

摩擦試験による砂-杭材間の摩擦特性の検討
(その1 中型単純せん断試験機を用いた試験の結果)

正会員○加藤史彦*
同 山肩邦男**
同 小椋仁志***
同 伊藤淳志****

1. 序 筆者らは、杭の荷重-沈下量関係の解析法を研究する^{1)~3)} 一環として、地盤と杭材との摩擦抵抗や杭周地盤の変形などのメカニズムを解明するために、一連の摩擦試験を行ってきた^{4)~13)}。これまでも砂と杭材との摩擦については、Potyondy¹⁴⁾を始めとして多くの実験結果が報告されている。特に、岸田¹⁵⁾や上杉¹⁶⁾は、リングせん断試験機や小型単純せん断試験機を用いて、乾燥砂と鋼材間の精密な摩擦実験を系統的に行い、鋼材近傍の砂粒の移動状況などミクロな現象を含む多くの基礎的な摩擦特性を明らかにしている。

これらの研究に対して筆者らは、実際の杭や地盤に近い状況を再現するという観点から、基本的な実験精度は確保しつつも、ミクロな現象よりもマクロな摩擦特性を調べることに主眼を置いて実験を行った。このため、試験機はより大型のものをを用い、実際の杭周の状態と対応させるために、定圧条件だけでなく定体積条件も、また乾燥砂のみならず湿潤砂をも実験の対象とした。本論文は、中型単純せん断試験機を用いて行ったこれら一連の摩擦試験^{4)~13)}の結果をまとめたものである。

2. 実験概要 **摩擦試験機** 図1のように、厚さ20mmの鋼製フレームを、約5mmのすき間をあけながら6段重ねたものがある。この試験機は、①既往のものより大型(初期状態で300×200×150mm)であること、②砂が側方のガイドにより巨視的に見て一様な単純変形をすること、③砂の体積変化をフレーム間のすき間で調節できること、④砂のせん断変形量 S_d と砂と杭材間のすべり変位量 S_s とを分離できる(S_d+S_s =全変位量 S_t)こと、などが特徴である。

実験条件 表1のように、杭材の種類、拘束条件、載荷方式および砂の含水比を変化させた。拘束条件は、実際の杭周が定圧条件と定体積条件との間の状態にあることを考慮している。繰り返し載荷は、筆者らの多サイクル方式の載荷試験の荷重-沈下量関係の解析法³⁾に対応している。試料として、粒径 $75\mu\text{m} \sim 1.2\text{mm}$ (平均粒径約 0.5mm)の淀川砂を用いた。この砂を、乾燥砂のみの試験ではサンドレイトンによって、湿潤砂を含めた試験ではタピックによって詰めた。30分間圧密した後、変位速度を $1\text{mm}/\text{min}$ として加力した。

パラメータ 各々の実験では、砂の相対密度($D_r=60, 80, 100\%$:公称値)、表面粗さ(鋼板の場合は最大高さ R_{max} (基準長さ 8mm)で評価し、 $R_{max}=5 \sim 10, 20 \sim 30, 50 \sim 60, 100 \sim 110, 180, >400\mu\text{m}$ のうちから選んだ。)、および初期垂直圧($\sigma_{no}=1, 2, 3, 4\text{kgf}/\text{cm}^2$:公称値)をパラメータとした。なお、既製杭は実測値からみて $20 \sim 30\mu\text{m}$ の R_{max} 、場所打ち杭は $100\mu\text{m}$ 以上の R_{max} に、おおむね対応している。

3. 実験結果のまとめ これまでの実験で見られた摩擦特性をまとめると、以下ようになる。

定圧条件と定体積条件 ①摩擦抵抗 τ - S_t 曲線は、定圧条件と定体

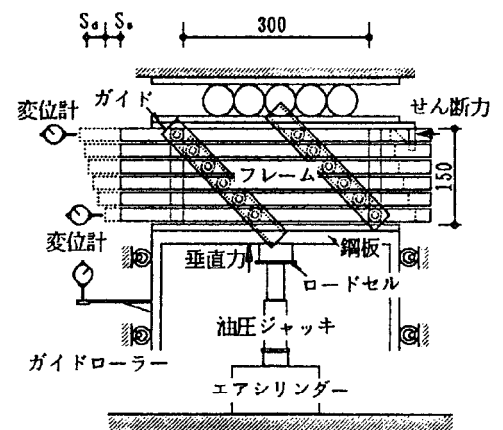


図1 実験装置 (単位:mm)

表1 試験条件

試験の種類	拘束条件	載荷方式	含水比	試験数	文献
単純せん断	定圧	単調	0%	24	4)
単純せん断	定体積	単調	0%	6	8)
砂-鋼板	定圧	単調	0%	24	5)
砂-鋼板	定圧	単調	0%	45	6), 7)
砂-鋼板	定体積	単調	0%	36	8), 9)
砂-鋼板	定圧	繰返し	0%	10	10)
砂-鋼板	定体積	繰返し	0%	9	12)
砂-鋼板	定圧	単調	0.3, 6%	29	11)
砂-鋼板	定体積	単調	0.3, 6%	23	13)

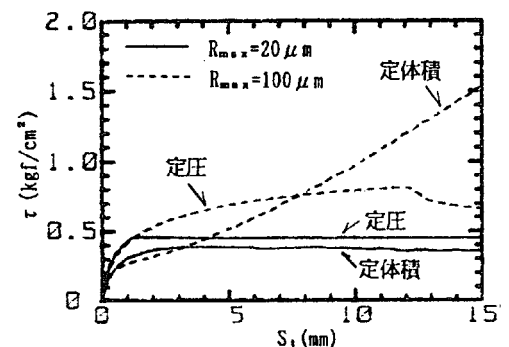


図2 定圧条件と定体積条件の比較
[$D_r=80\%$, $\sigma_{no}=1.0\text{kgf}/\text{cm}^2$, $w=0\%$]

積条件では大きく異なる。図2のように、 $R_{max}=20\mu m$ では一貫して定圧>定体積となり、 $R_{max}=100\mu m$ では、定圧>定体積から定圧<定体積に変化する⁹⁾。②ただし、せん断応力比 τ/σ_n の形で整理すると、両条件下での摩擦特性はほとんど変わらない⁸⁾。

③定圧条件での τ/σ_n-S_d 関係には、 R_{max} が大きい場合、顕著なピークが見られる。これは試料の体積膨張による仕事のためであり、エネルギー補正を行うと、定体積条件とほぼ等しい τ/σ_n-S_d 関係となる⁹⁾。

砂の変形とすべり変位 ④ τ がピーク値 τ_i に達するまでは、図3のように、 S_d が S_t の大部分を占める。 τ_i に達したあとは S_d は増加しなくなり、 S_t が増大する^{6)~8)}。⑤ σ_{no} や D_r が同じ場合、 τ が τ_i に達するまでの τ/σ_n-S_d 曲線は、 R_{max} が異なっても等しくなる(図4参照)。 τ が τ_i に達した後は、 R_{max} が小さい順に、この曲線から離脱する^{6)~8)}。⑥ τ/σ_n-S_d 関係は、双曲線関数で表され、その初期勾配は、 D_r が大きいほど大きい⁶⁾。⑦ τ/σ_n-S_t 関係は、 R_{max} が小さい程、剛塑性的となる^{6)~8)}。

摩擦係数 ⑧杭材の表面が粗くなると、 τ_i が大きくなる^{6)~13)}。⑨ τ_i/σ_n を摩擦係数 μ とすると、 $\log \mu - \log R_{max}$ 関係は、 $R_{max} < 100\mu m$ の範囲において、ほぼ直線状になる^{7) 9) 11) 12)}(図5参照)。⑩ μ の値は、 D_r が大きくなるほど増大し、また、定圧の方が定体積より大きくなっている^{7) 9) 11) 12)}。⑪ $R_{max} > 100\mu m$ では、 μ の値は R_{max} よりも D_r の影響が大きい。特に定圧条件の場合に顕著である^{7) 9)}。

繰返し加力の影響 ⑫ τ/σ_n-S_t 関係の骨格曲線は単調加力の場合とほぼ同じ曲線となり、①~⑪と同様の現象が見られる^{10) 12)}。⑬定体積条件での $\tau-S_t$ 関係の骨格曲線は、単調加力の場合より大きくなる¹²⁾。

含水比の影響 ⑭湿潤砂の τ_i の値や $\tau-S_d$ 関係の初期勾配は、乾燥砂よりも大きくなる^{11) 13)}。⑮湿潤砂では $R_{max} \leq 20\mu m$ の場合、付着-すべり現象が見られる^{11) 13)}。⑯①~⑪の現象は、湿潤砂の場合でも乾燥砂と同様に見られる^{11) 13)}。

以上のうち、②③⑧は岸田¹⁵⁾が、④⑤⑦⑧⑪⑫は上杉¹⁶⁾が既に指摘したことである。今回、より大きな装置を用いることによって、同様の現象を確認することができた。また、①⑥⑨⑩⑬⑭⑮⑯は今回の実験によって、指摘できた現象である。

謝辞 本試験機の製作に当たって、ご指導を頂いた大阪市立大学の高田直俊教授と、ご助言を頂いた千葉大学の上杉守道助教授に、謝意を表します。また、数多くの試験にご協力を頂いた関西大学山肩研究室の小森崇氏をはじめとする大学院生や卒業研究生(当時)に、厚く御礼申し上げます。

参考文献 同名論文(その2)参照

*^(株)鴻池組技術研究所・工修 **関西大学教授・工博 ***^(株)ジオトップ・工博 ****関西大学専任講師・工博

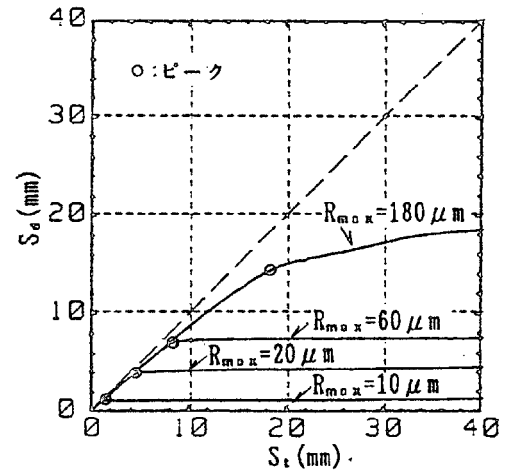


図3 S_d-S_t 関係の一例
[$D_r=80\%$, $\sigma_{no}=1.0\text{kgf/cm}^2$, $w=0\%$]

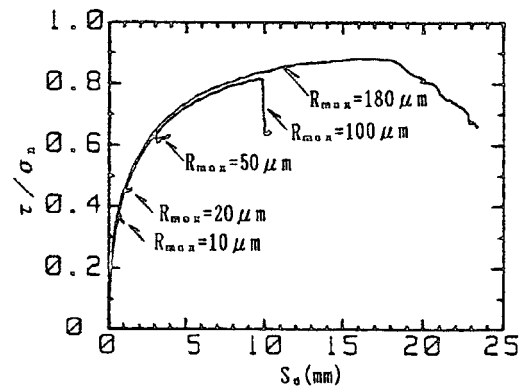


図4 $\tau-S_d$ 関係の一例
[$D_r=80\%$, $\sigma_{no}=1.0\text{kgf/cm}^2$, $w=0\%$]

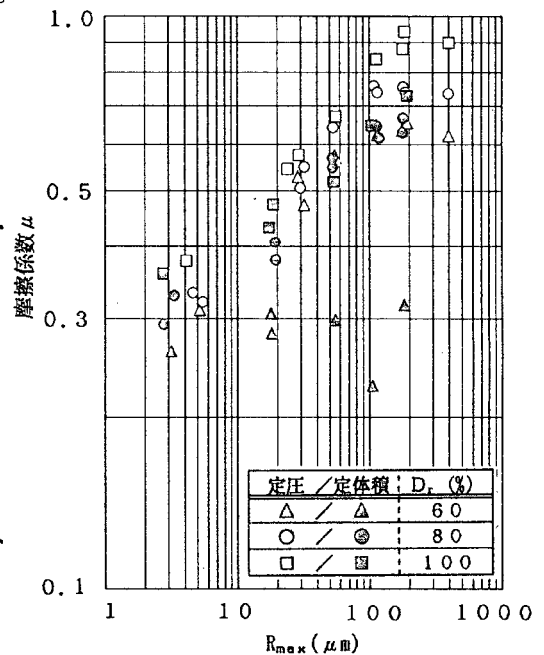


図5 $\log \mu - R_{max}$ 関係