

フッ化炭素系撥水砂のぬれ性指標と水理特性

Wettability indices and hydraulic characteristics of fluorocarbon water-repellent sand

○竹内 潤一郎*・二宮 聖也*・河地 利彦*・長光 左千男†・美濃 規央

○Junichiro Takeuchi, Seiya Ninomiya, Toshihiko Kawachi, Sachio Nagamitsu, and Norihisa Mino

1 はじめに

これまで、オランダやニュージーランドをはじめ撥水性を有する土壌について世界各地で報告されており、作物の生育障害やその対策、利用方法、土壌の特性について研究がなされている^[1]。また、OTS (octadecyltrichlorosilane, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{SiCl}_3$) を用いて人工的に撥水性を付与した砂や疎水性のテフロン樹脂を粉碎して作成した多孔質媒体の水理特性(水分保持特性, 透水特性)についても研究が行われている^[2,3]。ここでは、フッ化炭素化合物を用いた撥水砂に関して、代表的な3つのぬれ性指標と2つの水理特性を測定したので報告する。

2 試料

豊浦標準砂(以下、標準砂)にフッ化炭素化合物($\text{CF}_3(\text{CF}_2)_8(\text{CH}_2)_2\text{SiCl}_3$)を用いて撥水性を付与したものを撥水砂(100%混合砂)とし、元の標準砂との質量混合率が0%, 25%, 50%, 75%, 100%の試料を作成する。また、試料を充填する時の密度は1.58 g/cmとする。

3 測定項目**3-1 水滴浸入時間**

水滴浸入時間は土壌の撥水性の程度を表わす指標で、土壌表面に滴下した水が浸入に要する時間である。また、水と接触すると物質の溶解等により撥水性が変化する土壌も存在しており、水滴浸入時間は撥水性の安定性を示す指標としても使われる。本試験に用いる試料の場合、フッ化炭素化合物は砂粒子の表面と化学的に結合しているため、撥水性の時間変化はないと考えられる。

Dekker・Ritsema(2000)は、水滴浸入時間によって撥水性の程度を以下の5つに分けている。(1) 5 s未満:wettable, (2) 5-60 s:slightly water-repellent, (3) 60-600 s:strongly water-repellent, (4) 600-3600 s:severely water-repellent, (5) 3600 s以上:extremely water-repellent。

内径4.8 cm高さ2.0 cmのアクリル円筒に、乾燥した試料を充填し表面を平らにした後、マイクロシリンジを用いて50 μl の水を3か所に滴下する。それぞれの水滴が浸入するまでの時間を測定し、その中央値を水滴浸入時間とする。

3-2 見かけの接触角

接触角は平らな固体の表面上の固相と液相表面が成す角度のことをいう。水との接触角が90度より小さいとその物質は親水性、90度より大きいと疎水性といわれる。砂のような粉粒体の場合、個々の粒子表面の接触角ではなく、粉粒体全体としての見かけの接触角が測定され、ぬれ性の指標とされる。見かけの接触角を測定する方法には、Sessile Drop法や90度表面張力法、毛管上昇法があるが、ここでは、Sessile Drop法を用いて見かけの接触角を測定する。

Sessile Drop法では、平らなアクリル板に両面テープを張り、乾燥した試料を2-3 cm^2 の面積に播き、3-5秒間軽く押さえ、付着していない粒子を取り除く。この作業を2回行い、両面テープ上に試料の砂粒子が一層分付着したものを作成する。そして、マイクロシリンジで重力の影響を無視できる50 μl の水を滴下し、真横からデジタルカメラで撮影した画像を用いて、見かけの接触角を測定する。

安中(2006)によると、異なる接触角 θ_1 , θ_2 を有する2種類の粒子が混合割合 $m(\%)$ で存在するときの見かけの接触角 θ はCassie式を用いて、

$$\cos \theta = (1 - m/100) \cos \theta_1 + (m/100) \cos \theta_2 \quad (1)$$

と表わすことができる。

3-3 水浸入圧

撥水性土壌では、通常の土壌のように自発的な浸潤は起こらず、十分な圧力を掛けると浸潤が発生する。この水の浸潤が発生する閾値を水浸入圧といい、この概念は、通常の土壌にも拡張できる。すなわち、通常の土壌の場合は水浸入圧は負圧となり、撥水性土壌は正圧となる。ここでは、正圧で浸潤が発生する場合の水深を測定し、水浸入圧とする。自発的な浸潤が発生する試料は、後述の水分特性曲線から水浸入圧を推定する。

通気性を確保するための目の細かい網を底に付けた内径4.8 cmのアクリル円筒に、試料をおよそ4 cm充填し、水を注いだ時に試料表面が乱されないようにペーパーフィルターで覆う。そして、水深を徐々に上昇させていき、水浸入が起こった水深を水

*京都大学大学院農学研究所 Graduate School of Agricultural Science, Kyoto University

†パナソニック株式会社先端科学研究所 Advanced Technology Research Laboratories, Panasonic Corporation
キーワード: WDPT, 接触角, 水浸入圧, 水分特性, 飽和透水係数

表 1：ぬれ性指標と飽和透水係数の実測値

Table 1: Measured values of wettability indices and saturated hydraulic conductivity

混合率 (%)	水滴浸入時間 (s)	見かけの接触角 (Cassie 式)(°)	水侵入圧 (cm)	飽和透水係数 (10^{-2} cm/s)
0%	0	14.8 (14.8)	-31.8	1.93
25%	> 3600	56.4 (53.1)	-23.7	1.89
50%	> 3600	73.8 (76.4)	-13.2	1.97
75%	> 3600	106.0 (97.5)	7.0	2.02
100%	> 3600	119.7 (119.7)	12.0	1.91

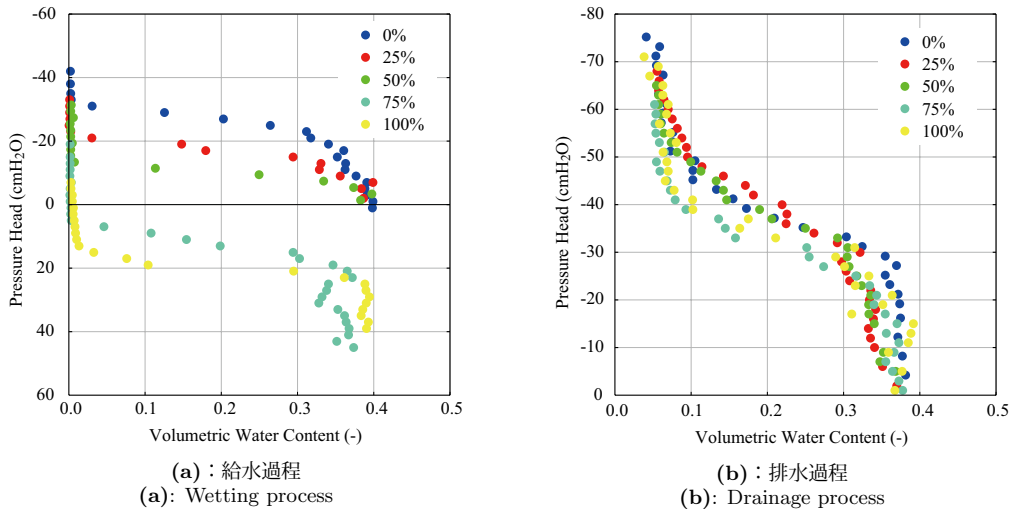


図 1：水分特性

Figure 1: Water characteristic

侵入圧とする。

3-4 水分特性

乾燥状態の試料への給水過程と飽和状態からの脱水過程に関する水分特性を砂柱法で測定する。内径が 4.8 cm 高さ 2.0 cm または 4.0 cm のアクリル円筒をビニールテープを用いて 80 cm 積み重ね、試料を充填する。試料円筒の上部は蒸発を防ぐため小孔を設けたラップで覆う。給水過程では、撥水性に応じて試料円筒を最大 60 cm まで水中に入れる。排水過程では、真空法で試料を飽和した後、いずれの試料も 5 cm の高さまで水につける。定常に達した後、試料円筒をばらし、炉乾前後の質量を量り含水量を求める。

3-5 飽和透水係数

真空法で飽和した試料を用い、定水位法で飽和透水係数を測定する。

4 測定結果

3つのぬれ性指標と飽和透水係数の結果を表 1 に示す。ただし、水侵入圧が負の値になるもの(0%, 25%, 50%混合砂)は、給水過程の水分特性曲線において体積含水率が 0.02 を超えたときの圧力水頭の値を水侵入圧とした。また、給水過程と排水過程の

水分特性曲線を図 1 に示す。

Cassie 式によって、標準砂と撥水砂の見かけの接触角から混合砂の見かけの接触角は精度よく推定されている。試料が撥水性であるか否かに関して着目すると、見かけの接触角と水浸入圧、給水過程の水分特性からは、混合率 50% と 75% の間で変化しているのが分かる。また、飽和透水係数と排水過程の水分特性は混合率にほとんど影響されないことが分かる。

5 まとめ

標準砂とフッ化炭素化合物を用いた撥水砂のぬれ性指標と水理特性を測定した。見かけの接触角と水浸入圧に対する撥水性有無の閾値(それぞれ 90°, 0 cm)から、混合率 50% と 75% で変化することが示され、これは給水過程における水分特性の結果とも矛盾しない。

参考文献

- [1] DeBano (2000), J.Hydrol., 231-232, pp.4-32. [2] Ustohal *et al.* (1998), J.Contam.Hydrol., 33, pp.5-37. [3] 安中 (2006), J.Jpn.Soc.Soil Phys., 102, 79-86. [4] Dekker and Ritsema (2000), J.Hydrol., 231-232, pp.148-164.