

はバルブの開閉により調整している。流量の測定は電磁流量計を使用した。圧力測定孔の間隔300mmの圧力損失は圧力変換器で測定した。圧力損失の値は0.1秒間隔で50点のデータを平均することで求めた。実験は供試流体を流し、試験部の圧力差を測定することによって行った。供試流体の濃度、温度、装置の管径などを変化させ、その影響を調べた。

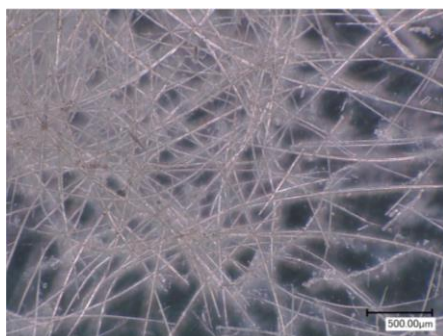


図1 竹繊維写真

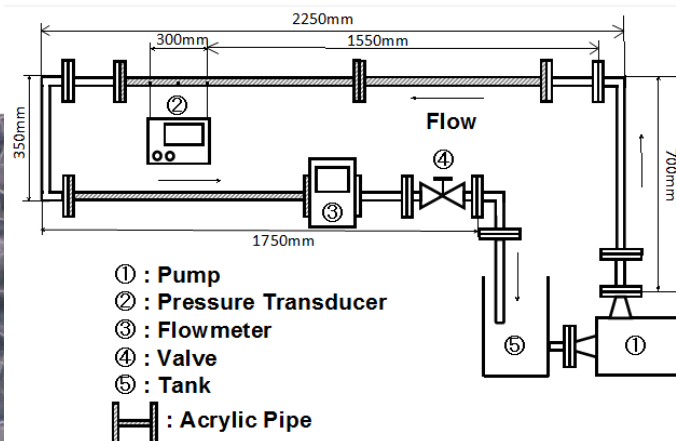


図2 実験装置

②流動特性

図3にCw=3500ppmにおける各管径での圧力損失実験の結果をレイノルズ数Reと管摩擦係数λの関係で示す。水での測定結果はばらつきは少なく、誤差2%以内でBlasiusの式によく一致しており、今回使用する装置の精度は十分であると言える。

竹繊維懸濁液での結果は、水の場合と比較して、どの管径においても管摩擦係数は減少することがわかるが、その減少率は管径が大きくなるにつれて増加した。この結果より、竹繊維懸濁液は抵抗低減効果を有することがわかる。流動抵抗の低減は、同一ポンプ動力の基では流量増加すなわち壁面近傍のせん断速度の増加を意味し、抵抗低減効果がない場合と比較し、壁面近傍における汚れ除去・防止効果が高い状態と言える。

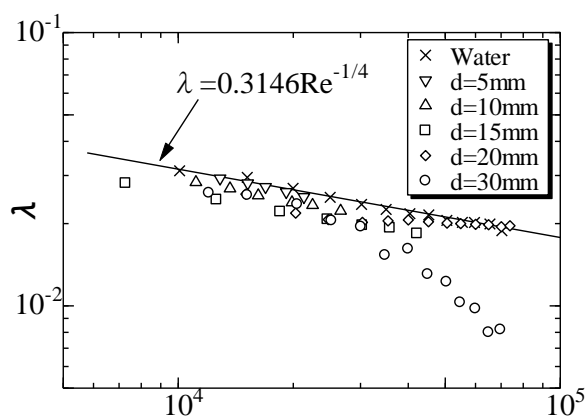


図3 竹繊維懸濁液の管摩擦係数

図4(a) (b)に供試流体の濃度 C_w と以下の式で定義される抵抗低減率DRの関係を示す。

$$DR[\%] = \frac{\lambda_w - \lambda}{\lambda_w} \times 100(\%) \quad (1)$$

ここで、 λ は懸濁液の管摩擦係数、 λ_w は水の管摩擦係数である。

抵抗低減率は $C_w=3500$ ppm付近まではどの管径においても濃度の増加とともに大きくなっていることがわかる。しかし、 $d=5, 10, 15, 20$ mmの場合は $C_w=3500$ ppm以上、 $d=30$ mmの場合は $C_w=4000$ ppm以上になると抵抗低減率の変化がほとんどなくなる、または減少していることがわかる。特に $d=20$ mmの結果に関しては、抵抗低減が得られる濃度の極大値を超えると低減効果が消失し、 $d=30$ mmの場合は極大値を過ぎると抵抗が増加した。

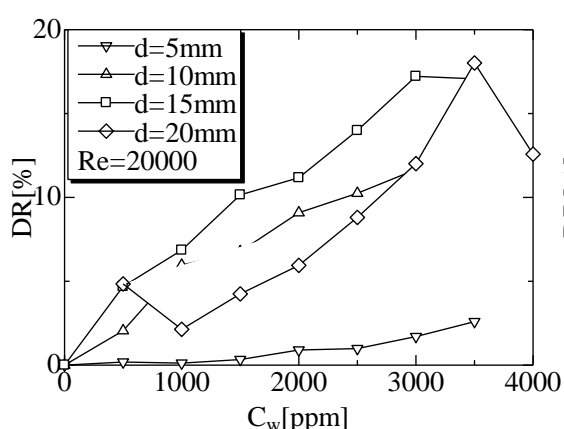


図4(a) 濃度の影響 ($5\text{mm} < d < 20\text{mm}$)

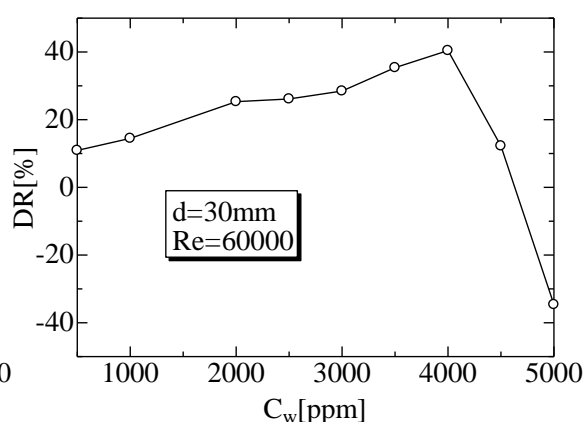


図4(b) 濃度の影響 ($d=30\text{mm}$)

図5(a) (b)は管摩擦係数とレイノルズ数の関係を供試流体の温度ごとに整理したものである。抵抗低減率は温度に依存し、その効果は温度の増加とともに減少した。低温の懸濁液では高温の場合に比べ Re の変化によるDRの変化が少なかった。また、低 Re では高温になるにつれてDRが減少したが、高 Re では高温になるとDRが大きくなる様子が見られた。

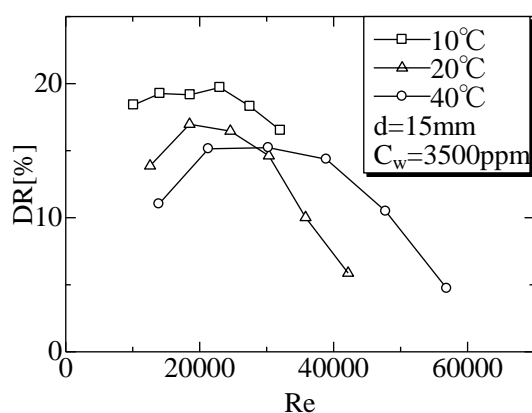


図5(a) Re とDRの関係

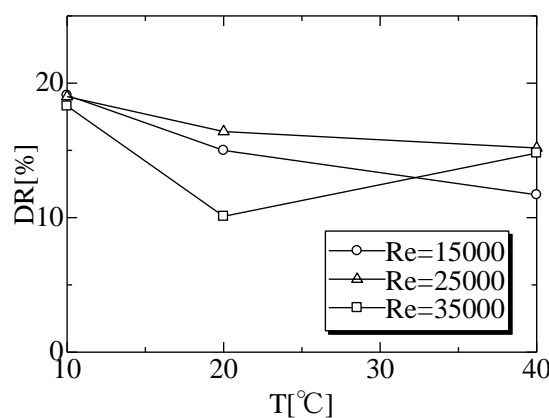


図5(b) 温度とDRの関係

図5 温度の影響

図6は流速と抵抗低減の関係である。抵抗低減効果は $V=0.5\sim 3.5$ m/sの範囲で生じ、 $d=5$ mmの場合を除き、抵抗低減の極大値はおよそ $V=1.0\sim 2.0$ m/sの間にあることがわかる。流速の変化は繊維の分散に大きく影響を与えられ、竹繊維の場合、管径によらず、最も高いDRが得られる繊維の分散状態になるのはおよそ $V=1.0\sim 2.0$ m/sの間であると考えられる。

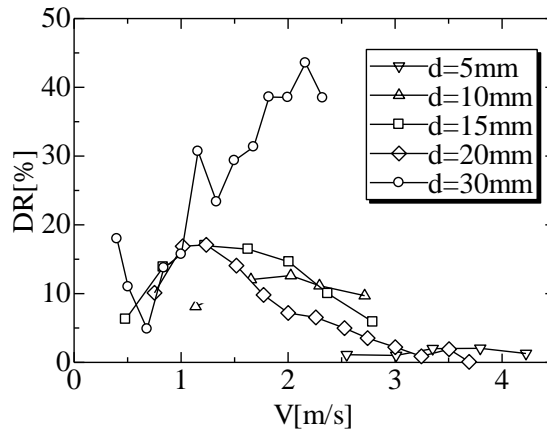


図6 平均流速と抵抗低減率の関係

各管径における流量と抵抗低減率の関係を図7に示す。図中の実線は抵抗低減効果が生じた範囲の上限と下限である $V=0.5$ m/sと $V=3.5$ m/sを示している。図より各実線付近では抵抗低減効果は小さくなっており、実線から遠ざかるにつれて抵抗低減効果が大きくなっていることがわかる。また、その低減効果は管径が大きくなるにつれて増加し、大きな低減率が得られる流量の範囲も管径が大きくなるにつれて増加する。今回の実験の範囲内では管径30mmまでの結果しかないが、実用化などのためには更に大きな管径での実験が必要であり、その際に竹繊維懸濁液で抵抗低減効果が得られる流量範囲の目安が必要であると考えられる。そこで今回の実験結果を用いて、管径が1000mmの場合までの各管径における抵抗低減効果が得られる流速の範囲の予測図を図8に示す。図中の $V=0.5$ m/sと $V=3.5$ m/sの実線の間範囲に流量範囲が入っていれば抵抗低減効果が生じると考えられる。

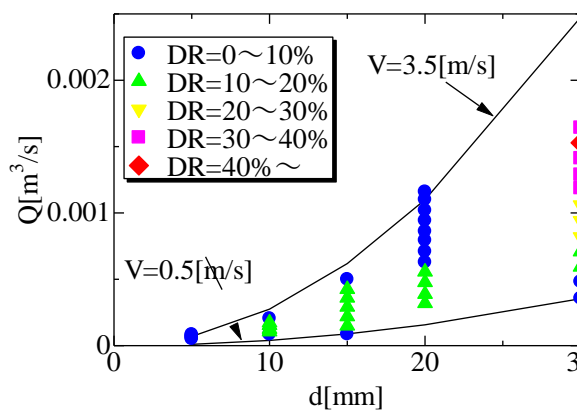


図7 流量と抵抗低減率の関係

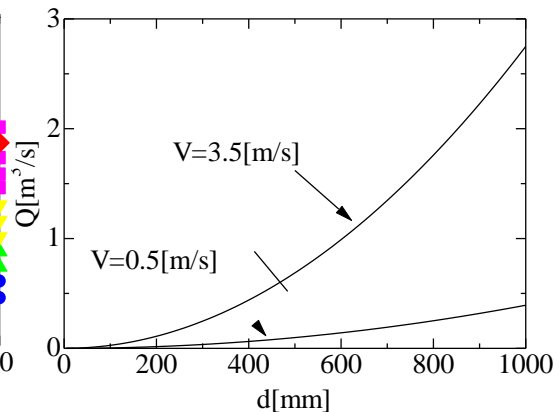


図8 抵抗低減率の予測

前述したように、同一ポンプ動力の基で抵抗低減率の増加は流量の増加を意味しており、壁面近傍における流速（せん断速度）は増加する。汚れの洗浄や付着防止に関して定量的な結果は得られていないが、壁面近傍における流速の増加により壁面への汚れの付着防止性能や汚れの除去性能は大きく向上するため、本研究の抵抗低減率の増加により、これらの性能は大きく向上すると考えられる。

汚れ洗浄・付着防止効果に密接に関連する抵抗減少効果に影響を及ぼす竹繊維の場合の繊維条件は、濃度3500pp以下であれば良いことが分かる。また、管内径により流動条件が異なり、図8の範囲に流量が入るように運転することが必要であることが分かった。さらに、汚れに見立てたインクや寒天が流れによりどのように除去されるかを調査したが、流れが乱流であれば、どのような条件（繊維を入れなくても）でも汚れは除去されてしまった。当初の目的とは異なり、どのような条件で汚れが除去不可能になるかの検討、落ち難い汚れの再現が必要である。

③使用済み繊維の回収

本手法を実用化するためには、使用後の繊維を回収する必要がある。図9に繊維回収実験の結果を示す。横軸は孔径0.3mmのフィルターを取り付けてからの時間 t と流量から算出した流体がフィルターを通過した回数 N である。フィルターを取り付けた時間を $t=0s$ とした。図よりフィルターを取り付けた直後から抵抗低減率が減少していることがわかる。これは竹繊維がフィルターに回収され繊維懸濁液の濃度が下がったからであると考えられる。時間が経つにつれ抵抗低減率は減少し $t=300s$, $N=25$ で $DR=0$, つまり元の水の管摩擦係数に戻っていることがわかる。この結果から、配管内の汚れ防止に使用した竹繊維、もしくは汚れを除去した後の竹繊維は非常に簡単な方法で懸濁液から回収することが可能であることがわかった。また、回収した繊維を乾燥させ、再び添加剤として実験を行っても、新しい繊維と変わらない効果を発揮することが分かった。

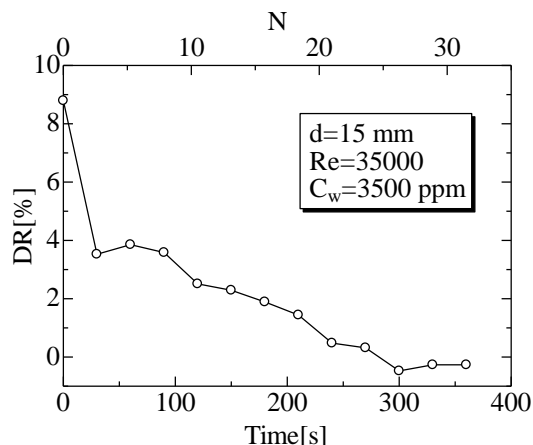


図9 使用済み繊維の回収結果

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

天然繊維を液体内に添加し、その流動抵抗を低減させる研究は、配管内流動における省エネルギー効果を生み出す。同じ流量を生じさせるためにポンプの回転数を下げることが出来るため電気代の節約になる。液体を有する配管だけでも、実社会に無数に存在するため、天然繊維を入れることが可能ならば、全体の省エネルギー効果は非常に大きいと言える。一方、抵抗低減効果はポンプの回転数を変えない場合流量の増加に繋がるため、配管内部に汚れがつきにくくなり着いた汚れもポンプの運転状態を変えずに落とすことが可能となる。これらは、ホテル・温泉・老人ホーム・健康センターなど入浴施設や都市の大規模管路網・ビルの配管などに適用可能であると考えられる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究は、これまで考えたことがなかった汚れの除去に関するものであり、新しいテーマを始める良いきっかけになった研究と考えている。これまでの研究で行ってきたマイクロバブルも洗浄性能を有していることが知られており、マイクロバブルと繊維の混合による新しい抵抗低減、洗浄というような研究に繋がる可能性もある。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

【学会発表】

(1)小方聡、親水性・疎水性壁面や天然繊維を利用した流れの抵抗低減、『第8回希薄溶液の流動学講演・見学会』、平成28年5月11日(水)、首都大学東京

7 補助事業に係る成果物

なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 首都大学東京大学院理工学研究科機械工学専攻小方研究室（シュトダイガクトウキョウ ダイガクインリコウガクケンキュウカ キカイコウガクセンコウオガタケンキュウシツ）

住 所： 〒192-0397（半角）

東京都八王子市南大沢 1 - 1

申 請 者： 役職名 准教授（准教授）

担 当 部 署： 理工学研究科機械工学専攻（コウガクケンキュウカ キカイコウガクセンコウ）

E-mail： ogata-satoshi@tmu.ac.jp

U R L： <http://www.comp.tmu.ac.jp/ogatalab/>