

表層崩壊発生予測におけるパラメータの設定手法

(独)土木研究所 ○秋山浩一、内田太郎、田村圭司、寺田秀樹
(株)東京建設コンサルタント 盛 伸行

1 はじめに

砂防事業の更なる重点化、効率化を図るためには、膨大かつ広域に広がる土砂災害危険箇所から土砂災害発生危険度を評価し、危険度が高い箇所からハード対策を推進することが有効と考えられる。

表層崩壊発生危険度の評価手法は、1980年代から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評価モデルが提案され、複雑な自然現象に近づけようと評価モデルの改良が加えられてきているが実用的なモデルとは言い難い。そこで、内田ら¹⁾は、モデルのパラメータの設定に係わるデータ取得の不足がモデルの予測精度の1つの律速条件となっていると考え、レーザプロファイラによる地形量や簡易貫入試験による土層厚など、場の条件を従来以上に精度良く与えることで、表層崩壊の発生場所を比較的精度良く評価可能なモデル(H-SLIDER 法)を提案した。

そこで、本研究では、H-SLIDER 法の汎用性の確認、必要性の高い現地調査内容の把握を試みた。

2 モデルの概要

評価モデルの水文過程は、表層崩壊が発生するような降雨規模が大きい条件下では、降雨量と流出量が概ね等しくなる場合があること²⁾から定常状態($dv/dt = 0$)と仮定し、無限長斜面安定解析の式、ダルシー則ならびに水の質量保存則に基づく(1)式より、表層崩壊に必要な最小定常崩壊発生強度(以降 r_c と称す)を算出し r_c が小さいほど崩れやすいものとして、斜面の崩壊危険度を評価した。

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

ここで、 K_s は飽和透水係数、 c は粘着力、 ϕ は土の内部摩擦角、 γ は土層の単位体積重量、 h は土層厚、 I は斜面勾配、 γ_w は水の単位体積重量、 A は単位幅あたりの集水面積とする。

3 パラメータの設定

3.1 対象流域

検討対象流域は、広島西部山系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。また、1999年6月には、総雨量417mm、最大時間雨量63mmの豪雨で土石流が発生し、4箇所で表層崩壊が発生した。

3.2 パラメータの設定方法

本研究では、表-1に示す5つの異なる設定手法を用いてパラメータを設定し、1999年6月に発生した表層崩壊の再現性を分析し、最適なパラメータセットを抽出した。なお、土層厚は簡易貫入試験を概ね10m間隔で173点実施し、崩壊深度は各試験地点のNd20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。ま

た、土質試験結果より内部摩擦角 ϕ :36.1°、飽和単位体積重量 γ_s :17.9kN/m³、湿潤単位体積重量 γ_t :15.2kN/m³、水の単位体積重量 γ_w :9.8kN/m³とした。

表-1 パラメータの検討ケース

ケース	透水係数 (m/s)	粘着力 (kN/m ²)	土層厚	地形量
0	水文観測値 5.2×10 ⁻⁴	逆推定 (C=7.5)	実測	基岩地形
1	サンプリング試験値 3.0×10 ⁻⁵	逆推定 (C=7.5)	実測	基岩地形
2	水文観測値 5.2×10 ⁻⁴	CD試験 (C=11.5)	実測	基岩地形
3	水文観測値 5.2×10 ⁻⁴	逆推定 (C=4.6)	平均値 (H=141cm)	基岩地形
4	水文観測値 5.2×10 ⁻⁴	逆推定 (C=8.4)	実測	表面地形

3.3 設定結果

(i) 透水係数の設定

Case0(水文観測値)とCase1(サンプリング試験値)の崩壊地内の再現性は、2ケースとも50%程度で差はないが、崩壊地外の再現性は、81%、66%であり、Case0の再現性が15%程度よい(表-2)。また、Case1の r_c は、10mm以下に集中しており、実現象を再現できていない(図-1)。これは、小さい土壌サンプルで求めたCase1の透水係数がパイプ流など選択的な流れの影響を受ける豪雨時の斜面の等価飽和透水係数よりも小さく算定されたことが原因と考えられる。

表-2 検証精度の比較(50mm/h以下を崩壊と仮定)

ケース	崩壊地以外 (160)	崩壊地 (26)	崩壊地以外 の再現性 (1-/160)	崩壊地 の再現性 (-/26)
0	30	13	81%	50%
1	54	13	66%	50%
2	6	1	96%	4%
3	95	18	41%	69%
4	25	10	84%	38%

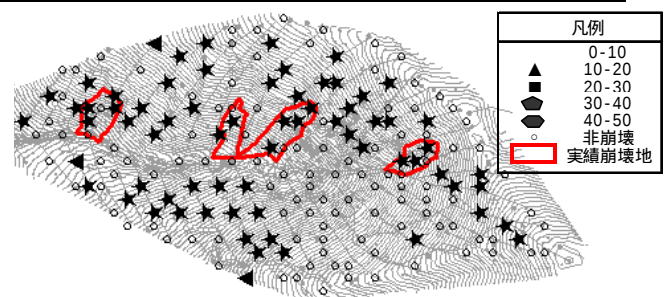


図-1 計算結果(ケース1)

(ii) 土質定数(粘着力)の設定

Case0(地形量・土層厚より逆推定)とCase2(土質試験値)の崩壊地外の再現性は、81%、96%でCase0の再現性が15%程度劣る。しかし、崩壊地内の再現性は50%、4%でCase0の再現性が46%程度よい。これは、小さい土壌サンプルより算定したCase2の粘着力が、斜面の見かけの粘着力と乖離しているためと考えられる。

(iii)土層厚の設定

Case0(実測値)と Case3(流域平均値)の崩壊地内の再現性は、50%、69%で Case0 の再現性が 19%程度劣る。しかし、崩壊地外の再現性は、81%、41%で、Case0 の再現性が 40%程度よい。これは、土層厚を平均値で厚くしたため、Case3 の r_c が小さく評価されたためである。

(iv)地形量の算出

Case0(基岩地形)と Case4(表面地形)の崩壊地内の再現性は、50%、38%で Case0 の再現性が 12%程度よい。これは、崩壊地内の約 6 割のメッシュにおいて、Case0 の基岩地形より算出した集水面積が Case4 の表面地形で算出した場合より大きくなり、その結果、Case0 の r_c が小さく評価されたためである。

以上より、最適なパラメータセットは Case0 とした。

4 近傍の宮内流域への適用

4.1 検討方針

次に、以下の 2 つの作業仮説を検証するために荒谷流域と地質・気候が類似する流域を対象に検討した。

荒谷流域で得られた土層厚の計測が重要であるとの知見が他流域でも該当する。

荒谷流域で同定した土質強度等のパラメータが周辺の他流域においても有効である。

4.2 検討方法

対象流域は広島西部山系の宮内流域とした。斜面勾配 33° 、土層厚 1.63m である。また、1999 年 6 月豪雨では、土石流により 3 箇所で表層崩壊が発生した。

計算のパラメータの設定等は表 - 3 に示すとおりとした。なお、土層厚は荒谷流域と同様に簡易貫入試験を概ね 10m 間隔で 200 点実施し、崩壊深度は各試験地点の Nd20 とした。なお、崩壊地内の土層厚は現地調査により崩壊前の土層厚を推定した。

表-3 検討ケース(宮内流域)

ケース	透水係数 (m/s)	粘着力 (kN/m ²)	土層厚	地形量
0	荒谷観測値 5.2×10^{-4}	荒谷逆推定値 (C=7.5)	実測	基岩地形
1	荒谷観測値 5.2×10^{-4}	逆推定 (C=6.3)	実測	基岩地形
2	荒谷観測値 5.2×10^{-4}	逆推定 (C=4.8)	宮内平均値 (H=163cm)	表面地形
3	荒谷観測値 5.2×10^{-4}	逆推定 (C=4.1)	荒谷平均値 (141cm)	表面地形

5 結果と考察

計算結果は、表 - 4、図 - 2 に示すとおりである。宮内流域の Case2、3 は、Case0、1 の土層厚を平均値としたため、多くの崩壊地外の測定点が実測値より厚くなり、 r_c が小さく評価された。その結果、崩壊地内と崩壊地外の r_c の差は小さくなり、崩壊地外の再現性が劣っている。この結果は、崩壊危険度予測の精度向上には、対象流域内の土層厚を計測し、実測値を与えることが重要であるとした荒谷流域の結果が他流域でも該当することが確認でき、の仮説を支持する結果であった。

また、Case0 と Case1 の崩壊地内の再現性は、64%、71%

で Case1 の再現性が 7%程度よい。また、崩壊地外の再現性は、84%、69%で Case0 の再現性が 15%程度よく、ほぼ同じ結果が得られた(図 2 及び表 4)。さらに、荒谷流域の Case0 と宮内流域の Case0 を比較した結果、崩壊地外の再現性は 81%(荒谷流域)、84%(宮内流域)で同程度であり、崩壊地内の再現性は 50%(荒谷流域)、64%(宮内流域)で宮内流域の方が高く、宮内流域の Case0 も荒谷流域とほぼ匹敵する再現性で得られたといえる。以上より、土質強度、透水係数などのパラメータは、周辺地域で同定した値を用いても、地形・土質条件が類似した地域内では、土層厚分布のみを計測することで、崩壊危険度を概ね評価できることを示しており、の仮説を支持する結果であった。

表-4 再現計算結果

ケース	崩壊地以外 (137)	崩壊地 (45)	崩壊地以外 の再現性 (1- /137)	崩壊地 の再現性 (/45)
0	22	29	84%	64%
1	43	32	69%	71%
2	76	34	45%	76%
3	84	35	39%	78%

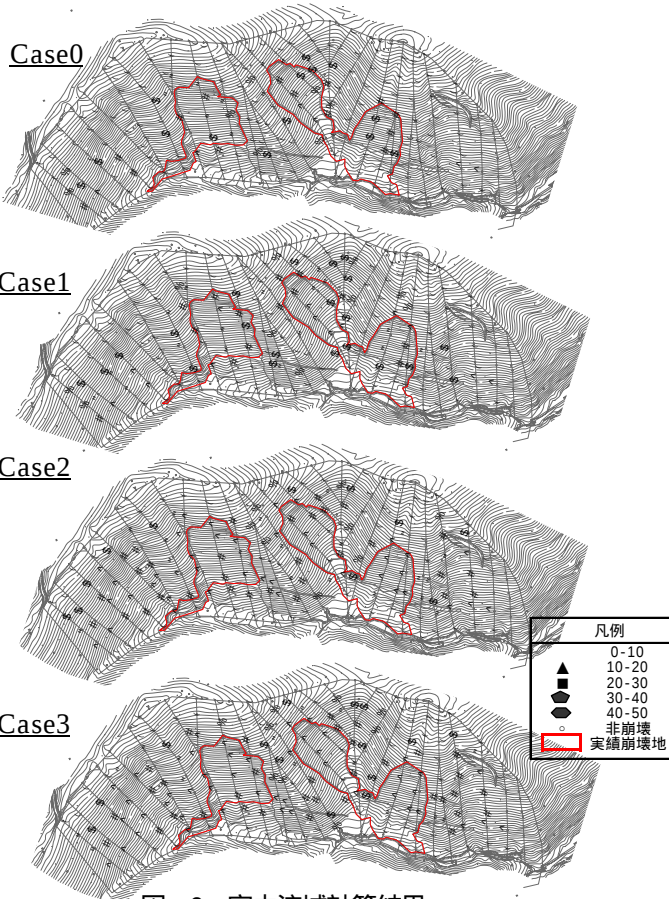


図 - 2 宮内流域計算結果

6 まとめ

以上の結果より、表層崩壊の危険度評価には、地形情報に加えて、土層厚に関する情報と周辺地域で適確に設定された土質強度、飽和透水係数が重要であることがわかった。

【参考資料】1) 内田ら 土木技術資料 50-9、2008、

2) Tani, M : J. Hydrol., 200, 84-109, 1997.