

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

杭 周面摩擦 載荷試験

ジャパンパイル(株)  
同上  
日本コンクリート工業(株)

国際会員 小椋仁志  
正会員 小松吾郎  
千種信之

1.はじめに 埋込み杭の周面抵抗に関しては桑原<sup>1)</sup>など多くの研究成果が発表されている。これらはストレート杭(以下、直杭と呼ぶ)を対象にしている。節杭については、打込み工法等による杭周に砂利や砂などの地盤材料が存在する場合は多く研究されているが、埋込み工法によって杭周がセメントミルクなどの固結体の場合は、載荷試験報告はあるものの周面抵抗について多くのデータによって検討したものは少ない。今回、図-1のように節杭の上方に直杭を継いだケースを含めて載荷試験データがある程度蓄積されたので、埋込み杭の周面抵抗を直杭と節杭を比較する形で検討した。本報では、その検討結果の一部を報告する。

2.データの概要 プレボーリング根固め工法は、アースオーガー等によって地盤を掘削し、先端部分に根固め液、杭周部分に杭周固定液等と呼ぶセメントミルク(またはセメントミルクと掘削土砂を混合攪拌したソイルセメント)を充填したあと、杭を建て込む工法である。プレボーリング拡大根固め工法は、一般には根固め部のみを拡大掘削したものであるが、本報で対象とした工法は、杭先端から杭長の1/2までを上限に拡大掘削している。拡大掘削径は、通常掘削径(下杭に用いる節杭の節部径+50mm)の(拡大比、 $\alpha = 1 \sim 2$ )倍となっている。拡大しない場合( $\alpha = 1$ )は、主に摩擦杭として用いられる。下杭には必ず節杭(PHC、PRC)を用いるが、上方に直杭を継ぐこともある(杭径は節杭の軸部径~節部径)。写真-1は、施工後の節杭を掘り出したものである。杭周固定液が固結することによって、表面は直杭部分とあまり変わらない状態になっている。根固め部は、杭先端から2mの部分を行い、ここには節杭が入っている。本検討で用いたデータの杭径(節杭は節部径)などの平均値を表-1、2に示す。また、図-2に杭径と掘削径、図-3に杭径と深さ、図-4にN値と深さ、表-5に一軸圧縮強さ $q_u$ と深さの関係を示す。これらの図から、各諸元の分布が分かる。

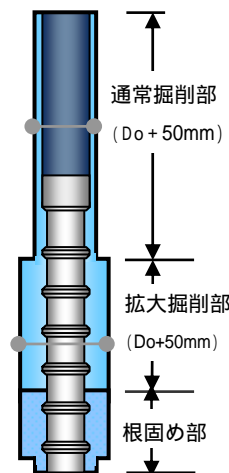


図-1 節杭の埋込み工法



写真-1 掘り出した杭

載荷試験で得られた各区間の周面抵抗 $F$ から、単位面積あたりの周面応力度 $f$ を求める。一般には $F$ を杭周表面積 $D \cdot L_i$ ( $D$ :杭径(節杭は節部径)、 $L_i$ :区間長)で除した値(以下 $f_o$ )とすることが多い。しかし、杭周充固定液の固結体(以下、杭周固定部)は、地盤よりも強度・剛性とも大きい値に設定されていることから、杭体の一部と考えても差し支えないと思われる。そこで本報では、 $F$ を掘削表面積 $D_e \cdot L_i$ ( $D_e$ :掘削径)で除した値 $f_e$ を中心に検討する。また、杭の先端沈下量 $S_p$ が $0 \sim 0.1D_o$ の範囲での $f_o$ 、 $f_e$ の最大値(ピークが生じているものはその値)を最大周面応力度 $f_{op}$ 、 $f_{ep}$ とし、 $S_p = 0.1D_o$ の時の値(最

表-1 データ数と各諸元の平均値(砂質土)

	データ数	杭径(m)	掘削径(m)	区間長さ(m)	深さ(GL-m)	N値
直杭部分	39	0.65	0.9	2.97	19.8	22.8
節杭部分	107	0.61	0.66	2.34	12.4	11.1
根固め部	76	0.59	0.72	0.79	15.3	21.3

表-2 データ数と各諸元の平均値(粘性土)

	データ数	杭径(m)	掘削径(m)	区間長さ(m)	深さ(GL-m)	N値	$q_u$ ( $kN/m^2$ )
直杭部分	36	0.61	0.81	3.31	15.1	5.6	107.3
節杭部分	83	0.57	0.68	2.92	17.6	4.7	71.6
根固め部	40	0.64	0.9	0.89	25.7	8.4	113

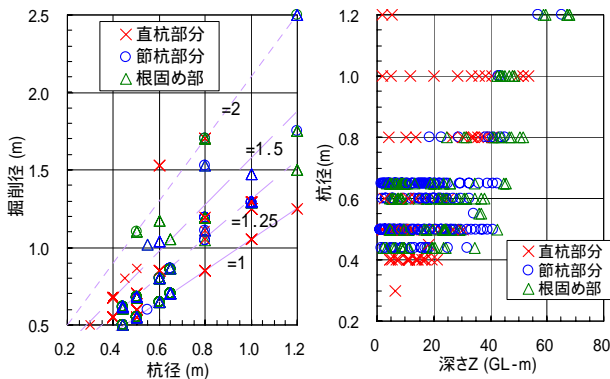


図-2 杭径と掘削径

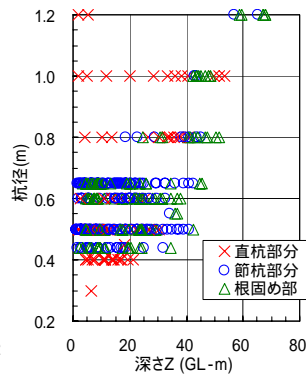


図-3 深さと杭径

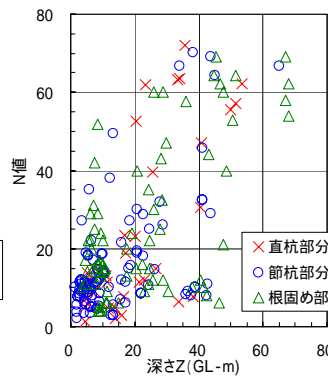


図-4 深さとN値(砂質土)

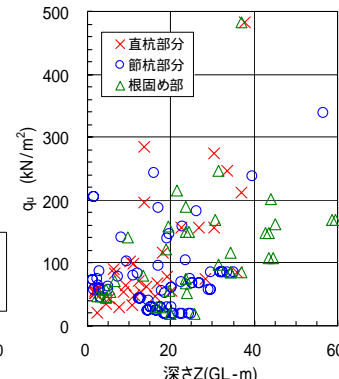


図-5 深さと $q_u$ (粘性土)

終  $S_p$  が 0.1Do 未満の場合は最終値) を残留周面応力度  $f_{or}$ 、 $f_{er}$  とする。

### 3. 周面応力度と深さとの関係

図-6、7は、砂質土と粘性土の  $f_{ep}$  と深さ  $Z$  の関係である。砂質土では相関係数  $r = 0.57 \sim 0.77$  となり、深くなるほど  $f_{ep}$  が大きくなる傾向が見られるが、粘性土では直杭部分では  $r = 0.58$  となり相関性が見られるものの、節杭部分や根固め部では  $r < 0.35$  であり相関性は見られない。これは、 $N$  値  $\sim Z$  関係(図-4)では  $r = 0.65$  とある程度の相関性が見られるのに対して、 $q_u \sim Z$  関係(図-5)では  $r = 0.43$  と相関性が弱いことも一因であろう。

### 4. 周面応力度と地盤定数との関係

図-8は  $f_{ep} \sim N$  値関係、図-9は  $f_{ep} \sim q_u$  関係である。いずれも  $r = 0.7 \sim 0.9$  と強い相関性を示している。原点を通る回帰直線の勾配  $a$  を求める方法には( $x$ - $y$  座標)、最小自乗法  $(x \cdot y) / x^2$ 、 $y/x$  の相加平均、 $y/x$  の相乗平均、 $(y$  の平均) / ( $x$  の平均) などがあり、いずれも一長一短がある<sup>2)</sup>。このうち視覚的に最も妥当な回帰直線を与える  $a$  を求めると、砂質土では直杭部 6.9、節杭部 9.6、根固め部 8.8 となる。また、支持力式の作成時に多く用いられるの方法では、それぞれ 9.2(0.71)、11.0(0.23)、10.1(0.59) となる(括弧内は変動係数)。 $a$  は、いずれも節杭が直杭よりも大きい値となっている。これに対して粘性土の方は、の方法では 0.99、0.90、0.95、の方法では 1.11(0.48)、1.09(0.38)、1.16(0.58) と、節杭と直杭では大差がない。この理由は現時点ではよく分からず、今後の課題とせざるを得ない。なお、根固め部は杭先端に近いため  $f_{ep}$  も大きくなると思われたが、本データでは差は見られていない。

### 5. 残留周面応力度

図-10と11は、 $f$  の残留値  $f_{er}$  を最大値  $f_{ep}$  で除した値と深さ  $Z$  の関係である。直杭は  $f$  に  $\sigma_c$  が生じた後減少するものが目立つが、節杭では少ない。せん断力が  $\sigma_c$  後に減少する原因はよく分かっていないが、直杭の荷重試験時に時々見られる杭体と杭周固定部との間の付着が切れて滑りが生じる現象も一因かも分からない。設計の際に重要なのは残留値であることを考えると、周面支持力の算定では、杭体と杭周固定部との間で滑ることがないと考えられる節杭では掘削径に比例するとして算定して差し支えないだろうが、直杭の場合は杭径に比例するとして計算する算定式(通常式)を用いるのが妥当であろう。

### 6. $q_u$ と $N$ 値の関係

図-12は  $q_u$  と  $N$  値の関係である。一軸圧縮試験が行われていない場合、 $N$  値から  $q_u$  を求めることが多い。その際は大崎<sup>3)</sup>が示した  $q_u = N / 8$  ( $\text{kgf/cm}^2$ ) =  $12.5$  ( $\text{kN/m}^2$ ) が慣用的に用いられている。図-12をみると、ばらつきは大きいもののこの慣用式は安全側の  $q_u$  を与える結果になっており、採用するのは妥当であると判断される。

### 7. おわりに

本報ではプレボーリング拡大根固め工法による直杭と節杭の荷重試験結果から、周面抵抗について検討した。今後も引き続き本データ等を検討して、4. で述べた課題や  $f_{or}$ 、逆算  $K$  値などについても考えていきたい。

参考文献 1) 桑原文夫・田中実・内田範浩・三谷高豊：鉛直荷重を受ける埋込み杭の周面摩擦に関する統計研究、第28回土質工学研究発表会(神戸)、pp.1719~1722、平成5年6月 2) 小椋仁志・日野真紀子・加井マダツ：信頼性理論を考慮した杭の支持力算定式の作成例、第44回地盤工学シンポジウム発表論文集、pp.121~126、平成11年11月 3) 大崎順彦：基礎構造、pp.378、コロナ社、昭和36年6月

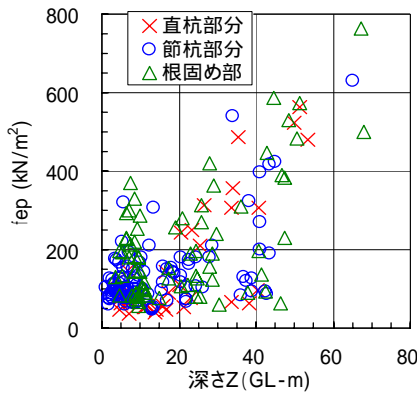


図-6  $f_{ep} \sim Z$  関係(砂質土)

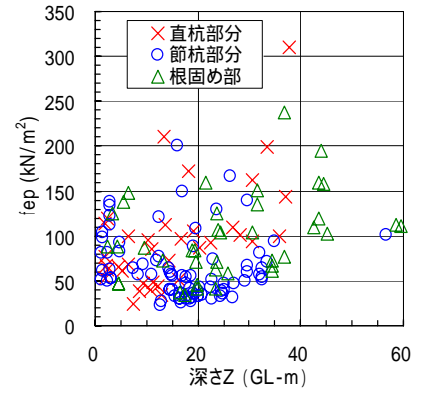


図-7  $f_{ep} \sim Z$  関係(粘性土)

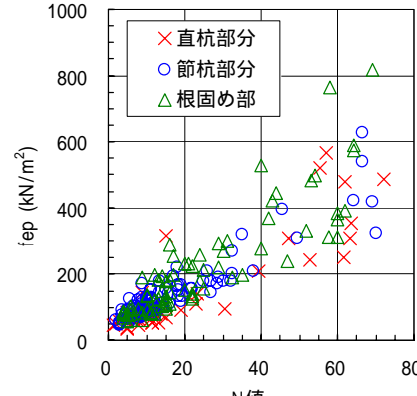


図-8  $f_{ep} \sim N$  値関係(砂質土)

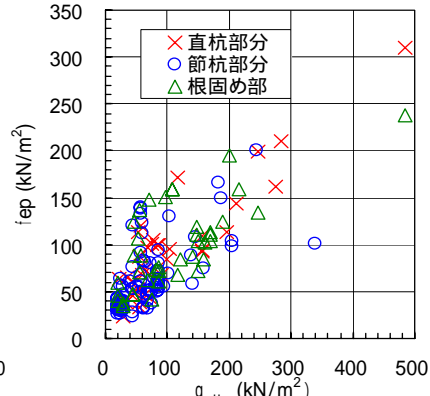


図-9  $f_{ep} \sim q_u$  関係(粘性土)

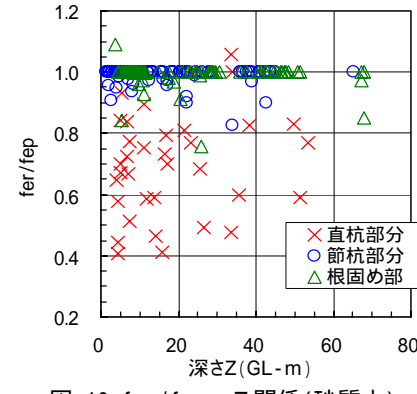


図-10  $f_{er}/f_{ep} \sim Z$  関係(砂質土)

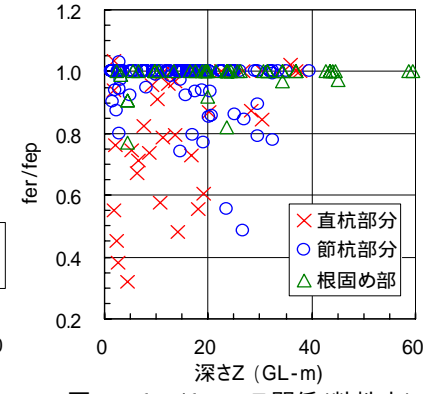


図-11  $f_{er}/f_{ep} \sim Z$  関係(粘性土)

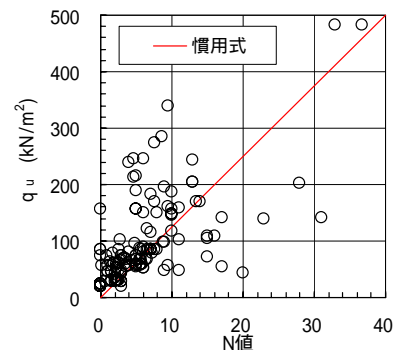


図-12  $q_u \sim N$  値関係