

粘土の残留強度の決定法に関する一考察

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

地すべり粘土は長期にわたる継続的なすべりによって強度は著しく低下し、すべり面の強度は残留強度に近いと考えられている。残留強度を求める室内土質試験の一つにリングせん断試験があるが、非常に長期間を要し、その判定基準や決定法は必ずしも明確ではない。本文は、試験の打ち切り変位に依存しない客観的な残留強度の決定法を提案し、その適合性を検証したものである。さらに本決定法の下での残留強度に及ぼすせん断速度の影響について考察した。

2. 双曲線近似を適用した決定法

残留強度は大変位を受けた土の最小の強度であると定義する。室内試験におけるせん断応力～変位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は至らず、実際は個々の判断において試験を打ち切り、残留強度を決定している。しかし、せん断速度や粘土含有量などの要因が残留強度に及ぼす影響を検討する場合においては、客観的な判定基準が必要であると考え、そこで最大せん断応力後の応力比～変位角関係に双曲線近似を適用して、その漸近値を残留強度とする決定法を提案する。

図-1に本決定法の手順を示す。応力比 τ/σ が最大の時の変位角を θ_p 、試験打ち切り時の変位角を θ_{max} とすると、区間 $[\theta_p, \theta_{max}]$ における応力比～変位角関係に(1)式的双曲線近似が適用可能であると仮定する。

$$\frac{\tau}{\sigma} = \frac{\theta}{a + b\theta} \quad (a, b \text{ は定数}) \quad (1)$$

すなわち、二変量 $\theta/(\tau/\sigma)$ と θ の間に直線関係が成立するとする。このとき、定数 a, b は図-2において実測値のフィッティング（最小二乗法）によって決定される。

双曲線近似の適合性が良好であれば、仮定が成立するものとして、残留強度 $(\tau/\sigma)_r$ は(1)式の漸近値として(2)式のように決定される。

$$\left(\frac{\tau}{\sigma}\right)_r = \frac{1}{b} \quad (2)$$

なお、残留強度の決定値と試験の打ち切り変位角 θ_{max} の関係を検討することにより、最小の打ち切り変位角 θ_f を決定できれば、試験時間の短縮化が図れると考える。

3. リングせん断試験

定圧リングせん断試験を実施した。表-1に試験ケースを示す。リングの内径・外径はそれぞれ6 cm, 10 cmで、上・下リングの隙間は0.1 mmとした。供試体はカオリン($G_s = 2.759, w_L = 75.7\%, I_p = 39.4, CF = 67\%$)を予圧密(1.7 kgf/cm², 7日間)し、圧密応力2.0 kgf/cm², 圧密時間180分

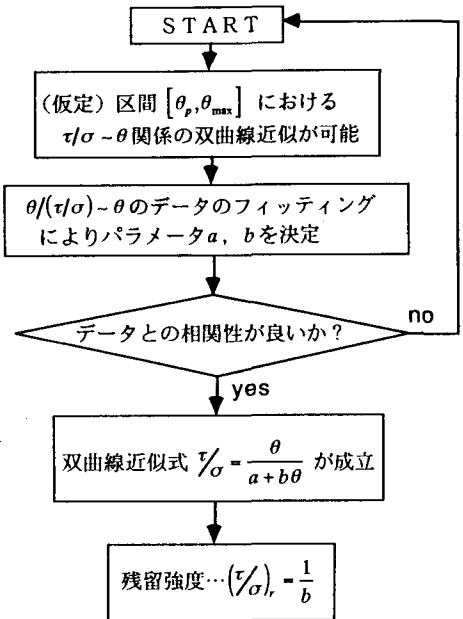


図-1 残留強度決定法の手順

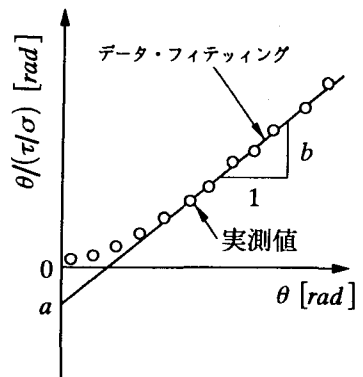


図-2 定数 a, b の決定

(3t:10分) でせん断を開始した。せん断速度は表-1のとおりである。なお、リング周面摩擦応力は 0.05 kgf/cm^2 程度であり、圧密応力はこれを考慮して調整した。

4. 試験結果と考察

(1) 双曲線近似の適合性

双曲線近似の適合性を $\theta/(\tau/\sigma) \sim \theta$ の直線性の度合いを示す相関係数によって評価する。表-1に示すように、各試験ともに相関係数は0.99以上と非常に高い。図-3に実測値と近似曲線の適合性の一例を示す。実測値と近似曲線はよく適合しており、この場合残留強度 $(\tau/\sigma)_r$ は近似双曲線の漸近値0.16と与えられる。これらのことにより最大せん断応力後の応力比～変位角関係には十分な精度で双曲線近似が適用できることが確認された。表-1の $(\tau/\sigma)_r$ が各試験の双曲線近似により決定された残留強度である。

なお、変位角がおおよそ $\theta_f = 5 \sim 7 \text{ rad}$ 以上の実測値を用いれば、残留強度の決定値はほぼ一定の値となる。すなわち、変位角 θ_f までの実測値を用いた外挿により残留強度を決定することができるので、試験期間の短縮化の可能性が示唆される。

(2) せん断速度の影響

図-4は、最大応力比から変位角が 8 rad までの実測値の推移と本決定法により決定した残留強度を示したものである。本試験のせん断速度の範囲は $0.02\text{--}0.05 \text{ mm/min}$ ($0.0005\text{--}0.00125 \text{ rad/min}$) である。Skempton¹⁾ によれば $0.002\text{--}0.01 \text{ mm/min}$ の範囲ではせん断速度が残留強度に及ぼす影響は無視でき、 $0.01\text{--}0.35 \text{ mm/min}$ の範囲ではせん断速度の増加により残留強度は若干増加するとしている。図-4においても同様の傾向がみられるが、強度増量はSkemptonの結果よりも大きい。

せん断速度によっては、実測値は $\theta = 8 \text{ rad}$ においても残留強度の決定値とは若干異なっている。本決定法による残留強度を用いる方が実測値の比較よりもせん断速度の影響を明瞭に表している。

5. まとめ

最大せん断応力後の応力比～変位角関係には十分な精度で双曲線近似が適用できることを確認し、このことに基づく残留強度の決定法を提案した。決定法に基づく残留強度を用いることによって影響要因の検討が適切に行える。さらに本決定法は試験時間の短縮化の可能性を示唆している。

【参考文献】1) Skempton, A. W. (1985); Residual Strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory, Geotechnique 35, No.1, 3-18

表-1 双曲線近似の適合性

Test No.	1	2	3	4	5
σ (kgf/cm^2)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
$\dot{\theta}$ (rad/min)	0.00050	0.00063	0.00075	0.00088	0.00125
$\theta_{\max}$ (rad)	10.3	10.6	8.1	13.2	8.1
相関係数 (τ/σ) _r	0.999	0.998	0.996	0.997	0.999
ϕ_r (deg)	9.1	9.1	9.6	9.6	10.8

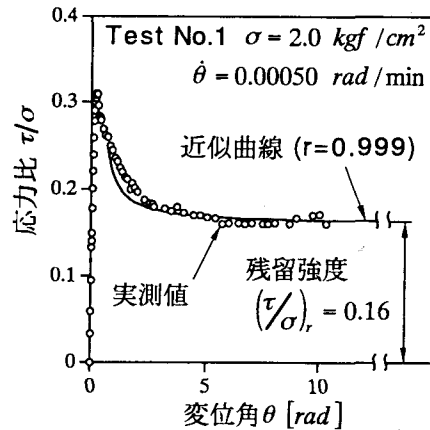


図-3 応力比-変位角曲線

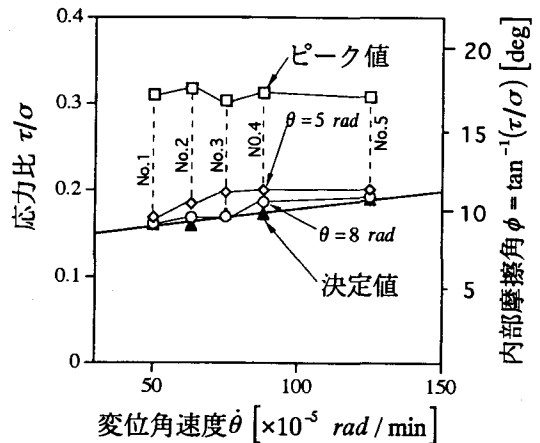


図-4 残留強度に及ぼすせん断速度の影響