

既設群杭基礎における地盤の部分固化工法の数値実験

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○近藤祥光 陳英芝
 包小華 中村圭祐
 名古屋工業大学 正会員 張 鋒

1.はじめに

地震による杭基礎の被害は構造物全体に大きな影響を与えるため、大規模な地震に備えた既設杭基礎に対する耐震補強の必要性が高まっている。増し杭工法のような一般的な杭基礎の耐震補強工法は、敷地制限などから都市部での施工が困難な場合があるが、杭基礎周辺地盤の一部を注入材により固化する工法は、工期短縮、低コストが可能で、都市部での施工に適した工法として知られている。しかし、コスト・パフォーマンスを考慮した補強体の最適な施工パターンについての議論はまだ十分にされていない。そこで本研究では9本群杭基礎を用いて地盤の部分固化工法における最も効果的で経済的な改良体の施工厚さ(H)、深さ(D)、幅(L)を定めるための数値実験を行った。その際、土・水連成を考慮した解析プログラム DBLEABES (Ye, 2007)を用いて、等方硬化型弾塑性構成式 subloading *tij* model (Nakai and Hinokio, 2004)と杭の軸力変動による曲げ剛性への影響を考慮できる AFD モデル(Zhang and Kimura, 2002)を用いて解析を行った。

2. 解析条件

地盤は均一な豊浦砂とし、要素数 5890、節点数 7560 の 3D メッシュを作成した。解析メッシュを Fig.1 に示す。杭頭は回転のみ固定とし、フーチングおよび支持層(弾性係数:100MPa)は弾性体としてモデル化した。外径 1.0m、長さ 33.0m の鋼管杭 (SKK490) を支持層に根入れしている。また、地表面以深 1.5m を排水境界とした。

载荷についてはフーチングの右側面における地表面から高さ 1.0m に位置する全節点を x、y、z 方向に等変位境界を設け剛体として、真ん中の一点に水平方向に载荷した。最大荷重 50MN まで 1 時間かけて単調载荷した。地盤の初期応力については、杭の影響を考慮しない成層地盤の初期応力分布より求めた。

地盤材料パラメータは Nakai and Hinokio(2004)が実施した豊浦砂の排水三軸圧縮試験に基づいて行っ

た要素シミュレーションより決定(Table1)した。試験は初期間隙比 $e_0=0.67$ の中密な砂を用いて平均主応力一定条件($p'=196kPa$)のもとで行われた。Fig.2 より、要素シミュレーションの結果が試験結果をよく再現していることが分かる。杭については AFD モデルを用いてハイブリッド要素としてモデル化した。また、補強体は Zhang ら(2007)が提案した移動硬化型弾塑性構成モデルを用いて、ピーク強度 1.0MPa の人工軟岩を想定し物性を決定した。

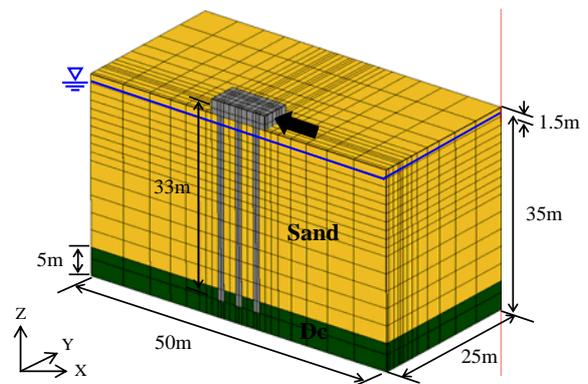


Fig.1 FEM メッシュ

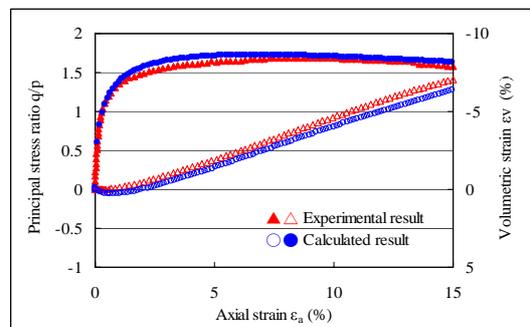


Fig.2 砂の要素シミュレーションの結果

Table1 砂の材料パラメータ

ν	λ	κ	N	R_f	a	β	OCR	ρ (t/m ³)
0.2	0.07	0.005	1.1	3.2	30	2	500	1.99

3. 数値解析結果

Fig.3 に数値実験を行った補強体の領域を示す。まず、(a)のように改良体の中心の位置と幅を固定とし、厚さ(H)の影響について検討した。载荷終了時のフーチングにおける水平変位を Table 2 に示す。補強を行っていない場合、フーチングに生じる水平変位は 68.0cm であるのに対し、改良体の厚さが厚くなるほ

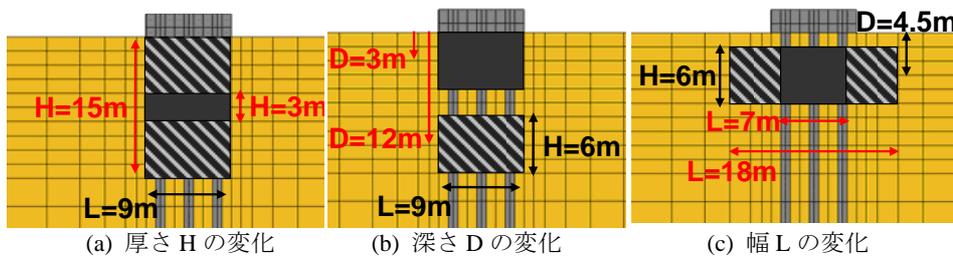


Fig.3 補強体の領域

Table 2 厚さ H の影響

厚さH (m)	最大水平変位 (cm)
無対策	68.0
3.0	52.1
6.0	51.4
9.0	49.5
12.0	43.5
15.0	40.5

Table 3 深さ D の影響

深さD (m)	最大水平変位 (cm)
3.0	44.9
4.5	44.4
6.0	50.3
7.5	51.4
9.0	51.1
10.5	51.8
12.0	52.8

Table 4 幅 L の影響

幅L (m)	最大水平変位 (cm)
7.0	46.6
9.0	44.4
13.5	40.2
18.0	35.8

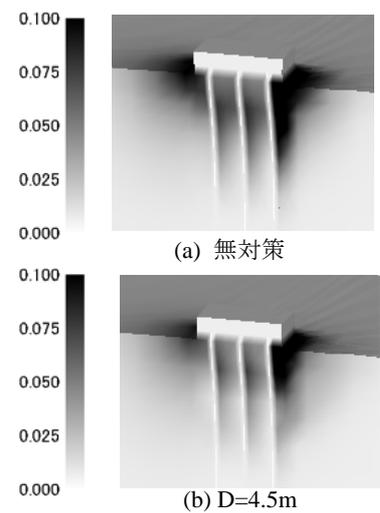


Fig.4 せん断ひずみの分布図

ど、水平変位が減少していく。つまり、改良領域が広がるほど、効果的であることが確認できた。

次に、(b)のように改良体の体積を固定とし、改良体の中心までの深さを変化させた結果を Table 3 に示す。深さ 4.5m までは水平変位が減少するが、それ以降は水平変位が増加していき、改良効果が減少している。無対策の結果から得られた杭のモーメントの分布から、最大曲げモーメントが深度 8.25m で生じており、杭の上部をしっかりと固化した方がより高い補強効果が得られると考えられる。

最後に、(c)のように改良体の厚さと中心の深さを固定し、改良体の幅の影響を検討した。改良体は幅と同様に奥行方向にも改良幅を広げた。Table 4 より改良領域が広がるほど、フーチングに生じる水平変位が顕著に抑制されることが分かる。

Fig.4 に解析終了時のフーチング周辺に生じる偏差ひずみの第 2 不変量の分布図を示す。無対策に比べ部分固化(H=6m, D=4.5m, L=9m)した結果、フーチングの前面および背面に生じるせん断ひずみが大幅に減少している。

改良体費用 (改良体の体積) に対する改良率のコスト・パフォーマンスを Fig.5 に示す。改良率は無対策の変位を基準とし求めた。図により、改良厚さについては 6m、改良深さについては 0~3m の浅い部分を固化し、改良体の幅についてはフーチングの幅 9m 以内にした場合、コスト・パフォーマンスにおいて最適な改良補強効果が得られると考えられる。

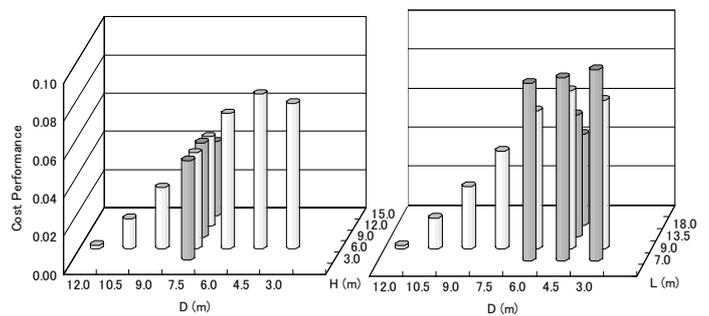


Fig.5 コスト・パフォーマンス

4. まとめ

土・水連成解析プログラム「DBLEABES」を用いて鋼管杭の 9 本群杭基礎を対象とした、地盤の部分固化工法における最も効果的で経済的な改良体の施工厚さ (H)、深さ (D)、幅 (L) を定めるための数値実験を行った。改良厚さについては 6m、改良深さについては最大曲げモーメントの発生深度より浅い 0~3m を固化し、改良体の幅についてはフーチングの幅 9m 以内にした場合、最も効果的で経済的な既設杭基礎に対する耐震補強が可能であると考えられる。

参考文献

- 1) Nakai, T. and Hinokio, M. (2004): A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters, S&F, Vol.44, No.2, 53-70
- 2) Ye, B. (2007): Experiment and Numerical Simulation of Repeated Liquefaction -Consolidation of Sand, Doctoral Dissertation, Gifu University.
- 3) Zhang, F. and Kimura, M. (2002): Numerical prediction of the dynamic behaviors of an RC group-pile foundation, S&F, Vol.42, No.3, 77-92.
- 4) Zhang, F., Ye, B., Noda, T., Nakano, M. and Nakai, K. (2007): Explanation of Cyclic Mobility of Soils: Approach by Stress-Induced Anisotropy, S&F, Vol.47, No.4, 635-648.