

動的解析における基礎地盤の剛性および減衰の変動による影響について

森 伸治¹、佐藤 成²

¹パシフィックコンサルタンツ株式会社 東京本社構造部（〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2-7-1）

²正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 東京本社構造部（同上）

1. まえがき

橋脚の動的解析では、基礎及び地盤を1つの基礎地盤バネ（集中バネ）で評価し、動的解析を行うのが一般的である。しかし基礎地盤バネのバネ値及び減衰定数の設定について、統一的な手法が整理されていないのが現状である。

ここでは、基礎地盤バネのバネ値及び減衰定数の変動による影響を把握するため、パラメータスタディにより比較検討を実施した。

2. 検討対象橋梁

解析対象橋梁を図-1に示す。

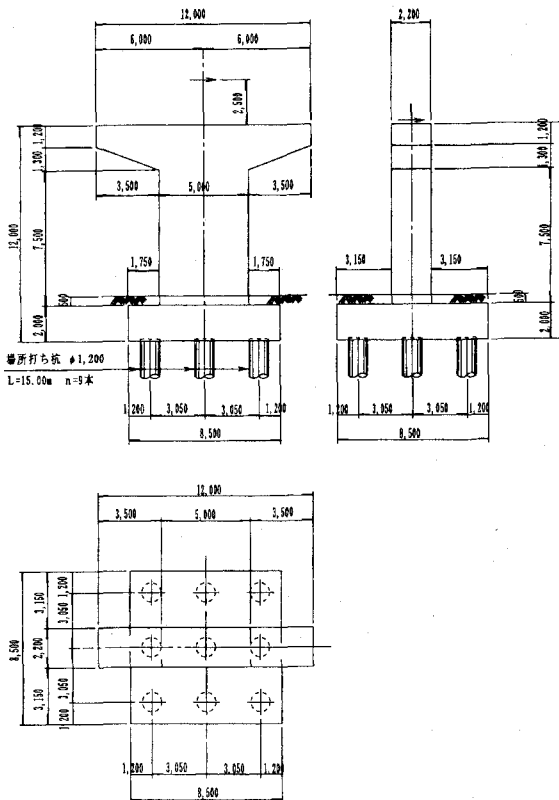


図-1 解析対象橋梁¹⁾

橋脚：RC橋脚
地盤種別：Ⅱ種地盤
基礎：杭基礎（φ1200 場所打ち杭）
支承：ゴム支承
加振方向：橋軸方向

3. 検討条件

(1) 解析モデル

解析モデルを図-2に示す。

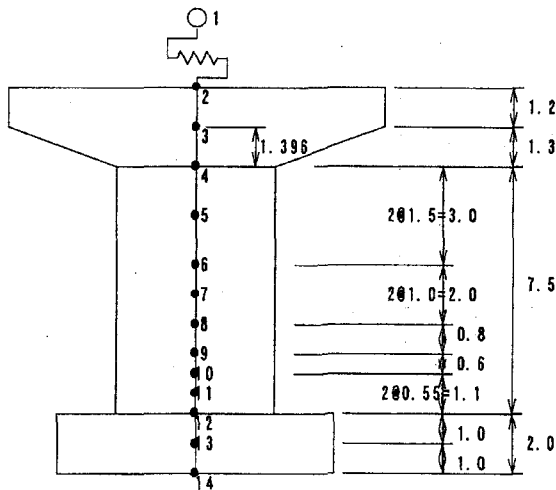


図-2 解析モデル¹⁾

解析モデルは、「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」（平成8年）²⁾に示すコンクリートおよび鉄筋の応力～ひずみ関係を用い、トリリニア型のM～φ関係モデルとした。

M～φ関係を表-1に示す。

表-1 M～φ関係（タイプⅡ）¹⁾

	M (tf・m)	φ (1/m)
ひび割れ時	1293.6	0.000102
初降伏時	4356.2	0.001069
終局時	4905.6	0.030171

(2) 解析条件

- ・積分方法：ニューマークβ法（ $\beta=1/3$ ）
- ・積分時間ステップ：0.001秒
- ・履歴モデル：武田型
- ・着目モーメント：部材中央
- ・減衰特性：Rayleigh減衰
（固有値解析により α 、 β を設定）

(3) 解析ケース

基礎地盤バネ値及び減衰定数を表－2に示すように変動させて検討を行った。なお、 V_{so} は、初期せん断弾性波速度である。

表－2 解析ケースの組み合わせ

地盤 V_{sd} 減衰 h	基礎固定	1.0 V_{so}	0.8 V_{so}	0.5 V_{so}
0.0	CASE0			
0.1		CASE1	CASE4	CASE7
0.2		CASE2	CASE5	CASE8
0.3		CASE3	CASE6	CASE9

(4) 入力地震動

入力地震動は、Ⅱ種地盤に対して「道路橋の耐震設計に関する資料」（平成9年）³⁾に示される以下のタイプⅡ地震動の3波形を用いた。

- ・（タイプⅡ Ⅱ種地盤－1）TAKATORI N-S.
- ・（タイプⅡ Ⅱ種地盤－2）TAKATORI E-W
- ・（タイプⅡ Ⅱ種地盤－3）FUKIAI

(5) 基礎地盤のバネ値

各せん断弾性波速度 V_{sd} における基礎地盤のバネ値を表－3に示す。

表－3 基礎地盤のバネ値

	1.0 V_{so}	0.8 V_{so} ¹⁾	0.5 V_{so}
A_{ss} (tf/m)	3.991×10^5	2.794×10^5	1.272×10^5
A_{sr} (tf/rad)	-5.671×10^5	-4.470×10^5	-2.646×10^5
A_{rs} (tf・m/m)	-5.671×10^5	-4.470×10^5	-2.646×10^5
A_{rr} (tf・m/rad)	4.110×10^6	3.919×10^6	3.600×10^6

4. 検討結果

(1) 固有値解析結果

固有値解析結果による卓越固有周期とモード減衰を表－4に示す。また、これらに対応する加速度応答スペクトルも同表に示す。

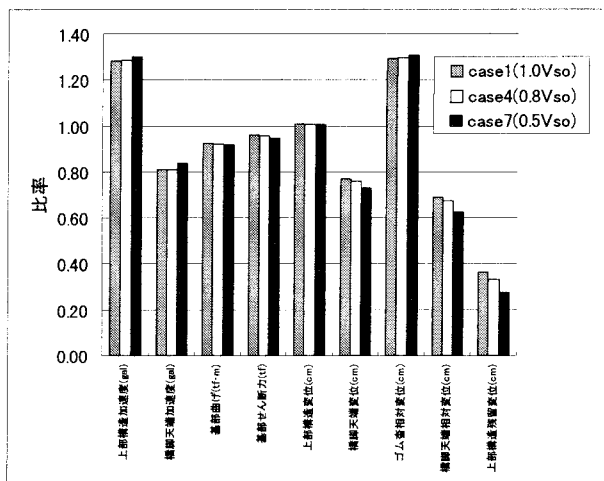
この結果、基礎地盤バネのバネ値が大きくなるほど卓越モードの固有周期が長くなり、1.2秒以上となるため、タイプⅡのⅡ種地盤では加速度応答スペクトルが減少する。

また、基礎地盤バネの減衰定数が大きくなるほどモード減衰が大きくなり、同様に加速度応答スペクトルが減少する。

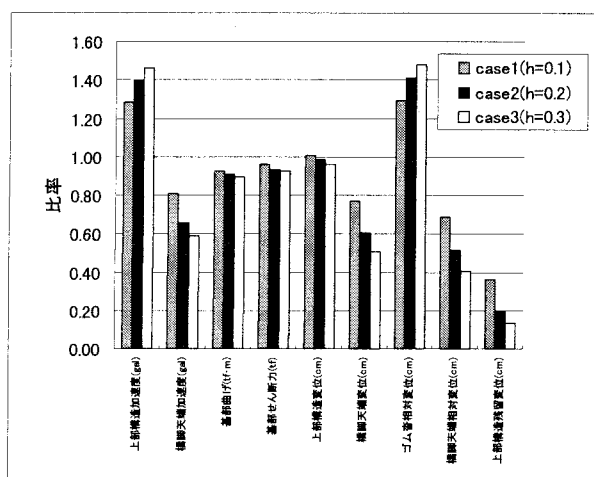
なお、エネルギー率によると、卓越する1次モードは、ゴム支承の変形が支配的であり、橋脚の変形は小さい振動性状となっている。

表－4 固有値解析結果及び加速度応答スペクトル

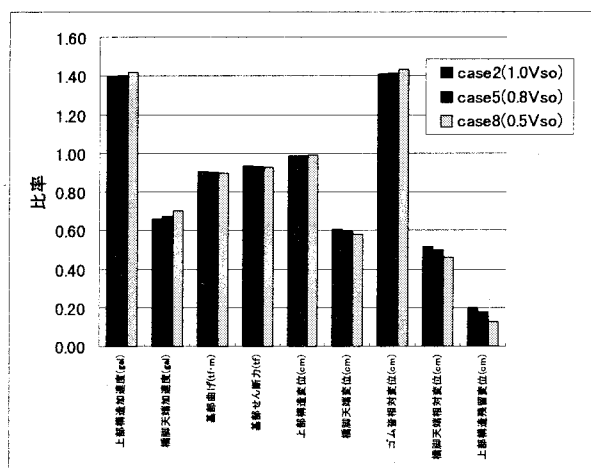
ケース	モード次数	固有周期	有効質量率%	エネルギー率	モード減衰	応答加速度 スペクトル(gal)	Rayleigh減衰	
							α	β
CASE0	1	1.20	71.5	支承94% 橋脚6%	0.0200	2333	0.19139	0.00064
CASE1	1	1.28	58.5	支承83% 橋脚5%	0.0295	1867	0.16189	0.00530
CASE2				基礎12%	0.0414	1674	0.15565	0.01039
CASE3					0.0532	1539	0.14941	0.01548
CASE4	1	1.29	59.0	支承82% 橋脚5%	0.0302	1830	0.16208	0.00556
CASE5				基礎13%	0.0429	1633	0.15810	0.01092
CASE6					0.0556	1497	0.15411	0.01629
CASE7	1	1.30	60.5	支承80% 橋脚5%	0.0320	1773	0.16177	0.00631
CASE8				基礎15%	0.0470	1564	0.16292	0.01246
CASE9					0.0619	1426	0.16408	0.01862



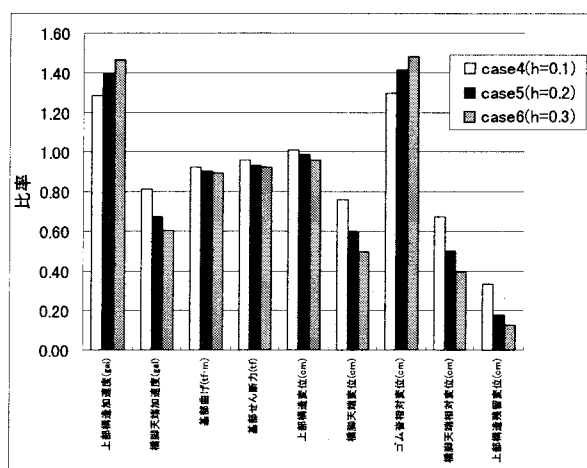
h = 0. 1



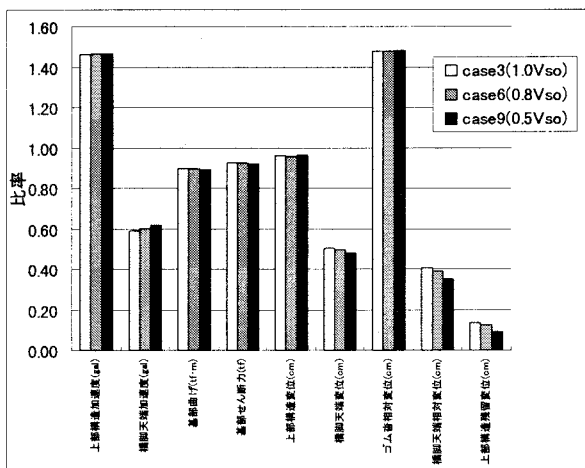
Vsd=1.0Vso



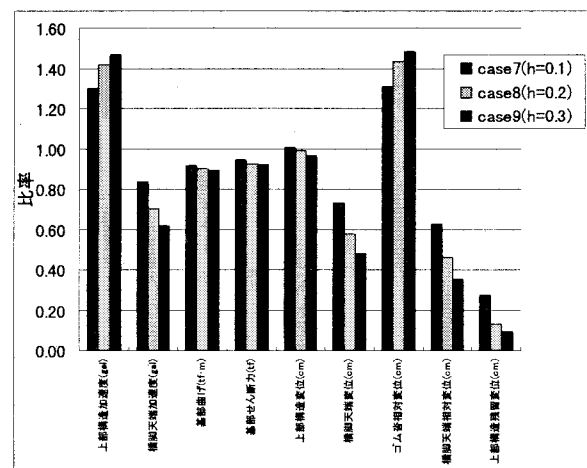
h = 0. 2



Vsd=0.8Vso



h = 0. 3



Vsd=0.5Vso

a) 基礎地盤のバネ値による比較

b) 基礎地盤の減衰定数による比較

図-3 応答値の比較 (CASE0 との比較)

(2) 動的解析の結果比較

各ケースの応答値は3波形の平均値を用い、基礎固定モデル(CASE0)の応答値に対する応答比率として図-3に示す。

なお、橋脚天端相対変位とは、基部の回転変形を取り除いた橋脚上下端の水平相対変位量である。

残留変位は、入力地震動によって応答結果が大きく異なり、一概には整理できない結果となっているため、ここでは除外した。

1) 基礎地盤のバネ値の影響

橋脚天端の相対変位は、 $0.5V_{so}$ の場合が $1.0V_{so}$ に対して9~15%程度小さな値を示しているが、その他の応答値では、0~7%程度の差である。したがって、本モデルでは、基礎地盤のバネ値(地盤剛性)による影響は比較的小さい。

2) 基礎地盤バネの減衰定数の影響

橋脚躯体の応答値は、減衰定数が多いほど小さな応答値を示している。特に橋脚天端の加速度、変位、相対変位は、 $h=0.3$ の場合が $h=0.1$ に対してそれぞれ27%, 35%, 44%の値を示している。

一方、上部構造の応答加速度及びゴム支承の相対変位は、減衰定数が多いほど大きな値となり、 $h=0.3$ の場合が $h=0.1$ に対して14%程度大きな値を示している。したがって、本モデルでは、基礎地盤バネの減衰性による影響は大きい。

5. 考察

(1) 基礎地盤のバネ値の影響についての考察

基礎地盤のバネ値の変化による応答解析結果への影響が少ないのは、本検討モデルが、杭基礎であり、杭軸方向バネによる回転バネに差がないことと、固有値解析から明らかなように支承の変形の卓越するモードが支配的であるためと考えられる。

(2) 基礎地盤バネの減衰定数の影響についての考察

基礎地盤バネの減衰定数による橋脚躯体の応答結果は、卓越モードの加速度応答スペクトルと同じ傾向を示している。

一方、上部工加速度及びゴム支承の相対変位は、卓越モードの加速度応答スペクトルとは異なる傾向を示している。これは、本検討モデルが、1自由度系とは異なり、上部構造と橋脚躯体が別々の挙動をすることと、橋脚の非線形化により減衰効果が発揮され、その差が顕著となったことが一つの要因と考えられる。

(3) 設計的考察

本検討において、Ⅱ種地盤の設計上採用し得るケースは、CASE4 ($V_{sd}=0.8V_{so}$, $h=10\%$), CASE5 ($V_{sd}=0.8V_{so}$, $h=20\%$)と考えられる。この2モデルの差は、減衰定数の差であり、橋脚の応答断面力は同程度であるが、橋脚の非線形性によって変形量が異なっている。ゴム支承の照査では、ゴム支承の相対変位に差が大きく見られる。したがって、基礎地盤バネの減衰定数の設定によって、支承の諸元が異なる可能性があり、十分な配慮が必要である。

6. まとめ

本報告では、橋脚の動的解析における基礎地盤バネの剛性および減衰の変動における影響を把握するため、ゴム支承を有する橋脚を対象としたパラメータスタディにより比較検討を実施した。

その結果、以下の事項が明らかとなった。

- 1) 設計上採用し得るバネ値の範囲では、その影響は小さい。
- 2) 減衰定数の感度は高く、特にゴム支承の設計においては注意を要する。

なお、本検討モデルの他に支承を有さない背の高い直接基礎の橋脚を対象に同様の検討を実施した。その結果、モードは分散せず、応答値が卓越モードの加速度応答スペクトルとほぼ同じ傾向となった。しかし、設計上採用し得るバネ値および減衰定数の範囲においては応答値に与える影響は小さいことが明らかとなった。

ここで報告した内容は、(財)土木研究センター内に設置された耐震設計ソフトウェアに関する研究員会(座長:川島一彦東京工業大学教授)で検討されたものの一部である。

参考文献

- 1) (財)土木研究センター:平成8年度耐震設計ソフトウェアに関する研究員会報告書, 1997.5
- 2) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 1996.12
- 3) (社)日本道路協会:道路橋の耐震設計に関する資料, 1997.3