

急速載荷条件下での粘土と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 新潟県中越地震における地すべりは粘性土斜面より砂質土斜面に多く発生したとの報告があり¹⁾、再活動型地すべりよりも初生型地すべりが多いとの見方もある。このことは、再活動型地すべりのすべり面は粘性土で構成されるが、本地震における地すべり土はシルト質～砂質土であることからもうかがい知れる。現在、地震によって発生する地すべり土の強度特性は十分に解明されておらず、特に急速載荷条件下での強度特性の解明が地震中やその後の斜面安定性を評価する上で重要となる。本研究では、複数個の供試体に対して異なるせん断変位速度で圧密定圧定速リングせん断試験を実施した。本文ではせん断変位速度 $\dot{\delta}$ が0.02～20 mm/minの範囲である時の粘性土と砂質土に現れるせん断速度効果の相違を比較・検討した。

2. リングせん断試験 用いた試料はカオリン(土粒子密度 $\rho_s=2.618$ g/cm³、塑性指数 $I_p=21.8$ 、粘土含有量 $F_{clay}=35.3$ %)、宇部まさ土($\rho_s=2.583$ g/cm³、最大粒径 $D_{max}=0.85$ mm、平均粒径 $D_{50}=0.220$ mm、砂含有量 $F_{sand}=68.2$ %、 $F_{clay}=13.5$ %)および豊浦砂($\rho_s=2.639$ g/cm³、 $D_{max}=0.85$ mm、 $D_{50}=0.150$ mm、 $F_{sand}=89.8$ %、 $F_{clay}=5.6$ %)である。リングせん断試験の供試体は内径6 cm、外径10 cm、高さ2 cmの環状である。粘性土供試体は正規圧密状態の飽和試料、砂質土供試体は緩詰めまたは密詰めの乾燥試料とした。圧密過程では3t法により圧密の打ち切り時間を決定した。せん断過程では $\dot{\delta}$ を粘性土の場合0.02～10 mm/min、砂質土の場合0.1～20 mm/minの範囲で変化させた。また、周面摩擦力を測定し、せん断面に作用する垂直応力を算出した。

3. 粘性土におけるせん断速度効果 図-1は既往の研究データ^{2)～7)}と本試験結果に基づいて、 $\dot{\delta}=0.02$ mm/minのときの応力比 $(\tau_r/\sigma_N)_{0.02}$ で正規化した応力比と対数表示の $\dot{\delta}$ の関係に整理したものである。図-2には図-1に示したデータの塑性図を示している。正規化応力比は試料によって $\dot{\delta}$ の増加に対して増加・一定・減少するものがある。また、 F_{clay} および I_p の小さい試料は増加傾向は小さいようである。 $\dot{\delta}$ の影響度合いを検討するため、 F_{clay} と速度効果係数 α' (せん断速度の増加に対する残留強度の増加率)の関係を図-3に示す。本試験結果とともに文献6), 7)のデータも併記している。 F_{clay} が高いほど α' は大きい傾向にある。 F_{clay} が23%以下の乱れせん断モードでは α' は0.01～0.02と小さく、 F_{clay} が43%以上のすべりせん断モードを示す領域では α' は0.02～0.06となる。 F_{clay} が高い領域では、 α' は粘土鉱物の種類と含有率に依存する。中間領域の過渡的せん断モードでは α' は0.02～0.03となっている。

4. 砂質土におけるせん断速度効果 図-4, 5に砂質土の定常状態せん断強度に現れるせん断速度効果を示す。図-4の宇部まさ土の場合、ピーク時応力比 $(\tau/\sigma_N)_p$ 、定常状態応力比 $(\tau/\sigma_N)_{ss}$ ともに(a)緩詰め、(b)密詰めによらず試験結果に多少ばらつきはあるものの $\dot{\delta}$ の影響はみられない。図-5の豊浦砂の場合、初期相対密度 D_{r0} によらず $\dot{\delta}$ の増加に伴い $(\tau/\sigma_N)_p$ は減少し、 $(\tau/\sigma_N)_{ss}$ はほぼ一定である。

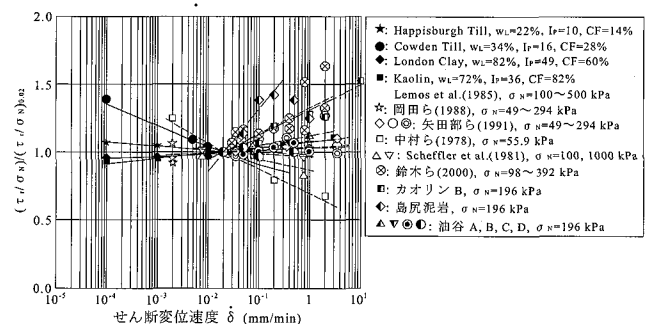


図-1 様々な粘性土試料のせん断速度効果

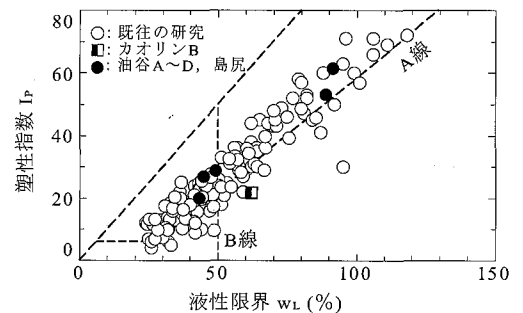


図-2 土試料の塑性図

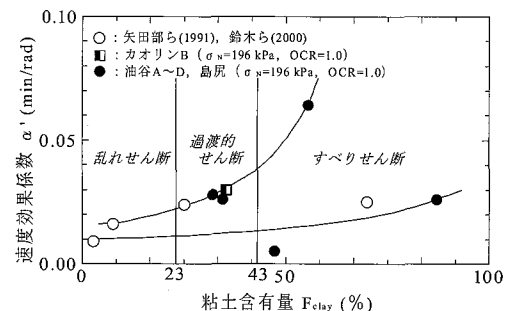


図-3 速度効果係数と粘土含有量の関係

D_{r0} が高いほど、 $(\tau/\sigma_N)_p$ と $(\tau/\sigma_N)_{ss}$ との差は大きく、 $(\tau/\sigma_N)_p$ から $(\tau/\sigma_N)_{ss}$ への強度低下量が大きい。

5. 粘性土と砂質土におけるリングせん断試験結果の比較

図-6 に既往の研究データ^{2), 3), 5)~7)}と本試験結果を併せて示し、せん断速度依存性についてまとめた。全体的に粘性土よりも砂質土試料の方が強度が高く発揮されているが、せん断速度の高速域では粘性土の $(\tau/\sigma_N)_r$ よりも砂質土の $(\tau/\sigma_N)_{ss}$ の方が低くなるケースもあり、必ずしも砂質土の方が粘性土よりも高いせん断強度を有するとは限らない。粘性土のせん断速度効果は I_p, F_{clay} に関係しており、粘性のつよい試料ほどせん断速度効果が大きくなる。砂質土のせん断速度効果はまだ十分に把握できていないが、細粒分含有率が低い豊浦砂では初期相対密度が高いときにせん断速度の増加に伴い $(\tau/\sigma_N)_{ss}$ が減少する傾向がみられた。初期間隙比が小さい密詰めの場合、供試体は収縮後の著しい膨張によりピーク強度から定常状態せん断強度に大きく減少する。また、せん断速度の増加に伴いピーク強度および強度低下量はともに小さくなる。このことは、急速せん断によって間隙比の高いゾーンがせん断面付近に形成されたためと考えられる。

6. まとめ 粘性土および砂質土を対象に 0.02~20 mm/min の範囲でせん断速度を変化させたリングせん断試験結果を考察した。残留強度に及ぼすせん断速度依存性の検討結果をまとめると、①粘性土の場合、残留強度が対数表示のせん断速度の増加に対して直線的に増加することは既に示しているが、その度合いは 0.02~0.06 程度であり、試料によって異なる。②粘土含有量あるいは塑性指数が大きい粘性土試料ほど、せん断速度の増加に伴う残留強度の増加の度合いは大きくなる。③砂質土の場合、供試体の相対密度を高く設定した方がピーク強度は高く、ピーク強度から定常状態強度への強度低下は大きい。また、細粒分含有率が高いものほど定常状態強度は小さくなる。④高塑性粘性土のせん断強度はせん断速度の高速域において増加傾向を示すが、砂質土のせん断強度は相対密度等の条件によって減少傾向を示すことがある。

[参考文献] 1) 千木良, 日本応用地質学会新潟県中越地震による土砂災害研究小委員会: 2004 年新潟県中越地震によって発生した地すべり・崩壊の地質と地形, 第 44 回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.9-12, 2005. 2) 中村ら: すべり面におけるせん断強度決定のための土質試験法, 地すべり, Vol.15, No.2, pp.273-328, 1978. 3) Scheffler, H. and Ullrich, W.: Determination of drained shear strength of cohesive soils, *Proc. 10th I.C.S.M.F.E.*, Vol.10, pp.775-778, 1981. 4) Lemos, L. et al.: Earthquake loading of shear surface in slopes, *Proc. 11th I.C.S.M.F.E.*, Vol.4, pp.1955-1958, 1985. 5) 岡田ら: 残留強度と微視的構造の関係, 第 23 回土質工学研究発表会発表講演集, pp.227-228, 1988. 6) 矢田部ら: 破碎帯地すべり地の粘性土のリングせん断特性, 土木学会論文集, No.436/III-16, pp.93-101, 1991. 7) 鈴木ら: 直接型せん断試験における土の残留強度, 土木学会論文集, No.645/III-50, pp.37-pp.50, 2000.

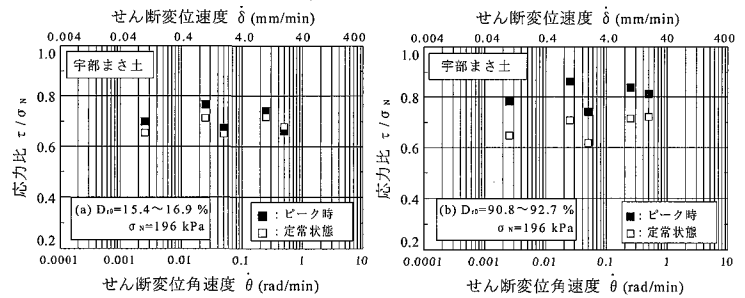


図-4 宇部まさ土のピーク時, 定常状態応力比とせん断変位速度の関係

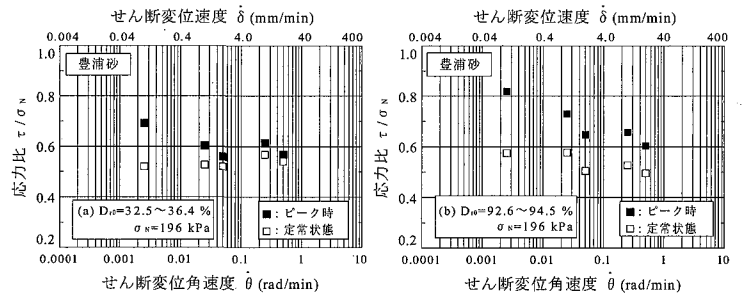


図-5 豊浦砂のピーク時, 定常状態応力比とせん断変位速度の関係

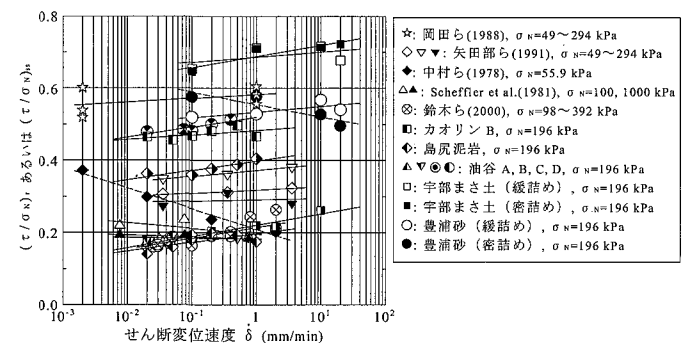


図-6 様々な土のせん断強度に現れるせん断速度依存性