

先端部形状に着目した杭の先端支持力改善に関する研究

九州大学大学院 学 馬場崎 宗之助 藤 落合 英俊

九州大学大学院 正 安福 規之 正 大嶺 聖 正 中島 通夫

1. 目的

杭先端支持力算定に用いられる Plandtl 系の支持力理論においては杭先端部に剛体としての三角形ウェッジが形成されるとして理論展開が行われている。しかし、ウェッジ形成プロセスと先端支持力発生の力学挙動については未解明な部分があり、更なる検討が必要とされている<sup>1)</sup>。また、杭の支持力の発揮性状は沈下と密接に関係しており、従来の極限支持力の検討よりも沈下予測の重要性が強調されてきている。そこで本研究では、杭先端の荷重 - 沈下関係の改善効果について杭先端部の形状と相対粗さに着目して、実験・解析により検討を行った。

2. 杭先端部形状について

図.1 は今回の実験・解析に用いた杭の先端部形状をまとめたものである。先端部形状は四角形状、三角形状、逆三角形状、拡底形状のものを使用した。杭先端部の表面粗さは  $R_{max}/D_{50}=0.06$  ( $R_{max}=0.01\text{mm}$ ) とし、実験・解析において四角形状の場合 ( $\alpha = 0^\circ$ ) を基準値とし、先端部の角度 ( $\alpha$ ) の違いにより結果を評価した。

形状	四角形	三角形	逆三角形	拡底杭
形状図				
角度 ( $\alpha =$ )	$0^\circ$	$5^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$	$20^\circ, 30^\circ$	$110^\circ, 120^\circ$

図.1 先端形状図

3. 模型杭載荷試験

3.1 先端形状に着目した支持力 図.2 は今回使用した模型杭載荷装置を示している。土層は高さ 400mm、直径 300mm とし、模型杭は直径 30mm、設置高さ 200mm とした。この実験装置は模型杭の荷重が下方から上方へ行われる構造になっており、あらかじめセットされた杭を含むモールド内に模型地盤を作成するため、杭の偏心や杭周面の地盤の乱れを防ぐことができ、均質な模型地盤の作成が可能である。初期応力状態は土かぶり圧、側方土圧ともに 100kPa としセル内を定圧に保った条件の下で載荷試験を行った。地盤の相対密度は  $Dr=85\%$  とし、貫入速度  $0.18\text{mm}/\text{min}$  で 30mm ( $S/D=1.0$ ) まで貫入させた。図.3 は実験を行った杭の杭先端応力 - 正規化沈下量関係の一部である。(a) は  $S/D=0 \sim 1.0$  までの場合であり、(b) は  $S/D=0 \sim 0.2$  までの場合を示している。このプロットは 3 回程度の実験の平均を取ったものである。これらより、杭先端部の角度 ( $\alpha$ ) を変化させる事によりいづれの貫入量

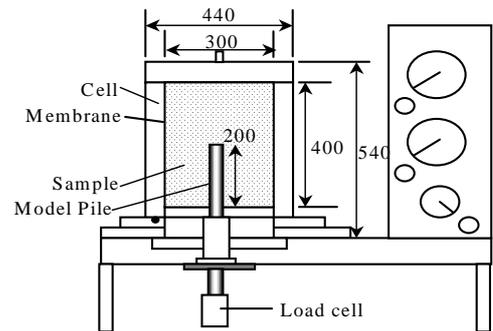


図.2 実験装置図

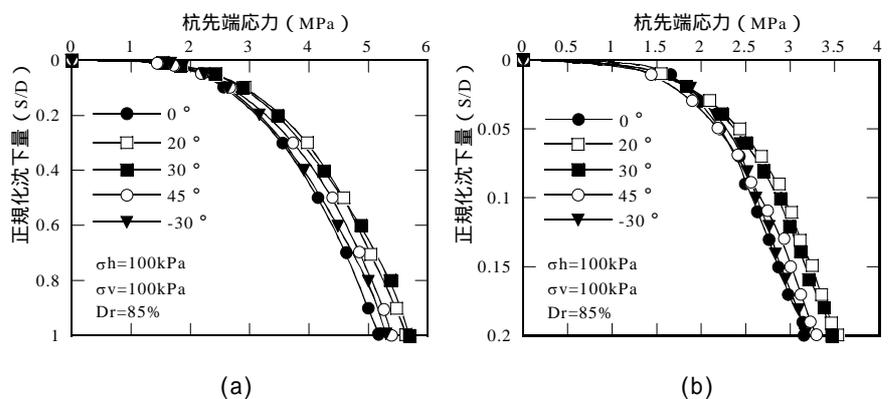


図.3 杭先端応力 - 正規化沈下量関係 ( $R_{max}/D_{50}=0.06$ )

キーワード 先端支持力,先端形状,表面粗さ

連絡先 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 九州大学工学部地球環境工学科 (水工) 地盤工学研究室 Tel 092-642-3286

においても杭先端応力の改善効果があるという結果を得た。図.4 は角度別先端応力の比較図である。図の縦軸の  $q_\alpha$  は先端部の角度( $\alpha$ )における杭先端応力、 $q_0$  は $\alpha=0^\circ$ における杭先端応力を表しており、 $q_\alpha/q_0$  は  $q_0$  を基準とした相対的な杭先端応力を意味している。図中は  $S/D=0.05, 0.1$  時の結果をまとめている。この図より、 $\alpha=20^\circ \sim 30^\circ$  の場合が最も改善効果が高くなると考えられ、その割合は約 10% となった。

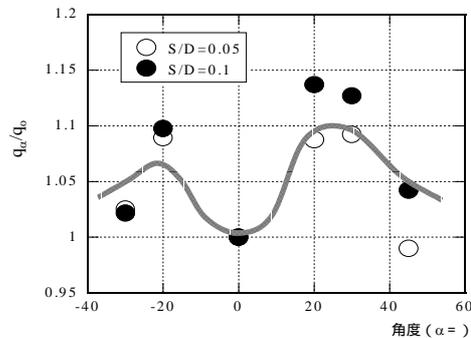


図.4 角度別杭先端応力比較

3.2 相対表面粗さに着目した支持力 図.5 は杭先端部に表面粗さ ( $R_{max}/D_{50}=1.0$ ) をつけた杭と図.1 に示した杭 ( $R_{max}/D_{50}=0.06$ ) の正規化沈下量と杭先端応力の増加の割合を表した図である。図の縦軸の  $q'_\alpha/q_\alpha$  は先端部の角度( $\alpha$ )における  $R_{max}/D_{50}=1.0$  の場合の杭先端応力を意味している。この図より  $\alpha=30^\circ, \alpha=45^\circ$  の場合は杭先端部に表面粗さをつけることで貫入初期 ( $S/D < 0.1$ ) の杭先端応力が改善される結果を得た。図.6 は表面粗さをつけた場合の実験結果を角度別に比較した図である。この図より、先端部の角度( $\alpha$ )が小さな場合は表面粗さによる杭先端応力の改善効果は見られないが角度を増加させる事により改善効果が得られるという結果を得た。

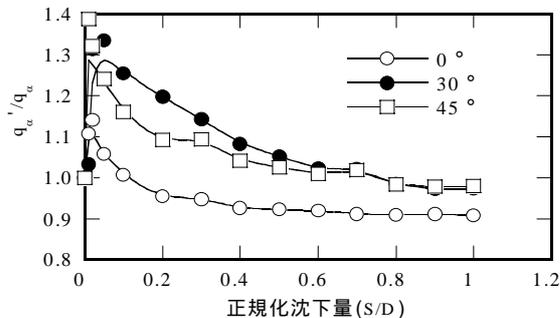


図.5  $R_{max}$  による杭先端応力比較

4. 有限要素解析による検証

実験結果の検証の為、実験と同様の条件下で有限要素解析により杭貫入の解析を行った。表.1 に解析条件を示す。地盤は豊浦砂の材料パラメーターを用い、杭体は剛体と仮定した。図.7 に  $\alpha=0^\circ, 30^\circ$  における解析結果の一例を示す。図中は  $S/D=0.1$  時の先端部地盤の鉛直土圧分布を表したものである。この図より、 $\alpha=30^\circ$  の場合が鉛直応力のコンターが広範囲に及んでおり、 $\alpha=0^\circ$  と比較して杭先端応力の値が高くなると考えられ、これは実験結果と一致するものとなった。

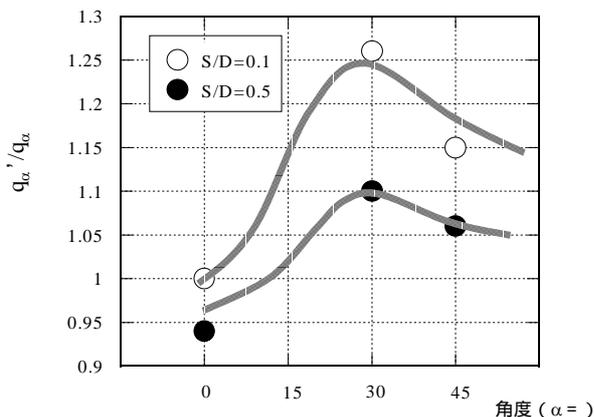


図.6 角度別杭先端応力比較

表.1 解析条件

解析モデル	弾塑性 Mohr-Coulomb モデル
貫入量 (S/D)	0.1, 0.2, 1.0
先端部の角度 ( $\alpha$ )	$0^\circ, 30^\circ, -30^\circ$
拘束圧	$\sigma_h=100\text{kPa}, \sigma_v=100\text{kPa}$

5. 結論 本研究により得られた結論を以下に示す。

- 1) 模型杭載荷試験により、杭先端部に角度をつけることで貫入量によらず杭先端応力の改善効果が得られた。杭貫入初期では、 $\alpha=20^\circ$  において  $\alpha=0^\circ$  の場合と比較して改善効果の割合が約 10% となった。
- 2) 杭先端部に表面粗さをつけると、先端部に角度をつけた場合において貫入初期の杭先端応力が改善される結果となった。この改善効果は貫入が進むにつれて低減し、 $S/D=0.5$  以降においては顕著な改善効果が見られないが、通常の設計において用いられる  $S/D < 0.1$  においては約 30% の改善効果を得た。

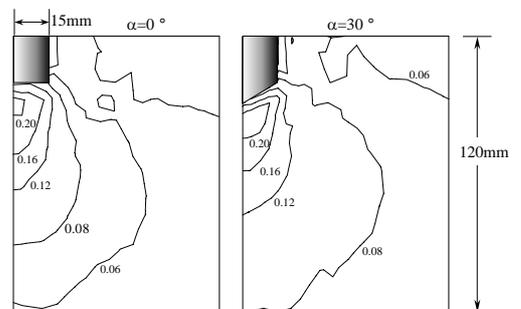


図.7 鉛直土圧分布 (MPa)

参考文献：1) 玉野ら:杭の先端形状が支持力に及ぼす影響,第 35 回地盤工学研究発表会論文報告集,pp.1789-1790,2000

安福ら:圧縮性を考慮した杭先端支持力の実用的評価とその適用,土と基礎,Vol49,No3,pp.12-15,2001