

熱可塑性エラストマーの大変形挙動の研究

雲林院 悠美子

(要 旨)

熱可塑性エラストマーの成形品設計で重要である。昨今の金属代替として高分子材料が広まる中、特に衝撃吸収性が高い熱可塑性エラストマーの力学挙動は注目を集めている。このため熱可塑性エラストマーの大変形挙動の解明の重要性は増している。一方で高分子材料特有の大変形のネックの発生、発熱による不安定現象が生じるため、評価は困難であり評価技術の発展をさせることが重要である。

これまでネッキング現象や発熱が発生する箇所においては、従来の引張試験やひずみゲージによるひずみ計測法によって、真応力 - ひずみ曲線を取得してきた。しかし大変形の不均一な変形のため、真ひずみを正確に測定することができなかった。またひずみゲージなどにおいては装置が試験片に直接に接触することから測定精度の課題をもたらしており、測定技術の進歩が必要とされている。

そこで本研究では熱可塑性エラストマーの成形品において、デジタル画像相関法 (Digital Image Correlation: 以下DICと呼称) とサーモグラフィックカメラを用い、真応力-真ひずみ関係と大変形領域の発熱を観測し、熱可塑性エラストマーの大変形の力学特性を評価・考察することが目的である。尚、本研究ではハードセグメントとソフトセグメントの基本的な組成物の組成及び組成比が異なる2種類の硬度値 (D52とD57、ASTMのD2240) を有する熱可塑性ポリエステル系エラストマー (以降、TPC) を評価した。この測定方法により、TPCの引張試験において、ネッキング現象の発生により真応力 - ひずみ曲線を非接触に得ることを可能とした。本測定では、広範囲の引張試験を行い、様々な引張速度条件下の真応力 - ひずみ曲線を評価した。また切欠き付き試験片を使用することで、ネッキングが発生する場所の制御を可能とした。更に発熱については、ひずみ測定位置の温度をサーモグラフィックで捉えることを可能とした。これらの測定技術により真ひずみと温度の関係を精度よく考察することを可能とした。

大変形領域では、発熱の影響とひずみ速度の両方が力学特性に影響を与える。本研究では、従来では難しかった発熱の影響を分離することができた。これにより、ひずみ速度による影響のみを受ける微小変形領域について、真ひずみ速度と降伏応力の関係を把握することを可能とした。

またTPCの内部構造の変化と力学特性を結びつけた考察を行うことができた。

まず典型的なTPCにおいて、ハードセグメントはポリブチレンテレフタレート鎖から構成される。ソフトセグメントは、ポリテトラメチレングリコール (PTMG) 鎖から構成される。ひずみ速度と降伏応力の関係は内部構造に影響を与えられている。しかしながらネックが伴う場合の測定技術の課題があり、ひずみ速度と組成比の異なるTPCの構造や性質が力学特性に与える影響は明確ではない。そこで本研究ではTPCにおいても同様に緩和時間の異なる内部構造の変化が力学挙動に与える影響を、デジタル画像相関法を利用することで考察した。本検討に

よってネック条件下において、ハードセグメントとソフトセグメントに依存した内部構造の変化が力学特性に与える影響について定量的な議論ができた。

発熱が発生する領域については、熱がひずみに与える影響を直接的に考察することが難しかった。

また数値解析を用いた検討も多くされているが、高分子材料の構成則は複数のパラメータを用いた数理的な式のみで構築されることが多く、配向結晶や温度上昇によるひずみの影響を分離するなど、パラメータの同定の煩雑さがしばしば課題であった。そこで本研究では、デジタル画像相関法とサーモグラフィックカメラによる同時計測によりネック箇所の変ひずみと温度の関係を捉え、有用な測定から得られるパラメータとして熱の拡散、弾性域のエネルギー、TPC の内部構造等が総合的に影響する発熱交換効率 β を取り入れることができた。またこの値より、構成則の一部を実験値に基づいたパラメータで置き換える手法を構築できた。これにより工学的にも汎用性のある発熱を伴う高分子材料のモデリングの簡便化を試みることができた。この手法は、実験値に基づいたパラメータとして発熱交換効率 β と温度依存の弾性率、塑性ひずみ-応力曲面をFEM上で既存の速度依存性の構成則、金属塑性の構成則と組み合わせることで構築することができた。この実験計測を用いた数値解析を用いて、複雑なパラメータを最適化する煩雑さを伴うことなく従来は静的な検討しかできなかったハニカム材のひずみ速度や発熱を考慮可能な衝撃解析に応用した。

本手法を用いてTPCの力学特性、衝撃吸収特性を評価することが可能となった。