

I - B 403

群杭解析の等価な直立梁モデルについて

(財)鉄道総合技術研究所	正会員	羅 休
東京大学生産技術研究所	正会員	小長井一男
(財)鉄道総合技術研究所	正会員	西村 昭彦

1 まえがき

兵庫県南部地震のような大地震時の群杭基礎の耐震性能を評価する際に、地盤と基礎の動的相互作用を非線形性領域で扱える解析手法が必要である。この地盤と杭双方の非線形性を合理的に扱うためには時間領域での一体解析法が望まれるが、現状ではこのような解析法は非常に煩雑で、設計実務に応用するのは難しい。小長井は薄層要素法で表現した地盤内部の群杭基礎を一本の等価な直立単純梁にモデル化した計算負荷の極めて少ない近似解析法を提案した¹⁾。この群杭の等価モデルは時間領域への拡張も可能で、群杭の非線形相互作用問題を簡便に扱えるものと期待できるが、そのためにはこの群杭の等価モデルによる計算精度が実務上十分であるかどうか把握する必要がある。本文は群杭の杭頭剛性と等価な逸散減衰などの近似解を、厳密解と比較することによって、その手法の妥当性を検討したものである。

2 等価な直立梁モデル

弾性波動論による群杭基礎の解析を行う際に、あらゆる組み合わせの杭間の相互作用を評価することが求められるが、この解析は杭の本数が多くなるほど膨大になる。しかしながら実際には、杭と杭の間隔が大きい、または加振周波数が非常に高い場合を除いて、例えば鉄道橋橋脚基礎に用いられるような杭の間隔は杭径の2~3倍の場合が多く、杭間の相互作用の影響は、地震工学で通常問題になる周波数範囲では顕著に現れない。図1の写真は3×3本の模型鋼管群杭の交番載荷実験の後、これを引き抜いた状況である。フーチング下の杭体に取り囲まれた土が杭と一体になっていることを示している。図2は等価な直立梁モデルの変形パターンを模式的に示したものである¹⁾。この梁の剛性マトリックスは以下の仮定を満たすように設定される。すなわち、

- (1) 各杭は Bernoulli-Euler 梁とし、お互いの間隔を等しく保って変形する。この際杭間に緊密に挟まれた土は杭とともに動く。
- (2) 周辺地盤から各杭に伝達される周面せん断力によるモーメントの寄与は無視する。

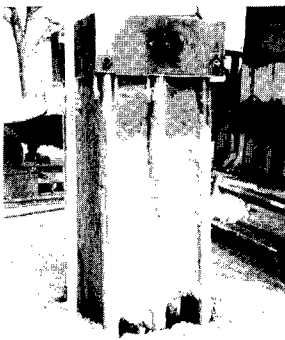


図1 実験での杭と土の一体化現象

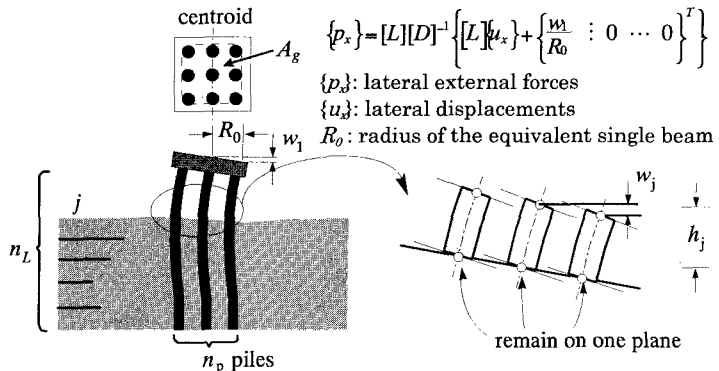


図2 群杭の等価な直立梁モデルと変形仮定¹⁾

キーワード：群杭，直立単純梁，近似法，杭頭剛性，逸散減衰

連絡先：〒185-0034 東京都国分寺市光町 2-8-38

Tel:042-573-7262

Fax:042-573-7248

- (3) 杭頭部分は剛体フーチングで固定されている．すなわち各杭頭の回転角は等しく同じ平面上にある．
 (4) 薄層各要素の境界面上にある杭断面の中心は同じ平面上にある．しかし、杭そのものの断面はこの平面と必ずしも一致しない．

3 解析結果の考察

以上のような仮定で求められた杭頭水平方向剛性(k_{xx})と、あらゆる杭間の相互作用を全て考慮した厳密解との比較を図3に示す．杭間隔 s と杭径 d の比 s/d は 2.5 としている．両者は図示された周波数領域で極めてよく一致している．また、3次元波動理論に基づいた Kaynia ら²⁾の結果との比較を図4に示す．ここでは、実数部(k')と虚数部(k'')からなる等価な逸散減衰($h_{eq} = \sin[0.5 \tan^{-1}(k'/k'')]$)と群杭の kinematic 相互作用による有効入力動について比較を行なっている．計算条件は、 $s/d=2$ 、地盤と杭のヤング係数の比 $E_s/E_p=10^{-3}$ (軟らかい地盤)、杭長と杭径の比 $L/d=15$ と仮定している． 3×3 本の群杭の逸散減衰は 2×2 の場合より大きく、kinematic の影響も強く出ている．これは、杭本数と杭間に挟まれた土の質量が増えたことによって、付加質量効果が顕著に現われたものである．ここでも、異なる本数の群杭に対して、水平(図4(A))と回転(図4(B))方向の逸散減衰および有効入力動(図4(C))が厳密解に概ね一致していることが示された．特に、群杭で実務上問題になる無次元周波数範囲($a_0 < 0.3$)で両者の一致がよいことから、この近似手法は実務上十分な精度を満たすことが確認された．

4 まとめ

地盤と群杭の非線形相互作用の実務的な解析法の一つの試みとして、群杭を一本の等価な直立単純梁に近似する手法が小長井から提案された．この近似法の仮定の妥当性と計算精度を把握するために、厳密法との比較を行なった．その結果、例題として取り上げた 2×2 、 3×3 本の群杭の杭頭剛性、等価な逸散減衰と有効入力動が実務上十分な精度で評価できることが確認された．

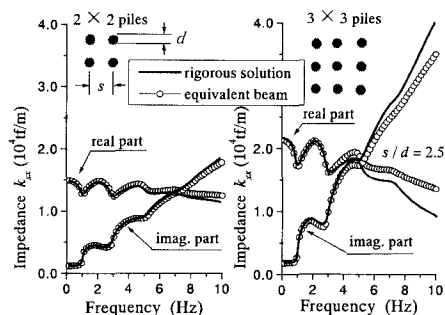


図3 杭頭剛性 k_{xx} の近似法と薄層要素法の比較

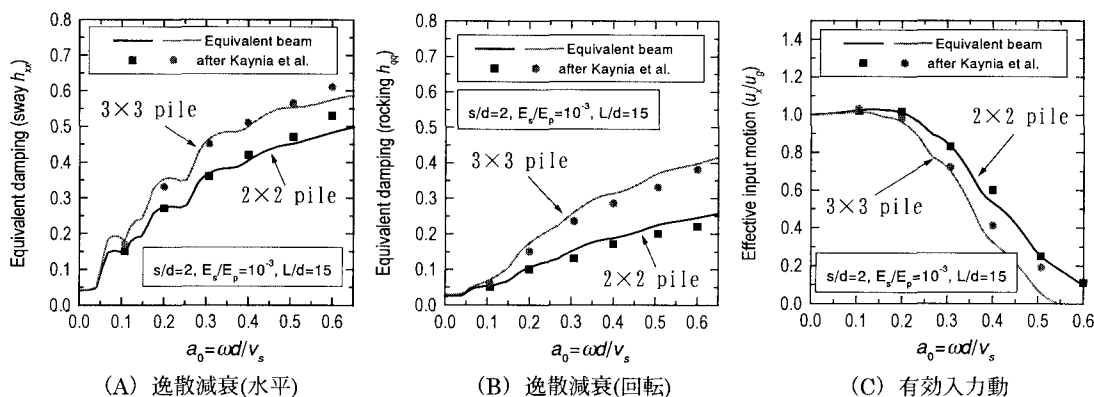


図4 等価逸散減衰、有効入力動における近似法と厳密法との比較

参考資料

- 1) Konagai, K.: An Upright Single Beam Equivalent to Grouped Piles, 生産研究, (9), 13-16, 1998.
- 2) Kaynia, A. and E. Kausel: Dynamic Stiffness and Seismic Response of Pile Groups, NSF report, NSF/CEE-82023, 1982.