

小口径群杭基礎の鉛直支持力特性と周面摩擦長に関する解析的検討

東日本旅客鉄道

正会員 ○野本 将太

正会員 金城 雄也

正会員 滝沢 聡

正会員 加藤 精亮

1. 目的

筆者らは、文献¹⁾の実験的検討により、小口径の杭を密集して群杭基礎とした場合に、杭の面積以上に支持力が発揮されることを確かめた。本論文では、模型実験の再現解析を実施し、周面摩擦長に着目した解析的検討により、鉛直支持力特性を把握することを目的とする。

2. 解析方法

解析モデルの概要図を、図-1に示す。解析モデルは、模型実験³⁾を模擬したものである。解析モデルは、既往の解析²⁾を参考として、1/4モデルとした。

解析ケースを、表-1に示す。Case1を群杭、Case2を単杭として、杭の先端に砂を塗布した摩擦定着長 L_F のパラメータを変化させた。Case1-0 ($L_F=0\text{mm}$)、Case1-1 ($L_F=110\text{mm}$)、Case2-2 ($L_F=210\text{mm}$)は、模型実験³⁾を実施しているため、実験結果と解析結果を比較することで解析モデルの妥当性を検証する。

解析モデルの緒元を、図-2および表-2に示す。詳しくは、既往の解析²⁾を参照されたい。変更点として、内部摩擦角 ϕ は、模型実験に用いた東北珪砂6号の三軸圧縮試験により、残留摩擦角 ϕ_{res} を設定した。既往の解析²⁾より、杭底のひずみレベルがピーク強度時のひずみレベルを大きく超過していたため、残留強度に合わせ設定した。ヤング率 E は、三軸圧縮試験における E_{50} より有効上載圧 σ'_v の0.5乗則の近似線を求め、地表～杭中間、杭中間～土槽底面区間の2区間で直線分布となるように設定した。杭と地盤との境界面には、剥離と摩擦を表現できるCoulomb則の面ジョイントを用いた。ジョイントの摩擦角は、杭のアルミと地盤の接触面には $\mu=0.3$ を、砂を塗布した摩擦定着面には土の内部摩擦角 ϕ_{res} を設定した。

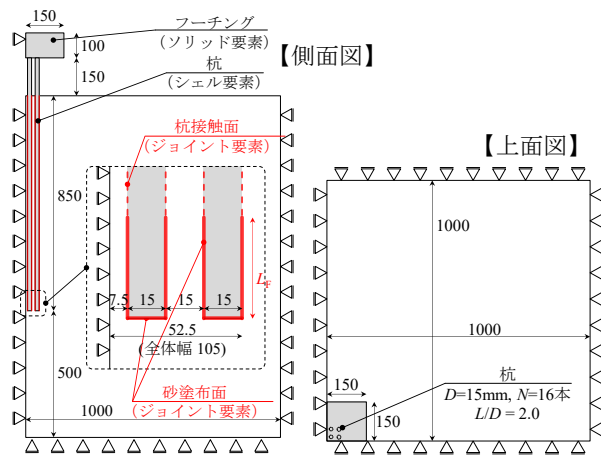


図-1 解析モデル図

表-1 解析ケース

Case	杭径 D [mm]	杭本数 N [本]	杭間隔 S/D	摩擦定着長 L_F [mm]
1-0~1-3	15	16	2.0	0,110,210,410
2-0~2-3	15	1	-	0,110,210,410

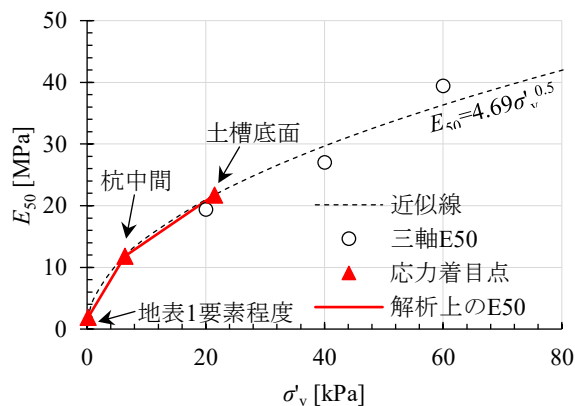
図-2 地盤の変形係数 E の設定

表-2 物性値一覧

名称	要素	γ [kN/m ³]	E [kN/m ³]	c [kPa]	ϕ [deg.]	ψ [deg.]	t [mm]
地盤	ソリッド	16.21	図-2より	0.0	36.8	6.8	—
フーチング	ソリッド	27.00	70.3×10^6	—	—	—	—
杭側板	シェル	27.00	70.3×10^6	—	—	—	1.0
杭底板	シェル	27.00	70.3×10^6	—	—	—	5.0
名称	要素	k_n [kN/m ³]	k_s [kN/m ³]	c [kPa]	ϕ [deg.]	ψ [deg.]	
杭接触面	ジョイント	1.1×10^7	1.1×10^6	0.0	16.7	0.0	
砂塗布面	ジョイント	1.1×10^7	1.1×10^6	0.0	36.8	6.8	

キーワード 群杭, 支持杭, 有限要素解析, 支持力試験

連絡先 〒163-0231 東京都新宿区西新宿二丁目6番1号新宿住友ビル31階 TEL 03-6851-0086

3. 解析結果および考察

図-3 に、周面摩擦長 $L_F = 0\text{mm}$ および $L_F = 210\text{mm}$ の解析結果および実験結果を示す。なお、単杭の Case2 の解析結果は、群杭の Case1 の結果と比較するため、解析で得られた荷重反力を杭本数に合わせて 16 倍している。 $L_F = 0\text{mm}$ のケースにおいては、初期勾配および降伏挙動を概ね再現している。群杭の Case1 の荷重反力は、単杭の Case2 の荷重反力を下回る結果となった。 $L_F = 210\text{mm}$ としたケースでは、単杭の Case2 の解析結果は、実験と比較して、荷重反力を過大に評価した。群杭の Case1 の結果は、実験結果を概ね再現できている。

周面摩擦長 L_F と沈下量 10mm 時点（群杭の全体幅 105mm の 10%）の荷重反力の関係を、図-4 に示す。実験結果は周面摩擦長 $L_F = 110\text{mm}$ 付近で荷重反力が頭打ちとなったが、解析結果では周面摩擦長 $L_F = 110\text{mm}$ に比例して荷重反力が上昇する結果となった。 $L_F = 110\text{mm}$ とした場合、実験結果では荷重反力が大きく向上しているものの、解析における群杭の Case1 では、周面摩擦長分の支持力向上しか発揮されなかった。

実験の群杭における周面摩擦長 L_F に対する支持力向上メカニズムを検証するため、杭底地盤の平均有効主応力 p' のコンター図を、図-5 に示す。周面摩擦を設けていない $L_F = 0\text{mm}$ のケースにおいては、中央部の杭の地盤に、大きい応力が発生しており、杭と杭の間にある地盤には応力が生じていない。一方で、周面摩擦長 L_F を増加させたケースでは、杭直下の地盤の応力が減少しており、群杭の範囲内に応力が分散している。周面摩擦長を設けたことで、群杭内の地盤を拘束し、抵抗していることが示唆される。また、周面摩擦長 $L_F = 110\text{mm}$ としたケースは、 $L_F = 210\text{mm}$, 410mm のケースの応力分布とほとんど変化はなく、模型実験において、周面摩擦長 $L_F = 110\text{mm}$ 付近で荷重反力が頭打ちとなった傾向と一致した。

実験と解析結果との乖離について、解析に用いたモデル（Mohr-Coulomb モデル）では、地盤の平均有効主応力 p' の変化に対して、せん断強度 q は変化するものの、変形係数 E は設定値から変化しないことが影響したと考えられる。地盤の硬化則を表現できるモデルを採用することで、解析精度の向上が期待される。

4. まとめ

小口径群杭について、周面摩擦長に着目した再現解析を実施した。杭の摩擦を再現したモデルを用い、荷重沈下曲線について概ね再現できた。周面摩擦長を変化させた際の、解析における杭底地盤の平均有効主応力のコンター図の変化は、実験での荷重反力の変化の傾向と概ね一致した。

参考文献

- 1) 和田ら：小口径群杭基礎の鉛直支持力特性に関する実験的検討、第 76 回土木学会年次学術講演会、2021.9.
- 2) 野本ら：小口径群杭基礎の鉛直支持力特性に関する解析的検討、第 76 回土木学会年次学術講演会、2021.9.
- 3) 金城ら：タイトル、第 76 回土木学会年次学術講演会、2021.9. (投稿中)

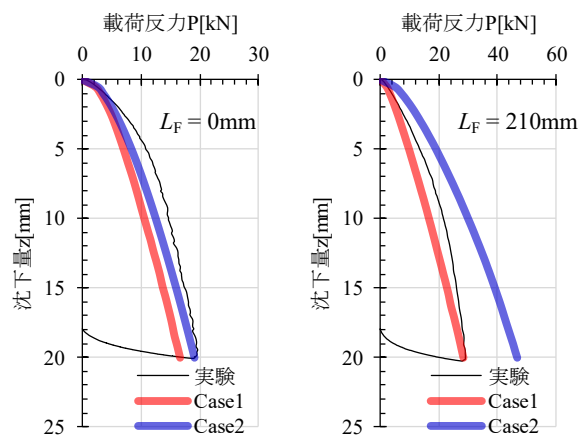


図-3 荷重沈下曲線

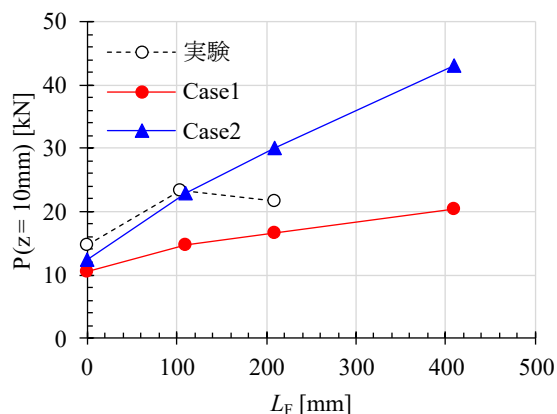


図-4 周面摩擦長 L_F と沈下 10mm 時の荷重反力

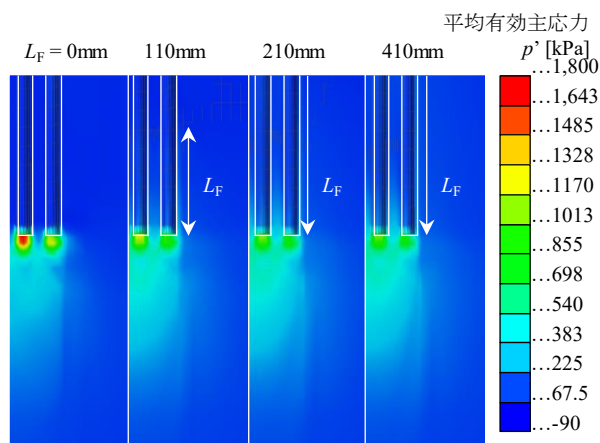


図-5 杭底地盤の平均有効主応力 p' コンター図