

I-608

等価線形化法による免震橋の地震応答解析

建設省土木研究所 正会員 川島 一彦
建設省土木研究所 正会員 長島 博之
首都高速道路公団 正会員 池内 武文

1. まえがき

免震装置は非線形な履歴特性を有するが、これを等価線形化法により評価し動的解析した場合にはどの程度の精度があるかを免震橋模型の振動台加振実験結果と比較することにより検討したので、その結果を報告する。

2. 免震装置の履歴特性の等価線形化

免震装置の正負交番載荷実験から求められる割線剛性及び等価粘性減衰定数は免震装置に生じるせん断変形に応じて変化する。このため、免震装置の等価剛性 k_e 及び等価粘性減衰定数 h_e を以下のように与える。

$$k_e = k(u_e), \quad h_e = h(u_e) \quad (1)$$

ここで、 u_e は等価剛性 k_e 及び等価粘性減衰定数 h_e を定める際の基準とする免震装置の変位であり次式により与える。

$$u_e = c \cdot u_{\max} \quad (2)$$

ここで、 $u_{\max}$ ：地震時に免震支承に生じる最大変位、 c ：等価係数、である。今回は、模型橋との比較により等価線形動的解析モデルの適用性の検討をしようとするものであるため、 $u_{\max}$ は実験時に免震支承に生じた最大変位を用い、等価係数 c のとり方を検討することとした。橋全体系の減衰定数は式(1)により求めた h_e と免震装置の代わりに可動・固定支承を用いた振動実験から求めた免震装置以外の部分の橋の減衰定数0.02を用いてエネルギー比例減衰により求めた。

3. 解析対象とする免震橋模型の振動台実験

解析対象とした免震橋模型は写真1に示すように支間長6m、桁重量39.8 tで、振動台上に固定された2基の鋼製橋脚により支持されている。また、免震支承としては鉛プラグ入り積層ゴム支承(以下、LRBと呼ぶ)と高減衰ゴム支承(以下、HDRと呼ぶ)の2種類を用い、それぞれ、1橋脚あたり2個の免震支承で桁を支持した。実験では、正弦波による共振振動実験と地震波加振実験を行った。共振振動実験から求めた免震装置の等価剛性 k_e は実験ごとに多少の差はあるがおおむね次式により表される。

$$k_e = \begin{cases} 0.0241 + \frac{0.259}{u} - \frac{0.092}{u^2} & (1\text{mm} \leq u \leq 50\text{mm}) \quad \text{LRBの場合} \\ 0.0435 + \frac{0.331}{u} - \frac{0.151}{u^2} & (1\text{mm} \leq u \leq 50\text{mm}) \quad \text{HDRの場合} \end{cases} \quad (3)$$

h_e については、実験ごとにかなりのばらつきはあるが、免震装置の相対変位が1mm~40mm程度の範囲ではおおむね0.16(LRBの場合)及び0.13(HDRの場合)の値を示す。

表-1は解析に用いた地震波加振実験結果を後述する解析結果とあわせて示したものである。

4. 解析結果

表-2は解析により求めた基本固有周期と式(3)による減衰定数を示したものである。ここで、等価係数 c としては、0.7と1.0の2ケースとした。 c を0.7とした場合と1.0とした場合とでは、基本固有周期と減衰定数には顕著な違いは認められない。

図-1は、開北橋記録を入力した場合の桁の加速度を比較したものである。また、最大応答値に着目して実験値と解析値を比較すると前出の表-1のようになる。これによると、解析で求めた桁の応答は実験値の特徴をよく表わしており、また、最大加速度及び最大相対変位に注目すると、実験値に対して大部分が0.9~1.0の範囲に収まっている。ただし、LRBを用いて八郎潟記録を作用させた場合には桁の最大加速度に対して約1.3~1.5、桁の最大相対変位に対して約1.15~1.2と大きくなる。この原因については今後検討が必要とする。

5. 結論

式(3)の等価係数 c を0.7としても1.0としても免震橋の基本固有周期及びモード減衰定数は、それぞれ7

%、2%程度変化するだけで、解析によって求められる免震橋の振動応答には大きな違いはない。LRB及びHDRの2種類の免震装置に対して強度を2段階に変化させた2種類の地震波加振実験に対するシミュレーションを行った結果では、 c を1.0の場合の方がやや実験値と近い値を示した。今回の解析結果から一応等価係数 c を1.0とすることを提案するが、両者には本質的な違いはない。

なお、本研究のうち模型振動台実験は土木研究所と首都高速道路公団との共同研究として、また、免震橋の動的解析は、建設省官民連帯共同研究「道路橋の免震構造システムの開発に関する研究」の一環として実施したものである。

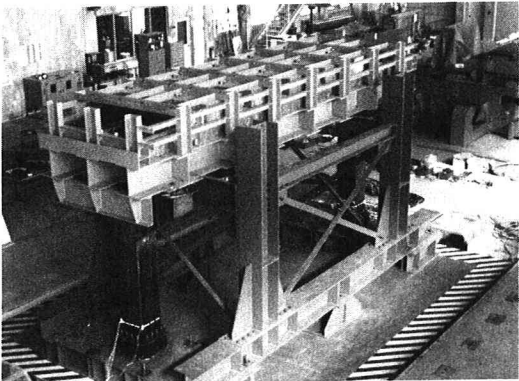


写真-1 振動台(8m×6m)上にセットされた免震橋模型

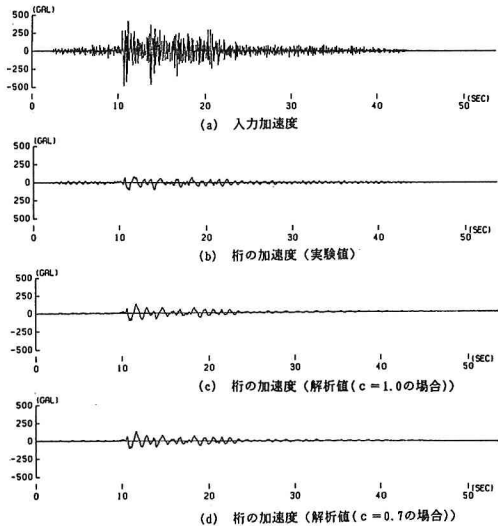


図-1 桁の応答加速度に対する実験値と解析値の比較
(開北橋B記録、LRB)

表-2 解析によって求めた基本固有周期及びモード減衰定数

入力地震動		LRBを用いた場合		HDRを用いた場合	
		$c = 0.7$ の場合	$c = 1.0$ の場合	$c = 0.7$ の場合	$c = 1.0$ の場合
開北橋記録	A	1.04 (0.149)	1.11 (0.150)	0.84 (0.111)	0.88 (0.112)
	B	1.13 (0.151)	1.18 (0.152)	0.90 (0.113)	0.93 (0.114)
八郎潟記録	A	1.08 (0.150)	1.14 (0.151)	0.80 (0.109)	0.85 (0.111)
	B	1.15 (0.152)	1.29 (0.152)	0.89 (0.133)	0.92 (0.114)

注、()内は減衰定数を表す

表-1 等価線形化動的解析法により求めた模型橋の最大応答値と実験値の比較

免震装置	入力地震動		入力最大 加速度(gal)	実 験 値		解 析 値			
				桁の最大 加速度(gal)	桁の最大相対 応答変位(mm)	c = 0.7の場合		c = 1.0の場合	
						桁の最大 加速度(gal)	桁の最大相対 応答変位(mm)	桁の最大 加速度(gal)	桁の最大相対 応答変位(mm)
L R Bを用いた場合	開北橋記録	A	273.2	72.5	21.0	80.2 (1.11)	18.2 (0.87)	80.2 (1.11)	20.6 (0.98)
		B	481.3	101.0	35.8	134.6 (1.33)	36.6 (1.02)	130.4 (1.29)	39.1 (1.09)
	八郎潟記録	A	85.1	81.7	26.1	120.0 (1.47)	30.4 (1.16)	111.5 (1.36)	31.5 (1.21)
		B	115.6	110.2	41.2	163.7 (1.49)	47.5 (1.15)	151.3 (1.37)	47.9 (1.16)
H D Rを用いた場合	開北橋記録	A	276.4	124.6	18.6	125.6 (1.01)	17.9 (0.96)	118.6 (0.95)	18.9 (1.02)
		B	484.7	181.9	33.1	190.9 (1.05)	32.2 (0.97)	182.2 (1.00)	33.1 (1.00)
	八郎潟記録	A	83.1	102.7	14.0	112.5 (1.10)	14.8 (1.06)	113.8 (1.11)	17.0 (1.21)
		B	111.5	170.4	30.4	186.2 (1.09)	31.5 (1.04)	197.3 (1.16)	36.2 (1.19)
() 内の平均						(1.21)	(1.15)	(1.17)	(1.11)

()内は実験値との比を示したものである