

## 2次元解析における杭 - 地盤相互作用ばねを用いた群杭効果の評価手法の検討

ドーコン

港湾空港技術研究所

新日本製鐵

京都大学

沿岸開発技術研究センター

正会員 ○寿楽 和也

正会員 一井 康二

正会員 篠崎 晴彦

正会員 井合 進

田河 祥一

## 1. はじめに

杭基礎構造物を地盤と一体で解析を行う場合には、3次元解析を実施することが望ましいが、実務上は2次元 FEM 解析で杭基礎の挙動を評価できることがより望ましい。ただしこの場合、杭は奥行き方向に連続した壁としてモデル化されるため、地盤が杭間をすり抜ける3次元的な相互作用を考慮する必要がある。この相互作用を評価する方法の一つに、杭と地盤を非線形相互作用ばねで結ぶ方法があり、三輪ら<sup>1)</sup>による図-1に示すような2次元水平断面内における単列杭 - 地盤系の相互作用特性検討の報告が、小堤ら<sup>2)</sup>により図-2に示すような単列杭 - 地盤間相互作用ばねモデルの提案が既に行われている。一方、群杭の場合にはさらに荷重作用方向に近接する杭の影響も受けるため、2次元鉛直断面群杭モデルでは、前中後列杭の水平方向荷重分担特性のモデル化が課題となる。本研究は、既往の実物大群杭による現地静的載荷実験を対象に、群杭 - 地盤系の2次元一体モデルによる再現解析を実施し、2次元鉛直断面解析における群杭効果の導入を検討したものである。

## 2. 現地載荷実験の概要と検討条件

検討対象とした実験は、Salt Lake City 空港で実施された単杭および群杭の静的載荷実験<sup>3)</sup>である。実験装置の概要を図-3に示す。実験杭は杭径  $D=0.305\text{m}$ 、板厚  $9.5\text{mm}$ 、杭長  $9.1\text{m}$  の先端閉塞鋼管杭で、杭内部にコンクリートを充填している。群杭の杭配置は  $3 \times 3$  列で、杭間隔は  $0.915\text{m} (=3D)$  であった。単杭および群杭とも杭頭自由状態で油圧ジャッキにより多サイクル方式で載荷実験が実施された。

群杭の2次元鉛直断面解析モデルを図-4に示す。解析は多重せん断モデルを組み込んだ2次元有効応力解析プログラム FLIP<sup>4)</sup>で実施した。地盤定数は原位置試験および室内試験の結果を基に表-1の通り設定した。杭は鋼 - コンクリートの合成構造としてトリリニア型  $M - \phi$  関係を有する非線形はり要素でモデル化し、地盤とは杭 - 地盤系の相互作用ばねで連結した。検討ではまず、単杭載荷実験を対象とした解析を実施し、単杭の全体挙動を地盤定数の調整によりキャリブレーションした。主に強度のばらつきが大きい表層付近の粘性土の材料定数を調整した結果、図-5に示すように単杭実験の変位分布や曲げモーメント分布を精度良く再現した。次にその地盤定数を用いて群杭載荷実験を対象とした解析を行った。

キーワード：2次元 FEM 解析，一体解析，群杭効果，杭 - 地盤相互作用ばね

連絡先：〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4番1号 TEL 011-801-1540 FAX 011-801-1541

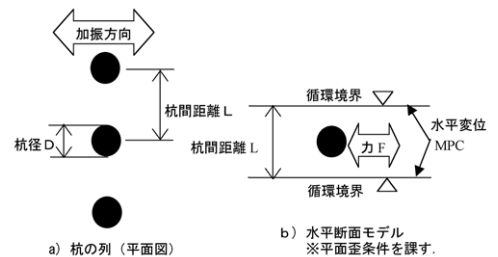


図-1 2次元水平断面内における単列杭 - 地盤系のモデル

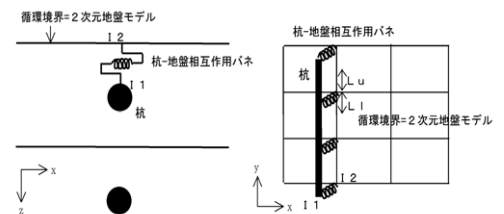


図-2 単列杭 - 地盤間相互作用ばねモデル

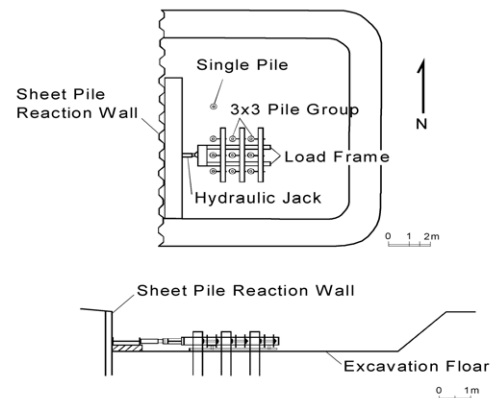


図-3 静的載荷実験装置概要

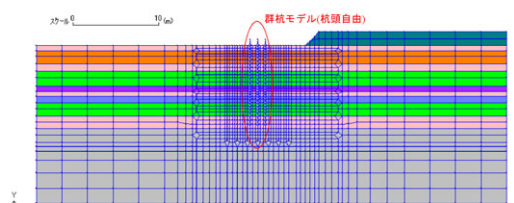


図-4 群杭の2次元鉛直断面解析モデル

### 3. 解析結果

図 - 6 に杭頭における荷重—変位関係を実験値と重ねて示す。なお、解析においては単調載荷としているため除荷直前までと比較した。荷重分担比率は実験結果が前:中:後 = 1:0.6:0.7 に対して、解析が前:中:後 = 1:0.6:0.4 となり、前杭と中杭は分担荷重レベルおよび杭毎分担比率ともに実験結果とよく整合したが、後杭は中杭より荷重分担が小さくなり、実験とは異なる結果となった。念のため、後杭の相互作用ばねを変化させた場合について荷重分担率の変化を調べたが、例えば相互作用ばねを 10 倍に硬くした場合（図 - 7）でも荷重分担率に大きな変化は見られなかった。解析モデルにおいて、相互作用ばねは杭周辺の地盤に接続しているが、後続杭周辺の地盤は前方杭の影響で強度が低下するため、相互作用ばねを硬くしても影響は小さいことがわかった。しかし、解析で得た荷重分担率の傾向と整合する既往の 3 列群杭の実験研究<sup>5)</sup>等があることから、一般論としての荷重の分担率に関しては、妥当な結果が本解析により得られたと評価することもできる。

図 - 8 に前杭の変位分布を、図 - 9 に高荷重レベルでの杭の曲げモーメント分布を示す。代表して前杭の変位分布を示したが、前中後杭とも実験結果とよく整合している。曲げモーメント分布では、前中杭は曲げモーメントおよび最大値の深度が実験結果とよく整合しているが、後杭では最大値の深度は概ね合うものの、曲げモーメントは実験値の 65% 程度となった。これは後杭の分担荷重における実験値と解析値の比に概ね整合している。

### 4. まとめ

以上、対象とした群杭の実験結果に対して、単列杭 - 地盤相互作用ばねを各杭一律に適用することにより、後杭の挙動以外は精度よく再現できた。また、他の既往実験では本解析による杭の荷重分担率と類似する結果も報告されており、本手法により 2 次元鉛直断面における群杭効果を評価できる可能性があることを確認した。

謝辞：本研究は沿岸開発技術研究センターに設けられた FLIP 研究会杭基礎 WG における研究成果をもとにとりまとめたものである。本研究会および WG に参加された皆様、本検討分科会の飛島建設の三輪様、新日本製鐵の龍田様、応用地質の沢田様・竹島様、ニシキコンサルタントの北出様、日本科学技術研修所の小堤様、科学技術振興事業団の河又様に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 三輪ほか：2 次元水平断面モデルを用いた液状化地盤における杭 - 地盤系の相互作用の検討、第 38 回地盤工学研究発表会（投稿中）、2003.7
- 2) 小堤ほか：2 次元有効応力解析における杭と液状化地盤の相互作用のモデル化、第 38 回地盤工学研究発表会（投稿中）、2003.7
- 3) Kris T. Peterson and Kyle M. Rollins (1996) : Static and Dynamic Lateral Load Testing of a Full-Scale Pile Group in Clay, Civil Engineering Department Research Report #CEG.96-02
- 4) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T. (1992) : Strain space plasticity model for cyclic mobility, Soils and Foundations, Vol.32, No.2, pp1-15
- 5) Brown, D.A., Morrison, C., and Reese, L.C., (1988) " Lateral load behavior of a pile group in sand, " J. of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.114, No. GT11

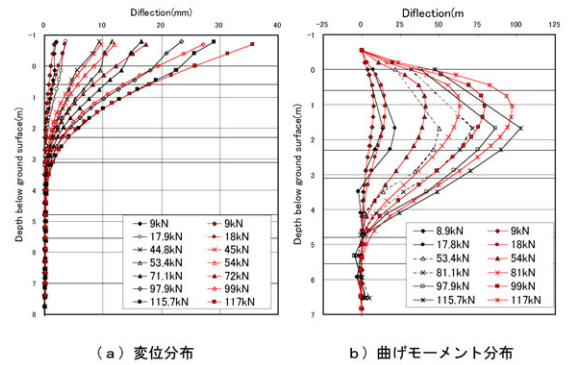


図 - 5 単杭 キャリブレーション結果

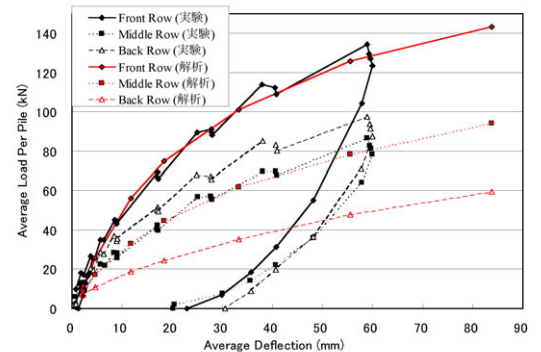


図 - 6 群杭 杭頭における荷重 - 変位関係

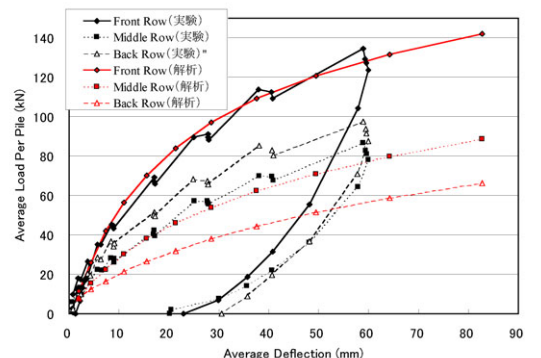


図 - 7 群杭 杭頭における荷重 - 変位関係  
（相互作用ばね 10 倍）

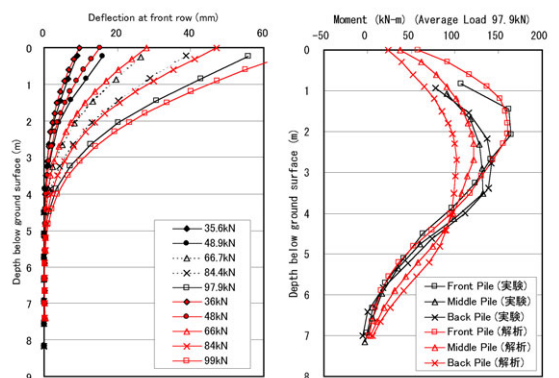


図 - 8 前杭変位分布

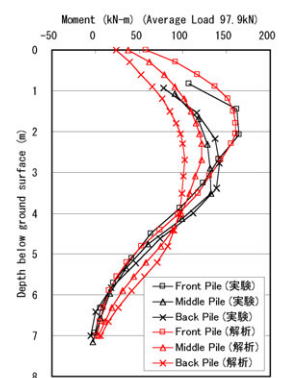


図 - 9 曲げモーメント分布