

氏 名	く の たか き 久 野 孝 希
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 36 号
学位授与の日付	平成 5 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科・専 攻	工芸科学研究科情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	数値流体力学的手法による樹脂流動の研究
審 査 委 員	(主査) 教 授 里 深 信 行 教 授 矢 田 順 三 教 授 齋 藤 憲 司 助教授 徳 永 宏

論 文 内 容 の 要 旨

樹脂の流動特性はニュートン流体から逸脱した非ニュートン流体である。この流れ挙動を連続体として現象論的に解析を行い知見を得ることは、工学上非常に重要な課題であり本研究の大きなテーマである。本論文の構成は 8 章からなる。

1 章では本研究に至る背景及び動機について述べ現状の問題点を示した。

2 章ではまず、非ニュートン流体の定義づけを行い、その中でも研究の対象とした純粘性流体及び粘弾性流体の特徴を表す構成方程式についてモデルの概念を解説した。

3 章では、本研究で取り組んだ有限差分法による 2、3 の数値計算手法について検討を行った。その結果、2 段階の有理ルンゲ・クッタ法に基づく陽的線の方法と連続の式を満たす工夫をほどこした SMAC 法との組み合わせにより、非ニュートン流体の解析に適した数値計算手法を確立した。平行平板間流れ及び円管内流れを検定問題として取り上げ、本数値計算手法が解の精度、信頼性及び安定性に優れていることを立証した。

4 章では、純粘性流体の 1 つである、べき乗則流体を用い断面急縮小円管内流れ問題への適用を試みた。まず、計算を行うにあたって格子依存性についての吟味を行い、非ニュートン性を示すべき乗則指数 n と格子の関係を明らかにした。 n 及び慣性と粘性の比であるレイノルズ (Re) 数を変化させて、急縮小比を 2 と 4 の二種類について調べ、急縮小部上流角部に発生する二次渦の長さ、強さや下流での速度発達の様子及び急縮小に伴う過剰圧力損失の関係を明らかにした。

5 章では、本数値計算法を境界適合座標系へ拡張した。ここでは、従属変数の取り方に、特殊な食い違い格子を用いることにより、基礎方程式をすべて座標変換後の成分に書き換えることなく、また余分な付加項が必要のない計算手法を開発した。急拡大円管内流れ問題へ本計算手法を適用し、デカルト座標系での計算結果及び他者との結果と比較を行い、定性的、定量的に一致を得、任意形状への適用が可能であることを示した。さらに、緩やかな拡大管流れの適用を行い、壁面渦度、圧力について調べた結果、流路が緩やかに変化する場合には、非ニュートン性が顕著に現われないことを明らかにした。

次に 6 章では、粘弾性流体の数値計算についての研究成果を示した。ここでは、 Re 数が 0 の極限でも計算を行うことが出来る擬似定常計算法を開発した。まず構成方程式に Maxwell モデルを用い、4 : 1 急縮小平板内流れ問題に適用した結果、従来より高いワイゼンベルグ (We) 数 (慣性と弾性の比) の計算に成功した。さらに従来の研究では求めることが出来なかった急縮小部入口に発生する入口渦を本計算では捕えることができ、報告されている実験結果と定性的に一致しており、本計算法の有効性を確認した。

次に、Oldroyd-B モデルを用いた 4 : 1 急縮小平板問題を扱い、格子依存性について調べた結果、二

次渦の強さは他の何よりも格子分解能に大きく依存すると言う知見を得た。さらに、4:1急縮小円管内流れ問題へ適用し、従来報告されている渦の特徴を定性的に捕えることができた。定量的な一致を得る試みとしてモデルに伸張効果を加えることで、実験結果と比較的良好な一致が得られるまで改善できることを明らかにした。また、従来研究されていない慣性の影響についても調べ、渦の強さ、長さ、 We 数の関係を明らかにすると共に Re 数が1以下の流れでも、流れ場の様子は異なるという新しい知見が得られた。

さらに7章では、2次元での計算で得られた知見をもとに3次元への拡張を行った。まず、べき乗則流体の正方管及び長方管内流れへの適用を行い本数値計算法による3次元計算の有効性を確認した。次に、粘弾性流体の3次元急縮小平板管内流れへ本計算手法を適用した結果、従来の研究では明らかにされなかった応力の3次元構造を捕えることに世界で初めて成功した。また、 We 数の増加と共に渦領域は急縮小入口に近づく傾向を確認したが、3次元方向への変化は壁面を除いて顕著には現われないことがわかった。

3次元縮小正方管内流れでは、 We 数の増加と共に渦領域は急縮小部入口に近づくと共に渦の大きさは壁面角部で大きく成長することを明らかにした。また、渦は管軸を中心として放射線上に渦巻くことを明らかにした。さらに、3次元急縮小正方管内流れの挙動は、急縮小円管内流れの挙動と良く似た傾向を示すことが明らかになった。

最後に8章では、各章で得られた知見をまとめ総論として本研究の重要な成果を述べた。

本研究で開発した数値流体力学的手法は樹脂流動を予測するうえで有効な手段となることが結論できた。

論文審査の結果の要旨

久野孝希君の申請による博士論文の審査委員会においては、提出された資料、論文に基づき、論文内容の信頼性、独創性、新規性及び工学への寄与の期待度、さらに完成度などについて慎重に審査を行った。

申請者の論文は論文内容の要旨に述べられているように、今日、産業のあらゆる分野に利用されている樹脂応用製品の製造過程に必然的に付随する非ニュートン流体の流れの数値計算法とその応用に関するものである。非ニュートン流体の流れの計算は従来主として有限要素法により行われてきたが、1格子点(ノード)あたりに要する記憶量が100のオーダーで多大であり、また数値計算の効率も悪く、幾何学的に複雑な3次元流動の計算は現在のスーパーコンピュータでは困難であるのが現状である。本論文では、この様な流れに対して新しく差分法に基づく効率のよい数値計算法を考案し、種々の非ニュートン流体に対するモデルへの応用を試み、計算法の有効性、信頼性を検証するとともに2次元及び3次元の流れ場の構造に対する多くの知見を得ている。したがって本論文で得られた結果は機械工学分野のみならず、工学全般にわたっての高い寄与が期待できる。

また、内容の一部は日本機械学会論文集中申請者を筆頭著者として2稿すでに刊行されており、その学術的な価値と信頼性が客観的に認められているとともに今後の工学上の大きな寄与が期待できる。