

せん断帯の伝ぱを伴うポリマの粘塑性大変形挙動に対する 熱力学的モデリングとFEMシミュレーション

村 上 大 介

論 文 の 内 容 の 要 旨

ポリマには、顕著なひずみ速度依存性(粘塑性)およびくびれの安定伝ぱなどの力学的特性がある。このような特性は、フィルムや繊維の製造などに幅広く応用されている。近年では、乗用車の内装材や衝撃吸収材あるいは航空機材などにおける金属の代替材料として過酷な力学的条件下でも耐え得るエンジニアリングプラスチックなども開発され、その大変形挙動の力学的解明が期待されている。従来、粘塑性変形挙動は、ひずみ速度硬化則を適用した流れ理論や変形理論に基づく塑性構成式によってモデル化されることが多い。しかしながら、このようなモデリングは熱力学的に整合しない。また、コーナー理論も含め従来の理論には、せん断帯形成を可能にする構成式の非共軸性、負荷から除荷への連続的な遷移、構成式における両辺の大きさ一致条件などの満たすべき項目に対して一長一短である。そこで本研究では、上述の問題を解決するために熱力学の基本原則に基づいて構成式を導出するとともに、ポリマの大変形挙動をFEM解析により精密に再現することを目的とする。

第1章は序論であり、本研究の背景、従来の研究およびその問題点を概説するとともに本論文の構成について述べる。

第2章では、材料非依存性スピンを導入して変形過程を4つの配置に分解し、客観性を有する共回転応力速度を定義する。

第3章では、全自由エネルギーの引数に塑性変形速度テンソルを内部変数として導入し、各引数に共役な熱力学的力を定義する。また、仮想仕事率の原理に基づいて、釣合い方程式を updated Lagrange 形式で導出する。

第4章では、エントロピー増大則および最大散逸速度の原理より、散逸関数を塑性ポテンシャルとする流れ則の形で非共軸粘塑性構成式を導出する。次に、塑性変形速度の方向と大きさを用いて、得られた粘塑性構成式を散逸曲面における尖り点構成式として表現する。さらに、応力、応力速度および塑性変形速度の方向間で成立する関係を材料の負荷状態とひずみ速度感度に対応させてモデル化することにより、構成式の両辺の大きさが一致し負荷から除荷へ変形が連続的に表現されるよう構成式を具体化する。こうして、本モデルを常温における金属などのひずみ速度非依存性(弾塑性)材料にも適用できるよう、一般性を有する粘塑性尖り点モデルへ拡張する。

第5章では、ポロプロピレンの硬化則を実験データから同定し、初期硬化によるn乗則的応力増加

部分、軟化による緩やかな応力減少部分および後続再硬化による指数関数的増加部分をもつようにその関数形を定める。

第6章では、平面ひずみ引張荷重下にあるポリプロピレン平板を例として大変形FEM解析を行う。本モデルは従来の構成式より現実的な荷重-伸び応答を与えること、材料のひずみ速度感度に応じたせん断帯を再現できること、ならびにくびれの安定伝ぱとせん断帯の伝ぱ・消失挙動が主に後続硬化に支配されることなどを明らかにする。

第7章は結論であり、本研究で得られた成果を要約している。

以上