



Title	粘弾性流体の複雑流路内流れに関する研究
Author(s)	小柴, 孝
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/42713
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	小柴 孝 ^{たかし}
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 15732 号
学位授与年月日	平成12年9月29日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	粘弾性流体の複雑流路内流れに関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 中村喜次次
	(副査) 教授 辻 裕 教授 稲葉 武彦 助教授 森 教安

論文内容の要旨

本論文は、粘弾性流体が内部に複雑な空孔構造を有する多孔質体およびそのモデル流路を通過するときの流れ抵抗の変化と流体の粘弾性特性の関係を解明することを目的として行ったものであり、8章から構成されている。

第1章は序論であり、研究の背景、従来の研究との関連、研究の目的について述べている。

第2章では、実験に用いた粘弾性流体の伸長粘度をスピンドルレオメータにより測定し、その特性を調べている。試料流体の伸長粘度は、わずかな伸長速度の増加に対する急激な伸長粘度の増加、すなわち、stretch-thickening性を有することを明らかにしている。

第3章では、球形粒子を規則的に充填することで構成される粒子充填層を多孔質体のモデルとし、粘弾性流体通過時の圧力損失特性を調べている。そして、流量増加に伴う圧力損失の急激な増加、すなわち、過剰圧力損失が発生することを示している。

第4章では、粒子充填層内における粘弾性流体の流れに関し、円柱列流路を用いて可視化実験を行い、過剰圧力損失の発生と流れ様式の関係について議論している。円柱列内の流れ様式は、拡大・縮小・屈曲流れであり、このような伸長流れに対する流体の伸長粘度特性が過剰圧力損失の発生およびその大きさに関係していることを明らかにしている。

第5章では、過剰圧力損失の発生と拡大・縮小流れにおける伸長流れの効果を調べるため、波状流路を用いて流速分布測定を行っている。過剰圧力損失発生後の速度分布は、伸長流れによる伸長応力を抑制するような流れ構造であり、中心線上の伸長速度は、伸長応力の成長を抑制するように変化することを示している。

第6章では、屈曲流れによる効果を議論するため、流路幅一定の屈曲流路を用いて流れの可視化実験と流速分布測定を行っている。屈曲部周辺の流れは、その曲率により伸長流れとなり、流体粒子は、局所的に伸長変形を受け、この効果が過剰圧力損失の発生に関与することが明らかにされている。

第7章では、波状流路および屈曲流路内における粘弾性流体の流れの数値シミュレーションを行っている。粘弾性流体の構成式として修正 Giesekus モデルを用い、流体の伸長粘度特性と過剰圧力損失の発生挙動との関連を調べている。いずれの流路においても実験結果と同様、過剰圧力損失の発生が確認され、その発生に、流体の過渡的伸長特性が関与することが明らかにされている。

第8章では、本研究で得られた結果を総括し、結論を述べている。

論文審査の結果の要旨

本研究は、内部に複雑な空孔構造を有する多孔質体内における粘弾性流体の流れの解明を目的として行われたものである。多孔質体内には、構成粒子の形状に依存する拡大・縮小・屈曲などの複雑な流路構造があり、その流れ様式は、短い周期でせん断と伸長流れが混在する複雑なものとなる。本論文では、このような多孔質体内の複雑な流れ場における粘弾性流体の流れ挙動について、実験的・数値的な解析が行われている。特に、粘弾性流体の場合、流れ場によりその物性が変化することから、流れ抵抗とレオロジー特性の関係を検討している。本論文の主な成果を要約すると、以下の通りである。

- (1) 多孔質体内の粘弾性流れの解明に対し、重要な因子となる試料流体（ポリアクリルアミド：PAA）の伸長粘度特性を調べたところ、PAA水溶液の伸長粘度は、いずれの濃度においても、わずかな伸長速度の増加に対する伸長粘度の増加、すなわち stretch-thickening 性を有しており、その開始伸長速度の大きさは、PAA濃度に依存したものであることが明らかにされている。
- (2) 均一な径を有する球形粒子を規則的に充填した粒子充填層を模擬多孔質体とし、圧力損失測定を行ったところ、PAA水溶液の場合、臨界流量以上になると過剰圧力損失が発生し、その挙動は、PAA濃度に依存したものであることが明らかにされている。そこで、充填層内流れを円柱列流路によりモデル化し、可視化実験を行い、過剰圧力損失発生時の流れ様式を調べている。その結果、円柱列内では、円柱径およびその配置により、拡大・縮小・屈曲における伸長流れとなっており、過剰圧力損失の発生には伸長流れによる流体の伸長粘度特性が密接に関係していることが明らかにされている。
- (3) 拡大・縮小および屈曲流れをモデル化した波状流路および屈曲流路を用いて、過剰圧力損失に対する流れ様式の効果を実験および数値計算により調べている。波状流路を用いた実験では円柱列と同じオーダーのデボラ数で過剰圧力損失が発生し、波状流路が多孔質体のモデル流路として適していることを明らかにしている。波状流路内における過剰圧力損失発生後の流れは、濃度により異なったものとなったが、いずれの濃度においても過剰圧力損失が大きくなると、伸長流れによる伸長応力を抑制するような流れ構造となることが流速分布の形状により示されている。さらに、中心線上の伸長速度の変化は、伸長応力の成長を抑制するような流れ場に対応していることが強調されている。また、数値計算（2次元流れ）においても実験結果と同様、過剰圧力損失の発生が確認され、流路形状の依存性については、流路振幅より流路波長のほうが大きく関与することが示されている。さらに過剰圧力損失の発生に関し、計算結果を流線および応力仕事率により評価したところ、その発生に、流体の過渡的伸長特性が関与することを示す結果が得られている。一方、屈曲流路を用いた実験においても過剰圧力損失の発生が見られ、その発生デボラ数も円柱列や波状流路の場合と良く似た値となることが示されている。本研究で用いた屈曲流路では流路幅が一定であるため過剰圧力損失と流体の伸長粘度特性の関係を直接に関連付けることは困難であるが、流れの可視化および流速分布測定の結果より、屈曲部周辺で流体粒子は、局所的に伸長変形を受けていることが明らかにされている。このことは、流れの数値計算結果においても確認され、屈曲流れにおいても粘弾性流体の過剰圧力損失の発生には流体の伸長粘度特性が関係することが述べられている。

以上のように、本論文は多孔質体内に見られるような複雑な流路構造を有する物質内の粘弾性流体の流れを解明しようとするものであり、圧力損失の変化と流体物性の関係を明らかにしている。従来、粘弾性流体の流れに関する研究は、主として流れ模様を中心としたものであるが、本論文で得られた成果は、流動時の圧力損失特性と複雑な流れ場（伸長流れとせん断流れが混在）の関係を議論しており、今後、粘弾性流体の流れに関し、多くの知見を与えるものとなる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。