

地すべり粘土の残留強度に及ぼすせん断速度の影響

山口大学大学院 学○谷川勝也

山口大学工学部 正 鈴木素之 正 山本哲朗

西日本工業大学 正 福田順二

ジオテック（有） 久永喜代志

1. はじめに 練返し再構成粘土の残留強度に及ぼすせん断速度の影響についてせん断速度を 0.02～2.0 mm/min の範囲で変化させたリングせん断試験結果に基づいて検討している。従来の研究では、せん断速度の増加に対して土の残留強度は増加・不変・減少するものがあるが、せん断挙動の統一的な理解はなされていない¹⁾。本文では、粘土含有量と塑性指数の観点で上記の関係を整理している。

2. 実験方法

2.1 試料・供試体 試料は市販のカオリン（ $\rho_s = 2.618 \text{ g/cm}^3$, $w_L = 62.0\%$, $I_p = 21.8$, $CF = 35.3\%$ ）で、鉱物組成はカオリナイトと石英である。試料は液性限界の 2 倍の含水比で十分に練り返した後、リングせん断試験における所定の圧密応力 σ_c の 85% で 24 時間圧密した。供試体はこの予圧密試料から内径 6cm、外径 10cm、高さ 2cm の環状に成形した。このとき試料の高さ方向でほぼ等しい含水比の部分で成形部分とし、乱れが少なくなるように慎重に行った。また、成形リング内面には摩擦軽減用のシリコングリースを塗布した。

2.2 圧密定圧リングせん断試験

リングの内径、外径はそれぞれ 6cm、10cm で、供試体底面から高さ 1cm の面がせん断面となる。せん断力、垂直力、リング周面摩擦力、垂直変位が計測される。圧密応力 σ_c を 196kPa、圧密時間を 60 分（3t 法による t_c は 15min）とし、複数個の供試体を用いて異なる一定のせん断速度の定圧リングせん断試験を実施した。その他の試験条件として、圧密応力の載荷後に供試体を水浸させ、膨潤を防いだ。また、上・下部リングの隙間は 0.20 mm とした。なお、データ整理に用いる垂直応力 σ_N はリング周面摩擦応力を考慮した値である。

2.3 試験ケース 試験ケースと供試体の初期状態を表-1 に示す。 θ はリングの回転角 (rad)、 D は供試体の外径の中間でのせん断変位 (mm) である。 $\dot{\theta}$ および $\dot{D}$ はそれぞれせん断変位角速度 (rad/min) およびせん断変位速度 (mm/min)、 θ_{end} および D_{end} はそれぞれ試験打ち切り時のせん断変位角 (rad) およびせん断変

表-1 試験ケース

試験番号	σ_c (kPa)	$\dot{\theta}$ (rad/min)	$\dot{D}$ (mm/min)	θ_{end} (rad)	D_{end} (mm)	e_0	S_0 (%)
1	196	0.0005	0.02	10	400	1.554	99.5
2	196	0.0025	0.1	10	400	1.572	98.6
3	196	0.005	0.2	10	400	1.575	99.5
4	196	0.025	1.0	10	400	1.580	98.5
5	196	0.05	2.0	5	200	1.580	99.5

表-2 ピークおよび残留強度の一覧表

試験番号	σ_N (kPa)	$\dot{\theta}$ (rad/min)	e_c	τ_p (kPa)	θ_p (rad)	τ_p/σ_N	τ_r (kPa)	τ_r/σ_N
1	196	0.0005	1.221	98.5	10	0.503	27.8	0.142
2	196	0.0025	1.202	97.8	10	0.499	31.8	0.162
3	196	0.005	1.202	100.2	10	0.511	39.2	0.200
4	196	0.025	1.228	99.0	10	0.505	43.9	0.224
5	196	0.05	1.263	87.8	5	0.448	42.2	0.215

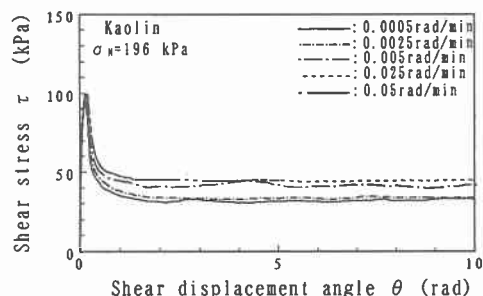


図-1 せん断応力-せん断変位角

位(mm)である。この他、 e_0 および S_{r0} はそれぞれ供試体の初期間隙比および初期飽和度である。

2.4 残留強度の決定法 残留強度は大変位を受けた土の最小せん断応力であると定義する。リングせん断試験におけるせん断応力-せん断変位角関係の実測値は長期間のせん断においても厳密な定常状態に達したか否かが判断できないので、最大せん断応力後のせん断応力-せん断変位角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²⁾。

3. 実験結果と考察

3.1 リングせん断挙動に及ぼすせん断速度の影響 図-1~4に著者らが実施したせん断変位角速度 $\dot{\theta}$ が異なるリングせん断試験の結果を示す。図-1はせん断応力 τ とせん断変位角 θ の関係を示したものである。ここで、 $\theta=10\text{rad}$ は $D=400\text{mm}$ に相当する。いずれの τ も $\theta=0.5\text{rad}(D=20\text{mm})$ 以内で最大値を示した後、急減してほぼ一定の値になっている。また、 $\tau \sim \theta$ 曲線は $\dot{\theta}$ の影響を受けて、 $\dot{\theta}$ が大きいほど上方にある。なお、以下の考察で用いるピーク強度 τ_p は τ の最大値、残留強度 τ_r は前出の双曲線近似を適用して決定したもので、近似の適合性は良好であった。表-2に試験結果の一覧を示す。 e_c は圧密後の供試体間隙比である。

3.2 ピーク強度および残留強度に及ぼすせん断速度の影響

図-3はピーク強度 τ_p および残留強度 τ_r とせん断変位角速度 $\dot{\theta}$ の関係を示したものである。 τ_p は、 $\dot{\theta}=0.0005 \sim 0.025 \text{ rad/min} (\dot{\gamma}=0.02 \sim 1.0 \text{ mm/min})$ の範囲では $\dot{\theta}$ の増加に対してほぼ一定であり、 $\dot{\theta}=0.025 \text{ rad/min} (\dot{\gamma}=1.0 \text{ mm/min})$ 以上の範囲で減少する結果が得られた。このことは鈴木ら¹⁾がすでに示した結果と一致しており、せん断面上に発生した過剰間隙水圧により有効垂直応力が減少したためと考えられる。一方、残留強度 τ_r は τ_p がほぼ一定の $\dot{\theta}$ の範囲で $\dot{\theta}$ の増加に対して直線的に増加している。ここで、この直線の勾配を速度係数 $\alpha (=d\tau_r/d\log \dot{\theta})$ として α を求めると $\alpha=7.5 (\text{kPa}/(\text{rad/min}))$ となる。

3.3 速度係数と粘土含有量および塑性指数の関係 図-4(a)および(b)にそれぞれ粘土含有量CFおよび塑性係数 I_p と速度係数 α の関係を示す。既往の研究結果^{1), 3)}を加えて比較してみると、一部データのばらつきがみられたが、 α とCFの間には直線関係がみとめられ、CFが高くなるほど α は増加するようである。また、 α と I_p の関係においても多少のばらつきがみられるが直線関係がみとめられ、 I_p が高い試料ほど α は大きいようである。以上の結果をまとめると、せん断面にある土の粘性が高いほど、残留強度のせん断速度依存性は高いといえる。

4. 結論 粘土含有量あるいは塑性指数が高い試料ほど、せん断速度が残留強度に及ぼす影響度合いを測る速度係数 α が大きいようである。

【参考文献】 1) 鈴木素之ほか：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. 2) 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. 3) 矢田部龍一ほか：破碎帯地すべり地の粘性土のリングせん断特性，土木学会論文集，No. 436/Ⅲ-16，pp. 93-101，1991.

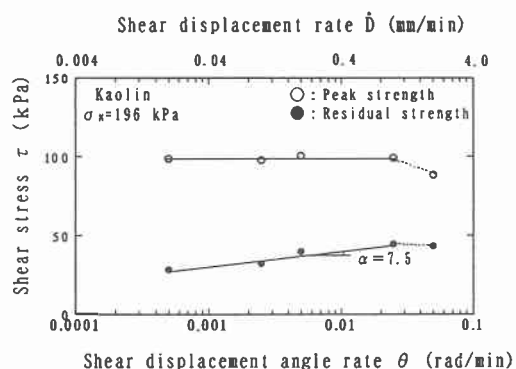


図-3 せん断応力-せん断変位角速度

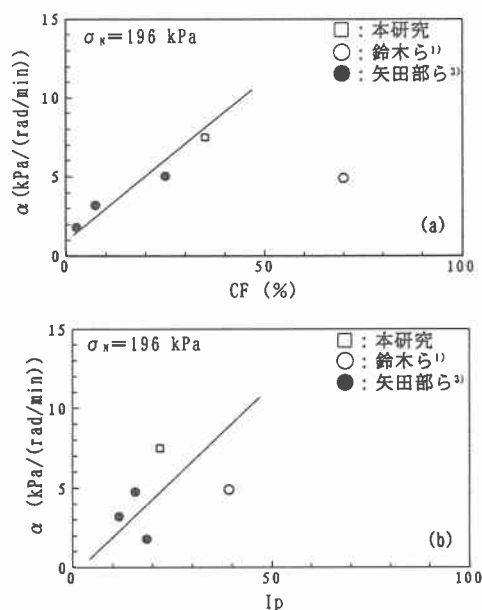


図-4 粘土含有量および塑性指数と速度係数の