

連続流出蒸発法 (COFEM) を用いた森林土壌の水分特性・透水性の計測

京都大学大学院農学研究科 ○正岡直也・小杉賢一朗

1. 研究背景

不飽和土壌の水分移動特性は「水分特性曲線 ($\theta-h$)」と「不飽和透水曲線 ($K-h$)」とで与えられ、これらは降雨浸透に伴う洪水流出や斜面崩壊を予測するうえで必要不可欠な情報である。 $\theta-h$ は加圧板法などによる直接測定が比較的容易である一方、 $K-h$ の測定には多くの時間や専門的な装置と技術が必要となる。直近の研究^{1,2)}において簡易かつ高精度な測定法である「改良蒸発法 (Improved evaporation method, IEM)」が開発された。本稿では IEM を元に、さらに迅速で正確な測定を可能にした「連続流出蒸発法 (Continuous outflow evaporation method, COFEM)」³⁾を用いて、実際の森林土壌を測定した事例を紹介する。

2. 研究手法

2.1 実験装置と手法

COFEM の実験装置を図 1 に示す。土壌サンプル (100 ml) の側面から 2 本の小型テンシオメータを挿入し、負圧計と差圧計に接続して圧力水頭 h と動水勾配 i を測定する。装置全体は自記式の電子天びんに載せてある。実験中にアタッチメントを付け替えることで、後述する 2 手法を連続して行うことが最大の特徴である。

第一に、流出法 (Outflow method, OFM) 実験を行う。図 1a のように装置に OFM アタッチメント (ポラス板) を取り付け、排水管内の水面との水頭差 ΔH (初期値 80 cm) により供試体から排水させる。排水量は排水管内の水位から算出する。排水速度がゼロに近づいたら OFM を終了する。

第二に蒸発法 (Evaporation method, EM) 実験を行う。供試体を軽く持ち上げながら EM アタッチメント (金属メッシュ) に付け替え、供試体下面を大気に開放して自然蒸発させる。以降は電子天秤の重量変化から蒸発速度を算出し、供試体内の平均圧力水頭が -500 cm を下回るのを目安に実験を

終了する。排水量・蒸発量からフラックス q を算出し、 h , i の時系列データから非定常の直接的算出法により $\theta-h$, $K-h$ を算出する。本稿では計算式は省略する (既往研究^{1,2)}を参考にされたい)。森林土壌に対して COFEM を用いた場合、IEM で測定に 6 日かかったところを 2 日に短縮できた事例が報告されている³⁾。

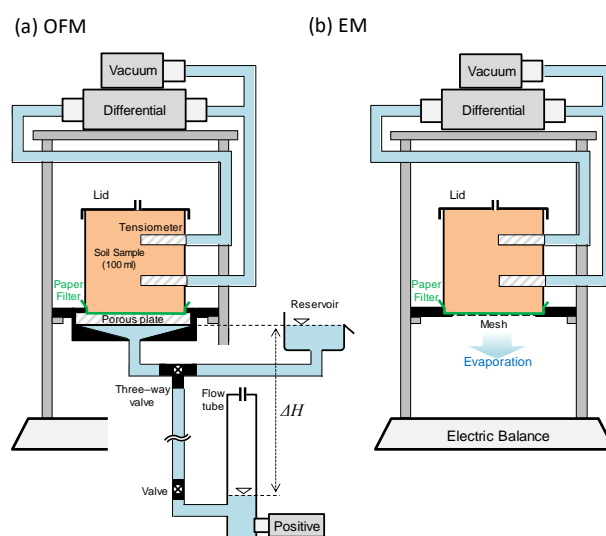


図 1 装置の概略 (a) 流出法 (b) 蒸発法

2.2 供試体

本研究で用いた供試体は、滋賀県不動寺水文試験地 (花崗岩地質) の尾根部において土壌層から 5 深度、計 12 個を非攪乱で採取した。各深度と土壌の種類を表 1 に示す。すべての供試体に対し、加圧板法による pF 試験の後に COFEM 試験を行い、結果を比較した。COFEM に要した時間は 1 供試体あたり約 2 ~ 4 日であった。

表 1 採取した供試体のリスト

Depth	サンプル数	土壌の種類
1~6 cm	2	リター・ルートマット層
13~18 cm	3	森林土壌 (黒色)
21~26 cm	3	遷移層 (グレー)
31~36 cm	2	サプロライト層 (粒径大)
51~56 cm	2	サプロライト層 (粘土質)

3. 結果と考察

3.1 測定値の時系列変動

図2左に5深度における代表的な供試体の θ - h 曲線を、COFEMとpF試験の結果を併せて示した。深度によって曲線の傾きは微妙に変化するが、COFEMとpF試験の測定値は良好に一致していた。

図2右に同じ供試体の K - h 曲線の測定結果を示した。なお飽和透水係数 K_s は事前に変水位透水試験で計測した値である。COFEMを構成する2手法(OFMとEM)で求められた K - h 曲線は連続的で、飽和から乾燥領域に向かって対数関数的に減少する様子が良好に測定できた。特に注目すべき点として、従来のIEM法では測定に手間を要した飽和付近($h > \text{約} -40 \text{ cm}$)の K - h 曲線が良好に測定できていた。

3.2 水分特性曲線の測定精度の検証

全供試体についてCOFEMとpF試験から得られた θ - h 曲線に対し、それぞれ対数正規分布モデル⁴⁾をフィッティングした。飽和体積含水率 θ_s は測定値を用いた。残留体積含水率 θ_r 、圧力水頭中央値 h_m 、間隙系分布の標準偏差 σ の3パラメータを最適化により求め、COFEMとpF試験の結果を比較したのが図3である。いずれもほぼ1:1の関係にあり、両手法でモデルパラメータにも違いがないことを示している。

以上からCOFEMは、非攪乱森林土壌に対して従来法であるpF試験と変わらない精度を有した実用性の高い手法であるといえる。

引用文献

- 1). Masaoka, N., and K. Kosugi. (2018): Improved evaporation method for the measurement of the hydraulic conductivity of unsaturated soil in the wet range, J. Hydrol., 563, 242-250.
- 2). 正岡直也, 小杉賢一郎. (2020): シリーズ『はかる』《実験・室内試験(9)》土壤水分特性試験(その3) 土の不飽和透水試験, 砂防学会誌, 73(4), 55-59.
- 3). 正岡直也, 小杉賢一郎. (2020): 蒸発法と流出法の組み合わせによる土壌不飽和水分特性の迅速な計測手法, 2020年度砂防学会研究発表会概要集, 275-276.
- 4). Kosugi, K. (1996): Lognormal distribution model for

unsaturated soil hydraulic properties, Water Resour. Res. 32, 2697-2703.

(連絡先: masaoka.naoya.7e@kyoto-u.ac.jp)

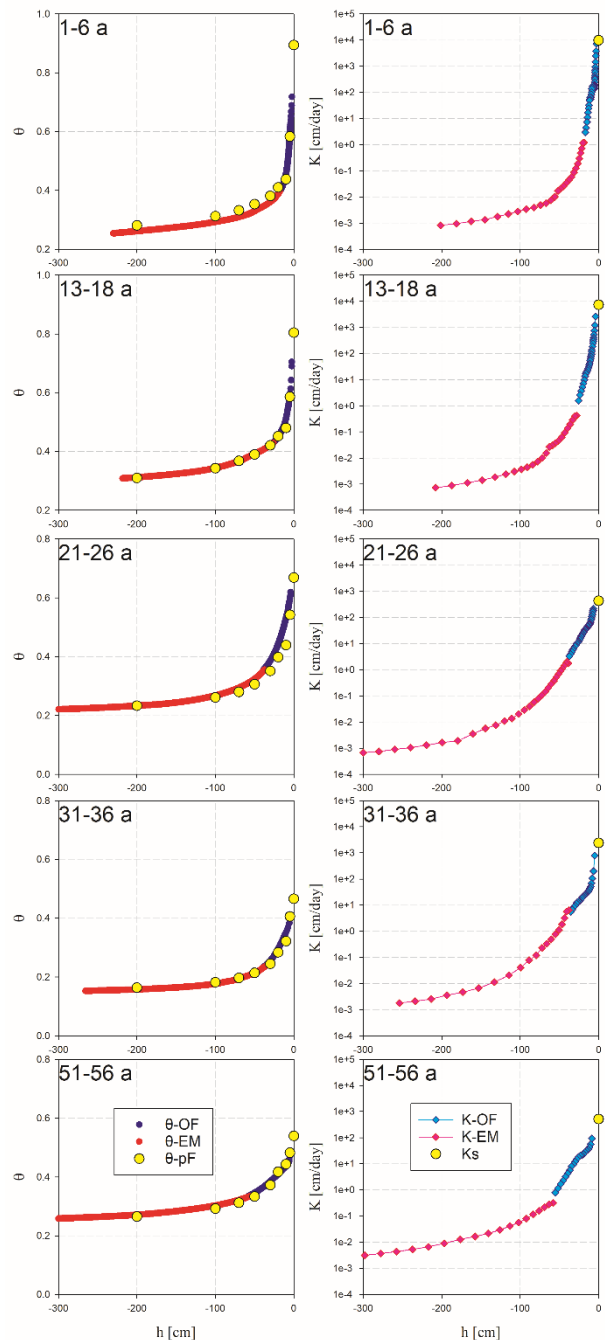


図2 各深度の θ - h と K - h 測定値

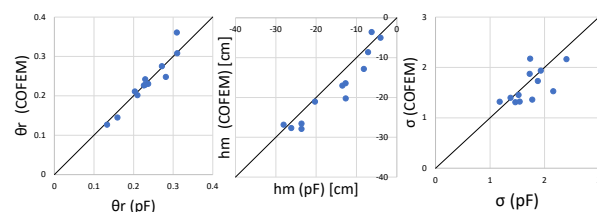


図3 パラメータ比較