

機関番号：11201
 研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20500663
 研究課題名 (和文) 洗淨機構に関わる流体力の検討
 ー洗淨力に及ぼす界面活性剤水溶液の流れ挙動の解明ー
 研究課題名 (英文) Estimate of the Fluid Force Related to Washing Mechanism
 -Investigation of the Flow Behavior of Aqueous Solutions of Surfactants-
 研究代表者
 天木 桂子 (AMAKI KEIKO)
 岩手大学・教育学部・准教授
 研究者番号：80193019

研究成果の概要 (和文)：洗淨機構に関わる物理的、機械的作用を流体力学の面から検証するため、主に洗剤の主成分である界面活性剤水溶液の流動挙動を、単純化した基本モデル装置を作成して実験を行い、解明した。すなわち、流路中央部に張られた布モデルであるメッシュに、各種溶液の垂直流を当て、メッシュ間隙を通過する際に生じる抗力を、圧力損失から算出して比較した。その結果、界面活性剤水溶液の抗力は水より低い抵抗減少効果が見られた。一方、各種溶液の粘度をレオメータを用いて測定したところ、界面活性剤水溶液の粘度は水より高く、抗力の順位と一致しなかった。

研究成果の概要 (英文)：The effect of fluid force on detergency has been experimentally investigated. It was conducted on the flow of aqueous solutions of detergent through mesh screens to mimic cloth washing. Pressure losses across the mesh screens were measured for water, dilute polymer and several aqueous surfactant solutions. A reduction of pressure losses was observed for the flow of aqueous solutions of surfactants, but not for the dilute solutions of polymers, through mesh screens. On the other way, viscosity of solutions was measured. For all solutions used, the viscosity increase with an increase of concentration. And it decreases with an increase of temperature. So the results of viscosity are different from those of drag.

These mean that aqueous solutions of surfactants provide an effect to reduce the drag of flow through yarns or fibers and to increase the flow rate, resulting in easier removal of soil than in water, as well as the effect to lesson the chemical potential between soil and substrate.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,900,000	1,170,000	5,070,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・生活科学一般

キーワード：洗淨，界面活性剤水溶液，流体力，抗力，粘性，抵抗減少効果

1. 研究開始当初の背景

衣類洗浄における汚れの除去機構を考える場合、化学的洗浄作用と物理的洗浄作用の2点からアプローチする必要がある。化学的作用に関しては、洗剤の主成分である界面活性剤の性質を中心に、汚れの分析、繊維基質との相互作用など、これまでにあらゆる観点から多くの研究が行われてきている。一方、物理的作用は、布地や汚れに対して与えられる機械力を主とするものである。こうした機械力を洗浄に積極的に活用することは、汚れ除去には有効だが、同時に繊維や布地の損傷、劣化をもたらすことも避けられない。

本研究は、この点を改善する、つまり汚れ除去と繊維損傷の低減の両方を満足させるねらいから、これまで洗浄液のもつ流体力に着目して検討を行ってきた。衣類洗浄の分野では、こうした洗浄液の流動についてはこれまであまり研究されておらず、未だ不明な点も多い。本研究では、洗浄液、主として界面活性剤水溶液の流動上の特性を明らかにし、衣類洗浄における洗浄液の流体力学的効果を評価するものである。また、水との比較から界面活性剤水溶液が流体力学的にも水より有効であることが示唆されれば、前述した化学作用とともに界面活性剤水溶液の役割をより高く評価できる。さらにはその分洗剤使用量低減につながる可能性もあり、洗浄に界面活性剤水溶液を用いることの有効性を流体力の面から再評価できる可能性に発展させたいと考え研究を行っている。

本研究に関連してこれまで行ってきた実験は、第1段階として、洗浄に用いられる代表的な界面活性剤の水溶液を調製して、繊維モデル基質に付着させた汚れモデルにせん断流をあてる（外部流）ことにより生じる抗力を算出し、水や希薄高分子水溶液との比較から、その流動上の特徴を明らかにした。また、抗力で認められた特徴を、溶液の粘性からの検討、汚れモデルサイズを変えた実験を行うなどして、それぞれ流体力にどう影響を及ぼすかを明らかにした。次に第2段階として、繊維モデル基質をせん断流の流れ方向に直角に置き、流体が内部流として繊維間隙を通過する際に生じる抗力を測定し、外部流の実験と比較しながら各種溶液の特徴を明らかにしてきた。

2. 研究の目的

本研究は、1で述べた研究の背景をふまえ、さらに実験を進める。

第1の実験として、これまでに行っている流路内に流れと直角に置かれた布モデルであるメッシュ間隙を通過する流れ（内部流）に関して、さらに詳細な条件設定を行って抗力の算出を行う。対象流体は、界面活性

剤水溶液を中心に、水、希薄高分子水溶液で、特に界面活性剤水溶液は、cmc以上の濃度で形成されるミセルが球状のものとひも状のもの2種類を用いて実験条件が抗力に及ぼす影響を検討することを目的とする。

また、第2の実験として試料溶液の物性をさらに詳しく測定することを目的として、レオメータによる粘度測定実験を行う。今回用いるレオメータは、少量のサンプル試料でしかもかなり低粘度を示す溶液の測定が可能で、さらに条件設定もより詳細にできることから、第1の流路実験で得られたデータの妥当性を説明する手がかりを、より具体的なものとして得ることを目的とする。

3. 研究の方法

(1)メッシュ間隙を通過する各種流体の抗力に関する実験

①実験装置（流路）の作成

透明アクリル板を用いて流路（内径約200×20×20mm）を2つ作成する。中央のフランジ部分に挟むためのアクリル板中央に溶液通過孔となる10×10mm、15×15mm四角、およびφ5の円を開けたものを各2枚作成する。このアクリル板とゴムパッキングを2つの流路で挟み込むようにしてまわりをボルトで止め、全体を組み立てる。溶液通過孔の前後に1カ所ずつ2カ所の圧力検出孔を明け、ビニールチューブを介して圧力損失測定装置の微小差圧計と接続する。溶液流入口とヘッドタンク、溶液流出口と排水口を接続する。

②使用流体

用いた水はイオン交換水で、これは他の溶液の溶媒としても使用した。

界面活性剤として、市販洗濯用洗剤に配合されているものを中心に、イオン性の異なる6種を使用した。

- ・陰イオン系：ラウリルベンゼンスルホンナトリウム (LAS)
- ・陰イオン系：ラウリル硫酸ナトリウム(SDS)
- ・非イオン系：ポリオキシエチレン(23)ラリルエーテル (AE(23))
- ・非イオン系：ポリオキシエチレン(10)ラウリルエーテル(AE(10))
- ・陽イオン系：ベンザルコニウムクロライド (BC)

これら5種はcmc以上の濃度で球状ミセルを形成するものである。水溶液濃度は0.2-1.0w%および0.005-0.01mol/Lなどいずれもcmc以上の濃度とし、実験に合わせて調製した。

- ・陽イオン系：臭化セチルトリメチルアンモニウム(CTAB)

濃度は0.0005-0.001mol/Lとした。この

CTAB 水溶液は、サリチル酸(HSal)やサリチル酸ナトリウム(NaSal)を添加することにより比較的低い濃度でモル比 1 : 1 で非常に長いひも状ミセルを形成し、顕著な粘弾性を示すことが知られている。実験には CTAB 水溶液に対して一定のモル比で HSa1, NaSal を添加した溶液を調製した。

さらに、希薄高分子水溶液としてポリエチレンオキシド(PEO)、ポリアクリルアミド(PAA)の 2 種を用い、10-20ppm に調製した。

③使用メッシュ

布モデルとして使用したメッシュは、ポリエステル製 8 種 (モノフィラメント, 織密度 230-355 本/inch) である。なお、ポリエステルは吸水性がほとんどないため、水中で膨潤などの影響がなく、実験前後で変化がないと考えられる。さらに、材質の違いを比較する目的で、ステンレス製メッシュ 3 種 (織密度 200-300 本/inch) を使用した。

④装置全図と測定方法

Fig1 は実験装置の全体図である。ヘッドタンク部, 実験装置部(流路), マノメータ部の 3 部から成っており, 実験装置部は外部流に関する流路で, 中央フランジ部に所定のメッシュをそのつど挟んで取り付け, 全体を組み立てた後, 実験を行った。

ヘッドタンクに溶液を約 100-200L 入れ, 溶液を流しながら装置内部の気泡を抜いたあと実験を開始した。流量調節は, 流出口側のビニールチューブに取り付けた流量調節用コックの開閉によって行った。差圧の測定は, 流量調節後約 10 分経過した時点での数値を読み取った。同時に流出溶液を採取し, 重量法により流量を算出した。以降徐々に流量を増加させながら最大流量まで 3-10 分間隔(溶液により異なる)で測定を行った。これを 1 セットとし, 同一条件下で 2-5 セット繰り返した。

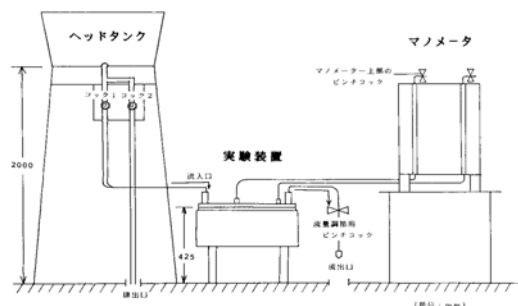


Fig.1 装置全体図

⑤抗力の算出

デジタルマノメータに表示される水柱差 h は, メッシュによって生じた圧力損失を示

す。この h をメッシュの抗力によるものと考え、運動量の法則から導かれる次の式(1)により抗力 $D(N)$ を算出する。

$$D = A \rho g h \quad (1)$$

A : 流路断面積 (m^2), ρ : 溶液の密度 (kg/m^3), g : 重力加速度 (m/sec^2)

同時に採取した溶液重量より, 単位時間あたりの流量 $Q (m^3/sec)$ を, 式(2)から算出する。

$$Q = W / (\rho \cdot T) \quad (2)$$

w : 溶液採取重量 (kg), T : 溶液採取時間 (sec)

この時の流路内平均流速を $V_a (m/sec)$ とすると, 式 (3) で与えられる。

$$V_a = Q / A \quad (3)$$

さらに, この平均流速 V_a を代表流速, メッシュを構成するフィラメントの線径 $L (m)$ を代表長さにとった場合のこの流れにおけるメッシュ通過時の平均 Re を式(4)から算出した。

$$Re = L \cdot V_a / \nu \quad (4)$$

L : メッシュの織糸 1 本の線径,

ν : 溶液の動粘度 ($=\mu / \rho$)

式 (1) で得られた抗力 D は, 抗力係数 C_D として次の式 (5) によって無次元化した。

$$D = 1/2 \cdot C_D \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot S \quad (5)$$

S : メッシュ通過時のフィラメント専有面積 (m^2)

: $A \cdot (1 - \text{各メッシュのオープニングエア})$

流量 Q をメッシュの有効通過面積で除した値を $V (m/sec)$ とし, さらにオープニング径 B で除して, ひずみ速度 (V/B) として次の式 (6) により算出した。

$$V/B = (Q / (A / 0.01)) / B \quad (6)$$

(2) レオメータによる各種流体の粘性測定

①実験装置

使用したレオメータは, ビスコテック株式会社製微小粘度測定装置 ReoRox Jr. である。測定時の温度管理のため, 恒温水槽 (ビスコテック株式会社 RW-0525G 型) を接続し恒温水を循環させた。さらに制御及びデータ管理は, 本体と接続させた WindowsPC により行った。

②実験条件

界面活性剤水溶液は(1)②と同様である。濃度は 0.5w%, 1.0w%, 2.0w% とし, 塩 (HSa1 または NaSal) を添加する CTAB のみこれに加えて 0.001mol/L 水溶液も調製した。塩の添加モル比は, 1 : 0.5, 1 : 1, 1 : 1.5 の 3 条件である。

測定温度は, 20°C-40°C とした。

4. 研究成果

(1) メッシュ間隙を通過する各種流体の抗力

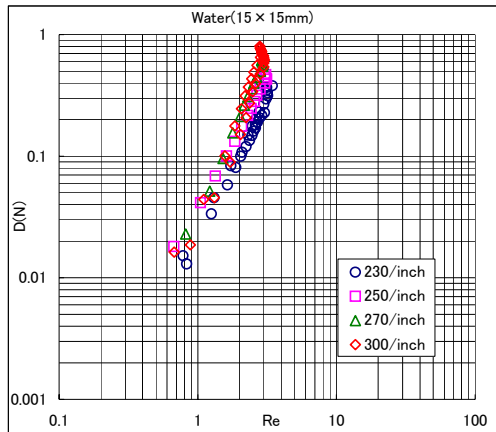


Fig.2 抗力に対する織密度の影響(水)

Fig.2 に、ポリエステルメッシュで得られた Re と抗力 (D) の代表的な結果を織密度について示す。これを見ると、すべてのメッシュで Re の増加とともに D も上昇している。また、織密度の大きいメッシュほど大きな抵抗を示していることがわかり、溶液通過が可能な空隙の面積 (OA) が小さいほど通過しにくいことが明らかとなった。この傾向はステンレスメッシュでも同様にみられた。

Fig.3 に、ポリエステル 230 本/inch における各種溶液の抗力を示す。希薄高分子水溶液の PEO, PAA は水と同じかほかに高い D を示しているのに対し、界面活性剤水溶液 LAS, AE(23) の D は、水より低い抵抗減少効果が見られた。

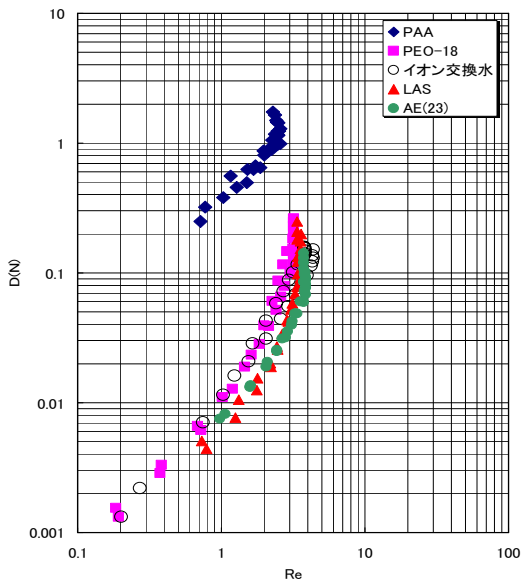


Fig.3 溶液の種類と抗力の関係 (255 /inch)

また、メッシュの構造が D に与える影響を検証する目的で、糸密度が同一で OA が異なるメッシュ (Fig. 4), OA が同一で糸密度が異

なるメッシュ (Fig. 5) を用いて実験を行ったところ、糸密度が同一の場合は OA が小さいメッシュが、同一 OA ならば糸密度が大きいメッシュがいずれも高い D を示した。このことから、 D はメッシュの構造に大きく影響を受け、実験条件によって OA に依存している部分と糸密度に依存している部分の両方が存在することが示唆された。

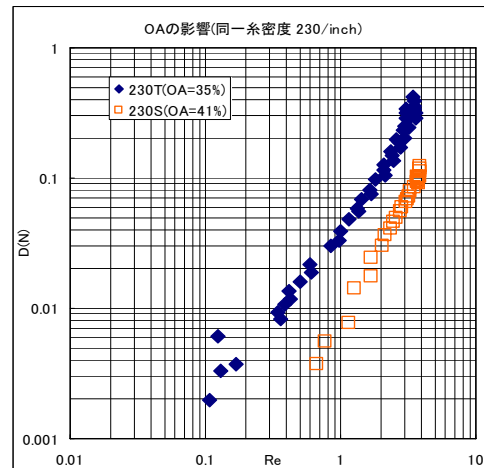


Fig.4 同一織密度に対する OA の影響

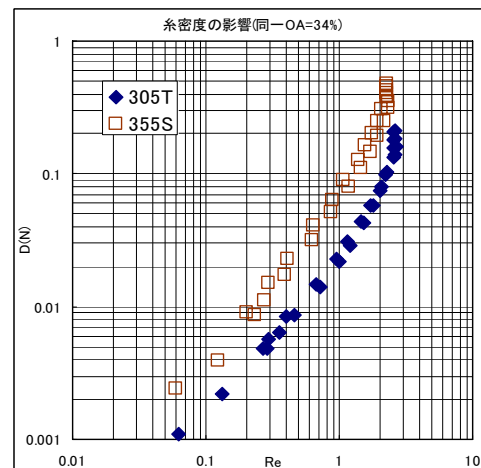


Fig.5 同一 OA に対する織密度の影響

一方、CTAB+HSa1, CTAB+NaSa1 添加水溶液の抗力を測定した結果、すべてのメッシュで、低 Re 範囲と高 Re 範囲では Re の増加とともに D も上昇するが、その間のある Re 範囲では D が上昇しないプラトー部分が存在する特異な傾向を呈することが認められた。結果の例を Fig. 6 に示す。このプラトー部分は、流量や流速が増加しても圧力損失が変化しないことを表しており、流れやすさ、流れにくさに影響を及ぼさない流速範囲が存在することを示している。また、HSa1, NaSa1 添加比が高いほど低 Re で開始され、その範囲も長い傾向を有し、プラトー開始時と終了時の 2 点で、流れ挙動に大きな変化が生じている

ことが示唆された。

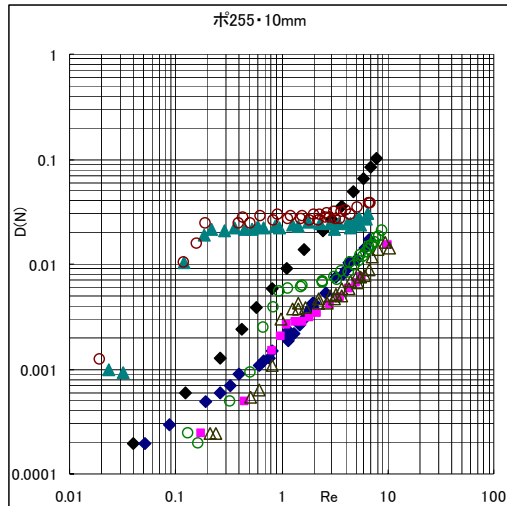


Fig. 6 CTAB への HSal 添加の影響 (255/inch)

(2) 各種流体の粘性特性

球状ミセルを形成する界面活性剤水溶液の粘度を各種条件下で測定したところ、濃度の増加とともに上昇し、温度の上昇に伴って低下した。特に、AE (10)と CTAB は、温度上昇に伴う粘度の低下が顕著に見られ、約 30°C までに大きく変化した。また、水と比較すると、ほぼすべての溶液で水より粘度が高く、濃度が高いほどこの傾向は顕著であった。

結果の例を Fig. 7 に示す。

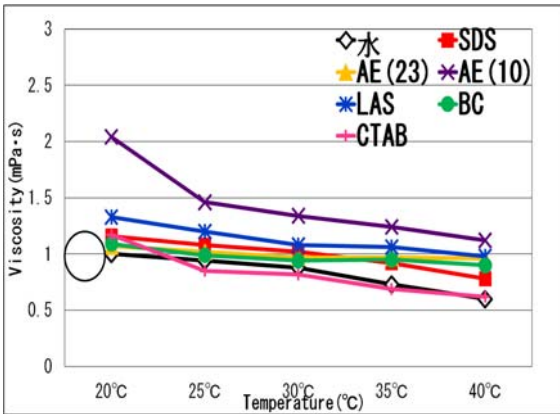


Fig. 7 溶液の種類と粘度の関係 (1.0w%)

一方、CTAB に NaSal および HSal を添加した時も球状ミセルを形成する界面活性剤水溶液を測定したところ、塩添加モル比の増加に伴って粘度が上昇し、温度の上昇に伴って低下した。また、ほぼすべての条件下で水より高い粘度を示した。

結果の例を Fig. 8 に示す。

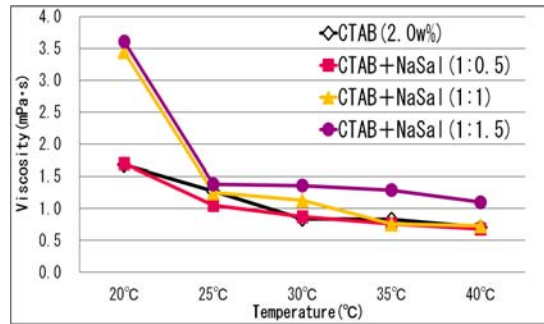


Fig. 8 CTAB 溶液への塩添加濃度の影響

(3) 洗浄に関わる界面活性剤水溶液の流体力の解釈

最後に、本研究を通して得られた結果が、実際の洗浄場面で持つ意味を考える。

メッシュ間隙を通過する内部流の実験では界面活性剤水溶液の D が水より小さく通過しやすかったことから、水に比べて織り糸、繊維間を容易に流れる性質を有していると解釈できる。従って、界面活性剤の効果は、化学的に汚れの付着力を弱めることにとどまらず、織り糸、繊維間に大きな流速をもたらすことによって流体による機械力を増加させ、汚れを除去しやすくしているものと推測できる。

一方、流体の物性の一つである粘性測定では、ほぼすべての界面活性剤水溶液の粘度が水より高かった。また、濃度、温度の上昇に伴って粘度が増加する点も一致していた。

すなわち、各溶液の粘度と D および C_0 の順位は一致しておらず、水より高粘度の界面活性剤水溶液がメッシュ間隙を通過しやすい結果となった。しかし、粘度は C_0 を示す図の Re の中にすでに含まれている。このことから、各溶液の C_0 の変化は粘度だけでは説明できず、他の要因から検証する必要があることが示唆された。例えば、他の物性である弾性、分子間力、また、メッシュや流路壁に対する高分子や界面活性剤分子の吸着なども考えられ、これらの点からの分析の余地も残されている。

洗浄は、日常生活内の衣類洗浄にとどまらず、工業的にもあらゆる面で行われている。そのほとんどに洗浄剤が用いられ、その主成分である界面活性剤を含んだ洗浄液は、家庭排水や工場排水として自然界に有機物として流出し、環境に与える影響は無視できない。今回、洗浄液の流れ挙動の特徴を明らかにできたことで、これを汚れ除去に効率的に活用できれば、物理的作用の見直しへとつながり、よりクリーンな作用(方法)として洗浄に大きな影響を与える可能性がある。本研究は、こうした点への寄与が期待できる成果をある程度得られたと考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

①AMAKI Keiko, HASEGAWA Tomiichi, NARUMI Takatsune, Drag Reduction in the Flow of Aqueous Solutions of Detergent Through Mesh Screens, Nihon Reoroji Gakkaishi , 査読あり, Vol.36, No.3, 2008, pp.125-131

[学会発表] (計 3 件)

①天木桂子, 界面活性剤水溶液の流動挙動の解明, 日本油化学会第 18 回洗浄・洗剤部会メンバーズセミナー, 2010.1.14, 中央区産業会館 (東京都)

②天木桂子, 長谷川富市, 界面活性剤水溶液の流動挙動の解明, 第 41 回洗浄に関するシンポジウム, 2009.10.15, 京都工芸繊維大学大学センターホール (京都市)

③天木桂子, 洗浄における機械力の付与, 第 40 回洗浄に関するシンポジウム, 2008.10.30, 江戸川区総合区民ホール (東京都)

[その他]

学位論文 (計 1 件)

①天木桂子, 界面活性剤水溶液の流動挙動の解明, 新潟大学自然科学研究科博士後期課程学位論文, 2009, pp.1-205

6. 研究組織

(1) 研究代表者

天木 桂子 (AMAKI KEIKO)
岩手大学・教育学部・准教授
研究者番号: 80193019