

地盤固化体を用いた杭基礎の変形挙動に関する三次元有限要素解析による基礎的検討

豊橋技術科学大学	学生会員	二川真一郎
豊橋技術科学大学	学生会員	箕野健一郎
豊橋技術科学大学	正会員	河邑 真
ハザマ	正会員	足立有史
ハザマ	正会員	浦野和彦

1. はじめに

近年、耐震設計の見直しなどにより杭基礎の早急な補強対策が必要とされている。筆者らは杭基礎の地中部を部分的に固化することで、その固化体の拘束効果により杭基礎構造全体の水平抵抗を高め耐震性を向上させる工法について実大レベルでの杭基礎模型水平載荷実験¹⁾や室内模型実験²⁾により固化体の拘束効果による杭基礎の挙動を明らかにした。そこで、本研究では三次元有限要素解析による室内模型実験の再現を杭、地盤の材料物性値や境界条件を考慮して行うことで、水平荷重を受ける杭の実現象と解析による挙動について比較検討を行った。

2. 解析概要

解析モデルは、各要素とも 20 節点六面体アイソパラメトリック要素とする。解析に用いる材料要素は、地盤、杭、フーチング、補強体、杭の上下端に設置する二種類の仮要素の五つとしている。杭、フーチング、補強体は弾性体、地盤要素は弾完全塑性体として、降伏基準にMohr-Coulomb式、塑性ポテンシャルにDrucker-Prager式を採用した。また、非線形計算には修正Newton-Raphson法を用いている⁽³⁾。モデルの寸法は図1に示すように、深さ56cm、幅200cm、奥行き40cmの地盤に杭4本を設置している。杭の上端はフーチングで固定しており、下端は土槽に溶接している。また、補強時には杭下端より30cm部分に高さ6cm、幅22cm、奥行き20cmの補強体を設置する。各寸法は実験時のモデルと対応している。模型実験は珪砂5号を用いた乾燥砂地盤で、相対密度 D_r 約90%であった²⁾。なお、解析の効率化のため、奥行き長さは実験時の半分の長さで解析している。モデルに作用する外力は実験時と同様に水平荷重12.5Nを28ステップで合計で350Nをフーチング部に載荷した。

表1に示す砂地盤の物性値は、三軸CD試験結果から求めた。また、地盤のヤング率は地盤深さごとの拘束圧に依存することから、深さごとの地盤ヤング率を求める算定式を(1)、(2)と設定した。

$$E = 1000\sigma'_{v0}{}^{0.7} \quad (1)$$

$$E = 440\sigma'_{v0}{}^{0.5} \quad (2)$$

ここで、 σ'_{v0} は初期鉛直有効応力である。弾性体のパラメータは表2に示す。この値は実験に用いた杭の曲げ剛性を用いた。実験時の杭の境界条件を再現するため、杭モデルの上下端には、模型杭の実際の結合度を考慮して回転ばねと等価な厚さ2mmの仮要素を設置した。本研究では地盤のヤング率を式(1)より算定したモデルをモデル1、式(2)より算定したモデルをモデル2とし、この2種類のモデルについて無補強時、補強時の解析を行った。

キーワード：杭・耐震・数値解析

〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1

〒305-0822 茨城県つくば市刈間 515-1

TEL：0532-44-1324 FAX：0532-44-6831

TEL：029-858-8813 FAX：029-858-8808

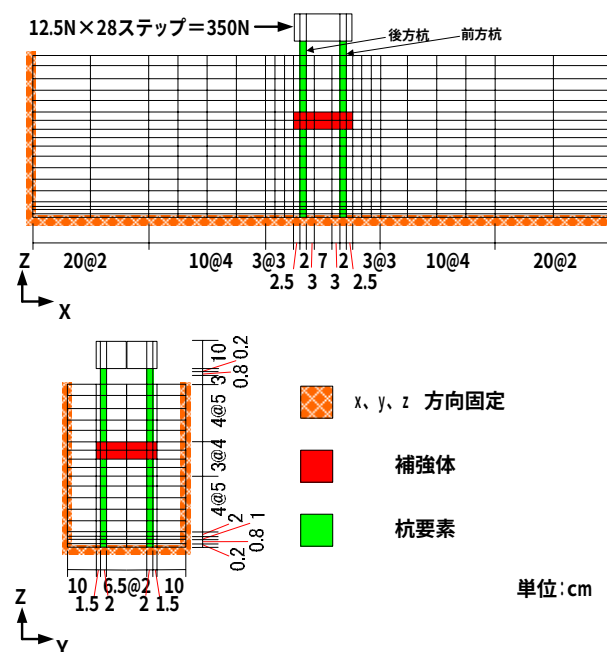


図1 解析モデル

表1 砂地盤の物性値

	砂地盤
単位体積重量 (kN/m ³)	16.7
内部摩擦角 (°)	35.7
ダイレタンシー角 (°)	8.4
ポアソン比	0.33

表2 弾性体のパラメータ

	杭	フーチング
単位体積重量 (kN/m ³)	7.8	25
ヤング率 (kN/m ²)	4.20E+07	2.50E+07
ポアソン比	0.2	0.2
	半ピン支持 上端	半ピン支持 下端
単位体積重量 (kN/m ³)	7.8	7.8
ヤング率 (kN/m ²)	1.05E+05	3.15E+05
ポアソン比	0.2	0.2

3. 解析結果

無補強時における前方杭の変位、曲げモーメントについてモデル 1、モデル 2 の解析結果と実験結果を図 2 に示す。図よりモデル 2 の杭変形は実験結果の杭変形とほぼ一致しているが、モデル 1 の杭変形はこれらに比べて水平杭頭変位が小さいことが分かる。これは式(1)で算定した地盤のヤング率が実験時の条件よりも高いため、杭の変形が抑えられたと考えられる。前方杭の曲げモーメントの解析結果は、両解析モデルともに実験時とほぼ同じ杭深さの中間部分において最大曲げモーメントを示した。しかし中間部よりも深い位置についてはモデル 2 の方が実験値により一致している。これは式(1)の砂地盤の弾性係数が深い位置になるに従い実験時の条件よりも大きいため、地盤抵抗が大きくなり杭の変形が抑えられたと考えられる。

補強時の実験結果と解析結果の杭変形、曲げモーメントを図 3 に示す。水平杭頭変位はモデル 1 よりもモデル 2 の方が大きく発生しており、実験値に近似していることが分かる。しかし杭下端から深さ 50cm 付近ではモデル 1 と実験結果との良い一致が見られている。これは補強体よりも深い位置では式(2)から算定した地盤のヤング率よりも高かったためと考えられる。両解析モデルとも補強体上端で実験時よりも特に変位が抑えられていることが分かった。これは解析時において補強体と杭の境界条件が剛接合であったためと考えられる。曲げモーメントはモデル 1・2 とともに補強体よりも深い位置において曲げモーメントが逆符号となり、2 層ラーメン構造による曲げモーメント分布を示した。これも解析時における補強体と杭の剛接合によって杭の回転が抑制されたためと考えられる。また、モデル 1・2 を比較すると曲げモーメントは砂地盤のヤング率が高くなると補強体の上下端において低減することが分かった。

4. まとめ

地盤固化体による杭基礎耐震補強工法に関する 3 次元有限要素解析を実施した結果を以下にまとめた。

- ① 無補強時についてモデル 2 の条件で解析行った結果、実験結果に比べて杭変形、曲げモーメントの発生位置ともに十分再現できた。
- ② 地盤固化体による補強時の解析結果では、杭変位や曲げモーメントに対しては概ね再現できていたが、地盤固化体の境界条件が大きく影響していた。

今後、これらの要因について、補強時のモデル化、杭と補強体の摩擦、地盤物性の評価等を詳細に検討する予定である。

【参考文献】

- 1) 足立、浦野、河邑、佐久間、丹澤：地盤固化工法を用いた杭基礎耐震補強工法に関する実大実験の数値シミュレーション、第 40 回地盤工学研究発表会、2005。
- 2) 浦野、足立、二川、河邑：地盤固化体による杭基礎耐震補強工法の模型水平載荷試験、第 41 回地盤工学研究発表会、2006。
- 3) 社団法人 地盤工学会：地盤技術者のための FEM シリーズ③、丸善、2005。

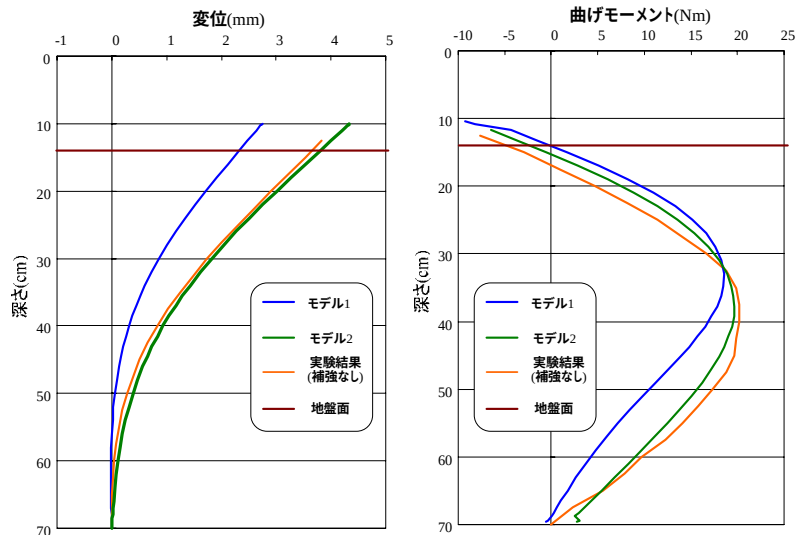


図 2 杭変形、曲げモーメント図(無補強時)

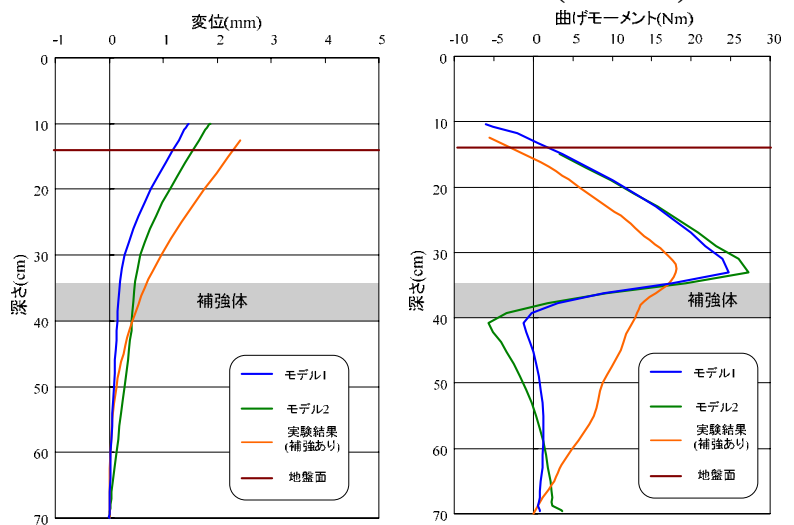


図 3 杭変形、曲げモーメント図(補強時)