

粘土の残留強度に及ぼすせん断速度の影響

信州大学大学院 学○鈴木素之

信州大学工学部 正 梅崎健夫 正 川上 浩

1. はじめに

粘土の残留強度に及ぼすせん断速度の影響はリングせん断試験あるいは繰返し一面せん断試験を用いて検討されているが、残留強度状態に至るせん断量が不明なことから、残留強度の判定基準あるいは決定方法は必ずしも明確ではない。したがって、せん断量に依存しない客観的な決定方法に基づいて、残留強度に及ぼすせん断速度の影響を検討することが重要である。

繰返しカオリン粘土を用いた0.0005～0.05 rad/min(0.02～2.0 mm/min)のせん断速度範囲における圧密定圧リングせん断試験を実施した。試験結果に基づいて、双曲線近似による残留強度決定法¹⁾の妥当性を検証するとともに、最大せん断強度および残留強度に及ぼすせん断速度の影響を考察した。

2. 残留強度決定法¹⁾

本決定法は、残留強度を大変位を受けた土の最小の強度と定義し、最大せん断応力後のせん断応力 τ とせん断変位角 θ 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 τ_r とするものである。

3. 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、上・下リングの隙間は0.1mmである。カオリン粘土($G_s=2.759$, $w_L=75.7\%$, $I_p=39.4$, $CF=67\%$)に対して、圧密時間180分(3t法:10分)で、圧密応力とせん断速度の異なる定圧リングせん断試験を実施した。圧密応力は196, 294, 392 kPaで、リング周面摩擦応力を考慮して調整した。

4. 実験結果と考察

(1)双曲線近似の適合性 図-1は $\sigma_n=196$ kPaのときのせん断応力とせん断変位角の関係であり、各せん断変位角速度における双曲線式($\tau = \theta / (a + b\theta)$)の適合性を示した。せん断変位角10radはせん断変位40cmに相当する。最大せん断強度付近で双曲線式は実測値から多少はずれているが、せん断変位角が大きくなると、実測値は双曲線式によく適合してくる。rは $\theta / \tau \sim \theta$ 関係の直線性の度合いを表す相関係数であり、全ての試験で0.995以上と非常に高いことから、残留強度の決定には双曲線近似が適用できるものと考えられる。

(2)最大せん断強度および残留強度に及ぼすせん断速度の影響 図-2は $\sigma_n=196$ kPaのときのせん断応力とせん断変位角速度の関係である。せん断変位角速度が0.02 rad/min以上で最大せん断強度が若干低下している。これはせん断速度が速いために排水条件が満たされず、過剰間隙水圧が発生しているものと考えられる。0.0005～0.01 rad/minの範囲では、最大せん断強度はほぼ一定であり、 $\sigma_n=294, 392$ kPaにおいても同様であった。一方、そのときの残留強度はせん断変位角速

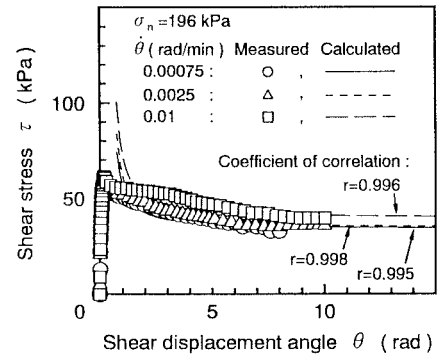


図-1 せん断応力－せん断変位角関係

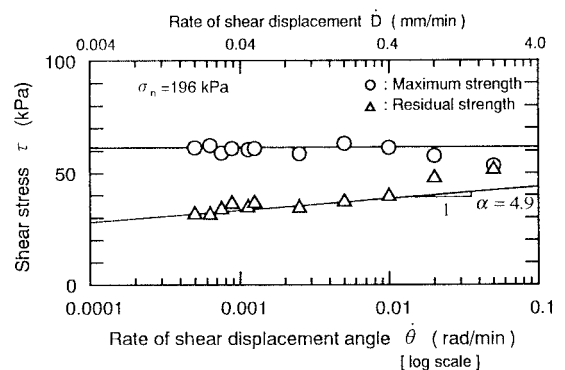


図-2 せん断応力－せん断変位角速度関係

度の対数に対してほぼ直線的に増加している。その直線の勾配を速度係数 α と定義し、式(1)で表す。

$$\alpha = d\tau_r / d(\log \dot{\theta}) \quad (1)$$

各垂直応力ごとに α を求めると、ほぼ $\alpha = 4.9$ (kPa/(rad/min))であることから、せん断速度の増加に伴う残留強度の増加は垂直応力に無関係である。

(3)せん断応力最大時および残留時の内部摩擦角に及ぼすせん断速度の影響 図-3はせん断応力最大時および残留時の内部摩擦角 ϕ_d および ϕ_r とせん断変位角速度の関係である。 ϕ_d および ϕ_r は、見掛けの粘着力 c_d および c_r をゼロとして、それぞれ次に示す式(2)および(3)から求めた。

$$\phi_d = \tan^{-1}(\tau_{\max} / \sigma_n) \quad (2)$$

$$\phi_r = \tan^{-1}(\tau_r / \sigma_n) \quad (3)$$

0.0005~0.01 rad/minの範囲において、 ϕ_d はせん断変位角速度に対してほぼ一定($\phi_d = 16.5^\circ$)である。なお、同一試料の三軸圧縮試験(CU)より $\phi' = 17.1^\circ$ 、 $c' = 0$ が得られている。一方、そのときの ϕ_r は、 τ_r と同様に、せん断変位角速度の対数に対して直線的に増加している。図-4は残留時と最大時の内部摩擦角の比 ϕ_r / ϕ_d とせん断変位角速度の関係である。0.0005~0.01 rad/minの範囲において、 ϕ_r / ϕ_d は0.57~0.68と増加している。せん断速度の増加に伴って最大せん断強度から残留強度への強度低下量は減少する。

(4)せん断応力最大時および残留時の強度線 図-5はせん断応力と垂直応力の関係である。せん断応力最大時および残留時の強度線を図-3から $c_d = 0$ 、 $\phi_d = 16.5^\circ$ および $c_r = 0$ 、 $\phi_r = 9.6^\circ$ の直線として表示した。せん断応力最大時および残留時の強度線と個々の実測値の適合性は良い。したがって、リングせん断試験においても、スラリー試料から再構成した正規圧密粘土に対する ϕ_d および ϕ_r は、 c_d および c_r をゼロとして求められる。

5. まとめ

① 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十分な精度で双曲線近似が適用できる。よって、残留強度は双曲線近似の漸近値として決定できる。② 0.0005~0.01 rad/min(0.02~0.4 mm/min)のせん断速度範囲内では、最大せん断強度は垂直応力によらずほぼ一定である。③ 一方、このときの残留強度はせん断変位角速度の対数に対して直線的に増加する。④ せん断速度の増加に伴う残留強度の増加は垂直応力に無関係である。⑤ せん断応力最大時の内部摩擦角はせん断変位角速度に対してほぼ一定である。一方、残留時の内部摩擦角はせん断変位角速度の対数に対して直線的に増加する。⑥ 正規圧密粘土の ϕ_d および ϕ_r は見掛けの粘着力 c_d および c_r をゼロとして求められる。

【参考文献】1) 鈴木素之・梅崎健夫・川上 浩：粘土の残留強度の決定法に関する一考察，平成5年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp.343-344，1994。

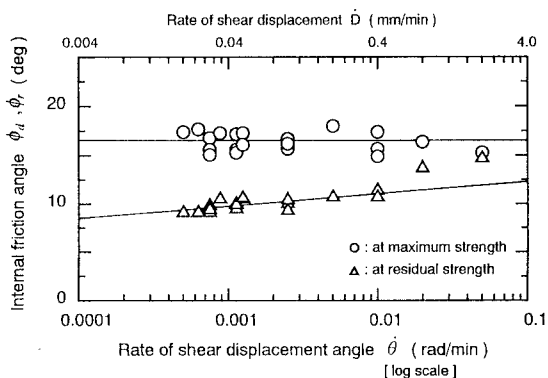


図-3 内部摩擦角-せん断変位角速度関係

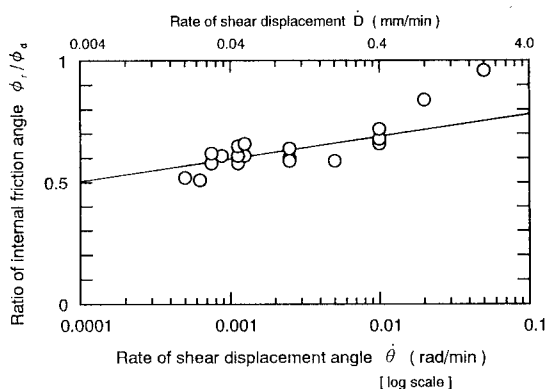


図-4 内部摩擦角比-せん断変位角速度関係

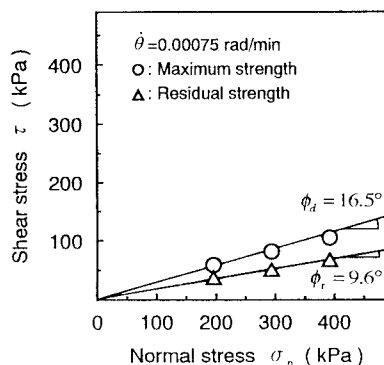


図-5 せん断応力-垂直応力関係