

砂～鋼板間の摩擦せん断試験結果に関する一検討

正会員 山肩邦男<sup>1</sup> 同 小椋仁志<sup>2</sup>  
同 伊藤淳志<sup>3</sup> 同 ○加藤史彦<sup>4</sup>

1. はじめに 筆者らは、鉛直荷重を受ける杭の沈下性状を評価する目的で、中型の単純せん断試験機を用いた砂の単純せん断試験<sup>1)</sup>および砂～モルタル板間の摩擦せん断試験<sup>2)</sup>を実施してきた。昨年度その一環として、砂～鋼板間の摩擦せん断試験を実施し、文献<sup>3)</sup>にその結果を報告した。本報では同試験結果と文献<sup>1)・2)</sup>との比較および本試験での摩擦せん断応力のピーク点に関する検討結果を報告する。

2. 実験概要 図1に示す実験装置は文献<sup>2)</sup>と同形式であり、摩擦材を鋼板とした点異なる。せん断箱は文献<sup>1)・3)</sup>共通であり、内法300×200mm、厚さ20mmの鋼製フレームを6段重ねている。供試体作製時には、厚さ5mmのスペーサーを各フレーム間に仮設するので、供試体高さは約150mmとなる。なお、文献<sup>1)</sup>の単純せん断試験では最下段のフレームを加圧板に固定しており、文献<sup>2)</sup>の摩擦せん断試験では摩擦材としてモルタル板を使用した。

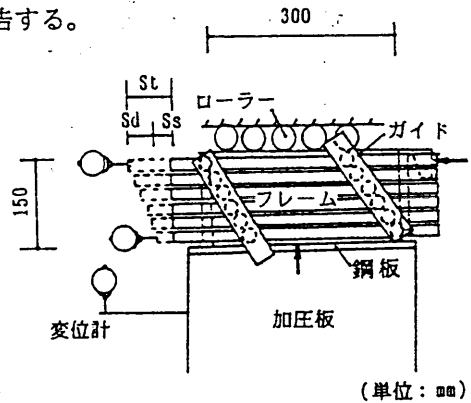


図1 実験装置

鋼板の表面粗さは最大高さ  $R_{max}$  (基準長さ  $L = 8 \text{ mm}$ ) で定義した。 $R_{max}$  は約 5, 30, 60, 110, 180 および  $>400 \mu\text{m}$  の6種類となるように製作したが、実際の  $R_{max}$  は最大で7%程度の差が生じている。

試料砂は気乾状態の淀川砂 (粒径:  $74 \mu\text{m} \sim 1.2 \text{ mm}$ ) であって、文献<sup>1)・2)</sup>の場合と併せて、その諸元を表1に示す。供試体は多重フルイ付きサンドレイナーによって作製し、加圧後の相対密度  $D_r$  が約60, 80および100%となるようにした。拘束圧  $\sigma_n$  は1.0, 2.0, 3.0および4.0  $\text{kgf/cm}^2$  の4通りを設定した。ただし、供試体にはローラーなどの自重のため0.074  $\text{kgf/cm}^2$  がさらに加わっている。これらの  $R_{max}$ ,  $D_r$  および  $\sigma_n$  を組み合わせて45種類の試験を行った。試験は、試料砂をセットし、設定拘束圧を15分間加えた後、拘束圧一定状態で、変位速度を毎分1mmとして行った。

表1 淀川砂諸元

	本実験	文献 <sup>1)・2)</sup>
土粒子比重 $G_s$	2.64	2.64
最大空隙比 $e_{max}$	1.018	1.034
最小空隙比 $e_{min}$	0.606	0.610
平均粒径 $D_{50}(\text{mm})$	0.45	0.43
均等係数 $U_c$	2.48	2.54

3. 単純せん断試験と摩擦せん断試験との比較

図2と図3は、 $\sigma_n = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $D_r$  が60%と100%の場合の応力  $\tau$  ~ せん断変形量  $S_d$  関係と垂直ひずみ  $\epsilon_v$  ~  $S_d$  関係である。図中の○印は応力のピーク値  $\tau_p$  が発生する点を示す。文献<sup>1)</sup>の単純せん断試験結果を併記したが、 $D_r = 60\%$  の場合、明確なピークが見られないため、 $S_d = 25 \text{ mm}$  での値を採用した。これらの図から次のことがわかる。摩擦せん断試験において、①ピーク後では  $S_d$  はほと

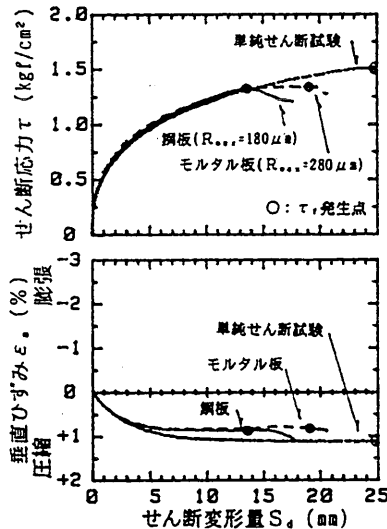


図2 単純せん断試験との比較 ( $D_r = 60\%$ ,  $\sigma_n = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ )

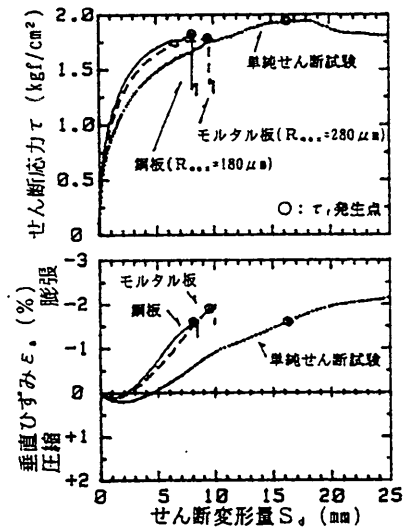


図3 単純せん断試験との比較 ( $D_r = 100\%$ ,  $\sigma_n = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ )

んど増加しない。②ピーク以前の関係は摩擦材の種類によらずほぼ一致している。つぎに、単純せん断試験と摩擦せん断試験を比較すると、③ $\tau_r$ は単純せん断試験>摩擦せん断試験となる。④ $D_r=60\%$ の場合、両者の曲線はほぼ一致しているが、 $D_r=100\%$ ではピーク以前において摩擦せん断試験>単純せん断試験となる。⑤ $\varepsilon_r \sim S_{s,r}$ 関係では、摩擦せん断試験が単純せん断試験よりも膨張側になっている。

#### 4. ピーク点に関する考察

図4にピーク時摩擦せん断応力比 $\tau_r/\sigma_n$ とピーク時せん断ひずみ $\gamma_r$ の関係を、図5に $\tau_r/\sigma_n$ とピーク時すべり変位量 $S_{s,r}$ の関係をそれぞれ示した。ただし、 $S_{s,r}$ は最下段フレーム下面と摩擦面との間の約4mmの砂層に上部の砂層と同じ $\gamma_r$ が生じているとして補正している。図中の実線

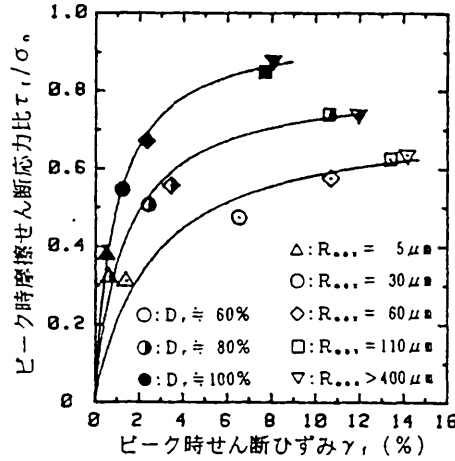


図4  $\tau_r/\sigma_n \sim \gamma_r$  関係 ( $\sigma_n = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ )

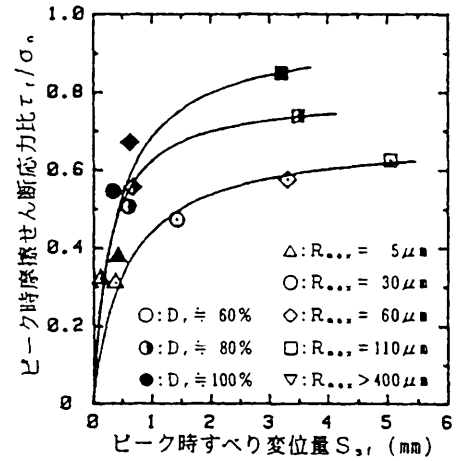


図5  $\tau_r/\sigma_n \sim S_{s,r}$  関係 ( $\sigma_n = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ )

は、それぞれの  $D_r$  ごとに双曲線関数によって近似したものである。図4において、 $\gamma_r$ は、約15% ( $S_{s,r} \approx 22 \text{ mm}$ )以下の範囲で変化すること、 $R_{max}$ が大きい程また $D_r$ が小さい程大きくなることなどがわかる。なお、ピークまでの $\tau/\sigma_n \sim \gamma$ 関係は $R_{max}$ にかかわらず一致すること<sup>3)</sup>から、各近似曲線は $\tau/\sigma_n \sim \gamma$ 関係を表わすと見てよい。図5では、ピーク発生時に $S_{s,r}$ は0とならないことがわかる。固体間の摩擦挙動では $S_{s,r}$ は0と考えられるが、砂のような粒状体の摩擦挙動では、わずかなすべり変位量を生じている。この $S_{s,r}$ の値は微小 ( $S_{s,r} < 5 \text{ mm}$ )であるが、おおむね $\gamma_r$ の場合と同様の傾向にある。

つぎに、 $\sigma_n = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ での $\tau_r/\sigma_n$ と $R_{max}$ の関係を、両対数軸上にプロットし図6に示す。 $R_{max} \leq 110 \mu\text{m}$ の範囲において、 $R_{max}$ が大きくなると $\tau_r/\sigma_n$ は増加するが、 $R_{max} > 110 \mu\text{m}$ の範囲では一定の値となる。また、 $R_{max} \leq 110 \mu\text{m}$ の範囲では $D_r = 60\%$ と80%はほぼ等しいものの、大局的にみて $D_r$ が大きい程 $\tau_r/\sigma_n$ は増加している。これらより、 $R_{max} \leq 110 \mu\text{m}$ の範囲では $\tau_r/\sigma_n$ は $R_{max}$ および $D_r$ の影響を受ける。そこで、 $D_r$ および $R_{max}$ を説明変数として重回帰分析を行い、次式を得た。

$$\tau_r/\sigma_n = \text{EXP}(0.378 \cdot \ln D_r + 0.250 \cdot \ln R_{max} - 3.17)$$

( $\sigma_n = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ , 相関係数:  $R = 0.984$ )

$R_{max} > 110 \mu\text{m}$ では、摩擦面近くの砂層ですべりが生じていると考えられるため、 $\tau_r/\sigma_n$ に対する $R_{max}$ の影響がなくなり、 $D_r$ の影響を顕著に受ける。

謝辞 本実験の実施にあたって、関西大学卒業研究生 相田和也君、小森 崇君、田中勝志君に多大な御協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

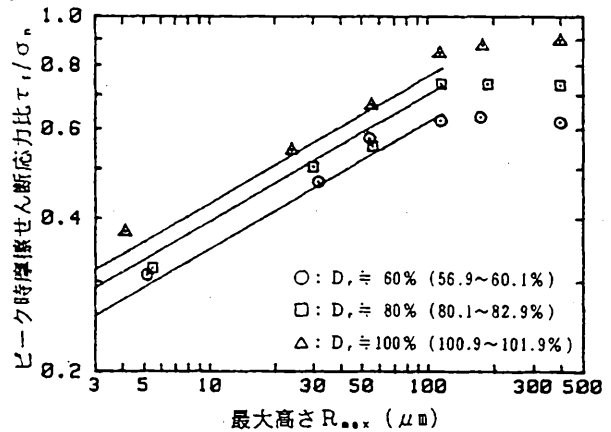


図6  $\tau_r/\sigma_n \sim R_{max}$  関係 ( $\sigma_n = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ )

【参考文献】 1) 山肩・伊藤・小椋・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回土質工学研究発表会，1989.6 2) 山肩・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，日本建築学会大会学術講演講演概要集，1989.10 3) 山肩・伊藤・小椋・加藤：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），第25回土質工学研究発表会，1990.6

<sup>1</sup> 関西大学教授・工博 <sup>2</sup> (株) 武智工務所・工博 <sup>3</sup> 関西大学助手・工修 <sup>4</sup> (株) 鴻池組技術研究所・工修