

拡張比の異なる杭の引抜き特性 その1:遠心模型実験の概要

拡張杭 引抜き抵抗 遠心载荷試験

関西大学 国際会員 ○飛田 哲男
安藤ハザマ 非会員 大橋 達也
ジャパンプイル 正会員 橋立 健司
ジャパンプイル 正会員 藤江 雄大

1. はじめに

近年高層化が著しい建築物については、地震や風に対する振動により基礎に浮上りが生じることがある。これに対する反力として、杭の引抜き抵抗を利用することが考えられる。これまでの研究により、直杭と比較して杭の底部を拡張した形式の拡張杭が大きな引抜き抵抗を有することが確認されている。しかし、大きな地盤内応力下での拡張杭の引抜き抵抗機構には不明確な点が多く、これまでに実験的、解析的研究がなされてきた^{例え1-2)}。

本研究の目的は、拡張杭の引抜き時の極限負担荷重量（押し込み時の極限支持力度に相当する）について検討することである。そのため、先端の拡張部における荷重伝搬機構を考慮して、拡張比の影響を定量的に評価する必要がある。そこで、縮小模型により実大規模の応力状態を再現できる遠心载荷試験により影響要因である拡張比（=拡張部下端の直径/軸部径）を変え、また地盤の相対密度を $D_r=60\%$ または 90% とした場合の鉛直引抜き試験を行い、支持力機構の把握と極限負担荷重量の推定式の導出並びに数値解析法の検証を試みる。これまでに、著者らは、直杭を含め3種の拡張杭に対する引抜き実験を行い報告しているが³⁾、本報告（その1）では、既報の3種に対する再実験に加え、それらを補間する拡張比を持つ3種について行った実験の概要を報告する。

2. 実験概要

本実験には、関西大学が所有する遠心力载荷装置（有効半径1.5m）を使用した。使用した土槽は $500 \times 200 \times 300\text{mm}$ （幅×奥行×高さ）、長辺の片面がアクリル製の透明な板になっている剛土槽を用いた。模型縮尺は $1/50$ （遠心場 $50g$ 、 g は重力加速度）とした。模型杭の材質はステンレスで軸部径は $\phi 20\text{mm}$ （実物換算 1.0m ）（以下、実物換算値をカッコ内に示す）、肉厚 1mm （ 50mm ）、長さは 270mm （ 13.5m ）を標準とした（図1、図2）。なお、模型杭内面にひずみゲージを $55\text{--}60\text{mm}$ （ $2.75\text{--}3.3\text{m}$ ）間隔で同一断面に2か所貼付した（図2）。模型杭は、直杭に加え底部の直径を $25, 30, 35, 40, 45\text{mm}$ （ $1.25, 1.5, 1.75, 2.00, 2.25\text{m}$ ）としたものの計6種を用いた（図2）。実験ケースは、表1に示すように、地盤の相対密度2種、拡張比6種の計12ケースを基本ケース（Case 1 シリーズ）とし、Case 2 シリーズとして、杭周面に砂を塗布した場合（図1(b))について12ケース行った。その他、再現性の確認等のため



図1 直杭模型、
(a)砂塗布なし、
(b)砂塗布あり

追加6ケース行い、全30ケース行った。既報の3ケースを補完するために今回新たに作成した拡張比1.25、同1.75、同2.25の模型杭では、2枚の相対するひずみゲージの添付位置は、後で述べる連結ピンの軸方向と直交する位置である。それ以外の既往の模型杭のひずみゲージ貼付方向は、連結ピンの軸方向である。今回ひずみゲージの添付方向を変更したのは、杭の引き上げに伴って連結ピンの周囲にひずみが集中し、そのため最上段のひずみゲージの値に誤差が混入することが懸念されたためである。計測の結果、誤差の混入は抑えられていることを確認した。

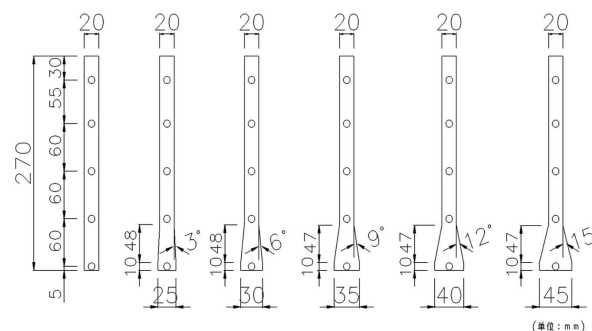


図2 模型杭の諸元（模型スケール、単位 mm）○印は内壁のひずみゲージ貼付位置。

表1 実験ケース

実験ケースNo.		目標相 対密度 (%)	給砂後の体積 から算出した相 対密度(%)	5分圧密 後の相対 密度(%)	拡張比	拡張底部の 傾斜角	杭周囲の 砂塗布			
1	1	1 60 2 90	65 97	- -	1.00	0	なし			
	2	1 60 2 90	52 93	60 94	1.25	3				
	3	1 60 2 90	55 89	- -	1.50	6				
	4	1 60 2 90	54 88	65 94	1.75	9				
	5	1 60 2 90	66 94	- -	2.00	12				
	6	1 60 2 90	53 92	56 93	2.25	15				
	2	1	1 60 2 90	63 99	68 98	1.00		0	あり	
		2	1 60 2 90	63 93	68 94	1.25		3		
		3	1 60 2 90	60 90	66 93	1.50		6		
		4	1 60 2 90	54 94	65 97	1.75		9		
		5	1 60 2 90	64 97	68 98	2.00		12		
		6	1 60 2 90	60 89	64 93	2.25		15		
3		1	90	85	92	1.00	0	あり		
		2	90	84	95	1.25	3			
		3	90	91	93	1.75	9			
		4	90	90	93	2.25	15			なし
		5	90	92	96	2.25	15			あり
		6	60	60	62	2.25	15			なし

Case 2 シリーズの杭周囲の砂は、スチレンブタジエンゴム系剤を杭模型表面に刷毛で塗り、その上に模型地盤と同じ砂を塗布し、杭の周囲摩擦抵抗を大きくした。砂を塗布した場合の粗さを計測したところ、平均算術高さ(Sa)は 0.099mm, 最大高さ(Sz)は 1.231mm であった。

本実験では、まず杭先端以深の支持地盤（高さ 40mm (2.0m)）を相対密度 $Dr=90\%$ の豊浦砂（ $G_s=2.636$, $U_c=1.44$, $D_{50}=0.17\text{mm}$ ）で作成した（図 3(a)）。その表面に杭模型を土槽の中心点に鉛直に立て、その四方を治具で固定した（図 3(b)）。その後、空中落下法により相対密度 $Dr=60\%$ または 90% となるよう同じ砂で高さ 210mm(10.5m)の模型地盤上層を作成した（図 3(c)）。その際、事前に校正した砂の落下高さを保つことで地盤密度を可能な限り均一にし、かつ水平な堆積面が形成されるよう注意した。その後、図 3(c)の状態では遠心力荷重装置のプラットフォームに設置し、50g の遠心場で 5 分間遠心力のみ荷重した。その後、装置を止め地表面の高さを定規で測り、体積と投入砂の質量から相対密度を求めた（表 1）。表 1 より、50g の荷重により 2%から 10%程度相対密度が大きくなることからわかる。特に緩詰の場合に増加の度合いが大きい。

杭と荷重装置とは、図 4 に示す治具を用いてピン結合とした。平井ら²⁾と同様、所定の遠心力まで荷重する段階で杭と地盤が一体となって変位できるようピンの差し込み穴をわずかに楕円とし上下方向に遊びを設けた。

計測項目は、杭頭部の荷重荷重（荷重計容量 10kN）、杭頭変位および杭の軸ひずみである。杭頭変位は図 2 に示すようにジャッキの変位量を巻き取り式変位計で計測した。実験は、荷重計を介して杭頭部をモーターの動力で引き上げること（変位制御）で行った。引き上げ速度は 1mm/min とした。この荷重装置は、遠心場において無線スイッチにより始動、停止させることができ、変位量をモニターしながら、引き上げ変位が 10mm に達するまで引抜荷重を行った。

一例として図 5 に $Dr=60\%$ （砂塗布なし）の時の、拡張比 1.25（ケース 1-2-1）と 2.25（ケース 1-6-1）の引抜き荷重 - 正規化変位曲線（実換算値）を示す。ここで、変位は鉛直変位 d を拡張底部径 D で正規化したものである。同図の曲線上に高振動数をもつノイズが載っているが、これは計測装置内部のノイズの可能性が高く実験結果に大きく影響しないが、原因については調査中である。ここで、図 5 の拡張比 1.25 の荷重 - 変位曲線を見ると、 $d/D=0.14$ 付近で荷重が急増しているが、これは先に述べたように、連結ピンを通すためにあけた楕円状の穴の影響によるものと思われる。

3. まとめ

本稿では、本研究の目的と拡張杭に対する遠心場引抜き実験の概要について述べた。実験は、直杭と 6 種の拡張杭に対し、地盤の相対密度を 60%と 90%とした場合の計 6 ケースに加え、周面摩擦を高めたケースも行い、全 30 ケースの実験を行った。

参考文献：1) 文末霖，横山幸満，今泉繁良，砂地盤における模型拡張杭の引抜き抵抗挙動，土木学会論文集，535/III-34, 127-134, 1996. 2) 平井芳雄，若井修一，青木雅路，砂質土盤における拡張杭の引抜き抵抗に関する遠心力模型実験，日本建築学会構造系論文集，74(643), 1613-1619, 2009. 3) 藤江雄大，橋立健司，飛田哲男，田中秀季：拡張杭の引抜き特性に関する遠心荷重試験—その 2：実験結果，第 52 回地盤工学

研究発表会，名古屋市，1179-1180, 2017-7.

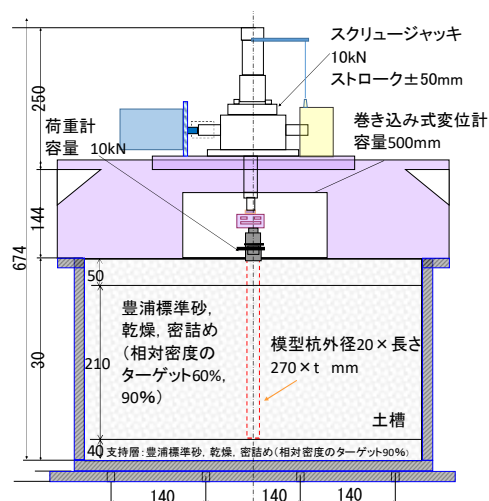


図2 実験模型と荷重・計測装置の概観

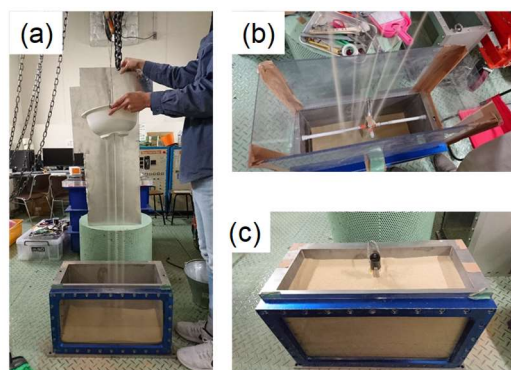


図3 給砂の状況，(a)下部地盤作成，(b)杭の固定状況と給砂の様子，(c)給砂完了後の模型

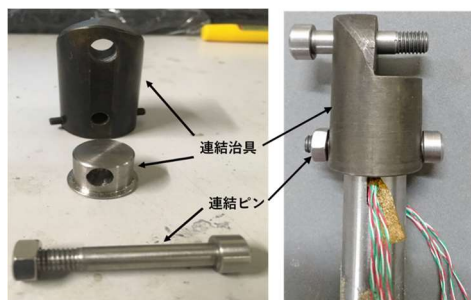


図4 杭頭と荷重装置との接合部に用いた連結ピンと連結治具

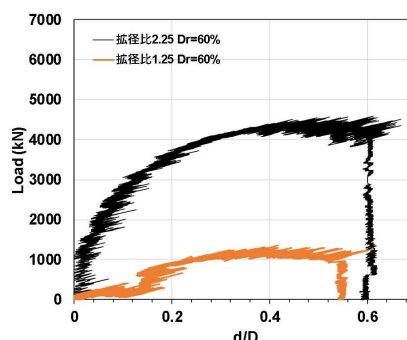


図5 荷重-正規化変位（ $=d/D$:拡張底部径 D に対する変位 d ）関係の一例（実換算値）（ $Dr=60\%$ （砂塗布なし）拡張比 1.25 と 2.25）