

# 地すべり安定解析用強度パラメータ決定における繰返し一面せん断試験の適用

ライト工業(株) ○正会員 九田 敬行  
 北海道大学大学院 フェロ-会員 三田地 利之  
 北海道大学大学院 学生会員 石橋 正弘  
 北海道大学大学院 学生会員 伊藤 裕之

## 1. 序論

地すべり安定解析に用いる強度パラメータの算定法として現状では土質試験によらず逆算法による  $c' - \tan\phi'$  図で決定しているのがほとんどであり, この際見かけの粘着力  $c'(kN/m^2)$  を  $c'_0$  ( $d$ : 地すべり土塊の厚さ(m)) とする仮定を用いて  $\tan\phi'$  を逆算し, これをすべり面上の平均的強度パラメータとしている. しかし, そもそも  $c'_0$  とする仮定に理論的な根拠はない. そこで筆者らは, 逆算法による  $c' - \tan\phi'$  関係線とすべり面付近から採取された試料についてのせん断試験によるピーク・完全軟化・残留強度のプロット点を結ぶ折れ線との交点( ) として求める方法を提案してきた<sup>1),2),3)</sup>(図1). この方法は, 粘土のピーク強度から残留強度に至る連続的な変化の表現式<sup>2)</sup>に基づいており, その関係(模式的に図4に示す)を試験値として得られるピーク・完全軟化・残留状態の強度パラメータを用いて表すと図1の折線(図4では折れ線ABC)で近似することが出来る(一般に定圧一面せん断で得られる強度パラメータは  $c_d, \phi_d$  と表記されるが, 本論文ではピーク(p), 残留(r)等を表す添字と同時に用いることの煩雑さから,  $c', \phi'$  を用いることとした). 試料採取から室内試験実施に至るまでの諸々の誤差を考慮すれば, 実験値は図1中の網掛け部分程度の誤差を含んでいるものと解釈すべきであるが, それにしても本方法は  $c'_0$  法よりは明確な根拠に基づくものと言える. そこで本論文ではピーク・完全軟化・残留状態の強度パラメータを得るための室内試験として繰返し一面せん断試験を実施し, 筆者らの提案してきた決定法(図1)を実際の地すべり現場に適用した例を示す.

## 2. 繰返し一面せん断試験

### 2-1 試験試料および条件

試験試料は, A, B 2つの地すべり現場のすべり面から採取された状態のまま(すべり面粘土)で試験を行ったA粘土およびB粘土である. 試験条件はA粘土では圧密応力 75,200,325(kPa), B粘土では圧密応力 85,170,255(kPa)で試験機内にて圧密し, せん断速度を 0.02mm/min で定圧繰返し一面せん断試験を実施した. また, 繰返し回数は3回とし, 片振幅6mm, せん断箱間隔は0.2mmである.

### 2-2 試験結果

繰返し一面せん断試験結果の一例としてA粘土について3種類の圧密応力で圧密後のせん断応力と累積水平変位の絶対値の関係を図2に示す. 累積変位3mm程度でせん断応力のピークが現れ, せん断変位40mm程度以降せん断応力がほとんど変化しなくなり, 残留状態に至っていることが読み取れる. 図3はこのように得られた, 完全軟化強度, 残留強度のプロットであり, それぞれのプロット点を結んだ直線の傾きと切片から, 完全軟化状態, 残留状態に対応する強度パラメータ( $c'_s, \phi'_s$ )および( $c'_r, \phi'_r$ )が得られる. 繰返し一面せん断試験によって得られたA粘土の強度パラメータは図3に示してあり, B粘土の強度パラメータは  $c'_s=27.9$   $\phi'_s=7.1^\circ$ ,  $c'_r=7.0$  kPa  $\phi'_r=6.7^\circ$  である.

## 3. 地すべり安定解析用強度パラメータの決定法について

図4は粘土のピークから残留状態に至るまでの強度パラメータの関係を示しており<sup>2)</sup>, ピークから完全軟化状態までの関係(曲線AB)は以下の式で表現できる<sup>3)</sup>.

キーワード 地すべり, 安定解析, 繰返し一面せん断試験, 逆算法, 強度パラメータ

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北18条西8丁目 北海道大学工学研究科 TEL 011-706-6196

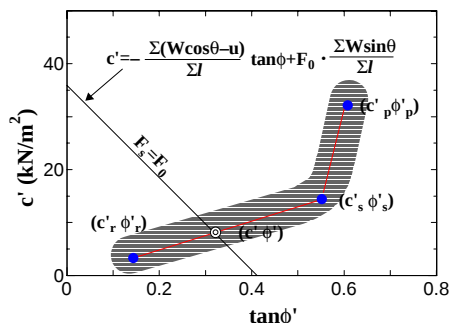


図1 筆者らが提案する強度パラメータの決定法

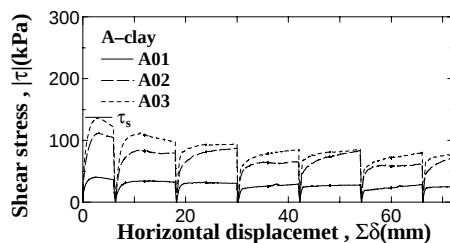


図2 |τ| ~ Σδ関係

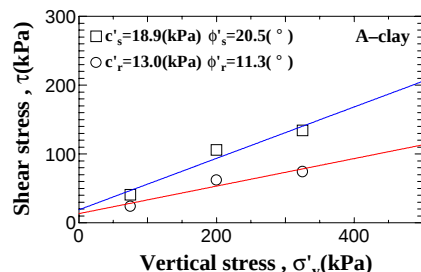


図3 τ ~ σ'ᵥ関係

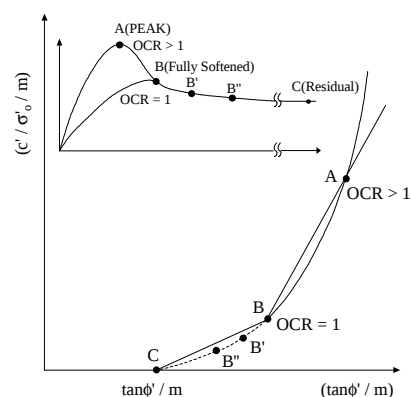


図4 OCRに伴う強度の変化

$$\tan \phi_p = m_p \left\{ 1 - \frac{(OCR^{\Lambda_p} - 1)}{(OCR - 1)} \right\} + \tan \phi_e \quad (1)$$

$$c_p / \sigma_o = m_p \cdot OCR \cdot \left\{ \frac{(OCR^{\Lambda_p} - 1)}{(OCR - 1)} \right\} \quad (2)$$

式(1)および式(2)より, OCR に伴う  $c', \phi'$  の変化は応力の関数として図中の曲線  $\widehat{AB}$  で示される. しかし, 完全軟化状態から残留状態までの関係(曲線  $BC$ ) は変位量の関数であり図 4 に破線で示したが  $c', \phi'$  の変化は式(1)および式(2)によって表現されるものではない. 図 5 は A 粘土について先に示した  $|\tau| \sim \Sigma\delta$  関係 (図 2) における  $\Sigma\delta=6\text{mm}, 12\text{mm}, 24\text{mm}, 36\text{mm}$ , ピーク時および残留状態における  $(c', \tan\phi')$  をプロットしたものである.  $\Sigma\delta=24\text{mm}$  のプロットを除いた完全軟化状態から残留状態への強度パラメータの変化は図中の曲線で示され, 図 4 の破線  $BC$  に対応する.  $\widehat{AB}, \widehat{BC}$  の 2 つの関係曲線を連続的に描いたものが図 4 であり, ピークから残留状態までのこの関係曲線は折れ線で近似可能であることも同時に示している. したがって図 4, 図 5 は図 1 の決定法の根拠を示すものである.

#### 4. 地すべり安定解析用強度パラメータ決定へのせん断試験結果の適用例

逆算法にピーク・完全軟化・残留状態における強度パラメータを用いる筆者らの地すべり安定解析用強度パラメータ決定法を二つの地すべり現場 (A, B) で適用した.

##### 4-1 A 地すべり

地すべり現場の計測等によって得られた  $\Sigma l=130.4(\text{m})$ ,  $\Sigma(W\cos\theta-ul)=16892.9(\text{kN/m})$ ,  $\Sigma W\sin\theta=23932.8(\text{kN/m})$  を円弧すべりの安全率の式 (図 1 の式) に代入することによって現状安全率  $F_s=1.0$  に対する  $(c', \phi')$  の取り得る組み合わせは直線式として,  $c'=-130\tan\phi'+39$  で表される. 繰り返し一面せん断試験によって得られた  $(c'_s=18.9\text{ kPa}, \phi'_s=20.5^\circ)$ ,  $(c'_r=14.4\text{ kPa}, \phi'_r=11.3^\circ)$  をプロットし直線で結んだものと上述の  $F_s=1.0$  直線の交点により  $c'=13.0\text{ kPa}$ ,  $\phi'=11.3^\circ$  が得られる (図 6). この結果は A 粘土の残留状態における強度パラメータとほぼ等しく A 地すべりにおけるすべり面上の粘土は残留状態に近い状態であるといえる. また, 地すべり土塊の最大層厚(d)から  $c'_0=d$  として得られる  $c'_0=15.0\text{ kPa}$ ,  $\phi'=9.8^\circ$  が偶然にも本研究が提案する決定法による値と近似する結果となった.

##### 4-2 B 地すべり

地すべり現場から得られる情報を基に現状安全率  $F_s=0.95$  に対する  $(c', \phi')$  の取り得る組み合わせを求めると, 直線式として,  $c'=-87\tan\phi'+36$  で表される. B 粘土の実験結果  $(c'_s=27.9\text{ kPa}, \phi'_s=7.1^\circ)$ ,  $(c'_r=7.0\text{ kPa}, \phi'_r=6.7^\circ)$  を用い, 本論文で提案する決定法で得られた強度パラメータは  $c'=25.1\text{ kPa}$ ,  $\phi'=7.0^\circ$  である. この結果は  $c'_0=d$  法によって得られる  $c'_0=18.1\text{ kPa}$ ,  $\phi'=11.5^\circ$  と大幅に異なっている (図 7) B 地すべり現場では  $c'_0=d$  法によって得られた  $c'_0=18.1\text{ kPa}$ ,  $\phi'=11.5^\circ$  を用いて目標安全率 1.2 として対策工を実施した結果, B 土塊を含んだ C 土塊でさらに地すべりが生じた. したがって,  $c'_0=d$  法で決定された強度パラメータは適切な値でなかったことになる. この結果を受けて, B 土塊と C 土塊を合わせた土塊について筆者らの提案法によって強度パラメータを求めると, 図 8 に示すように  $c'=19.8\text{ kPa}$ ,  $\phi'=6.9^\circ$  が得られる. これらの強度パラメータは, 新しいすべり面に対する対策工設計にあたって改めて  $c'_0=d$  法を適用して決められた  $c'=20.60\text{ kPa}$ ,  $\phi'=6.37^\circ$  と結果的に極めて近い値であった.

#### 5. 結論

- 1) 筆者らが提案している地すべり安定解析用強度パラメータ決定法の妥当性を確認した.
- 2) 繰り返し一面せん断試験結果を用いて筆者らが提案している地すべり安定解析用強度パラメータ決定法を 2 つの地すべり現場に適用し, 妥当な結果を得た.

#### 参考文献

- 1) 三田地ら: 室内せん断試験による“強度定数”と安定解析に用いる強度パラメータの関係について, 第 35 回地すべり学会研究発表会講演集, pp.345-348, 1996. 2) T. Mitachi et al: Method for determining design strength parameters for slope stability, Slope Stability Engineering, A.A. Balkema, pp.781-785, 1999. 3) 九田ら: 逆算法と繰り返し一面せん断試験による地すべり安定解析用強度パラメータの決定法, 第 42 回地盤工学会北海道支部技術報告集, pp.1-10, 2002.

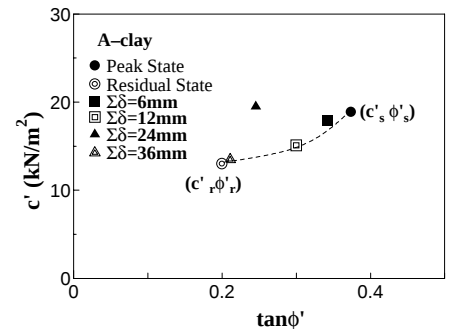


図 5  $c' \sim \tan\phi'$  関係

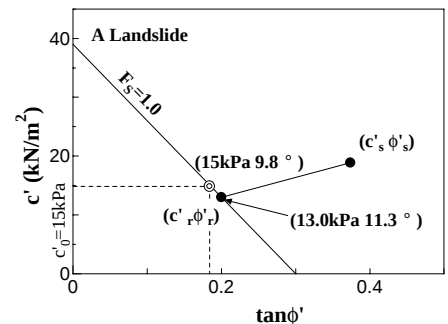


図 6 強度パラメータの決定 (A 地すべり)

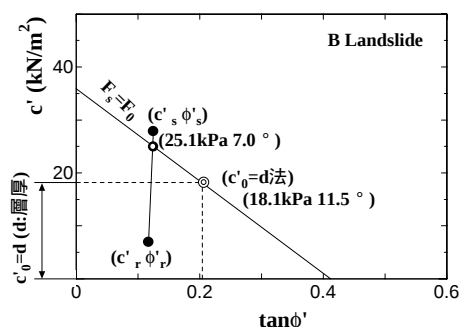


図 7 強度パラメータの決定 (B 地すべり)

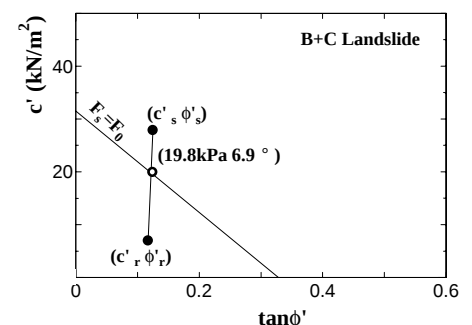


図 8 強度パラメータの決定 (B+C 土塊)