

## 拡底翼を有する単杭の鉛直支持力について

法政大学 学生会員 ○古澤 升翼  
 法政大学 学生会員 張 升翼  
 法政大学 正社員 草深 守人  
 法政大学 正社員 竹内 則雄

### 1. はじめに

建設費を制限せざるを得ない住宅等の小規模構造物の場合、地表面から深い位置に存在する堅硬な地盤まで杭を打設することは、工費が過大となり現実的ではない。しかしながら、杭先端支持力を飛躍的に増加できれば軟弱地盤においても比較的浅い位置で杭基礎を設計することが可能となり、杭長や杭径、さらには杭本数を縮減でき、小規模構造物においても経済的で安全な基礎形式として採用できる。本文は、杭の先端から板状の補強部材を地盤中に放射状に突出・貫入させることにより、杭先端支持力を増大できる拡底杭の開発とその支持力機構について考察したものである。

### 2. 拡底翼を有する拡底杭と载荷試験

#### (1) 拡底機構の概要と拡底方法

提案する拡底杭は、**図1**のように杭体内部に拡底翼を閉じた状態で事前に内蔵するものであり、杭体を地盤中に打撃あるいは圧入等により所定の深さまで貫入するまでは、通常の鋼管杭と同様に杭体外周部にはいかなる突起物も存在しない。この杭の拡底は、杭体を所定位置に設置した後に、**写真1**に示すように杭先端部から拡底翼を地盤内に放射状に押し出し、貫入させることによつてなされる。放射状に開いた拡底翼は、水平面に投影される杭先端の支圧断面積を拡大し、同時に载荷重により杭先端下部地盤内に発生するせん断滑り面の形成を抑止・補強する。

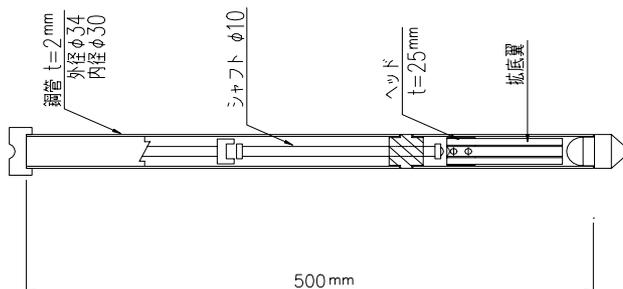


図1. 拡底翼を内蔵した鋼管杭の構造



写真1 試験杭先端の拡底形状

#### (2) 鉛直载荷試験方法

载荷試験は拡底翼を持たない先端閉塞型の鋼管杭(以後、鋼管杭という)と拡底翼を有する先端閉塞型鋼管杭(以後、拡底杭という)に対して、静的繰返し载荷で実施した。使用した試料土は最適含水比  $w_{opt} = 20\%$  の荒木田粘土である。試験地盤の造成は、**図2**の一軸圧縮強度が最大となる含水比 ( $w_{qmax} = 14\%$ ) を中心にその前後  $10\% \sim 18\%$  の範囲の含水比に調整した試料土を  $\phi 44 \times H 80 \text{ cm}$  の土槽内で締固め造成した。

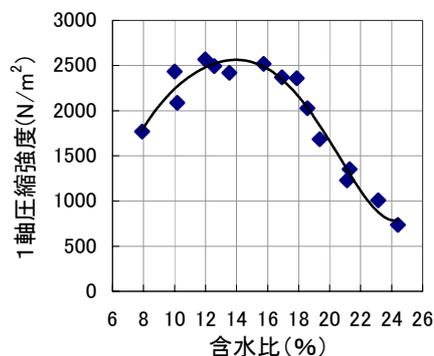


図2 含水比と一軸圧縮強度

### 3. 鉛直支持力試験の結果

#### (1) 極限荷重の評価

杭の極限支持力  $P_u$  は、 $\log p - \delta$  曲線の初期直線部と後半部直線部の交点として評価し、**図3**に含水比との関係を示す。なお、図中には拡底翼を持たない通常のストレートタイプの鋼管杭(以後、鋼管杭と呼ぶ)の極限支持力を拡底杭との比較で併記した。図3によると、拡底杭も鋼管杭も試験地盤の一軸圧縮強度が最大となる含水比  $14\%$  (**図2**) 付近で最大極限支持力を示した。なお、当然の結果とも思えるが、**図2**、**図3**に示すように杭の支持力と含水比の関係は、拡底杭と鋼管杭の両者ともに、一軸圧縮強度と含水比の関係に酷似している。さらに、圧縮強度の低い地盤、いわゆる軟弱地盤になるほど、当然杭の支持力は低下するが、拡底効果は大きいようである。通常、杭基礎の支持力は先端支持力と周面摩擦抵抗をとともに考慮しなければならないが、今回は鋼管杭と拡底杭の両者において周面摩擦抵抗が等しいと仮定し、拡底翼による先端支持力の増加効果を次式で定義した。

キーワード：拡底杭 鋼管杭 含水比 極限荷重 先端支持力 双曲線モデル

連絡先：法政大学 環境地盤研究室 〒184-8584 東京都小金井市梶野町3-7-2 TEL: 0423-87-6288

$$\text{先端支持力の増加率} : R = \frac{P_{exp} - P_0}{P_0} \times 100 \%$$

ここで、 $P_{exp}$ と $P_0$ はそれぞれ拡底杭と鋼管杭の極限支持力である。

図4は上式で定義した先端支持力の増加率を含水比との関係で示したものである。杭先端を拡底することによる支持力の増加割合は、最大支持力を与える含水比付近(14%)を境として、含水比が高いほど大きくなり、本実験の最大含水比18%付近では約7~8割の増加が見られた。すなわち、拡底翼による杭先端支持力の改善効果は軟弱な地盤ほど高い。

#### 4. 数値解析

##### (1) 解析手法と解析モデル

数値解析は2次元軸対称の有限要素法を用いた。地盤の構成方程式は、3パラメータの双曲線モデルとしてよく使用されているKondner非線形弾性双曲線モデルを採用した。図5と図6に本解析で用いた拡底杭の解析モデルと要素分割図をそれぞれ示す。また、試験杭に使用された拡底翼の材質は黄銅 ( $E=1.1 \times 10^8 \text{kN/m}^2$ ) であるが、本解析では軸対称条件を仮定しているため、弾性係数は拡底翼の曲げ剛性が等価になるように補正した値を用いた。

##### (2) 拡底翼の剛性と支持力に関する考察

提案する拡底杭の実用化に当っては、対象地盤の剛性と拡底翼の剛性が、杭の支持力等に及ぼす影響を明らかにしておくことが重要となる。ここでは、試験杭に使用された拡底翼の剛性を変化させることにより、拡底翼剛性の変化が杭の支持力にもたらす影響を数値解析結果に基づいて考察した。本解析では、拡底翼の弾性係数の基準値を  $13 \text{N/mm}^2$  とし、その前後で適度な倍率の弾性係数を設定することとした。また、拡底翼の剛性は、試験杭に使われた拡底翼の弾性係数と断面2次モーメントを初期値 ( $E_0, I_0$ ) とし、これを基準剛性1とした。なお、剛性の変化は基準剛性の倍率で表した。地盤条件は載荷試験で用いた荒木田粘土の含水比  $w = 10\% \sim 18\%$  の範囲内とした。このようにして求めた解析結果を図7に示す。図2に示した最大一軸圧縮強度前の含水比10%~14%においては、拡底翼の剛性倍率を基準杭の約3倍とすることによって極限荷重は約30%程度増加するようである。

一方、試験地盤の含水比が  $w=14\%$  を越えると、剛性倍率の増加に伴う極限荷重の増加割合も鈍化する傾向にある。すなわち、地盤が軟弱になると、杭の支持力は拡底翼の剛性のみで議論できるものではなく、拡底翼の支圧断面積を含めた検討が必要であると考えられる。

#### 5. 結論

以上の考察から、拡底翼の効果は比較的緩い軟弱地盤で顕著に現れることを示した。また、拡底翼の効果を十分に引き出すためには、地盤の剛性との関係で、拡底翼の剛性や形状・寸法を適切に選択することが設計上重要な要件であることを示した。

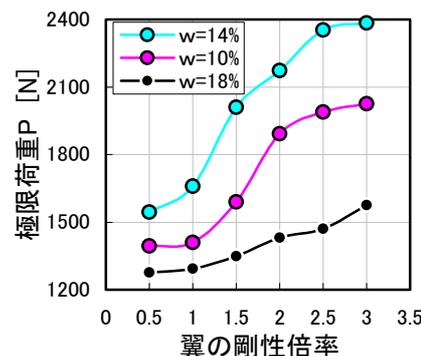


図7 極限荷重と含水比(荒木粘土)

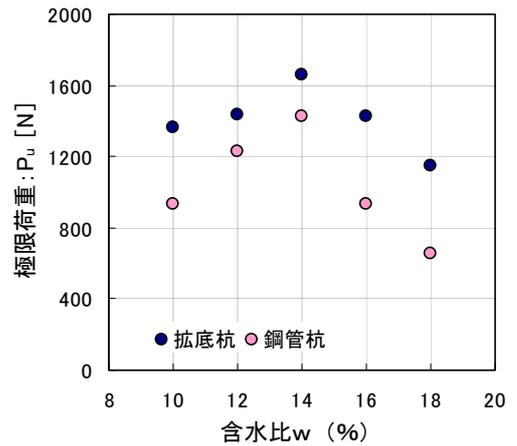


図3 極限荷重と含水比(荒木粘土)

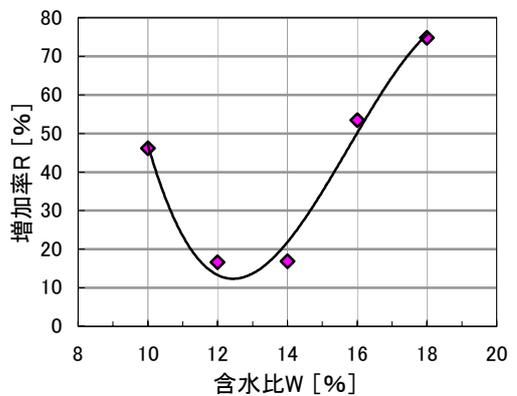


図4 先端支持力の増加率(荒木田粘土)

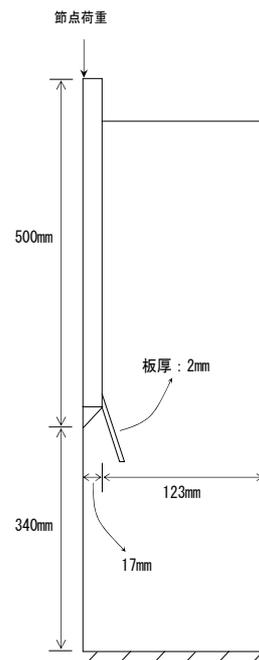


図5 拡底杭の解析モデル

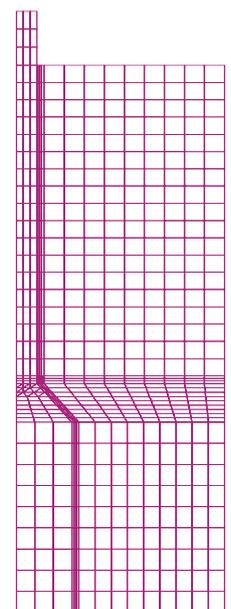


図6 拡底杭の要素分割