

I-279

エネルギー比例減衰法による免震橋のモード減衰の推定精度

建設省土木研究所 正員 川島 一彦
 同 上 ○正員 岩崎 秀明
 建設省関東地方建設局 正員 長島 博之

1. はじめに

エネルギー比例減衰法によりモード減衰定数がどの程度正確に推定できるかを、模型橋の自由振動実験に基づいて検討した結果を報告する。

2. エネルギー比例減衰法

エネルギー比例減衰法では、次式により各要素の*i*次のモード減衰定数から全体系の*i*次のモード減衰定数を推定する。

$$h_i = \frac{\sum_{j=1}^n \phi_{ij}^T \cdot h_j \cdot k_j \cdot \phi_{ij}}{\phi_i^T \cdot K \cdot \phi_i} \quad (1)$$

ここで、 ϕ_{ij} : *i*次振動モードの要素*j*のモードベクトル、 h_j : 要素*j*の減衰定数、 k_j : 要素*j*の剛性マトリックス、 ϕ_i : *i*次振動モードのモードベクトル、 K : 構造全体の剛性マトリックスである。

3. 検討対象とした模型橋と検討方法

実験に用いた模型橋は、図-1に示す支間長2.1mの単純橋である。橋脚基部は剛な治具により剛性の高い模型架台に固定されている。支承は、図-2に示す円形断面の積層ゴム支承(以下、RBと呼ぶ)と高減衰積層ゴム支承(以下、HDRと呼ぶ)の2種類を用い、各橋脚上に2個ずつ設置した。

模型橋の構成部材のうち桁はほぼ剛体とみなせるので、エネルギー吸収は支承と橋脚で生じるものとした。支承、橋脚各々について自由振動実験から減衰定数とひずみエネルギーを求め、式(1)により橋全体系の減衰定数を算出する。これを実験的に求めた橋全体系のモード減衰定数と比較し、両者が実用的な精度で一致していればエネルギー比例減衰法の適用性は良いといえることができる。以上より自由振動実験は、①RBで支持した模型橋、②HDRで支持した模型橋、③模型橋脚A、④模型橋脚B、⑤RB単体、⑥HDR単体、について行った。実験は、模型橋及び各構成部材を橋軸方向に手で加振し、1次の共振状態になったところで自由振動させた。橋脚は、何も支持しない状態で振動させ、個体差を考慮して両橋脚について行った。支承は、非常に剛性の高い架台に直接据え付け桁を支持した状態で振動させた。各ケースとも、橋脚天端と桁の2カ所で変位及び加速度を計測し、両者の差として支承の変位及び加速度を算出した。実験は複数回を行い、実験が安定していることを確認した。

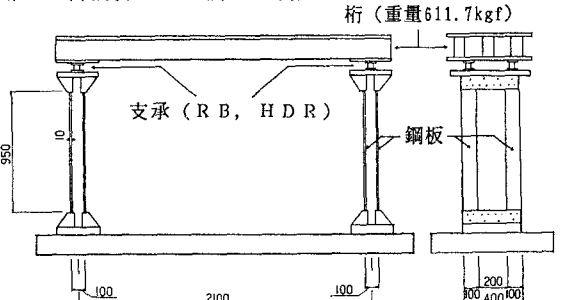
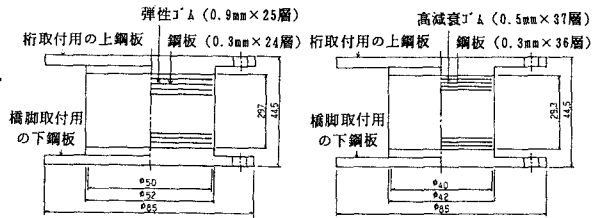


図-1 実験で用いた模型橋



(a) 積層J-A支承(RB) (b) 高減衰積層J-A支承(HDR)

図-2 実験に用いた支承

減衰定数*h*は、最大変位に着目し*m*番目の振幅*a_m*に対して次式で求めた。

$$h = \ln(a_m / a_{m+1}) / 2\pi \quad (2)$$

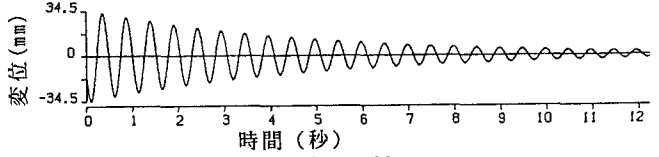
また、各部材のひずみエネルギー*W*は部材の変位*d*に対して次式より求められる。

$$W = \frac{1}{2} k \cdot d^2 \quad (3)$$

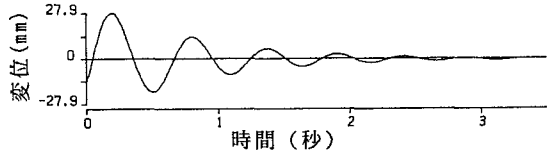
ここで、*k*は等価剛性であり各部材の慣性力-変位の履歴曲線より最大変位点と最小変位点を結ぶ割線剛性として求めた。

4. 検討結果

実験から得られた自由振動波形のうち、①、②の桁変位波形の例を図-3に示す。図-4は、(3)式により求めた減衰定数と変位振幅との関係を①、②について示したものである。減衰定数は、変位の小さい範囲ではばらつきが大きい、変位が大きくなるにつれば一定の値に近づく。(1)式の適用性を検討する変位振幅の範囲での平均値は、RB橋が1.69、HDR橋が11.4である。他のケースでも同様にして減衰定数を求めた。

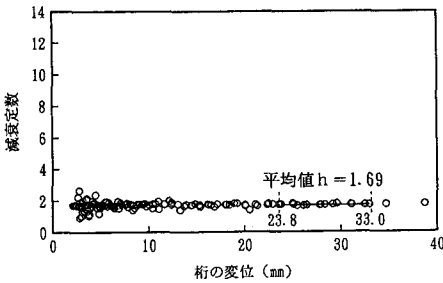


(a) RBで支持した橋

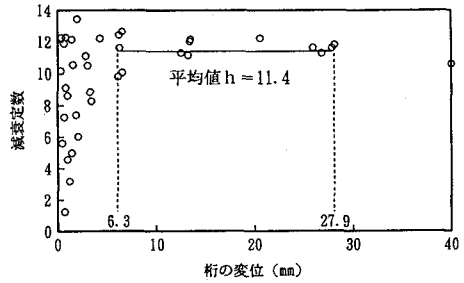


(b) HDRで支持した橋

図-3 実験から得られた自由振動波形の一例



(a) RBで支持した模型橋



(b) HDRで支持した模型橋

図-4 減衰定数と変位の関係

表-1に、実測した橋全体系のモード減衰定数式と、式(1)で算出した橋全体系のモード減衰定数およびその算出に用いた支承、橋脚の減衰定数、ひずみエネルギーを示した。図-5には、実測値と式(1)による推定値の比較を示したが、実務的に十分な精度で一致しているとみなせる。

5. まとめ

免震橋に対して、エネルギー損失の生じる支承及び橋脚等の減衰定数が正しく求められていれば、ひずみエネルギー比例減衰法が、実用上十分な精度で1次のモード減衰定数を与えることが明らかになった。

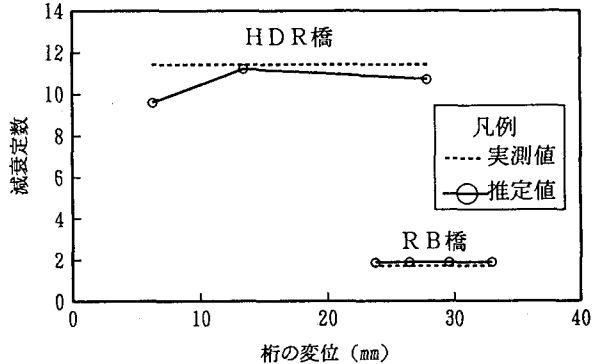


図-5 減衰定数の実測値と推定値の比較

表-1 橋全体系のモード減衰定数の実測値と推定値の比較

自由 振動 波数	橋全体系に生じる変位			構成部材の減衰定数及びひずみエネルギー						橋全体系のモード減衰定数		
	桁の変位 d_s (mm)	橋脚天端 の変位 d_p (mm)	支承の 変位 d_b (mm)	橋脚A		橋脚B		支承		式(1)に よる推定値 h_e	実測値 h_o	
				h_{pA}	W_{pA}	h_{pB}	W_{pB}	h_b	W_b			
R B 橋	1	33.0	18.2	14.9	0.708	1.437	0.954	1.424	3.273	2.192	1.890	1.690
	2	29.6	16.5	13.3	0.708	1.181	0.954	1.170	3.273	1.775	1.881	1.690
	3	26.5	14.8	11.8	0.708	0.950	0.954	0.944	3.273	1.418	1.877	1.690
	4	23.8	13.4	10.5	0.708	0.779	0.954	0.772	3.273	1.137	1.864	1.690
H D R 橋	1	27.9	10.9	18.2	0.459	0.516	0.544	0.511	25.4	0.710	10.7	11.4
	2	13.4	5.7	8.2	0.459	0.141	0.544	0.140	25.4	0.213	11.2	11.4
	3	6.3	3.0	3.5	0.459	0.039	0.544	0.039	25.4	0.045	9.6	11.4