

砂地盤を対象とした模型杭底杭の引抜き実験

(株) コトブキ産業 正会員 荒巻 真二 非会員 才田 洋介
九州大学大学院 非会員 カン・ジョング 正会員 安福 規之

1. はじめに

場所打ちコンクリート杭底杭（以下、杭底杭）は、杭先端径が頭部径より拡大した形状をしており、主に建築構造物基礎に利用されている。杭底杭の施工方法には、リバース工法・アースドリル工法及びオールケーシング工法がある。オールケーシング工法で施工された杭底杭の特徴は、その施工実績より、杭長が杭径の5～10と比較的短い反面、支持層への根入れ長が長い。杭底杭の支持力評価では、先端支持力は拡大した先端径を考慮するが、周面摩擦力や引抜き抵抗力は頭部径と同寸法のストレート杭として扱われる。

本論文は、オールケーシング工法で築造された杭底杭の引抜き抵抗力の合理的な評価方法の基礎研究として、砂地盤を対象に模型実験を実施したので、その結果について報告するものである。

2. 実験概要

2.1 模型装置

図1に実験装置を示す。実験装置は、模型地盤用土槽と載荷装置で構成されている。土槽は、高さ500mm、直径750mmの鋼製の円形であり、中央で分離できる構造になっている。また、分離した土槽の前面には、アクリル板を設置することができ、土槽内部の土の動きやすべり線の発生状況を観察する実験を行うことができる。

載荷装置は、スクリージャッキを用いた装置で、最大荷重能力は10kNである。載荷速度はコントローラーで調整でき、4mm/minで実験した。杭頭部に設置したロードセルと変位計を用いて、荷重と変位を計測した。

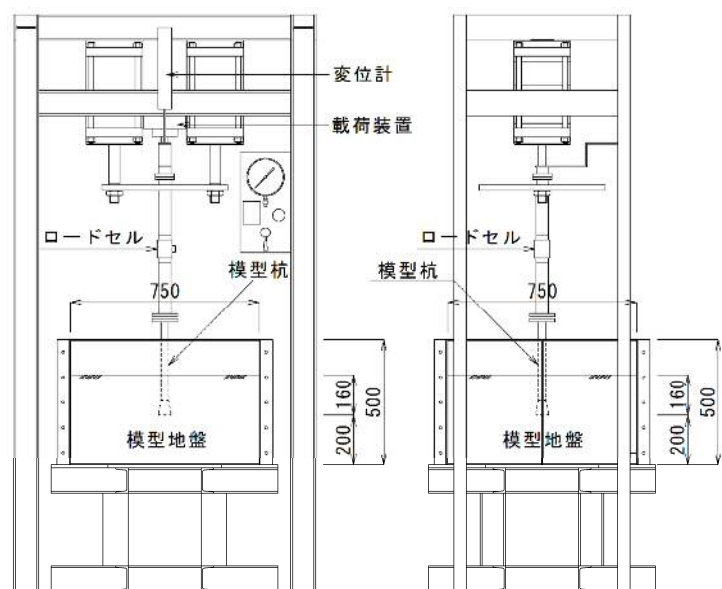
表1に模型杭の形状寸法を示す。模型杭は鋼製であり、ストレート杭を1種類、先端部の傾斜角 θ を変えた杭底杭2種類を作成した。3種類とも軸径30mm、杭長370mmとし、杭底杭の杭底径は48mmになっている。また、分離した土槽を用いた実験用にK12と同寸法の半円形の模型杭も作成した。

2.2 模型地盤

砂材料には乾燥状態の熊本珪砂(K7)を使用し、表2に物性値を示す。内部摩擦角は相対密度 $Dr=80\%$ の条件で行った一面せん断試験結果を示している。

模型地盤は、相対密度 $Dr=95\%$ の密な地盤で、支持層は200mm、杭の根入れ長は160mmになるように作成した。模型地盤の作製方法は、土槽上面に設置した固定用治具に模型杭をセットした後、砂を層厚5cm毎に表面をゴムハンマーで締め固め、全7層で所定の高さになるように作成した。

表3に実験条件を示す。各模型杭を用いた実験は2回実施した。また、K12杭に対して分離した半円形土槽を用いて、杭底杭周辺地盤の動きを観察する実験も実施した。



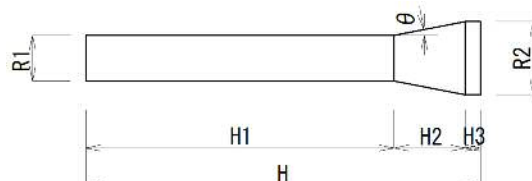
(1) 正面図

(2) 側面図

図1 実験装置

表1 模型杭形状寸法

	軸径	杭底径	傾斜角	杭長	軸長	傾斜高	立上高
	R1	R2	θ	H	H1	H2	H3
	(mm)	(mm)	°	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
K00	30	30	0	370	—	—	—
K12	30	48	12	370	313	47	10
K18	30	48	18	370	332	28	10



3. 試験結果および考察

図2に各模型杭頭部の引抜き荷重—引抜き変位関係を示す。ストレート杭(K00)は、載荷直後に最大引抜き荷重0.041 kNに達し、その後一定値を示す。

拡底杭(K12)は、引抜き変位4.1mmで最大荷重0.131kNとなり、その後、変位の増加に伴い徐々に荷重は減少する。拡底杭(K18)では、引抜き変位2.7mmで最大荷重0.122 kNになり、ピーク後はK12に比べて急激に荷重が減少する。

図3にK12-③ケースにおける引抜き変位10mm時の模型地盤の破壊状況を示す。杭先端から発生している地盤のすべり線角度 α は、約40°であった。

図4は、傾斜角と最大引抜き抵抗力の関係について、実験結果と理論式による計算値を比較したものである。なお、実験結果は最大引抜き荷重から杭自重を差し引いている。理論式を以下に示す。

Meyerhofの式¹⁾： $R = K_u \cdot \sigma_v \cdot \tan \delta \cdot A_s$ (1)

ここに、 K_u :引抜係数、 σ_v :鉛直応力、 δ :壁面摩擦角、 A_s :杭表面積

アースコーン法²⁾： $R = \gamma \cdot (V_1 - V_0)$ (2)

ここに、 γ :土の単位体積重量、 V_1 :すべり土塊体積、 V_0 :杭体積

Meyerhofの計算値は、ストレート杭の実験結果と非常に良く一致している。一方、拡底杭の実験結果は、拡底径で求めた計算値の約4.5～5倍大きくなっており、杭径の拡大より先端形状によるアンカー効果の影響が大きいことが分かる。

アースコーン法のすべり土塊体積は、図3の結果を用いて算出した。計算値は、拡底杭の実験値に比べて約0.8倍であった。アースコーン法は、土被り厚が厚くなると抵抗力が著しく増大することが指摘されている。今回の模型実験は根入れ比（杭長/杭径）が5程度と土被りが浅い為、計算値は実験結果に近い値となったと考える。

4. まとめ

砂地盤を対象とした模型拡底杭の引抜き実験を行った。その結果、拡底杭の引抜き抵抗力は、同径のストレート杭よりも大きいことが確認できた。根入れ比が5程度の短い拡底杭は、引抜き抵抗力をアースコーン法で推定できることが分かった。

今後、軟岩を想定したソイルセメント地盤を用いた引抜き実験を行っていく予定である。

<参考文献>

1) Meyerhof, G. G., “Uplift resistance of inclined anchors and piles” : Conference. Session three. 9F, 22R. PRO C. EIGHTH INT. CONF. ON SOIL MECH. FOUND. E NGNG, MOSCOW, V2.1, 1973, pp167-172, 1973
2) 松尾実：基礎の引揚げ抵抗力の算定方法と粘性土中の基礎の現場引揚げ試験の解析,土と基礎 Vo 1.14 No.10, pp11-21, 1966.10

表 2 熊本珪砂(K7)物性値

項目		単位	数値
平均粒径	D50	mm	0.15
比重	ρ	g/cm3	2.630
最小密度	$\rho_{\min}$	g/cm3	1.197
最大密度	$\rho_{\max}$	g/cm3	1.571
内部摩擦角	ϕ	°	42

表 3 実験ケース

ケース	土槽	傾斜角 (°)	根入れ長 (mm)	Dr (%)
K00-①	円形	0	158.2	96.0
K00-②	円形	0	160.2	95.3
K12-①	円形	12	159.0	96.4
K12-②	円形	12	160.0	95.5
K18-①	円形	18	160.2	95.3
K18-②	円形	18	159.6	96.2
K12-③	半円形	12	159.5	96.0

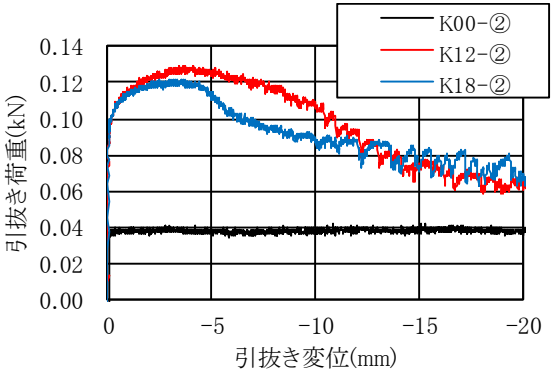


図 2 各模型杭の引抜き荷重—引抜き変位曲線

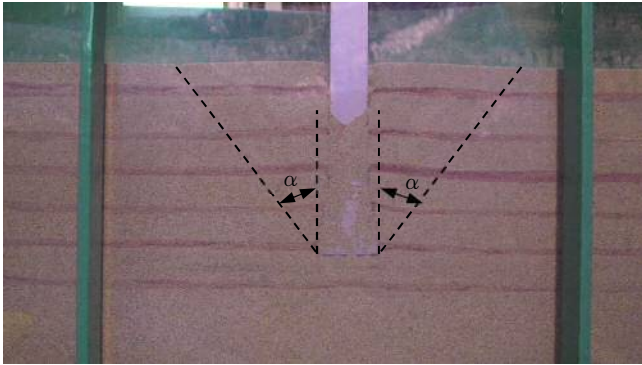


図 3 模型地盤の破壊状況（引抜変位=10mm）

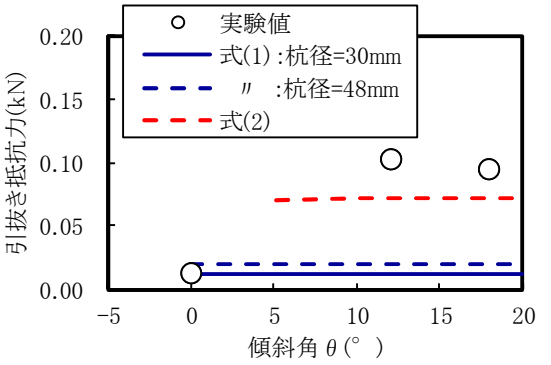


図 4 傾斜角と最大引抜き抵抗力の比較