

室内実験による繰り返し降雨に伴う火砕物堆積斜面の浸透能変化に関する研究

国立研究開発法人土木研究所 ○吉野孝彦，今森直紀*，影山大輔，清水武志，伊藤誠記

*現 国土交通省東北地方整備局新庄河川事務所

1. 背景

降雨時における火砕物堆積斜面の浸透能の変化を把握することは、表面流出量を適切に評価するために重要であり、火山泥流発生を考える上で表面流出量の予測に役立つ。既往研究により、堆積した火砕物の物性（例えば堆積厚、細粒分含有率）が斜面の浸透能に与える影響が調査されてきた¹⁾。一方で、数時間～数日単位の短期的な降雨の繰り返し（以下、繰り返し降雨と呼ぶ）を経験する度に火砕物の浸透能が低下する事例も報告されており²⁾、雨の与え方も浸透能の変化に大きな影響を与えていることが示唆されている。しかし、繰り返し降雨が火砕物堆積斜面の浸透能に与える影響を考える上で、繰り返し降雨の影響の大きさや、繰り返し降雨時の浸透能の変化機構に関して知見が不足している。そこで本研究では、火砕物試料を用いた室内散水実験によって、繰り返し降雨が火砕物堆積斜面の浸透能に与える影響を調査するとともに、その機構を考察した。

2. 研究方法

2.1 室内散水実験

室内散水実験は、噴火後の降灰裸地斜面に対する最初の降雨、そして無降雨期間を挟んだ2度目の降雨を想定して実施した。火砕物試料を充填した実験プロット（幅35cm、奥行50cm、深さ25cm）4個を傾斜10°で設置した（図1）。プロットの底面から20cmの厚さで4号珪砂を充填後、その上に5cmの火砕物試料を充填し、乾燥密度1.6 g/cm³を目安にジャッキで静的に締め固めた。火砕物試料は、桜島の火砕物のうち2mmのふるい通過分を絶乾させたものをAとした。また既往研究¹⁾と同様に、Aへの細粒分添加の有無が表面流の発生に大きく影響を与えたことを考慮し、所定量のDLクレイをAに添加して細粒分含有率を変化させた試料B、C、Dを作成した。A、B、C、Dの細粒分含有率はそれぞれ約19%、28%、36%、43%である。

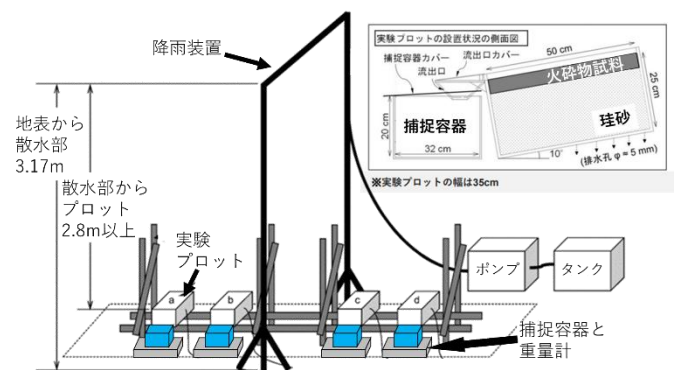


図1 室内散水実験の概要

これらのプロットに、人工降雨装置（株）テクノコアを用いて30 mm/hの散水強度で3時間散水し、120時間以上の無散水期間を設けたのち、再度同じ散水強度で3時間散水した。プロットから表面流出した水（以下、表面流水）を捕捉容器に集め、表面流水の重量を重量計で1秒間隔で計測した。同様の実験を、各試料に対し3回ずつ実施した。

表面流水は土砂が混じっていたため、実験後に乾燥させ表面流水に含まれていた土砂重量を計測した。この土砂重量を総流出土砂量とし、総流出土砂量を表面流水の総重量から減ずることで総流出水量を算出した。更に、総流出水量を総散水量で除することで表面流出率を計算した。また後述するとおり、総流出水量は総流出土砂量に比べ非常に大きかったため、表面流水の重量の経時変化を流出水量の経時変化として扱い、散水強度から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算出した。1回目散水前と1回目散水直後、2回目散水直後の計3回、3Dスキャナで火砕物試料の表面地形点群データを得た。点群データは、点群表示・処理ソフトウェア（CloudCompare ver. 2.13beta）上で位置合わせを手動で行った後、1回目散水前と1回目散水直後の点群データの高さの差分値から、火砕物試料の体積変化量を算出した。1回目散水直後と2回目散水直後間の体積変化量も同様の手法で算出した。

2.2 最終浸透能の推定

実験中の試料の最終浸透能を推定するために、以下のホートン浸潤式を利用して最終浸透能 q_{∞} を推定した。

$$q_i = q_{\infty} + (q_0 - q_{\infty})e^{-\beta t} \quad (1)$$

ここに、 q_i が浸透能、 q_0 が初期浸透能、 q_{∞} が最終浸透能、 t が時間、 β が浸透能低下の度合いを表すパラメータである。本実験で得られた見かけの浸透能の経時変化を(1)式の q_i にフィッティングし、 q_0 、 q_{∞} 、 β をパラメータとして

最小二乗法により q_{∞} を算出した。

3. 結果

実験で得られた総流出水量と総流出土砂量、表面流出率を表 1 に示す。A は 1 回目、2 回目散水時ともに総流出水量・土砂量、表面流出率が他の試料に比べ小さい。B, C, D は 1 回目の散水時には表面流出率が少なくとも 10% 以上となり、C, D では表面流出率が約 75% に達した。各散水ごとに推定された最終浸透能 q_{∞} (mm/h) を図 2 に示す。2 回目散水時には、A の q_{∞} はほとんど変化が見られなかった一方で、B, C, D の q_{∞} は 1 回目散水時から低下した。D は B, C に比べ q_{∞} の低下量が小さかった。図 3 に散水ごとの火砕物試料の体積変化量を示す。表面流出率が低かった A は 1 回目、2 回目散水時で同程度の体積減少が確認された。一方 B, C, D では、いずれも 1 回目の散水時ほど 2 回目の散水時には体積が減少しなかった。

4. 考察

繰り返し降雨を模した室内散水実験によって、繰り返し降雨に伴い表面流水が増加、つまり火砕物堆積斜面の浸透能が低下した。また A のようにほとんど変化が確認できなかった事例や、D のように q_{∞} の低下量が相対的に小さい事例も確認されており、火砕物の細粒分含有率が q_{∞} の低下量に影響を与えていると考えられた。本実験で確認された浸透能低下の機構を、試料の密度の変化に着目して考察する。プロット内に残存した火砕物試料の重量は、実験に用いた火砕物試料の重量から総流出土砂量を減じて計算した。計算された残存した火砕物試料の重量は、火砕物試料の体積変化量で除して、プロット内に残存した火砕物試料の密度に変換した。すると、 q_{∞} の低下量が大きかった B, C, D では、A と比較して火砕物試料の密度が上昇していた (図 4)。既往研究では、降雨浸透・流出に伴う細粒分の移動や流水による再堆積によって、孔隙が閉塞・埋没したクラストと呼ばれる不透水膜が形成され、土壌の浸透能が低下することが報告されている³⁾。本実験で確認された火砕物の密度上昇は、こうしたクラストの形成が関連付けられると考えられる。

5. まとめ

本研究では、繰り返し降雨を模した室内散水実験を実施したところ、

- ・繰り返し降雨によって火砕物堆積斜面の最終浸透能が低下した。繰り返し降雨による最終浸透能の低下には、火砕物の細粒分含有率が影響を与えていた。
- ・繰り返し降雨による浸透能低下機構に、火砕物の密度上昇が関係することが示唆された。

火砕物試料の密度上昇を引き起こした要因としては、クラストの形成が考えられる。他にも、散水時の雨滴衝撃や乾燥による火砕物の圧縮等が原因として考えられるが、本実験では手動の位置合わせによる誤差や、実験中の充填珪砂の体積変化について考慮していない。今回の実験で、火砕物の圧縮等が実際に生じていたかは調査が必要である。

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河川国道事務所よりご提供いただいた。またデータの解釈では、火山・土石流チームの皆様、北海道大学の桂先生にアドバイスをいただいた。ここに感謝申し上げます。

参考文献

1) Hiraoka et al. (2023) *International Journal of Erosion Control Engineering*, 16, 3, pp.36-48. 2) Jones et al. (2017) *Geomorphology*, 282, pp.39-51. 3) Valentin and Bresson (1992) *Geoderma*, 55, pp.225-245.

表 1 総流出水量(g)と総流出土砂量(g), 表面流出率(%)

火砕物試料	散水(回目)	総流出水量(g)	総流出土砂量(g)	表面流出率(%)
A	1	101.0	7.7	0.6
	2	99.9	13.8	0.6
B	1	2351.2	28.6	14.9
	2	6495.1	39.5	41.2
C	1	7172.5	57.8	45.5
	2	11788.3	75.3	74.8
D	1	8767.0	82.0	55.7
	2	11824.5	89.8	75.9

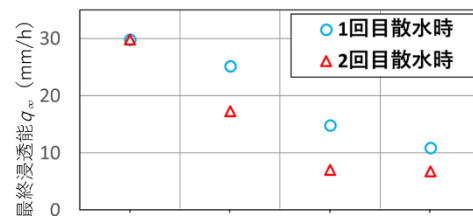


図 2 散水ごとの最終浸透能 q_{∞} (mm/h)

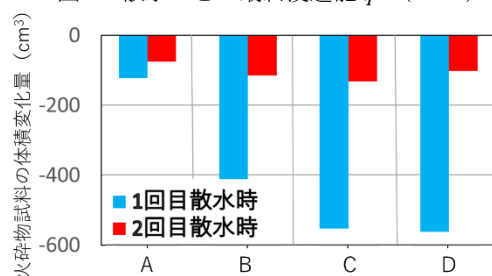


図 3 散水ごとの火砕物試料の体積変化量 (cm³)

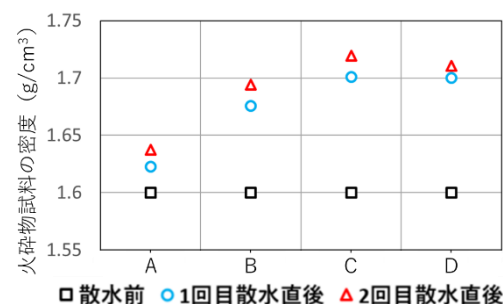


図 4 プロット内に残存した火砕物試料の密度 (g/cm³)