

リングせん断試験における物性の異なる粘土の残留強度特性

山口大学大学院 学生会員 ○草野 恭真
 山口大学大学院 正会員 鈴木 素之
 山口大学大学院 学生会員 藤井 朗汰

1. はじめに

再活動地すべり斜面の安定性を評価するには残留強度が重要になる。これまでに、リングせん断試験により垂直応力、せん断速度等が残留強度に及ぼす影響が数多く検討されているが¹⁾³⁾、土の物性の観点から残留強度特性は十分に明らかになっていない。そこで、著者らはカオリン粘土を用いてリングせん断試験を実施し、物理的性質が異なるカオリン粘土の残留強度特性の違いを明らかにすることを目的として検討している⁴⁾。以下にその結果と考察を記述する。

2. 土試料

本研究に用いた試料は工業用粘土のカオリンであり、その物理特性を表-1に示す。また、粉末 X 線回析試験の結果を図-1に示す。これより、試料はパイロフィライト、石英から成るパイロフィライト質ろう石(カオリナイトやセリサイト等を伴って産出するもの)である。その他に、試料の基本特性として段階載荷による土の圧密試験結果を表-2に示す。本研究では、この試料を“カオリン 22”と称して使用した。また、比較のために、既往の研究²⁾で用いられたカオリン粘土(“カオリン A”と称されている)の物理特性を表-2に併記している。

3. リングせん断試験

本研究に用いたリングせん断試験装置を図-2に示す。供試体寸法は内径6cm、外径10cm、高さ2cmの環状である。供試体は下部リングの多孔板から高さ1cmの位置でせん断される。測定項目は垂直力、せん断力、垂直変位、周面摩擦力である。試験は試料の予圧密、供試体の成形、リングせん断容器の組立て、圧密、せん断の順に行われる。供試体は、液性限界の2倍の含水比となるように蒸留水で練返した試料を試験時の圧密応力 σ_c の85%の圧力で予圧密したものから切り出されたものである。

4. 試験結果と考察

(1) 試験ケース

本研究では、せん断速度 $\dot{\delta}$ を0.1mm/minに固定し、垂直応力 σ_N を98.0~392kPaの範囲で変化させた4ケースと、 σ_N を196kPaに固定し、 $\dot{\delta}$ を0.02~20mm/minの範囲で変化させた8ケースの合計12ケースで試験を実施した。既往の研究²⁾も同様に異なる一定のせん断速度で行っており、垂直応力は98, 196, 294 および 392kPaの4通りに設定している。また、いずれの試験も過圧密比OCRは一律1.0(正規圧密状態)に設定している。

キーワード リングせん断試験, 粘土, 残留強度

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院創成科学研究科 鈴木素之
 TEL 0836-35-9303

表-1 試料の物理特性(一部は文献 2)より引用)

試料名	ρ_s (g/cm ³)	w_L (%)	w_P (%)	I_P	F_{clay} (%)
カオリン 22	2.607	60.7	24.6	36.1	54.0
カオリン A	2.724	75.6	36.3	39.3	93.0

表-2 試料の圧密特

試料名	P_c (kPa)	C_c	m_v (m ² /kN)	c_v (cm ² /d)	k (m/s)
カオリン 22	92.0	0.37	1.05×10^{-4}	1521	1.81×10^{-9}

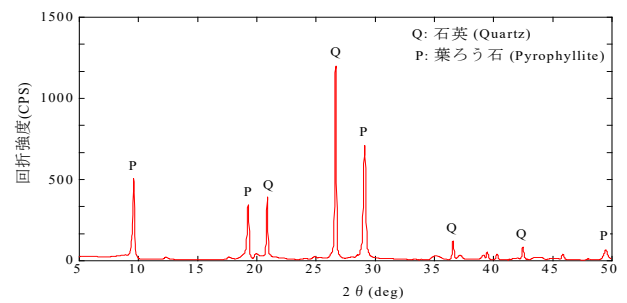


図-1 試料の X 線回析結果

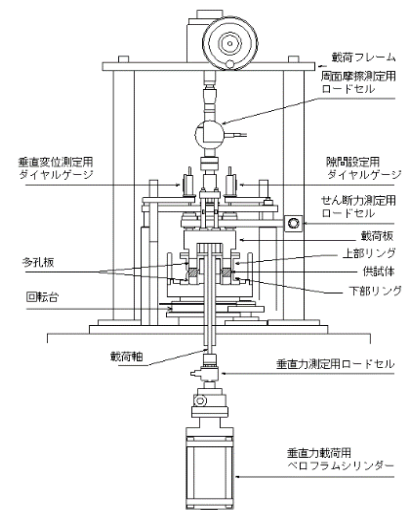


図-2 試験装置(模式図)

(2) 垂直応力が異なる条件

図-3 に σ_N を変化させた場合のせん断変位角 θ とせん断応力 τ , 垂直変位 v , 垂直応力変化割合 σ_N/σ_{N0} (σ_{N0} はせん断開始時の初期垂直応力)の関係を示している. いずれのケースも, τ はせん断開始直後にピーク値をとった後, 低下して残留状態に移行している. また, σ_N が高いときほど, $\tau-\theta$ 関係は全体的に上方に位置している. 一方, 供試体体積はせん断の進行に伴って減少しており, 正規圧密粘土の特性として収縮していることが確認された. σ_N/σ_{N0} は, ケースによって若干の変動がみられるが, いずれもわずかであるため, 定圧条件は保持されているといえる.

図-4 にピークおよび残留状態の強度線を示す. 縦軸に τ , 横軸に σ_N をとったものであり, 各ケースにおけるピークおよび残留強度の実測値を直線近似して, 各強度線を決定した. また, 比較のために既往研究²⁾のデータ(カオリンA)をプロットしている. 本研究の試料の場合, $\sigma_N = 392\text{kPa}$ のケースのピーク強度, 残留強度はともにいくぶん小さくなった. この原因として過剰間隙水圧の発生によってすべり面に作用する有効垂直応力が低下した可能性が考えられる. また, いずれの垂直応力に対してもピーク強度, 残留強度は既往研究²⁾の試料の方が本研究の試料よりも低い値であることが確認できる. これは既往研究²⁾の試料の方が, 細粒分含有率 F_{clay} , 塑性指数 I_p がともに高いためと考えられる. また, 粘土粒子の表面電荷といった粘土鉱物の違いによる影響も推察される.

次いで, 本研究の試料の供試体の含水比分布を図-5 に示す. 予圧密圧力が小さいほど, 圧密前(供試体の初期状態)の含水比は高く, いずれのケースも供試体の中央部が上・下部に比べて高いことがわかる. せん断後の含水比は全体的に圧密前よりも低下した. これはせん断によって供試体の収縮(間隙水の排水)が進んだことによると考えられる.

(3) せん断速度が異なる条件

図-6 に δ を変化させた場合のせん断挙動を示す. いずれのケースも, τ はせん断開始直後にピーク値をとり, その後徐々に低下して残留状態に移行している. また, せん断速度によって $\tau-\theta$ 関係は異なっており, δ はせん断挙動に多少の影響を及ぼしている.

図-7 にピークおよび残留状態のせん断応力比 $(\tau/\sigma_N)_p$, $(\tau/\sigma_N)_r$ と対数表示の δ の関係を示す. せん断速度の全範囲において, 本研究の試料の方が, 既往研究²⁾の試料よりも, $(\tau/\sigma_N)_p$, $(\tau/\sigma_N)_r$ はともに高いことがわかる. 本研究の試料の場合, $\delta = 1.0\text{mm/min}$ より低いせん断速度では, $(\tau/\sigma_N)_p$ は $\log \delta$ の変化に対してほぼ一定であり, $\delta = 1.0\text{mm/min}$ 以上のせん断速度で若干低下している. このことから, $\delta = 1.0\text{mm/min}$ より低いせん断速度では, 近似的に排水条件が成立し, $\delta = 1.0\text{mm/min}$ 以上のせん断速度では部分排水もしくは非排水条件に移行したと推察される. 一方, $(\tau/\sigma_N)_r$ は, $\delta = 2.0\text{mm/min}$ より低いせん断速度では $\log \delta$ の増加に対してほぼ一定であり, $\delta = 2.0\text{mm/min}$ 以上のせん断速度で増加に転じている. このことから, $(\tau/\sigma_N)_r$ は排水条件の δ の範囲では一定であり, 部分排水あるいは非排水条件の範囲で増加したといえる. 他方, 比較のために示した既往研究²⁾のデータでは, $\delta = 0.4\text{mm/min}$ より低いせん断速度で $(\tau/\sigma_N)_p$ は $\log \delta$ の変化に対してほぼ一定であり, $\delta = 0.4\text{mm/min}$ 以上になると低下している. この

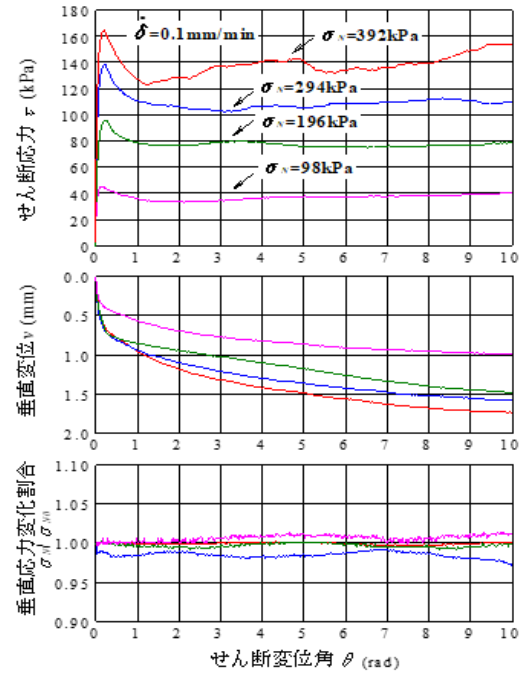


図-3 σ_N が異なる場合のせん断挙動

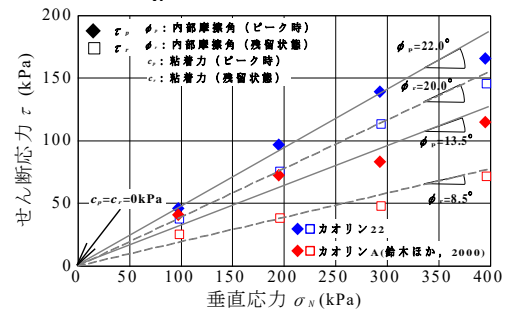


図-4 ピークおよび残留状態の強度線

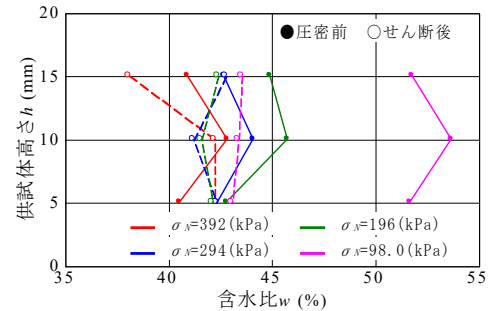


図-5 σ_N が異なる場合の含水比分布

ことから、 $\delta=0.4\text{mm/min}$ を境に排水条件が切り替わったと考えられる。また、 $(\tau/\sigma_N)_r$ はせん断速度が $0.02\sim 2.0\text{mm/min}$ の範囲で $\log\delta$ の増加に対して直線的に増加している。これは、せん断速度の増加によって残留状態の内部摩擦角が増加したことを示唆している。既往の研究³⁾より、残留状態の内部摩擦角は試料の物理的性質と関係することから、残留強度のせん断速度依存性は物理的性質と関係するといえる。また、 I_p よりむしろ F_{clay} が高い試料ほど、残留強度のせん断速度依存性が顕著であるといえる。

図-8 に、このときの供試体の含水比分布を示す。いずれのケースも圧密前の含水比分布に違いはないが、せん断後の含水比は全体的に低下し、せん断面のやや上方で高く、下方に向かって低下する傾向にある。ただし、せん断前の含水比が一定ではないため、圧密前とせん断後の含水比の減少量を横軸にとったものを図-9 に示す。せん断面より若干低い箇所での含水比の変化量が大きい。これはせん断面付近で間隙水が排水されやすく、せん断面の粒子のせん断方向への再配列が進むと推察される。

5. 結論

- 1) ピーク状態のせん断応力比がほぼ一定であるせん断速度領域において、残留状態のせん断応力比はせん断速度の増加に対してほぼ一定であった。この傾向は既往研究のそれと異なった。
- 2) 細粒分含有率が高い試料ほど、せん断速度の増加に対するせん断応力比の増加が顕著である。

参考文献

- 1) Nguyen, T. D., Suzuki, M., Rate effects on peak and residual strengths of overconsolidated clay in ring shear tests, Periodica Polytechnica Civil Engineering, <https://doi.org/10.3311/PPci.19202>, 2021.
- 2) 鈴木素之, 梅崎健夫, 川上浩, 山本哲朗: 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.37-50, 2000.
- 3) 矢田部龍一, 八木則男, 榎明潔: 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.
- 4) 草野恭真, 鈴木素之, 藤井朗汰: リングせん断試験による異なる載荷条件での粘土のせん断特性とせん断後の含水比分布, 第 58 回地盤工学研究発表会, 2023 (投稿中) .

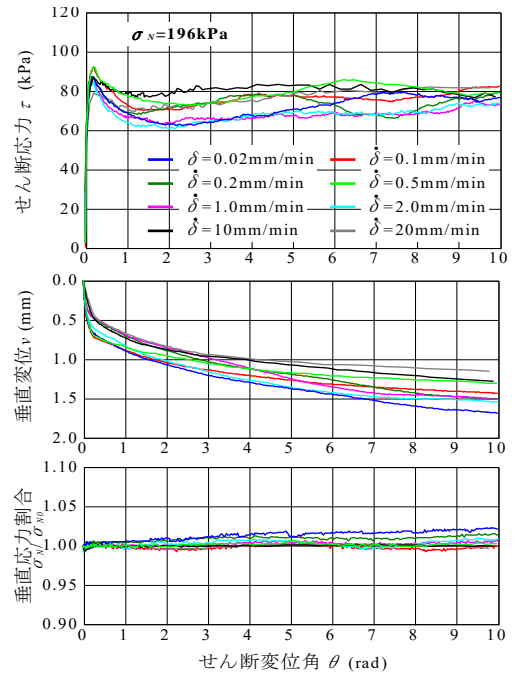


図-6 δ が異なる場合のせん断挙動

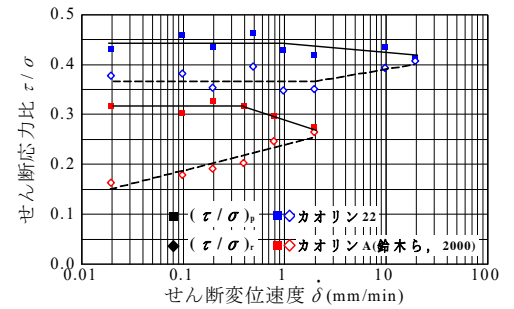


図-7 せん断応力比とせん断速度の関係

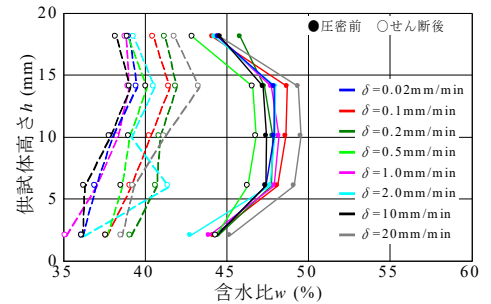


図-8 δ が異なる場合の含水比分布

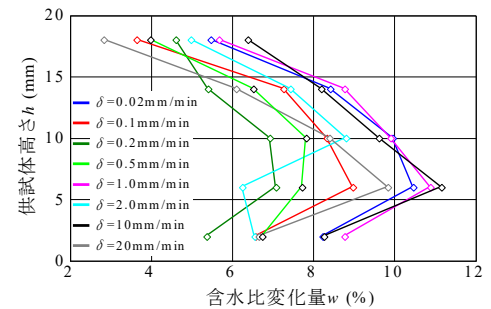


図-9 δ が異なる場合の含水比変化量