B 2 1 4

パルプ混相流に関する研究

尾川朋史[○](広島大院), 角田 勝 (近畿大)

鈴木節夫 (三菱重工), 柿崎容子 (ホンダエンジニアリング)

A Study on Flow Properties of Pulp Suspension

Tomoshi OGAWA, Masaru SUMIDA, Setsuo SUZUKI and Yoko KAKIZAKI

An experimental investigation was made on pulp-suspension flows in a duct with a square cross-section and around a circular cylinder. The flows were visualized by the light transmission method. A method for obtaining the instantaneous, local pulp-fiber concentration was suggested. Effects of the pulp concentration on the flows were examined and the relationships between their flow pattern and Reynolds number were discussed.

Keywords: Multi-phase Flow, Pulp Suspension, Visualization

1. まえがき

パルプ液では繊維が絡み合っ塊(フロック)状となり、流れの中の繊維濃度が不均一になる性質がある。品質の良い紙を製造するためには、抄紙工程でのパルプ液中の濃度の不均一性をできるだけ小さくすることが重要である。しかし、パルプ液流れの流動特性を調査することは大変難しく、これを扱った研究報告は極めて少ない。

そこで、本研究では光透過法を用いてパルプ液流れの可視化を行い、ついで濃度の評価方法を確立することを目的とする。ここでの流れ場としては基本的な管路内、さらに円柱周りの流れを取り上げて、パルプ繊維濃度の空間・時間変化を調査した。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置と供試パルプ液 実験装置の概略を Fig.1 に示す。装置は循環流路、テストセクションおよび可視化装置部で構成されている。テストセクションは幅 20mm×縦 70mm の縦長断面を有するアクリル製矩形流路で、直径 $d=15\text{mm}$ の円柱が挿入されている。可視化用光源として蛍光灯あるいはハロゲンランプを用い、その透過光をデジタルカメラおよび高速度カメラで撮影した。

座標系は、円柱中心を原点とする直交座標系を用い、流れ方向を X、鉛直方向を Y とした。

供試パルプ液は、現在上質紙に最も多く用いられているクラフトパルプ (LBKP: Hardwood, bleaked, kraft pulp) で、主に広葉樹を原料 (ブラジルセニブラ社) としている。

2.2 濃度測定法 濃度の測定には、透過光減衰法を用いた。Fig.2 は、校正用の流路について濃度 0% での輝度値を I_0 とし、パルプ濃度 $C\%$ を変化させていったときの I との比 I/I_0 と C の関係を示したものである。この関係は、

$$I/I_0 = 0.16C^{-0.53} \quad (0.03 \leq C \leq 4) \quad \dots\dots (1)$$

なる実験式で表され、後述する検査領域内の濃度は式(1)を用いて算出することができる。

Fig. 1 Experimental apparatus

3. 結果と考察

3.1 パルプ繊維分散の把握 パルプ繊維の挙動を把握するためには、局所濃度が定義できる面積要素の大きさ、並びにどの程度の濃度のものを繊維の塊と見なすかについて、あらかじめ検討しておく必要がある。両件については、これまでの抄紙技術に関する報告書⁽¹⁾においてすら言及されていない。

Fig.3 は、この観点から円柱面積に対する面積要素の比 S_r を取り、局所濃度の時間変動を求めた一例である。ここで、レイノルズ数 Re は、 $Re = U_a d / \nu$ (ν : 水の動粘度、 U_a : 平均流速) と定義されている。Fig.3 から、 $S_r \approx 0.06$ にとればパルプの局所濃度を捉えているとみなすことができる。したがって、以後の濃度は $S_r = 0.04 \sim 0.06$ の要素サイズで算出した。

上述のようにして得られた局所濃度 C の時系列データから時間平均濃度 C_{ta} 、さらに変動値 $C' (= C - C_{ta})$ から rms 値 C_{rms} を算出する。また、瞬時濃度の空間分布を表示するに当たっては、Fig.4 に示すように濃度を 4 値化して図示した。ここでの $C_{rms} (= 0.06\%)$ は、 C と供試パルプ液濃度

Fig. 2 Relation between luminance brightness and concentration

Fig. 3 Setting of area element ($C_m = 0.3\%$, $Re = 530$, $X/d = 1.4$, $Y/d = 1.2$, -----: average value)

Fig. 4 Picture processing
($C_m=0.1\%$, $Re=850$)

C_m からの差の rms 値である。 C_m と C_{rms} を用いて、 $C \geq C_m + C_{rms}$ 、 $C_m \leq C < C_m + C_{rms}$ 、 $C_m - C_{rms} \leq C < C_m$ 、 $C < C_m - C_{rms}$ 、と区分されている。 $C \geq C_m + C_{rms}$ なる領域が、フロック(繊維の塊)と便宜上見なすことができる。

3.2 管路内の流れパターン 一般に管路内のパルプ液の流動パターンは、Fig.5 に示すように 3 つのパターン (I: 栓流、II: 混相流、III: 乱流) に大別されるといわれている⁽²⁾。これらの流動様式を確認するために、一辺の長さが 15mm の正方形断面を有する直管路について可視化実験(Fig.5(b))を行った。その結果を Fig.6 に示す。 C_m が高くなるほど I→II、II→III への移行レイノルズ数は大きくなり、また混相流の範囲が広がって混相流から乱流に遷移するレイノルズ数は高くなることわかる。

3.3 円柱周りの流れ Fig.7 は、円柱周りの流れが濃度によってどのように変わるか調べたものである。ここで、各パターンは、A: パルプ液は円柱壁に沿って流れ明確な渦は発生しない、B: 円柱背後によどみ領域が形成される、C: 渦列が発生する、と大別されている。高濃度ほどレイノルズ数を増加させたときに渦列が形成されにくいことがわかる。

Fig.8、9 に濃度分布の測定例を示す。円柱背後のよどみ領域の内側では C_{ta} が高く、その外側では低い値を示す。逆に C_{ms} はよどみ領域の内側では小さく、その外側では高くなっている。このことは円柱背後にパルプ繊維が集まって濃度が高まるものの濃度変動は小さく、繊維のように長

Fig. 5 Flow pattern in ducts

Fig. 6 Classification of flow pattern in a duct

Fig. 7 Classification of flow pattern around a circular cylinder

Fig. 8 Distribution of concentration
($C_m=0.1\%$, $Re=2100$; Pattern C)

Fig. 9 Distribution of concentration
($C_m=0.3\%$, $Re=530$; Pattern B)

さのある混入物質はその領域内での乱れや濃度変動を抑えと考えられる。

やや濃度が高くなり ($C_m=0.3\%$)、流速が低い場合 ($Re=530$; Fig.9)、円柱前方よどみ点にはパルプの繊維が堆積して濃度が高まる。一方、円柱壁面に沿う流れは低濃度の水流となるため、後方には濃度の低い領域が広がる。この領域には繊維が時折混入し、濃度変動の値としては大きくなる。しかし、流速が増すと ($Re=3200$) 円柱直前の高濃度パルプ領域は狭まり、円柱背後の C_{ta} は高くなる。そして濃度変動の値における後流領域と他の領域との差は、小さくなる。また、円柱背後の C_{ta} の増加は乱れを抑制しているとも考えられ、カルマン渦列の発生レイノルズ数の値は急に大きくなる。

4. まとめ

パルプ分散濃度を評価する具体例を提示し、繊維の塊と見なす手法を提案した。ついで管内および円柱周りの流れパターンについて大別し、各パターンに及ぼすレイノルズ数とパルプ液濃度との関係を明らかにした。

参考文献

- 1) 製紙技術組合:研究開発報告書、(1990)。
- 2) Forgacs, O.L. et al., Pulp Paper Mag. Can., 59 (1958), p.117.
- 3) 原田ら、広島大学工学部研究報告、48 (1999), pp.1-10.