

温度とひずみ速度を考慮した一方向 CFRTP の非線形材料挙動の予測

日大生産工 (院)
サイバネットシステム(株)

○染宮 聖人
山本 晃司

日大生産工
名古屋大
東北大 IRIDeS

平山 紀夫
松原 成志朗
寺田 賢二郎

1. 緒言

熱可塑性樹脂は温度や時間によって材料挙動が変化する粘弾性材料であり、これをマトリックスとする一方向繊維強化熱可塑性樹脂 (UD-CFRTP: Unidirectional Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics) は時間と温度に依存した異方的な非線形材料挙動を示す。したがって、UD-CFRTP を適用した製品の設計開発では、事前に有限要素法などの数値計算手法を用いて、UD-CFRTP の非線形材料挙動を予測する必要がある。

UD-CFRTP の非線形的な材料挙動を予測する手法は数多く提案されている¹⁾。山本らは数値材料試験と最適化手法を用いて、計6方向 (3つの垂直方向と3つの純せん断方向) の数値材料試験を行い、得られた6つのマクロ応力-マクロひずみの関係から、Hill 定数を同定した²⁾。しかしながら、温度とひずみ速度の両方を考慮した UD-CFRTP の非線形材料挙動を予測する手法については研究がなされていない。

そこで本研究では、UD-CFRTP の時間と温度を考慮した非線形材料挙動の予測手法の提案を目的とする。本報告では、温度を変化させた UD-CFRTP の数値材料試験を実施し、マクロ応力とマクロひずみの応答を計算した。そして、得られた材料応答と異方性材料構成則を用いて UD-CFRTP の非線形材料パラメータを同定し、提案した UD-CFRTP の非線形材料挙動の予測手法の精度を評価した。

2. 均質化理論に基づく数値材料試験

Fig.1 に示すように、UD-CFRTP の繊維配列はランダムに配置されていると仮定し、ユニットセルモデルを作成した。このとき、マクロ的な非線形材料挙動はユニットセルモデル内の非均一性によって異なることが予想されるが、石橋らはユニットセルモデル内の強化繊維が13本以上であるとき、非均一性が低減すると報告している³⁾。したがって、本研究の炭素繊維の本数は15本とした。また、このユニットセルモデルの境界に周期対称条件を設け、周期境界を制御するための節点 (以下、制御節点) をユニットセルモデルの外部に作成した。この制御節点とユニットセルモデルの間に拘束方程式を定義し、マイクロ解析を実施することで、マクロな材料応答を得ることができる。なお、マイクロ解析には汎用有限要素法ソフトウェア Ansys MechanicalTMを使用した。

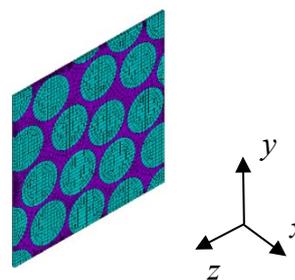


Fig.1 FE model of unit cells with randomly arranged carbon filaments of UD-CFRTP.

3. UD-CFRTPの非線形材料挙動

UD-CFRTP の非線形材料挙動を再現するた

Prediction of Temperature- and Strain-rate-dependent Nonlinear Material Behavior for Unidirectional Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics

Masato SOMEMIYA, Norio HIRAYAMA, Koji YAMAMOTO,
Seishiro MATSUBARA and Kenjiro TERADA.

めに、異方性粘弾性・粘塑性・損傷複合構成則を用いた。この複合構成則は粘弾性挙動を表す一般化 Maxwell モデルに粘塑性要素を直列につなぎ合わせることで、非線形粘塑性を表現し、さらに、ひずみの増加に伴って弾性係数が低下する構成則である。

本研究では、Fig.1 に示す UD-CFRTP のユニットセルモデルに対して、20°Cと 40°C、60°Cの計 3 水準の温度条件で数値材料試験を実施し、得られたマクロ応力とマクロひずみの関係から、マクロ的な異方性粘弾性・粘塑性・損傷複合構成則の非線形材料パラメータを同定した。材料定数の同定には差分進化法を使用した。ここで、数値材料試験から得られた繊維直交方向 (y 方向) のマクロ応力-マクロひずみ線図と同定曲線を Fig.2 に示す。

Fig.2(a)に示すように、20°Cの同定曲線は数値材料試験から得られたマクロ材料応答を精度よく表現できていることが確認できた。一方で、Fig.2(b)より 40°Cの同定曲線はマクロ材料応答を概ね表現できているものの、最大応力が一致していないことがわかった。また、Fig.2(c)から分かるように、60°Cの同定曲線は、数値材料試験の除荷時の挙動を精度良く表現しているのに対して、負荷時の非線形性が一致していないことが確認できた。

4. 結言

本研究では、温度を変化させたUD-CFRTPの数値材料試験を実施し、マクロ応力とマクロひずみの応答を計算した。そして、得られた材料応答と異方性材料構成則を用いてUD-CFRTPの非線形材料パラメータを同定し、UD-CFRTPの非線形材料挙動の予測手法の精度を評価した。その結果、常温の非線形材料挙動を予測することができた。一方で、高温域での非線形材料挙動が表現できていないため、今後は高温域での同定精度を向上させるために、予測手法を改良する予定である。

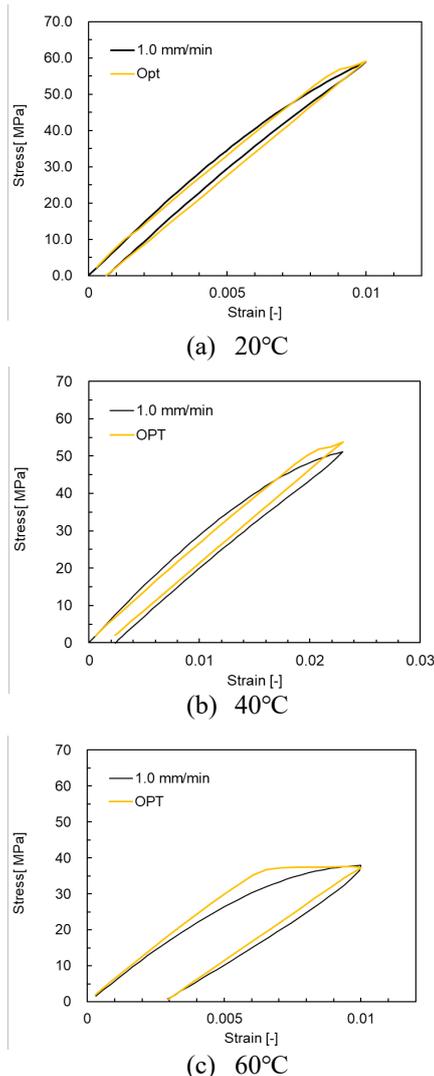


Fig.2 Macro strain- macro strain curves in tensile test for y direction.

参考文献

- 1) K.Terada, J.Kato, N.Hirayama, T.Inugai, K.Yamamoto, A method of two-scale analysis with micro-macro decoupling scheme: application to hyperelastic composite materials, Computational Mechanics, Vol.52, pp.1199-1219.
- 2) 山本晃司, 平山紀夫, 寺田賢二郎, 数値材料データに基づく異方性 Hill 定数の同定, 日本機械学会論文集 A 編, Vol.82, No.840, 2016, pp. 16-00056.
- 3) 石橋慶輝, 寺田賢二郎, 平山紀夫, 山本晃司, 小谷拓磨, 森口周二, データマイニングを用いた一方向 CFRP の静的強度に関するばらつき抑制の検討, 計算工学講演会論文集, 22(2017).