

免震構造における支承の剛性の取扱いと減衰の評価に関する検討

大日本コンサルタント 正会員 ○吉澤 努

1. はじめに

免震構造では、支承部が強い非線形性を有することから、地震応答解析における支承のモデル化が解析結果に大きく影響する。本検討では、免震橋を対象として、支承部の剛性の設定方法が橋の減衰の評価にどう影響するかに着目し、動的解析結果に与える影響を検討する。

2. 検討条件

検討対象橋梁は図-1 に示す 5 径間連続橋¹⁾とし、支承条件を免震構造として支承と橋脚の配筋を再検討したものを用いる。免震支承は鉛プラグ入り積層ゴム支承（LRB）を想定し、動的解析では非線形バネとしてモデル化する。減衰はレイリー減衰を用い、部材ごとの減衰定数は上部構造 2%、支承 0%、橋脚 5%、基礎 20%と設定する。入力地震動は道路橋示方書Ⅴ耐震設計編²⁾に示された 種地盤用タイプ 地震動の標準波とし、解析結果は 3 波平均により評価する。解析方向は橋軸方向とする。

検討ケースは表-1 に示す 3 ケースとし、各々において支承部の非線形バネの剛性の取扱いは図-2 に示すようなものとする。

検討ケース 1 とケース 2 ではレイリー減衰の定数 α （質量項）、 β （剛性項）を算出するために行う固有値解析において、図-2(a)および(b)に示すように支承の剛性の扱いを変え、ケース 1 では免震支承の一次剛性とし、ケース 2 では有効設計変位に応じた等価剛性を用いる。動的解析における支承のモデル化はいずれもバイリニアモデルとする。このため、ケース 1 は動的解析で用いる支承バネの初期剛性を固有値解析でもそのまま用いるものであり、ケース 2 では固有値解析と動的解析で異なるバネを用いるものである。

検討ケース 3 では、文献³⁾を参考にして図-2(c)に示すように支承バネの変位が小さい領域での剛性を等価剛性としたトリリニアモデルを用いる。レイリー減衰を用いる場合、免震装置を表すバネの初期剛性が減衰行列に影響を与え、初期剛性の設定値により動的解析結果が異なってくる可能性が指摘されている⁴⁾。レイリー減衰ではバネの初期剛性により剛性行列が変化し、これによって減衰行列も変化するためである。そこで、本ケースにより、動的解析時の支承バネの初期剛性を免震支承の一次剛性とした場合と等価剛性とした場合の違いを検討する。

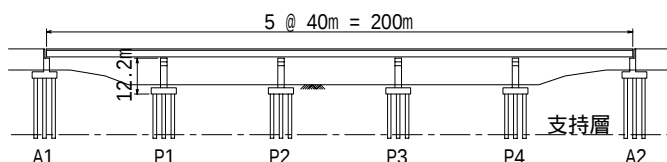
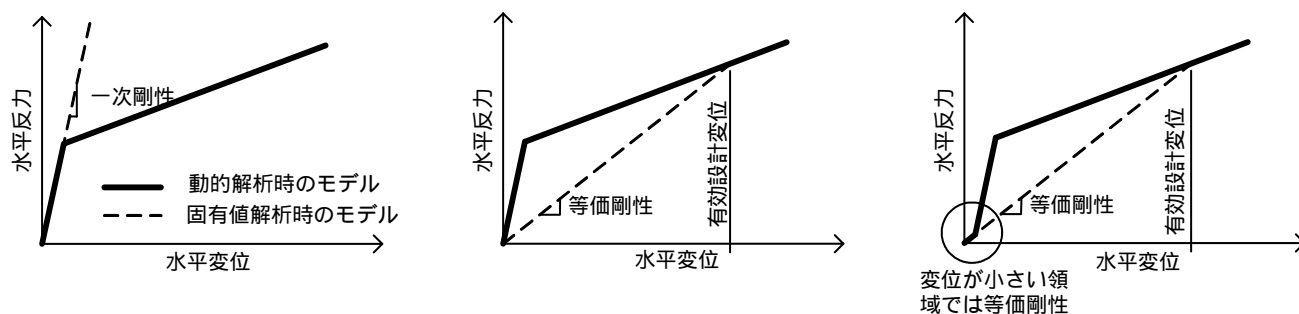


図-1 解析対象橋梁

表-1 検討ケース

検討 ケース	免震支承の剛性		
	固有値 解析時	動的解析時	
		初期剛性	履歴モデル
1	一次剛性	一次剛性	バイリニア
2	等価剛性	一次剛性	バイリニア
3	等価剛性	等価剛性	トリリニア



(a)検討ケース 1 のバイリニアモデル (b)検討ケース 2 のバイリニアモデル (c)検討ケース 3 のトリリニアモデル

図-2 支承のモデル化

キーワード 免震構造，動的解析，レイリー減衰，非線形バネ，初期剛性

連絡先

〒343-0851 埼玉県越谷市七左町 5-1 TEL.048-988-8111, FAX.048-988-8134

3．固有値解析結果

検討ケース 1 およびケース 2 に関する固有値解析結果を図-3 に示す．図は各固有振動モードの固有振動数と減衰定数の関係をプロットしたものである．支承の剛性の影響は特に 1 次の固有振動モード（上部構造の橋軸方向の振動モード）に現れており，支承バネを等価剛性とするケース 2 では一次剛性とするケース 1 に比較して振動数が低く，減衰定数も小さくなっている．1 次の固有振動モードと 9 次の固有振動モード（橋台の振動モード）からレイリー減衰の定数を設定すると，検討ケースによる違いは質量項 α の値に顕著に見られ，ケース 1 の $\alpha=0.653$ に対しケース 2 では $\alpha=0.106$ と数分の 1 に低減されている．

4．動的解析結果

動的解析結果における上部構造の変位および P1 橋脚の免震支承の変位を，検討ケース間で比較して図-4 に示す．

検討ケース 1 とケース 2 により，レイリー減衰の定数 α による影響を見ることができる． α の値が小さいケース 2 では，ケース 1 に対して上部構造や支承の変位が 21～25%程度大きい値を示している．

検討ケース 2 とケース 3 では，支承バネの初期剛性の違いによる減衰行列の違いの影響を見ることができる．支承をトリリニアモデルとした検討ケース 3 は，ケース 2 に比較して上部構造や支承の変位の増加しており，12～14%程度大きい値となっている．

なお，検討ケース 3 の動的解析における支承バネの水平反力 - 水平変位履歴を図-5 に示す．トリリニアモデルであっても，バネ定数を等価剛性とする区間が十分に小さいため，巨視的に見ると支承バネの履歴特性はバイリニアモデルと同等になっている．

5．おわりに

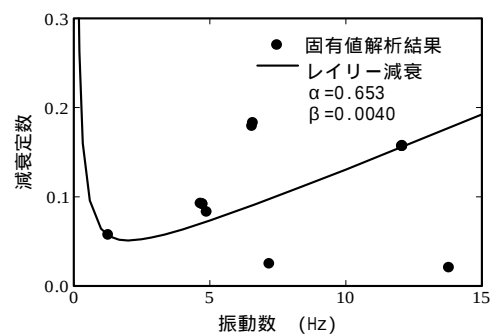
本検討により得られた知見は以下のとおりである．

- 1) レイリー減衰を用いる場合，固有値解析時の支承の剛性の取扱により特に質量項 α の値が変化し，動的解析結果が変化することがある．
- 2) また，動的解析時の支承のバネの初期剛性の設定により減衰行列が変化し，解析結果に影響を与えることがある．

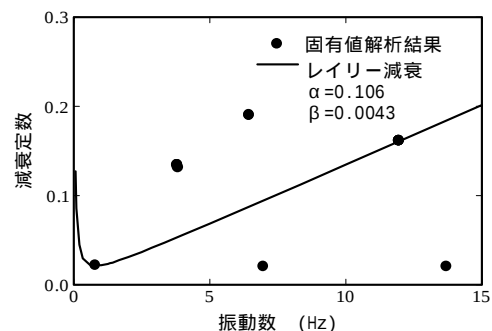
本検討は，土木学会地震工学委員会地震時保有水平耐力法に基づく耐震設計法の開発に関する研究小委員会において検討したものの一部である．

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，1997．
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2002．
- 3) 斎藤次郎，佐藤英和，横河英彰，宇野裕恵，牧口豊，下田郁夫：摩擦履歴形ダンパーの適用とその実例，第 6 回地震時保有水平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，133-138，2003．
- 4) 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，1073-1076，2001．



(a) ケース 1（一次剛性）



(b) ケース 2（等価剛性）

図-3 振動数と減衰定数の関係

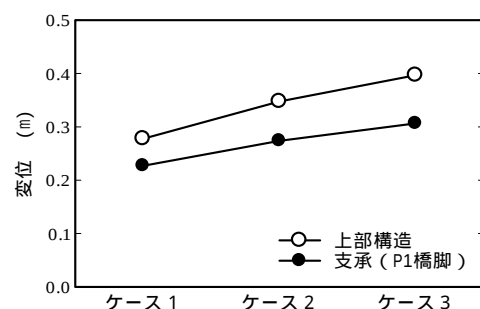


図-4 動的解析結果

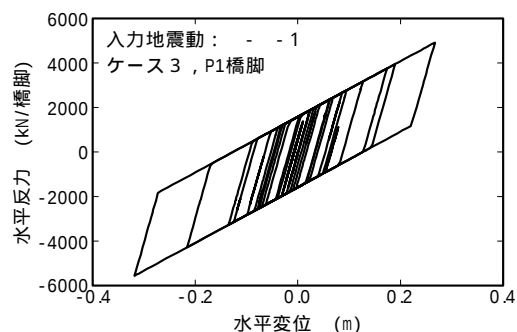


図-5 支承の水平反力 - 水平変位履歴図