C308

凍結融解による土砂生産および火山噴出物の堆積が土石流発生に及ぼす影響に関する数値実験
Numerical Experiments on the Effects of Weathered Bedrock Destruction and Deposition of Volcanic Products on the Debris Flow Occurrence

○岩井智哉・宮田秀介・山野井一輝
○Tomoya IWAI, Shusuke MIYATA, Kazuki YAMANOI

It is known empirically that volcanic eruptions increase the frequency of debris flows. We conducted numerical simulations to examine the effects of reduced infiltration capacity and the supply of sediment on the rainfall threshold that causes debris flows. Rainfall runoff analysis was performed using various rainfall intensities as constant input conditions, and the occurrence of debris flows was evaluated based on theoretical and experimental formulas. The mechanism by which sediment in river channels becomes debris flow was discussed in terms of two processes: sediment sliding as a mass, and sediment being eroded by surface flow. It was suggested that the latter process has a greater impact when infiltration capacity is low. In this case, even a short period of rainfall could cause debris flow, and the lower the infiltration capacity, the weaker the rainfall needed to cause a debris flow. On the other hand, when there is much sediment supply to the river channel, the former process cannot be ignored. (159 words).

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]。火山噴火の前後における土石流発生の降雨に関する閾値の変化は流域によっては観測データから把握することができている一方で [1]，土石流発生降雨の噴火前後の変化をどの流域にも適用できる汎用的な方法では評価した実例はほとんどない。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．解析の方法と条件

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）。

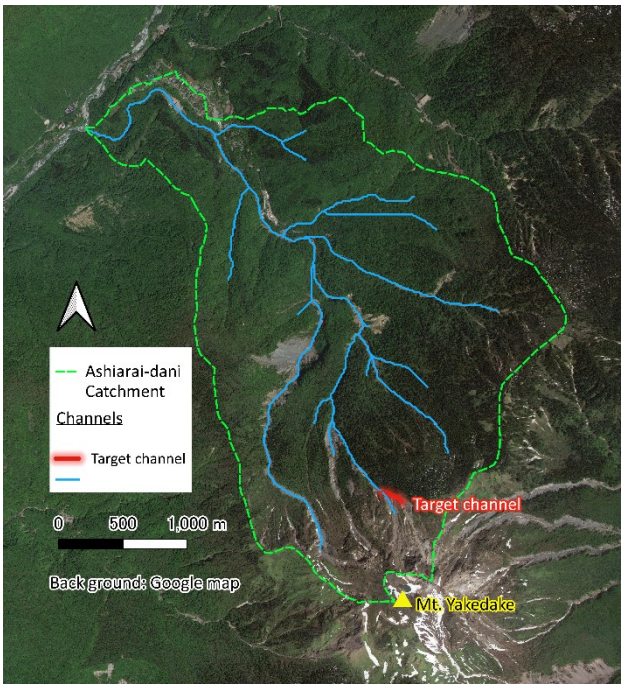

図 1　足洗谷流域
赤で示した河道について検討する。

土石流の発生メカニズムとしては①：渓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_{slide}を求め，

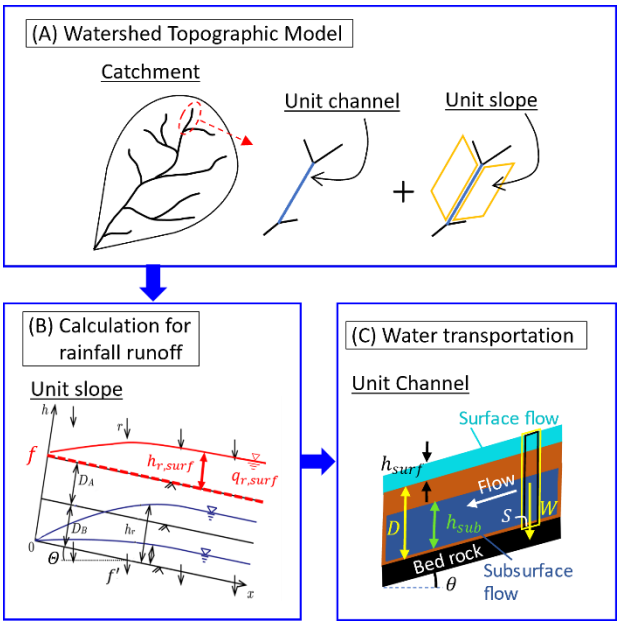

図 2　SiMHiS による計算の流れ [2)]

$F_{slide} < 1$となれば①の土石流が発生すると評価した。ここで，

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

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），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である。

乾燥状態から計算を開始させ，降雨はいずれも連続的に 1, 2, ･･･, 100 mm/h（計 100 通り）を一定値として 60 時間与えた。堆積土砂の層厚は$D = 1.5, 2.0, 2.5$ m の 3 通り，浸透能は斜面，河道で一律に$f = 10, 20, 50, 100$ 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 [7)]。また，$n = 0.050\ \mathrm{m^{-1/3}\cdot s}$，$c = 5.0$ kPa，$\theta = 23.6°$，$s = 1.65$，$d_M = 32.5$ cm とした。

3．解析結果

解析結果の例として$D = 1.5$ m の場合のものを図 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。このことから，浸透能が低下した際は①ではなく②の浸食による土石流が発生していることが示唆される。

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①の土石流が発生しやすくなる傾向がみられた。すなわち，凍結融解作用により生産された土砂が蓄積され続けたり，や火山噴出物，ガリ浸食によって源頭部に多量の土砂が堆積したりすると，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。火山噴火時にはどのような降雨条件で土石流が発生しう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。

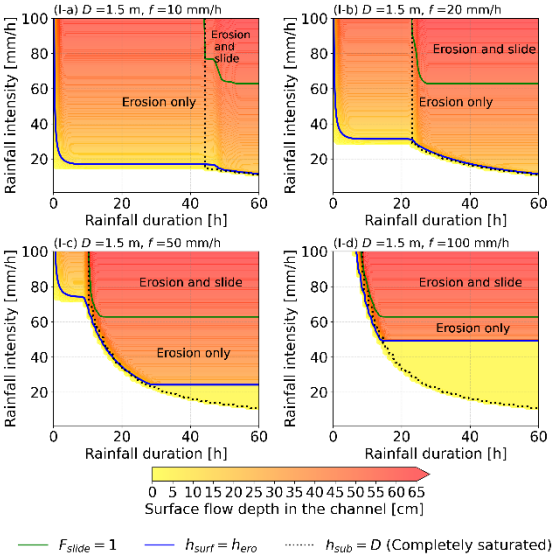

図 3　解析結果（$D = 1.5$ m の場合）
緑，青線はそれぞれ①，②の土石流の発生限界線で右上が危険側である。

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