

リングせん断試験におけるせん断速度が過圧密粘土の残留強度に与える影響

山口大学大学院 学生会員 ○宮前 知弘
山口大学大学院 正会員 鈴木 素之

1.はじめに 再活動地すべり斜面ではすべり面の土は大変形を受け、かつ過圧密状態にあり、ピーク強度から低下し一定となった残留強度状態にある。このような地すべり斜面では降雨等の外的条件の変化によって地すべりが再滑動する。したがって、地すべり斜面の安定性を評価する場合は、過圧密土の残留強度を適切に評価することが大変重要である。これまでに、リングせん断試験や繰返し一面せん断試験などにより、種々の土の残留強度とせん断変位速度の関係が数多く示されている。しかし、過圧密粘土のピークおよび残留強度に与えるせん断変位速度の影響は必ずしも十分に明らかにされていない。そこで、本研究は過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0.02~20.0mm/minの広範囲で変化させた時のせん断挙動ならびに残留強度に現れるせん断速度の影響を明らかにすることを目的として実施した。

2.試験方法 本研究で用いた試料はカオリンである。カオリンの物理的性質は土粒子の密度 2.627g/cm³、液性限界 78.9%、塑性限界 41.4%、塑性指数 37.5、粘土含有率 90.2%である。供試体の作製は、試料の含水比が液性限界の2倍となるように純水を加えて十分に練り返し、予圧密法により試料を作製した。予圧密圧力はせん断試験における圧密圧力 σ_c の85%の圧力とし、圧密時間は3t法によって決定した。その後、トリミング法を用いて内径6cm、外径10cm、高さ2cmの環状供試体に成形した。

図-1に圧密定圧リングせん断試験装置を示す。本装置はハーモニックドライブ方式の荷重システムを採用しており、高減速比・高回転精度を実現している。これより、本装置は設定したせん断変位速度にて供試体を回転せん断することが可能である。測定項目はせん断荷重、垂直荷重、垂直変位(2ヶ所)および周面摩擦力である。

試験では成形した供試体をせん断箱に設置し、所定の圧密応力 σ_c で60分間圧密した。圧密時間は3t法によって確認した。圧密終了後、過圧密比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、垂直応力 $\sigma_N=98\text{kPa}$ に除荷し1日間膨張させてから、せん断を開始した。せん断変位速度 $\dot{\delta}$ を0.02, 0.05, 0.2, 0.5, 2.0, 5.0, 10, 20 mm/minの8パターン、OCR=1, 4, 6の3パターンとして計24ケースのせん断試験を行った。また、ピークおよび残留状態の強度線を求めるために $\dot{\delta}$ を0.02, 0.05, 0.2, 0.5 mm/minの4パターン、 $\sigma_N=98, 392, 588\text{kPa}$ (OCR=1, 1.5, 6)の下で合わせて計12ケースのせん断試験を行った。最大せん断変位角は450deg(せん断変位 $\delta=314\text{mm}$ に相当)とした。

3.試験結果と考察 図-2に $\dot{\delta}$ が異なる場合のせん断応力 τ 、垂直変位 v 、垂直応力変化割合 σ_N/σ_{N0} (σ_{N0} :初期垂直応力)およびせん断変位角 θ の関係を示す。OCR=6の結果のみ記載したが、 τ はせん断開始直後にピーク値をとり、その後急速に

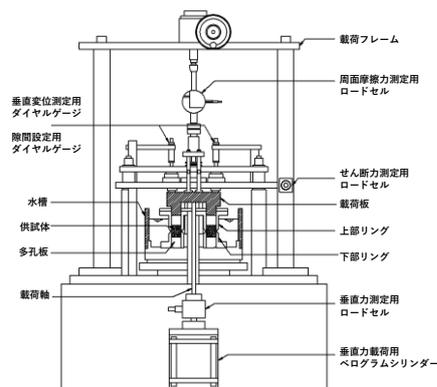


図-1 リングせん断試験装置(模式図)

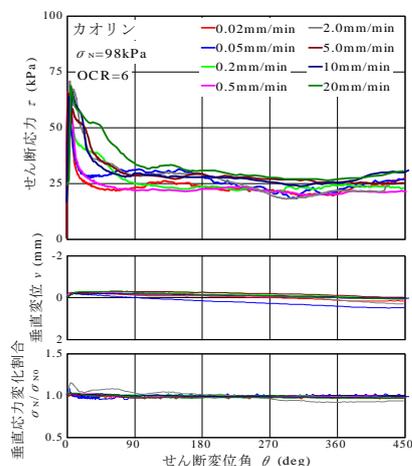
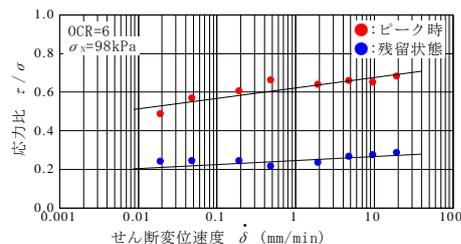


図-2 せん断変位速度が異なる場合の過圧密カオリンのせん断挙動



(a) OCR=6

キーワード リングせん断試験, せん断速度, 残留強度

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台2丁目16番1号 山口大学大学院創成科学研究科 鈴木素之 Tel 0836-85-9303

低下し、残留状態となっていることがわかる。このせん断挙動はいずれのケースでも同様にみられた。 v はOCR=6（図示していないがOCR=4）のときは膨張し、OCR=1のときは収縮の傾向を示した。 σ_N/σ_{N0} はリング周面摩擦力の発生によってせん断中変動するが、その値はほぼ一定に保たれているので、定圧状態が保たれているといえる。

図-3(a), (b)にそれぞれOCR=6と比較のためにOCR=1の場合におけるピーク時および残留状態の応力比 τ/σ と対数表示の $\dot{\delta}$ の関係を示す。赤丸はピーク時の応力比、青丸は残留状態の応力比である。まず、OCR=6の場合はせん断変位速度が増加するに伴いピークおよび残留状態応力比がともに増加する傾向がみられた。これは、過圧密粘土の場合、せん断に伴う正のダイレイタンスーによる影響で負の過剰間隙水圧が発生したためと考えられる。一方、OCR=1の場合はせん断変位速度が2.0mm/min以上になると、ピーク時の応力比が減少する傾向がみられた。これは、せん断変位速度の増加によって供試体のせん断面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。

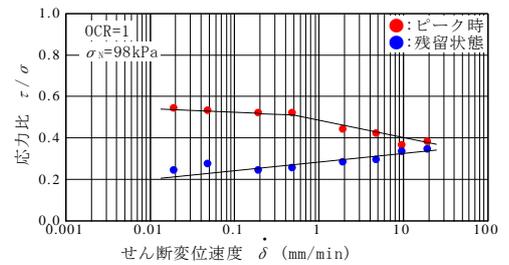
図-4に過圧密状態のピークおよび残留状態強度線を示す。赤丸はピーク強度、青丸は残留強度である。 $\sigma_c=588\text{kPa}$ の下で供試体を圧密した後、 σ_N を減じて、OCRを変化させているので、強度線上の各点でOCRの値は異なる。図-5に正規圧密粘土で実施した既往の研究データ¹⁾と今回実施した過圧密粘土のデータをもとに、せん断変位速度とピークおよび残留状態の内部摩擦角 ϕ の関係を示す。過圧密粘土では、せん断変位速度を変化させると、ピークおよび残留状態の内部摩擦角はともに増加し、その後減少に転じる傾向が認められた。

図-6に供試体のせん断面付近の含水比変化量 Δw とせん断変位速度の関係を示す。せん断試験の前後に供試体のせん断面（中央部）において含水比を測定し、その差を Δw と定義した。OCR=1および1.5の場合、 Δw は負となり、試験後の含水比が低くなった。OCR=6の場合のみ試験後の含水比がわずかに増加するか、もしくは減少幅が小さい傾向にあった。これより、過圧密粘土のせん断速度依存性に含水比変化の影響はわずかであることが示唆された。

4.まとめ 本研究から得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 正規圧密粘土の場合、せん断変位速度の増加に伴って、ピーク時の応力比が一定の後、低下するせん断速度領域において、残留状態の応力比は若干増加する。一方、過圧密粘土の場合、ピーク時、残留状態の応力比はともにせん断変位速度の増加に伴って増加した。
- (2) せん断変位速度が大きくなると、ピーク時、残留状態の内部摩擦角はどちらも徐々に増加した後、減少に転じる。
- (3) 過圧密比が大きくなるほど、試験前後の含水比の差が小さくなり、過圧密粘土に現れたせん断速度依存性に含水比変化が関与している可能性は小さいと考えられる。

参考文献 1) 鈴木素之, 梅崎健夫, 川上 浩: リングせん断試験による粘土の残留強度特性, 直接型せん断試験の方法と適用に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp.269-274, 1995.



(b) OCR=1

図-3 OCR=6 および 1 における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

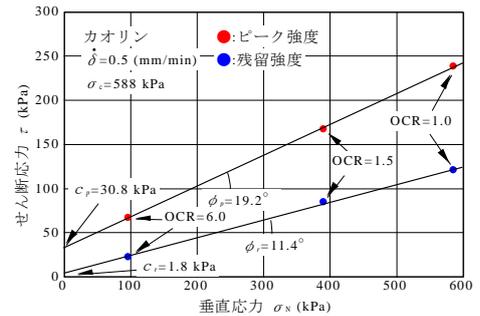


図-4 過圧密状態 ($\sigma_c=588\text{kPa}$) におけるピークおよび残留状態強度線

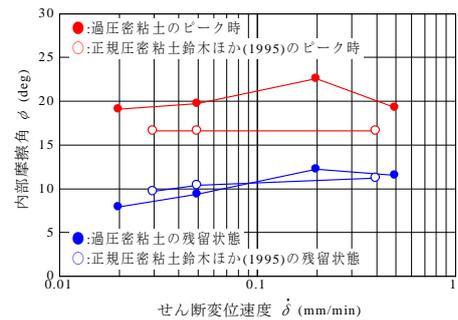


図-5 正規および過圧密粘土の内部摩擦角とせん断変位速度の関係¹⁾

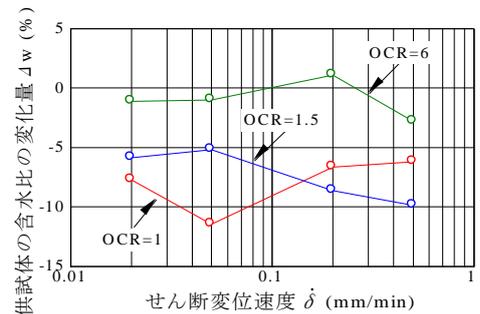


図-6 供試体のせん断面付近の含水比変化とせん断変位速度の関係