

大変形を受けた砂のリングせん断挙動

山口大学大学院 学 ○甲斐康広

山口大学大学院 正 鈴木素之 山本哲朗

1. はじめに 新潟県中越地震では砂質土斜面で地すべりが多発したが、地震時における砂質土斜面での強度特性の解明はほとんどなされていない。大変形を受けた砂質土のせん断強さの解明は地震時または地震後の斜面安定性を評価する上で重要である。本研究では、砂質土の定常状態のせん断強さに及ぼす影響因子を解明するため、リングせん断試験により様々な条件での砂質土のせん断特性の検討を行った。検討項目としてはリングの隙間、供試体の相対密度、垂直応力、せん断速度である。本文ではその検討結果について述べる。

2. 圧密定圧定速リングせん断試験 用いた試料は宇部まさ土($\rho_s=2.583 \text{ g/cm}^3$, 最大粒径 $D_{max}=0.85 \text{ mm}$, 平均粒径 $D_{50}=0.220 \text{ mm}$, 砂含有量 $F_{sand}=68.2 \%$, 粘土含有量 $F_{clay}=13.5 \%$)および豊浦砂($\rho_s=2.639 \text{ g/cm}^3$, $D_{max}=0.85 \text{ mm}$, $D_{50}=0.150 \text{ mm}$, $F_{sand}=89.8 \%$, $F_{clay}=5.6 \%$)である。これは破碎性の有無の観点から選んだ試料であり、

間隙水圧の影響を除くために乾燥試料を使用した。供試体寸法は内径 6 cm, 外径 10 cm, 高さ 2 cm の環状である。圧密過程において所定の圧密応力 σ_c で一次元圧密しており、乾燥砂では即時沈下が生じて圧縮が終了するため、載荷時間は一律 60 min に設定した。圧密後、上・下部リングの隙間 d , せん断変位速度 $\dot{\delta}$ を設定後、直ちにせん断試験を実施した。

3. 様々な条件下におけるせん断特性の検討

図-1(a), (b)に垂直応力 $\sigma_N=98\sim 294 \text{ kPa}$ での宇部まさ土および豊浦砂のせん断挙動を示す。 (a)宇部まさ土では、ピーク以降の応力比 $\tau/\sigma_N \sim$ せん断変位 δ 関係に σ_N の影響が見られる。(b)豊浦砂では、 σ_N の影響はみられない。また、宇部まさ土に比べ、豊浦砂はピーク時の応力比から定常状態における応力比への強度低下が大きい。

a) 上下部リングの隙間の影響

図-2 に d が異なる場合のピークおよび定常状態強度線を示す。上・下部リングの隙間 d の影響を検討するため、図-3 に d を平

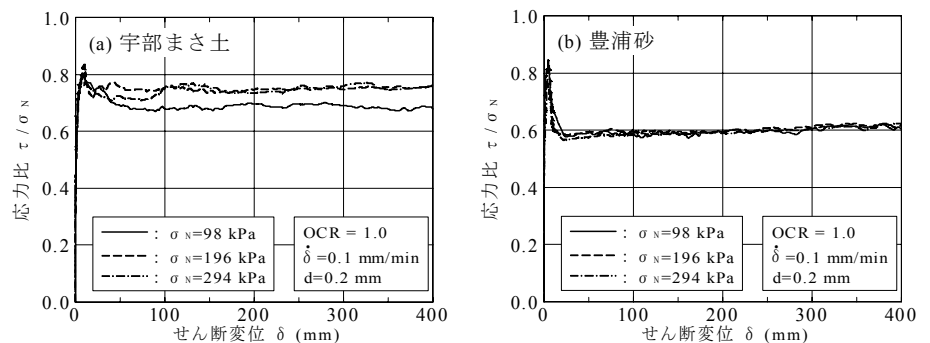


図-1 宇部まさ土、豊浦砂のリングせん断挙動

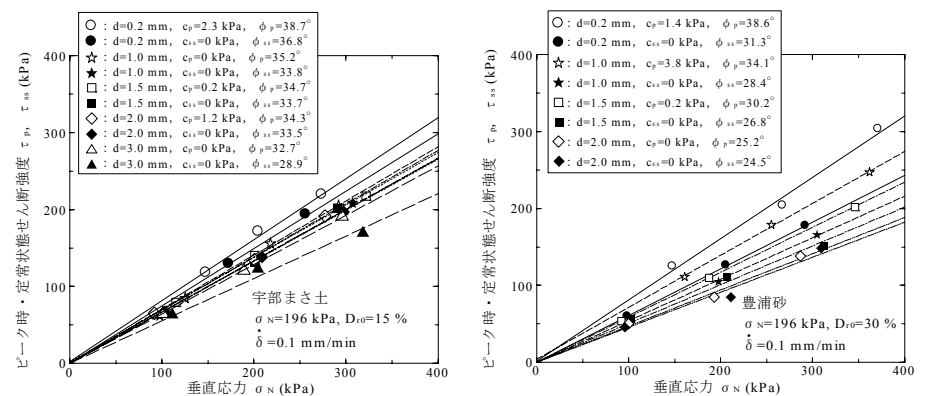


図-2 隙間によるピーク強度線および定常状態強度線の違いの比較

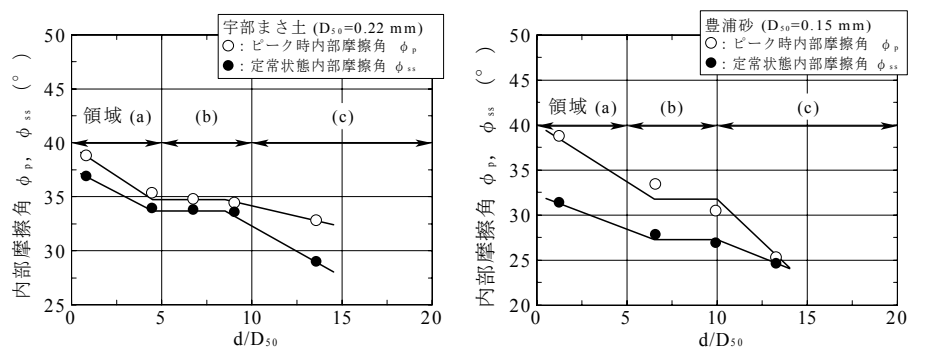


図-3 d/D_{50} と内部摩擦角の関係

均粒径 D_{50} で正規化した d/D_{50} とピーク時および定常状態の内部摩擦角 ϕ_p , ϕ_{ss} の関係を示す。宇部まさ土、豊浦砂ともに d/D_{50} が 5~10 の範囲において ϕ_p , ϕ_{ss} は安定している。試料の種類、破碎性の有無によらず d と D_{50} の比が 5~10 の範囲で d が ϕ に与える影響は小さいものと考えられる。以上より、リングせん断試験において宇部まさ土では $d=1.5$ mm, 豊浦砂では $d=1.0$ mm が強度に影響を与えない隙間（最適隙間とする） d_{opt} である。

b) 相対密度の影響 供試体の初期相対密度 D_{r0} が強度定数にどのような影響を及ぼすかを検討するため、図-4 に D_{r0} と ϕ_p , ϕ_{ss} との関係を示す。宇部まさ土、豊浦砂ともに同様の傾向がみられ、 ϕ_p は D_{r0} の増加に伴い若干増加し、 ϕ_{ss} は D_{r0} の影響はあまりみられない。

c) 垂直応力レベルの影響 破碎性土の場合、試験時の垂直応力の大小により試料の破碎性の影響の現れ方が異なると考えられるため、 $\sigma_N=98\sim588$ kPa の範囲で変化したリングせん断試験結果をもとに、その影響を検討する。図-5 にはそれぞれ宇部まさ土、豊浦砂における、(a) $\sigma_N=98\sim294$ kPa, (b) $\sigma_N=392\sim588$ kPa の範囲で強度線を引いたものを示し、垂直応力レベルが

強度定数に与える影響を検討した。両試料において、垂直応力を高くすることにより、内部摩擦角に若干の増加がみられるが、大幅な値の変化はないことから、垂直応力による強度定数への影響は小さいといえる。

d) せん断速度の影響 せん断速度 $\dot{\delta}$ が強度定数に及ぼす影響を検討するため、豊浦砂において複数個の供試体を用いて $\dot{\delta}$ を 0.1~20 mm/min の範囲で変化した圧密定圧定速リングせん断試験を実施した。(a) 緩詰め ($D_{r0}=32.5\sim36.9\%$) と (b) 密詰め ($D_{r0}=92.6\sim94.5\%$) の 2 ケースで行った。試験結果を図-6 に示す。(a) 緩詰めの場合、 $\dot{\delta}$ の増加に伴いピーク時の応力比 $(\tau/\sigma_N)_p$ が減少する傾向がみられる。また、定常状態における応力比 $(\tau/\sigma_N)_{ss}$ は $\dot{\delta}$ の増加に対してほぼ一定となる結果が得られた。一方、(b) 密詰めの場合、緩詰め同様、 $\dot{\delta}$ の増加に伴い $(\tau/\sigma_N)_p$ が減少する傾向がみられる。また、 $(\tau/\sigma_N)_{ss}$ においても $(\tau/\sigma_N)_p$ と同様に、多少データにはばつきはあるものの、 $\dot{\delta}$ の増加に伴い減少するような傾向がみられた。

4. まとめ 本研究で得られた知見を以下に記す。①隙間と平均粒径の比が 5~10 の範囲であるとき、ピーク時および定常状態の強度定数に現れる隙間の影響は小さくなる。②相対密度を高くすると、宇部まさ土、豊浦砂ともにピーク強度は若干の増加傾向を示すが、定常状態強度はほとんど変化しない。③垂直応力を大きくすると、強度定数は若干増加するが、その影響は小さい。④緩詰め乾燥砂の場合、せん断速度を大きくすると、ピーク時応力比は低下し、定常状態の応力比はほとんど一定であった。密詰めの場合、ピーク時応力比の低下はより一層顕著になり、定常状態の応力比も若干低下する。相対密度が高いほうが、低いものよりもピーク強度は高く、ピーク強度から定常状態強度への強度低下は大きい。

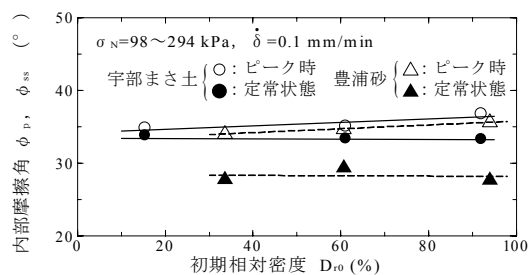


図-4 初期相対密度の影響

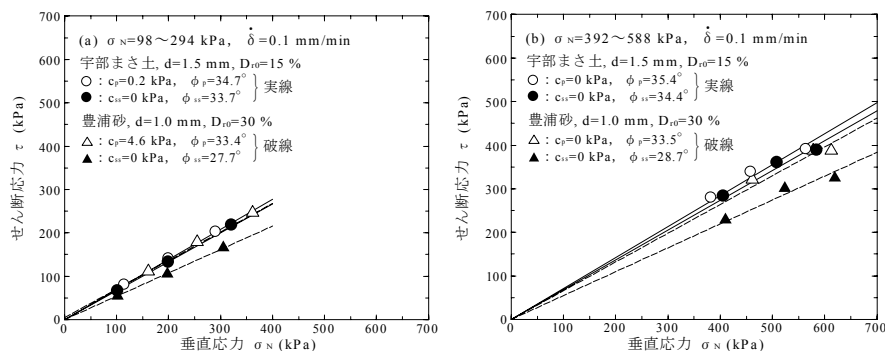


図-5 垂直応力の影響

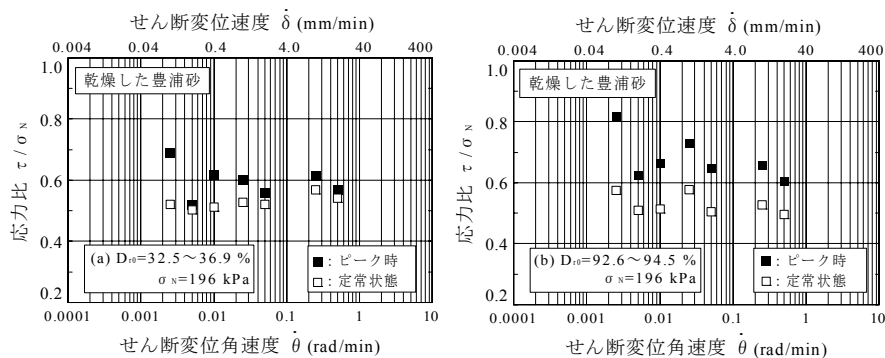


図-6 豊浦砂のピーク時、定常状態応力比とせん断変位速度の関係