up in the range of high rotational speed by turbulence in the intercylinder gap. Modeling of the separation process was based on the assumption that the removal of oil was due to the flocculation-breakup process between oil droplets and micro-bubbles.

円管内パルプサスペンション流れの圧力損失[†]

小川浩平・吉川史郎・小川博久

東京工業大学 化学工学科^{††}

緒 言

パルプサスペンションに関する知見は製紙産業にとってきわめて重要であるにもかかわらず、それが円管内を流動するときの管摩擦係数とレイノルズ数の関係すらも十分な検討がなされているとは言い難い。著者らはパルプサスペンションが円管内を低流速で流動するときの上記関係を明らかにしてきた^{4,5)}が、高流速で流動するときの関係については推測の域を出ていなかった。本研究では、パルプサスペンションが円管内を低流速から高流速までの広い範囲で流動するときの管摩擦係数とレイノルズ数の関係について、エネルギー散逸の相似則¹⁾に基づいて定量的に明らかにすることを目的とする。

実 験

実験には内径 25 mm, 38 mm, 50 mm の長さ 7.3 m の鉛直円管を用いた。円管のヘッドタンクから測定部までの助走区間は 6.1 m であり、流れが十分発達した下流で圧力損失、壁面速度勾配を既報^{4,5)}と同様に測定した。流量は測定部下流に設置したバルブにより調節し円管出口で重量法により直接測定した。圧力損失は円管の軸方向 0.5 m 離れた 2 点の圧力差を圧力変換器を用いて電氣的に測定し求めた。壁面速度勾配は円管内壁に埋め込まれた微小白金電極を用いて拡散律速の電極反応²⁾を利用して測定した。

実験に用いたパルプサスペンションは、広葉樹を漂白したパルプをビーターで叩解してフリーネス³⁾(CSF) (その物理的な意味は明らかではないが、製紙産業において用いられてきた叩解の度合を表す経験的指標) を 470 ml に調整し、壁面速度勾配を測定するために $K_4[Fe(CN)_6]$ 、 $K_3[Fe(CN)_6]$ を各々 0.003 mol/l、KCl を 0.1 mol/l 含むイオン交換水に懸濁させたものである。対象としたパル

プ濃度は 0.081%, 0.20%, 0.46% の三種類である。

結果と考察

1) 圧力損失と流量の関係と管径、パルプ濃度

圧力損失と流量の関係に及ぼす管径の影響をみたのが Fig. 1 である。管径が大きくなるほど同じ流量に対する圧力損失が小さな値をとることがわかる。一方、圧力損失と流量の関係にパルプ濃度は顕著な影響を及ぼさないことが確認された。

2) μ_a , μ_w と管径、パルプ濃度

互いに異なることが確認されている⁴⁾ 圧力損失と流量の関係から求められる粘度 μ_a と圧力損失と壁面速度勾配から求められる粘度 μ_w に及ぼす管径とパルプ濃度の影響をみたのが Figs. 2, 3 である。 μ_a , μ_w とも管径が大きくなるほど、またパルプ濃度が高くなるほど大きな値をとることがわかる。

3) 管摩擦係数とレイノルズ数

前述のように μ_a と μ_w が異なる値をとることから管内には半径方向にパルプ濃度の分布に基づく粘度分布が存在することが予想される⁴⁾ が、そのような場合の管摩擦

Fig. 1 Influence of D on ΔP vs Q

[†] 1993年11月4日受理

^{††} 〒152 目黒区大岡山2-12-1

Fig. 2 μ_a, μ_w vs D

Fig. 3 μ_a, μ_w vs C

係数とレイノルズ数の関係を従来の方法で理論的に明らかにすることは困難である。そこで、管摩擦係数とレイノルズ数の関係を明らかにするためにエネルギー散逸の相似則¹⁾を導入して検討することを試みた。エネルギー散逸の相似則に従うと、ニュートン流体の場合に1となる運動エネルギーの補正係数 ζ_E と前述の μ_a を用いて、修正管摩擦係数 f^* と修正レイノルズ数 Re^* をつぎのように定義することができる。

$$f^* = \frac{1}{\zeta_E} \cdot \frac{\Delta P D}{2 \rho u_a^2 L} = \frac{f}{\zeta_E} \quad Re^* = \zeta_E \cdot \frac{\rho D u_a}{\mu_a} = \zeta_E Re$$

補正係数 ζ_E は粘度分布から理論的に求めることができるが、粘度分布の詳細を明らかにすることは困難である。本研究では、実験データに基づいて f^* と Re^* の関係がニュートン流体の場合の f と Re の関係に一致するように試行錯誤法により ζ_E を求めた。求められた ζ_E を用いて f^* と Re^* の関係を図示したのがFigs. 4, 5であり、また、Fig. 6は本方法のより広範囲の適用性を確認するために、既報⁵⁾のFig. 5の実験データに対して求めた f^* と Re^* の関係である。 Re^* が小さい範囲では $f^*=16/Re^*$ の関係で、また大きい範囲ではBlasiusの式で良好に表すことができ、ニュートン流体の場合の関係と同一となることがわかる。

Fig. 4 Influence of D on f vs Re modified by ζ_E

Fig. 5 Influence of C on f vs Re modified by ζ_E

Fig. 6 Influence of CSF on f vs Re modified by ζ_E

Fig. 7 ζ_E vs D

Fig. 8 ζ_E vs C

なお、同図には従来の f と Re の値を併せて示してあり、また、管径が 50 mm の場合には高流量域での実験が不可能であったため、Fig. 4 にはそのデータを示していない。したがって、任意のパルプサスペンションに対して、その μ_a 、 ζ_E と管径、パルプ濃度の関係がわかれば直ちに圧力損失を推算することができることになる。本実験における μ_a 、 ζ_E と管径、パルプ濃度を図示したのが Figs. 7, 8 である。なお、Fig. 8 中には実験式を示してある。

結 言

パルプサスペンションが円管内を低流速から高流速までの広い範囲で流動するときの管摩擦係数とレイノルズ数の関係について、エネルギー散逸の相似則を導入して検討し、圧力損失を推算する一方法を明らかにした。

Nomenclature

C	= fiber concentration	[%]
CSF	= Canadian Standard of Freeness	[ml]
D	= pipe inner diameter	[m]
f	= friction factor	[-]
f^*	= modified friction factor	[-]
L	= axial distance	[m]

Q	= flow rate	[m ³ ·s ⁻¹]
Re	= Reynolds number	[-]
Re^*	= modified Reynolds number	[-]
u_a	= cross-average velocity	[m·s ⁻¹]
ΔP	= pressure drop	[N·m ⁻²]

ζ_E	= supplementary coefficient	[-]
μ_a	= viscosity obtained from pressure drop and flow rate (: apparent viscosity)	[kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹]
μ_w	= viscosity obtained from pressure drop and velocity gradient at wall	[kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹]
ρ	= density	[kg·m ⁻³]

Literature cited

- 1) Ito, S.: "Kagaku Gijutsusha notameno Ryuutai Kougaku", Kagaku Gijutsusha, Kanazawa (1972)
- 2) Ito, S., K. Ogawa and T. Yuhara: *Kagaku Kogaku*, **37**, 698-703 (1973)
- 3) Nakanishi, A. and M. Murai: "Seishi Kougaku", Kougaku-Tosho Co., Tokyo (1964)
- 4) Ogawa, K., S. Yoshikawa, A. Suguro, J. Ikeda and H. Ogawa: *J. Chem. Eng. Japan*, **23**, 1-6 (1990)
- 5) Ogawa, K., S. Yoshikawa, J. Ikeda and H. Ogawa: *Tappi Journal*, **73**, 217-221 (1990)

Pressure Drop Estimation for Circular Pipe Flow of Pulp Suspension

Kohei Ogawa, Shiro Yoshikawa and Hirohisa Ogawa

Dept. of Chem. Eng., Tokyo Inst. of Tech., Tokyo 152

Key Words : Fluid Flow, Pulp Suspension, Modified Friction Factor, Modified Reynolds Number, Pressure Drop

The relation between the friction factor and the Reynolds number of pulp-suspension

sion flow in a circular pipe was investigated by using the similarity law of energy dissipation. The relation obtained between modified friction factor and modified Reynolds number is the same relation as that of a Newtonian fluid. Making use of this relation it is possible to calculate the pressure drops of pulp-suspension if apparent viscosity, supplementary coefficient, fiber concentration and pipe inner diameter are known.

TOA を担体とする乳化型液体膜によるクロムの抽出[†] —外部水相, 油相, 内部水相中のクロム濃度の経時変化—

叶 偉清*・小幡英二・安藤公二

室蘭工業大学 応用化学科^{††}

環境保全や資源の有効活用を目的として、低濃度のクロムイオンを乳化型液体膜によって濃縮分離する基礎研究および実用化への研究が盛んに行われている^{1-5, 8-10, 12-15, 17-20, 22, 23)}。これらの多くは外部水相中のクロムイオン濃度の経時変化に関するものであるが、油相や内部水相等に関する報告もある。Hochhauser⁹⁾はSpan 類を界面活性剤に用い内部水相中のクロムイオンの経時変化の一部について報告している。江口ら⁴⁾、森ら¹²⁻¹⁵⁾はクロムイオンの分離について一連の研究を行い、外部水相と内部水相中のクロムイオン濃度を実測して、TOA (tri-n-octylamine) を担体とする場合には油相中にその大部分が停滞していると推測している。しかし、油相と内部水相中のクロムイオン濃度の経時変化の測定は行っていない。

筆者らは、市販の界面活性剤Span 80, ポリアミンを用いてTOA を担体とするクロムイオンの抽出実験を行った。クロムイオンの濃縮回収過程における外部水相, 油相および内部水相三相中のクロムイオン濃度, W/O エマルジョンの膨潤を実測した。三相中のクロムイオン含有率の経時変化も示した。

1. 実験装置および方法

実験装置および実験方法は、ほとんど前報³⁾の通りである。前報では油相にn-ヘプタンを用いたが、本報ではW/O エマルジョンがより安定なケロシンを用いた。界面活性剤Span 80 およびポリアミンとして三洋化成のSpan 80 相当品 (インネット S-80, Q306003) 1 銘柄およびポリア

ミン-E (エクソン化学, ECA4360J), ポリアミン-L (日本ルーブリゾール, Lubrizol 6401) の二種類を用いた。W/O エマルジョンの注入は、外部水相の取り込みが最も少ないと報告⁷⁾されているピペット注入法を用いた。緩衝液は酢酸・酢酸ナトリウムであるが、抽出実験中外部水相の pH を一定に保持するために酢酸 (17 kmol/m^3) を滴下した。W/O エマルジョンを半量注入した時点 (注入開始後 20 秒) を抽出開始時間 ($\theta=0$) とした。所定の時間抽出後 W/O/W エマルジョンの全量を分液ロートに移した。300 秒間静置し、外部水相と W/O エマルジョンを分離した。分離された外部水相の体積とクロムイオン濃度* を測定した。W/O エマルジョンを十分に混合後、その一部分約 20 cm^3 を江口ら⁴⁾、森ら¹²⁾の電気解乳化法 (8 kV, 1800 Hz) で 1200 秒間解乳化し、分離した内部水相と油相の体積およびクロムイオン濃度** を測定した。クロムイオン濃度は ICP 発光分析装置 (島津製 ICPS-500) により測定した。

実験条件を Table 1 に示したが、Table 1 と異なる点は文中または図中に明記した。

* この濃度は、抽出操作中の W/O/W エマルジョンをガラスパイプ (内径 $7 \times 10^{-3} \text{ m}$) で所定の時間にサンプリング ($8 \times 10^{-6} \text{ m}^3$) し、ただちに濾過した濾液中のクロムイオン濃度と一致した。

** TOA が 0.2 wt% の場合、油相に森ら¹³⁾の指摘した橙色ゲル状物質は認められなかった。しかし、Span 80 の場合には電気解乳化により得られた油相に若干濁りが認められた。そこで、油相を遠心分離機 (国産 H-30, $2.2 \times 10^2 \text{ r.p.s.}$) で 2700 秒間遠心分離した。遠心分離後の油相は透明で、クロムイオン濃度は遠心分離前と変化が認められなかった。

† 1993年11月29日受理; 化学工学会室蘭大会 (室蘭, 1992年7月) にて一部発表

†† 〒050 室蘭市水元町 27-1

* 中国上海伝輸線研究所