

第5号様式

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)	氏名	西 口 浩 司
学位授与の要件	学位規則第4条第1・2項該当		
論 文 題 目			
Euler型拡張有限要素法による粘性-超弾性体の数値解析手法の研究 (Visco-Hyperelastic Solid Analysis Method using Eulerian eXtended Finite Element Method)			
論文審査担当者			
主 査	教 授	北村 充	
審査委員	教 授	濱田 邦裕	
審査委員	助 教	田中 智行	
審査委員	教 授	岡澤 重信 (山梨大学大学院総合研究部)	
〔論文審査の要旨〕			
<p>本論文では、高分子ゲル・粘着剤・Bステージ樹脂等の柔らかい高分子材料の実用的な数値シミュレーションを可能とすることを目的として、Euler型拡張有限要素法による粘性-超弾性体の数値解析手法を提案した。その要旨を以下に示す。</p> <p>第1章「緒言」では、本研究の背景を述べた後、固体の大変形問題と高分子材料の構成則に関する既往の研究について概観し、本研究の目的と位置付けを述べている。</p> <p>第2章「連続の式と平衡方程式」では、基礎方程式である連続の式と平衡方程式を示している。高分子ゲル・粘着剤・Bステージ樹脂などの柔らかい高分子材料は、エラストマーを基礎として作成される高分子化合物であるが、本研究では連続体力学で記述される巨視的な系としてモデル化している。</p> <p>第3章「空間平均化」では、従来のEuler型有限要素法で複数の材料を扱う場合に用いられてきた基礎方程式の空間平均化を述べると共に、この定式化では固体と固体の界面における滑り現象などの不連続性を取り扱えないことを説明している。</p> <p>第4章「構成方程式」では、本研究で解析対象とする高分子材料の温度依存性と粘性-超弾性を記述する構成方程式を提案している。非圧縮性の仮定の下で、温度依存性はWLF則により緩和時間に換算して定式化し、粘性-超弾性はSimoの粘性-超弾性モデルに新たなひずみエネルギー関数を導入することで定式化した。また、物質点を追跡しない記述方法であるEuler表示においては、左Cauchy-Green変形テンソルの時間発展式を導入することでEuler表示の速度場から固体変形を記述できることを示し</p>			

た。

第 5 章「時間発展」では、SMAC 法による基礎方程式の時間発展について説明している。SMAC 法は一般に非圧縮性流体解析で用いられる時間発展法であるが、本研究で用いる基礎方程式は Euler 表示で記述されており、物質の非圧縮性が仮定されていることから SMAC 法を適用することができ、非圧縮条件により決定される圧力を効率的に求めることができる。

第 6 章「空間離散化」では、基礎方程式の空間離散化について述べている。動的陽解法による有限要素法を基本とし、移流方程式・ポアソン方程式・速度修正式の空間離散化には差分法を適用している。これにより系全体でのマトリクス演算を回避し、計算コストを小さくすると同時に並列化効率の高い手法としている。

第 7 章「界面不連続性のモデル化」では、固体界面の滑りなどの不連続性をモデル化するため、拡張有限要素法 (X-FEM) により速度場の拡充を行い、3 次元 PLIC 法により各有限要素で線形近似した異種材料界面の接触条件をペナルティ法で制御する手法を提案している。

第 8 章「3 次元 PLIC 法による界面捕捉」では、高精度な界面捕捉法である 3 次元 PLIC 法について説明している。PLIC 法は、物体界面が存在するメッシュで界面を線形近似し、その物体がメッシュ境界を横切る立体の体積を計算することで高精度に移流計算を行う手法である。

第 9 章「数値解析例」では、B ステージ樹脂やアクリル系粘着剤の実務的な数値解析を行い、本研究の提案手法の妥当性と設計実務における有効性を示した。

第 10 章「結言」では、本研究で得られた知見を総括し、より産業的価値を生むために取り組むべき今後の課題について考察した。

以上のように、本論文は高分子ゲル・粘着剤・B ステージ樹脂等の柔らかい高分子材料の実用的な数値シミュレーションにおいて有用であり、業界への寄与が期待できる。よって、審査の結果、本論文の著者は博士（工学）の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。

備考：審査の要旨は、1,500 字以内とする。