

砂地盤の相対密度に着目した拡底杭の引抜き荷重特性

九州大学大学院

(株)コトブキ産業

学　○姜　正求

非

F　安福　規之
正　石藏　良平
才田　洋介

1. はじめに

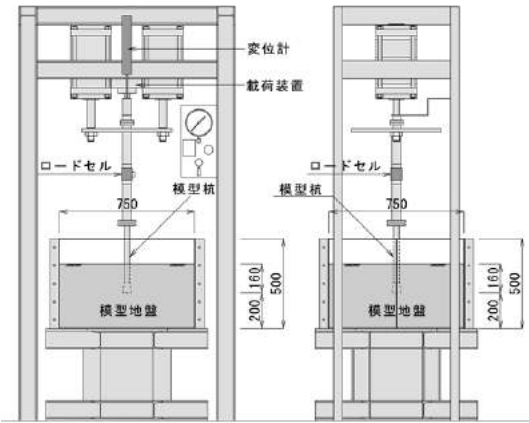
場所打ちコンクリートフ拡底杭（以下、拡底杭）は、杭先端径を頭部径より拡大させ、先端支持力と引抜き抵抗力を同時に増大させることができるため、波、風などによって発生する引抜き荷重に対する効果的な基礎形式と考えられる。現在、一般的な拡底杭は、日本建築センターで定めた先端部傾斜角 12° で施工されている。拡底杭の支持力評価として先端支持力の算出方法は、杭の拡底部の先端の直径を考慮して算出しているが、引抜き抵抗力は拡大した先端形状は評価されず、同軸径の直杭として計算されている。また、拡底杭の海外の研究事例では、ほとんど拡底杭の先端形状を考慮せず、アンカーと仮定して研究が進められてきた。本研究では、拡底杭の引抜き特性の基礎的研究として、砂地盤の相対密度、根入れ深さ、杭先端部傾斜角に着目した模型実験を行い、既存の研究者が提示した理論式と比較分析を実施しましたので、その結果を報告する。

2. 実験概要

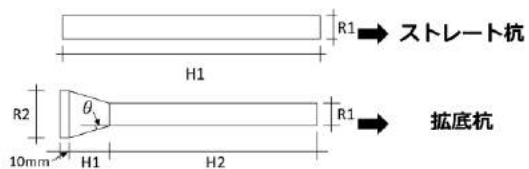
図 1 に実験装置と模型杭を示す。実験装置は、模型地盤用土槽と載荷装置、測定装置で構成されている。模型土槽は円形で拡底杭の引抜き実験時、破壊面を考慮したサイズで製作した。載荷装置はスクリュージャッキを活用しており、載荷速度 4mm/min の条件で行った。測定は、杭頭部に設置したロードセルと変位計で行った。模型杭は先端部傾斜角の異なる 3 タイプとし、鋼材を用いて製作した。

表 1 に模型地盤に使用された砂の物性値を示す。模型地盤は、気乾状態の熊本珪砂（k7）を用いて、5 ケースの相対密度で模型地盤を製作した。模型地盤の作製方法は、相対密度（Dr）40%の模型地盤はホッパーを用いた空中落下法、その他の条件は各相対密度に対応する一層あたり 4cm 分の試料を投入しゴムハンマーを用いて締固め、所定の高さになるまで繰り返した。

表 2 に実験ケースを示す。根入れ深さに着目する実験は、先端部傾斜角 12° の模型杭を用いて根入れ深さを 8cm、16cm、24cm とした。また、先端部傾斜角に着目した実験は傾斜角 0、12、18° の模型杭を用いて根入れ深さ 16cm とした。これらの条件に対して地盤の相対密度は全て 5 ケース実施している。



(a) 実験装置



傾斜角	軸径	拡底径	傾斜高	軸長
θ	R1 (Bs)	R1 (Bb)	H1	H2
(°)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0	30	—	—	370
12	30	48	47	313
18	30	48	28	332

(b) 模型杭

図 1 実験装置と模型杭

表 1 模型地盤試料の物性値

項 目	数 値
密 度	2.630 g/cm ³
最小密度	1.197 g/cm ³
最大密度	1.571 g/cm ³
平均粒径	0.15 mm
内部摩擦角	42° (Dr = 80%)

表 2 実験ケース

先端部傾斜角	相対密度	根入れ深さ
θ (°)	Dr (%)	L (cm)
0	40, 60, 75 85, 95	16
12		8, 16, 24
18		16

式(1)は既往の研究結果による最大引抜き荷重の理論式であり、各研究者によって引抜きパラメータ N_u が提案されている。今回実験との比較に用いた引抜きパラメータは①～③である。

$$P_u = \gamma' \cdot A_b \cdot L \cdot N_u \quad \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

ここに、 P_u : 最大引抜き荷重(kN)、 γ' : 単位体積重量 (kN/m^3)、 A_b : 杭先端部面積(m^2)、 L : 土層厚(m)

N_u : 引抜きパラメータ (K'_u : 引抜き係数, B_b : 先端径, m: 形状係数)

$$\textcircled{1} \quad N_u = 1 + 2K \left(\frac{L}{B_b} \right) \tan \varphi^{(1)}$$

$$\textcircled{2} \quad N_u = 2 \left(\frac{L}{B_b} \right) K'_u \tan \varphi \left[m \left(\frac{L}{B_b} \right) + 1 \right] + 1^{(1)}$$

$$\textcircled{3} \quad N_u = 1 + (4.32 \tan \varphi - 1.58) \left(\frac{L}{B_e} \right)^{1.5}, B_e = \sqrt{(\pi B_b^2 / 4)^{(1)}}$$

3. 実験結果および考察

図2(a)に先端部傾斜角 (θ) と最大引抜き荷重 (P_u) の実験結果を示す。拡底杭模型実験では、直杭と比較して引抜き荷重の増大、 $Dr \geq 75\%$ の範囲で最大引抜き荷重の急激な増加傾向が確認されたが、傾斜角による明確な違いは見られなかった。また、 $Dr=40\%$ では、直杭程度の引抜き荷重しか生じておらず、これは相対密度が小さいため拡底杭の先端部周辺地盤に引抜きによる圧縮領域が発生しなかったためと考える。図2(b)は実験結果と既往研究を引抜きパラメータ N_u で比較したものである。今回比較した既往研究では、①は $Dr=40\%$ 、②は $60\% \leq Dr \leq 85\%$ の範囲で実験値と相関が良いことが分かった。

図3(a)に根入れ深さ (L) と最大引抜き荷重 (P_u) の実験結果を示す。 $L=8\text{cm}$ の結果では、相対密度の増加に伴う最大引抜き荷重の増加量は小さい。 $L=24\text{cm}$ の結果は、相対密度が大きいほど、大きな最大引抜き荷重が確認された。

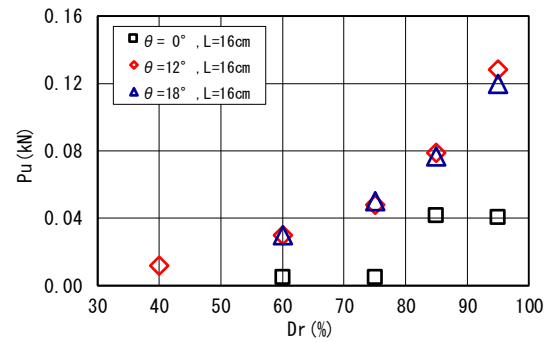
図3(b)に実験結果と既往研究を N_u で比較したものを示す。 $L=16\text{cm}$ では、実験結果と既往研究結果と比較的良く一致しているが、 $L=8\text{cm}$ 、 24cm では差が大きい。

4. まとめ

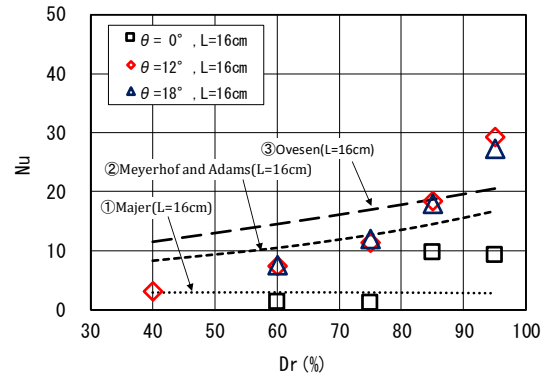
本研究では、模型地盤の相対密度、杭の根入れ深さと先端部傾斜角に着目した模型実験を実施し、その結果を既往研究結果と比較した。模型実験では杭の根入れ深さが深いほど、大きな最大引抜き荷重を確認できたが、先端部傾斜角の影響を明確に確認することができなかった。また、実験結果と既往研究結果を N_u で比較したが、実験条件によって適用が困難であることが分かった。今後はこれらの結果をもとに杭の根入れ長や砂の相対密度を反映した新たな評価式を提案する予定である。

<参考文献>

- 1) Jaw-Guei Lin, Shih-Yu Hsu, San-Shyan Lin(2015), "The New Method to Evaluate the Uplift Capacity of Belled Piles in Sandy Soil", Journal of Marine Science and Technology 23(4), 523-533
- 2) Meyerhof, G. G. and J. I. Adams (1968), "The ultimate uplift capacity of foundations", Canadian Geotechnical Journal 5(4), 225-244.

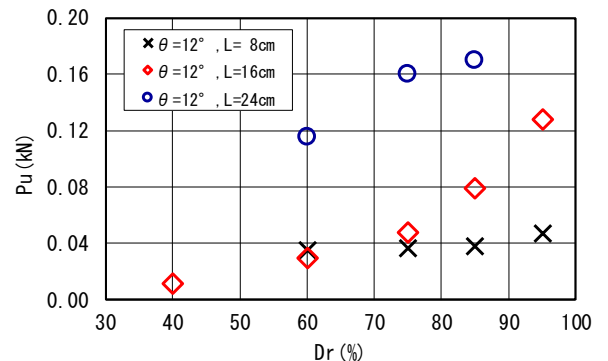


(a) 相対密度と最大引抜き荷重の関係

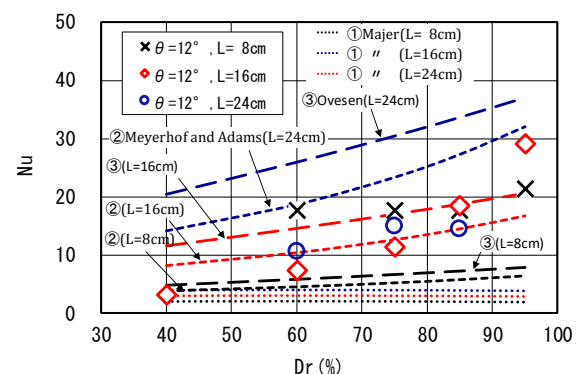


(b) 模型実験値と既往研究の比較

図2 先端部傾斜角と最大引抜き荷重



(a) 相対密度と最大引抜き荷重の関係



(b) 模型実験値と既往研究の比較

図3 根入れ深さと最大引抜き荷重