

免震橋の動的挙動に与える慣性力および地盤変位相互作用の影響

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○豊岡 亮洋
(財)鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆

1. はじめに

鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）においては、表層地盤の固有周期が0.5秒以下の場合には、地盤変位が構造物に及ぼす影響は少ないと考え、これを考慮しなくてもよいとされている。しかし、こうした短周期の地盤であっても、地盤の動的挙動によっては地盤変位が応答に大きく影響する場合もあると考えられる。

そこで本研究では、杭基礎橋梁を想定した動的解析を行い、主に杭の最大曲げモーメント応答の観点から、慣性力および地盤変位の両者が構造物の応答に及ぼす影響を検討した。特に、上部構造物の支承形式として固定および免震構造を想定することで、上部工からの慣性力相互作用の大小と応答との関係を明らかにした。

2. 解析モデル

解析対象は、図1に示すように杭基礎により支持されたRC橋脚構造とし、上部工からの慣性力相互作用の大きさを調整するため、支承部の構造として固定構造および免震構造の2種類を想定した。また、地盤の構成条件を表-1に示す。この表層地盤の固有周期は0.48秒となり、地盤変位の影響を無視し得るとされるG3地盤に分類される。

この構造物の動的解析にあたり、自由地盤の挙動およびこれが構造物に及ぼす影響を表現するため、橋脚—基礎—周辺地盤モデルの他に、非線形ばね—マス要素からなる自由地盤モデルを設定し、土柱と各杭の水平地盤ばねを接続したモデルを用いた（図2）。このモデル底部の工学的基盤面から地震動（L2地震動スペクトルII（G1地盤））を入力することで、自由地盤の応答が水平地盤ばねを介して基礎に入力され、上部工からの慣性力相互作用、および自由地盤・周辺地盤による地盤変位相互作用の両者を直接考慮することができる。

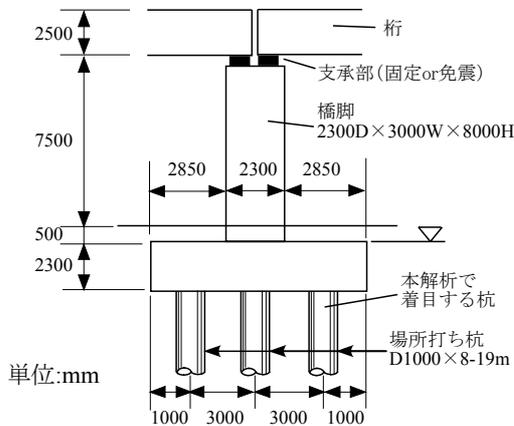


図1 解析対象構造物

表1 地盤条件

土質	層厚 (m)	N 値	湿潤単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断波速度 Vs (m/sec)
埋め戻し	3.3	3	16	100
粘性土	2.6	5	16	170
粘性土	5	10	16	215
粘性土	4	4	16	160
粘性土	6.4	20	16	270
砂質土	1	50	20	400

橋脚および杭の非線形特性は、表2に示すトリリニア M- ϕ 関係を与えて設定し、履歴則は修正武田モデルを適用した。また、免震支承は□600mm×ゴム総厚120mm（ゴム材料：G10）、鉛プラグ100mm×4本とし、桁あたり3基の支承を配置した。履歴特性は、ひずみ依存型バイリニアモデルにより表現した。

自由地盤は深さ1mごとに地盤を分割し、フーチング面積の100倍の断面積を与えた土柱を設定した。この土柱を、水平地盤ばねを介して杭と接続した。土柱間のせん断特性は、表1の条件をもとに、骨格曲線をR-Oモデル、履歴則をMasing則として与えた。最大減衰定数および基準ひずみはそれぞれ0.20, 0.001とした。

解析は1) 支承部固定（基本モデル）、2) 免震構造（免震モデル）、3) 桁・橋脚重量0の構造（地盤モデル）

キーワード 免震橋梁, 慣性力相互作用, 地盤変位相互作用

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 TEL:042-573-7394

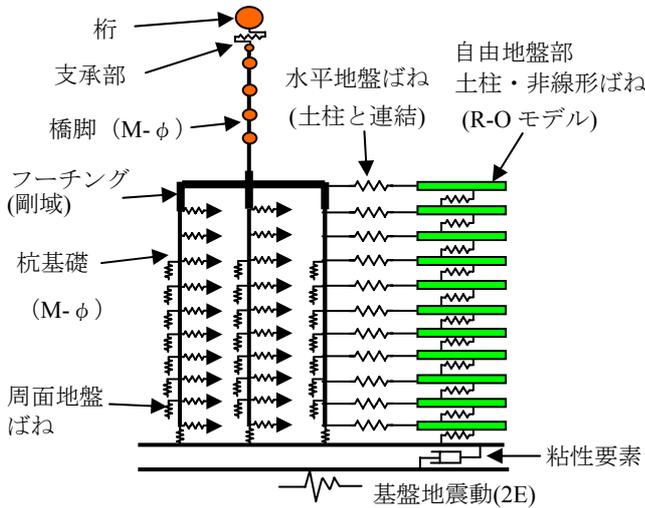


図2 解析モデルの概要

表2 橋脚および杭 (1本あたり) の非線形特性

	Mc	My	Mm
	(kN-m)	(kN-m)	(kN-m)
橋脚	ϕc (1/m)	ϕy (1/m)	ϕm (1/m)
	3758.4	27874.2	31205.7
杭	0.00011	0.00235	0.0301
	910.9	1678.5	1706.2
	0.00085	0.00520	0.0367

表3 橋脚の最大応答塑性率

	最大応答 塑性率 (1/m)
基本モデル	0.0025
免震モデル	0.040

の3ケースについて行った. ここで, 杭モーメント時刻歴には地盤変位および慣性力相互作用の両者の影響が含まれるが, これらを近似的に分離するため, 地盤変位による影響は地盤モデルの応答を用い, 慣性力による影響は, 基本モデルおよび免震モデルの応答から地盤モデルによる応答を時刻歴で差し引くことにより求めた.

3. 橋脚応答および杭の最大モーメント分布

橋脚の最大応答曲率を表3に示す. このように免震構造の採用に伴い, 構造減衰の増加等により橋脚の応答塑性率が低減されていることがわかる. 次に, 図1に示す着目杭について, 最大モーメントの深さ方向分布を図3(a)に, また慣性力および地盤変位相互作用によるモーメント最大値分布を図3(b), (c)に示す. まず, 慣性力による寄与に着目した図3(b)をみると, 免震モデルでは杭頭および杭先端から深さ5m付近において基本モデルよりも応答が低減されている. しかし, これよりも深い位置(12m付近)においては, 杭のモーメント分布は地盤変位による影響を相対的に大きく受け, 免震化による慣性力の低減効果は限定的であることが分かる. 実際, 免震モデル, 基本モデルの両者とも, 図3(a)の全体モーメント分布は(c)の地盤変位による分布に近い形状をしており, 今回対象とした構造・地盤条件においては, 杭の最大モーメント分布に及ぼす地盤変位の寄与は無視し得ない結果となった. 特に, 地盤深部で速度構造が急変するような場合, 地盤変位の影響を適切に考慮しなければ杭のモーメント分布を適切に評価できない危険性があると考えられる.

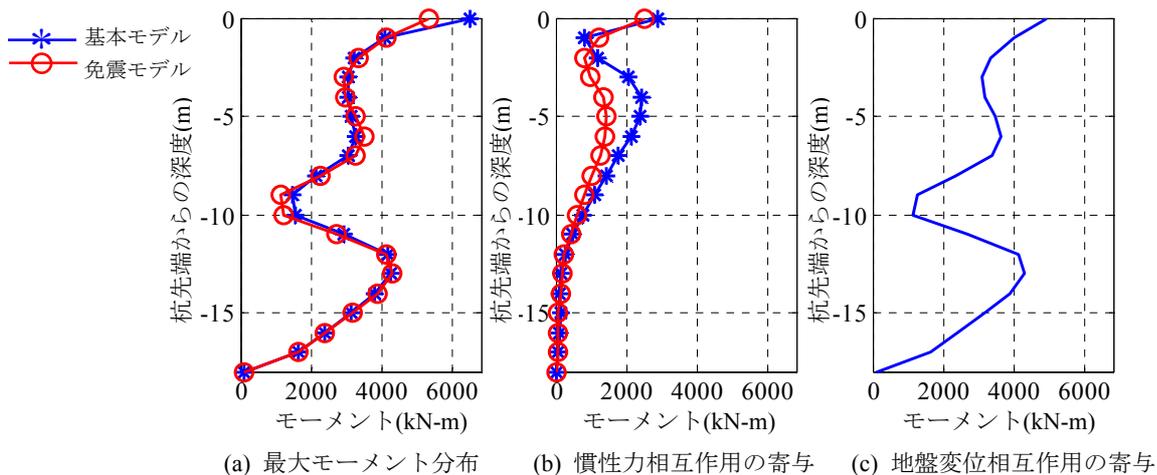


図3 杭深さ方向の最大モーメント分布

5. まとめ

本研究では, 慣性力および地盤変位相互作用の両者が, 免震および非免震構造の杭基礎の挙動に及ぼす影響を検討した. その結果, 免震構造は, 支承部固定の構造と比較して慣性力は軽減されるが, 相対的に地盤変位の影響が大きくなり, 杭の最大モーメント分布は両者ともほぼ同様となることが確認された. このことから, 良好な地盤であっても, 地盤変位による相互作用を適切に考慮する必要があることを示した.