

水平荷重を受ける粘性土地盤中の杭の挙動

名古屋工業大学 正会員 檜尾 正也
名古屋工業大学 正会員 中井 照夫
名古屋工業大学大学院 学生会員 足立 浩輔
名古屋工業大学大学院 学生会員 城戸 拓
東京電力(株) 正会員 佐藤 博
清水建設(株) 正会員 鈴木 誠

1.はじめに

実際の構造物の基礎を設計する際に地盤の支持力を知ることは最も重要である。杭基礎は地盤の支持力の向上だけでなく変形の抑制などで、非常によく使われている。この杭基礎の問題の中で特に水平荷重を受ける場合、杭の変形や周辺地盤への影響は杭の長さ、断面形状、剛性、変形形状により大きく変わる。また、杭頭条件や長さを変えた杭の水平支持に関する現場実験が行われている¹⁾。

本研究では水平荷重を受ける単杭について、杭頭条件や長さによって杭の横抵抗及び周辺地盤への影響がどのように異なるか、また、どの条件での杭が一番効果的であるかについて、密度や拘束応力の影響を考慮した弾塑性モデル(subloading t_{ij} model)²⁾を用いて有限要素解析を行い、杭の挙動について解析的に考察を行った。

2.解析の概要

解析は有限要素法による3次元解析であり、解析に用いた有限要素メッシュは現場実験¹⁾のスケールに概略を合わせてFig.1に示すようにx方向(紙面で右方向)に36.7m、y方向(奥行き方向)には12m、z方向(深さ方向)に15mであり、杭の大きさは一辺が70cmの正方形断面である。解析では杭頭の回転が自由である場合と回転が固定されている場合の2通りを行った。さらに杭長の影響を検討するため杭頭自由の場合と杭頭固定の場合で杭長を6mと12mにして合計4通りの解析を行った。ここで、Fig.1に示してあるメッシュ図は杭長が6mでのものである。地盤材料は正規圧密状態の藤の森粘土であり、杭は弾性体と仮定して解析を行った。この藤の森粘土を試料とした平均主応力一定での三軸圧

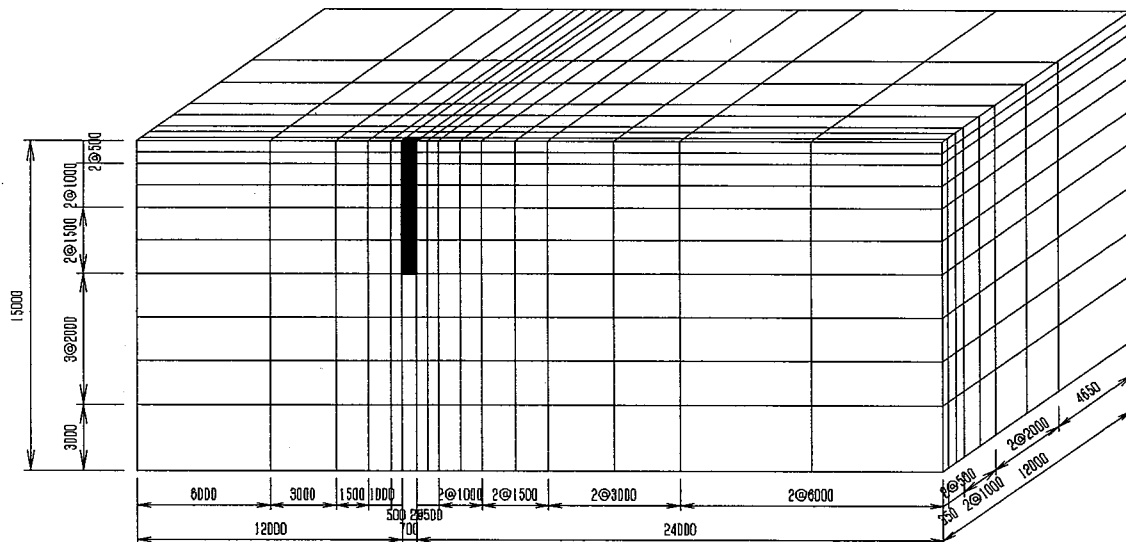


Fig.1 解析に用いた有限要素メッシュ

Pile behavior in clayey ground under horizontal loading.

M. Hinokio, T. Nakai, K. Adachi, T. Kido(Nagoya Institute of Technology)
, H. Sato(Tokyo Electric Power Company) and M. Suzuki(Shimizu Corp.)

縮せん断試験結果と構成モデルによる要素解析の結果の比較を Fig.2 に示す。この図から構成モデルは正規圧密状態だけでなく過圧密状態での粘土の挙動を適切に表現していることがわかる。また杭は弾性体としてパラメータを与えた。Table.1 にこれらの解析に用いたパラメータを示す。

解析では杭頭に x 方向(Fig.1 で右向き方向)に水平変位を与えることによって、水平荷重を受ける杭の横抵抗問題をシミュレートしている。

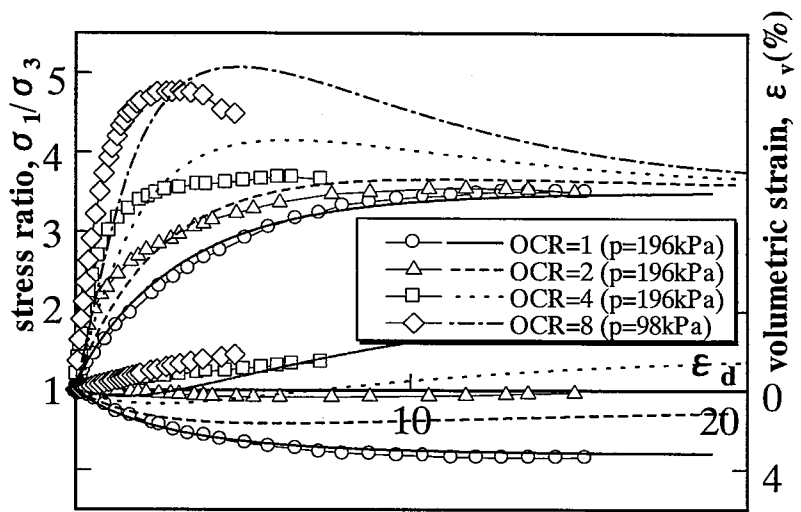


Fig.2 要素解析と実測値の比較

Table.1 解析に用いたパラメータ

藤の森粘土		杭体	
λ	0.1039	E	3.0×10^7 kN/m ²
κ	0.0099	ν	0.3
e_{NC}	0.922		
$R_{CS}=(\sigma_1/\sigma_3)_{CS(comp.)}$	3.2		
β	1.5		
a	500		

3.解析値の比較と考察

Fig.3 は杭の水平変位と杭頭の荷重関係を示したのものである。縦軸は杭頭の x 方向の荷重を、横軸は水平変位である。この図から杭の長さが長いほうが横抵抗が大きくなるが、杭長を長くするよりも杭頭を固定することによってより大きな横抵抗が得られることがわかる。しかし、これらの解析で与えた水平変位が少なかったためここでは杭の最終的な横抵抗が得られなかった。

Fig.4 は杭の水平変位が 0.1m の時の杭周辺地盤の水平変位をベクトルで表示した図である。ただし、実際の変形は非常に小さいため、この図で示すベクトルの長さは実際の変位を 30 倍した大きさを表示している。これらの図から、地表面の水平変位は杭周辺の狭い範囲でのみ顕著であり、影響範囲が小さい。これは、解析地盤が正規圧密粘土であるため杭の変形が杭周辺の粘土で吸収されたため、その外側の地盤ではほとんど

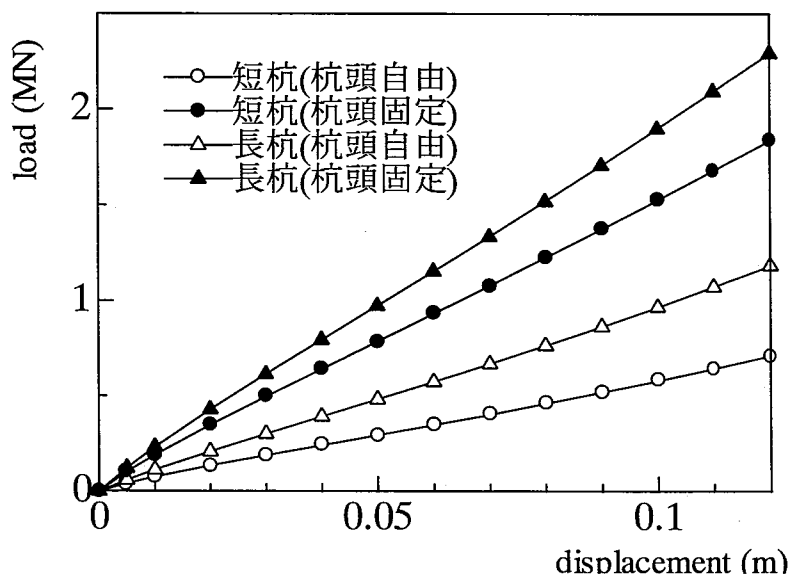
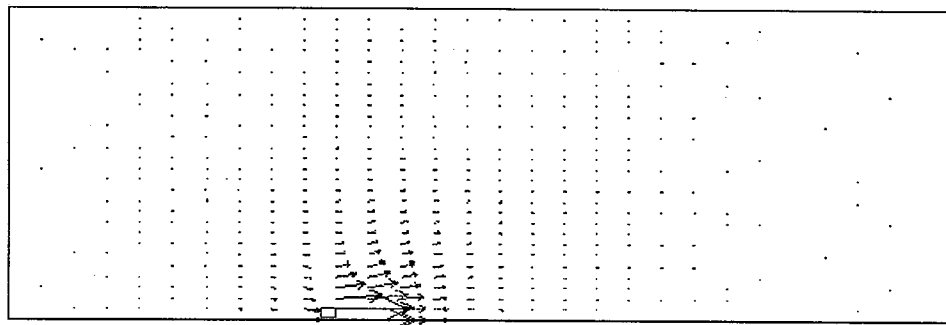
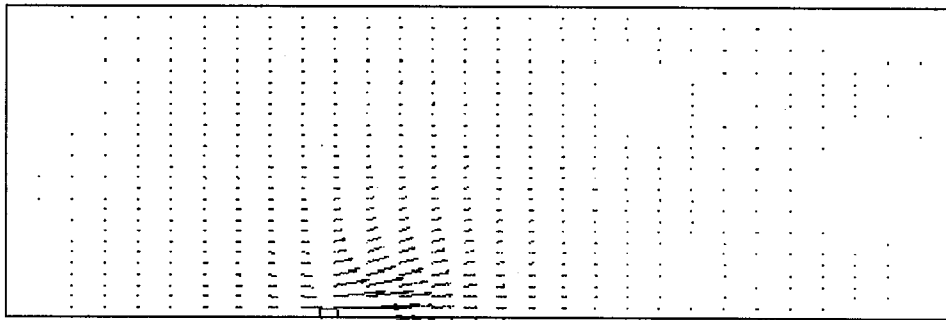


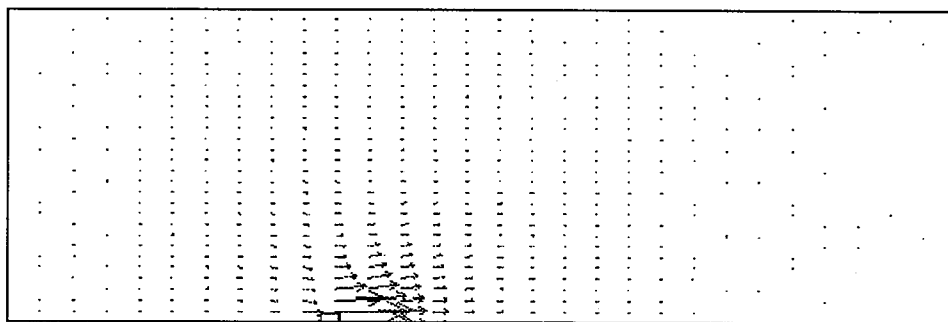
Fig.3 杭の変位～荷重関係



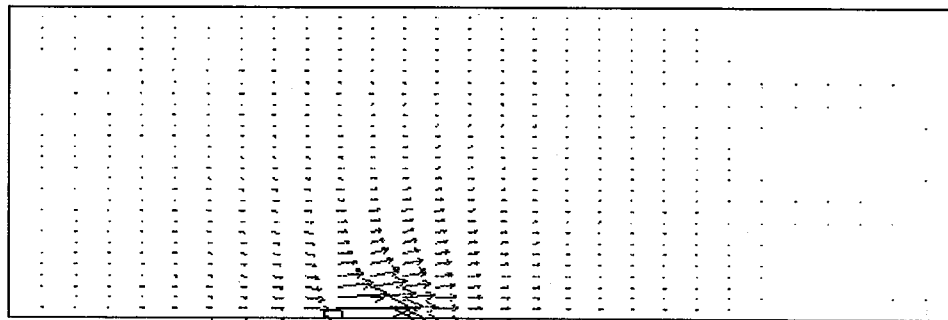
短杭(杭頭自由)



短杭(杭頭固定)



長杭(杭頭自由)



長杭(杭頭固定)

Fig.4 地盤の水平変位分布

ど変形が生じなかったと考えられる。Fig.5 は縦軸に地表面変位、横軸に杭からの距離(杭が変位する方向を正の値とする)で示した地表面形状である。図中の破線は杭の位置を示している。杭頭自由の場合(○、△プロット)では杭頭が回転することによって杭を押込むほう(前面)は少し沈下しているが、杭背面は上昇している。また周辺地盤において、杭の前面地盤は沈下しているが、その逆の背面側の地盤では杭のすぐ側では沈下しているがその後では隆起している。これは今回の解析が水・土連成解析ではなく、地盤の中には過剰間隙水圧が発生しない完全な排水状態となっていることによる。このため、杭前面(杭が変形する方向)では粘土のダイレイタンスが負であることから地表面は沈下する。一方、

背面側では杭のすぐ側ではダイレイタンスーによって沈下が生じているが、その他では平均応力が減少することによって体積膨張が生じ地表面が上昇したと考えられる。実際の粘土地盤の変形は水平荷重を受けた場合、非排水条件に近い状態か部分排水状態で変形するため、杭前面の地盤は沈下せず杭に押されて地表面は上昇することもあると考えられる。一方、杭頭固定の場合(●、▲プロット)では、杭長シによらず沈下形状はほぼ同じとなっている。杭頭自由と比較すると、杭前面の地盤では杭のすぐ近くでは杭頭の上昇に伴い地盤が上昇しているがそれ以降の地盤は地表面が沈下していることがわかる。

Fig.6 は、杭の変形形状の図である。横軸は杭の水平変位を、縦軸は杭の地表面からの深さを表す。この図から短杭で杭頭自由の場合は変位が一様に生じており杭体はほとんどたわみなどの変形せず転倒のような変位をしているが、長杭はたわみが杭全体に生じていることがわかる。一方、杭頭固定条件において、短杭では杭頭でたわみが大きく生じているが、それ以外のところではほとんど杭頭自由の場合と似た変形を生じる。杭頭固定の長杭の場合では、杭頭でたわみが大きく生じているのは杭頭固定の短杭と同様であるが、深部でのたわみは杭頭自由なものに比べ小さい。

4.結論

水平荷重を受ける杭の横抵抗問題において、杭長および杭頭の拘束条件の違いが地盤、杭の変形にどのように影響について FEM 解析を行った。その結果、杭の横抵抗を大きくするには杭長を長くするよりも杭頭を拘束したほうが効果的であることがわかった。また、杭長が違うことによって杭体の変形は深いところで異なるが、この違いが地表面変位にはあまり影響しないことがわかった。ただし、今回の解析では地盤全体が正規圧密粘土で、完全排水として計算を行ったため、過圧密地盤や部分排水条件下の地盤の挙動と同一である保証はない。今後は地盤の応力や密度分布を考慮に入れた水・土連成解析を行っていきたい。

参考文献

- 1) 東京電力(株) 電力技術研究所報告書, 2001
- 2) 檜尾正也・中井照夫・星川拓哉・吉田英生: 3次元応力経路下において単調および繰返し载荷を受ける砂の応力・ひずみ挙動とそのモデル化, 地盤工学会論文報告集, Vol.41, No.3, pp125-140, 2001

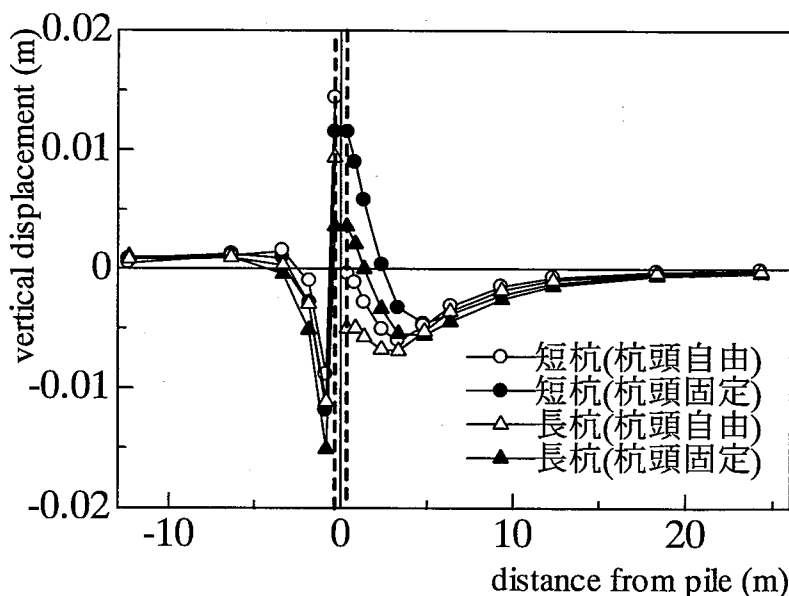


Fig.5 地盤の地表面変位関係

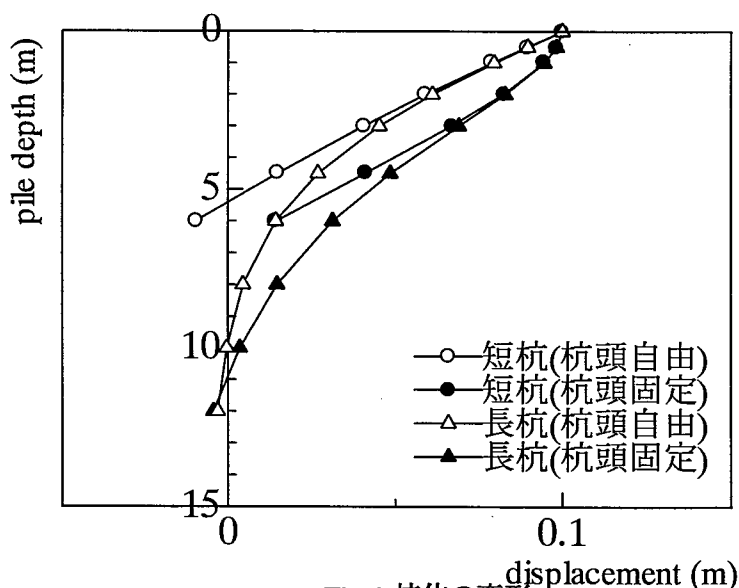


Fig.6 杭体の変形