

II-193

表面流動に及ぼす界面活性の影響

九州工業大学 正 員 藤崎一裕

九州工業大学 学生員 小野敏孝

九州共立大学 正 員 栗谷陽一

1・はじめに

界面活性剤を含む流体の流動現象は、表面張力の場所的相違が流体運動に関与してくることにその特徴がある。濃度マランゴニ効果とよばれるこの種の現象は、水中での気泡の挙動、水表面における乱れの減衰、液膜における物質移動などと深い関連があり、ひろく知られている。しかし、現象を記述する数学モデルはまだ十分には調べられていない。

筆者らは、流体の保存式や運動方程式に加えて界面活性剤の保存や吸着速度過程の式などを連立させて、現象のモデル化を行った。基礎式の数値解を実験により検討し、また現象に及ぼすパラメータの影響について調べた。

2・理論的解析

対象とした現象は、水表面に噴流が噴出して減速していく現象(以下表面減速と略記)と、せきからの流出にともなう表面流速の加速現象(以下表面加速と略記)の2つの現象である。

現象の流れ方向の変化は水深方向のそれに比べて十分に小さいものと考えられるから、境界層近似を用いる。流下方向にX軸、水面から下方にZ軸をとり、この場合の基礎方程式を以下の式で表す。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$u \frac{\partial c}{\partial x} + w \frac{\partial c}{\partial z} = D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$\tau_s = \mu \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=0} = -\frac{d\sigma}{dx} \quad (4)$$

$$\sigma = \sigma_0 - k \ln \left(\frac{S^\infty}{S^\infty - S} \right) \quad (5)$$

$$\frac{d}{dx} (u_s S) = D \frac{\partial c}{\partial z} \Big|_{z=0} \quad (6)$$

$$D \frac{\partial c}{\partial z} \Big|_{z=0} = k_s \{ c_s (S^\infty - S) - a S \} \quad (7)$$

ここに、U、W：XおよびZ方向の流速、 ν ：動粘性係数、C：界面活性剤濃度、D：分子拡散係数、 τ_s ：表面せん断力、 σ_0 、 σ ：清水および活性剤溶液

の表面張力、S：界面活性剤の表面吸着量(以下、吸着量と略記)である。また、K、a、S、Kaはいずれも定数であり、添え字sは水表面における量を意味する。

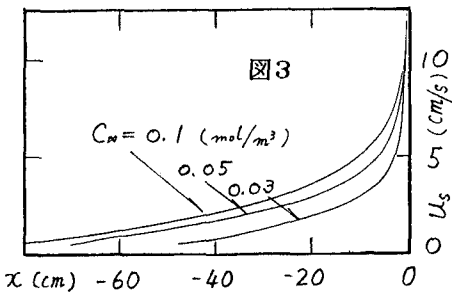
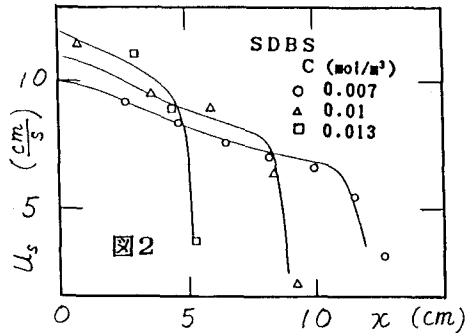
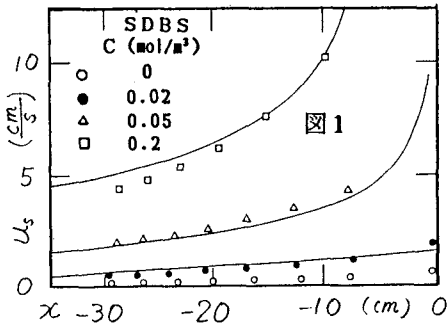
(1)、(2)、(3)式はバルク流体に関する式で、(4)、(6)、(7)式は水表面における式である。(6)式は、吸着量の収支を表し、(7)式の右辺には活性剤の吸着速度過程が考慮されている。表面張力と吸着量との間には、(5)式のSzyszkowskiの式が成り立つものとした。(4)式は吸着剤の流下方向の濃度差にもとづく表面張力の差が、流体運動の境界条件として作用することを表す。界面活性剤の吸着速度過程については、Langmuir型の吸着速度式の(6)式を用いた。¹⁾

(1)～(7)式を差分表示して数値解を求めた。数値計算には通常の前進差分スキームを用いた。計算方法の概略は前報¹⁾と同じである。

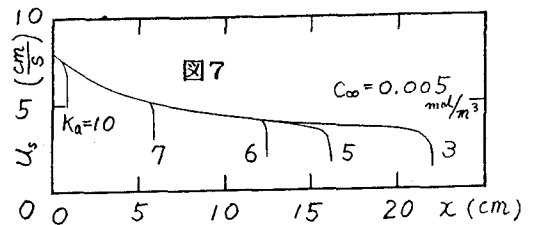
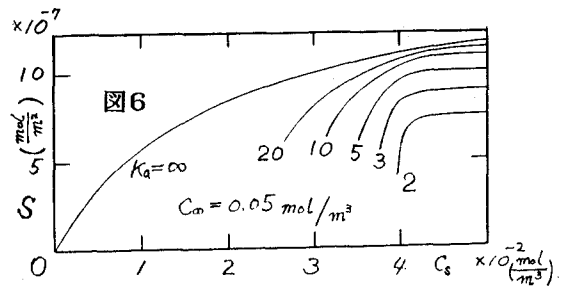
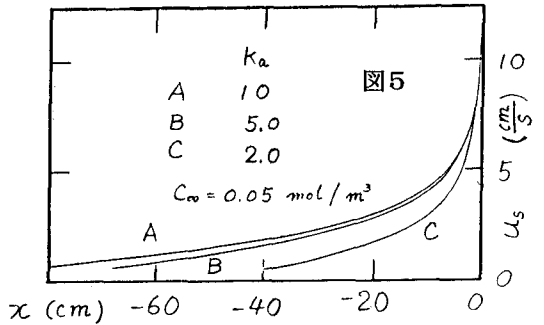
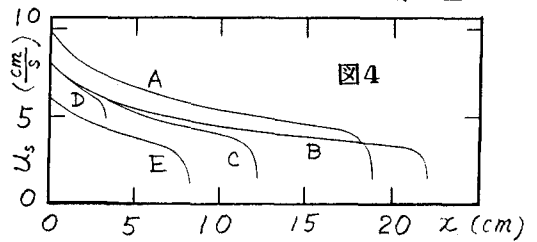
3・計算結果及び考察

計算に用いた諸物性値は、 $a=0.0177(\text{mol}/\text{m}^3)$ 、 $S=1.59 \times 10^{-6}(\text{mol}/\text{m}^2)$ 、 $D=4.20 \times 10^{-10}(\text{m}^2/\text{s})$ である。²⁾

図1に表面加速現象、図2に表面減速現象の計算例を示す。図中にプロットした点は実験値である。実験は幅10cm深さ20cm長さ2mの水路を用いて行った。表面加速実験では水路下流端部の堰の越流部に生じる加速現象を測定した。減速実験は水路の上流端部に設置した厚み1mmの噴出口より静止水と同じ濃度の活性剤溶液を静止水表面に噴出させ、表面噴流の流速の変化を求めた。流速はトレーサ法により測定し、用いた界面活性剤はドデシルベンゼンスルホンサン(SDBS)である。(詳細は前報^{3,4)}参照)これらの図によると計算に用いたモデルは、実験値を比較的良好に再現しており、理論解析の妥当性は示されているといえる。図3、4には、現象に及ぼすバルク濃度 c_0 の影響を示した。バルク濃度が高い程、水表面での吸着量も多いため現象が顕著に出ている。図4には、初期流速 u_0 の影響も併せて



	A	B	C	D	E
$C_{\infty} (\text{mol/m}^3)$	0.01	0.005	0.01	0.02	0.01
$U_{s, x=0} (\text{cm/s})$	10	8	8	8	6.2



示した。流速が遅く噴出運動量が少ないほど、早い段階で表面張力の影響が強く現れている。

以上は何れも(7)式のパラメータ $k_a=5$ の場合について示したが、現象は k_a の値によっても大きく左右される。 k_a は吸着反応の速度定数に対応し、 $k_a=\infty$ のとき表面直下のバルク濃度 c_s と吸着量 S との間に瞬時に平行状態が成り立つことを意味する。

図5、7に k_a の現象に及ぼす影響を示した。図6は、表面加速における c_s と S との関係を示すもので、 S の減少に連れて c_s が減少していく過程が k_a により異なる様子を示す。 k_a の値は一種の物性値であり、同一の活性剤では同じ値を取るものと考えられるが、まだ余り調べられていない。今後更に検討を要する。おわりに、本研究に協力された九州工大の林秀樹君に感謝する。

参考文献

- 1) 城塚、石渡 化学工学 1973 第37巻 pp397~402
- 2) 今石他 化学工学論文集、Vol.8, 1982, p.136
- 3) 藤崎、村上、栗谷 土木西部支部講 1988.3 p.228
- 4) 藤崎、小野、栗谷 土木西部支部講 1989.3 p.250