

鉛直 1 次元透水試験による湿潤なシルト質細砂層下の層状空隙空間が透水係数へ与える影響：  
草本層や落葉層上の噴火後の降灰を想定して

土木研究所 清水武志 梅谷涼太 伊藤誠記\*

\*国土交通省

## 1. はじめに

噴火による斜面への降灰後に土石流が頻発するが、土石流の発生のしやすさは、降下火砕物の種類、あるいは降灰量と地表面の状態等の条件で異なる。例えば木佐ほか (2012) は、2011 年新燃岳噴火後の土砂移動を調査し、火砕物表面の構造や落葉などの影響を報告した。

本稿では、噴火により細粒成分を持つ風成火砕物が草本層や落葉層上に堆積する場面を想定し、落葉層のような層状空隙空間の上にシルト質細砂層が堆積するモデルを考える。下層の空隙空間および上層の土質試料の層厚を変化させ、鉛直 1 次元透水試験に類する方法で透水係数を推定した結果を報告する。実験は、簡易装置を自作し、土木研究所 砂防工学実験室で実施した。詳細は Umetani *et al.* (2026) に示した。

なお、予備実験の結果、下層の空隙空間等が次の場合には透水係数は土質試料と同等になった：1) 落葉が押しつぶされた場合、2) 粗い目のスポンジのような多孔質材料の場合（空隙が細粒成分で埋まるため）、3) 葉（広葉樹および針葉樹）が土質試料と十分に混合した場合。そのため、広葉樹の落葉層・草本層のように、火砕堆積物の細粒成分が下層に移動可能で、水みちが閉塞しても他の水みちが形成される立体的で複雑なネットワークを構成する空間を「層状空隙空間」と抽象し、本実験の対象とした。

## 2. 方法

### 2.1 材料

降下火砕物は同じ噴火でも採取場所によって粒径等の物性は異なる。採取した火山灰がその噴火の火砕物を代表するとは限らない。

粒径は市販品を混合して調整した。6 号珪砂（柳沢商店製）と DL クレー（昭和ケミカル製）を 50%重量比で混合する。飽和に近づけるように、また、試験結果が安定するように、含水率 14%（含水比では 16.3%）に加水して十分に混合した湿潤状態とする。以下、この固気液混合体を「試料」という。試行錯誤によると、この含水率は加振により流動化し、かつ保水しつづける上限値に近い。なお、試料は粘着力の少ない材料を混合したため、最適含水比（最低密度になる含水比）や液性限界試験は困難であった。落葉に土木研究所内のケヤキの葉を用いる。

### 2.2 変水位透水試験

JIS A 1218:2009 に従った。西日本試験機製 S-165 JIS 型変水位透水試験器装置を使用した。

### 2.3 簡易試験装置による透水試験

#### 1) 自作した簡易試験装置

概要を図 1（左図）に示す。適当な厚さの試料・落葉を収容可能な鉛直一次元円筒として、くびれ等が無い炭酸飲料 1.5 L ペットボトル（大塚食品 MATCH; 2025 年 10 月頃の形状）を利用した。下端には、試料と比べて透水係数が 2 オーダ程度大きい 3 号珪砂を土台とし、同様の透水係数である日本製紙製 キムタオルを、細粒成分流出防止のため、その上下に設置した。

#### 2) 試験方法と実験ケース

1) の装置を使い、2.1 に示した試料の層厚 2, 5, 7 cm および落葉層厚 0, 3, 6, 9, 12, 15 cm を組合せた全 18 実験ケースを設定する。試料・葉は層厚に応じた重量を計測する。含水後、1, 2 cm 辺のブロックに成型し、落葉層に落下しないよう静かにのせた後、数十秒加振する。加振中は流動して亀裂が埋まり、停止後均一で密な見た目の試料となる。各ケースの実験は 4 回行った。実験の様子をタイムラプスカメラ（Brino 社製 TLC300）で撮影する。下端にメスシリンダをおき、上端に 3 cm の水深に相当する水を試料表面が乱れないように注ぐ。その時刻（開始時刻  $t_1$ ）を記録し、水面が試料表面まで低下した時刻（終了時刻  $t_2$ ）を動画から取得する。下端のメスシリンダに貯留した水の重量を計測する。なお、実験を夕方開始し朝まで数時間を要する場合には、メスシリンダ内の水の重量は  $t_2$  の数時間後に計測され誤差が生じる。 $t_2$  の水温を計測する。カメラ映像の水位は使用しなかった。

#### 3) データ整理

透水係数は、JIS A 1218:2009 の変水位透水試験に示される飽和透水係数の式で算出する。理想的状态では  $t_2$  で  $h_2 = 0$  となり式が発散するため、 $t_1$  における  $h_1$  から水位低下距離  $\Delta h$  を使い  $h_2 = h_1 - \Delta h$  と評価する。また、終了時刻のアメダス（つくば）における気温から温度補正した粘性係数を求め、透水係数を補正する。

まず、簡易試験装置の性能を評価するため、変水位透水試験の結果と落葉層厚 0 cm の実験ケースの透水係数の値を比較する。

次に、簡易試験装置で上述の実験ケースの「透水係数」を算出する。落葉層がある実験ケースでは、落葉層に試料の一部が変形する場合や細粒成分が流出する場合がある。そのため、変形せず飽和を仮定した式は、厳密には不適切である。しかし、類似実験の研究が発見できなかったため、落葉層による透水係数の大局的な変化の把握を実験の主目的とした。「透水係数」は、飽和透水係数ではないことに注意されたい。

### 3. 結果と考察

図1(右図)に変水位透水試験と簡易試験装置の透水係数の比較結果を示す。簡易試験装置の透水係数は試料層厚に関わらず概ね一定値を示す。ただし、変水位透水試験の結果より1オーダー大きい。不飽和試料のためと考えられる。

図2に各実験ケースの実験結果を示す。シンボルは、透水係数の大きな実験結果を、実験中の映像によって以下に3分類した結果である：1) 試料の層に孔が空かない場合(●)，2) 実験中に孔が空いた場合(△)，3) 試料の層厚が薄く、葉の角度がランダムな落葉層上に初期から孔が空いていた場合(□)。試料厚5cm(図2中央)では、落葉層厚が薄いと下層の空間がつぶれて試料程度の透水係数となり(図1参照)，厚いと孔が途中で空きばらついた(△多数)。試料厚2cm(図2右図)では、落葉層厚があれば実験開始時に孔が空いており(□)，ばらつきが著しい。孔の空き方(△と□)による透水係数の境界値は概ね $10^{-4}$  m/s と考えると、透水係数を3分類できる：1) 試料の透水係数( $10^{-6} \sim 10^{-5}$  m/s)，2) 途中で孔が空く透水係数( $10^{-5} \sim 10^{-4}$  m/s)，3) それ以上の透水係数( $>10^{-4}$  m/s)。

図3は、図2のデータのシンボルを試料厚に変更し、横軸を落葉層厚に対する試料の層厚比、縦軸を透水係数として整理した図である。参考として、落葉層厚0cmのデータは試料の透水係数を示す。図3から2点が見える：1) 一定以上の厚さ(7cm；+印)では落葉層の影響を受けない、2) 試料厚が薄くても落葉層の影響は比が100%程度までに限定される。

### 4. おわりに

本実験の結果をまとめると図4を得る。この結果から、噴火前に落葉層があれば、落葉層厚と同程度の堆積厚までは浸透能が著しく上昇しない可能性が示唆された。いくつかの噴火後の現地観察報告と定性的な矛盾はない。図3のような傾向が、ある条件下で成立すると予想される。本実験結果は厚さ以外の条件が一定・鉛直浸透等の制約があり、この条件の一部を示したものであると予想される。

### 謝辞

国土交通省 山越隆雄氏にご助言いただいた。土木研究所 火山・土石流チーム 田中真子氏、金澤牧子氏、高木将行氏、金澤瑛氏に実験を補助していただいた。記して謝意を表します。

### 参考文献

- 木佐洋志ほか，砂防学会誌，65-6，pp.12-21，2013  
Umetani, R., Shimizu T., Itou M., Interpraevent, 2026

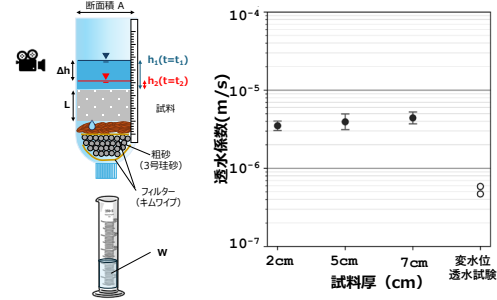


図1 簡易試験装置の概要(左)と性能(右)

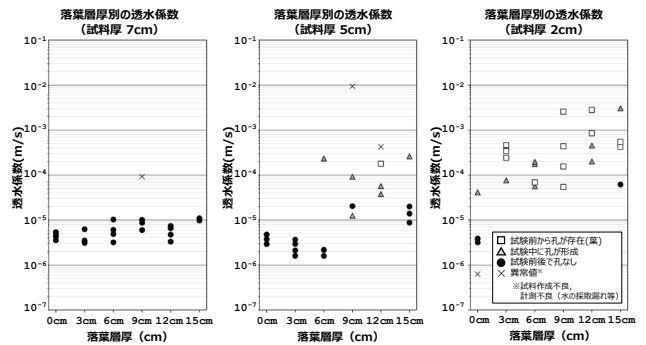


図2 実験結果と孔の形成時期によるばらつき

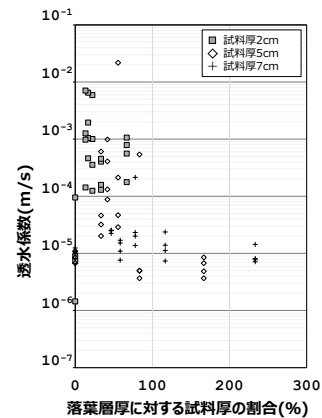


図3 落葉に対する試料層厚の比と透水係数

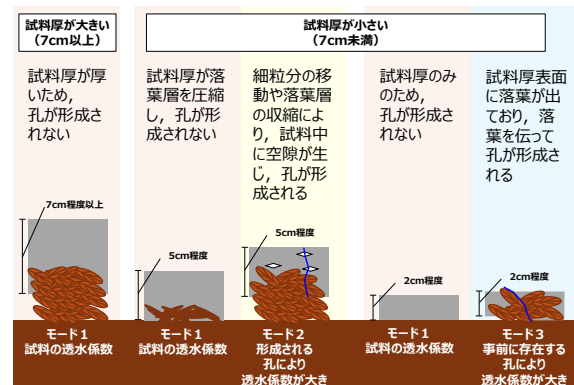


図4 本稿における実験のまとめ