

ネガティブフリクションを受ける不完全支持杭に対する遠心模型実験

京都大学大学院 学生会員 ○寺本俊太郎, 福田佳典
京都大学大学院 正会員 木村 亮

1. はじめに

タイのバンコク地区をはじめとした、近年急激な経済成長を遂げているアジア諸国においては、過剰な地下水揚水に起因する地盤沈下により深刻な社会的損失を被っている。その被害のひとつとして、圧密沈下地盤中に敷設された杭基礎に発生するネガティブフリクション（以下、NF）が挙げられる。そのNFへの対策の1つとして、図1に示す新たな支持形式である不完全支持杭が提唱されているが、その新規性より十分な研究がなされていない。そこで筆者らは、圧密沈下地盤中の不完全支持杭に対する遠心模型実験を実施し、その力学挙動把握を目指した。

2. 遠心模型実験概要

図2に本実験で用いた模型土槽を示す。実験ケースは不完全支持杭および支持杭とし、両者の比較検討を行う。遠心加速度は50Gとし、杭中心間隔4d（d：杭径）の4本群杭に対して図3に示す載荷荷重を与え、その後に土槽底面から強制排水を行った。それにより、上部構造物の築造および地下水揚水による地盤沈下を模擬した。地盤構成は、支持層および表層は珪砂6号を気中落下で、粘土層はカオリンスラリーから作製した。杭基礎敷設前に、粘土地盤を50G場において50kPaの上載圧の下8時間先行圧密している。その際、スラリー中に不完全支持杭を固定する事は困難であるため、先行圧密中は図4のダミー杭を用い、圧密後に本試験杭と入れ替えた。図5に模型杭を示す。計測杭には4か所、他は2か所ひずみゲージを内側に貼付している。貼付の際に杭①は一度縦に割り、防水性の接着剤で再接合している。また、間隙水圧（粘土層底面、中間層）、沈下量（基礎、地表面、地中）を計測している。

3. 実験結果および考察

a) 荷重-変位関係

図6に荷重-変位関係を示す。ここで、載荷装置による載荷開始地点での沈下量を0としているが、その時点で基礎は自重による荷重80Nをすでに受けている。また、B区間では不完全支持杭のケースにおいてパイルドラフトとなっており、支持杭との比較が難しいため、A区間に関して考察する。

初期剛性について比較すると、不完全支持杭と支持杭は5,000 N/mm とほぼ同等になった。載荷荷重が増加すると、

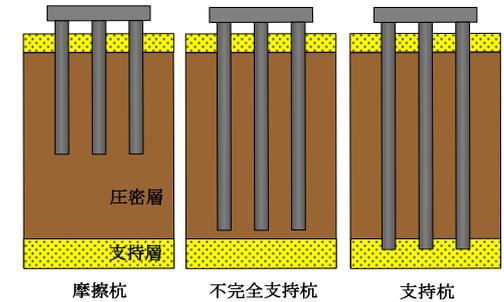


図1 杭の支持形式

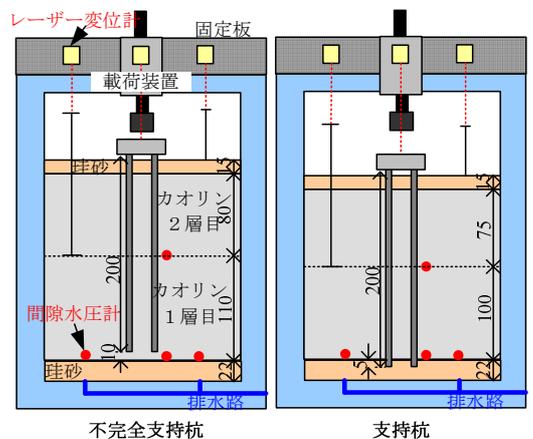


図2 実験ケースと模型



図3 載荷条件

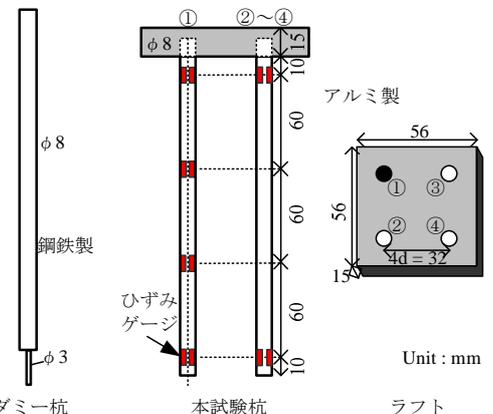


図4 ダミー杭

図5 模型杭

キーワード 負の摩擦力, 不完全支持杭, 遠心模型実験, 群杭
連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京大桂 C1-4-291 TEL 075-383-3136

不完全支持杭は降伏点 210 N あたりから急激に剛性が落ち始め、大きく沈下し始める。これは、降伏後では杭周囲の付着が切れて周面摩擦は最大周面摩擦力となり、それ以降の荷重の増加分は杭先端支持力に依存するため、砂層に先端を貫入している支持杭よりも小さな剛性に移行したと考えられる。極限支持力時には、不完全支持杭は 285 N、支持杭は 600 N となった。

b) 過剰間隙水圧推移

図 7 に荷重と過剰間隙水圧の関係を示す。載荷開始地点を過剰間隙水圧 0 としている。不完全支持杭のケースにおいて底面と中間層を比較すると、荷重の増加に従って中間層の過剰間隙水圧の方が大きくなっていくが、250 N 付近で中間層は上昇しなくなる。これは、初期の段階では荷重分担のうち周面摩擦が大きな割合を占めているため、中間層の過剰間隙水圧が大きく上昇するが、降伏荷重を超えて杭の付着が切れ始めると周面摩擦力は一定となり、それに伴って水圧は上昇しなくなる。

c) 軸力分布推移

図 8 に不完全支持杭の極限支持力までの軸力分布推移を示す。杭①先端の軸力は計測できなかったため、他 3 本の杭による推測値として点線で表記した。載荷前の段階では基礎の自重による軸力が発生しているが、杭先端に向かって軸力が増加しており、NF が発生している。これは、地盤の自重による圧密沈下量が杭の自重による沈下量を上回っているために起きたと考えられる。続いて載荷重を増加すると、地盤よりも杭の方が大きく沈下し始めるため、NF は解消され、杭周面全体が正の摩擦力を発揮し始める。

図 9 に強制排水後の両基礎の軸力分布を示す。支持杭の場合、排水 2 分後では先端まで軸力が増加し続けており、中立点は土槽底面に近い位置にあると考えられる。しかし、その発生した NF によって軸力が増加して杭が沈下するため、中立点が上へと移動し、15 分後では 135 mm~190 mm において減少している。また、135 mm における NF 発生量は、2 分後で 52 N、15 分後で 67 N となった。一方で不完全支持杭の場合は、135 mm における NF 発生量は、2 分後で 21 N、15 分後で 24 N となった。相対変位について見ると、不完全支持杭は浮き上がり量が小さく、不同沈下が小さくなっている事がわかる。

4. まとめと今後の課題

本実験により以下の知見が得られた。

- ① 不完全支持杭は、荷重レベルの低い段階においては支持杭と同等の沈下剛性を持つが、降伏点を過ぎると急激に剛性が低下する。また、不完全支持杭の極限支持力は支持杭の約半分となった。
- ② 載荷時に発生する過剰間隙水圧は、杭-地盤の荷重伝達メカニズムやその沈下量と密接な関係がある。
- ③ 強制排水時の軸力分布より、不完全支持杭の NF 減少効果を確認した。
- ④ 急激な地盤沈下発生時の、不完全支持杭の不同沈下抑制効果を確認した。

課題：本実験により、不完全支持杭は支持地盤までの間隔により NF 減少や不同沈下抑制に効果があるが、一方で極限支持力がトレードオフとなる事がわかった。そのため、数値解析手法等を用いてその間隔が各性能に及ぼす影響を定量的に把握し、現場に応じた最適な設計法を提案する事が必要である。

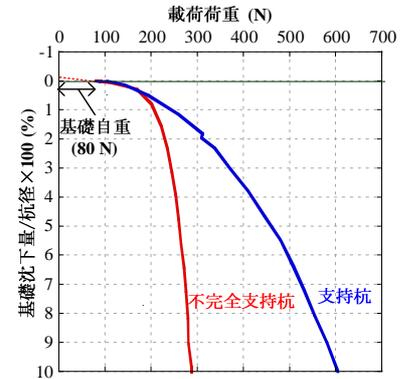


図 6 荷重-沈下曲線

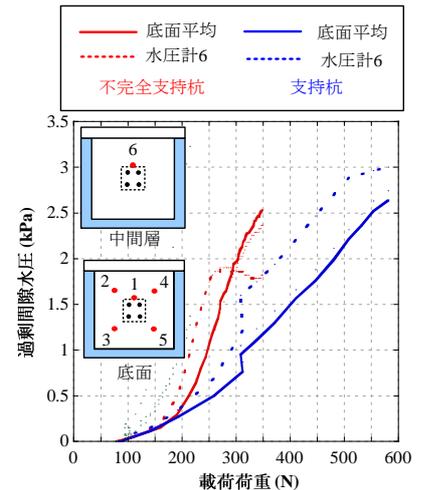


図 7 過剰間隙水圧推移

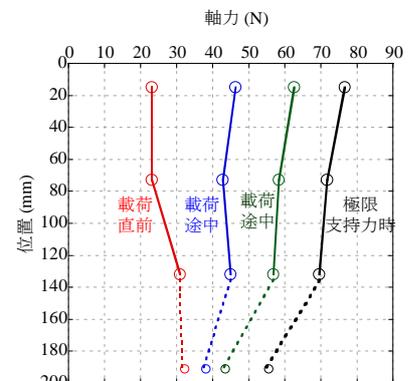


図 8 軸力分布推移

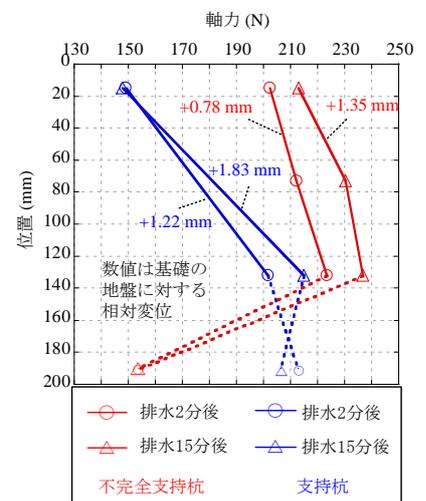


図 9 軸力分布 (強制排水時)