

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2 群杭効果の検討 —

日大生産工(院) ○小島 健吾 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(学部) 小田切 智也

1. はじめに

本報告では拡底場所打ち杭(以下、拡底杭)の鉛直支持力について、前報¹⁾の実験結果に基づき群杭効果の検討を行う。

2. 荷重-杭頭変位関係

図1に二本杭の杭頭荷重、先端支持力、周面抵抗力-杭頭変位関係を示す。これらの図には拡底杭のB-S1とS2、直杭のS-S1とS2の同一杭頭変位時の荷重を合算した結果(B-S1+S2、S-S1+S2)を併記している。杭頭荷重と先端支持力は、S1+S2、GN、GWいずれも直杭より拡底杭が大きい。拡底杭において、杭頭荷重と先端支持力いずれも、杭芯間隔の広いB-GWは杭頭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より大きくなる。一方、杭芯間隔の狭いB-GNは変位の大きさによらずB-S1+S2より小さい。二本杭同士では、変位の大きさによらずB-GWが大きい。

直杭において、杭頭荷重では、杭芯間隔の広いS-GWは変位の大きさによらずS-S1+S2より小さい。杭芯間隔の狭いS-GNは杭頭変位の

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と同程度となる。二本杭同士では杭頭変位の小さい範囲ではS-GWが大きい、変位が増加するとS-GNが大きくなる。先端支持力は、杭頭変位の小さい範囲ではS-GN、S-GWいずれもS-S1+S2と同程度であるが、変位が増加するとS-S1+S2に対してS-GNは大きく、S-GWは小さくなる。二本杭同士ではいずれの変位でもS-GNが大きい。以上より、杭頭荷重と先端支持力において、拡底杭と直杭ではS1+S2、GN、GWの大小関係が異なる。

周面抵抗力は、S1+S2、GN、GWいずれも拡底杭と直杭が概ね同じ結果である。GN、GWいずれもS1+S2より小さく、二本杭同士だとGNが小さい。また、最大周面抵抗力に達する杭頭変位がB-S1+S2、B-GW、S-S1+S2、S-GWが1.5mm程度なのに対し、S-GNは3mm程度、B-GNは4mm程度とGNシリーズは隣接杭の影響が認められる。また、S-GNよりB-GNの最大周面抵抗力に達する杭頭変位が大きく、直杭より

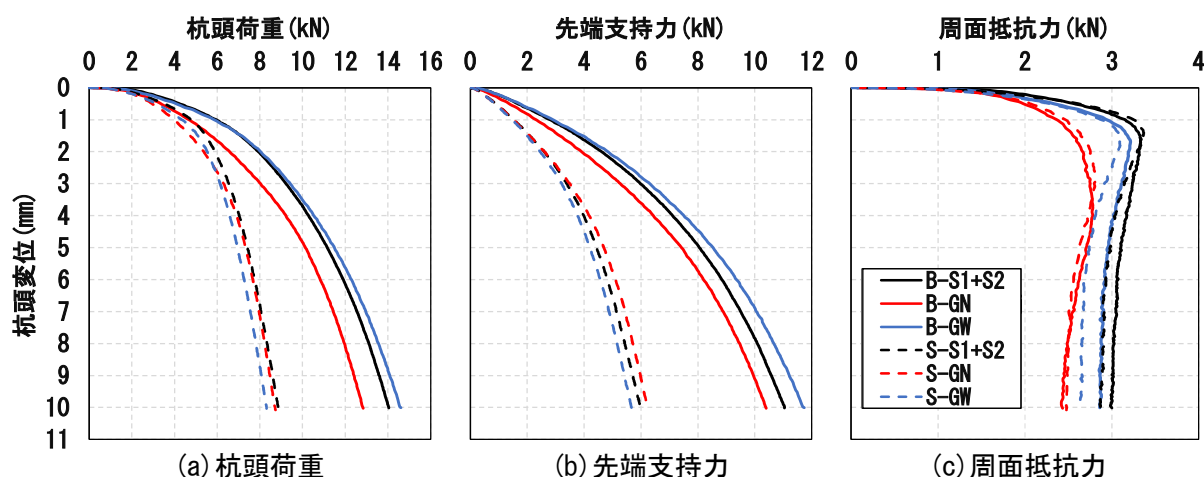


図1 荷重-杭頭変位関係

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

— Part 2 Consideration of pile group effect —

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

拡底杭の方が隣接杭の影響が大きい可能性がある。

3. 群杭効率

図2に杭頭荷重、先端支持力、周面抵抗力の群杭効率 η -杭頭変位関係を示す。群杭効率 η は同一変位時における杭芯間隔の狭いGN、杭芯間隔の広いGWの杭頭荷重、先端支持力、周面抵抗力を同じ杭形状のS1+S2のそれらで除した値である。杭頭荷重、先端支持力、周面抵抗力の群杭効率 η は、杭頭変位の小さい範囲では小さく、変位増加に伴い大きくなる。GNシリーズの周面抵抗力以外の群杭効率 η は変位増加に伴い概ね一定となり、杭間隔が狭いと一定とみなせる杭頭変位が大きい傾向がある。

図2(a)より杭頭荷重は、拡底杭ではB-GNが $\eta < 1.0$ で、変位約4.5mmから0.91程度で一定になる。B-GWは杭頭変位の小さい範囲では $\eta < 1.0$ であるが変位約2mmから $\eta > 1.0$ となり、変位約3mmから概ね一定となる。直杭ではいずれの杭芯間隔でも $\eta < 1.0$ であり、S-GNは杭頭変位の小さい範囲ではS-GWより群杭効率 η が小さいが、杭頭変位2.5mmでS-GWより大きくなり、変位約4mmから $\eta = 0.98$ 程度で一定になる。S-GWは杭頭変位約2mmから、 $\eta = 0.94$ 程度で一定になる。

図2(b)より先端支持力は、拡底杭では杭芯間隔の狭いB-GNが $\eta < 1.0$ で、変位約7mmから $\eta = 0.94$ 程度で一定になる。杭芯間隔の広いB-GWにおいては杭頭変位の小さい範囲から $\eta > 1.0$ で、変位約2mmから $\eta = 1.04$ 程度で一定になる。直杭において、S-GNは杭頭変位の小さい範囲では $\eta < 1.0$ で、変位約2mmから $\eta > 1.0$ となり、変位約4mmから $\eta = 1.04$ 程度で概ね一定になる。S-GWは杭頭変位の小さい範囲から $\eta < 1.0$ で、変位約3mmから $\eta = 0.94$ 程度で一定で

ある。金田ら²⁾は、隣接する杭の間隔が近い条件で、杭頭変位が小さい範囲では $\eta < 1.0$ であるが杭頭変位が増大すると $\eta > 1.0$ となる実験結果を示しており、実験をシミュレーションしたFEM解析により、杭同士の応力の重なりで一体のラフトのような挙動をすることで単杭より支持力が増大することを確認している。本実験で $\eta > 1.0$ となったB-GW、S-GNでも同様の現象が起きていると考えられる。本研究の実験条件は、拡底杭と直杭で杭芯間隔が同じでも杭間距離(杭同士の最短距離)が異なることから、支持力が増大する杭芯間隔が拡底杭と直杭で異なると考えられる。また、杭芯間隔が狭いほどラフトのような挙動をするとは限らず、杭形状によって支持力が増大する杭芯間隔が異なると推察される。

図2(c)より周面抵抗力は、杭形状によらずいずれの杭芯間隔でも $\eta < 1.0$ となり、杭芯間隔が広い条件の方が1に近くなる。杭芯間隔の広いGWシリーズはいずれも変位約2mmで群杭効率が一定になるが、杭芯間隔の狭いGNシリーズは η が増加したのちに減少している。これは単杭と二本杭で最大周面抵抗力の発現する杭頭変位が大きく異なることによる。

4. ひずみ分布

図3に圧縮を正とした各実験条件の地中部(②~④)の同一断面内のひずみ分布について代表的な杭頭変位時を取り出して示す。(a)~(d)は拡底杭、(e)~(h)は直杭の結果である。2本杭については杭No.1のa測点と杭No.2のc測点が杭間側の測点である。なお、各条件二回ずつ実験を実施しているが、同じ条件では同様の傾向を確認しているため、一回分の結果のみを示している。拡底杭では、単杭(B-S1、B-S2)はいずれの断面も、同一断面内でのひずみ値の偏りが小

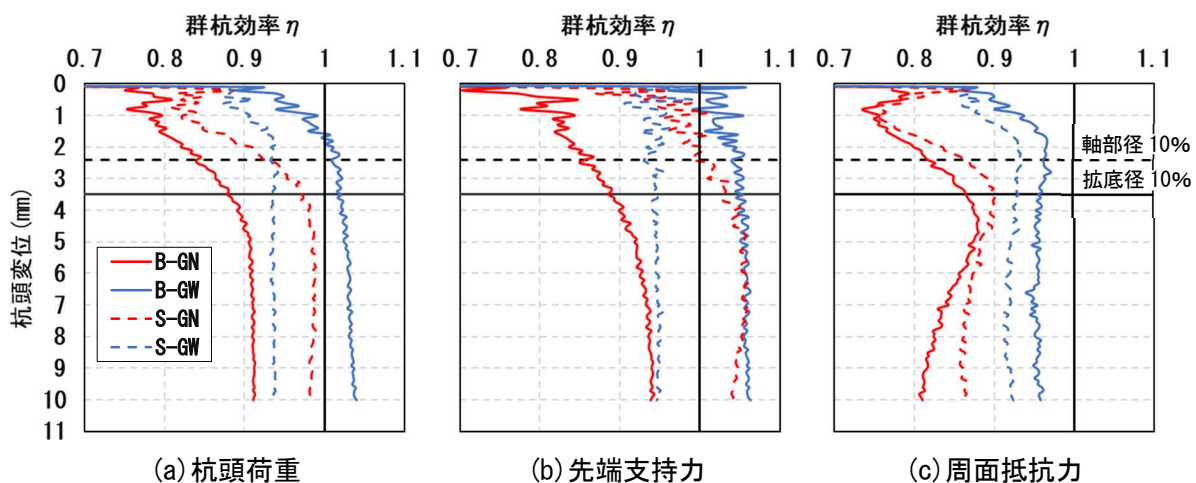


図2 群杭効率-杭頭変位関係

さい。杭芯間隔が狭いB-GNは杭間側にある杭No.1のa測点、杭No.2のc測点のひずみ値が小さくなる傾向があり、隣接杭の影響が認められる。一方、杭芯間隔の広いB-GWはB-GNと比べて同一断面内での偏りが小さく単杭のように偏りが小さいひずみ分布に近づく。

直杭では、単杭、二本杭いずれもBシリーズと同様の傾向を示した。BシリーズとSシリーズを比較すると、単杭及び杭芯間隔の広いGWシリーズは概ね同様の傾向であるが、杭芯間隔が狭いGNシリーズでは直杭に比べて拡底杭のひずみ値の偏りが大きい。これは拡底杭では

杭間距離がより狭く、杭先端面以深の地中増加応力の重なりの影響がより顕著に現れたためと考えられる。この傾向と先端支持力における η の関係に明確な相関は認められない。一方、周面抵抗力は図1に示したように最大周面抵抗力に達する杭頭変位、図2に示した群杭効率が一定になる杭頭変位は、直杭より拡底杭の方が大きく、隣接杭の影響が大きく現れていることと対応している。

5. 群杭効果に関する既往研究との比較

図4に、杭頭変位が杭先端径の10%時(拡底杭は3.5mm、直杭は2.4mm)の杭頭荷重、先端支

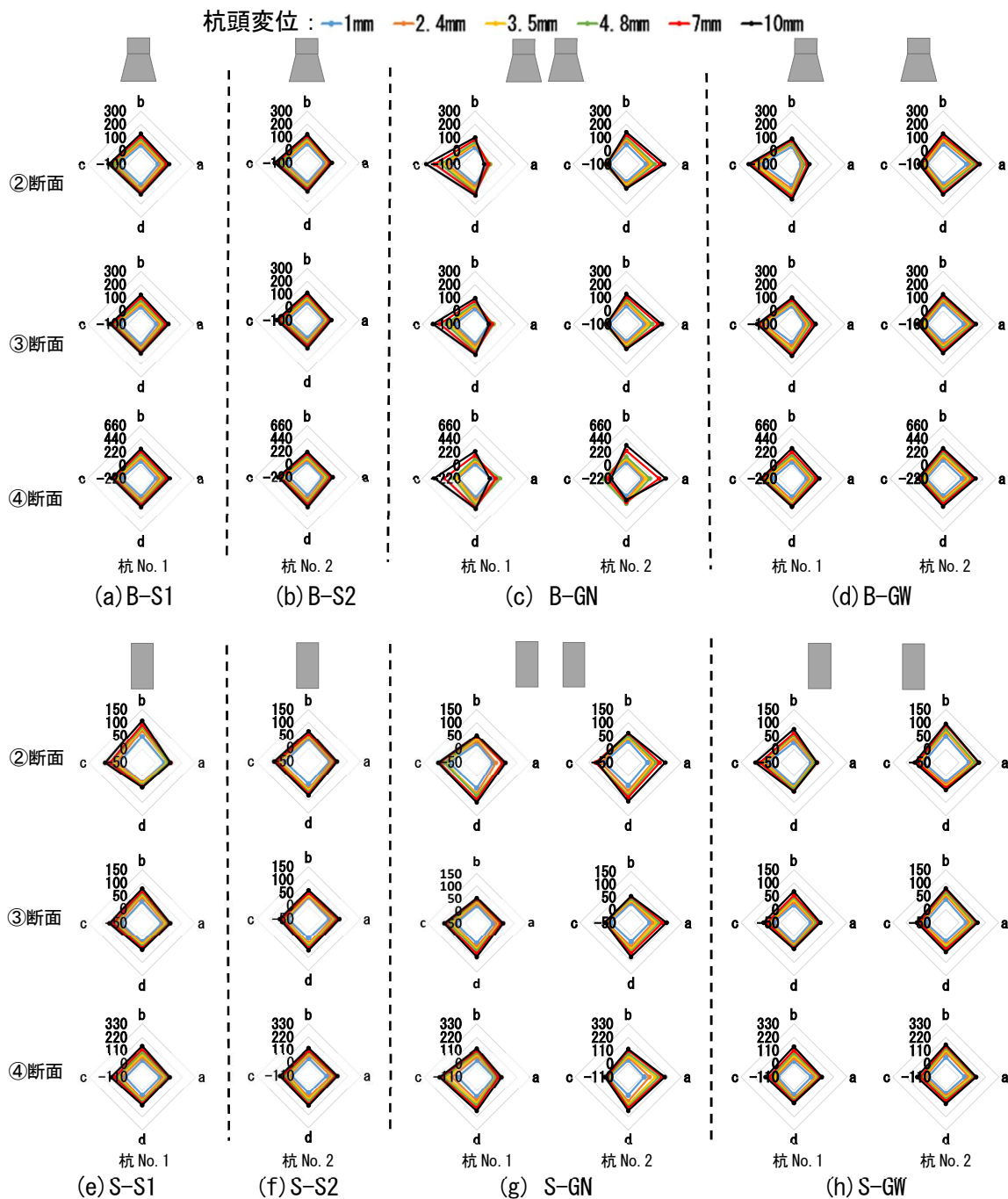


図3 同一断面内のひずみ分布 ($\times 10^{-6}$ 、圧縮+)

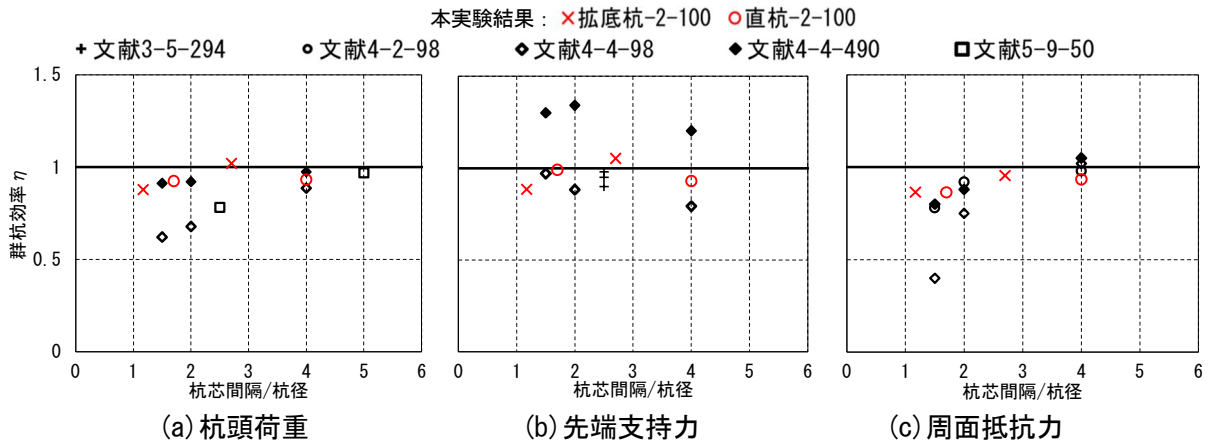


図4 群杭効率-杭芯間隔/杭径関係

持力、周面抵抗力の群杭効率-杭芯間隔/杭径関係を示す。同図には既往の砂地盤を対象とした直杭の模型実験における杭頭変位が杭径の10%に達したときの群杭効率も併記した(凡例：参考文献番号-杭本数-拘束圧(kPa))。

杭頭荷重において、既往の研究では、杭芯間隔の狭い範囲では $\eta=0.6\sim 1.0$ であり、杭本数が少ない、拘束圧が大きい、杭間隔が広いほど $\eta=1.0$ に近づく傾向がある。本実験は杭芯間隔によらず1.0に近い傾向があり、本実験とほぼ同じ上載圧(拘束圧)である文献4-4-98よりも群杭効果は小さい。これは本実験の杭本数が少ないためと考えられる。

先端支持力において、既往の研究では杭芯間隔によらず $\eta=0.8\sim 1.3$ と影響が様々である。文献4では、杭芯間隔が広がるほど群杭効率が小さく、杭本数が少ない、拘束圧が大きいほど大きい傾向がある。本実験結果は杭形状・杭芯間隔によらず群杭効率が概ね1.0前後と影響が小さいが、直杭は杭芯間隔が広いほど群杭効率が小さくなっており文献4の傾向と対応している。一方、拡底杭は杭芯間隔が広いと群杭効率が大きく、杭形状が異なると、杭芯間隔だけで群杭効率 η は評価できない可能性がある。

周面抵抗力において、既往の研究では杭芯間隔が狭い範囲では $\eta=0.4\sim 1.0$ であり、杭本数が少ない、拘束圧が大きい、杭間隔が広いほど $\eta=1.0$ に近づく傾向がある。本実験結果は杭形状によらず杭芯間隔が狭い範囲でも群杭効率は小さいが、杭芯間隔が広がるほど $\eta=1.0$ に近づいており、上載圧(拘束圧)と杭本数が同じ文献4-2-98と同程度である。

6. 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、加圧土槽を用いた拡底

杭・直杭の模型杭を用いた鉛直載荷試験を行った。得られた知見を以下に示す。

- ① 杭芯間隔が狭い場合、最大周面抵抗力に達する杭頭変位、群杭効率 η が一定になる杭頭変位が大きくなり、同一断面内にひずみの偏りが確認された。同じ杭芯間隔では直杭に比べ拡底杭の影響が大きい。
- ② 先端支持力の群杭効率 η において、直杭は杭芯間隔が広いほど小さくなる傾向があるが、拡底杭は杭芯間隔が広いと大きい。
- ③ 杭形状の違いが群杭効果に及ぼす影響は、周面抵抗力に比べて先端支持力の方が顕著である。

本実験の範囲では、先端支持力は、杭芯間隔が広いほど群杭効率 η が1.0に近づく傾向が現れておらず、杭形状によっても群杭効率の傾向が異なる。今後は地中応力や地盤の変形状態も含めた詳細な検討が必要である。

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) 小田切ほか：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-その1 実験手法及び実験結果-、日本大学生産工学部第54回学術講演会講演概要、2021(投稿中)
- 2) 金田ほか：群杭模型実験における鉛直載荷試験時の地盤変形解析、第58回地盤工学シンポジウム、pp.19-24、2013
- 3) 山田ほか：砂地盤における群杭効率のモデル実験、第21回土質工学研究発表会、pp.1197-1198、1986
- 4) 佐原ほか：群杭の終局状態に至るまでの鉛直挙動に関する模型実験結果とその弾塑性解析、構造工学論文集 Vol.48B、pp.335-342、2002
- 5) 片山ほか：鉛直載荷模型実験と地盤変形解析に基づく杭基礎の鉛直支持力における群杭特性に関する検討、第50回地盤工学研究発表会、pp.1421-1422、2015