

### 力学モデルに基づく崩壊危険度情報作成基準の検討

株式会社オリエンタルコンサルタンツ ○高橋大地・秋山怜子・高山遼太  
国土交通省 近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター  
竹下 航・岸本優輝・小林正直・高原晃由

#### 1. はじめに

土砂災害に関する危険度評価について、これまで研究報告されているものは現行の土砂災害警戒情報に関する手法である(例えば寺田ら 2001<sup>1)</sup>)。この手法は降雨指標を計算するためのモデルパラメータが全国一律であり、斜面崩壊を規定する地形等は考慮されていない。この課題に対し力学モデルにより計算される崩壊メッシュ数に対し基準を設定し、危険度評価を試みた手法(佐藤ら 2021<sup>2)</sup>)では表層崩壊の発生・非発生を判別する閾値を検討し一定の成果は得られているが、実用化に向けて降雨の予測結果を用いて崩壊発生前にアラートを出す危険度評価手法の検討も必要と筆者らは考える。そこで、本検討では 2011 年台風第 12 号で多数の表層崩壊に起因する土石流が発生(以下、発生降雨)した那智川流域を対象として、力学モデルにより出力される崩壊メッシュ数の経時変化を用いた危険度評価を行い実用性等について分析した。さらに土砂災害警戒情報の空振り軽減のための検討事例(小杉 2015<sup>3)</sup>)を参考に、近年の豪雨頻発化に合わせて危険度評価基準を更新する手法を検討し実用化に向けた課題を整理した。

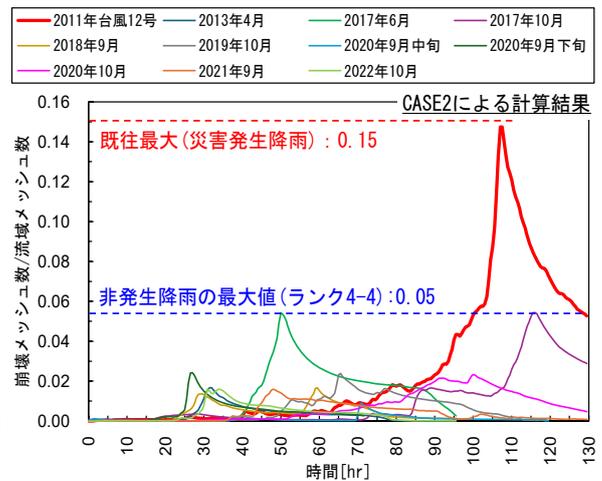


図1 本検討で設定する危険度カテゴリ

#### 2. 危険度評価方法

那智川流域は熊野灘に河口をもつ流域面積 24.5km<sup>2</sup>であり、年間降水量 3,329mm と国内有数の多雨地帯で流域上流には急勾配斜面が分布している。本検討に用いる力学モデルは、既往研究<sup>4)</sup>で用いられている表層崩壊モデルとし、10m メッシュで計算結果が得られる。主要出水時の計算結果を図 1 に示す。縦軸是那智川流域全体の崩壊メッシュ数(安全率 1.0 未満)を流域を構成するメッシュ数で除した値である。なお、当該流域では発生降雨以外の降雨で土砂移動は発生していない(以下、非発生降雨)。非発生降雨の崩壊メッシュ数の最大値を上回らない限り崩壊は発生しないとすると、この最大値が表層崩壊の発生基準値となり、降雨の予測結果を用いて表層崩壊モデルによる崩壊メッシュ数の予測計算を実施し、発生基準値を超えた場合、災害が切迫し最大限の警戒を行うべき目安となる。

本検討では警戒避難に実用できる危険度評価を念頭に、発生基準値を使用した危険度カテゴリについて、内閣府が示している警戒レベルのレベル 4 とレベル 5 を補完する危険度として、発生基準値を超える場合を最も危険な 4-4、下位のカテゴリ 4-3~4-1 は発生基準値に比率を乗じることで定義し(表 1)、実際の降雨にあてはめて分析した。

#### 3. 計算モデルの違いが危険度評価に与える影響の分析

本検討では異なる 2 つの計算モデルによる危険度の時間変化について着目する。なお、図 2 の計算結果是那智川流域で土砂流出が生じた代表河川の結果を示している。CASE1 は地下水水位を降雨時間刻みで初期水深を更新して逐次計算しており、降雨ピークへの対応が大きく減衰が早いのが特徴である。一方、CASE2 は IDH-slider 法<sup>4)</sup>を適用し複数の限界降雨強度で崩壊判定を評価しており、崩壊メッシュ数が緩やかに増加し、緩やかに減衰するのが特徴である。発生降雨時に土砂流出が発生した時刻(以下、崩壊発生時刻)は 9 月 4 日 2:30 頃(図 2 では降雨開始後 106hr に該当)とされ、同時刻に崩壊メッシュ数がピークに達しており、計算結果は実現現象を再現できていると評価できる。

危険度評価への影響について、発生基準値の超過タイミングやリードタイム(危険度 4-4 から崩壊発生までの時間)で分析すると以下の結果が得られた。

**【分析①: 超過タイミングについて】** CASE1 では多くの流域で危険度 4-4 を超過する時刻が類似しており、流域の差が見られないが、CASE2 では発生基準値を超過する時刻について流域差が生じていた。現行の土壌雨量指数では表現できない地形条件による地域差を警戒避難にも反映させる点では CASE2 の方が有用な可能性がある。

表 1 本検討で設定する危険度カテゴリ

警戒レベル	内容	対応する警報	危険度	範囲
レベル5	災害が発生又は切迫	大雨特別警報、氾濫発生情報	4-4	A ≤ M
レベル4	危険な場所からの避難が必要	土砂災害警戒情報、氾濫危険情報	4-3	Aの80% ≤ M < A
レベル3	高齢者等は危険な場所からの避難が必要	大雨警報(土砂災害)、洪水警報、氾濫警戒情報	4-2	Aの60% ≤ M < Aの80%
レベル2	避難行動の確認が必要	氾濫注意情報	4-1	M < Aの60%

※ A : 発生基準値、M : 崩壊メッシュ数

【分析②：リードタイムについて】リードタイムはCASE2の方が長くなる(内の川で比較すると9時間長い)ことが確認され、地域住民の避難を確実に実施するためにはCASE2を用いた方が有効であると考えられる。

【分析③：崩壊メッシュ数の減衰について】崩壊メッシュ数がピークに達した後、危険度ランク 4-2 を下回る時間はCASE2の方が遅くなり、地域住民の安全を踏まえるとCASE2の方が有効であると考えられる。

4. 発生基準値の逐次更新に関する分析

現行の土砂災害警戒情報に用いられている基準は近年の豪雨頻発化に対応するよう定期的に精査しているため、本検討でも未経験降雨指数の考え方<sup>3)</sup>を参考に、那智川で地形データが存在する発生降雨以降の実績雨量(2012年～2023年：12年間)を入力した長期間の計算結果を用いた発生基準値の経年変化を分析する。発生基準値は以下の方法で更新した。

- (1) 過去に経験した降雨により表層崩壊が発生していない場合、それよりも小規模な降雨で表層崩壊は発生しないとみなし非発生降雨の継続期間中の最大値を発生基準値とする。
- (2) 崩壊が発生した場合は、斜面の性状が変化し土層の抵抗力が小さくなるため、発生基準値をゼロとする。

那智川で適用した結果、発生降雨以来、土砂流出が発生していないため、発生基準値は崩壊メッシュ数の既往最大を更新する度に引き上げ続けられる結果となった(図3)。しかし、土砂流出が起きない限り、この発生基準値の更新方法が適切かどうか判断することは難しい。斜面が同一条件であれば、これまで経験した降雨では崩れないと考えられるが、時間経過とともに斜面の土層は厚くなりせん断力も大きくなるため、経験済みの降雨規模でも崩壊の可能性は高まる。また、土砂流出が発生した場合には発生基準値をゼロとするため、崩壊発生直後は規模の小さい雨でも発生基準値を上回ることとなり、小規模降雨でもアラートが発令される状況となる。

5. 実用化に向けて必要となる検討

本検討における表層崩壊モデルを用いた危険度評価について、那智川流域では発生降雨が2011年の1降雨のみで、検証を十分突き詰めることはできなかったが、その中でも得られた成果と今後検討が必要と考えられる項目を以下に整理した。

＜計算モデルの選定＞①本検討結果としては地域住民の安全を考慮する場合、CASE2の方が適切と評価したが、その一方で警戒避難体制の時間が長くなると行政の拘束時間も長くなるという欠点もある。②本検討では地下水位の設定方法が異なる2ケースのモデルで比較したが、他のモデルによる計算結果や上記の欠点等も踏まえ、運用方法に合わせたモデル選定が必要と考えられる。

＜発生基準値の逐次更新＞①本検討のように災害後に発生降雨が生じない場合には発生基準値が更新され続けるが、その更新が適切であったかどうかは土砂流出が発生した流域で検証する必要がある。②上記を検証するためのモデル流域を選定する上では、定期的に土砂流出が発生しているという条件に加え、降雨データの取得状況も重要な条件となる。力学モデルを用いる利点として、地形条件の他に降雨分布も考慮できることもあるため、Xバンドの使用も望まれる。

【引用文献】1)寺田ら(2001)：土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法、2)佐藤ら(2021)：分布型崩壊概念モデルの実用化に向けた検討、3)小杉(2015)：斜面崩壊の誘因となった降雨の評価手法、4)秋山ら(2025)：表層崩壊予測モデルを用いたリアルタイム危険度予測の試行

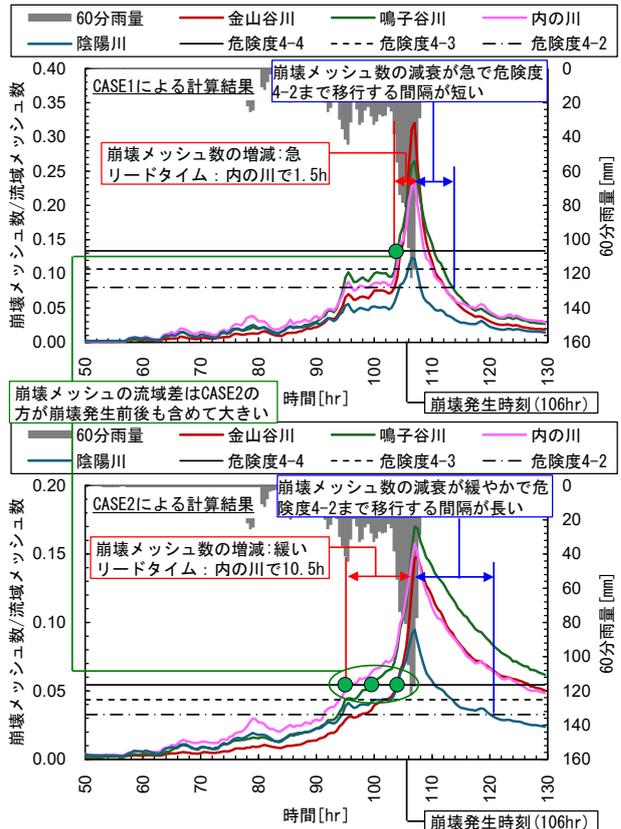


図2 発生降雨に対する崩壊メッシュ数の時系列変化

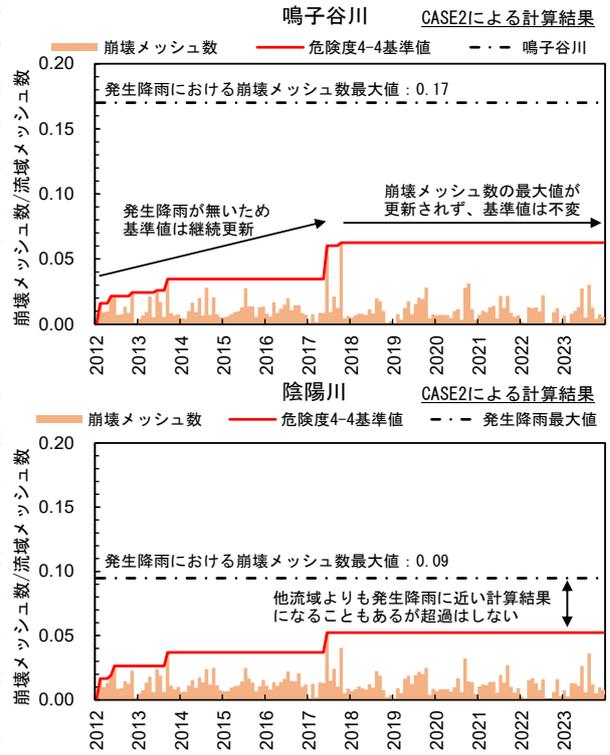


図3 那智川の長期計算結果で発生基準値の更新を実施した場合