

プレボーリング拡大根固め工法で施工された既製杭の引抜き抵抗  
(その2: 引抜き抵抗の算定式)

正会員○小椋仁志\* 同 真鍋雅夫\*\*  
同 尾古健太郎\*

埋込み杭 引抜き抵抗 周面摩擦力

1. はじめに

同名論文(その1)<sup>1)</sup>(以下、前報)では、8対の押込み・引抜き比較試験をもとに、プレボーリング拡大根固め工法で施工された杭の引抜き抵抗について、押込み方向の周面摩擦力と比較することにより検討した。その結果をもとに、押込み方向の周面摩擦力の算定式に係数を乗じる形で、地盤から決まる引抜き抵抗の算定式を検討した。本報では、その検討結果について述べる。

2. 押込み方向の周面摩擦力の算定式

本検討で対象とした施工法による既製杭の周面摩擦力(押込み方向)は、次式で算定される<sup>2)</sup>。

$$\text{砂質土 } F_s = f_s L_s D = N_s L_s \quad (\text{kN}) \quad (1)$$

$$\text{粘性土 } F_c = f_c L_c D = q_u L_c \quad (\text{kN}) \quad (2)$$

ここに、 $F_s$ : 砂質土の周面摩擦力 (kN)

$F_c$ : 粘性土の周面摩擦力 (kN)

$f_s$ : 砂質土の周面摩擦応力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$f_c$ : 粘性土の周面摩擦応力度 (kN/m<sup>2</sup>)

、 : 砂質土、粘性土の周面摩擦力係数

$N_s$ : 杭が接する砂質土のN値 (1  $N_s$  30)

$q_u$ : 杭が接する粘性土の一軸圧縮強さ (kN/m<sup>2</sup>)

(10  $q_u$  200 kN/m<sup>2</sup>)

$L_s$ : 杭が砂質土に接する長さ (m)

$L_c$ : 杭が粘性土に接する長さ (m)

: 杭の周長 =  $D$  (m)

$D$ : 杭径(節杭の場合は節径)(m)

とについては、文献2)に示したデータのほぼ全てが $F_s$ 、 $F_c$ の算定値を上回るように設定されている。標準型の場合の と は、以下のとおりである。

ストレート杭部分 = 5.0 = 0.7

節杭部分  $N_s = (30 + 5.5N_s)$  を満たす

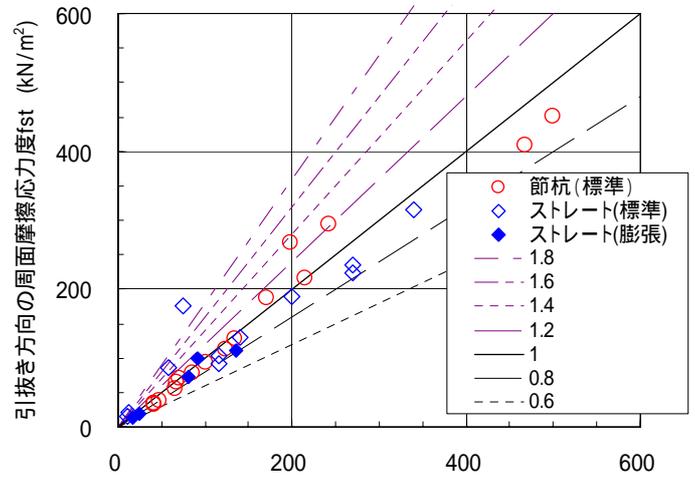
$q_u = (20 + 0.5q_u)$  を満たす

ここに、 : 拡大比 ( = 1 ~ 2 )

3. 引抜き抵抗の算定式

**砂質土** 前報に示した引抜き試験による砂質土の引抜き方向の周面摩擦応力度  $f_{st}$  と、(1)式で得られる  $f_s$  を比べる。図-1は、両者の相関図である。ただし、膨張型では節杭のデータがないため、比較する  $f_s$  は標準型の値を用いている。両者の比 ( $f_{st} / f_s$ ) は、0.806 ~ 2.334 の範囲(平均 1.215)となった。この最小値 0.806 と前報で示した の平均値 0.859 から、安全側の算定式になるように、砂質土の引抜き抵抗  $F_{st}$  の算定式として次式を設定する。

$$F_{st} = 0.8 N_s L_s \quad (\text{kN})$$

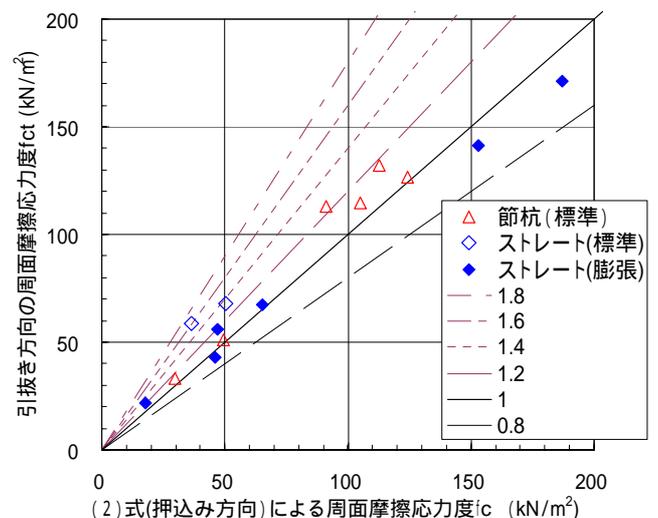


(1)式(押込み方向)による周面摩擦応力度  $f_s$  (kN/m<sup>2</sup>)

図-1  $f_{st}$  と  $f_s$  の相関図

**粘性土** 前報に示した引抜き試験による粘性土の引抜き方向の周面摩擦応力度  $f_{ct}$  の値と、(2)式で得られる  $f_c$  を比較する。図-2は、両者の相関図である。砂質土と同様、膨張型では節杭のデータがないため、比較する  $f_c$  は標準型の値を用いている。比 ( $f_{ct} / f_c$ ) は、1.022 ~ 1.665 の範囲(平均 1.282)となり、 $f_{ct}$  は  $f_c$  を上回っている。しかし、前報で示した粘性土の は平均値が1を下回る 0.947 であることから、安全側になるように粘性土の引抜き抵抗  $F_{ct}$  の算定式として次式を設定する。

$$F_{ct} = 0.9 q_u L_c \quad (\text{kN})$$



(2)式(押込み方向)による周面摩擦応力度  $f_c$  (kN/m<sup>2</sup>)

図-2  $f_{ct}$  と  $f_c$  の相関図

**極限引抜き抵抗の算定式** 以上より、極限引抜き抵抗  $R_{tu}$  の算定式は次式となる。

$$R_{tu} = (0.8 N_s L_s + 0.9 q_u L_c) + W_p \quad (\text{kN})$$

ここに、 $W_p$ : 杭の有効自重 (kN)

この式により求めた  $R_{tu}$  と、引抜き試験で得られた極限支引抜き抵抗 (第2限界抵抗力)  $P_{tt}$  の相関図を **図-3** に示す。すべての載荷試験で  $P_{tt}$  は  $R_{tu}$  を上回っており、両者の比の平均値は 1.41、両者の平均値の比では 1.36 となっている。このことから、算定式は安全な引抜き方向の鉛直支持力を与える式であることが確認できる。

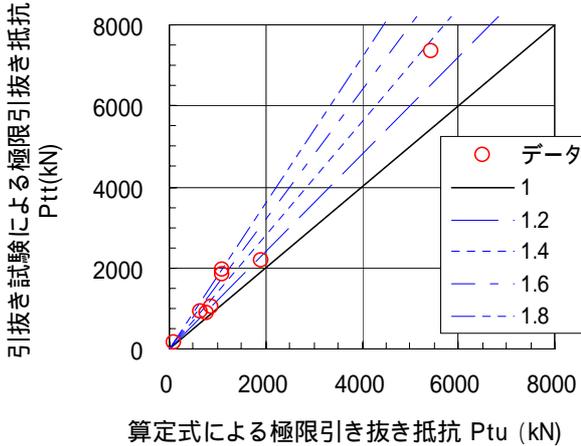


図-3  $R_{tu}$  と  $P_{tt}$  の相関図

### 3. 杭の引抜き抵抗 - 深さ関係の検討

前報や2節の検討でも分かるように、砂質土の引抜き抵抗は押し込み時の周面摩擦力よりも小さくなる。これは、ポアソン比効果(引抜き時に杭体が細くなることにより周面摩擦力が小さくなる現象)も一因であるが、平山はコンクリート系の杭の場合は非常に小さいことを指摘している<sup>3)</sup>。他の大きな要因として上載圧効果(載荷時に杭から地盤に伝播される応力が、押し込み時には地盤の上載圧を増加させるのに対し、引抜き時には減少させるように作用するため、周面摩擦力が小さくなる現象)が考えられる。

砂質土の場合、杭の周面摩擦応力度  $f$  は一般に次式で表される(ここでは、地下水位は考えない)。

$$f = \mu K Z$$

ここに

$\mu$ : 摩擦係数

$K$ : 側圧係数

$\gamma$ : 単位体積重量  
( $\text{kN}/\text{m}^3$ )

$Z$ : 深さ (m)

**図-4** は、文献<sup>4)</sup>

に示した砂地盤の  $f$  と  $Z$  との関係である。

深くなると  $f$  は大き

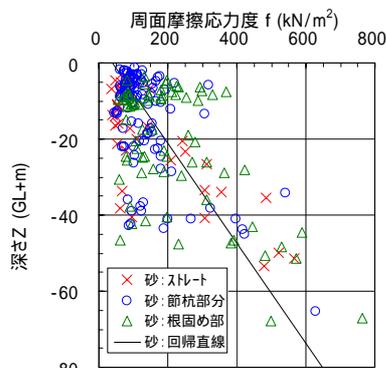


図-4  $f \sim Z$  関係(押し込み方向)

くなる傾向は見られる(相関係数 0.652)。いま、杭に  $f$  が作用した時に地盤に伝播される鉛直応力を  $z$  とすると、押し込み時の上載圧は  $Z + z$ 、引抜き時は  $Z - z$  となる。 $\mu$  や  $K$  は載荷方向には影響されないとする、押し込み時の周面摩擦力  $f_p$  と引抜き時の周面摩擦力  $f_t$  の比は次式になる。

$$f_t / f_p = (Z - z) / (Z + z)$$

$z$  を  $f$  の  $\alpha$  倍 ( $\alpha = 0 \sim 1$ ) と仮定し、 $\gamma = 17 \text{ kN}/\text{m}^3$ 、 $f = 38.9 + 7.6 Z$  (図-4の回帰式) として求めた  $f_t / f_p$  と深さ  $Z$  の関係を **図-5** に示す。この図には、実測値として前報に示した比較試験による  $f_t / f_p$  も併記している。

この図から以下のことが分かる。実測値に近いのは  $\alpha = 0.1$  程度であることから、杭に作用した  $f$  の 1 割程度が地盤に鉛直応力として伝播されると推測される。

$f_t / f_p$  は GL-10m 以浅では深さの影響が大きく 0.5 ~ 0.88 となる。それ以深では  $f_t / f_p$  は 0.9 ~ 0.92 とほぼ一定値になっている。

このことから、 $f_t / f_p$  が 0.9 以下になる GL-4 ~ 10m の地盤での載荷試験結果から決められた係数 (0.8) を、 $f_t / f_p$  が 0.9 以上になる GL-10m 以深の地盤に適用するのは安全側と判断される。

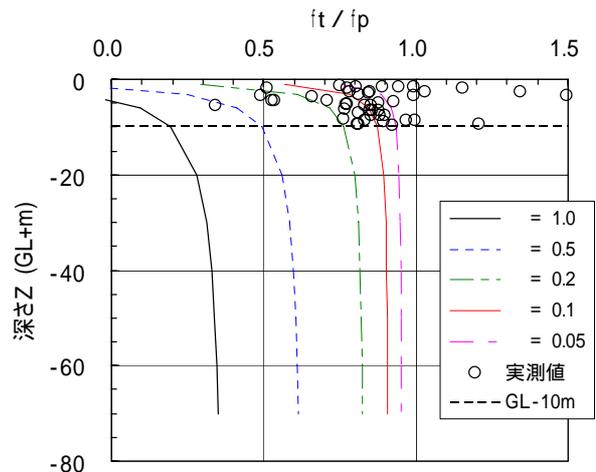


図-5  $f_t / f_p$  と  $Z$  の関係

### 4. おわりに

本報では、設計で用いるための杭引抜き抵抗の算定式の検討結果を述べた。今後もデータを蓄積して、よりよい算定式にしていきたい。

- 【参考文献】
- 1) 小椋仁志・真鍋雅夫・尾古健太郎: プレポーリング拡大根固め工法で施工された既製杭の引抜き抵抗(その1: 押し込み方向の周面摩擦力との比較)、日本建築学会大会(東北)学術講演梗概集構造 B-1、2009.8
  - 2) 小椋仁志・小松吾郎・真鍋雅夫・大島章・千種信之・細田豊・須見光二・三村哲弘: 既製杭のプレポーリング拡大根固め工法の拡大掘削径と鉛直支持力、GBRC、Vol.32、No.1、pp.10-21、2007.1
  - 3) 平山英喜: 鉛直荷重による杭のポアソン比効果、土木学会第48回学術講演会、pp.756-757、1993.9
  - 4) 小椋仁志・小松吾郎・千種信之: プレポーリング拡大根固め工法で施工されたストレート杭と節杭の周面抵抗に関する検討、第43回地盤工学研究発表会、pp.1235-1236、2008.7

\* ジャパンパイル(株)

\*\* 日本コンクリート工業(株)

\* JAPAN PILE Corporation

\*\* Nippon Concrete Industries Co.,Ltd