

## 複合地盤杭基礎の復元力特性に関する3次元有限要素解析

埼玉大学大学院 正会員 ○牧 剛史  
 (株)コムスエンジニアリング 正会員 土屋 智史  
 北武コンサルタント(株) 正会員 渡辺 忠朋  
 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 富澤 幸一

### 1. 目的

複合地盤杭基礎は、改良体を杭の水平抵抗に対する反力体と見なして設計されるのが一般的であるが、反力体としての機能を満足しつつ、経済性にも配慮して合理的に改良体範囲を設定する必要がある。3次元有限要素解析によって適切な改良体範囲を明らかにすることを将来の目的とし、本研究では現状の有限要素解析の適用可能性を明らかにするために、複合地盤杭基礎の水平交番載荷実験を対象とした解析的検討を行った。

### 2. 解析対象とした載荷実験の概要<sup>1), 2)</sup>

実施された複合地盤杭の載荷実験システムを図-1に、実験ケースを表-1にそれぞれ示す<sup>1)</sup>。せん断土槽底面に固定された鋼管杭の周囲に地盤を構築し、油圧ジャッキを用いて杭頭部に静的水平正負交番載荷を施した。早強セメントとベントナイトを混合して地表面から深さ0.5mまでの地盤を改良したCase 2(改良体の目標一軸圧縮強度200kN/m<sup>2</sup>)を基本ケースとし、Case 3およびCase 5では改良体強度および改良深さを変化させた。Case 4は地震後の補修を想定して、Case 2で損傷した改良地盤をセメントミルク注入によって修復したケースである。表-1には各ケースの改良体における実測一軸圧縮強度も併せて示した。修復された改良体の力学挙動がまだ不明確であることから、本研究ではCase 4を除く4ケースを解析対象とした。

表-1 実験ケース

Case	改良深さ [m]	改良強度 [kPa]	備考
Case 1	—	—	無改良
Case 2	0.50	200 (228)	改良(基本)
Case 3	0.50	800 (1386)	改良(強度)
Case 4	0.50	200 (228)	Case 2を修復
Case 5	0.25	200 (293)	改良(深さ)

※ 自然地盤はいずれのケースもN値10相当  
 ※ 改良強度の( )内は実測値

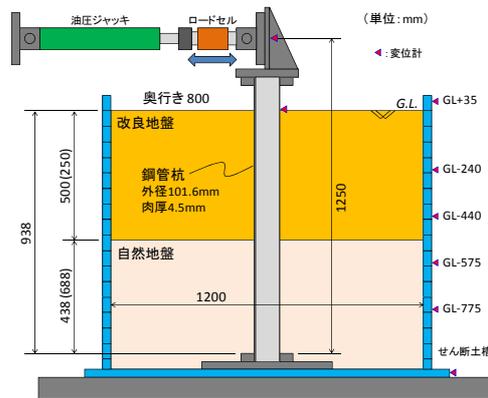


図-1 複合地盤杭の載荷実験システム

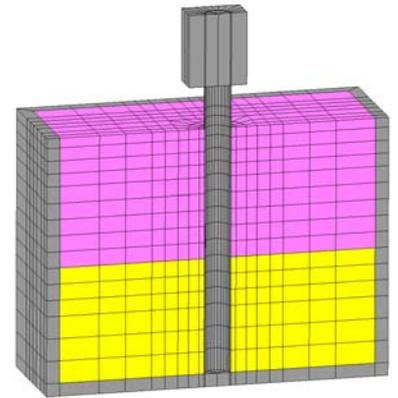


図-2 有限要素メッシュ

### 3. 解析モデルと入力パラメータ

解析には東京大学で開発された非線形有限要素解析コードCOM3を用いた<sup>3)</sup>。作成した有限要素メッシュを図-2に示す。実験システムの対称性から全体の1/2部分のみを対象として、杭体および改良体を含む地盤を全てアイソパラメトリック六面体要素でモデル化し、杭体-地盤間およびせん断土槽-地盤間には、剥離・接触・滑りを考慮するために接合要素(開口剛性, せん断剛性共にゼロ)を配置した。また、せん断土槽の変形を適切に考慮するために、土槽枠も六面体要素でモデル化すると共に、土槽枠各段の間に接合要素(せん断剛性のみゼロ)を配して土槽がせん断変形を生じるようにモデルを作成した。

杭体の要素はDrucker-Prager則に基づく弾塑性構成則を用い、地盤要素は偏差応力-偏差ひずみ関係の骨格曲線として多重塑性関数に基づくOsakiモデル<sup>4)</sup>、履歴曲線はMasing則を適用し、体積成分は線形弾性を仮定した。地盤要素に入力する初期せん断剛性 $G_0$ およびせん断強度 $S_u$ は、自然地盤については貫入試験から

キーワード 複合地盤杭, 地盤改良, せん断土槽, 3次元有限要素解析, 荷重-変位関係

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科 TEL 048-858-9069

得られた換算 N 値 (=10) から決定し、改良地盤については改良体の一軸圧縮試験から得られる変形係数  $E_{50}$  および一軸圧縮強度  $q_u$  から決定した。

#### 4. 解析結果

全 4 ケースにおける杭頭水平荷重—水平変位関係を図-3 に示す。Case 1(無改良)は荷重—変位関係の包絡線がほぼ実験に一致したのに対し、通常用いられる程度の強度を有する改良地盤を用いた Case 2 および Case 5 では荷重を若干の過小評価、改良体強度が高い Case 3 では水平荷重を著しく過小評価した。また、履歴曲線については、実験で観測されたスリップ型の履歴形状が解析では表れていない。Case 2 における変位 10mm 振幅載荷後の地表面の状態を写真-1 に示す。改良体表面に著しいひび割れが生じるとともに、杭近傍地盤で大きな塑性変形が確認された。

一方、解析では改良体を簡易なせん断塑性モデルを適用しているため、このようなひび割れ発生は考慮されない。しかし、同時に地盤の体積塑性変形や圧縮軟化特性も考慮しておらず、杭体—地盤間に生じる非回復性の隙間が十分に再現されないため、履歴ループは小さく評価されるものの、双方の影響が相殺された結果として杭頭荷重が実験とほぼ一致したものと考えられる。ひび割れ特性や圧縮軟化特性は材料強度によって異なることから、改良強度が高い Case 3 では上記の相殺関係が成立しないものと想定される。以上より、本研究で対象とした 200kPa 程度の改良強度を有する改良地盤に対しては当面、現状の有限要素解析によって杭頭復元力特性を概ね評価可能であるが、幅広い強度範囲を包含する一般的手法とするためには、ひび割れの発生や圧縮軟化特性を考慮可能な材料モデルの開発が必要であると言える。

#### 5. まとめ

セメント系改良による複合地盤杭の載荷実験を対象とした 3次元有限要素解析を行った。通常用いられる程度の改良強度(本研究では 200kPa 程度)であれば、複合地盤杭の杭頭復元力特性を現状の有限要素解析によって概ね評価可能である。

#### 参考文献

- 1) 富澤, 西本, 三浦: 杭と地盤改良を併用する複合地盤基礎の実大規模実験(その1: 地盤反力特性), 第65回土木学会年次学術講演会講演概要集 III, 2010.9
- 2) 村田, 渡辺, 富澤: 杭と地盤改良を併用する複合地盤基礎の実大規模実験(その2: 改良強度・改良深さ), 第65回土木学会年次学術講演会講演概要集 III, 2010.9
- 3) Maekawa, K., Pimanmas, A. and Okamura, H.: Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, Spon Press, London, 2003.
- 4) Osaki, Y.: Some Notes on Masing's Law and Non-Linear Response of Soil Deposits, Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokyo(B), Vol. XXXV, No.4, pp.513-536, 1980.

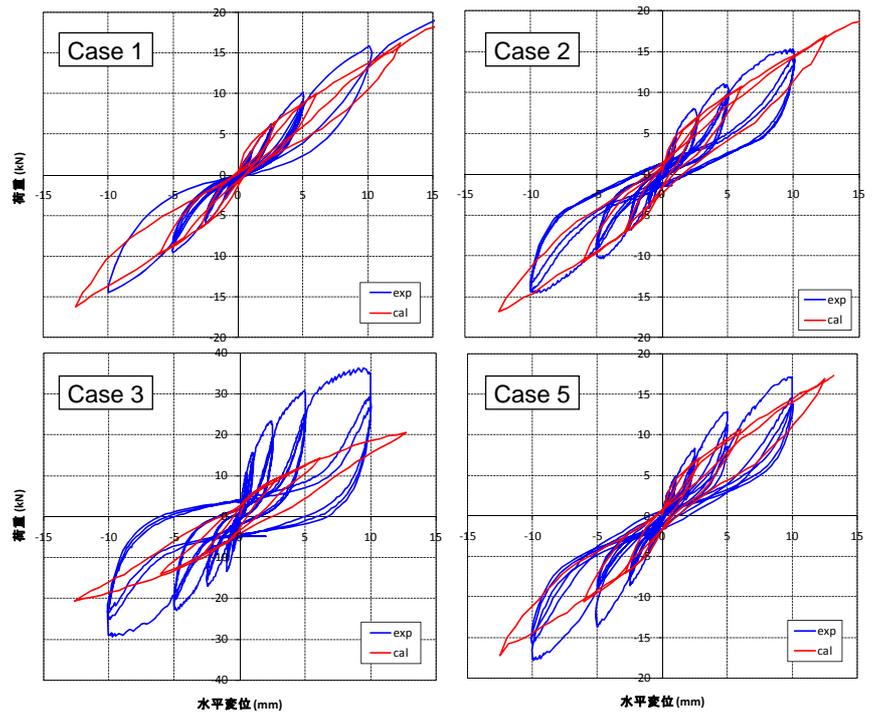


図-3 杭頭荷重—水平変位関係

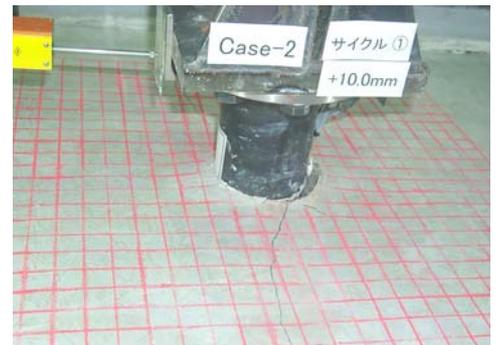


写真-1 改良地盤表面のひび割れ