

地盤とラーメン高架橋の連成系地震応答解析

大日本コンサルタント 正会員 川神 雅秀 吉澤 努
日本道路公団 正会員 湯川 保之 和田 信良

1. まえがき

従来より都市内道路の整備形態として、中央分離帯部に単柱式橋脚を有する多径間ラーメン高架橋を計画し、高架下の土地空間を有効に利用する方法が採用されている。一方、阪神・淡路大震災の貴重な教訓が示唆するように、耐震安全性の観点からは、このようなトップヘビーの単柱構造を採用する場合、高架下の二次的影響も含め慎重な技術対応が設計者に求められる。本文では、1995年兵庫県南部地震級の大規模地震動による、地盤とラーメン高架橋の動的相互作用について、数種の非線形動的解析法による応答の比較結果を紹介する。

2. 非線形地震応答解析法の概要

一般に地盤と構造物の動的相互作用解析には、サブストラクチャー法と直接法が存在する。筆者らは、大規模地震動による非線形挙動下での動的相互作用を把握する目的で、地盤と構造物の連成系モデルに対して、二次元等価線形有限要素法（以下、二次元等価線形FEM）、二次元弾塑性有限要素法（以下、二次元弾塑性FEM）、三次元弾塑性格子骨組み解析法（以下、三次元弾塑性格子解析法）の直接法を適用し、解析法やモデル化の違いが動的相互作用におよぼす影響について検討した。三次元弾塑性格子解析法は地盤をビーム要素とバネ要素で構成する格子骨組みモデルに置換して解析するもので、水平方向の適当な範囲を1本の土柱に置き換え、隣接する土柱間を軸バネと非線形せん断バネで連結したモデルである。当該解析法は電子計算機が未発達な時期に提案された簡易解析法であり、有限要素法に比べ演算処理時間の省力化が図れる点に特徴がある。本文ではこの解析法を、地盤の非線形性を考慮した三次元の動的問題に適用した。さらに参考として橋梁の耐震設計で一般に採用される、基礎部を並進・回転バネ、橋梁部をビーム要素の骨組みにモデル化した弾塑性骨組み解析（以下、二次元弾塑性骨組み解析法）との比較も行った。各解析手法

表-1 解析法の概要

解析法	①等価線形有限要素法	②弾塑性有限要素法	③弾塑性骨組み解析法	④弾塑性骨組み解析法
次元	二次元	二次元	三次元	二次元
構造物モデル	ビーム要素	ビーム要素	ビーム要素	ビーム要素
地盤 モデル	ソリッド要素	ソリッド要素	ビーム要素（格子型）	基礎にS・Rバネを考慮
構造物履歴特性	等価線形	剛性低下型武田モデル	剛性低下型武田モデル	剛性低下型武田モデル
地盤 履歴特性	等価線形	ランベルグ・オスグッドモデル	標準トリリニアモデルで近似	———
境界 処理	粘性境界	粘性境界	粘性境界	———
処理 領域	周波数領域	時間領域	時間領域	時間領域

の概要を表-1に、また解析モデルの概念図を図-2に示す。

3. 数値解析

解析は、図-1、表-2の5径間連続RCラーメン橋を対象とした。入力地震波はJR西日本鷹取駅で観測された兵庫県南部地震波を一次元重複反射理論により基盤位置に引き戻し、この地震波を解析対象地盤の工学的基盤に入力した。地盤構成は表-3であり工学上の基盤面はGL-15m付近に存在する。

なお二次元弾塑性骨組み解析（④）

については、地表面位置での地震波

を入力波とした。減衰定数は上部構造と橋脚柱の弾性部分は5%、橋脚柱

や基礎部の塑性域部は2%、また二次元弾塑性骨組み解析法で使用したS・Rバネには20%の粘性減衰を考慮した。

動的相互作用 非線形地震応答解析 ラーメン高架橋 二次元弾塑性有限要素法 三次元弾塑性格子解析法

〒550 大阪市西区北堀江一丁目2番19号 TEL 06-541-5601 FAX 06-541-5633

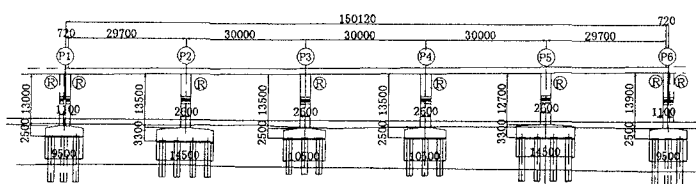


表-2 構造諸元

単位：mm

橋梁形式	5径間連続RCラーメン橋
支間割	5@30.0m 幅員 15.0m
地盤種別	II種地盤 基礎 場所打杭

図-1 解析橋梁の一般形状

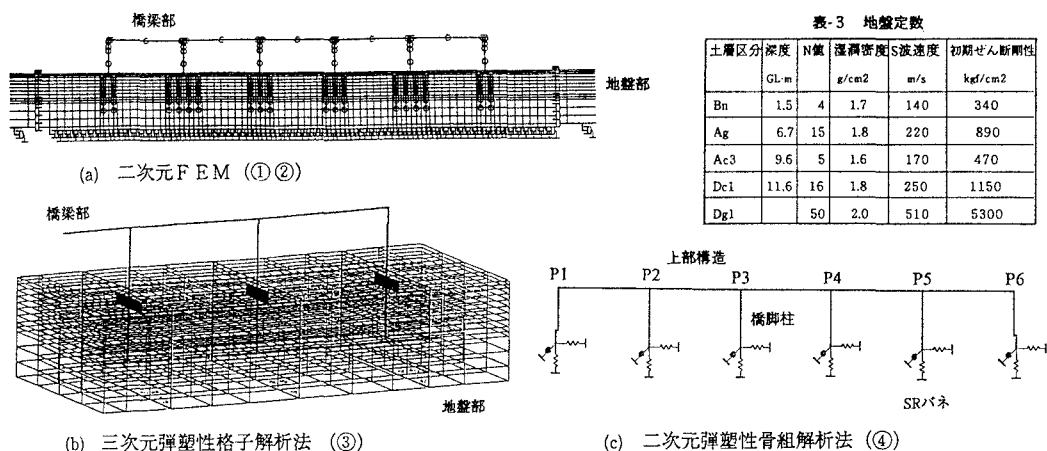


図-2 解析モデルの概念図

図-3は、P4橋脚柱基部における応答波の加速度応答スペクトルを示す。④は自由地盤地表面の地震波であり、この値と各解析法①②③より求めた応答スペクトルの差が動的相互作用の影響を示している。図中より0.6秒までの短周期側の範囲で加速度応答の低下が確認できる。この傾向は各解析法でもほぼ同様である。これは地盤の卓越周期が0.3～0.5秒付近に存在し、さらにせん断ひずみが最大0.5%程度の比較的安定した地盤であることによる。大規模地震動による構造物の非線形挙動は長周期領域で発現するため、当該解析例では相互作用による構造物の応答の低下は余り見込めない。図-4は、各橋脚位置における最大応答値を上部構造、橋脚柱基部に着目して示したものである。上部構造における加速度、水平変位は二次元弾塑性骨組解析法④の応答値が最大であり設計値はやや安全側の結果を与える。また二次元等価線形FEM①は橋脚部を降伏曲げ剛性と仮定しているため弾性応答の結果を出力している。このため各解析法中、水平変位は最も少なく逆に脚柱基部の曲げモーメントは最大値を示す。なお、脚柱基部の加速度応答波を、橋梁部のみに着目した骨組モデルの脚柱基部に入力して求めた応答結果を①で示す。他の解析法による応答値は概ね同様な結果が得られた。また二次元と三次元モデルの応答結果については本解析例では顕著な差は生じていない。

4. まとめ

大規模地震動を受ける構造物の耐震設計では、塑性域での耐震安全性を確保した上で建設コストの低減をいかに図るかが課題である。一方近年、電子計算機の演算処理能力は著しく改善し、これにより図-3 加速度応答スペクトル（橋脚基地震波）工事費低減をにらんだ解析モデルの精度向上を求める気運がある。今後ともこの方面での解析事例の蓄積がますます必要となろう。

参考文献 松田、鵜飼ほか：三次元非線形地震応答解析による橋脚

と基礎杭の耐力に関する検討，第31回地盤工学研究発表会講演集，pp.1783-1784，平成8年7月。

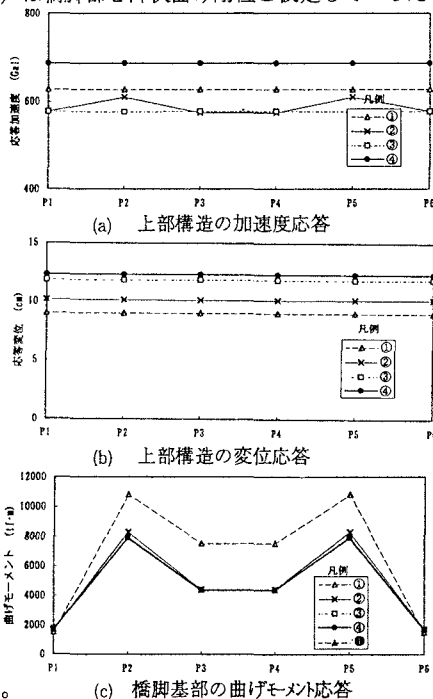


図-4 応答結果の比較