

杭頭付近にソイルセメント拡大杭周部を有する埋込み杭の水平抵抗
-大径杭を用いた正負交番繰返し水平加力実験-

正会員 ○本間 裕介*1
宮坂 怜奈*2

杭の水平抵抗 正負交番繰返し加力 拡大杭周部

1. はじめに

埋込み杭は、先端支持力を高めるために、軸部径より拡大された径の根固め部を有することが多いが、近年、施工管理が厳格化されつつあり、部分的な拡大掘削時に起きる施工トラブルのリスクを避けるために、杭全長にわたり根固め部と同じ拡大径のソイルセメント杭周部を有する杭も開発されている¹⁾。このような杭の場合、杭頭付近にもソイルセメント拡大杭周部が存在するため、杭の水平抵抗も向上するものと考えられるが、実際に検証された事例は少ない。そこで、筆者らは、今までに杭径 450mm の小径杭に対して水平加力実験を行い、拡大杭周部を有する杭の水平抵抗について報告した²⁾。今回、大径杭における拡大杭周部の効果を検証するために、杭径 1000mm を対象に水平加力実験を行ったので報告する。

2. 実験概要

実験地盤の土質柱状図および杭姿図を図 1 に示す。また、実験ケースを表 1 に示す。杭径 1000mm の試験杭は、鋼管杭 12m と PHC 杭 11m を繋いだ杭長 23m(根入れ長 22m)とした。なお、継手位置は曲げ応力が収束する深さ付近として設定した。Case1 は一般的な杭周部(通常掘削径=杭径+50mm)を設けた仕様であり、Case2 は Case1 より 2 倍大きな拡大杭周部を全長にわたり設けた仕様である。表中 () 内で示す杭周部の外径 D_e は実測した周長より逆算して求めた値である。また、実験終了後に鋼管杭内をコアボーリングして採取した供試体を用いて実施した圧縮試験から得られた杭周部の圧縮強度 q_u と弾性係数 E_c を表 1 に付記する。

実験地盤は、表層付近がシルト分主体の埋土であり、深度 3 ~9m 区間は N 値 5~10 程度の細砂、それ以深の PHC 杭にあたる区間は軟弱な粘土層で構成されている。ひずみは鋼管杭の部分(11 断面)のみで測定した。

3. 加力装置および加力方法

加力装置を図 2 に示す。杭径 1000mm の PHC 杭を反力杭に用いて、油圧ジャッキにて左右から押すことで繰返し水平力を作用させた。Case1 の場合、用いた反力杭は 2 本としたが、Case2 の反力杭は前後を結び 4 本とした。

杭変位は加力点 H_p2 (地盤面+200mm)、地表面付近 H_p1 (地盤面+50mm)の 2 断面で測定した。また、図 2 に示すように、Case2 については、拡大杭周部の水平変位を 3 か所で測定した。水平力は、杭変位 H_p1 の平均値を用いて変位制御により連続的に与えた。変位振幅 $\pm 0.5\text{mm}$ の準備加力後、 $\pm 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 10, 15, 30, 45, 60\text{mm}$ ($\pm 30\text{mm}$ までは各振幅で

回ずつ)まで漸増させた後、最終的には杭径の 9%にあたる $\pm 90\text{mm}$ まで加力した。なお、Case1 は変位振幅 $\pm 90\text{mm}$ の正加力中に、加力装置が強度不足に至り、変位+73mmの時点で加力を終了している。

4. 実験結果

各ケースを比較した荷重変位関係を図 3 に、杭変位 H_p1 と

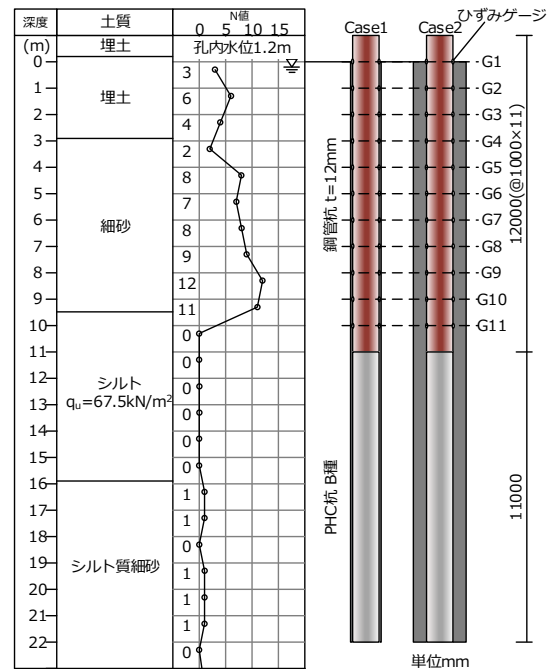


図 1 土質柱状図および試験杭姿図

表 1 実験ケースおよび杭周部の圧縮強度

No	杭径 D (mm)	根入れ長 L	鋼管板厚 t (mm)	杭周部のソイルセメント			
				外径 D_e (mm)	拡大比 $D_e / (D+50)$	圧縮強度 q_u (N/mm ²)	弾性係数 E_c (N/mm ²)
Case1	1000	22m (鋼管杭11m+PHC11m)	12	1050 (1180)	1.00 (1.12)	4.07^{-1}	1826^{-1}
Case2	1000	22m (鋼管杭11m+PHC11m)	12	2100 (2300)	2.00 (2.19)	2.78^{-1}	1117^{-1}

*1 加力実験終了後、鋼管杭内をコアボーリングして採取した供試体による圧縮試験結果

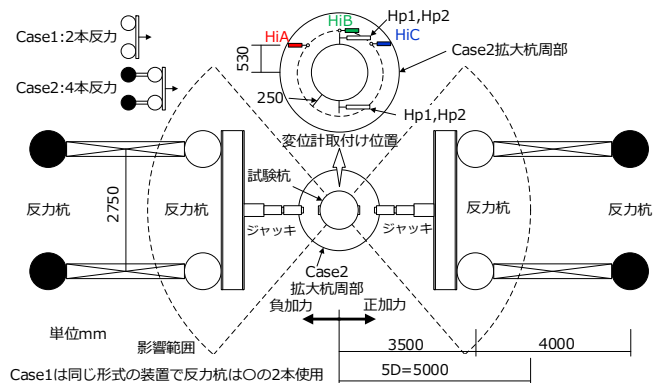


図 2 加力装置図および変位計取付け位置

拡大杭周部の変位 $H_{iA} \sim H_{iC}$ を比較した Case2 の荷重変位関係を図 4 に示す。また、図 5 には図 3 中に示す点線範囲を拡大した図 ($H_{p1}=15\text{mm}$ まで) をそれぞれ示した。さらに、実験終了時における地盤変状のスケッチを図 6 に示す。

振幅 $\pm 15\text{mm}$ 時に着目すると、荷重変位関係の傾きは、拡大杭周部の効果から Case1 より Case2 の方が大きく、水平荷重も Case2 の方が約 1.30 倍大きいことが確認できた。また、大変形時においても、水平荷重は Case1 より Case2 の方が約 1.30 倍大きく、変位 15mm 時と同程度の向上効果を維持していた。

Case1 の履歴ループの形状は、変位の増加とともに逆 S 字型を呈していくことが確認できるが、Case2 では、そのような傾向があまり見受けられない。杭径 450mm では、Case2 と同じように 2 倍大きな拡大杭周部を有した場合、繰返し荷重に伴って履歴内荷重で地盤抵抗が発揮しづらい逆 S 字型の形状が顕著に現れた²⁾が、杭径 1000mm では、そのような傾向はあまり確認されなかった。

地盤のひび割れについては、Case1 では、変位 15mm までに地盤のひび割れが加力軸に対して 90 度方向に発生し、その後、変位の増加に伴い、45 度に伸びるひび割れが発生した。一方、Case2 では、変位 15mm までに加力背面側に拡大杭周部に沿った地盤のひび割れが発生し、その後、杭周部の損傷を伴いながら、加力前面側に伸びる地盤のひび割れが発生した。この傾向は、杭径 450mm²⁾と同様であった。大変形後に杭と杭周部との間にできた隙間の深さは約 2m 程度であった。

加力前面側に位置する拡大杭周部の変位は、杭変位と概ね同じ挙動を示していることがわかる。一方、背面側は変位 15mm 付近まで杭変位に追従するような挙動を示していたが、その後、取り残された挙動を示している。また、加力軸に対して 90 度方向の変位 H_{iB} も少なからず杭変位に追従する動きを示

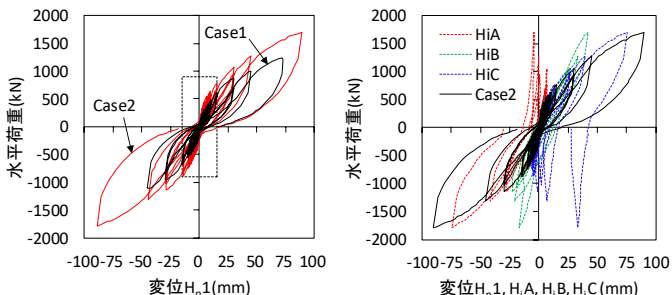


図 3 荷重-変位関係

図 4 荷重-変位関係

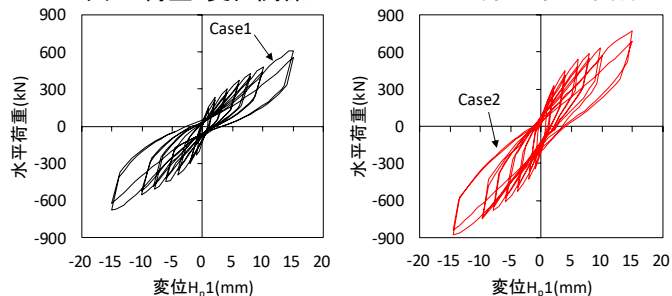


図 5 荷重-変位関係(点線範囲の拡大)

しており、大変形によって杭周部が損傷するものの、加力軸に対して 90 度より前方に位置する拡大杭周部は、概ね杭と一体的に挙動していることが確認できる。

深度 4.0m 以浅の 4 断面における地盤反力と変位の関係を図 7 に示す。なお、地盤反力を含む各物理量分布は、各断面で得られたひずみを用いて、文献 2)と同じ方法により求めている。図 7 より各深度とも地盤反力が頭打ちになっていく傾向が確認できる。各深度における変位 10mm 時の地盤反力係数を表 2 に示す。同表には、深度 4.0m 区間の最大 N 値 6 を用いて、文献 3)に記載の指針式より求めた計算値も併記している。実測値は、計算値より 1.4 倍以上大きくなっていることがわかる。拡大杭周部の有無に着目すると、各深度とも Case1 より Case2 の方が大きく、2 倍大きな杭周部を有することで、4.0m 以浅の地盤反力が 1.3~1.4 倍程度向上したことが確認できる。しかしながら、杭径 450mm の場合、3 倍以上の向上効果が現れた³⁾が、杭径 1000mm では、そこまでの向上効果は得られなかった。

5. まとめ

大径杭の場合、2 倍大きな拡大杭周部を設けることで、水平抵抗は約 1.3~1.4 倍向上することを確認した。また、繰返し荷重に伴って、杭と杭周部との間に隙間が生じたものの、履歴内荷重時に地盤抵抗が大きく損なうことがない傾向も確認された。

参考文献 1)小梅慎平：MAGNUM 工法，基礎工 Vol.47, No.11, 2019, pp.96-97 2)本間裕介：杭頭付近にソイルセメント拡大杭周部を有する埋込み杭の水平抵抗(その 2：実験結果)，第 55 回地盤工学研究発表会,2020 投稿中 3)日本建築学会：建築基礎構造設計指針,2019.1

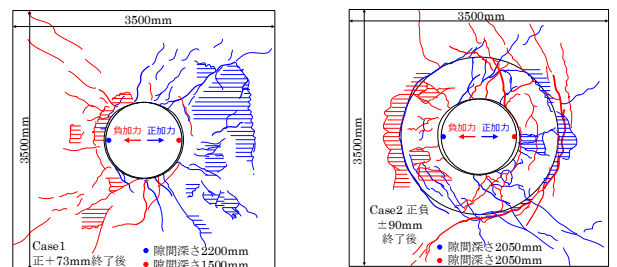


図 6 杭頭周囲の地盤変状

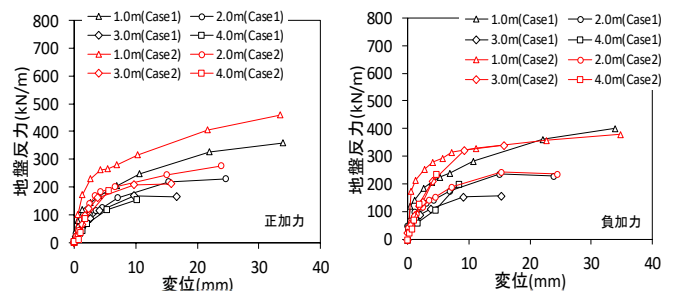


図 7 地盤反力-変位関係

表 2 地盤反力係数

深度 (m)	基礎 指針式 N=6 $\alpha=80$	変位10mm時の水平地盤反力係数 k_{h0} (MN/m ³)					
		正加力時			負加力時		
		Case1	Case2	Case2 Case1	Case1	Case2	Case2 Case1
1.0		24.3	31.5	1.30	27.8	33.6	1.21
2.0		19.6	24.7	1.26	21.7	22.6	1.04
3.0		16.9	20.9	1.24	15.8	33.1	2.09
4.0		15.2	23.7	1.56	23.3	30.7	1.32
平均		-	-	1.34	-	-	1.42

*1 ジャパンパイル(株) 博士(工学)

*2 ジャパンパイル(株)

*1 JAPAN PILE Corporation Dr.Eng

*2 JAPAN PILE Corporation