

リングせん断試験における  
せん断速度変化がカオリンの残留強度と供試体の含水比分布に及ぼす影響

山口大学大学院 学生会員 ○藤井朗汰  
山口大学大学院 正会員 鈴木素之

1. はじめに 滑っては止まりの活動をくり返す地すべり斜面の安定性を評価する上で残留強度は重要な指標である<sup>1)</sup>。土の残留強度の測定に適したせん断試験の一つにリングせん断試験がある。長年、せん断速度が粘土の残留強度に及ぼす影響が調べられているが、せん断中の供試体の排水条件が不明確なままの評価に終始しており、残留強度の速度依存のメカニズムについて必ずしも十分に分かっていない。そこで、本研究では正規圧密カオリン粘土に対して圧密定圧リングせん断試験を実施し、せん断速度を広範囲に変化させた条件での残留状態に至るまでのせん断挙動ならびに残留強度特性を明らかにすることを目的として実施した。

2. 土試料 今回用いた試料は市販のカオリンであり、表-1にその物理特性を示す。供試体は、試料の含水比が液性限界の2.0倍となるように純水を加えて練り返した後、一次元的に予圧密した。予圧密圧力はせん断試験における圧密応力の85%とし、予圧密の打ち切り時間は3t法により決定した。供試体は、トリミング法により予圧密試料から、外径10.0cm、内径6.0cm、高さ2.0cmの環状に切り出した。

3. リングせん断試験機 図-1に本研究で用いた圧密定圧定速リングせん断試験装置を示す。本装置は、①供試体を収めるせん断箱、②垂直力を加える装置、③せん断トルクを加える装置、④せん断速度制御ユニット、⑤垂直力、垂直変位、せん断力、リング周面摩擦力を測定する計測器から構成されている。測定値はデータロガーによって記録される。また、リングせん断試験における変位量をせん断面に対するせん断変形の度合いと考え、せん断変位は供試体の大きさに依存するので、環状供試体の中心における変位角を変位量とする方が一般的であると考えた<sup>2)</sup>。そこで、変位量として供試体の中心軸に対するせん断変位角 $\theta$  (rad もしくは deg) を用いた。なお、供試体の外径と内径の中間径における円周方向の変位をせん断変位 $\delta$ とすると、せん断変位角1radはせん断変位40mmに相当する。

表-1 土試料の物理特性

試料名	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$w_L$ (%)	$w_p$ (%)	$I_p$	$F_{clay}$ (%)	$A$
カオリン	2.607	60.7	24.6	36.1	54.0	0.973

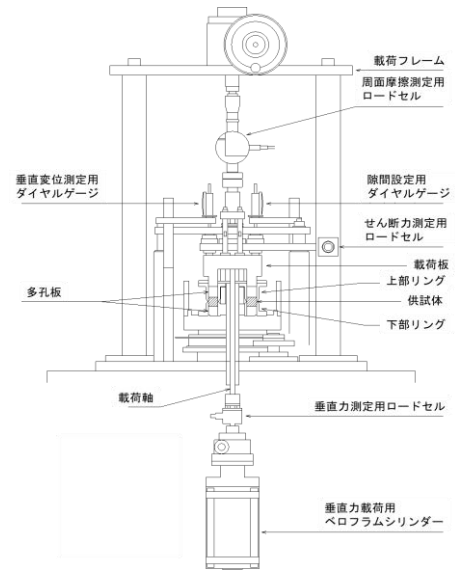


図-1 圧密定圧定速リングせん断試験装置

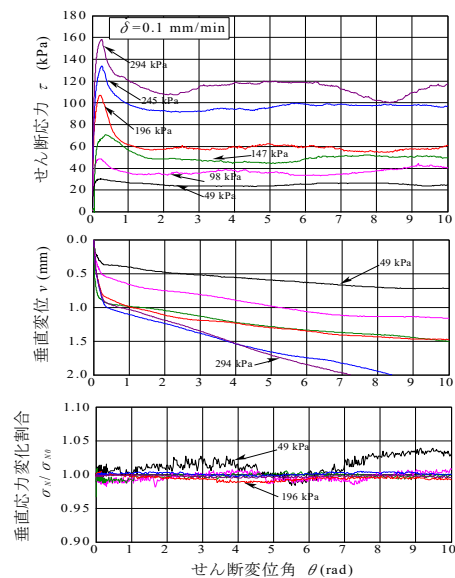


図-2 垂直応力が異なる場合のせん断挙動

キーワード リングせん断試験 カオリン 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 0836-85-9303

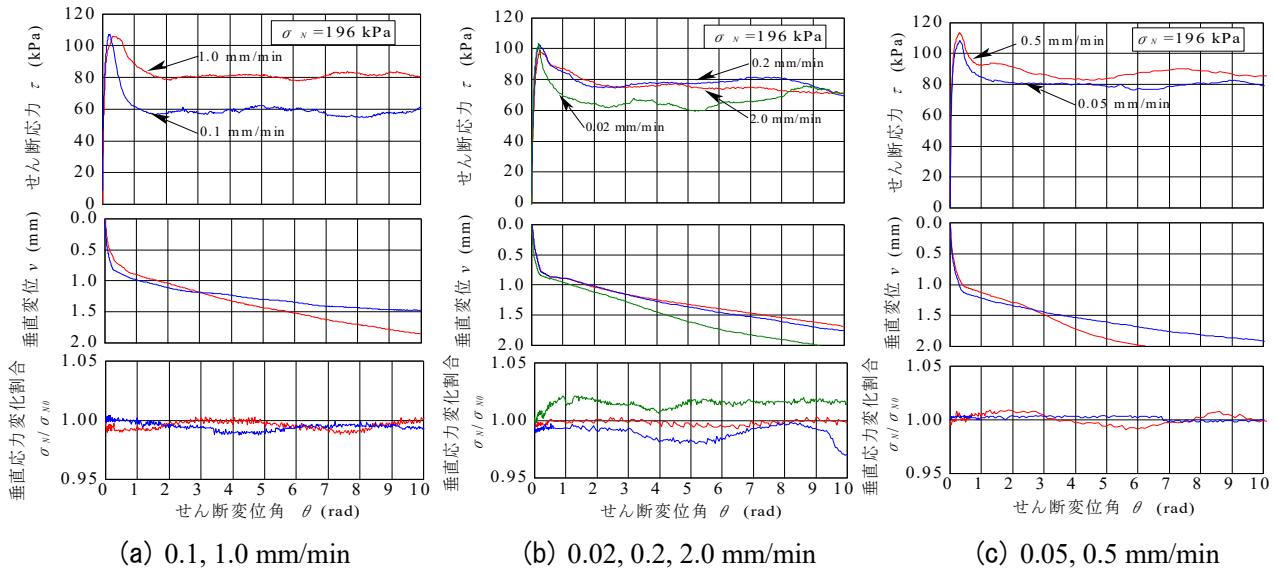


図-3 せん断速度が異なる場合のせん断挙動

4. 試験結果 一連の実験計画では、せん断速度 $\delta$ を0.1 mm/minに固定して、垂直応力 $\sigma_N$ を49, 98, 147, 196, 245, 294 kPaに変えた6ケースと $\sigma_N$ を196 kPaに固定して、 $\delta$ を0.02, 0.1, 0.05, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0 mm/minに変えた7ケースの合計12ケースを実施した。最大せん断変位角は10 rad（せん断変位400 mmに相当）とした。

図-2に $\sigma_N$ が異なる場合のせん断変位角 $\theta$ とせん断応力 $\tau$ 、垂直変位 $v$ 、垂直応力変化割合 $\sigma_N/\sigma_{N0}$ の関係を示した（ $\sigma_{N0}$ は初期垂直応力）。いずれの $\tau-\theta$ 関係においても、 $\tau$ はせん断開始直後にピーク値をとり、せん断の進行に伴って減少し、最終的にほぼ一定になっている。特に、 $\tau$ のピーク値が高いものほど、 $\tau$ は急速に低下し、残留状態へ遷移していることがわかる。また、 $v$ 、 $\sigma_N/\sigma_{N0}-\theta$ 関係において、 $\sigma_N$ が高いものほど、その収縮量が大きいこと、せん断中概ね定圧状態が保たれていることが確認できる。

図-3(a)～(c)に $\delta$ を変化させたケースのせん断挙動を示した。各図において、ピーク値はせん断速度の違いによらずほぼ同じ値となっている。せん断速度が遅いほど残留強度が低い値を示し、せん断変位が小さい時点で残留状態に到達していることが分かる。また、 $v$ はせん断中は常に減少傾向であり、供試体は収縮していることがわかる。さらに、低速ほど収縮量が大きい傾向がみられる。 $\sigma_N/\sigma_{N0}$ は、せん断中に若干の変動が認められるものの、5%以下の変化割合であるため、定常状態は保持されていると考える。

図-4に $\sigma_N = 196 \text{ kPa}$ の場合におけるせん断変位速度 $\delta$ と応力比 $\tau/\sigma_N$ の関係を示す。この関係から、せん断速度が高くなるにつれて残留状態時の応力比は、ばらつきはあるものの、大きくなり、その一方、ピーク時の応力比はやや小さくなった。

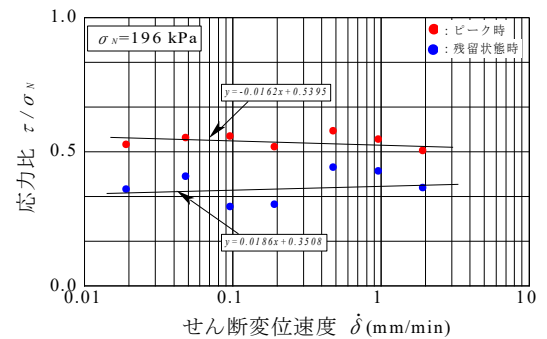


図-4 応力比とせん断変位速度の関係

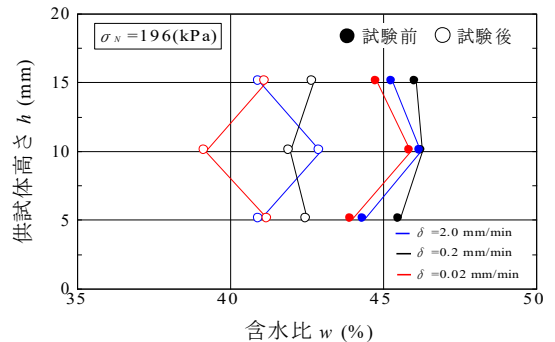


図-5 試験前後の供試体の含水比分布

図-5に図-3(b)のせん断試験前後の供試体を上部、せん断面、下部に分け、各部分の含水比の高さ方向の分布を示す。

試験後の含水比分布より、せん断速度が低いほど、せん断面の含水比が上・下部に比べて低くなっているのに対し、せん断速度が高いほど、せん断面の含水比が高くなっている。これより、低速せん断時は供試体の排水が十分に進んでいると示唆される。

**5. 結論** 本研究で得られた結論は以下のとおりである。

- (1) 垂直応力が一定の条件において、せん断速度が高いほど、残留強度は大きい値を示す。
- (2) せん断速度が一定の条件において、垂直応力が高くなることに伴い、残留強度も大きくなる。
- (3) せん断速度が高くなるにつれて、ピーク時の応力比は減少、残留状態時の応力比は増加する傾向であった。
- (4) 低速せん断においてはせん断変位が小さい時点で残留状態に移行し、試験後のせん断面付近の含水比は上・下部よりも低くなった。一方、高速せん断ではせん断面付近の含水比は上・下部よりも高くなった。このことから、高速せん断時はせん断面近傍の過剰間隙水圧が残留し、それが残留強度に影響を及ぼしていると考えられる。

#### **参考文献**

- 1) Skempton, A.W.: Long-term stability of clay slopes, *Géotechnique*, Vol.14, No.2, pp.77-102, 1964.
- 2) 鈴木素之, 梅崎健夫, 川上浩: リングせん断試験における粘土の残留強度とせん断変位の関係, 土木学会論文集, No.575/III -40, pp.141-158, 1997.