

I-B3 地盤との連成を考慮した鋼製橋脚の大地震時挙動

名古屋大学大学院 学生員 河村康文¹
 名古屋大学大学院 正会員 葛西昭¹
 名古屋大学大学院 フェロー会員 宇佐美勉¹

1. 緒言

鋼製橋脚の大地震時挙動において、地盤の挙動も考慮することは、構造物—地盤の動的相互作用の観点からも、非常に重要である。また、一般に地盤材料は、非線形性が顕著に現れる。そこで、本研究では、等価線形化した地盤と鋼製橋脚を連成した地震応答解析を行い、地盤を固定とした場合の地震時挙動と比較し、大地震時における地盤の考慮の必要性について検討する。

2. 解析手法

2.1 解析モデル

地盤を固定とした場合は、鋼製橋脚を上部構造を含めた1自由度の集中質量系に置換したモデルを考え、復元力モデルは、2パラメータモデル[1]を採用した。以下、このモデルを地盤固定モデルと呼ぶ。

次に、橋脚は地盤固定モデルと同様とし、地盤の効果を地盤反力度等を考慮した動的地盤ばねを配置した3自由度系のモデルを考える。地盤ばねのばね定数は、道路橋示方書IV（下部構造編）、V（耐震設計編）に準じて算定する。以下、このモデルを地盤ばねモデルと呼ぶ。また、地盤ばねは弾性ばねとした。

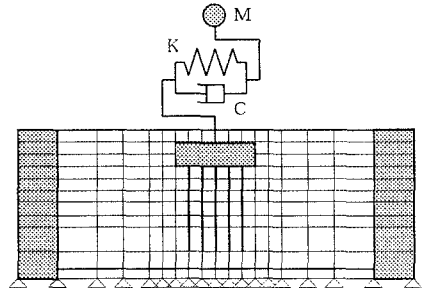


図-1 地盤メッシュモデル

図-1に示されるモデルは、橋脚については地盤固定モデルと同様に1自由度モデルで表現し、地盤に対して有限要素分割を行ったモデルである。このモデルを地盤メッシュモデルと呼ぶ。この地盤メッシュモデルでは、地盤要素として平面ひずみ要素を用い、フーチングは剛体、杭には弾塑性のばね要素を用いる。また、側面および底面には地震動の反射を抑制する粘性境界を設定する。地盤は弾性的な場合と、非線形性を考慮して等価剛性、等価減衰定数をもつ等価線形の場合の2種類を使用した。

2.2 数値解析手法

対象とした鋼製橋脚は、正方形補剛箱形断面を有し、幅厚比パラメータ $R_f=0.35$ 、細長比パラメータ $\bar{\lambda}=0.20\sim0.50$ ($T=0.42\sim1.05$)として、震度法設計により上部構造重量を定めた橋脚である。また、数値解析は直接時間積分法によって行い、数値積分法としてNewmarkの β 法 ($\beta=0.25$)を用いた。時間間隔は、地盤固定モデル及び地盤ばねモデルでは0.002s、地盤メッシュモデルでは0.001sとした。減衰定数は、橋脚に対して0.05、基礎に対して0.10とし、ひずみエネルギー比例型減衰を適用した。また、入力地震動は、道路橋示方書V（耐震設計編）に規定されるレベル2・タイプII地震動のうち、I種地盤用3波、II種地盤用3波を使用する。なお、本解析で想定した地盤として、I種地盤については神戸海洋気象台直下の地盤データ、II種地盤については表-1に示されるような文献[2]におけるII種地盤データを用いた。また、地盤メッシュモデルで必要とする基礎での地震動は、SHAKE[3]により推定し、そのとき得られる等価剛性、等価減衰定数を等価線形地盤メッシュモデルに用いる。また、以下の解析結果では、各地盤種における3つの地震動による応答の平均値を示す。

表-1 地盤データ

	地盤の種類	層厚 (m)	平均 N 値	単位体積重量		せん断波速度 (m/s)	せん断弾性係数 (tf/m ²)	ポアソン比	減衰定数
				γ_s	γ_c				
1	粘性土	5.5	5	1.5	1.5	171	5070	0.47	0.02
2	粘性土	2.5	5	1.7	0.8	171	5070	0.47	0.02
3	砂質土	2.5	10	1.7	0.8	172	5150	0.47	0.02
4	粘性土	3.0	5	1.7	0.8	171	5070	0.47	0.02
5	砂質土	2.9	15	1.9	1.0	197	7550	0.47	0.02
6	砂質土	3.6	50	1.9	1.0	295	16840	0.47	0.02

3. 解析結果

3.1 I種地盤

図-2で、橋脚の細長比パラメータ $\bar{\lambda}=0.20\sim0.50$ の場合について、地盤固定モデルと等価線形地盤メッシュモデルの応

キーワード：動的相互作用、地震応答解析、最大応答変位、残留応答変位

¹ 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 TEL 052-789-4617

答変位を比較する。横軸には固有周期をとり、縦軸には、図-2(a)は最大応答変位 δ_{max} を降伏変位 δ_y で割って無次元化したもの、(b)は残留応答変位 δ_R を橋脚高さ h の1/100で割って無次元化したものを示す。また、等価線形地盤メッシュモデルは、1次モードの固有周期を用いた。

図-2(a)より、最大応答変位については、地盤固定モデルと等価線形地盤メッシュモデルの間でほとんど差がない。I種地盤は堅固な地盤であるため、構造物—地盤の動的相互作用の影響が小さいためである。ただし、残留応答変位については、図-2(b)より、最大応答変位と同様な傾向は示すが、 $T=0.75\sim 1s$ 付近では地盤を考慮することによって多少応答が大きくなるため、橋脚の機能保持照査を行う際には注意を要す。

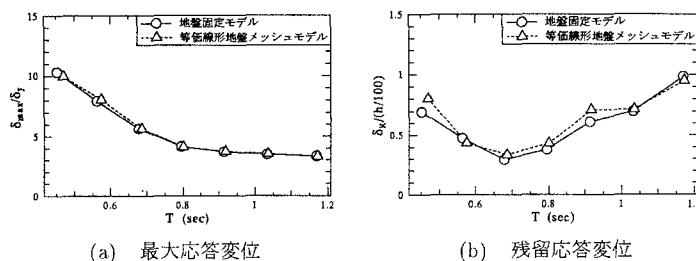


図-2 応答変位—固有周期関係 (I種地盤)

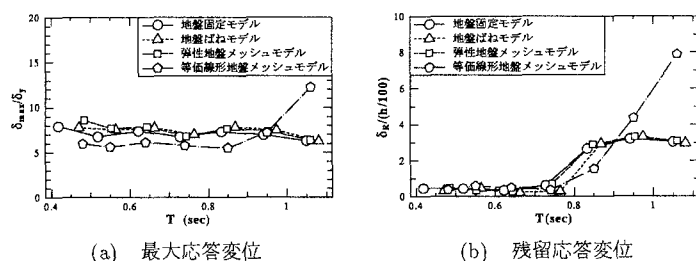


図-3 応答変位—固有周期関係 (II種地盤)

3.2 II種地盤

図-3に、I種地盤の場合と同様に、各モデルによる応答の違いをまとめた。なお、弾性地盤メッシュモデルの固有周期は1次の固有周期を用い、等価線形地盤メッシュモデルも同じものを用いた。

図-3より、地盤固定モデル、地盤ばねモデル、弾性地盤メッシュモデルは、ほぼ同じ応答値を示すことが分かる。一方、等価線形地盤メッシュモデルは、固有周期が0.9(sec)までは、他の3モデルよりも最大応答変位が小さくなった。これは、構造物と地盤の動的相互作用の影響が大きいためである。ところが、固有周期が0.9(sec)以上では、最大応答変位、残留応答変位とも他の2モデルよりも応答変位が非常に大きくなった。これは、橋脚の固有周期と等価線形地盤の固有周期が近接したためである。

等価線形地盤メッシュモデルの固有周期を求めたところ、どの細長比パラメータにおいても1.1(sec)程度となった。そこで、各細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ でのモード変形図を求めた。図-4(a)には、細長比パラメータ $\bar{\lambda}=0.20$ での1次モードの変形図、(b)には $\bar{\lambda}=0.50$ での1次モードの変形図を示す。なお、図-4では、橋脚頂部における水平変位量によって橋脚の変形を示している。

図-4(a)では、橋脚は1次モードで変形していない。これは地盤が比較的軟らかいためである。したがって、1次モードの固有周期は地盤の固有周期に依存する。一方、図-4(b)では、橋脚は1次モードで変形している。これは、図-3において、等価線形地盤メッシュモデルの応答変位が地盤固定モデルよりも大きくなった原因の1つである。これより、1次モードが橋脚および等価線形地盤がともに大きく変形するモードである場合、橋脚の地震時応答も著しく大きくなる。

4. 結言

本研究では、鋼製橋脚を1自由度モデルで表現された解析モデルに対して、地盤との連成効果を見るために地盤ばねを導入したモデルと、地盤に対して有限要素法を適用したモデルを用いた。その結果、地盤固定モデルと等価線形地盤メッシュモデルとを比較した場合、構造物と地盤の動的相互作用の影響が小さいため、I種地盤ではほとんど応答変位に差が見られなかった。ところが、II種地盤では、応答変位の差が大きくなり、橋脚、地盤の固有周期、地震動の卓越周期が合致するあたりでは等価線形地盤メッシュモデルの応答変位が他のモデルよりも非常に大きくなった。

参考文献

- [1] 鈴木森晶ら：鋼製箱形断面橋脚の復元力モデルと弾性地震応答解析，土木学会論文集，No.549/I-37，1996年10月，pp.191-204。
- [2] (社)日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，平成9年3月。
- [3] Schnabel, F.B., Lysmer, J., and Seed, H.B.: SHAKE a Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites, EERC, 72-12, December, 1972.