

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 その2－

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 白井亮太
神戸大学大学院 文岩秀貴
神戸大学大学院 正会員 澁谷 啓

1. はじめに

近年、全国各地で台風や集中豪雨による斜面災害が多発している。筆者ら¹⁾は兵庫県南西部地域の斜面から採取した試料を用いて飽和状態のせん断試験を実施した。さらに、求められた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安定解析から安全率 1.0~1.05 となる土層厚（以降、限界崩壊土層厚と呼ぶ）を求め、自然斜面の表層崩壊の簡易予測を試みた。本報告では新たにいくつかの斜面において表土層の物理・せん断試験を実施して限界崩壊土層厚を求めた。その結果、過去に表層崩壊が発生した斜面の崩壊厚さと傾斜角が室内試験をもとにした簡易予測式の結果とおおよそ一致したことを示している。

2. 現地試料採取ならびに室内試験

表層崩壊が発生した A¹⁾, B¹⁾, D 地区ならびに過去に崩壊した地形が認められる C-1~2, E 地区を対象に、ネイルサンプリング法²⁾で採取した乱さない試料を用いた室内試験を行った。試料採取位置は、崩壊地または過去の崩壊地の直近の非崩壊地斜面において、簡易動的コーン貫入試験の $N_d < 5 \sim 10$ 程度を示す崩壊深度の試料を採取した。

室内において採取土の物理特性を把握するために、土粒子密度、粒度分布、含水比試験を実施した。また、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は、定圧一面せん断試験により求めた。一面せん断試験は、表層崩壊の崩壊土層厚が 0.5~2.0m 程度であることを考慮して、鉛直荷重（土被り 1m~2m 程度）を 15kPa~30kPa の低圧領域での試験が実施できる低圧一面せん断試験機³⁾を用いた。供試体サイズは直径 6 cm、高さ 2 cm であり、供試体作製後、各鉛直応力（15 kPa, 30 kPa, 60 kPa）で圧密し、一定速度（飽和状態：0.2 mm/min, 不飽和状態：0.02 mm/min）でせん断した。なお、せん断試験実施に当たって、不攪乱試料の整形が困難な場合は攪乱密度調整した試料を用いた。

3. 室内試験結果

前回報告した A, B 地区と併せて各試料の材料・せん断特性を表 1 に示している。この結果から崩壊は、35 度以上で発生しており、崩壊規模は幅 4~35m、長さ 4~190m、厚さ 0.5~4m で、40 度以上では比較的薄い崩壊が発生している。一方、40 度以下では厚い崩壊が発生していることが特徴である。試験材料の湿潤単位体積質量は、12~17kN/m² の幅にあり、風化が進んだ材料またはゆるく堆積した材料である。土粒子の密度は、基盤地質が凝灰岩である C-1, C-2 地区を除き 2.6~2.7g/cm³ と一般的な値を示している。C-1, C-2 地区は、細粒分含有率が 50%以上である。一面せん断試験の結果、いずれの材料においても、飽和化により、内部摩擦角 ϕ_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った。これは、飽和化によりサクションが消失し、見かけの粘着力が低下することが原因であると推定できる。

4. 無限平衡斜面安定計算結果と考察

原位置および室内試験結果を考慮して、図 1 に示すような無限平衡斜面を想定した安定解析⁴⁾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（安全率 1.0 および 1.05）となる限界崩壊土層厚を求め、その結果を図 2 に示した。本研究では、地形条件とせん断強度の関係のみに着目したため、キーワード 豪雨、表層崩壊、室内試験、斜面安定

連絡先 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町 1-9-21 (株)ダイヤコンサルタント TEL06-6339-9141

表 1 崩壊地概要と室内試験結果

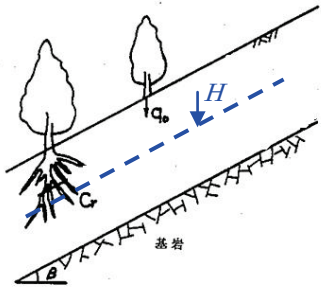
	地区名	A地区	B地区	C-1地区	C-2地区	D地区	E地区
地形・崩壊地等条件	基盤地質	夜久野岩類 (斑レイ岩)	超丹波帯 (粘板岩、頁岩、頁岩、 砂岩互層、混在岩)	神戸層群 (凝灰質砂岩)	神戸層群 (凝灰岩)	秩父帯 (砂岩・泥岩互層)	花崗岩
	崩壊土層種類	表土・強風化層	崖錐堆積物	表土・強風化層	表土・強風化層	表土・強風化層	表土・強風化層
	すべり面傾斜角(度)	平均 42	平均 36	平均 40	平均 37	平均 44	平均 42
	崩壊長さ(m)	190.0	55.0	6.0	20.0	50.0	20.0
	崩壊幅(m)	20.0	13.0	6.0	10.0	35.0	12.0
	崩壊厚さ(m)	0.5	4.0	1.0	2.0	1.0	0.8
	樹種	スギ	スギ・広葉樹	広葉樹	広葉樹	槭	広葉樹
	過去の風倒木被害地	有	無	無	無	無	無
材料特性	土の湿潤単位体積重量(kN/m ³)	15.2	16.9	11.8	13.4	13.0	14.5
	土の飽和単位体積重量(kN/m ³)	17.7	19.0	15.3	15.3	15.9	18.8
	土粒子の密度(g/cm ³)	2.674	2.749	2.437	2.428	2.697	2.639
	自然含水比(%)	18.6	16.7	25.6	28.2	30.1	4.9
	礫分(75-2mm)(%)	40.7	81.4	8.9	18.5	67.1	25.1
	砂分(2-0.075mm)(%)	18.7	12.6	29.4	24.8	17.7	51.2
	細粒分(0.075mm以下)(%)	40.7	6.1	61.7	56.7	15.2	23.7
	地盤材料分類	細粒分質砂質礫	砂まじり礫	礫まじり砂質細粒土	砂礫質細粒土	細粒分質砂質礫	細粒分質砂
せん断強度特性	分類記号	GFS	G-S	FS-G	FSG	GFS	SF
	試験試料状態	不攪乱	攪乱	攪乱	攪乱	攪乱	不攪乱
	不飽和の内部摩擦角(度)	40.0	34.5	33.0	33.6	41.5	33.7
	不飽和時の粘着力(kPa)	12.0	15.5	6.3	10.5	11.3	12.6
	飽和時の内部摩擦角(度)	40.0	34.5	33.0	33.6	33.3	35.4
	飽和時の粘着力(kPa)	1.2	4.1	2.5	1.4	2.5	0.8

植生の根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 2 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がわかる。この曲線は、粘着力が大きいほど急傾斜で土層厚が維持でき、斜面傾斜角が内部摩擦角に近づくと急激に限界崩壊土層厚が厚くなる特徴を示している。この図には、各地区の崩壊地の斜面傾斜角と崩壊土層を併せて表記しており A 地区を除いて、概ね限界崩壊土層厚と一致している。

5. おわりに

室内試験で求めたせん断強度をもとに降雨によるサクシオン消失が原因で崩壊する恐れのある限界崩壊土層厚を提案した。この限界崩壊土層厚を用いた簡易判定法は、別途実施された簡易動的コーン貫入試験の結果と限界崩壊土層厚を比較することで簡易に安定性を判別できる。さらに、これまで提案されている降雨の集水性を考慮した力学的地形解析法⁵⁾に組込めるよう検討を進める予定である。

参考文献：1)鏡原他：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，第 68 回土木学会年次学術講演会，2013. 2)社団法人地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009. 3)Shibuya, S., et al：Interpretation of direct share box testing of sands as quasi-simple shear, Geotechnique, Vol.47, No.4, pp.769-790,1997. 4) Davis, J.C.: Statistics and data analysis in geology, John Wiley, 550,1973. 5)沖村他：数値地形モデルを用いた表層崩壊危険度の予測法，土木学会論文集，第 358 号，Ⅲ・3,pp.9-75, 1985.



$$F_S = \frac{c_s + c_r + A \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \phi}{A \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}$$
$$A = q_0 + \gamma \cdot H$$

ここで、 F_S ：安全率， γ ：土の単位飽和体積重量， H ：土層厚， β ：基盤勾配， c_s ：土の粘着力， ϕ ：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 1 無限平衡斜面安定解析

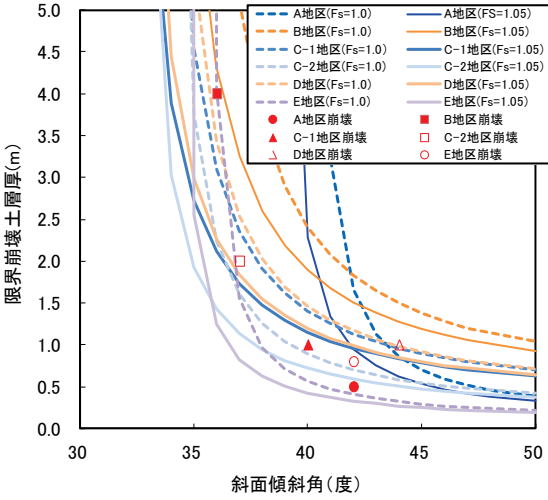


図 2 斜面傾斜角と限界崩壊土層厚