

## 時刻歴応答解析時における免震構造の減衰行列に関する比較検討

オイレス工業 正会員 ○池田貴和子  
 宇都宮大学 正会員 横川 英彰  
 オイレス工業 非会員 川口 澄夫

## 1. はじめに

減衰行列は振動解析を行う上で非常に曖昧なものとして捉えられており、実務設計を行う上で、構造減衰の設定法に関する規定などが無いのが現状である。一般的に減衰を設定する方法として、レーリー減衰、ひずみ比例減衰行列、剛性比例減衰（要素別減衰）などが使用されている。これらの減衰の設定は、固有値解析から求められた固有振動数とモード減衰定数に基づいて構造減衰を設定するものである。免震構造などでは固有値解析を行う際に採用する支承剛性の値により、固有振動数、モード減衰定数などが大きく変化することが指摘されている。ここでは、前述した3つの構造減衰導入方法を対象とし、時刻歴応答解析と複素固有値解析を行わない構造減衰と応答の関係を考察する。次に、免震支承などを用いた場合の適切と考えられる構造減衰の導入方法を提案する。

## 2. 解析モデル

解析モデルは参考文献<sup>1)</sup>に示されたものと同じである。また、地盤種はI種地盤、地域区分はA区分とした。使用した免震支承の形状寸法を表-1に示す。この形状は、常時状態で決定した後に時刻歴応答解析を行い、地震時照査も満足する形状となっている。なお、支承はバイリニア特性としてモデル化を行っている。

## 3. 解析ケース

解析ケースは、非減衰固有値解析時に用いる支承剛性の違いで2ケース（1次剛性・等価剛性）、減衰行列作成の方法で3ケース（レーリー減衰、ひずみ比例減衰行列、剛性比例減衰）の計6ケースで解析を行った。

## 4. 時刻歴応答解析結果

時刻歴応答解析結果を表-2、表-3に示す。この結果から、ひずみ比例減衰行列とレーリー減衰を用いた場合は、1次剛性を用いた方が支承のせん断ひずみが小さくなっていることが分かる。要素別減衰は、1次モードの減衰定数が低下するために、変位が大きくなっていることがわかる。

表-1 支承形状

支承の形状寸法および特性(一支承当り)		橋脚名称		A1	P1	P2	P3	P4	A2
平面形状		-		□	□	□	□	□	□
ゴムのせん断弾性係数 (0.8 or 1.0 or 1.2)		-		NR G=1.00					
外形寸法	橋軸方向	A	mm	520	720	720	720	720	520
	橋軸直角方向	B	mm	520	720	720	720	720	520
設計寸法	橋軸方向	a	mm	500	700	700	700	700	500
	橋軸直角方向	b	mm	500	700	700	700	700	500
ゴム厚	一層厚	te	mm	22	23	25	25	23	22
	層数	ne	層	7	5	5	5	5	7
	総ゴム厚	$\sum te$	mm	154	115	125	125	115	154
鉛ブラグ	ブラグ径	DP	mm	85	115	115	115	115	85
	本数	nP	本	4	4	4	4	4	4

表-2 1次剛性を用いた結果(上部構造変位)

上部構造変位	単位	
ひずみ比例減衰行列	m	0.142
レーリー減衰	m	0.143
要素別減衰	m	0.174

表-3 等価剛性を用いた結果(上部構造変位)

上部構造変位	単位	
ひずみ比例減衰行列	m	0.177
レーリー減衰	m	0.170
要素別減衰	m	0.169

キーワード 免震構造, 減衰行列, 時刻歴応答解析, 複素固有値解析

連絡先 〒105-8584 東京都港区浜松町 1-30-5 オイレス工業株式会社 TEL 03-3578-7930

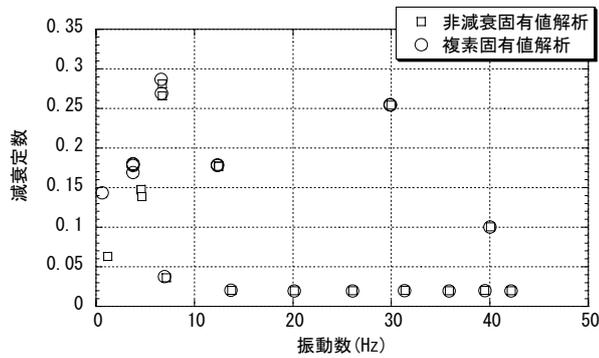


図-1 1次剛性・ひずみ比例減衰行列の結果

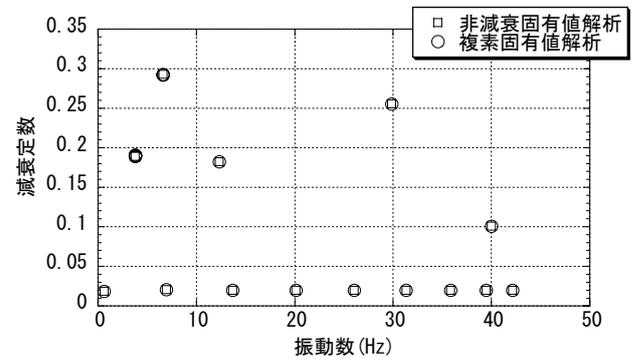


図-3 等価剛性・ひずみ比例減衰行列の結果

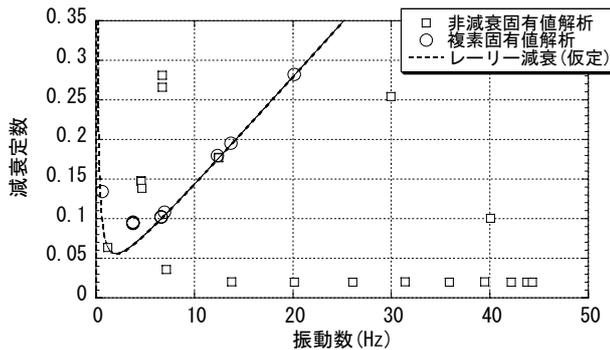


図-2 1次剛性・レーリー減衰の結果

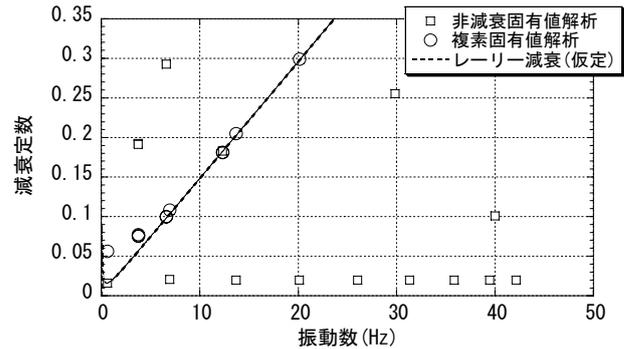


図-4 等価剛性・レーリー減衰の結果

## 5. 複素固有値解析結果

1次剛性を用いた場合の複素固有値解析の結果を図-1,図-3に、等価剛性を用いた場合の複素固有値解析の結果を図-2から図-4に示す。レーリー減衰の結果で、1次剛性でパラメータを設定した場合と等価剛性で設定した場合を比較する。1次剛性で構造減衰の設定を行うと、1次モードの減衰定数が10%以上の値となっているが、等価剛性で設定した場合、仮定した曲線の値よりも大きな値となるが、減衰定数は5%程度となっている。次に、ひずみ比例減衰行列を用いた場合を比較すると、レーリー減衰で設定した場合と同様に1次剛性で設定した場合、1次モードの減衰定数が15%程度となっている。一方、等価剛性で設定した場合、仮定値（非減衰固有値解析により設定したモード減衰）と比較してよい精度で一致していることが分かる。以上の結果から、非線形時刻歴応答解析を行なう際に減衰を設定する際に、支承の剛性を等価剛性とすることにより、安全側の評価を行うことが可能であると考えられる。

## 6. まとめ

ここでは、非線形時刻歴応答解析を行なう際の減衰の設定方法について検討を行った。その結果、ひずみ比例減衰行列とレーリー減衰を用いた場合、減衰を設定する際に行う非減衰固有値解析に用いる支承の剛性は等価剛性で行ったほうが、安全側の設定となることがわかった。今後、橋脚の塑性化を考慮することにより、詳細な検討を行ない、適切な減衰の設定方法に関して検討を行う所存である。

**謝辞:** 本検討は、土木学会 地震工学委員会 地震時保有耐力法に基づく耐震設計法の開発に関する研究小委員会・構造物の非線形地震時挙動の評価法分科会の成果の一部である。本検討に対して適切なアドバイスを頂いた委員各位にこの場を借りて御礼申し上げます。

**参考文献:** 1) (社)日本道路協会:道路橋の耐震設計に関する資料, pp.5-1~5-36, 1997. 2) 藍崎達也, 伊津野和行: すべり摩擦型免震支承のモデル化における初期剛性と減衰の与え方に関する検討, 第26回地震工学発表会講演論文集, 地震工学学会 pp.1073~1076, 2001. 8. 3) 矢部正明: 粘性減衰のモデル化の違いが非線形応答に与える影響, 第4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論文集, pp.115~112, 2001.