

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲 第 号	氏 名	原 英之
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 志澤 一之
	副査	慶應義塾大学准教授	博士(工学) 大宮 正毅
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 宮田 昌悟
		慶應義塾大学教授	Ph. D. 堀田 篤
(論文審査の要旨)			
<p>学士(工学), 修士(工学) 原英之君の学位請求論文は「分子鎖塑性論を用いた延性ポリマの大変形挙動および微視的損傷進展のモデル化とマルチスケール FEM 解析」と題し, 10 章から構成されている。</p> <p>近年, 延性ポリマは構造材料としての過酷な力学的環境下での利用が拡大しており, その大変形および破壊挙動を正確に予測可能な構成モデルの構築に期待が寄せられている。しかしながら, ポリマの微視的不均一性やクレーズ(ポリマ特有の微視的損傷)進展までを考慮し, 分子鎖挙動に基づいて構築したマルチスケール構成モデルは提案されていないのが現状である。そこで, 本研究では延性ポリマの非弾性変形を分子鎖塑性論および結晶塑性論によって記述し, 微視的損傷の発展式を新たに構築するとともに, 得られたモデルに均質化法を適用して結晶性ポリマのマルチスケール FEM 解析を実施し, ポリマの大変形および破壊挙動を数値解析的に予測することを試みている。</p> <p>第 1 章は緒言であり, 本研究の背景と先行研究を紹介し, 本論文の目的と構成を述べている。</p> <p>第 2 章では運動学について論じており, 分子鎖塑性論および結晶塑性論における各すべり系のすべり速度を用いて非弾性変形速度および非弾性スピンが運動学的に求められることを示している。</p> <p>第 3 章では, 弱形式の釣合い方程式である Updated Lagrange 形式の速度形仮想仕事の原理を有限変形理論の範疇で定式化している。</p> <p>第 4 章では, 損傷依存形弾性構成式と 2 章で得た非弾性変形速度の運動学的関係式を統合することにより, 弾粘塑性構成式を導出している。さらに, ポリマの非晶相と結晶相の特徴をより適切に表現するために, 前者では多絡み点モデルを, また後者では分子鎖方向の非延伸性を導入している。</p> <p>第 5 章では, 弾粘塑性構成式の非弾性特性を決定する材料応答則について述べている。非晶相にはポリマ内部の自由体積変化に基づく非弾性応答則を採用するとともにポリマ特有の除荷時の非線形ひずみ回復ならびに降伏応力の静水圧応力依存性を表せるよう非弾性応答則を拡張している。</p> <p>第 6 章では, クレーズの発生および成長を表す発展式を反応速度論の観点から新たに構築しており, クレーズ進展に要する活性化エネルギーを自由体積変化と関連づけている。</p> <p>第 7 章では, 前述の釣合い方程式に構成式を適用して得られる基礎方程式を, 漸近展開法に基づく均質化理論を用いてミクロ構造およびマクロ構造の支配方程式に分離している。</p> <p>第 8 章では, 前章で得た支配方程式の離散化およびミクロ-マクロ連成解析について述べている。</p> <p>第 9 章では, 非晶性ポリマであるメタクリル酸メチル平板および結晶性ポリマであるポリプロピレン平板に対する大変形 FEM 解析を平面ひずみ条件下で実施し, ポリマの単軸引張試験の特徴, すなわちマクロ試験片における引張方向へのくびれおよびクレーズ集中領域の伝ばならびに分子鎖配向を再現するとともにユニットセルの応答との相関について議論している。また, 非線形ひずみ回復や降伏応力のひずみ速度依存性, 静水圧応力依存性などが本モデルによって再現されることを示すとともにフィブリル強度およびクレーズ密度に基づく破断予測条件を構築することでひずみ速度に依存したポリマの延性変化を予測している。最後に, 本モデルの三次元 FEM 解析における妥当性についても検討している。</p> <p>第 10 章は結言であり, 本研究で得られた知見を要約している。</p> <p>以上要するに本研究では, 結晶性ポリマの分子鎖挙動に基づく損傷発展式を反応速度論的に構築するとともに, 分子鎖塑性論および結晶塑性論に均質化法を適用して FEM 解析を実施し, 破壊を伴う大変形挙動を数値解析的に予測しており, マルチスケール計算固体力学の分野において工学上, 工業上寄与するところが少なくない。よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			
学識確認結果	<p>学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員および総合デザイン工学特別研究第 2 (マルチディシプリナリ・デザイン科学専修) 科目担当者で試問を行い, 当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。</p> <p>また, 語学(英語)についても十分な学力を有することを確認した。</p>		