

広範なせん断速度下における粘土の残留強度特性(その2)

山口大学工学部 正 鈴木素之 正 山本哲朗
 山口大学大学院 学○谷川勝也
 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 著者らは、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検討している。その結果、粘土含有量あるいは塑性指数が高い試料ほど、残留強度はせん断速度の影響を大きく受けることを示唆した。本文では、粘土含有量と塑性指数および両者を結ぶ活性度の観点で残留強度とせん断速度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のところをせん断面となる。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196 kPa、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・下部リングの間隙は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。試験ケースと供試体の初期状態量を表-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。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どうか判断できないので、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⁾。

表-1 試験ケース

試験番号	σ_c (kPa)	$\dot{\theta}$ (rad/min)	D (mm/min)	θ_{end} (rad)	D_{end} (mm)	e_0	S_{r0} (%)
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

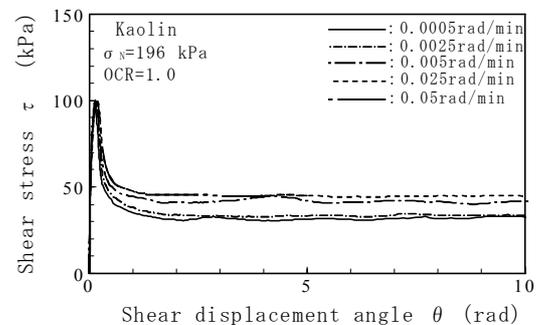


図-1 せん断応力-せん断変位角

キーワード：残留強度、せん断速度、粘土含有量、塑性指数、活性度
 連絡先：〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 鈴木素之 (Tel: 0836-85-9303, Fax: 0836-85-9301)

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、急激に減少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 は試験結果の一覧を示している。 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-2 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、 $\dot{\theta} = 0.0005 \sim 0.025\text{rad/min}$ ($\dot{D} = 0.02 \sim 1.0\text{mm/min}$) の範囲では $\dot{\theta}$ の増加に対してほぼ一定であり、 $\dot{\theta} = 0.025\text{rad/min}$ ($\dot{D} = 1.0\text{mm/min}$) 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³⁾ 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 α ($= d\tau_r / d\log \dot{\theta}$) として α を求めると $\alpha = 7.5\text{(kPa/(rad/min))}$ となる。

3.3 速度係数と粘土含有量・塑性指数および活性度の関係

図-3(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^{3), 4)}を加えて比較してみると、一部データに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。図-4 に活性度 A と速度係数 α の関係を示す。粘土含有量との関係のようなフィッティングラインを引くことは難しい。現状では A と α の関係は明瞭ではない。この理由として活性度は試料の種類(含有粘土鉱物)によって取りうる範囲がある程度決まっていて、しかもその変域は狭いことと考えられる。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、残留強度はせん断速度の影響をより大きく受けるが、活性度の観点ではその点を明瞭に表すことができない。

【参考文献】1) 鈴木素之ほか: 広範なせん断速度下における粘土の残留強度特性, 第36回地盤工学研究発表会講演集(投稿中)。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) 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。4) 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。

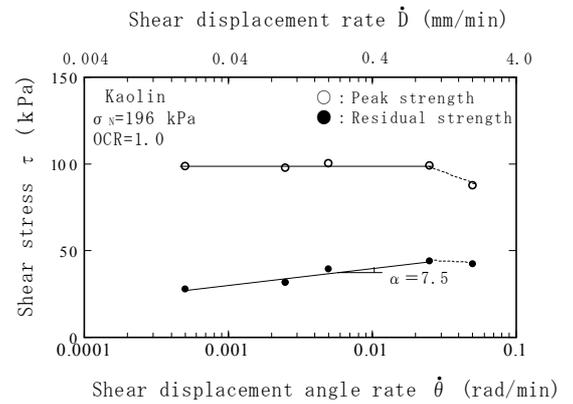


図-2 せん断応力-せん断変位角速度

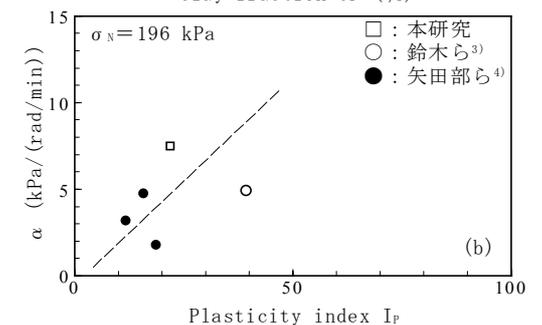
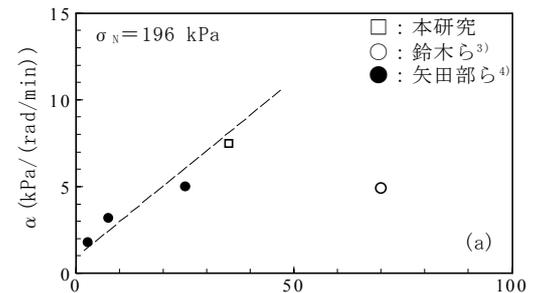


図-3 粘土含有量および塑性指数と速度係数の関係

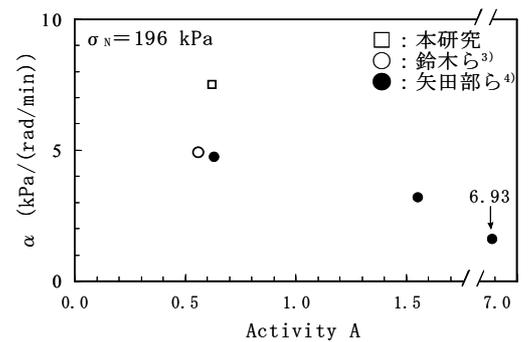


図-4 活性度と速度係数の関係