

低土壌水分領域における水分特性曲線の適切な外挿

東京大学大学院 学生員 仲江川敏之
 東京大学 生産技術研究所 正会員 弘中 貞之 沖 大幹 虫明 功臣

1. 諸言

土壌の水分特性曲線は土壌の水分移動を解析する上で必要不可欠な土壌の特性である。土壌水分量とサクシヨンの関係は土壌によって大きくことなり、様々なフィッティング式が提案されている。しかしながら、これらのフィッティング式は pF3 以下の湿潤から飽和までを表すことが主眼とされており、低水分領域では土壌水分量とマトリックポテンシャルを計測した実験も少ない。本研究では、これまで主に計測されてきた pF3 以下のデータを有効に使いながら、低水分領域の水分特性曲線を適切に推定する手法について述べる。

2. 水分特性曲線の外挿の方法

高サクシオン領域の水分特性曲線が Brooks-Corey の巾乗型の関数として次のように表せる。

$$\theta = D\psi^B \dots\dots\dots (1)$$

ここで D と B は土壌毎に定まるパラメータである。この式には 2 つの未知パラメータが含まれているので、式形を決定するには 2 つの条件を与えれば良い。Ross ら [1991] は体積含水率が 0 となるマトリックポテンシャルを pF7 とし、さらに高水分域の水分特性曲線と式 (1) との交点で、連続かつ微分可能であるという条件を与えて、パラメータを同定している。本研究では 2 つ目の条件は Ross らに従うものとするが、ある高マトリックポテンシャル時の体積含水率を物理的に導き出し、その値を用いてパラメータの同定を行なう。

3. 単分子吸着土壌水分量の推定

水分子の土壌への単分子吸着の終了点は BET 理論によれば pF6.3 に相当する。この時土壌にどの程度保水されているかを見積もることができれば、式 (1) のパラメータを決定することができる。単分子吸着の終了時点での土壌水分量 θ_m は直接的には実験で求めることもできるが、実験データが無い場合、土壌の粒子が全て単層の水分子で覆われていると仮定すれば比表面積から求めることができる。その比表面積は粒径分布曲線から推定することが可能である。

比表面積 S が与えられれば、単分子吸着土壌水分量は水分子の断面積 s_{H_2O} から次のように表される。

$$\theta_m = \frac{M_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} \frac{S}{s_{H_2O}} \frac{1}{N_a} = 2.768 \times 10^{-7} S \dots\dots\dots (2)$$

但し $M_{H_2O}(= 18)$ は水の分子量、 $\rho_{H_2O}(= 1000\text{kg/m}^3)$ は水の密度、 $N_a(= 6.02 \times 10^{23})$ はアボガドロ数、水分子の断面積は $s_{H_2O} = 10.8\text{\AA}$ である。

4. 実験データへの適用とその結果

対象とする土壌は成田砂、関東ローム、まさ土の 3 種類とした。成田砂 (narita) は表層 5cm、関東ロームは 50cm(t50) と 200cm(t200)、まさ土は 30cm(y15130) と 60cm(y19960) の深さの計 5 つのサンプルである。図 1 にふるい分け試験による粒径と重量通過百分率の関係を示す。土壌のふるい分け試験は JIS の試験に準拠して行なわれたものであるので $1\mu\text{m}$ までの粒径は計測されているが、これより細かいものは計測されていない。

図 2 は単分子吸着土壌水分量と pF6 の近傍で実測された土壌水分量を比較した図である。単分子吸着土壌水分量は pF6.3 に相当する土壌水分量であるが、両者は良く一致していることが分かる。但し、関東ロームだけは若干大きく推定されてしまっている。数 10% 実験値と異なっているが、飽和体積含水率と推定値と実験値の差を比較すれば、この差は充分小さいと考えて良い。

吸引圧試験によって得られた $pF3$ 以下の水分量とマトリックポテンシャルの関係は van Genuchten 式によって表す。この式のパラメータは3変数の非線形最小自乗回帰によって求めた。このようにして求められた van Genuchten のパラメータと θ_m を用いて連立方程式を逐次近似で数値的に解き、高サクション領域での $\theta-\psi$ 関係のパラメータを求めた。図3にテンシオメータとサイクロメータを用いて計測された $\theta-\psi$ のプロットと本手法によって得られた水分特性曲線の結果を成田砂と関東ローム (t50) について示す。

5. 結果の考察

関東ローム (t50) では実測値と外挿された水分特性曲線は大変良く一致していると言える。成田砂では θ_m 近傍で、良い一致は見られなかったが、体積含水率が 0.10 未満の領域では良く一致している。先に述べたように一致していない $pF3$ 近傍はテンシオメータとサイクロメータ両者の測定限界域で、実験データ自体の信頼性も落ちているので必ずしも正確に一致する必要は無い。

以上から本稿で提案した推定手法により、低水分領域での水分特性曲線が精度良く外挿できることが示された。

References

Ross, P. J., J. Williams, and K. L. Bristow, Equation for Extending Water-Retention Curves to Dryness, *Soil Science Society of American Journal*, 55, 923-927, 1991.

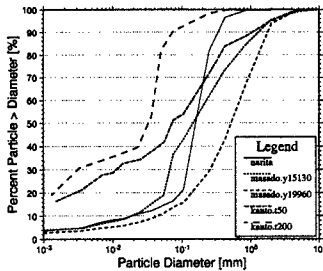


図1 ふり分け試験による粒径と重量通過百分率の関係。

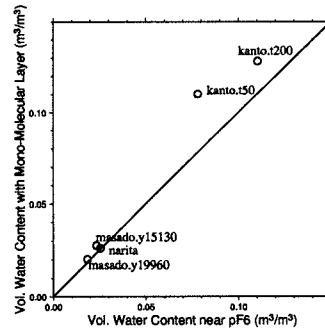
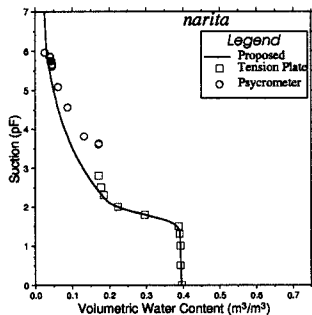
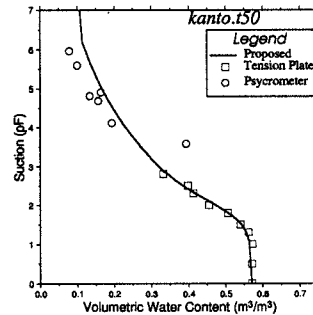


図2 単分子吸着土壌水分量と $pF6$ 近傍で実測された土壌水分量の比較。



(a) 成田砂。表層 5cm。



(b) 関東ローム (t50)。深度 50cm。

図3 各種土壌に対する湿潤から乾燥領域までの水分特性曲線。湿潤領域は van Genuchten の式を用いている。実測値は $pF3$ 以下の領域はテンシオメータで計測されたもので、 $pF3$ を超える領域はサイクロメータで計測された値である。