

小口径群杭基礎の鉛直支持力特性に関する解析的検討

東日本旅客鉄道株式会社 正会員○野本 将太 正会員 和田 旭弘
正会員 滝沢 聡 正会員 竹谷 勉

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、杭先端の地盤の応力状態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。Case1 を単杭，Case2 を小口径群杭とした。杭の支持力特性を検討するために、3次元の有限要素解析を用いた。鉛直方向への载荷であるため、解析モデルは 1/4 モデルとした。地盤要素の解析領域は、 $X=1.0\text{m}$ ， $Y=1.0\text{m}$ ， $Z=1.85\text{m}$ とした。杭の底面から解析領域の底面までは、杭径の 5 倍以上となるよう 1.0m を確保した。

解析モデルの諸元を、表-1 に示す。地盤はソリッド要素とし、構成則には Mohr-Coulomb モデルを用いた。粘着力 c および内部摩擦角 ϕ は、三軸圧縮試験により算出した。ヤング率 E は、三軸圧縮試験における E_{50} より、杭の自重を含む杭先端地盤の拘束圧下での値を近似して採用した。フーチングおよび杭は、弾性体要素としており、アルミニウム相当の物性値を用いた。杭は、模型実験 1) では先端を閉塞したアルミパイプを用いていたため、シェル要素にて再現した。杭側板と杭底板のシェル要素は、模型で用いたアルミ板の厚さを考慮している。

杭と地盤との境界面には、剥離と摩擦を表現できる Mohr-Coulomb 則の面ジョイントを用いた。法線方向バネ定数 k_n と接線方向バネ定数 k_s には、地盤と比較して十分剛性の高い値を採用した。地盤と杭との周面摩擦角は、模型実験の杭に設置したひずみゲージより求めた $\mu=0.3$ 程度となるように設定した。面ジョイントは、杭の側面にのみ設定しており、杭の底面要素と地盤要素は一体化している。

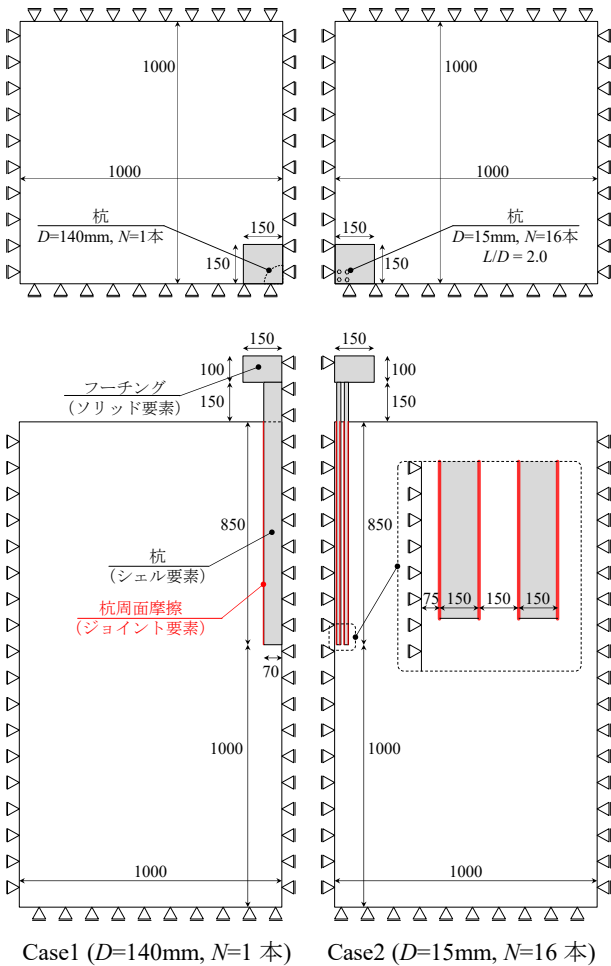


図-1 解析モデル概要図

表-1 モデルの諸元

名称	要素	γ (kN/m^3)	E (kN/m^2)	c (kPa)	ϕ ($^\circ$)	t (mm)
地盤	ソリッド	16.21	25.0×10^3	0.4	44.1	—
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	—	—	2.5
杭底板	シェル	27.00	70.3×10^6	—	—	5.0
名称	要素	k_n (kN/m^2)	k_s (kN/m^2)	c (kPa)	ϕ ($^\circ$)	
周面摩擦	面ジョイント	1.1×10^6	1.0×10^5	0	16.7	

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

載荷方法は、フーチングの上面に対して、鉛直下向きに均等に圧力を作用させた。荷重に換算して 0.5kN を 1 ステップとして、逐次非線形解析により収束計算させた。

3. 解析結果

解析結果を、図-2 に示す。図中には、模型実験の結果も併せて示した。Case1 の単杭では、実験結果を概ね再現することができた。同様の解析手法で小口径群杭を表現した Case2 の結果では、載荷初期の勾配と降伏挙動にズレはあるものの、概ねの荷重変位曲線を再現した。

杭底地盤の応力状態を確認するため、0.1D 沈下時の平均有効主応力 p' のコンター図を、図-3 に示す。なお、Case2 は、文献 1)における換算杭径 $D'=109.0\text{mm}$ を用いて、0.1D'=10.9mm 沈下時のコンター図を示している。Case1 の単杭では、杭の直下に高い応力が発生しており、杭外周 20mm (0.14D) 程度まで平均有効主応力 p' が上昇している。Case2 の小口径群杭では、杭と杭の中心を結んだ範囲内の地盤の平均有効主応力 p' が上昇しており、文献 1)で仮定した有効面積ともよく一致した。図-3 に図示した離隔 0.5D ライン上において、杭と杭の間の地盤のみ平均有効主応力 p' が上昇した。杭に囲まれている地盤は、群杭による拘束効果が表れていると考えられる。

Case2 の小口径群杭における支持力特性を確認するために、杭先端地盤の主応力経路を図-4 に示す。杭近傍 (0.25D) の位置では、載荷初期より限界状態線に沿った応力経路を示した。杭間 (0.5D) の位置では、載荷初期では限界状態線の下方の経路となっているが、載荷が進むにつれ限界状態線に近づく経路を取り、11.5kN (6.98mm) 載荷時に限界状態線に触れる結果となった。Case2 の小口径群杭では、杭直下だけではなく杭間の地盤についても、鉛直載荷に対して杭間の地盤がせん断破壊しており、抵抗力として発揮したと考えられる。杭の支持形式が異なるが、伊藤ら²⁾の摩擦群杭基礎による地盤の拘束効果と同様の傾向を示した。

4. まとめ

本論文では、小口径群杭基礎における鉛直支持力特性を把握するために、解析的検討を実施し、以下の知見を得た。①杭間隔 1.0D の群杭では、鉛直載荷により杭間の地盤の平均有効主応力 p' が上昇した。②杭間隔 1.0D の群杭では、鉛直載荷に対して杭間の地盤がせん断破壊しており、抵抗力として発揮した。今回の解析では、杭間隔が 1.0D と非常に近接した条件下となっているが、杭間隔が広がるほど地盤の拘束効果は発現しにくいと考えられる。今後は、杭の間隔や杭の配置を変更した実験および解析を実施し、地盤拘束効果を詳細に検証する予定である。

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。（投稿中）
- 2) 伊藤ら：摩擦群杭基礎の鉛直載荷実験および有限要素解析による支持力機構の検討，日本建築学会構造系論文集，第 591 号，pp61-68，2005 年 5 月。

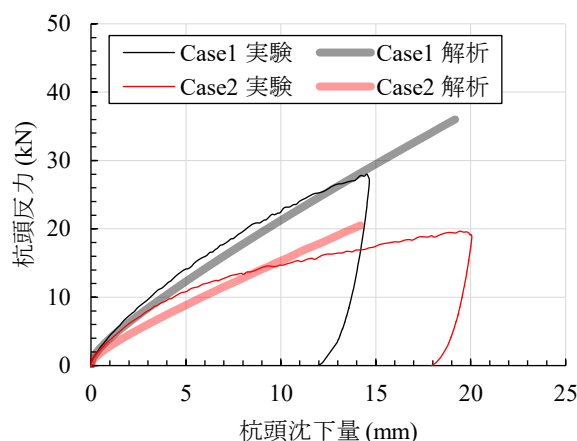


図-2 解析結果（荷重－沈下曲線）

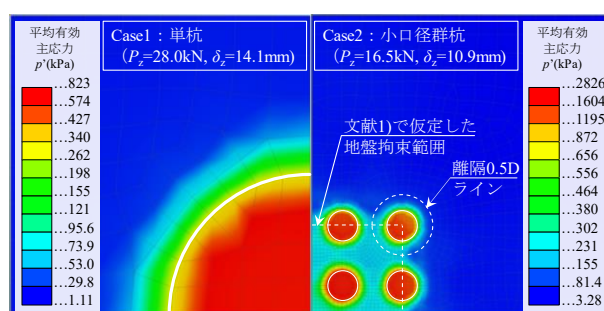


図-3 杭底地盤の応力状態

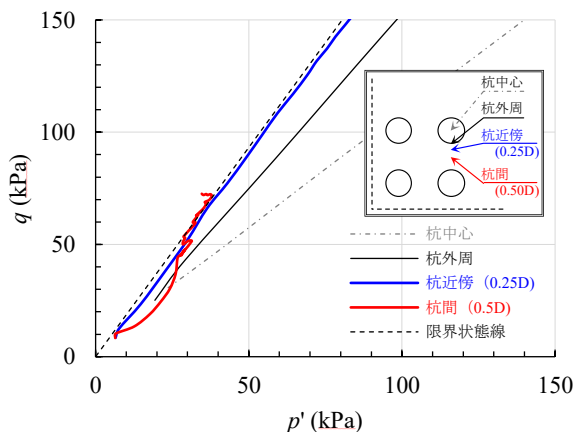


図-4 小口径群杭基礎の杭先端地盤の応力経路