

論文内容要旨 (和文)

氏 名 一ノ瀬規世



論 文 題 目 微細構造が高分子力学特性に及ぼす影響と製品設計への適用手法の検討

コストや成形性といった利便性から現在の工業製品の多くには高分子材料が採用されている。特に自動車関連部品においては、化石燃料の高騰や近年の地球環境への影響懸念などから自動車の軽量化がアセンブリメーカーをはじめとする自動車関連企業での至上命題となっており、金属などの既存材料からの置き換えがさらに進むと想定されている。金属の代替材料として高分子を活用していくためには、高負荷・高ひずみ条件下でも健全性を保っておく必要があるが、高分子材料では、その材料組成に起因するぜい性破壊特性を持っており、そのぜい性をいかに克服するかが高分子材料を設計する上で重要となる。また、今日の製品設計においてはコンピュータを用いた構造解析による設計支援は欠かせない物となっており、高ひずみ領域においても高精度解析が可能な構造解析技術の確立も高分子材料による代替を進めていくために必要となっている。

高分子材料の材料特性はポイドやフィラー、フィラー・マトリックスの相互作用など高分子材料の微細構造に左右されると考えられているが、これらの微細構造を実験よりの評価することは困難である。一方、シミュレーションを用いたメソスケール解析では、実験では困難な理想的な微細構造を模擬することができ、さまざまな条件下での高分子材料特性を検討することが可能となる。本論文では高分子材料の持つ微細構造に注目し、非線形有限要素法を用いたメソスケール解析による微細構造が高分子力学特性へ及ぼす影響を検討し、それらの微細構造を考慮した製品構造解析手法の妥当性についての検討を実施した。

高分子材料の微細構造の全体的な力学特性への影響としては、ポイドの分散状況、相分離構造、フィラー剛性と剥離特性の違いを考慮したメソスケール解析を実施し、その全体力学特性への影響を検討した。ポイドの分散状況に関しては、ポイドの楕円体状に変形することで短軸部において局所的なネッキングが発生し、最終的に不安定状態に至ってしまうことを明らかにした。また、ポイドの配置に関しては最も近接しているポイド間での局所変形により不安定状態に移行する事、ポイド径の大きさに関しては径大きいポイド間で局所変形が発生することを確認し、径の小さいポイドは不安定性への影響が小さい事を確認した。相分離構造の及ぼす影響としては、変形状態によって各相の応力分担が異なり、高分子のソフトニングなどの特性を抑制する事ができることを明らかにした。また、実現所に近い相分離構造では、その不均質な海島構造により局所変形が発生し理想状態に比べブレンドを効果が出にくくなることを確認した。フィラー剛性と剥離特性の及ぼす影響としては、界面剥離特性を考慮したメソスケール解析モデルを構築し、フィラー剛性と剥離特性の影響を検討した。フィラー剛性と剥離特性をパラメータとした数値実験より、タフネスの改善には最適なピーク張力とフィラー剛性の組み合わせがあることを明らかにした。基材剛性とフィラー剛性の大きさによっても最適な組み合わせが異なることを明らかにした。

微細構造を考慮した製品構造解析手法の検討としては、高分子微細構造を考慮したマルチスケール解析として汎用構成則とメソスケール解析の組み合わせによる手法と界面剥離を考慮した平均場均質化法の検討を行った。汎用構成則を用いる手法に関しては、一軸引張試験データとメソスケール解析の組み合わせにより、降伏関数の静水圧依存性や塑性変形時の体積膨張を考慮した材料パラメータを同定する事ができた。また提案手法はメソスケール解析モデルに構成則に考慮すべき高分子特性を織り込むことで表現でき、新たに材料構成則をすることなく、高分子の微細構造を考慮できることを示す事ができた。平均場近似均質化法に関しては、剥離特性や界面層を考慮した等価物性を導入することで界面剥離によるひずみ拘束の緩和を表現することができた。また、一定厚さの界面層を考慮することでフィラーの微細化により破断伸びのを改善する様子を表現する事ができ、一方で対象領域において界面層が支配的になる場合では、平均場近似均質化法の適用限界があることを示す事ができた。

(注) ① タイプ、ワープロ等を用いてください。10pt 2,000字程度(2頁以内)とします。

② 論文題目が英文の場合は、題目の下に和訳を()を付して併記してください。

学位論文の審査及び学力確認の結果の要旨

平成 24 年 2 月 10 日

理工学研究科長 殿

論文博士論文審査委員会

主査 杉本昌隆

副査 小山清人

副査 黒田充紀

副査 石川 優

副査



学位論文の審査及び学力確認の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

氏名 一ノ瀬 規世

2. 論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記する。)

微細構造が高分子力学特性に及ぼす影響と製品設計への適用手法の検討

3. 審査年月日

論文審査 平成 24 年 1 月 25 日 ~ 平成 24 年 2 月 9 日

論文公聴会 平成 24 年 2 月 9 日

場所 工学部 国際事業化センター 3 F 秦ホール

学力確認 平成 24 年 2 月 9 日

4. 学位論文の審査及び学力確認の結果 (「合格」・「不合格」で記入する。)

(1) 学位論文審査 合格

(2) 学力確認 合格

5. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200 字程度)

別紙のとおり

6. 学力確認の結果の要旨

別紙のとおり

別紙

氏名	一ノ瀬 規世
学位論文の審査結果の要旨	
<p>高分子材料を工業製品の主要材料として用いるためには、高い剛性や靱性といった金属相当の力学特性を有することが不可欠である。高分子の力学特性にはその微細構造が大きな影響を与えることは実験的事実として認識されているが、適切な材料設計を行うためには微細構造と高分子力学特性の定量的な関係性を明確にすることが求められている。本研究では、高分子の微細構造を考慮した構造解析を実施することで、剛性、靱性向上のための要因検討とそれらの微細構造を考慮した構造解析手法に着目している。</p> <p>本学位申請者はボイド分散状況やフィラー界面での剥離といった微細構造の高分子力学特性に与える影響とそれらの微細構造を考慮した製品構造解析手法に着目している。以下に本論文の具体的な内容について示す。</p> <p>第1章では、高分子の脆性破壊機構に関する研究状況とそれらの機構を表現するための数値解析手法に関する研究状況を示し、本研究の位置づけ及び目的を明確、簡潔に記載している。</p> <p>第2章及び第3章では、高分子の変形機構と力学特性に影響を与える構造因子及び、構造解析手法として用いている非線形有限要素法の理論を明記している。</p> <p>第4章では、高分子の剛性、靱性改善に有効と考えられている微細構造をボイドの分散の影響、フィラーと高分子の相分離構造による影響、フィラー・高分子間の剥離特性による影響に分類し、それぞれの微細構造が高分子力学特性にどのような影響を与えるかを明らかにした。</p> <p>第5章では、4章で明らかとなった微細構造の影響考慮した製品設計手法として、静水圧の二次形式を降伏関数とした汎用材料構成則とメソスケール解析の組み合わせによる手法と等価介在物理論を用いた界面剥離を考慮した平均場近似均質化法によるマルチスケール解析による手法を検討し、各手法の適用限界を示している。</p> <p>以上の知見から、本論文は新規高分子力学特性に対して最適微細構造設計のための構造因子を提案し体系化している。さらに、工業的レベルにおいても、この体系化した知見が今後さらに新規高分子の設計にも指針となる。</p> <p>尚、本研究の成果は学術雑誌へ2報掲載（うち英文1報）され、国内学会において1回の研究発表を行っている。</p> <p>以上を総合的に判断して、本論文に関する研究およびその成果は、博士（工学）学位論文としての水準を満足しているため、合格と判定した。</p>	
学力確認の結果の要旨	
<p>本学の規定に従い、本論文に関連のある高分子材料工学、高分子レオロジー、材料力学、計算機支援工学および英語について、主査と副査による口頭試験を行った。関連する英語論文の内容について、理論と実験の観点から質疑応答を行った結果、質疑応答は満足できるものであり、博士として必要とされる専門知識を有すると判断した。また、英語論文の読解力もあり英語での論文が学術雑誌に掲載されていることから英語力は十分備えていると判断した。以上の学力確認により、合格と判定した。</p>	