

## 拡底杭の引抜き特性に関する遠心载荷試験—その1:遠心力载荷模型実験概要

拡底杭 引抜き抵抗 遠心载荷試験

関西大学 国際会員 ○飛田 哲男  
非会員 田中 秀季  
ジャパンパイル 正会員 橋立 健司  
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げた形式の拡底杭が大きな引抜き抵抗力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底杭の引抜き抵抗機構には不明確な点が多い。例えば、文ら<sup>1)</sup>は、1G場模型実験により密な砂地盤中の拡底杭の引抜き抵抗に及ぼす拡底部の幾何形状の影響を調べ、拡底杭の全引抜き抵抗は拡底部の形状が直角に近づくほど増加するが、拡径部の存在により拡径部上部付近の軸部の摩擦応力度は減少すると指摘している。平井ら<sup>2)</sup>は、遠心場 80g (模型縮尺 1/80) で砂質地盤 (豊浦砂,  $D_r=90\%$ ) 中の拡底杭と直杭の引抜き試験を行うとともに、有限要素法による数値解析を行った。その結果、実務設計において拡底杭を引抜き抵抗杭として用いる場合には、十分な土被り厚を確保した深い基礎とし、拡底傾斜部下端から上方に 2D から 3D (D は拡底部径) の範囲の地盤が有する強度や変形剛性に留意する必要があると指摘している。

本研究の目的は、拡底杭の支持力式を導出することである。そのため、先端の拡径部における荷重伝搬機構を考慮して、拡径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径比 (=拡底部下端の直径/軸部径) を 1.5 または 2.0 とし、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度の推定式の導出を試みる。

### 2. 実験概要

本実験には、関西大学現有の遠心力载荷装置 (有効半径 1.5m) を使用した (表 1, 図 1)。今回使用した土槽は 500×200×300mm (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 (図 1)。模型縮尺は 1/50 (遠心場 50g) 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。なお、模型杭内面にひずみゲージを 55-60mm

表 1 関西大学の遠心力载荷装置の仕様

項目	仕様
有効回転半径	1.5m
最大遠心加速度	200G
最大回転数	345.2r.p.m

表 2 試験ケース

Case	拡径比	相対密度 (%)	摩擦
1	1	65	なし
	2	97	なし
	3	64	あり
2	1	55	なし
	2	89	なし
	3	59	あり
3	1	66	なし
	2	94	なし
	3	59	あり

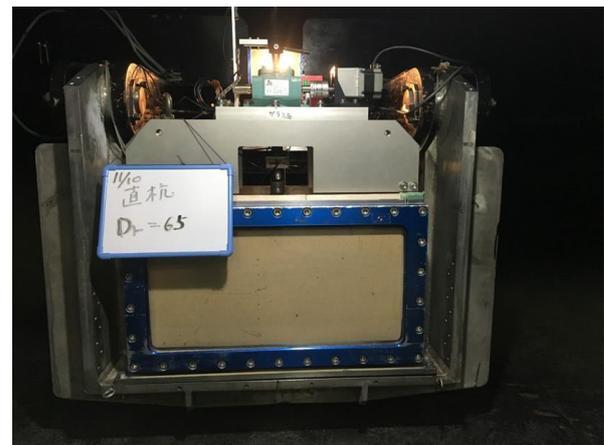


図 1 遠心力载荷装置に設置した模型土槽 (Case 1-1)

(2.75-3.3m)間隔で同一断面に 2 か所貼付した (図 2)。拡底杭は底部の直径を 30mm (1.5m)としたもの (拡底部の傾斜角 6 度) と、底部直径 40mm (2.0m)のもの (同傾斜角 12 度) の 2 種類 (図 2) を用いた。実験は表 2 に示す 9 ケース行ったが、Case 1-3, 2-3, 3-3 では、模型杭周面に紙やすりを貼り付け周面摩擦を大きくした。その他の「摩擦なし」のケースでは、杭周面はステンレスの滑らかな表面である。

計測項目は、杭頭部の载荷荷重、杭頭変位および杭

のひずみである。杭頭変位は図 3 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。

図 3 に示すように実験は、荷重計を介して杭頭部をステッピングモーターの動力で引き上げることで行った。引き上げ速度は 0.01mm/min とした。杭と載荷装置とは、図 4 に示す治具を用いてピン結合とした。ここで、平井ら<sup>3)</sup>と同様、所定の遠心力まで載荷する段階で杭と地盤が一体となって変位できるようなピン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。本実験では、まず杭先端以深の支持地盤を相対密度  $D_r=90\%$  の豊浦砂 ( $G_s=2.636$ ,  $U_c=1.44$ ,  $D_{50}=0.17\text{mm}$ ) で作製した。その表面に杭模型を土槽の中心点に鉛直に立て、治具で固定した。その後、空中落下法により相対密度  $D_r=60\%$  または  $90\%$  となるよう同じ砂で模型地盤を作製した。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。表 3 に実験前に定規で計測した層厚から算定される相対密度の実測値を示す。ややばらつきはあるものの、ほぼターゲットに近い地盤が作成されていることがわかる。

遠心模型実験では、粒子寸法効果の問題が指摘されている。既往の研究<sup>3)</sup>から寸法効果は必ずしも顕著に表れるものではなくその影響が顕著となる条件も明確になっていないが、地盤内に明確にせん断帯が生じやすい条件 (円形基礎よりも帯基礎、緩い砂よりも密な砂)、基礎幅が土粒子径に比べ十分に大きくない場合 (おおよその目安として基礎幅:土粒子径比が数十から百以下の場合) には粒子寸法効果について注意が必要であることが指摘されている。本実験の場合、軸部径/土粒子径 =  $20/0.17=118 > 100$  より、粒子寸法効果については特に考慮しなくてもよいと判断される。

### 3. まとめ

本稿では、本研究の目的と拡底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 2 種の拡底杭に対し、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、相対密度 60% の場合には、周面摩擦を高めたケースも行い、全 9 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底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, 砂質土地盤における拡底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) 岡村未対, 竹村次朗, 上野勝利, 講座: 遠心模型実験・実験技術と実務への適用-2.遠心模型実験の相似則, 実験技術・利点と限界, 土と基礎, 52(10), 37-44, 2004.

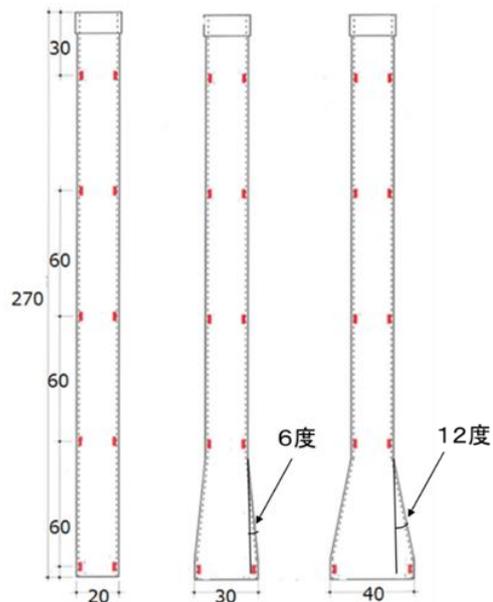


図 2 模型杭の諸元 (模型スケール, 単位 mm) とひずみゲージ (赤四角) の添付位置: (左) 直杭, (中) 拡底杭 (6 度), (右) 拡底杭 (12 度)

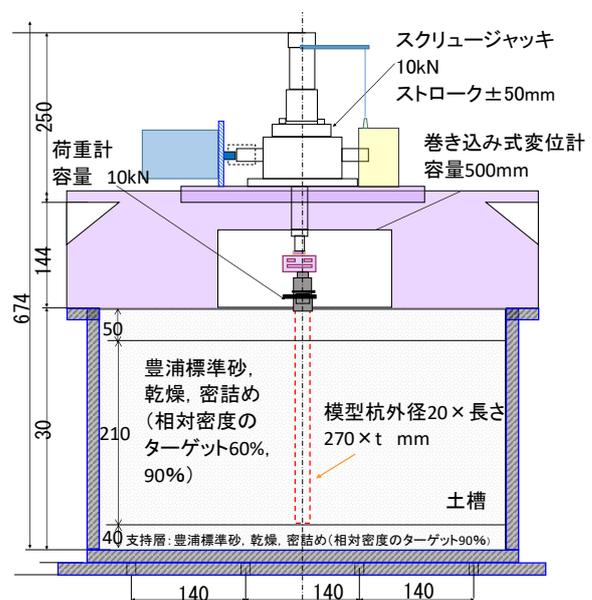


図 3 実験模型と載荷・計測装置の概観



図 4 載荷装置と杭頭接合部に用いた連結ピンと連結治具