

現地調査・室内実験による自然斜面表層崩壊の簡易予測手法

- 限界崩壊土層厚の提案 -

株式会社ダイヤコンサルタント (神戸大学大学院) 正会員 ○鏡原聖史  
 神戸大学大学院 正会員 白井亮太  
 神戸大学大学院 正会員 澁谷 啓

1. はじめに

2009年8月, 台風9号の豪雨によって洪水災害および斜面崩壊・土石流などの土砂災害が多数発生した。この豪雨による兵庫県南西部地域における斜面崩壊は, 24時間雨量が200mm以上の範囲で多発し, 崩壊箇所の75%は, 過去の風倒木被害地内で発生したと報告<sup>1)</sup>されている。著者らは, 過去の風倒木被害地で新規に崩壊した斜面<sup>2)</sup>と過去の風倒木被害地以外で新規に崩壊した斜面<sup>3)</sup>の両方について調査・試験を実施して, 崩壊メカニズムを推定している。いずれの場合においても, 表層土が飽和することにより見かけの粘着力が消失し, せん断強度が著しく低下することが明らかになっている。本報告では, これらの事例で得られた飽和および不飽和状態でのせん断強度を用いて, 斜面傾斜角を変数とした無限平衡斜面の安定解析から安全率1.0となる崩壊土層厚(以降, 限界崩壊土層厚と呼ぶ)を求めている。この試算から, 崩壊/非崩壊の境界は, 傾斜角の僅かな違いに依存するとの結果を得た。飽和土試料のせん断試験結果と簡易な現地調査から推定される表層厚さを比較検討することで, 斜面表層の安定性を簡易に判定する手法を提案している。

2. 調査地の概要と現地試料採取<sup>2), 3)</sup>

調査地は, 兵庫県佐用郡佐用町北部にあるA地区, 南部にあるB地区であり, 兵庫県の等雨量分布図<sup>4)</sup>を参照するとそれぞれ24時間雨量250mm以上と300mm以上の降雨履歴を受けた箇所と推定される。表1は, 調査地の地形・地質状況ならびに材料特性を整理したものである。

それぞれの調査地において, 崩壊土層を推定するために崩壊地内と直近の非崩壊斜面内で簡易動的コーン貫入試験を実施した。崩壊地と非崩壊地の簡易動的コーン貫入試験の比較から, いずれのケースにおいてもおよそ $N_d \leq 5$ の表層が崩壊している。さらに, 各種室内試験により崩壊土層の物理, 力学的特性を求めめるために, 崩壊面付近の土試料をネイルサンプリング<sup>5)</sup>により採取した。

表1 調査地の地形・地質状況ならびに材料特性

地区名	A地区	B地区
地形・地質等条件		
基盤地質	夜久野岩類 (斑レイ岩)	超丹波帯 (粘板岩、頁岩、頁岩、 砂岩互層、混在岩)
崩壊土層種類	表土・強風化層	崖錐堆積物
すべり面傾斜角(度)	平均 42	平均 36
崩壊長さ(m)	190.0	55.0
崩壊幅(m)	20.0	13.0
崩壊厚さ(m)	0.5	4.0
過去の風倒木被害地	有	無
崩壊土層材料特性		
土の湿潤単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	15.2	16.9
土の飽和単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	17.7	19.0
土粒子の密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.674	2.749
自然含水比(%)	18.6	16.7
礫分(75-2mm)(%)	40.7	81.4
砂分(2-0.075mm)(%)	18.7	12.6
細粒分(0.075mm以下)(%)	40.7	6.1
地盤材料分類	細粒分質砂質礫	砂まじり礫
分類記号	GFS	G-S

3. 室内試験の概要と現地試料採取<sup>2), 3)</sup>

崩壊地面周辺から採取した不攪乱試料の材料特性を表1に示した。A地区よりB地区の方が細粒分が少なく礫分が多い特徴があるものの, どちらも礫の性質をもった材料である。つぎに, 不飽和(自然含水比)および飽和状態にある排水・排気条件下でのせん断強度定数を求める目的で, 定圧一面せん断試験<sup>6)</sup>を実施した。供試体サイズは直径6cm, 高さ2cmである。所定の鉛直応力で圧密した後, 一定速度でせん断した。図1に示す試験結果より, いずれの材料ともに飽和することにより, 内部摩擦角 $\phi_d$ はほぼ同じで, 見かけの粘着力 $c_d$ が小さくなることがわか

キーワード 豪雨, 自然斜面, 一面せん断試験, 無限平衡斜面安定計算, パラメータスタディ

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学大学院 TEL 078-803-6067

る。

**4. 室内試験結果に基づく無限平衡斜面安定計算によるパラメータスタディ結果の考察**

原位置および室内試験結果を考慮して、無限平衡斜面を想定した安定解析<sup>7)</sup>(図2参照)を行った。ここで、飽和時のせん断強度を用いて、斜面傾斜角を変化させ、極限状態となる限界崩壊土層厚を求めた(図3参照)。なお、地形条件とせん断強度の関係のみに着目したため、植生の茎系の影響や地下水位の変化については考慮していない。

図3より、飽和時のせん断強度定数を用いて限界崩壊土層厚を求めた結果、斜面傾斜角がわずかに小さくなることによって限界崩壊土層厚が著しく大きくなることわかる。本検討では、地下水位の形成による影響は考慮できていないものの、崩壊と非崩壊の違いは、水の集まりやすさに加えて僅かな斜面の傾斜の違い、粘着力の違いに起因しているものと推察される。

**5. おわりに**

飽和時のせん断強度から限界崩壊土層厚を求め、別途実施する簡易動的コーン貫入試験の結果から得られた土層厚および地形測量で得られた傾斜角と比較検討することで、急傾斜自然斜面の表層崩壊を簡易に予測できる可能性を示した。

最後に、貴重なデータを提供いただいた兵庫県関係各位に謝意を表します。

**参考文献**

- 1) 社団法人地盤工学会関西支部：平成21年台風9号による地盤災害調査報告書, 第III編 土構造物・斜面被害, pp.2-80, 2009.
- 2) 鏡原聖史他：平成21年台風9号の豪雨によって発生した斜面崩壊に関する一考察, 土木学会第65回年次学術講演会, III-018, 2010.
- 3) 臼井亮太他：2009年台風9号豪雨により兵庫県佐用町で発生した斜面崩壊のメカニズムの考察—崖錐堆積物斜面の崩壊事例—, 第48回地盤工学研究発表会, 投稿中.
- 4) 兵庫県：平成16年災害復興誌, 2008.
- 5) 青山千彰他：乱さないまさ土のサンプリングと物理・力学試験, サンプリングシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp.89-92, 1985.
- 6) Shibuya, S., et al : Interpretation of direct shear box testing of sands as quasi-simple shear, Geotechnique, 47, No.4, 769-790, 1997.
- 7) Davis, J.C.: Statistics and data analysis in geology, John Wiley, 550, 1973.

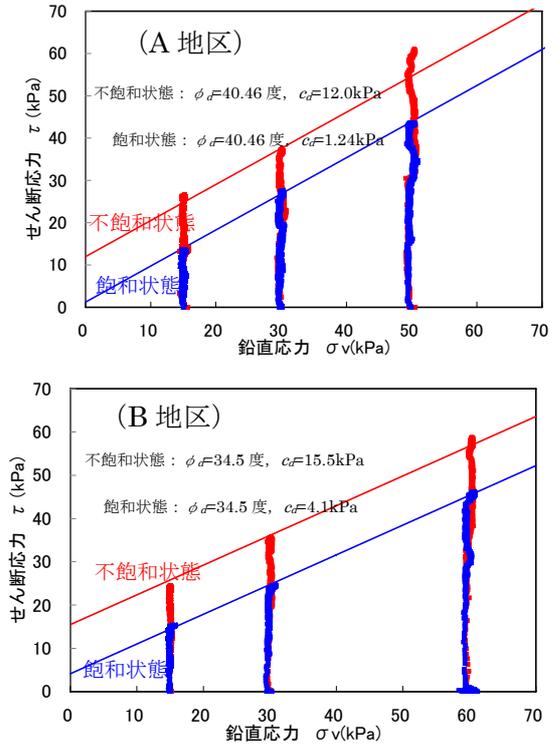
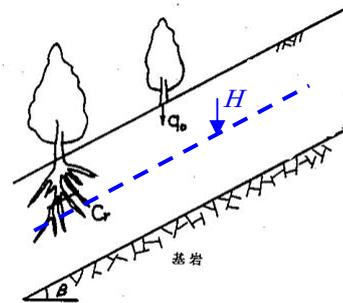


図1 一面せん断試験結果



$$F_S = \frac{c_s + c_r + A \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \phi}{A \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}$$

$$A = q_0 + \gamma \cdot H$$

ここで、 $F_S$ : 安全率,  $\gamma$ : 土の単位飽和体積重量,  $H$ : 土層厚,  $\beta$ : 基盤勾配,  $c_s$ : 土の粘着力,  $\phi$ : 土の内部摩擦角,  $q_0$ : 樹木の重量,  $c_r$ : 樹木根系による粘着力

図2 無限平衡斜面安定解析

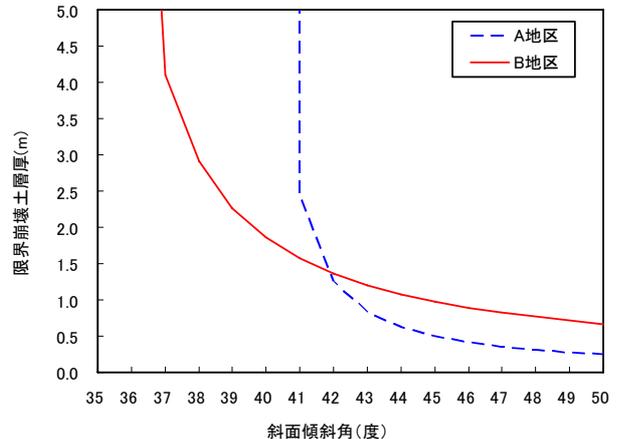


図3 斜面傾斜角と限界崩壊土層厚