

杭の押し広げによる周面摩擦力改善効果とその評価について

九州大学大学院 学○馬場崎 宗之助 F 落合 英俊 正 安福 規之
正 中島 通夫 学 坂本 俊彦

1. はじめに

杭の支持力改善を考える上で、杭に作用する初期水平応力を増加させることは有効な手段の一つである。近年、環境問題に配慮した無排土杭工法、あるいは低排土杭工法による杭の施工が行われており、これらの杭施工においては、排土を低減させる効果だけではなく、杭近傍の地盤を側方に押し広げることで杭に作用する初期水平応力を増加させる効果が期待できる。本研究では、杭に作用する初期水平応力の増加を模型杭を側方に押し広げることで再現し、模型杭載荷試験により周面摩擦力改善効果に関する検討を行った。また、模型杭の押し広げに伴う周辺地盤の水平応力変化を地盤内に設置した小型土圧計を用いて計測し、模型杭載荷試験結果との比較を行った。

2. 実験概要

図-1に本研究で開発した模型杭の概略図を示す。模型杭の形状はテーパ形状であり、杭の直径は下端部で $d=50\text{mm}$ 、上端部で $d=60\text{mm}$ 、杭長は $L=500\text{mm}$ である。杭の側面は16枚に分割された真鍮部及びスチール部で構成されており、杭径の増加過程においては図-1中に示すように真鍮部とスチール部がスライドすることにより試料が杭内部に侵入する事を防いでいる。また、実験に使用した土層は直径700mm、高さ1000mmの円柱形状であり、土槽上部に取り付けたエアシリンダーにより、載荷盤を介して地盤中に一定の上載圧を負荷している。試料は豊浦砂を用いており、空中落下法により地盤を作製し、全ての実験において相対密度 $D_r=75\%$ とした。図-2に本研究で用いた押し広げ量、及び小型土圧計の設置位置を示す。模型実験においては、杭根入れ深さ(D_f)の中心の位置での杭径を杭の初期半径 a_0 とし、杭の押し広げ量は押し広げ後の杭半径(a)を用いて a/a_0 と定義する。また、杭中心からの水平距離 r 、杭径 a を用いて杭から周辺地盤までの距離を図中のように定義している。以下の実験結果は、これらの値を用いて整理を行っている。表-1に実験条件を示す。このうち、杭の表面粗さに関しては、杭側面に貼り付けたサンドペーパーの表面粗さの測定値である。

3. 実験結果

3.1 地盤内水平応力変化

図-3に杭押し広げ量-水平応力増分関係を示す。図より、押し広げ量の増加とともに杭側面および周辺地盤中の水平応力は増加し、その増分は杭からの距離が増加するに従って減少していることが分かる。 $r/a=9.0$ においては水平応力の変化はほとんど見られず、押し広げによる影響はないものと考えられる。図-4に杭押し広げに伴う周辺地盤($r/a=3.0$)の水平応力増分を示す。図-4は押し広げ量毎に比較を行っており、同一押し広げ量で比較した場合、初期水平応力増加とともに押し広げに伴う水平応力増分は減少していることが分かる。これより、地盤の拘束圧が増加するにつれて、押し広げに伴う周辺地盤の応力変化の影響範囲は減

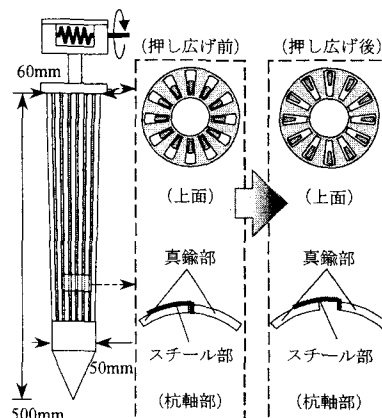


図-1 模型杭概略図

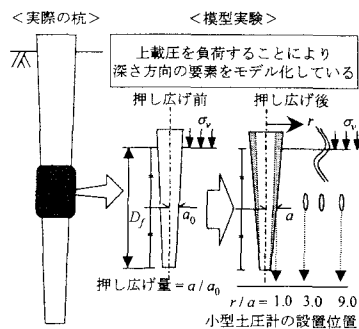
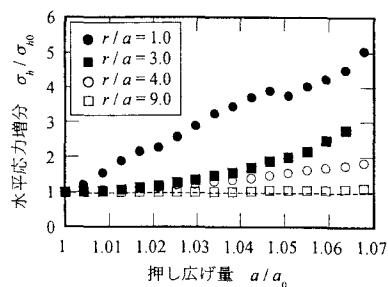


図-2 模型実験の定義

表-1 実験条件

初期水平応力 σ_{h0} (kPa)	8.2, 12.5, 25.0, 50.0
初期杭半径 a_0 (mm)	27.5, 28.7, 29.6
押し広げ量 a/a_0	1.0, 1.042, 1.075
相対密度 D_r (%)	75
杭表面粗さ R_{max} (μm)	100
根入れ深さ D_f (mm)	450

図-3 押し広げ量-水平応力増分関係
($\sigma_{h0}=12.5\text{kPa}$)

少すると考えられる。図-5に押し広げ後の応力緩和を示す。図の $\sigma_h(t=0)$ は押し広げ直後の水平応力を、 σ_h は時間 t における水平応力を表しており、縦軸は σ_h を $\sigma_h(t=0)$ で正規化し、応力緩和率としている。この図より、押し広げに伴い増加した水平応力は押し広げ後数時間で約7割まで減少しその後は一定値に収束する傾向にあるといえる。

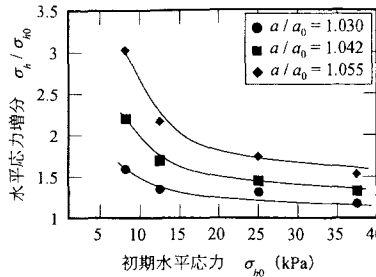


図-4 周辺地盤の応力増分

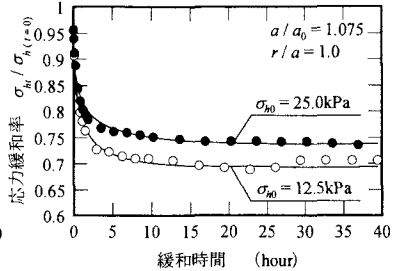


図-5 押し広げ後の応力緩和

3.2 周面摩擦力改善効果

図-6に初期水平応力 $\sigma_{h0} = 8.2, 25.0 \text{ kPa}$ における、杭の押し広げに伴う周面摩擦力改善効果を示す。図中の f_s は貫入前に押し広げを行った場合($a/a_0 = 1.042$)の周面摩擦力を、 f_{s0} は押し広げを行わずに貫入試験を行った場合($a/a_0 = 1.0$)の周面摩擦力を表わしており、縦軸は正規化量を用いて押し広げに伴う周面摩擦力改善効果を表わしている。図より、周面摩擦力改善効果は貫入初期($S/D = 0.05 \sim 0.10$)に卓越し、貫入量の増加とともに減少し、一定値に収束していくと考えられる。この傾向は、押し広げ量を変化させた場合においても同様であることを確認している¹⁾。図-7に初期水平応力別の最大周面摩擦力($f_{s\max}$)を示す。ここで、最大周面摩擦力とは、貫入試験から得られるピーク値の周面摩擦力の値を用いている。図より、最大周面摩擦力は押し広げの有無によらず初期水平応力の増加とともに増加することが分かる。しかし、押し広げに伴う最大周面摩擦力増分の割合($f_{s\max}(a/a_0 = 1.042) / f_{s\max}(a/a_0 = 1.0)$)は初期水平応力の増加とともに減少しており、杭の押し広げによる周面摩擦力改善効果は低拘束条件の場合ほど、大きな効果が得られると考えられる。

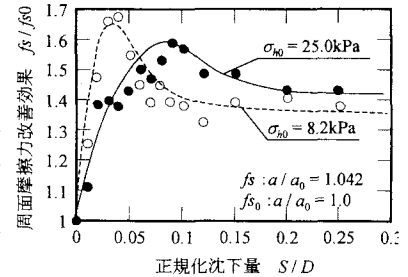


図-6 周面摩擦力改善効果

3.3 実測値と計算値の比較

図-8に、最大周面摩擦力に関する実測値と計算値の比較を示す。縦軸の実測値は模型杭載荷試験結果から得られる最大周面摩擦力の値を、横軸の計算値は、小型土圧計を用いて測定した水平応力変化を以下に示す周面摩擦力算定式に代入し、周面摩擦力値を算出している。

$$f_{s(\text{mea})} = (\sigma_{h0} + \Delta\sigma_{h1} - \Delta\sigma_{h2}) \tan \phi \quad (1)$$

ここに、 σ_{h0} :初期水平応力、 $\Delta\sigma_{h1}$:水平応力増加、 $\Delta\sigma_{h2}$:水平応力の緩和
実測値と計算値の対応は良好であり、杭の押し広げによる周面摩擦力改善効果は杭に作用する水平応力の変化から評価できると考えられる。

4. まとめ 本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 押し広げに伴い増加した水平応力は時間の経過とともに緩和するが、応力増分全てが緩和するのではなく、ある値に収束する。
- 2) 模型杭載荷試験においては、押し広げによる周面摩擦力改善効果は貫入初期に卓越し、貫入量の増加とともに一定値に収束する。
- 3) 杭の押し広げによる周面摩擦力改善効果は杭に作用する水平応力の変化から評価できることを示した。

なお、本研究は科学研究費基盤研究 B (No.14350260 (地盤の圧縮性を考慮したテーパ杭基礎の支持力評価と性能設計への展開)) の成果の一部である。

《参考文献》1) 馬場崎ら：杭の押し広げによる周面摩擦力改善効果と地盤内応力について、第38回地盤学会発表講演集, pp1429-1430, 2003

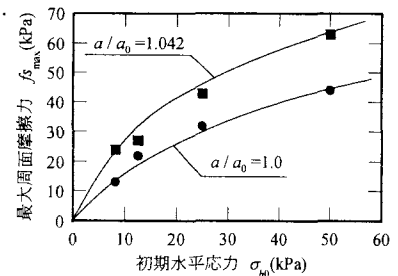


図-7 最大周面摩擦力比較

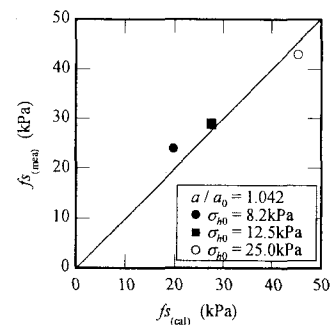


図-8 実測値と計算値の比較