

すべり免震支承を用いた橋梁の動的解析における減衰モデルの比較解析

八千代エンジニアリング（株） 正会員 ○佐藤 公紀 同 正会員 前原 康夫
同 正会員 石川 義樹 同 正会員 御園生 静栄
同 正会員 名古屋和史 同 正会員 中田 恒和

1. はじめに

すべり免震支承には、鉛直荷重支持等の常時機能および摩擦減衰によるエネルギー吸収機能を有するすべり支承と、水平変位を制御するゴムバッファで構成される機能分離型支承がある。このようなすべり免震支承に対するモデルの設定方法は十分開発されていない。このため著者らはこのようなすべり免震橋用のモデル化手法の開発を実施している¹⁾。本文では、この開発の一環として粘性減衰モデルの種類や剛性の設定を変化させた時の動的応答に関する比較解析を実施した。

2. 解析条件

解析に使用したモデルを図-1に示す。上部構造重量、橋脚および基礎の諸元は「鉄筋コンクリート橋脚を用いた場合の設計計算例」²⁾を参考に設定した。

支承部は、すべり支承とゴムバッファを1つの非線形バネでモデル化した。支承部のモデルを図-1に示す。支承部の初期剛性は、すべり支承の摩擦係数を $\mu=0.10$ 、すべりが発生する変位を 0.1mm と仮定し、 $K_0=5.0\times 10^6\text{kN/m}$ とした。これは本モデルに使用した下部構造剛性の20倍程度の剛性である。また、支承部の二次剛性はゴムバッファのせん断バネ定数($K_b=2.3\times 10^3\text{kN/m}$)とした。

橋脚は、基部に塑性ヒンジを配し、その他の部分を非線形はり要素でモデル化した。塑性ヒンジおよび非線形はり要素の履歴モデルは、ひび割れを考慮したトリリニアモデルとし、履歴特性は、RC部材の解析に広く用いられている武田型モデルを用いた。

検討は、直接積分による非線形時刻歴応答解析により行った。表-1に解析条件を示す。モデル各部材の減衰定数は、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編を参考に設定した。入力地震動は、同示方書に示される II 種地盤のタイプ II 加速度波形を用いた。

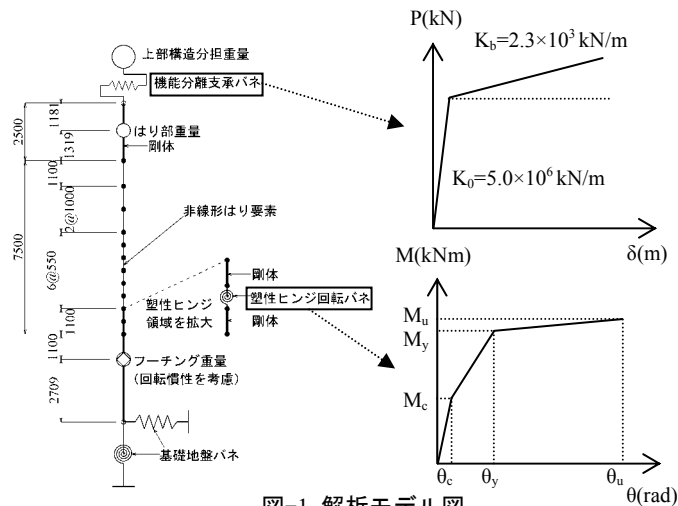


図-1 解析モデル図

表-1 解析条件

項目	設定した条件	備考
解析方向	橋軸方向	-
解析手法	直接積分法による時刻歴応答解析	-
数値積分方法	Newmarkの β 法 ($\beta=1/4$)	-
積分間隔	$\Delta t=0.002$ 秒	-
入力地震動	II種地盤の標準波形 (タイプII:3波)	-
部材減衰定数	支承部	0%
	橋脚	2%
	基礎	20%
		履歴減衰を別途考慮
		履歴減衰を別途考慮
		-

3. 減衰モデル

本検討では、Rayleigh 型減衰、剛性比例型減衰、ひずみエネルギー比例型減衰を用いた場合の解析結果を比較した。検討ケースを表-2に示す。Rayleigh 型減衰および剛性比例型減衰は、構造全体に対して減衰を設定したモデルと、部材ごとに減衰を設定したモデルについて検討を行った。部材ごとに減衰を設定したモデルでは、すべり支承の粘性減衰を評価しないように設定した。

Rayleigh 型減衰は、剛性マトリクスと質量マトリクスの線形和で減衰マトリクスを定義する。

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad \dots\dots\dots \text{式 (1)}$$

$[C]$: 減衰マトリクス

$[M]$: 質量マトリクス, $[K]$: 剛性マトリクス

case5 および case10 は、式 (1) 中の剛性マトリクス

キーワード すべり免震支承, 非線形動的解析, 減衰モデル

連絡先 〒161-8575 東京都新宿区西落合 2-18-12 八千代エンジニアリング（株）総合事業本部 TEL03-5906-0770

を時々刻々変化させて減衰マトリクスを算出した。

case6 と case11 は、1 次モードの固有周期・ひずみエネルギー比例減衰と、振動数 50Hz（ひずみエネルギー比例減衰は 1 次モードの値）の 2 点により Rayleigh 型減衰を設定した。

また、減衰の設定に用いる固有振動解析時の支承部の剛性を初期剛性とした場合と二次剛性（ゴムバンプアのせん断剛性）とした場合についての比較も行った。各ケースの Rayleigh 型減衰の比較を図-2 に示す。減衰モデルや剛性の設定を変化させると、振動数に応じた減衰定数が変化することがわかる。

4. 比較解析結果

各ケースについて、支承変形量と塑性ヒンジバネ回転角の応答値を図-3、図-4 に示す。

構造全体に対して Rayleigh 型減衰および剛性比例減衰を適用した case1, case2 は、図-3 に示す通り支承部の変形量が 16mm 程度と他のケースと比較して小さく、減衰の評価が大きくなっている。式 (1) 中の橋脚の剛性を初期剛性とした case3 は、橋脚の剛性を降伏時剛性とした case4 と比較して塑性ヒンジバネの応答回転角が 0.4 倍程度に小さくなっており、減衰の評価が大きくなっている。また、図-4 より、減衰の設定に用いる固有振動解析時の支承部の剛性を初期剛性とした場合、二次剛性とした場合よりも粘性減衰を大きく評価することが確認された。

5. まとめ

比較解析の結果から得られた知見を以下に示す。

- (1) これまで知られているように³⁾、減衰モデルの設定法により応答値が大きく変化することを確認した。ただし、いずれのモデルが適切であるかは明確でない。
- (2) 今後、すべり免震支承を用いた振動台実験結果との対比等により、実験結果を再現可能なモデルを提案する予定である。

謝辞

本研究を行うにあたって、官民共同研究「すべり系支承を用いた地震力遮断機構を有する橋梁の免震設計法の開発に関する共同研究」の委員の方々から多大なるご協力・ご助言を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (独) 土木研究所, (株) 構造計画研究所, パシフィックコンサルタンツ(株), 八千代エンジニアリング(株), オイレス

表-2 検討ケース

case	減衰モデル	減衰設定モード	減衰適用	固有振動解析時	
				支承部剛性	橋脚剛性
1	Rayleigh 型減衰	1, 2 次	全体	二次剛性	初期剛性
2	剛性比例型減衰	1 次	全体	二次剛性	初期剛性
3	Rayleigh 型減衰	1, 2 次	部材別	二次剛性	初期剛性
4	Rayleigh 型減衰	1, 2 次	部材別	二次剛性	降伏時剛性
5	Rayleigh 型減衰	1, 2 次	瞬間剛性	二次剛性	初期剛性
6	Rayleigh 型減衰	1 次, 50Hz	全体	二次剛性	初期剛性
7	ひずみエネルギー比例型減衰	-	-	初期剛性	初期剛性
8	剛性比例型減衰	1 次	部材別	二次剛性	降伏時剛性
9	Rayleigh 型減衰	1, 3 次	全体	初期剛性	初期剛性
10	Rayleigh 型減衰	1, 3 次	瞬間剛性	初期剛性	初期剛性
11	Rayleigh 型減衰	1 次, 50Hz	全体	初期剛性	初期剛性

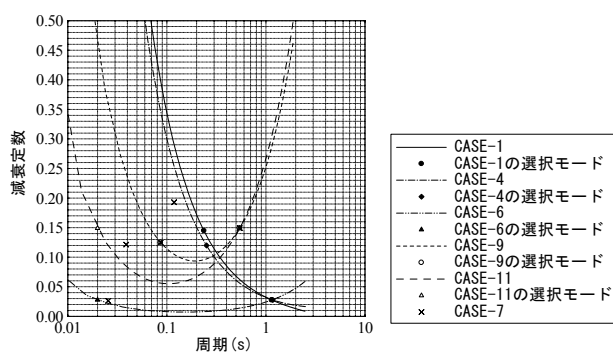


図-2 各ケースの Rayleigh 型減衰比較

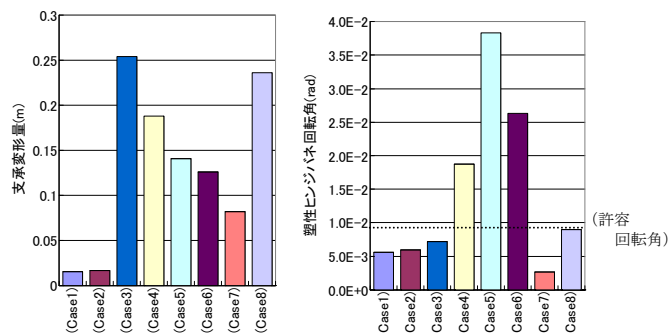


図-3 粘性減衰モデルによる応答値の比較 (1)

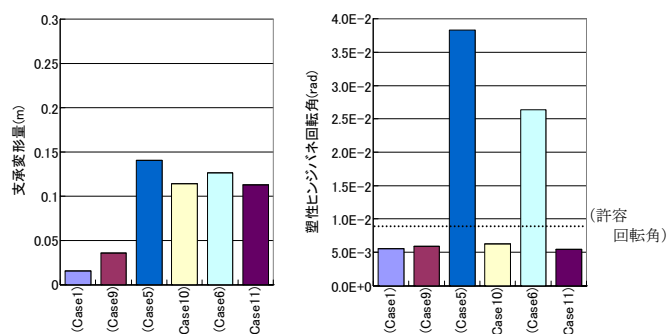


図-4 粘性減衰モデルによる応答値の比較 (2)

工業(株), 川口金属工業(株), 三協オイルレス工業(株), 日本鑄造(株), (株) ビービーエム: すべり系支承を用いた地震力遮断機構を有する橋梁の免震設計法の開発に関する共同研究報告書(その 1), 2005

2) (社) 日本道路協会: 道路橋の耐震設計に関する資料, 1997

3) 監崎達也, 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 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.1073-1076, 2001