

水分特性曲線からの保水性指標の提案

中部大学工学部 学生会員 ○松原 祥平

中部大学工学部 正会員 杉井 俊夫 学生会員 浅野 憲雄

1. まえがき

土の保水性は斜面崩壊やヒートアイランド対策などに大きく影響し、注目されつつある物性である。また農学分野では、植物の育成に寄与するパラメータであり、工学よりも早くから研究されてきた。土の保水性は土壌物理学、土質力学の分野では水分特性曲線から判断されてきた。しかし、水分特性曲線は、研究面では多用されているが、一般に専門知識を持たない人には解り難い情報である。災害リスクや環境情報としてのハザードマップや環境マップは、一般に理解しやすい情報が必要であり「保水性が高い、低い」という情報をわかりやすく定量的に評価する指標をここに提案するものである。

水分特性曲線は図1に示すように保水性が高い粘土、シルトと保水性の低い砂、礫で違う形状を示す。一般に言われる保水性が高い土では低い土よりも水分特性曲線下部の面積が大きくなることから、この面積を保水性指数として検討を行った。なお、van Genuchten モデル¹⁾はサクション（圧力水頭）について積分不可能な関数であるため、今回は杉井ら²⁾の提案したモデル(1)を使用することにした。

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{1 + \exp(A + B \log_e |S|)} \quad (1)$$

ここに θ :体積含水率 θ_r :残留体積含水率

θ_s :飽和体積含水率 S :圧力水頭(cm)

A B :フィッティングパラメータ である。

2. 土の保水性の定量的評価

(1) 水分特性曲線モデル同定

杉井ら²⁾は水分特性曲線に式(1)のようなロジスティック曲線を用い、パラメータ A 、 B 、 θ_r を推定することを提案している。

まず $\ln(1/Se-1)$ と圧力水頭の対数(pF 値)との関係図(図2)を作成する。MS - Excel を用い、 θ_r を変化させながらグラフ上の $\ln(1/Se-1)$ と $\ln|hp|$ が線形関係

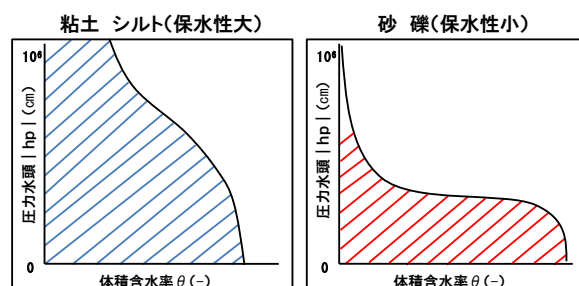


図1 土質別水分特性曲線

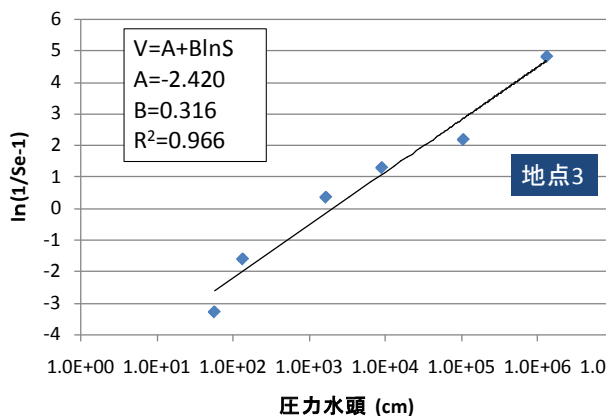


図2 フィッティング (A 、 B 、 θ_r) 算定過程

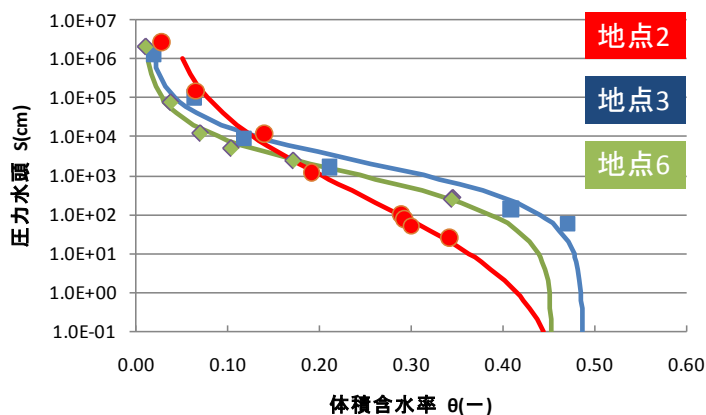


図3 算定した水分特性曲線

を持つように相関係数を見ながら θ_r を変化させる。(図2) 最も線形に近い(相関係数 R^2 が最大)となったとき、その θ_r を残留体積含水率とする。また勾配から B 、切片から A を求めることができる。van Genuchten モデルに比べて線形回帰として求めることができる利点を有している。推定したいいくつかの水分特性曲線を図3に示す。

(2) 土の保水性指数(WR)の算出

式(1)の曲線と圧力水頭で挟まれる面積を求める。なお、ここでは計算の簡便化から、従来使用されてきた $pF=\log[hp]$ を用い $pF=0\sim 6$ ($1\sim 10^6\text{cm}$) まで式(2)を hp について積分することとした。図4に土の保水性指数算出フローを示す。

$$WR = \int_{10^0}^{10^6} \left(\frac{\theta_s - \theta_r}{1 + e^{A + Bx}} + \theta_r \right) dx$$

(2)

3. 土の物性と保水性指数(WR)の関係

ある地点A～DでWRの値を比較してみた。(表1)図5はWRと強熱減量(Li)、塑性指数(Ip)の関係をグラフにしたものである。Liは有機物の含有量に相当し、有機物が多ければ保水性も高くなることが知られている。青色でプロットした点がLiとの関係だが、高くなるにつれWRも高くなりよい傾向に得られていると考えられる。Ipは粘土分が多いとその値も大きくなる。こちらも同じような傾向が見られ、保水性指数は一般の保水性の違いを表現していることがわかる。

4. 土の種類と保水性指数(WR)の関係

次に土質別にWRの値がどの範囲に存在するのかを検証してみた。複数ある土質は最大値から最小値までを範囲とし、一つしかないものはそのデータをプロットした。(図6)一般的に保水性が高いとされている関東ローム、クロニガはWRが高いところに分布している。まさ土の保水性はバラつきがあると言われているがこちらも同じくWRが広範囲に分布しており、土の種類により、保水性指数の範囲があるものと考えられる。

5. まとめ

今回の研究では今までうまく表すことができなかった θ_r を決めることができた。さらにWRで土の保水性を数値として表すことができた。今回は圧力水頭 $1\sim 10^6$ で積分をしたが、植生などの評価に使うときは植物の萎れ点である $-10^4.2\text{cmH}_2\text{O}$ までで積分を行う。このように用途に応じてWRの積分範囲を変化させていく必要があると考えられる。

【参考文献】

- 1) van Genuchten, M. Th.: A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Sci. Am. J., Vol. 44, pp. 892-898, 1980
- 2) 杉井俊夫・宇野尚雄: 新しい水分特性曲線のモデル化について、土木学会・第50回年次学術講演概要集, III-A, pp. 130-131, 1997.

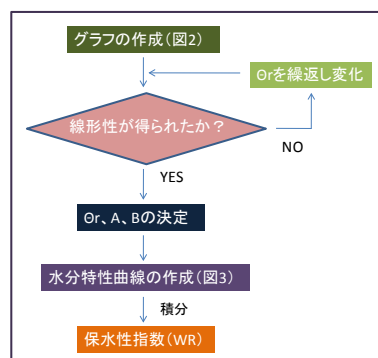


図4 保水性指数算出フロー

表1 各地点のデータ

	地点A	地点B	地点C	地点D
塑性指数 Ip	22.29	21.86	22.61	22.94
強熱減量 Li (%)	12.81	10.5	17.7	15.71
A	-2.769	-1.904	-5.542	-5.004
B	0.446	0.337	0.723	0.708
θ_r	0.0150	0.0226	0.0150	0.0084
WR	1.507	1.012	2.310	2.044

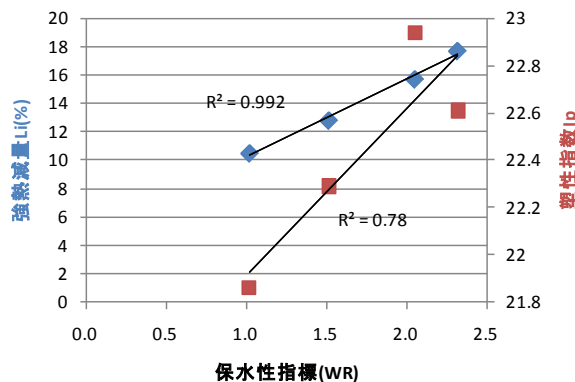


図5 保水性指数と強熱減量、塑性指数の関係

表2 土の種類ごとのデータ

資料名	A	B	θ_r	θ_s	ks(cm/s)	WR
砂丘砂	-15.33	4.077	0.042	0.403	2.9E-02	0.633
標準砂	-47.13	12.28	0.000	0.411	2.6E-02	0.667
まさ土A	-9.017	1.491	0.075	0.348	9.0E-03	1.625
まさ土B	-4.756	1.355	0.199	0.517	3.1E-02	0.467
まさ土C	-6.652	1.373	0.270	0.554	6.2E-03	1.094
まさ土D	-4.823	1.089	0.110	0.338	3.3E-04	0.886
クロボクA	-6.319	1.077	0.437	0.800	3.0E-02	1.539
クロボクB	-11.15	2.557	0.581	0.801	7.0E-04	0.893
クロニガ	-4.422	0.756	0.473	0.739	3.0E-02	1.501
アカホヤ	-6.352	1.204	0.412	0.785	1.0E-02	1.281
関東ローム	-6.822	0.934	0.218	0.760	4.5E-03	2.167
シラスA	-16.38	4.108	0.294	0.520	2.3E-04	0.731
シラスB	-12.12	2.467	0.128	0.600	1.0E-04	1.133
泥岩	-4.143	0.75	0.021	0.580	1.7E-07	1.348

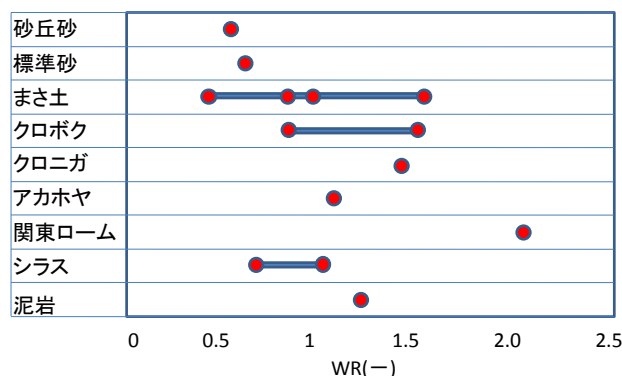


図6 土の種類別保水性指数分布