

道路橋橋脚の動的解析における 基礎の減衰定数に関する考察

大塚久哲¹・高野道直²・田島寛之³・川野亮⁴

¹フェロー 工博 九州大学教授 大学院工学研究科 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

²第一復建株式会社 構造部 (〒812-0016 福岡市博多区博多駅南3-5-28)

³第一復建株式会社 構造部 (〒812-0016 福岡市博多区博多駅南3-5-28)

⁴学生員 九州大学大学院工学研究科 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

道路橋橋脚の動的解析において、基礎は水平、回転、鉛直の3つのバネに簡略化して置き換えられる場合が多く、そのときの基礎の減衰定数は明確な決定根拠がないため、地盤条件および基礎の形式に関わらず一律の値が用いられているようである。しかしながら、実際の基礎の減衰定数は土質や基礎の種別によって異なり、一律に評価できないのは明らかである。

本研究では、上述のように基礎をバネに置き換えて簡略化したモデルと2次元FEMによる下部構造―地盤系の一体型モデルの2種類のモデルを設定し、地震応答解析を行って両者の応答の比較を行い、合理的な減衰定数の算定に関する考察を行った。

Key Words: Pile Foundation, Damping Factor, SR Model, FEM Model

1. はじめに

道路橋橋脚の動的解析において、基礎は水平、回転、鉛直の3つのバネに簡略化して置き換えられる場合が多く、そのときの基礎の減衰定数は明確な決定根拠がないため、地盤条件および基礎の形式に関わらず一律の値が用いられているようである。すなわち、道路橋の設計実務においては安全側の設計を考え、道路橋示方書の耐震設計編に提示されている減衰定数の参考値の下限值を用いているのが実状のようである。設計上の基礎の減衰定数は地盤固有の減衰と基礎本体の減衰とを重ね合わせて1つの等価な値としている。基礎の減衰定数を地盤固有の減衰と基礎本体の減衰とに分けて分析した場合、前者は土質別に後者は基礎の形状別に異なることが実証されており、実際の基礎の減衰定数は地盤条件や基礎の種別によって異なり、一律に評価できないのは明らかである。

本研究では、杭基礎構造物を対象に上述のように基礎をバネに置き換えて簡略化したモデルと2次元FEMによる下部構造―地盤系の一体型モデルの2種類のモデルを設定し、地震応答解析結果の比較を行いバネ置換モデルの減衰定数について考察したものである。

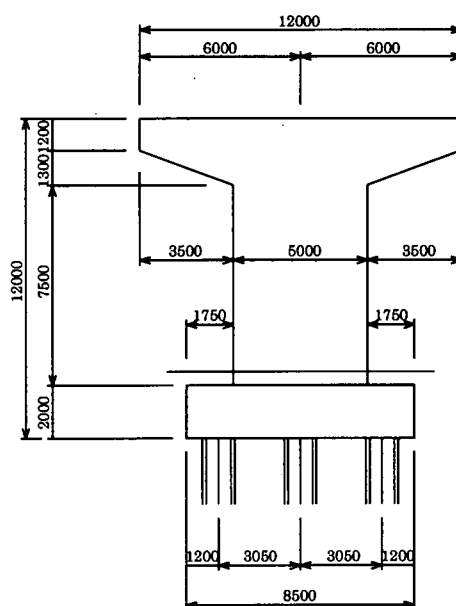


図-1 検討対象下部構造図(単位 mm)

2. 解析概要

(1) 解析概要

本研究では図-1に示す杭基礎(場所打ち杭)に支持

表-1 地盤条件

N値	----	2	15	30
土質区分	----	粘性土	砂質土	砂質土
単位体積重量 γ (tf/m ³)		1.6	1.7	1.9
せん断抵抗角 ϕ (°)		10	25	30
粘着力 C (tf/m ²)		1.5	0	0
せん断弾性係数 G (tf/m ²)		2592	6752	11980

表-2 検討ケース

	粘性土 N=2	砂質土 N=15	砂質土 N=30
L=30m (L/D=25)	case1	case2	case3
L=12m (L/D=10)	case4	case5	case6

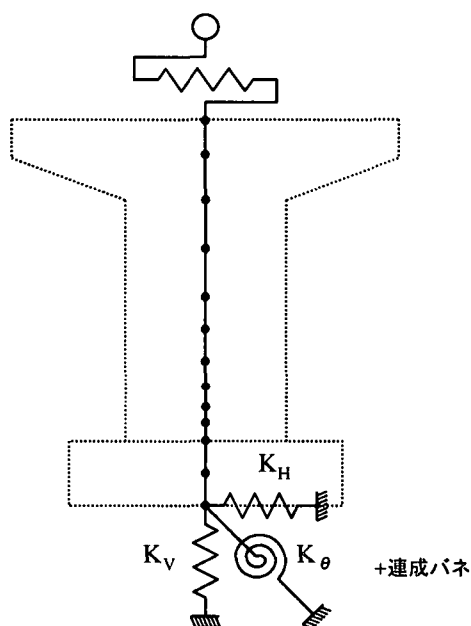


図-2 SRモデル図

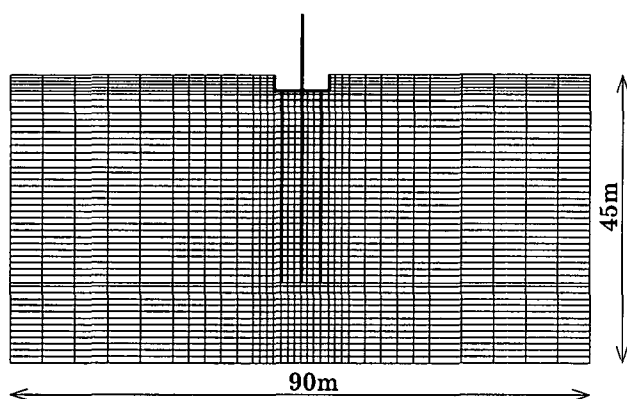


図-3 FEMモデル図

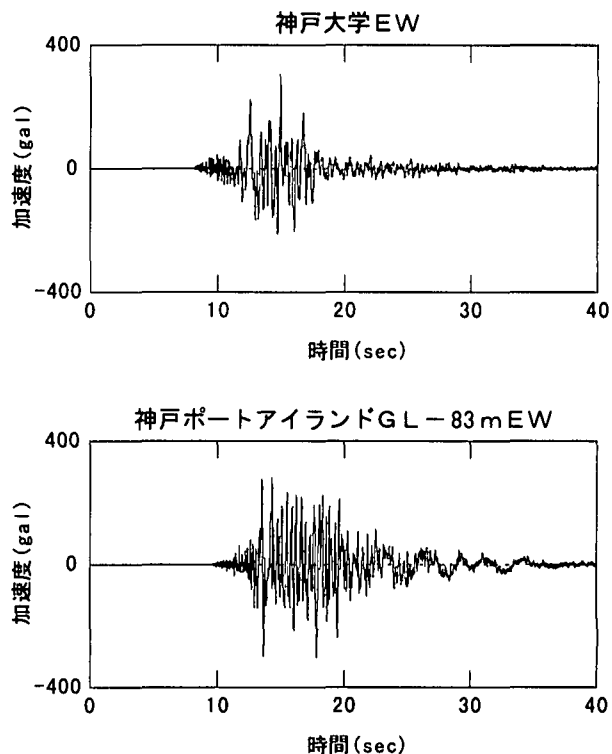


図-4 入力地震動

された張り出し式RC橋脚について検討を行った。

基礎幅は8.5 m×8.5 mで、杭は間隔3.05 mで3本×3本の配置である。

地盤は杭周面地盤の違いによる影響をとらえやすくするために、杭周面地盤と杭先端支持地盤の2層地盤とした。杭周面地盤は表-1に示すようにN値2、15および30の3種類の地盤定数を仮定した。杭先端支持地盤は各ケース同じであるとし、基盤と考えられるN値50とした。解析に用いた地盤定数を表-1に示す。

杭長Lは30 mと12 mの2種類とし、先端支持地盤への杭の根入れは杭径Dと同じ1.2 mとした。

この杭周面地盤3種類と杭長2種類の組み合わせにより表-2に示す6ケースの解析を行った。

(2) モデル化

下部構造-地盤系に対し、図-2に示すように基礎をバネで置き換えたモデル（以下、SRモデルという）と2次元FEMによる下部構造-地盤系の一体型モデル（以下、FEMモデルという）の2種類のモデルを設定した。

SRモデルでは橋脚を非線形はり要素でモデル化し、基礎は線形の集約バネでモデル化した。バネ定数は検討対象とした表-1に示す地盤条件に基づき道路橋示方書V耐震設計編¹⁾に従い算出した値を用いた。

FEMモデルでは橋脚はSRモデルと同じく非線形はり要素でモデル化した。地盤を平面ひずみ要素、杭を非線形はり要素でモデル化した。

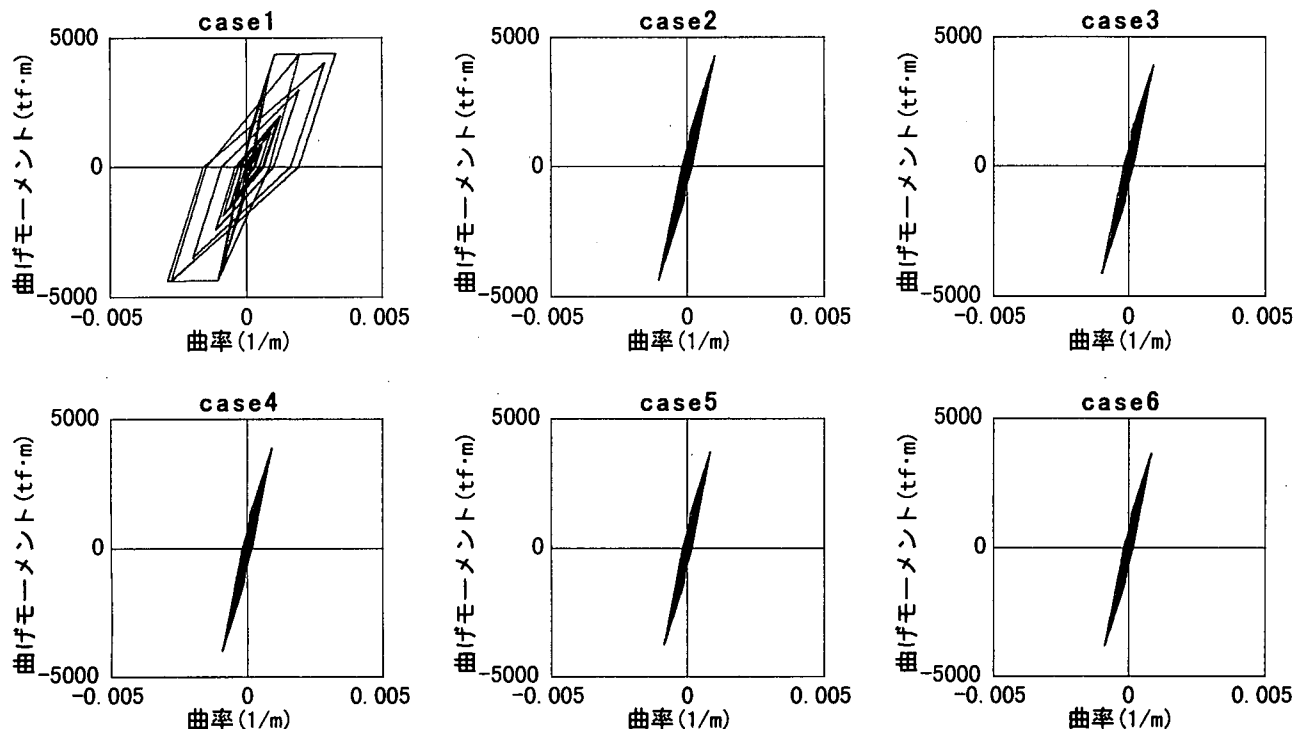


図-5 橋脚基部のM- ϕ 関係

構造物の非線形性は曲げモーメント-曲率の関係で考慮し、復元力特性には武田モデルを用いた。FEMモデルにおける地盤の非線形性にはRamberg-Osgoodモデルを用い、そのパラメータの設定にあたっては文献2)を参考にした。また本研究では本来3次元の挙動をする杭基礎を2次元にモデル化しているため地盤の奥行き方向の解析対象幅をフーチング幅と同じとし、杭については奥行き方向の本数分(3本分)の断面2次モーメントと断面積を1本のはり要素に与えることとした。具体的な橋脚および杭の諸元は文献3)の値を用いた。

(3) 入力地震動

入力地震動は兵庫県南部地震の際に観測された神戸大学EW成分(以下、神戸大学波という)および神戸ポートアイランドGL-83mEW成分(以下、神戸PI-83m波という)の2つの地震波を用いた。ここで両モデルでの整合性をとるためにFEMモデルではこの観測波形を入力地震動とし、SRモデルでは重複反射理論により地表面位置に引き上げた波形を入力地震動とした。図-4に観測波形を示す。

以上のように設定したモデルで、SRモデルの基礎の減衰定数を0.10、0.30、0.50と変化させて解析を行い、FEMモデルの応答値と比較した。

3. 解析結果

まず、FEMモデルでの解析結果の一例を示し、地盤条件の違いによる橋脚の挙動がどの程度違うかを把握し、次にFEMモデルとSRモデルの解析結果を比較することにより動的解析における適切な基礎の減衰定数について考察する。

(1) FEMモデルの解析結果

図-5にFEMモデルでの橋脚基部のM- ϕ 関係の一例を示す。杭長が長いcase1~case3を見ると、case1の場合橋脚基部の応答曲率塑性率は3.14であるのに対し、case2では1.01、case3では0.93であった。このように、地盤条件の違いにより応答塑性率が大幅に異なることが分かる。杭長が短いcase4~case6ではいずれも降伏を超えておらず、応答塑性率に大きな違いは見られなかった。

(2) FEMモデルとSRモデルの結果の比較

ここではFEMモデルの解析結果が実現象をよく表現できているものとして、FEMモデルとSRモデルとの解析結果の比較を行う。図-6は両モデルにおける橋脚天端の最大応答変位を示したものであり、この図より得られた知見を以下に示す。

a) SRモデルにおいて、杭長の長いケースでは地盤の違いが応答値に与える影響が大きくなっているのに対し、杭長の短いケースでは地盤の違いが応答値に与え

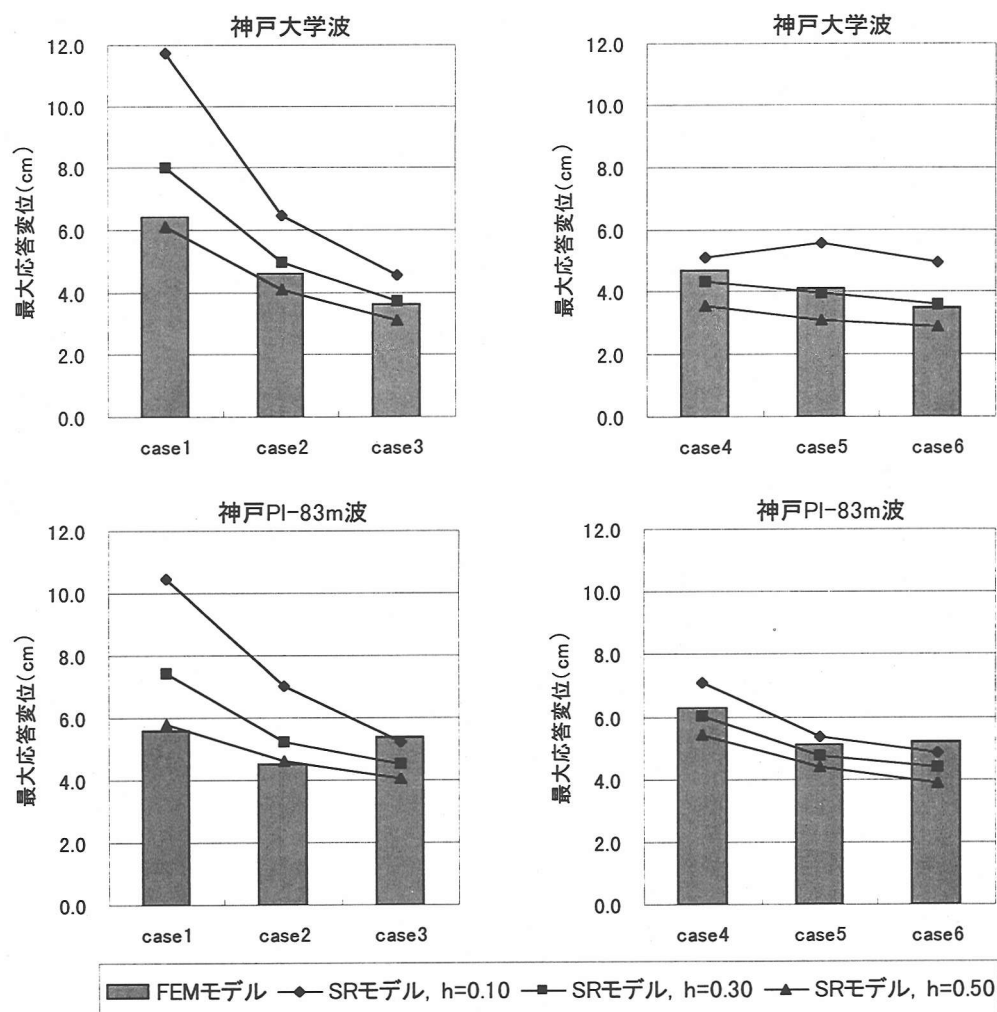


図-6 橋脚天端の最大応答変位

る影響は杭長が長いケースに比較して小さい。また、杭長の長いケースでは地盤が軟弱なほど基礎の減衰定数の変化に対する応答値の変化が大きい。これに対し杭長の短いケースでは、地盤の違いによる影響をあまり受けていない。

b) SRモデルとFEMモデルの比較によれば、地震波によらず $h=0.30$ でSRモデルとFEMモデルの結果がよく合っているケースが多い。ただし、杭長が長く地盤が軟弱である場合は、 $h=0.50$ 程度と大きな減衰定数を与えてやらなければSRモデルとFEMモデルの結果が合わない。

c) 今回用いた2波による結果では、杭長が短い場合のほうが地震波の違いによる応答の差が大きく出ている。

4. まとめ

本研究では対象橋脚をSRモデルとFEMモデルの2種類のモデルでモデル化し、橋脚天端の最大応答変位を比較することにより、適切な基礎の減衰定数に関する考察を行った。これによりSRモデルでも適切な減衰定

数が選択できれば、FEMモデルの解に近い値を推定できることがわかった。

本論文では検討対象としたいずれの地盤条件に対しても同じ構造物を設定したが、今後は地盤条件について適切な構造物を想定し、橋脚の固有周期、地盤の固有周期、杭長などをパラメータとした解析を実施し、地盤と構造物の条件によって減衰定数の選択が的確に行えるようにしたい。

参考文献

- (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，1996. 12.
- 建設省土木研究所：地盤地震時応答特性の数値解析法，土木研究所資料第1778号，1982. 2
- (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委員会報告書，pp56～57，1997. 5.