

せん断変位速度の変化が過圧密粘土の残留強度に及ぼす影響

山口大学大学院 学生会員 ○井上 優朋
山口大学大学院 正会員 鈴木 素之

1. はじめに 長期にわたり断続的に活動する地すべり地においては、すべり面のせん断強度は大変形を受けて低下しており、このような状態では降雨等によって一旦停止していた地すべりが再び滑動する。一方、土のせん断試験においてせん断変位が非常に大きくなると、せん断応力は最大せん断応力から低下し、定常応力状態に達する。この状態のせん断応力を残留強度という。したがって、残留強度は上述の地すべり斜面の安定度を評価する強度パラメータの一つとなる^{1),2)}。既往の研究^{3),4)}では過圧密粘土に対してせん断速度を変化させた場合のせん断挙動や強度特性は必ずしも明らかにされていない。そこで、本研究では過圧密比 OCR($=\sigma_c/\sigma_N$, σ_c : 圧密応力, σ_N : せん断時の垂直応力)が 1~6 の粘土供試体に対してせん断変位速度を 0.02~20mm/min の広い範囲で変化させた圧密・定圧定速リングせん断試験を実施した。本文ではせん断応力とせん断変位関係に双曲線近似を用いる方法³⁾で残留強度を決定し、粘土の残留強度に及ぼすせん断変位速度の影響について考察する。

2. 試験方法 本研究で用いた試料はカオリンであり、その物理的性質は土粒子の密度 2.63g/cm³, 液性限界 78.9%, 塑性限界 41.4%, 粘土含有率 90.2%である。試料は含水比が液性限界の 2 倍となるように純水を加えて練り返し、予圧密法により作製した。予圧密応力は OCR=1 の試料の場合 85kPa, OCR=4, 6 の試料の場合 340kPa とした。供試体は予圧密試料から内径 6cm, 外径 10cm, 高さ 2cm の環状に切り出し、リングせん断試験装置におけるせん断箱に供試体を設置した。OCR=1 の場合、 $\sigma_c=98\text{kPa}$ で 60 分間圧密した後、直ちに定圧条件でせん断を開始した。OCR=4 および 6 の場合、 $\sigma_c=392$ または 588kPa で 60 分間圧密した後、 $\sigma_c=98\text{kPa}$ に除荷し 1 日間膨張させてから、せん断を開始した。なお、圧密の打ち切り時間は 3t 法により決定した。実験では $\sigma_N=98\text{kPa}$ の下でせん断変位速度 δ を 0.02, 0.2, 0.5, 2, 20mm/min の 5 パターン, OCR=1, 4, 6 の 3 パターンとして計 14 ケースのせん断試験を行った。その他、せん断時の上下部リングの隙間は 0.1mm に設定した。また、リングせん断試験の測定項目はせん断応力, 垂直応力, リング周面摩擦力, 垂直変位 (2ヶ所) である。

3. 試験結果と考察 図 1 に OCR=1 の場合のせん断応力 τ , 垂直応力変化率 σ_N/σ_{N0} およびせん断変位角 θ の三者の関係を示す。

また、 σ_N/σ_{N0} は周面摩擦力の変化に伴ってせん断中に随時変化する σ_N をせん断初期の垂直応力 σ_{N0} で除したものである。図中の色が異なる曲線は 0.02~20mm/min の範囲で変化させたせん断変位速度の違いを表している。 τ はいずれのケースにおいてもせん断初期にピーク値をとった後、多少の変動を伴いながら定常状態に移行している。また、 σ_N/σ_{N0} はせん断変位速度が 20mm/min のときに著しく変動しており、これは τ - θ 関係の変動と対応していることがわかる。図 2 にこの場合のピーク時および残留状態の応力比 τ/σ と対数表示の δ の関係を示す。赤点はピーク時の応

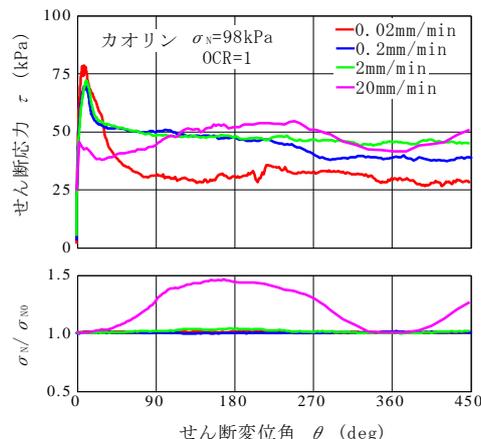


図 1 OCR=1 の場合のせん断応力, 垂直応力変化率およびせん断変位角の関係

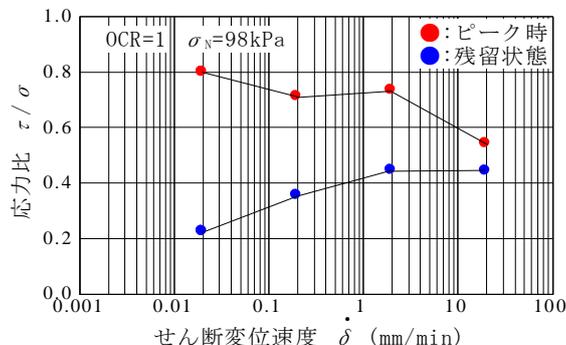


図 2 OCR=1 の場合のピーク時および残留状態の応力比とせん断変位速度の関係

キーワード リングせん断試験, せん断速度, 残留強度

力比なお、青点は残留状態の応力比である。残留状態の応力比は最大応力比後の応力比とせん断変位角の関係に双曲線近似を適用し、その漸近値として決定したものである³⁾。 δ が0.02から2.0mm/minに増加するとピーク時の応力比はいくぶん減少し、せん断変位速度が20mm/minになると著しく減少した。これは、せん断速度の増加によって供試体のせん断付近に正の過剰間隙水圧が発生した結果、せん断面上の有効垂直応力が減少したためと考えられる。一方、同じせん断速度領域においてせん断変位速度が増加するにつれて残留状態の応力比が増加する傾向が確認された。この傾向はこれまでに著者が示した結果⁴⁾と一致している。

図3にOCR=4の場合の τ 、 σ_N / σ_{N0} および θ の関係を、図4にこの場合におけるピーク時および残留状態の τ / σ と対数表示の δ の関係を示す。 δ が増加するに伴いピーク時の応力比は概ね増加する傾向がみられた。これは、過圧密粘土における正のダイレンタンスーによる影響と考えられる。一方、残留状態の応力比に明らかなせん断速度依存性はみられなかった。

図5および図6にOCR=6の試験結果を示しているが、せん断変位速度の増加に伴ってピーク時および残留状態の応力比はともに減少し、一旦増加して再び減少するような傾向がみられた。この原因として τ / σ の τ に過圧密粘土の粘着力 c の成分が含まれていることが考えられる。

4.まとめ 本研究から得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 正規圧密粘土において、ピーク時の応力比が低下するせん断変位速度領域におけるせん断変位速度の増加に伴って残留状態の応力比が増加する傾向が確認された。
- (2) OCR=4 および 6 の過圧密粘土において、ピーク時および残留状態の応力比がせん断変位速度の影響を受けるが、正規圧密粘土のような明らかな傾向は得られなかった。

参考文献

- 1) Skempton, A.W.: Long-term stability of clay slopes, Geotechnique, Vol.14, No.2, pp.77-102, 1964.
- 2) Skempton, A.W.: Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory, Geotechnique, Vol.35, No.1, pp. 3-18, 1985.
- 3) 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.
- 4) 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.

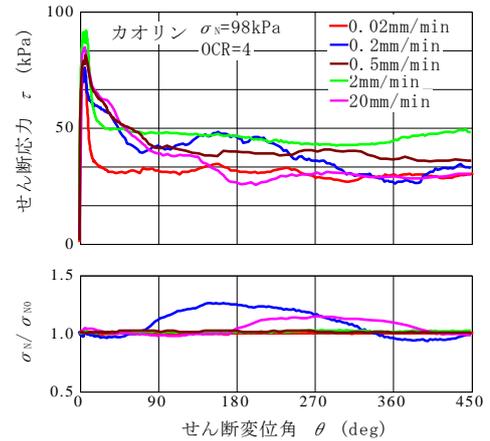


図3 OCR=4の場合のせん断応力、垂直応力変化率およびせん断変位角の関係

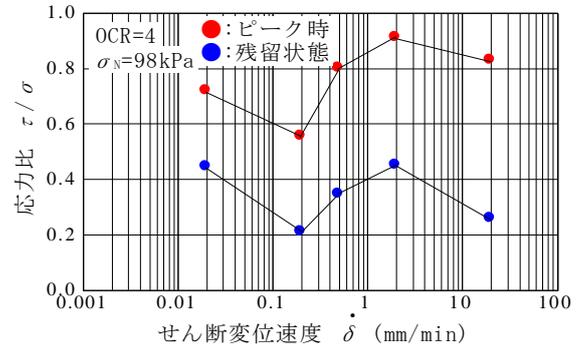


図4 OCR=4の場合のピーク時および残留状態の応力比とせん断変位速度の関係

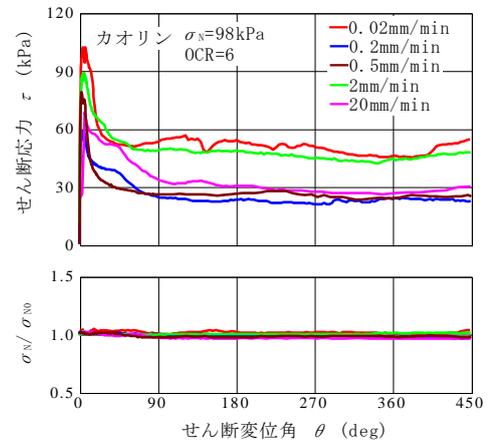


図5 OCR=6の場合のせん断応力、垂直応力変化率およびせん断変位角の関係

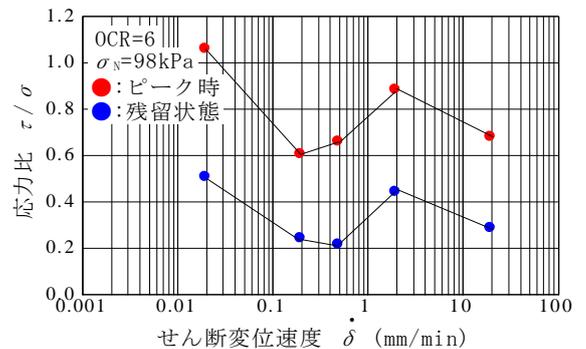


図6 OCR=6の場合のピーク時および残留状態の応力比とせん断変位速度の関係