

不完全支持杭および支持杭の鉛直支持機構に関する数値解析的検討

京都大学大学院 正会員 ○寺本俊太郎, 木村 亮

1. はじめに

アジア沖積地帯諸国においては、過剰な揚水に起因する地盤の圧密沈下により深刻な社会的損失を被っている。その被害として、杭のネガティブフリクションによる破壊や構造物と地盤の間の不同沈下によるライフラインの断絶などが挙げられる。そこで、地盤沈下による被害を抑制できると期待される、不完全支持杭と呼ばれる支持形式に着目した。筆者らは遠心模型実験を実施し、不完全支持杭の地盤沈下被害への対策効果を確認した¹⁾。本稿では、実験に対する水-土連成弾塑性 FEM 解析を実施し、不完全支持杭および支持杭の鉛直支持機構の違いを検討する。

2. 遠心模型実験および数値解析の概要

実験概要図を図 1 に示す。カオリン粘土地盤中の不完全支持杭および支持杭模型に対して、50G 場で上部構造物築造を模擬した鉛直载荷を行い、その後に土槽底面からの排水によって地盤沈下を発生させる。解析には弾塑性 FEM コード DBLEAVES²⁾を用い、杭は骨組梁モデル³⁾、地盤は弾塑性モデル subloading t_{ij} model⁴⁾で表現した。杭要素と地盤要素の間には、ジョイント要素を配した。解析領域は実験と同様である。有限要素メッシュを図 2 に示す。

粘性土のパラメータは、カオリン粘土に対する標準圧密試験、物理試験の結果から決定した。杭のパラメータは、杭模型の素材であるアルミニウムの物性値を用いた。ジョイント要素のパラメータのうち、滑りの条件に用いる粘着力およびせん断抵抗角はベーンせん断試験の結果から決定した。ジョイント要素の変形を司る剛性率は、支持杭および杭先端と砂層の距離が 3 mm の不完全支持杭の模型実験の荷重沈下曲線と一致するように決定した (図 3)。

3. 数値解析結果

図 4 に、各杭区間における限界摩擦力に達したジョイント要素の総面積をその区間のジョイント要素の総面積で除した値 (以下、滑動したジョイント要素の割合) を示す。

荷重の増加とともに活動したジョイント要素の割合が増加し、下杭、中杭、上杭の順に滑りが発生する。不完全支持杭では連続的に滑りが進行するが、支持杭では载荷初期 (約 120 N) で下杭に滑りが発生し、暫く滑りが進行しないが、約 240 N から再び緩やかに進行する。支持杭の初期で滑りが発生しているのは、砂層に貫入されている位置のジョイント要素であり、砂層のせん断剛性率が高く、大きな摩擦力を負担したためであると考えられる。

つぎに、杭先端付近の地盤要素の t_{ij} 有効応力経路を図 4 に示す。要素の配置図は、群杭中心と杭中心を通る断面であり、正方形土槽を斜めに切った断面である。 t_N , t_s とは、一般的概念で平均主応力 p 、軸差応力 q に該当する。

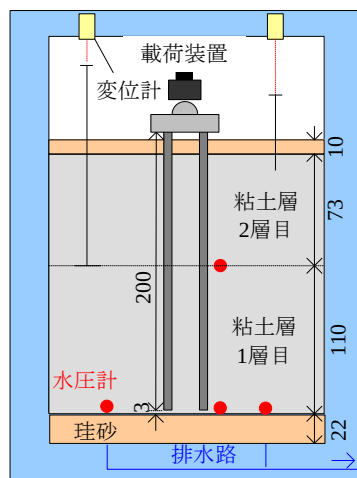


図 1 遠心模型実験概要

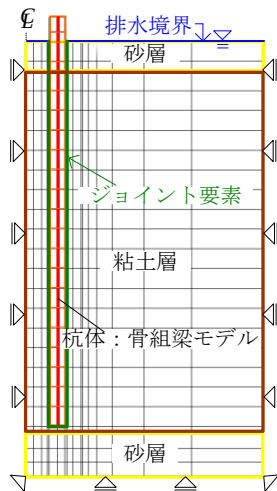


図 2 有限要素メッシュ

表 1 地盤要素の入力パラメータ

	カオリン	珪砂 6 号
土粒子密度 G_s	2.63	2.64
飽和単位体積重量 γ_{sat} (kN/m ³)	17.5	20.0
初期間隙比 e_0	1.20	0.720
ポアソン比 ν	0.312	0.263
塑性指数 I_P (%)	13.3	—
内部摩擦角 ϕ (°)	33.2	37.4
透水係数 k (m/sec)	1.4×10^{-7}	1.4×10^{-4}
破壊時主応力比 M_f	3.5	4.13
膨潤指数 κ	0.013	0.00085
圧縮指数 λ	0.101	0.0080

キーワード 不完全支持杭, 有限要素解法, 杭の鉛直支持力

連絡先 〒572-0074 大阪府寝屋川市池田中町 17-8 TEL 075-839-9102

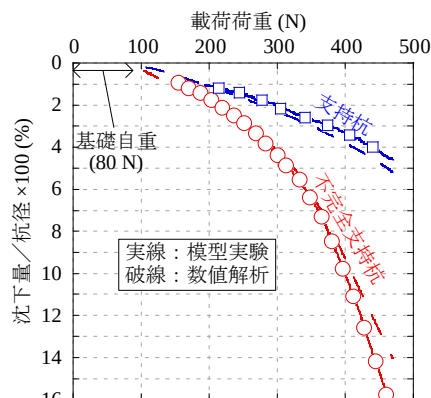


図3 荷重沈下曲線

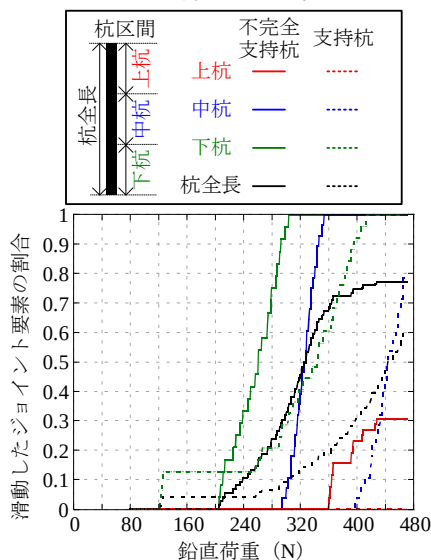
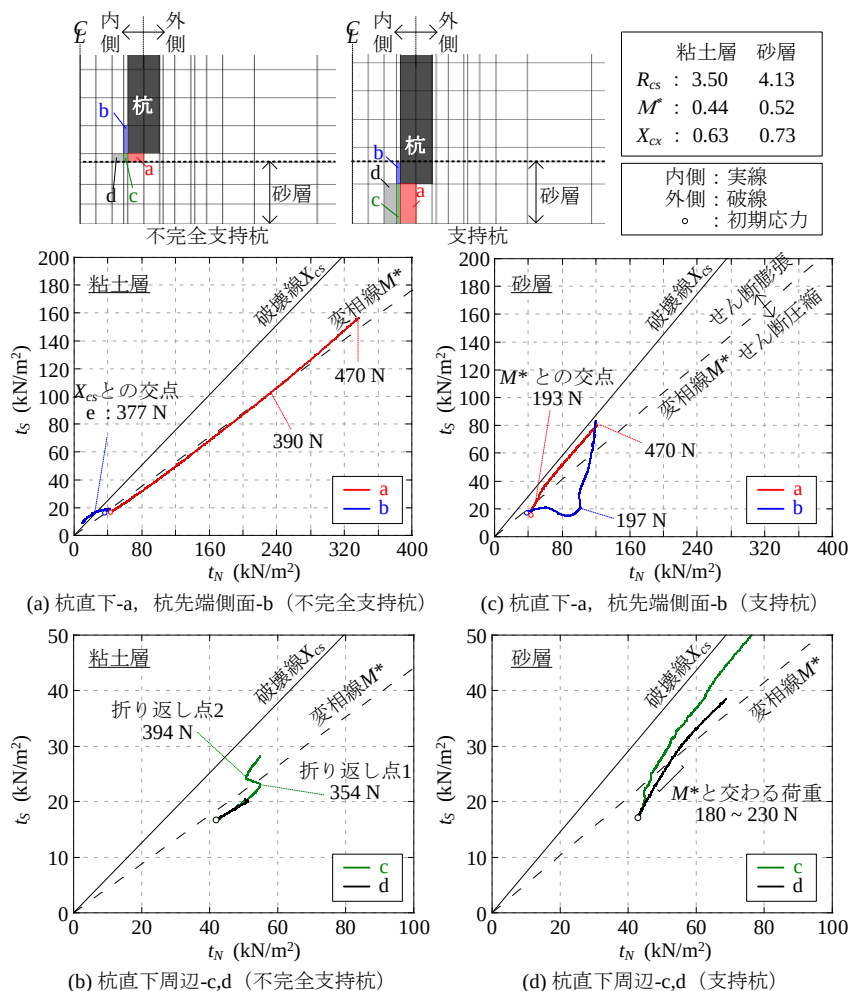


図4 滑動したジョイント要素の割合の推移

図5 杭先端付近の地盤要素の t_{ij} 有効応力経路

不完全支持杭では、初期における杭先端側面の要素 b は、杭先端と一体となって沈下し応力が増加するが、ジョイント要素が滑動する（約 230 N）事により、杭から受ける鉛直方向のせん断力が増加しなくなる。しかし、要素 b より浅い位置の杭周面のジョイント要素が滑動するまでは、要素 b の上の要素から鉛直下向きの圧縮力を受ける事で応力は大きく減少しない。荷重が増加し、下杭のジョイント要素が滑動する（300 N）と、上の要素から圧縮力を受けられず、応力が減少し始める（図 5 (b) 折り返し点 1）。要素 b の応力が減少する事によって、要素 b から鉛直荷重を受けていた要素 c の応力も減少し始める（図 5 (b) 折り返し点 2）。さらに荷重が増加し、上杭のジョイント要素も滑動する（約 390 N）と、杭先端の分担する荷重が急激に増加するため、要素 a, c の応力も増加する。

支持杭では、杭直下の要素 a の応力が低く、逆に要素 b の応力が不完全支持杭と比較して非常に大きいことから、杭先端とその隣の地盤要素で支持力を発現していると言える。要素 b と杭の間のジョイント要素は、120 N と早い段階で滑り出すが、それ以外のジョイント要素が滑り出す荷重が 240 N と高いことから、不完全支持杭での要素 b と同様に、上の要素から伝わる荷重によって高い応力状態になると考えられる。さらに荷重が増加し、要素 a, c, d が変相線と交わる荷重 180~230 N 付近になると、杭直下地盤がせん断変形によって側方へ押し広げられると考えられ、それによって荷重 195 N 付近から要素 b に大きくせん断力が発生していると考えられる。

5. まとめ

不完全支持杭および支持杭の遠心模型実験に対する水-土連成有限要素解析を実施し、両杭の鉛直支持力機構の違いについて検討した。不完全支持杭は、杭周面の滑りの進行によって杭先端直下地盤に応力が集中し、沈下剛性が大きく低下するが、支持杭は杭先端周辺地盤が一体となって杭を支持するため、沈下剛性が急激には低下しない。

参考文献 1) 寺本ら：圧密沈下地盤中に敷設された不完全支持杭に対する遠心模型実験および有限要素解析，第 58 回地盤工学シンポジウム，pp.37-42, 2013. 2) Ye et al.: Experiment and numerical simulation of repeated liquefaction-consolidation of sand, *Soils & Foundations*, Vol.47, No.3, pp.547-558, 2007. 3) 段野ら：杭基礎の先端支持力および沈下量に対する群杭効果の考察，*地盤工学ジャーナル*，Vol.3, No.1, pp.73-83, 2008. 4) Nakai et al.: A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters, *Soils & Foundations*, Vol.44, No.2, pp.53-70, 2004.