

# 地すべり安定解析における垂直応力を考慮した土質強度の適用 - 中国・薛城鎮地すべりを事例として - Application of soil strength in relation to normal effective stress for stability analysis of landslides

○中村 真也\*, 宜保 清一\*, ヴィタナ シワンタ ブッディ\*\*  
 Shinya NAKAMURA, Seiichi GIBO, Shrinwatha VITHANA Buddhi

## 1. はじめに

滑動・停止を繰り返す移動量の大きい地すべりでは、すべり面平均強度として残留強度を適用しているが(高速道路調査会, 1985; 農業土木学会, 1989), 残留強度のみの適用では地すべりの現状を説明できないことがある。最近の研究では, 残留強度  $c_r \cdot \phi_r$  は有効垂直応力レベルの大小により異なり,  $c_r$  および  $\phi_r$  は低い垂直応力レベルで大きくなることや(中村ら, 1999), 一旦残留強度にまで低下したせん断強度は静止状態を経て幾分回復し, 強度回復の様相は地すべり土の鉱物組成や垂直応力によって異なることが明らかにされている(中村ら, 2000a; 2000b)。強度定数の妥当性や適切な適用は斜面安定度評価に大きく影響し(鶴飼ら, 1996), 垂直応力レベル別の残留強度や回復強度の解析への活用は, 安定度評価の精度向上や対策工法のより適切な選定に繋がることが期待される。

本研究では, 再滑動型の中国・薛城鎮地すべりを事例として, 安定解析における残留強度および回復強度の垂直応力を考慮した適用について検討した。

## 2. 地すべり概況とリングせん断試験結果

本地すべりは, 中国の四川省で発生した再活動型の地すべりである。この地域の年平均降水量は約 540mm で, 4 月から 5 月の降水量が年降水量の大部分を占めている。末端部の三次すべりが特に不安定で, 毎年雨期に滑動を繰り返しており, すべり末端の国道は交通確保のため地すべりの度に排土が行われている。三次すべりは, 斜面長さが約 350m, 幅が約 50m, 平均勾配が約 26°, 平均層厚が 8~10m の範囲にあり, 累積移動量が多い。

Fig.1 はリングせん断試験結果をクーロン則に基づいて整理したものである。完全軟化強度定数は ( $c_{sf} = 6.7 \text{ kN/m}^2 \cdot \phi_{sf} = 30.1^\circ$ ) で,  $c_r = 0$  として得た残留強度定数は  $\phi_r = 25.4^\circ$  となった。有効垂直応力を大小二つに分けて残留強度を決定した場合(中村ら, 1999),  $\sigma'_n < 150 \text{ kN/m}^2$  以下で ( $c_{r1} = 4.1 \text{ kN/m}^2 \cdot \phi_{r1} = 25.8^\circ$ ),  $\sigma'_n > 150 \text{ kN/m}^2$  以上で ( $c_{r2} = 0 \text{ kN/m}^2 \cdot \phi_{r2} = 24.8^\circ$ ) となった。通常の手法で得た残留強度と比較し, 低い垂直応力レベルで明瞭な差がみられる。

再圧密による強度の回復は,  $\sigma'_n < 150 \text{ kN/m}^2$  以下の垂直応力レベルにおいて認められた。回復強度定数は ( $c_{re} = 5.5 \text{ kN/m}^2, \phi_{re} = 26.4^\circ$ ) を得た。

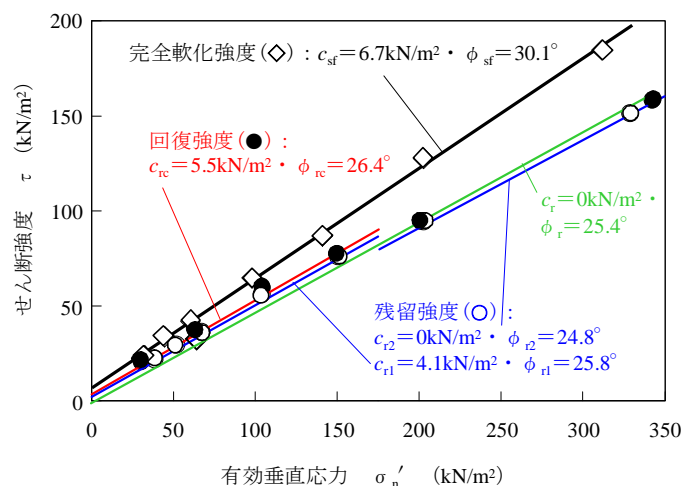


Fig.1 完全軟化, 残留および回復強度  
 Fully-softened, residual and recovered strengths

## 3. 安定解析

### 3.1 すべり停止直後の地下水位

Fig.2 は安定解析断面図である。安定計

\*琉球大学農学部 Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus

\*\*琉球大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, University of the Ryukyus

キーワード: 土の静力学的性質, 土質強度, 安定解析

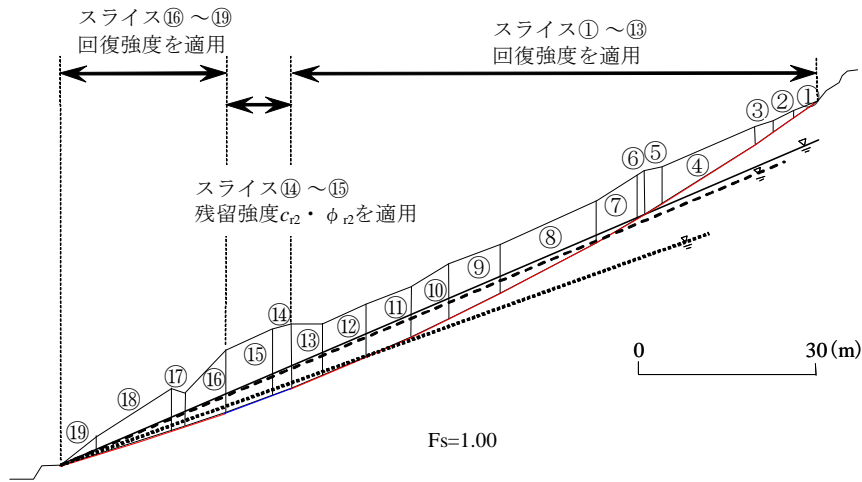


Fig.2 安定解析断面図  
Cross section of stability analysis

算は、すべり土塊を二次元で取り扱い、修正簡便式によった。繰り返し計算によって停止時  $Fs=1.00$  の限界地下水位を確定する。三次すべりは累積移動量が大きいのですべり面全域において残留強度が動員されているとした。通常の手法により得た残留強度定数 ( $c_r=0 \text{ kN/m}^2 \cdot \phi_r=25.4^\circ$ ) を適用した場合、すべり停止直後の限界地下水位は Fig.2(点線)のように与えられた。この地下水位ではすべりブロックに参与している領域が極端に小さく、雨期に滑動を繰り返している地すべりの滑動形態をうまく説明できない。

そこで有効垂直応力を考慮した残留強度を適用し限界地下水位を求める。すべり面強度として、有効土かぶり圧が  $\sigma_n'$   $150 \text{ kN/m}^2$  以下相当のブロック頭部スライス(①～⑬)および脚部スライス(⑯～⑱)に低垂直応力レベル残留強度 ( $c_{r1} = 4.1 \text{ kN/m}^2 \cdot \phi_{r1} = 25.8^\circ$ )、 $\sigma_n' = 150 \text{ kN/m}^2$  以上相当のスライス(⑭と⑮)に高垂直応力レベル残留強度 ( $c_{r2} = 0 \text{ kN/m}^2 \cdot \phi_{r2} = 24.8^\circ$ ) を適用した。すべり停止時直後の限界地下水位は Fig.2(破線)のように与えられた。すべりブロックに参与している地下水位の領域は大きく、雨期に滑動を繰り返している地すべりの現況とうまく合致している。

### 3.2 すべり再発生時の検討

すべり停止直後の検討と同様に再発生時  $Fs=1.00$  の限界地下水位を確定する。スライス①～⑬および⑯～⑱ではすべり面強度として回復強度を、また中間のスライス⑭と⑮は高い垂直応力レベルにおける残留強度を適用した。再発生時の限界地下水位は Fig.2(実線)のように与えられた。

Fig.3 はすべり再発生時における安定解析結果である。残留係数を導入した安定解析法(宜保, 1996)に基づいて、すべり面平均強度定数 IP ( $c' = 5.0 \text{ kN/m}^2$ ,  $\phi' = 26.2^\circ$ ) を得た。

垂直応力レベルを考慮し、残留強度および回復強度を適用することによって地すべりの滑動・停止がうまく説明できた。

#### 参考文献

宜保(1996) : 地すべり, Vol.33, No.2, pp.46-50. 農業土木学会(1989), 農業土木学会, pp.16-28. 高速道路調査会(1985), 日本道路公団, pp.169-172. 中村ら(2000a) : 地すべり, Vol.37, No.3, pp.18-24. 中村ら(2000b) : 地すべり, Vol.37, No.3, pp.10-17. 中村ら(1999) : 地すべり, Vol.36, No.1, pp.28-34. 鶴飼ら(1996) : 地すべり, Vol.33, No.2, pp.35-39. pp.45-50.

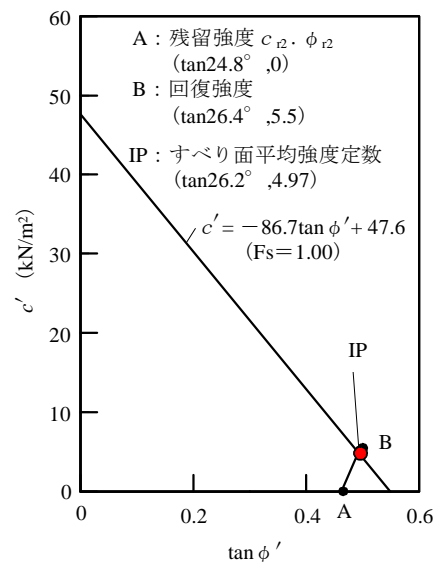


Fig.3 再発生時における安定解析結果  
The  $c' - \tan \phi'$  relationship when the landslide is reactivated.