

# 土石流が乗り越える可能性のある尾根の抽出方法

藤村直樹・泉山寛明・高橋佑弥・水野秀明

## 1. はじめに

平成25年10月、台風26号による豪雨に伴い伊豆大島の大金沢流域では複数の斜面崩壊と土石流が発生し、死者35人、行方不明者4人<sup>1),2)</sup>と甚大な被害が生じた。本災害の特徴のひとつに、従前の土石流危険渓流の調査で想定されていた流路の尾根を土石流が乗り越えて流下し、氾濫範囲が拡大したことがあげられる。この要因には、流域に最大24時間雨量824mm<sup>1)</sup>といった通常行われる土石流対策の計画規模を上回る大きな降雨が生じたことが考えられる。一方、本災害が発生した地域は火山地域特有の起伏の小さい地形を呈しており、この地形特性が氾濫範囲を拡大させた要因のひとつとなった可能性がある(図-1)。このように起伏の小さな尾根を有する流域で土石流が発生すれば、従前の想定よりも土石流の氾濫範囲が広がるおそれがあり、その可能性を踏まえた事前の対策が求められる。今後、そのような尾根部を有する渓流を事前に把握するための調査の実施が望まれるが、全国に多数の渓流が存在することを踏まえた調査手法の構築が必要である。当チームでは、そのような尾根部を定量的に抽出する手法について、伊豆大島を対象に試行的な検討を行ったので、その結果を報告する。

## 2. 抽出フロー

土石流が乗り越える可能性のある尾根部の抽出フローを図-2に示す。一次抽出により、検討が必要な火山地域を絞り込む。その地域のうち、二次抽出で起伏量の評価により、開析が進み谷形状が比較的明瞭と判断できる流域は検討対象から除外する。このように検討対象の流域をある程度絞り込んだ後、具体的な箇所を抽出する。抽出は、(A)流域の上流側に計算開始地点を設けて二次元氾濫計算により乗り越え箇所を抽出する手法と、

(B)土石流の全水頭の推定値と尾根部の標高とを比較することにより同箇所を抽出する手法の2手法を試行することとした。これらの2手法のアプローチを行うことで網羅的な抽出、あるいはよりリスクの高い箇所の抽出が可能となる可能性がある。本2手法を伊豆大島の大金沢流域で適用し、両手法から抽出された尾根部と実際に土石流が乗り越えた尾根の箇所を比較することで、手法の妥当性を検討した。

なお、手法は技術者による抽出箇所のばらつきを低減するため、GISソフトウェアを用いて可能な限り簡便かつ客観的な実施が可能なものとした。

## 3. 検討対象流域の絞り込み

### 3.1 方法

検討対象流域の絞り込みは、流路の形状が明瞭な流域を除外することとし、その形状について流路沿いの起伏量による評価を試みた。一般のGISソフトウェアは、任意の標高メッシュについて、

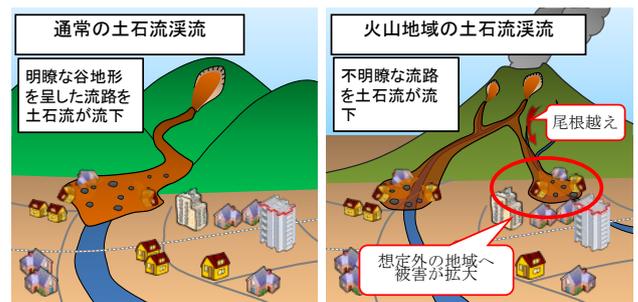


図-1 火山地域の土石流イメージ

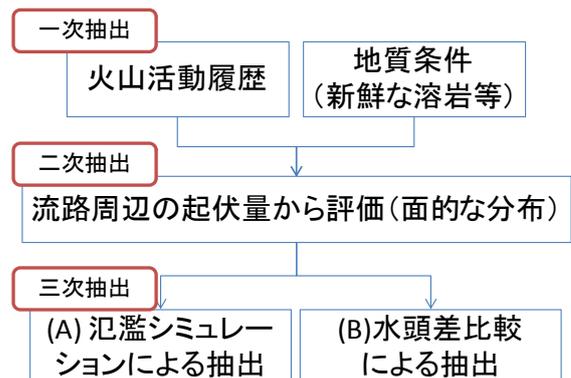


図-2 抽出フロー

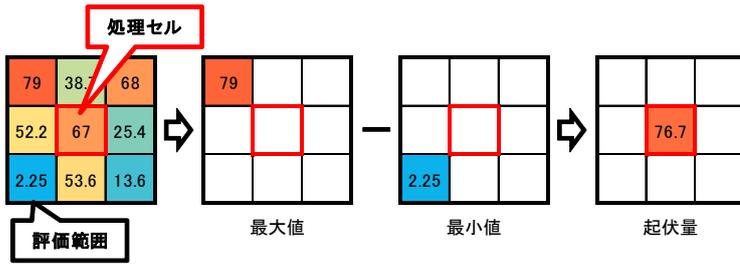


図-3 起伏量の算出

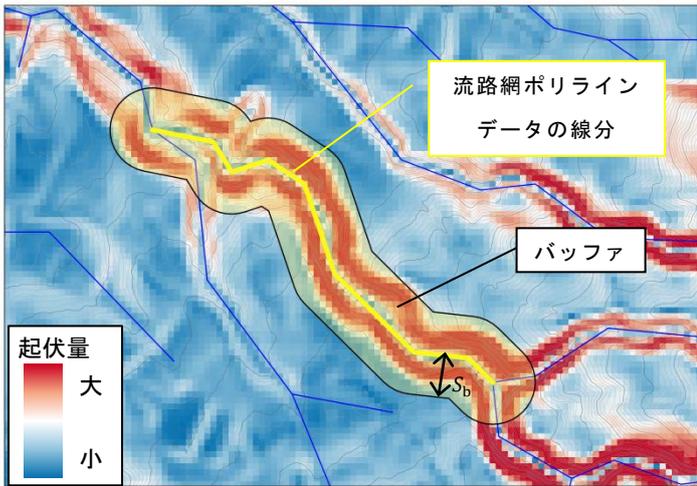


図-4 バッファ発生状況

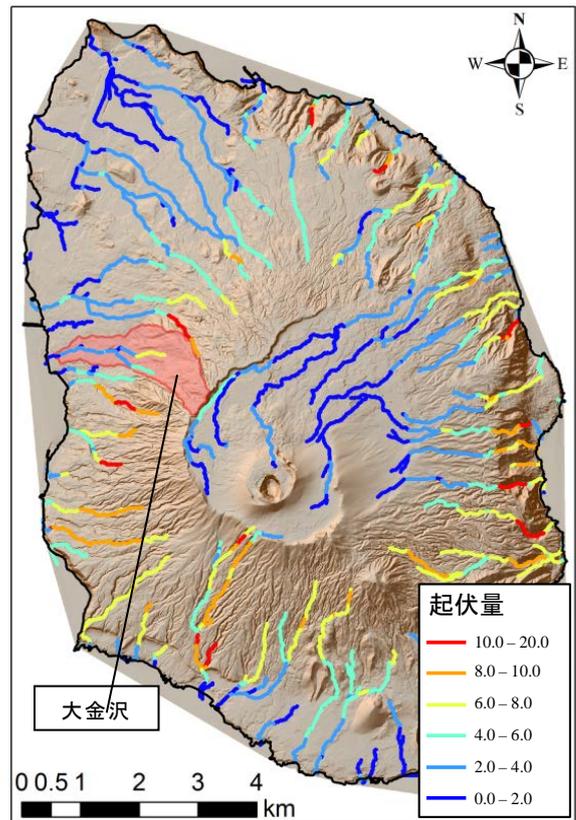


図-5 起伏量集計結果

この標高メッシュと隣接する8つの標高メッシュの中から最高および最低の標高となるメッシュを抽出しその差 $\Delta H$ （以下「起伏量」という。）を算出する機能（図-3）を有しており、複数のメッシュについて短時間で $\Delta H$ を算出できる利点が大きいため、同機能を用いることとした。

詳細な手順は以下の通りとした。

- (1) 可能な限り分解能の高い数値標高モデルを用いて各メッシュ $i$ の起伏量 $\Delta H_i$ を算出。また、流路網のポリラインデータ\*を作成。
  - (2) 流路網ポリラインデータの線分ごとにあるサイズ $S_b$ （メッシュの大きさの1~20倍）のバッファ\*を発生させ（図-4）、バッファ領域内に含まれるメッシュを抽出。
  - (3) (2)で抽出されたメッシュについて、起伏量の平均値 $\Delta H_{ave}$ を算出。
  - (4) (2)~(3)の作業を、異なる複数のサイズのバッファについて実施し、サイズ $S_b$ と $\Delta H_{ave}$ の関係図を作成。
  - (5)  $S_b - \Delta H_{ave}$ 関係から、サイズ $S_b$ が小さくかつ $\Delta H_{ave}$ が大となる点が、対象の線分について最適なバッファサイズおよび起伏量とする。
- (1)~(5)の作業を各流域の流路網について行い

相対的に起伏量が小さい流路を有する流域を流路の形状が明瞭ではない流域として、以後の検討対象とすることにした。

### 3.2 結果と考察

3.1で述べた方法を伊豆大島に適用した結果を図-5に示す。なお、本検討では標高モデルとして基盤地図情報の5mメッシュDEMを使用した。図より、土石流の尾根越えが見られた大金沢流域は、上流から下流にかけて概ね4.0以下の起伏量が主体を占めているように、他の流域と比較して相対的に起伏量が小さいことが分かる。以上より、3.1で述べた方法は流域の絞り込みに有効な手法となりうるといえる。

## 4. 二次元氾濫計算による抽出

### 4.1 計算条件

次に、実際に土石流が尾根を乗り越えて流下した大金沢で、土石流が尾根を乗り越えて流下した地点を抽出しうるか検証するため氾濫計算を実施した。計算に際しては計算領域および境界条件としてのハイドログラフを適切に設定する必要がある。本検討では、実際に尾根越えしたと見られる箇所を包含するよう、3.で作成した流路網につい

\*土木用語解説：ポリライン、バッファ

表-1 土石流ピーク流量

	集水面積割合	ピーク流量 [m <sup>3</sup> /s]	
		計画降雨	実績降雨
基準点	1.000	833.0	2,368.0
投入点1	0.269	223.7	635.9
投入点2	0.436	363.0	1,032.0

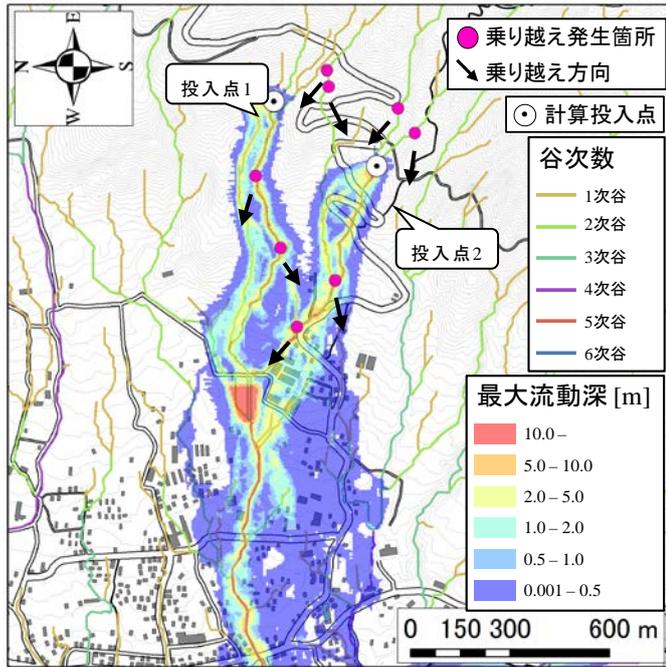


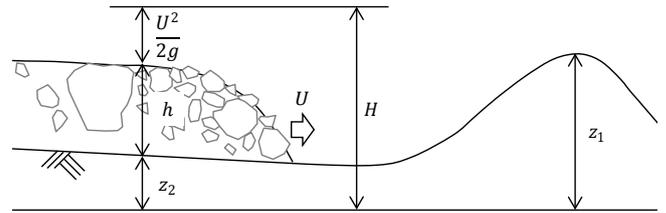
図-6 氾濫計算結果図（最大流動深分布）

て3次谷の上流端2箇所から土砂を投入することとした。

土石流ピーク流量は大金沢の堆積工を基準点とし、計画規模の降雨量503mm/dayを用いて砂防基本計画策定指針<sup>3)</sup>に則って設定した(833.0m<sup>3</sup>/s)。計画規模の降雨を対象としたのは、災害発生前の状況から想定できる情報から尾根越え地点を想定しうるかを確認するためである。なお、計画規模の土砂量として運搬可能土砂量41,650m<sup>3</sup>を用いた。ハイドログラフは矩形と仮定し、土石流の継続時間は100秒とした。その上で、土砂の投入点2箇所の集水面積を算出し、面積按分して各投入点でのハイドログラフを設定した(表-1)。河床は簡単のため固定床とし、計算はJ-SASモデルを用いた。

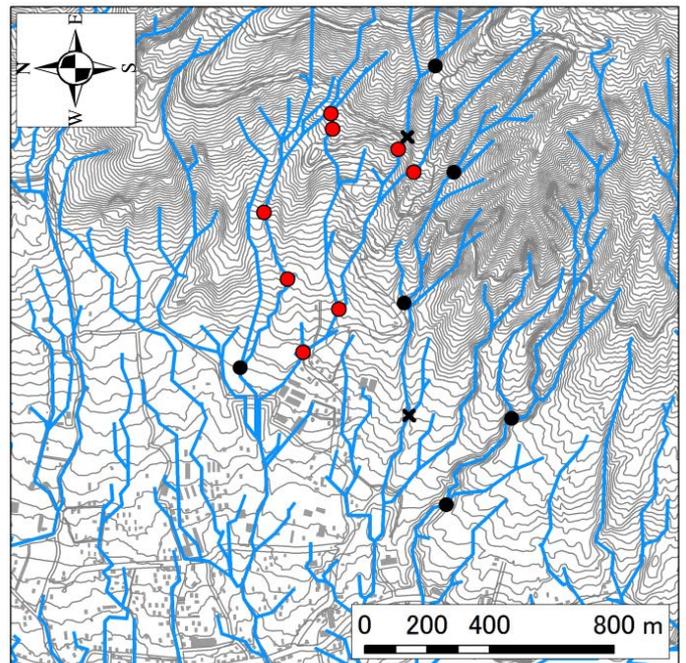
#### 4.2 計算結果と考察

図-6に計画規模の土石流流量を与えた場合の氾濫計算結果として、初期河床位と最大水位の差である最大流動深の分布図を示す。また、図には家



諏訪(1988)<sup>4)</sup>Fig. 2に追記して作成。

図-7 土石流全水頭と外岸標高の比較



	実績	判定		実績	判定
●	乗り越える	乗り越える	✖	乗り越える	乗り越えない
●	乗り越えない	乗り越えない	×	乗り越えない	乗り越える

※ ✖: 該当なし

図-8 土石流全水頭による尾根越え判定結果

屋等の保全対象よりも上流域で実際に尾根越えが発生したと見られる地点を示した。図より、計画規模の場合は計算で想定される尾根越え地点と実際とで一部違いが見られるものの、概ね抽出できていることが分かる。

### 5. 土石流の全水頭による抽出

#### 5.1 計算条件

土石流が尾根を越えて流下する現象は、流路が大きく湾曲している箇所で見られると考えられる。その仮定のもと、大きく湾曲している箇所を抽出し、さらに同地点において外岸を乗り越えるエネルギーを土石流が有しているか否かを判定する手法を考案し、その妥当性を検討した。

まず、検討対象とする湾曲部を抽出するが、ここでは流路の湾曲角がある閾値を超える場合を対象とすることとした。なお伊豆大島の実績から、本検討では閾値として33度を採用している。

つづいて湾曲部の外岸を乗り越えるか否かを判定するが、外岸の標高を $z_1$ とし、ベルヌーイの定理から算出できる全水頭 $H$ が $z_1$ を上回った場合に土石流が尾根を乗り越えるものと判定した(図-7)。本検討では速度を有した土石流がかけあがって尾根を乗り越える可能性を評価するために速度水頭を算入し全水頭とした。

$$H = \frac{U^2}{2g} + h + z_2 > z_1$$

ここに $U$ ：土石流の流速 (Manning則)、 $g$ ：重力加速度、 $h$ ：流動深、 $z_2$ ：河床位である。なお、検討対象地点における土石流流量の算出に当たっては砂防基本計画策定指針の降雨量に基づく土石流ピーク流量の算出方法から求めた。なお本来ならば土石流の河床とのせん断 ( $\tau_b$ ) によるエネルギー散逸を考慮し、また土石流流量として数パターン設定するなどして抽出するべきであるが、これは今後の課題である。

## 5.2 計算結果と考察

図-8に湾曲角が閾値を超えた箇所(16箇所)と、全水頭を用いてその箇所を乗り越えるか否かを判定した結果を示す。検討の結果、乗り越えが実際に見られた地点では本手法により乗り越えると判定されている。また乗り越えが実際に見られなかった8箇所のうち2箇所を除いて乗り越えないという判定結果となり、おおむね実績と整合する結果となった。したがって5.1で示した手法も有効な乗り越え箇所の抽出手法になりえると考えられる。

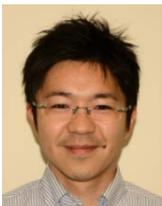
## 6. おわりに

本稿では火山地域の流域において、相対的に土石流が乗り越えるおそれのある尾根部を定量的に抽出する方法について述べた。具体的には、まず、火山地域において開析の進んでいない流域を、流路周辺の起伏量から抽出した。続いて、抽出した流域について氾濫計算を直接試行する手法および土石流の全水頭と尾根部の標高を比較する手法を適用し、土石流が乗り越えるおそれのある尾根部を抽出した。抽出結果と伊豆大島での乗り越え箇所とを比較した結果、概ね実績箇所を抽出できた。ただし、氾濫計算の境界条件、全水頭と尾根部の標高を比較する地点の選出方法などについては、結果に影響を及ぼす可能性があり、引き続きその影響を検討する必要がある。今後は他の火山地域を対象にした検討を行い、手法や判定基準の妥当性を明らかにする予定である。

### 参考文献

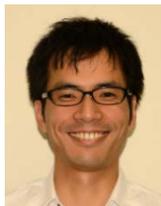
- 1) 石川芳治、池田暁彦、柏原佳明、牛山素行、林真一郎、森田耕司、飛岡啓之、小野寺智久、宮田直樹、西尾陽介、小川洋、鈴木崇、岩佐直人、青木規、池田武穂：2013年10月16日台風26号による伊豆大島土砂災害、砂防学会誌、Vol.66、No.5、pp.61~72、2014
- 2) 伊豆大島土砂災害対策検討委員会：伊豆大島土砂災害対策検討委員会報告書、平成26年3月
- 3) 国土技術政策総合研究所資料：砂防基本計画(土石流・流木対策編)解説、平成19年3月
- 4) 諏訪浩：土石流先端への大岩塊の集中機構、京都大学防災研究所年報第31号B-1昭63.4(1988)、pp.139~151

藤村直樹



土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 主任研究員  
Naoki FUJIMURA

泉山寛明



土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 研究員、博(工)  
Dr. Hiroaki IZUMIYAMA

高橋佑弥



土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 交流研究員  
Yuya TAKAHASHI

水野秀明



土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 上席研究員、博(農)  
Dr. Hideaki MIZUNO