

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 2 日現在

機関番号：13904

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13715

研究課題名(和文) 微粒子複合粘弾性材料のエネルギー散逸機構と減衰特性発現のメカニズム解明

研究課題名(英文) Study on energy dissipation mechanism and damping property of fine particle composite viscoelastic material

研究代表者

松原 真己 (Matsubara, Masami)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40736427

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：微粒子複合ゴムの減衰特性の発現メカニズムを解明するため、X線コンピュータ断層撮影(CT)により、減衰特性とゴム内部の変形挙動の関係を調査した。制振材として、マトリックスとして天然ゴムを、フィラーとしてマイクロメートルサイズのファイバー形状のポリエチレンテレフタレートファイバーを準備した。損失係数は動的粘弾性特性試験機によって同定され、3次元ひずみ分布はCTデータに特徴点追跡法を適用することで取得した。5 wt%ファイバーをNRに追加すると、損失係数が増加した。実験的に、複合ゴムの非線形減衰は、フィラー/マトリックス境界面の剥離と材料内部のひずみの影響を受けることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

振動や騒音を適切に抑える用途で制振材は多くの場所で使用されている。制振材の主材としてゴムなどの粘弾性材料が用いられており、微粒子複合化によって減衰特性が変化・向上することが知られているが、そのメカニズムは未解明である。本研究では、微粒子が複合化されることで起こる粘弾性材料のエネルギー散逸機構の解明と、その巨視的な性質として現れる減衰特性と配合条件の関係の解明に取り組んでいる。本研究は要求に応じた高機能な減衰特性を有する制振材の創成に寄与できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, I investigated the relationship between the damping characteristics and deformation behavior inside microdeformed short-fiber reinforced rubber by X-ray computed tomography (CT). I prepared natural rubber (NR) as the matrix and micrometer-sized fiber-shaped polyethylene terephthalate (PET) fibers as the filler to prepare a damping material. The loss factor was identified by dynamic mechanical analysis, and three-dimensional strain maps were obtained using marker tracking in the CT data. The addition of 5 wt% PET fibers to NR resulted in an increase in the loss factor. Experimentally, I found that nonlinear damping of the composite rubber is affected by the peeling of the filler/matrix interface and the strain inside the material.

研究分野：機械力学

キーワード：ゴム材料 減衰特性 X線CT

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

輸送機械や電化製品などの機械構造物では環境負荷低減、高機能化、利便性や携帯性を目的として、また、宇宙構造物ではロケット打ち上げ条件の重量制約などから小型化・軽量化が進められている。これに伴い従来よりも柔軟な構造物にならざるを得ず、振動に対する感度が増加するという問題が発生している。そのため、適切に振動を抑えることは必要不可欠であり、その対策として制振材の役割は重要である。制振材は一般にゴムなどの粘弾性材料が用いられており、動的エネルギーを熱エネルギーに変換することでエネルギー散逸を促す傾向が強いという特徴がある。その粘弾性材料に微粒子を複合化すると、減衰特性が更に向上するという特異な特性が現れるが、そのメカニズムは未解明である。

微粒子複合化粘弾性材料のエネルギー散逸については引張試験や衝撃試験などの大変形を伴う試験により、分子鎖の切断、粒子・繊維界面におけるゴムの剥離、分子鎖の滑り、粒子・繊維連続構造の破壊などの様々なメカニズムが先行研究において提示されている。しかしながら、振動のような微小変形領域においても、分子鎖の切断や粒子界面の剥離などの構造の破壊が発生するのかがどうか疑問が残る。また、微粒子が複合されることで局所的に大きなひずみが発生し、全体の減衰特性が向上していることも考えられるが検証した事例はない。

2. 研究の目的

本研究は、微粒子が複合化されることで起こる粘弾性材料のエネルギー散逸機構の解明と、その巨視的な性質として現れる減衰特性と配合条件の関係を解明する。微粒子複合化粘弾性材料の高分解能の X 線 CT 画像を取得し、内部ひずみを評価することによりエネルギー散逸機構を明らかにする。さらに、制振材を想定した試験片の表面ひずみを取得することで、微粒子の形状、量や配向などの配合条件と減衰特性の関係を明らかにする。

3. 研究の方法

【分子鎖の切断の影響】

分子鎖の切断が発生することでエネルギーが散逸する。このとき、分子鎖の切断によって平均分子量が小さくなる。そこで、GPC (ゲル浸透クロマトグラフィ) 分析を実施することで加振前後の分子量を把握し、分子構造の破壊が発生しているかどうか明らかにする。

【粒子界面の剥離・すべりの有無】

粒子と粘弾性材料の境界面で摩擦が発生することにより、エネルギーが散逸する。そこで、高輝度放射光施設 SPring-8 で高分解能の X 線 CT 画像を取得することにより、ひずみ付与時に界面付近に剥離やすべりが発生しているかどうか明らかにする。高輝度放射光施設 SPring-8 において取得した X 線 CT 画像の例である。粒子界面が綺麗に確認できることがわかる。

【局所的なひずみの発生の有無】

減衰特性はひずみ振幅の大きさに依存して大きくなることが知られている。ひずみ分布が不均一化していれば局所的に大きなひずみが発生することになり、より多くのエネルギーが散逸する。そこで、高輝度放射光施設 SPring-8 でマイクロトモグラフィを実施、ひずみ付与時の 3 次元的内部構造を再構成することで、微粒子周辺におけるひずみ分布を確認する。ひずみ分布の評価は微粒子の位置変化を追跡することで算出する。

【スケールファクターの影響】

ミリオーダーの大きさになると構造体としての影響も加味されると考えられる。そこで、動的粘弾性試験 (使用する試験片形状: 厚さ 2mm×幅 5mm×長さ 20mm) にストロボを併用した計測システムを実装し、巨視的な表面ひずみ分布と減衰特性の関係を明らかにする。計測システムについては本研究において構築する。このとき、局所的な共振現象が発生しているか表面ひずみを基に調査する。

【配合条件と減衰特性の関係】

配合条件 (微粒子の材料、形状、配合量、配向) を変えた制振材を製作し、上記の動的ひずみ分布と減衰特性を評価する。各配合条件の減衰特性に対する影響度を分析することにより、減衰特性発現メカニズムを解明する。

4. 研究成果

【分子鎖の切断の影響】

加硫反応後のゴムを GPC (ゲル浸透クロマトグラフィ) 分析することが困難であったため、代替試験として、動的粘弾性試験の複数回実施、昆練り時に消費されるエネルギー違いによる試験片の作成を行った。では微小振動による分子構造の破壊、では大きな塑性変形を加えることによって分子構造の破壊が誘発されれば、平均分子量が変化し、最終的に動的粘弾性特性が変化すると考えられる。その結果、微粒子複合化による粘弾性特性変化に対して の影響は小さいことを確認した。

【粒子界面の剥離・すべりの有無】

図 1 に示すような引張試験機を用いて試験片に引張荷重を付与した状態で X 線 CT 像の取得を行った。X 線 CT 像から粒子界面の空孔の個数が荷重付与によって増加すること、繊維端における空孔が大きくなる現象を確認することができた。そのため、繊維端では剥離が発生しており、界面すべりが少なからず発生できる状態であることを確認した。一方で、繊維中央付近で界面すべりが発生しているかどうかは取得画像からは判断できなかった。

【局所的なひずみの発生の有無】

取得した X 線 CT 像を 3 次元画像として再構築し、画像上に現れる輝度の高い点（不純物もしくは加硫反応用の酸化亜鉛）を荷重付与前後で追跡することで、ひずみ分布の算出を行った。図 2 に示すように引張方向と繊維配向が一致している場合には局所的に大きいひずみが現れるが、天然ゴム単体や繊維配向が引張方向に対して垂直の場合には一様なひずみ分布になることを確認した。

【スケールファクターの影響】

ミリオーダーの大きさの試験片を対象に表面ひずみ分布計測を実施した。その結果、繊維配向の違いによる影響を確認することができなかった。これはマーカ点自体が大きく、その間隔も離れすぎていたためであると考えられる。マーカ点の配置方法も含めて改善が必要である。

【配合条件と減衰特性の関係】

天然ゴム単体、繊維複合ゴム（配向違い）の試験片を対象に荷重付与時の試験片において発生する 3 次元ひずみ分布を多段階に分けて評価した。その結果、繊維配向と引張方向が一致している場合には局所的に大きなひずみが発生しており、引張量に応じて、その局所的なひずみがさらに大きくなる傾向を示す。その結果として、ひずみのヒストグラムの形状は変化する。一方で、図 2 に示すように天然ゴム単体や繊維配向と引張方向が垂直の場合には均一にひずみが増大するため、ひずみのヒストグラムの形状に変化は現れない。動的粘弾性試験では、繊維配向と引張方向が一致している場合、減衰は大きくなる。以上のことから、荷重方向とそれによって発生する材料内部のひずみ分布の特性によって減衰特性に変化が現れることを確認した

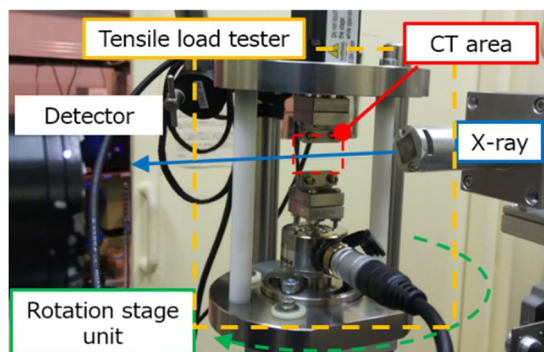


図 1：多段階引張試験機

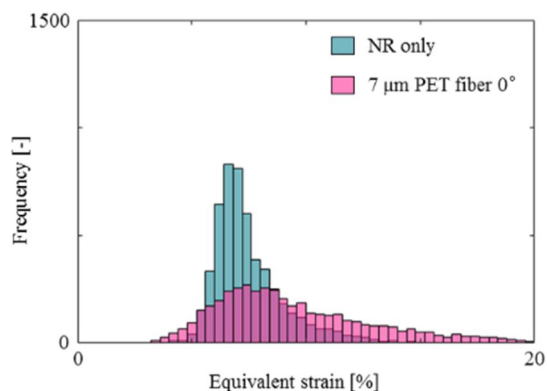


図 2：ひずみのヒストグラム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Masami MATSUBARA, Shinnosuke TERAMOTO, Asahiro NAGATANI, Shozo KAWAMURA, Tomohiko ISE, Nobutaka TSUJIUCHI and Akihito ITO |
| 2. 発表標題 Interfacial observation of composite rubber with fiber-shaped particles under tensile load using X-ray computer tomography |
| 3. 学会等名 13th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 松原 真己, 寺本 真ノ将, 長谷 朝博, 伊勢 智彦, 河村 庄造, 辻内 伸好, 伊藤 彰人 |
| 2. 発表標題 微粒子配合ゴムにおける界面すべりの直接観察 |
| 3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Masami Matsubara, Shinnosuke Teramoto, Asahiro Nagatani, Shozo Kawamura, Tomohiko Ise, Nobutaka Tsujiuchi, Akito Ito, Masakazu Kobayashi, Shogo Huruta |
| 2. 発表標題 Three-dimensional strain calculation of rubber composite with fiber-shaped particles by feature point tracking using X-ray computed tomography |
| 3. 学会等名 The 18th Asia Pasific Vibration Conference, Sydney, Australia. (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

豊橋技術科学大学 機械ダイナミクス研究室 研究テーマ
<http://dynaweb.me.tut.ac.jp/topics.html>

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|