氏　　　名　岩　田　修　一（いわ た しゅう いち）
学位の種類　博　士（工　学）
学位記番号　論工博第 3748 号
学位授与の日付　平成 15 年 7 月 23 日
学位授与の要件　学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目　低メモリー分割型有限要素法による粘弾性流動解析に関する研究

論文調査委員　（主査）教授 大嶋正裕　教授 東谷　公　教授 小森　悟

論文内容の要旨

有限要素法を用いて粘弾性流動問題を解く場合，運動方程式と連続の式，構成方程式からなる支配方程式系の離散化で得られる複雑な数多くの代数方程式を取り扱うことになる。その計算機による数値解法として，従来から支配方程式をすべて連立させて同時に解く混合法と呼ばれる方法と，運動方程式，連続の式と構成方程式を別々に交互に解き代入していく分割法と呼ばれる方法があった。混合法では，収束性は高いものの大規模なメモリーを必要とし，分割法では，必要なメモリー規模は，混合法と比較して遥かに少なくてすむものの，収束性に問題が残っていた。

本論文は，この分割法の低メモリー性の長所を活かしつつ，最大限に収束性を向上させるための流動解析法を開発することを目的としている。代数方程式の変形代入法の工夫，新しい平滑化計算法の開発，また，さらなるメモリー低減化を目指したメモリー格納法の提案，流れの特異点問題を解決するための特異関数開発などにより，分割法を実用に供しうる精度で，かつ低メモリー性のまま実行できるようにした研究成果をまとめたものが本論文である。具体的には，次の内容で各章が構成されている。

第 1 章では，本研究の対象である粘弾性流動解析に関する既往の研究を概観し，研究の目的を明確にしている。

第 2 章では，1）速度・応力の補間整合性，2）ガウス積分個数，3）速度項，4）緩和係数，5）付加粘性の取り扱いを工夫することにより，分割法の収束性を大幅に改善することができることを示している。

第 3 章では，分割法における速度微分値の平滑化法を新たに提案し，特異点が存在するダイスウェル流動の数値解析および特異点が存在しない異軸円筒環状部の流れの数値解析に適用し，大幅な収束性の改善ができることを示している。また，応力代入法（変形代入法，直接代入法）と流線上流法（SU 法，SUPG 法）の組合せによる 4 種類の解法の計算精度を 2 種類のメッシュ（細粗）にて解析している。

第 4 章では，有限要素法において現れるマットリックス方程式が規則的構造を有することに着目し，効率的かつ低メモリー型のメモリー格納法を提案し，分割法の必要メモリーの更なる低減化を果たしている。

第 5 章では，特異点が関与する粘弾性流体の数値動解析の数値安定化を可能とする特異要素（特殊な形状関数）法を提案している。その要素法を，速度場・圧力場・応力場に適用することにより，ダイスウェル粘弾性流動の数値解析の収束性・計算精度を大幅に向上できることを示している。

第 6 章は，本論文の総括となっている。

論文審査の結果の要旨

本論文では，非線形粘弾性流体を対象とした数学的特異点を含む流路の数値流動解析技術の開発を行っている。

従来から粘弾性流体の流動解析手法の一つとして，有限要素法がよく使用される。有限要素法を用いて粘弾性流動問題を解く場合，運動方程式と連続の式，構成方程式からなる支配方程式系の離散化で得られる複雑な数多くの代数方程式を取り

扱うことになる。その計算機による数値解法として，従来から支配方程式をすべて連立させて同時に解く混合法と呼ばれる方法と，運動方程式，連続の式と構成方程式を別々に交互に解き代入していく分割法と呼ばれる方法があった。混合法では，収束性は高いものの大規模なメモリーを必要とし，分割法では，必要なメモリー規模は，混合法と比較して，遥かに少なくてすむものの，収束性に問題が残っていた。

本論文は，この分割法の低メモリー性の長所を活かしつつ，最大限に収束性を向上させるための流動解析法を開発することを目的としている。代数方程式の変形代入法の工夫，新しい平滑化計算法の開発，また，さらなるメモリー低減化を目指したメモリー格納法の提案，流れの特異点問題を解決するための特異関数開発などにより，分割法を実用に供しうる精度で，かつ低メモリー性を保ったまま実行できるようにした研究成果をまとめたものが本論文である。

本論文で主に解析対象としているダイスウエル問題は，高分子成形装置のダイリップで速度勾配が無限大となる特異点をもつため，数値流動解析を高分子成形加工へ適用する際，ボトルネックとなっている重要な問題である。この問題に対して，微分型粘弾性構成方程式を使った分割型有限要素法を適用し，従来の混合法と同程度の収束性で，混合法より大幅にメモリーを軽減化できる計算手法を開発している。この計算手法の開発の中で，オリジナリティの高い点は，次の通りである。1）数値安定化を図るための粘弾性応力項の運動方程式への具体的付与法を詳細に検討したこと，2）支配方程式の型変化の数学的検討とダイスウエル問題の数値的安定性の関連を明確にしたこと，3）BOX法という新たなメモリー格納法を開発し計算メモリーの軽減化を図ったこと，4）粘弾性数値流動解析へ特異要素法の導入を図ることにより，具体的に数値安定性を実現し収束解を得ていること，などである。

以上の内容により，本論文は，従来，収束性が問題となっていた分割型有限要素法の収束性を，低メモリー性の特長を保ちながら，向上させるためのさまざまな手法を考案し，分割型有限要素法を実用に供しうる手法としたものであり，学術上，実際上寄与するところが少なくない。よって，本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また，平成15年5月20日，論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果，合格と認めた。