

杭軸方向ばねのモデル化が杭基礎の挙動に及ぼす影響

長大 正会員 ○鍋島 信幸

長大 正会員 高橋 雅裕

1. はじめに

橋梁構造物を構成する要素の中で、基礎構造を支持する周辺地盤が最も非線形性が強く、その力学的挙動を表す諸定数はばらつきが大きく振幅依存性も大きい。動的解析モデルを作成する上でも、そのモデル化が動的解析結果に大きな影響を与える。本報告は、杭基礎の基礎・地盤間ばねの1つである杭の軸方向ばねのモデル化について検討を行った。杭軸方向ばねの設定方法として、既往の載荷試験に基づく推定法(L/D法)によるものと、土質試験の結果による推定法($C_s \cdot k_v$ 法)によるものがあり、前者は杭頭位置の集約ばね、後者は各深さでの杭周面の摩擦抵抗ばねと杭先端の鉛直抵抗ばねの分布ばねでモデル化される。ここでは、杭軸方向ばねの設定法の違いが、杭基礎全体の挙動に及ぼす影響を確認した。

2. 検討対象とする杭基礎¹⁾

検討対象とした杭基礎は、基礎構造一周辺地盤系を対象とした振動実験で、相対密度 Dr が異なる乾燥砂質土層内($Dr=60\%$, 85% , 90%)に杭基礎を配置して70G場で行った遠心動的載荷実験である。図-1に示す寸法は1G場に換算している。杭基礎はアルミニウムで製作された 3×3 の群杭基礎であり、杭基礎の上はフーチング、橋脚、上部構造慣性力相当のおもりで構成される。入力地震動は1995年の兵庫県南部地震の神戸海洋気象台記録波形を0.7倍したものである。

3. 解析モデルと解析手法

動的解析モデルを図-2に示す。解析モデルは基礎構造一周辺地盤一体モデルとし、L/D法に基づくモデルと $C_s \cdot k_v$ 法に基づくモデルの2モデルを作成した。両者は、杭の軸方向ばねのモデル化のみ異なる。本検討のパラメータである杭軸方向ばねは、L/D法に基づくモデルは押し込み・引抜き支持力を上限とする非対称バイリニアの集約ばねでモデル化した。

$C_s \cdot k_v$ 法に基づくモデルは、杭周面の摩擦抵抗ばねと杭先端の鉛直抵抗のばねを分布ばねでモデル化し、履歴則は前者はスリップ、後者は片側スリップとした。 $C_s \cdot k_v$ 法におけるばね剛性および上限値の設定には、杭基礎設計便覧での設計式を用いた。具体的には、杭と周面地盤の摩擦係数 C_s は、鋼管杭の設計式に準じて $C_s=360N$ とし、最大周面摩擦力度 f_i は、中掘り杭の値を参考に $f_i=2N$ ($\leq 100kN/m^2$)とした。杭先端の鉛直抵抗ばねの鉛直地盤反力度 k_v は、 N 値から推定した地盤の変形係数 E_0 ($=2800N$)より、図-2に示す式を用いて算出した。その他、杭軸直角方向ばね²⁾と周辺地盤にも非

線形性を考慮した。周辺地盤の非線形性の設定に用いる最大せん断応力度 τ_f は、観測加速度から推定した地盤の $\tau-\gamma$ 曲線から求め、周辺地盤のみの動的解析により、自由地盤の応答を再現できることを確認した。

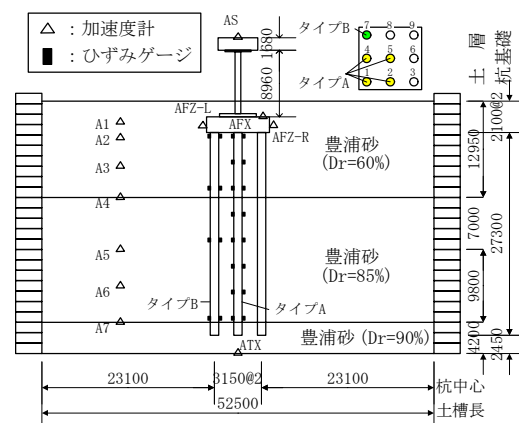
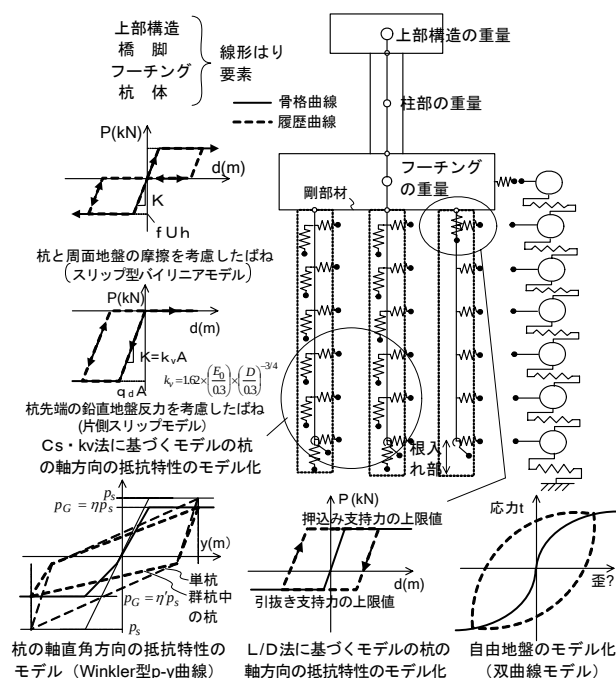
図-1 解析対象とする実験供試体¹⁾

図-2 動的解析モデルの概要

キーワード 杭基礎 動的解析 杭軸方向ばね L/D法 $C_s \cdot k_v$ 法

連絡先 〒305-0812 茨城県つくば市東平塚 730 TEL 029-855-3113 FAX 029-852-8545

4. 解析結果及び考察

図-3 は、上部構造慣性力作用位置における加速度の時刻歴である。L/D 法に基づくモデル、Cs・kv 法に基づくモデルのいずれも、最大・最小加速度が生じる時刻は実験結果よりもわずかに早く、また加速度を若干大きめに評価しているが、概ね実験結果を再現できているといえる。Cs・kv 法に基づくモデルでは、最大・最小加速度が生じる以前の応答（5秒～7秒付近）が大きく、同モデルの初期の鉛直剛性が実際よりも若干硬かった可能性がある。ただし、最大応答後は、鉛直方向の剛性が低下し、両モデルの結果とも同程度の応答となっていることがわかる。

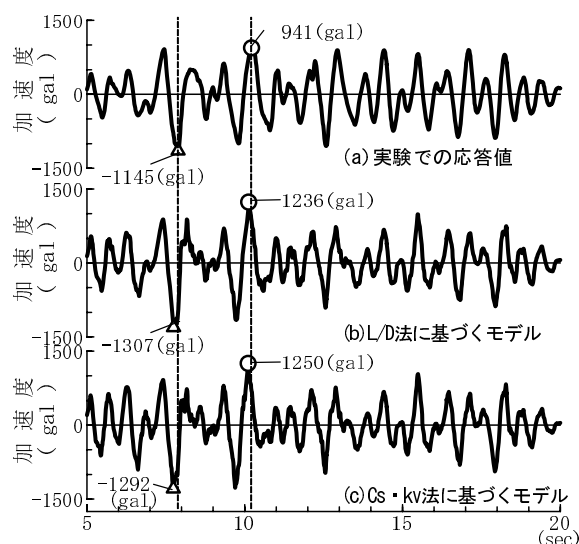


図-3 上部構造慣性力作用位置の加速度

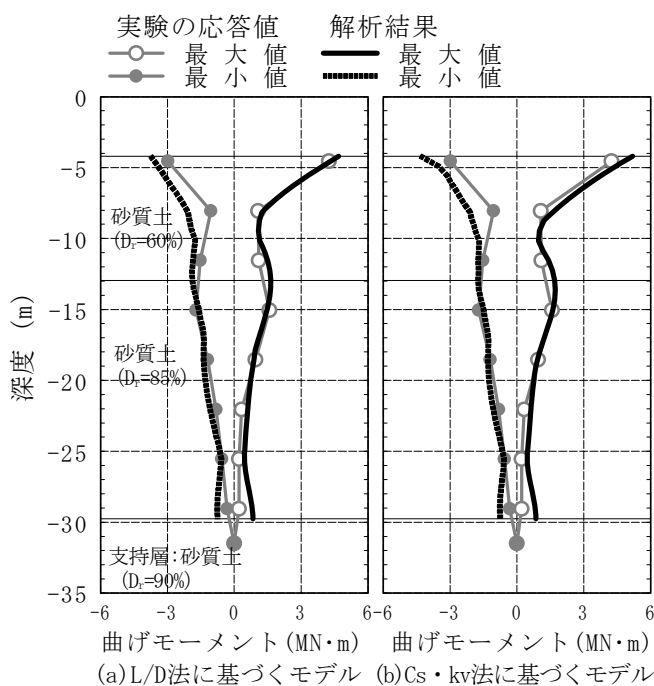


図-4 外側の杭体に生じる曲げモーメント分布

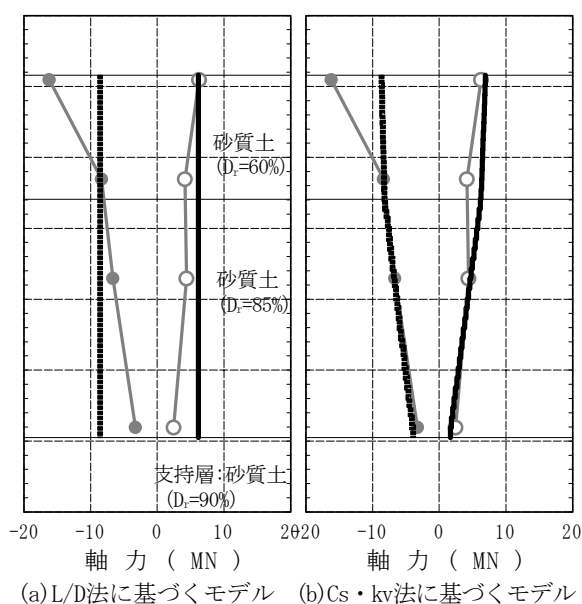


図-5 外側の杭体に生じる軸力分布

図-4 に示す杭体に生じる曲げモーメントは、杭頭付近に着目すると、L/D 法に基づくモデルの方が若干再現性は高いが、両解析モデルとも大差なく概ね実験結果を再現できたといえる。図-5 に示す杭体に生じる軸力では、L/D 法に基づくモデルでは最小値側の杭頭の軸力を過小評価しているが、最大値は杭頭位置の軸力を概ね再現できた。ただし、杭頭ばね位置の集約ばねであるため、深さ方向の軸力変化は再現できない。一方、Cs・kv 法に基づく解析モデルでは、L/D 法と同様、杭頭付近の最小値は過小評価しているが、最大値と深さ方向の軸力変化は、良く再現できている。

5. おわりに

杭軸方向ばねのモデル化に着目して、杭基礎の動的載荷実験に対する再現解析を行い、いずれのモデル化も大差なく、概ね実験結果を再現できることが確認できた。ただし、本実験は外側の杭体で引抜きの上限值にわずかに達する程度の応答だったが、よりロッキングが卓越する杭基礎の場合、杭軸方向ばねのモデル化がより重要になると考えられ、今後は、このような杭基礎についても検討を行う必要がある。なお、土木研究所のご厚意により、本検討に必要な情報について詳細なデータを頂けたことに、深く感謝致します。

参考文献

- 1) 土木研究所ホームページ内；<http://www.pwri.go.jp/caesar/profile/04-03.html>
- 2) 白戸真大: Winkler 型の基礎・地盤間水平相互作用バネの履歴モデル, 第 27 回土木学会地盤工学論文集, 2003