

摩擦杭によるラーメン高架橋の免震効果の検討

清水建設(株) 正会員 ○木全宏之 福武毅芳 出羽克之 西村晋一 張至鎬
(財)鉄道総合技術研究所 正会員 室野剛隆 豊岡亮洋 西村隆義

1. はじめに

近年、設計用入力地震動はますます大きくなる傾向にある。このため、構造物の耐震安全性を確保するためには、従来の“構造物をより剛に”といった耐震構造では限界があり、免震構造の導入が不可欠であると考えられ、研究も進められつつある（例えば文献 1)）。

筆者らは、鉄道ラーメン高架橋を対象とし、支持杭に対して摩擦杭の適用による免震効果について、解析的検討を行った。

2. 解析モデル・定数

本検討では、図 1 に示す標準的な実規模 3 スパン鉄道ラーメン高架橋モデルを対象とした。短辺方向を対象として、平面ひずみ状態を仮定した二次元 FEM 非線形動的解析を実施し、支持杭に対して摩擦杭とした場合の免震効果について検討した。解析モデルを図 2 に示す。

「鉄道構造物等設計標準・同解説」²⁾に準じて、上層梁と杭には曲げモーメント M ・曲率 ϕ 関係を付与し、柱と地中梁には塑性ヒンジを設けて曲げモーメント M ・回転角 θ 関係を付与し、構造部材の非線形性を考慮した（図 3 参照、軸力変動考慮、同図は軸力 0 の関係を示す）。また、地盤の非線形性については、二次元に拡張した Ramberg-Osgood モデルで表現した。地盤の解析定数を表 1 に示す。

3. 入力地震動

入力地震動として、「鉄道構造物等設計標準・同解説」に準じて、L1 地震動および L2 地震動（スペクトルⅠ、Ⅱ適合波）を適用した。入力地震動の時刻歴加速度波形と加速度応答スペクトルを図 4 に示す。

4. 二次元 FEM 非線形動的解析結果

解析結果の一例として、L2 地震動（スペクトルⅡ適合波）の場合の地盤の最大変形と最大せん断ひずみ分布を図 5 に、柱と地中梁の最大塑性率を図 6 に示す。これより、柱と地中梁の最大塑性率は、L1 地震動の場合には支持杭と摩擦杭で顕著な差異が認められないものの、L2 地震動の場合には、支持杭に対して摩擦杭では塑性率が低減していることがわかる。特にスペクトルⅡ適合波の場合に、地中梁の塑性率は大幅に低減している。L2 地震動の場合に塑性率が低減することは、 A_{c2} 層の杭近傍付近で支持杭に対して摩擦杭で地盤の最大せん断ひずみがより大きい結果とも対応している（図 5）。すなわち、摩擦杭では地盤の非線形性による免震効果とロッキングによる部材応力低減効果がある。上部構造の応答加速度については、地中梁位置で L2 地震動入力の場合に、支持杭に対して摩擦杭で 15～40%程度低減している。

5. まとめ

実規模の鉄道ラーメン高架橋モデルを対象として、非線形動的解析を実施し、支持杭に対して摩擦杭とした場合の免震効果について検討した。その結果、大規模地震に対して柱や地中梁の最大塑性率は大幅に低減され、摩擦杭を適用することによる免震効果が確認された。

参考文献 1) 澤田、永田、室野：摩擦杭による免震基礎構造の可能性、構造工学論文集、Vol.51A、pp.539-601、2005.3. 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説、耐震設計、1999.10.

表 1 地盤の解析定数

土質区分	地層	レベル GL(m)	γ (kN/m ³)	N値	V_s (m/s)	$\gamma_{0.5i}$	h_{max}
Ac1	粘性土	-3.301	12	0	70	1.4×10^{-4}	0.23
Ac2	粘性土	-13.301	17	10	130	1.4×10^{-4}	0.23
Dc1	粘性土	-20.001	16	15	220	1.4×10^{-4}	0.23
Ds1	砂質土	-23.701	19	50	300	3.5×10^{-5}	0.27
Ds2	砂質土	-24.501	19	30	300	3.5×10^{-5}	0.27
Dc2	粘性土	-27.801	16	15	220	1.4×10^{-4}	0.23
Ds3	砂質土	-32.181	20	75	400	—	—

注 1) 地下水位は、GL±0.0m とする。
注 2) $\gamma_{0.5}$ は地盤の拘束圧依存を考慮する。 $\gamma_{0.5i}$ は単位平均有効拘束圧 $\sigma'_m = 1 \text{ kN/m}^2$ の値を示す。
注 3) 地盤種別：G4 地盤（固有周期 $T=0.55\text{s}$ ）

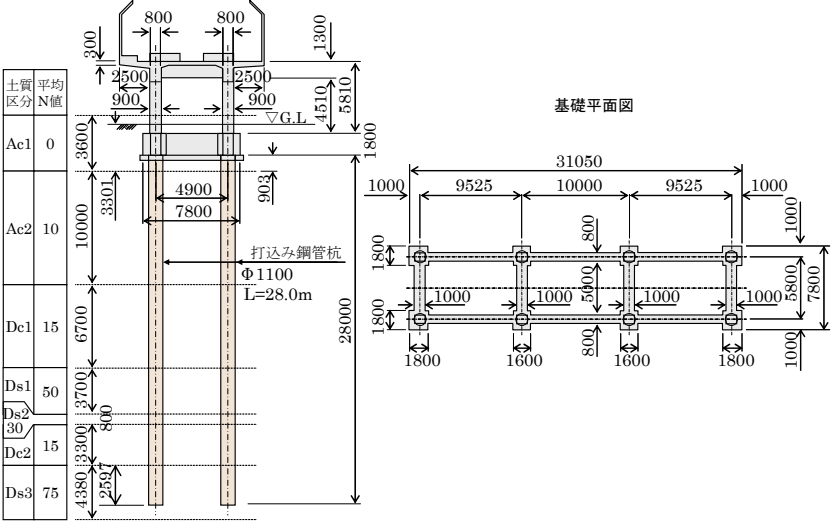


図 1 実規模 3 スパン鉄道ラーメン高架橋モデル

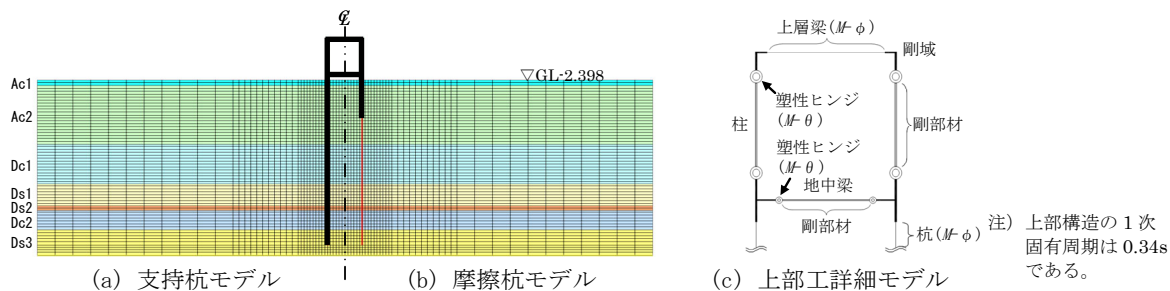


図2 二次元 FEM 非線形動的解析モデル (底面: 粘性境界、側方: 周期境界)

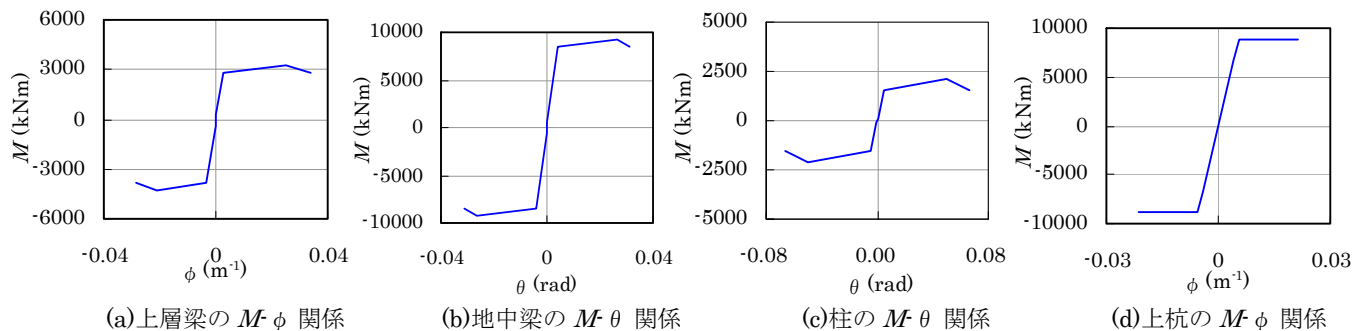


図3 構造部材の非線形特性

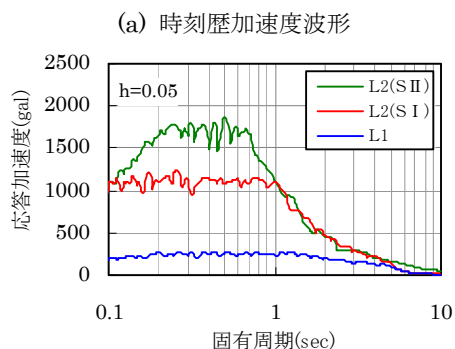
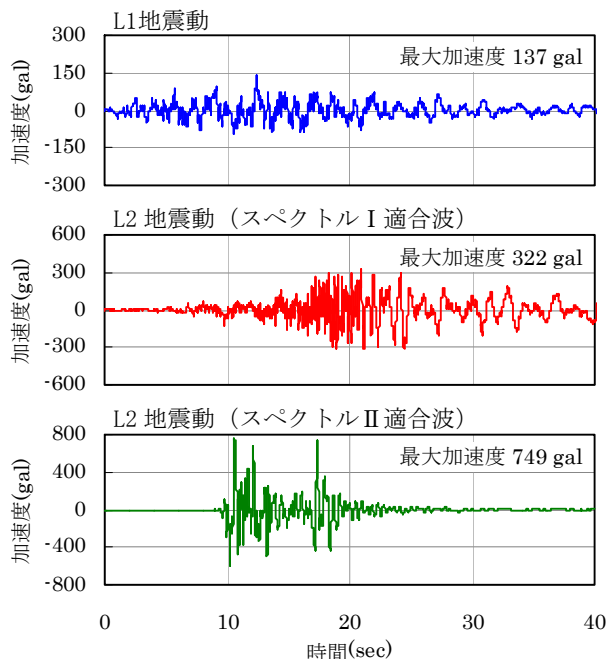


図4 入力地震動

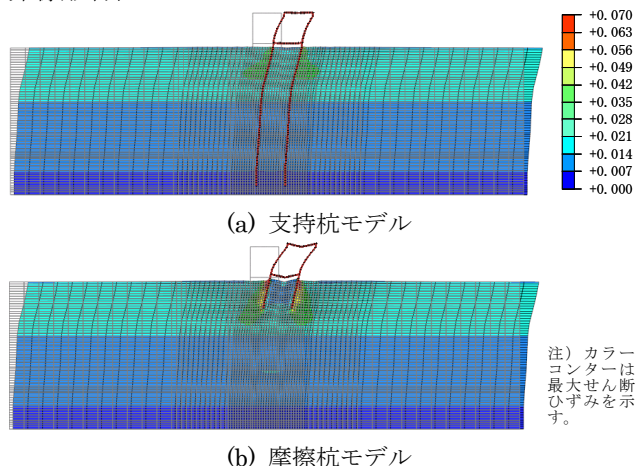


図5 最大変形と最大せん断ひずみ分布 (L2地震動: スペクトル II 適合波)

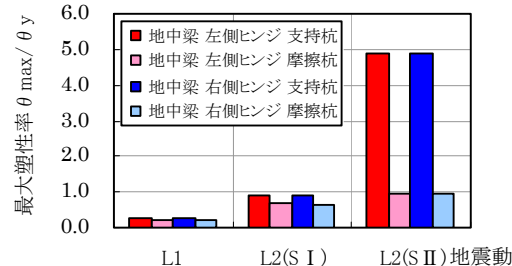
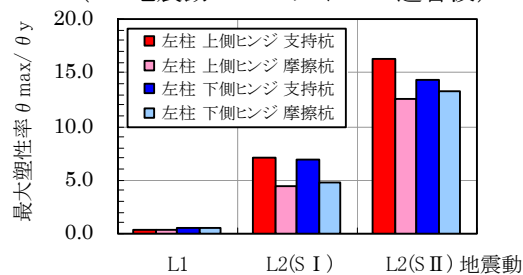


図6 最大塑性率