

飽和砂地盤における杭の鉛直支持力に関する実験・解析的考察

杭 飽和砂地盤 鉛直支持力

長岡技術科学大学大学院
指導教官

西川 佑樹
大塚 悟
磯部 公一

1. はじめに

杭基礎の設計鉛直支持力の妥当性は杭の鉛直載荷試験によって確認することができるが、鉛直載荷試験の結果を活用するにあたり、飽和地盤では過剰間隙水圧の影響を考慮する必要がある。このとき、静的載荷と急速載荷では排水条件が異なり、排水条件の違いが杭の鉛直支持力特性に影響を与えられられるが、この影響に関して十分な研究実績が蓄積されているとは言えず、未解明な点が多い。本研究では、飽和砂地盤に着目し、杭の鉛直支持力特性の把握を目的として杭の鉛直載荷模型実験（静的載荷、急速載荷）と数値解析を実施した。

2. 載荷模型実験の概要

2.1 急速載荷模型実験

重錘を落下させることで急速載荷を行う FM (Falling Mass) 試験をモデル化する。急速載荷実験装置の概略図を **図-1 (a)** に示す。重錘は受皿に設けたガイドシャフトに沿って鉛直落下する。重錘と受皿の間に設置した硬質ゴムのクッション材により載荷時間を長くすることで急速載荷を再現する。重錘の重量は 3kg である。3 点で間隙水圧を計測した。

2.2 静的載荷模型実験

静的載荷実験装置の概略図を **図-1 (b)** に示す。1kg の錘と 15 kg の錘を併用し、1 段階に 1kg の段階載荷を行い、100 kg (1.0 kN) まで載荷する。

2.3 模型杭の諸元および模型地盤

模型杭は杭径(D)30 mm、肉厚 4 mm、長さ 400 mm で、アルミ製のものを用いる。杭先端はアルミ製のキャップで閉塞されている。模型地盤には、東北硅砂 6 号を用いて、相対密度 60%、90% の乾燥砂地盤および飽和砂地盤を作製した。**表-1** に本模型実験の実験ケースを示す。

3. 模型実験結果

鉛直支持力特性を把握するため、載荷荷重を周面摩擦力と杭先端支持力に分離した荷重分担の状況を **図-2~5** に示す。**図-2, 3** に示す静的載荷について荷重分担を見ると、杭先端支持力が杭頭荷重の約 85% を負担していることから、杭が先端支持杭として機能していると言える。静的載荷では乾燥・飽和で支持力特性に大きな違いは見られなかったが、**図-4, 5** の急速載荷の結果では乾燥砂と飽和砂で支持力特性の違いが見られる。これは **図-6** に示されるとおり、瞬間的な載荷により杭直下で負の間隙水圧が発生することによると考えられる。

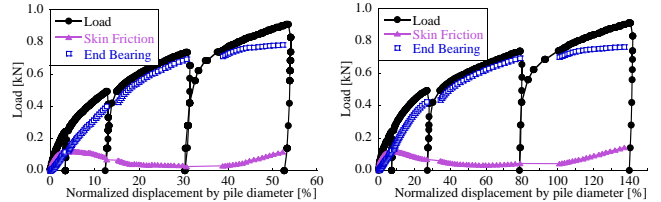


図-2 支持力分担 (Case1)

図-3 支持力分担 (Case3)

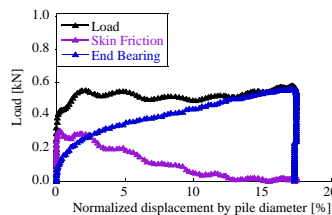


図-4 支持力分担 (Case5 (b))

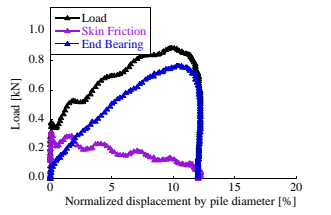


図-5 支持力分担 (Case7 (b))

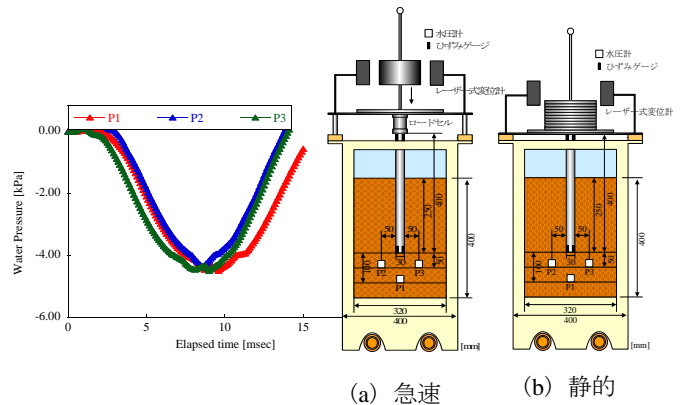


図-6 間隙水圧時刻歴 (Case7 (b)) 図-1 実験装置概略図

表-1 模型実験のケース

Case-No	載荷条件	地盤条件	相対密度[%]
Case-1	静的載荷	乾燥砂	92.1
Case-2			62.7
Case-3		飽和砂	91.4
Case-4			64.7
Case-5(a)	急速載荷 (落下高さ15cm)	乾燥砂	92.6
Case-5(b)	急速載荷 (落下高さ30cm)		
Case-5(c)	急速載荷 (落下高さ45cm)		
Case-6(a)	急速載荷 (落下高さ15cm)		63.7
Case-6(b)	急速載荷 (落下高さ30cm)		
Case-6(c)	急速載荷 (落下高さ45cm)		
Case-7(a)	急速載荷 (落下高さ15cm)	飽和砂	91.1
Case-7(b)	急速載荷 (落下高さ30cm)		
Case-7(c)	急速載荷 (落下高さ45cm)		
Case-8(a)	急速載荷 (落下高さ15cm)		62.5
Case-8(b)	急速載荷 (落下高さ30cm)		
Case-8(c)	急速載荷 (落下高さ45cm)		

4. 3次元弾塑性有限要素解析 (FEM)

4.1 模型地盤および模型杭のモデル化

模型地盤の構成式には非関連流れ則を適用した *Drucker-Prager* モデルを用いる。また、周辺地盤と杭体とのすべりを表現するためにジョイント要素を用い、模型杭は梁要素とソリッド要素を組み合わせたハイブリッド要素³⁾でモデル化する。本実験では杭体に発生する応力は降伏応力を超えない範囲で载荷されるため、杭材料は弾性構成式を用いる。本解析で用いた解析メッシュと境界条件は図-7に示すとおりである。

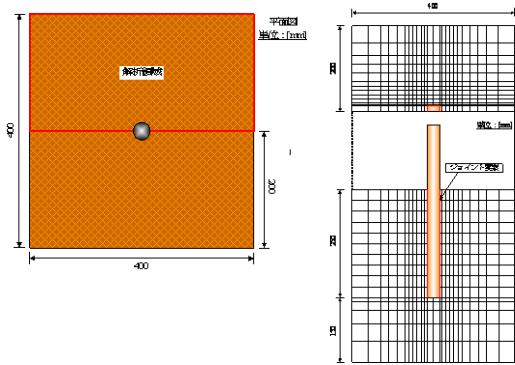


図-7 解析メッシュと境界条件

4.2 解析ケース

解析ケースを表-2に示す。実施した解析ケースはいずれも相対密度 90%の模型地盤を模擬した数値解析である。

表-2 解析ケース

Case-No.	载荷条件	地盤条件
Case-1	静的载荷	乾燥砂
Case-2		飽和砂
Case-3(a)	急速载荷(落下高さ 15 cm)	乾燥砂
Case-3(b)	急速载荷(落下高さ 30 cm)	
Case-3(c)	急速载荷(落下高さ 45 cm)	
Case-4(a)	急速载荷(落下高さ 15 cm)	飽和砂
Case-4(b)	急速载荷(落下高さ 30 cm)	
Case-4(c)	急速载荷(落下高さ 45 cm)	

4.3 ジョイント要素の挙動確認

ジョイント要素の機能を図-8の応力変化より確認する。図では地表面に近いものほど早い段階で降伏しており、アルミ鋼管の滑らかな滑り表面を再現できているため、ジョイント要素は適正に機能している。

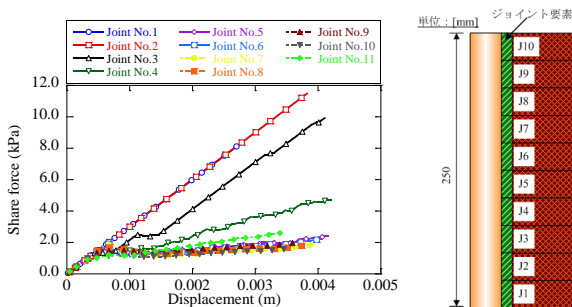


図-8 ジョイント要素の応力～変位関係

4.4 解析結果

図-9, 10に静的载荷の解析結果を示すが、実験結果と解析結果が概ね一致していることから、数値解析は実験結果をほぼ再現できると言える。しかし、急速载荷の場合は荷重の立ち上がり、ピーク荷重等は概ね追従できているが、除荷に至るまでの変位の発生量が実験値に比べて小さいことから、再現できていないことが図-11, 12から読み取れる。この原因としては、急速载荷の場合には非排水条件となるために間隙水圧が発生するが、今回用いた DP 則は変形過程の水圧発生量を適切に表現できないことが考えられる。

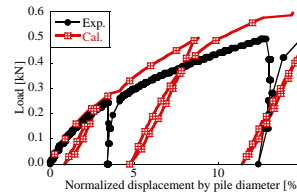


図-9 荷重～変位関係 (静的・乾燥)

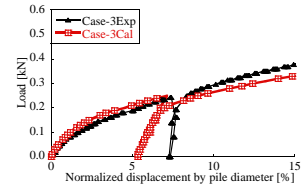


図-10 荷重～変位関係 (静的・飽和)

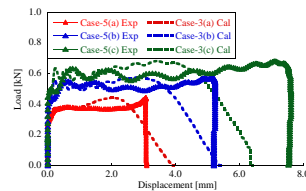


図-11 荷重～変位関係 (急速・乾燥)

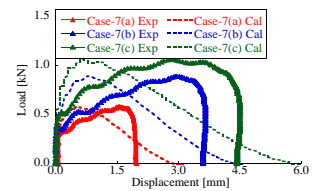


図-12 荷重～変位関係 (急速・飽和)

5. 結論

- (1) 静的载荷実験では乾燥・飽和で支持力特性に大きな違いは見られなかったが、急速载荷実験では支持力特性に差が生じることがわかった。
- (2) 数値解析では静的载荷実験の結果はほぼ再現できたが、急速载荷実験の結果はうまく再現できなかった。
- (3) 急速载荷の数値解析がうまく再現できなかった理由として、DP 則が変形過程の水圧発生量を適切に表現できなかったことが原因と考えられる。

参考文献

- 1) Middendolp, P. Berminbham, P. and Kuiper, B. : Statnamic load testing of foudations piles, Prac. 4th Int. Conf. on the Application of Stress-Wave Theory to Piles, The Hague, pp.581-588. 1992.
- 2) 地盤工学会：杭の鉛直载荷試験方法・同解説, 2002
- 3) Kimura, M. and Zhang, F. : Seismic evaluations of pile foundations with three different methods based on three-dimensional elasto-plastic finite element analysis, Soils and Foundations, Vol.40, No.5, pp.113-132, 2000.