

融雪型火山泥流発生時の融雪と浸透プロセスに関する実験的研究

○堤大三，藤田正治，宮田秀介，志田正雄（京都大学防災研究所）
長野快（東京大学大学院工学研究科）

1. はじめに

噴火によって火山噴出物が積雪上に堆積するなど、積雪期の火山活動により、積雪層が融けて融雪水と土砂が混合した泥流が発生する場合がある。これは融雪型火山泥流と呼ばれ、実際にコロンビアのネバド・デル・ルイス火山の噴火（1985）や北海道の十勝岳の噴火（1926）に伴って発生した火山泥流では、多数の被害者を出す大災害となった。このように、防災学上も重要な現象である融雪型火山泥流は、噴出物と積雪間の熱伝導、積雪の融解、融雪水の浸透、混合流としての泥流発生等、いくつかの物理プロセスが複雑に関連する現象である。これまで、いくつかの実験的検討（吉川ら，2010）やモデル化（宮本ら，1989；安養寺ら，2003）が行われてきているが、発生機構の解明につながるような研究はなされていない。

本稿では、融雪型火山泥流の複数のプロセスの内、特に積雪層の融解と融雪水の浸透プロセスに焦点を絞り、その発生機構を明らかにすることを目的として行った基礎的実験について報告する。

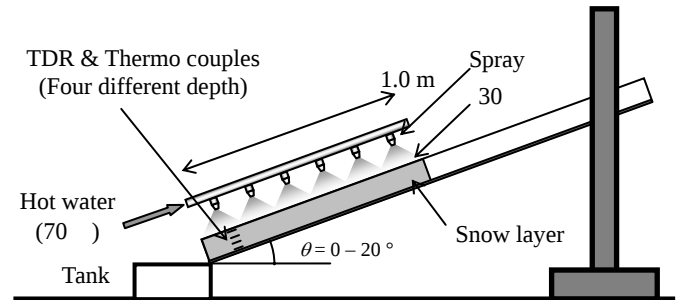


図-1 実験装置の概観

2. 実験手法

実験は、2011 年 1 月に京都大学防災研究所 附属流域災害研究センター 穂高砂防観測所（岐阜県高山市）にて実施した。積雪層として、長さ 2.0 m，幅 7.5 cm，高さ 15 cm の透明アクリル製の水路に実際の積雪を充填したものを用いた。積雪層の表面には赤色の粉末染料を散布し、融解水の浸透挙動を観察しやすいようにした。積雪層の密度は、充填時の締め固め具合によって調節し、3 段階の異なる密度条件とした。積雪層に約 70 °C の温水を人工降雨装置によって噴射し、水路側面から観察すると同時に、積雪層内の底面から表面にかけての 4 深度に設置した熱電対と TDR を用いて、温度変化と見かけの含水率変化を計測した。水路の勾配は、水平（0°）と 20° に設定した。実験装置の概略を図 - 1 に示す。また、異なる状態の積雪層が重なった場合を想定して、約半分の層厚に充填した積雪層に水を散布し湿潤な状態としたものを夜間に放置して氷の層を形成させ、その上に雪を充填した状態の積雪層を用いた実験も行った。

3. 実験結果

側面から観察した融雪と融雪水の浸透挙動の一例（Run 5）を図 - 2 に示す。温水散布開始後、1，2 分して表層から融解水が積雪層内に浸透し始め、約 5 分後に底面まで到達し始めた事が観察された。その際、融解水は一般にフィンガリングと呼ばれる不均一な浸透挙動を示した。その後、積雪層の融解が進み、約 30 分後にはほぼ全層が融解して消失した。その際、積雪層は温水が直接散布される表層から融解しているように見えた。

計測された温度変化，見かけの含水率変化を図 - 3 に示す。まず、温度変化を見ると、実験開始前から 0 °であった底面（0 cm）の温度を除き、4，8，12 cm の温度は初め氷点下であったが、実験開始後に表層に近いものから順に 0 °に上昇し、続いて 25 °程度まで、やはり順番に上昇している。これ

t = 0 min
実験開始

t = 2 min
染料が溶けた融解水が浸透開始

t = 4 min
不均一な浸透：フィンガリングが見られる

t = 6 min
浸透が底面に到達

t = 8 min
積雪層が上部から融解し、融解面が低下

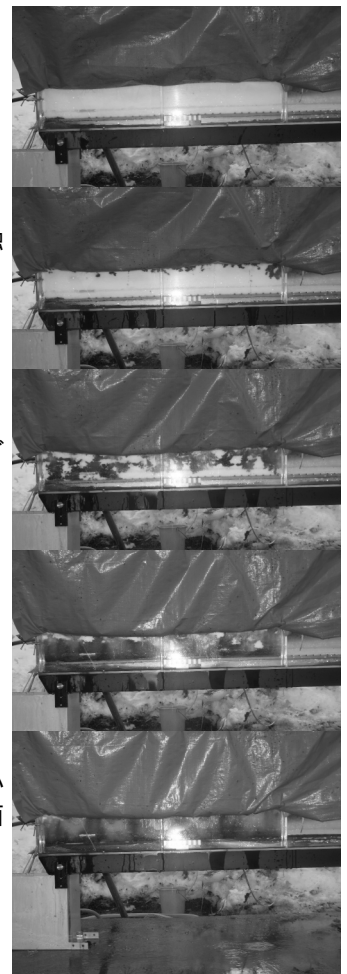


図-2 融雪実験（Run 5）における融雪水の浸透挙動：染料によって浸透経路を観察

は、表層から順に融解水が浸透して行き、到達した地点の温度が 0 に上昇、更に表面から積雪層が融解して行き、熱電対が露出して温水が直接散布されるようになると 25 程度まで上昇している事を示している。一方、TDR による見かけの含水率の変化について見ると、底面(0 cm)を除き、やはり表面から順に反応し、増加、ピークを経た後、減少している。これも浸透水が到達し含水率が増加した後、積雪層の融解によって TDR が空気中に露出する事で含水率が減少していることを示している。これらの変化は温度変化や側面からの観察結果とも時間的に一致している。底面(0 cm)での含水率変化は、例外的な挙動を示し、表面(12 cm)での反応に次いで約 3 分後に上昇し始めている。これは、先に示したフィンガリングによって、速い浸透が、素早く底面に到達し、横方向に広がった事で底面の TDR が早く反応した事によるものと考えられる。

図 - 3 に示されるような各センサーが反応するタイミングとセンサーの位置から、浸透水の平均的な浸透能と積雪層の融解速度を実験結果毎に求め、図 - 4, 5 にそれぞれ示した。図の横軸は実験時の雪の充填密度であるが、充填密度が大きいほど、浸透能が低く、融解速度も遅い事が示されている。これは、雪の状態によって当然ながら浸透や融解の速さが異なり、現地の積雪条件の違いによって泥流発生のための融解水の供給プロセスが異なる事を示している。

これらの結果から、当該研究の実験条件下では、積雪層表面で融解が起こり、その融雪水が下部の積雪層に浸透していく事が確認された。また、その浸透においては、積雪層にフィンガリングと呼ばれる横断方向に不均一な浸透挙動が確認された。積雪層を 20° に傾斜させた場合でも、表面流は発生せず、積雪層への浸透が卓越する結果となった。また、層内に氷の層を形成させた場合、浸透が氷の層に一旦遮断されて、測方に浸透する様子も観察された。

4. おわりに

本研究で実施した、基礎的な実験によって、積雪層の融解とその後の融解水の積雪層への浸透挙動について観察し、フィンガリングを伴った浸透挙動や積雪層表面からの融解過程が明らかとなった。ただし、積雪層の密度等の条件によっては、異なる浸透速度、融解速度を呈する事も示され、更には氷の層の存在によって浸透が遮られる様子も明らかとなった。このため、現場の実際の積雪層の条件によっては、より複雑な挙動を示す事も考えられるため、更なる検討が必要である。融雪型火山泥流の発生機構解明のため、今後は、高温物質から積雪層への熱伝導と融解の混合プロセスや、積雪層内の浸透プロセスを、実験手法や数値シミュレーションを用いて詳細に検討する計画である。

参考文献

- 安養寺信夫, 嶋大尚: 融雪型火山泥流の融雪水の発生条件とピーク流量について, 平成 15 年砂防学会研究発表概要集, p. 234-235, 2003
- 宮本邦明, 鈴木宏, 山下伸太郎, 水山 高久: 十勝岳大正 15 年(1926 年)泥流の再現計算, 水工学論文集, 第 33 巻, p. 361-366, 1989
- 吉川直良, 山田孝, 丸谷知己: 融雪型火山泥流の発生プロセスにおける熱水関与に関する実験的研究, 平成 22 年砂防学会研究発表会概要集, p.476-477, 2010

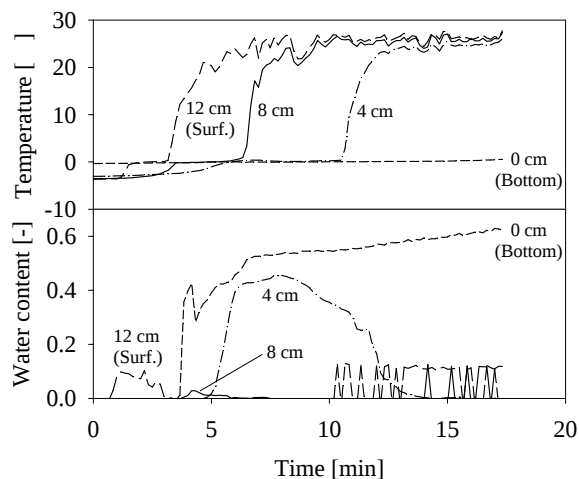


図-3 熱電対および TDR による融雪と融雪水の浸透挙動計測結果の一例 (Run 5)

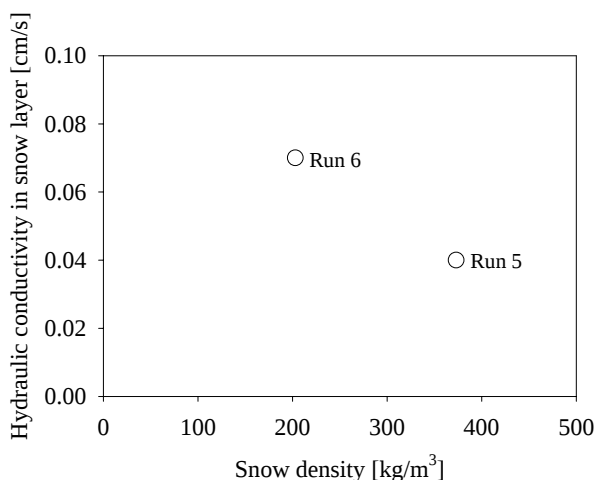


図-4 実験から得られた積雪層内の浸透能と雪密度の関係

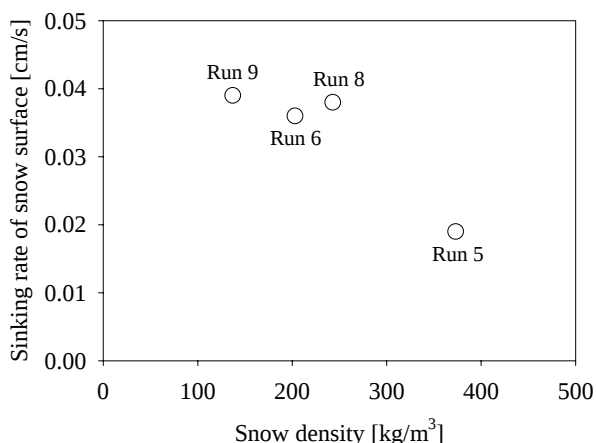


図-5 実験から得られた積雪層融解速度と雪密度の関係