第Ⅲ部門　　模型実験および数値解析による杭の配置が群杭の水平力学挙動に与える影響の解明

摂南大学理工学部　　学生員　　○奥田　勝稀
摂南大学理工学部　　正会員　　寺本　俊太郎

1. 研究の背景

大震災の教訓から構造物の耐震補強への関心が高まっている．その構造物を支える基礎に対する耐震補強方法としては，既存の基礎に対して杭とフーチングの増設によって補強を行う，増し杭工法が一般的である．増し杭工法とは，既存の基礎に異種の基礎を組み合わせるという特性上，一般的な群杭基礎よりも力学挙動が複雑となり，新旧基礎の荷重分担機構が不明となるため，現状では過剰設計にならざるを得ない．そこで，本研究では，模型実験と数値解析を実施し，新旧基礎の境界面における杭の位置関係の違いが群杭効果に与える影響について検討する．

2. 模型実験および数値解析の概要

模型実験の概要および実施ケースを**図 1** に示す．並列 2 本群杭+単杭の 3 本群杭に対して，錘によって静的水平荷重を与える．Pile1 が pile2 と直列位置となるときを 0°とし，15°，27°と成す角を変更し，杭の相互作用に与える影響を解明する．なお，基礎全体の回転を抑制するため，フーチング左右は鋼製のリニアガイドで拘束されている．

数値解析には，3 次元弾塑性 FEM コード「DBLEAVES[1)]」を用いた．有限要素メッシュを**図 2** に示す．杭はハイブリットモデル [3)]，地盤のモデルは弾塑性モデル subloading t_{ij} model[3)]を用いた．入力パラメータとして，弾性パラメータは実験値を用い，弾塑性パラメータの圧密指数$\lambda = 0.0032$ および膨潤指数$\kappa = 0.0002$ は別途実施した単杭の水平載荷実験結果を用いて決定した．

3. 実験および解析結果

図 3 に荷重変位の関係を示す．初期剛性について実験と解析を比較すると，実験の Case2, 3 は数値解析と近い挙動を示しており，良好な精度であると言える．Case1 の初期剛性が低い点については，実験精度の問題が大きいと考えており，複数回実施して確認する予定である．降伏後の挙動については，数値解析は剛性を過大評価する傾向にあり，弾塑性パラメータについて再検討する必要がある．ケース間について比較すると，実験の case1 を除き，各ケースにおいて大きな差は見られず，3 本群杭としての水平剛性は pile1 の位置関係によって変化が小さいと言える．

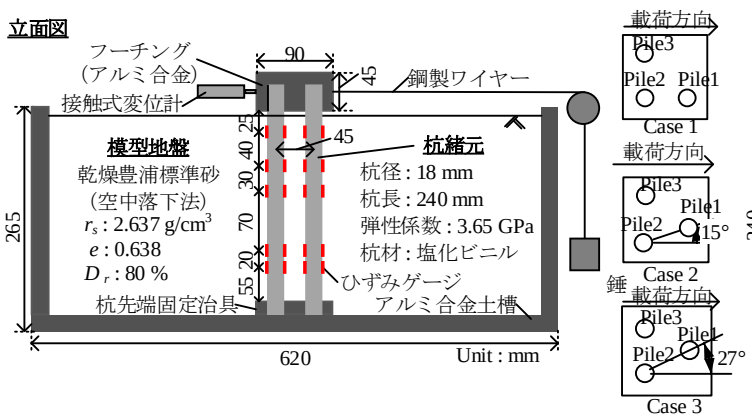


図 1　実験の概要および実施ケース

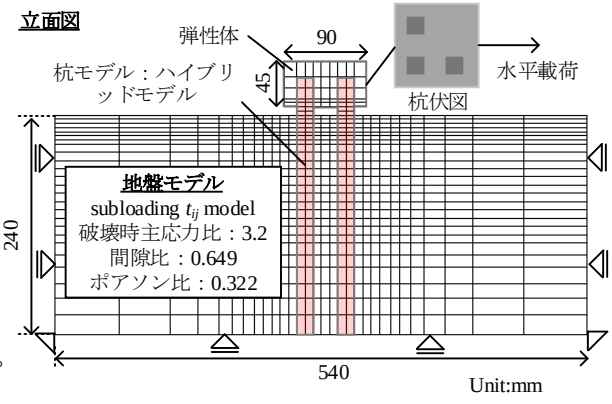


図 2　有限要素メッシュ

Okuda Katsuki
o52kait8u@gmail.com

図 4 に杭径の 10 %変位時における単杭の杭頭せん断力を 1 とした，各杭の荷重分担比を示す．図 4(a)には模型実験と再現解析を示し，図 4(b)には既往の数値解析[4]の結果を示す．Pile1 の位置関係の影響について確認すると，実験および解析の双方において，Pile2 と直列位置に Pile1 がある場合（Case1）には Pile2 の荷重分担比は低く，逆に Pile3 の荷重分担比は大きくなっている．成す角が 27° に近づくにつれ，Pile2 の荷重分担比が大きくなり，Pile3 の荷重分担比は小さくなっていく．この挙動は，既往の研究と定性的傾向は同じであると言える．

Pile1, 2, 3 の荷重分担比の平均（群杭効率）について見ると，成す角の影響はあまり受けていない．図 4(a)と図 4(b)の荷重分担比の平均を比較すると，本研究結果である図 4(a)の方が小さい．ここで，寺本による数値解析は遠心模型実験の再現解析であるが，本研究は 1G 場の模型実験の再現解析であり拘束圧が低い条件である．ここで，木村の研究結果[5]である，相対剛性が大きくなると群杭効果が低下する事を踏まえると，本研究の分担比が低いことは妥当であるといえる．

4. まとめ

配置を変えた並列 2 本群杭+単杭の模型実験および再現解析を実施し，増し杭を想定した群杭内の相互作用の検討を行った．その結果，既往の研究と同様に，並列 2 本群杭の前列杭の位置関係を変えた場合，各杭の荷重分担比は大きく変動するが，3 本群杭全体の群杭効率にはあまり大きな影響がないことを模型実験と再現解析の双方で確認できた．

5. 今後の予定

1) 特に実験結果で不整合が見られた Case1 を中心とし，各ケースに対して実験を複数回行い，実験精度の評価を行う．
2) 地盤の降伏後の挙動を適切に表現できるように，地盤モデルやパラメータについて再検討する必要がある．
3) 単杭が並列 2 本群杭の背面にある場合，杭中心間隔が異なる場合，杭径が異なる場合，杭剛性が異なる場合についての実験的検討を行う．
4) これまでの研究結果を総合し，増し杭の設計手法への適用を目指していく．

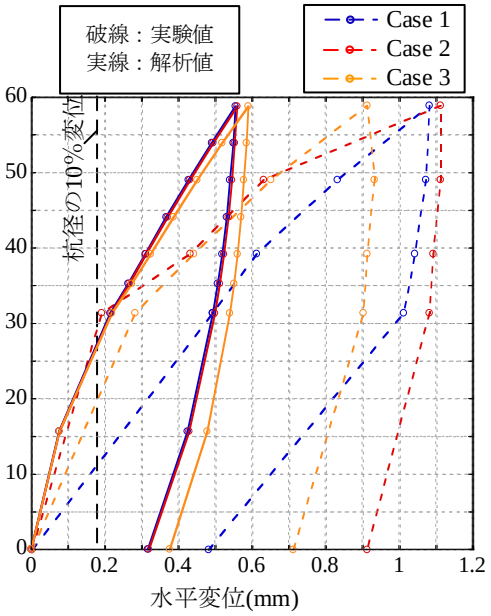
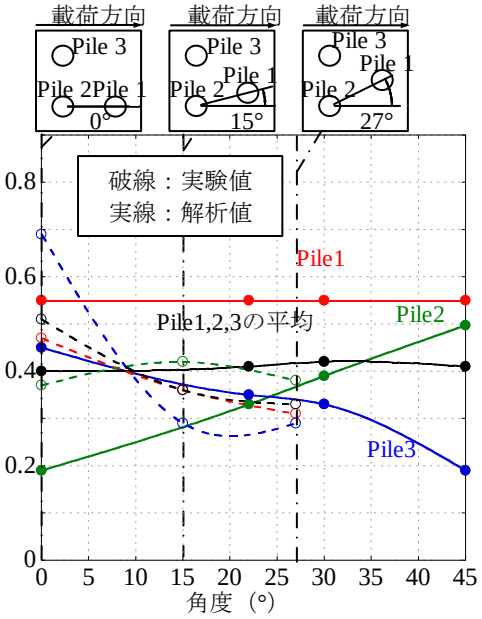
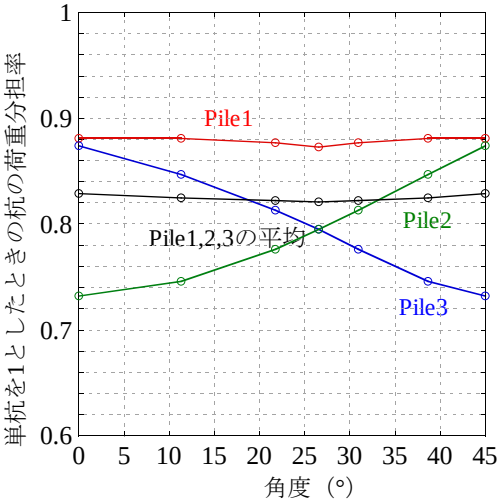


図3　荷重変位の関係



(a) 模型実験と再現解析



(b) 寺本による数値解析[4]

図　4杭位置と各杭の荷重分担比

参考文献

1) Ye,B.,Ye,G.L.,Zhang,F.,Yashima,A.: Experiment and numerical simulation of repeated liquwfaction-consolidation of sand, *Soils and Foundations*, Vol.47, No.3, pp.547-558.2007. 2) Zhang,F.,Kimura,M.,Nakai,T.and Hoshikawa,T.: Mechanical Behavior of Pile Foundaions Subjected to Cyclic Lateral Loading Up to the Ultimate State, *Soils and Foundations*, Vol.40, No.5, pp.1-17, 2000. 3) Nakai,T.and Hinokio,M.: A simple elastoplastic model for normally and over over consolidated soils with unified material parameters, *Soils and Foundations*, Vol.44, No.2, pp.53-70, 2004. 4) Teramoto, S. and Kimura, M.: Investigation of pile group effect subjected to influence of pile arrangement and pile stiffness, *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, Vol.2(2016), No.38, pp.13 62-1367, 2016-1. 5) 木村亮:水平力を受ける群杭の挙動に関する基礎的研究，京都大学博士論文，pp69-113,1993.