

土層厚データを用いた表層崩壊発生危険度評価手法

独立行政法人 土木研究所
土砂管理研究グループ
火山・土石流チーム

1

1.はじめに

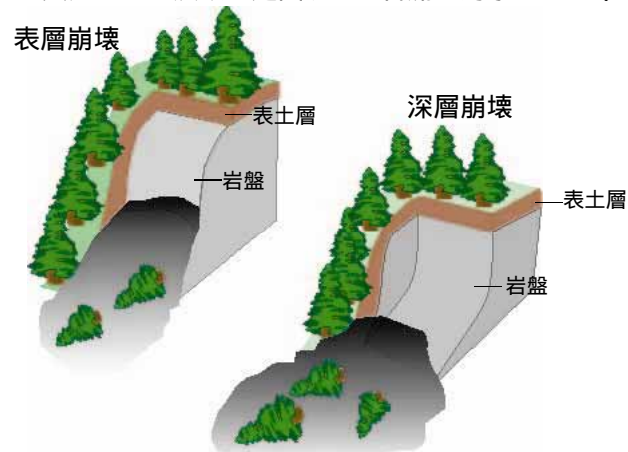
- 砂防事業の更なる重点化、効率化を図るために、土砂災害が発生する危険度の高い箇所からハード対策を推進していくことが有効であると考えられる。
- そのためには、膨大かつ広域に広がる土砂災害の危険箇所の危険度を評価できる手法の構築が必要となる。
- 近年、レーザープロファイラや簡易貫入試験の改良など、場の条件の測定技術に進歩が見られる。
- その結果、新たな測定技術を用いて場の条件を従来以上に精度良く計測し、表層崩壊発生危険度評価モデルを用いることで、表層崩壊発生場所を比較的精度良く予測できるようになった。
- そこで、新たに表層崩壊に起因する土石流の発生危険度評価手法をマニュアルとしてとりまとめた。

平成21年7月末土砂災害
(山口県防府市釧川)

2

2. マニュアルの対象現象

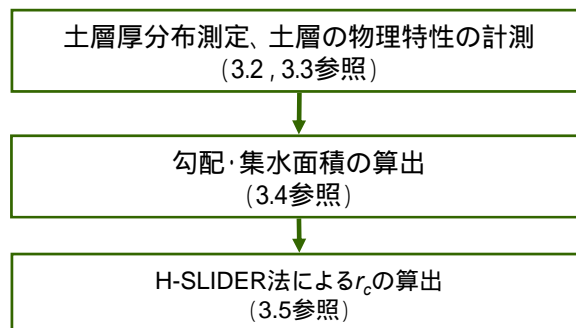
- 本マニュアルは、表層崩壊に起因する土石流の危険度を評価するために用いるものとする。
- 対象現象は、表層崩壊に起因する土石流とし、深層崩壊に起因する土石流および天然ダムの決壊に起因する土石流は対象としない。



3

3. 調査及び評価手法の概要

- 本マニュアルでは地表面地形、土層厚、土質強度、飽和透水係数など表層崩壊の発生を規定する場の条件について実測した上で、簡易な評価モデルを用いて、表層崩壊に起因する土石流の発生危険度を評価する。
- 表層崩壊危険度評価の検討フロー



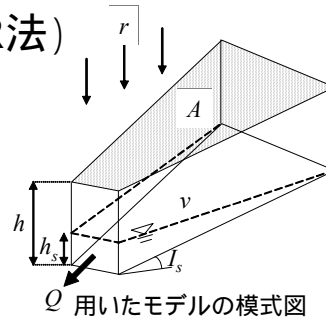
4

3.1モデルの概要(H-SLIDER法)

■ モデルの特徴

土層厚、斜面勾配、集水面積、透水係数、土の粘着力、内部摩擦角などの実測で得られるパラメータのみを入力

定常状態を仮定し、無限長斜面の安定計算式とダルシー則に従い安全率が1となる降雨強度「最小崩壊発生危険降雨強度 r_c (mm/h)」を算出



Q 用いたモデルの模式図

無限長斜面安定解析

ダルシー則
+
水の質量保存則

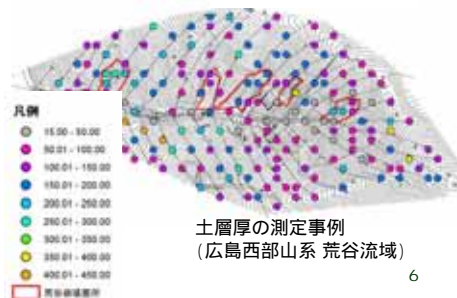
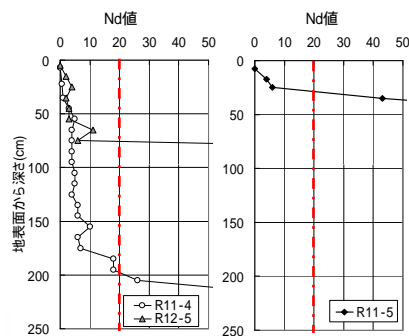
$$r_c = \frac{K_s \sin I [c + \gamma_t h \cos I_s (\cos I_s \tan \phi - \sin I_s)]}{A [(\gamma_s - \gamma_t)(\sin I_s - \cos I \tan \phi) + \gamma_w \cos I \tan \phi]}$$

透水係数 k_s (cm/sec), 粘着力 C (kN/m²), 内部摩擦角 ϕ (°), 湿潤重量 γ_t (kN/m³), 飽和重量 γ_{sat} (kN/m³), 水の重量 γ_w (kN/m³), 斜面勾配 θ (°), 土層厚 h (cm), 単位幅あたりの集水面積 A (m²/m)

3.2土層厚分布測定

- 表層崩壊の恐れのある土層厚 (以下、土層厚とする。)は簡易貫入試験などにより、面的に測定する。
- 土層厚は、崩壊地内と崩壊地外の貫入試験結果を比較し、既往の崩壊が生じたと考えられる貫入抵抗値を推定し決定する。
- 土層厚の測定間隔は、対象地域およびその周辺の既往の崩壊幅程度とする。
- 土層厚の測定は、対象地域内に崩壊地がある場合、崩壊地も含めて測定する。

貫入試験結果(右:崩壊地内,左:崩壊地外)



土層厚の測定事例
(広島西部山系 荒谷流域)

3.3 土層の物理特性の計測

透水係数の設定

斜面の透水係数 k_s は、観測斜面流域における水文観測結果より設定する。

透水係数の算出には、ダルシー則を用いる。単位斜面幅1mあたりの流量は

$$q(t) = K_s h_s(t) \tan I$$

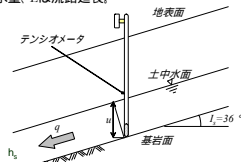
斜面は流路に沿って左岸、右岸に流路延長分だけあると考え、

$$Q(t) = 2Lq(t)$$

上の2つの式より、 K_s を算出すると、以下の式となる。

$$K_s = \frac{Q(t)}{2Lh_s(t) \tan I}$$

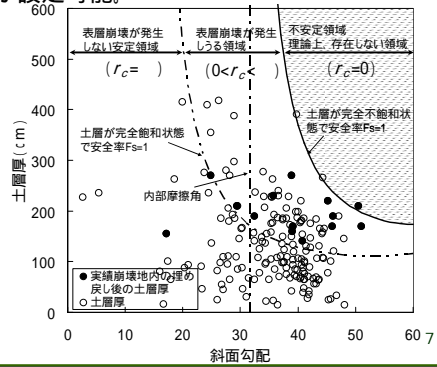
($q(t)$ は時刻の斜面下端を流下する水量、 K_s は飽和透水係数、 $h_s(t)$ は斜面下部の水深、 I は動水勾配、 $Q(t)$ は時刻の流末を流下する水量、 L は流路延長。



土質定数の設定

土質定数(C 、 ϕ 、 t 、 s)は、三軸試験を流域内の代表地点で実施し、試験結果より設定する。

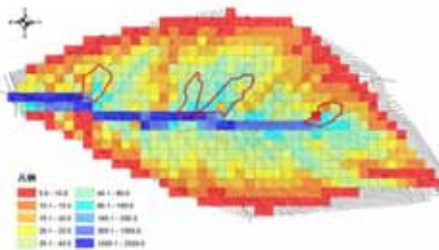
また、内部摩擦角より急勾配な範囲において、不飽和の状態では安全率が1となる土層厚が勾配ごとの土層厚の最大値に最もよく一致する粘着力を逆推定すれば、内部摩擦角に対する最適な粘着力が設定可能。



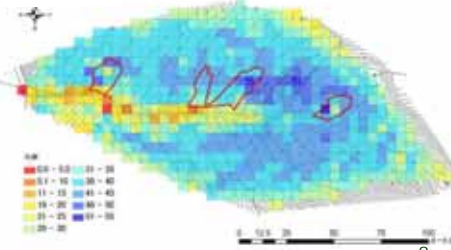
3.4 集水面積，斜面勾配の算定

- 対象地域のメッシュ分割を行い、各メッシュの地表面の標高、土層厚、基岩面の標高を算定する。
- メッシュサイズは10m程度とし、斜面規模や土層厚測定状況に配慮し、分割する。
- 基岩面の標高は、地表面の標高から、土層厚を引いた値とする。
- 勾配・集水面積の算出にあたり、明らかな窪地を除き、予め窪地を埋め戻す処理を行う。
- 勾配・集水面積の算出は、できるだけ実態にあった地形量が算出可能な方法(例えば、D-infinity法 (Tarboton, 1997))を用いて、実施する。

集水面積

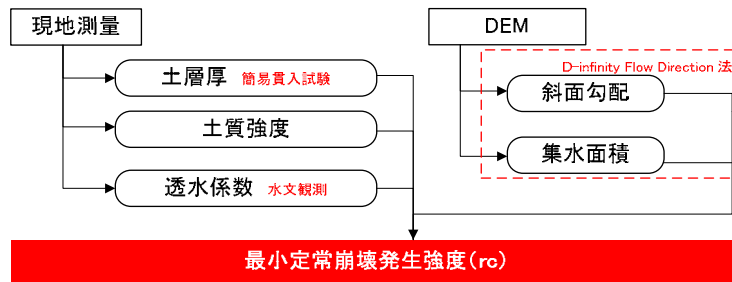


斜面勾配



3.5H-SLIDER法による r_c の算出

設定したパラメータを用いて各メッシュにおける r_c を算出する。



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

透水係数 k_s (cm/sec), 粘着力 C (kN/m²), 内部摩擦角 ϕ (°), 湿潤重量 t (kN/m²), 飽和重量 sat (kN/m²), 水の重量 w (kN/m²), 斜面勾配 I (°), 土層厚 h (cm), 単位幅あたりの集水面積 A (m²/m)

9

4.モデルの妥当性検証

4.1検討対象地域の概要

- 検討対象地域は、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内の右支渓とした。
- 基盤岩として広島花崗岩類が広範囲に分布し、一部で風化が進んでいる。
- 対象地域の集水面積は0.014km², 斜面勾配は12~54°で平均36°である。
- 同地域は、森林に覆われており、斜面下部から中腹部は、針葉樹の人工林, 上部は広葉樹が主に分布している。
- 1999年6月には、総雨量417mm, 最大時間雨量63mmの豪雨により、4地点で斜面崩壊が発生した他、荒谷川で土石流が発生し、多くの被害が発生した。



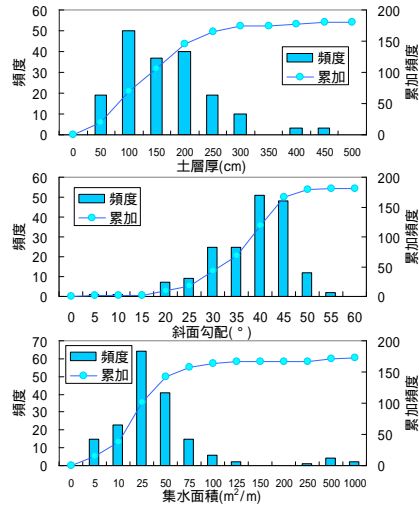
1999年の新規崩壊地



10

4.2パラメータの設定

- 土層厚調査は、土研式簡易貫入試験装置を用いて計181点計測。
- 計測地点は、概ね10m～15m間隔で設定。
- 土層厚は、崩壊地内及びその周辺の簡易貫入試験結果の比較により、各計測地点のNd値が20より上部の厚さで設定。
- 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。
- 岩盤面標高は、5mメッシュに1mDEMの地表面標高の平均値を割り当て、土層厚を減じて推定。



11

4.2パラメータの設定

透水係数の設定

透水係数は、災害時の降雨状況に最も近い2005年9月6日のデータを用いて算出した結果 ($5.2 \times 10^{-2} \text{cm/s}$) と設定。

イベント日	2005/9/6
連続雨量(mm)	236
最大時間雨量(mm/hr)	58
最大10分間雨量(mm/10min)	10
地中水深 h_s (cm)	15.0
流末流量 Q (l/s)	18.63
透水係数 K_s (cm/s)	5.15E-02

土質定数

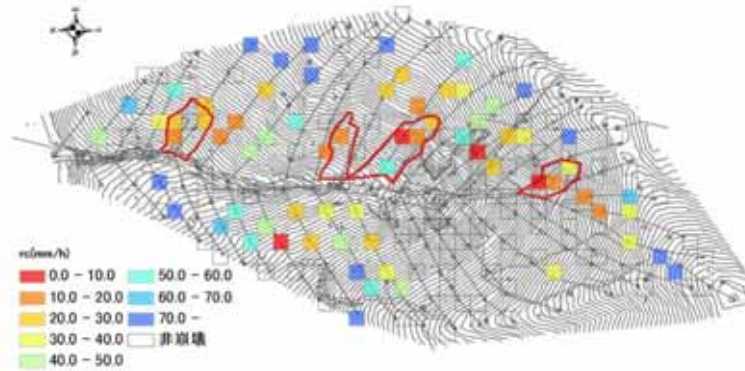
- 土質定数は、流域内で非攪乱試料を採取し、室内試験により測定した。
- 試料は崩壊地近傍で深さ30cm(1試料)、60cm(2試料)、90cm(2試料)の計5試料を採取した。
- 湿潤単位体積重量、飽和単位体積重量は、土の湿潤密度試験、土粒子の密度試験、土の含水比試験を行い、5試料の算術平均を用いた。
- 内部摩擦角は、CD試験により設定した。
- 粘着力は、設定した内部摩擦角 ϕ と土層厚と斜面勾配の関係をもとに設定した。

土質パラメータ	採用値
粘着力 c	7.5 kN/m ²
内部摩擦角	36.1 °
飽和単位体積重量 s	17.9 kN/m ³
湿潤単位体積重量 t	15.2 kN/m ³
水の単位体積重量 w	9.8 kN/m ³

12

4.3H-SLIDER法による r_c の算出

- 最小崩壊発生危険降雨強度が小さい領域と実際に崩壊が発生した領域が概ね一致
- 簡易な物理モデルでも土層厚分布が把握できれば、精度よく崩壊危険箇所を抽出可能



13

5. 広域範囲の危険度評価手法(C-SLIDER法)

~ H-SLIDER法を広域へ適用できるように拡張 ~

- 簡易な(定常状態を仮定した)モデルであっても、入力条件を的確に設定できれば、表層崩壊の危険度はある程度評価可能
- しかし、広域で土層厚分布などの入力条件を的確に設定することは困難



- 簡易な(定常状態を仮定した)モデル
- 入力条件を確率論的に設定

することにより、

流域内のどこで崩れるか？

は分からないまでも、

流域内に危険な斜面が多いかどうか？

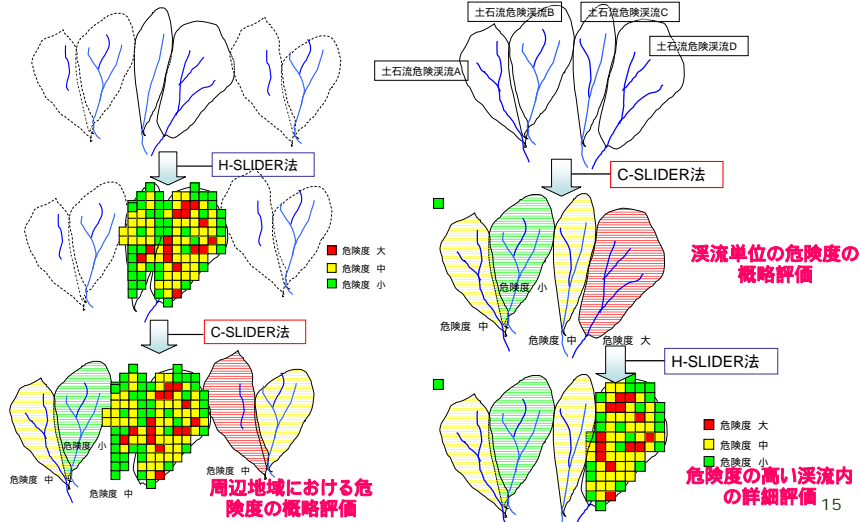
は分かる。

14

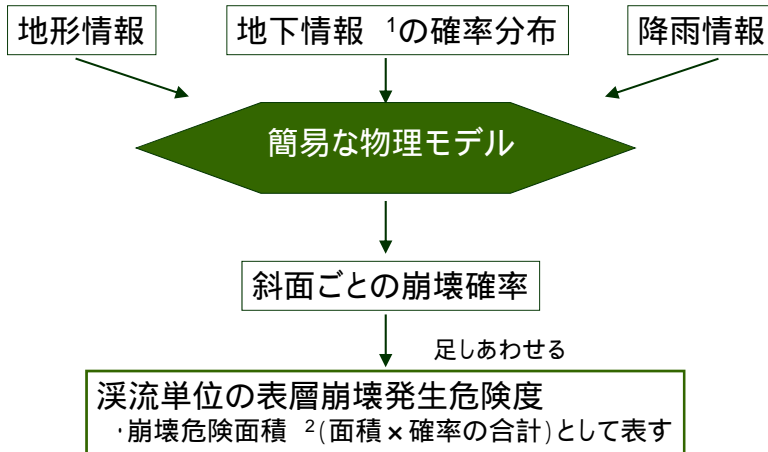
5.1 C-SLIDER法の活用案

H-SLIDER法で危険度評価した溪流の周辺溪流におけるC-SLIDER法による危険度の概略評価

C-SLIDER法による概略の危険度評価および危険度の高い溪流におけるH-SLIDER法による詳細な危険度評価



5.2 C-SLIDER法の概要

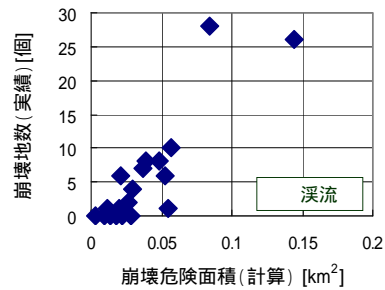
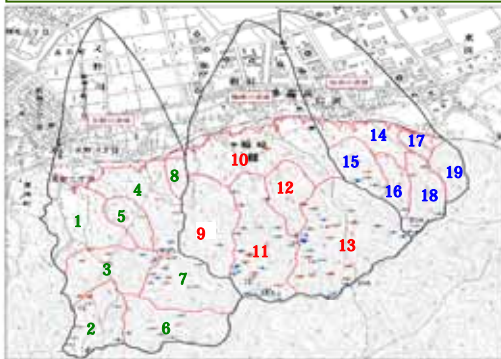


地下情報¹ 透水係数、粘着力、内部摩擦角、土層厚

崩壊危険面積² $\alpha = \sum_{i=1}^n a_i p_i$ $\left\{ \begin{array}{l} a_i \text{は各メッシュの面積} \\ p_i \text{はメッシュ} i \text{が安全率} 1 \text{以下になる確率} \\ n \text{は溪流内のメッシュ数である。} \end{array} \right.$ 16

5.3 C-SLIDER法の適用事例

愛媛県新居浜周辺の19溪流に適用



モデルにより計算された「崩壊危険面積」と実際の崩壊面積との相関は高い

広域で表層崩壊の発生危険度の概略評価が可能

17

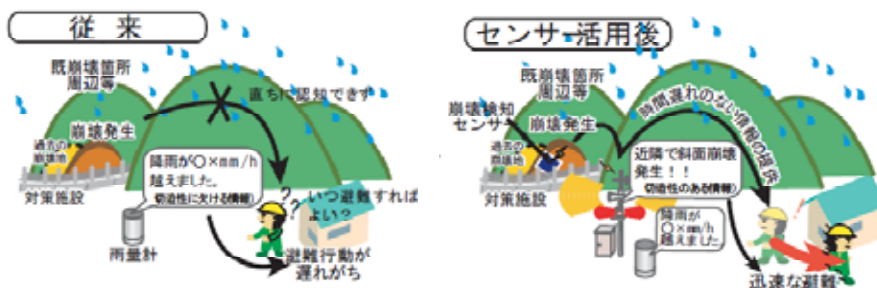
6. 斜面崩壊検知センサの活用

これまで...

- 土砂災害の警戒避難の指標は、主に雨量情報
- 雨量情報では切迫性が感じにくいので、避難行動が遅れがち

斜面崩壊検知センサーの活用による効用

- 斜面崩壊を瞬時に検知し、リアルタイムに情報伝達が可能となる。
- 近隣斜面の崩壊を検知できれば、切迫感が高まり、避難するタイミングを今まで以上に適切に判断することが容易となる。



詳しくは、土木研究所 火山・土石流チーム HPをご覧ください。
『土砂災害の警戒避難支援のための斜面崩壊検知センサの開発』
<http://www.pwri.go.jp/team/volcano/hokaisensor/hokai-sensor.pdf>

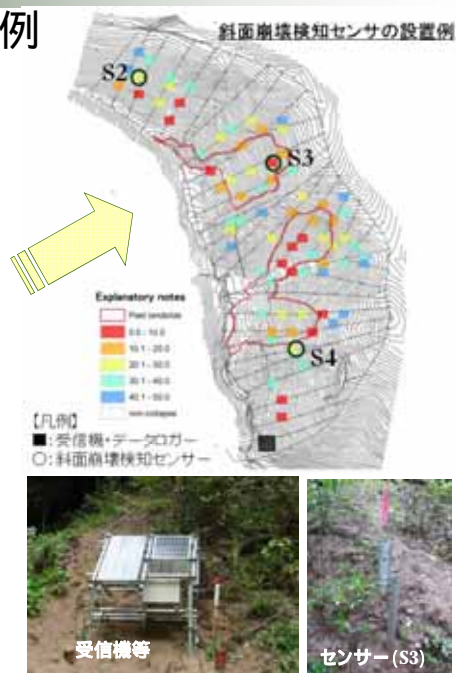
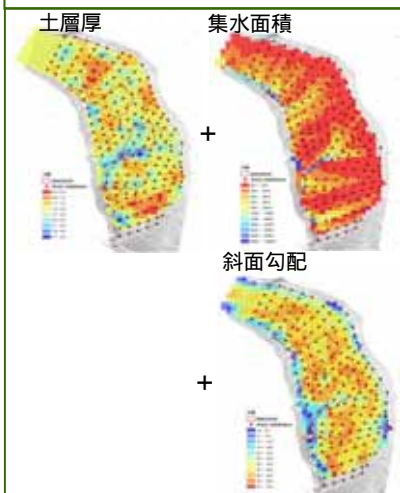


18

6.1 センサーの設置事例

管内: 中国地整 太田川河川事務所
 場所: 広島西部山系宮内地区
 目的: 土砂災害警戒避難体制の強化

検討対象地区の表層崩壊発生危険度評価結果



7. おわりに

- 本研究では、地下水位を定常状態と仮定し、入力条件は基本的に実測できるもののみで構成した比較的簡易な表層崩壊危険度評価手法を構築し、1999年広島で生じた豪雨による斜面崩壊に適用した。
- その結果、比較的単純な危険度評価手法であっても、土層厚の空間分布や基岩面に対する地形量、土層厚と斜面勾配の関係より粘着力の推定等を用いた場合、表層崩壊の相対的な危険性を比較的精度良く表現することが可能であることが分かった。
- これより、十分な現地調査を行えば、モデルは簡易であっても、かなり高い精度で崩壊危険箇所を抽出できることが分かった。
- また、土層厚などが広域に面的な測定が困難であることを鑑み、広域に適用可能な溪流単位の危険度評価手法として簡易な物理モデルに、実測に基づき推定した土層厚・土質強度の確率分布を考慮した情報を入力する方法を提案した。
- その上で、同手法を愛媛県新居浜周辺の19溪流に適用した結果、少なくとも崩壊が数多くおこるおそれの高い溪流は抽出できることを確認した。
- 頻発する土砂災害に対する警戒避難体制への支援として、斜面崩壊検知センサーを開発した。
- 本研究で示した表層崩壊危険度評価手法と併せて活用すれば、土砂災害に対し、被害軽減に役立つと考えられる。