

## 蒸発法を用いた火山性土壌の不飽和水分特性の計測

京都大学大学院農学研究科 ○正岡直也・小杉賢一朗（兼 JST）

立命館大学総合科学技術研究機構 糸数哲

## 1. 研究背景

火山地域における表面流や土層内部の過剰間隙水圧の発生を定量的に予測するには、火山性土壌の飽和・不飽和水分特性の高精度データが不可欠となるが、その計測には高度の専門知識・技能を必要とし、手間・時間・コストがかかるという問題がある。そこで、土壌の飽和・不飽和水分特性を迅速に計測出来る手法として近年注目を集めている蒸発法に着目した。これは、飽和させたサンプルから水分を蒸発させる過程での水分フラックスと間隙水圧を計測することによって、透水係数と保水曲線を同時に計測する手法である。市販の外国製装置は高価である上に、取り扱いにおいて専門知識・技能を必要とする。そこで、本研究では水分フラックスおよび間隙水圧を計測する実験装置ならびにシステムを独自開発することによって、より低コストで取り扱いが容易な装置の開発を行った。特に、表面流や過剰間隙水圧の発生予測において重要である飽和・不飽和境界付近の水分特性をより高精度に計測できるように、独自の改良を加えた。

## 2. 実験装置

本研究で開発した実験装置を図 1 に示す。土壌サンプラー(100 cc)の上面には取り外し可能な蓋を被せ、下面は土壌の流出を防ぐためのフィルターを介して大気に解放した。2本の小型テンシオメータを土壌サンプラーに挿入し、パイプを介して差圧計に接続しテンシオメータ間の水理水頭差を計測した。2本のうち下側のテンシオメータはパイプを分岐させて負圧計に接続し、圧力水頭 $\psi$ を計測した。これらはすべて電子天びんに載せ、重量を計測した。計測データはすべて1分インターバルで自動記録した。

## 3. 実験手法（定常浸透法・下面蒸発法）

蒸発法実験に先立ち、定常浸透法による飽和付近の不飽和透水係数  $K$  の計測を行った。サンプラー上面の蓋を開けて水を供給し、下向きの浸透流を発生させた。水は下面のフィルターから自由排水させ、電子天びんに干渉しないように皿で受けた。サンプル内の浸透流フラックスが定常化するまで一定の水供給を続け、一次元 Darcy-Buckingham 式から  $K$  を算出した。本手法では同一の実験装置で定常浸透法と蒸発法を連続して行えるという利点がある。

定常浸透法の終了後、上面からの給水を停止し蓋を閉め、下面からの自由排水が止まったのを確認した後、ファンと赤外線ライトをサンプル下面に向けて設置し、蒸発法実験を開始した。実験は、蒸発の進行により2本のテンシオメータ間の水理水頭差が差圧計の測定限界（約 100 cmH<sub>2</sub>O）に達するまで行った。 $K$  の算出は簡易蒸発法(Wendroth et al., 1993)に基づいて行った。簡易蒸発法ではサンプラー上面から水分を蒸発させる際、 $\psi$  が鉛直方向に直線的に分布すると仮定することで、時間ステップ ( $\Delta t$ ) 間の平均 $\psi$ 、平均動水勾配、さらに重量変化量からフラックス $\Delta q$  を求め、逆解析をすることなく一次元 Darcy-Buckingham 式から  $K$  を算出できる。本研究では水分を上面でなく下面から蒸発させ、サンプル内の水分移動を重力方向と一致させることで $\psi$ 分布をより直線に近づけ、精度を向上させる狙いがある。

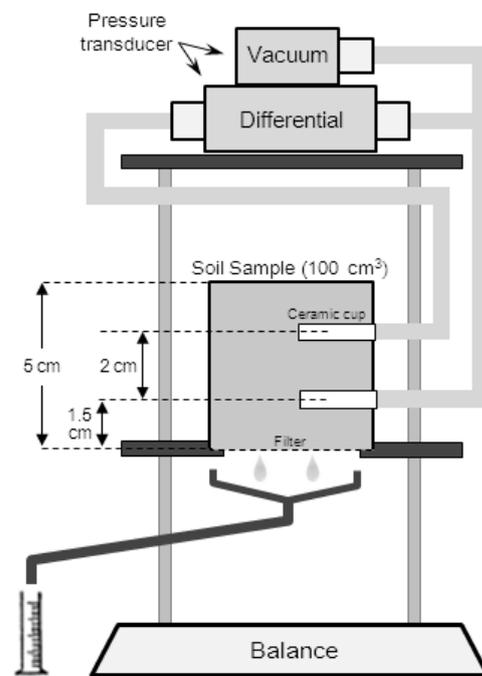


図-1 実験装置の概略図

実験に用いたサンプルは①豊浦標準砂、②伊豆大島の火山灰土壌（テフラ、非攪乱）の二種類である。実験期間は①は約9日間、②は約2日間である。

#### 4. 結果と考察

本実験で得られた $\theta$ - $\psi$ 関係（水分特性曲線）を図2に示す。豊浦標準砂の実測値( $\theta$ -obs1)は、 $\psi=-30$  cmH<sub>2</sub>O 付近に明瞭な空気侵入点を持つ、砂質土に典型的な水分特性曲線を示した。テフラの実測値( $\theta$ -obs2)は、標準砂に比べ飽和水分量が大きく $\psi$ に対する $\theta$ の減少が緩やかで、細粒の野外土壌に典型的な曲線を示した。このように、本手法により $\theta$ - $\psi$ 関係を良好に計測できた。また、実測値に Lognormal Distribution Model (Kosugi, 1996)をフィッティングし（図2の $\theta$ -cal）各種パラメータを求めた。

次に本実験で得られた $K$ - $\psi$ 関係（不飽和透水曲線）を図3に示す。 $\psi=0$  付近にあるプロットは定常浸透法から得られた点( $K$ -obs\_c)、それ以外のプロットは蒸発法から得られた点( $K$ -obs)である。また、上記の関数モデルを用いて推定した $K$ - $\psi$ 曲線( $K$ -cal)を参考として示した。豊浦標準砂の実測値( $K$ -obs1)は $\psi<-30$  cmH<sub>2</sub>O の区間において、典型的な指数関数的減少傾向を示した。しかし、飽和付近の $0>\psi>-30$  cmH<sub>2</sub>O の区間（空気侵入領域）においては不安定な振動がみられ、モデルによる推定値( $K$ -cal1)とも傾向が大きく異なった。この区間では $\theta$ に対する $\psi$ の減少が急激であるため（図2の $\theta$ -obs1）フラックスの測定誤差が生じやすいことが原因と考えられる。一方、テフラの実測値( $K$ -obs2)は飽和付近の $0>\psi>-10$  cmH<sub>2</sub>O の区間で不安定な値を示すものの、 $\psi<-10$  cmH<sub>2</sub>O の区間では非常に滑らかな値が得られ、モデルによる推定値と同様の変化傾向を示した。テフラのような細粒土では明瞭な空気侵入領域がないため（図2の $\theta$ -obs2）、フラックスの測定誤差が生じにくかったものと考えられる。

このように、飽和付近の $K$ - $\psi$ 測定精度に関しては検討を要するものの、本手法を用いて土壌の不飽和水分特性を良好に計測できることが示された。特に測定精度および実験に要する期間において、テフラのような細粒土は、標準砂のような砂質土に比べて本手法を適用しやすいことが明らかになった。

#### 5. まとめと今後の課題

本研究では、蒸発法ならびに定常浸透法による土壌の不飽和水分特性計測を効率的に行える、低コストで取り扱いが容易な実験装置を開発し、豊浦標準砂とテフラに対して $\theta$ - $\psi$ ・ $K$ - $\psi$ 関係を良好に計測できた。今後は飽和付近における測定精度をさらに向上させ、実験手法の最適化を進めて行く予定である。

参考文献： Wendroth et al. (1993) “Reevaluation of the Evaporation Method for Determining Hydraulic Functions in Unsaturated Soils” SSSA J., 57(6), p.1436-1443

Kosugi (1996) “Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties” WRR, 32(9), p.2697-2703

(E-mail: hatimon@kais.kyoto-u.ac.jp)

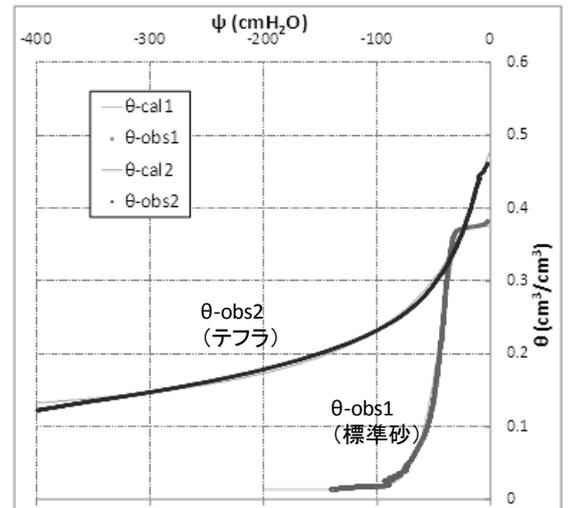


図-2  $\theta$ - $\psi$ 関係（水分特性曲線）

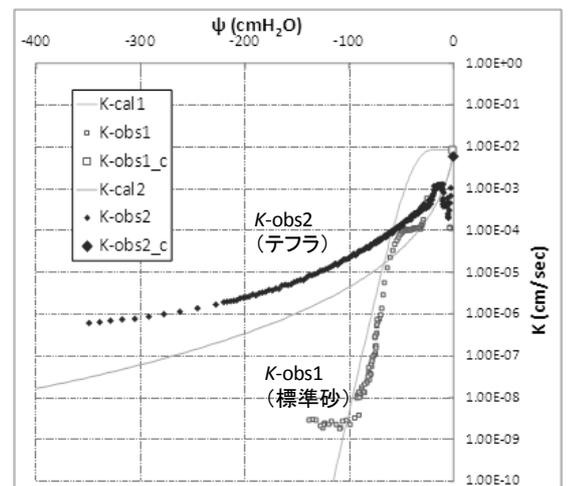


図-3  $K$ - $\psi$ 関係（不飽和透水曲線）