

Vol.9 2003.5

[Topics]

MIDAS/Gen バージョンアップ・プラン GIS を利用した広域の地震ハザード評価 株式会社ブリヂストン免震告示対応 構造計算システム

[Technical Reports]

静的振り子問題における幾何学的非線 形性に関する一考察

ー本棒振動モデルにおける曲げとせん 断成分の分離について

動的複合非線形解析による長大アーチ 橋の地震時座屈照査に関する考察



Journal of Analytical Engineering, Vol.9, Preface

【巻頭言】

上司と部下の会話

解析技術1部 環境評価室 保志克則

上司:「これ明日までやっておいてくれない?」

部下:「無理、無理、無理」

文法的には、無理を3度以上繰り返すらしい。彼、彼女らにとって「絶対にできない」を意味しているん だろう。最近、テレビや街中の会話でよく聞くフレーズである。

上司:「これ明後日までやっておいてくれない?」

部下:「普通に無理」

これはどう解釈するのだろう。今でも使われるが、以前から「物理的に無理」という回答がよく使われている。顧客との間でも使われる。「計算時間が3日かかるのに1日でやってくれ」という依頼に対して「物理的に無理」と答える。「普通に無理」とは「常識的に無理」ということか?誰の常識なんだろう?

上司:「これ今週中にやっておいてくれない?」

部下:「微妙」

「できるかどうかわからない」と言っているようである。これにはどう対処すればいいのか微妙である。 その後、「じゃあ、今週中にどこまでできるの」といった追求になる。

上司:「この計算結果どう思う?」

部下A:「伝導に比べ、対流の影響が大きいように思います。入力データは、正しいと思うんですが」 上司:「あなたはどう思う?」

部下 B:「なぞですよね」

まさになぞの会話である。

なお、これらの会話が、私どものグループで日常的に行われているものではありません。釈明しておき ます。お客様方には、これらの症例を自覚していませんか?



【巻頭言】 上司と部下の会話 保志克則	02
<i>Topic 1</i> 建設用構造解析システム MIDAS/Gen バージョンアップ・プラン	05
<i>Topic 2</i> GIS を利用した広域の地震ハザード評価	06
<i>Topic 3</i> 株式会社ブリヂストン免震告示対応構造計算システム	09
Technical Report 1 静的振り子問題における幾何学的非線形性に関する一考察 矢部 明人 Technical Report 2 一本棒振動モデルにおける曲げとせん断成分の分離について 梁川幸盛・関口洋平・宇佐美祐人 Technical Report 3 動的複合非線形解析による長大アーチ橋の地震時座屈照査に関する考察 為廣尚起・大塚久哲	15 17 23
	30
お問い合わせはこちらへ 	31

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/





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。

MIDAS

【お知らせ】

建設用構造解析システム MIDAS/Gen バージョンアップ・プラン

昨年の6月に MIDAS IT 社が著作権を保有する建設用構造解析システムである MIDAS/Gen (マイダス/ジェン)を日本国内においてリリースしてから約1年が経過いたしました。お陰様で顧客の皆様から大変好評をいただいており、本年早々に100ライセンスを超える販売実績をあげることができました。その後も順調に販売ライセンス数を伸ばしております。この場を借りて、ご購入いただいた顧客の皆様とご支援いただいている関係者の方々に厚く御礼申し上げます。この度、ユーザ様の非線形解析に関するご要望にお答えするために、MIDAS/Gen は大幅にバージョンアップいたします。

静的非線形解析

MIDAS/Gen では、フレーム構造(梁・トラス・壁要素) の非線形性を考慮した荷重増分法による静的非線形解析 が可能です。しかし、現バージョンでは、静的荷重増分 解析時に板(シェル)要素やソリッド要素を用いてモデ ル化しても、それらの要素の非線形性を考慮することは できません。

次期バージョンでは、板(シェル)要素・平面応力要 素・ソリッド要素等の非線形性を考慮することが可能に なります。例えば、鉄骨接合部の局部的な降伏を考慮し た静的非線形解析が可能となります。

下記のような非線形構成則が使用可能になります。

Tresca Von Mises Mohr-Coulomb Drucker-Prager



板要素による鉄骨接合部の有限要素解析モデル

動的非線形解析

現バージョンの MIDAS/Gen では、動的解析時にフレー ム構造(梁・トラス・壁要素)の材端のヒンジを考慮し た非線形解析ができませんが、次期バージョンでは軸力 変動を考慮した曲げ耐力に基づく動的非線形解析が機能 追加されます。本機能追加により、レベル2地震動によ る建築構造物の3次元動的非線形解析が解析可能になり ます。

動的非線形解析時の復元力特性は、躯体の断面から自動計算される耐力に基づく復元力特性だけでなく、マル チ・リニア型や武田モデル型等の各種復元力特性を設定 することが可能です。



軸力変動無視

軸力変動考慮

梁要素の復元力特性

<u>___バージョンアップ方針</u>

MIDAS/Gen のバージョンアップ内容は、ユーザ様のご要望に基づき決定されます。日本の多様な設計業務に適合できるよう、今後もスピーディにバージョンアップを継続して行きます。更に、スピーディに革新的に進化するMIDAS/Gen に是非ご期待ください!

MIDAS/Gen は、MIDAS IT の商標です。

【技術紹介】

GIS を利用した広域の地震ハザード評価

前号でご紹介させていただきました地震ハザードデータベース k-HAZARD(平成 15 年 3 月販売開始)に 引き続き、地震ハザード評価関連の話題といたしまして、地理情報システム(GIS)を利用した広域の地震 ハザード評価についてご紹介させていただきます。

まず、k-HAZARD に関して再度簡単にご紹介し、その後、 広域の地震ハザード評価に関してご紹介させていただき ます。

<u>地震ハザードデータベース k-HAZARD</u>

地震ハザードデータベース k-HAZARD は、確率論的手法 により評価した日本全国の地震ハザードカーブを収録し たデータベースです。データベースには、日本全国の平 均せん断波速度600m/sの基盤での地震ハザードカーブと、 表層地盤の速度増幅率が収録されています。計算方法や 地震活動のモデル化などの詳細につきましては、前号で ご紹介させていただいておりますので、ここでは割愛い たしますが、k-HAZARD では、評価地点の緯度、経度を入 力することにより、確率論的手法により評価した地表最 大速度に関するハザードカーブ(図1)を取り出すことが できます。



得られた地震ハザードカーブからは、指定した地点 の地震危険度(例えば、再現期間475年相当の期待値) を読みとることが可能となりますが、指定した地点のみ の地震危険度だけではなく、周辺地域も含めた広域の地 震危険度を目で見て理解しようとする場合には、地震ハ ザード評価により得られる情報を、GISを利用して地図上 に示すことが非常に効果的となります。

__ 広域の地震ハザード評価

地震ハザード評価とは、ある地点において将来発生す る「地震動の強さ(例:最大加速度、最大速度、震度)、 「対象とする期間」、「対象とする確率」の3者の関係を 評価するものです。図1に示す地震ハザードカーブは、 そのうちの「対象とする期間」を固定することにより、 「地震動の強さ」と「それを特定の期間に超える確率」 との関係を表したものと言えます。

広域の地震ハザード評価を行う際には、地震ハザード 評価を地域内で面的に実施し、地震動強さ、期間、確率 のうち2つを固定した場合の残る1つのパラメータの地 域分布を地図上に表示させて地震危険度を表します。

こうして得られる分布図を、政府の地震調査研究推進 本部の地震動予測地図作成プロジェクトでは、『確率論 的地震動予測地図』と呼んでおり、現在、地震調査研究 推進本部のウェブサイトでは、確率論的地震動予測地図 の地域限定の試作版として、山梨県を中心とした地域、 北日本地域それぞれに関する評価結果が公開されていま す。

KKE は、地震ハザード評価に関して豊富な実績がありますが、地震防災情報システム Quiet や地震荷重設定システム SeleS など GIS を利用したシステムを開発、販売しており、GIS の利用についても得意としております。

「ある地域の地震危険度マップが必要だ」、「どの地震、 断層が地震危険度に大きく影響を及ぼしているのかを知 りたい」などのご要望に、GISを利用して速やかにお応え しております。

例えば、図2はk-HAZARDより得られる東京周辺地域の 地震ハザードカーブから期間と確率を固定して、地表最 大速度を地図上に約250mメッシュサイズで表示した確率 論的予測地図です。

確率論的地震動予測だけでなく、国や地方公共団体の 防災計画のための被害想定などで利用される、震源断層 を特定した地震動予測についても、簡便な経験的手法か ら高度な半経験的手法や理論的手法に至るまで、幅広く コンサルタント業務として行っております。

広域の評価が必要な場合には、予測される地震動の強 さを GIS を利用して『震源断層を特定した地震動予測地 図 (シナリオ地震地図)』としてご提供しております。

このような広域の地震危険度評価が必要となりました 際、また、評価に関するご質問などがございましたら、 是非弊社までご相談ください。

参考文献

地震調査研究推進本部ウェブサイト http://www.jishin.go.jp/ 文部科学省、独立行政法人 防災科学技術研究所:地震動 予測地図ワークショップ予稿集、平成15年3月 藤原広行:地震動予測地図、地震ジャーナル34、地震予

知総合研究振興会、2002年12月



図2 2000 年より 50 年間の超過確率が 5%以上となる地表最大速度(東京周辺)

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	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



【お知らせ】

株式会社ブリヂストン 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年半が経過しました。本設計法による実施物件も増えてきています。株式会社ブリヂストンと構造計画研究所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。

本プログラムは、株式会社ブリヂストンのホームページ内、 免震・制振(震)トップページからアクセスできます。 http://www.bridgestone-dp.jp/dp/kentiku/mensin/ 本プログラムの主な機能と特長を以下にご紹介いたします。

利用方法は簡単です。

- 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 e-mail 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。

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備えています。

- 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の計算を行います。
- 装置特性の経年変化、製造ばらつきを考慮した検討が 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種類を用意しています。

NEED-TO-BOOK BOARD - Needed In-		100
	andor (Barla (Brill (Br	
	株式会社 フリチストン 先書告示対応構造計算システム	5
	15241-804528-1440	
	1245	
	Shuncestone	
	A TRANSPORT	
	2-99/ 109-81 	
	12-788.07.07.07.07.07.07.07.07.07.07.07.07.07.	
	ALL CALL REPORTED AND MADE	
	PURSUE OPPREMENTAL BOOMS CONTACTION CONSILEY.	
	Mount from Lakes 2012 2017 Adda boxes Table 2012 40-1	
-CHAPTINESE		C.9-444

ログイン画面



軸力入力画面



免震部材選定画面

ブリヂストン製の大臣認定済み支承材の特性をデータベースとして内蔵しています。

高減衰積層ゴムシリーズ(H-RB)、天然ゴム系積層ゴム シリーズ(N-RB)、鉛プラグ入り積層ゴムシリーズ (P-RB)、弾性すべり支承マルチスライダー(M-SB)の 全製品の特性を組み込み済みです。

支承材と組み合わせて用いる各種減衰材(ダンパ)に対応しています。

大臣認定済みの鋼製ダンパ(ループ型、U型)、鉛ダン
 パの特性を組み込み済みです。

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。
- ・ 計算書は申請に利用できます。



- 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。
 偏心位置、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。
- 装置情報のダウンロード、印刷が可能です。また装置 情報は常に最新のものが入手できます。



偏心率計算結果画面



加速度応答スペクトル図

Kozo Keikaku Engineering, Inc. 2003.5



計算結果一覧画面



計算書(構造計算部)

計算書(地盤の増幅率収斂過程)



有限要素法による



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。



解析コンサルティング

静的振り子問題における幾何学的非線形性に関する一考察

矢部 明人¹⁾

1) 構造計画研究所 土木構造室

1.はじめに

2次元の振り子のような不安定構造物にマトリック ス法による構造解析を適用する場合、不安定要因を補 うための手段が必要となる。部材軸方向の剛性以外の 剛性を補うため、振り子に作用する重力より発生する 部材軸力から幾何剛性を求め、部材直角方向への剛性 を評価する方法が用いられる。しかしながら、そのよ うにして求まった釣合点を、収束計算等によって補正 しなければならないケースも存在する。

また部材ローカル系の変位を更新する際に発生す る全体系の剛性の変化についても同様であり、静的振 リ子問題における幾何学的非線形問題に関わるそれ ら不釣合力を出来るだけ適切に評価し、収束計算によ って適切に解除する方法が必要である。幾何学的非線 形性に関する正確な釣合点を求める方法としては、コ ンプリメンタルエネルギー最小問題に帰着した方法 も提案されている¹⁾。また図-1に示すように、増分 解析によってそれら不釣合力が無視できる程度に十 分な刻みを確保し、計算する方法も有効な手段として 存在する(以下単純増分法と呼ぶ)。

本研究では、それら幾何学的非線形によって生じる 不釣合力を、ある仮定を基に予測し解除する方法を提 案し、その手法による計算速度への影響に関して考察 するものである。



2.幾何学的非線形による不釣合い力予測の方法 今回は幾何学的非線形性に関する不釣合力にのみ 着目し、応力度-歪レベルの非線形性については考慮 しないものとした。まず幾何学的非線形性についてで あるが、応力-歪関係のような明確な関数で定義する ことはできない。よって変位もしくは応力から、ニュ ートンラプソン法を代表とする収束計算方法を用い て正確な釣合点を評価することは難しい。そこで、あ る釣合状態において次の増分変位に到達するまでの 応力 - 変位関係は、増分変位 の2次関数で定義で きると仮定する。以下仮定に基づいた不釣合力式 を 以下に示す。

仮定: F() = a・²⁺b・・・・
 : 増分変位
 F: 増分変位 での増分応力
 a,b: 係数

次に,Kn:ある瞬間の釣合点の剛性、

Kn+1': 変位した時の剛性

とおき、上記仮定に初期条件と1階の微係数の条件を 代入すると式 を求めることができる。

F () = \cdot (Kn + Kn+1')/2 $\cdot \cdot \cdot$

図 2 に示すように、この仮定から、ある条件の下での増分応力は、StepN での釣合点の剛性で求めた初期 線形予測点 Kn・と、初期線形予測後の変位 時の剛性 Kn+1'を用いた線形予測点の平均であるこ とがわかる(以下 2 次予測と呼ぶ)。



図-2 2次で予測した不釣合力

Kozo Keikaku Engineering, Inc. 2003.5

3. 単純増分法と2次予測による計算回数の比較

2次予測による不釣合力の予測による効果として、 増分解析時の刻みをある程度軽減できることが予想 される。実際の効果を計測するために軸剛性、重量(幾 何剛性)、傾斜角(ローカル系更新の影響)を組み合 わせてそれらのバランスと実際の刻みに関する実験 計算を行った。図 3-a~c に軸剛性を 1.0e5~1.0e8、重 量を 0.1~100.0、傾斜角を 5°,15°,30°と段階的に変 化させた場合に変位の理論解に対して 1%の精度にい たるまでの計算回数について示した。今回の計算では、 予測による不釣合力の補正が計算回数に与える影響 を考察するため、計算スッテップ中の不釣合力解除を 行っていない。

2次予測によって不釣合力を予測することにより、 計算回数が約半分程度に軽減されていることがわか る。また、振れ角5°程度の場合でも軸剛性と幾何剛 性のバランスによっては10000回を超える増分計算 が必要なケースもあることが確認できた。 4.考察とまとめ

以上の結果より、2次予測法によって幾何学的非線 形性による不釣合力を予測することで,計算速度の点 で有利であることが分かった。また、ある程度の計算 精度を確保するためには、なお刻みを十分に確保する 必要があることも分かった。

今後は、不釣合力解除方法、高次予測法、動的問題、 応力度-歪レベルの非線形を同時に考慮した複合非線 形問題への応用を考えている。

参考文献

 大久保 禎二・上野 浩司・釣 哲之・川下 誠
 ニ:エネルギー原理に基づくトラス構造物の複合 非線形解析法に関する一考察,土木学会第52回年 次講演会/I-A18,p36-37,1997,9



図-3 軸剛性組と重量(幾何剛性)の組み合わせによる計算回数

一本棒振動モデルにおける曲げとせん断成分の分離について

梁川 幸盛¹⁾ 関口 洋平¹⁾ 宇佐美 祐人¹⁾

1) 構造計画研究所 建築構造室

1.はじめに

超高層建築物など塔状比が大きな建物に対して、各 種制振ダンパーを付加した場合に、ダンパーの減衰の効 果は、建物全体がしなるような曲げ変形では生じず、層 の純せん断変形成分でしか生じないことが一般に知られ ている¹⁾。

KKE では、このような現象を検討するために Resp-M+ (特殊制振建物の弾塑性解析プログラム)を開発し、一本 棒振動モデルに対して図1に示す分離モデルを適用す ることにより、曲げ・せん断の変形成分を分離し、これらの 制振の効果に及ぼす影響を調べてきた。

本稿では、近年多数見られる超高層RC住宅に各種 (履歴・流体など)ダンパーを設置した制振建物を取り上 げて、制振の効果に及ぼす曲げとせん断の比率の影響 について紹介する。





2.解析モデル

解析対象建物の基準階プランを図2に示す。 20 階建 て・40 階建ての超高層 R C 住宅で、階高は 2850 ~ 2900mm とした。

20 階モデルは、建築基準法の必要保有水平耐力を満 足する材料・断面(表1・図3)を与え、40 階モデルは、レ ベル2地震²に対して最大層間変形角が概ね1/100以下 となる材料・断面(表1・図4)を与えた。どちらのモデルも 曲げ破壊が先行することを確認した。

制振ダンパーの配置を図2に示す。履歴または流体ダンパーを、X・Y方向別にそれぞれ8基づつ設定した。



図3 20階モデル、柱・梁断面リスト

Kozo Keikaku Engineering, Inc. 2003.5



図4 40階モデル、柱・梁断面リスト

20 階モデル		
強度		
Fc27		
Fc30		
Fc33		
Fc36		
Fc39		
Fc42		
SD390		

间材料		
40 階モデル		
階	強度	
33~40 階	Fc30	
25~32 階	Fc33	
17~24 階	Fc36	
9~16 階	Fc39	
1~8階	Fc42	
全階鉄筋	SD390	

階



静的荷重増分解析時の曲げとせん断の比率を図7 に示す。これによれば、初期剛性時にはせん断変形成 分の比率は比較的小さいが、曲げひび割れ・曲げ降伏 が生じるにつれて、せん断変形が増大していく様子が わかる。



図7 静的荷重増分解析時のせん断変形成分比

振動モデルのスケルトンカーブは、立体モデルの静 的荷重増分解析の結果(図5および図6)に基づき、 トリリニアカーブ(第1折点は剛性が80%に低下す る点、第3勾配は層間変形角 1/100の接線勾配とし、 第2折点は面積が等価となる点³⁾)を作成した。

基本振動モデルは、通常のビーム(曲げせん断型) モデル、および、Resp M+で対応する曲げせん断分離 モデル(図1)の2種類とした。両モデルの変形性状 に違いが無いことは、固有値・最大応答値を比較する ことで確認した。表2によれば、両モデルは極めて近 い変形性状であることがわかる。

復元力特性の非線形性は、曲げ成分を弾性とし、せん断成分を弾塑性とすることでモデル化した。せん断の履歴則には、武田・江戸(修正武田)モデル⁴⁾を採用した。

減衰は、内部粘性減衰(初期剛性比例型)とし、1 次に対して1%を設定した。

入力地震波形は、模擬地震波形である BCJ-L1・L2²⁾ とした。

表2 基本モデル間の固有周期の比較

	20階モデル		40階	モデル
次数	ビーム	分離	ビーム	分離
	モデル	モデル	モデル	モデル
1	0.91415	0.91407	1.97625	1.97615
2	0.33279	0.33276	0.65829	0.65825
3	0.19786	0.19784	0.37831	0.37828

制振ダンパーは、以下に示す2種類を扱った。どち らのダンパーも荷重増分解析には含めず、振動モデル だけに直接付加した。

・履歴型

バイリニア標準型型でモデル化できる鋼製ダンパ ーを計8基(合計:K₁=5000[kN/cm]、Q₁=4500[kN]) 設置する。設計用せん断力時で塑性率が1.7程度に なるように設定した。

・流体型

ダッシュポットでモデル化できる流体ダンパーを 計8基(合計:C=700[kN/kine])設置する。リリー フ動作等の非線形性は考慮しない。

3.解析結果

制振ダンパーを付加していないモデルの最大変 位・最大速度のせん断成分比率(せん断/層間)を図 8(BCJ-L1)および図9(BCJ-L2)に示す。

変位比率は、荷重増分解析時の設計用せん断力時の 比率(図7)にほぼ相当しているが、速度比率は、変 位の比率の半分以下でかなり小さい。これは、変位と 速度の位相の違いのために、最大速度が発生する時刻 には変形が小さいためであると考えられる。部分的に 速度比が大きくなるのは高次モードの変形状態によ ると考えられる。



図8 最大変位・速度のせん断変形成分比(BCJ-L1)



Kozo Keikaku Engineering, Inc. 2003.5

制振ダンパー付きモデルのダンパーのエネルギー 吸収量比(せん断成分に有効なダンパー / 層間に有効 なダンパー)を図10(BCJ-L1)および図11(BCJ-L2) に示す。

エネルギー比でも、最大変位・最大速度の比で見ら れた傾向(速度比は変位に比べてかなり小さい)が若 干見られる。また、履歴ダンパーは、流体ダンパーに 比べ、せん断変形成分の分離の影響を受けて性能が低 下しやすい傾向がある。



4.まとめ

1) 塔状比の高い建物の全体変形に対するせん断変 形の比率によって、制振ダンパーの性能が低下する問 題は、以前から予想されていたが、今回の試解析にお いて、履歴・流体共にこの傾向が実際に確認された。 2) 既往の研究によれば、フォークトモデルで模擬 できるダンパーに関しては、せん断変形成分比の二乗 に比例して、吸収エネルギーが低下する⁵⁾とされてい るが、今回の試解析においても概ね同様の結果が得ら れたが、バラツキは大きい。

3) 履歴ダンパーは、流体ダンパーに比べて、せん 断変形成分の分離時に、性能が低下しやすい傾向があ る。

参考文献

- 2) 梁川・石原・宇佐美・高橋、「粘性ダンパーに関す る複素固有値解析の適用性」、日本建築学会大会学 術講演梗概集、2000 年 B-2 分冊 p.937、2001 年 B-2 分冊 p.249.
- 2) 「設計用入力地震作成手法技術指針(案)」、建設省 建築研究所・日本建築学会、平成4年3月.
- 3)「高層建築物の構造設計実務」、日本建築センター、 2002.
- (鉄筋コンクリート構造物の弾塑性地震応答解析 (その2)」、江戸宏彰・武田寿一、大林組技術研究 所報 No.13,1976.
- 5) 石井ほか、「粘弾性型制振部材を適用した構造骨 組の地震応答評価に関する研究 その2.制振部材 の実効変位に着目した解析モデルの検討」、日本建 築学会大会学術講演梗概集、1999年、第21507番.

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

知りたいなら・・・

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





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。



煩雑な繰り返し計算を自動化し、設計効率大幅UP 積層ゴム支承や免震支承など、支承回りの設計機能を充実。支承形状の決定もしっかりとサポート 解析結果図表、アニメーション機能、ワンタッチの報告書作成機能も装備

無料トライアル版をダウンロードして使いやすさを実感してください!
http://www4.kke.co.jp/packages/navi/

水平力



k-PILE では、地盤は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。





解析雑誌 Vol.9 読者アンケートのお願い

毎号写真を変えればいいだけのはずだった本誌の 表紙。よもやその写真で苦労することになるとは。

これまでスタッフが旅行や出張に行ったときに撮った ものや、市販の素材で間に合わせていましたが、今回 はいい写真が見つからず、都内某所に表紙用の写真を 撮影しに行ってしまいました。お客様をお訪ねした際に 見かけた風景ですが、お近くではありませんか? 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	
	、312、1236、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

〒164-0011 中野区中央4-5-3

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

Eメール: <u>kaiseki@kke.co.jp</u>

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 福岡営業所 092-482-8821 名古屋営業所 052-222-8461

解析 Selection Journal of Analytical Engineering Vol.9 2003.5

(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.9, 2003.5 Kozo Keikaka Engineering, Inc.

動的複合非線形解析による 長大アーチ橋の地震時座屈照査に関する考察

為廣 尚起¹⁾ 大塚 久哲²⁾

1) 構造計画研究所

所 2) 九州大学大学院教授

1.はじめに

コンクリート製・鋼製に関わらず、長大アーチ橋はし ばしば座屈の可能性が懸念される。しかし最近実施され た国内のコンクリート長大アーチ橋の設計・施工方法に 関する実態調査¹⁾等からは、実橋設計時の座屈照査に ついて概ね次のような現状が認識される。

橋梁全体系を対象とした、常時・地震時の座屈に関 する明確な検討が実施された事例²⁾は少ない。

座屈の検討がなされているケースを見渡しても手法 が統一されていない。

既設構造物の座屈に対する性能に関して定量情報の 蓄積がないため、懸念自体が曖昧である。

筆者らは、こうした状況の原因は、設計時の座屈照査 のための一般的に認知された手法と、構造物の座屈に対 する性能(座屈しにくさ、あるいは座屈発生までの余裕 の大きさ)を定量的に示す指標が存在していない点にあ ると考え、既往手法の調査・整理から必要に応じて新手 法を開発することまでを視野に入れて検討を開始し、初 段階の成果を前報³⁾に報告した。

本報ではさらに検討を進めた結果として、前報で懸案 としていた地震時の動的な座屈照査手法を提案し、例題 解析によりその有効性に関して考察を行う。

2.既往の座屈照査手法の問題点

座屈照査は固有値解析または静的増分解析による場合 が多い。いずれも接線剛性マトリックス(材料剛性マト リックス K+幾何剛性マトリックス Kg)の行列式の値が 0、すなわち特異となる荷重状態を探査することが基本 である。

線形座屈固有値解析による照査は、想定荷重作用状態 に式(1)の固有方程式を適用するものである。

$$([K] + {}_{d}[Kg]) \{u\} = \{0\}$$
(1)

[K]:材料剛性マトリックス(初期断面)

[Kg]:現応力状態で評価される幾何剛性マトリックス {u}: 固有モードベクトル 固有値 。は、想定荷重による各部材の応力状態がプ ロポーション不変のまま一律に線形に増加すると仮定し た場合の、座屈(特異)点までの倍率を示す。実際の想 定荷重全作用状態を示す1.0より十分に大きい1次(最 小)固有値 。を得ることで余裕が確認される。手軽な 手法であるが、解は基準の状態(。0.0)から線形に 推移する範囲でしか信憑性を持たないため適用範囲は狭 い。常時荷重等による座屈について余裕を確認するには 有効であるが、非線形領域に及ぶ荷重設定の場合は適用 できない。

構造の非線形性を考慮した座屈点探査には、静的増分 解析が用いられる。筆者らが前報³⁾で支間長 600 mライ ズ 100 mという超長大コンクリート上路アーチ橋の地震 時座屈に着目した際は、複合非線形(弾塑性と幾何学的 非線形を同時に考慮した)プッシュオーバー解析による 特異点探査を試みた。特異点は極大点または分岐点に分 類される(図-1)が、いずれもそれ以上の耐荷力は期待 できない状態であり、かつ急激な変形が発生する恐れの ある状態であるから特異判定を以って座屈とみなした。



図-1 特異点(座屈点)の分類⁴⁾

同報では、この手法を架構全体一様震度の水平荷重分 布でアーチ橋橋軸直角方向に用いた際に、極端に小さい 震度(0.114G)での座屈判定を得ている。

長大アーチ橋は地震時の挙動が複雑な構造に位置付け られており⁵⁾、静的な荷重設定では合理的な地震時の 検討は難しいとされ、動的解析による耐震設計が普及し ている。地震時の座屈に着目している場合も同様に考え る必要があるから、先の静的解析結果で直ちに地震時の 座屈に対する性能を評価することには疑問がある。

この静的座屈解析結果の信憑性を検証するためにも、

あるいはより一般的な地震時の座屈照査手法のオプションとしても、動的な複合非線形解析をベースにした座屈 照査手法の必要性が認識された。

3.動的座屈照査手法の現状

長大アーチ橋の耐震設計に動的複合非線形解析による 照査が必要であるとの認識は一般化している。よく参照 されている設計計算例⁶⁾では常時の幾何剛性のみを考 慮する簡易手法(線形化有限変位理論⁷⁾)が採用され ているし、より厳密に時々刻々と部材座標系と幾何剛性 マトリックスを更新していく修正ラグランジェ法⁴⁾を 用いた設計事例⁸⁾も近年報告されている。

長大アーチ橋は地震時の挙動が複雑である上、架構の 変形や応力状態の変化が動的挙動に与える影響が大きい ことが知られている⁹⁾から、これらの観点では動的複 合非線形解析の適用は有効といえる。しかし、座屈に関 する照査も動的複合非線形解析の実施によってカバーさ れているとの認識には、下記のような問題点が存在して いると考えられる。

動的複合非線形解析の実施のみでは、明確な数値 指標で座屈判定ができない。発散や急激な大変形 等の現象から、定性的に判断する必要がある。

動的複合非線形解析の最後まで座屈と思しき現象 が認められない場合でも、最も危険に近づいた時 刻に、どの程度の余裕を持って座屈しなかったの かを確認すべきであるが、その為の情報が何も得 られない。

したがって、ある橋とある地震波の組み合わせで、 解析上は座屈が発生しなかったという判定は得る ことができるが、別の同種構造計画時に参考とな るようなデータを蓄積することは難しい。

上記の内 については、姫野ら¹⁰⁾が、動的解析中に Kt が静的に特異となるポイントを探査することで近似 的に動的挙動中の不安定評価が可能との前提に立ち、次 の座屈固有方程式(2)を動的解析の各 STEP に適用して、 固有値が負となる時刻に着目することで解決を試みてい る。

 $([K] + [Kg]) \{u\} = \{u\}$ (2)

[K]:瞬間の材料剛性マトリックス [Kg]:瞬間の幾何剛性マトリックス {u}:固有モードベクトル

この手法は、数値指標による動的解析途中の座屈判定 を可能にしたが、ここで得られる固有値の絶対値は座屈 点までの余裕の大小とは直接関連がないため、 を解 決するには至っていない。

4.動的座屈照査方法の提案

筆者らは姫野らのアプローチを踏襲しつつ、「座屈判 定」はもとより、前章の問題点 に関連する「余裕の 定量化」に着目して、式(2)ではなく下記の固有値方程 式(3)を動的複合非線形解析の各増分ステップに適用す ることを考えた。

$$([Kt] + [Kg]) \{u\} = \{0\}$$
 (3)

 [*Kt*]:前ステップの平衡状態における接線剛性マトリックス
 [*Kg*]:現ステップの増分応力(または断面力)による 幾何剛性マトリックスの増分係数
 {*u*}:固有モードベクトル

式(3)は、式(1)をより一般化したもので、通常は静的 複合非線形解析において増分 STEP の中間に存在する座 屈点を検出する目的で用いるものである¹¹⁾(図2)。



(B Cを前提に、AB間に座屈点が存在しないか探査する)図-2 増分解析中の座屈判定

ここで得られる固有値 は、非線形解析においても単 ーの増分ステップ区間内はほぼ線形に推移する(とみな せる程度に細かい STEP 刻みが設定されている)という 前提で、前ステップの平衡状態を基準にして、現ステッ プの各部材の増分応力が実際に発生したものの一律何倍 であれば Kt が特異となるかという増分荷重倍率を示す。 同時に座屈モードも得ることができる。式(1)と同様に、 通常は 1 次(最小)固有値 1がチェックの対象となる。 =1.0は現ステップの初期応力状態(図-2のB)を、

=0.0 は前ステップの平衡状態(同A)をそれぞれ指し ているから、0.0 100 であれば前・現ステップ間 に座屈点が存在することになる。一方、1>1.0 は現ス テップで座屈が発生しないことを示し、さらに 1の値 が1.0から離れているほど座屈点までの余裕が大きいこ とを示している。

このような静的解析における固有値方程式(3)の適用 は座屈点の特定と座屈モードの取得が主目的であるから、 Kt のデタミナント値の符号(+/-)の変化により座 屈点の存在が明らかになった時点でのみ行えばよい。

動的解析中に式(3)による座屈固有値解析を行う目的 は、判定のみならず上に述べた 1の性質を利用して座 屈していない状態の余裕の大きさを計ることにある。し たがって固有値解析は特定の時点のみではなく、一定時 間間隔で繰り返し実施する必要がある(図-3)。最後 まで座屈判定が出なかった場合には、それらのうち最小 の 1が当該地震動入力時の対座屈性能を定量的に示す 指標となり得る。



図-3 増分解析中の座屈判定

5.プログラムの開発と運用

動的解析中の最小 1を求める機能を有する解析コードは筆者らの周辺に存在していなかったので、この為の プログラム開発を行った。この開発中あるいは試行運用 中には、いくつかの検討項目が発生した。以下にそれら の項目と、筆者らが採った対応や運用上の留意事項を記 しておく。

(1) プラットフォーム

筆者らがこの機能を載せるためのプラットフォームと したのは、表-1 に示したように既に動的複合非線形解 析までを可能にしていた骨組解析プログラムである(各 手法の詳細は参考文献4参照)。これは筆者らが作業可 能との理由で選択したプログラムであるが、手法のコン セプトは表-1 のような機能構成のプログラムに限らず 広く適用可能である。

表-1 プラットフォームソフトの基本仕様

種 別	3次元汎用骨組解析ソフト	
弹塑性	はり部材の M-	関係により規定
幾 何 学 的 非 線 形	幾 何 剛 性 マトリックス	はり部材の軸力項のみを 考慮して作成
	定式化	修正ラグランジェ 定式化
動的解析	直接積分法	ニューマーク 法
	収束計算	ニュートン・ラプソン法 残留不平衡力は次ステッ プへ持ち越し
固有値解析	振 動	サブスペース法
	应 屈	逆反復法

(2) 出力情報

本報で提案する動的照査手法は座屈判定が出るまで地 震動を増幅させるのではなく、想定した地震動入力時の 座屈までの余裕を定量的に示すことを目的としている。 したがって最後まで座屈判定が出ない場合でも、危険に 近づいた時間帯の性状や最小の 1 などの情報を得るた め、一定時間間隔で求めた 1 を時刻歴で確認できるよ うにしておきたい。しかし、動的複合非線形解析の全解 析ステップに固有値解析を挿入することは実用性を著し く損なう恐れがある。このため、座屈固有値解析の挿入 時間帯と時間間隔を、動的解析の継続時間と積分時間間 隔(t)とは別に指定できるようにした。これにより、 一度やや粗い間隔で全時間帯の 1 を得て危険時間帯を おおむね絞り込み、その後危険時間帯のみ、より細かい 時間間隔での 1 を得るために再計算するといった運用 が可能になる。

座屈モードは、最小 ₁発生時または座屈判定が出た 時点のモードのみを出力することとした。

(3) 結果の評価と比較時の留意点

↓は動的解析の各ステップの増分応力分布に対する 倍率であるから、同一の解析モデルと地震動を用いた動 的解析であっても、 t によって同時刻の値が変化する。 したがって、解析モデルや入力地震動を変えて複数の動 的解析を行い、各々のケースの ↓を比較する際は、前 提として tを揃えておく必要がある。

尚、 t と座屈固有値解析の挿入時間間隔が異なる場合でも、式(3)が適用されるステップ区間は t によって刻まれる区間であるから、座屈固有値解析の挿入時間間隔は瞬間の 1の値には影響しない。

(4) 座屈判定基準と固有値の正負

固有方程式(2)では負の固有値の出現が構造不安定の 判定となる¹⁰が、本報で提案した固有方程式(3)を用い た場合の座屈判定は0.0 1.0 であり、負の固有値 は異なる意味合いを持つ。

表-1 に示したように、ここでは座屈固有方程式の解 法に逆反復法を使用している。詳細は文献4等に譲るが、 これは絶対値で最小の固有値から求めていく手法である。

↓は正負に関わらず座屈点までの荷重倍率であること に変わりないから、逆反復法の適用は、接近しつつある か(1が正)遠ざかりつつあるか(1が負)に関わら ず、その瞬間最も近傍にある座屈点を探査していること に相当する。

動的解析中は、構造物の応答の増加に伴ってあるモードの座屈点に接近し、座屈に至らない場合は応答の減少に伴ってその座屈点から離れ始め、やがてまた別のモードの座屈点に接近するという事象の繰り返しが起こる。このため、正負の固有値が繰り返し出現することになる。しかし負の場合は絶対値が小さくとも(座屈点が比較的近傍であっても)その座屈点から離れつつあるのだから危険視する必要はない。通常は正の固有値をチェックすればよい。

6.アーチ橋解析モデルと解析条件

以上のような手法を表-2 に示す3つの長大アーチ橋 解析モデル(CL600 は前報の静的解析で使用したモデ ル)に適用し、同一地震波入力時の対座屈性能(座屈ま での余裕)の定量化と、これによる性能比較例作成を試 みた。これらの解析モデルは過去個別の耐震検討に用い られたものであるが(実際の橋梁データは各参考文献参 照)、今回以下のように解析条件を揃えて再計算した。

式(3)による座屈固有値解析を含む、修正ラグラン ジェ定式化による3次元動的複合非線形解析。 動的解析は直接積分法(ニューマーク 法, =1/4)で、積分時間間隔 t=0.001秒 各部材の減衰定数はコンクリート 3%、鋼 2%に統 ーし、各次減衰定数を得てレーリー減衰を用いた。 減衰マトリックスは解析中更新しないものとした。 アーチリプ部材に M- 関係規定による部材非線形 性を設定。履歴則は武田型。桁・鉛直部材は弾性。 入力地震波はJMA 神戸波3方向同時入力とした。水 平2方向は、道路橋設計で用いられているレベル2 地震動タイプ の標準波形 -1-2 と -1-1 を用い、 上下方向にはJMA 神戸の上下動観測波を用いた。





表-2 アーチ橋解析モデル

7.動的解析結果と考察

まず前報で静的に検証した CU600 モデルの 1の時刻 歴を図-5 に示す。固有値解析挿入間隔は 0.01 秒である。 これにより、危険時間帯を5秒~7秒と認識し、この時 間帯のみ再度 0.001 秒間隔で 1を出力して、最小 1 =239.9 (5.870 秒)を得た。1.0 より大きい最小 1を得 ることができたので、800gal クラスのレベル2地震波 が入力されても、座屈発生まである程度の余裕を持って いることが確認されたことになる。これは2章で述べた 前報の静的解析による評価(合理的評価でない可能性が あると思われた)とは整合しない結果である。



既に述べたように動的解析時は構造物の応答に伴い座 屈点への接近が繰り返されるため、図-5 に見られるように うに 1の時刻歴は複数のV字が並ぶような形状になる。 主に着目しているのは最小 1であるから、複数解析ケ ースの性状を比較する際は、各V字の最下部を結んだ包 絡線(図-5 の破線)の方が見易い。3 モデルの 1時刻 歴包絡線を図-6 に、最小 1比較を表-3 に示す。



表-3 最小座屈固有值比較

CU600	239.9 (5.87秒)
CM100	493.5 (8.29秒)
SM160	75.6 (6.16秒)
	()内は最小値発生時刻

3モデルとも最小 1が 1.0 より大きい数値であるの で、先の地震動入力時に座屈に至らないことは確認され たが、その一方で SM60、CU600 の順で相対的に余裕が 小さいという性能差が示されている。CU600 と CM100 は、 最小 1にある程度の差があるものの、固有値の変化の 様子は似た傾向であるが、SM160 の 1は終始他の2モ デルを下回っている。

SM160 が比較的低性能を示している主な原因は、図-7 に示した座屈モードの違いにあると考えられる。CM100 の座屈モードは桁・アーチリブ全体に及ぶモードで、方 向的にも偏りがない。また CU600 は、3方向同時加震で ありながらほぼ橋軸直角方向のみに倒れる座屈モードで、 方向別の脆弱性格差が大きい可能性が懸念されるものの、 局部的なモードにはなっていない。これらに対し、 SM160 の座屈モードは桁下鉛直部材の局部モードが卓越 する形となっている。一方、SM160 の全体的座屈モード に限定した は時刻 5.54 秒で最小値 552.6 が発生して いる。これは問題位置の局部座屈の可能性を低くする補 強が施されることにより、全体モードを1次とすること ができれば、架構全体としてはさらに対座屈性能の向上 が見込めることを示している。



Kozo Keikaku Engineering, Inc. 2003.5

8.今後の課題

(1) アーチ橋の座屈照査方法

以上の動的解析結果から、前報の600mコンクリート アーチ橋モデルに対しプッシュオーバー解析で得た座屈 震度0.114はやはり過小評価である可能性が高くなった。 ただし静的な座屈解析が荷重分布の設定により評価が変 るのと同様に、本報で紹介した動的手法も入力地震動に より異なる固有値を示すから、本報の結果のみから結論 付けることはできない。静的・動的双方の解析手法を得 たので、合理的な座屈照査方法について、両者の外力の 設定方法に重点を置き、さらに検討を進める必要がある。

(2) アーチ橋の対座屈性能

本報の例題解析のみでアーチ橋の対座屈性能の傾向に ついて言及することはできないが、地震時座屈固有値は 常時の場合以上に様々な因子(構造条件、解析条件、外 力条件)が影響し、相対的な優劣であっても単純には予 測し難い様子は垣間見られた。今後、鋼・コンクリート 製別に傾向を整理し、それぞれ主要な影響因子を割り出 して、それらの座屈固有値への感度(各因子の変更によ って固有値が変化する際の大きさや方向)に関する知見 を蓄積していくことも重要である。

(3) 対座屈性能指標の必要性

本報で示してきたように、常時および地震時の座屈に 対する性能指標(__d,__1)を設定することにより評 価・比較が明瞭に定量化される。座屈が懸念される場合 の照査手順が合理化されるばかりでなく、これらの定量 情報が蓄積されることにより、冒頭に述べたような座屈 に対する曖昧な懸念が解消され、明確なデータに基づい て詳細検討が必要なケースを絞り込むことが可能になる。

ただしそのためにはクライテリアの設定を含む指標の 評価方法の確立が不可欠である。現段階では座屈固有値 によって示される余裕が十分といえるのかどうかを判断 する基準が何もない。

(4) 解析結果の正当性

本報内の解析結果には、同材料製の超長大と中規模橋 の 1によって示される対座屈性能差や、各モデルの危 険時間帯と入力地震動の関係など、いくつかの相対的・ 定性的合理性は見られるが、現状では十分な説得力を持 っているとはいえない。筆者らは現在、振動台実験との 照合により手法の有効性を確認する作業を進めており、 これについては別の機会に報告する予定である。

9.終わりに

以上、動的な対座屈性能照査方法を提案し、アーチ

橋を題材にした考察を行った。

本報は土木学会・構造工学委員会「コンクリート製 長大アーチ橋の設計方法に関する研究小委員会」での活 動を元に発展させたものである。委員長の田辺忠顕先生 (名古屋大学大学院教授)、解析 WG の中村光先生 (名古屋大学大学院助教授)を始めとする委員会メンバ ー各位には多くのご指導・ご協力をいただいた。ここに 厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- コンクリート製長大アーチ橋の設計方法に関する研究小委員会:コンクリート長大アーチ橋の設計・施工技術の現状と将来展望,(財)土木学会,2000.8
- 2) 幸左賢二·渡部尚夫,徳山清治:全体系模型による RC アーチ 橋耐荷性状確認実験,コンクリート工学年次論文報告集 Vol.17,No.2,pp423~pp428,1995 等
- 大塚久哲・夏 青・矢葺 亘・為廣尚起:長大 RC アーチ橋にお ける複合非線形動的解析と座屈・分岐解析,構造工学論文集 Vol.47A, pp873~881, 2001.3
- 4) 鷲津ほか:有限要素法ハンドブック 応用編, 培風館, 1983
- 5) 道路橋示方書(耐震設計編)·同解説,(社)日本道路協会, 2002.3.
- 6) 道路橋の耐震設計に関する資料 PC ラーメン橋・RC アーチ
 橋・PC 斜張橋・地中連続壁基礎・深礎基礎等の耐震設計計算
 例 ,(社)日本道路協会,1998
- 7) 尾下里治・大森邦雄:線形化有限変位理論によるアーチ橋の 設計法の提案,土木学会 構造工学論文集 A, Vol.44, No.3, 1998.
- 猪熊康夫・台原 直・為廣尚起:鋼・コンクリート複合アーチ橋の 耐震設計 - 富士川橋の場合 - ,第1回地震時保有耐力法に 基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集,pp 241~244,1998.1. 等
- 9) 平成 9.10 年度耐震設計ソフトウェアに関する研究委員会報告 書,(財)土木研究センター, pp 451~458, 1999.4. 等
- 10) 姫野正太郎・谷口勝彦・田辺忠顕:長大スパンRCアーチ橋の 非線形挙動に関する解析的研究,プレストレストコンクリート技 術協会第10回シンポジウム論文集,(社)プレストレスコンクリ ート技術協会, pp.651-656, 2000.10.
- 11) 日本機械学会編:固体力学におけるコンピュータアナリシス,第
 4章,コロナ社,1986.
- 大塚久哲·矢葺亘·夏青:中路式RCア-チ橋における2軸曲 げ評価と終局限界状態に関する考察研究,構造工学論文集, Vol.46A, pp.789-796, 2000.3.
- 大江豊・大塚久哲・水田洋司・劉貴位・飯星智博:鋼アーチ橋
 における主部材の断面特性と弾塑性動的解析,構造工学論文集, Vol.46A, pp.821-830, 2000.3.