

テーパー杭の周面摩擦力改善効果に関する解析的検討

九州大学大学院〇学 坂本俊彦 九州大学大学院 工学部 落合英俊
九州大学大学院 正 安福規之 九州大学大学院 正 中島通夫

1. 研究背景・目的

テーパー杭とは、杭頭から杭先端にいくにつれて杭径が細くなっていく形状の杭基礎である。テーパー杭はその形状から直杭よりも高い周面摩擦力を発揮できると考えられているが、その支持力発現メカニズムについては十分な検討がなされていないのが現状である。そこで本研究では、まず模型載荷試験を行うことによりテーパー形状杭の支持力を合理的に評価するための基礎的データを示す。次に、個別要素法¹⁾ (Distinct Element Method, DEM)を用いた解析によりテーパー形状に着目した支持力発現メカニズムの検討を行う。

2. 実験及び解析方法

図-1 は今回の実験で使用した載荷試験装置の概略図である。土槽は直径 700mm、高さ 1000mm の円柱形状であり、上部に取り付けたエアシリンダーにより地盤に任意の土被り圧を加えることのできる構造となっている。模型地盤には豊浦標準砂を用い、空中落下法により相対密度が 75% となるように地盤を作成した。実験は地盤を図-1 のように作成後、土被り圧として 100kPa を加え、杭が 20mm 沈下するまで載荷試験を行った。土槽底面部及び模型地盤内には小型土圧計を設置しており、載荷過程に伴う地盤内応力変化を測定することができる。模型杭は杭長 555mm、杭頭径 50mm、59mm、68mm、杭先端径 50mm(テーパー度 0%、2%、4%、テーパー度については図-2 参照)の 3 ケースであり、根入れ深さは 455mm として実験を行った。

解析には個別要素法(Distinct Element Method, DEM)を用い、杭載荷過程における地盤内粒子の挙動および応力状態の確認を行った。解析では、図-3 に示す軸対称のモデル化を行っている。模型地盤は横幅が杭径 D の約 35 倍、深さが杭径 D の約 48 倍(900×1200mm)であり、約 50000 個の円要素によって構成されている。解析境界面である土槽壁面と地盤要素との摩擦係数は 0 である。土被り圧、杭形状、載荷手順は実験と同様である。解析で用いた主なパラメータを表-1 に示す。

3. 実験及び解析結果

3.1 テーパー角の違いによる周面摩擦力改善効果

図-4 は、テーパー角を変化させたときの載荷試験から得られた正規化沈下量と周面摩擦力の関係である。正規化沈下量 $S/D=0.05$ 付近の周面摩擦力を考えると、テーパー角の増加とともに周面摩擦力が増加する傾向にあることがわかる。また、テーパー杭は $S/D=0.05$ 付近を過ぎたあとも周面摩擦力が減少するのではなく、増加していくことが確認できる。その理由として、杭の形状がテーパー状であるため沈下過程

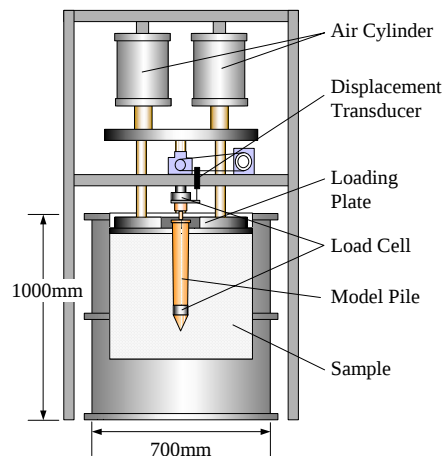


図-1 載荷試験装置

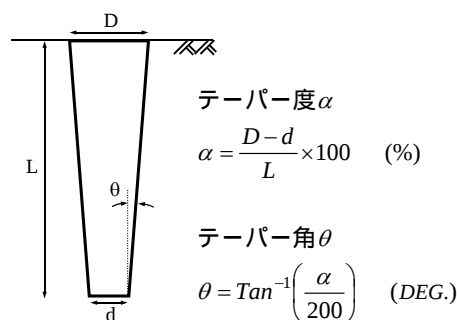


図-2 テーパー度

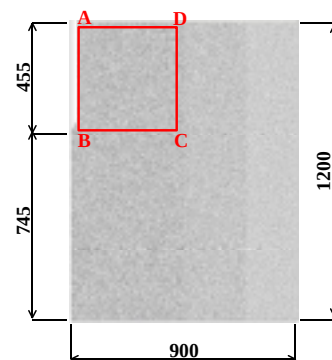


図-3 解析モデル

表-1 解析条件

初期条件	模型地盤サイズ(m²)	0.9 × 1.20
	粒径(m)	0.003 ~ 0.006
	粒子数	約50000
	杭のテーパー度(%)	0, 2, 4
地盤定数	法線方向せん断弾性係数(N/m)	1 × 10⁸
	接線方向せん断弾性係数(N/m)	1 × 10⁸
	粒子-粒子間摩擦係数	0.5
	粒子-杭間摩擦係数	0.5
	粒子-土槽壁面間摩擦係数	0
	土粒子密度(kg/m³)	2640

において、杭側面の土が側方に押し広げられ周辺地盤内の応力が増加しているためであると考えられる。

以下、杭周辺地盤が締固められ水平応力が増加していく過程を明確にするため、離散的解析法である個別要素法を用いて考察を行った。

3.2 荷重過程における地盤内応力変化の解析結果に基づく考察

図-5は、テーパ角を変化させたときの解析から得られた正規化沈下量と周面摩擦力の関係である。個別要素法を用いた解析から得られる結果は周面摩擦力のピーク値の増加、ピーク後の周面摩擦力が大きな値を維持しているという点で模型実験の傾向をよく表していることがわかる。

図-6は、杭貫入過程において杭側面に作用する水平応力変化の様子を示している。ここで、杭に作用する水平応力とは杭側面に作用する力を杭長で割った単位長さ当たりの力のことである。直杭(テーパ度 0%)の側面に作用する応力がピークを過ぎた後減少していくのに対して、テーパ度=4%のテーパ杭の場合、杭の沈下に伴い側面に作用する水平土圧が増加していることがわかる。図-7、図-8は、直杭(テーパ度 0%)とテーパ杭(テーパ度 4%)における荷重試験終了直後($S/D=0.4$)の地盤内の応力変化($(\sigma_{ho}+\Delta\sigma_h)/\sigma_{ho}$)を示している。図中の領域とは図-1に示す杭近傍の領域 ABCD 内であり、縦軸と横軸はそれぞれ模型地盤内の座標を示している。ここで、地盤内応力変化とは荷重試験終了時($S/D=0.4$)の地盤内水平応力($\sigma_{ho}+\Delta\sigma_h$)を荷重前($S/D=0$)の地盤内水平応力(σ_{ho})で正規化したものである。直杭(テーパ度 0%)周辺の地盤内にはそれほど顕著な水平応力変化は見られないが、テーパ杭(テーパ度 4%)周辺の地盤内には大きいところで 1.5 倍程度の水平応力増加が確認できる。これらのことから、テーパ杭が直杭よりも高い周面摩擦力を発揮することができる主要な理由として、杭側面に作用する応力の増加が挙げられる。また増加した地盤内の応力は、周面摩擦力ピーク値の増加及び残留強度の増加という改善効果に貢献するといえる。

5. まとめ

模型荷重試験及び個別要素法(DEM)を用いた解析結果より、テーパ杭は直杭よりも高い周面摩擦力を発揮することを示した。

直杭の周面摩擦力はピーク値を越えると減少していくのに対して、テーパ杭の周面摩擦力はピークを迎えた後もその値を維持する。

その理由として、テーパ杭は荷重過程において杭周辺の地盤を側方

に押し広げ、杭側面に作用する水平応力が増加することが挙げられる。以上のことより、テーパ杭は直杭に比べて効率よく周面摩擦力を発揮することのできる基礎形状であるといえる。テーパ杭は北米で用いられている基礎であるが、施工性の問題点等から日本国内では施工実績が無いのが現状である。そこで、今後はテーパ杭の利点が十分に発揮できる新しい基礎形式の提案へ繋げていきたいと考えている。

【参考文献】1) P.A.Cundall and O.D.L.Strack: A discrete numerical model for granular assemblies, Geotechnique 29, No.1, 47-65, 1979

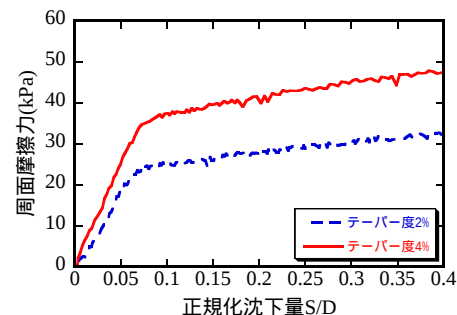


図-4 周面摩擦力(実験値)

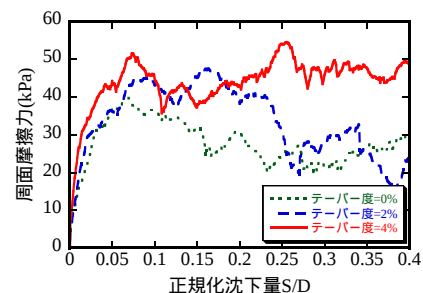


図-5 周面摩擦力(解析値)

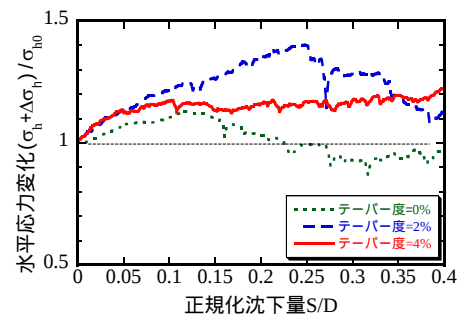


図-6 水平応力変化

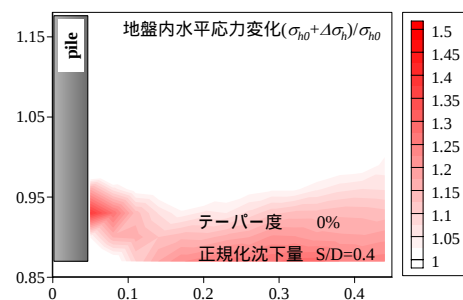


図-7 地盤内水平応力変化
(テーパ度 0%)

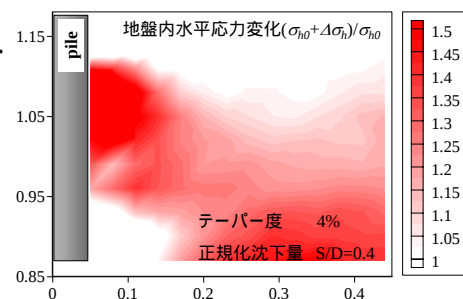


図-8 地盤内水平応力変化
(テーパ度 4%)