

## 蒸発法に基づく実験装置を用いた土壌の不飽和水分特性ならびに表面流発生計測

京都大学大学院農学研究科 ○正岡直也・小杉賢一朗（兼 JST）・小松正弥

### 1. 研究背景

土石流発生誘因となる表面流や土層内の水位上昇を定量的に予測するには、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。しかし、それらの計測には専門的な実験装置や高度な技能を必要とし、また手間と時間がかかるという問題がある。そこで正岡ら(2015)は蒸発法の手法を改良し、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、市販の装置より低コストで取り扱いが容易、さらに他手法に応用可能な装置の開発を行った。本研究では繰り返し実験により装置と手法の最適化を行い、測定精度と再現性を検証した。さらに表面流発生実験を行える機構を新たに追加し、初期条件や降雨強度等の種々の条件に対応した表面流の発生を定量的に明らかにすることを目的とした。

### 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てある。2本の小型テンシオメータを土壌サンプラーに挿入し、パイプを介し差圧計に接続することでテンシオメータ間の導水勾配を計測できる。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  $\psi$  を計測している。これらの装置を自記式の電子天びんに載せ重量変化を計測することで蒸発フラックスを計測できる。下記の表面流実験を行う際はサンプル上端の外周に漏斗状の集水装置を取り付け、ポンプを用いて土壌サンプル上面に任意の強度で散水することで溢水を集水・計量できる機構になっている。

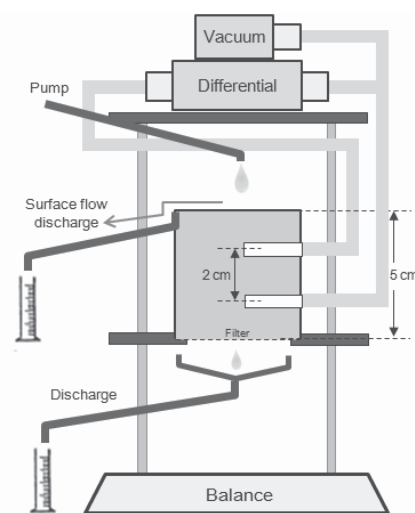


図-1 実験装置の概略図

### 3. 実験手法（定常浸透法・下面蒸発法・表面流実験）

供試体には伊豆大島の火山灰テフラ土壌（攪乱）を用いた。まず、定常浸透法により飽和近傍( $\psi=-0.4\text{cmH}_2\text{O}$ )の不飽和透水係数  $K$  を一点計測した。サンプラー上面の蓋を開け、表面流が発生しない程度の一定降雨をポンプで供給し、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、サンプル内の浸透流フラックスが定常化した時点の  $K$  を Darcy 則から算出した。定常浸透法の終了後、上面からの給水を停止し蓋を閉め、下面に蒸発促進のファンを当て蒸発法を開始した。手法の詳細は正岡ら(2015)を参照のこと。 $\theta-\psi$  ならびに  $K-\psi$  の算出は簡易蒸発法(Wendroth et al., 1993)に基づいて行った。一連の実験を計6回繰り返して行い、精度と再現性を検証した。また、同じ供試体に対し加圧板法による pF 試験を行って  $\theta-\psi$  を計測し、本手法による計測値と比較した。また同装置を応用し、人工降雨による表面流発生実験を行った。乾燥条件下での豪雨による表面流発生を想定し、まずサンプラー上面に 18.2mm/h の弱降雨を供給し定常状態を作った後、降雨を止め下面から水分を蒸発させた。 $\psi=-180\text{cmH}_2\text{O}$  まで乾燥したところで上面蓋を開け、75.6mm/h の強降雨を与えて表面流を発生させた。実験は表面流量が定常化するまで行った。

### 4. 結果と考察

本実験の蒸発法で得られた  $\theta-\psi$  関係（水分特性曲線）、ならびに pF 試験で計測した  $\theta-\psi$  を図2に示す。蒸発法の  $\theta-\psi$  は細粒の野外土壌に典型的な曲線を示していた。6回の計測値はほぼ同一値を示しており、高い再現

性が確認できた。さらに pF 試験で計測した値とも良好な一致を示しており、本手法による  $\theta$ - $\psi$  計測は高い精度を有していることが示された。

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。蒸発法で計測した  $K$ - $\psi$  は細粒土壌に典型的な指数関数的減少傾向を示し、良好な計測が行われたことを示している。 $\psi < -40\text{cmH}_2\text{O}$  の範囲では 6 回の計測値は同一傾向を示しており、高い再現性が確認できた。 $-40 < \psi < 0\text{cmH}_2\text{O}$  の範囲で再現性が低いのは、飽和付近では  $K$  が大きいため Darcy 則における導水勾配が小さくなり過ぎ、センサ分解能の検出限界以下になってしまうためである。これは蒸発法全般に共通する問題で、従来手法では飽和付近の精度を深く検証していないが、本研究では繰り返し実験により適用範囲を明確に示すことができた。

図 4 に表面流実験の時間経過を示す。表面流が発生したのは強降雨開始から 10.3 分後で、 $\psi = -2.8\text{cmH}_2\text{O}$  と不飽和状態であり、表面流量  $Q$  も最大値よりやや小さかった。その後 9 分程度で  $\psi$ ,  $Q$  ともに最大値 (一定値) に達し、この時の最終浸透能は  $25\text{mm/h}$  だった。このように降雨強度が最終浸透能を大きく上回っているにもかかわらず、表面流は降雨開始から 10.3 分間発生しなかった。これは土壌が乾燥している場合は吸水圧による下向きの動水勾配が大きく働いたため浸透能が高く、強降雨でも表面流が発生しにくいことを示している。このように蒸発法装置を応用した装置を用いることで、土壌水分の初期条件による表面流発生タイミングや流量の違いを定量的に明らかにできることが示された。

## 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、 $\theta$ - $\psi$ ・ $K$ - $\psi$  関係を高い精度と再現性

で計測できることが示された。さらに同装置を応用し、土壌水分の初期状態を考慮した表面流発生実験を行うことができた。今後は同装置を、蒸発法で計測できない飽和付近の  $K$  を計測する別手法にも応用することで、より実用的な不飽和水分特性の計測手法を確立していく予定である。また今後様々な土壌や初期条件・降雨強度での表面流実験を行い、より容易かつ正確な浸透能の評価手法を検討していく予定である。

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

正岡ら (2015) 「蒸発法を用いた火山性土壌の不飽和水分特性の計測」平成 27 年度砂防学会要旨集 B-168

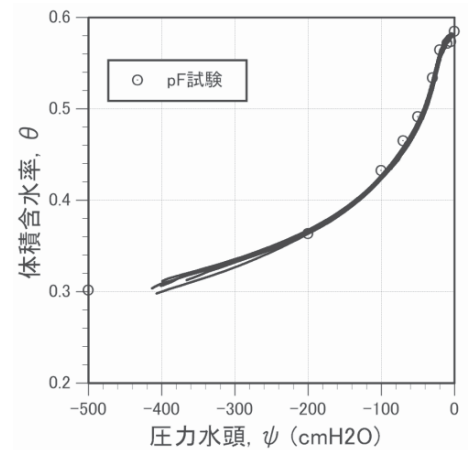


図-2  $\theta$ - $\psi$  関係 (水分特性曲線)

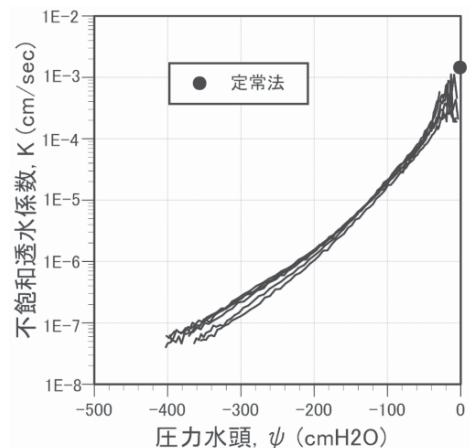


図-3  $K$ - $\psi$  関係 (不飽和透水曲線)

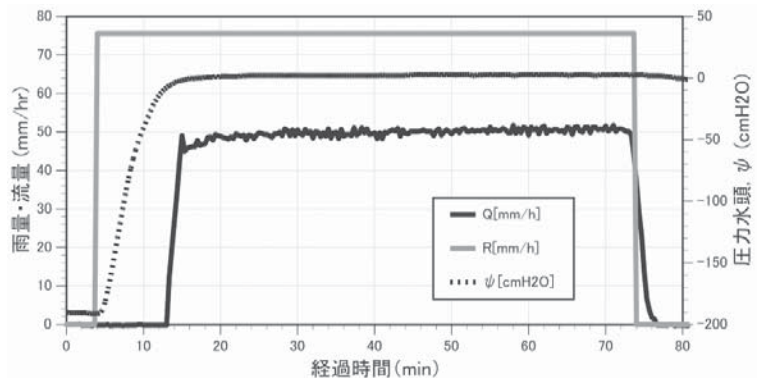


図-4 表面流量・降雨量・圧力水頭の時系列変化

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