

カオリン粘土の残留強さ特性

山口大学大学院 学生会員 ○井上 優朋

山口大学大学院 正会員 鈴木 素之

山口大学大学院 学生会員 山本 拓矢

1. はじめに

長期にわたり継続的に活動する地すべり地においては、すべり面のせん断強さはすべり面から離れた部分のせん断強さよりもかなり小さい。このような地すべり地は掘削や盛土、降雨等の外的条件の小さな変化によっても大規模な崩壊に至る。したがって、地すべり地の安定性を評価する場合には、すべり面のせん断強度さを適切に評価することが重要である。一方、土のせん断試験においては、一般的に、せん断応力はせん断変位が非常に大きくなると、最大せん断応力から低下した究極的な定常応力状態に達する。この時のせん断応力を残留強さといい、地すべり地のせん断強さを評価する指標とされる^{1), 2)}。本研究では、カオリン粘土に対して、圧密定圧定速リングせん断試験を実施し、双曲線近似を用いる方法³⁾で残留強度を決定し、残留強さに及ぼす垂直応力とせん断速度の影響について検討した。

2. 試験方法

本研究で用いた試料はカオリンである。試料の物理的性質を表 1 に示す。試料は、含水比が液性限界の 2 倍となるように純水を加えて練り返し、予圧密法により作成した。供試体は予圧密試料から内径 6cm、外径 10cm、高さ 2cm の環状に切り出した。供試体をせん断箱に設置し、所定の垂直応力 σ_v で 60 分間圧密した。圧密終了後、直ちに定圧条件でせん断を開始した。表 2 に試験ケースと結果を示す。垂直応力 $\sigma_N=196$ としてせん断速度を 0.02, 0.2, 2, 20mm/min の 4 パターンと、せん断速度 0.02mm/min として垂直応力 $\sigma_N=196, 294, 392$ kPa の 3 パターンとして計 6 ケースのせん断試験を行った。

表 1 試料の物理特性

試料名	ρ_s (g/cm ³)	w_L (%)	w_p (%)	I_p	F_{clay} (%)
カオリン	2.63	78.9	41.4	37.5	90.2

表 2 試験ケース

P_c (kPa)	w_d (%)	σ_v (kPa)	σ_N (kPa)	t_c (min)	$\dot{\delta}$ (mm/min)	τ_p (kPa)	τ_r (kPa)
170	61.51	196	196	60	0.02	92.9	32.0
170	62.51	196	196	60	0.2	102.5	46.8
170	62.13	196	196	60	2	95.1	39.5
170	60.83	196	196	60	20	60.5	51.0
255	60.92	294	294	60	0.02	129.7	44.8
340	61.51	392	392	60	0.02	184.7	85.6

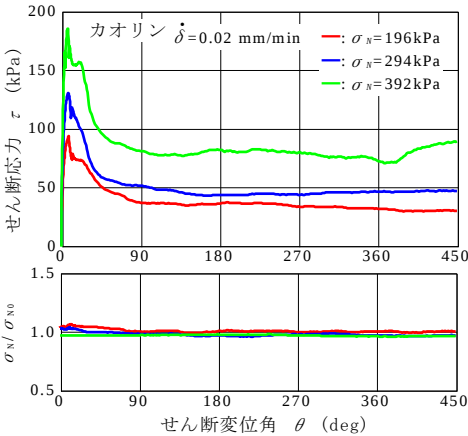


図 1 せん断応力-せん断変位角の関係

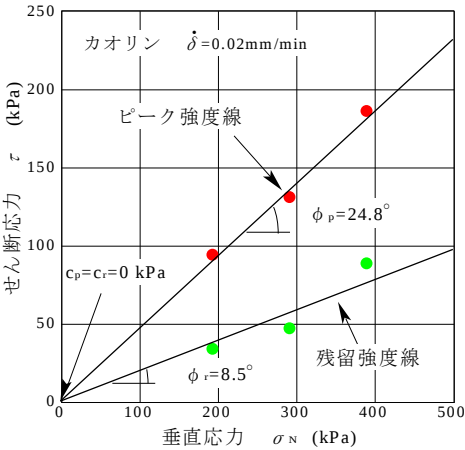


図 2 ピークおよび残留状態強度線

キーワード カオリン, 残留強さ, リングせん断試験

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台 2 丁目 16 番 1 号 山口大学理工学研究科 鈴木素之 Tel 0836-85-9303

3. 試験結果

図 1 に σ_N が異なる場合のせん断応力 τ とせん断変位角 θ の関係を示す。ここで $\theta=90^\circ$ はせん断変位 $\delta=62.8\text{mm}$ に相当する。 $\tau\sim\theta$ の関係は σ_N が大きいほど上位にくることがわかる。また、下図には周面摩擦の発生に伴うせん断中の σ_N の変化率 (σ_N/σ_{N0} : せん断初期の垂直応力) を示している。 σ_N/σ_{N0} はほぼ一定であるので、せん断中はほぼ定圧条件に保たれていることがわかる。

図 2 にピークおよび残留状態強度線を示す。縦軸に τ 、横軸に σ_N をとり、赤点はピーク強さ、緑点は残留強さとした。残留強さは最大応力比後の応力比とせん断変位角の関係に双曲線近似を適用し、その漸近線として決定した。これらの実測値に対して近似直線を引いたものがピーク強度線および残留強度線である。 $c_p = c_r = 0\text{kPa}$ と仮定すると、ピーク時の内部摩擦角は $\phi_p=24.8^\circ$ 、残留状態の内部摩擦角は $\phi_r=8.5^\circ$ となった。

図 3 にせん断速度が異なる場合の τ と θ の関係を示す。せん断速度は $0.02\text{mm/min}\sim 20\text{mm/min}$ の範囲で 4 通りに変化させた。 τ はいずれにおいてもせん断開始直後でピーク値をとっている。せん断速度が $0.02, 0.2\text{mm/min}$ の場合、 $\theta=90^\circ$ 以降で τ は残留状態となっている。せん断速度が 2mm/min の場合、 $\theta=45^\circ$ 以降、せん断速度が 20mm/min の場合は、 $\theta=30^\circ$ 以降で τ は残留状態となっていることがわかる。

図 4 にカオリンのピークおよび残留状態の応力比に及ぼすせん断速度の影響を検討した図を示す。縦軸に応力比、横軸にせん断変位速度をとっている。ピーク時の応力比は $0.02, 0.2\text{mm/min}$ のときのせん断速度の変化に対していくぶん増加し、 2mm/min 以上で著しく減少している。これはせん断速度の増加によって過剰間隙水圧が発生し、その結果有効垂直応力が減少したためと考えられる。一方、その領域において残留状態の応力比は、せん断変位速度が増加するにつれて増加する傾向が確認された。

4. まとめ

本研究から得られた結果を以下にまとめる。

- (1) せん断応力-せん断変位関係は垂直応力の影響を受ける。
- (2) ピーク時および残留状態のみかけの粘着力をゼロとすると、ピーク時の内部摩擦角は $\phi_p=24.8^\circ$ 、残留状態内部摩擦角は $\phi_r=8.5^\circ$ となった。
- (3) 有効垂直応力が低下しているせん断速度領域で残留状態の応力比はせん断速度の増加に伴って増加する傾向がある。

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, 梅崎健夫, 川上浩: 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.

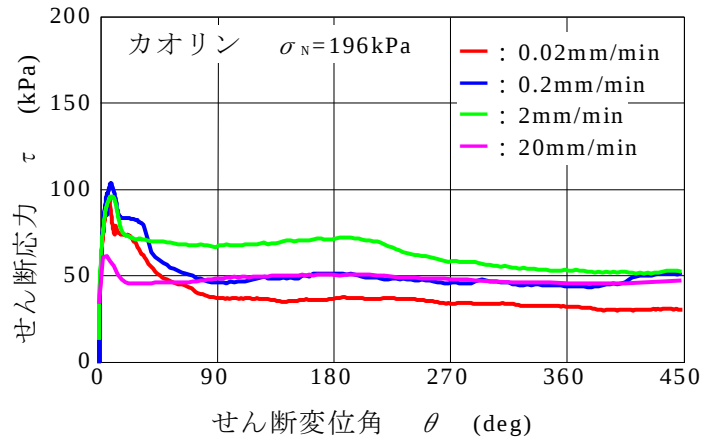


図 3 せん断応力-せん断変位角の関係

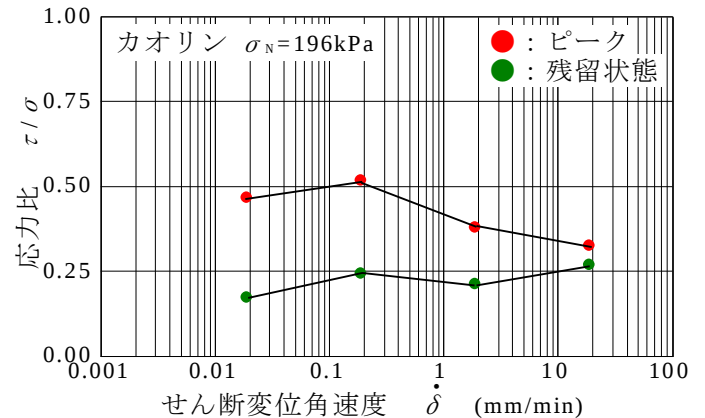


図 4 ピークおよび残留状態の応力比-せん断速度