

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 9 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560212

研究課題名(和文) 急拡大部における製紙用パルプ液の流れと高濃度パルプ繊維の分散制御

研究課題名(英文) Flow of a wood pulp suspension through sudden expansion ducts and dispersion control of a high-consistency pulp-fibers

研究代表者

角田 勝 (SUMIDA, Masaru)

近畿大学・工学部・教授

研究者番号：60113403

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：ヘッドボックス流路内の急拡大部における製紙用パルプ液の流れ特性およびパルプ繊維挙動に及ぼす流路の拡大比や流量の影響を調べた。とりわけ、パルプ繊維濃度の平均および変動分布や濃度むらの度合いの管軸方向変化を求め、これらに及ぼす供試パルプ液濃度と流路拡大比、さらには拡大部への流入流速の影響を明らかにした。

これらの知見から、高濃度パルプ繊維の分散制御を図って、抄紙機ヘッドボックスの最適化に繋がる学術的資料を作成した。

研究成果の概要(英文)： An experimental investigation of the flow of wood pulp suspensions in a modeled hydraulic headbox of papermaking machines was performed. In the experiments, we investigate the flow characteristics in three sudden-expansion ducts and examine the influences of the expansion ratio and the flow rate on the behavior of the pulp fibers. The changes in the distributions of time-averaged concentration and the fluctuations of the concentration along the duct axis are illustrated for the pulp suspensions with various concentrations. Moreover, we discuss the degree of nonuniformity of the fiber concentration. The results obtained from this study are useful basic data and are expected to contribute to improving and optimizing headbox of the papermaking machines.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：パルプ・紙 混相流 急拡大流路 濃度むら ヘッドボックス 繊維濃度

1. 研究開始当初の背景

(1) パルプ繊維を含む懸濁液から水分を除去して紙を製造する抄紙機については、近年、印刷品質の高度化とともに抄紙性能への向上の要求が一層強まってきており、抄紙機業界あげてその努力が様々な形でなされている。特に、抄紙機を構成するパートの中でもヘッドボックス(図1)の形状およびその中でのパルプ液流れ特性が極めて重要で、主要な研究課題の一つとなっている。

(2) パルプ液は繊維が絡み合っ塊状(フロック)となり、濃度の局所的なむらが大きくなって流れ中の繊維濃度は不均一になる性質がある。しかし、このような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。

(3) 製紙業界では京都議定書に定める省エネルギー開発が最重要課題になっている。そのためには、1%を超える高濃度パルプ液中でも繊維分散が十分可能となるヘッドボックス流路についての技術開発が急務となっている。

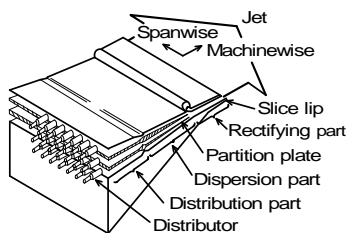


図1. ヘッドボックス

2. 研究の目的

(1) 流路中の急拡大部(図2)を用いて高濃度パルプ液の分散を促進する方法について実験的研究を行い、拡大部でのパルプ繊維挙動や濃度分布が流路の拡大比や流量の増加に伴っていかに変化するかを調べる。

(2) 高濃度パルプ繊維の分散を可能にする急拡大率 $\beta = d_2/d_1$ を求め、供試パルプ液濃度 C_s と拡大率 β との関係を明らかにする。

(3) 分散された高濃度パルプ液流れについては、再フロック化を抑制しながら速やかに整流させる必要がある。この点からパルプ繊維濃度の軸方向変化や濃度むらの度合いを調査して、抄紙機ヘッドボックスの最適化を諮る学術的資料を作成する。

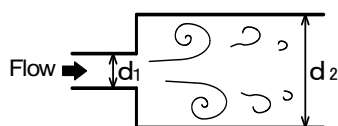
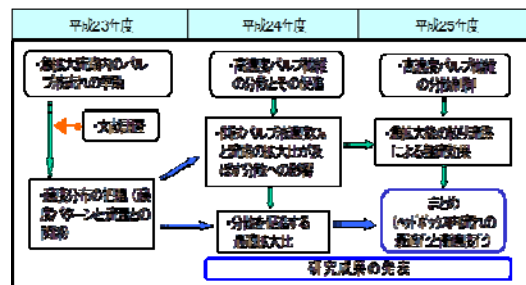


図2. 高濃度パルプ繊維の分散を可能にする急拡大流路

3. 研究の方法

(1) 研究方法の概要

下図のような計画(平成23~25年度の3年間)で研究を実施した。



(2) 研究方法(各実施年度について)

① 初年度の平成23年度には、文献調査を行いつつ、実機のハイドロリック型ヘッドボックスの形状を参考に、拡大率(d_2/d_1)が1.5~3の透明アクリル製矩形断面試験流路を製作した。ついで、まずは比較的低濃度($C_s=0.3\sim0.6\%$)のパルプ液流れについて、申請者が開発した濃度評価技術を用いて濃度分布を求める基礎実験を行った(図3)。実験は、パルプ液ダクト内流動として代表的な5つの流れ状態が上流部から拡大部に流入する場合について行い、急拡大後の濃度パターンに及ぼす流量の影響について考察した。

② つづく平成24年度には、初年度に行った比較的低濃度($C_s=0.3\sim0.6\%$)のパルプ液の結果を基に、高濃度($C_s=0.8\sim1.5\%$)パルプ液流れについて実験的研究を重ねた。また、可視化観察と並行して、急拡大部の圧力分布や急拡大損失も求めた。

③ 平成25年度(最終年度)では、前年度に行ったパルプ繊維濃度が1%を超す比較的高濃度のパルプ液を用いたパルプ繊維濃度測定の結果も参照して、濃度の時間平均や変動の分布を求めた。さらに、これらの流れ軸方向に沿う変化を示し、濃度むら进行评估した。以上の濃度・速度情報から、高濃度パルプ液の分散促進・制御を図る資料を作成した。

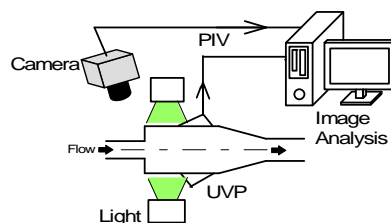


図3. 分散制御法試験装置図

4. 研究成果

(1) 長方形断面形状を有するダクトの圧力損失と流量の関係(図4)は、円形断面管路のそれと酷似しており、またパルプ繊維の濃度分布および挙動の観点から5つのパターンに大別することができる。

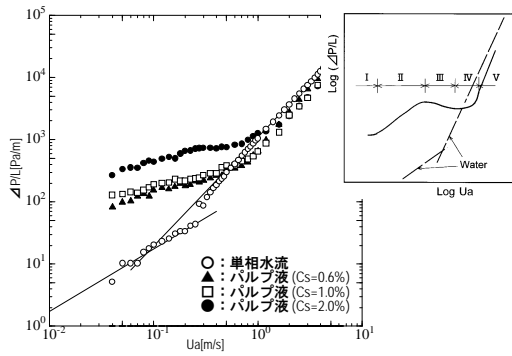


図4. 長方形断面ダクトの圧力損失と断面平均流速 U_a との関係(右上図は模式図)

(2) 急拡大後の圧力の回復は高濃度になるほど大きく、その値は拡大比 β が大きいほどやや高い値を示す。また、圧力分布の値が最大となる管軸方向断面位置は拡大比 β によって大きく異なり、 β が大きくなるほど下流位置となる。しかも、この距離は流速が増加してもあまり変わらない。(図5)

さらに、圧力回復距離は単相水流の場合、レイノルズ数に関わらずほぼ同じ値を示すが、パルプ液の場合は濃度が高いほど長くなる。しかし、流れが乱流化するとその距離は短くなり、単相水流の値に近づく。

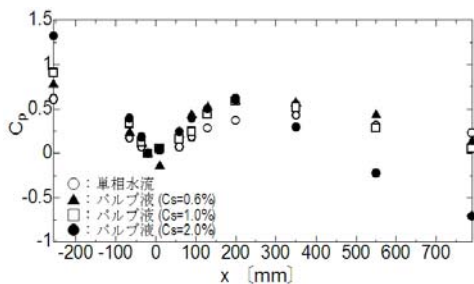


図5. 圧力分布 ($\beta=3$, $U_a=0.4$ m/s)

(3) 急拡大後の流れの再付着距離 L_R をステップ高さ $h [(d_2 - d_1)/2]$ で整理した L_R/h は、層流の場合、拡大比 β が小さい方がわずかに大きい値を示しながらレイノルズ数の増加とともに大きくなる。遷移領域においては流速が増すにつれて流れは偏向し、再付着距離は上・下面壁側で異なるようになる。しかしながら、流れが乱流化すると β の大きい流路では L_R/h はあまり変わらなくなる。

(4) 急拡大後のパルプ繊維濃度は流速に大きく依存した分布形状を示し、その流れ方向変化は概ね3つのパターンに分けられる。

① 低流速の場合、急拡大後でのパルプ液は太管路全体に直ぐに拡がり、時間平均濃度分布 C_{ta} は流路中央部で高く、変動値 C' は逆に低い値を示す。そのため、流れ軸上での時

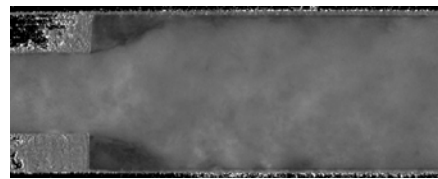
間平均濃度 C_{ta} は急拡大面の位置では高い値を示すが、太管下流にいくにつれて徐々に低下していく。

② 中程度の流速では細管内からの流体は太管路全体に拡がらずパルプ繊維も併せて流下する。そのため、流れ軸上の C_{ta} の値は太管内でもあまり変化なく、濃度変動 C' は中央部で低く壁面寄りが高い分布形状を示す。

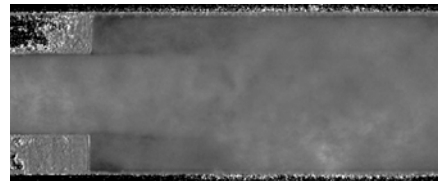
③ 高流速では流れは乱流化してパルプ繊維は分散され、 C_{ta} および濃度変動 C' の分布はほぼ平坦な形状を示すが、 C' の値は小さくなる。

(5) 各断面の時間平均濃度 C_{ta} の分布から算出されるパルプ繊維濃度の不均一度(濃度むら) α は、上流で水環が最も厚くなる流れパターン(中程度の流速)の場合、急拡大面では非常に高い値を示すが、いずれの拡大比においても上流管の流路高さ d_1 の約 $6d_1$ 下流で最小値を示す(図7)。以降では、濃度むらは次第に大きくなるが、高濃度のパルプ液ほどその上昇の度合いは大きい。

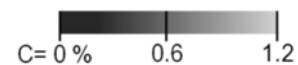
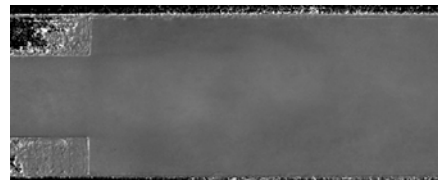
これらの知見から、抄紙機ヘッドボックスとして急拡大流路部の下流に取り付ける絞り流路の位置は、 $10d_1$ 辺りが適切と思われる。



(a) 低流速 ($U_a=0.06$ m/s)



(b) 中流速 ($U_a=0.125$ m/s)



(c) 高流速 ($U_a=0.8$ m/s)

図6. 急拡大部のパルプ繊維濃度の分布 ($\beta=2$, パルプ液濃度 $C_s=0.6\%$)

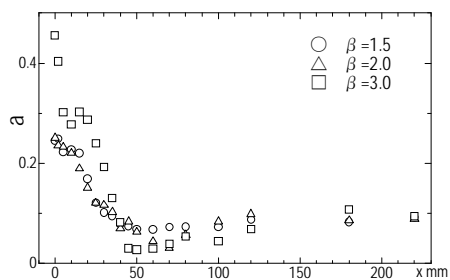


図 7. パルプ繊維濃度の不均一度
(パルプ液濃度 $C_s=1.0\%$ 、 $U_a=0.4$ m/s)

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 8 件)

- ① Masaru Sumida, Flow Properties of Wood Pulp Suspensions in Pipes, World Academy of Science, Engineering and Technology, 査読有, Issue 83 (2013), pp. 144-147.
<http://www.waset.org/Publications?p=83>
- ② 角田勝、藤本太郎、製紙用パルプ液のレオロジー特性、近畿大学次世代基盤技術研究所報告、査読無、Vol. 4 (2013)、pp. 49-53.
<http://kuring.hiro.kindai.ac.jp/hokoku/index.html>
- ③ Masaru Sumida, Flow Characteristics of Pulp Liquid in Straight Ducts, World Academy of Science, Engineering and Technology, 査読有, Issue 74 (2013), pp. 884-888.
- ④ Masaru Sumida, Setsuo Suzuki, Flow Control of Dispersion Section of Hydraulic Headbox of Papermaking Machine, International Journal of Flow Control, 査読有, Vol. 4, No. 3+4 (2012), pp. 83-96.
<http://multi-science.metapress.com/content/121499/>
- ⑤ Masaru Sumida, Development of a Technique for Measuring Fiber Concentration of Pulp Liquid Flow, International Proceedings of Computer Science and Information Technology (IPCSIT): Fluid Dynamics and Thermodynamics Technologies, 査読有, IACSIT Press, Vol. 33 (2012), pp. 118-124.

ほか 3 件

[学会発表] (計 5 件)

- ① 角田勝、藤本太郎、円管内パルプスラリーの流れ、第 41 回可視化情報シンポジウム、講演論文集、2013 年 7 月 18 日、工学院大学 (東京)。

② 角田勝、後久保智之、藤本太郎、分散板後方のパルプ液流れ、日本機械学会流体工学部門講演会、2012 年 11 月 18 日、同志社大学 (京都)。

③ 角田勝、藤本太郎、管路内における製紙用パルプ液流れの繊維濃度分布、日本機械学会 2011 年度年次大会、2011 年 9 月 12 日、東京工業大学 (東京)。

ほか 2 件

[その他]

研究紹介

http://www.aero.kyushu-u.ac.jp/jsass_west/ 西部支部ニュース No.21

6. 研究組織

(1) 研究代表者

角田 勝 (SUMIDA, Masaru)

近畿大学・工学部・教授

研究者番号：6 0 1 1 3 4 0 3