

Ⅲ-B2

砂地盤における杭の周面摩擦力に関する地盤力学的考察

九州大学大学院 学○澤田 繁治 F 落合 英俊

九州大学大学院 正 安福 規之 正 大野 司郎

1. はじめに

杭基礎の鉛直支持力は、標準貫入試験から得られる N 値を用いて経験的に評価され、その評価法には地盤力学的な裏付けがないのが実状である。そこで、本研究では杭の周面摩擦力を合理的に評価するために模型杭載荷試験により実験的検討を行い、地盤力学に基づく評価法について考察する。

地盤力学に基づく周面摩擦力は、杭と地盤材料の間の摩擦特性と杭周面に作用する地盤内応力によって評価される。その摩擦特性は、杭の表面粗さと応力状態によって異なり、最大摩擦力となる破壊基準は、杭と地盤の接触面での滑り破壊、或いは接触面近傍の地盤の内部破壊の二つに分類できることが明らかとなっている¹⁾。

本報では、この接触面滑り破壊に着目し、杭基礎の摩擦特性について実験的に検討した。

2. 実験概要

模型実験には気乾状態の Quiou 砂($G_s=2.697$, $e_{\max}=1.303$, $e_{\min}=0.786$, $\phi_{cv}'=39^\circ$)、豊浦砂($G_s=2.640$, $e_{\max}=0.986$, $e_{\min}=0.607$, $\phi_{cv}'=31^\circ$)の2つの試料を用いた。Quiou 砂はフランスで採取される代表的なカーボネイト砂で、破碎性に富み大きな圧縮性を持つ材料である。一方、豊浦砂は堅固な粒子で圧縮性の比較的小さな材料である。模型地盤は直径 30.5cm、高さ 40.0cm の円柱形で、多重ふるいを用いた空中落下法により密な地盤（相対密度 80%）を作製した。実験装置は図-1 のように、土かぶり圧として σ_v' 、地盤内初期水平応力として σ_h' を与え、下方から模型杭を載荷する構造になっている。模型杭は杭径 3.0cm の表面がなめらかな平坦杭（真鍮製：表面粗度 $R_{\max}=20\mu\text{m}$ ）であり、杭本体と外管からなる二重構造にすることによって周面摩擦力と先端支持力を独立に測定することを可能にしている。杭頭荷重 P 、周面摩擦抵抗荷重 Q_f (kgf)

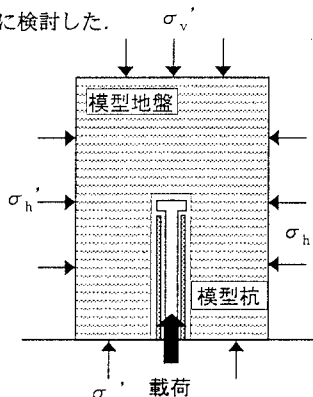


図-1 実験装置の概要図

なお、杭の載荷はひずみ制御方式（貫入速度は 0.2%/min）で沈下量が杭径に達するまで続けた。

3. 実験結果及び考察

3.1 杭の周面摩擦力と正規化沈下量の関係

図-2 は豊浦砂、Quiou 砂の同じ実験条件下（ $\sigma_h'=200\text{kPa}$ 、応力比 $K=(\sigma_h'/\sigma_v')=1.0$ 、相対密度 $Dr=80\%$ ）での代表的な杭の載荷試験結果で、杭頭荷重 P 及び周面摩擦抵抗荷重 Q_f と正規化沈下量 S/D (杭の沈下量 S 、杭径 D) の関

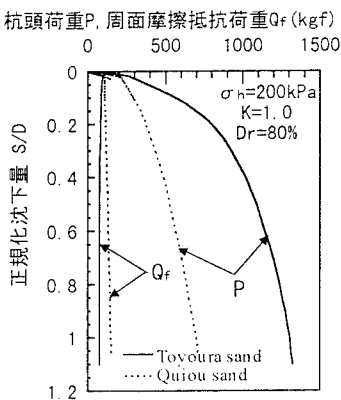


図-2 模型杭の載荷試験結果

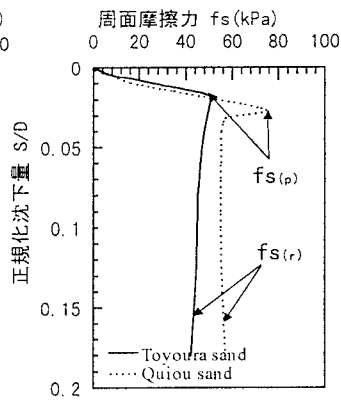


図-3 杭の周面摩擦力と沈下量の関係

係を示したものである。杭頭荷重では、豊浦砂の方が2倍程度大きいにもかかわらず、周面摩擦抵抗荷重は Quiou 砂の方が大きいことが特徴として挙げられる。図-3 は、図-2 の周面摩擦抵抗荷重を周面積で除した周面摩擦力を $S/D=0\sim 0.2$ 区分に着目して示したものである。周面摩擦力 f_s の挙動は、両試料ともある沈下レベルで明確な最大周面摩擦力 $f_{s(p)}$ を持ち、その後残留状態ともいえる周面摩擦力 $f_{s(r)}$ をもつことがわかる。

砂地盤、周面摩擦力、摩擦特性、摩擦抵抗角、模型実験

〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 TEL 092-642-3286 Fax 092-642-3285

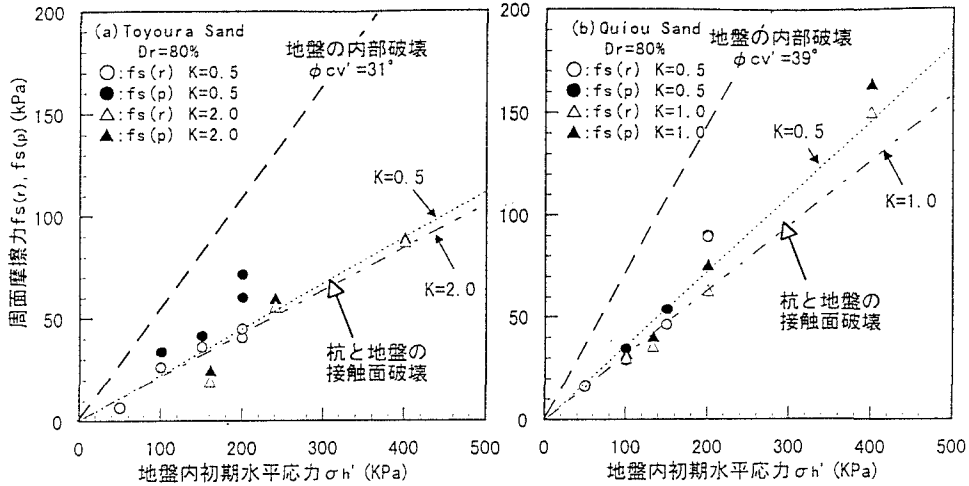


図-4 水平応力と周面摩擦力の関係

3.2 地盤内水平応力が杭の周面摩擦力に及ぼす影響 一般に粘着力を無視できる地盤では、杭の周面摩擦力 f_s は、 $f_s = \tan \phi' \cdot \sigma' \cdots (1)$ で表される。ここで ϕ' は摩擦抵抗角、 σ' は接触面上の垂直応力である。本研究では $\sigma' = \sigma_h'$ と考え、図-4 のように周面摩擦力 $f_{s(r)}$ 、 $f_{s(p)}$ を地盤内初期水平応力 σ_h' で整理した。なお、 σ_v' が f_s に影響を与えることも考えられるため、応力比 K の違いを図中には考慮した。この図より両試料とも $f_{s(r)}$ は σ_h' の増加と共に線形的に増加しており、増加の割合は内部摩擦角の大きい Quiou 砂の方が大きいことがわかる。さらに $\phi' = \phi_{cv}'$ (ϕ_{cv}' : 地盤の内部摩擦角) のラインを考慮すると、今回の滑らかな杭は地盤の接触面で摩擦抵抗が発揮されていることが推測できる。

3.3 滑らかな杭と砂地盤の摩擦抵抗角 図-5 は、杭と砂との摩擦抵抗角を ϕ_{p-s}' と定義し、図-4 より(1)式を考慮して摩擦抵抗角 ϕ_{p-s}' を求めて応力比で整理したものである。これより、任意の応力比に対して真鍮製杭と豊浦砂の摩擦抵抗角は $\phi_{p-s}' = 11^\circ$ 、Quiou 砂は $\phi_{p-s}' = 18^\circ$ で、概ね一定の摩擦係数となっており、また土かぶり圧の影響はあまりないものと考えられる。

以上のことより杭の周面摩擦力 $f_{s(r)}$ は、地盤内水平応力や杭と地盤の摩擦抵抗角 ϕ_{p-s}' を地盤力学に基づいて評価すれば、合理的に支持力を評価できることが確認できた。さらに、その摩擦抵抗角は、地盤材料によって異なることがわかった。なお、本実験において周面摩擦力の絶対量は Quiou 砂の方が大きいものとなったが、現場载荷試験では Quiou 砂のような破碎の顕著な砂地盤は周面摩擦力が小さいことが広く知られている。これは Quiou 砂のような地盤では水平応力が比較的小さいことを示唆するものと推定できる。

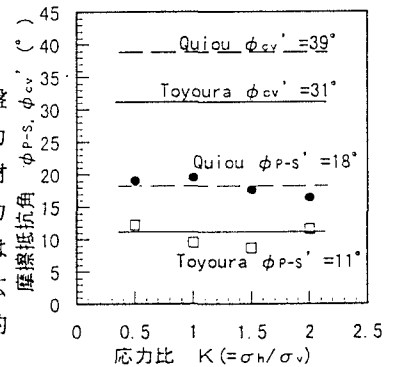


図-5 応力比と摩擦抵抗角の関係

4. まとめ

本報では接触面滑り破壊に着目し、杭基礎の摩擦特性について実験的に検討した。得られた結果をまとめると以下ようになる。(1)砂地盤に滑らかな杭を打設するとき、杭と地盤の接触面で滑り破壊が生じる。(2)そのときの周面摩擦力は杭と地盤の摩擦抵抗角と地盤内水平応力で表すことができ、残留状態時の周面摩擦力は地盤内水平応力の増加と共に線形的に増加する。(3)杭と地盤の摩擦抵抗角は、杭の材質と地盤材料によって決定される。最後に、今回は滑らかな杭における周面摩擦力の発現特性を報告したが、粗度の異なる杭と地盤の相互関係作用による摩擦特性の解明、水平応力の精度良い推定法の確立が今後の課題である。

参考文献 1) 落合英俊ら：粘土・鋼材間の摩擦特性試験の過圧密粘土への適用、九州大学工学集報、Vol.70, No.2, pp159-166, 1997