

繰返し一面せん断試験における粘土の残留強度特性

山口大学大学院 学 ○北村一也

山口大学工学部 正 鈴木素之 山本哲朗

日特建設（株） 正 谷川勝也（元 山口大学大学院）

山口大学大学院 学 小山泰正

1.はじめに 地すべり斜面の安定計算で重要な土の残留強度はリングせん断試験や繰返し一面せん断試験によって測定される。特に不攪乱試料の残留強度を求める場合、試料が小さく少量で済む繰返し一面せん断試験の方が有用性が高い。本文では、まず、工業用粘土の一つのカオリンを用いて繰返し一面せん断試験の基本的な強度特性を把握するために、せん断速度、過圧密比および垂直応力の影響を検討し、得られた残留強度をリングせん断試験結果と比較した。次いで、地すべり地で採取した不攪乱試料を対象として、得られた残留強度を攪乱試料の値と比較するとともに、室内せん断試験の試料準備に伴う粒度調整による残留強度の変化について検討する。

2.繰返し一面せん断試験

2.1 試験装置 本研究では中森ら¹⁾が開発した在来型の繰返し一面せん断試験装置を改良して用いた。供試体寸法は直径 60 mm、高さ 20 mm である。せん断箱は上部固定・下部可動であり、下部せん断箱に高剛性ロードセルを取り付け反力板側での垂直力の測定を可能にした。

2.2 試料 用いた試料はカオリンと地すべり土である。カオリンの物理的性質は $\rho_s=2.618\text{ g/cm}^3$ 、 $w_L=62.0\%$ 、 $I_p=21.8$ 、 $D_{max}=0.2\text{ mm}$ 、 $D_{50}=0.007\text{ mm}$ 、 $F_{clay}=35.3\%$ である。地すべり土の物理的性質は $\rho_s=2.687\text{ g/cm}^3$ 、 $w_L=34.4\%$ 、 $I_p=16.9$ 、 $D_{max}=5.1\text{ mm}$ 、 $D_{50}=0.03\text{ mm}$ 、 $F_{clay}=25.5\%$ であり、山口県東部の地すべり地から採取したものである。

2.3 試験ケースと試験方法 カオリンを用いて、過圧密比 OCR の影響を検討するために、 $OCR=1,2,4,8$ の 4 ケースを、垂直応力の影響を検討するために垂直応力 $\sigma_N=49,98,196,294,392\text{ kPa}$ の 5 ケースで繰返し一面せん断試験を実施した。供試体は繰返し再構成試料を直径 6 cm、高さ 2 cm に成形し、圧密過程において 1 時間圧密した後、直ちにせん断変位速度 $\dot{D}=0.1\text{ mm/min}$ 、せん断変位振幅 $\Delta D=\pm 7\text{ mm}$ 、累積せん断変位 $\Sigma D=280\text{ mm}$ (繰返し回数 $N=10$) の条件でせん断した。なお、せん断変位速度 $\dot{D}$ は予備試験に基づいて、排水条件を近似的に満たす値として本研究における $\dot{D}=0.1\text{ mm/min}$ 値を決定した。ついで、地すべり土の不攪乱および攪乱供試体に対して繰返し一面せん断試験を実施した。不攪乱供試体は $\sigma_N=49,98,196,294\text{ kPa}$ の 4 通りで 24 時間圧密した後、直ちに $\dot{D}=0.02\text{ mm/min}$ 、 $\Delta D=\pm 7\text{ mm}$ 、 $\Sigma D=140\text{ mm}$ ($N=5$) までせん断した。攪乱供試体は使用済みの不攪乱試料を含水比が変化しないように十分に繰返し

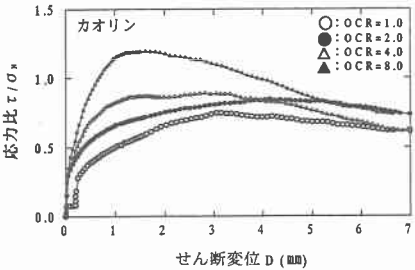


図-1 応力比とせん断変位の関係

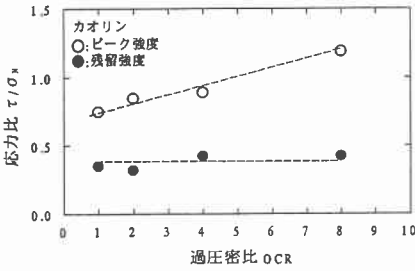


図-2 応力比と過圧密比の関係

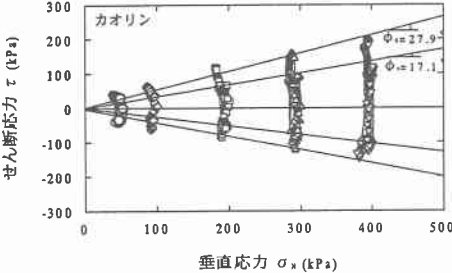


図-3 垂直応力とせん断応力の関係

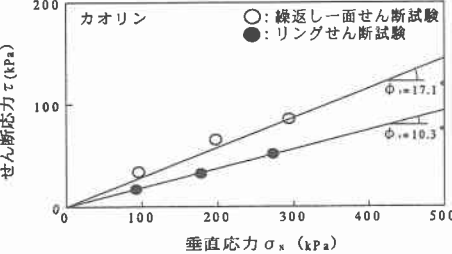


図-4 リングせん断試験との強度比較

た。次いで、この攪乱試料を 0.425 mm および 0.85 mm ふるいで裏ごしした試料（以後、粒度調整試料）に対して試験を実施した。試験では $\sigma_N=196 \rightarrow 147 \rightarrow 98$ kPa のように段階的に減少させている。また、このときのせん断速度も $\dot{D}=1.0$ mm/min とした。

3. 試験結果と考察

3.1 カオリンの速度検定および過圧密比のせん断挙動 図-1 に OCR = 1, 2, 4, 8 の場合におけるせん断変位 D と応力比 τ/σ_N の関係を示す。OCR が高いほど最大応力比 $(\tau/\sigma_N)_{\max}$ も大きくなる。図-2 に最大応力比（ピーク強度）、最小応力比（残留強度）および OCR の関係を示す。ピーク強度は OCR が高くなるほど高くなり、残留強度は OCR の変化に対してほぼ一定になる結果が得られた。このことから、ピーク強度は OCR の影響を大きく受けるが、残留強度では OCR の影響をほとんど受けないことを確かめた。

3.2 リングせん断試験との強度定数の比較

図-3 に $\sigma_N=49, 98, 196, 294, 392$ kPa の場合における応力経路を示す。ここに、ピーク強度線および残留強度線からそれぞれ $\phi_p=27.9^\circ$, $c_p=0$ kPa および $\phi_r=17.1^\circ$, $c_r=0$ kPa が得られた。図-4 に繰返し一面せん断試験とリングせん断試験から得られた残留強度線を示す。繰返し一面せん断試験から得られた ϕ_r の方がリングせん断試験よりも約 7° 大きい。この理由として、繰返し一面せん断試験の場合、せん断方向が順次反転してせん断面の土粒子の配向が乱されることなどが考えられる。

3.3 不攪乱および攪乱地すべり土のせん断挙動と強度定数 図-5 に不攪乱試料と攪乱試料の残留強度線を示す。不攪乱試料の場合、残留状態における内部摩擦角および粘着力はそれぞれ $\phi_r=35.4^\circ$ および $c_r=28.2$ kPa、攪乱試料の場合、 $\phi_r=39.6^\circ$ および $c_r=0$ kPa を得た。本研究では、攪乱試料は不攪乱試料と同じ含水比で繰返した後、原粒度のままから作製している。今回の実験データから、 $\sigma_N \leq 250$ kPa の領域では粘着力は不攪乱試料の方が攪乱試料よりも高く、逆に内部摩擦角は攪乱試料の方が不攪乱試料よりも高い。このことは、試料の乱れにより不攪乱試料の土粒子の原構造が破壊され、せん断抵抗が有効垂直応力に比例する摩擦性材料へと変化したためと考えられる。

3.4 粒度調整に伴う強度定数の変化 図-6 に試料の最大粒径 $D_{\max}$ を 0.85 mm および 0.425 mm に調整した場合の残留強度線を示す。0.85 mm ふるい通過試料から $\phi_r=41.7^\circ$, $c_r=0$ kPa を、0.425 mm ふるい通過試料から $\phi_r=31.2^\circ$, $c_r=0$ kPa を得た。0.425~0.85 mm の粒径範囲の土粒子を除去した結果、 c_r はゼロのまま、 ϕ_r は約 10.5° も低下する。したがって、残留強度を求める際に試料の粒度を人為的に調整すると、残留強度を過小評価する可能性がある。

4. まとめ 本文で得られた知見は次のようである。①繰返し一面せん断試験で得られた応力比はでは、ピーク時に過圧密の影響を受けるが、残留状態ではほとんど影響を受けない。②繰返し一面せん断試験とリングせん断試験による残留状態における内部摩擦角の差は約 7° である。③残留状態における内部摩擦角は試料の最大粒径の影響を受けるので、試料準備時の粒度調整には注意を要する。

【謝辞】 本実験では、復建調査設計（株）の繰返し一面せん断試験機を使用した。また、不攪乱試料の入手では復建調査設計（株）の福田直三氏、中森克己氏にご協力いただいた。ここに記して、深謝の意を表明します。

【参考文献】 1) 中森克己：第三紀層地すべり粘土のせん断強度特性および地すべり機構に関する実証的研究、大阪府立大学学位請求論文、1996。

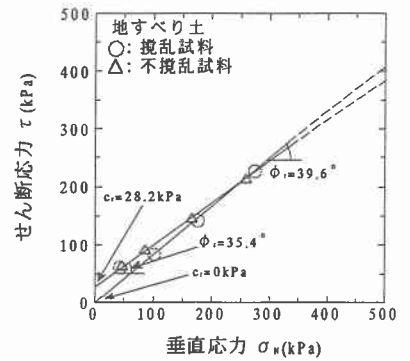


図-5 攪乱および不攪乱試料の残留強度線比較

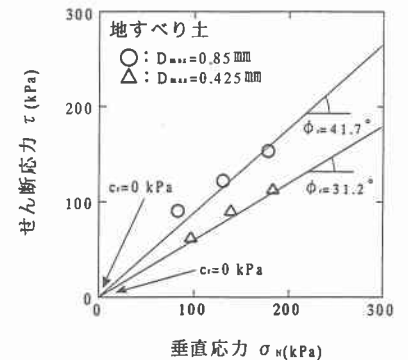


図-6 粒度調整試料の残留強度線