

積雪深分布を考慮した融雪型火山泥流解析 Snowmelt Type Volcanic Mudflow Simulation Considering Snow Depth Distribution

○山口翔大・宮田秀介・堤 大三・藤田正治

○Shota YAMAGUCHI, Shusuke MIYATA, Daizo TSUTSUMI, Masaharu FUJITA

When an active volcano covered by snow erupts, much pyroclastic material come flying from a volcanic crater and melt snow on the volcano. After a lot of water is made from melting snow, meltwater mix sediment to mudflow. The mudflow is called Snowmelt Type Volcanic Mudflow. Many researchers have researched with numerical analysis simulation to understand its phenomenon. For example, Miyamoto et al¹⁾ had simulated subject to the eruption of Tokachidake volcano in Hokkaido. Murashige et al²⁾ and Miyata et al³⁾ had consider the process of mudflow happening to simulate accurately. In my research, I consider snow depth distribution on Yakedake volcano in Gifu to simulate in the field condition.

1. はじめに

融雪型火山泥流とは、火砕物が山腹斜面の積雪層に供給され雪を融かして大量の水を発生させ、水が土砂などを巻き込みながら泥流となり、下流域に高速で流下する現象である。融雪型火山泥流の現象解明に向け、これまでも数値解析シミュレーションが多く行われてきた。例えば、宮本ら¹⁾は大正15年に北海道十勝岳で発生した融雪型火山泥流の再現計算を行った。また、村重ら²⁾は融雪・鉛直浸透現象を、宮田ら³⁾は谷地形への融雪水集水・流下現象をモデル化した。ただし、泥流発生過程において、積雪層が均一に堆積するという仮定をしており、実際には積雪深分布を考慮する必要がある。そこで、本研究では積雪深分布を考慮した融雪型火山泥流解析を行い、その影響について検討を行う。

2. 融雪型火山泥流モデル

融雪型火山泥流モデルの概要を以下に示す。山腹斜面の基岩上に土層と積雪層が2層構造になっていると考え、土層厚は全域で1m均一を仮定した。斜面を2次元メッシュ(10m)で分割し、メッシュ毎に計算を行う。最急勾配法により流下方向を決定した。火砕物は積雪層上に均一に散布させた。また、村重ら²⁾を参考に、融雪型火山泥流を4つのプロセス(融雪・鉛直浸透、側方浸透、斜面崩壊・泥流化、土層侵食・泥流発達)に分割した。

まず、融雪・鉛直浸透過程では、高温砂礫・積雪上面間に関して Fourier の熱伝導法則と熱収支式を

解くことで、時刻 t における融雪速度 $v_{(t)}$ を求めた後、積雪層内浸透流出量 $Q_{(t)}$ を求め、その値を用いて飽和帯水位 $Z_{(t)}$ を求める。

$$v(t) = \frac{k_s T_0}{\rho_{sn} \{E(1 - r_{sl}) + G r_{sl}\} R} t^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$R = \left(\frac{4k_s}{\phi_{sed} \rho_{sed} c} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$Q(t) = \frac{\rho_{sn} A v(t) (1 - r_{sl})}{\rho_w \left(1 - \frac{v(t)}{v_{kA}(t)} \right)} \quad (3)$$

$$Z(t) = Z(t - dt) + \frac{\left(\frac{Q(t-dt) + Q(t)}{2} \right) dt}{A \phi_{sn}} \quad (4)$$

ここに、 $v_{(t)}$: 融雪速度[m/s]、 k_s : 砂礫の熱伝導率[W/m/K]、 T_0 : 火砕物の初期温度[°C]、 ρ_{sn} : 積雪密度[kg/m³]、 E 、 G : 氷の融解潜熱、昇華潜熱[J/kg]、 r_{sl} : 雪の水蒸気化率、 ϕ_{sed} : 土砂容積濃度、 ρ_{sed} : 土砂密度[kg/m³]、 c : 土砂比熱[J/kg/K]、 $Q_{(t)}$: 浸透流出量[m³/s]、 A : メッシュ面積[m²]、 ρ_w : 水の密度[kg/m³]、 $v_{kA}(t)$: 時刻 t の不飽和浸透速度[m/s]、 $Z_{(t)}$: 飽和帯水位[m]、 ϕ_{sn} : 雪の空隙率である。

次に、飽和側方浸透過程についてダルシー則を用いて側方浸透流出量を求めた。

$$Q = Whk \sin i \approx Whk \sin \omega \quad (5)$$

ここで、 h : 飽和帯高さ[m]、 W : 流幅[m]、 k : 飽和透水係数[m]、 i : 動水勾配、 ω : 斜面勾配である。

斜面崩壊・泥流化過程では、無限長斜面安定解析により斜面の安全率を計算、1を下回るとそのグリッド上の火砕物・積雪層・土層を全て巻き込み泥流化させる。

土層侵食・発達過程では、土層上に表面流が流れてきた際に、土層の侵食・堆積を考える。侵食深さには、江頭らの侵食速度式を用いる。

$$\frac{\partial H_{so}}{\partial t} = -s_t \quad (6)$$

$$s_t = |v_{OF}|(\tan\theta - \tan\theta_e) \quad (7)$$

ここで、 s_t [m/s] : 侵食速度, H_{so} [m] : 土層高さ, v_{OF} [m/s] : 流動速, θ_e : 平衡勾配である。

3. 対象領域と解析条件

焼岳の北西山麓足洗谷流域～蒲田川流域を計算対象領域とし、それぞれにおいて泥流発生・発達解析、宮本ら¹⁾の泥流氾濫解析を行った。

まず、足洗谷流域での解析条件を図1に示す。本研究では、積雪深分布が融雪型火山泥流に与える影響について検討を行うため、足洗谷全域で積雪深均一1mのCase1と積雪深分布を考慮したCase2の解析を実施した。積雪期(2008.2.25~3.9)レーザー計測標高⁴⁾と、DEM標高の差分から積雪深分布を与えた。尚、平均積雪深は2.1mである。

Case No.	1	2
火砕流物体積[10 ⁶ m ³]	2.1	2.1
火砕流温度[degree C]	1000	1000
積雪密度 [kg/m ³]	270	270
積雪深[m]	1.0	積雪深分布

図1 足洗谷流域の解析条件

宮本ら¹⁾を参考に、足洗谷流域で発生した泥流は勾配10度地点で十分に発達し終えると考え、その地点を蒲田川流域との境界点とした。境界点における泥流ハイドログラフを蒲田川流域のインプットデータとして、泥流氾濫解析を行った。

4. 結果と考察

図2にCase1,2の境界点における泥流ハイドログラフを示す。Case1に比べて、Case2の泥流総量が多い。これはCase2の平均積雪深が2.1mであるためと言える。また、ピーク流量もCase2の方が大きい。これは、図3に示す各Caseの積雪深分布を見ると、境界点付近の積雪深に関して、Case1は1mしかないが、Case2は2m以上の積雪深が多く存在しており、融雪量も多かったためと考えられる。また、図4に示す各Caseの900秒時点の表面流水深分布を見ると、Case1に比べてCase2の方が、下流部境界点付近の水深が高くなっており、短時間で多くの泥流流出が進行したことがわかった。

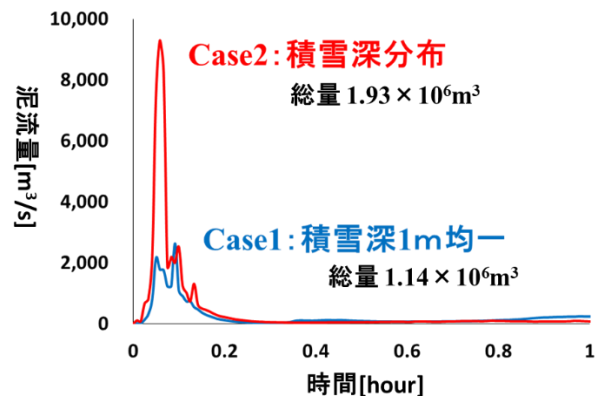


図2 境界点における泥流ハイドログラフ

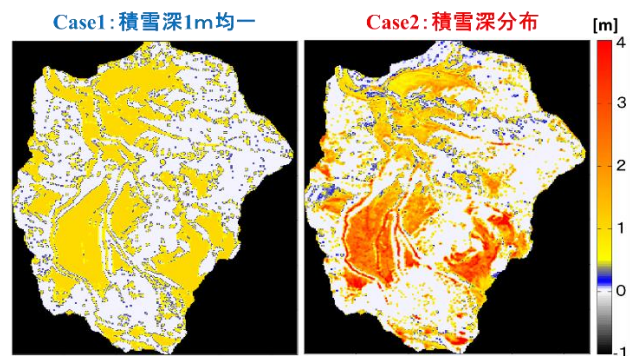


図3 足洗谷流域の積雪深分布

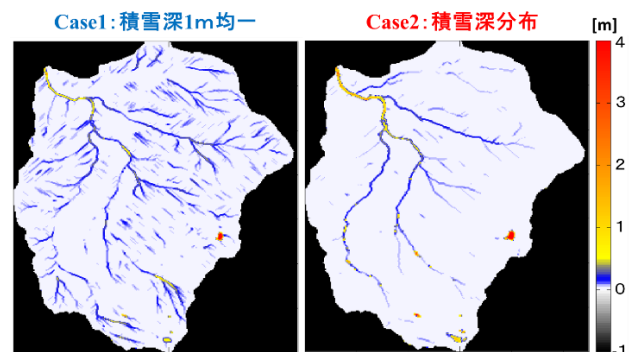


図4 足洗谷流域の表面流水深分布(900秒時点)

そして、境界点の泥流ハイドログラフを蒲田川流域のインプットとして、解析を行った。Case1, 2で土砂の堆積・侵食傾向は概ね同じであった。ただし、泥流の氾濫範囲に関しては、Case1よりCase2の方が広がった。これは境界点からの泥流総量が多いことが原因と考えられる。また、境界点から川沿い5km程離れた栃尾集落において、流動深・堆積厚のピークが約2倍になった。これはCase1に比べ、Case2のピーク流量が非常に大きかったためと考えられる。

- 1) 宮本ら：水工論文集第33巻, p361-366,1989
- 2) 村重ら：砂防学会誌, 第67巻,6号,p.3-10,2015
- 3) 宮田ら：土木学会論文集B1(水工学),2014
- 4) 社団法人雪センター：焼岳報告書,2010