

埋込み杭工法における杭の先端支持力に関する基礎的研究

1. 低強度の根固め部を有する模型杭の鉛直載荷実験

正会員 ○宮崎世納* 松本 尚**
同 鹿糠嘉津博* 田子 茂* 佐藤秀人***

埋込み杭工法 先端支持力 根固め部
模型実験 静的押込試験

1. 研究目的

基礎杭は、十分な先端支持力を確保することが重要項目のひとつである。埋込み杭工法に分類されるプレボーリング根固め杭工法では、地盤のばらつきやスライム混入などによって、根固め部の強度が不足し、先端支持力が過小となる可能性がある。本研究では、先端部の形状を試験パラメータとし、低強度の根固め部を有する杭の先端抵抗を模型実験（静的押込試験）によって検討する。

2. 模型載荷試験

2.1 試験杭概要 試験杭の概略を図1、試験杭の概要を図2、表1に示す。試験杭は、杭径 $D=48.6$ mm、肉厚 $t=3.2$ mm、長さ $L=600$ mm で、表面をテフロン加工（フッ素樹脂加工）した電縫鋼管を用いた。杭の先端は含水比31%の未固結粘土（陶器用並漉粘土）で覆い、強度が不足する根固め部を模擬した。押込実験は、根固め部の厚さを変化させた閉端杭（SP）、根固め部のある閉端杭（CPT）および開端杭（OPT）を基礎実験として実施した。

次に、開口部直径（ D_i ）を試験パラメータとしたSシリーズ、杭先端に軸部より外径の大きな有孔円盤（定着円盤、外径： D_e ）を取り付けたPシリーズ、および杭先端内部に、形状の異なる支圧盤を取り付けたTシリーズを実施した。なお、根固め部の杭先端下部の厚さ（ R_t ）は20mmを基準としたが、閉端杭では $R_t=50$ mm とした試験を実施し、根固め部の下方厚さの影響を検討した。

2.2 試験土槽および模型地盤 試験土槽は、直径×深さ=1,000×1,000mmの鋼製円形土槽を用いた。模型地盤は、気乾状態の珪砂5号（飯豊産）を使用し、2重分散網を用いた多孔式空中落下法によって作成した（落下口径：9mm、落口間隔100mm、落下口～分散網距離：300mm）。

模型地盤の緒元を表2に、標準貫入試験一打あたりの貫入量から求めた換算N値分布を図4に示す。図4より本試験の杭先端N値は $N=2$ と判断した。

2.3 載荷計測方法 載荷は、図3のような変位制御式電動載荷装置（最大載荷能力：20kN）を用いて、1mm/min

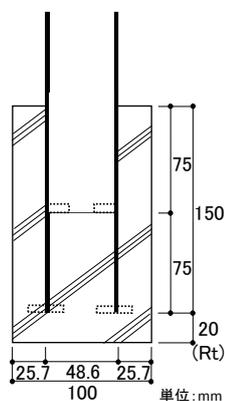


図1 模型杭

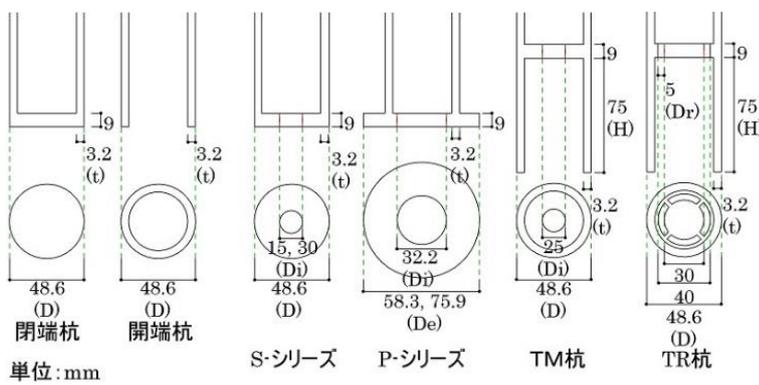


図2 先端形状

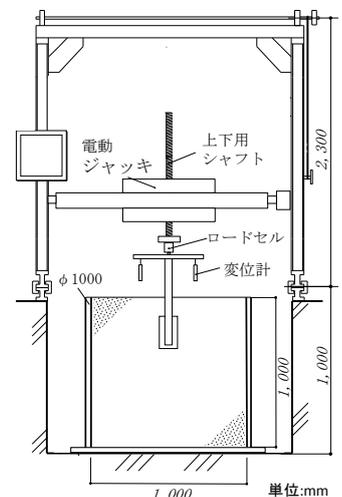


図3 試験概要

表1 試験杭諸元

シリーズ	記号	開口率 r	先端面積 A (mm ²)	軸部径 D (mm)	開口部直径 D_i (mm)	支圧盤位置 H_i (mm)	先端外径 D_e (mm)	先端粘土厚 R_t (mm)
閉端杭	SP	0.00	1855	48.6	-	-	-	-
	CPT20	0.00	1855		-	-	-	20
	CPT50	0.00	1855		-	-	-	50
開端杭	OPT	0.75	456		42.2	-	-	20
	S	S15	0.10		1678	15	-	-
P	S30	0.38	1148		30	-	-	20
	P58	0.31	1855		32.2	-	58.3	20
	P75	0.18	3710		32.2	-	75.9	20
T	TM25	0.26	1364		25	75	-	20
	TR5	0.27	1345		5-(30)-5	75	-	20

表2 地盤諸元

使用砂	珪砂5号 (気乾状態)
作成法	空中落下 (分散網2枚)
密度 (ρ)	1.76g/cm ³
間隙比 (e)	0.512
相対密度 (D_r)	88%

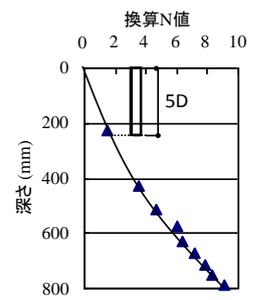


図4 換算N値

の速度による静的押込み試験を行って、杭の先端荷重～変位関係を考察した。ここで、杭表面はテフロン加工を施してあり、また、実物の杭に対して本模型実験では、杭の根入れ長が $H = 5D$ と比較的小さいことから、杭周面摩擦はほぼゼロとみなし、杭頭荷重＝杭先端荷重、杭頭変位＝杭先端変位として実験結果を整理した。

3. 結果および考察

図 5 は閉端杭(CPT シリーズ)および開端杭 (OPT), 図 6～8 は、それぞれ S, P および T シリーズの杭先端荷重と杭先端変位との関係を示したものである。ここで、本会の基礎構造設計指針によれば、杭先端支持力係数 α は (1)式によって定義され、埋込み杭の標準的な α 値は 200 とされている。また、同指針より基準変位 $\delta/D = 0.1$ の杭先端支持力 R_p と先端支持力係数 α の関係を表 3 に、 α と開口率の関係を図 9 に示す。なお、以下の検討では、杭先端面積 (A_p) は杭軸部面積 (A_0) とした。

$$R_p = \alpha \cdot \bar{N} \cdot A_p \quad \text{----- (1)}$$

ただし、 R_p は先端支持力(kN), α は先端支持力係数(kN/m²), \bar{N} は杭先端平均 N 値, A_p は杭先端面積(m²)。

1) 基準杭 (SP) に対し、根固め部のあるものは杭先端支持力が低下し、杭先端粘土厚が厚い CPT50 は、薄い CPT20 に比べて先端支持力は小さく発現も遅い。また、開端杭 (OPT) の基準変位時の荷重 R_p は SP の 1/5 程度であり、最も低い値となった (図 5(a))。

2) S シリーズでは、開口の大きな S30 の方が S15 よりも荷重低下が大きい。ただし、基準変位時の荷重値は、ほぼ同等であった (図 5(b))。

3) P シリーズでは、先端定着円盤の外径 D_e の大きなものほど先端抵抗の発現は大きく、P75 の荷重値は基準変位時に $R_p = 1.47$ kN ($\alpha = 396$ kN/m²) となり、支持力係数 α は標準値の約 2 倍の値であった。また、P58 では基準変位時に $R_p = 0.75$ kN ($\alpha = 203$ kN/m²) と P75 の半分程度であった (図 5(c))。

4) T シリーズでは、杭体内部の支圧円盤の開口部形状が変わっても、先端抵抗の発現には大きな影響が生じなかった。基準変位時の先端抵抗は、0.45 kN 程度であり、SP の 25%程度であった。

5) 先端支持力係数 α は、開口率が大きいと小さくなる。 α 値が標準値 ($\alpha = 200$ kN/m²) を上回ったのは、SP 杭以外では定着円盤を取り付けた P75 と P58 のみであった。

4. おわりに

本実験によって、根固め部の強度が小さいと先端抵抗の発現が遅くなり、0.1D 変位時の先端支持力もかなり小さくなった。また、先端の定着円盤は先端抵抗の発現に効果的であることがわかった。

参考文献

1. 佐藤, 鹿糠, 宮崎: セメントミルク鋼管杭における杭先端支持力に関する研究, 日本建築学会技術報告集, Vol 22, No. 51, pp.101-106, 2016
2. 宮崎, 佐藤, 鹿糠: 杭先端形状が埋込み杭工法における杭先端支持力におよぼす影響について, 日本建築学会学術講演梗概集, 2015.9

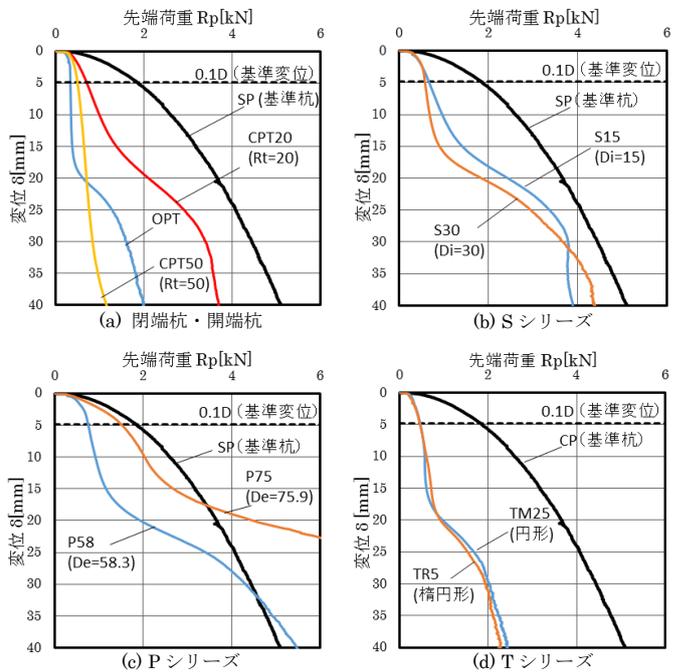


図 5 荷重試験結果

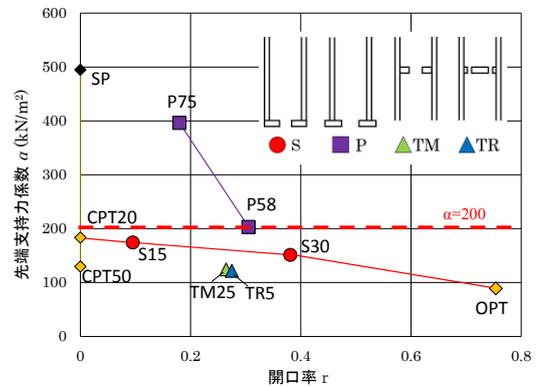


図 6 α と開口率の関係

表 3 荷重試験結果

シリーズ	記号	開口率 r	$\delta / D = 0.1$	
			R_p (kN)	α (kN/m ²)
閉端杭	SP	0.00	1.84	495
	CPT20	0.00	0.68	184
	CPT50	0.00	0.48	130
開端杭	OPT	0.75	0.33	89
S	S15	0.10	0.65	174
	S30	0.38	0.56	151
P	P58	0.31	0.75	203
	P75	0.18	1.47	396
T	TM25 (円形)	0.26	0.46	124
	TR5 (楕円形)	0.27	0.45	122

* (株) カヌカデザイン, ** 日本大学大学院生
*** 日本大学

* Kanuka Design Co., Ltd, ** Graduate Student, Nihon Univ.,
*** Professor, Nihon Univ.