

支持層厚に着目した開端杭押し込み時における支持層の変形挙動に関する個別要素解析

京都大学大学院 正会員 ○木戸隆之祐
 京都大学 非会員 西宮夏海
 京都大学大学院 フェロー 木村 亮

1. はじめに

杭径に比べて層厚が薄い支持層（薄層）に杭基礎を施工する場合、支持層下部の軟弱層の影響を受けて支持力が大きく低下する。薄層支持杭の研究は主として閉端杭を取り扱っており、開端杭についてはX線CTを用いた実験¹⁾など、閉端杭に比べて研究事例は非常に少ない。したがって、支持層厚が異なる場合、開端杭の支持力メカニズムがどのように異なるかは十分に検討されていない。

そこで本研究では、要素間の接触力や運動を直接測定可能な個別要素法を用いて、支持層厚が異なる地盤モデルを作製し、開端杭の押し込み解析を行う。特に、支持層厚による支持層の粒子構造変化の違いに着目し、支持力特性への影響を定性的に理解する。

2. 解析の概要

本研究は二次元個別要素法プログラム DEMseg²⁾を用いて解析を実施する。解析モデルの概略図を図1に示す。支持層厚を H 、杭径を D とし、 $H/D=8/3$ としたCase 1、 $H/D=2/3$ としたCase 2の2種類の地盤モデルを作成し、後者を薄層支持杭として想定する。非支持層は円要素の粒子で、支持層は3つの円要素をオーバーラップ率0で結合したクランプ粒子でモデル化した。粒子間の接触点数を増やし、噛み合わせ効果によって支持層の方が非支持層よりも高い強度・剛性を示すことを表現する。モデルのパラメータを表1に示す。杭は、支持層粒子と同じ物性を持つセグメント要素でモデル化した。計算コストを考慮し、本解析で扱う粒径は珪砂5号や豊浦砂よりも20倍程度大きい。また、杭の肉厚が小さいことで先端支持力が発揮されず、支持層厚による支持力の差が明確にならない状況を避けるために、非支持層の粒子10個分を杭の肉厚と設定した。そのため、本解析で用いた杭モデルは、鋼管杭といった実際の開端杭を再現しておらず、今後の課題である。

3. 解析結果

図2に荷重-押し込み変位関係を示す。ここに示す荷

重は、粒子同士および粒子-杭の要素間に働く鉛直方向の接触力を総和したものである。開端杭の先端が支持層に到達するのは $\delta/D=1.3$ の時点であり、その時点からCase 1とCase 2で支持力に差が生じ始めていることが確認できる。これは過去の研究結果¹⁾と傾向が類似している。

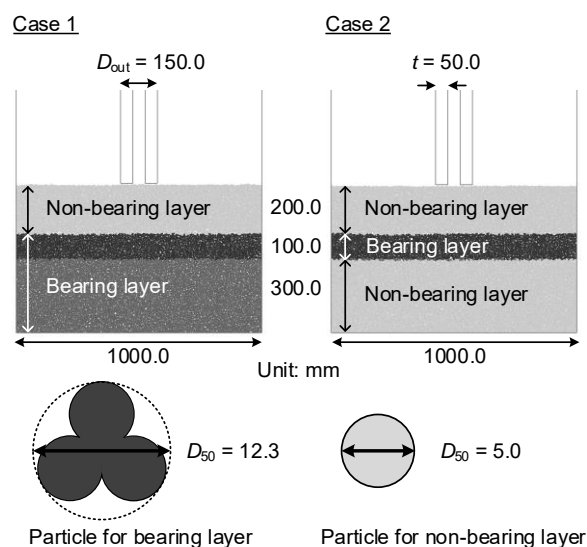


図1 モデルの概略図

表1 解析パラメータ

	支持層	非支持層	杭
密度 ρ [g/mm ³]	250	250	250
法線ばね定数 k_n [N/m]	1.0×10^3	1.0×10^3	1.0×10^3
接線ばね定数 k_s [N/m]	1.0×10^3	1.0×10^3	1.0×10^3
法線粘性定数 c_n [N/m/s]	0.89	0.44	0.89
接線粘性定数 c_s [N/m/s]	0.89	0.44	0.89
粒子間摩擦角 ϕ [deg]	45	27	45
D_{50} [mm]	12.3	5.0	—
粒子形状	非円形	円形	—

個別要素法、薄層、開端杭

〒615-8540 京都市西京区京都大学桂Cクラスター4棟583号室, Tel&Fax: 075-383-3193

図3に開端杭内における粒子の高さの推移を示す。杭先端から、管内部において高い位置にある粒子10個の平均高さまでの長さを求めている。開端杭が支持層に到達する時点 ($\delta/D=1.3$) の少し前から Case 1 の方が高くなっている。また、押し込み量の増分に対する管内部土高さの増分比は、Case 2 の方が Case 1 よりも小さく、Case 2 において粒子が管内部に入りにくい状態、つまりより閉塞した状態であることを意味する。開端杭の支持力は閉塞効果により上昇すると考えられる³⁾。一方、Case 2 の支持力は Case 1 よりも小さく (図2)、閉塞効果の影響が顕著でないことがわかる。

図4に同一深さにおける支持層の変形挙動の比較を示す。開端杭が支持層に到達する少し前の時点 ($\delta/D=1.3$) で、Case 2 では支持層がやや沈下している。開端杭の貫入が終了した時点 ($\delta/D=2.0$) では、完全支持では管内部に支持層が貫入しているが、薄層支持では支持層の沈下がさらに進行している。つまり、薄層支持において管内部に土が入らないのは、閉塞しているのではなく、支持層が下部非支持層とともに沈下しているためである。したがって、薄層に開端杭が押し込まれる場合、支持層の沈下による先端抵抗力の低下と、管内部と土の接触領域が少ないことによる内周面摩擦力の低下により支持力低下が起きると考えられる。

4. 結論

薄層への開端杭の押し込み時には、管内部に粒子が入りにくい傾向がある。これは、開端杭が支持層に到達する少し前の時点から支持層が下部非支持層とともに沈下するためである。これらの影響によって杭の先端抵抗力と内周面摩擦力が発揮されにくくなり、支持層が厚い条件に比べて支持力が低くなる。

謝辞

DEMseg を用いた解析にあたり、筑波大学松島亘志教授の協力を得た。ここに記して謝意を評する。

参考文献

- 1) 末澤理希, 木戸隆之祐, 澤村康生, 木村 亮: 支持層厚の異なる地盤に支持された開端杭先端周辺地盤の変形挙動の定量化, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, No.III-278, 2021.
- 2) Matsushima, T.: Effect of irregular grain shape on quasi-static shear behavior of granular assembly, *Powders & Grains 2005*, Balkema, Vol.2, pp.1319-1323, 2005.
- 3) 菊池喜昭, 佐藤宇絢, 森川喜之: 開端杭貫入時の杭先端周辺地盤の変形挙動の観察, 港湾空港技術研究資料, No.1177, pp.1-22, 2008.

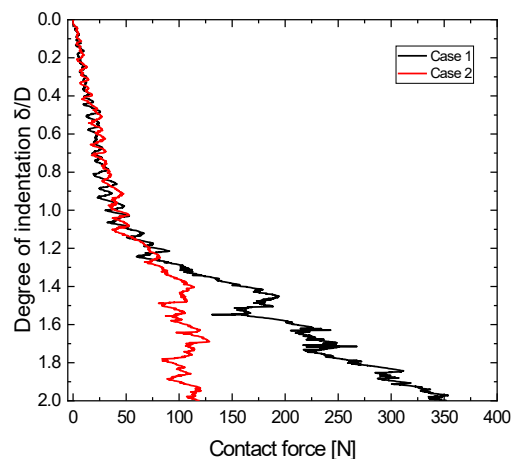


図2 荷重—押し込み変位関係

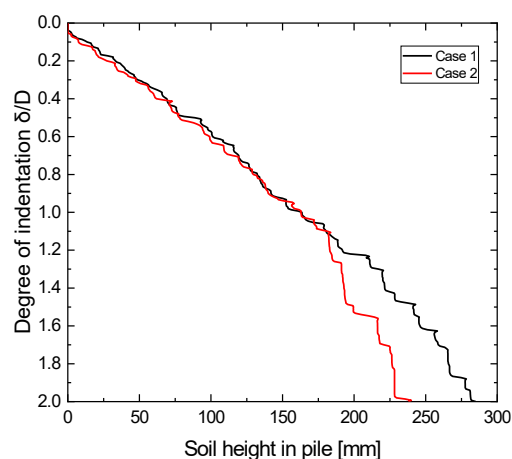


図3 管内部の土の高さの推移

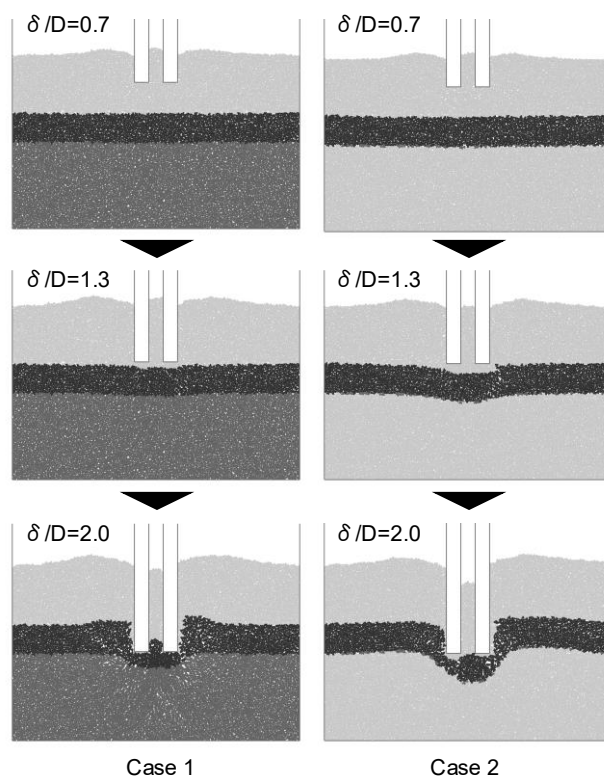


図4 同一深さにおける支持層の変形挙動の比較