

## 火山灰の堆積厚および下層材料の違いが表面流出に及ぼす影響に関する実験的研究

国立研究開発法人土木研究所 ○吉野孝彦\*, 金澤 瑛, 伊藤誠記\*\*

\*現 国土技術政策総合研究所

\*\*現 国土交通省 砂防部 砂防計画課

### 1. 背景

火山灰（粒径 2 mm 以下の火砕物）が斜面に堆積すると、火山灰層が難透水層を形成し、斜面の浸透能を低下させることで表面流が発生しやすくなる。火山灰堆積斜面で発生する表面流出に影響を与える要素を特定し、その影響を評価することは、降灰後土石流が発生する恐れのある流域を把握することに役立つ。現地観測<sup>1)</sup>および室内実験<sup>2)</sup>により、火山灰の堆積厚が浸透能に影響を与えていることが報告されている。しかし、現地観測では植生や降雨条件などの様々な要素も浸透能に影響を与えるため、火山灰の堆積厚が表面流出量に及ぼす影響を定量的に評価することは難しい。また、成層構造を有する斜面では、各層の浸透特性の違いにより浸透挙動が変化することが知られており<sup>3)</sup>、火山灰層の下に位置する土壌（下層土壌）もまた表面流出量に影響を及ぼすと考えられる。しかしながら、火山灰堆積斜面の表面流出量と下層土壌の関係性は知見が乏しい。そこで本研究では、実験室において、上層の火山灰の堆積厚および下層材料を変化させた火山灰堆積斜面に対して、人工降雨装置を用いた散水実験を行うことで、火山灰の堆積厚および下層材料の違いが表面流出に与える影響を検討した。

### 2. 研究方法

散水実験は、噴火後の降灰裸地斜面に対する最初の降雨を想定し、火山灰試料と下層材料を充填した実験プロット（幅 35 cm、奥行 50 cm、深さ 25 cm）を傾斜 10°で設置して実施した（図 1a）。実験に用いる火山灰試料は、桜島の春松川で採取した火砕物のうち 2 mm ふるい通過分を絶乾したものに、非塑性シルトである DL クレーを添加することにより作成した。この火山灰試料は、既往研究の室内散水実験<sup>24)</sup>において、最も多くの表面流出量が確認された火山灰試料の細粒分含有率（75 μm ふるいの通過分の質量割合）を参考に、細粒分含有率が 43% となるように調整した。下層材料には、東北珪砂株式会社の珪砂 4 号と珪砂 6 号を用いた。公式に示されている粒度分布によると、珪砂 4 号の中央粒径が約 0.55 mm、珪砂 6 号の中央粒径が約 0.30 mm である。下層材料はいずれも乾燥密度が約 1.6 g/cm<sup>3</sup> となるように、火山灰試料の堆積厚に応じて充填した。

実験ケースは表 1 にまとめた。1 度の散水で 4 個の実験プロットに同時に散水できることから、各ケースにつき 4 回分の実験結果を取得した。火山灰試料の堆積厚は、1~5 cm の 5 通りに設定し、いずれも乾燥密度が 1.6 g/cm<sup>3</sup> となるように充填した。同実験ケースの実験プロットを 4 個作成した後、人工降雨装置（株）テクノコア）を用いて約 30 mm/h の散水強度で 3 時間散水した。この人工降雨装置は、地上から高さ 3 m の位置で取り付けられたノズルが自励振動を起こすことで、直径 1 mm 程度の雨滴を山なりに散水するものである。散水により、実験プロットから表面流出した土砂混じりの水（以下、表面流

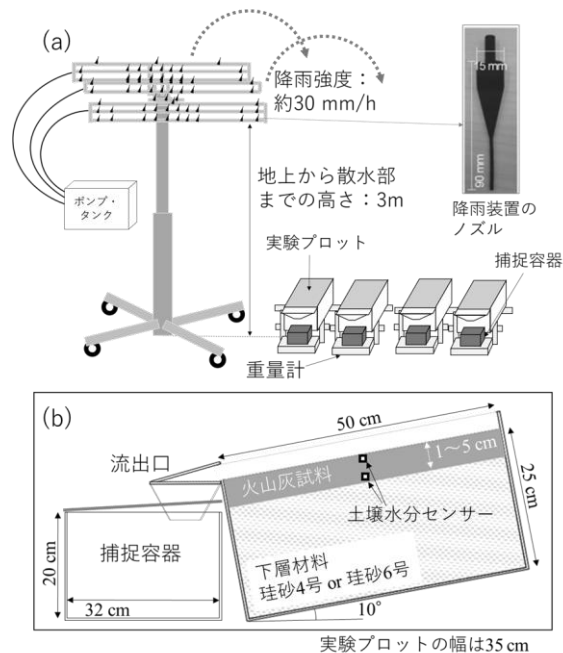


図 1 (a)室内散水実験と (b)実験プロットの模式図

表 1 室内散水実験のケース一覧

ケース No	散水条件	火山灰試料堆積厚 (cm)	下層材料堆積厚 (cm)	下層材料の種類
1	30 mm/h, 3時間	1	24	珪砂4号
2		2	23	珪砂4号
3		3	22	珪砂4号
4		4	21	珪砂4号
5		5	20	珪砂4号
6		1	24	珪砂6号
7		2	23	珪砂6号
8		3	22	珪砂6号
9		4	21	珪砂6号
10		5	20	珪砂6号

出物)を捕捉容器に集め、表面流出物の重量の経時変化を重量計で計測した（図 1b）。実験後に捕捉容器内の表面流出物を炉で乾燥し、表面流出物に含まれていた土砂の重量を計測した。この土砂重量を表面流出物の総重量から減ずることで総表面流出水量を算出した。

総表面流出水量は捕捉容器内の土砂量に比べ非常に大きかったため、表面流出物の重量の経時変化は表面流出水量の経時変化とみなした。その上で、散水強度から表面流出水量の経時変化を減ずることで、見かけの浸透能の経時変化を計算した。

### 3. 結果

各実験ケースにおける下層材料の違いによる火山灰試料の堆積厚と総表面流出水量の関係を図 2 に示す。図 2 から、火山灰試料の堆積厚が増加するにつれ、総表面流出水量が増加していることが確認できる。また、堆積厚が 1~3 cm にかけて総表面流出水量は増加するが、3~5 cm にかけては総表面流出水量の増加は緩やかになっていった。また、この傾向は両方の下層材料で確認された。

下層材料の違いに着目すると、火山灰試料の堆積厚が同じ場合は、珪砂4号を用いたケースの方が珪砂6号を用いたケースよりも大きな総表面流出水量を示した。また、下層材料が珪砂4号で堆積厚2cmの場合の総表面流出水量は、珪砂6号で堆積厚5cmの場合と同程度であった。

図3に、見かけの浸透能の経時変化の一例として、ケース No.5 で得られたデータを用いて計算された見かけの浸透能を示す。本研究の多くのケースでは、図3に示されるように、見かけの浸透能は必ずしも定常にはならず、散水の継続とともに徐々に低下する傾向が見られた。それを踏まえ本研究では、散水終了直前10分間の見かけの浸透能の平均値を、散水終了時における見かけの浸透能とした。図4に、各実験ケースの散水終了時における見かけの浸透能と堆積厚、下層材料との関係を示した。散水終了時における浸透能は、火山灰試料の堆積厚が大きくなると低下する傾向が確認されたとともに、珪砂6号よりも珪砂4号を下層材料とした方が低い値を示した。

#### 4. 考察

本研究では、既往研究<sup>1)</sup>と同様に火山灰試料の堆積厚が増加するにつれて表面流出水量が増加する傾向が、珪砂4号と珪砂6号の両方で確認された。散水終了時における見かけの浸透能も、堆積厚の増加に伴い低下する傾向を示していた。一方で、珪砂4号と珪砂6号を比較すると、同じ火山灰試料の堆積厚においては、常に珪砂4号の方が総表面流出水量が大きく、散水終了時における見かけの浸透能もより低い値を示した。これらの結果は、同じ火山灰試料を同じ厚さで堆積させても、下層材料の違いにより表面流出水量が変化することを示唆している。

珪砂4号と珪砂6号はほぼ同じ乾燥密度で実験プロットに充填しているため、透水性はより粗粒の珪砂4号の方が高いと考えられ、表面流出水量は珪砂4号の方が小さくなると想定される。しかし、本研究では珪砂6号よりも珪砂4号の方が表面流出水量が大きく、散水終了時における見かけの浸透能が低くなっており、下層材料が有している透水性とは逆の傾向を示していた。本研究では、この結果が得られた要因を特定することはできないが、要因の一つとしてキャピラリーバリアが挙げられる。

キャピラリーバリアは、細粒の上層と粗粒の下層の粒径差に起因する保水力の違いによって、細粒の層から粗粒の層への浸透が抑制される現象である。既往研究<sup>5)</sup>によると、キャピラリーバリアによる浸透阻害の強度は、上層と下層の粒径の組み合わせが大きな影響を与えることが報告されている。本研究で見られた下層材料による表面流出水量の違いは、より粗粒の珪砂4号では火山灰試料との保水力の差が大きくなり、キャピラリーバリアにより火山灰試料から下層材料への浸透を阻害する効果が強く表れたことで、実験プロットの浸透能が減少して生じた可能性がある。

#### 5. まとめ

本研究では、火山灰試料の堆積厚と下層材料を変化させた室内散水実験を実施したところ、既往研究に報告されるように火山灰試料の堆積厚が大きくなるにつれ、表面流出水量が増加する傾向が確認された。この傾向は、下層材料として用いた珪砂4号、珪砂6号ともに確認できた。また、同じ堆積厚の火山灰試料であっても、下層

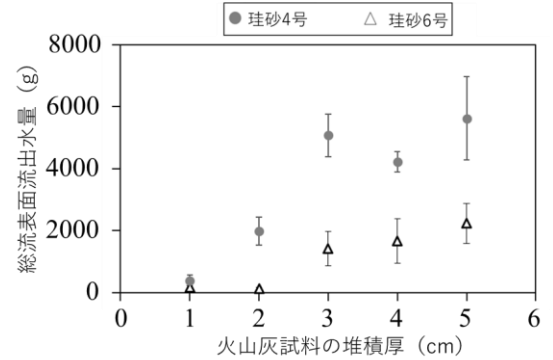


図2 下層材料の違いによる火山灰試料の堆積厚と総表面流出量の関係

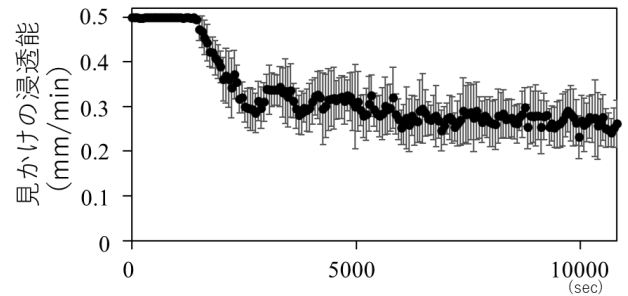


図3 ケース No.5における見かけの浸透能の経時変化

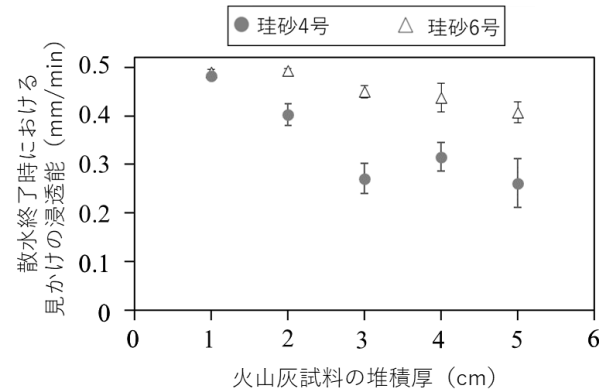


図4 下層材料の違いによる火山灰試料の堆積厚と散水終了時における見かけの浸透能の関係

材料が粒径の細かい珪砂6号よりも、粒径の粗い珪砂4号の方が表面流出水量が大きくなる傾向が見られた。粒径が粗い珪砂4号の方が表面流出水量が多くなった要因の一つとして、キャピラリーバリアにより火山灰試料から下層材料への浸透が阻害されたことが考えられた。火山灰試料と下層材料の粒径をそれぞれ変化させた実験を行い、火山灰の堆積厚および火山灰の下に位置する下層土壌の違いが、表面流出に及ぼす影響を整理していくことが必要である。

#### 謝辞

本研究で使用した火砕物は国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所よりご提供いただいた。ここに感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 地頭菌ほか (1996) 砂防学会誌 (新砂防), Vol.49, No.3, pp.33-36.
- 2) 平岡ほか (2022) 令和4年度砂防学会研究発表会概要集, pp.325-326.
- 3) Damiano et al. (2017) *Engineering Geology*, 220, pp.208-218.
- 4) 吉野ほか (2026) 砂防学会誌, Vol.78, No.6, pp.19-29.
- 5) Liu et al. (2024) *Water*, 16(13), 1774.