

砂質土のリングせん断試験法の検討

山口大学大学院 学○松原 剛

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いて発生した地すべりは粘性土斜面より砂質泥岩斜面に多く発生したとの報告がある¹⁾。本研究は、地震による地すべり発生のメカニズムの解明を目的としている。従来、粘性土の残留強度の測定を主目的としたリングせん断試験装置を利用し、新潟県旧山古志村の地すべり地で採取した砂質土の定常状態せん断強度を調べるため、その前段階として砂質土に付随する試験法の検討を行った。本文では、砂試料から成る供試体の初期状態量のばらつき、載荷板と供試体上面の滑り、リング周面摩擦力の影響、試料の粒度組成に対するリングの隙間設定の影響を検討した結果を報告する。

2. 圧密定圧リングせん断試験

表-1 試料の物理特性

(1) 土試料 試料は山口県宇部市で採取したまさ土（以下、宇部まさ土と称す）である。表-1に本試料、豊浦標準砂、新潟県中越地震で発生した地すべり土（寺野、横渡 A, B, 東竹沢 A, B）の計 5

採取地点	試料名	ρ_s (g/cm ³)	D_{max} (mm)	D_{50} (mm)	U_c	U_c'	F_{sand} (%)	F_{silt} (%)	F_{clay} (%)	F_c (%)
山口県 宇部市	宇部まさ土	2.621	9.50	1.680	23.6	5.6	49.2	4.4	5.1	9.5
		2.583	0.85	0.220	86.2	3.5	68.2	18.3	13.5	31.8
山口県 豊浦郡	豊浦標準砂	2.639	0.85	0.150	2.1	1.0	89.8	4.6	5.6	10.2
		2.616	2.00	0.164	2.1	0.9	89.7	5.7	3.2	8.9
東竹沢	東竹沢 A	2.588	14.3	1.190	49.0	1.5	51.9	15.0	3.1	18.1
		2.592	8.60	1.210	12.9	3.2	80.1	6.2	1.9	8.1
横渡	横渡 A	2.352	2.00	0.144	29.0	1.4	63.3	27.8	8.9	36.7
		2.490	2.00	0.078	14.3	2.6	52.3	39.0	8.6	47.6

試料の物理特性を示した。また、図-1に各試料と文献より参照した試料²⁾の粒径加積曲線を示す。なお、宇部まさ土の物理特性は原粒度試料と粒度調整試料の二つに分けて示しており、リングせん断試験には粒度調整試料を用いた。各試料ともに砂分を多く含むものであることが分かる。

(2) 試験方法

a) 試験装置 Bishop 型のリングせん断試験装置を用いた。供試体は内径 6 cm, 外径 10 cm, 高さ 2 cm の環状である。測定項目はせん断力, 周面摩擦力, 垂直力および垂直変位である。

b) 供試体の作製 今回は水の影響を除くために乾燥状態の試料を使用した。供試体の鉛直方向の乾燥密度が一樣になるように 3 層に分け一定の力で突き固めて作製し³⁾, 仕上げに供試体上面を均した。図-2に供試体の初期状態における湿潤密度 ρ_{t0} と含水比 w_0 の関係を示している。 ρ_{t0} は約 0.015 g/cm³, w_0 は約 0.4 % の差が認められるが、供試体の初期状態量のばらつきは比較的小さい。砂質土の場合、供試体上面と載荷板の間に滑りが生じると、供試体に直接加えるせん断応力の損失やせん断変位の誤差が生じる可能性がある。載荷板には供試体上面との滑止め用に 6 枚のエッジが等間隔に埋込まれており、目視観察から試験後の供試体上面にそれらの痕跡を確認した。このことより供試体上面と載荷板の間に滑りはさほど生じていないと現時点では考えている。

c) 圧密およびせん断過程 供試体の作製後、所定の圧密応力 σ_c で一次元的に圧密した。乾燥砂の場合、即時沈下が生じた後は沈下量はほぼ一定になることから、今回は σ_c の載荷時間は 60 min に設定した。圧密の終了後、上・下部リングの隙間 d を設定し（リング周面摩擦力 f_s を測定し σ_N を適宜補正した）、せん断変位速度 $\delta=0.1$ mm/min の変位制御で定圧せん断試験を実施した。

3. 試験結果と考察 図-3(a)~(c)に宇部まさ土とカオリンのせん断挙動を示す。図の縦軸 τ はせん断応力, f_s はリング周面摩擦応力, σ_N は垂直応力, 図の横軸 δ はせん断変位（供試体の内径と外径の中間径の円周上で定義される回転変位）である。実施した試験条件は $\sigma_N=196$ kPa, 過圧密比 $OCR=1.0$, $\delta=0.1$ mm/min である。ただし、供試体は宇部まさ土で乾燥状態、カオリンで飽和状態である。カオリンの場合、 δ は供試体の排水条件を満足する値である。図-3(a)の τ - δ 関係において、カ

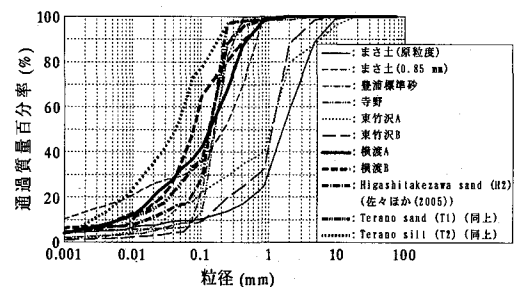
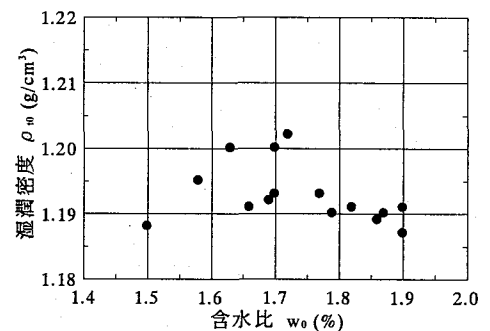
図-1 試料の粒径加積曲線²⁾

図-2 試料の初期状態量

オリンの場合、 τ はピーク値から大きく低下して、 $\delta=100$ mm 以降においてほぼ一定になる。それに対し、宇部まさ土の場合、 τ のピーク値からの低下量は小さく、 $\delta=200$ mm に達するまで τ の変動がみられ、 $\delta=200$ mm を超え安定している。図-3(b)の f_s - δ 関係において、 f_s は負のダイレイタンスの場合には正の値を、正のダイレイタンスの場合には負の値を示すようにしており、カオリンの場合、 τ がピーク値を超えるまで f_s は急激に増加するが、それ以降 f_s の増減は小さい。宇部まさ土の場合、 f_s は δ の全区間において $-10 \sim 20$ kPa の範囲で大きく変動しており、 $\delta=120$ mm のときに増加から減少に転じている。図-3(c)には f_s を考慮した σ_N と δ の関係を示している。宇部まさ土の方がカオリンよりせん断に伴う f_s の変動により σ_N が大きく変動している。

図-4に宇部まさ土の τ と σ_N の関係を示している。リングせん断試験 (RST) では上・下部リングの隙間 d を 0.2 mm と 1.0 mm の2通りに設定した。 $d=0.2$ mm の場合、 $c_p=18.3$ kPa、 $\phi_p=36.0^\circ$ 、 $d=1.0$ mm の場合、 $c_p=14.7$ kPa、 $\phi_p=33.2^\circ$ が得られた。 d が小さくなると c_p 、 ϕ_p とともに若干大きくなるようであり、強度定数が多少なり d の影響を受けているといえる。また、比較のために同試料を用いて $d=0.2$ mm に設定した圧密定圧一面せん断試験 (DBST) を実施した。結果として、 $c_p=14.4$ kPa、 $\phi_p=31.1^\circ$ となり、 $d=1.0$ mm のリングせん断試験の結果に近い値を得た。

次に、 $d=0.2 \sim 4.0$ mm の範囲で d を変化させるリングせん断試験を実施し、ピーク時の内部摩擦角 ϕ_p に与える d の影響を検討した。図-5に d を平均粒径 D_{50} で正規化した d/D_{50} とピーク時の内部摩擦角 ϕ_p の関係を示す。ただし、 ϕ_p は c_p をゼロと仮定してピーク時の応力比 $(\tau/\sigma_N)_p$ から算出した。一般にせん断層の幅は D_{50} の $10 \sim 20$ 倍といわれ、 d と ϕ_p の間には ϕ_p が一定となる d の安定領域が存在する⁴⁾。このときにせん断応力載荷型せん断試験固有の拘束条件下でせん断層近傍の土粒子が単純せん断に近いモードで変形していることが保証される。宇部まさ土の場合 ($D_{50}=0.22$ mm) には $d/D_{50}=5 \sim 10$ ($d=1 \sim 2$ mm) 程度の隙間が ϕ_p に影響を与えていないことがわかる。同図から、領域 (a) ($d/D_{50}=0 \sim 5$)、領域 (c) ($d/D_{50}=10 \sim 20$) では d/D_{50} の増加に対して ϕ_p は増減している。領域 (b) ($d/D_{50}=5 \sim 10$) では d/D_{50} の変化に対する ϕ_p の変化は小さいことから、 d の強度定数に与える影響は比較的小さいと考えられる。しかし、隙間の設定量の増加によって試料漏出量が大きくなることも考慮することが大切である。

4. まとめ リングせん断試験において上下部リングの隙間設定量とピーク時の内部摩擦角の関係は既往の報告⁴⁾とほぼ同様であり、隙間と平均粒径の比が $5 \sim 10$ の範囲において強度定数に及ぼす隙間の影響が比較的小さくなる。

[参考文献] 1)千木良ほか：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)佐々恭二ほか：平成16年新潟県中越地震により発生した再活動地すべり地における高速地すべり発生・運動機構，第44回日本地すべり学会研究発表会，pp.59-62, 2005. 3)地盤工学会編：一面せん断試験，土質試験の方法と解説（第一回改訂版），pp.563-600, 2000. 4)プラダン・テージほか：土の一面せん断試験に関する検討課題，直接型せん断試験方法の検討と適用に関するシンポジウム，pp.12-21, 1995.

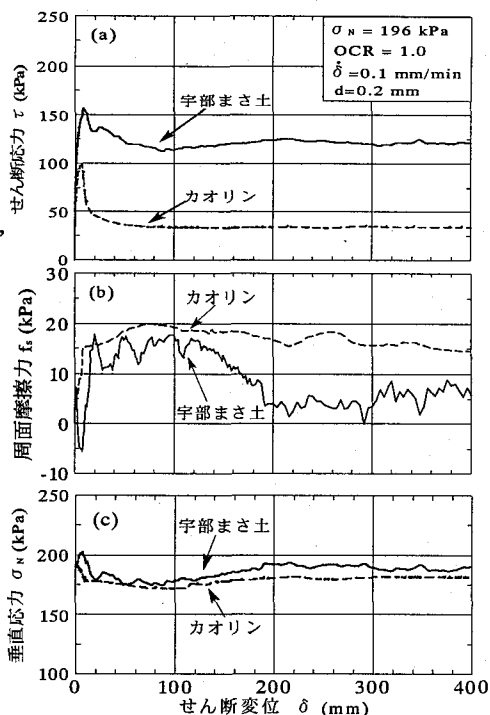


図-3 宇部まさ土とカオリンのせん断挙動

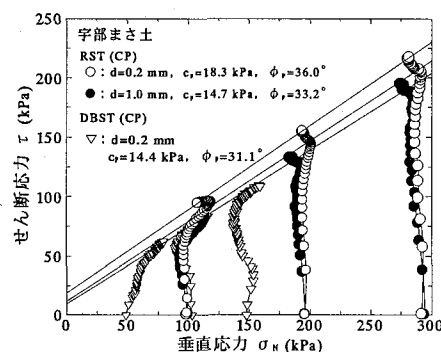


図-4 RSTとDBSTの強度定数の比較

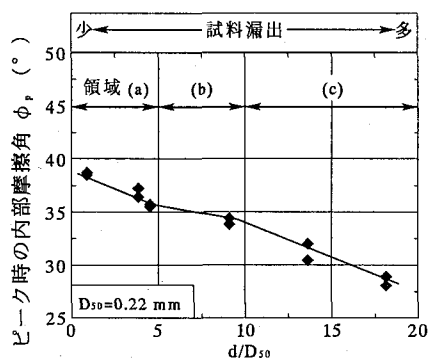


図-5 隙間設定量とピーク時内部摩擦角の関係