

I-B 331

構造物-地盤系相互作用および不連続性に関する非線形地震応答解析

茨城大学 学生員 藤原 宏将
茨城大学 正会員 呉 智深

茨城大学 フェロー 岩松 幸雄
茨城大学 正会員 原田 隆郎

1. はじめに

わが国は世界でも有数の地震国であり、そのため構造物の設計に際しては常にその耐震性を検討しなければならないことは技術者の常識になっている。耐震設計は大規模土木構造物の設計の中で非常に重要な地位を占め、そのため耐震設計の確立は長年に渡り追求されてきた。しがしながら先の阪神大震災において構造物の動的挙動の把握が不十分であることが露見してしまい、そのことで耐震設計のなかで重要な位置を占める動的解析にとって問題とされる多くの要因が浮かび上がってきた。

動的解析を行う上で必要と思われる項目をあげると、地盤と構造物のような‘不連続性’、土木材料の‘脆弱性やあいまい性’、‘全体構造物系における各構成要素の相互作用’の三項目であり、これらは詳細なかつ正確な評価をする上で重要な要素であろう。そこで本研究は、橋脚-地盤系に関する‘不連続性’と‘相互作用’に着目し、構造物と地盤との間に不連続面を設定し、非線形地震応答解析を行うことにより、より現実に近い鋼製橋脚の挙動を把握し、地盤特性と不連続面を考慮した耐震評価を行うものである。

2. 解析手法の概要

図-1に示した計算モデルは三次元地震応答問題に関する広範囲にわたる一連の高度な解析に対する主な必要条件を全て満足しているように思われる。解析は基本的に二次元であり系の有限要素の離散化された支配方程式は

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = -\{m\}\ddot{y} - \{V\} + \{F\} - \{T\}$$

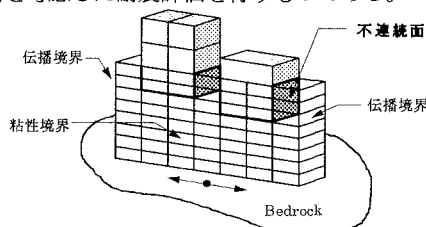


図-1 計算モデルの概略図

と書くことができる。ここで $\{u\}$ は剛体の岩盤に関する

節点の変位であり、 $[M]$ および $[K]$ はそれぞれ単位厚さの通常の平面ひずみ質量マトリクスおよび剛性マトリクスである。そして $\{m\}$ は $[M]$ および剛体の岩盤の加速度 $\ddot{y}(t)$ の方向に関連したベクトルである。材料の減衰特性は複素係数から $[K]$ を構成するにあたって考慮される。 $\{V\}$ は水平方向一層の粘性境界から発生する力ベクトルである。 $\{F\}$ は一層の両端に作用する力ベクトルである。これは自由地盤の垂直方向に作用し、波動エネルギーの水平方向の伝播には関係ない。 $\{T\}$ はエネルギー伝達に関する力ベクトルである。

3. 解析モデル

解析の対象に関しては、先の兵庫県南部地震のおり特に被害の報告が多かった橋脚とする。図-2のような鋼製橋脚のモデルを用い、各要素の材料定数は表-1の通りとする。入力地震波については神戸気象台観測の地震波とした。非線形性については地盤に関しては等価線形法を用い（図-3）、鋼材に関しては鋼の応力-ひずみ関係を図-4のように近似し計算に取り入れることにより考慮した。応答解析は基本的に二次元解析のため中空構造物の表現ができない。そこで解析モデルは、柱部分について断面二次モーメントが一致するような密な鋼製橋脚とした。また地盤はType AとType Bの2種類を用い、地盤と基礎との間に不連続面を設定するか否かの二通りの不連続面の採用条件を設けその影響を解析する。

表-1 材料定数

		せん断係数 (kg/cm ²)	単位体積重量 (t/m ³)	減衰定数
橋脚		2.1*10**6	7.80	0.02
Type A	soil 1	12500	2.00	0.08
	soil 2	13000	2.20	0.13
Type B	soil 1	4000	1.50	0.08
	soil 2	4200	1.80	0.13

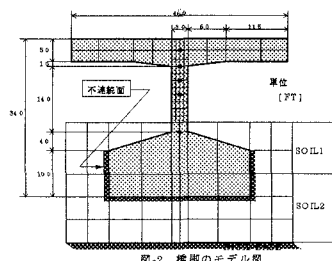


図-2 橋脚のモデル図

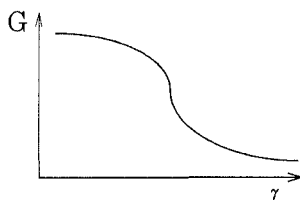


図-3 せん断弾性係数のひずみ依存特性

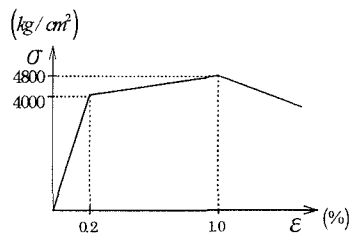


図-4 解析に用いた鋼材の応力-ひずみ曲線

4. 解析結果

地盤の違い、不連続面設定の違いにより、構造物の応答に違いが見られた。構造物の応答を、最大応答加速度分布、加速度応答スペクトルについてまとめる。

（1）最大応答加速度分布

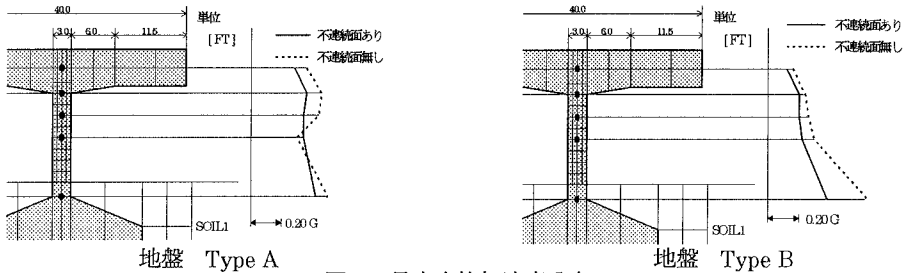


図-5 最大応答加速度分布

（2）加速度応答スペクトル

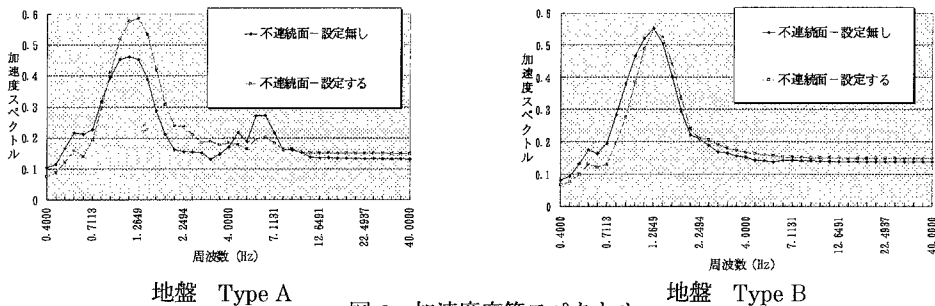


図-6 加速度応答スペクトル

5. 考察

（1）最大応答加速度の観点から

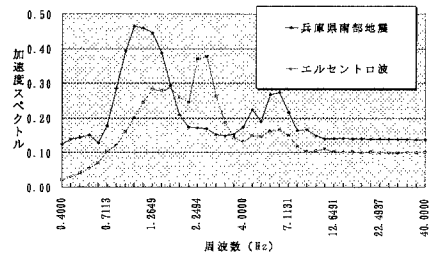
不連続面の採用により橋脚全体の応答加速度の減少が確認された。加速度減少から不連続性は免震のような効果を持つことかといえる。また地盤の種類の違いによる応答値の違いから不連続面の考慮について、その構造物への影響は構造物の形状、地盤の特性等の影響を受けやすく、今後多種にわたる解析が望まれる。

（2）応答スペクトルの観点から

地盤 TypeA を見ると不連続面採用の有無によって応答スペクトルが周波数によって大きくなったり小さくなったりするのがわかる。先に述べたように不連続性が免震効果をもつとすれば、この結果は構造物によって免震構造に適するものかそうでないものがあることを示している。

ここで特記すべきは、今回の解析では地盤の沈下や変形は考慮していない点である。そのため弱い地盤を用いたことにより構造物の応答が小さくなる傾向が見られ、被害が小さいように見られる。

兵庫県南部地震の地震波の特徴を見るために、図-7に兵庫県南部地震の地震波と設計用標準地震動エルセントロ波との応答の違いを示す。兵庫県南部地震の地震波の特徴を考慮してその被害の特徴と比較してみると、固有周波数中層レベル（5.0Hz前後）で兵庫県南部地震の地震波の応答が大きくなっており、この種の構造物に予想より大きな地震力が作用したと思われる。これは被害状況で報告されたものとほぼ一致しており、この結果より多くの問題点を残しているが、今回行った解析手法が構造物の動的解析を正確に行うことができることを示している。図-7 兵庫県南部地震とエル・セントロ波との比較



6. おわりに

構造物の形状、材料、地盤特性により不連続面の影響に差がでることが確認できた。本研究で着目した不連続性及び構造物と地盤の相互作用が構造物の応答に影響をきたすと確認できたことが本研究の成果である。そして今後の課題として今回取り入れなかった‘あいまい性’と‘不連続性’を考慮した非線形耐震評価モデルの構築のために本解析手法を発展させていくことが挙げられる。