

黄土高原二道岔地すべりの土質強度特性と発生・再発生

Shear strength characteristic of soil samples and slide mechanism, Erdaocha landslide, loess plateau, China

中村真也*, 宜保清一*, 佐々木慶三**, 趙廷寧***, 陳伝勝****

Shinya NAKAMURA, Seiichi GIBO, Keizo SASAKI, Tingning ZHAO and Chuansheng CHEN

1. はじめに

中国・黄土高原で発生する地すべりは、すべり面の位置に基づいて3タイプに大きく分けられる。地すべりの発生メカニズムはすべりのタイプにより異なることが考えられ、その解明にはすべり面土のせん断強度特性を把握することが不可欠である。地すべりの発生・再発生の検討に当たっては、完全軟化強度および残留強度の把握が特に重要となる^{1)~3)}が、黄土および基盤土岩のそれらを明らかにした研究は見あたらない。本研究では、黄土高原で発生した二道岔地すべりについて、まず、すべり面採取土についてリングせん断試験を行って完全軟化強度および残留強度特性を明らかにした。次に、地形、地質およびすべり形態を勘案し、せん断試験により得られた強度定数を活用して安定解析を行い、地すべりの発生・再発生について検討した。

2. 地すべり土のせん断強度特性

すべり面より頁岩を、地すべり移動層より馬蘭黄土を、試料として採取した。採取試料の420 μ mふるい通過分についてリングせん断試験(定応力, 変位速度0.01mm/min)を行った。

有効垂直応力 $\sigma_n = 100\text{kN/m}^2$ および $\sigma_n = 300\text{kN/m}^2$ に対する応力~変位曲線(摩擦係数 μ / σ_n とせん断変位 D の関係)は、馬蘭黄土試料では、 $D = 20\text{mm}$ で(完全軟化強度の)摩擦係数 $\mu_{sf} / \sigma_n = 0.700$ を示した後漸減し、 $D = 150 \sim 200\text{mm}$ の大变位を経て(残留強度の)摩擦係数 $\mu_r / \sigma_n = 0.600$ 前後と高めの残留状態に至った($\sigma_n = 300\text{kN/m}^2$)。頁岩試料では、 $D = 10\text{mm}$ で $\mu_{sf} / \sigma_n = 0.542$ のピークを示した後に急減し、 $D = 150\text{mm}$ 付近で $\mu_r / \sigma_n = 0.200$ の残留強度に至った($\sigma_n = 300\text{kN/m}^2$)。頁岩試料のせん断挙動は $\sigma_n = 100\text{kN/m}^2$ 時においても安定している。宜保ら⁴⁾は地すべり土の応力~変位曲線を鉱物総量により4タイプに類別している。応力~変位曲線は、馬蘭黄土試料は非配向性鉱物が支配的なCタイプに、頁岩試料は、ピーク発現時に非配向性鉱物が強く関与し、変位の増大と共に配向性粘土鉱物粒子の関与が優勢になるBAタイプに類別される。図-1は、両試料について、完全軟化強度 μ_{sf} およ

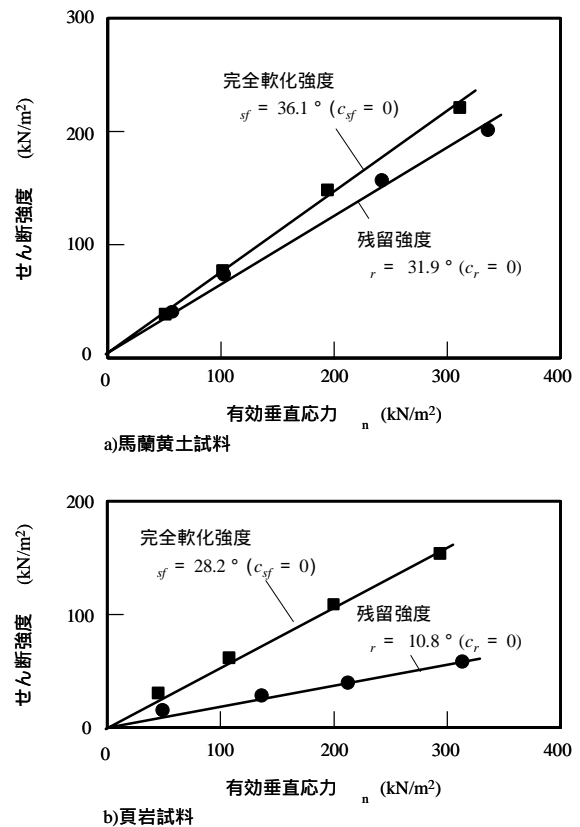


Fig. 1 Fully softened and residual strengths for Malan loess sample and Shale sample from Erdaocha landslide

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

**利根コンサルタント(株) Tone Consultant Company Ltd.

***北京林業大学 Soil and Water Conservation College, Beijing Forestry University

****鹿児島大学大学院連合農学研究科 The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University

キーワード:

土の静力学的性質, 斜面安定

び残留強度 τ_r を有効垂直応力 σ_n に対して整理したものである。粘着力 $c=0$ として得た完全軟化強度定数 σ_{sf} および残留強度定数 τ_r は、馬蘭黄土試料でそれぞれ $\sigma_{sf} = 36.1^\circ$, $\tau_r = 31.9^\circ$, 頁岩試料でそれぞれ $\sigma_{sf} = 28.2^\circ$, $\tau_r = 10.8^\circ$ となった。頁岩の有す低い τ_r は本地すべりの発生・再発生のメカニズムを明らかにする上で重要である。

3. 地すべりの発生・再発生についての検討

3.1 すべりの停止時および再発生時の安定解析

すべり停止時(1998年調査時)の地形断面図(図-2a)について、地下水位(間隙水圧)を繰り返し計算により求めた。なお、安定計算は、すべりブロックを二次元で取り扱い、修正簡便法によった。すべりの移動量が大きいので、すべり面は残留せん断状態にあるとした^{1), 4)-6)}。頁岩の $\tau_r = 10.8^\circ$ ($c=0$)を適用し、安全率 $Fs = 1.00$ として、頁岩基盤の上面から5.5mの地下水位を算出した(図-2a)。これは、すべり初生時の水位とほぼ同じと考えられる。次に、2000年調査時の地形断面図(図-2b)について、地すべり再発生に至る地下水位(間隙水圧)を繰り返し計算により求めた。地すべり斜面の末端部は2年間の活発な侵食・崩壊による土砂流出により斜面尻が約10m後退していた。残留強度まで低下したすべり面においては、強度の回復はなく^{5), 6)}、すべり再発生時には $\tau_r = 10.8^\circ$ が動員される。すべりが再発生する地下水位上昇は、安全率を $Fs = 0.98$ として逆算し、すべり面からの4.5m(間隙水圧 $u = 14804\text{kN/m}$)を得た(図-2b)。

3.2 すべりの初生についての解析

すべり初生時の地形については、周辺地形、すべり面と地すべり上方の緩斜面の勾配、滑動前後の地すべり土塊を勘案して復元した(図-3)。基盤の頁岩は、褶曲を受けていること、すべり面が頁岩の層理面と平行であることから、フレキシブルスリップ等により形成された地質弱面が頁岩上面付近に存在し、それがすべり面に転化⁷⁾したと考えた。基盤頁岩は、更新世の黄土堆積前には地表として露出して強い化学的・物理的風化を受け、黄土堆積後には地下水による化学的風化を受けているため、上面付近が完全軟化の状態にあったと推察される。地下水位は、すべり停止時の水位から推定した。解析により、すべり初生時のすべり面平均強度 $\bar{\tau} = 108.1\text{kN/m}^2$ を得た。すべり面においては、頁岩上面付近の地質弱面の残留強度($\tau_r = 10.8^\circ$ ($c=0$))と頁岩の完全軟化強度($\sigma_{sf} = 28.2^\circ$ ($c=0$))、および馬蘭黄土の完全軟化強度($\sigma_{sf} = 36.1^\circ$ ($c=0$))かそれより幾分大きい強度の3種の強度が動員されたと考えられる。「残留係数を導入した安定解析法⁹⁾」の考え方にに基づき、 $\bar{\tau}$ に対する残留強度の関与の程度を表す残留係数⁸⁾ $R = (\sigma_{sf} - \bar{\tau}) / (\sigma_{sf} - \tau_r)$ を求め、 $R = 0.50$ を得た。この結果は、地すべりの発生には残留強度の関与が不可欠であることを示し、すべり発生に地質弱面が関与したとの考えを支持するものである。

参考文献 1) 宜保ら(1984): 地すべり, 20(4), pp.1-6. 2) 宜保(1987): 土と基礎, 35(11), pp.27-32. 3) 宜保ら(2003): 農業土木学会論文集, 227, pp.113-118. 4) 宜保ら(2003): 日本地すべり学会誌, 40(4), pp.1-7. 5) 中村・宜保(2000): 地すべり, 37(3), pp.18-24. 6) 中村ら(2000): 地すべり, 37(3), pp.10-17. 7) 布施(1977): 地すべり, 13(4), pp.19-21. 8) Skempton, A. W.(1964): Géotechnique, 14(2), pp.77-101. 9) 宜保(1996): 地すべり, 33(2), 46-50.

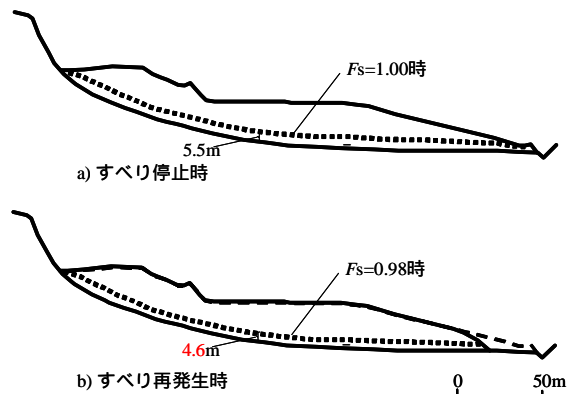


Fig. 2 Groundwater levels at the time when landslide is stopped and is reactivated

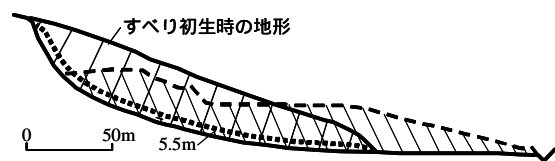


Fig. 3 Re-creation based on stability analysis for the landform at the time when landslide was occurred