

表面地形及び表層土層厚に基づく簡易な表層崩壊危険度評価手法

(独) 土木研究所

国土交通省太田川河川事務所

国土交通省砂防部

○盛伸行、内田太郎、田村圭司、寺田秀樹

瀧口茂隆

亀江幸二

1 はじめに

1980年代から表層崩壊の予測手法として、浸透流解析等の雨水流出に関するモデルと斜面安定解析を組み合わせた手法が提案され、複雑な自然現象に近づけようとモデルの改良が加えられてきている。しかし、複雑な自然現象の全てをモデル化することは困難な上、各現象を支配する場の条件を測定することは非常に多大な労力を要する。実際、複雑なモデルを用いて表層崩壊の危険箇所を抽出する試みを行う場合においても、場の条件に関する情報は流域内の数点の測定値の平均値などの代表値が用いられてきている場合が多い。すなわち、予測精度の向上のためには、モデルと場の条件（入力条件）の測定をバランス良く高度化していく必要があると考えられる。そこで、本検討では、物理モデルの入力条件のうち、比較的測定が容易な土層厚の空間分布を面的に測定し、基本的に実測できる入力条件のみで構成されている簡易な「物理モデル」を用いて表層崩壊の発生箇所の予測計算を行い、モデルの再現性について検討を行った。

2 モデルの概要

本研究では、無限長斜面安定解析の式（式1）、ダルシー則（式2）ならびに水の質量保存則（式3より、表層崩壊に必要な最小定常崩壊強度（ r_c ）を算出し（式4）により危険度を評価した（図-1）。

斜面の安全率（ Fs ）は、無限長斜面安定解析の式より、

$$Fs(t) = \frac{c + (\gamma_h \cos I_s - \gamma_w u(t)) \cos^2 I_s \cdot \tan \phi}{\gamma_h \cos I \cdot \sin I_s} \quad (1)$$

ここで、 c は粘着力、 γ は土層の単位体積重量、 h は土層厚、 I_s は斜面勾配、 γ_w は水の単位体積重量、 u は間隙水圧、 ϕ は土の内部摩擦角とする。

ここで、ダルシー則より、土層内の水深が地表面に達しない範囲では以下のように表すことができる。

$$Q(t) = K_s u(t) \tan I \quad (2)$$

ここで、 $Q(t)$ は単位幅あたりの時刻 t のある地点の流下量、 K_s は飽和透水係数、 I は動水勾配である。

また、水に関する質量保存則から、

$$Q(t) = r(t)A + \frac{dv}{dt} \quad (3)$$

ここで、 $r(t)$ は時刻 t の降雨強度、 A はある地点の集水面積、 v はある地点の貯留水量である。本研究では、既往の研究成果から、(1)表層崩壊が発生するような降雨規模が大きい降雨条件下においては、降雨量と流出量が概ね等しくなる場合があること（例えば、Tani, 1997）、(2)表

層崩壊が発生するような場合、土層が十分に湿っており土層内の含水率の時間変化は比較的小さいと考えられることから、水文過程は定常状態（ $dv/dt=0$ ）を仮定した。

そこで、式1~3を用いて、安定解析式での安全率が1となる降雨強度について、式4が得られる。

$$r_c = \frac{K_s \tan I \left\{ \frac{c}{\cos I} - \gamma_l h (\sin I - \cos I \tan \phi) \right\}}{A \left\{ \gamma_w \cos I \tan \phi + \frac{(\gamma_s - \gamma_l)(\sin I - \cos I \tan \phi)}{\cos^2 I} \right\}} \quad (4)$$

γ_s 、 γ_l はそれぞれ、飽和状態、不飽和状態の土層の単位体積重量とする。式4から、 r_c は、任意の地点で、測定可能な土層の単位体積重量、土層厚、斜面勾配、土の粘着力、土の内部摩擦角、飽和透水係数、集水面積から求まる。

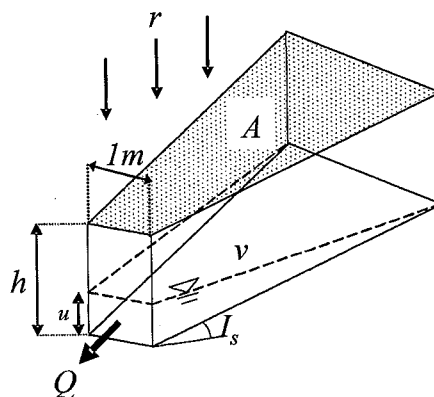


図-1 用いたモデルの模式図

3 検討対象流域とモデルの適用

3. 1 検討対象流域

本検討は、広島市街地から西方約11kmに位置する八幡川流域の荒谷川流域の支渓で行った。流域面積は1.4ha、流域の斜面勾配は12~54°で平均36°である。

1999年6月には、総雨量417mm、最大時間雨量63mmの豪雨により、荒谷川で土石流が発生し、多くの被害が発生している。本検討の対象地域内においても、斜面崩壊が4つ発生した。

3. 2 パラメータの設定

3. 2. 1 土層厚

土層厚の設定は検討対象流域で簡易貫入試験を概ね10~15m間隔で、計173点行った。崩壊地内及びその周辺の貫入試験結果から、Nd=20程度が崩壊面と考えられたため、検討に用いる土層厚は各試験地点のNd=20の深度とした。なお、崩壊地内の土層厚は簡易測量を行い、崩壊前の土層厚を推定した。

3. 2. 2 土質定数

透水係数を除く土質定数については、流域内で土質試験に供する試料を採取し、室内土質試験を行い、パラメータの設定を行った。豪雨時の斜面の等価飽和透水係数は、パイプ流など選択的な流れの影響を受け、小さい土壌サンプル（例えば、100cc）で求めた透水係数より大きい可能性が高い。そこで、本研究では、豪雨時の現象の再現のため、検討対象流域内で継続して行っている水文観測から得られた間隙水圧と流量をもとにダルシー則にしたがうと仮定し、斜面の等価飽和透水係数を算出し、用いた（表-1）。

表-1 崩壊発生予測計算に用いた土質パラメータ

土質パラメータ	採用値
等価飽和透水係数 K_s	0.05 cm/s
粘着力 C	11.51 kN/m ²
内部摩擦角 ϕ	36.1°
飽和単位体積重量 γ_s	17.9 kN/m ³
湿潤単位体積重量 γ_t	15.2 kN/m ³
水の単位体積重量 γ_w	9.8 kN/m ³

3. 3. 3 集水面積、斜面勾配

集水面積ならびに斜面勾配については、貫入試験実施箇所ごとに、地形測量結果ならびに簡易貫入試験結果をもとに算出した基岩面の 5m メッシュの地形データを用いて算出した。集水面積、斜面勾配の算出は、D-Infinity Flow Direction 法を用いた。なお、D-Infinity Flow Direction 法は全方向を 0.01° 刻みで算出し、最急勾配の方向を求めることで、上流側のメッシュから下流側 2 メッシュに対して流下する流量の重み付けを行い、流下させる手法である。

4 結果

表-1 に示したパラメータを用いた場合、流域内の 4 地点（うち、2 点は崩壊地①内）を除いて土層が完全に飽和しても崩壊にいたらなかった。このことは、設定した土質強度の値が、実際の表層崩壊時に比べて大きかった可能性が考えられる。そこで、土壌の飽和度による強度の変動が大きいと考えられている粘着力の値を、間隙水圧 0 の状態で、安全率が 1 を切らない範囲で、小さく設定（ $C=7.5\text{kN/m}^2$ ）し、再計算を行った。

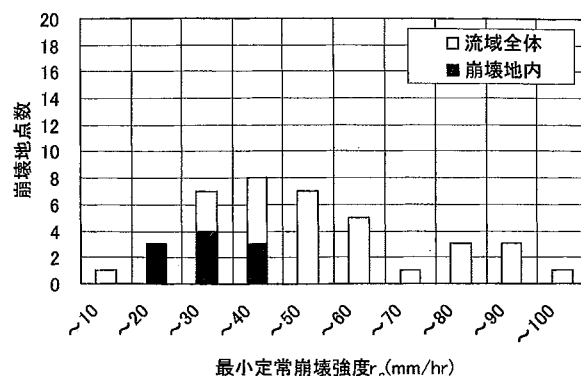


図-3 最小定常崩壊強度算出結果

検討の結果、 r_c の値が小さい箇所と実際に崩壊した箇所は、崩壊地②を除き、概ね一致する結果となった（図-2）。崩壊地②は土層厚が薄く、土層内水深が地表面に達するほどの降雨強度を与えても斜面が崩壊にはいたらない結果となった。

図-3 には流域内の全地点と崩壊地内の r_c の地点数の分布を示した。 r_c が 30mm/h 以下の地点の 6 割強、40mm/h 以下の地点では 5 割強が崩壊地内に位置するのに対し、40～100mm/h の地点では、崩壊地内に属する地点は 1 つも見られなかった。なお、崩壊地内の 4 点については土層が完全に飽和した場合においても、安全率は 1 以下とはならなかった。すなわち、 r_c が小さいほど、斜面崩壊する可能性が高く、 r_c が斜面崩壊発生の危険度を良く表しているといえる。

また、1999 年の豪雨時の最大 1、3、6 時間平均の降雨強度は、それぞれ、63、44、28mm/h であった。崩壊地内の r_c が 10～40mm/h であった結果と概ね整合している。

5 おわりに

今回の検討結果より、水文過程を単純化（定常状態を仮定）した比較的簡易な表層崩壊危険度評価手法であっても、土層厚の空間分布を計測し、水文観測結果から等価飽和透水係数を推定した場合、比較的精度良く崩壊の危険性の高い斜面を抽出可能であることが分かった。ただし、粘着力、内部摩擦角の設定手法については今後、検討する必要がある。

参考文献 Tani, M : J. Hydrol., 200, 84-109, 1997.

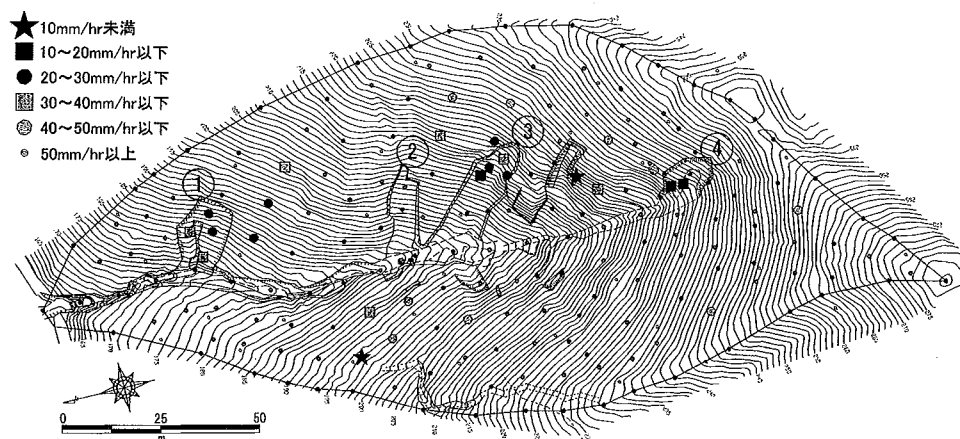


図-2 崩壊危険降雨強度算出結果