

(112) 実測記録に基づく橋脚の動的特性の検討

建設省土木研究所 正員 相沢 興

〃 〃 田村 敬一

〃 〃 佐々木 康

1. まえがき

構造物に作用する地震外力を設計震度で代表させ耐震計算を行う震度法では設計震度の設定が重要であり、現行の道路橋示方書・耐震設計編では、従来からの慣用と経験上の事実を総合して構造物に作用させる標準設計震度は0.2と定められている。しかしながら、強震観測の結果によれば、実際には橋脚上の最大加速度がしばしば200galを超えても橋脚自体には何ら被害の生じない場合もある。また、橋の耐震設計をより合理的に行うためには、地震動、地盤および構造物などの特性を適確に把握し、その特性を設計震度の設定に適切に反映させる必要がある。本文は、橋脚天端およびその周辺地盤上で観測された強震記録を基に、基礎形式による地盤～橋脚間の最大加速度の増幅および橋脚の固有周期と減衰定数の関係に関する検討結果を示すものである。

2. 解析対象記録

解析の対象としたのは、表1に示す合計12橋脚において、橋脚上およびその周辺地盤上でSMAC型強震計により観測された合計135記録である。基礎形式別による内訳は、ケーソン基礎が4橋脚で36記録、杭基礎が6橋脚で83記録、直接基礎が2橋脚で16記録であるが、記録数は各検討ごとに若干異なる。また、解析対象とした記録が得られた地震のマグニチュードは4以上8未満、震央距離は5～1000km程度の範囲であるが、いわゆる近距離の大規模地震による記録は含まれていない。解析に用いたSMAC型強震計記録は橋脚上と地盤上の記録の同時性が確保されていないため、ここでは、相互相関係数の最大となる時間差を補正することにより橋脚上と地盤上の時間軸を合せることにした。また、計器特性を考慮したバンドパスフィルター（対象振動範囲は3～12Hz）により強震記録に補正を施した。

3. 地盤～橋脚間の最大加速度の増幅

2.に示した記録の中から地盤上および橋脚上で地震の主要動部分を確実に記録しているものを選び、基礎形式ごとの地盤上の最大加速度 A_g [gal]と橋脚上の最大加速度 A_p [gal]との関係を示すと図1のようになる。図中には、 $A_g \sim A_p$ の関係を

次式で仮定し、

$$A_p = \alpha \times A_g^b \quad (1)$$

重回帰分析により係数 α 、 b を定め（値は表2に示す）、 A_p を推定した結果も合せて示した。これより、地盤～橋脚間の最大加速度の増幅に関して、以下の事項が指摘される。1) ケーソン基礎と杭基礎の増幅には大差がないが、直接基礎の増幅はケーソンおよび杭基礎に比べ大きい。ただし、こ

表1 解析対象とした観測地点と記録数

No.	観測所名	基礎形式	数値化 記録数	検討ごとに用いた記録数		
				増幅率	周期	減衰
1	新葛飾橋	ケーソン	9	9	9	9
2	新利根川橋	杭	24	17	22	13
3	草加高架橋	杭	29	24	27	23
4	開北橋	直接	9	9	9	9
5	伊達橋	ケーソン	13	11	13	11
6	板島橋	ケーソン	3	3	3	3
7	平井大橋P5	杭	8	8	8	8
8	〃 P6	杭	6	6	6	6
9	西新井橋P7	ケーソン	11	11	11	7
10	〃 P9	杭	9	7	8	2
11	境川橋	直接	7	7	7	1
12	姥久保橋	杭	7	7	7	6
合計			135	109	130	98

で、直接基礎を有する橋梁は2橋のみであり、必ずしも十分な検討を行えなかった点に注意する必要がある。

2) 橋軸方向と橋軸直角方向を比較すると一般に橋軸方向の方が増幅が大きい。 3) 式(1)の係数 b の値が1より小さいため、推定される地盤

～橋脚間の最大加速度の増幅率 α

($=A_p/A_g$)は地盤上の最大加速度

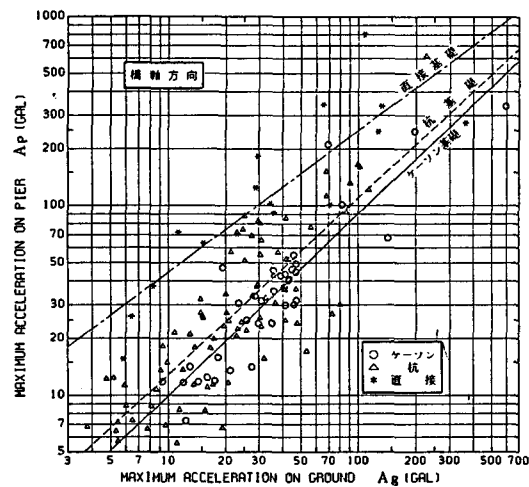
度 A_g が大きくなると小さくなる。

次に、各橋脚ごとに増幅率 α の平均値を比較すると図2のようになり、増幅率と地震のマグニチュードおよび震央距離との関係の一例

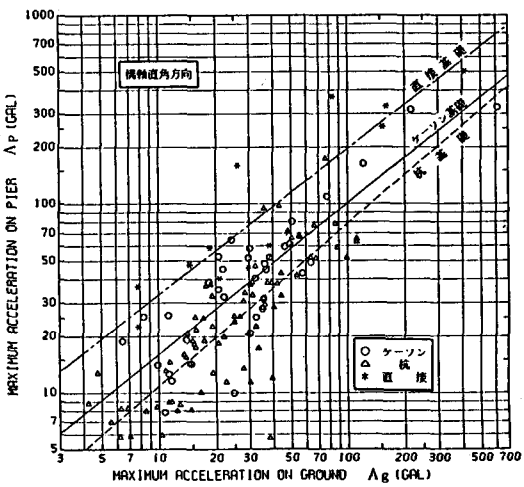
表2 式(1)の係数 a 、 b

基礎形式	係数 a	係数 b	重相関係数	標準誤差	データ数
ケーソン	1.087	0.960	0.901	0.166	36
	2.528	0.801	0.856	0.196	35
杭	1.498	0.933	0.825	0.235	82
	1.495	0.860	0.822	0.200	82
直接	7.946	0.748	0.867	0.231	16
	5.563	0.773	0.905	0.198	13

注) 上段は橋軸方向、下段は橋軸直角方向の結果である。

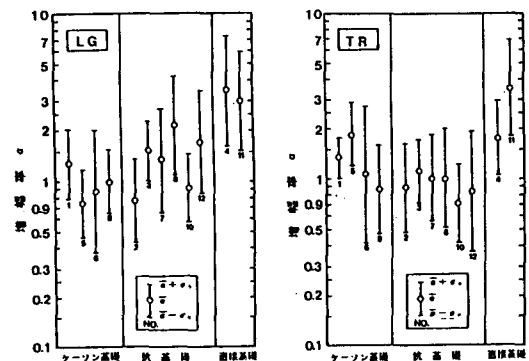


(a) 橋軸方向



(b) 橋軸直角方向

図1 地盤と橋脚の最大加速度の関係



(a) 橋軸方向

(b) 橋軸直角方向

注) 図中の番号は表1の順に対応する。

図2 各橋脚ごとの増幅率の平均値と標準偏差

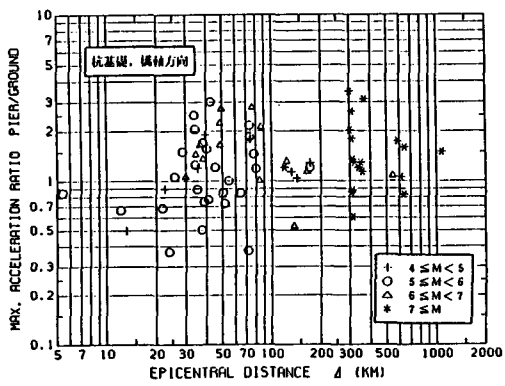


図3 増幅率と地震のマグニチュード、震央距離の関係の一例 (杭基礎の橋軸方向の場合)

を示すと図3のようになる。これより、4) 図2より、前述の1)、2)に加えて、同じ基礎形式であっても増幅率は各橋脚ごとに異なり、増幅率が各橋脚固有の特性に影響されることが認められる。5) 図3より、増幅率と地震のマグニチュードおよび震央距離の間には明瞭な関係が認めがたいが、遠距離でマグニチュードが大きい場合の増幅率は他に比較して大きめの値となる傾向が認められる。なお、この傾向は図3に示した例以外についても認められる。

4. 橋脚の固有周期と減衰定数の関係

地震時の橋脚の固有周期と減衰定数は、地盤～橋脚間の地震動の増幅を表す基本的な要因と考えられる。そこで、ここでは実際の強震記録から地盤～橋脚系を一自由度系と仮定した橋脚の固有周期と減衰定数に関して検討を行った。

まず、橋脚の固有周期は、地盤～橋脚間の伝達関数が最も卓越する共振振動数により近似する。ここで、表1に示した橋脚の中で起振機実験等から橋脚の共振振動数が得られているものを比較すると図4のようになり、伝達関数から計算される共振振動数はNO.12の姥久保橋を除けば概ね一致している。次に、前述の固有周期をもった一自由度系で地盤～橋脚を近似し、この一自由度系に地盤上の加速度波形が作用した場合の最大加速度応答倍率を種々の減衰定数に対して計算した結果から、実記録の増幅率と等しくなる減衰定数を求める(図5参照)。このようにして、各記録ごとに固有周期と減衰定数を求めた一例として各基礎形式の橋軸方向の場合を示すと図6のようになる。これより、以下の事項が指摘される。1) 固有周期は0.08～0.7秒程度の範囲であり、同一橋脚の場合でも多少のばらつきがある。2) 減衰定数は0.005～1程度の範囲であり、同一橋脚の場合のばらつきは固有周期の場合よりも大きい。なお、1)、2)

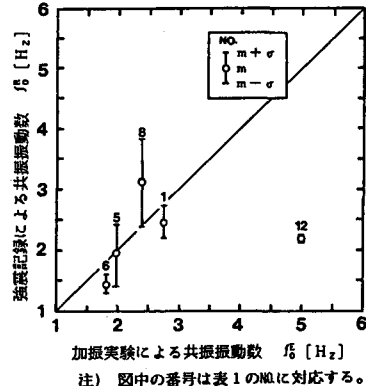


図4 強震記録による共振振動数と加振実験による共振振動数の関係

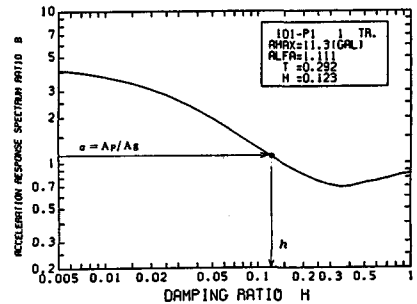


図5 減衰定数の計算例

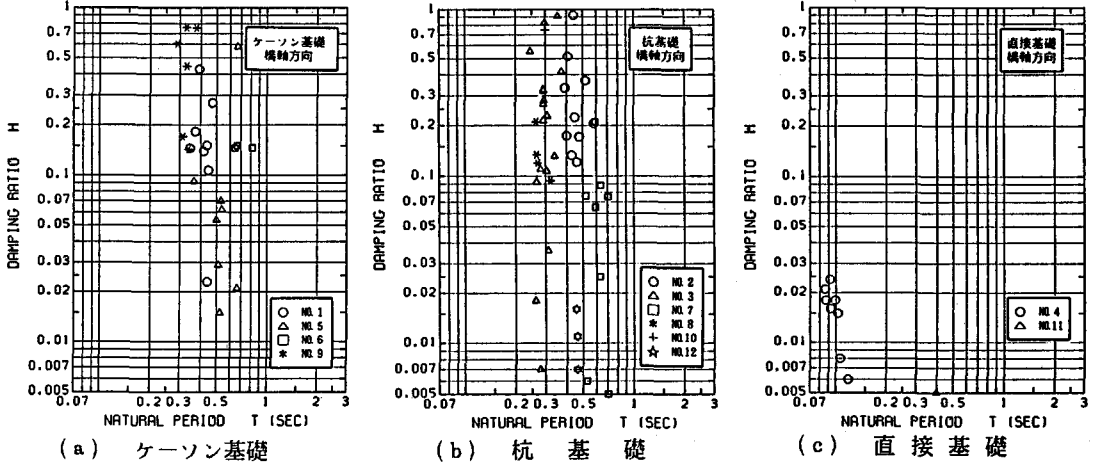


図6 強震記録から計算した橋脚の固有周期と減衰定数の関係の一例 (橋軸方向の場合)

の傾向は橋軸直角方向の場合にも同様に認められる。
 そこで、各橋脚ごとに固有周期および減衰定数の平均値を求め固有周期と減衰定数の関係を示すと図7のようになる。これより、3) 固有周期と減衰定数の間には基礎形式による明瞭な差は認められないが、一般に固有周期が長くなると減衰定数が小さくなる傾向が認められ、減衰定数は、起振機実験による固有周期と減衰定数の関係 $h=0.02/T^{1.1}$ よりも大きめの値となる傾向が認められる。また、3.と同様に固有周期および減衰定数と地震のマグニチュードおよび震央距離との関係の一例を示すと図8, 9のようになる。これより、4) 固有周期は地震のマグニチュードおよび震央距離にほとんど影響されない。5) 減衰定数には地震のマグニチュードおよび震央距離による明瞭な差は認められないが、一般に遠距離でマグニチュードの大きな地震の場合に減衰定数は他に比較して大きめの値となる傾向が認められる。

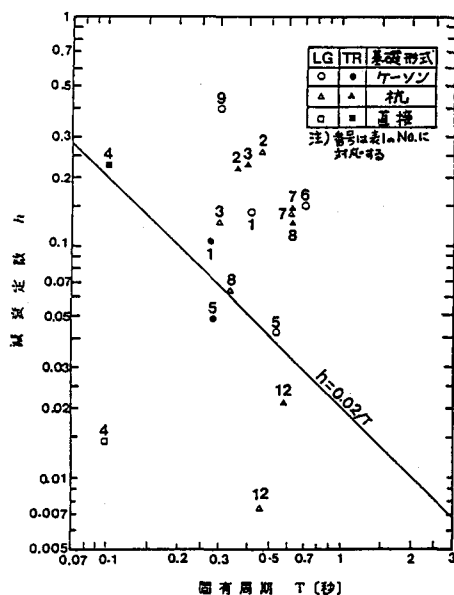


図7 固有周期と減衰定数の関係

5. まとめ

地盤～橋脚間の増幅および橋脚の固有周期と減衰定数の検討結果をまとめると以下のとおりである。

1) 直接基礎の増幅率は、ケーソンおよび杭基礎の増幅率よりも大きく、また、一般に橋軸方向の方が橋軸直角方向よりも増幅率が高い。2) 今回の検討方法により得られた橋脚の固有周期と減衰定数の関係は、一般に固有周期が長くなると減衰定数が小さくなる傾向があり、減衰定数は、起振機による共振実験から得られる値より大きめの値となる傾向が認められた。3) 今後、さらに橋脚における強震記録の蓄積を図るとともに、地盤～橋脚間の増幅特性に関して詳細な検討を行い、基礎形式や橋脚の動的特性などの影響を考慮した地盤～橋脚間の地震動の増幅特性を定量的に把握する検討が必要である。

参考文献：1) 栗林栄一、岩崎敏男：橋梁の耐震設計に関する研究(Ⅲ)，土木研究所報告第139の2、昭和45年5月。2) 日本道路公団試験所構造試験室：橋梁振動実験及び振動解析報告書，試験所技術資料第603号、昭和54年3月。3) 岩崎敏男：道路橋の耐震設計に関する研究、昭和56年2月。

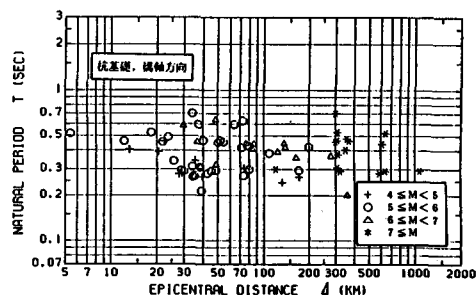


図8 固有周期と地震のマグニチュード、震央距離の関係の一例（杭基礎の橋軸方向の場合）

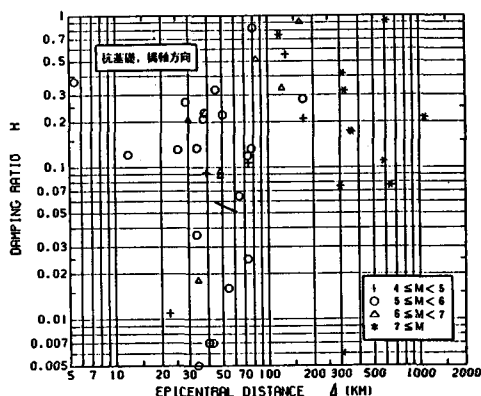


図9 減衰定数と地震のマグニチュード、震央距離の関係の一例（杭基礎の橋軸方向の場合）