

## 融雪型火山泥流の融雪・浸透過程のモデル化 Modeling of Infiltration Process in Snow Melting Type Volcanic Mud Flow

○山口翔大・宮田秀介・堤 大三・藤田正治

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

When a snow covered mountain burst into eruption, volcanic products melt snow layer on the mountain and generate much water. Snow melt water erode the mountain and combine sediment to become mud flow. The mud flow is called ‘Snow Melting Type Volcanic Mud Flow’. The flow had happened in the world, but the number of case is little so details of the phenomenon is unknown. In previous research, Murashige<sup>1)</sup> and Tsutsumi<sup>2)</sup> had experimented to understand the phenomenon, but they had not understand. So, in this research, to understand how water infiltration into snow layer, I have experimented two cases with a one dimensional column.

### 1. はじめに

融雪型火山泥流とは、火山噴火による噴出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。融雪型火山泥流は過去に日本でも発生事例があるが、事例が少なく解明されていない点が多い。そこで、村重ら<sup>1)</sup>や堤ら<sup>2)</sup>は高温の砂礫を用いた融雪実験を行い、融雪型火山泥流の発生過程を観察した。しかし、砂礫が非常に高温であったことと、積雪層厚が小さかったことから、浸透現象が早く進み、十分な時間のデータ数を得ることができなかった。そこで、本研究では浸透現象を詳しく観察するために砂礫を高温にしすぎず、長い実験カラムを用いて実験を行った。さらに、飽和帯の変化を計測する手法によってシミュレーションとの比較を行った。

### 2. 実験

実験に用いた器具を以下に示す。まず、積雪層を形成するために耐熱ガラスカラム（高さ 1m, 外径 100mm, 内径 95mm）を用意した。ガラスカラムの底から融雪水の流出がないように、シリコンで木製の閉止板とガラスカラムの底を接着した。これをロードセルの上に設置し、積雪層の昇華・蒸発によって失われる雪の重量を計測した。実験の様子を正面化からビデオカメラで、側面からインターバルカメラ（1分間隔）で撮影した。

実験には平均粒径 27~38mm の砂礫を用いた。これを豆炭の発熱により加熱し、積雪層の上に供

給した。また、砂礫の温度を測定するために熱電対を用いた。

高温砂礫を積雪層上に供給した時刻を 0s とし、その時点のタイマーの時刻を参考に、時間経過を記録した。本研究では、行った実験のうち 2 ケースを示す。

実験は 2 ケース行った (Case1, Case2)。実験条件を以下の表 1 に示す。Case1 では湿り雪をさらに締め固めるようにしてガラスカラムに雪を充填した。また平均粒径 38mm の砂礫を用いた。一方 Case2 では、積雪密度が低くなるように地表面の雪をそぐようにして採取し、締め固めずに充填した。さらに、熱伝導効率を上げるために平均粒径 38mm の砂礫に加え、平均粒径 27mm の砂礫も混合し投入した。

表 1 実験条件

	Case1	Case2
砂礫温度 [°C]	322.7	633.6
砂礫平均粒径 [mm]	38	34
積雪層厚 [m]	0.6	0.6
積雪密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	409.13	378.56

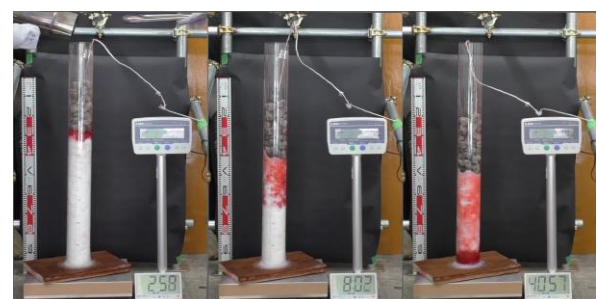


図 1 実験の様子

### 3. 結果と考察

本実験では、高温砂礫が積雪を溶かし、発生した融雪水が積雪層内を不飽和浸透していく様子がよく観察できた。まず、砂礫供給後すぐに水蒸気を発生しながら積雪が溶け始めた。しばらくすると融雪水が選択的に積雪層内を浸透し始めた。融雪水はカラム底面に到達するまでゆっくりと浸透していき、カラム底面に到達するまでに時間を要した (Case1:19分, Case2:14分)。そして底面到達後、飽和帯水位は緩やかに上昇し、実験終了までに積雪層が無くなることはなかった。

また、各ケースの飽和帯水位上昇挙動を図2に示す。Case1に関しては、実験結果の飽和帯水位上昇挙動が歪になっている。これは、Case1の積雪層を締め固めて充填したことで積雪層内に疎・密な箇所が混在し、疎な箇所の空隙に融雪水が滞留し、融雪水の浸透する道によって浸透速度に大きな差が生まれたためと考えられる。

また、カラム底面に形成される飽和帯の水位上昇挙動に関して、実験と解析結果を比較した (図2)。解析に用いる式を以下に示す。

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

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

$$Q(t) = \frac{\rho_{sn} A v(t) (1 - r_{si})}{\rho_w (1 - \frac{v(t)}{v_k(t)})} \quad (3)$$

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

ここに、 $v(t)$  : 融雪速度 [m/s],  $k_s$  : 砂礫の熱伝導率 [W/m/K],  $T_0$  : 火山噴出物の初期温度 [°C],  $\rho_{sn}$  : 積雪密度 [kg/m<sup>3</sup>],  $E$ ,  $G$  : それぞれ氷の融解潜熱, 昇華潜熱 (融解潜熱 + 蒸発潜熱) [J/kg],  $r_{si}$  : 雪の水蒸気化率,  $\phi_{sed}$  : 土砂容積濃度,  $\rho_{sed}$  : 土砂密度 [kg/m<sup>3</sup>],  $c$  : 土砂比熱 [J/kg/K],  $Q(t)$  : 浸透流出量 [m<sup>3</sup>/s],  $A$  : 断面積 [m<sup>2</sup>],  $\rho_w$  : 水の密度 [kg/m<sup>3</sup>],  $v_k(t)$  : 時刻  $t$  における不飽和浸透速度 [m/s],  $Z(t)$  : 飽和帯水位 [m],  $\phi_{sn}$  : 雪の空隙率である。

次に、実験条件をもとに設定した解析条件を表2に示す。

表2 解析条件

	Case1	Case2
砂礫の熱伝導率[W/m/K]	3.3	3.3
砂礫空隙率	0.48	0.40
積雪空隙率	0.60	0.62
砂礫密度[kg/m <sup>3</sup> ]	409.13	378.56
水密度[kg/m <sup>3</sup> ]	1000	1000
砂礫の比熱[J/kg/K]	2330	2330
蒸発率	0.125	0.260

どちらのCaseにおいても、実験結果と解析結果が概ね同傾向であると言える。ただし、解析による飽和帯水位上昇が実験結果に比べて早く進行していることがわかる。これは解析が、融雪速度を過大評価していると言える。実験では砂礫同士が密には接着しておらず、砂礫間の熱伝導が上手く進まなかったことが原因であると考えられる。

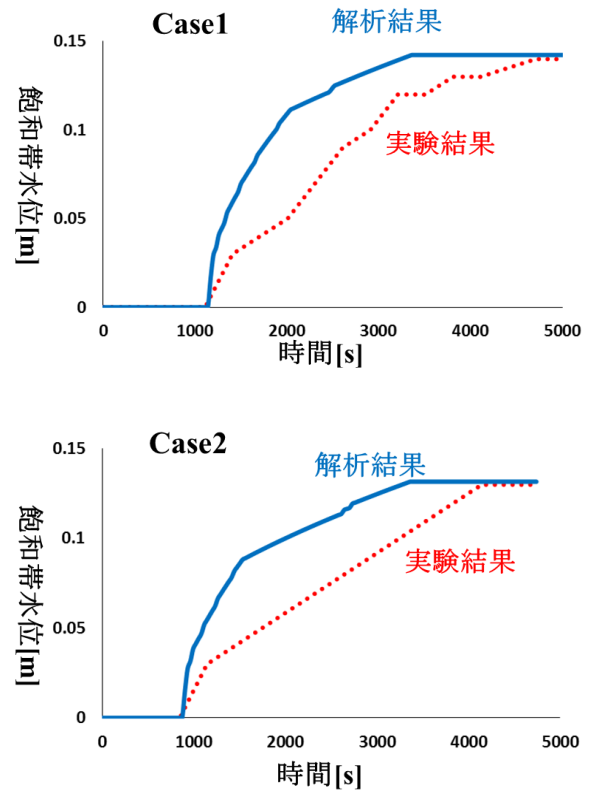


図2 飽和帯水位の上昇挙動

#### 参考文献

- 1) 村重慧輝・堤大三・宮田秀介・藤田正治・酒井英男・上石勲：火山泥流発生機構解明のための高温砂礫による融雪に関する実験的研究,砂防学会誌, 第67巻, 6号, p. 3-10, 2015
- 2) 堤大三・藤田正治・宮田秀介：焼岳における融雪型火山泥流の危険度評価法の確立,河川砂防技術研究開発制度成果報告書, 2015