

土石流を対象とした危険度評価指標の検討

国土交通省国土技術政策総合研究所 國友優 神山嬢子 池田寛
 一般財団法人日本気象協会 ○内田良始 寺谷拓治 増田有俊

1. はじめに

梨子沢土石流(2014年7月)、広島土石流(2015年8月)等に代表されるように、近年、甚大な被害をおよぼす土石流災害が多数発生している。土砂災害警戒情報の精度向上のため土石流(溪床堆積物移動型)の発生・非発生を簡易的に評価する手法が求められている。

本研究では、現在開発が進められているフェイズドレイの実用化を見据えて XRAIN 等高解像度レーダデータを用いて溪流における任意地点の流量を物理的に評価し、土石流発生に関係する地形因子(溪床勾配、集水面積等)を含めて総合的に評価するための指標を検討し、六甲山(兵庫県神戸市)および梨子沢(長野県南木曾町)で発生した土石流事例に適用した結果について報告する。

2. 土石流発生溪流のモデル化

土石流の発生・非発生を評価するためには、山地小流域における任意地点の流量を物理的に評価することが重要となる。特に、高解像度かつ高精度なレーダデータの活用を想定した場合、対象溪流を細かいメッシュサイズでモデル化し、土石流発生に関係する因子(溪床勾配、集水面積等)を算出することが必要となる。

土石流発生前のLPデータ¹⁾²⁾から得られた1mメッシュの地表面データ(1mDEM)を元に、10mメッシュの標高データを作成した。10mメッシュ標高データを元に、落水線を作成し、斜面勾配分布・集水メッシュ分布を作成した。

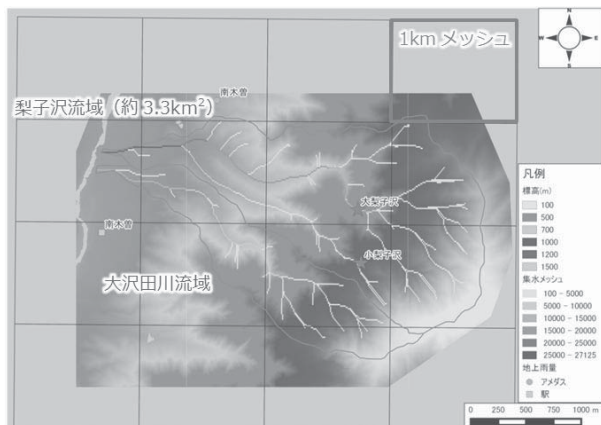


図1 10mメッシュ標高・集水メッシュ分布(梨子沢)

3. 合理式に基づいたピーク流量の算出

(1) 時系列降雨量からピーク流量への変換

流量の算出には、運動方程式や連続式等の物理特性を満たしていることも重要となるが、一方で、簡便性・普遍性を考慮した場合、可能な範囲で簡易化することが重要となる。この物理性と簡易性を両立させるために洪水到達時間内の平均降雨強度からピーク流量を算出する合理式をベー

スとした手法を採用し、モデル化した流域のメッシュ毎にピーク流量を算出した。洪水到達時間内の平均降雨強度からピーク流量への変換イメージを図2に示す。

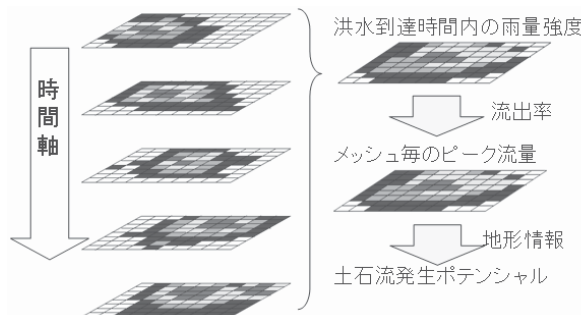


図2 降雨量からピーク流量への変換

(2) 洪水到達時間の算出

洪水到達時間は流路長と溪床勾配の関係から求まる経験式が複数提案されている(例えば、吉野・米田(1973))が、適用範囲が限定されているため、全国の山地溪流に適用できる推定方法が必要となる。

本検討では、代表的な3つの経験式(クラーヘン式、バイエルン式、土研式(都市流域、自然流域))について検討対象流域への適用の可否について検討した。

一般的に、土石流は15度以上の急傾斜で流域面積が比較的小さい(数km²以下)山地溪流で発生する機会が多いことから、これら経験式の適用範囲を考慮しバイエルン式(1式)を採用することとした。

$$T = \frac{L}{W} \times \frac{1}{3600}, \quad W = 20 \times \left(\frac{H}{L}\right)^{0.6} \dots (1)$$

T: 洪水到達時間(hr)、L: 流域最遠点からの流路長(m)、W: 伝搬速度(m/s)、H: 最遠点との標高差(m)

(3) 溪床幅の推定

流量は溪床幅によって大きく変化すると考えられるが、実測データは非常に少ないため、山地河川における河道幅の推定方法が提示されている³⁾⁴⁾⁵⁾。

本検討では、全国での使用を想定し、拡張性と簡便性がある手法であることを考慮し原田他(2014)(2式)を用いて河道幅を算出した。なお、この推定式は溪床勾配が1/50以上に適用されることに注意が必要である。

$$B_0 = \sqrt{\frac{fkr_e}{8gd}} \sqrt{\frac{A}{I}} = \eta \sqrt{\frac{A}{I}} \dots (2)$$

B₀: 河道幅(m)、A: 流域面積(km²)、I: 溪床勾配
 η: 係数(=2.4)

4. 新たな危険度評価指標の算出

降雨量から変換されたピーク流量値は、観測誤差および

流出特性や溪床堆積物の特性に係る不確実性（例えば流出率のばらつき）が含まれており、絶対値として表現のみでは土石流発生危険度を十分に表現できない可能性がある。そこで、ピーク流量の履歴順位から土石流の発生・非発生を評価することとした。履歴順位は、2012～2015年の降雨事例を用いて算出した。

また、土石流の発生・非発生条件には、溪床勾配・幅が重要である⁹⁾が、これらはお互いに関連する物理量であるため、絶対値を用いて土石流の発生・非発生を判別することは難しい。このため、上記で求めた履歴順位、溪床勾配、溪床幅を複数のカテゴリーに分割し（表1）、それぞれの物理量を土石流発生危険度ランクに変換し、それらの総合ランク値によって土石流危険度評価指標とした。

表1 地形情報による土石流危険度カテゴリー区分

	土石流危険度カテゴリー区分				
	高	4	3	2	低
ピーク流量 履歴順位	10位以内	11～20位	21～50位	51～100位	100位以下
溪床勾配	20～25度	15～20度	25度以上	10～15度	10度以下
溪床幅	5m以下	5～10m	10～15m	15～20m	20m以上

5. 六甲山および梨子沢流域への適用

T1411による六甲山土石流災害事例および梨子沢土石流事例について土石流危険度評価指標を算出し、メッシュ・溪流単位での土石流発生・非発生および発生時刻等を検討した。

六甲山・梨子沢流域ともに、降雨ピークにともなって、土石流発生地域周辺で履歴順位の高まりとともに危険度評価指標が大きくなっていった。一方で、土石流非発生溪流でも危険度評価指標が大きくなっていく場合があった（図3）。梨子沢土石流は17時41分頃発生したと報告されているが、17時30分頃から梨子沢の上流部を中心に土石流危険度評価指標が大きくなり、危険な状態であったことが示唆される（図3下）。

土石流が流域内のどの支川・どの区間で発生するかわからないため、流域内をメッシュで区分し、危険度評価指標毎に発生・非発生メッシュの頻度を算出した。その結果、土石流が発生した溪流の各メッシュを発生メッシュとして評価すると、発生メッシュの81%は指標値13が最も多く、非発生メッシュでは指標値12以下が41%発生していた。この結果を踏まえ、土石流発生危険度評価指標を13とした場合、新たな指標による土石流の捕捉率は92%、的中率は35%であった。

また、メッシュを溪流単位で取りまとめ、土石流発生・非発生の評価を行った。ここで、合流後の溪流は評価対象から除外した。その結果、発生溪流の91%が指標値13以上であり、非発生溪流の28%が指標値11以下であった。

以上の結果から、指標値が13以上となった溪流では土石流発生危険度が高まっていると言える。

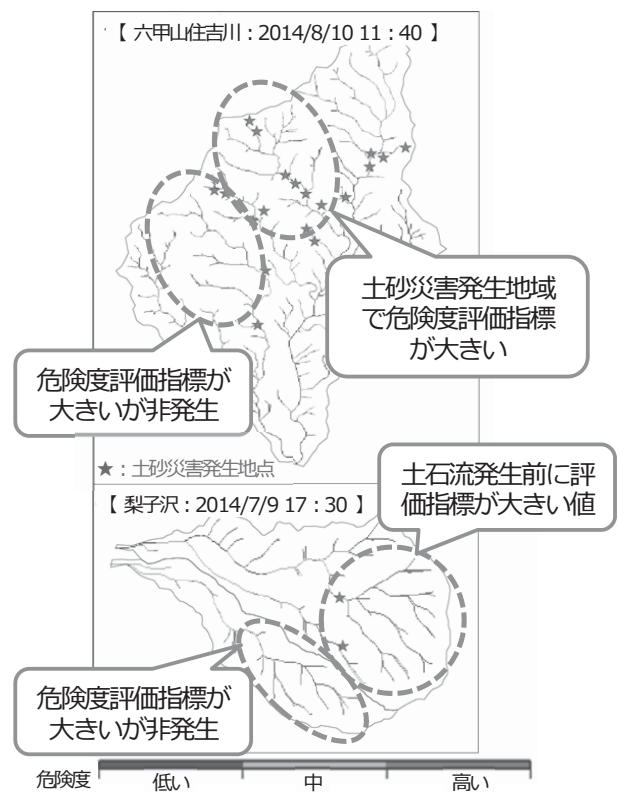


図3 土石流危険度評価指標による評価

6. まとめと今後の課題

六甲山および梨子沢流域で発生した土石流事例を対象に、ピーク流量履歴順位・溪床幅・溪床勾配を土石流発生危険度ランクに変換し、それらを総合的に評価することで、溪流毎に土石流の発生・非発生を判別できる可能性が示された。このことから、平常時のリスク情報（事前の相対リスク）として溪流のもつ勾配・溪床幅などを把握しておくことが重要であると言える。

一方で、溪流によって履歴順位・溪床勾配・溪床幅の危険度ランク分割は異なることが考えられるため、事例を蓄積し、拡張性・簡便性・普遍性のあるカテゴリー分割方法等も検討する必要がある。

参考文献

- 1) 平成24年 航空レーザ測量データ、六甲砂防事務所
- 2) 平成20年度 多治見砂防管内航空レーザ測量作業
- 3) 佐山ほか：ダム群流量制御を考慮した広域分布型流出予測システムの開発、京都大学防災研究所年報、第47号B、平成16（2004）年4月
- 4) 木下ほか：六甲山系における過去の豪雨・地震災害による崩壊地の土砂災害移動に関する研究、研究発表会概要集B、p.598～599、2012
- 5) 原田ほか：山地河川における河道幅の推定方法に関する提案、研究発表会概要集B、p.396～397、2014
- 6) 秦ほか：平成26年8月広島豪雨の土石流事例を踏まえた土砂移動予測に関する一考察、砂防学会研究発表会概要集B、p.288～289、2015