

加圧土槽を用いた模型杭の鉛直載荷試験に基づく杭先端形状が群杭効果に及ぼす影響に関する研究

— その1 実験手法及び実験結果 —

日大生産工(学部) ○小田切 智也 日大生産工 下村 修一
 西松建設 新井 寿昭 西松建設 郡司 康浩
 西松建設 熊田 健太 日大生産工(院) 小島 健吾

1. はじめに

高層建築物の支持杭は一柱一本化による合理性を求め、高支持力化の傾向が続いている。場所打ちコンクリート杭では杭軸部に対して杭底部を拡径した拡底場所打ちコンクリート杭(以下、拡底杭)が広く採用されている。近年このような高支持力杭で近接して複数本打設する事例が見られる。近接した杭では、杭相互の地中応力伝播の重なりにより鉛直支持力が単杭と異なる(群杭効果)ことが知られている。

群杭効果に関する既往の研究^{例えば1)}では、直杭を対象としているが、拡底杭を対象とした研究は見当たらない。拡底杭は一般に沈下に伴い傾斜部付近の拘束圧が減少し摩擦が働かなくなると考えられ²⁾、直杭とは群杭効果が異なることが予想される。

そこで、本研究では杭先端形状が群杭効果に及ぼす影響を確認するため、加圧土槽を用いた拡底杭・直杭の模型杭を用いて単杭・二本杭の鉛直載荷試験を行った。

本報その1では拡底杭と直杭の単杭・二本杭での実験手法及び実験結果について報告する。

2. 実験装置及び模型杭

鉛直載荷試験に使用する加圧土槽を図1に示す。模型地盤は豊浦砂を使用し作製した。土槽は内径795mm、試料土の投入高さは854mmで、加圧盤内部のエアバッグに空気を入れることで地表面に圧力をかけ、地盤の拘束圧を制御できる。土槽内壁は試料土との摩擦を切る為に、テフロンシート、グリース、ゴムメンブレンを貼り付けた。

図2に拡底杭と直杭それぞれの模型杭の概要を示す。模型杭はSUS304を削り出した円筒410mmと円柱300mmをねじでジョイントさせた。拡底杭・直杭共に杭全長710mm、円筒

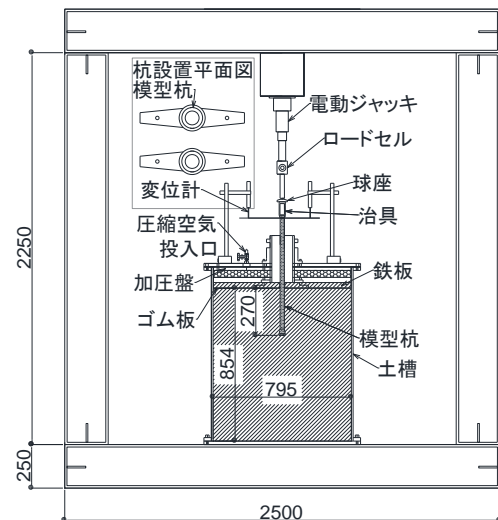


図1 鉛直載荷試験装置及び加圧土槽

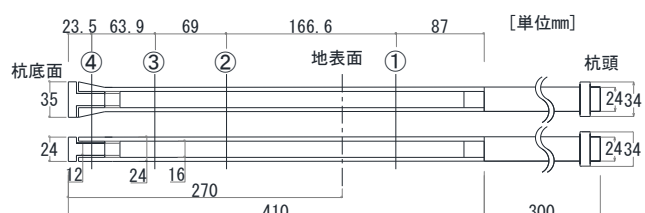


図2 模型杭概要 (上: 拡底杭、下: 直杭)

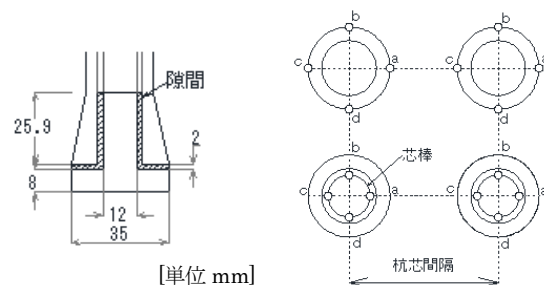


図3 模型杭先端

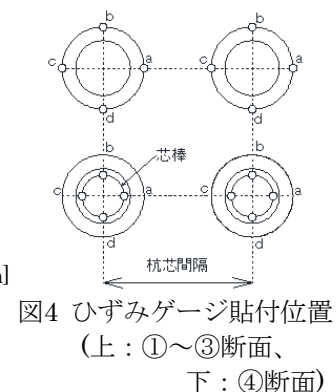


図4 ひずみゲージ貼付位置 (上: ①~③断面、下: ④断面)

Study on pile group effect with different pile tip shape based on vertical load test of model pile using pressure chamber

— Part 1 Experimental method and results —

Tomoya ODAGIRI, Shuichi SHIMOMURA, Toshiaki ARAI
 Yasuhiro GUNJI, Kenta KUMADA and Kengo OJIMA

の内径16mm、拡底杭は軸部の外径が24mm、拡底部が35mm、直杭は外径が24mmである。拡底部の立ち上がり角度は12度である。杭底面と杭先端部から300mmまでの杭表面は砂を吹き付けている。

杭先端部は底面部と芯棒からなる部材と杭本体をねじでジョイントさせた。図3に示すように、底面部の部材と杭本体との間で接触しないことと、芯棒でひずみを測定することにより先端支持力と周面抵抗力を分離している。

図4にひずみゲージの平面貼付け位置を示す。ひずみゲージは図2に示す①～④断面に図4で示した4方向(a～d)に貼付けている。①～③断面は杭外周部、④断面は芯棒に貼付けている。二本杭のゲージの相対的な配置は図4のようにしている。

3. 実験条件および実験手順

表1に実験条件を示す。杭形状と杭本数、杭芯間隔をパラメーターとした。GNの杭芯間隔は建築基礎構造設計指針³⁾に示される最小杭芯間隔の目安値(軸部径 d +拡底杭 d_1)に対し、より群杭効果が出ることを想定し、目安値を0.7倍した $1.7d$ とし、GWは実験可能な最大杭芯間隔 $4.0d$ とした。模型地盤の目標相対密度は80%とし、上載圧は100kPaとした。各実験ケースでは再現性を確認する目的で2回ずつ行っている。実験手順を以下に示す。

- ① 加圧土槽内部にサンドレイナーを用いて、杭設置高さ584mmまで豊浦砂を降らせる。

表1 実験条件

Case	杭種	杭本数	杭番号	軸部径	拡底径	杭芯間隔	
				d(mm)	d ₁ (mm)	軸部	拡底部
B-S1	拡底杭	1	No.1	24	35	-	-
B-S2			No.2			-	-
B-GN		2	No.1, No.2			1.7d	1.17d ₁
B-GW			No.1, No.2			4.0d	2.74d ₁
S-S1	直杭	1	No.1	-	-	-	
S-S2			No.2	-	-		
S-GN		2	No.1, No.2	-	1.7d	-	
S-GW			No.1, No.2	-	4.0d	-	

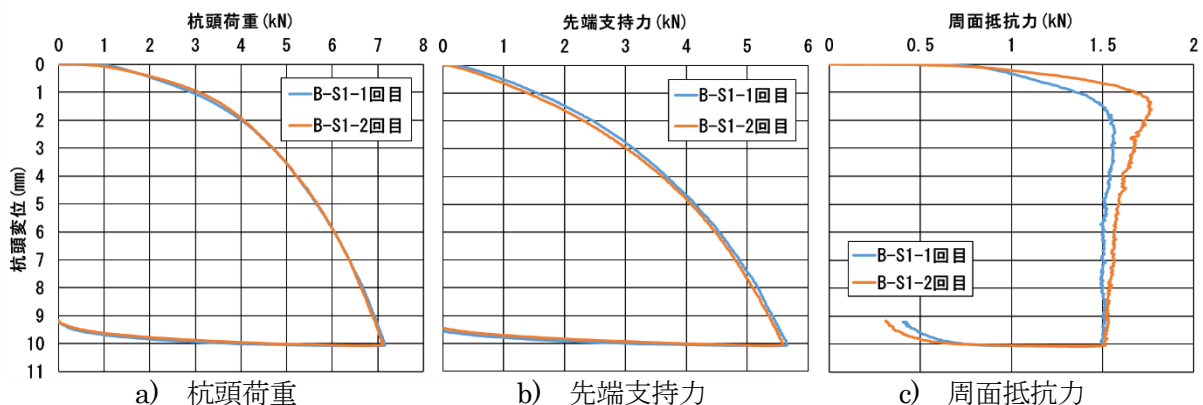


図5 拡底杭の同一ケースにおける杭頭荷重、先端支持力、周面抵抗力-杭頭変位関係(単杭)

- ② 土槽中心部に模型杭を隙間が生じないように慎重に設置した。
- ③ 再び、加圧土槽内部に砂を降らせる。
- ④ 高さ854mmまで砂を降らせた後、掃除機により砂を吸い取り、地表面を整地する。
- ⑤ 整地後、ゴムシート、鉄板、ゴムシート、加圧盤の順で設置をする。
- ⑥ エアバッグに空気を入れ、所定の上載圧をかけ、地盤沈下の収束を確認する。
- ⑦ 杭頭部に載荷用治具を取付け、変位計、ロードセル、電動ジャッキを設置し、電動ジャッキで1mm/分の速度で載荷する。
- ⑧ 杭頭変位10mm到達後、1mm/分で除荷する。

4. 実験結果

図5と図6に拡底杭と直杭それぞれ1ケース2回行った単杭の実験結果の例を示す。杭頭荷重はロードセル値、先端支持力は④断面の軸力、周面抵抗力は杭頭荷重から先端支持力を引いた値とした。図5と図6より杭頭荷重、先端支持力は拡底杭・直杭ともに、再現性が高い。周面抵抗力は2回の実験で最大0.2kN程度の差であり、概ね同程度と判断した。周面抵抗力は杭種によらず杭頭変位1～2mm程度で最大値に到達後、若干低下し概ね一定値となった。

以上の結果から1回目と2回目でのばらつきは小さいと判断し、以降では2回の実験結果の同一変位における支持力を平均した結果を用いて述べる。

4.1 単杭の結果

図7に拡底杭(Bシリーズ)、直杭(Sシリーズ)の杭頭荷重、先端支持力、周面抵抗力と杭頭変位の関係の比較を示す。図7よりBシリーズ、Sシリーズともに杭No.の違いは小さい。

杭頭荷重、先端支持力では、杭頭変位10mmでBシリーズのほうがSシリーズに比べ、杭頭荷重では1.5倍、先端支持力では1.8倍大きい。周面抵抗力は全体的な傾向に杭形状による大

きな差は認められない。

図8に先端支持力を杭先端面積で除した先端支持力度と杭頭変位を杭先端径で除し基準化した関係を示す。図8より杭形状による差がないことがわかる。これは杭先端径の大きい拡底杭ほど応力の伝播範囲が広く同一荷重でも沈下が大きいことを示している。

図9にB、Sシリーズそれぞれの軸力分布を示す。軸力は各深度のひずみ値から算出した。Sシリーズでは杭頭変位が進んでも①～④断面での勾配が一定であるが、Bシリーズにおいて

は杭頭変位が大きくなるにつれて、③～④断面間での軸力の差が小さくなっている。一般に拡底杭は沈下に伴い傾斜部付近の拘束圧が減少し摩擦が働かなくなる²⁾とされ、今回の結果からもその傾向が認められる。

4.2 二本杭の結果

図10に拡底杭(Bシリーズ)、図11に直杭(Sシリーズ)の二本杭の杭頭荷重、先端支持力、周面抵抗力と杭頭変位の関係を示す。図10にはB-S1とB-S2、図11にはS-S1とS-S2の合計(B-S1+S2、S-S1+S2)を併記した。図10よ

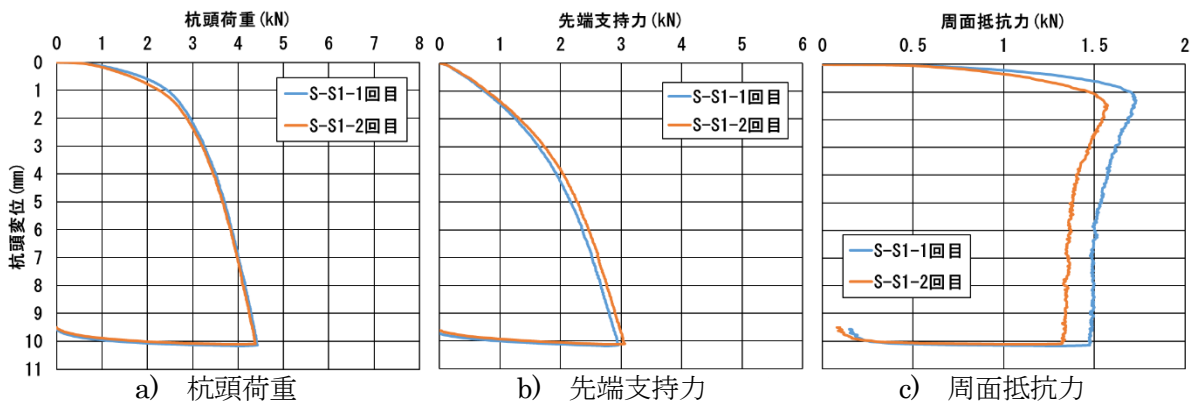


図6 直杭の同一ケースにおける杭頭荷重、先端支持力、周面抵抗力-杭頭変位関係(単杭)

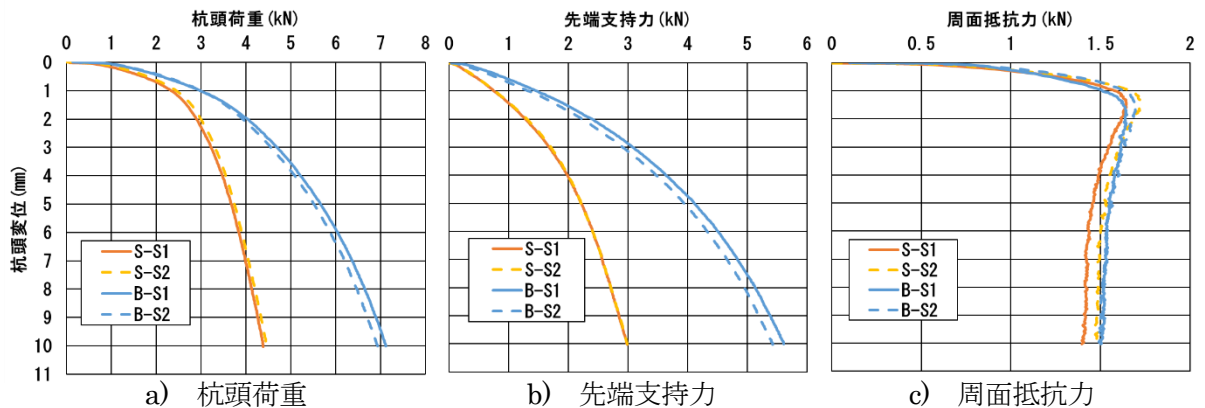


図7 拡底杭・直杭における杭頭荷重、先端支持力、周面抵抗力-杭頭変位関係(単杭)

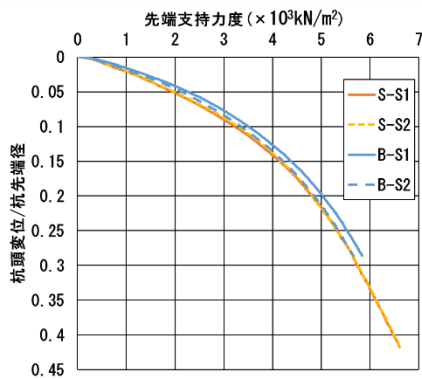


図8 杭頭変位/杭先端径
-先端支持力度関係

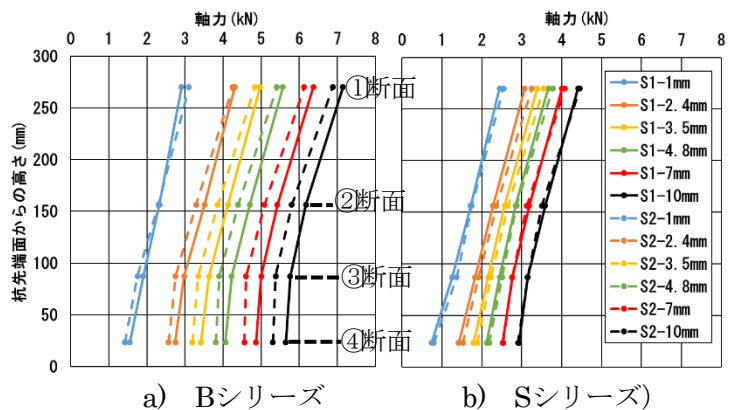


図9 軸力分布(実線：杭No.1、破線：杭No.2)

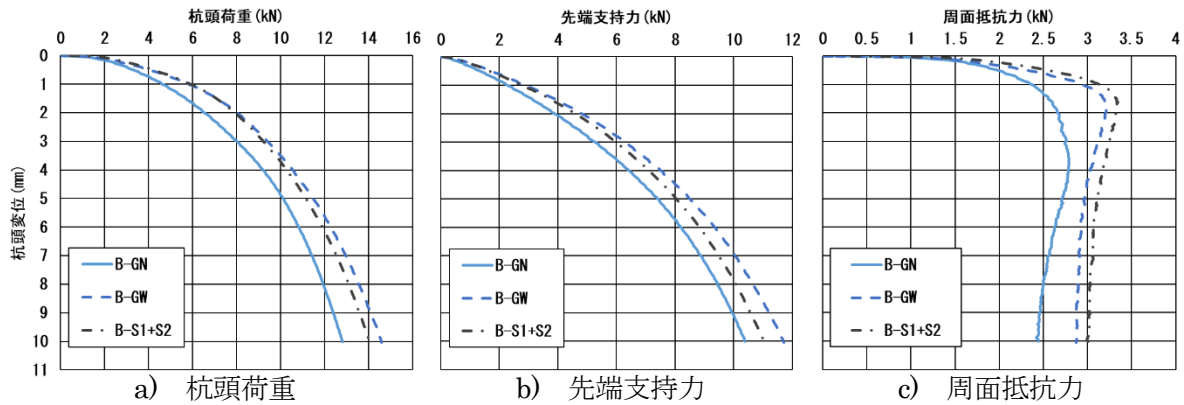


図10 拡底杭における杭頭荷重、先端支持力、周面抵抗力－杭頭変位関係(二本杭)

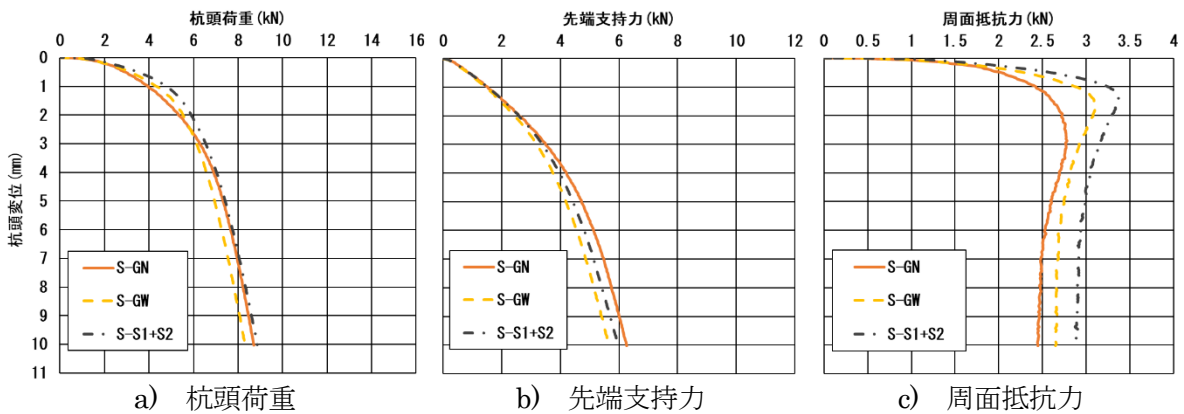


図11 直杭における杭頭荷重、先端支持力、周面抵抗力－杭頭変位関係(二本杭)

り拡底杭の杭頭荷重と先端支持力は、杭芯間隔の広いB-GWは変位の小さい範囲ではB-S1+S2と同程度であるが、変位が増加するとB-S1+S2よりも大きくなる。一方杭芯間隔の狭いB-GNは変位によらずB-S1+S2より小さい。周面抵抗力は変位によらずB-GN、B-GWいずれもB-S1+S2より小さく、二本杭同士ではB-GNが小さい。また、最大周面抵抗力に達する杭頭変位はB-S1+S2、B-GWは1.5mm程度に対し、B-GNは4mm程度と大きく隣接杭の影響が認められる。

図11より直杭の杭頭荷重は、杭芯間隔の狭いS-GNは変位の小さい範囲ではS-S1+S2より小さいが、変位が増加するとS-S1+S2と同程度になる。一方杭芯間隔の広いS-GWは変位によらずS-S1+S2より小さい。先端支持力は杭芯間隔の狭いS-GNは変位の小さい範囲ではS-S1+S2と同程度であるが変位が増加するとS-S1+S2よりも大きくなる。一方杭芯間隔の広いS-GWは変位によらずS-S1+S2より小さい。周面抵抗力はS-GN、S-GWいずれもS-S1+S2より小さく、二本杭同士ではS-GNが小さい。また、最大周面抵抗力に達する杭頭変位はS-S1+S2、S-GWは1.5mm程度に対し、S

-GNは3mm程度と大きく隣接杭の影響が認められる。

5. まとめ

本研究では杭先端形状が群杭効果に及ぼす影響を確認するため、拡底杭・直杭の模型杭を用いて単杭・二本杭の鉛直載荷試験を行った。得られた知見は以下の通りである。

- ① 単杭では軸力分布において、杭形状が異なることによる、杭先端部での摩擦の働き方に違いが確認できたが、杭頭荷重、先端支持力、周面抵抗力と杭頭変位の関係では杭先端部付近の形状の影響は確認できなかった。
- ② 二本杭では杭頭荷重、先端支持力、周面抵抗力は杭芯間隔の違いによる影響が確認された。

謝辞

本研究はJSPS科研費20K04777の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐原守、秋野矩之、茶谷文雄：群杭の終局に至るまでの鉛直挙動に関する模型実験結果とその弾性解析、構造工学論文集 Vol.48B, pp.335-342, 2002
- 2) 桑原文夫：拡底場所打ち杭の杭先端支持のメカニズムと支持力、基礎工, Vol.19 No.12, pp.9-15, 1991
- 3) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針, 190p, 2019