

噴火による浸透能低下と源頭部の土砂堆積を考慮した数値解析に基づく土石流発生ポテンシャルの評価

京都大学 ○岩井智哉, 宮田秀介, 山野井一輝

1. はじめに

火山噴火が起こると土石流の発生頻度が急激に増加することが経験的に知られている。これは、火山灰が斜面に堆積することで雨水浸透能が低下し、斜面に表面流が発生しやすくなることが原因と考えられている¹⁾。火山噴火前後の土石流発生の降雨に関する閾値の変化は、観測データがあれば把握することができる¹⁾。一方で、土石流発生降雨の噴火前後の変化を汎用的な方法で評価した例はほとんどない。そこで本研究では浸透能や源頭部の土砂堆積状況を示す堆積層厚を変えて数値シミュレーションを行い、各条件において土石流の発生に必要な降雨条件を調べた。

2. 解析方法

岐阜県高山市の神通川水系足洗谷流域を対象に数値シミュレーションを行った。特に図1に示した源頭部の河道に焦点を絞って結果を検討した。解析には SiMHiS: Storm Induced Multi Hazard Information Simulator^{2), 3)}を用いた。降雨流出解析には Kinematic Wave 法を用い、浸透能を越える降雨に対してはホートン型の表面流を発生させるモデルとした。河道における水の輸送に関する計算においても表面流と浸透流を区別して計算を行った(図2)。

土石流の発生メカニズムとしては①: 溪床の堆積土砂が基岩との表面で滑動するものと、②: 表面流によって堆積土砂が浸食されて土石流化するものの2種類を考慮した。土石流の発生評価について、①は高橋⁴⁾に倣い、堆積土砂に働く流下方向の力と滑りに対する抵抗力の比、 F_s を求め、 $F_s < 1$ となれば①の土石流が発生すると評価した。ここで、

$$F_s = \frac{c + (w \cos \theta - u) \tan \phi}{w \sin \theta}$$

であり、 c は粘着力、 w は単位河道に存在する水と土砂の単位面積あたりの重さ、 u は水圧(静水圧を仮定)、

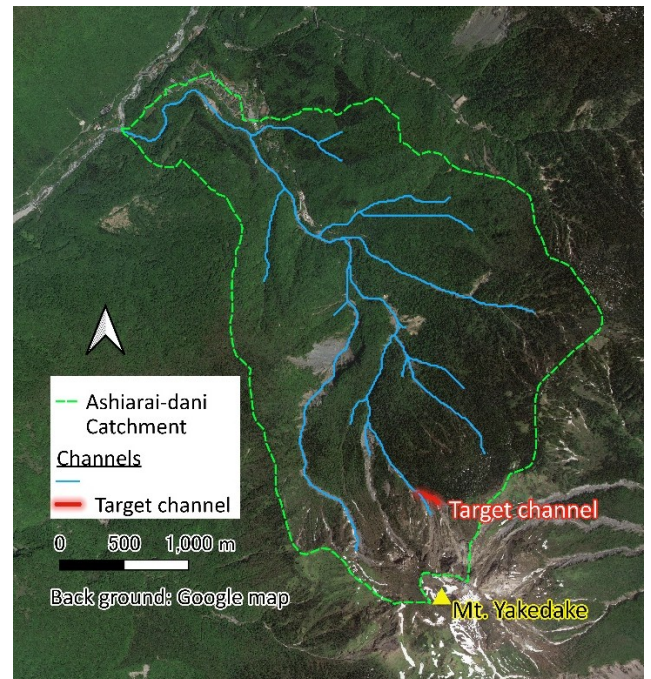
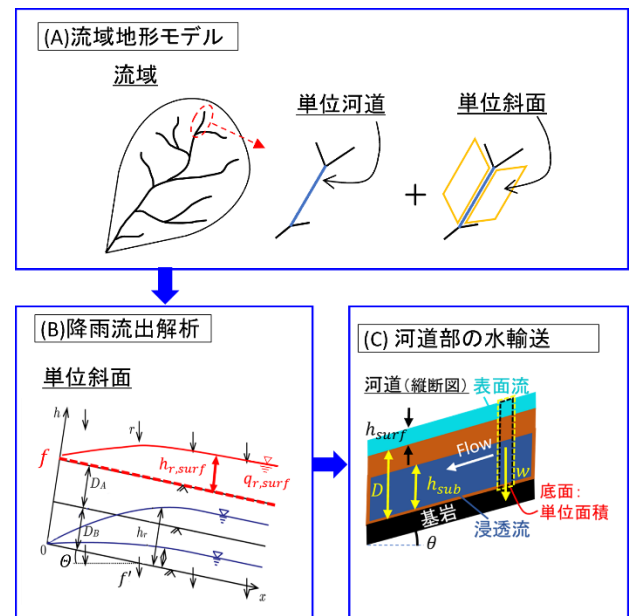


図1 足洗谷流域

図中赤線は解析対象河道を示す。

図2 SiMHiSによる計算の流れ²⁾

θ は河床勾配、 ϕ は内部摩擦角である⁵⁾。

また、Gregorettiら⁶⁾による実験式をもとに表面流水深 h_{surf} が以下を満たせば②の土石流が発生する

と評価した。

$$h_{surf} > \left\{ \frac{0.195n\sqrt{sgd_M^3}}{\sqrt{\sin\theta \tan^{1.27}\theta}} \right\}^{\frac{3}{5}} (=h_{ero})$$

ここで、 n はマンニングの粗度係数、 s は土粒子の水中比重、 g は重力加速度、 d_M は堆積土砂の平均粒径、 h_{ero} は②の土石流が発生する表面流水深の閾値である。

3. 解析条件

河道に水が存在しない乾燥状態から計算を開始させ、降雨は1, 2, ..., 100 mm/h (計100通り)を一定値として60時間与えた。堆積土砂の層厚 D を一定とした条件下で土石流が発生させる降雨について検討するため、土砂移動に関する計算は行わず、 $D = 1.5, 2.0, 2.5$ mの3通りを設定し、これらは時間によらず一定とした。また、それぞれに対して浸透能を斜面部、河道部で一律に $f = 10, 20, 50, 100$ mm/hの4通りを設定した。ここで10 mm/hは噴火後を、100 mm/hは噴火前を想定している。また、 $n = 0.050 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ 、 $c = 5.0 \text{ kPa}$ 、 $\theta = 23.6^\circ$ 、 $s = 1.65$ 、 $d_M = 32.5 \text{ cm}$ とした。

4. 解析結果と考察

解析結果の例として $D = 1.5 \text{ m}$ の場合の各継続時間と降雨強度に対する土石流の発生・非発生を図3に示す。浸透能が小さいほど②の土石流がより弱い短時間の雨で発生している。また、 $D = 1.5 \text{ m}$ の場合では①よりも②の土石流の方がより短時間の小さい降雨強度で発生した。これらの結果から、浸透能が低下した際は①よりはむしろ②の浸食による土石流が発生することが示唆される。土石流が発生する降雨条件のうち計算開始からの累加雨量の最小値はCase I-aでは6.5 mm、Case I-dでは653 mmであった。浸透能低下に伴い、はるかに少ない降水量で土石流が発生するようになったと言える。

一方で、ここでは結果のグラフを割愛するが、層厚 D が大きくなるにつれて低い降雨強度でも①の土石流が発生しやすくなる傾向がみられた。火山噴出物

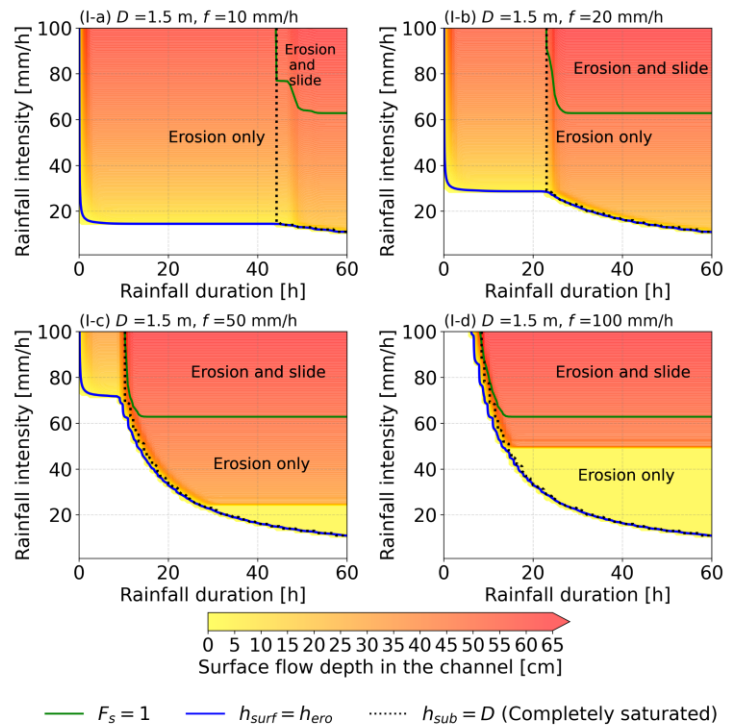


図3 $D = 1.5 \text{ m}$ の場合の解析結果。緑、青線はそれぞれ①、②の土石流の発生限界線で右上が危険側である。

やガリ浸食によって源頭部に多量の土砂が堆積すると、①の滑動による土石流の危険性が高まる可能性がある。

火山噴火等による浸透能の低下時には特に弱い短時間の雨でも土石流が発生しうることが数値シミュレーションによっても示唆された。本手法により、浸透能や河道の堆積層厚を入力条件に、土石流の発生リスクを面的に評価することが可能となった。火山噴火時にはどのような降雨条件で土石流が発生するかを噴火前にあらかじめ本研究のような手法により把握することで、緊急時の注意喚起や避難の促進に活用されることが期待される。

参考文献

- 1) 原田民司郎ら：砂防学会誌，1999
- 2) 山野井一輝：京都大学博士論文，2017
- 3) 山野井一輝，藤田正治：砂防学会誌，2017
- 4) 高橋保：京大防災研究所年報，1977
- 5) 岩井智哉ら：砂防学会誌，2024
- 6) G. C. Gregoretti: Hydrological Processes, 2008
- 7) 平川泰之ら：砂防学会誌，2018