

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1: 押し込み方向の周面摩擦力との比較)

正会員 ○尾古健太郎\* 同 小椋仁志\*  
同 真鍋雅夫\*\*

埋込み杭 引抜き抵抗 周面摩擦力

1. はじめに

杭の設計では引抜き抵抗の重要性が大きくなっている。そこで、算定方法が明確に示されていない国土交通大臣認定工法による杭の引抜き抵抗について検討するため、引抜き試験を多数行った。これらの試験では、同じ条件の地盤・杭を用いた押し込み試験も合わせて行って、押し込み方向と引抜き方向の周面摩擦力を比較した。本報は、その結果について述べたものである。

2. 引抜き試験の概要

**施工法** 今回の試験に用いた杭は図-1のように拡大掘削径を通常掘削径(下杭に用いる節杭の節部径  $D_o + 50\text{mm}$ )の1~2倍の任意の値にできることを特徴とするプレボーリング拡大根固め工法で施工されている。拡大掘削の範囲は、最小で杭先端から2mまで、最大で杭先端から杭長の1/2までとなっている。杭周充填液は通常のセメントミルクとする標準型のほか、周面摩擦力を大きくするため膨張材を加えた膨張型がある。施工法や押し込み方向の支持力については文献1)で詳しく述べており、この工法による押し込み方向の周面摩擦力については文献2)で検討を加えているので参照されたい。

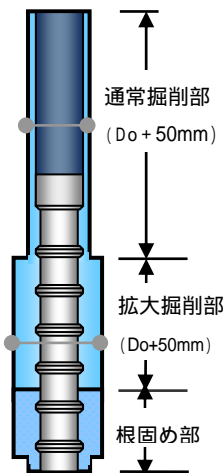


図-1 埋込み工法

なお、杭先端から2m部分の根固め部には、本来は杭周充填液よりも富配合の根固め液を注入するが、今回の試験は周面摩擦力だけを調べるものであることから、試験杭の根固め部にも杭周充填液を注入している。加えて、押し込み試験杭には反力装置の容量を低減するために、先端抵抗が生じないようにした治具を取り付けたものもある。

**試験種類** 押し込み試験と引抜き試験は、両者を比較するため地盤・杭・杭周充填液を同条件として行った。試験種類を表-1に示す。全国4ヶ所の地盤で2対ずつ、地盤工学会基準に準拠して実施している。また、ひずみ計を同じ位置に設置し、同じ区間の周面摩擦力を測定している。8件の引抜き試験に用いた杭の杭径は300~1200(節杭は440-300~1200-1000)、施工深さはGL-4~10m、拡大比は1~2、杭周充填材は標準型と膨張型である。引抜き試験に用いる杭は、ひび割れが生じないよう原則としてSC杭(節杭はSC杭に鋼製の節部を溶接)としている。

**地盤定数** 表-1に示した試験場所の地盤のN値と一軸圧縮強さは、それぞれ2~40、19.5~208kN/m<sup>2</sup>の範囲に分布している。

表-1 載荷試験の一覧表

試験場所	試験種類	節杭の杭径 (mm)	ストレート杭の杭径 (mm)	杭周充填液	拡大比	施工長 (GL-m)
兵庫県加東市	押し込み	1200-1000	-	標準型	1.0	10
	引抜き	1200-1000	-	標準型	1.0	10
	押し込み	440-300(下2m)	300(上8m)	標準型	2.0	10
	引抜き	440-300(下2m)	300(上9m)	標準型	2.0	10
愛知県愛西市	押し込み	500-400	-	標準型	1.23	10
	引抜き	500-400	-	標準型	1.23	10
	押し込み	-	500	標準型	1.23	4
	引抜き	-	500	標準型	1.23	4
埼玉県川越市	押し込み	440-300	-	標準型	2.0	10
	引抜き	440-300	-	標準型	2.0	10
	押し込み	-	450	膨張型	1.0	(23)
	引抜き	-	450	膨張型	1.0	10
千葉県富里市	押し込み	-	1200	標準型	1.0	7.5
	引抜き	-	1200	標準型	1.0	7.5
	押し込み	-	1200	膨張型	1.0	7.5
	引抜き	-	1200	膨張型	1.0	7.5

3. 試験結果

図-2(a),(b)は、同じ条件で行った押し込み試験と引抜き試験によって得られた周面摩擦力  $P_f$  ~ 杭頭変位量  $S_o$  を比較したものの一例である。 $P_f$  は、杭頭荷重から杭先端抵抗(ストレート杭では杭先端に最も近いひずみゲージ位置の軸力、節杭の場合は最下端節部下面位置での軸力)を差し引いて求めている。両図から、引抜き時の  $P_f$  が押し込み時よりも小さくなるのが分かる。

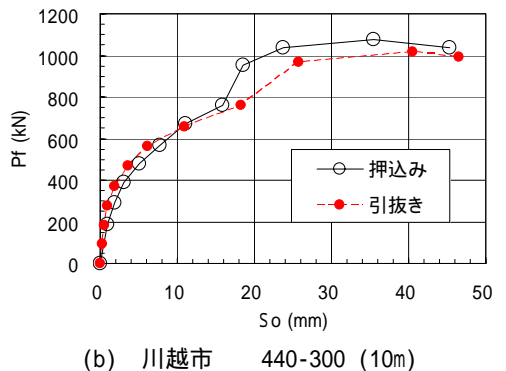
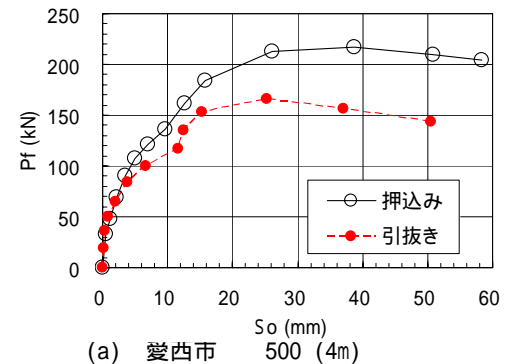


図-2 周面摩擦力  $P_f$  ~ 杭頭変位量  $S_o$  関係の比較

#### 4. 両方向の区間周面摩擦応力度 $f_i$ の比較

**$f_i$  の算定** 試験杭に取り付けたひずみ計の値から各断面の軸方向力を求め、各区間の軸力差をその区間の杭周面積  $A_i$  で除して、区間周面摩擦応力度  $f_i$  を算定する。 $A_i$  の計算時の杭径には、節杭の場合は節部径  $D_o$ 、ストレート杭では杭径  $D$  を用いた。なお、区間内に通常掘削部から拡大掘削部が変わる部分を含む場合は、その部分の引抜き抵抗には支圧抵抗も作用しているものと考えられる。しかし、試験データには他区間と顕著な差は見られなかった。これは、杭周充填液の強度が低いことから、支圧抵抗は小さいためであろう。このため、拡大掘削部が変わる部分を含む区間も他区間と同様に扱っている。

得られた引抜き方向の  $f_i$  の値から、押し込み方向の  $f_i$  に対する比を検討する。用いる  $f_i$  には、図-2に示した  $P_f$  が、先端変位量が杭径の  $1/10$  までの範囲で最大になった時点での値(第2限界抵抗力に相当)を採用している。各区間の  $f_i$  の最大値を用いるという考え方もあるが、その場合は  $f_i \times A_i$  の合計が杭全体の  $P_f$  を上回ることもあることから、ここでは参考値にとどめることとした。

**砂質土** 周辺地盤が砂質土の32組の  $f_i$  について、押し込み方向と引抜き方向の値を比較する。図-3は、 $f_{st}$  (砂質土の引抜き方向の  $f_i$ ) と押し込み方向の値  $f_{sp}$  の相関図である。両者の比 (引抜き/押し込み) は  $0.342 \sim 2.464$  の範囲 (平均  $0.859$ ) となっている。また、参考として、各区間の  $f_i$  の最大値で検討すると、 $0.469 \sim 1.496$  の範囲 (平均  $0.819$ ) となる。したがって、平均すると  $f_{st}$  は押し込み方向の  $0.8$  倍程度は期待できそうである。

基礎構造設計指針(2001)の設計式では、載荷試験のデータをもとに砂質土の引抜き抵抗を押し込み方向の周面摩擦力の  $2/3$  倍としている。また、告示第1113号第五に定められた許容引抜き抵抗の算定式の場合は、引抜き抵抗を砂質土、粘性土ともに押し込み方向の周面摩擦力の  $0.8$  倍としている。今回の比較試験では、告示式がほぼ妥当という結果になった。

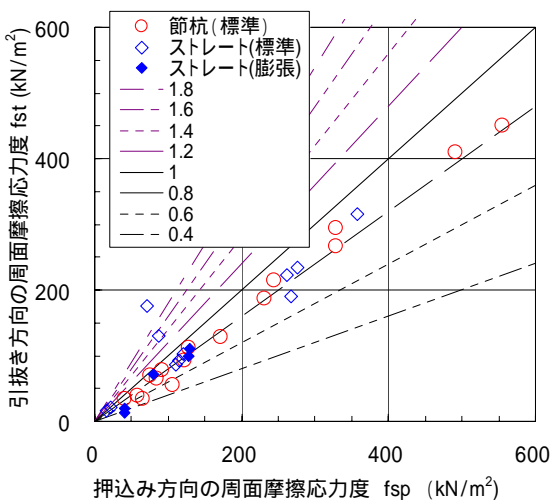


図-3  $f_{st}$  と  $f_{sp}$  の相関図 (砂質土)

**粘性土** 周辺地盤が粘性土の14組の  $f_i$  について比較する。

図-4は、 $f_{ct}$  (粘性土の引抜き方向の  $f_i$ ) と押し込み方向の  $f_{cp}$  の相関図である。両者の比は  $0.537 \sim 1.342$  の範囲 (平均  $0.947$ ) となる。また、参考として、各区間の周面摩擦応力度の最大値で検討すると、 $0.680 \sim 1.343$  の範囲 (平均  $0.953$ ) となっている。このように、 $f_{ct}$  の値は砂質土よりも大きくなる。これにより、周面摩擦力の多くを粘着力に依存する粘土の場合は、砂質土よりも載荷方向による違いによる影響が小さいことが確認される。

基礎構造設計指針(2001)では、粘性土の場合は引抜き抵抗を押し込み方向の周面摩擦力と同等としており、告示第1113号第五では  $0.8$  倍としている。今回の比較試験では、 $f_{ct}$  は  $f_{cp}$  の  $0.8$  倍という結果になった。

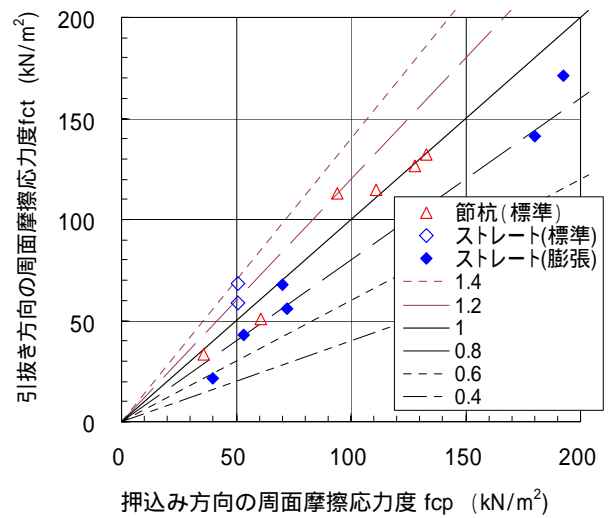


図-4  $f_{ct}$  と  $f_{cp}$  の相関図 (粘性土)

#### 5. おわりに

本報では、最近、設計で検討することが多くなった杭の引抜き抵抗について、押し込み方向との比較載荷試験の結果から検討した。押し込み方向の鉛直支持力に比べて、引抜き抵抗に関する研究は少なく、試験時に杭体にひび割れが入ることなどから引抜き試験データの蓄積も少ない。また、本報で述べた押し込み方向の支持力との関係や地盤定数との関係については数例の報告が見られるものの、残留引抜き抵抗の評価方法、鉛直交番荷重や動的荷重が作用した時の挙動などは、ほとんど検討されていない。今後、杭の引抜き抵抗に関しても多く研究されることを期待したい。

#### 【参考文献】

- 1) 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：既製杭のプレボーリング拡大根固め工法の拡大掘削径と鉛直支持力、G B R C、Vol.32、No.1、pp.10-21、(財)日本建築総合試験所、2007.1
- 2) 小椋仁志・小松吾郎・千種信之：プレボ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