

杭頭に板状の水平抵抗増大機構を有する「傘付き杭」の水平抵抗確認実験 (その2 実験結果とその考察)

杭 水平抵抗 水平加力実験

ジャパンパイル(株) 正会員 本間 裕介
 広島大学 国際会員 富永 晃司
 ジャパンパイル(株) 正会員 田中佑二郎

1.はじめに

その1の実験概要¹⁾に引き続き、本報では、傘付き杭の実験結果について報告する。

2.水平挙動の比較

加力点での荷重-変位関係を比較して示した図1より、加力初期の段階から、通常杭の変位は傘付き杭に比べて大きく、この傾向は荷重の増加に伴っても変わらない様子がわかる。最終的な加力点変位は、通常杭および傘付き杭において、それぞれ杭径43% (49.1mm) および23% (29.0mm) である。

つぎに、実験で得られた各ケースにおける最大ひずみ量が発生した深度(5断面=約1.0m付近)までの圧縮ひずみと引張ひずみの関係を図2に示した。ただし、通常杭は5断面位置の圧縮側のひずみゲージが実験途中で破損したため、6断面までを示した。この図より、各ケース共にほぼ45°線(圧縮ひずみ=引張ひずみ)上にあることから、最終荷重まで杭材は弾性範囲にあったことがわかる。

ここに、通常杭における加力終了時の周辺地盤状況を写真1およびそのスケッチを図3、そして傘付き杭の周辺地盤状況を写真2に示す。なお、前者では加力装置の影響から残留変位が37.0mm生じており、写真1はその状況であることをお断りしておく。これらの図および写真から、通常杭では杭の加力方向前方地盤が盛り上がり、後方では杭の移動で生じた隙間に砂が崩落し、最終的には加力点変位の49.1mmより大きなすり鉢状の穴が形成されたが、傘付き杭では傘部上面の砂が移動してできた盛り上がりが少し見られる程度になることがわかった。

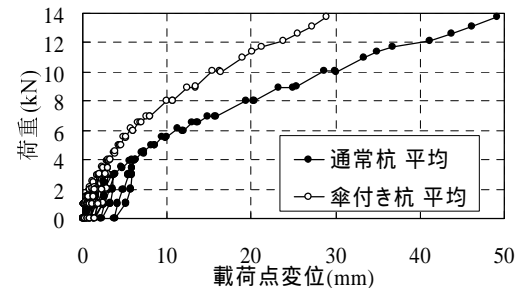


図1 荷重変位関係

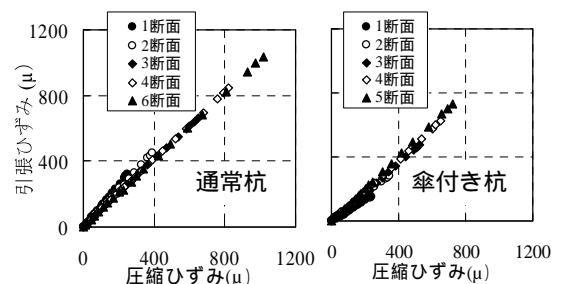


図2 ひずみの関係



写真1 通常杭の周辺地盤

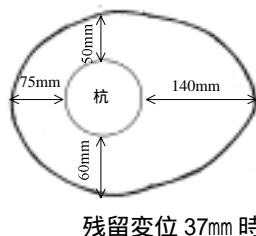


図3 通常杭の周辺地盤スケッチ



写真2 傘付き杭の周辺地盤

3.各物理量の比較とその考察

加力により生じる杭体の各物理量について、検討を加えることとする。ここに、文献2)の方法により、まず各断面の計測ひずみ値より曲率を求め、杭体の曲げ剛性EIを乗じて曲げモーメントMを求めた。なお、通常杭における破損した5断面の圧縮ひずみは、図2から判断して対面の引張ひずみ量の値を代用した。ついで、求めた曲げモーメントM分布を微積分することで、せん断力Q、水平地盤反力pおよび変位yを算出した。以上の方法で求めた変位分布および曲げモーメント分布をそれぞれ比較して図4および図5に、そして各荷重時における地表面位置(G.L.0.03m)の変位および最大曲げモーメントの値を表1にまとめて示す。

図4より、両ケースとも変位分布は荷重の増加に伴って「く」の字形を呈し、地中での変位も大きくなっていく様子がわかる。この傾向は、傘付き杭より通常杭で顕著であり、傘部が杭の変形を抑制している効果を読み取れる。一方、図5から、曲げモーメントは傘付き杭より通常杭で杭全長にわたって大きな分布値を示すこと、また傘部が取り付けられた位置での応力集中が懸念されたが、そのような傾向は現れないことなどが読み取れる。さらに表1より、通常杭では荷重2.0kNで杭径の約1.0% (1.27mm)の変位が発生するが、傘付き杭では同じ荷重2.0kNで変位0.58mm、すなわち通常杭の45%の変位しか生じておらず、傘部による変位の低減効果が確認できた。なお、この変位の低減効果は荷重の増加とともに減少していく性状のあることが明らかとなった。傘部による低減効果は、図5における曲げモーメント分布

においても確認できるが、変位で見られた荷重の増加に伴って低減効果が低下する性状は現れないことがわかった。これは、図6に示すように地盤反力 s によって発生した傘部の曲げモーメント M が、杭体には反対の曲げモーメントとして作用し、荷重の増加に伴ってこの曲げモーメント M が大きくなったためと考えられる。

4. 水平地盤反力係数の比較とその考察

深度 0.03m から 0.53m における各断面の水平地盤反力係数 k_h ~ 変位 y 関係を図7に示す。ここに、水平地盤反力係数 k_h は各深度の水平地盤反力 p を杭径 D と変位 y で除して求めている。また、 k_h を累乗近似し得られた式から求めた各変位における k_h を表2に比較して示した。砂地盤においては、一般的に上載圧の影響で下層ほど水平地盤反力係数は大きくなる性状を示すが、本実験では、パイロプレートの締め固め効果により上層ほど大きくなる傾向が示されている(図7参照)。また、表2より各深度とも傘付き杭の方が通常杭より大きな k_h 値が得られており、傘部が k_h 値を増大させる効果のあることがわかる。ただし、傘部直下の深度 0.13m においては、低変位段階では通常杭に対する傘付き杭の割合がそれ以深の2深度より小さい目の値となっている。これは、傘部より伝達された水平力によって地盤が変位し、杭と地盤との相対変位が小さくなったためであると考えられる。

しかし、その後は変位の増加とともに、通常杭に対する傘付き杭の割合も増加していく傾向があり、他の2深度とは異なる傾向が示された。これは杭の変形に応じて傘部による地盤を押し付ける力が大きくなり、傘部直下の鉛直有効応力が増したためであると考えられ、結果として有効応力に伴う地盤剛性の増加が杭と地盤との相対変位の減少による影響を上回ったと推測できる。このような傘部と地盤、地盤と杭との相互作用は、ラフトと杭から構成させているパイルドラフト基礎が水平力を受けた際に見られる、ラフトと地盤、地盤と杭との相互作用³⁾の状態に近いことが指摘できる。

5. まとめ

傘部を設けることで、杭体変位および杭体応力を低減させることができ、杭の水平抵抗が向上することを確認した。また、傘部直下では、傘部と地盤、地盤と杭との相互作用の影響から、変位に応じて減少する水平地盤反力係数の低下を抑える効果も確認できた。今後は、より効果的な傘部の形状、大きさ等を検討していく予定である。

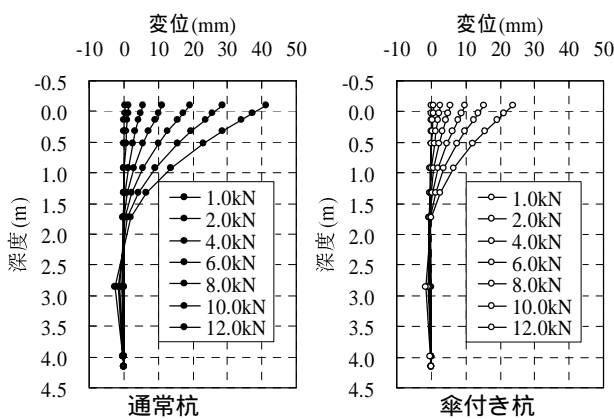


図4 変位分布

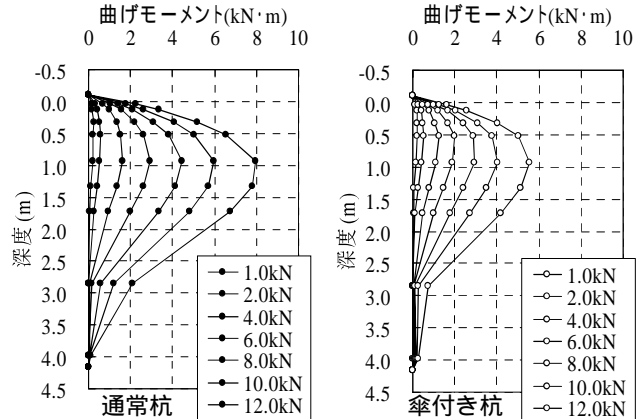


図5 曲げモーメント分布

表1 地表面変位および最大曲げモーメント

荷重 (kN)	位置G.L. 0.03mの変位(mm)			最大曲げモーメント(kN·m)		
	通常杭	傘付き杭	通常杭 傘付き杭	通常杭	傘付き杭	通常杭 傘付き杭
1.0	0.23	0.07	3.09	0.24	0.21	1.14
2.0	1.27	0.58	2.21	0.60	0.53	1.13
4.0	4.88	2.31	2.12	1.63	1.24	1.32
6.0	9.96	4.82	2.07	2.94	1.98	1.48
8.0	17.30	8.70	1.99	4.44	2.91	1.53
10.0	25.79	13.52	1.91	5.98	4.00	1.50
12.0	37.26	21.15	1.76	7.95	4.87	1.63

表2 各深度における水平地盤反力係数 k_h

変位 y/D (%)	y (mm)	水平地盤反力係数 k_h (MN/m ³)								
		通常杭		傘付き杭		傘付き杭/通常杭				
		0.13m	0.33m	0.13m	0.33m	0.13m	0.33m			
1.0	1.14	59.84	20.50	17.01	76.62	37.32	25.76	1.28	1.82	1.51
2.0	2.29	36.05	15.48	12.49	49.63	25.28	17.12	1.38	1.63	1.37
4.0	4.57	21.72	11.70	9.17	32.15	17.12	11.38	1.48	1.46	1.24
8.0	9.14	13.08	8.83	6.73	20.82	11.60	7.57	1.59	1.31	1.12
10.0	11.43	11.11	8.07	6.09	18.11	10.23	6.64	1.63	1.27	1.09

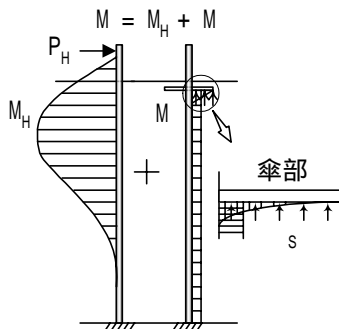


図6 曲げモーメント低減機構

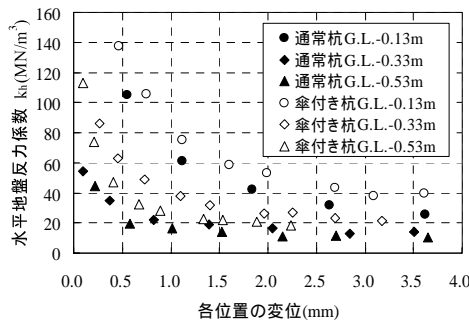


図7 水平地盤反力係数 ~ 変位関係

【謝辞】

本実験を行うにあたりご協力を頂いた広島大学卒業研究生の玉井智子、小池雄三の両氏に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 本間ら(2006): 杭頭に板状の水平抵抗増大機構を有する「傘付き杭」の水平抵抗確認実験(その1 実験概要), 投稿中
- 2) 富永ら(1991,3): 杭頭自由および固定の単杭が終局状態に至るまでの水平挙動性状に関する理論と実験, 構造工学論文集, pp1-10
- 3) 真野(2005): 水平力を受けるパイルドラフト基礎の挙動に関する研究, 博士論文