

# 杭先端形状が埋込杭工法における杭先端支持力におよぼす影響について

正会員 ○宮崎 世納\* 同 佐藤 秀人\*\*  
同 鹿糠嘉津博\*

杭 鉛直支持力 先端抵抗  
模型実験 埋込杭工法

## 1. はじめに

杭の先端抵抗は、先端が閉端であることを前提に算定されるが、埋込杭工法では開端状態の杭が用いられることが多いため、根固め部の状態によっては閉端杭と同等の支持力を発現しない可能性がある。また、近年では、小口径鋼管杭を用いたセメントミルク工法の実施例が増えているが、杭先端を中位の粘性土層とする場合には、根固め部のセメントミルク強度が発現せず、先端支持力が過小となることが考えられる。本研究では、小口径鋼管杭を対象としたセメントミルク工法にも適用可能な、合理的な先端形状を開発することを目的として行うものであり、本報では、開端状態を変化させた模型杭に対して、乾燥砂地盤中での押込み試験を行い、杭先端の開端状態が先端抵抗におよぼす影響について考察する。

## 2. 模型実験

### 2.1 試験杭

試験杭は、杭径  $D=48.6$  mm、肉厚  $t=3.2$  mm、長さ  $L=600$  mm の寸法で、周面摩擦力を極力排除するために、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。試験は、杭先端を閉端状態（CP）と開端状態（OP）としたものを基本形状とし、これに加えて開口部直径（ $D_o$ ）を試験パラメータとした S シリーズと、先端部に取付けた穴あき円盤（以下、定着円盤）の外径（ $D_e$ ）を試験パラメータとした P シリーズを実施した。試験杭先端の形状と諸元を図 1、表 1 に示す。なお、杭先端部の全投影面積に対する開口部の面積の比率を、開口率（ $r: r = D_o^2/D^2$ ）と定義した。

### 2.3 試験土槽および模型地盤

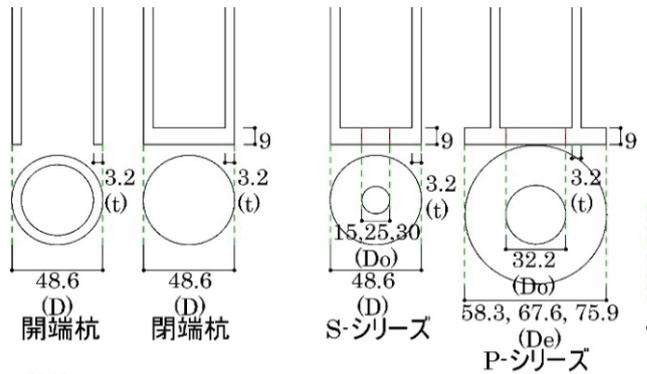
試験土槽は、直径 650 mm、深さ 700 mm の鋼製円形土槽を用いた。模型地盤は、気乾状態の珪砂 5 号（飯豊産）を使用し、2 重分散網を用いた多孔式空中落下法<sup>1)</sup>によって作成した（落下口径：9 mm、落口間隔 100 mm、落下口～分散網距離：300 mm）。本模型地盤の諸性質を表 2 に、標準貫入試験一打当たりの貫入量から求めた換算  $N$  値分布を図 2 に示す。図 2 より、本試験の杭先端  $N$  値は  $N=2$  と判断した。

杭設置は杭周辺の地盤を埋込杭工法に準じた状態とするために、以下の方法で行った。

- ① 杭先端位置上部 5 mm まで模型地盤を作成する。
- ② 試験杭を設置し、軽打によって 5 mm 打込む。
- ③ 地表面まで模型地盤を作成する。

### 2.4 試験方法および計測項目

載荷は、載荷速度 1 mm/min の変位制御により行い、杭頭での荷重－変位関係を計測した。ただし、杭周面はテフロン加工を施してあり、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の状態にあるものとみなし、杭頭荷重＝杭先端荷重、杭頭変位＝杭先端変位として以下の試験結果を整理した。



単位：mm

図 1 先端形状

表 1 試験杭諸元

| シリーズ | 記号   | 開口率 $r$ | 先端面積 $A$ (mm <sup>2</sup> ) | 軸部径 $D$ (mm) | 開口部直径 $D_o$ (mm) | 円盤外径 $D_e$ (mm) |
|------|------|---------|-----------------------------|--------------|------------------|-----------------|
| 開端杭  | OP   | 0.75    | 456                         | 48.6         | 42.2             | -               |
| 閉端杭  | CP   | 0.00    | 1855                        | 48.6         | -                | -               |
| S    | S-15 | 0.10    | 1678                        | 48.6         | 15               | -               |
|      | S-25 | 0.26    | 1364                        | 48.6         | 25               | -               |
|      | S-30 | 0.38    | 1148                        | 48.6         | 30               | -               |
| P    | P-58 | 0.31    | 1855                        | 48.6         | 32.2             | 58.3            |
|      | P-67 | 0.23    | 2783                        | 48.6         | 32.2             | 67.6            |
|      | P-75 | 0.18    | 3710                        | 48.6         | 32.2             | 75.9            |

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 ( $\rho$ )    | 1.76g/cm <sup>3</sup> |
| 間隙比 ( $e$ )      | 0.512                 |
| 相対密度 ( $D_r$ )   | 87.50%                |
| 内部摩擦角 ( $\phi$ ) | 45°                   |

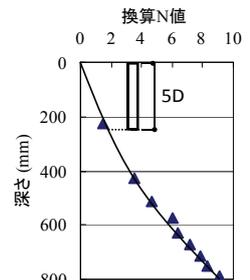


図 2 換算  $N$  値

## 3. 模型実験結果および考察

### 3.1 杭先端荷重～杭先端変位 ( $R-\delta/D$ 曲線)

図 4～5 は、S、P シリーズの杭先端荷重 ( $R$ ) と杭先端変位無地元変位 ( $\delta/D$ ,  $D$ : 杭体軸部径) との関係を示したものである。表 3 に基準変位  $\delta/D=0.1$  時の杭先端支持力  $R_p$  と杭先端支持力度 ( $q_u$ ) および、杭先端

支持力係数  $\alpha$  の一覧を示す。ただし、 $\alpha$  算出時の杭先端面積は、杭体軸部の面積とした。また、図 6 に開口率 ( $r$ ) と杭先端支持力度 ( $q_p$ ) の関係を示す。

- 1) 閉端杭の杭先端荷重  $R$  は、荷重初期から荷重が増大している。 $\delta/D = 0.1$  時の先端支持力は、 $R_p = 1.84\text{kN}$  ( $\alpha = 495$ ) であり、十分な先端支持力を発現している。
- 2) 開端杭の杭先端荷重  $R$  の発現は遅く、 $\delta/D = 0.1$  時の先端支持力  $R_p = 0.15\text{kN}$  は閉端杭の 8% 程度であった。
- 3) S シリーズは、開口部直径  $D_o$  が大きい場合には開端杭 (OP)、 $D_o$  が小さい場合には閉端杭 (CP) の  $R-\delta/D$  曲線に近づく。S-15 の  $\delta/D = 0.1$  時の荷重値は、 $R_p = 1.71\text{kN}$  を示し、閉端杭の先端支持力とほぼ等しい値を示した。

4) P シリーズでは、先端に設けた定着円盤の外径  $D_e$  の大きなものほど先端抵抗は大きく、P-75 では閉端杭の約 1.8 倍の先端支持力値を示した。また、P-58 の荷重値は  $\delta/D = 0.1$  時で  $R_p = 0.85\text{kN}$  と閉端杭の半分程度の先端支持力しか発現しなかったが、開口部直径がほぼ等しい S-30 と比較すると、2 倍以上の先端支持力値となっており、杭先端の定着円盤の効果が大きいことが理解された。

5) S シリーズの杭先端応力度 ( $q_p$ ) は、開口率  $r$  が小さなものほど増大した。P シリーズは、円盤外径  $D_e$  が大きくなるほど杭先端応力度が増大し、開口率  $r \leq 0.25$  では、S シリーズよりも大きな杭先端応力度を示した。

#### 4. 小口径鋼管杭を用いたセメントミルク工法の杭先端

本模型実験では、先端支持力の向上には、定着円盤が有効であることがわかった。そこで、本研究では、直径  $D = 150 \sim 300\text{mm}$  程度の小口径鋼管杭をセメントミルク工法で用いる場合の杭先端を以下のように提案する。

- 1) 定着円盤外径 ( $D_e$ ) は、杭先端面積 ( $A$ ) の杭体軸部面積 ( $A_o$ ) に対する先端面積率 ( $r_A = A/A_o$ ) は 1.0 以上とし、かつ、杭の建込み時の孔壁崩壊を防ぐために、掘削径比 ( $r_B = D_e/D_r$ ,  $D_r$  は掘削径) を 0.8 以下とする。
- 2) 開口径 ( $D_o$ ) は、杭体内部へのセメントミルクの充填を考慮して、 $D_o$  が 80mm 以上とし、かつ開口率 ( $r = D_o^2/D_e^2$ ) は 0.3 以下とする。

#### 5 おわりに

本研究では、埋込み杭の先端支持力は、先端部の開口によって大きく異なること、支持力向上には定着円盤が有効であることを示した。また、小口径鋼管杭を対象とした先端部の設定方法を提案した。

#### 参考文献

- 1) 国府田, 佐藤, 刑部 他: 螺旋羽を持つ回転貫入杭の貫入および支持力に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, No. 601, pp.91-98, 2006.3

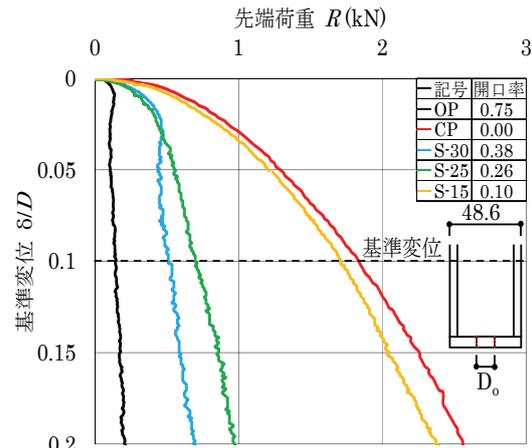


図 4 杭先端荷重 (S シリーズ)

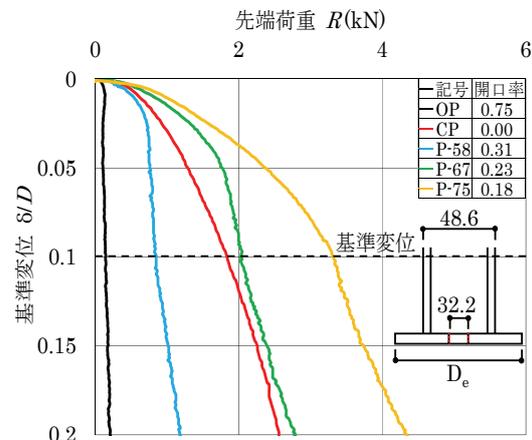


図 5 杭先端荷重 (P シリーズ)

表 3 基準変位時の荷重値

| シリーズ | 記号   | 開口率 $r$ | $\delta/D=0.1$ |                            |          |
|------|------|---------|----------------|----------------------------|----------|
|      |      |         | $R_p$ (kN)     | $q_p$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $\alpha$ |
| 開端杭  | OP   | 0.75    | 0.15           | 318                        | 39       |
| 閉端杭  | CP   | 0.00    | 1.84           | 990                        | 495      |
| S    | S-15 | 0.10    | 1.71           | 1019                       | 461      |
|      | S-25 | 0.26    | 0.70           | 446                        | 188      |
|      | S-30 | 0.38    | 0.51           | 335                        | 138      |
| P    | P-58 | 0.31    | 0.85           | 458                        | 229      |
|      | P-67 | 0.23    | 2.03           | 728                        | 546      |
|      | P-75 | 0.18    | 3.31           | 893                        | 893      |

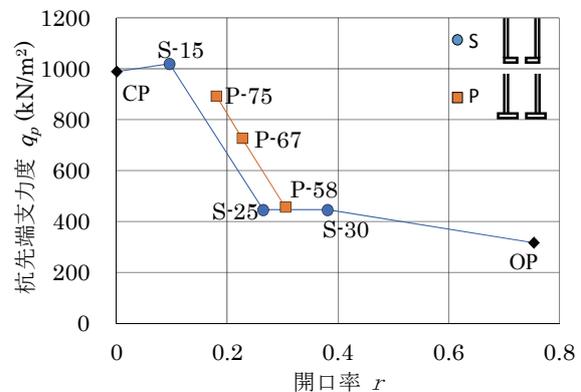


図 6 杭先端支持力度と開口率の関係

\* カヌカデザイン

\*\* 日本大学 准教授・工博

\* Kanuka Design Co., Ltd.

\*\* Asso. Prof. Nihon Univ., Dr. Eng.