

260

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 砂の密度と表面粗さの影響)

関西大学工学部 正会員 山肩邦男 伊藤淳志
(株)武智工務所 正会員 小椋仁志
関西大学大学院 学生会員 加藤史彦

1. はじめに 筆者らは、杭が鉛直荷重を受けた場合の杭周面摩擦抵抗および周辺地盤の変形機構を解明するため、砂の単純せん断試験¹⁾および砂～モルタル板間の摩擦試験²⁾を行ってきた。今回は同様の目的に沿って、砂～鋼板間の摩擦試験を実施し、以上の各機構に影響を及ぼす要因を検討することとした。本報告では、実験の結果について述べ、砂の密度および鋼板の表面粗さが、摩擦応力～変位特性に及ぼす影響について報告する。

2. 実験概要 試験機は文献²⁾で用いたものと同じであって、図1に示すごとくである。ただし、摩擦板に鋼板を採用している点が異なっている。せん断箱は、内法300×200mm、厚さ20mmの鋼製フレームを6段積重ねて構成される。供試体作製時には、各フレーム間に厚さ5mmのスペーサーを仮設し、高さ約150mmとなる。

表1 摩擦面表面粗さ

最大高さ Rmax(μm) 基準長さL=8mm	
実測値平均	呼称値
5.0	5
28.5	30
55.7	60
113.0	110
182.5	180
>400	>400

スペーサーは供試体作製後に取除かれ、拘束圧荷時およびせん断中の圧縮量に対処させる。せん断箱の内周面には、あらかじめグリスを塗布したうえ、ビニールシートを付着させてあり、すきまからの砂漏れを防いでいる。

摩擦板は、400×240mm、厚さ10mmの鋼板(SS41)である。摩擦面は、せん断方向に対して

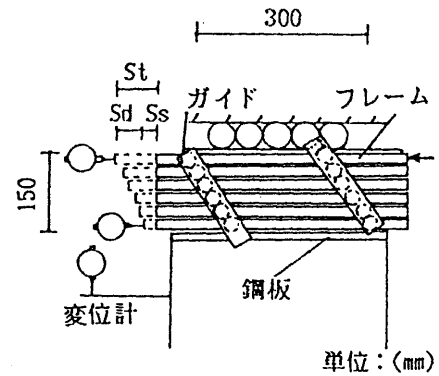


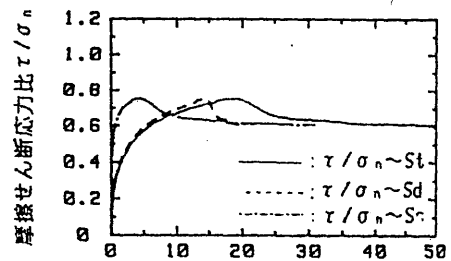
図1 実験装置

垂直にけがきを入れて細かい溝状に加工したものと旋盤仕上げの後サンドペーパーで平滑に加工したものの2種がある。結果として、摩擦面の表面粗さは表1に示す6種類とした。Rmaxは基準長さL=8mm間における最大高さを示す。ただし、Rmax>400μmのものは表面粗さ測定器による測定が不可能であるため、推定値によった。なお本報告では以下呼称Rmaxを採用しておく。

表2 淀川砂諸元

比重 Gs	最大間隙比 e _{max}	最小間隙比 e _{min}	平均粒径 D ₅₀ (mm)	有効径 D ₁₀ (mm)	均等係数 U _c
2.64	1.018	0.606	0.45	0.21	2.48

試料砂は、気乾状態の淀川砂(粒径:74μm~1.2mm)であって、その諸元を表2に示す。供試体は多重フルイ付きサンドレイナーを用いて作製し、相対密度D_rが約60, 80および100%となるようにした。拘束圧σ_nとしては、供試体に先行してかかる荷重0.074kgf/cm²のほか、1.0, 2.0, 3.0および4.0kgf/cm²の4通りを加えた。以上のRmax, D_rおよびσ_nの組合せによって45種類の試験を行った。試験に際しては、試料砂に設定拘束圧を15分間加えた後、定圧せん断方式(変位速度毎分1mm)によって実験を行った。



3. 実験結果 以下、実験結果として得られた主要な特性について報告する。まず、摩擦せん断応力比τ/σ_n～変位量S(全変位量St, せん断変形量Sd, すべり変位量Ss)関係および垂直ひずみε_a～S関係の一例(D_r=80%, σ_n=1.074kgf/cm², Rmax=180μm)を図2に示す。同図より、以下のことがわかる。i) τ/σ_nがピーク値τ_i/σ_nに至るまで、Stの大部分をSdが占める。ii) τ_i/σ_nに至った後は、SsがStを支配している。iii) τ_i/σ_nでの各変位は、ε_a～S関係におけるε_aの変化がほぼみられなくなる点と対応している。

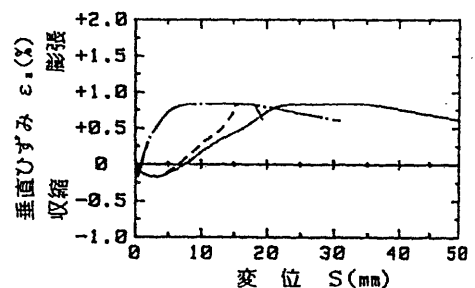
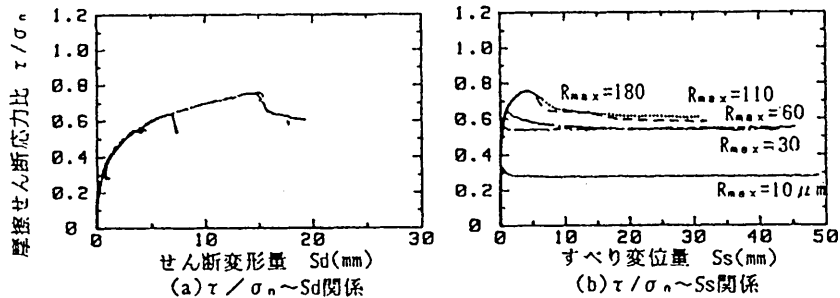


図2 τ/σ_n・ε_a～S関係
(D_r=80%, σ_n=1.074kgf/cm², Rmax=180μm)

Frictional Test between Sand and Steel on Simple Shear Apparatus

K.Yamagata, A.Ito, F.Kato(Kansai Univ.) and H.Ogura(Takechi Engineering, Co., Ltd.)

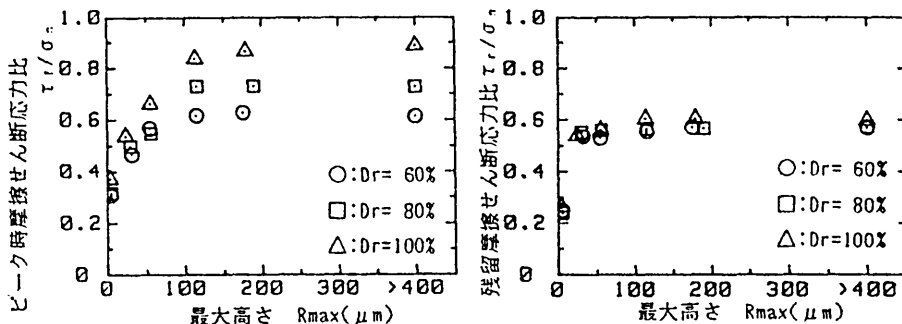
iv) iii)の後、 ε_n はわずかに減少しているが、これは S_s の増加によるものであって、供試体下部後方よりの砂漏れが原因していると考えられる。図3において、 R_{max} の違いによる比較を行う。 $D_r=80\%$ 、 $\sigma_n=1.074\text{kgf/cm}^2$ の場合の $\tau/\sigma_n \sim S_d$ および S_s 曲線を



一例として示す。同図より次のことがわかる。i) R_{max} の違いにかかわらず、 τ/σ_n の発生以前の曲線は一致する。 τ/σ_n の発生後は、 R_{max} に応じてそれぞれ離脱する。ii) R_{max} が大きくなる程、 τ/σ_n は大きくなる。iii) $R_{max}=110\mu\text{m}$ および $180\mu\text{m}$ の場合には、 τ/σ_n の値は同程度となる。iv) R_{max} が小さい場合、 S_d の増加は τ/σ_n の発生後にほとんど停止する。

表3 淀川砂～鋼板間の摩擦角 δ

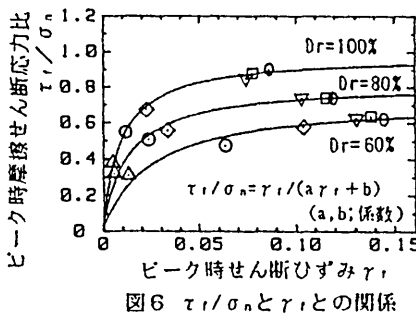
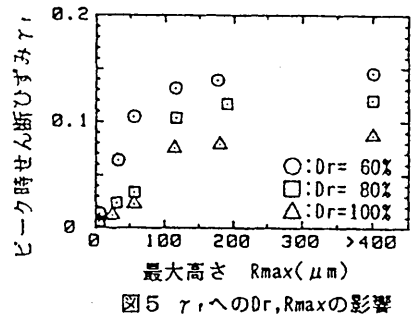
最大高さ R_{max} (μm)	相対密度 D_r (%)	摩擦角 δ ($^\circ$)
5	00	21.0
	60	26.6
30	80	26.9
	100	28.6
60	80	29.8
	110	36.4
180	60	31.6
	80	35.4
	100	39.8



τ と σ_n の関係を、原点を通る近似直線であらわし、その摩擦角 δ を表3に示した。 $R_{max} < 110\mu\text{m}$ の場合、 R_{max} および D_r が大きい程 δ は大きくなること、 $D_r=80\%$ の $R_{max} \geq 110\mu\text{m}$ においては、 δ の値に変化がないことなどがわかる。図4に τ/σ_n および残留値 τ_r/σ_n と R_{max} との関係を、 $\sigma_n=2.074\text{kgf/cm}^2$ のもとで示した。同図より以下のことが指摘される。

i) $R_{max} \leq 110\mu\text{m}$ において、 τ/σ_n は急激に増加するが、 $R_{max} > 110\mu\text{m}$ ではほぼ一定値となる。ii) D_r が大きい程 τ/σ_n は大きくなり、この傾向は R_{max} が大きい時により顕著である。iii) τ_r/σ_n は $R_{max} \geq 30\mu\text{m}$ の場合にはほぼ一定値となり、およそ0.5~0.6を示している。iv) D_r の相違による τ_r/σ_n の差は、 $\tau/\sigma_n \sim R_{max}$ 関係に比較して小さい。

図5に、 τ/σ_n 時のせん断ひずみ γ と R_{max} との関係を示した。これより γ は、 R_{max} が増大すると一定値まで増加し、その後の増加は見られなくなる。 D_r の影響が R_{max} 全般にわたって見られ、 D_r が大きい程、 γ も大きくなる。図6に、 $\sigma_n=2.074\text{kgf/cm}^2$ の場合の $\tau/\sigma_n \sim \gamma$ 関係を示す。図中の実線は双曲線関数を用いて近似したものである。曲線の初期勾配は、 D_r が大きい程急勾配となっているが、係数の持つ意味合については、今後の検討に待ちたい。



4. まとめ 以上より、砂～鋼板間の摩擦試験における D_r と R_{max} の影響について、以下のことがわかった。

- ① D_r および σ_n が同じ場合、 $\tau/\sigma_n \sim S$ 曲線は、初期立ち上がり一致し摩擦面の粗度でピーク値が決まる。
- ② D_r が大きくなる程、 τ/σ_n の値は大きくなり、その傾向は R_{max} が大きい程顕著である。
- ③ τ/σ_n は、 $R_{max} < 110\mu\text{m}$ の場合 R_{max} の増加に伴って大きくなり、 $R_{max} \geq 110\mu\text{m}$ の場合には一定値となる。
- ④ τ_r/σ_n は、 $R_{max}=5\mu\text{m}$ の場合約0.3、 $R_{max} \geq 30\mu\text{m}$ の場合ほぼ一定値となり約0.6であった。

本実験の実施にあたり、関西大学卒業研究生である相田和也君、小森 崇君、田中勝志君に多大な御協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】1) 山岡, 小椋, 伊藤, 山田, 加藤: 中型単純せん断試験機における砂の強度・変形特性, 第24回土質工学研究会, 1989 2) 山岡, 小椋, 伊藤, 加藤: 中型単純せん断試験機を用いた砂-モルタル板間の摩擦試験, 日本地質学会大会, 1989