研究論文

農業土木学会論文集
Trans. of JSIDRE
No. 236, pp. 53 ～ 59 (2005.4)

土・多孔質体中の毛管上昇浸潤に及ぼすアニオン界面活性剤溶液濃度の影響

石黒宗秀*　藤井知和**　赤江剛夫*

*岡山大学環境理工学部，〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1.
**デュポン株式会社，〒100-6111 東京都千代田区永田町 2-11-1.

要　旨

界面活性剤は，洗剤・シャンプー・肥料や農薬の添加剤として利用され，多量に環境中へ放出されている．そのため，土壌環境中への影響も懸念される．ここでは，アニオン界面活性剤溶液濃度の相違が土壌への水浸潤に及ぼす影響を明らかにするため，種々濃度のドデシル硫酸ナトリウム溶液（SDS）を乾燥試料カラムに毛管浸潤させ，その浸潤前線の変化を測定した．毛管上昇式を提案し，計算毛管上昇曲線を用いて SDS 溶液の影響を明確にした．親水性無機試料のガラスビーズ，砂では，SDS 濃度増加に伴い，溶液の表面張力低下のため浸潤が遅くなった．疎水性有機試料のポリエチレン粒子，ピートでは，SDS 濃度増加に伴い，主に前進接触角減少のため浸潤が速くなった．腐葉土では，SDS 濃度増加に伴い浸潤が遅くなった．これは，高濃度になると膨潤性が増し，透水性が低下したためと推測された．

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

界面活性剤は，合成洗剤・シャンプーや，農薬の乳化剤・水和剤，肥料の固結防止剤などとして使用されている．日本における最近 10 年間の合成洗剤販売量は，年間約 100 万 t に上り，合成界面活性剤は，多量に環境中へ放出されている（長谷川，2000）．合成界面活性剤は，細胞膜を破壊するため，その環境中への放出は，生命体及び生態系に影響を及ぼす（日本消費者連盟編，1991）．また，固体表面の性質を変えたり，水の表面張力を低下させる作用があるため，土壌中での水・物質移動に影響を及ぼすものと考えられる（石黒，2003a）．石黒・藤井（2004）は，粒径のほぼ同じ試料を用いて，土・多孔質体中への水浸潤速度は，水との接触角，つまり固体表面の水との親和性に大きく左右されることを示した．そして，高濃度のアニオン界面活性剤溶液を用いると，疎水性試料も界面活性剤によって水との親和性が増加するため，固体表面の親水性・疎水性にかかわらず水浸潤速度がほぼ同じになることを明らかにした．また，腐葉土では，高濃度アニオン界面活性剤溶液の浸潤により膨潤し透水係数が低下するため，腐葉土への浸潤は遅くなることを示した．しかし，界面活性剤溶液濃度の相違が，土・多孔質体中への水浸潤に及ぼす影響については，明らかにされていない．

土壌中への水の毛管上昇は，次の毛管上昇高さ h（m）を示す次式からわかるように，粉体との接触角 θ，液体の表面張力 γ（$N \cdot m^{-1}$），液体密度 ρ（$kg \cdot m^{-3}$），土壌間隙の相当半径 r（m）によって規定される．

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g r} \tag{1}$$

ここで，g（$m \cdot s^{-2}$）は重力加速度である．この関係を用いて，毛管上昇試験から，土壌や多孔質体の見かけの接触角が測定されている（Lety ら，1962；仲谷，1981；石黒・コパル，2000；石黒，2003b；石黒・藤井，2004；川本・Banyar，2004）．

本研究は，アニオン界面活性剤溶液濃度の相違が，乾燥状態の種々の土壌や多孔質体中への毛管上昇水浸潤に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする．

2. 実験方法

2.1 試料

実験試料として，ガラスビーズ，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．試料の物性と前処理法は，既報（石黒・藤井，2004）に同じである．

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，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．実験は，25℃で行った．

浸潤溶液には，0，3.5，7.0，21，70，700 $mmol \cdot l^{-1}$ 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

Table 1　計算前進接触角とSDS溶液の表面張力及び粘性係数.
Calculated proceeding contact angles, surface tensions and viscosities of SDS solutions.

		浸潤SDS溶液濃度					
		0 mmol・l^{-1}	3.5 mmol・l^{-1}	7 mmol・l^{-1}	21 mmol・l^{-1}	70 mmol・l^{-1}	700 mmol・l^{-1}
前進接触角	ガラスビーズ	50°	47°	46°	54°	56°	67°
	豊浦砂	60°	59°	61°	59°	59°	65°
	腐葉土	84°	86°	90°	—	—	—
	ピート	99°	(107-116°)	(99-106°)	(93-95°)	—	56°
	ポリエチレン粒子	>125°	(104-111°)	(105-119°)	(100-110°)	(91-92°)	70°
表面張力　mN・m^{-1}		72	47	39	38	38	38
粘性係数　Pa・s		0.89	—	—	0.91	0.99	1.89

( )内の接触角値は，浸潤先端のSDS濃度が吸着の影響により不明なため，それを0 mmol・l^{-1}～浸潤溶液濃度の範囲として計算した値.

トリウム $CH_3(CH_2)_{11}OSO_3Na$（以後SDSと記す）は，アニオン界面活性剤で，25℃における臨界ミセル濃度は8.2 mmol・l^{-1}であり，水溶液の表面張力は，その濃度以上では約38 mN・m^{-1}である．表面張力は，Wilhelmy法で求めた各濃度における表面張力を，**Table 1**に記す.

3. ダルシー則による毛管上昇式と飽和透水係数・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).

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

ここで，x（m）は試料カラム下端からの浸潤距離，t（s）は時間，k（m・s^{-1}）は飽和透水係数，h（m・H_2O）は浸潤先端の吸引圧，ε（m^3・m^{-3}）は体積含水率，Lは試料カラムの水面下の深さ（=0.2 m）を表す．これを変形すると，

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

となる．t=0においてx=0，t=tにおいてx=xとして，(3)式を解くと，次式となる.

$$\frac{\varepsilon}{k}\left[-x-(h+L)\log\left|-x+(h+L)\right|+(h+L)\log(h+L)\right]=t \qquad (4)$$

(4)式を用いて，x，tが毛管上昇試験の測定値と最も良く一致するε/kとhを決定する．毛管上昇の後半では，浸潤が不飽和状態となり，(2)式で仮定した飽和状態での浸潤とは異なるため，毛管上昇前半の測定値と一致する値を求める.飽和で浸潤すると見なすと,体積含水率εは，既報（石黒・藤井，2004）の間隙率とほぼ等しいから，飽和透水係数kは，ε/kと間隙率から計算できる．この(4)式の計算から得られるkを，それぞれの条件について求めた.

hは(1)式で表せるから，θ=0とみなせるエタノールの毛管上昇測定値と(4)式からhを求めて，試料の間隙相当半径rを(1)式を用いて計算する．SDS溶液についてhが求まっていれば，(1)式における未知数は表面張力γと接触角θとなる．浸潤先端におけるγの値が既知であれば，接触角

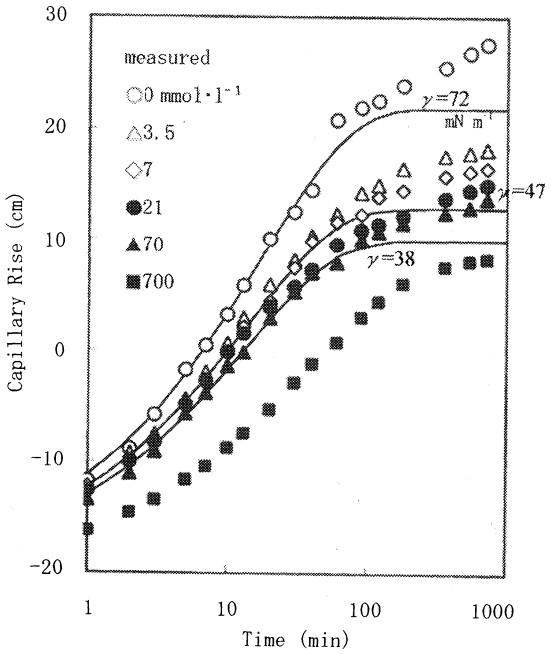

Fig. 1　ガラスビーズカラム中の毛管上昇と，表面張力の影響.実線は0 mmol・l^{-1}SDS溶液の結果を基準に計算した表面張力の異なる毛管上昇曲線.
Capillary rise in grass beads column. Solid lines are calculated capillary rise curves with different surface tensions.

θが得られる.

4. 実験結果と考察

4.1 親水性無機試料（ガラスビーズ，豊浦砂）

Fig. 1に，ガラスビーズ試料の毛管上昇試験結果と(4)式を用いた計算結果を示す．実測毛管上昇高さは，SDS濃度が高くなるに従い低下した．**Fig. 1**の実線は，(4)式を用いた計算結果である．何れも，純水を浸潤させた実測値から得られるε/k値と純水の計算前進接触角θ=

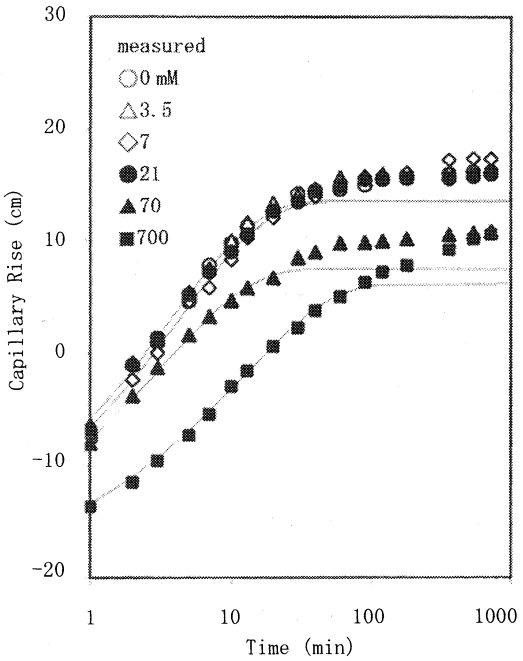

Fig. 2 豊浦砂カラム中の毛管上昇．実線は，0，7，70，700 mmol・l^{-1}SDS 溶液の計算値．
Capillary rise in sand column. Solid lines are calculated values for 0, 7, 70, 700 mmol・l^{-1}SDS solutions.

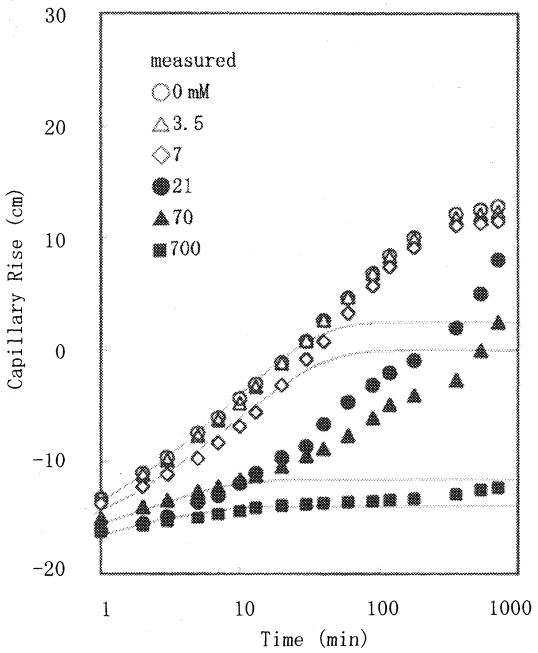

Fig. 3 腐葉土カラム中の毛管上昇．実線は，0，7，70，700 mmol・l^{-1}SDS 溶液の計算値．
Capillary rise in leaf mold column. Solid lines are calculated values for 0, 7, 70, 700 mmol・l^{-1}SDS solutions.

50° (**Table 1**) を用いて，表面張力 γ のみを変えた時の計算毛管上昇曲線を示す．γ=72mN・m^{-1} の計算毛管上昇曲線は，0 mmol・l^{-1}SDS 溶液の実測毛管上昇高に，γ=47mN・m^{-1} の計算毛管上昇曲線は，3.5 mmol・l^{-1}SDS 溶液の実測毛管上昇高に，γ=38mN・m^{-1} の計算毛管上昇曲線は，21 mmol・l^{-1}SDS 溶液の実測毛管上昇高にほぼ一致し，それぞれの SDS 溶液の表面張力値とも一致している(**Table 1**)．この結果から，ガラスビーズの場合，SDS 濃度上昇による表面張力の低下が，毛管上昇高を低下させたことがわかる．ちなみに，各濃度の実測値に一致する(4)式の計算結果から計算される前進接触角 θ は，700 mmol・l^{-1} SDS 溶液の場合の 67° を除き，46° ～56° の範囲にあり，濃度による大きな相違は認められなかった (**Table 1**)．0° ≦ θ < 90° の範囲の θ では，(1)式からわかるように，表面張力が小さくなると，浸潤前線吸引圧 h が小さくなるために，毛管上昇が遅くなるのである．

臨界ミセル濃度 8.2 mmol・l^{-1}以上で表面張力は一定値となる (**Table 1**) ため，表面張力の効果だけなら臨界ミセル濃度以上では同じ曲線となるはずである．70 mmol・l^{-1}以上の高濃度で毛管上昇曲線が小さくなっているのは，高濃度ほど粘性係数が大きくなり (**Table 1**)，飽和透水係数が小さくなるためと考えられる．700 mmol・l^{-1}SDS 溶液の粘性係数は，純水の 2.1 倍であるため (**Table 1**)，毛管上昇の遅れが顕著である (**Fig. 1**)．

Fig. 2 に，豊浦砂の結果を示す．豊浦砂の毛管上昇曲線は，0～24 mmol・l^{-1}SDS 溶液の場合がほぼ同じ曲線となり，それ以上の濃度では，濃度上昇に伴い上昇高が小さくなっている．アニオン界面活性剤の移動は，土への吸着のために浸潤前線の移動よりも遅くなる例が報告されている (Allred and Brown, 1996)．従って，0～21 mmol・l^{-1}SDS 溶液の実測値がほぼ一致したのは，砂粒子表面にアニオン界面活性剤が吸着することにより，浸潤先端の SDS 濃度が 0 mmol・l^{-1}となり，浸潤前線吸引圧が同じになったためと考えられる．70 mmol・l^{-1}以上の条件では，吸着が生じても浸潤先端濃度が臨界ミセル濃度以上を保ち浸潤したために，ガラスビーズの場合と同様表面張力が低下して毛管上昇高に相違が生じたと考えられる．(4)式の計算で得た h を用いて，0～21 mmol・l^{-1}SDS 溶液の浸潤先端における表面張力を 72 mN・m^{-1}，70～700 mmol・l^{-1}SDS 溶液では 38 mN・m^{-1}として前進接触角を計算すると，0～70 mmol・l^{-1}SDS 溶液において 59～61°，700 mmol・l^{-1}SDS 溶液において 65° の値となり，前進接触角はほとんど同じであった (**Table 1**)．ガラスビーズの場合と同様に，大きな粘性係数のために 700 mmol・l^{-1}SDS 溶液の毛管上昇が遅くなっている．

Fig. 2 の細線は，実測値に一致するように(4)式から求めた計算毛管上昇曲線である．浸潤初期の実測値に良く一致しており，提案した(4)式が初期の飽和浸潤現象を良好に表すことがわかる．

純水との前進接触角が 50° および 60° のガラスビーズと豊浦砂は，親水性無機試料である．これらは，SDS 濃度上昇に伴い前進接触角がほとんど変わらず，溶液の表面張力低下により浸潤が遅くなることがわかった．

4.2 腐葉土

腐葉土の毛管上昇曲線も，SDS 溶液濃度が高くなるほ

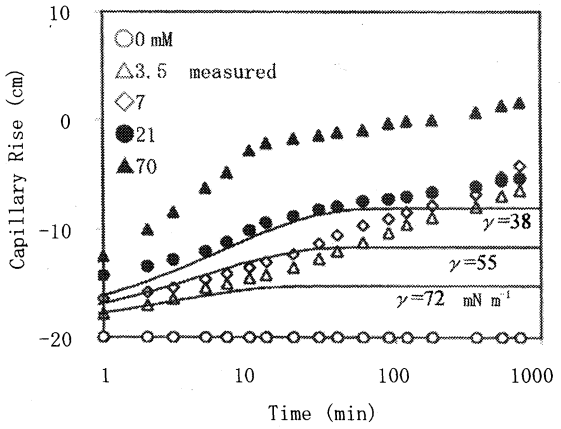

Fig. 4 ポリエチレン粒子カラム中の毛管上昇と表面張力の影響．実線は700 mmol・l⁻¹SDS溶液の結果を基準に計算した表面張力の異なる毛管上昇曲線．

Capillary rise in polyethylene column. Solid lines are calculated capillary rise curves with different surface tensions.

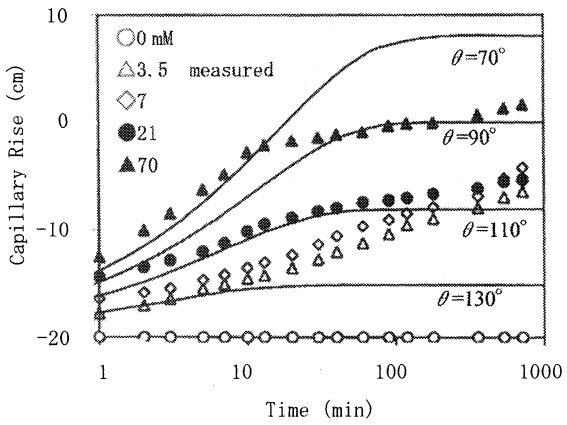

Fig. 5 ポリエチレン粒子カラム中の毛管上昇と前進接触角の影響．実線は700 mmol・l⁻¹SDS溶液の結果を基準に計算した前進接触角の異なる毛管上昇曲線．

Capillary rise in polyethylene column. Solid lines are calculated capillary rise curves with different advancing contact angles.

ど毛管上昇高が低下する傾向を示す（**Fig. 3**）．3.5 mmol・l⁻¹の結果は0 mmol・l⁻¹の結果に近く，3.5 mmol・l⁻¹の条件では吸着により浸潤先端の濃度が0 mmol・l⁻¹に近くなったと考えられる．7 mmol・l⁻¹の条件では，100分程度までは0 mmol・l⁻¹と3.5 mmol・l⁻¹の結果より毛管上昇高が低いが，それ以降はほぼ同じ高さになっており，この場合も長距離の移動で吸着の影響が大きくなり，浸潤後半で浸潤先端濃度が0 mmol・l⁻¹に近くなったものと思われる．0〜3.5 mmol・l⁻¹SDS溶液の浸潤先端における表面張力を72.0 mN・m⁻¹として前進接触角を計算すると，それぞれ84°，86°となり，7 mmol・l⁻¹SDS溶液では浸潤先端の表面張力にかかわらず前進接触角は90°となる．0〜7 mmol・l⁻¹の前進接触角に大きな相違はない．

21 mmol・l⁻¹以上の毛管上昇曲線は，低濃度の値より低い値を取っている．これは，既報(石黒・藤井，2004)に記したように，腐葉土は高濃度SDS溶液の浸潤により膨潤分散し間隙構造を変えて飽和透水係数が大幅に低下するため，浸潤速度が小さくなったものと考えられる．700 mmol・l⁻¹SDS溶液の毛管上昇曲線が低い値で推移しているのに対し，21 mmol・l⁻¹SDS溶液と70 mmol・l⁻¹SDS溶液の毛管上昇曲線は10分以後も上昇している．これは，後者においては，浸潤過程のSDS吸着により，先端部分の溶液が低濃度になって浸潤しやすくなったものと思われる．

また，700 mmol・l⁻¹SDS溶液の結果を除き，浸潤後半において実測毛管上昇高が計算値より大幅に上昇している点がガラスビーズ，豊浦砂と異なる．乾燥状態の異なる有機質土（ピート）の接触角を比較したMichelら（2001）の研究によると，含水率の増加に伴い接触角が小さくなり親水的になることが示されている．この結果から次のことが推測される．初期の腐葉土表面は，蒸留水と84°の前進接触角であるところから十分な親水性ではなく，疎水性部分が外表面に存在すると思われる．水の浸潤に伴い浸潤先端前方の気相が水蒸気飽和し，腐葉土表面に水分子が吸着して外表面にも親水的部分が増加したため，浸潤後半において毛管上昇が進んだのではないかと考えられるが，今後の検討を要する．

4.3 疎水性有機試料（ポリエチレン，ピート）

Fig. 4に，ポリエチレン粒子の毛管上昇試験結果を示す．純水の場合は，20 cmの圧力水頭では全く浸潤しないが，SDS溶液濃度が高くなるほど浸潤速度が速くなった．実線は，$\theta=110°$とε/k値を一定とした場合の，異なる表面張力における計算毛管上昇曲線である．純水は毛管上昇しなかったため，計算ε/k値は，吸着の影響が無視できる700 mmol・l⁻¹SDS溶液を浸潤させた場合の値に，純水に対する粘性係数の比2.1を掛けた値を用いた．これは，液体の粘性係数が飽和透水係数に反比例するためである．この場合は，$\cos\theta$が負値であるため，表面張力が小さいほど浸潤しやすいことがわかる．しかし，ポリエチレン粒子の場合，表面張力の変化のみでは，実測毛管上昇曲線の変化を説明できない．

Fig. 5は，**Fig. 4**で用いたε/k値を用いて，表面張力が38 mN・m⁻¹において種々の前進接触角を取った場合の計算毛管上昇曲線である．前進接触角が小さくなり粒子表面が濡れやすくなるほど，浸潤しやすくなることがわかる．前進接触角を変化させることにより，ポリエチレン粒子の実測値の範囲をカバーできるが，実測値との一致は良くない．これは，**Fig. 4**と**Fig. 5**中の計算結果において全条件で一定値としているk値が，後述するように実際には各濃度条件毎に異なることが一因と思われる．

以上の結果より，ポリエチレン粒子では，SDS濃度が上昇すると，前進接触角と表面張力の減少により浸潤が速くなったことがわかる．前進接触角は，純水で＞125°，700 mmol・l⁻¹SDS溶液で70°（**Table 1**）であるから，特に前進接触角の減少の影響が大きい．

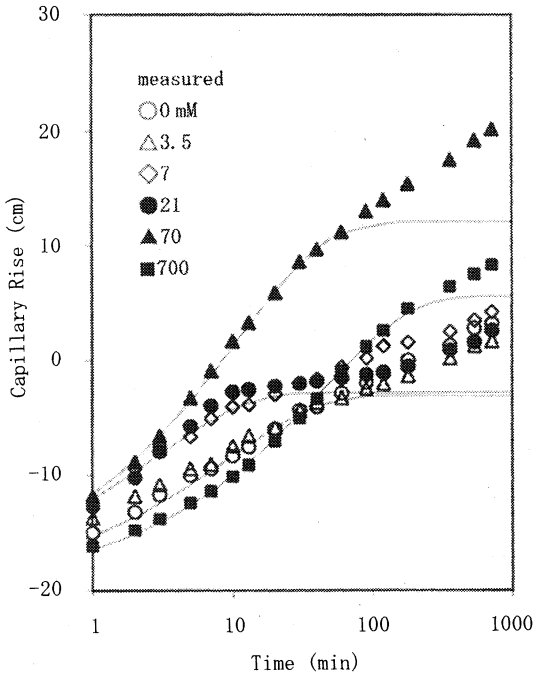

Fig. 6 ピートカラム中の毛管上昇．実線は，0，7，70，700 mmol・l^{-1}SDS 溶液の計算値．
Capillary rise in peat column. Solid lines are calculated values for 0, 7, 70, 700 mmol・l^{-1} SDS solutions.

Fig. 6 に，ピートの毛管上昇試験結果を示す．ピートのカラム中を純水が図のように浸潤することから，ピートは純水が浸潤しなかったポリエチレン粒子ほど純水との接触角が大きくないことがわかる．ピートにおける毛管上昇の実測結果は，ポリエチレン粒子と同様の傾向を示し，SDS
溶液が高濃度になるほど毛管上昇高が大きくなっており，ポリエチレン粒子の場合と同様の解釈が出来る．浸潤後半において実測値が計算毛管上昇曲線よりも増加しているのは，腐葉土の場合と同じく，時間の経過に伴い浸潤先端部の表面が親水的になったためと推測される．

純水との前進接触角は，ポリエチレン粒子が＞125°，ピートが 99° である．これら疎水性有機試料の場合，SDS 溶液濃度の上昇により，前進接触角 θ と表面張力 γ が低下するため，浸潤速度が速くなることがわかった．

4.4 毛管上昇時の透水係数

毛管上昇試験の実測値に合うように求めた毛管上昇曲線の計算結果を用いて，飽和透水係数 k を求めた．その結果を **Fig. 7** と **Fig. 8** に示す．各濃度条件毎に ε/k と h を決定して求めた計算毛管上昇曲線は，**Fig. 2**，**Fig. 3**，**Fig. 6** に示すように，どの試料についても浸潤初期の実測値にほぼ一致している．既報(石黒・藤井，2004)の 0 mmol・l^{-1} と 700 mmol・l^{-1}SDS 溶液での実測飽和透水係数を，比較検討のため **Fig. 7** と **Fig. 8** に載せた．飽和透水係数は，接触角や表面張力には依存しないため，粘性係数が純水の 2.1 倍の 700 mmol・l^{-1}SDS 溶液を除き，SDS 濃度に関わらず，各試料ごとにほぼ同じ値となると考えられる．

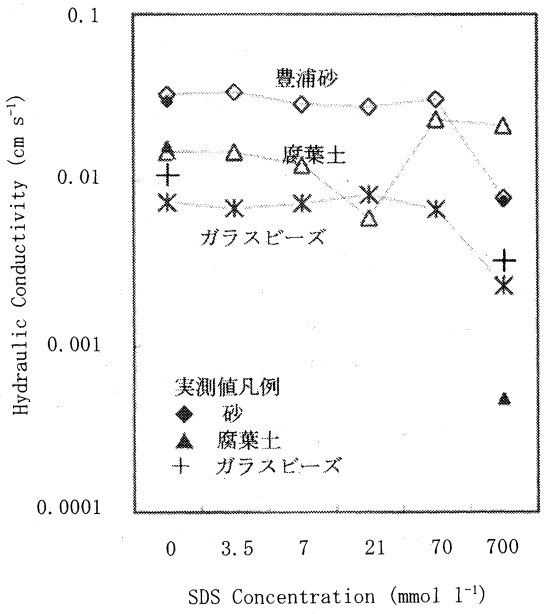

Fig. 7 ガラスビーズ，豊浦砂，腐葉土試料の透水係数．
Hydraulic conductivities for glass beads, sand and leaf mold.

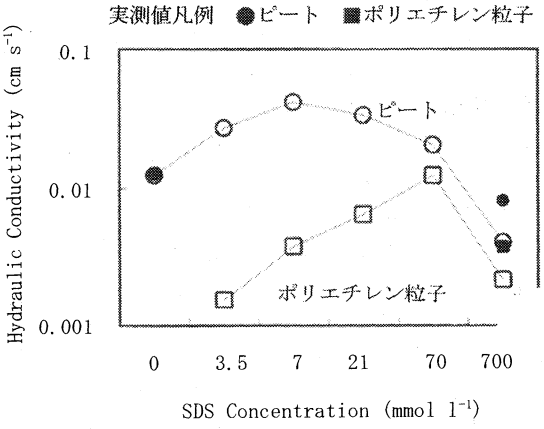

Fig. 8 ピート，ポリエチレン粒子試料の透水係数．
Hydraulic conductivities for peat and polyethylene.

ガラスビーズと豊浦砂の飽和透水係数は 700 mmol・l^{-1} SDS 溶液の場合を除きほぼ一定の値を取った (**Fig. 7**) が，他の試料の飽和透水係数には相違が見られた (**Fig. 7**, **Fig. 8**)．腐葉土では，0，3.5，7 mmol・l^{-1} の低い濃度条件での飽和透水係数はほぼ同一であった．同一試料での飽和透水係数の不一致は，流れの構造の相違に起因するものと思われる．ガラスビーズや砂では濃度が変化しても間隙構造に変化がなく，腐葉土も低い濃度では大きな変化がなかったのに対し，腐葉土の高濃度では，既報の指摘のような膨潤に伴う間隙構造変化が起こったために計算飽和透水係数も変動したと考えられる (**Fig. 7**)．

ピートとポリエチレン粒子は，純水では前進接触角が 90° 以上となり，700 mmol・l^{-1} では 90° 以下となること

から，接触角が90° より大きくなる低濃度では浸潤時に相対的に小さな間隙に水が十分浸潤しにくいため，流れの構造が濃度によって異なったのではないかと思われる．そのため，計算飽和透水係数が変動したと思われる（**Fig. 8**）．

700 mmol・l^{-1}ではその粘性係数は純水の 2.1 倍で，透水係数は粘性係数に反比例する．従って，700 mmol・l^{-1}での透水係数は純水の透水係数の 0.48 倍と予測される．ガラスビーズと豊浦砂の 700 mmol・l^{-1}における飽和透水係数は，これを反映して低下している．飽和透水係数の実測値と計算値は，700 mmol・l^{-1}での腐葉土の値を除き，ほぼ近い値を示している．これは，(4)式による近似が物理的に妥当であることを裏づける．腐葉土の 700 mmol・l^{-1}での相違は，飽和透水係数の計算値が十分な膨潤を起こしていない浸潤初期のデータを基礎にして得られたのに対し，実測値が膨潤による構造変化を受けた後の結果であったためと考えられる．

5. 結論

毛管上昇の式を提案し，その計算結果を用いて SDS 溶液の表面張力と前進接触角が溶液の毛管上昇に及ぼす影響を明らかにした．ガラスビーズ，豊浦砂のように，間隙構造が浸潤過程で変化しない場合，毛管上昇式の計算結果は飽和浸潤領域で良く適合した．

ガラスビーズ，豊浦砂の前進接触角は，鋭角で SDS 濃度が増加してもほぼ同じ値であった．SDS 濃度が高くなると，溶液の表面張力が小さくなるため，毛管上昇高は濃度増加に伴い減少した．純水との接触角が鈍角の疎水性表面を持つポリエチレン粒子，ピートでは，SDS 濃度が高くなると，前進接触角は減少するため，毛管上昇高は増大した．濃度増加に伴う表面張力の減少も，毛管上昇高増加の一因となった．有機物である腐葉土は，純水との前進接触角が 84° の鋭角であり，ガラスビーズ，砂と同様に SDS 濃度の増加に伴い毛管上昇高は減少する傾向にあった．腐葉土の場合，高濃度の SDS 溶液で膨潤による透水性低下が起こるため，毛管上昇高はこの影響を受けた．

無機質土壌の場合，浸潤速度はアニオン界面活性剤の混入により減少し，疎水性表面を持つ有機質土壌の場合，反対に増加することになる．腐葉土で認められたように，ある種の有機質土壌では，界面活性剤の効果により膨潤・分散が起こりやすくなり，それに伴い透水性が低下することもある．界面活性剤は，このように浸潤速度を変化させるため，土壌中における水分環境に影響を及ぼす．また，これらの特性を利用することにより，界面活性剤を用いて浸潤を制御することもできる．

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．また，ポリエチレン粒子は，三井化学から戴いた．ここに謝意を表する．

本研究は，科研費（14560198）の助成を受けて行った．

引用文献

Allred, B. and Brown, G. O. (1996)：Anionic surfactant transport characteristics in unsaturated soil, Soil Sci., 161(7), 149-153

石黒宗秀(2003a)：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.

石黒宗秀(2003b)：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・コパル(2000)：ぬれと接触角の熱力学，農土学会誌，68(1), 75-82.

石黒宗秀，藤井知和(2004)：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，農土論集，230，85-90..

川本　健，Banyar Aung (2004)：火山灰土壌の撥水性評価に関する実験的研究，農土論集，230，75-83.

Letey, J., Osborn, J. and Pelishek, R. E. (1962)：Measurement of liquid-solid contact angles in soil and sand, Soil Sci., 93(3), 149-153.

Michel, J.-C., Rivière, L.-M. and Bellon-Fontaine, M.-N. (2001): Measurement of the wettability of organic materials in relation to water content by the capillary rise method, European J. Soil Sci., 52, 459-467.

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，32，1-74.

日本消費者連盟編（1991）：合成洗剤の話，三一書房.

長谷川　治（2000）：はて・なぜ・どうして　クイズ石けんと合成洗剤，合同出版，p.30-31.

〔2004. 8. 25.受稿，2005. 2. 2.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，農業土木学会論文集編集委員会あて)は，2005年10月24日まで受付けます.〕

Capillary Rise Infiltration into Soils and Porous Media as Affected by an Anionic Surfactant Concentration

ISHIGURO Munehide*, FUJII Tomokazu** and AKAE Takeo*

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

***Dupont,* 2-11-1 Nagata-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 100-6111, JAPAN

Abstract

Surfactants are used in detergents, shampoos, chemical fertilizers, agricultural chemicals etc., and much amount has been discharged to the environment. Their adverse effects on the soil environment are suspected. In this study, sodium dodecyl sulfate (SDS) solutions of different concentrations were infiltrated with capillary rise into dry material columns in order to investigate the influence of the anionic surfactant concentration on water infiltration. The capillary rise equation was proposed and the influence of SDS was explained by using this equation. For hydrophilic inorganic materials, glass beads and sand, infiltration rate decreased as the SDS concentration increased due to the decrease of the surface tension of the solution. For hydrophobic organic materials, polyethylene particles and peat, infiltration rate increased with the SDS concentration mainly because of the decrease of the contact angle. For leaf mold, infiltration rate decreased as the SDS concentration increased probably due to the development of swelling.

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