

自然地盤のひずみを考慮した p-y 双曲線モデルの振動実験への適用性について

ジェイアール九州コンサルツ 正会員 村上 昌彦  
 鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆

1. まえがき

レベル2地震に対する基礎構造物の耐震設計では、地盤や部材の非線形性を考慮した静的解析や動的解析が必須である。そのため、杭の p-y 関係についても線形から非線形領域までを連続的に取り扱うモデルが必要となる。著者らは、地盤のひずみレベルに応じた弾性係数を用いる p-y 双曲線モデルを提案し、小ひずみ～大ひずみ領域まで、ある程度近似できることを明らかにした<sup>1)</sup>。そこで、今回は提案モデルに履歴法則を取り入れて、群杭基礎模型の振動実験で得られた p-y 関係のシミュレーションを行い、モデルの妥当性を検証した。

2. 実験の概要

実験は、せん断土槽を用いて振動実験を行った。遠心载荷装置を用いて 30G 場で実験した。模型地盤は豊浦砂を用い、空中落下法により相対密度 70% となるように作製した。模型杭は直径 D=20mm (1G 換算 0.6m)、杭長 400mm (1G 換算 12m) のアルミ杭で、载荷方向に 3 列、奥行き方向に 2 列の群杭とした。杭頭はフーチングに固定し、杭先端はピン結合とした。入力波は、60Hz (1G 換算 2Hz) の sin 波形 (波数 30) であり、加振レベル 9g (1G 換算 300gal) である。実験概要図を図-1 に示す。

計測項目は、杭の曲げひずみ、地盤及びフーチングの加速度等である。杭の曲げひずみについては、端杭 1 本と中杭 1 本について計測している。

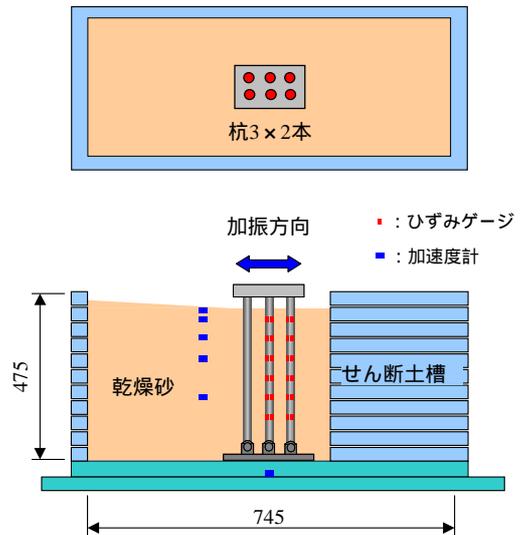


図-1 実験概要図

3. 実験結果の整理

実験では、加振が落ち着いたところで 1 周期分の結果を抽出した。模型杭にはひずみゲージが貼付されており、このひずみから曲げモーメントを算定し、7 次関数でフィッティングした。この値  $M(z)$  を 2 階微分することによって地盤反力  $p(z)$  を、2 階積分することによってたわみ  $y(z)$  を算定した。また、提案モデルでは地盤変位が必要となるが、地盤中の加速度計から得られた波形を 2 階積分することによって求めた。地盤反力は杭と地盤の相対変位により発揮されるので、杭のたわみ  $y(z)$  と地盤変位  $y_g(z)$  の相対変位  $y_r(z)$  を算定した。

4. p-y 関係のシミュレーション

地盤ひずみに応じて弾性係数を補正する手法<sup>1)</sup>を図-2 のフローに示す。本実験では群杭基礎であったことから、鉄道基準<sup>2)</sup>に準拠して群杭の影響を考慮している。初期地盤反力係数については補正係数  $e_g=0.534$  を考慮し、有効抵抗土圧力度については  $m=0.94$ 、杭列

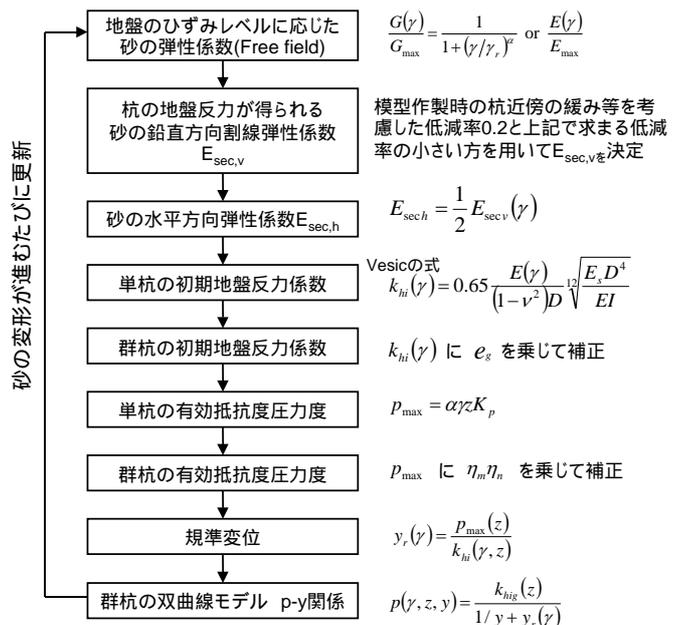


図-2 p-y 関係の算定フロー

キーワード p-y 関係, 群杭, 履歴ループ

連絡先 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 1-13-6 TEL 092-413-1035 FAX 092-413-1022

による補正係数  $n$  は前杭：中杭：後杭=1:1:1 とした。

図-3 に自然地盤のひずみを考慮したせん断弾性係数  $G$  を用いて算定した初期地盤反力係数  $k_{hi}(z)$  と杭～地盤の相対変位  $y$  の関係を示す。初期地盤反力係数  $k_{hi}(z)$  は B 点で最大値となるが、これは B 点が自然地盤のひずみが微小であることを示している。その他の A, C, D 点は値が小さくなっており、自然地盤のひずみが増加したため初期地盤反力係数  $k_{hi}(z)$  が減少していることが分かる。

本実験は正弦波による振動実験であるため、履歴曲線の形状及び履歴曲線の反転と骨格曲線への乗り移りのルールとしてメーキング則を適用した。

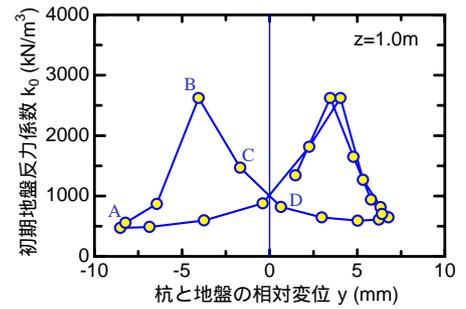


図-3 初期地盤反力係数と相対変位の関係

$$p \pm p_a = k_{hi}(z) \frac{y \pm y_a}{1 + \left| \frac{y \pm y_a}{2y_r} \right|} \quad (1)$$

ここに、 $y_a$  は相対変位の最大値、 $p_a$  は相対変位が最大値の時の地盤反力である。図-3 の関係が成り立つ時の  $p$ - $y$  関係の概念図を図-4 示す。(1)式の初期地盤反力係数  $k_{hi}(z)$  はひずみに応じて値が変わるため、それと同時に、骨格も点線に示すように時々刻々乗り移り、結果として、B 点のような極大値をもつような履歴曲線が描かれる。

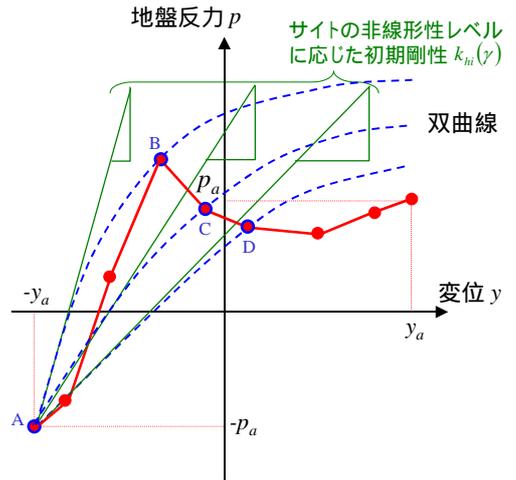


図-4 p-y 関係の概念図

図-5 に、 $p$ - $y$  関係のシミュレーション結果を示す。実験結果も先に述べたように極大値を持っており、提案モデルを用いた履歴曲線により表現することができている。また、ひずみ依存しない水平地盤反力係数を用いた場合の骨格を点線で示しているが、浅い位置では実験値より初期勾配が大きくなっており、地盤の非線形化が卓越するような地盤では、地盤のひずみに応じて水平地盤反力係数を低減させた方が適合のよいことが分かる。また、深くなるにつれて、 $p$ - $y$  関係は線形に近いループとなってくるが、シミュレーション結果もその傾向を示しており、提案モデルが線形領域から非線形領域まで良好にモデル化できていることが分かる。

7. おわりに

本稿では、自然地盤の非線形性を考慮した杭の  $p$ - $y$  関係のシミュレーションを試みた。その結果、簡易なモデルであるにもかかわらず、振動実験から得られた  $p$ - $y$  関係を良好にシミュレーションすることができた。

参考文献

- 1) 室野剛隆, 村上昌彦, 畠中仁, 棚村史郎: 地盤変位を受ける単杭の  $p$ - $y$  関係に関する検討, 第 11 回日本地震工学シンポジウム, 2002.11.
- 2) (財) 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.

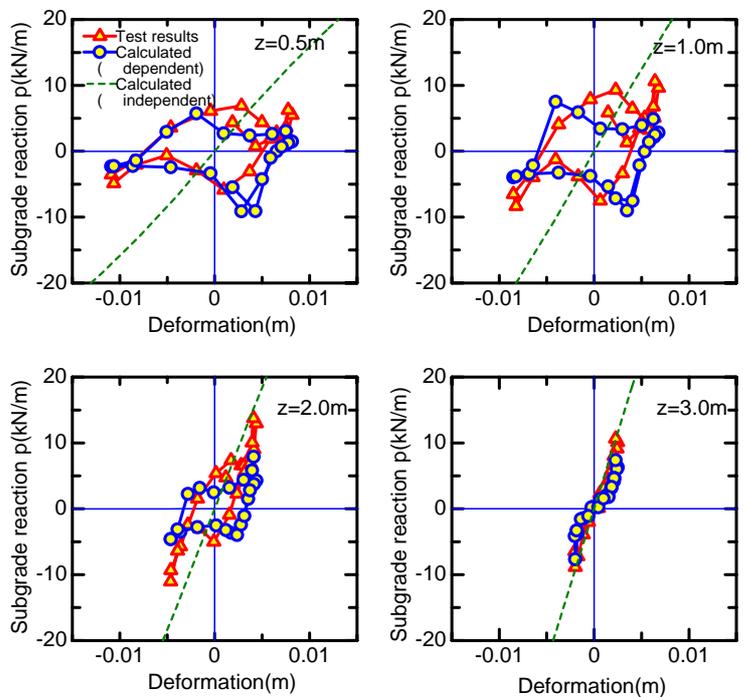


図-5 p-y 関係のシミュレーション