

物理モデルに基づく表層崩壊発生危険度評価に及ぼす地質の影響

(独)土木研究所 秋山 浩一, 内田 太郎, 田村 圭司

1. はじめに

一般的に表層崩壊は、土層内の最も弱い部位において発生すると考えられるとともに、土壤層中に含まれる根や礫の影響を受けると考えられるため、土のせん断強度を示す粘着力、内部摩擦角は、土壤サンプルを現場で採取し、CD試験等により求めた値が、表層崩壊の発生をコントロールする土質強度（粘着力、内部摩擦角）として用いることができるか不明な点が多い。実際、内田ら（2009）では、広島西部山系の表層崩壊発生箇所に関する再現計算を行い、現地で採取した土壤サンプルから求めた土質強度では十分に表層崩壊の発生場所を説明できないことを示した。しかし、表層崩壊の発生をコントロールする土質強度は崩壊発生に大きな影響を及ぼすにもかかわらず、その設定手法は十分確立されていない。そこで、本研究では、斜面勾配と土層厚および無限長斜面の安定解析結果から内部摩擦角に対する粘着力の設定手法について提案するとともに、地質の異なる3つの斜面を対象に、手法の妥当性を検証した。



図-1 検討対象地域

表-1 検討対象地域の概要

地区	河川	集水面積	斜面勾配	地質
シカルスナイ沢	宿主別川	8.6ha	25.6°	蝦夷層群
貫気別川	貫気別川	6.6ha	26.3°	新第三紀堆積岩類
右支川	総主別川	7.6ha	39.4°	中生代～古代三紀堆積岩類

2. モデルの概要

同モデル（H-SLIDER モデルと呼ぶ）は、地下水位を定常状態（ある地点に流下する地下水流量は、その上流域の集水域内に降った降雨量と等しい）と仮定し、無限長斜面の安定解析を用いて、斜面崩壊（安全率が1となる）に必要な定常降雨強度（ r_c ）（以下、「最小定常崩壊発生降雨強度」と呼ぶ）を式1より算出し、 r_c の値が小さいほど相対的な表層崩壊発生危険度が高いとするものである。

$$r_c = \frac{K_s \tan I \cos I \{c - \gamma_t h \cos I (\sin I - \cos I \tan \phi)\}}{A \{ \gamma_w \cos I \tan \phi + (\gamma_s - \gamma_t) (\sin I - \cos I \tan \phi) \}} \quad \text{式 1}$$

ここで、 r_c ：最小定常崩壊発生降雨強度（m/s）、 I ：勾配、 A ：単位幅あたりの集水面積（ m^2/m ）、 h ：土層厚（m）、 c ：土層の粘着力（ kN/m^2 ）、 ϕ ：土層の内部摩擦角（°）、 K_s ：土層の飽和透水係数（m/s）、 γ_s ：土層の飽和時単位体積重量（ kN/m^3 ）、 γ_t ：土層の不飽和時単位体積重量（ kN/m^3 ）、 γ_w ：水の単位体積重量（ kN/m^3 ）である。また、式の導出の詳細については、内田ら（2009¹⁾）を参照にされたい。

3. 検討対象地区とモデルの適用

3.1 検討対象地区の概要

検討対象地区は、北海道沙流川水系の支川宿主別川、総主別川および貫気別川の3支渓（シカルスナイ沢、貫気別川、右支川）とした。検討対象地域の概要は表-1に示めすとおりである。また、各地域では2003年8月台風10号（最大日雨量358mm、1時間最大雨量76mm 旭観測所²⁾）で表層崩壊が発生し、崩壊地がそれぞれ3、2、2箇所確認されている。

3.2 土層厚の計測および地形量の算出

土層厚空間分布の調査については、簡易貫入試験を概ね10m間隔で、それぞれ340、425、359地点実施した。崩壊のおそれのある土層厚は、簡易貫入試験結果をもとに地表面よりNd値が20となる深さまでの厚さ（鉛直方向）と設定した。また、崩壊地内については、崩壊地内の横断図を作成し、崩壊地の斜面形状から崩壊発生前の土層厚を推定した。なお、設定方法については、内田ら（2009¹⁾）を参照されたい。地形量は、国土地理院が提供している基盤地図情報（数値標高モデル）の10mDEMをNatural Neighbor法で内挿した5mDEMを用いて算出した。地形量は基岩面地形を地表面地形および土層厚から推定し、D-Infinity Flow Direction法（Tarboton, 1997³⁾）を用いて基岩面の勾配および集水面積を算出した。

3.3 土質強度の設定

図-2(a)は、広島西部山系の荒谷地区における基岩勾配と土層厚の関係図に土層がそれぞれ完全に不飽和(土層と基岩の境界面の間隙水圧が0の状態)および飽和(地表面の間隙水圧が0の状態)の状態での安全率が1となる土層厚を実績崩壊地の再現計算時のパラメータを用いて無限長斜面の安定解析より求めたものである。理論上、実線と破線の間が表層崩壊の発生しうる領域であり、実線より右上の領域は理論上、存在しない(崩壊してしまっている)領域である。図-2(a)では、内部摩擦角より急勾配な範囲では、図中の実線にいくつかの地点のデータがプロットされるが、実線より右上にはデータはプロットされない。これより、内部摩擦角より急勾配な範囲で、不飽和の状態での安全率が1となる土層厚と、勾配ごとの土層厚の最大値と最もよく一致する粘着力を内部摩擦角ごとに逆推定することである内部摩擦角に対する最適な粘着力が設定できると考えた。そこで、本研究では、内部摩擦角を30°~40°に仮定し、2.5°刻みで5ケース設定し、それぞれ粘着力を算出した。図-2(b)(c)(d)に検討対象地区の土層厚、基岩勾配と無限長斜面の安定解析結果の関係図を示し、表-2に設定した粘着力を示した。

3.4 計算の実施

表-2に示す5ケースについて、式-1を用いて r_c を算出した。なお、 r_c の算出に用いる土壌の物性値(土層の飽和透水性係数、土層の飽和時・不飽和時の単位体積重量)は、現場計測資料がないため、荒谷地区の検討値とした。また、計算メッシュの大きさは5mとした。

ここでは、土質強度の設定方法の影響を検討する意味で簡易貫入試験を実施した点を評価点とし、 r_c が80mm/hを閾値として崩壊発生率(r_c がある条件を満たす評価点の内、実績崩壊地内の評価点の比)を算出した。貫気別川、右支川については、 r_c が80mm/h以下の斜面では、 r_c が80mm/h以上の斜面に比べて崩壊発生率は高く、 r_c が表層崩壊の危険度を表す有効な指標であると言える。さらに、検討ケース間の崩壊発生率の差は小さかった。一方、シカルスナイ沢については、 r_c が80mm/hを境に崩壊発生率は明瞭な差が見られなかった。この原因については、今後の課題としたい。

4. 結論

土層全層が不飽和状態で崩れる斜面はないと仮定し、土層厚と斜面勾配の関係から逆推定される粘着力、内部摩擦角の組み合わせで表層崩壊危険度をよく評価できる可能性があることが分かった。

参考文献

- 1) 内田太郎・盛 伸行・田村圭司・寺田秀樹・瀧口茂隆・亀江幸二(2009)場の条件の設定手法が表層崩壊発生箇所への予測に及ぼす影響, 砂防学会誌 62(1), 23-31.
- 2) 平成15年台風10号北海道豪雨災害調査報告書 土木学会水工学委員会 2004
- 3) Tarboton, D. G.: A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models, Water Resources Research, Vol. 33, 309-319, 1997.

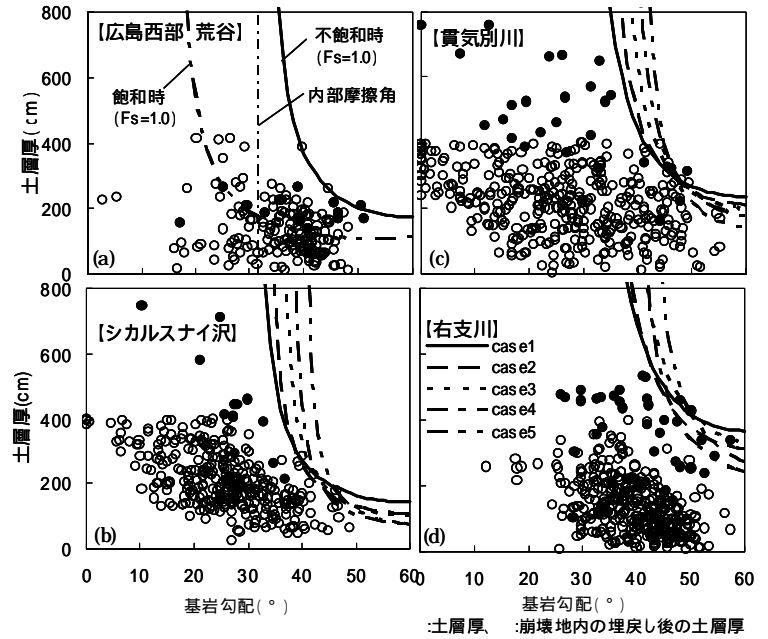


図-2 安定解析による粘着力の逆推定

表-2 粘着力の設定

Case	1	2	3	4	5
内部摩擦角(°)	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0
シカルスナイ沢	6.5	4.7	4.1	2.9	2.7
貫気別川	10.5	8.9	7.9	6.7	4.9
右支川	16.4	13.2	13.2	9.2	9.4

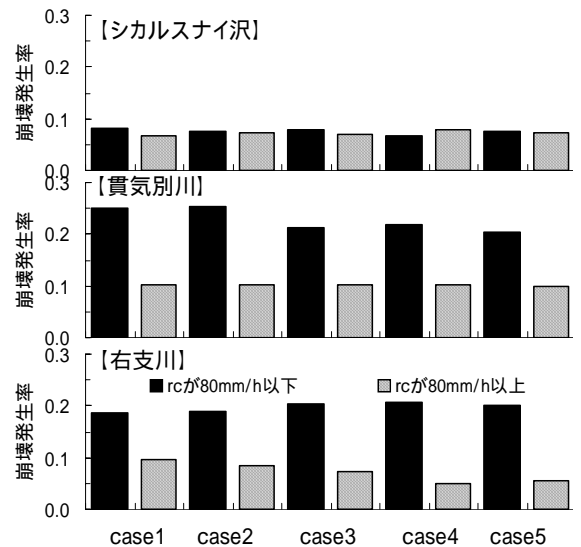


図-3 各ケースにおける崩壊発生率