

異なる支持層厚の地盤に支持された開端杭先端地盤の変位場とひずみ場の定量化

京都大学大学院 学生会員 ○末澤理希

京都大学大学院 正会員 木戸隆之祐

京都大学大学院 正会員 澤村康生

京都大学大学院 フェロー会員 木村 亮

1. はじめに

開端杭において、杭先端以深の支持層厚が小さい薄層に杭が支持された場合、支持層下部の軟弱層が杭の鉛直支持力に影響を及ぼすと考えられる。

そこで本研究では、層厚の異なる支持層を含む模型地盤を作製し、等方拘束圧条件下で開端模型杭の押し込み試験とX線CT撮影を行った。さらに、画像相関法により、模型杭押し込みに伴う地盤内部の変位場とひずみ場を定量化し、有効層厚の差異が開端杭の鉛直支持力に及ぼす影響を検討した。本稿では、その実験結果について述べる。

2. 実験概要

実験方法は別報²⁾の通りで、図1に示す模型地盤を作製し、100 kPaの等方圧力条件下、押し込み速度0.5 mm/minでの開端模型杭の押し込み試験とCT撮影を並行して実施する。

3. 押し込み試験結果

図2に押し込み試験により得られた荷重-変位関係を示す。前述の通り、初期状態において杭先端に僅かに土粒子が入り込んでしまうため、载荷初期の荷重にはばらつきが見られるものの、ほぼ全実験ケースに共通して、荷重(支持力)は押し込みとともにその増分が大きくなり、その後ケースごとに概ね同じ値を示すことが分かる。

Case-1とCase-2、Case-3の結果を比較すると、有効層厚により支持力に差異が見られる。しかし、Case-2とCase-3で得られた支持力にはあまり差がなかった。これは開端杭における既往の研究結果³⁾と異なり、開端杭の場合は有効層厚が杭径の3倍であっても十分な支持層とはいえないことが分かる。

別報²⁾に記載の通り、押し込みによって支持層が変形し始める点である押し込み変位 $1.7D$ 時を後述の解析の初期点と設定した。これを基に、CT撮影を载荷前、解析の初期点から2 mm間隔で5点、押し込み変位30 mmの計7点で行った。

図3に初期、押し込み変位 $1.7D$ 、 $2.5D$ 、 $3.0D$ 時のCT画像を示す。まず、管内土の高さおよび支持層上端においてはケース間で大きな差は見られない。したがって、内周面抵抗にもあまり差はないと考えられる。つぎに、Case-3では下部非支持層がゆるいため、押し込みとともに支持層下端が下方へ大きく変形するが、Case-1では模型地盤下端まで密な地盤であるため、Case-3よりも地盤の変形が生じにくいと考えられる。その場合、押し込みにより杭先端付近で地盤が圧縮され、大きな反力が得られる。以上より、CT画像からのみでは、発揮される支持力の違いは内周面抵抗の違いよりも、開端部が閉塞した後に杭底面直下が圧縮され発揮さ

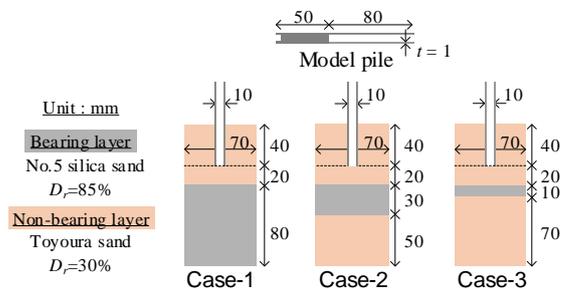


図1 模型地盤の概要図

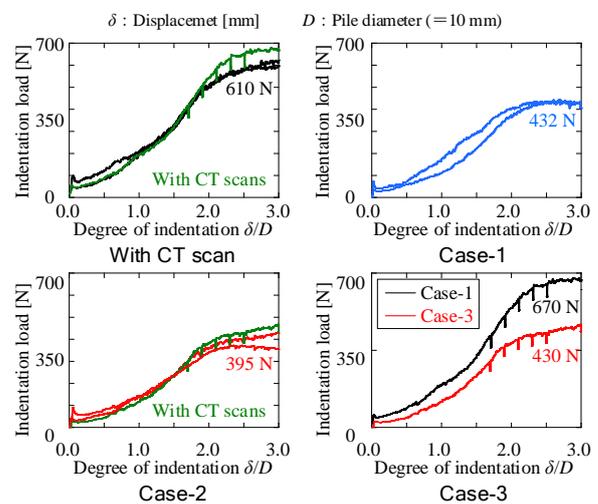


図2 荷重-変位関係

れる反力の差により生じると考えられる。

4. 画像相関法による変位場・ひずみ場の定量化

上記の撮影点で得られた画像を用いて、模型杭を $0.2D$ 押し込む間に地盤内で生じる変位とせん断ひずみを算出した。図4に変位ベクトルとせん断ひずみの分布図を示す。

図4の変位ベクトル分布図について、両ケース共に管内部および杭底面直下に大きな変位が確認できる。特に杭底面以深では、土粒子が移動する領域は下方へ球状に広がりをもつ。一方、管内部に注目すると、下方への変位量はCase-3でより大きくなっていることが分かる。また、杭底面直下においてもCase-3において下方への変位量が大きく、その変位領域は側方への広がりが小さい。つまり、Case-3では杭の押し込み抵抗する支持層領域が狭く、支持層を超えて荷重が伝播して支持層下部の軟弱層の影響を受けることにより、得られる反力が小さくなると考えられる。これは、開端杭の結果³⁾と類似しており、開端部の杭内周面付近においてわずかな土粒子の出入りが見られるものの、閉塞

キーワード：μX線CT、画像解析、開端杭

連絡先：〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1-4-587 TEL 075-383-3193 FAX 075-383-3193

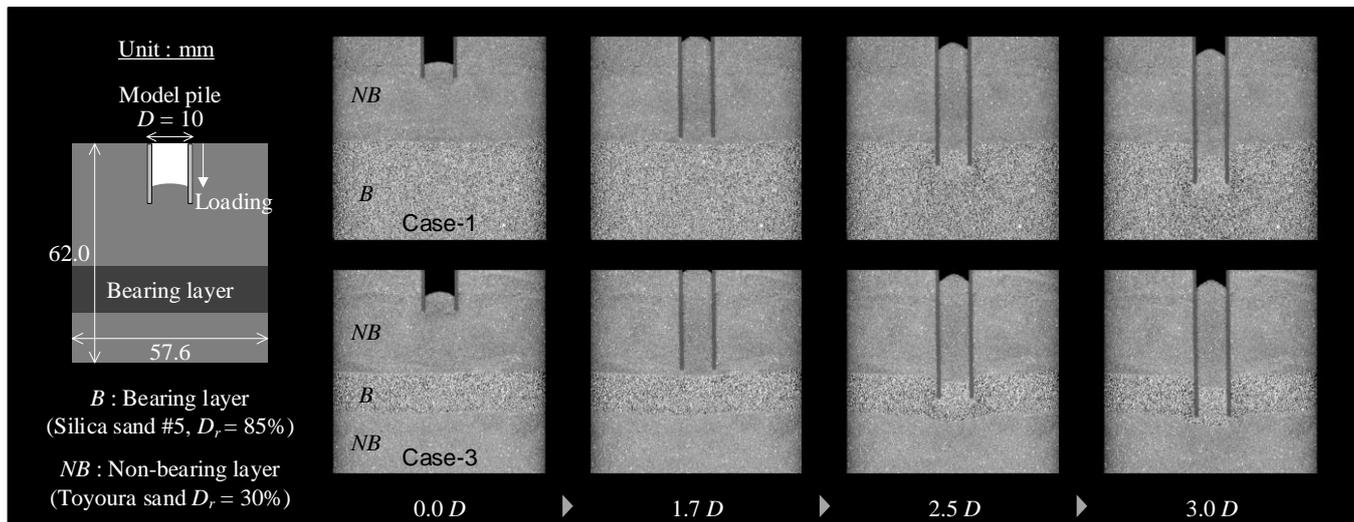


図3 CT画像

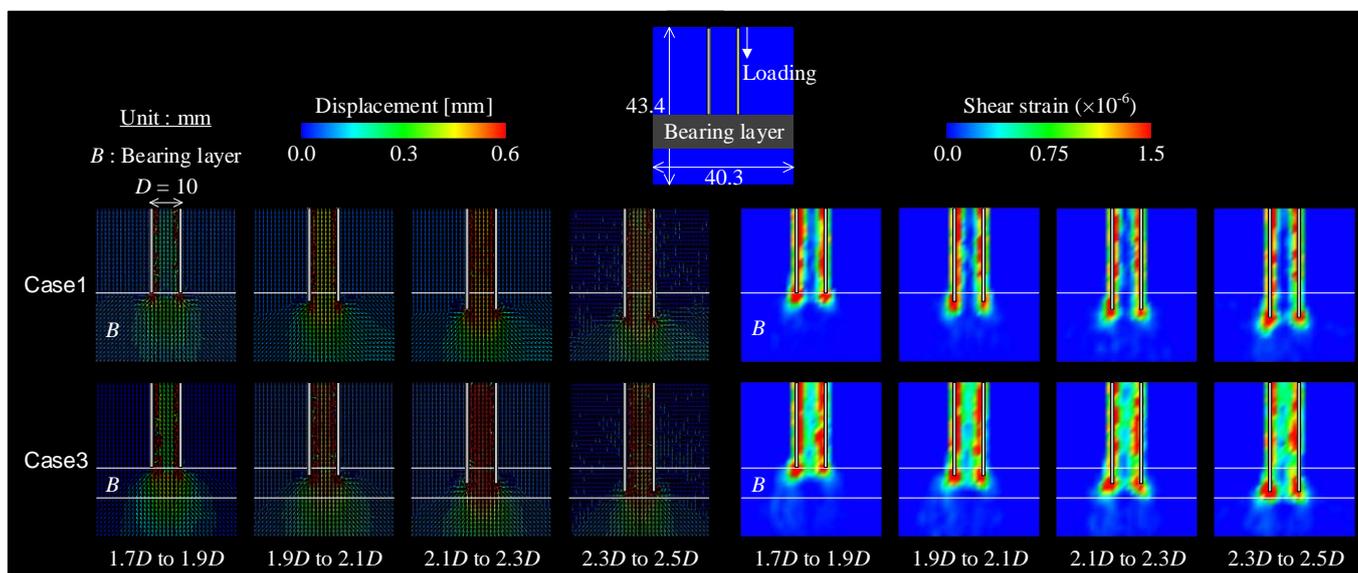


図4 画像解析結果 (変位ベクトル, せん断ひずみ分布図)

状態に至った後は閉端杭の場合とほぼ同様の挙動を示すことが分かる。

図4のせん断ひずみ分布図について、両ケース共に杭周面および先端部において大きなせん断が生じていることが分かる。しかし、管内部に生じるせん断の様子には違いが見られる。Case-1では、管内部の地盤のせん断ひずみが杭周面よりも相対的に小さく、地盤が剛体として杭の押し込みに追従していると考えられる。一方、Case-3では管内部の地盤も比較的大きなせん断変形を示しており、剛体として杭に追従する傾向はCase-1に比べ顕著ではないといえる。これより、CT画像からのみの結果とは異なり、支持層厚が小さいと管内部で複雑な変形が生じ、その結果内周面抵抗が小さくなると考えられる。また、Case-3の杭底面直下では鉛直方向のせん断が生じており、破壊領域が下部軟弱層にも及んでいることが確認でき、十分な反力が得られずCase-3が低い支持力を示す一因と考えられる。

5. 結論

開端杭の押し込み時には管内部および杭底面直下の地盤が

変位し、特に杭底面以深における変位領域は球根状に広がる。一方、支持層が小さい場合、変位領域が側方に広がらず下方への地盤変形が大きいため、杭底面で発揮される荷重が小さくなる。また、支持層厚が小さい場合は管内部の地盤がせん断変形を示し、支持層が十分な厚みがある場合と比較して内周面抵抗が小さくなると考えられる。これらのことが、支持層厚が小さい場合に支持力が低下する原因と考えられる。

参考文献

- 1) Higo et al.: Investigation of localized deformation in partially saturated sand under triaxial compression using microfocus X-ray CT with digital image correlation, *Soils & Foundations*, 53 (2), pp.181-198, 2013.
- 2) 木戸ら: X線ラジオグラフィを用いた異なる支持層厚の地盤に支持された開端杭押し込み挙動の可視化, 土木学会全国大会第75回年次学術講演会, 2020. (発表予定)
- 3) 末澤ら: 薄層に支持された杭の鉛直載荷時における地盤内の変位場とひずみ場の定量化, 第54回地盤工学研究発表会, No.655, pp.1309-1310, 2019.