

# 主 論 文 要 旨

報告番号	㊦ 乙 第	号	氏 名	橋本 学
主 論 文 題 目 :				
GSMAC 有限要素法に基づいた Poisson ソルバーの拡張および軟らかい固体と流体の連成解析				
(内容の要旨)				
<p>工業製品で多く用いられるゴム製部品や軟らかい生体組織である血管壁、心臓弁、眼球網膜などは、流体力によって非常に変形しやすく、そのような固体と流体の相互作用は計算機負荷が大きい問題である。本研究では、軟らかい固体の固有振動数が小さいこと、強連成における流体と固体への高次要素の適用、低容量・高速計算に適した超弾性体の動解析方法の必要性に着目した。そこで、流体解析で用いられる速度と圧力の分離型法の 1 つである GSMAC (Generalized-Simplified Marker And Cell) 有限要素法に基づいて、流体と軟らかい固体との連成解析が可能な計算機負荷の小さい陽的な計算方法を提案して、その有効性に対する検証を行った。以下に、本論文の構成および各章における知見を示す。</p> <p>第 1 章では、本研究における背景および目的について述べた。</p> <p>第 2 章では、要素形状と補間次数に制限されないように拡張された GSMAC 有限要素法の Poisson ソルバーによって cavity 内強制対流を十分解析でき、高次の圧力補間関数を用いた優対角近似する方法および衛星要素を用いた圧力の節点に対する速度と圧力の同時緩和法の妥当性が確認できた。2 次元 cavity 内強制対流の解析において、4 角形要素では <math>Q_2 Q_1</math> 要素、3 角形要素では <math>P_1^+ P_1</math> 要素と <math>P_2^+ P_1</math> 要素のように、同時緩和反復の収束性が良い補間関数の組み合わせを見つけることができた。4 角形の <math>Q_2 Q_1</math> 要素と 3 角形の <math>P_2^+ P_1</math> 要素による混合メッシュも用いることが可能であることも示したが、2 次元 cavity 内強制対流ではその利点を十分に示すことができなかった。2 次元 cavity 内強制対流の解析の結果を考慮して、6 面体要素では <math>Q_2 Q_1</math> 要素、4 面体要素では <math>P_1^+ P_1</math> 要素と <math>P_2^{++} P_1</math> 要素を用いて、3 次元 cavity 内強制対流の解析を行い、拡張した Poisson ソルバーが 3 次元解析へも十分に適用できることがわかった。</p> <p>第 3 章では、「変形こう配の第 3 不変量が 1 であること」と「速度の発散が零であること」の等価性に着目して、従来用いられてきた変位と圧力の非分離型の有限要素法ではなく、流体解析で用いられる分離型の有限要素法によって非圧縮超弾性体の挙動を計算できる方法を提案し、その実用化に向けて検証を行った。まず、<math>Q_1 Q_0</math> 要素、<math>Q_2 Q_1</math> 要素、<math>P_1^+ P_1</math> 要素、<math>P_2^+ P_1</math> 要素 (<math>P_2^{++} P_1</math> 要素) を用いて単純な変形問題を解析し、静的な状態の近似値は厳密値と良好に一致した。このとき、速度と圧力の分離型の有限要素法の特徴であるサイクル誤差自己調整の原理が働き、体積誤差が蓄積されるようなことはなく、体積保存が十分な精度で成り立つことを確認できた。次に、大変形時の高分子材料が有する硬化特性を表すことができるように、要素平均値を用いた弾性定数の計算方法を導入した。作成した S 字型応力ひずみ曲線は厳密値と良好に一致し、高次 Mooney-Rivlin 体の変形挙動を表すことが可能であることがわかった。最後に、特異性が存在する押し込み問題を解析し、1 次要素の使用が特異点外側付近の圧力場の精度悪化に大きく影響を及ぼすことがわかった。</p> <p>第 4 章では、流体とゴムのような軟らかい固体を解析するために、GSMAC-ALE (Arbitrary Lagrangian-Eulerian) 有限要素法に基づいた陽的な流体固体連成計算方法を提案した。陽的な反復計算によって、次の時刻の流体と固体の連成系の離散化式を満足するようにして、時間進行の安定性を向上させた。流体と固体の相互作用が大きい問題に対する有効性を検証するために、剛体角柱に付属した弾性板の 2 次元渦励振問題を扱った。まず、弾性板が Hooke 弾性体の場合を扱った。計算開始後に、剛体の角柱から板の側面で対称な渦が放出し、時間が経過すると流れ場は非対称となった。弾性板は、その側面に作用する流体力の差によって振動するようになった。このとき、低次の振動数は Wall らの計算結果と近い値を示した。流速と固体変位の次数を 1 次から 2 次に変更すると、高次の振動数の影響が大きくなった。次に、弾性板を超弾性体として扱った。固体変位に 1 次要素を用いると、shear locking により解が固くなった。2 次要素を用いると、shear locking を回避できることが確認できた。また、面積の時刻歴から固体領域の全体積は良好に保存されることも確認できた。</p> <p>第 5 章は総括であり、本論文で得られた知見および今後の課題について述べた。</p>				