

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)

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

最近の杭基礎の設計では、杭の高支持力化に伴い、鉛直支持力より杭の水平抵抗によって杭本数や杭径等が決定される事例が多い。兵庫県南部地震を契機に、杭基礎の耐震性の重要性が再認識され、大地震に対しても十分な耐力や変形性能を有する杭基礎が要求されるようになってきた。このため、地震に強い杭基礎の工法開発が活発となり、その一環として単に曲げ性能の高い杭材(鋼管杭、SC 杭等)を用いる方法以外にも、杭周辺地盤を地盤改良することで杭の水平抵抗を増大させる工法<sup>1),2)</sup>、あるいは杭の水平抵抗増大を図るために水平抵抗増大機構を付加させる方法<sup>3),4)</sup>の開発など、の研究が見られる。

このような背景から、筆者らは、杭周地盤を鉄鋼スラグによって浅層改良し、杭の水平抵抗を増大させる工法に関する一連の研究<sup>2)</sup>を行っている。この研究の一環として、新たに杭の変形を抑制する板状の水平抵抗機構を杭頭部付近に設けた杭工法(以後、「傘付き杭」と呼称)の開発を試みている。本工法に関連する既往の研究としては、筆者らの知る限りモデルで実施された実験研究<sup>3)</sup>が見られる程度であり、余り研究がなされていない状況にある。本報告では、傘付き杭の効果検証のために大型モデル杭による水平加力実験を実施した結果について 2 編で報告することとし、(その 1)では傘付き杭の概要と効果および実験概要について、(その 2)で実験結果とその考察について述べる。

2. 傘付き杭の概要および効果

傘付き杭の概要を図 1 に示す。そして、杭頭に水平力が作用する場合、通常杭と傘付き杭との挙動を模式的に比較すれば、おおよそ図 2(a)および 2(b)に示ようになる。図 1 に示すように、水平抵抗増強機構を司る傘付き杭の補強盤(以降、傘部と呼称)は、パイルキャップ直下の杭頭部付近に設け、杭頭の回転剛性を高める構造体の動きをする。すなわち、杭の水平抵抗要素として、傘部底面と地盤との摩擦抵抗が付加されるだけでなく、通常杭では地盤が上方へすべり破壊する(一般に塑性領域と呼称:図 2(a)参照)のに対して、傘付き杭では杭頭の回転変形に応じた押え効果が期待できる(図 2(b)参照)。また、この押え効果により杭の水平抵抗に支配的な表層地盤の剛性および極限地盤反力等の低下が、通常杭に較べて改善されるものと判断できる。

近年、上部構造および杭体における発生応力を低減する目的で杭頭固定度を低くする工法開発が行われているが、この工法開発において杭頭水平変位が大きくなることが問題となっている。ここに、本傘付き杭における傘部の押え効果は、杭頭部の傾斜角に大きく依存するために実構造物への適用を考えるとパイルキャップと杭との固定度は低い方がより効果的になるので、傘付き杭の併用は上記の問題を解決できる有効な手段の一つになると考えられる。

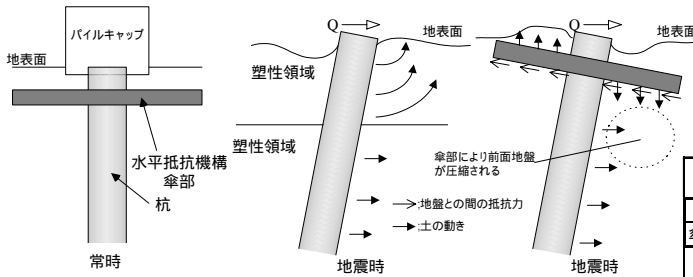


図 1 概要図 図 2(a) 通常杭 図 2(b) 傘付き杭

表 1 モデル杭の仕様

モデル杭	材質	杭径 (mm)	杭長 (m)	肉厚 (mm)	曲げ剛性 (kN・m <sup>2</sup> )
	機械構造用炭素鋼管	114.3	4.75	4.5	544
	STK13M A				

表 2 実験ケース

Case	杭径 D(mm)	載荷方法	傘部 (mm)		表層改良部			養生期間 Month
			幅	厚さ	材料	改良幅	改良深さ	
通常杭	114.3	一方向	無	無	無	無	無	-
傘付き杭	114.3	一方向	460	16	無	無	無	-
スラグ改良杭1	114.3	正負交番	無	無	混合スラグ	3D	1D	3M
スラグ改良杭2	114.3	正負交番	無	無	転炉スラグ	3D	1D	3M

3. 野外大型モデル杭実験概要

本実験は、(株)ジオトップ山梨工場が有する幅 6m × 奥行き 4m × 深さ 5m のコンクリート製大型土槽(図 3(a)および 3(b)参照)で実施した。実験杭には、表 1 に諸元を示す長さ L=4.75m、杭径 D=114.3mm、肉厚 t=4.5mm の鋼管を使用し、その表面には 9 断面の対面にストレインゲージを貼付した。なお、一方向単純曲げ試験による曲げモーメント M ~ 曲率 関係から、杭の曲げ剛性 EI = 544kN・m<sup>2</sup>を得ている。

表 2 に示すように、杭周地盤を鉄鋼スラグで浅層改良を施した杭についても本実験に関連して実施したが、本報告では表中の通常杭と傘付き杭の実験について報告する。ここに傘部の寸法は、地盤の塑性化に伴うすべり線の範囲が

約 2.5D ~ 5.0D (D = 杭径) に発生することが確認されている<sup>5)</sup>が、実建築物への適用性を考慮して、一辺が杭径の約 4 倍となる 460mm の正方形とし、厚さは 16mm の SS400 鋼板を用いることとした。なお、傘部の曲げ剛性 EI は、杭体の約 6% 程度であり、地表面から深さ 100mm の位置に設ける仕様となっている。

実験地盤の作製は、文献 6) で行われた大型多重ふるいによる自由落下方式を採用した。地盤作製手順は、図 3 に示すように、まず各杭のゲージの位置を確認し、各杭間隔が 10D となるように杭頭部および先端部を治具で固定して、杭頭固定治具をクレーンで吊り上げ、土槽内の所定の位置に建て込んだ。ついで、図 4 に示す落下順序に従って、湿潤 5 号砂砂をバックホーバケットにより多重ふるい内に投入・自由落下させ、杭の根入れ長が 4.15m になるまで堆積させた後にパイプロレートで表層を満遍なく締め固めた。なお、地盤作製後に図 3(a) に示す S-1 ~ S-4 の 4 箇所でスウェーデンサウディング試験を行った。その結果を示した図 5 から、表層部の換算 N 値としては締め固めの影響が確認でき、かつ全体的に多少のバラつきはあるものの、実験の規模を考えれば均一な地盤になっていると判断できた。スウェーデンサウディング試験後に、杭周辺地盤を範囲 500mm × 500mm × 深さ 100mm ほど掘削し、傘部を杭に嵌め込み、点溶接により杭に固定した。なお、掘削した土の埋め戻し後に再度締め固めは行っていないこと、地盤作製後に杭頭部の固定治具は取り除き杭頭自由の条件としたが、杭先端部は取り付けのままの固定条件に近いことを付記しておく。

実験は、土質工学会基準「水平載荷試験方法・同解説」に準拠し、図 6(a), 6(b) および写真 1 に示すように、実験時の加力は加力点高さ G.L. +100mm で杭を互いに押し合う一方向多サイクル方式で、図 7 に示す加力計画で行った。実験時の測定項目は、杭頭水平荷重、加力点での杭体変位 (図 6 中の D1, D2) および杭体のひずみ量 (18 点)、傘部 4 隅の鉛直変位 (D3 ~ D6) である。各測定は、載荷時 (0 分時) および 3 分間荷重保持時に行った。なお、大変形による傘部の押し効果の増大を確認するため、第 3 サイクル後に加力装置の安全確保できる荷重 14kN まで加力を行うこととし、通常杭および傘付き杭で杭径の 43%、杭径の 23% に相当する大変位の加力を実施できた。

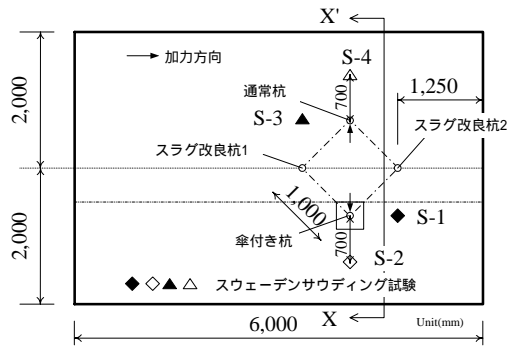


図 3(a) 土槽平面図および杭配置図  
スラグ改良杭1

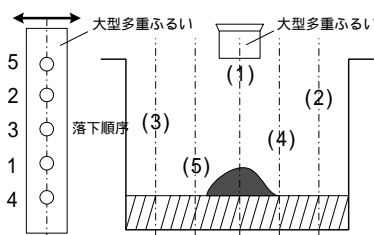


図 4 投入手順

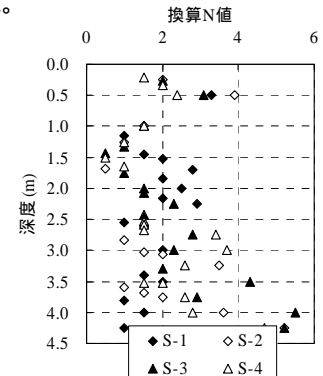


図 5 換算 N 値

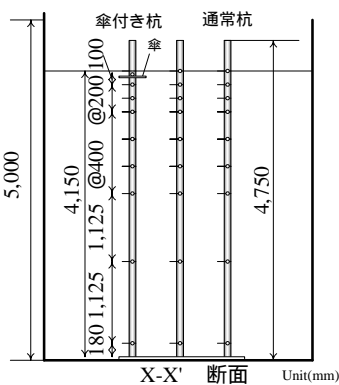


図 3(b) 土槽断面図

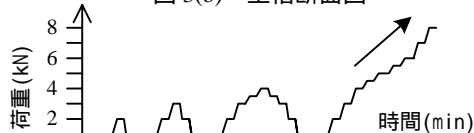


図 7 加力計画

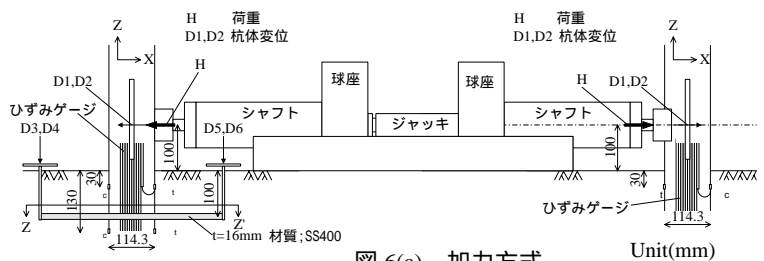


図 6(a) 加力方式

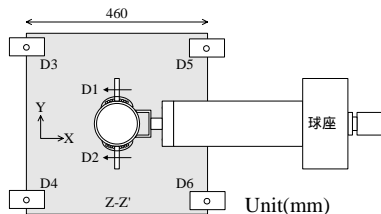


図 6(b) 傘付き杭の仕様



写真 1 加力状況

【参考文献】

- 1) 宮島・北詰・飯田(2003): 固化処理工法による単杭の地震時水平抵抗の増大効果, 港湾空港技術研究所資料, No1048
- 2) 本間ら(2004, 11): 鉄鋼スラグによる改良地盤中杭の水平抵抗増大効果確認実験, 第 49 回地盤工学シンポジウム, pp.165-172
- 3) 小林ら(2003, 9): 杭頭に付加した水平力抵抗機構についての模型実験比較, 第 58 回土木学会, pp.567-568
- 4) 富澤ら(2005, 7): 遠心力模型実験による羽根付き杭の水平抵抗増加効果の検討, 第 40 回地盤工学学会, pp.1575-1576
- 5) 富永ら(1981): 杭前面地盤の変位の実測と考察, 杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム, pp.21-26
- 6) 木村ら(1992): 大型土槽を用いた群杭の水平抵抗に関する模型実験, 土と基礎, Vol.40, pp.41-46