

# 有機及び無機土壌・多孔質体中への毛管上昇浸潤と 高濃度アニオン界面活性剤溶液の作用

石黒 宗秀\* 藤井 知和\*

\*岡山大学環境理工学部, 〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1.

## 要 旨

砂・ガラスビーズの無機物と、腐葉土・ピート・ポリエチレン粒子の有機物を試料として、毛管上昇浸潤試験を行い、各試料の浸潤特性を明らかにした。純水を浸潤させたところ、毛管上昇高は、水との親和性を示す接触角の小さい順に対応して、ガラスビーズ>砂>腐葉土>ピート>ポリエチレン粒子の順に高くなった。高濃度アニオン界面活性剤溶液の毛管上昇高は、腐葉土を除いて、無機物・有機物とも溶液との接触角に大きな差がないことを反映して、類似した実験結果となった。これは、界面活性剤による有機物表面の水との親和性増大に起因する。腐葉土は、活性剤添加に伴い膨潤率が增大して透水性が大幅に低下し、浸潤が抑制された。浸潤初期の毛管上昇速度が、浸潤前線吸引圧と飽和透水係数を用いた定数で評価できることを明らかにした。

キーワード：毛管上昇，浸潤，界面活性剤，接触角，表面張力，飽和透水係数，吸引圧

## 1. はじめに

土壌は一般に、降雨や散水により水を吸収するが、水をはじく撥水性土壌も報告され、その研究が行われている (Wallis and Home, 1992; Jonge et al., 1999)。水を良く吸収するかどうかは、水の有効利用や土壌保全面からも重要な指標である。

固体表面に対する液体のなじみやすさは、その接触角で評価できる (石黒・コパル, 2000; 石黒, 2003a)。接触角は、土壌中への水浸潤を規定する重要な物理量でもある。土壌中への水の毛管上昇は、次の毛管上昇高さ  $h$  を示す式からわかるように、土壌の接触角  $\theta$ 、液体の表面張力  $\gamma$ 、液体密度  $\rho$ 、土壌間隙の相当半径  $r$  によって規定される。

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r} \quad (1)$$

この関係を用いて、毛管上昇試験から、石英砂・腐植酸が吸着した石英砂 (仲谷, 1981) や、土壌 (Lety et al., 1962) の接触角が測定されている (石黒・コパル, 2000; 石黒, 2003a)。

界面活性剤は、水の表面張力を低下させる。また、固体表面の物理化学的性質を変える作用を持つため、接触角にも影響を及ぼす (石黒, 2003b)。従って、界面活性剤は、毛管上昇浸潤に影響を及ぼす。界面活性剤は、洗剤やシャンプー等の主材料として多量に消費され、環境中に放出される。また、農薬や肥料の助剤として添加されているため、その土壌中における影響を明らかにすることも重要となっている。

本研究は、種々の有機及び無機土壌・多孔質体を用いて、毛管上昇浸潤試験を行い、その浸潤特性を明らかにすることを目的とする。また、高濃度アニオン界面活性剤溶液を

用いて毛管上昇浸潤試験を行い、水浸潤と界面活性剤溶液浸潤の特徴を明らかにする。ここでは、水浸潤に対する吸着の影響を無視できるように、高濃度の界面活性剤溶液を用いた。

## 2. 実験方法

### 2.1 試料

実験試料として、ガラスビーズ・砂 (豊浦砂)・腐葉土・ピート・ポリエチレン粒子を用いた。腐葉土とピートは園芸用市販品を、ポリエチレン粒子は三井化学のハイゼックスミリオン 340M を用いた。試料の物性を Table 1 に示す。

各試料は、表面の汚れを落とし、吸着イオンが存在する場合は Na のみにするため、次のような前処理をした。ガラスビーズの前処理は、①トルエン原液で攪拌、②6 時間浸漬後ろ過、③マッフル炉 450°C で 6 時間加熱後、冷却、④6N 塩酸で攪拌、6 時間浸漬後、ろ過の順で行った。ポリエチレン粒子は、エタノール原液で攪拌 6 時間浸漬後ろ過した。砂、腐葉土、ピートは、0.85 mm 篩を通過し、0.075 mm 篩残留分を用いた。何れの試料も、それぞれの処理後さらに、1 mmol・l<sup>-1</sup> NaCl で攪拌ろ過した後、蒸留水で十分ろ過洗浄し、30°C で 24 時間炉乾燥させて用いた。

### 2.2 毛管上昇試験

乾燥試料を内径 2 cm のアクリルカラムに均質に充填し、Fig.1 に示すように、試料カラム下端から液体を毛管上昇させ、浸潤先端の毛管上昇高さの変化を観察した。浸潤実験中は、水面から試料カラム下端までの深さが 20 cm となるように制御した。カラム充填時の間隙率を、Table 1 に示す。実験は、25°C で行った。

Table 1 試料の物性と毛管上昇試験における間隙率・相当半径・吸引圧・前進接触角。

Physical properties of the materials and, porosities, equivalent radii, suctions and advancing contact angles in the capillary rise experiments.

試料	平均粒径 mm	粒子密度 g·cm <sup>-3</sup>	間隙率 %	相当半径 mm	吸引圧 $h$		前進接触角 $\theta$	
					純水 cm	0.7 mol·l <sup>-1</sup> SDS cm	純水 °	0.7 mol·l <sup>-1</sup> SDS °
ガラスビーズ	0.10	2.47	40.5	0.027	21.8	6.97	50	67
砂	0.35	2.67	46.9	0.034	13.6	6.17	60	65
腐葉土	0.30	1.75	74.9	0.080	2.5	-14.0	84	— (cos $\theta$ =-1.14)
PEAT	0.24	1.55	91.6	0.050	-3.5	5.56	99	56
ポリエチレン粒子	0.11	0.93	35.5	0.042	<-20	6.37	>125	70

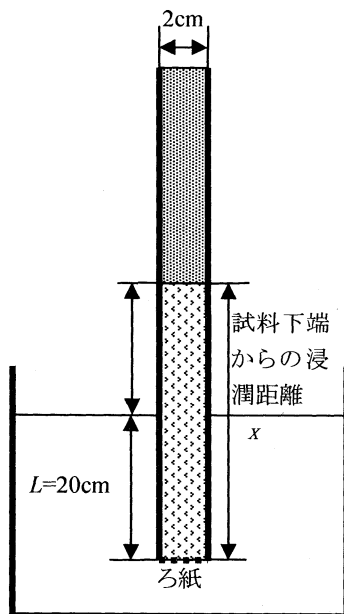


Fig.1 毛管上昇試験の模式図。

Schematic representation of a capillary rise experiment.

浸潤溶液には、純水と 0.7 mol·l<sup>-1</sup> のドデシル硫酸ナトリウム溶液を用いた。ドデシル硫酸ナトリウム CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>11</sub>OSO<sub>3</sub>Na (以後 SDS と記す) は、アニオン界面活性剤で、25°C における臨界ミセル濃度は 8.2 mmol·l<sup>-1</sup> であり、水溶液の表面張力は、その濃度以上では 38.5 mN·m<sup>-1</sup> である。表面張力は、Wilhelmy 法で求めた。界面活性剤は、固体表面に吸着し、毛管上昇中に浸潤先端溶液の濃度が変化する可能性があるため、その濃度変化が無視できる高濃度の 0.7 mol·l<sup>-1</sup> 溶液を用いた。

純水と SDS 溶液による試料粒子表面との前進接触角を測定するため、エタノールの毛管上昇浸潤試験を行った。

### 2.3 膨潤試験

乾燥試料を毛管上昇試験と同様に内径 2 cm のアクリルカラムに 10 cm の厚さになるように均質に充填した。下端から純水を毛管上昇させて飽和状態にし、飽和後の試料カラムの厚さを測定した。0.7 mol·l<sup>-1</sup> の SDS 溶液についても同様の試験をした。

### 2.4 飽和透水係数の測定

膨潤試験で用いた試料カラムを用いて、飽和条件下で変水頭法によりそれぞれの飽和透水係数を測定した。

### 2.5 液体の粘性係数の測定

純水と 0.7 mol·l<sup>-1</sup> SDS 溶液の 25°C における粘性係数を、BL 型粘度計 ((株) トキメック) で測定した。

### 3. ダルシー則による毛管上昇式と接触角の計算

毛管上昇の式は、ダルシー則と質量保存則から、次式で与えられる (仲谷, 1981; 石黒, 2003b)。

$$\varepsilon \frac{dx}{dt} = k \frac{h - (x - L)}{x} \quad (2)$$

ここで、 $x$  は試料カラム下端からの浸潤距離、 $t$  は時間、 $k$  は飽和透水係数、 $h$  は浸潤前線吸引圧 (以後吸引圧と記す)、 $\varepsilon$  は体積含水率、 $L$  は試料カラムの水面下の深さ (= 20 cm) を表す。これを变形すると、

$$\frac{dx}{dt} = \frac{k}{\varepsilon} (h + L) \frac{1}{x} - \frac{k}{\varepsilon} \quad (3)$$

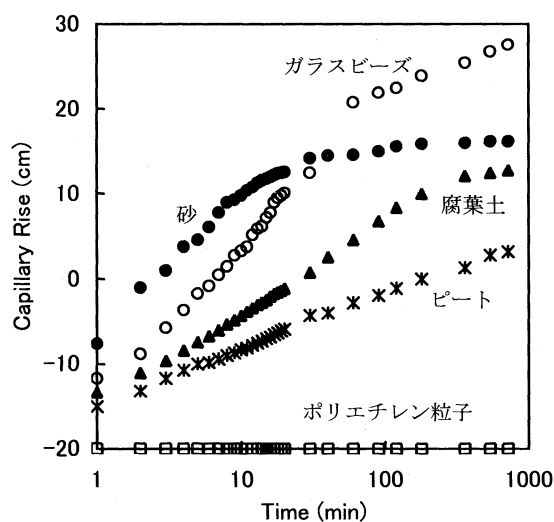
となる。測定した試料カラム下端からの浸潤距離  $x$  と時間  $t$  の関係を用いて、縦軸に浸潤先端の移動速度  $dx/dt$  を取り、横軸に  $1/x$  の値を取る。  $k$ 、 $\varepsilon$ 、 $h$  が浸潤中一定値を保っていれば、(3)式からわかるように、測定値は直線上に乗る。この直線が横軸と交わる点の浸潤距離  $x$  を求めて、飽和浸潤時の浸潤先端における吸引圧、 $h = x - L$  を得る。  $h$  と前進接触角  $\theta$  の間には、(1)式の関係があるから、 $\theta = 0$  のエタノールで  $h$  を求めて試料間隙の相当半径  $r$  を計算する。純水と SDS 溶液について  $h$  を求めれば、(1)式における未知数は表面張力  $\gamma$  と前進接触角  $\theta$  となる。浸潤先端における  $\gamma$  の値が既知であれば、前進接触角  $\theta$  が得られる。ここで求められる  $\theta$  は、 $h$  から計算される毛管上昇中の見かけの接触角であり、直接観察により求められる静的な接触角とは異なる。なお、SDS 溶液の液体密度は純水とほとんど変わらず、両者とも 1.0 g·cm<sup>-3</sup> として計算した。

(3)式の右辺第 1 項は圧力による項、第 2 項は重力による項である。重力の寄与が圧力の寄与に比べて無視できる場合、つまり、 $(h+L) \gg x$  の場合、浸潤先端の移動速度  $dx/dt$  は  $(h+L) k/\varepsilon$  の値に比例することが(3)式からわかる。こ

**Table 2** 10 cm 試料カラムの膨潤率と飽和透水係数及び速度係数.

Expansion ratios and saturated hydraulic conductivities of the material columns with 10cm length, and velocity coefficients.

試料	膨潤率		飽和透水係数		速度係数 ( $h+L$ ) $k/\epsilon$	
	純水	0.7 mol·l <sup>-1</sup> SDS	純水	0.7 mol·l <sup>-1</sup> SDS	純水	0.7 mol·l <sup>-1</sup> SDS
	%	%	cm·s <sup>-1</sup>	cm	cm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>	cm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>
ガラスビーズ	-0.3	-0.3	1.1×10 <sup>-2</sup>	3.2×10 <sup>-3</sup>	1.10	2.2×10 <sup>-1</sup>
砂	-0.1	-1.3	3.0×10 <sup>-2</sup>	7.5×10 <sup>-3</sup>	2.16	4.2×10 <sup>-1</sup>
腐葉土	4.0	8.3	1.6×10 <sup>-2</sup>	4.9×10 <sup>-4</sup>	0.48	3.9×10 <sup>-3</sup>
PEAT	3.7	4.3	1.3×10 <sup>-2</sup>	8.2×10 <sup>-3</sup>	0.24	2.3×10 <sup>-1</sup>
ポリエチレン粒子	—	2.7	—	3.8×10 <sup>-3</sup>	—	2.8×10 <sup>-1</sup>

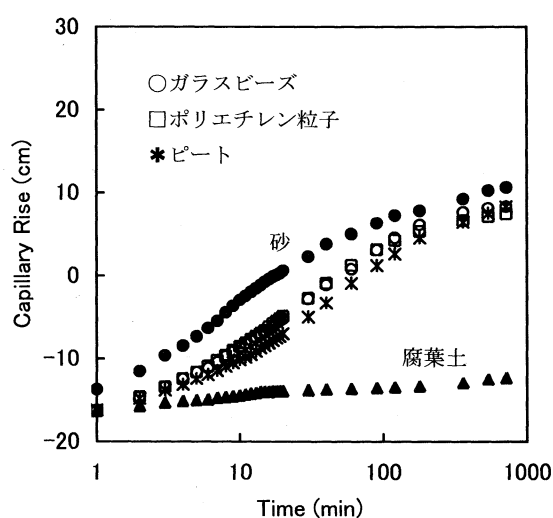
**Fig. 2** 純水を浸潤させたときの毛管上昇高の変化.  
Capillary rise during pure water seepage.

の係数 ( $h+L$ )  $k/\epsilon$  を、測定した飽和透水係数・間隙率・吸引圧から計算する。

#### 4. 実験結果と考察

純水を種々試料カラムに浸潤させた場合の毛管上昇高の変化を、**Fig. 2** に示す。毛管上昇は、ガラスビーズ>砂>腐葉土>PEATの順に高く、ポリエチレン粒子では、20 cmの水圧があっても全く侵入しなかった。(3)式の関係から導かれる吸引圧は、**Table 1** に示すように毛管上昇高の順に大きい。この吸引圧と(1)式から求められる前進接触角は、**Table 1** に示すように、ガラスビーズ<砂<腐葉土<PEAT<ポリエチレン粒子の順に小さく、毛管上昇が接触角によって決まっていることが明白である。毛管上昇試験における相当半径は、**Table 1** に示すように、試料間で大きな相違がないため、このような結果になったと考えられる。

浸潤初期に、砂の方がガラスビーズより毛管上昇が速く、その後逆転しているが、これは粒子配列が相似であれば飽和透水係数は平均粒径の自乗に比例するため(コゼニー・カルマンの式; 例えば Bear, 1972)、粒径の大きな砂の方が初期の上昇速度が速くなったものと考えられる。そして、

**Fig. 3** アニオン界面活性剤溶液を浸潤させたときの毛管上昇高の変化.  
Capillary rise during an anionic surfactant solution seepage.

ほぼ砂の毛管上昇が終了後に前進接触角の小さく間隙径の小さなガラスビーズの毛管上昇が最終的に上回ったと考えられる。初期浸入時の浸潤速度に比例する係数 ( $h+L$ )  $k/\epsilon$  は、**Table 2** に示すように、砂>ガラスビーズ>腐葉土>PEATの順に大きく、初期の毛管上昇高測定結果(**Fig. 2**)の高さの順に対応している。測定した飽和透水係数は、**Table 2** のとおりである。砂の値の方がガラスビーズの値より大きく、前述の平均粒径からの飽和透水係数の推測と一致している。飽和透水係数が同じであれば、水との前進接触角が小さいほど毛管上昇が速くなると言える。つまり、この結果は、飽和透水係数がほぼ同じであれば、水にぬれやすい親水性試料ほど浸潤しやすいことを示している。なお、**Table 1** の純水の吸引圧が負の値となる前進接触角が大きな試料は、いわゆる撥水性の試料であり、純水の浸潤が抑制されやすいことがわかる。

0.7 mol·l<sup>-1</sup> の SDS 溶液を種々試料カラムに浸潤させた場合の毛管上昇高の変化を、**Fig. 3** に示す。毛管上昇は、初期に砂が最も高いものの、約 1000 分後には、ガラスビーズ・砂・PEAT・ポリエチレン粒子はほぼ同じ高さになり、腐葉土のみ上昇が抑制された。吸引圧と前進接触角も、**Table 1** に示すように腐葉土を除く 4 試料では 5.56~6.97

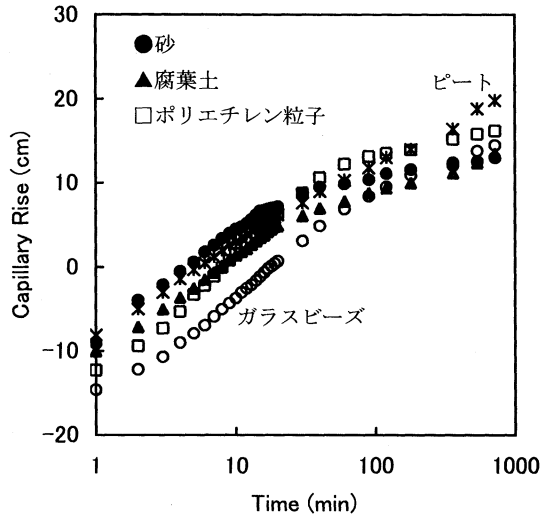


Fig.4 エタノールを浸潤させたときの毛管上昇高の変化。  
Capillary rise during ethanol seepage.

cm 及び  $56 \sim 70^\circ$  の近い範囲にある。疎水性のポリエチレン粒子やピートは、界面活性剤の作用により水溶液にぬれやすくなって、その接触角が小さくなり、純水の場合より毛管上昇しやすくなっている。ガラスビーズと砂の前進接触角は、純水の場合より少し大きな値を示したが、変化は大きくない。ポリエチレン粒子とピートの吸引圧が負から正の値に増加したのに対し、ガラスビーズと砂の吸引圧は、それぞれ約  $1/3$  と約  $1/2$  に低下している。これは、純水の表面張力が  $72.0 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$  であるのに対し、 $0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  の SDS 溶液の表面張力が  $38.5 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$  と約  $1/2$  に低下したことが大きな原因であることが、(1)式からわかる。初期の毛管上昇速度に比例する係数  $(h/L) k/\varepsilon$  は、Table 2 に示すように、砂 > ポリエチレン粒子  $\geq$  ピート  $\geq$  ガラスビーズ > 腐葉土の順に大きく、この場合も初期の毛管上昇高測定結果の高さの順 (Fig.3) に対応している。

$0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  SDS 溶液の毛管上昇高の結果は、腐葉土を除いて、前進接触角、吸引圧、速度係数  $(h/L) k/\varepsilon$  の試料間差が小さいことが純水の場合と異なり、腐葉土以外の毛管上昇高測定値が類似した。界面活性剤による水と疎水性固体界面の親和性増大が、親水性粒子と疎水性粒子の水浸潤の相違を大幅に減少させたと考えられる。初期の砂の上昇高が大きいのは、砂の速度係数  $(h/L) k/\varepsilon$  が他より  $1.5 \sim 1.9$  倍大きいことから、砂の  $k$  がピート以外の試料の  $k$  より大きく、砂の  $\varepsilon$  がピートの  $\varepsilon$  より小さいため、砂の初期毛管上昇速度が他より大きくなったためであることがわかる。

Fig.4 は、エタノールを試料カラムに浸潤させた場合の毛管上昇高の変化である。エタノールは全ての試料と前進接触角が  $0^\circ$  になると見なせる (Letey et al., 1962)。従って、Fig.4 の結果は、前進接触角に試料間の相違がない場合の結果である。それを反映して、試料間の相違は小さい。浸潤初期においては、腐葉土・ピート・ポリエチレン粒子の有機物試料の値が、砂・ガラスビーズの無機物試料の値の間にほぼ集まっている。エタノールの  $25^\circ\text{C}$  における表

面張力は、 $22.0 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$  であり、純水の  $72.0 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$  と比較して小さいため、ガラスビーズと砂の毛管上昇高は、純水の場合より小さくなっている。

膨潤試験での膨潤率を Table 2 に示す。膨潤率は、風乾試料を  $10 \text{ cm}$  の厚さに充填後、純水あるいは  $0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  の SDS 溶液を毛管上昇させ、上端面が飽和したときの試料厚さを計り、増加長さを元の長さ  $10 \text{ cm}$  で除した割合を百分率で表した値である。ガラスビーズと砂は、 $-0.1 \sim -1.3\%$  と若干の減少で、ほとんど変化がない。特に、ガラスビーズでは、膨潤率は液体間の違いが認められなかった。一方、腐葉土・ピートの有機物試料は、 $3.7 \sim 8.3\%$  の膨潤率を示し、水の浸潤に伴い膨潤することがわかる。ピートは純水で  $3.7\%$ 、 $0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  SDS 溶液で  $4.3\%$  と両者の相違は小さかった。しかし、腐葉土は純水で  $4.0\%$ 、 $0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  SDS 溶液で  $8.3\%$  と、後者の膨潤率が大きかった。

Table 2 に示すとおり、腐葉土の飽和透水係数は、純水で  $1.6 \times 10^{-2} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  SDS 溶液で  $4.9 \times 10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  と大幅に低下している。高濃度 SDS 溶液の浸入により膨潤し、大きな構造変化を起こしたためと考えられる。これは、一般に、疎水性表面に界面活性剤の疎水基が吸着して親水基を外側へ向ける (石黒, 2003b) ため、腐葉土表面において同様の現象が起こり、吸着した界面活性剤の親水性の負荷電部分が外表面となって腐葉土粒子間に反発力が働き、膨潤して粗間隙を狭めたため、飽和透水係数が大幅に減少したのではないかと考えられる。このメカニズムを明らかにするためには、腐葉土の表面荷電特性を調べる必要がある。ピートも疎水性部分を持つため、同様の現象が起こっても良さそうに思われるが、 $0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  SDS 溶液による飽和透水係数は腐葉土の場合のような小さな値にはなっていない。両者の吸着量や吸着特性の相違が原因と推測され、今後の検討を要する。

ポリエチレン粒子は純水を強くはじくため、純水を十分に毛管上昇させられず、その膨潤率を測定できなかった。 $0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  SDS 溶液でその膨潤率は  $2.7\%$  で、腐葉土・ピートより小さかった (Table 2)。

毛管上昇試験では、 $60 \text{ cm}$  程度の厚さまで試料を充填した点が、 $10 \text{ cm}$  の厚さの膨潤試験の場合と異なるが、同じアクリルカラムと浸潤方法であるため、膨潤試験と同様の構造変化が起こったと見なせる。実際、腐葉土とピートの場合、毛管上昇試験において膨潤による上端面の隆起が観察された。

飽和透水係数は、純水の値が測定できなかったポリエチレン粒子を除き、 $0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  SDS 溶液の値が純水の値より小さくなっている。飽和透水係数は、粘性係数に逆比例する (Hillel, 1971)。粘性係数の測定結果は、純水で  $0.89 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 、 $0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  SDS 溶液で  $1.99 \text{ mPa} \cdot \text{s}$  であった。粘性が大きくなったための液体流動性の変化による透水係数低下率は、 $0.89 \div 1.99 = 0.45$  と見積もられる。 $(0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ SDS 溶液の透水係数}) \div (\text{純水の透水係数})$  の値は、ガラスビーズで  $0.30$ 、砂で  $0.25$ 、腐葉土で  $0.030$ 、ピートで  $0.64$  である。

ガラスビーズの値は、 $0.45$  より小さいが、大きな相違ではなく、粘性係数の変化が透水係数に影響したと考えられ

る。砂の値はガラスビーズの値よりさらに小さいが、砂の膨潤率が純水より  $0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  SDS 溶液で若干負側に大きくなっていることから、粒子の再配列による影響も透水係数を若干低下させた一因ではないかと思われる。ピートの値は  $0.45$  より少し大きい、これは、 $0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  SDS 溶液の接触角が  $56^\circ$  に対し、純水の接触角が  $99^\circ$  となったことから、純水の浸潤において空気が若干封入したためではないかと思われる。接触角が  $90^\circ$  以下の場合、細い間隙中の吸引圧は太い間隙中の吸引圧より大きく、均一に浸潤しやすい(田淵, 1971)のに対し、接触角が  $90^\circ$  以上の場合、細い間隙中は太い間隙中より吸引圧が小さく、浸潤過程で相対的に狭い間隙に水が十分浸潤しなかった可能性がある。腐葉土の1オーダー小さな値は、前述の膨潤の影響と考えられる。

腐葉土に  $0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  SDS 溶液を浸潤させた際の接触角は、 $\cos \theta < -1$  となり計算できなかった。接触角の計算は、エタノールの浸潤で測定した相当半径を用いるため、試料構造にエタノール浸潤時との相違がないことが前提となる。しかし、 $0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  SDS 溶液を浸潤させた条件では試料構造の大きな変化が起こったと考えられるため、正しい値が得られなかったと考えられる。エタノールを用いた膨潤試験では、腐葉土で膨潤率が約 2%、ピートで約 3%であった。ピートの場合、純水による膨潤率は 3.7%で、エタノールの値と大きな相違がない。腐葉土の場合、純水による膨潤率 4.0%と比較してエタノールの値 2%は小さいため、厳密な前進接触角の値を求めることは出来ないと思われるが、相対的な傾向を知る上では有効と考えられる。

## 5. 結論

ガラスビーズ・砂・腐葉土・ピート・ポリエチレン粒子を用いて毛管上昇浸潤試験を行い、それぞれの浸潤特性を明らかにした。純水の毛管上昇高は、純水との前進接触角が小さな順に対応して、ガラスビーズ>砂>腐葉土>ピートの順に高く、ポリエチレン粒子では、20 cmの水圧があっても全く侵入しなかった。純水は、水との親和性が大きい無機物=ガラスビーズ・砂に浸潤しやすく、水との親和性が小さな有機物=腐葉土・ピート・ポリエチレン粒子に浸潤しにくい結果が確認された。 $0.7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  SDS 溶液の毛管上昇高は、腐葉土を除いて、無機物試料・有機物試料とも溶液との前進接触角に大きな差がないことを反映して、類似した実験結果となった。これは、界面活性剤により有機物表面と水の親和性が増大したことに起因する。ただし、腐葉土のみは透水性が大きく低下し、浸潤が抑制された。これは、SDSの腐葉土表面への吸着により、表面の性質が

変化し、腐葉土粒子が膨潤したことが原因と考えられた。

無機物であるガラスビーズと砂の毛管上昇高と毛管上昇速度は、SDSの添加により、表面張力が減少したため低下した。一方、有機物のピートとポリエチレン粒子の毛管上昇高と毛管上昇速度は、前進接触角減少により増加した。

浸潤初期の毛管上昇速度は、係数  $(h/L) k/\epsilon$  に比例し、これによって現象を評価できることを明らかにした。

土壌表面と水の親和性が、土壌中での水浸潤に大きな影響を与える。従って、土壌の表面特性や、土壌粒子表面と水の親和性を変えるような物質が何らかの形で入ると、土壌圏における水収支に大きな影響を及ぼすことになる。

謝辞：試料の前処理法に関して、貴重なご教示を岡山大学環境理工学部吉澤秀和博士から戴いた。ここに謝意を表す。

本研究は、科研費(14560198)の助成を受けて行った。

## 引用文献

- Bear, J. (1972): Dynamics of fluids in porous media, Dover, p.166.  
 Hillel, D. (1971): 土壌物理学概論, 養賢堂, p.90  
 石黒宗秀(2003a): 土のぬれと接触角, 足立泰久・岩田進午編, 土のコロイド現象, 学会出版センター, p.360-373.  
 石黒宗秀, ルーク・コバル(2000): ぬれと接触角の熱力学, 農土学会誌, 68(1), p.75-82.  
 石黒宗秀(2003b): 界面活性剤とその作用, 足立泰久・岩田進午編, 土のコロイド現象, 学会出版センター, p.384-396.  
 Jonge, L. W., Jacobsen, O. H. and Moldrup, P. (1999): Soil water repellency: Effects of water content, temperature, and particle size, Soil Sci. Soc. Am. J., 63(3), p.437-442.  
 Letey, J., Osborn, J. and Pelishek, R. E. (1962): Measurement of liquid-solid contact angles in soil and sand, Soil Sci., 93(3), p.149-153.  
 仲谷紀男(1981): 有機物が関与する土壌の水分特性について, 農技研報 B, 32, p.1-74.  
 田淵俊雄(1971): 粒子層における「浸潤と毛管力」, 研究の資料と記録第 19 集, 東大農地工学研究室.  
 Wallis, M. G. and Horne, D. J. (1992): Soil water repellency, Advances in Soil Sci., 20, p.91-146.

[2003. 11. 6. 受稿, 2004. 3. 8. 閲読了]

[この研究論文に対する公開の質疑あるいは討議(4,000字以内, 農業土木学会論文編集委員会あて)は, 2004年10月24日まで受け付けます。]

## Capillary Rise in Organic and Inorganic Soils and Porous Media, and Effect of High Concentrate Anionic Surfactant Solution

ISHIGURO Munehide\* and FUJII Tomokazu\*

\*Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Okayama 700-8530,  
JAPAN

### Abstract

Infiltration characteristics in inorganic particles of a sand and a glass beads, and organic particles of a leaf mold, a peat and a polyethylene, are clarified by capillary rise experiments. The capillary rise of pure water became higher in the order of glass beads>sand>leaf mold>peat>polyethylene, which corresponded to the smaller order of contact angle between water and the solid particle. That corresponded to hydrophile property. The capillary rise of a high concentrate anionic surfactant solution was similar among those particles, except the leaf mold, because there was not large difference of contact angles. The anionic surfactant changed the surface of the organic particles to be hydrophilic. The saturated hydraulic conductivity of the leaf mold decreased significantly when the surfactant solution was percolated. The decrease was due to the swelling of the leaf mold that adsorbed the anionic surfactant. The capillary rise velocity was well evaluated by the coefficient included the hydraulic conductivity and the suction of the wetting front.

**Key words :** *Capillary rise, Infiltration, Surfactant, Contact angle, Surface tension, Saturated hydraulic conductivity, Suction*