P-208

UAV を用いた火山灰堆積状況および浸透能の概略把握の試み

国土交通省九州地方整備局 九州技術事務所 堤宏徳，山田將喜（現所属 九州地方整備局 情報通信技術課），山本陽子
日本工営（株）○手塚咲子（現所属 国立研究開発法人 土木研究所），田方智，木佐洋志

1. はじめに

火山噴火に伴って多量の火山灰が流域に堆積する場合，火山灰に覆われた山地斜面では浸透能が低下し，小規模な降雨でも土石流が発生しやすくなると言われている[1]。そのため，降灰後の火山地域において，火山灰の堆積状況や，地表面の浸透能を把握することは，土石流発生の危険性を把握するうえで重要である。

これまで火山噴火後の火山地域においては，降灰後の地表面の浸透特性を把握する場合，じょうろを用いた現地散水式浸透能試験[2]や，採取試料を用いた室内試験（JIS 規格である室内飽和透水試験等）が行われている。一方で，火山噴火時や噴火警戒レベルの引き上げによって，流域内での調査や試料採取が困難な状況が想定され，特に火山噴火後の火口周辺や流域上流部の山地斜面等における調査手法の確立が求められている。

そこで本検討では，火山地域において直接調査地点に立ち入ることができない場合において，UAV 等の無人航空機を用いて，火山灰の堆積厚や浸透能を概略的に把握する調査手法の検討を行ったので報告する。

2. 指標杭を用いた火山灰堆積厚把握手法の検討

2.1 手法の概要

高さ毎に色や形状を変えた杭（以下，指標杭と呼ぶ）を流域内に設置し，UAV 搭載カメラによる撮影写真等から指標杭の見え方を確認することで，火山灰の堆積厚を概略的に把握する手法について検討した。

指標杭は，径または一辺の大きさが 10 cm のアルミ製とし，同じくアルミ製の 2 m 四方のはめ込み式の板に自由に配置可能な構造とした（図- 1）。指標杭の高さは，国土交通省の緊急調査の着手判断基準の一つである火山灰堆積厚 1 cm を念頭に，10 mm, 20 mm, 30 mm の 3 パターンとした。指標杭の色は，火山灰が一般に灰色～黒色であることを踏まえ，火山灰上でも視認性の高い赤・青・黄とした。形状は，丸・三角・四角と錘状・柱状の組み合わせで複数パターン設定した。

2.2 実証試験結果と手法の適用性

上記の通り作成した指標杭を用いて検証実験を行った。撮影に用いた UAV 機体は「SPIDER-6」，使用したカメラは「sony α7R（28 mm レンズ）」（約 3,640 万画素）である。

撮影の際，降灰状況を再現するため，指標杭上に厚さ 1 cm 程度になるよう人の背丈から火山灰を散布したところ，指標杭上の勾配を設けた個所にも火山灰が堆積し，地上からの目視による色の判別が困難になった。実際に高度を 10m～70m で変化させて，上空から撮影したところ，色の判別はできなかった。しかしながら杭の形状の判別は可能であり，高度 50 m 程度から撮影した画像まで各指標杭が火山灰に埋まっているか否かの判別ができ，火山灰堆積厚の判定が可能であった（図-2）。

また，実際の降灰状況下での検証のため，桜島の有村川流域に指標杭を 3 か月程度設置し，火山灰の堆積の仕方や指標杭の見え方を確認した。その結果，自然な降灰でも指標杭上に火山灰は堆積し，色の識別は困難になったものの，形状の判別は可能であり，自然な降灰状況下での適用性が確認された（図-3）。

3. UAV を用いた浸透能概略把握手法の検討

3.1 手法の概要

UAV を用いて火山灰が堆積した斜面に水を供給し，地表面における浸透状況・表面流発生状況をカメラで記録して，浸透能を概略的に把握する手法について検討した。UAV を用いた給水方法として，農薬散布等で使われるノズル付きのタンクを UAV に搭載し上空から散水する方法（以下「散水式」と呼ぶ）と，水の入った容器を UAV で運搬して地表面に降ろし，直接地表面に流水を供給する方法（以下「流水式」と呼ぶ）を検討した。なお，いずれの方法も，UAV 機体は「SPIDER-6」（ペイロード 4kg）を用いた。

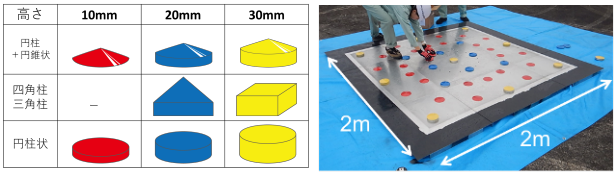
3.2 散水式浸透試験

3.2.1 手法の概要

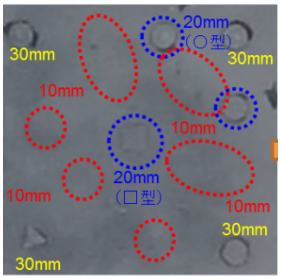
手法の概要を図-4 に示す。UAV 機体の下部に給水タンク（容量：3L）を取り付けた散水装置を用意した。給水口には，ほぼ直水状態で散水するノズルを用い，散水する高度は 5m程度とした。この条件では，UAV のホバリング中も地表の火山灰をほぼ巻き上げることなく，1 m ×1 m 程度の範囲へ集中的に散水可能なことが確認できている。この時，3L の水の散水に要する時間は 3 分程度で，散水強度は 60 mm/hr 程度であった。散水中の地表面の状況は，UAV に取り付けた小型カメラ（Gopro Hero 04）で撮影した。

3.2.2 実証試験

ベニヤ板に火山灰を散布した模擬火山灰堆積斜面および桜島・黒神川流域の現地火山灰堆積斜面を対象に実証試験を行った（以下，前者をケース 1，後者をケース 2 と呼ぶ）。斜面の傾斜はいずれも 15°～20°程度で，試験時の風速は 1.2～3.0 m/s 程度であっ



図－ 1 指標杭および指標板の概要



図－ 2 指標杭の撮影画像例
（高度 50m UAV 搭載カメラによる）

図－ 3 降灰状況下での検証
（桜島 有村川への仮設置）

た。ケース 2 の斜面の浸透能は，じょうろを用いた浸透能試験から 150 mm/hr 程度と分かっている。

UAV を用いた散水試験を実施した結果，ケース 1・2 のいずれでも 1 m×1～1.5 m 程度の対象範囲に集中的に散水することができた。UAV 搭載カメラにより得られた散水中の地表面の映像を図-5 に示す。ケース 1 では表面流が発生し，UAV 搭載カメラの映像からもその様子が確認できた。ケース 2 では目立った表面流の発生はなかったが，地表面が湿る様子が UAV 搭載カメラ映像から確認できた。

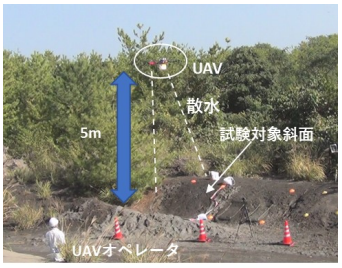


図- 4 散水式浸透試験の概要

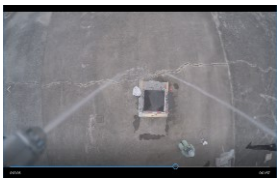


写真- 1 UAV 搭載カメラによる取得映像のイメージ

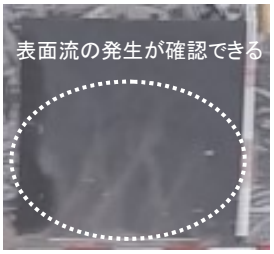
ケース1 模擬火山灰堆積斜面	ケース 2 桜島現地斜面
	
UAV(高度 5m)搭載カメラによる取得映像の拡大	UAV(高度 5m)搭載カメラによる取得映像の拡大

図- 5 散水中の地表面の状況

3.3 流水式浸透試験

3.3.1 手法の概要

手法の概要を図-6 に示す。試験に用いる流水容器として，図-7 に示す①円筒型・②円錐型の 2 タイプを作成した。材質は，それぞれアクリルおよびプラスチックで，いずれも円状の底部に口径 1.8 mmの流水口を複数個（円筒型は 8 個，円錐型は 36 個）取り付けた。容器を斜面上に転がすと，容器が回転し流水口を取り付けた底面が自然に斜面下部を向き，水が流れ出る仕組みである。容器本体の重量は共に 0.5kg, 水の容量は①円筒型が 2L, ②円錐型が 3L で，水を入れた状態での重量が共に 4 kg 以下となるよう調整した。給水中の地表面の状況は，UAV 搭載カメラ（Gopro）と，流水容器に搭載した小型カメラにより撮影した。

3.3.2 実証検証

桜島・黒神川流域の火山灰堆積斜面を対象に実証試験を行った。試験の結果，円筒型・円錐型のいずれの容器も，水の入った状態で 1.5 m 四方程度の試験対象斜面へ着地させ，地表面へ給水することができた。流水口を中心に幅 0.5m，長さ 1～1.5m 程度の範囲に流水が流下（表面流が発生）し，流下の様子は UAV 搭載カメラ・容器搭載カメラの撮影映像から確認することができた（図-8）。流水完了に要した時間は円筒型で 5 分，円錐型で 80 秒程度であり，給水中の流水量は 0.006～0.015 ℓ/sec 程度であった。

これらの給水条件は，容器形状や流水口の配置により調整が可能と考えられ，同一の流水容器を用いることで，異なる地点および作業者でも，ある程度統一した条件で試験を実施可能であると考えられる。

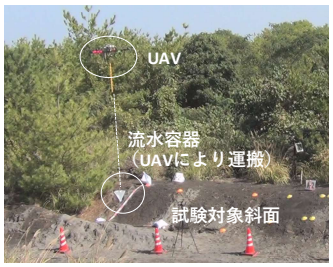
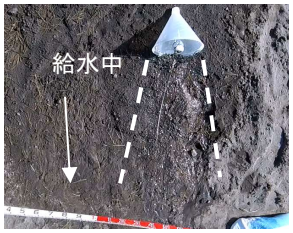


図- 6 流水式浸透試験の概要

図- 7 流水容器の形状

桜島 現地火山灰堆積斜面



UAV 搭載カメラ映像

容器搭載カメラ映像

図- 8 流水容器による流水中の状況（円錐型）

3.4 地上着地型散水容器による浸透試験

以上の散水式・流水式浸透試験の検討結果を踏まえ，より地表近くで確実に散水することを目的に「地上着地型散水容器」を作成した。当容器は既存の簡易浸透能試験機 [3] を参考に，水を溜める貯水槽と多数の通水口からなる容器を UAV で運搬し，着地と共に開栓させ地表近くで散水するものである。検証の結果，散水開始の仕組みに課題があるものの，より地表近くで安定して散水出来ることが認められた（図-9）。

図-9 地上着地型散水容器による散水試験

4. おわりに

火山地域の立ち入りが困難な区域において，UAV 等を用いて現地状況を把握する手法について検討を行った。火山灰堆積厚把握手法は，火山灰堆積状況下での指標杭の視認性から，手法の適用性が確認された。UAV を用いた浸透試験は，散水式・流水式共に斜面の一定範囲への水の供給が可能で，カメラ等により給水中の地表面状況を把握可能なことが確認された。今後，浸透特性の異なる複数の斜面に対して当試験を実施し，取得した映像から地表面の浸透特性を評価する方法の検討を進めることで，降灰後の火山灰堆積斜面の浸透能把握手法として活用可能となることが期待される。

謝辞:本検討を行うにあたり鹿児島大学地頭薗教授にご助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】 1)池谷（1993）:砂防学会誌, Vol. 47, No. 2, pp. 15-21, 2)地頭薗ら（1996）:砂防学会誌, Vol. 49, No. 3, pp. 33-36, 3)木佐ら（2015）:平成27年度砂防学会研究発表会概要集, pp. B170-171