

表層崩壊発生予測モデルにおける土質パラメータの設定方法

パシフィックコンサルタンツ株式会社 ○江川 千洋, 蔭山 星, 菊池 美帆, 船山 淳

国土交通省 国土技術政策総合研究所 鈴木 啓介, 田中 健貴, 吉田 拓海※

※現所属: 応用地質株式会社

1. はじめに

表層崩壊は斜面表層を構成する土層が降雨等の誘因によって崩壊する現象である。土層は、基盤岩の風化によって生成されたものと、風雨等によって輸送されたものが合わさって発達していくと考えられている(松四ら 2016)。表層崩壊発生を予測するためには、土層の発達(生成・輸送)過程を考慮した土質パラメータ(土層厚、強度)の設定が重要であるが、このような観点でパラメータを設定した事例は少ない。また、表層崩壊は降雨によって飽和度が変化する過程でのせん断強度低下を考慮する必要がある、これまでに様々な手法が報告されている。例えば、笹原ら(2010)はサクシオンに起因したボンド応力の変化を試験等から求め、鉛直一次元浸透流解析と二次元 FEM 解析によって降雨時に生じる地表面変位の再現を試みている。

本稿では、2005 年に調査がなされた広島県荒谷地区を対象に同一地点、同一手法により簡易な調査を実施し、土層パラメータを比較検討した結果について報告するとともに、上記パラメータを用いた土層厚分布モデルの構築及び、これをベースにした平成 30 年 7 月豪雨の流域内における表層崩壊発生ポテンシャル評価を秋山ら(2015)による idH-SLIDER 法により実施した内容について報告する。

2. 調査方法

2005 年の調査と同じ「簡易動的コーン貫入試験 JGS1433-1995」を用いて、同じ 46 地点で試験を行った(図-1)。また、試験地点との離隔 1m 内で検土杖及びベーンコーンせん断試験(土層強度検査棒)を追加実施した。検土杖では、得られた試料を目視観察し土層と基盤岩の境界を確認するとともに、試料を採取し飽和度の計測を行った。一面せん断試験は、「土の圧密定体積一面せん断試験 JGS0560-2020」で実施し、飽和度は 20, 50, 80, 100%の 4 段階で行った。

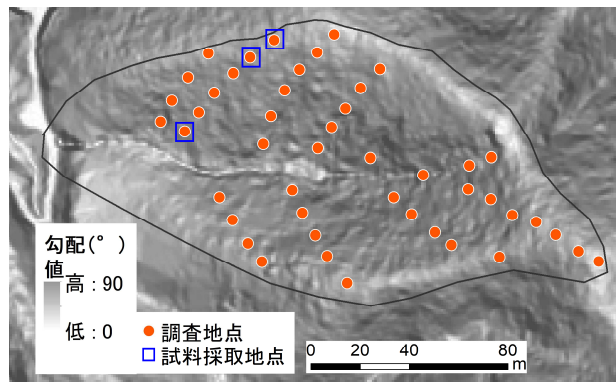


図-1 調査地点位置図

3. 調査結果及び考察

3.1 土層パラメータ(層厚、強度)

2005 年と 2024 年(本調査)の Nd 値の深度グラフを比較した結果を図-2 に示す。今回の調査では検土杖により土層-基盤境界を目視で確認したが、2005 年は検土杖を実施していない。よって、このグラフには、Nd<5 の境界線と、2024 年のみ土層-基盤境界線を記載した。

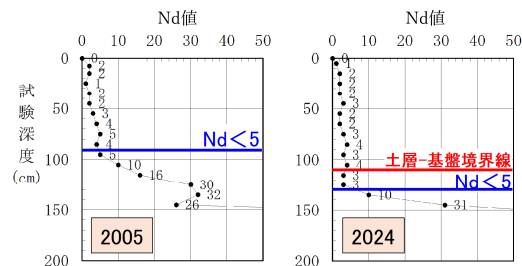


図-2 Nd 値深度グラフの比較(代表例)

(1) 土層厚の経年変化

土層厚は崩壊層厚を決定する重要なパラメータである。ここでは、一般的に土層と考えられている Nd 値(0~20)の層厚に着目し整理を行った(表-1)。土層厚の変化は、尾根部で減少し谷部で増加する傾向が確認された。また、検土杖により確認した土層厚と地形曲率との関係は、図-3 の通りであり、特に尾根部では曲率が小さくなるにつれ土層が厚くなる傾向が確認された。松四ら(2016)では、尾根部の土層は輸送により削剥され、谷部の土層は輸送により蓄積するとされている。平板部や谷部において、幅広い土層厚が確認された原因として、表層崩壊の発生によって薄くなったものが混在している可能性が考えられる。以上より、土層厚設定の際は、地形曲率に応じた変化及びばらつきを考慮する必要があると考えられる。

表-1 Nd 値を基準とした層厚の変化量

地形 (c: 曲率)	平均層厚変化量 m(2024 層厚 - 2005 層厚)			
	Nd<5	5≤Nd<10	10≤Nd<15	15≤Nd<20
尾根(c≥0.03)	-0.18	-0.07	-0.23	+0.01
平板(0.03≥c>-0.01)	-0.03	+0.15	0.00	+0.04
谷(-0.01≥c)	+0.07	+0.05	+0.16	+0.02

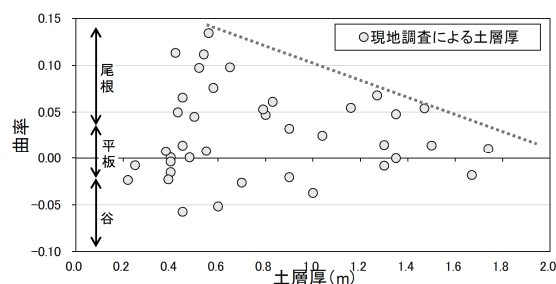


図-3 土層厚(2024)と地形曲率の関係

(2) 土層強度 (Nd 値) の経年変化

土層強度は表層崩壊が発生するかどうかを把握する際の重要な指標である。ここでは、深度 50cm 毎に平均 Nd 値を算出し 2005 年と 2024 年を比較した(表-2)。尾根部で強度上昇と低下が生じているが、変化量は極めて小さい。一方、谷部では大幅な強度低下が生じている。この原因として、尾根部では基盤岩からの土層生成と表層土層の輸送による削剝が釣り合っていること、谷部では土層の生成に加え輸送や表層崩壊による土層の蓄積と強度低下の進行等が要因として推察される。

以上より、土層強度設定の際は、地形曲率に応じた変化を考慮する必要があると考えられる。

表-2 深度 50cm 毎の平均 Nd 値の変化量

深度 m	Nd 変化量(2024 の平均 Nd - 2005 の平均 Nd)		
	尾根	平板	谷
0.0-0.5	0.12	-0.59	-4.79
0.5-1.0	-0.56	-5.65	-9.53
1.0-1.5	基盤	-0.68	-12.03
1.5-2.0	基盤	-2.52	-9.76

3.2 飽和度に応じたせん断強度

一面せん断試験及びベーンコーンせん断試験より得られた飽和度と粘着力の関係を図-4 に示す。どちらの結果もばらつきが大きいものの、ある一定の傾向を示しているのが分かる。ここでは粘着力の上限と下限で回帰分析による近似曲線を記載した。なお、内部摩擦角については、粘着力と比較して飽和度の変化に対する有意な差は認められなかった。

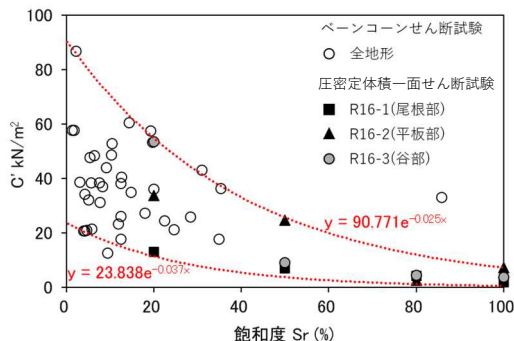


図-4 飽和度と粘着力の関係

(▲：一面せん断試験，●：ベーンコーンせん断試験)

土層強度のうち、粘着力は表層崩壊発生を決定づける重要なパラメータである。一方で、ばらつきが大きいといった特徴がある(図-4)。ばらつきは流域全体(図-1)をベーンコーンせん断試験によって取得した結果であり、自然斜面が有している粘着力の真のデータであるといえる。以上より、粘着力設定の際は、飽和度に応じたばらつきを考慮することで適切な評価が可能になると考えられる。

4. シミュレーション結果

シミュレーションは土層厚の変化と粘着力のばらつきを

考慮するとともに、矢口川、御衣尾川、府中大川、畑賀川の4流域を対象に実施した。

4.1 土層厚分布の構築

土層の発達・除去を繰り返すサイクルシミュレーションを用いて、調査土層厚のヒストグラムと整合するような計算土層厚の分布を設定した。

4.2 流域内の表層崩壊発生ポテンシャル評価

上記の土層厚をベースに idH-SLIDER 法を用いて流域内の表層崩壊発生ポテンシャル評価を行った。降雨は X バンド MP レーダーにより取得した平成 30 年 7 月豪雨のハイトグラフを用い計算は以下の 2 ケースで実施した。結果を表-3 に示す。

【ケース①】飽和状態の粘着力のばらつき(図-3)を考慮したケース。ここでは、飽和状態の $c=2.0\sim7.2\text{kN/m}^2$ の範囲で頻度に偏りが生じないように空間的にランダムに設定した。内部摩擦角は飽和度に応じた明瞭な差が生じないことから平均値である 40.6° を採用した。

【ケース②】既往崩壊地からの逆算値を用いたケース。ここでは、 $\phi=40^\circ$ と仮定し粘着力($c=7.4\text{kN/m}^2$)を求め、全メッシュ一律の値を設定した。

表-3 計算結果一覧表

ケース	$c(\text{kN/m}^2)$	$\phi(^{\circ})$	崩壊面積率(%)
①	2.0~7.2	40.6	0.31
②	7.4	40.0	0.07
H30 実績	-	-	0.27

5. 今後の展望

サイクルシミュレーションにより、現況土層厚の頻度分布を考慮し、曲率に応じた土層厚及びばらつきを再現した。また、流域内の表層崩壊発生ポテンシャル評価では、従来のような逆算によるパラメータ設定(ケース②)よりも、粘着力のばらつきを考慮したケース①の方が、再現性が高いことが確認できた。このことから、簡易な調査によって流域全体の粘着力を測定することの有用性が示唆されたと考えられる。また、本検討では、ばらつきをランダムに与えたが、土層強度の変化が地形曲率によって異なることを考慮すると、曲率に応じた強度を適切に配分することで、今後さらなる精度向上が見込めると考えられる。

6. 参考文献

- ① 松四ら(2016)：土層の生成および輸送速度の決定と土層発達シミュレーションに基づく表層崩壊の発生場および崩土量の予測，地形，37-4，427-153。
- ② 笹原，田村(2010)：急勾配まさ土斜面における降雨時の地表面変位の再現モデル，地すべり，Vol147, No. 3，155-160。
- ③ 秋山，木下，内田，高原，石塚(2015)：簡易な水文モデルを用いた崩壊発生時刻予測手法，砂防学会誌，Vol168, No. 2，3-13。