

## 定速・変速リングせん断試験における粘土の残留せん断挙動

山口大学大学院 学○松原 剛

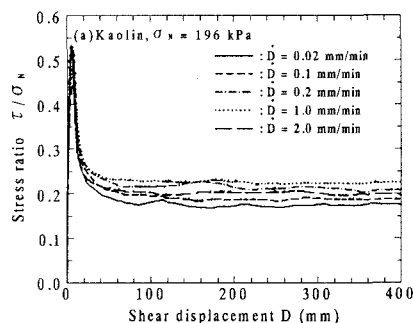
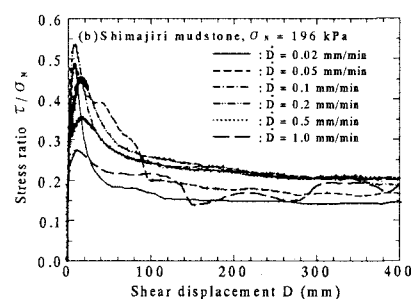
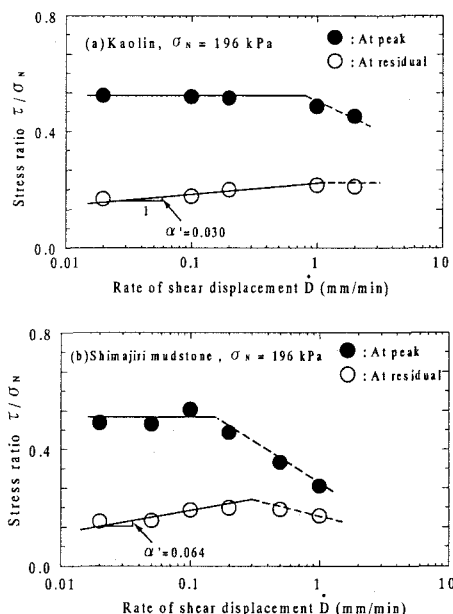
山口大学工学部 正 鈴木素之 山本哲朗

1. はじめに 土の残留強度は再活動地すべり斜面の安定性を評価する上で重要な工学的指標の一つである<sup>1), 2)</sup>。本論文では、地すべりの移動速度と強度定数の関係を把握するため、3種類の土試料を用いて圧密定圧定速・変速リングせん断試験を実施し、残留強度に及ぼすせん断速度の影響について検討した。特に、排水条件を満たすせん断速度で定圧せん断して一旦残留状態に至らしめ、その時点からせん断速度を連続的に増減させた場合の強度特性について検討した。

2. リングせん断試験 土試料はカオリン( $\rho_s=2.618 \text{ g/cm}^3$ ,  $w_L=65.3\%$ ,  $I_p=23.8$ )、島尻泥岩( $\rho_s=2.586 \text{ g/cm}^3$ ,  $w_L=91.4\%$ ,  $I_p=61.4$ )と山口県周南市須万の地すべり地で採取した粘土( $\rho_s=2.770 \text{ g/cm}^3$ ,  $w_L=27.3\%$ ,  $I_p=13.2$ )である。リングせん断試験の供試体は予圧密した土試料の含水比がほぼ一定の部分から内径6 cm、外径10 cm、高さ2 cmのドーナツ状に成形した。以下に示す $\tau$ はせん断応力、 $\sigma_N$ は垂直応力、 $\tau/\sigma_N$ は応力比、 $D$ は供試体の内径と外径の中間径の円周上で定義される回転変位、 $\theta$ はリングの回転角であり、 $\dot{D}$ はせん断変位速度である。カオリン、島尻泥岩に対して $\sigma_N=196 \text{ kPa}$ の下で圧密した供試体に対して試験開始からの $\dot{D}$ を0.02~2.0 mm/minの範囲で各々設定してリングせん断試験を行った。次に、カオリン、須万に対して $\sigma_N=196 \text{ kPa}$ の下で圧密した供試体に対して $\dot{D}$ を0.02 mm/minで一旦残留状態に至らしめた後、 $D=20 \text{ mm}$ ( $\theta=0.5 \text{ rad}$ )毎に $\dot{D}$ を0.2→0.5→1.0→2.0→1.0→0.5→0.2→0.02 mm/minのように増減させた。本論文では、残留強度の決定に鈴木ら<sup>3)</sup>の方法を参考にして最大応力比後の $\tau/\sigma_N-\theta$ 関係の実測値に対して双曲線近似を適用し、その漸近値を残留強度と決定する方法を用いた。

3. 定速リングせん断試験におけるせん断速度の影響 図-1, 2 はそれぞれカオリン、島尻泥岩の $\sigma_N=196 \text{ kPa}$ での各せん断速度の $\tau/\sigma_N-D$ 曲線を示したものである。両図ともに $\tau/\sigma_N$ は $D=20 \text{ mm}$ ( $\theta=0.5 \text{ rad}$ )程度でピークに達した後、減少し始め $D=200 \text{ mm}$ 以降ではほぼ一定の値を示している。図-3(a), (b)はそれぞれ図-1, 2 で示したデータを対数表示の $\dot{D}$ の関係で整理したものである。 $\dot{D}$ が大きくなるにつれて、ピーク時の $\tau/\sigma_N$ ははじめ一定値を示し、ある $\dot{D}$ から減少する傾向にある。これは過剰間隙水圧の発生と消散が平衡せず、有効垂直応力が減少し見掛けの $\tau/\sigma_N$ が減少したこと、また高速せん断のために排水条件が満たされていないことが原因として考えられる。残留時の $\tau/\sigma_N$ はカオリン、島尻泥岩の場合ともに $\dot{D}$ の増加に伴い増加している。また、 $\dot{D}$ が高くなると $\tau/\sigma_N$ は減少している。これについてもピーク時と同様の原因が考えられる。ここで、残留時の応力比の増加率を速度効果係数 $\alpha'$ と定義し、カオリンでは $\alpha'=0.030$ 、島尻泥岩では $\alpha'=0.064$ が得られた。

4. 変速リングせん断試験におけるせん断速度の影響 図-4 に $\sigma_N=196$

図-1 カオリンの $\tau/\sigma_N$ と $D$ の関係図-2 島尻泥岩の $\tau/\sigma_N$ と $D$ の関係図-3 異なるせん断速度の下での $\tau/\sigma_N$ と $D$ の関係

kPa の場合のカオリンおよび須万の  $\tau/\sigma_N$  と  $\dot{D}$  の関係を示す。この試験では  $\dot{D}=0.02$  mm/min として一旦残留状態にした後、 $\dot{D}$  を上述のように連続的に増減させている。カオリンの場合、 $\tau/\sigma_N$  は  $\dot{D}=20$  mm 以内でピーク値を示し、その後急激に減少して  $\dot{D}=200$  mm ( $\theta=5$  rad) 程度においてほぼ一定値になっている。須万の場合、 $\tau/\sigma_N$  は  $\dot{D}=20$  mm でピーク値を示したまま、ほぼ一定の値を保持している。

図-5 および図-6 にそれぞれカオリンおよび須万の加速・減速過程における  $\tau/\sigma_N$  と  $\dot{D}$  の関係を示している。図-5 より残留状態においては  $\dot{D}$  の増加に伴って、 $\tau/\sigma_N$  の上・下限値は増加し、また  $\dot{D}$  の減少に伴い  $\tau/\sigma_N$  は減少していることが分かる。この傾向は、同じカオリンを用いてせん断初期から一定の  $\dot{D}$  でリングせん断試験を実施した場合とほぼ一致する。ここで、加速過程では  $\alpha'=0.028$ 、減速過程では  $\alpha'=0.027$  が得られた。一方、須万の場合、カオリンと比較して残留状態での応力比は  $\dot{D}$  の加速・減速に対してほとんど変化していない。ここで、加速過程では  $\alpha'=0.008$ 、減速過程では  $\alpha'=0.005$  が得られた。 $\alpha'$  は試料の物理特性が関係しているものと考えられる。

図-7 に速度効果係数  $\alpha'$  と塑性指数  $I_p$  の関係を示す。塑性指数が高い試料ほど速度効果係数は高い値をとる傾向にある。塑性指数が高い粘性土ほど残留状態でのせん断速度依存性は強いものと考えられる。

以上より、2 方式のリングせん断試験の結果からカオリンの場合には、残留時の  $\tau/\sigma_N$  は  $\dot{D}$  の増加に伴い増加する傾向が認められた。

## 5. 結論

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- (1) せん断過程においてせん断速度を一定とした条件下において、ピーク時の応力比はせん断速度のある範囲では一定を示しているが、その範囲を越えると減少する傾向にある。また、ピーク時の応力比が一定であるせん断速度領域において残留時の応力比はせん断速度の増加に伴って増加する。
- (2) 残留状態においてせん断速度を増加させると、応力比は増加する。また、せん断速度を減少させると、応力比は減少する。
- (3) せん断初期から一定のせん断速度の下で行った試験結果と残留状態においてせん断速度を変化させた試験結果はほぼ一致する。
- (4) 塑性指数の高い試料ほど速度効果係数は大きくなる。

【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) 鈴木素之ほか: 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.

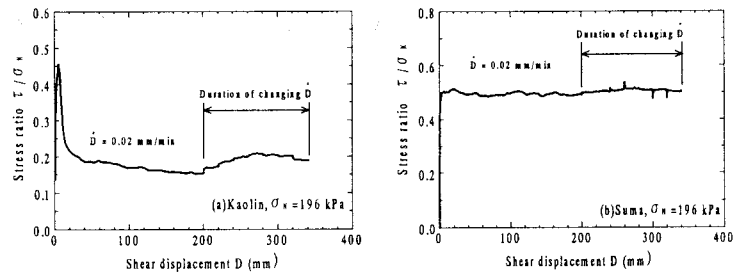


図-4 残留状態で  $\dot{D}$  を変化させたリングせん断挙動

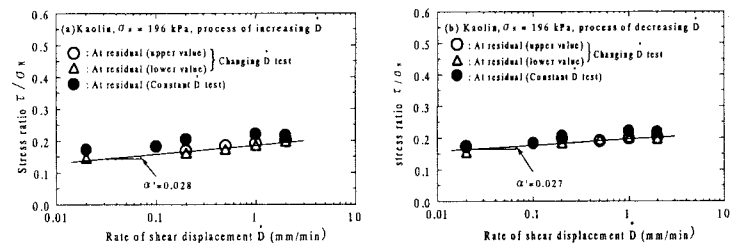


図-5 カオリンの残留状態での  $\tau/\sigma_N$  と  $\dot{D}$  の関係

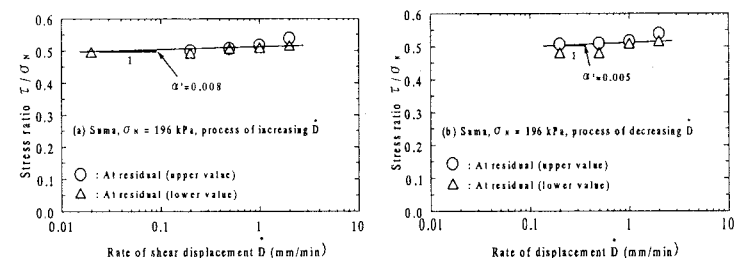


図-6 須万の残留状態での  $\tau/\sigma_N$  と  $\dot{D}$  の関係

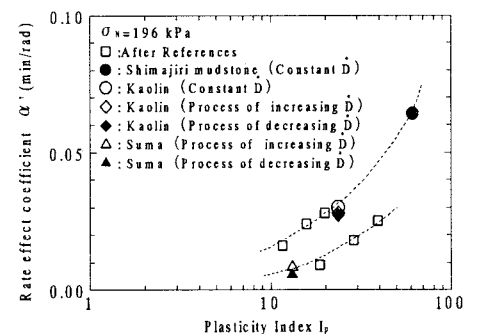


図-7 物理特性と速度効果係数の関係