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	高橋 順一
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	慶應義塾大学教授	博士(工学) 高野 直樹
		慶應義塾大学准教授	Ph.D. 堀田 篤
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 大宮 正毅
		慶應義塾大学教授	工学博士 澤田 達男
(論文審査の要旨)			
<p>学士(工学), 修士(工学)高橋順一君の学位請求論文は「結晶性ポリマにおけるクレーズ進展挙動のモデル化およびそれを用いた破壊予測シミュレーション」と題し, 9章から構成されている。</p> <p>輸送機器へのポリマの使用率は年々増加傾向にあり, ポリマを用いた構造設計には商用 FEM プログラムによる変形・破壊シミュレーションが広く活用されているため, ポリマの大変形挙動の再現ならびに破壊部位予測の精度を高めることが強く求められている。しかしながら, 金属とは異なるポリマ特有の破壊機構に基づいて破壊予測を実施できる材料モデルは存在しないのが現状である。そこで本研究では, ポリマに特徴的な変形挙動であるくびれの伝ばを再現できる非共軸弾粘塑性構成式にポリマの損傷であるクレーズの影響を導入するとともに, クレーズ進展挙動のモデル化を行っている。次に, 本モデルを商用 FEM プログラム(RADIOSS, LS-DYNA)に組み込んで, 結晶性ポリマの延性破壊に関する数値解析を実施し, ポリマの破壊予測を可能とする実用的なスキームを構築している。</p> <p>第1章は緒言であり, 本研究の背景, 従来の問題点および本研究の目的について述べている。</p> <p>第2章では損傷配置と擬似無損傷配置を導入し, クレーズの影響を材料モデルに反映している。</p> <p>第3章では, 本研究で扱う構成式や発展式の引数について熱力学的議論を展開している。</p> <p>第4章では, 前章の結果に基づいて速度形の非共軸弾粘塑性構成式にクレーズの影響を導入している。</p> <p>第5章では, 静水圧依存形に拡張したひずみ速度硬化則を提案している。</p> <p>第6章では, クレーズが塑性ひずみの増加に伴って進展するとしてクレーズ発展式を提案するとともに, その際, クレーズ密度の増加率を塑性ひずみ速度および塑性ひずみの関数として具体化し, クレーズ伝ばのひずみ速度依存性と分子鎖配向領域におけるクレーズの停止を表現している。さらに, クレーズ発生条件式をひずみ速度依存形に一般化するとともに, クレーズの発生と成長に対して, ひずみ速度が異なる影響を及ぼすことを考慮することにより, クレーズ発展式を広ひずみ速度域において対応可能な形に拡張している。</p> <p>第7章では, ポリプロピレンの単軸引張試験を後述の数値解析の検証用として実施している。</p> <p>第8章では, 上述の材料モデルを商用 FEM プログラムにユーザーサブルーチンを介して組み込んだうえで単軸引張解析を実施している。まず, クレーズ進展の定性的傾向を再現するため, ひずみ速度 1 s^{-1} の条件で数値解析を行い, くびれの発生・伝ばが表現できること, ならびにくびれ進行端部でクレーズ密度および実応力の値が高くなることを示している。次に, ひずみ速度 $0.01 \sim 100 \text{ s}^{-1}$ の条件で数値解析を実施し, 上記に加えて高ひずみ速度および低ひずみ速度では高クレーズ密度領域が降伏直後に X 形せん断帯状に集中して発生すること, および破断ひずみのひずみ速度依存性が一般的な熱可塑性ポリマの特徴を再現できることを示している。加えて, いずれのひずみ速度においてもフィブリング強度に基づいて予測された破壊部位が実験におけるそれとよく一致することを確認している。さらに, 第7章の実験を模擬した数値解析を実施し, その結果が実験結果と定量的にも整合することを示している。</p> <p>第9章は結言であり, 本研究により得られた知見を要約している。</p> <p>以上要するに, 本研究はポリマ特有の微視的損傷であるクレーズの挙動に基づいた破壊予測のための材料モデルを構築し, その実用性を商用 FEM プログラムを介して数値解析的に示したものであり, 高分子工学および損傷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>		