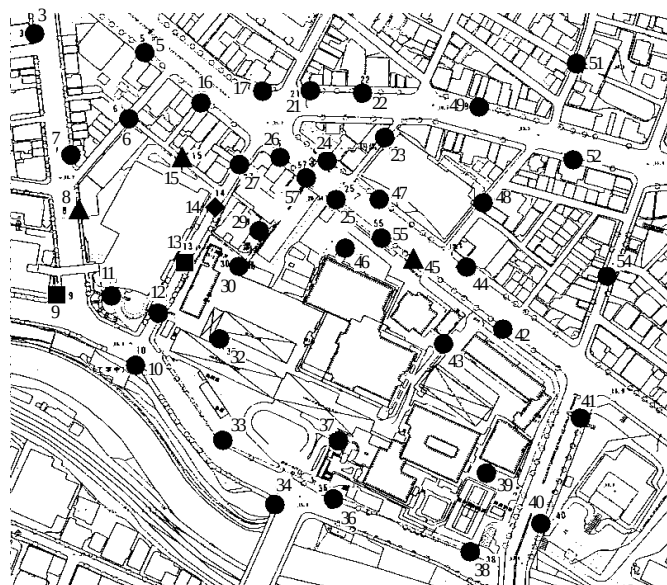
流入風速は風洞実験、数値解析ともに共通で、べき法

則： $U \propto Z^n$ を用い、べき指数nは市街地での一般的な値1/4とした。測定および計算風向は16風向(1方位22.5°ピッチ)について行った。数値計算での境界条件は、流出・側面は諸量に関して勾配0、上空境界はすべり、地表面・建物表面はすべり無し条件とした。

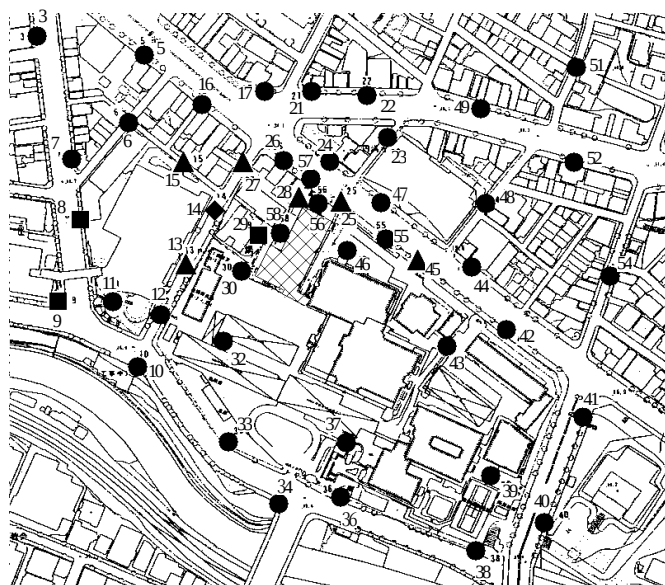
3. 風洞実験結果と数値計算結果の比較

強風の出現頻度に基づく評価手法による風環境ランクを示す^{文2)}。風洞実験で得られた計画建物建築前の風環境ランクを図3(a)に、建築後の風環境ランクを図3(b)に、数値計算で得られた計画建物建築前の風環境ランクを図4(a)に、建築後の風環境ランクを図4(b)に示す。建築後の風環境ランクをまとめたものを表1に示すが、一部違いが見られるもののほとんどの地点で実験と計算で一致した。

凡例 ●ランク1；住宅地や商店街相当 ▲ランク2；住宅街相当 ■ランク3；事務所街相当 ◆ランク3超（ランク4）

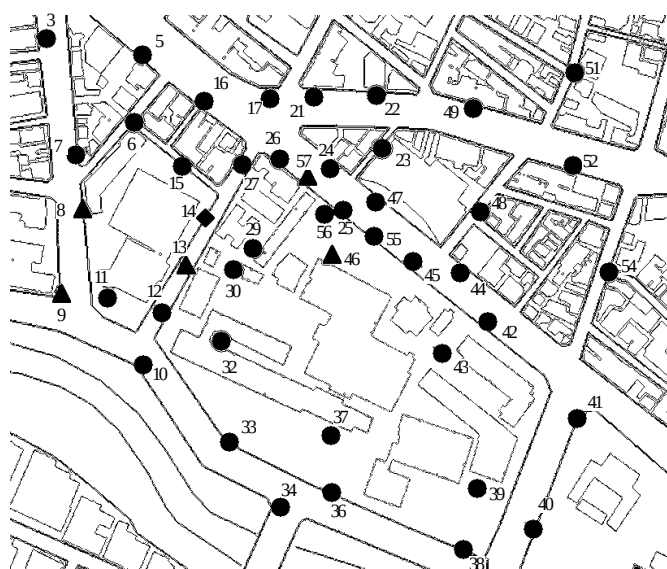


(a) 建築前

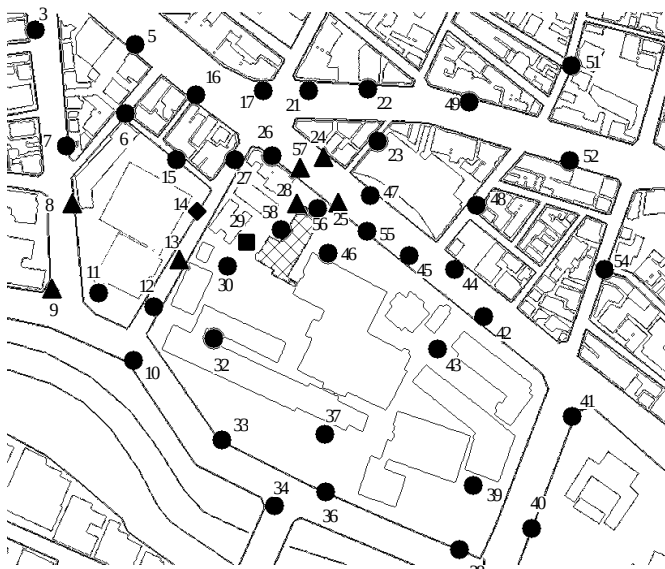


(b) 建築後

図3 風洞実験結果（風環境ランク）



(a) 建築前



(b) 建築後

図4 数値計算結果（風環境ランク）

表1 風環境ランク比較【建築後；計画建物周辺抜粋】

番号	実験	計算	番号	実験	計算	番号	実験	計算	番号	実験	計算	番号	実験	計算
3	1	1	14	4	4	27	2	1	39	1	1	49	1	1
5	1	1	15	2	1	28	2	2	40	1	1	51	1	1
6	1	1	16	1	1	29	3	3	41	1	1	52	1	1
7	1	1	17	1	1	30	1	1	42	1	1	54	1	1
8	3	2	21	1	1	32	1	1	43	1	1	55	1	1
9	3	2	22	1	1	33	1	1	44	1	1	56	1	1
10	1	1	23	1	1	34	1	1	45	2	1	57	1	1
11	1	1	24	1	2	36	1	1	46	1	1	58	1	1
12	1	1	25	2	2	37	1	1	47	1	1			
13	2	2	26	1	1	38	1	1	48	1	1			

4.まとめ

街区全体をモデル化して建物周りの風環境を数値計算によって求め風洞実験と比較した。強風の出現頻度に基づく評価手法によって評価した結果は実験と計算でほぼ一致した。今後実験と計算で比較した例を増やし、数値計算による風環境ランクの予測精度を確認していきたい。

謝辞

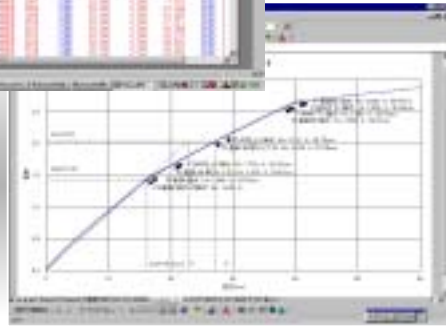
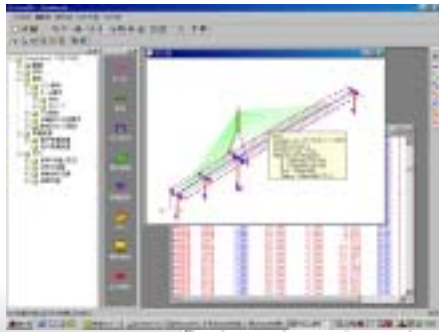
本研究は東京医科歯科大学臨床研究棟建設による風環境変化を予測するため依頼され実施したものである。風洞実験については(財)建設工学会、東京大学生産研究所村上・加藤研究室に協力を頂いた。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Nichols, B. D., C. W. Hirt and R. S. Hotchkiss : Los Alamos Sci. Labo. Rep., LA-8355(1980)
- 2) 村上,岩佐他「居住者の日誌による風環境調査と評価尺度に関する研究」日本建築学会論文報告集 第 325 号,pp.74-84,昭和 58.3

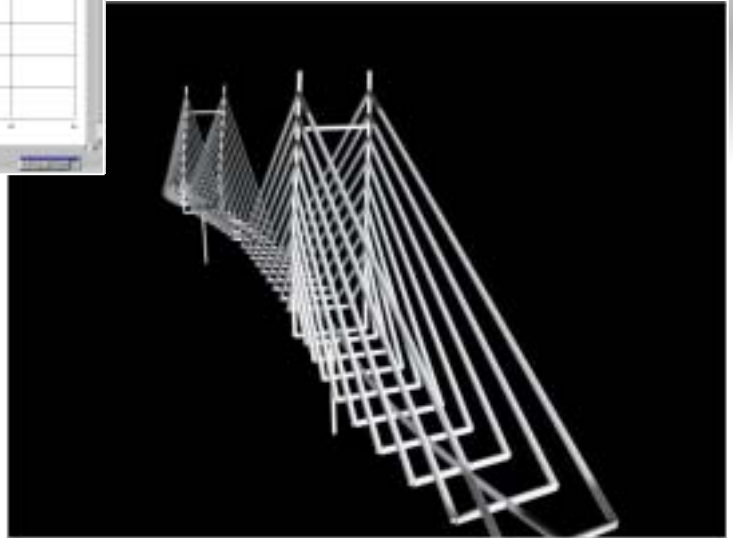
骨組構造物の汎用非線形解析プログラム

RESP-T for Windows



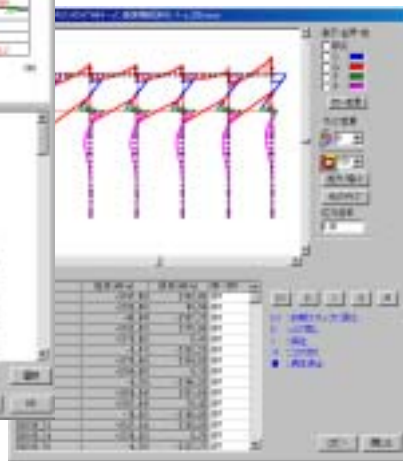
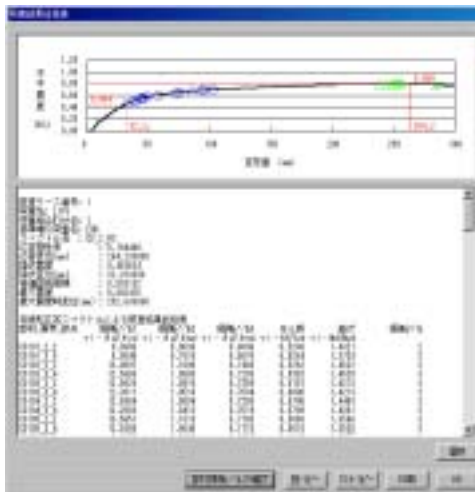
非線形問題、動的問題を
高解析機能でカバー！

- 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！

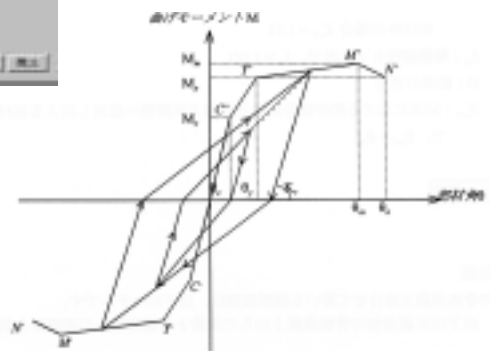


- Windows対応
- 静的非線形解析
- 所要降伏震度スペクトル
- 時刻歴非線形解析
- 部材の損傷レベルによる耐震性能チェック
- テトラリニア対応

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 (財) 鉄道総合技術研究所と (株) 構造計画研究所の協同開発商品です。

MRダンパーのスカイフック・セミアクティブ制御

関口 洋平¹⁾・梁川 幸盛¹⁾・高橋 治¹⁾・藤谷 秀雄²⁾

1) 構造計画研究所 2) 建築研究所

1. はじめに

近年、各種粘性ダンパーの減衰特性を制御することによって、制振性能を向上させることが注目されている。中でも、スカイフック理論に基づくセミアクティブ制御¹⁾は、過去に提案された制御方法の中で、シンプルでかつその効果が広く一般に認められている制御方法であり、耐震目的としての利用が比較的容易と考えられる。

スカイフック制御は、初期には交通機械のサスペンションを対象に研究が進められてきた。その制御の理念は、対象の絶対変位を小さくすることを目標として、可変ダンパーの減衰力を動的に変化させることである。耐震設計に応用した場合には、建物の応答加速度を小さくすることにつながると考えられる。

本報告では、スカイフック理論に基づくセミアクティブ制御に対して、我々がこれまで研究・開発を続けてきたMRダンパーを適用し、効果・問題点を検討する。

2. 数値計算モデル

最も単純な振動モデルとして、基礎免震建物を模擬した1質点のせん断型振動モデルを仮定する。MRダンパーについては、既報告においてさまざまなモデルを提案してきたが、簡易なモデルとして提案し有効性を明らかにした下式(速度べき乗型のモデル²⁾)を用いて検討する。

$$F = C \cdot v^\alpha \quad \text{ここで、} v: \text{ダンパー速度} \\ \alpha: 0.2 \text{ と設定}$$

制御法則としては、D.Karnopp が提案するスカイフック理論¹⁾を採用する。基本制御則を図1に示す。

$$\begin{cases} 0 \leq F \cdot \dot{X} : F = C_{\max} \cdot v^{0.2} \\ F \cdot \dot{X} < 0 : F = C_{\min} \cdot v^{0.2} \end{cases}$$

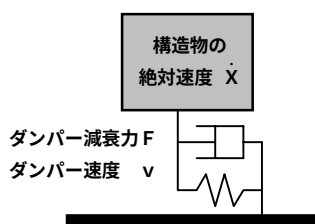


図1 スカイフック理論によるセミアクティブ制御の概念

建物絶対変位が大きくなる方向に減衰力が作用する場合には、最大減衰力を与え、逆に建物絶対変位が小さくなる方向には、最小減衰力を与えるものである。すなわち、建物が絶対固定(スカイ)からダンパーを介して吊り下げられているかのような効果を生ずる。

一方、制御には遅れが生じる。制御の遅れによる影響を明らかにするため、本検討では上記の状態判定が、ダンパーに遅れて伝わるものと仮定して計算を行う。数値解析では、建物絶対速度($\dot{X}$)は振動方程式から求める建物絶対加速度を積分して求めるものとする。

3. パラメータスタディ

粘性ダンパーは、前節で示したMRダンパー、および、比較のためにオイルダンパーを模擬したバイリニアダッシュポットを組み合わせる。どの解析ケースでも、減衰定数で約30%になるように設定する(表1参照)。オイルダンパーとMRダンパーの対応状況を図2に示す。オイルダンパーは20[cm/sec]でリリースし、第2勾配は初期勾配の5%となる。MRダンパーの係数Cは、オイルダンパー初期勾配の10倍の値と設定した。

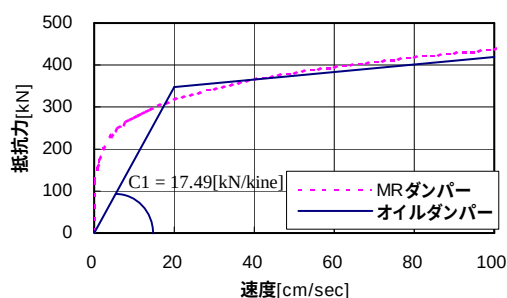


図2.1 性能曲線

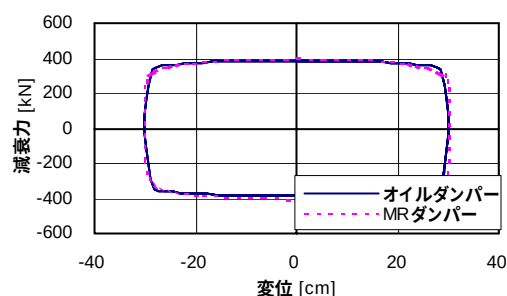


図2.2 履歴比較

表1 ケーススタディ・パラメーター

解析 ケース	内容
1	全てオイルダンパー、非制御。
2	全てオイルダンパー、 非制御と制御の比率は半々。
3	オイルダンパー (非制御) MR ダンパー (非制御)、比率は半々。
4	オイルダンパー (非制御) MR ダンパー (制御)。比率は半々。
5	構成はケース4と同様で、 制御遅れ時間:0.02,0.04,0.06,0.08 [秒]。

MRダンパーの制御遅れは、藤谷ら³⁾の研究において約0.04秒前後にまで短縮できることが明らかになっているため、その前後の値を採用した。

入力波形として、正弦波(周期 0.6 秒:第2種地盤を想定、最大加速度 1000[cm/sec²])、EL CENTRO NS 波(最大速度 50[cm/sec])、JMA KOBE 1995 NS 波(原波)、BCJ-L2 波(原波)を採用した。

4. 数値解析結果

図3に、最大応答加速度におけるオイルダンパーとMR ダンパーの制御・非制御の比較を示す。本制御方法の効果は、建物周期が 2.5 秒以下では見られない。効果は地震波によって異なるが、概ね 20~30%程度である。本制御でMR ダンパーはオイルダンパーとほぼ同等の効果が得られる。

図4に、最大応答変位における制御・非制御の比較を示す。本制御方法が目的としていない相対変位は、建物周期によって2倍程度まで大きくなっている。

図5に、制御・非制御の場合のMR ダンパー履歴曲線を示す。減衰力は、制御点で不連続点が生じ、急激に変化する。制御点は、第1・3象限に集まり、横軸を相対変位としても逆位相となる時に制御がなされる。

図6に、最大応答加速度における制御遅れ時間が及ぼす影響を示す。遅れ時間 0.08 秒までの範囲では応答の低減効果は制御遅れ時間のないものとほぼ同じである。

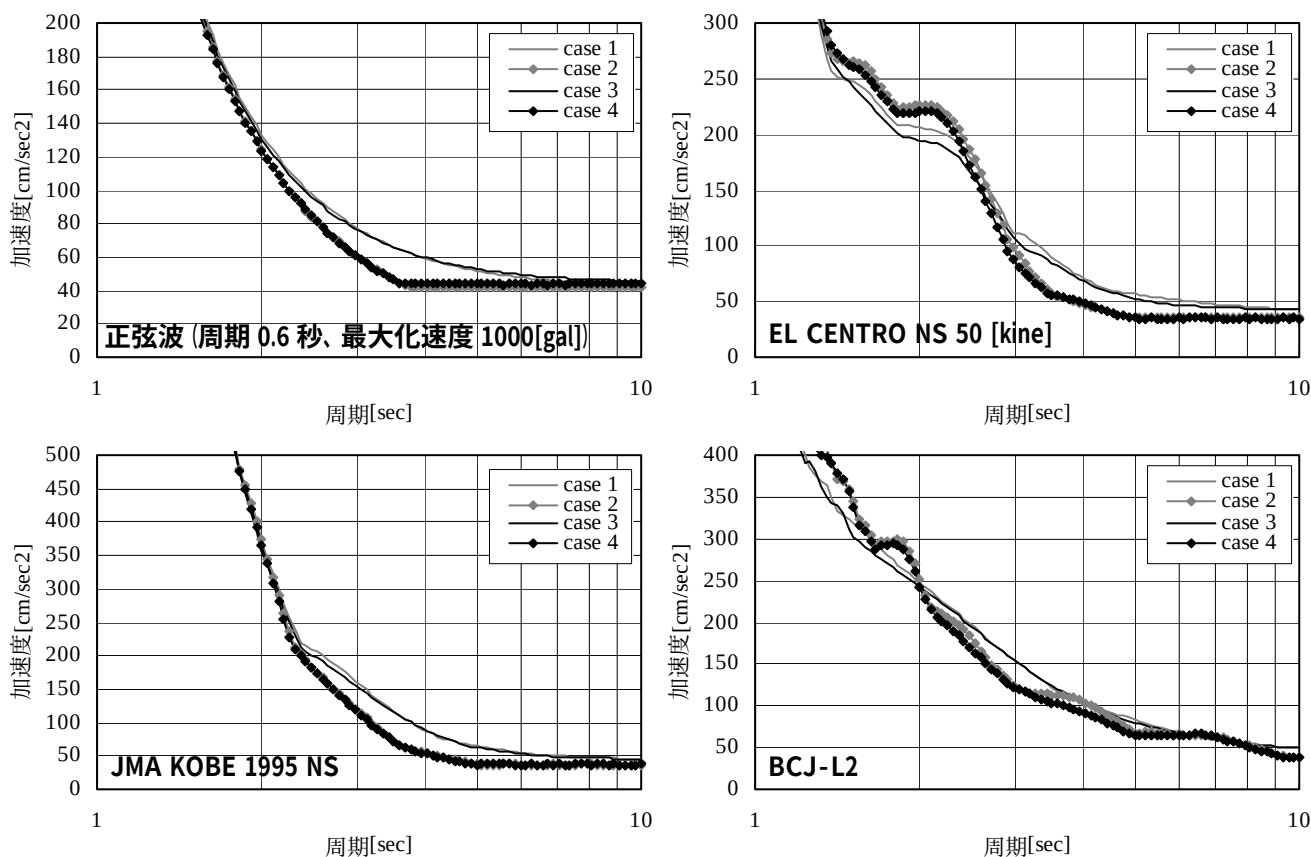


図3 応答加速度スペクトル

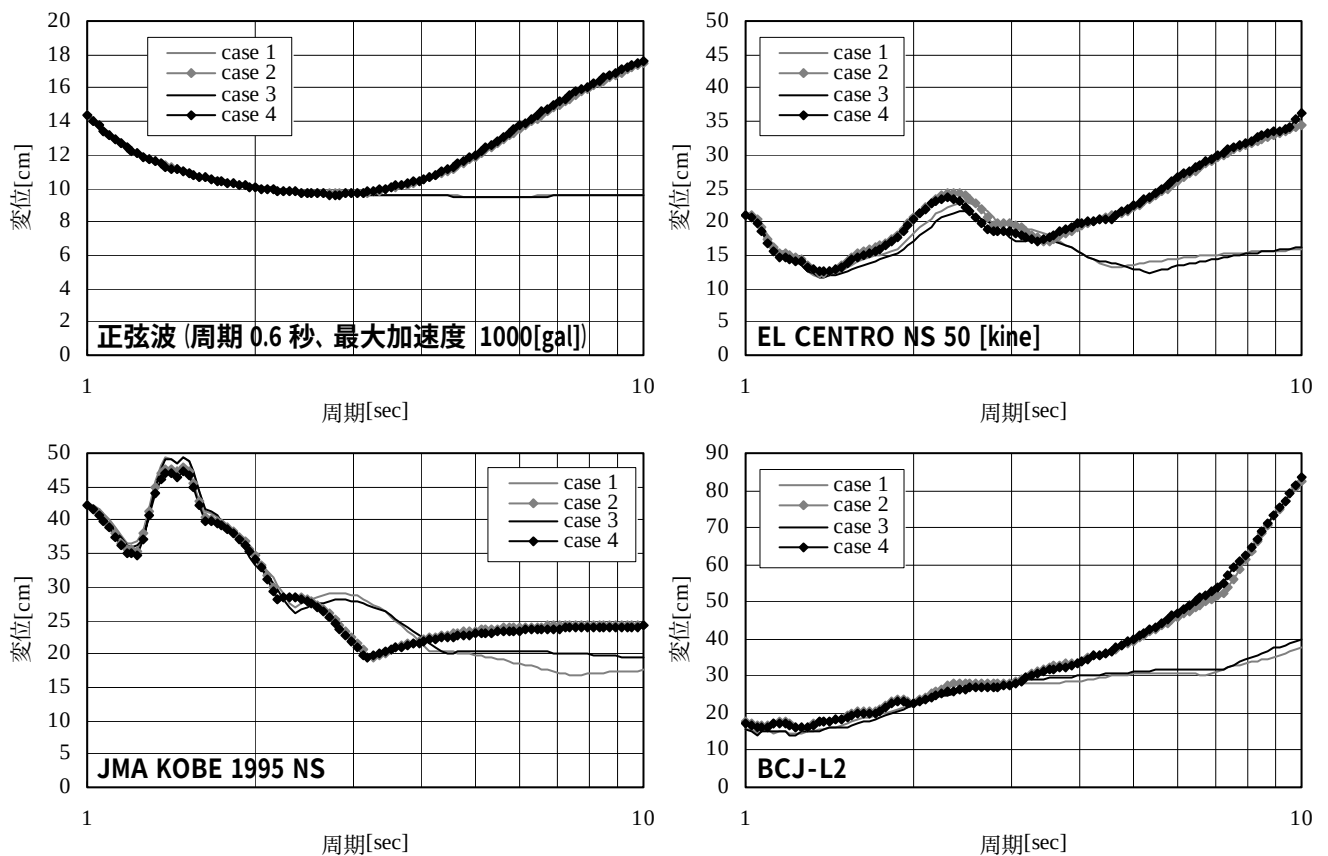


図4 応答変位スペクトル

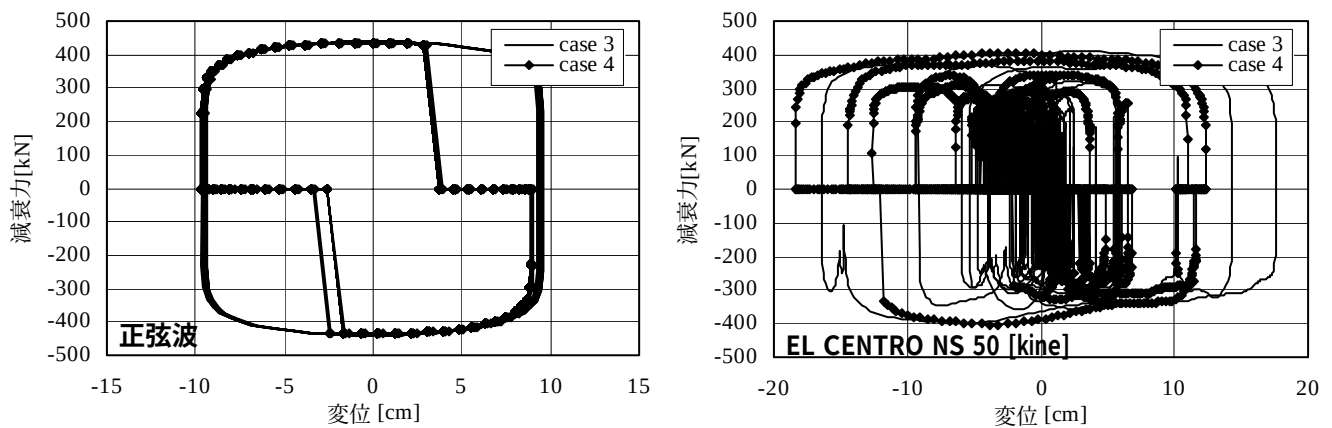


図5 MRダンパーの履歴曲線

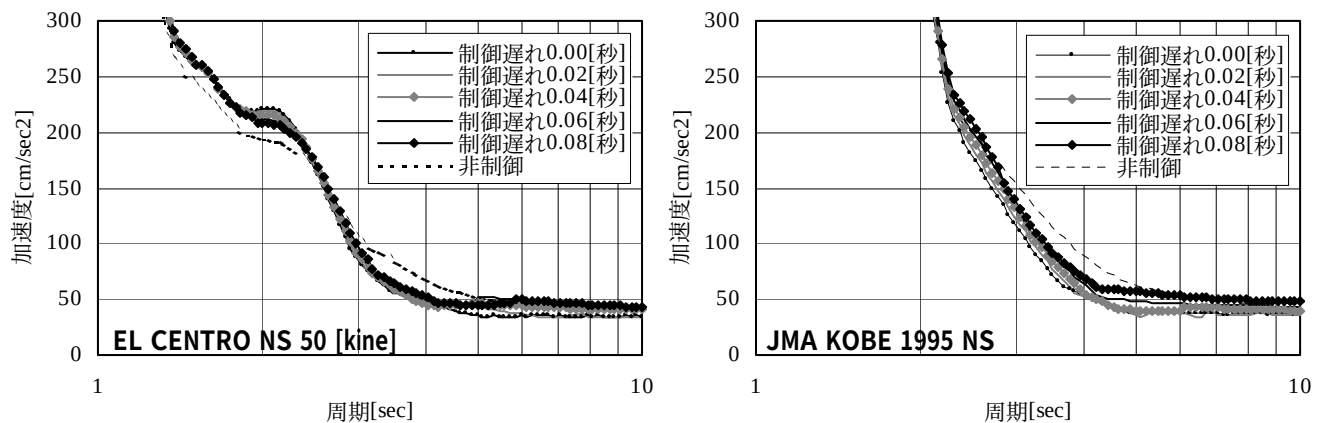


図6 制御遅れ時間の違いによる応答加速度の比較

5. まとめ

MR ダンパーにスカイフック・セミアクティブ制御を行い、基礎免震建物に適用した場合の効果について以下のようまとめる。

- ・周期が概ね 2.5 秒以上の領域で、最大応答加速度が 20～30%程度改善される。制御の目的でない最大応答変位は、建物周期によって大きく増加する可能性がある。
- ・スカイフック理論に基づくセミアクティブ制御の効果は、非線形特性を有する MR ダンパーに対しても、オイルダンパーと同等の効果が得られる。
- ・制御遅れ時間 0.08 秒以内の範囲では、応答の低減効果は制御遅れ時間のないものとほぼ等しい。

謝辞

本研究は日米共同構造実験研究「高知能建築構造システムの開発」(委員長:小谷俊介 東京大学教授)のエフェクタ部会(主査:藤田隆史 東京大学教授)電気・磁気粘性流体WG(主査:曾田五月也 早稲田大学教授)における研究の一環として実施されたものである。関係各位に深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) D.Karnopp 'Active and Semi-Active Vibration Isolation' Special 50th Anniversary Design Issue. June 1995, Vol.117.
- 2) 北川・岩田・曾田「高知能建築構造システムに関する日米共同構造実験研究(その13) 小型 MR ダンパーの力学特性の検討」、日本建築学会大会学術講演梗概集 2000 年 9 月、21448.
- 3) 藤谷ほか「高知能建築構造システムに関する日米共同構造実験研究(その30～31)」、日本建築学会大会学術講演梗概集 2001 年 9 月(掲載予定)。

本論文は、建築学会大会学術講演梗概集(2001 年 9 月)に掲載された原稿を基に体裁を調整したものです。

道路付属構造物向け非衝突型制振装置 (Advanced 制振装置) の開発

— 川崎市・大師橋を例として —

飯嶋 俊比古¹⁾ 長谷川 泰稔¹⁾ 八木 茂治¹⁾ 石原 競²⁾

1) 飯島建築事務所 2) 構造計画研究所

1. はじめに

高度にモータリゼーションが進んだ現代において、道路付属構造物(照明柱および標識柱など)の車両の安全かつ適切な通行を促す役割は、重要である。また、高架道路上に設置された照明柱・標識柱の損傷は、道路の利用者および橋梁下を通行する車両・人、橋梁付近の住民の生命および財産に重大な危害を加える可能性が高く、その設計には十分な配慮が必要である。一般に照明柱の設計は、立地条件に関わらず JIL1)に基づきほぼ一意に定まる静的風荷重のみ考慮して行われる。しかし、台風による道路付属構造物の損傷²⁾、照明ポール・標識柱の落下事故例えば^{3),4)}(以下、落下事故)などは、立地条件に即した動的荷重の評価と、それに基づいた動的設計、疲労破壊の検討が重要であることを示唆している。また、これまでは、落下事故対策として支柱の肉厚を上げるなどの対応がとられてきたが、逆に外力と共振する可能性もあり、外力とポールの動的な性状を考慮した対策が望まれる。

道路付属構造物向けの制振装置としては、衝突型ダンパー(装置内のチェーンもしくは鋼球と装置外壁との衝突を利用)が実用化されている。しかし、これらは対象構造物の振動特性によっては制振効果が得られない場合もある。また、衝突による騒音を伴い、数学モデルに置き換えて解析をすることが困難なため事前の検証ができないなど、その有効性には疑問がある。また、これらは交通振動による橋梁の上下振動^{5)~10)}には対応できない。

筆者らは、川崎市建設局・土木部の協力の下、大師橋で振動計測をおこない、振動源やポールの振動特性を把握・検証した上で、制振装置の開発に着手した。装置の機構検討に際しては、数学モデルに容易に置換できるものとし、上下動にも対応できるものとした。本報は、一連の制振装置の研究開発について報告するものである。

2. 大師橋・照明柱および振動計測概要

川崎大師橋は多摩川の最下流に架かる斜張橋で、上り(東京方面)2車線、下り(川崎方面)1車線の産業道路である。交通量は大型車両を含め、昼夜問わず極めて多い(図1)。対象となる照明ポールは上り車線側にある(図1)。

対象とした照明ポールは鉄製で、高さは11,020mm、ポール頂部のアームの出は灯具を含めて3,223mm、総重量380kgf、灯具の重量は28kgfである。計測は、加速度計をポールの基部(以下、基部)と頭部アーム先端部(以下、頂部)に取り付け、大型車両が通過する時のポールの振動を把握することを目的に行った。収録方法は、サンプリング振動数200Hzとした。計測したポールは、交通振動による橋梁の上下動入力の影響が小さいと考えられる橋脚付近にあるポール1と影響が大きいと考えられる橋脚間にあるポール2で行った(図2)。上り車線側の車両の速度は、橋のたもと付近の急勾配の影響により、ポール1付近よりポール2で車両速度が速いことが分かっている。

なお、以後の振動計測およびシミュレーション解析は図1中の座標系に従うものとする。



図1 大師橋の交通状況および計測対象照明柱設置位置

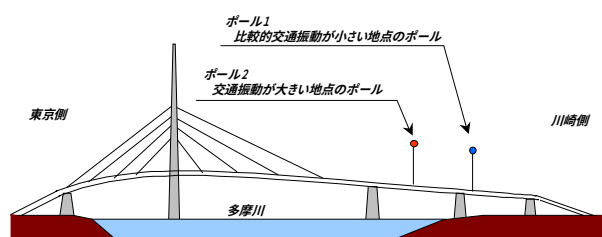


図2 計測照明柱設置位置概要

3.対象照明柱の振動特性

図 3, 4 に大型車両通過時でのポール 1, 2 の典型的な計測加速度波形と平均フーリエスペクトルを示す。図 4 より、ポール 2 頭部上下動では、586gal の加速度が生じており、極

めて大きな加速度が交通振動によってポールに加わることを示唆している。また、ポール 2 ではポール 1 の約 2.5 倍程度の加速度が生じているが、これはポールの設置位置 (特に橋脚との関係) による影響と考えられる。

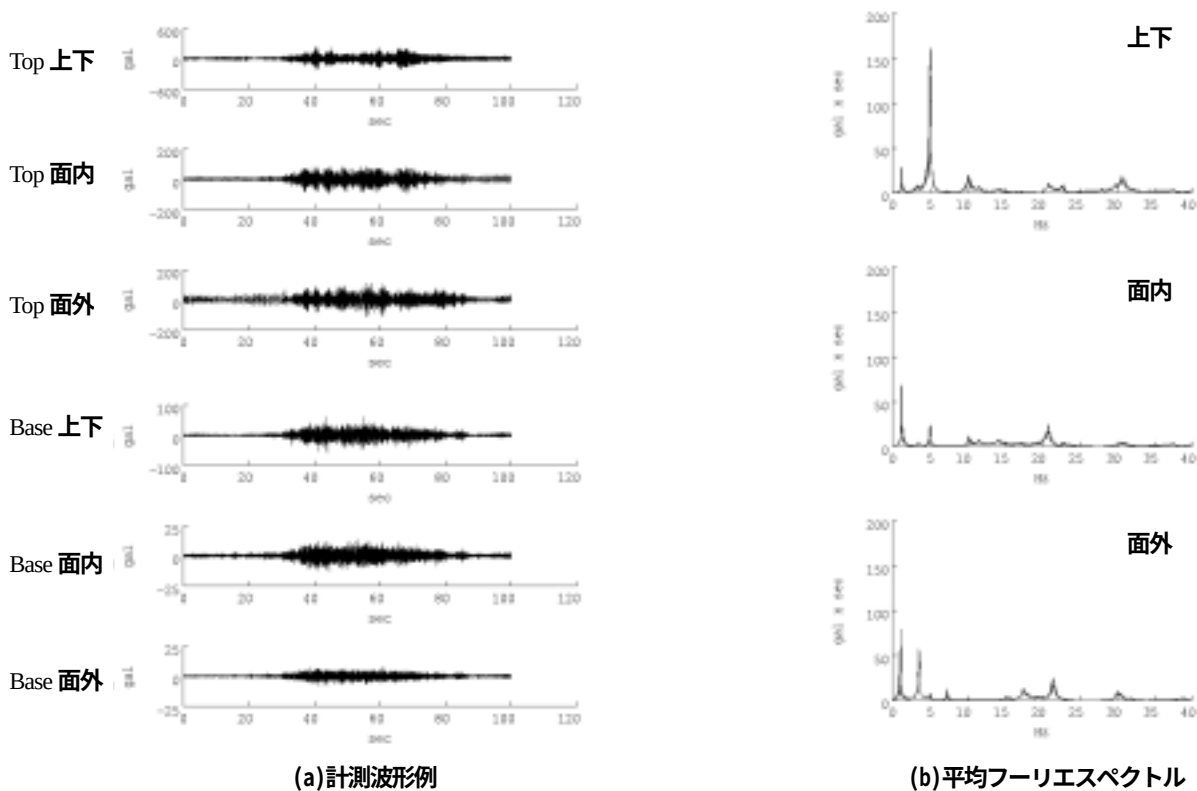


図 3 ポール 1 計測結果

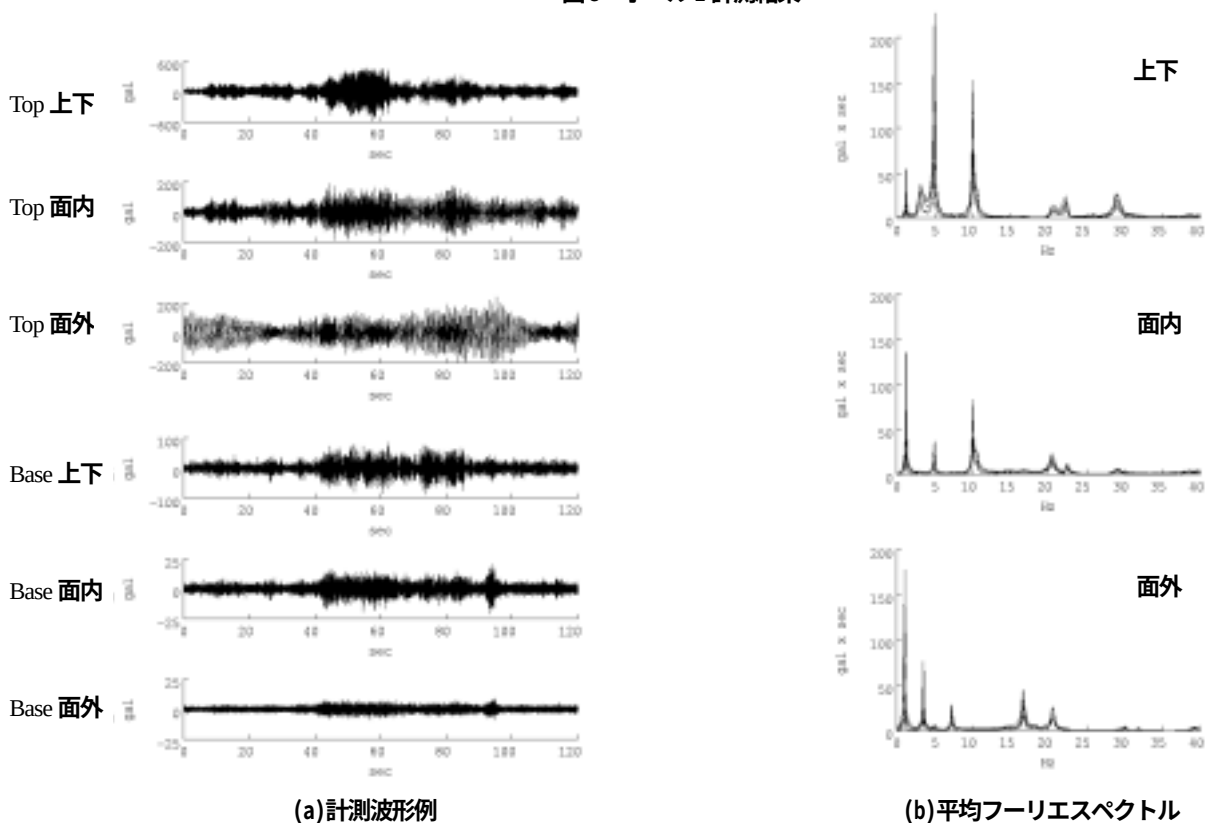


図 4 ポール 2 計測結果

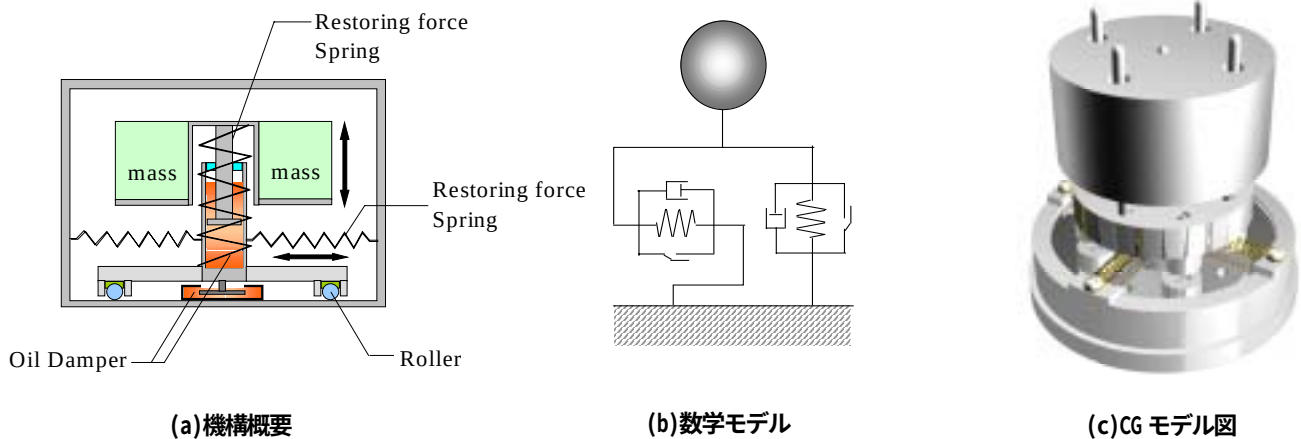


図5 Advanced 制振装置機構概要・および数学モデル

平均フーリエスペクトルから、照明ポールは広帯域の振動数に渡って明瞭な卓越振動数が複数あり、そのスペクトルのピークが著しく高いことから、ポールの減衰はほぼ 0%と見なせることが分かる。これは、照明ポールが外乱と共振した場合には、振幅が増大し、振幅の大きな振動が繰り返されることによりポールが疲労破壊する可能性を示唆している。以下に対象照明柱のその他の特徴的な振動特性を記す。

- ① 交通振動によりポール基部に入力された上下動によってアーム部分の上下動が励起され、頂部面内方向の振動が励起される。(頂部の上下動を入力、頂部面内を出力としたコヒーレンスおよび波形の位相から確認)
- ② 面外方向の振動は主に風によって励起されている。

これらの振動性状の特徴は照明ポール特有の形状によるものと考えられ、類似した形状の多くの照明ポールにおいても同様な現象が発生していると推察される。以上から、台風などの希有な強風時以外の平常時においては、橋梁上に設置された照明ポールに加わる動的な荷重は交通振動による上下動が支配的な要因になっていることが分かる。

4. 照明ポール制振装置開発とシミュレーション解析結果

前項での考察を踏まえ、照明ポール制振装置として、上下・水平 2 成分いずれの入力動に対しても有効であり、かつ数学モデルの構築が容易な非衝突型の振り子型ダンパーを考案(図 5) 注(1)した。本装置の最大の特長は、一つの制振 Mass を上下・水平 2 成分で共有させた点にある。これによって、装置のサイズをコンパクトにでき、かつ騒音が発生しない。また、広範囲の振動数に対応させるため Oil ダンパーによる付加減衰を通常の TMD より大きくとってある。

対象照明柱のモデル化は、設計図書を基に 20 質点系の梁要素モデルに置換した。減衰は計測結果を参考に 1 次振動数で 0.078%の剛性比例型減衰とした。図 6 に解析に用いた照明柱のモデル図を示す。計算には、RESP-T を用い

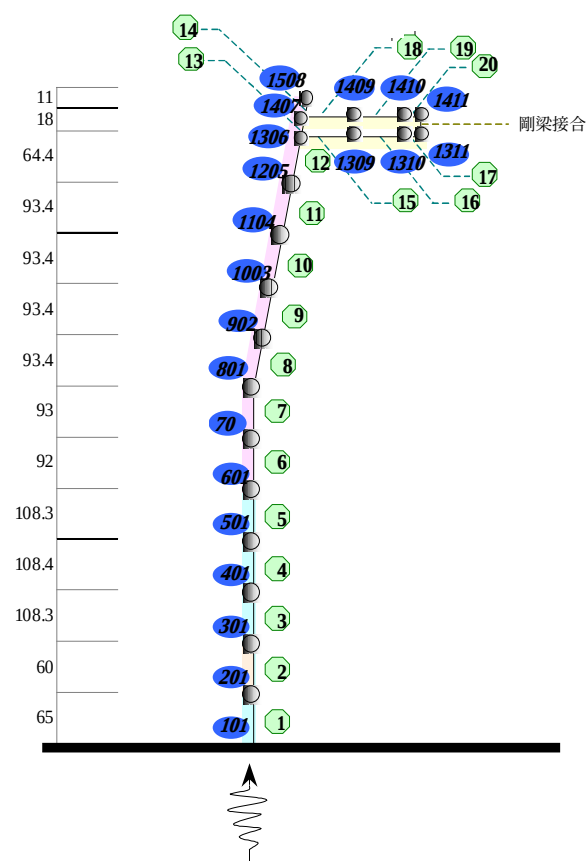


図6 対象照明柱数学モデル

ている。図 7 に制振時と非制振時での数値シミュレーション結果を示す。図より、筆者らが考案したダンパーは、ほぼ全ての振動数において十分な制振性能が得られていることが確認できる。また、非制振時での振動特性は概ね図 4 の頂部での記録を再現していることから、ここで行った検討が妥当なものであることが証明された。

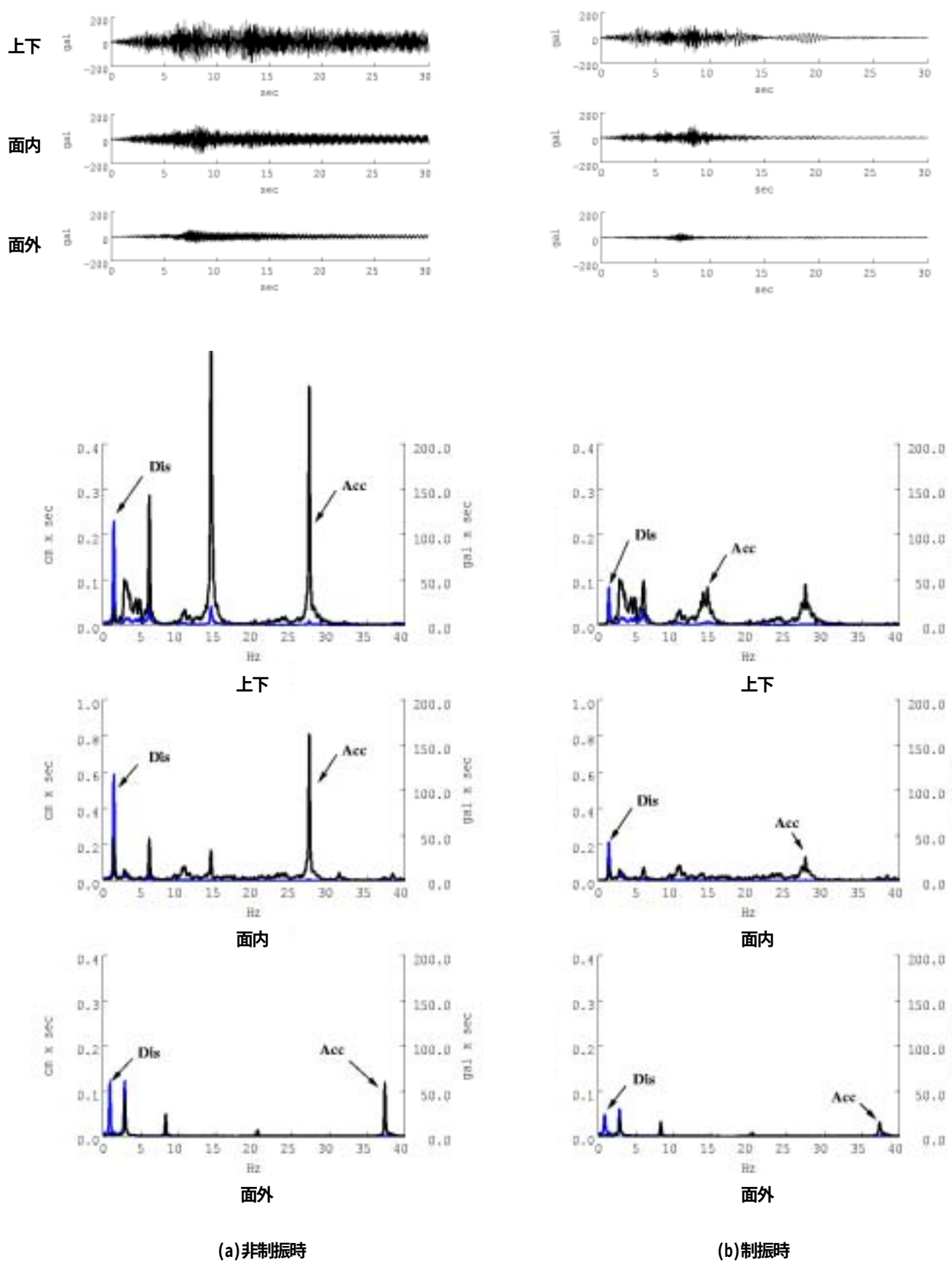


図7 シミュレーション解析結果 (Top の応答)

5. 試作制振装置と現地実証試験結果

筆者らが考案した照明ポール制振装置の性能および前節で行った数値シミュレーション解析結果を実証するために、制振装置を試作し、それを交通振動の影響が大きいポール2に設置して現地実証試験を行った。作成した制振装置の外形寸法は、高さ190mm、直径186φと小型である。これは、本装置の特徴である一つの制振Massを上下・水平2成分で共有させたことによって実現できたものである。制振装置は、灯具のランプソケット部に取り付けた(図8)。図9に、振動エネルギーの推移を示す R.M.S.値(20.48sec 毎)の時刻歴変動を、図10に、制振装置設置前後で、ほぼ同程度の交通振動入力が発生した時の照明柱の振動波形、および平均フーリエスペクトルを示す。

なお、図9、10はともに大型車両の交通量が最も多くなる早朝に計測したものである。

図より、制振装置設置前後において、対象照明柱に入力される交通振動による振動エネルギー・R.M.S.値はほぼ同等であるが、ポール頂部での R.M.S.値および加速度振幅値は、制振装置設置前と比べ制振装置設置後では、大きく低減されており制振装置による制振効果が確認できた。

以上の結果から、制振装置の設置によって、灯具およびポールへの振動負荷を大幅に低減でき、照明灯およびポールの寿命の向上が期待できることが示唆された。

6. 今後の展開

本報で報告した、川崎市・大師橋照明柱への適用例では交通振動を対象としているが、今回開発した制振装置はカルマン渦による風振動対策にも適用が可能である。歩道橋などの軽量のロングスパン構造物の振動対策にも適用することもできる。また、他の適用事例としては、住宅の床振動対策に数例使用しており、その効果をシミュレーションおよび実構造物での実証試験で確認している。



(a)制振装置取り付けジグ



(b)灯具取り付け状況

図8 制振装置取り付け概要

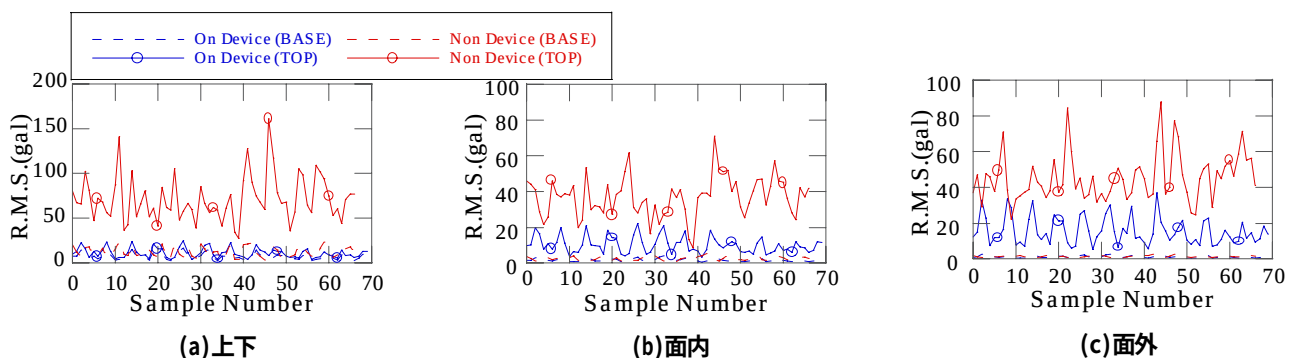


図9 制振装置設置前後でのR.M.S.値変動の比較 (1 sample=20.48sec)

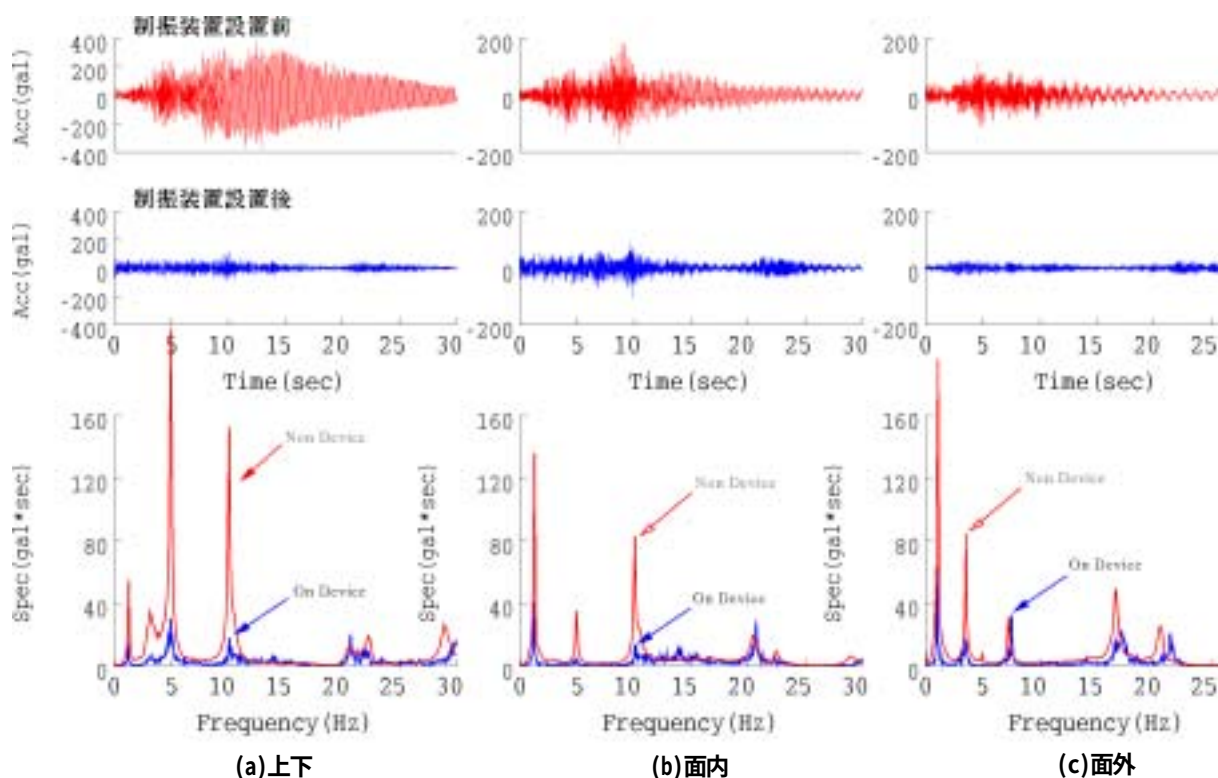


図10 制振装置設置前後での加速度波形および平均フーリエスペクトルの比較

謝辞

振動計測および制振装置開発において、名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻・福和伸夫教授、名古屋工業大学工学部社会開発工学科建築系・小野徹朗教授、名古屋大学工学部振動集中管理室・飛田潤助教授に、適切な助言、ご指導を頂きました。また、大師橋での計測の際には、川崎市役所・建設局・土木建築部・別井仁主幹にご協力を頂きました。

ここに記してお礼申し上げます。

注(1)特許申請中

参考文献

- 1) 社団法人日本照明器具工業会：照明用ポール強度計算基準・JIL1003-1987
- 2) 例えば、朝日新聞：台風19号による被害記事，1991.9.28.
- 3) 例えば、朝日新聞，1999.7.7.
- 4) 例えば、中日新聞，1999.11.16.
- 5) 枚本正信：走行車両により発生する振動の特徴と対策の動向—I.高架道路橋の振動—，第2回振動制御コロキウム PART A, pp.155-168, 1993.8.
- 6) 米田昌弘：交通振動制御の可能性—I.ジョイントレス化は有効か？—，第2回振動制御コロキウム PART A, pp.185-193, 1993.8.
- 7) 川谷充郎，山田靖則，獄下裕一：三次元車両モデルによる桁橋の動的応答解析，土木学会論文集，No.584/I-42, pp.79-86, 1998.1.
- 8) 川谷充郎，山田靖則，金鉄佑，川木秀昭：道路橋交通振動の三次元解析による床版応答の評価，構造工学論文集，Vol.44A, pp.827-834, 1998.3.
- 9) 西阪理永，塩沢伸明，福和伸夫：大型車走行時の高架道路近傍地盤における振動伝達機構の分析，構造工学論文集 Vol.43B, 1997, pp.277-286
- 10) 西阪理永：実大実験に基づく道路交通振動の振源機構と建築物への振動伝達機構に関する研究，平成9年1月，名古屋大学大学院学位論文

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。



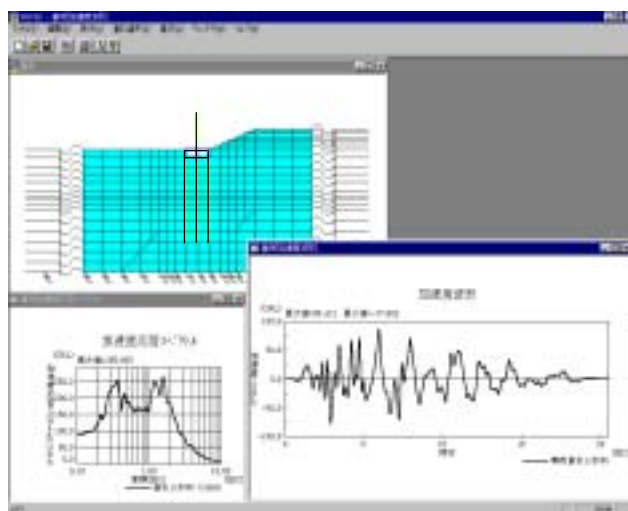
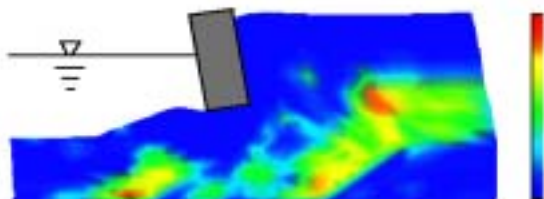
活断層による最大値一覧出力画面

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

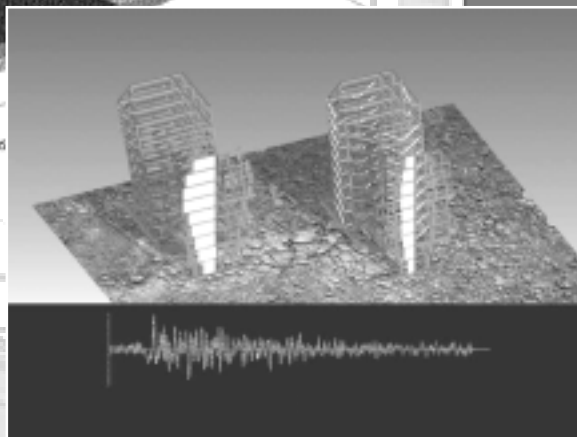
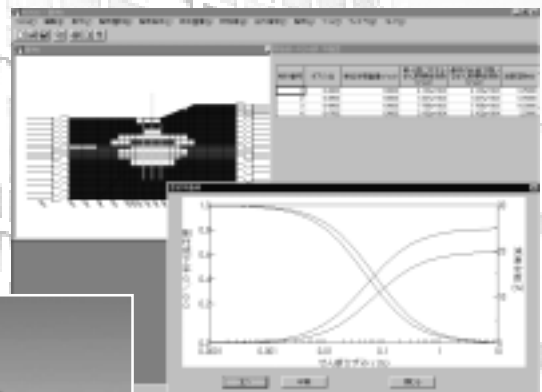
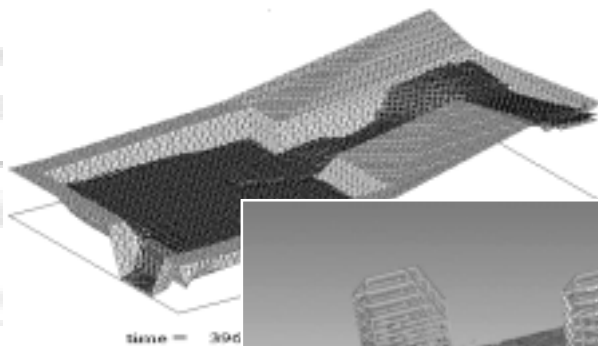


★ Super FLUSH/2DとNANSSIは（株）
地震工学研究所と弊社の共同開発商品です。

タイムリーに、 チャレンジングに。

構造計画研究所の 解析コンサルティングサービス

建設各分野での解析技術に対するニーズは変化し続けています。
構造計画研究所は40年近くもの間、これらのニーズにタイムリーに
チャレンジングにお応えしてまいりました。
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。



- 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

(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	九州支所開設
●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	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 ★格子モデルによる相互作用解析 ●キャスク落下衝撃解析 ●原子力発電所立地確認調査 ★超高層ビルの耐震検討 ■RESP-F ■RESP-M3 ■SuperFLUSH3D ■NANSSI ■RESP-F3 ■HOTFLOW II	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 ■RESP-S	1990	熊本構造計画研究所新社屋完成
★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 ★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	福岡営業所開設 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 ■ASCARS	2000	本所新館完成

★ 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.4 読者アンケートのお願い

前号の本欄では、本号発行までに編集スタッフの再編制があるので、「次回お目にかかるまでには少々時間が空いてしまいそうです。そのときにはちょっと様子が変わっているかも知れません。」と申し上げていましたが、結局従来ペースで、様子もほとんど変わらずにお目にかかることになりました。これは、決して紙面刷新の手間を惜しんでのことではありません。より読者の皆様に興味を持っていただくための改革であれば、聖域なく(?)行

っていく所存です。

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 解析技術本部

〒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

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技術本部のホームページにも是非お立ち寄りください。

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 06-6243-4500 ●北海道支所 011-261-0671
●福岡営業所 092-482-8821 ●名古屋営業所 052-222-8461

解析雑誌

Journal of Analytical Engineering Vol.4 2001.9

(株) 構造計画研究所 解析技術本部 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。

Windows は米国マイクロソフト社の登録商標です。

Journal of Analytical Engineering,
Vol.4, 2001.9

Kozo Keikaku Engineering, Inc.