

Vol.11 2004.1

[Topics]

水環境評価システム Water-design for Windows 道路橋交通振動シミュレーションで 日本技術開発と技術提携

[Technical Reports]

杭基礎-地盤系から発生する地盤振動 に対するハニカム・セル構造 WIB による 低減対策工法の検証

ダンパーの付与による隣接橋梁システ ムの震動制御

2003 年十勝沖地震の最大加速度・最 速度の距離減衰特性



【巻頭言】

建設業界のヒット商品

建設ソリューション営業部 部長 山本一美

昨年の 12 月に三井住友銀行グループの SMBC コンサルティングから 2003 年のヒット商品番付が発表 されました。2003 年は、経済に若干明るい材料が出てきたものの、個人消費は盛り上がりに欠け、その ため大型のヒット商品の少ない1年だったとのことでした。その番付のなかで西の大関に「六本木ヒル ズ」が番付されていました。ここ数年のヒット商品番付で建設関連が番付されたことは 2001 年の西 前 頭 2 枚目の「都市高層マンション」と 2001 年の東 前頭 3 枚目の「TDS vs USJ」くらいで三役(関脇) 以上に番付されたのは「六本木ヒルズ」が初めてです。また、弊社が六本木ヒルズの構造設計をお手伝 させていただいたこともあり、このニュースをテレビで見た時、隣に座っていた娘に思わず「六本木ヒ ルズは、お父さんの会社が構造設計したんだぞ!」と威張ってしまいました。

私の周りには道路公団問題の影響等で、新たに土木施設や大規模な建築物を建設すること全てが悪だ といったむちゃな主張する方がいます。そのような主張をする方と飲み屋等でご一緒すると、決して悪 いことをしている訳ではないのに建設業界に身を置くものとしては居心地が悪かったり、肩身の狭い思 いをしたことがありました。しかし、その反面、六本木ヒルズや丸ビルの大ヒット等に見られるように、 その建物が竣工したことを多くの一般大衆が歓迎している建物も存在します。六本木ヒルズに予想以上 の来場者(半年間で2,600万人を突破)が訪れた実績が証明しているように、お客様(ユーザ)にほん とうに満足していただけるような施設を企画できれば、今までとは違った建設需要の創出も可能ではな いでしょうか。六本木ヒルズの成功事例のように、今の時代の流れが求めていることをもう一度見つめ 直して、お客様や一般大衆に対してささやかな夢や希望を与えられるような企画・提案をお客様と一緒 に考えて行きたいと思っております。近年、ヒットという言葉とは縁遠かった建設業界でありますが、 今年も第2、第3の六本木ヒルズ・プロジェクトのようなヒットを目指して、お客様や事業主の二ー ズが的確に反映された、有益な施設の企画・設計・施工、または最前線の研究開発のお手伝いができる ことが弊社の最高の喜びであります。

在り来りの言い方ではありますが、弊社が長年に渡り培った解析・開発・設計・パッケージソフトに 関する技術をベースとして、お客様のご要望に対して最適なソリューションをご提案させていただき、 少しでもお客様の業務活性化のお役に立てるよう2004年も技術力向上、コンサルティング能力の向上を 目指して精進していく所存でございます。

解析雜誌 Vol.11 2004.1 目次

【巻頭言】 建設業界のヒット商品 山本-美	02
<i>Topic 1</i> 水環境評価システム Water-design for Windows <i>Topic 2</i> 道路橋交通振動シミュレーションで 日本技術開発と技術提携	05 09
<i>Technical Report 1</i> 杭基礎-地盤系から発生する地盤振動に対するハニカム・セル 構造 WIB による低減対策工法の検証 島袋 ホルヘ	13
<i>Technical Report 2</i> ダンパーの付与による隣接橋梁システムの震動制御 庄司 学・佐藤 壮	21
<i>Technical Report 3</i> 2003 年十勝沖地震の最大加速度・最大速度の距離減衰特性 司 宏俊・翠川 三郎	25
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

<u>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。</u>

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/



【お知らせ】

水環境評価システム

Water-design for Windows

我々の身近には、多くの流体(気体や液体)問題があります。今まで、大気問題の専用解析システム として、ビル風解析システムWind-designや室内空調システムAC-designをリリースしてまいりました が、この度新しく水環境の解析システムとして、Water-designを開発し、販売を開始することになり ました。このシステムの主な解析対象は、湾内や湖沼のような、閉鎖性水域の水質問題です。ここでは このWater-design 解析システムの概要説明と計算例を示します。

水環境解析の特徴

水も大気も流体であることには変わりがありませんが、 水環境問題には大気問題とは異なる特徴があります。

第一の特徴は、水環境問題には自由表面の変化という 現象が発生するということです。自由表面とは、水面の 変化のことであり、海洋や河川問題では、この水面の変 化が問題となることが多々あります。例えば、地震津波 の潮位や洪水発生時の河川水位などが堤防を越えるかど うかという問題などがあります。これらの現象は、大気 解析ではほとんど考える必要が無い問題ですが、水環境 では重要な評価項目となります。

第二の特徴は、解析対象の平面方向と深さ方向のスケ ールが大きく異なるという点です。ビル風解析のような 大気問題の場合、解析領域は平面方向が数百メートルで 高さ方向も300メートル程度です。室内空調問題の場



図1 東京湾水深モデル

合も、縦,横,高さ共に数メートルの大きさとなり、ほ ぼ同じようなスケールとなります。このような問題では 空間を3次元格子に分割して、流体方程式を解くことに より3次元的な速度や温度を計算することができます。

これに対して、図1のような海洋や湖沼の問題は、平 面方向解析距離が数キロであるのに対し、水深方向には 数十メートルというスケールになるため、平面方向と水 深方向で100倍もの違いがあります。このような問題 は、大気問題と同じような3次元解析は計算効率などの 点で適当ではありません。

水環境解析方法

(1)2次元平面モデル

大気問題では、流体の速度3成分(X方向,Y方向, Z方向)と圧力を未知量として計算しますが、水環境解 析では静水圧力を仮定して簡略化し、さらに、水位上昇 量という概念を導入して流体方程式を計算するのが一般 的です。この時、速度は水深方向に平均化し、平面方向 2成分(X方向,Y方向)を未知量する方法が2次元平 面モデルです(図2参照)。



Kozo Keikaku Engineering, Inc. 2004.1

(2)マルチレベルモデル

2次元平面モデルでは、水深方向を平均化して簡略的 に計算するため、深さ方向の速度や温度の分布などを考 慮することができません。湖沼や湾内のような閉鎖性水 域では、深さ方向の密度変化による流れが重要な役割を はたす場合があり、このような場合には水深方向を層状 に分割したマルチレベルモデルを用いた計算を行います (図3参照)。ここで紹介する Water-design もこのマル チレベルモデルを採用して計算を行います。



図3 マルチレベルモデル

Water-design 機能概要

Water-design の機能一覧を表1に示します。

解析事例

以下では、図4のような解析モデルを用いた東京湾内 における濃度拡散解析の事例を示します。東京湾の入口 で周期的な水位変化を設定し、湾内の潮流解析を実施し ています。同時に湾内のあるポイントで濃度発生を指定 し、これが潮流により拡散していく様子を解析していま す(図5~図7)。

表1 Water-design 機能概要

項目	説明
解析機能	・有限差分法によるマルチレベル水理解析
	・速度,水位,密度,温度,塩分濃度の
	計算機能
解析条件	・水位変動量の指定
	(周期関数 , テーブル入力)
	・速度 , 流量境界条件の指定
	・濃度 , 密度条件の指定
形状入力	・水域平面図(bmp ファイル)の読み込み
	・水深電子地図の読み込み
	・水域形状の対話的な入力,修正,削除
	・境界条件の対話的入力
	 ・入力データの3次元による確認表示
	・多彩なカラー表示
メッシュ	・3 次元メッシュの自動生成
分割	・画面上で対話的にメッシュ設定が可能
	・メッシュ分割状況の2 or 3次元による
	確認表示
図化出力	・流速ベクトル、等流速線図の2 or 3 次元
	カラー出力
	・流動場のマーカ粒子による可視化
	・流速、水位、温度、塩分濃度、密度の
	コンタ、等値面表示
	・流速、温度の時刻歴アニメーション
	・プリンタ印刷の他、bmp ファイルに出力
	も可能



図4 解析モデル図(東京湾)



図5 水位変化図(3次元表示)







図6 平面方向の濃度分布と流速ベクトル

<u>生態系モデル</u>

Water-design システムは、今後さらにプランクトンや 生物の活動をモデル化した生態系モデル解析機能を付加 し、水質評価システムとして機能を充実させていく予定 です。

以下に生態系モデルで計算可能な物理量と生態系モデ ルの概念図を図8,9に示します。

8コンパート	メント生態	系モデル
--------	-------	------

区分	コンパートメント	記号
有機物	植物プランクトン	Р
	動物プランクトン	Z
	懸濁態有機物 (デトリタス)	POC
	溶在態有機物	DOC
無機物	リン酸塩	DIP
	全無機態窒素	DIN
	$(\mathrm{NH}_4 + \mathrm{NO}_2 + \mathrm{NO}_3)$	
酸素	溶存酸素	DO
水質	化学的酸素要求量	COD
	図8 生態系モデル物理量	



図9 生態系モデル概要



k-PILE では、地盤ばねの非線形特性の自動計算機能、 k-SHAKE の地盤応答変位の自動読み込み機能を有しており、 構造設計者が手軽に用いることができます。





水平力

【お知らせ】

道路橋交通振動シミュレーションで 日本技術開発と技術提携

この度、建設コンサルタントの日本技術開発(株)殿と KKE は、道路橋の交通振動解析を基盤技術 としたコンサルティング事業で技術提携する運びとなりました。まずは道路面を重車両等が通過する際 の、路面と車両双方に発生する振動をシミュレートする技術を基盤としたコンサルティングサービスを 近々開始します。今後は低周波騒音などの環境問題や、橋梁各部の経年劣化・疲労などの維持管理面で のコンサルティングサービスへ展開していく計画です。

<u>環境・コスト・老朽橋梁の維持管理</u>

日本技術開発(株)殿と KKE は、最近の建設業界にお ける「環境」や「コスト」への意識の高まり、あるいは 国内道路橋の 40%に相当する高度成長期に建設された橋 梁の老朽化対策など、橋梁の保全・補強に関連する新し いニーズに注目し、これらのテーマに個別にアプローチ しておりましたが、この度、「コンサルタントとソフトハ ウスのノウハウを結合させることによって、より強力に 新事業の推進を図っていく」ことで両社の方向性が一致 し、技術提携する運びとなりました。

交通振動解析シミュレーション

交通振動解析は、凹凸や継ぎ目をモデル化した路面上 を、車体やタイヤをモデル化した質点が動的に通過する 際の車体と路面の双方に発生する振動を3次元橋梁モデ ル上でシミュレートする技術です。 現在、両社共同による交通動解析プログラム「環境振動シミュレーター」の開発を進めております。すでに予備検討の段階は終了し、さらに精度向上を図るべく開発 スピードを上げているところです。

今後の展開

両社は今後、車両や路面モデルのバリエーション拡充 しつつ、実測値との比較検証実績を積み上げることを優 先課題と考えています。またその一方で、下図に示すよ うに、この技術を基盤として「環境評価」あるいは「維 持管理」へのアプリケーション化も検討しており、コン サルティング業務のほか、関連ソフトウェアの企画・販 売にも事業展開していく計画を持っています。

これらの具体的な進展につきましては、本誌他で逐次 お知らせしてまいります。



Kozo Keikaku Engineering, Inc. 2004.1





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	HAKE+	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





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。

杭基礎-地盤系から発生する地盤振動に対するハニカム・セル

構造 WIB による低減対策工法の検証

島袋 ホルへ¹⁾ 1)株式会社構造計画研究所 防災・環境部

 $\mathbf{5}$

6

 $\overline{7}$

8

8

 ∞

331

376

405

1.まえがき

本研究は、軌道構造物を対象とした実大杭基 礎(4本杭に支持された3mのピア)の調和振動 実験結果に対してコンピュータ・シミュレーショ ンを実施し、軌道構造物から発生する列車・交通 振動に対するハニカム・セル構造WIBによる振 動低減対策工法の検証を行ったものである。

2.振動実験の概要

試験体の概要と測定点(速度計)の配置を図 1 に示す。加振点は、ピアの天端とした。加振力 については、振動数に依存するためいずれの振動 数においても 10kN で基準化して結果の整理を行 った。

せん断波 層厚 密度 減衰 ポアソン 層 速度 (m) (kg/m^3) 淧 比 (m/s)1 1222000 0.485 $\mathbf{5}$ 0.0 $\mathbf{2}$ 6 1722000 0.03 0.491 3 11 2312000 0.03 0.4894 142792000 0.03 0.486

2000

2000

2000

0.03

0.03

0.00

0.480

0.474

0.469

表1 対象サイト地盤の物性値

ini st 2 P: Pier Shaker出力方向:x向 3.0m x3.4mx3.0m 1@20 ピア 65 🕂 15 x z 10.5m x10.5m x2.7m 1613 57m 50 14 x z + 20.0 1@25 10m 13.4g 25 13 x z 16015 集静站 20.08.1 10 12 x z 150 120 30 1830 1810-2,920 Œ١ 11 10 9 8 3 1 8 2 6 х 図 1 試験体の概要と計測点の配置

Kozo Keikaku Engineering, Inc. 2004.1

3.ハニカム・セル WIB の概要

ハニカム・セル WIB は、波動の分散性を応 用した工法である。ハニカム・セル WIB の平面 的な規模は対象とする振動数帯域での波長で、深 さ方向については、地盤の表面波の分散特性¹⁾と 杭体の変形特性から決定する。また、ソイルセメ ント杭の剛性は周辺地盤とのインピーダンス比 に応じて決定する。 本検討では、WIB の表層付近の中詰め材とし て、タイヤシュレッドと土とセメントとによる混 合材料を採用している。ソイルセメント杭の物性 値と混合材料の物性値を表 2 および表 3 に示す。 また、WIB の配置を図 2 に示す。

対象となった列車振動は、高速走行に対して 高架軌道構造の揺れが原因する振動数は 1.8Hz か ら 12Hz の低振動数帯域である。



図2 ハニカム・セル構造 WIB

直径	長さ	密度	弹性係数	せん断波速度	ポアソン	減衰率
(mm)	L(m)	(t/m ³)	E(t/m ²)	(m/s)	比	
1000	15	2.00	530612	1000	0.40	0.02

表2 ソイルセメント杭の物性値

表3 混合材料の物性値

長さ	密度	弹性係数	せん断波速度	ポアソン	減衰率
(m)	(t/m ³)	E(t/m²)	(m/s)	比	
-0.50 ~ -2.50	1.40	500	35.7	0.40	0.10

4.解析モデル

解析手法としては、FEM と薄層要素法とを 用いたサブストラクチャ法(3次元解析プログラ ム SuperFLUSH/3D²⁾)を使用した。

解析モデルとしては、図3に示すようにWIB の無いモデル(振動実験モデル)とハニカム・セ ル構造WIBを用いた場合のモデルの2モデルを 作成した。

地盤は、成層地盤であるものと仮定して薄層 要素を用いてモデル化した。ピアおよび杭ははり 要素、ハニカム・セル構造 WIB はシェル要素で モデル化した。また、WIB 内の地盤およびタイヤ シュレッドと土とセメントとによる混合材料に ついては、ソリッド要素でモデル化した。



(a) WIB の無いモデル(振動実験モデル) (b) ハニカム・セル WIB 構造を用いた場合のモデル

図3 解析モデル

5.振動実験のコンピュータ・シミュレーション 振動実験では、2Hz から 19Hz までを 0.5Hz 刻みで加振しているのに対して、コンピュータ・ シミュレーションでは 1/3 オクターブバンドスペ クトルの中心振動数を計算点とし、12Hz まで計算 するものとした。

図4および図5は、X方向に加振した場合の X方向の速度応答とY方向に加振した場合のY方 向の速度応答を単位加振力で基準化して比較し たものである。なお、図中のtestは実験結果、com はシミュレーション結果を示す。また、図中の数 字はピアからの距離を示している。

実験結果とシミュレーション結果とを比較 すると、定量的には必ずしも十分とは言えないが、 定性的には良好な一致が見られる。定量的に差が 生じている要因としては、地盤構造の不整形性や 地盤物性のバラツキ等が考えられる。

図4に着目すると、実験結果、シミュレーション結果ともに 5Hz 付近にピークが現れている。 これは、ラブ波の卓越する振動数¹⁾とほぼ一致している。

図 5 に着目すると、図 4 程ではないが 8~10 付近でピークが見られ、レーリー波の卓越する振 動数 ¹⁾とほぼ一致している。

以上の結果より、本検討で採用しているシミ ュレーション手法の妥当性は確認できたものと 考えられる。

Kozo Keikaku Engineering, Inc. 2004.1



6.ハニカム・セル WIB の振動低減効果 高速列車の通過時を対象として、ピア天端 を15tf で加振した場合の地表面の振動レベルに ついて検討を行った。

振動レベル評価に際しては、American National Standards Institute (ANSI)の式を採用し て、速度応答から算出するものとした。

$$L(f_k)[dB] = 20 \cdot \log_{10} \frac{V_{RMS}(f_k)}{V_0}$$

$$V_0 = 10^{-6}$$
 [in/sec]

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \overline{v}(t)^2 dt} \qquad \text{[in/sec]}$$

図 6、7 は、4Hz および 5Hz で加振した場 合の振動レベルの距離減衰で比較したものであ る。図中の<w/o WIB>は WIB 導入前を、<w WIB>は、WIB 導入後の解析結果を示す。いず れの振動数においても、実験結果(Field Test)と シミュレーション結果とは良く一致しており、 w WIB による振動低減効果が大きくなってい る。

図7は、ピアからの距離200mの地点での 振動レベルを比較したものであるが、10Hz以下 の低振動数帯域では、wWIBによる振動低減効 果が大きく、10dB程度の振動レベルが低下して いる。

図 8~9は、5Hz 加振時の地表面での振動レ ベルの分布示したものである。X 方向時、Y 方 向加振時ともに WIB による振動低減効果が大 きいことが分かる。X 方向(軌道方向)加振に 対する X 方向の振動レベル、Y 方向(軌道直角 方向)加振に対する Y 方向の振動レベルともに WIB による振動低減効果が認められる。



図6 主要な振動数成分での振動レベルの距離減衰



図8 X 方向加振時の X 方向の振動レベル



7.むすび

本研究では、実大杭基礎の加振実験結果のコ ンピュータ・シミュレーションを実施し、ハニカ ム・セル構造 WIB による振動低減効果について 検討を行った。その結果、高架橋からの列車振動 がコンピュータ・シミュレーションで概ね再現す ることが可能であること、また 10Hz 以下の低振 動数に対してはハニカム・セル構造 WIB による 振動低減工法が非常に有効であることが確認で きた。

参考文献

- 1)島袋・竹宮:杭基礎-地盤系の起振機実験 vs.コ ンピュータ・シミュレーションからの地盤内振 動伝播性状、第 38 地盤工学会研究発表会、 pp.2255-2256、2003、7
- 2) SuperFLUSH/3D 使用説明書、1995
- 3) 竹宮・島袋: 杭基礎-地盤系の振動性状を把握 した減振工法 ハニカム WIB のコンピュー タ・シミュレーションからの検討、第 38 地盤 工学会研究発表会、 pp.2257-2258、2003、7







ダンパーの付与による 隣接橋梁システムの震動制御

庄司 学¹⁾・佐藤 壮²⁾

1) 筑波大学機能工学系講師 2) 構造計画研究所 耐震技術部

橋梁構造物は並列な構造システムであるため,激甚な地震が作用すると,上部構造の過度の応答や隣接 する上部構造間に衝突が生じる可能性が高くなる.従って,これらの問題を緩和するために,隣接上部構 造間にダンパーを設置するという考え方が提案されている.本研究では,隣接橋梁構造物をジョイントダ ンパーで連結する問題を取り挙げ,系の地震応答を最適に低減するために必要となるダンパーの減衰係数 ならびに連結剛性の設定法に関して検討を行った.理論的展開を論述した上で,本研究で提案する最適化 ルーチンに基づいた試算例を示すことにより,本提案方法の有効性を確認した.

Key Words : Seismic design, seismic performance, joint damper, adjacent bridge systems

1.はじめに

橋梁構造物は並列な構造システムであるため,激 甚な地震が作用すると,上部構造の過度の応答や隣 接する上部構造間に衝突が生じる可能性が高くなる 従って,これらの問題を緩和するために,隣接上部 構造間にダンパーを設置するという考え方が提案さ れている¹⁾.

このような並列構造物の制振問題については機械 工学分野における研究を端緒として,建築および土 木工学の分野においても精力的に研究が続けられて いる²⁾⁻⁵⁾.本研究では,特に岩浪らの一連の理論的 研究を参考にして²⁾,隣接橋梁システムをジョイン トダンパーで連結する問題を取り挙げ,系の地震応 答を最適に低減するために必要となるダンパーの減 衰係数ならびに連結剛性の設定法に関して検討を行 った.以下では,理論的展開を論述した上で,本研 究で提案する最適化ルーチンに基づいた試算例を示 すことにより,本提案方法の有効性を確認する.

2.最適な減衰係数および連結剛性の求索

(1) 理論

隣接橋梁構造物を図 - 1 に示すような 2 質点 2 自 由度系でモデル化する.この時,系の運動方程式は x₁,x₂, *u* を系 1,系 2 の絶対応答変位ならびに入力 変位とすると次式のように求められる.



図 - 1 隣接橋梁システムのモデル化

$$M_{1}\ddot{x}_{1} = -K_{1}(x_{1}-u) - K_{\nu}(x_{1}-x_{2}) - C_{\nu}(\dot{x}_{1}-\dot{x}_{2}) - C_{1}(\dot{x}_{1}-\dot{u})$$

$$M_{2}\ddot{x}_{2} = -K_{2}(x_{2}-u) - K_{\nu}(x_{2}-x_{1}) - C_{\nu}(\dot{x}_{2}-\dot{x}_{1}) - C_{2}(\dot{x}_{2}-\dot{u})$$
(1)

ここで, M, K, C:系の質量, ばね定数, 減衰係数, K_{v}, C_{v} :ジョイントダンパーの連結剛性と減衰係数 である.今,系が調和入力のもとに調和振動してい ると仮定すると,系1,2の絶対加速度応答倍率お よび相対変位応答倍率は次式のようになる.

$$\left|\frac{\ddot{x}_{1}}{\ddot{u}}\right| = \psi_{\ddot{x}_{1}}(\omega), \ \left|\frac{\ddot{x}_{2}}{\ddot{u}}\right| = \psi_{\ddot{x}_{2}}(\omega) \tag{3}$$



図 - 2 ダンパーの最適な減衰係数*C*,および連結剛性*K*, の決定フロー(最適化ルーチン)

$$\left|\frac{x_1-u}{u}\right| = \psi_{x_1-u}(\omega), \ \left|\frac{x_2-u}{u}\right| = \psi_{x_2-u}(\omega)$$
(4)

いずれも調和入力の固有円振動数 @ の関数になっている.

次に,想定する入力地震動の加速度波形 $\ddot{x}_{g}(t)$ ならびに変位波形 $x_{g}(t)$ のフーリエ振幅スペクトル $F^{\ddot{x}_{s}}(\omega)$, $F^{x_{s}}(\omega)$ を計算し,これらを式(3)および式(4)より求められた応答倍率に掛け合わせ,「擬似的な」応答倍率を以下のように求める.

$$\Psi_{\ddot{x}_{1}}(\omega) = \psi_{\ddot{x}_{1}}(\omega) \cdot F^{\ddot{x}_{s}}(\omega), \Psi_{\ddot{x}_{2}}(\omega) = \psi_{\ddot{x}_{2}}(\omega) \cdot F^{\ddot{x}_{s}}(\omega) \quad (5)$$

$$\Psi_{x_{1}-u}(\omega) = \psi_{x_{1}-u}(\omega) \cdot F^{x_{s}}(\omega), \Psi_{x_{2}-u}(\omega) = \psi_{x_{2}-u}(\omega) \cdot F^{x_{s}}(\omega) \quad (6)$$

入力地震動の加速度波形 $\ddot{x}_{s}(t)$ ならびに変位波形 $x_{s}(t)$ のフーリエ振幅は非定常な入力を調和振動成 分に分解した時の円振動数 ω ごとの振幅特性を表し ているので,これらを定常調和入力に基づいた応答 倍率 $\psi_{\bar{x}}(\omega)$, $\psi_{x-u}(\omega)$ に掛け合わせて得られた関数 $\Psi_{\bar{x}}(\omega)$, $\Psi_{x-u}(\omega)$ は,入力地震動に対する系の応答 の感度を表す.以下では,これらを擬応答倍率と呼 ぶこととし,これに基づいてダンパーの最適な減衰 係数 C_{v} ならびに連結剛性 K_{v} の決定方法を提案する. また,上述した応答倍率および擬応答倍率はいずれ も入力の円振動数 ω に関する関数として表現したが, 円振動数 @ を周期 T や振動数 f に置き換えて表現することも当然可能である.

(2) 最適化ルーチン

図 - 2 には,入力地震動のフーリエ振幅スペクト ルならびに系の応答倍率を用いて,ジョイントダン パーの最適な減衰係数*C*,および連結剛性*K*,を決定 するフローを示している.ここでは,絶対応答加速 度に着目した場合の例を示しているが,提案する最 適化ルーチンは入力地震動を想定すれば,いずれの 応答種別に対しても適用可能である.

最適化ルーチンのポイントは,(1)で述べた系 1, 系 2の擬応答倍率を計算し,これらのピーク値が最 小となるようにジョイントダンパーの減衰係数 C_v と連結剛性 K_v をパラメトリックに変化させ,決定 するという点にある.本提案方法によれば,想定す る入力地震動に対して隣接橋梁システムの中の着目 する地震応答が最小となるようにダンパーの減衰係 数 C_v と連結剛性 K_v を決定できる.入力地震動に関 しては時刻歴波形あるいはフーリエ振幅のかたちで 与えられなければならない.系1と系 2が非連結の 場合の系 1,系 2の動特性(固有円振動数,減衰定 数)も同様に与える必要がある.

3.最適化ルーチンに基づいた試算例

(1) 最適な減衰係数および連結剛性の求索

最適化ルーチンの枠組みの中で,ダンパーの減衰 係数 *C*_v および連結剛性 *K*_v を変化させた場合の系の 地震応答の低減効果を試算した.応答低減の指標と して,次式のように,規準化絶対加速度擬応答倍率 η_{Ψ_x} ,規準化相対変位擬応答倍率 $\eta_{\Psi_{xu}}$,および規準 化最大絶対加速度擬応答倍率 ς_{Ψ_x} ,規準化最大相対 変位擬応答倍率 $\varsigma_{\Psi_{xu}}$ を定義した. η_{Ψ_x} および $\eta_{\Psi_{xu}}$ は ダンパー付与による系 1,系 2 ごとの最大応答の影 響を示した指標であり,一方, ς_{Ψ_x} および $\varsigma_{\Psi_{xu}}$ は全 体系の最大応答に対する影響を表している.

$$\frac{\left|\Psi_{\vec{x}_{1}}(\omega)\right|_{\max}}{\left|_{nl}\Psi_{\vec{x}_{1}}(\omega)\right|_{\max}} = \eta_{\Psi_{\vec{x}_{1}}}, \frac{\left|\Psi_{\vec{x}_{2}}(\omega)\right|_{\max}}{\left|_{nl}\Psi_{\vec{x}_{2}}(\omega)\right|_{\max}} = \eta_{\Psi_{\vec{x}_{2}}}$$
(7)

$$\frac{\left|\Psi_{x_{1}-u}(\omega)\right|_{\max}}{\left|_{nl}\Psi_{x_{1}-u}(\omega)\right|_{\max}} = \eta_{\Psi_{x_{1}-u}}, \frac{\left|\Psi_{x_{2}-u}(\omega)\right|_{\max}}{\left|_{nl}\Psi_{x_{2}-u}(\omega)\right|_{\max}} = \eta_{\Psi_{x_{2}-u}} \quad (8)$$

$$\frac{\max\left\|\Psi_{\tilde{\mathbf{x}}_{1}}(\boldsymbol{\omega}\right\|_{\max}, \left|\Psi_{\tilde{\mathbf{x}}_{2}}(\boldsymbol{\omega}\right\|_{\max})}{\max\left(\int_{nl}\Psi_{\tilde{\mathbf{x}}_{1}}(\boldsymbol{\omega})\right)_{\max}, \left|_{nl}\Psi_{\tilde{\mathbf{x}}_{2}}(\boldsymbol{\omega})\right|_{\max}} = \varsigma_{\Psi_{\tilde{\mathbf{x}}}}$$
(9)

$$-\frac{\max\left\|\Psi_{\mathbf{x}_{1}-u}(\boldsymbol{\omega})\right\|_{\max}, \left\|\Psi_{\mathbf{x}_{2}-u}(\boldsymbol{\omega})\right\|_{\max}}{\max\left(\left\|u\right\|_{\mathbf{x}_{1}-u}(\boldsymbol{\omega})\right\|_{\max}, \left\|u\right\|_{\mathbf{x}_{2}-u}(\boldsymbol{\omega})\right\|_{\max}}\right)} = \varsigma_{\Psi_{\mathbf{x}-u}}$$
(10)

ここで ,
$$\left|\Psi_{x_1}(\omega)\right|_{\max}$$
 , $\left|\Psi_{x_2}(\omega)\right|_{\max}$, $\left|\Psi_{x_1-u}(\omega)\right|_{\max}$, $\Psi_{x_2-u}(\omega)\right|_{\max}$: ダンパーを付与した場合の系 1 , 系 2



図 - 3 ダンパーの減衰係数 C_v および連結剛性 K_v を変化させた場合の規準化最大絶対加速度擬応答倍率 G_{Ψ_x} (左側) および規準化絶対加速度擬応答倍率 η_{Ψ_v} (中央:系1,右側:系2)の変化

の絶対加速度擬応答倍率ならびに相対変位擬応答倍 率のピーク値、 $|_{nl}\Psi_{x_1}(\omega)|_{max}$ 、 $|_{nl}\Psi_{x_2}(\omega)|_{max}$ 、 $|_{nl}\Psi_{x_1-u}(\omega)|_{max}$ 、 $|_{nl}\Psi_{x_2-u}(\omega)|_{max}$:ダンパーなしの場合 の絶対加速度擬応答倍率ならびに相対変位擬応答倍 率のピーク値である.

ここで,図-3には,入力地震動として上町台地 地盤 3-24EW 波を想定し,系1および系2の非減衰 固有周期 T_1 , T_2 が $(T_1,T_2)=(0.8 \text{sec}, 0.4 \text{sec})$, (0.8 sec, 1.6 sec)となる隣接橋梁システムを対象として取り挙 げた場合の S_{Ψ_x} および η_{Ψ_x} の変化を示す.系の減衰定 数 h_1 , h_2 は $h_1 = h_2 = 0.02$ と仮定しており,最適化ル ーチンにおいてダンパーの減衰係数 C_v および連結 剛性 K_v は $C_v = 0 \sim 10 \text{MNsec/m}$, $K_v = 0 \sim 50 \text{MN/m}$ の 範囲で変化させた.

なお,上町台地地盤 3-24EW 波は大阪市の直下に ある上町断層系が連動して活動した場合の上町台地 地盤における想定地震動であり,大阪市土木・建築 構造物震災対策技術検討会において検討されたもの である⁶⁰.これは強震動地震学の近年の急速な進展 を反映して構造物を立地する地域に影響を及ぼしう る断層運動やプレート運動を考慮した上で,想定地 震動を決める方法が構造物の耐震設計の今後の方向 性ではないかと考え,上述したような入力地震動を 想定した. このように,想定地震を設定した上で対象とする 隣接橋梁システムのそれぞれの系の動特性を設定で きれば,最適化ルーチンに基づいて,地震応答を最 も効率的に低減するために必要となるダンパーの減 衰係数 C_v および連結剛性 K_v を,図-3から ς_{Ψ_i} お よび η_{Ψ_i} が最小値となる C_v および K_v の組み合わせ を求索することによって求めることができる.

(2) 系の動特性の影響

次に,系1,系2の固有周期を変化させ,これら の全ての組み合わせ (T_1,T_2) に対して ς_{Ψ_x} , η_{Ψ_x} なら びに $\varsigma_{\Psi_{x,u}}$, $\eta_{\Psi_{x,u}}$ の分布図を作成し,それぞれの分布 図に基づいてダンパーの最適な減衰係数 C_v および 連結剛性 K_v を求め,この時の ς_{Ψ_x} , η_{Ψ_x} ならびに $\varsigma_{\Psi_{x,u}}$, $\eta_{\Psi_{x,u}}$ をコンター図のかたちで表現した.図-4 は,図-3 と同様に上町台地地盤 3-24EW 波を想 定し,系の減衰定数 h_1 , h_2 を $h_1 = h_2 = 0.02$ と仮定し た場合の結果を示したものである.これによれば, 入力地震動の違いによる影響,絶対加速度応答,相 対変位応答などの応答種別ごとに相違,全体系とし て応答低減可能な程度,2 つの系の各々の応答低減 の程度などに関する情報が得られ,ジョイントダン パーの連結による隣接橋梁システムの地震応答低減 効果を極めて効率的に検討することが可能となる.



図 - 4 最適な減衰係数 C_v および連結剛性 K_v となる場合の S_{Ψ_v} , η_{Ψ_v} ならびに $S_{\Psi_{uv}}$, $\eta_{\Psi_{uv}}$ のコンター

4 . 結論

本研究では,隣接橋梁システムをジョイントダン パーで連結する問題を取り挙げ,系の地震応答を最 適に低減するために必要となるダンパーの減衰係数 ならびに連結剛性の設定法に関して検討を行った. 得られた知見をまとめると以下の通りとなる.

- 入力地震動のフーリエ振幅スペクトルを系の応 答倍率に掛け合わせることによって入力地震動の 影響を加味した「擬応答倍率」を求め,このピー ク値が最小となるように隣接橋梁システム間のダ ンパーの最適な減衰係数と連結剛性を決定するル ーチンを提案した.
- ダンパーの減衰係数 C_v ならびに連結剛性 K_v を 変化させ,規準化絶対加速度擬応答倍率 η_{Ψ_x},規 準化最大絶対加速度擬応答倍率 s_{Ψ_x},ならびに規 準化相対変位擬応答倍率 η_{Ψ_x},規準化最大相対変 位擬応答倍率 s_{Ψ_x}の分布図を作成することによっ てダンパーの最適なパラメータを試算した.
- 3)系 1,系 2の固有周期 T_1 , T_2 を変化させた場合 の η_{Ψ_x} , ς_{Ψ_x} ならびに $\eta_{\Psi_{x-u}}$, $\varsigma_{\Psi_{x-u}}$ の分布図を作成 し,それぞれの分布図に基づいてダンパーの最適 な減衰係数 C_v および連結剛性 K_v を求め,この時 の η_{Ψ_x} , ς_{Ψ_x} ならびに $\eta_{\Psi_{x-u}}$, $\varsigma_{\Psi_{x-u}}$ をコンター図の かたちで表現した.
- 4)1)から3)で示した提案方法に基づくと、入力 地震動の違いによる影響、絶対加速度応答、相対 変位応答などの応答種別ごとに相違、全体系とし

て応答低減可能な程度,2つの系の各々の応答低減の程度などに関する情報が得られ,ジョイント ダンパーの連結による隣接橋梁システムの地震応 答低減効果を効率的に検討することが可能となる.

参考文献

- 1) Kawashima, K. and Unjoh, S.: Seismic Response Control of Bridges by Variable Dampers, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.120, No.9, pp.2583-2601, 1994.
- 2) 岩浪孝一,鈴木浩平,背戸一登:ダンパとばねで 連結された並列構造物の制振法,日本機械学会論 文集(C編),59巻,566号,pp.2975-2980, 1993.10.
- 3) 蔭山満,安井譲,背戸一登:連結制振の基本モデ ルにおける連結バネとダンパーの最適解の誘導, 日本建築学会構造系論文集,第 529 号,pp.97-104, 2000.3.
- 4) Luco, J. E. and De Barros, F. C. P. : Optimal Damping between Two Adjacent Elastic Structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 27, pp. 649-659, 1998.
- 5) Iemura, H., Igarashi, A. and Inoue, Y. : Dynamic Response Control of Real Size Structural Systems with Active Mass and Joint Dampers, *Procs. of the 2nd World Conference on Structural Control*, Vol.2, John Wiley & Sons, pp.1493-1500, Kyoto, Japan, 1998.
- 6)大阪市土木・建築構造物震災対策技術検討会:
 同検討会報告書, 1997.3

2003年十勝沖地震の最大加速度・最大速度の距離減衰特性

司 宏俊¹⁾·翠川 三郎²⁾

1) 株式会社構造計画研究所 防災・環境部 地震防災室

2) 東京工業大学総合理工学研究科人間環境システム専攻 教授・工博

1.はじめに

2003年9月26日4時50分で発生した2003年十勝 沖地震は、気象庁マグニチュード、モーメントマグ ニチュードともに8.0のプレート間巨大地震であっ た。この地震の際に、独立行政法人防災科学研究所 が整備してきた強震観測網(K-NET)及び基盤強震観 測網(KIK-NET)において多数の強震記録が得られた ため、これらのデータを用いて、2003年十勝沖地震 における最大加速度・最大速度の距離減衰特性につ いて検討を行い、さらにその結果をもとに地震動の 空間的な分布特性について考察を加えた。ここに、 速報としてその結果の一部を示す。

2.データ

解析には、K-NET による 338 記録、KIK-NET による 295 記録(地表のみ)を使用した。これらの記録に 対して、0.1Hz~10Hz が平坦なバンドパスフィルタ ーを施し、最大加速度値を求めた。また、加速度波 形を積分して速度波形に変換し、地表から深さ 30m までの平均S波速度(VS30)が得られる観測点に対 して、硬質地盤での最大速度値を求めた。最大振幅 値は水平2成分のうち大きいほうを用いた。結局、 地盤上の最大加速度について 633 記録、硬質地盤で の最大速度について 360 記録を用いた。なお、K-NET 観測点の HKD086(直別)では地盤上で 115 m/s の最 大速度を記録しているが、VS30 が得られていないた め、硬質地盤上の最大速度を求められなかった。

2.断層モデル

解析に用いた断層モデルは山中・菊地(2003)が 遠地実体波による波形インバージョンで得られた断 層すべり量分布図をもとに、120 km×80 km の矩形 断層を設定した。図1に設定した断層の範囲と断層 すべり分布、東大震研により再決定された余震分布 と合わせて示し、断層モデルはおおむね妥当なもの であると判断できる。なお、主な断層パラメータは、 山中・菊地(2003)に従い、Mw=8.0、断層の走向230°、 傾斜角20°とし、断層面中心深さは39kmとした。

2.距離減衰特性

図2に,本地震の硬質地盤上の最大速度、地盤上の 最大加速度の距離減衰特性を示す。震源距離は断層 面までの最短距離を用いた。図中,司・翠川(1999) による距離減衰式の計算値(実線)とその標準偏差 (破線)もプロットしている。その際に,地震タイ プはプレート境界地震とした。距離が 300km 以遠に 対しては、距離減衰式は外挿となる。図から、全般 的に今回の地震の最大速度、最大加速度はプレート 境界地震の平均的なものであることがいえる。ただ し、200km~400kmの間に、最大速度、最大加速度の 観測値がやや小さくなる傾向が見られるが、これら の観測点は主に秋田県や岩手県に位置する。その原 因としては、今回の震源から東北日本にかけて深さ 30km までに短周期地震波に対して Low-Q 層が存在す ること(中村・植竹、2002)や、秋田県と岩手県の 境界付近に火山フロントが位置すること及び深部地 盤の影響によるものと考えられる。一方、最大加速 度について近距離で平均より大きな値を示す観測点 も見られるが、その一部は地盤の増幅効果によるも のと考えられる。たとえば、距離が 160 km程度の KSRH03 において、最大加速度が 792 cm/s2 と大きい が、硬質地盤上の最大速度が 18 cm/s で平均的な値 を示している。当該地点の VS30 が 250 m/s 程度であ った。

3.断層破壊伝播効果

図2より、最大速度では距離の近い観測点では系 統的に大きな値を示しているのに対して、最大加速 度にはこの現象が確認されない。これは、断層の破 壊伝播効果によるものとみられ、最大速度を支配す る比較的周期の長い成分には現れ、最大加速度を支 配する比較的周期の短い成分には現れにくいという 既往の研究結果(司・翠川、2001)とは一致する。 図3に、観測された最大速度値が距離減衰式+よ りも大きい観測点、及び-よりも小さい観測点の分 布を示している。図から、地震動が大きくなってい る観測点の多くは断層破壊伝播方向に位置している ことが確認され、断層破壊伝播効果が現れたことを 示唆している。ただし、地盤の影響は完全に除去さ れているわけではないことから、その影響も含めて さらに検討する必要があると思われる。一方、北海 道においては+よりも大きい観測点が火山フロン トの向こう側にもみられたことから、今回の地震に おいて、北海道では火山フロントによる影響は明瞭 にみられなかった。

4.まとめ

本研究は、2003 年十勝沖地震における最大加速 度・最大速度の距離減衰特性について検討を行い、 本地震の最大振幅は、プレート間巨大地震の平均的 なそれを示していることが分かった。また、硬質地 盤上の最大速度について、距離による影響を補正し、 その空間的な分布特性について考察を行ったところ、 硬質地盤上の最大速度の分布に断層破壊伝播効果が 現れたことが示唆されていることが分かった。 謝辞

独立行政法人防災科学技術研究所の強震観測網(K-NET)および 基盤強震観測網(KIK-NET)の強震記録を使用させていただきました.関係者各位に感謝いたします。

尚、本報告の内容は2003年十勝沖地震緊急報告ポスター(2003 年日本地震学会秋季大会)で報告した内容に加筆したものです。

参考文献

- 司宏俊・翠川三郎:断層タイプおよび地盤条件 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.
- 2) 司宏俊・翠川三郎:統計的グリーン関数法に基 づく地震動最大振幅に対する破壊伝播効果によ る方位依存性の評価、日本建築学会構造系論文 集、No.546、pp.47-53、2001.
- 3) 中村亮一・植竹富一:加速度強震計記録を用いた日本列島下の三次元減衰構造トモグラフィー、地震、Vol.54、pp.475-488、2002.
- 4) 八木勇治:2003年9月26日十勝沖地震(Mjma 8.0)の破壊伝搬の様子、 http://iisee.kenken.go.jp/staff/yagi/eq/Ja pan20030926/japan20030926-j.html、2003.
- 5) 山中佳子・菊地正幸:EIC地震学ノート No.139、 http://wwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/EIC/EIC_Ne ws/030926.html、2003.



図-1 本研究で用いた断層モデル(で囲まれている領域)

この図は東京大学地震研究所で再決定した余震分布図に加筆したものである。図に示す矢印は山中・ 菊地(2003)による断層すべり分布及び八木(2003)による断層破壊伝播の様子を参考に断層の主要な破 壊伝播方向を示したものである。



図-2 2003 年十勝沖地震における最大速度(上図)、 最大加速度(下図)の距離減衰特性

図に司・翠川(1999)による距離減衰式も合わせて 示している。図から、最大加速度も、最大速度も既 往のプレート境界地震の平均的距離減衰特性で説明 されるが、最大速度では距離の近い観測点では系統 的に大きな値を示しているのに対して、最大加速度 ではこの現象が認められない。これは、断層の破壊 伝播効果による影響とみられ、最大速度を支配する 比較的周期の長い成分には現れにくいという既 往の研究結果(司・翠川、2001)とは一致する。た だし、地盤の影響は完全に除去されているわけでは ないことから、地盤の影響も含めてさらに検討する 必要があると思われる。

図-2 地震動の空間的な分布特性

図に、 印は K-NET の観測点、 印は KIK-NET の観 測点の位置を示す。×印は活火山の位置を示し、赤 い一点鎖線は大凡の火山フロントの位置を示す。図 に、大きな、 印は最大速度が距離減衰式+ よ りも大きい観測点を示し、小さな、 印は最大速 度が距離減衰式- よりも小さい観測点を示す。図か ら、地震動が大きくなっている観測点の多くは断層 破壊伝播方向に位置し、断層破壊伝播効果が現れて いることを示唆している。また、北海道地域におい て+ よりも大きい観測点が火山フロントの向こう 側にもみられたことから、今回の地震において、北 海道では火山フロントによる影響は明瞭にみられな かった。一方、最大速度が- より小さかった観測点 は主に秋田県、岩手県に分布している。







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



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

解析雑誌 Vol.11 読者アンケートのお願い

解析雑誌のバックナンバーはKKE解析ホームページ からダウンロードもできますが、「印刷した冊子をご所望 でしたらご連絡ください」とご案内していたところ、Vol.3 の冊子はお陰様でなくなってしまいました(他号はまだ あります)。「各号の減り方に差があるのは、なにか理由 があるんだろうな」とつい漏らしたところ、某氏から「編集 者ならそういうことはちゃんと分析しろ」と。ごもっとも。 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	
	5349-1936 構造計画研究所「解析雑誌,編集相当行

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

〒164-0012 中野区本町4-38-13

TEL 03 - 5342 - 1136 FAX 03 - 5342 - 1236

 $E \times - \mathcal{W}$: <u>kaiseki@kke.co.jp</u>

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部門の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 <u>http://www.kke.co.jp</u>/ 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 名古屋営業所 052-222-8461

解析 Journal of Analytical Engineering Vol.11 2004.1

(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。

Windows は米国マイクロソフト社の登録商標です。

Journal of Analytical Engineering, Vol.11, 2004.1 Kozo Keikaka Engineering, Inc.