

## III-434

## コルゲート杭の周面摩擦抵抗特性に関するモデル実験

(株) ジオトップ (正) 藪内 貞男 (正) 平山 英喜  
同 上 ○ (正) 山下 啓明 染川 常二

## 1. まえがき

杭周が波状になっているコルゲート杭は、通常の直杭よりも大きな周面摩擦抵抗応力  $f$  を発揮する。この要因としては、①コルゲート杭の杭周面は凹凸状であり極めて粗いことから、表面粗さの増加による摩擦係数の増加と、②コルゲート部の支圧の効果、の2つが考えられる<sup>1)</sup>。

本稿では、比較的表面の滑らかな直杭・コルゲート杭の結果<sup>1)</sup>に、周面が十分に粗い直杭の実験結果を追加し、①②の要因がコルゲート杭の  $f$  にどのように寄与しているかを考察する。

2. 実験方法<sup>1)</sup>

## 2.1 モデル杭

実験に用いたモデル杭は、ステンレススチール製のもので、長さ100cm、径10cmの滑らかな直杭・粗い直杭およびコルゲート杭の3種類である。

コルゲート杭は、図-1に示すように、コルゲート部の凹凸高さ・凸部のピッチが、それぞれ2.5mm・10mmである。

滑らかな直杭は、表面粗さが  $R_{max}$  [基準長さ=2.5mm]=12.3 $\mu$ mである。粗い直杭は、十分粗くするために、滑らかな直杭の周面に、実験で用いている砂を、接着剤で張り付けて作った。その結果、粗い直杭の径は、10.26cmとなっている。

## 2.2 実験土槽・用いた砂

実験土槽は、内径158cm、高さ178cmの大きさで、地盤中の応力状態をシミュレートできるように鉛直圧  $\sigma_v$ ・側圧  $\sigma_h$  を与えることができる機構になっている。

用いた砂は、気乾状態の珪砂6号(愛知県瀬戸産、 $D_{50}=0.360$ mm・ $D_{10}=0.195$ mm・ $U_c=1.85$ ・ $\rho_{max}=1.597$ g/cm<sup>3</sup>・ $\rho_{min}=1.264$ g/cm<sup>3</sup>)である。

## 2.3 地盤作成

地盤は、多重フルイ法にて作成した。non-displacement pile 型の杭を想定するため、土槽底面より70cmの高さまで地盤を作成した後に、杭頭部を固定して杭を設置した。その後、土槽上部

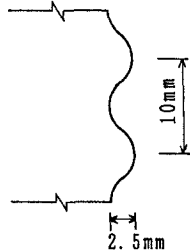


図-1 コルゲート部の拡大図

まで地盤を作成した。地盤作成後、 $\sigma_v=1.0$ kgf/cm<sup>2</sup>・ $\sigma_h=0.5$ kgf/cm<sup>2</sup>の圧力で約2時間圧縮した後、載荷試験を実施した。実験は、各杭に対して2回ずつ実施した。各実験の地盤作成時(圧縮前)および載荷試験前(圧縮後)の地盤の乾燥単位体積重量( $\gamma_d$ )および相対密度( $D_r$ )は、圧縮前で  $\gamma_d=1.498$ g/cm<sup>3</sup>・ $D_r=75\%$ 、圧縮後で  $\gamma_d=1.513$ g/cm<sup>3</sup>・ $D_r=79\%$ であった。

## 2.4 載荷試験

載荷試験は、沈下制御方式で貫入速度を1mm/minで行い、杭頭沈下量5cmごとに除荷し、4サイクルで沈下量20cmまで実施し、displacement pileとしての挙動も調べた。

試験終了後、砂の掘り出し時に、地盤作成時に杭軸周辺にまき出した色砂層、先端地盤の観察や改良型ポケットベネトロメーターによる杭周辺地盤の強度測定を行った。

## 3. 実験および観察結果

各杭の周面摩擦抵抗応力-沈下量関係を図-2に示す。この図は、2回実験した結果の平均値を示したものである。図中の  $f$  は、先端沈下に伴う先端付近部のゆるみの影響を取り除くため、杭中央部(杭先端から35~75cmの間)のデータから算定している。滑らかな杭・粗い杭・コルゲート杭における応力算定の際の杭径は、10cm・10.26cm・10cmとした。図-2より、以下のような事が分かる。

- ① 粗い杭・コルゲート杭の  $f_{max}$  は、滑らかな杭より約2.5倍大きく、残留時の  $f$  も約3倍大きい。
- ② 粗い杭の  $f$  は、杭径の200%沈下させても減少傾向にあり完全な残留状態には達していないが、最終沈下量において、コルゲート杭の  $f$  と比較すると、コルゲート杭の方が大きい。

杭軸周辺にまき出した色砂層の観察では、滑らかな杭では杭周面に接してはぼそのまま残っていた<sup>1)</sup>。粗い杭・コルゲート杭<sup>1)</sup>では、杭周面より約3mmの部分の色砂層は下方に移動していた。これらのことより、杭周でのすべり面は、滑らかな杭では砂と杭周との接触面で、粗い杭・コルゲート杭では、砂中で発生したと判断できる。

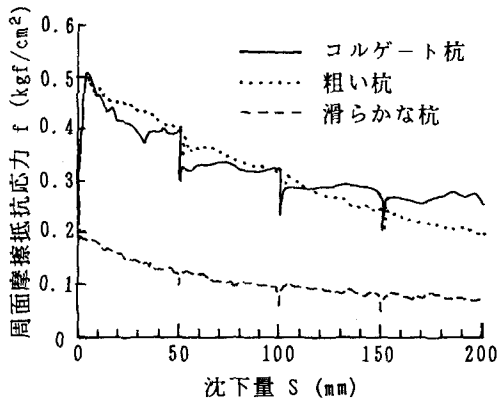


図-2 周面摩擦抵抗応力-沈下量関係

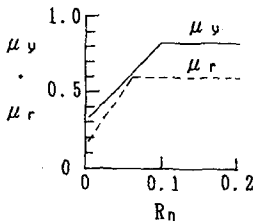
各杭において、掘り出し時に杭周辺地盤で強度測定をした結果、コルゲート杭のみ杭周から2～3 cmの範囲において、それより離れた地盤よりコーン値が約1.7倍大きかった。

図は省略するが、先端抵抗は粗い杭とコルゲート杭ではほぼ同じであり、滑らかな杭より約1.2倍大きく、周面抵抗の相違が先端抵抗に影響することが認められたが、詳細については別の機会に報告する。

#### 4. 考察

##### 4. 1 表面粗さと摩擦係数の関係

単純せん断試験を用いた砂と鋼材の摩擦試験において、ピーク時摩擦係数 ( $\mu_y$ ) と正規化粗さ  $R_n = R_{max}/D_{50}$  の間には、図-3の実線のような関係があることが指摘されている<sup>2)</sup>。図-3  $\mu$  と  $R_n$  の関係  $D_{50}$  は、砂の平均粒径



で、 $R_{max}$  は、 $D_{50}$  を基準長さとした時の鋼材の表面粗さである。すなわち、砂の種類にもよるが  $R_n$  が約0.1以下では  $\mu_y$  は  $R_n$  に比例し、すべりは接触面で生じる。 $R_n$  が0.1程度より大きくなると、すべりは砂中で生じ、 $\mu_y$  は上限値を示し、その値は砂のせん断特性で決まる。また、上杉<sup>2)</sup> および山肩ら<sup>3)</sup> の実験結果より、残留時の摩擦係数 ( $\mu_r$ ) と  $R_n$  の関係を整理すると、図-3の破線のような傾向を示す。つまり、 $\mu_y$  が一定となる  $R_n$  より小さい  $R_n$  で、 $\mu_r$  は上限値を示し一定になる。本実験で用いた杭の  $R_n$  と、図-2よりピーク時

 表-1 本実験における  $R_n \cdot \mu_y \cdot \mu_r$ 

| 杭の種類   | $R_n$      | $\mu_y$ | $\mu_r^{*1}$ |
|--------|------------|---------|--------------|
| コルゲート杭 | 7.6        | 1.02    | 0.54         |
| 粗い杭    | $0.5^{*2}$ | 1.00    | 0.40         |
| 滑らかな杭  | 0.04       | 0.38    | 0.14         |

\*1 :  $S=200\text{mm}$  の時の値

\*2 : 砂粒子を等粒径の球と仮定して算定

および最終沈下量時の摩擦係数を計算した結果を表-1に示す。なお、摩擦係数を計算する時の杭周面垂直方向の応力は、 $0.5\text{kgf/cm}^2$  とした。

##### 4. 2 ピーク時の摩擦抵抗

前章①で述べたように、コルゲート杭の  $f_{max}$  は粗い杭とほぼ同じであった。したがって、図-3よりコルゲート杭の  $f_{max}$  に及ぼす要因としては、周面の凹凸による表面粗さのみが影響していると判断できる。しかし、図-3から外挿すると、本実験のコルゲート杭では、凹凸高さが2.5mmであるので  $D_{50}$  が2～3mm以上の礫でなければ、接触面ですべる可能性はないと考えられる。このことより、コルゲート杭は、砂から礫にいたる広い範囲の粗粒土に対して、ピーク時摩擦係数  $\mu_y$  が土のせん断特性で決まる非常に表面の粗い杭になりうると推察される。

##### 4. 3 残留時の摩擦抵抗

図-3の示したように、 $\mu_r$  は  $\mu_y$  が上限値を示す  $R_n$  以上であれば、確実に一定値を示す。このことより、コルゲート杭の凸部による締固め効果がなければ、コルゲート杭と粗い杭の残留時の  $f$  は、同じになると考えられる。しかし、本実験結果では、前章②で述べたように、最終沈下量においてコルゲート杭の  $f$  が大きくなっている。したがって、コルゲート杭の残留時の  $f$  には、コルゲート部の支圧的效果も影響すると考えられる。これは、コルゲート杭の杭周のごく近傍の地盤において、コーン値が大きかったことから裏付けられる。したがって、コルゲート杭を、displacement pile型の杭として用いる時は、締固め効果による摩擦抵抗の増加が期待できる可能性がある。

##### 参考文献

- 1) 藪内・山下・上紺屋・平山 (1991) : “砂中の節杭・コルゲート杭のモデル実験”, 第26回土質工学研究発表会, pp.1351-1354
- 2) Uesugi, M. (1987) : “Friction between dry sand and construction materials”, D. Eng. Thesis, Tokyo Institute of Technology
- 3) 山肩ら (1990) : “中型単純せん断試験機を用いた砂-鋼板間の摩擦試験 (その1)”, 第25回土質工学研究発表会, pp.709-710