

## 木材由来のナノ物質添加による円管内流れの摩擦低減

### Drag reduction of pipe flows with wood-based nanomaterials

○学 庄田 圭佑 (岡山大), 岡本 拓也 (岡大院), 正 河内 俊憲 (岡大院)  
 正 木之下 博 (岡大院), 正 永田 靖典 (岡大院), ◎正 柳瀬 眞一郎 (岡大院)  
 Keisuke SHOUDA, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama, 700-8530 Japan  
 Takuya OKAMOTO, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama, 700-8530 Japan  
 Toshinori KOUCHI, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama, 700-8530 Japan  
 Kinoshita Hiroshi, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama, 700-8530 Japan  
 Yasunori NAGATA, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama, 700-8530 Japan  
 Shinichiro YANASE, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama, 700-8530 Japan

**Key Words:** Straight-pipe flow, Friction factor, Oxide Wood Nano Carbon, Cellulose Nano Fiber

## 1. 緒言

### 1.1. 背景

界面活性剤や高分子を溶液に添加すると、溶媒のみの場合に比べて管摩擦係数が大幅に減少するトムズ効果が生じる<sup>(1)</sup>。しかしながら、高分子を添加した場合にはポンプなどによる機械的せん断力によって分子構造が破壊され、繰り返し使用するとトムズ効果が薄れてしまうという<sup>(2)</sup>。そのため現在では界面活性剤を添加した研究が数多くされており、地域冷暖房システムへの導入も検討されている。界面活性剤の多くは環境への負荷が大きく、界面活性剤が残留した液体を河川等に放した場合には分解に数日から数十日必要である。また、産業廃棄処理の主力である活性汚泥法では処理が困難で<sup>(3)</sup>、専用の処理設備が必要となる。そのため、低コスト化・省エネルギー化の観点から環境負荷が少なく、抵抗低減効果を示す添加物の発見・研究が必要とされている。そこで本研究では、環境への負荷が少ない木材由来のナノ物質を水に添加し、これが管摩擦に与える影響を調べた。

## 2. 添加したナノ物質

### 2.1. 木質ナノ黒鉛 (Oxide Wood Nano Carbon)

木質ナノ黒鉛は、仁科と木之下<sup>(4)</sup>によって、木材から黒鉛構造を有した物質を合成することを目的に開発された。この木質ナノ黒鉛は数百メートルサイズで、球がつらなつたような形状をしている。この木質ナノ黒鉛を金属間に添加すると摩擦が減少するということが報告されている<sup>(4)</sup>。そのため、本研究では木質ナノ黒鉛を円管内流れに添加することで、管摩擦係数が減少するのではないかと期待し、0.01 wt%の木質ナノ黒鉛を添加して実験を行った。

### 2.2. セルロースナノファイバー (Cellulose Nano Fiber)

セルロースナノファイバーは主に木材パルプを原料としており、その木材パルプ繊維をナノサイズまで細かく解繊したナノ物質である。このセルロースナノファイバーは鉄鋼の1/5の軽さでその5倍の強度を有している<sup>(5)</sup>。本研究では、この特性によってセルロースナノファイバーでは機械的せん断力による劣化が生じないのではないかと期待し、セルロースナノファイバーを0.146 wt%添加して実験を行った。

## 3. 実験

### 3.1. 実験装置

図1に実験装置の配置図を示す。実験方法としては、窒素ガス(①)によって水槽内(④)を加圧し、流量調整弁(⑧)を開けることにより液体が流れる。その時の実験結果を差圧計(⑥)・流量計(⑦)・圧力センサ(③)によって測定した。なお、管内を流れる溶媒は水である。

図2に測定部断面を示す。一般に管径が小さいほどトムズ効果が大きい<sup>(6)</sup>とされていることから、内径2.15 mmのパイプを使用した。このパイプの全長は500 mm、そのうち助走距離は300 mm、差圧測定距離は100.2 mmである。

図3にはパイプ入り口部の拡大写真を示す。パイプ入り口に8箇所を設けることにより吸い込みによる外乱を加え、乱流遷移をはやめる工夫を行っている。その結果、本実験装置での水の場合で遷移レイノルズ数は約2000となった。

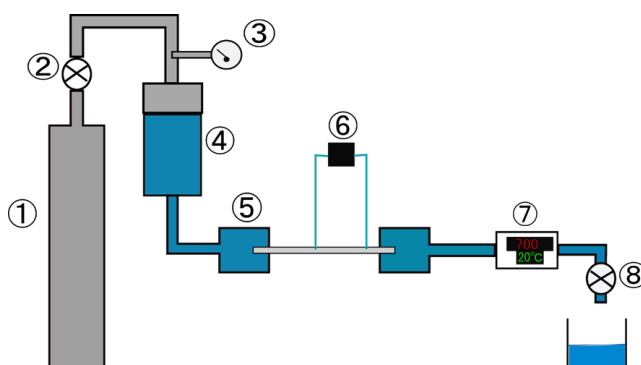


Fig.1 Experimental arrangement

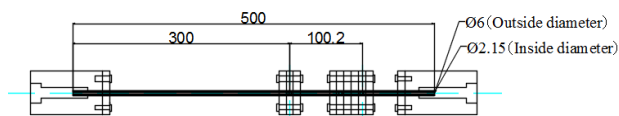


Fig.2 Measurement



Fig.3 Pipe inlet

## 4. 実験結果

### 4.1. 木質ナノ黒鉛

今回の実験では添加した濃度が 0.01wt% と低いことから、データの処理には水の物性値を用いた。図 4 にその実験結果を示す。図 4 の縦軸は管摩擦係数、横軸はレイノルズ数で 2 本の赤色の実線が木質ナノファイバーを添加した場合、青色の実線が水の場合を示している。また、2 つの点線はそれぞれ層流領域の理論値、乱流領域のブラジウスの実験式を示している。

図 4 より、水の場合において  $Re < 2000$  で実験値は理論値を、また  $Re > 3000$  ではブラジウスの実験式をよく再現しており、実験装置の信頼性は十分であることが分かる。水の場合の臨界レイノルズ数は約 2000 である。他方で木質ナノ黒鉛を添加することにより臨界レイノルズ数が 2500~3000 へと大きくなっていることが分かる。しかし、木質ナノ黒鉛を添加した場合の 2 本の実験結果には差が存在することも分かる。

このように、木質ナノ黒鉛には遷移を遅くする効果があることが分かった。しかし、実験結果に差が存在することから、遷移を遅らせる効果にはばらつきが存在することも分かった。このばらつきについては、木質ナノ黒鉛は沈降スピードが早く、実験前に液体を数回循環させて濃度が一定になるように努力したが、濃度にムラが出来てしまったためであると思われる。

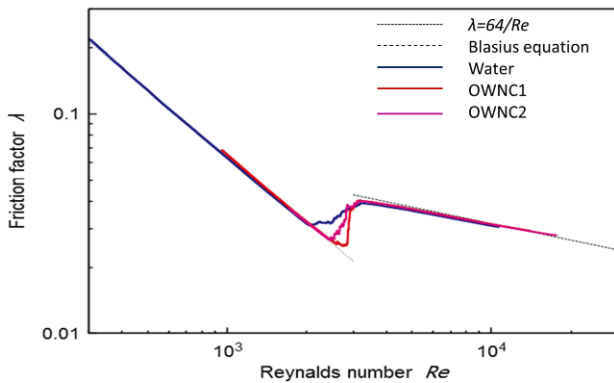


Fig.4 Effect of OWNC on friction factor

### 4.2. セルロースナノファイバー

今回の実験で添加した濃度が 0.146 wt% と高く、粘性係数が大きく増加していると思われる。しかし、粘性係数の測定を行えていないため、今回は粘性係数の影響を含まない差圧と流速による比較を行った。

その実験結果を図 5 に示す。図 5 において、縦軸は差圧、横軸は流速、3 本の緑色の実線はセルロースナノファイバー

を添加した場合、2 本の青色の実線は水の実験結果を示している。

図 5 より、水の場合では流速が約 1 m/s で遷移が生じている。他方で、セルロースナノファイバーを添加した場合は流速が約 3.5~4 m/s で遷移が生じており、遷移域に差があることも分かる。また、同じ流速での水の場合と比較して、低流速域では差圧が大きく、高流速域では差圧が小さくなっていることが分かる。これは、低流速域ではセルロースナノファイバーを添加したことによる粘性係数の増加によって差圧が大きくなったものと思われる。しかし、低流速域で粘性係数が増加しているにも関わらず、高流速域では差圧が小さくなっており、摩擦損失が減少していることが分かる。これにより、セルロースナノファイバーを添加することにより、せん断速度によって粘度が変化する<sup>2)</sup>非ニュートン流体へと性質を変化させた可能性があることが分かった。

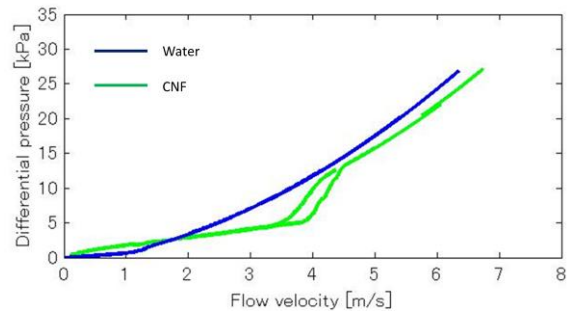


Fig.5 Effect of CNF on differential pressure

## 5. 結言

本研究では、円管内流れにおいて木質ナノ黒鉛、セルロースナノファイバーという 2 種類のナノ物質を添加して実験を行った。木質ナノ黒鉛を 0.01 wt% 添加した場合には、乱流遷移が遅れることが分かった。しかし、その遷移を遅らせる効果にはばらつきが存在することも分かった。セルロースナノファイバーを 0.146 wt% 添加した場合には、水の実験結果と比較して低流速域では差圧が大きく、高流速域では差圧が小さくなったことから、セルロースナノファイバーの添加は水を非ニュートン流体へと性質を変化させた可能性があることが分かった。また、この変化により高流速域で摩擦損失が減少した。

## 6. 引用文献

- (1) 荒賀 浩一ほか, 抵抗低減界面活性剤水溶液流れの乱流遷移現象
- (2) 日本冷凍空調学会 HP, <http://www.jsrae.or.jp/annai/yougo/104.html>
- (3) 松浦 崇ほか, 界面活性剤含有廃水の現状と課題, 生物機能開発研究所紀要 12:28-32, (2011)
- (4) 仁科 勇太, 木之下 博, バイオマス由来ナノカーボンの合成と用途開拓 [http://www.orpc.okayama-u.ac.jp/tenji/file/pdf/3\\_nano\\_tech/2016/1\\_nishina.pdf](http://www.orpc.okayama-u.ac.jp/tenji/file/pdf/3_nano_tech/2016/1_nishina.pdf)
- (5) 矢野 浩之, セルロースナノファイバーの製造と利用, Journal of the Japan Institute of Energy, 89, 1134-1140(2010)
- (6) 日野 幹雄ほか, ポリマー稀溶液の流体抵抗減少 (いわゆる Toms 効果) に関する研究, 土木学会論文報告集第 211 号 1973 年 3 月