

東日本旅客鉄道(株) 正 曾我部正道
 東日本旅客鉄道(株) 正 鎌田 則夫
 東日本旅客鉄道(株) 正 小原 和宏

1. はじめに 都市部連続立体交差に伴う鉄道高架橋の施工には、営業線近接施工、狭い施工空間及び工事用通路の確保といった厳しい制約条件がかせられる。筆者らは、その対策として地中梁を無くした1柱1杭方式ラーメン高架橋(図1参照)を提案し、施工面、コスト面での優秀性を明らかにするとともに、設計手法の検討等を進めてきた¹⁾。

本研究では、さらに動的弾塑性応答解析を行い、当該構造形式に対する耐震設計手法について検討する。

2. 解析手法 (1)構造物モデル 限界状態設計法²⁾に則して設計された、在来線ラーメン高架橋(線路方向 $L=10.0\text{m}$, 4径間: 直角方向 $L=6.9\text{m}$, 1径間: 高さ $H=7.0\text{m}$: 杭長 11.0m)の線路直角方向ラーメンを解析対象とする(図1参照)。解析モデルを図2に示す。上層横梁、柱、杭には、材端弾塑性バネ(梁: 武田型, 柱/杭: Degrading-Tri-Linear型)を有する梁要素を用いた。また、柱と杭のひび割れ/降伏判定には曲げモーメント-軸力相関曲線を用いた。部材には初期応力として、「死荷重」「列車荷重(地震用)」を考慮した。

部材の剛性低減率は、ひび割れ後は初期剛性の20%、降伏後は1%とする。減衰定数は5%とした。

(2)地盤モデル 地盤には、図3に示すようなバネ・マス・ダンパーでモデル化される格子モデルを用いた。格子点には、支配体積に応じた集中質量が水平方向の自由度を持って配置される。各質点は、同じ高さレベル同士は軸バネ(標準 Bi-Linear型)で、上下レベルは水平せん断バネ(標準 Tri-Linear型)でそれぞれ結合される。減衰定数は5%を用い、基盤面の深さは、せん断弾性波速度 V_s が 600m/sec を超える 40m とした。

地盤格子モデルの底面および側面には、地盤のせん断弾性波速度 V_s , せん断弾性係数 G , および支配面積から評価されるダンパーを配置し、粘性境界を構成した。

(3)地震波 基盤面に入力する基盤地震波は、後述する固有値解析の結果から1秒以上の長周期成分が卓越する「八戸波」を選択した。基盤面での最大加速度は、大規模地震を想定し 300gal とした。

また、地盤格子モデルの両側面には、同じ基盤波による自由地盤の応答波形(加速度, 速度, 変位)を「動的相互作用波」として、格子の深さ毎に多点入力した。なお、動的相互作用波は解析に先立ち、自由地盤の振動解析を行い求めた。

(4)数値計算法 数値計算には、直接積分法(Newmark β 法, $\beta=1/6$, $\Delta t=0.005\text{秒}$)を用いた。

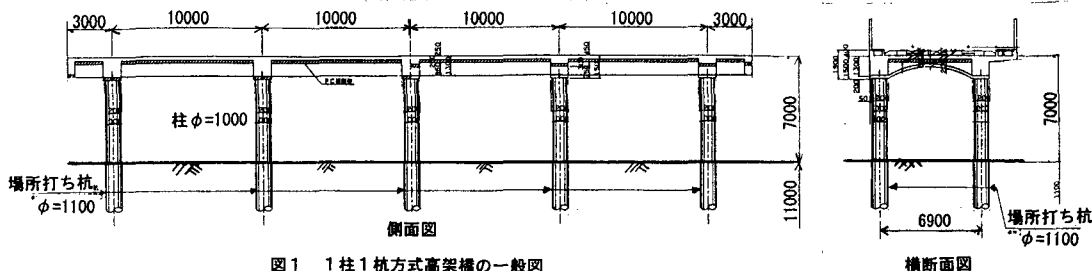


図1 1柱1杭式高架橋の一般図

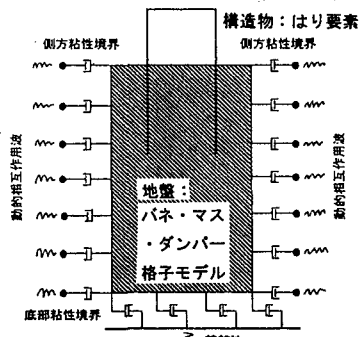


図2 解析モデル

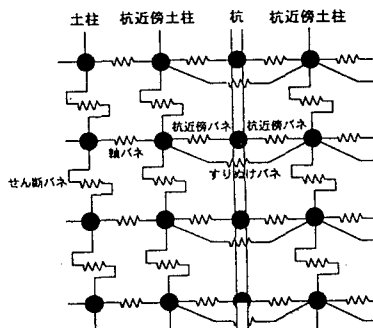


図3 地盤格子モデル

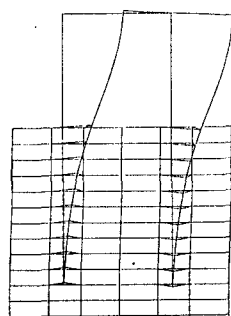


図4 一次固有振動モード (T=0.805秒)

3. 解析結果

(1) 固有値解析 弾性固有振動

モードを図4に示す。1次モードは0.805秒で通常のラーメン構造物よりも長周期である。地中梁が無いので柱から杭までが一体の柱部材に近い挙動を示している。

(2) 応答変位・加速度 橋梁天端での地表面との相対応答変位は、塑性ヒンジが上層横梁と柱頭部にしか生じていないため、最大15cm程度であった。橋梁天端での応答加速度を図5に示す。比較のため構造物のみを全て弾性として解析した場合の弾性応答加速度も示した。弾性応答加速度は1102gal、弾塑性応答加速度は833galである。

また、図から最大加速度の発生時刻が基盤面から順に構造物まで伝わってくる様子が分かる。

(3) 応答塑性率 各部材の最大応答塑性率を図6に示す。上層横梁では最大1.7、柱頭では3.1、杭では0.9であった。この程度の値であれば従来の靱性設計法でも十分に対応できると考えられる。上層横梁の曲げモーメント一回転角履歴曲線及び柱頭の曲げモーメント軸力履歴曲線をそれぞれ図7、8に示す。図7から、上層横梁上側鉄筋のみが降伏していること、図8からは、軸力の増減がひび割れ/降伏曲げモーメントに与えている影響等が読み取れる。

(4) エネルギー一定則 解析結果とNewmarkのエネルギー一定則との比較を図9に示す。弾塑性応答より求まる最大曲げモーメント M_{max} と最大回転角の関係を、それぞれ弾性最大曲げモーメント M_e と最大回転角を用いて無次元化し図示した。図から、エネルギー一定則が設計上安全側の大きな断面力を与えるという、長周期構造物特有の性状が確認できる。

4. まとめ

限られた解析条件ではあるが、以下のような知見が得られた。①解析上得られた範囲の応答塑性率であれば従来の靱性設計手法でも十分に対応できる。②当該構造形式においても、Newmarkのエネルギー一定則を用いれば安全側の設計を行うことができる。今後は、地震波の種類、地盤特性、最大加速度、部材剛性/耐力のバランス、減衰定数等をパラメータとしさらに詳細な検討を加えていく予定である。

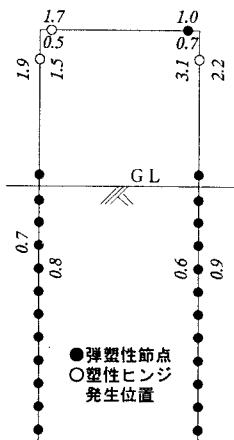


図6 各部材の応答塑性率

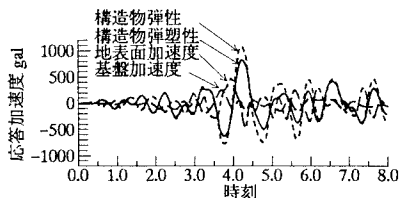


図5 橋梁天端の応答加速度

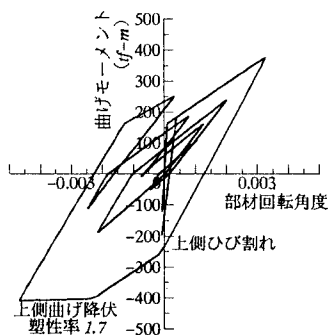


図7 上層横梁左端の曲げモーメント一回転角履歴曲線

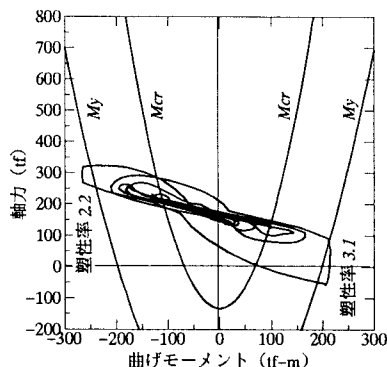


図8 右柱頭の曲げモーメント軸力履歴曲線

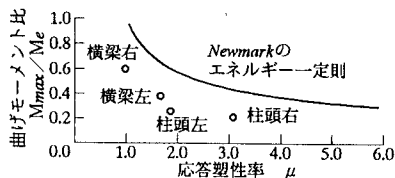


図9 最大曲げモーメントと応答塑性率の関係