

界面活性剤による表面流動

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

九州大学工学部 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。この種の現象そのものは、ひろく知られているにもかかわらず、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。また、基礎式の数値解を実験により検討した。

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。

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

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

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

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

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

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

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

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_{xz} : 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²⁾

(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

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

図1には表面流速の流下方向の変化を示す。図2には、吸着量の増加と表面張力の低下の様子を示す。表面加速の場合の表面の流速の加速状況、表面濃度吸着量と表面張力の流下方向の変化をそれぞれ図3-4に示す。

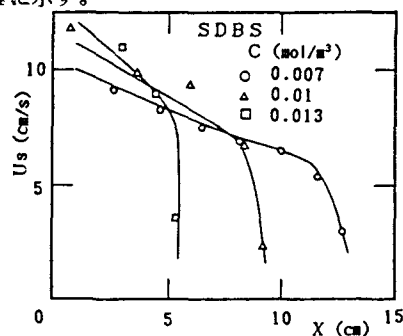


図1 表面減速の表面流速

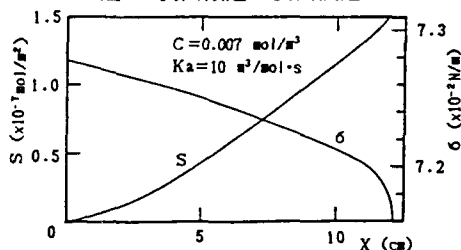


図2 吸着量及び表面張力

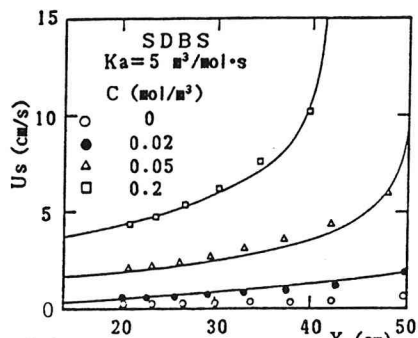


図3 表面加速の表面流速

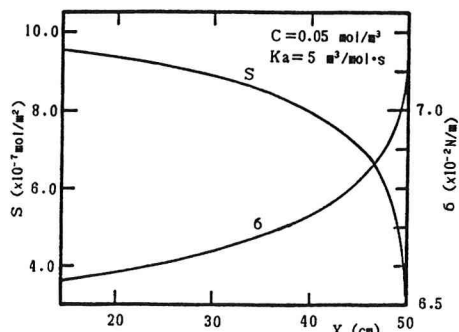


図4 吸着量及び表面張力

4・実験及び考察

実験装置の概略を図5に示す。幅0.1m、長さ2.00m、深さ0.20mの全面アクリル製水路を用いて実験を行った。使用した界面活性剤はドデシルベンゼンスルホンサン(SDBS)で、水はイオン交換樹脂で処理したものを室内の温度を20℃に保った。実験中の水温は約20℃である。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位に噴出させ、表面噴流の流下方向および鉛直方向の流速の変化をトレーサ法により求めた。写真1～3は表面流速の減少過程を示す。トレーサには塩化ビニール粉末(170～200mesh)を用いた。これらの写真には、何れもほぼ同じ程度の流量の噴出であるにもかかわらず、活性剤の濃度の増加とともに減速効果の様子が顕著に出ている。写真4～6は、表面加速の場合である。この場合も加速現象は非常に明白に表れており、濃度0の場合にくらべて、濃度0.20mol/m³の場合には流出口近くでは30倍以上にも達している。

実験により求めた流速値を図1と図3にプロットしている。表面加速の場合には流出口端部近傍では、鉛直方向の流速が無視できず、現象を境界層近似で取り扱うことには無理があり、計算値も実験値を再現できない。しかし、全般的には計算値は実験値に近く本報で導いた解析モデルの妥当性は示されているといえる。

なお、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) 藤崎、村上、粟谷 土木学会西部支部研究発表会 1988.3 pp228～229
- 2) 城塚、石渡 化学工学 1973 第37巻 pp397～402

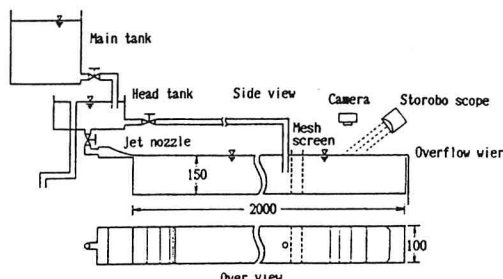


図5 実験装置の概略図

