

令和 7 年 6 月 24 日現在

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2023～2024

課題番号：23K19085

研究課題名（和文）熱可塑性複合材料の成形時残留変形および長期変形発生機構の解明と変形量の予測

研究課題名（英文）Mechanism investigation and prediction of process-induced and long-term deformations in thermoplastic composites

研究代表者

龍園 一樹（RYUZONO, Kazuki）

東北大学・工学研究科・助教

研究者番号：60982791

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、複合材料の成形時残留変形と長期変形の発生機構を解明し、これらの変形量を予測可能な粘弾性マルチスケール解析を開発した。対象とした材料系において、残留変形は熱可塑性複合材料（T700G/LM-PAEK）で顕著であり、長期変形は熱硬化性複合材料（T700G/2510）で大きいことが分かった。実験および解析結果に基づき、残留変形にはガラス転移温度以上における高い線膨張係数の寄与が大きく、長期変形には吸湿による弾性率低下の寄与が大きいことが明らかになった。さらに、繊維/樹脂スケールにおける異方性粘弾性特性の予測と積層板スケールでの変形解析により、実験の変形量を高精度に予測することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、複合材料の成形時残留変形および長期変形の発生機構に関する重要な知見を得たとともに、その知見に基づいた変形予測のための解析基盤を確立した。本研究で構築した粘弾性マルチスケール解析は、樹脂や一方向材の粘弾性特性および熱機械特性を取得するだけで、残留変形や長期変形を定量的に予測可能である。将来的に各スケールにおいて成形手法（自動積層、3Dプリンタ等）や材料の構成（繊維うねり、樹脂リッチ部、ポイド等）を反映させることで、煩雑な実験を介せずに選定した樹脂に最適な成形方法の知見を提供できる点で、本研究は工学的に高い意義を有する。

研究成果の概要（英文）：This study investigated the mechanisms of process-induced deformation (PID) and long-term deformation (LTD) in composite laminates and developed a viscoelastic multiscale analysis for accurate prediction of these deformations. For the target material systems, PID was more pronounced in thermoplastic composites (T700G/LM-PAEK), whereas LTD was more significant in thermosetting composites (T700G/2510). Experimental and numerical results revealed that the large PID in thermoplastic composites resulted from a high coefficient of thermal expansion above the glass transition temperature, while the LTD in thermosetting composites was primarily attributed to moisture-induced degradation of stiffness. The proposed analysis, which integrates the estimation of anisotropic viscoelastic properties at the fiber/resin scale with deformation analysis at the laminate scale, accurately reproduced the experimental deformation behavior.

研究分野：複合材料工学

キーワード：炭素繊維強化プラスチック 熱可塑性樹脂 残留応力 長期変形 異方性粘弾性 吸湿効果 幾何学的非線形 マルチスケール解析

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

炭素繊維強化プラスチック (CFRP) は、比強度・比剛性に優れることから、航空機への適用が進んでいる。従来の航空機に適用されてきた熱硬化性 CFRP は、母材である熱硬化性樹脂が加熱によって架橋構造を形成するため、安定的な力学特性と耐熱性を有する。一方で、硬化後のリサイクルが困難であり、将来的な廃棄の問題を抱えている。そこで近年、熱硬化性 CFRP の代替材料として、熱可塑性 CFRP が注目されている。熱可塑性 CFRP の母材である熱可塑性樹脂は、分子の絡み合いによって固化するため、加熱により再溶融が可能である。この特性により、熱可塑性 CFRP は高速成形とリサイクルに適し、サステナブルな次世代航空機の構造材料として期待されている。しかし、熱可塑性 CFRP は分子が架橋構造を持たず、熱硬化性 CFRP に比べて粘弾性特性が顕在化する。特に航空機構造で用いられる積層板では、繊維/樹脂間、積層板層間において、成形時に残留応力が生じ、それを駆動力とした長期変形が生じる (図 1)。したがって、構造部材としての長期的な強度を保証するには、粘弾性特性を考慮して、正確な変形量をあらかじめ取得することが重要である。

熱可塑性 CFRP は航空機の構造部材としての設計・製造経験が乏しく、粘弾性特性に起因する残留変形および長期変形に対する成形条件や使用環境の影響は明らかになっていない。粘弾性を考慮したマルチスケールモデリングによる材料物性評価についても報告されているが、申請者の調べた限り、熱可塑性 CFRP の残留変形から長期変形までを追跡した包括的な研究は見当たらない。以上のことから、「熱可塑性 CFRP の成形時の非常に広い温度変化で生じる残留変形と、残留応力を駆動力とした長期変形の発生機構を把握し、それらの変形量を正確に予測するには粘弾性理論をどのように拡張したモデルが必要であるか」という学術的な問いが存在する。

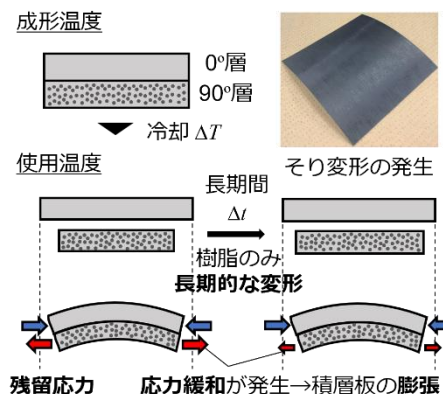


図 1 積層板の残留変形・長期変形

2. 研究の目的

以上の学術的な問いをもとに、本研究では、熱可塑性 CFRP の成形時残留変形および長期変形の発生機構を解明し、それらの変形量を予測する粘弾性マルチスケール解析技術を開発することを目的とする。研究目的の達成に向けて、具体的に次の 2 つの項目を検討した。

- (1) 成形時残留変形および長期変形の発生機構の調査：航空機向けの商用プリプレグである熱可塑性 CFRP (T700G/LM-PAEK) を対象とし、同繊維を用いた熱硬化性 CFRP (T700G/2510) を比較材として、積層板に発生する残留変形と長期変形を測定した。また、両材料の一方向材に対して動的粘弾性測定 (DMA) と熱機械分析 (TMA) を実施し、取得した材料特性から変形の発生要因を考察した。また、積層板の残留変形と長期変形を予測する積層板スケール解析を構築し、実験と解析結果の比較から、変形量の予測に必要な要素を調査した。
- (2) 粘弾性マルチスケール解析の構築：積層板の変形量を予測するため、粘弾性を考慮した 2 スケール解析を構築した。DMA 試験で取得した樹脂の粘弾性特性から、繊維/樹脂スケール解析により一方向材の異方性粘弾性特性を推定し、その結果を用いた積層板スケール解析により積層板の残留変形を予測した。解析結果を Non-crimp fabric (NCF) に樹脂を含浸した積層板の実験結果と比較し、構築した粘弾性マルチスケール解析の妥当性を検証した。

3. 研究の方法

(1) 実験方法

① 非対称積層板における変形量の測定実験

商用プリプレグを用いた積層板に対して、成形時残留変形および長期変形を測定した。熱可塑性 CFRP の T700G/LM-PAEK と熱硬化性 CFRP の T700G/2510 に対して、寸法 100 mm × 100 mm × 約 0.3 mm および積層構成 [90/0] となるように積層し、オートクレーブ装置を用いて成形した。成形中の最高温度/圧力を、T700G/LM-PAEK では 365°C/0.8 MPa、T700G/2510 では 130°C/0.3 MPa とした。成形直後に 3 次元測定機を用いて最大面外変形量 (U_z) を測定した。その後、試験片を恒温恒湿槽内に設置し、温度 60°C・湿度 50%RH の条件で 84 日間の変形量を測定した。

加えて、NCF 材に熱可塑性樹脂 PA6 と熱硬化性樹脂 Epoxy (DGEBA/4,4'-DDS) を含浸させた積層板をそれぞれホットプレス装置にて成形した。成形中の最高温度/圧力を、NCF/PA6 では 260°C/0.6 MPa、NCF/Epoxy では 130°C/0.6 MPa とした。寸法を 100 mm × 100 mm × 約 0.4 mm、積層構成を [90/0] とした。成形直後に 3 次元測定機を用いて最大面外変形量 (U_z) を測定した。

② 熱機械分析 (TMA) および動的粘弾性測定 (DMA)

商用プリプレグの熱機械的特性および異方性粘弾性特性を評価するため、一方向積層板に対して TMA 試験と DMA 試験を実施した。TMA 試験では、0°および 90°の一方向積層板を作製し、

熱ひずみおよび線膨張係数を測定した。測定温度範囲は、T700G/LM-PAEK では室温から結晶化温度 (263°C) を含む 20–300°C、T700G/2510 では成形温度範囲を含む 20–200°C とした。

DMA 試験から一方向材の緩和弾性マトリックスを求めるため、一方向材を横等方性と仮定し、繊維垂直方向弾性率 E_{22} および面内せん断弾性率 G_{12} のみが時間と温度によって変化するとした。また、本研究では貯蔵弾性率を緩和弾性率と仮定した。様々な温度および周波数における引張モードの DMA 試験で 90°材の貯蔵弾性率を測定し、時間温度換算則に基づいてシフトさせることで時間変化に伴う緩和弾性率 $E_{22}(t)$ を得た。面内せん断弾性率 $G_{12}(t)$ は、 θ 方向の一方向積層板の貯蔵弾性率 E_{θ} から下記の式を用いて求められる。

$$\frac{1}{E_{\theta}(t)} = \frac{1}{E_{11}} \cos^4 \theta + \frac{1}{E_{22}(t)} \sin^4 \theta + \left[-\frac{2\nu_{12}}{E_{11}} + \frac{1}{G_{12}(t)} \right] \sin^2 \theta \cos^2 \theta \quad (1)$$

本研究では $\theta = 45^\circ$ とし、45°方向の試験片における DMA 試験で取得した $E_{45}(t)$ を用いて $G_{12}(t)$ を求めた。DMA 試験条件としては、温度 -50–250°C、周波数 0.1–10 Hz にて引張モードで測定した。

NCF 材に含浸させた樹脂単体についても同様に、TMA 試験と DMA 試験を実施した。TMA 試験は 25–210°C の温度範囲で実施し、DMA 試験は引張モードで温度範囲 25–210°C と周波数 0.1–10 Hz で実施した。体積弾性率 K_m を一定と仮定することで、DMA 試験で測定した $E_m(t)$ から、樹脂の緩和せん断弾性率とポアソン比を下記のように求めた。

$$K_m = \frac{G_m^0 E_m^0}{3(3G_m^0 - E_m^0)}, G_m(t) = \frac{3K_m E_m(t)}{9K_m - E_m(t)}, \nu_m(t) = \frac{E_m(t)}{2G_m(t)} - 1 \quad (2)$$

ここで、 E_m^0 と G_m^0 は初期弾性率と初期せん断弾性率である。ここで得られた $E_m(t)$ 、 $G_m(t)$ 、 $\nu_m(t)$ を用いて繊維/樹脂スケール解析を実施し、一方向材の異方性粘弾性特性を推定した。

(2) 解析方法

① マクロスケール (積層板スケール) 解析

複合材積層板の成形時残留変形および長期変形を予測するには、積層板スケールの有限要素解析に異方性粘弾性構成則と幾何学的非線形を組み込む必要がある。時刻 t における第二 Piola-Kirchhoff 応力 $S_i(t)$ と Green-Lagrange ひずみ $E_i(t)$ の関係は、Voigt 表記で以下のように表される。

$$S_i(t) = \sum_{j=1}^6 C_{ij}(t) E_j(0) + \sum_{j=1}^6 \int_0^t C_{ij}(t-\tau) \frac{\partial E_j(\tau)}{\partial \tau} d\tau \quad (3)$$

ここで、 $C_{ij}(t)$ は緩和弾性マトリックスを示す。本研究では $E_{22}(t)$ と $G_{12}(t)$ から $C_{ij}(t)$ を求め、その各成分を一般化マクスウェルモデル (GMM) で表現した。式(3)を時間方向に離散化し、第二 Piola-Kirchhoff 応力 $S_i(t)$ の時間発展則を求めた。

幾何学的非線形を取り扱うため、本研究では Total Lagrange 法による増分解析を行う。仮想仕事の原理を離散化して得られる非線形方程式を、下記のように Newton-Raphson 法によって解く。

$$\left(\mathbf{K}_L^{(iter)} + \mathbf{K}_{NL}^{(iter)} \right) \Delta \mathbf{U}^{(iter+1)} = \mathbf{F}_{ex} - \mathbf{Q}_{int}^{(iter)} + \mathbf{Q}_{nm} \quad (4)$$

ここで、 \mathbf{K}_L 、 \mathbf{K}_{NL} 、 \mathbf{F}_{ex} 、 \mathbf{Q}_{int} 、 \mathbf{Q}_{nm} 、 $\Delta \mathbf{U}$ 、 $iter$ はそれぞれ初期変位マトリックス、幾何剛性マトリックス、外力ベクトル、内力ベクトル、非機械的内力ベクトル、変位増分ベクトル、Newton-Raphson 法の解析ステップを示す。残留変形解析においては、樹脂の硬化収縮と冷却時の熱収縮による \mathbf{Q}_{nm} を考慮して式(4)を解くことで残留変形を求め、長期変形解析では、 $\mathbf{Q}_{nm} = \mathbf{0}$ として式(4)を解くことで長期変形を求める。商用プリプレグの変形予測には、図 2a の解析モデルを用いて残留変形および長期変形解析を行った。

② ミクロスケール (繊維/樹脂スケール) 解析を繋げたマルチスケール解析

一方向材の異方性粘弾性特性を推定するミクロスケール解析を導入する。図 2b で示すマイクロモデルにおいて、炭素繊維を直交異方性弾性体、樹脂を等方性粘弾性体とみなす。樹脂単体の DMA 試験から取得した $E_m(t)$ 、 $G_m(t)$ 、 $\nu_m(t)$ をマイクロモデルの樹脂粘弾性特性とし、引張とせん断の計 6 方向にそれぞれ一定ひずみを与えたマイクロ解析を実施した。それぞれの解析から得られた応力値から、緩和弾性マトリックス $C_{ij}(t)$ を同定する。得られた $C_{ij}(t)$ の各成分を①と同様に GMM によりモデル化し、積層板スケール解析を実施する。なお、NCF 複合材の解析では、NCF に特有な樹脂リッチ部を明示的にモデル化した (図 2b)。

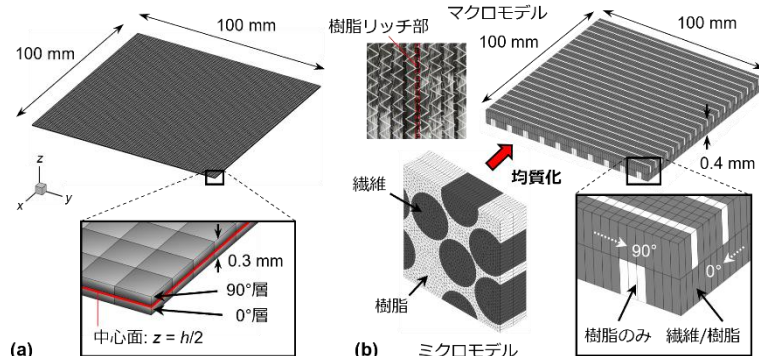


図 2 積層板の変形量の予測に用いた数値解析モデル

4. 研究成果

(1) 商用プリプレグにおける成形時残留変形および長期変形の発生機構の調査

図3にT700G/LM-PAEKとT700G/2510を用いて成形した積層板の写真と3Dスキャン画像を示す。成形直後(0 day)はT700G/LM-PAEKがT700G/2510より大きな曲率を示した。また、T700G/2510の曲率は時間とともに大きく減少したのに対し、T700G/LM-PAEKの曲率はほとんど変化しなかった。残留変形を0日目の U_z 、長期変形を0日目から84日目までの U_z の変化量と定義すると、T700G/LM-PAEKとT700G/2510の残留変形はそれぞれ22.95 mmと15.37 mm、長期変形はそれぞれ0.82 mmと8.34 mmであった。これらの結果から、T700G/LM-PAEKでは残留変形が顕著であり、T700G/2510では長期変形が大きいことが分かった。

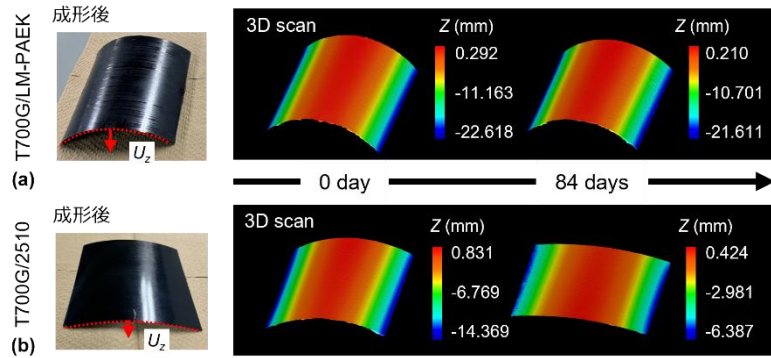


図3 T700G/LM-PAEKとT700G/2510の残留変形および長期変形

図4aは90°材に対するTMA試験結果を示す。T700G/LM-PAEKの線膨張係数は、ガラス転移温度 T_g 以下の温度ではT700G/2510と同程度であるが、 T_g 以上の温度ではT700G/2510よりも高かった。したがって、T700G/LM-PAEKの成形中(365°C→60°C)では、 T_g 以上の高い線膨張係数により、T700G/2510よりも大きな熱ひずみが発生したことが分かる。図4bはDMA試験により得られた90°材の貯蔵弾性率を示す。成形終了温度(60°C)からT700G/2510の最大成形温度(130°C)の範囲では、T700G/LM-PAEKの貯蔵弾性率の方が高く、この温度範囲では、両材料の線膨張係数は同程度であるため、T700G/LM-PAEKではより大きな残留応力が発生したと考えられる。T700G/LM-PAEKの貯蔵弾性率は T_g を超えると急激に低下するが、貯蔵弾性率がほぼゼロになるまでの温度範囲では T_g 以上の高い線膨張係数の影響により残留応力が発生する。一方で、この温度範囲を超えると、残留応力の発生は無視できる程度になると考えられる。図4cは、90°および45°材のDMA試験結果から算出された $E_{22}(t)$ を示す。長期変形の測定実験で採用された環境条件(60°C、84 days $< 1 \times 10^7$ s)下における緩和弾性率は、T700G/LM-PAEKとT700G/2510でほとんど変わらない。したがって、このDMA試験結果のみでは、T700G/2510のみで観察された大きな長期変形を十分に説明することはできなかった。

そこで本研究では、積層板スケール解析(図2a)を実施し、解析結果と実験結果との比較により、変形量の予測に必要な要素を調査した。図5aは残留変形および長期変形量の実験および解析結果を示す。実験結果をマーカーで示し、T700G/LM-PAEKおよびT700G/2510の解析結果をそれぞれ青線および赤線で示す。両材料において、残留変形の解析結果は実験値と非常によく一致した。この結果は、異方性粘弾性と幾何学的非線形性を組み込むことで、同一成形条件下で作製した一方積層板のTMAとDMA試験結果から、残留変形を高精度に予測できることを示す。一方で、長期変形の解析結果については、T700G/LM-PAEKは実験結果と良好に一致

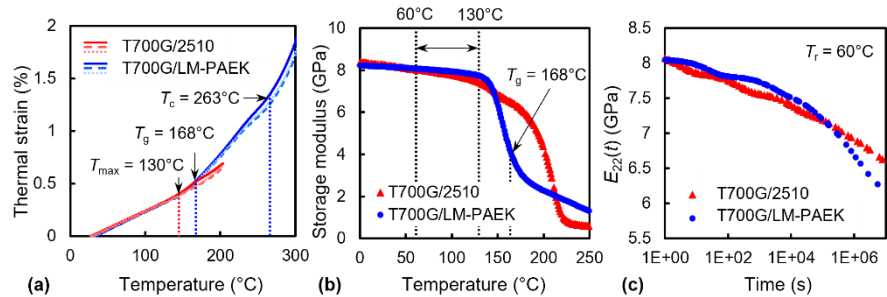


図4 T700G/LM-PAEKとT700G/2510のTMA試験およびDMA試験結果

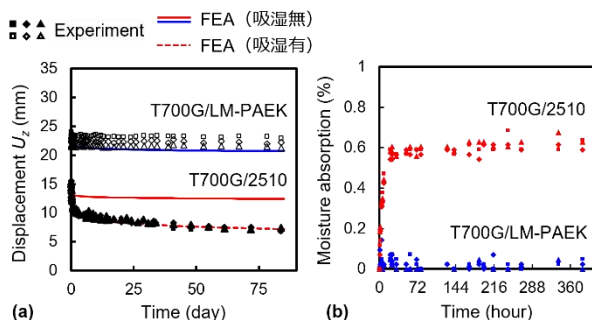


図5 積層板の(a)実験と解析結果における変形量と(b)温度60°C・湿度50%RHにおける吸湿量

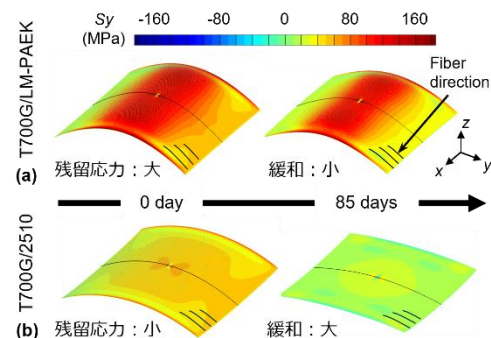


図6 成形直後と85日後における積層板スケール解析の残留応力分布

しているのに対し、T700G/2510 は実験結果の緩和量を再現できなかった。長期変形に関して T700G/2510 のみに大きな緩和が観察されたことから、この差は解析で考慮していない吸湿の影響によるものと考えられる。一方で、T700G/LM-PAEK については、吸湿を考慮しない解析でも良好な予測精度が得られたことから、吸湿による力学特性の変化に対して高い耐性を持つと考えられる。

吸湿に対する感度を調べるために、変形測定後の試験片を乾燥させた後、長期変形の測定と同一条件下（温度 60°C・湿度 50%RH）に再度設置し、20 日間にわたり吸湿量を測定した。その結果（図 5b）、T700G/2510 は T700G/LM-PAEK に比べて吸湿量が著しく大きいことが分かった。熱硬化性樹脂（例えば、Epoxy/amine 系）は、架橋反応により親水性の分子構造を持つため、吸湿しやすい傾向にある。一方、熱可塑性樹脂では、非晶構造の違いによって吸湿性が大きく異なる。PAEK 系樹脂においては、ケトン基の比率が分子の極性を変化させ、それが吸湿に対する感度に影響を与える。この吸湿に伴う影響を考慮するために、最終的なシフトファクターを吸湿と温度のシフトファクターの重ね合わせとして表した。T700G/2510 のシフトファクターを任意の値による吸湿のシフトファクターで修正した解析結果を図 5a の赤破線で示す。この修正により、長期変形の解析結果は実験結果とよく一致し、吸湿性の高い材料における長期変形を高精度に予測する上では、吸湿の影響を考慮することが必要不可欠であることが分かった。

最後に、変形解析における積層板の残留応力 $S_{22}(t)$ を可視化した結果を図 6 に示す。TMA および DMA 結果が示すように、T700G/LM-PAEK は T700G/2510 に比べて成形時の熱ひずみと弾性率が大きいいため、大きな残留応力を有しており、これが大きな残留変形を引き起こす。また、T700G/2510 の方が T700G/LM-PAEK よりも大きな応力緩和を示しており、長期変形が大きくなる要因となっている。この残留応力の結果は、実験の変形挙動と一致しており、本解析が積層板に発生する残留応力およびその緩和挙動を再現でき、かつ、残留応力とその緩和挙動を通じて、残留変形および長期変形の発生機構を明らかにすることが可能であることを示した。

(2) 粘弾性マルチスケール解析による NCF 複合材の成形時残留変形予測

本節では粘弾性を考慮した 2 スケール解析を構築し、NCF 複合材積層板の残留変形を予測した。図 7a に DMA 試験により取得した PA6 と Epoxy の貯蔵弾性率（緩和弾性率 $E_m(t)$ ）を示す。Epoxy はガラス状態にある線形粘弾性挙動が支配的であるのに対し、PA6 では分子運動性が増すゴム弾性挙動が支配的であった。また、Epoxy のガラス転移領域は、PA6 に比べて温度範囲が狭かった。いずれの材料においても、ガラス転移領域では分子の運動性が高まることにより弾性率が急激に低下することが分かった。200°C までの温度範囲にわたり、樹脂の緩和弾性率を PA6 は 40 個、Epoxy は 30 個のマクスウェル要素を用いてフィッティングした。この GMM パラメータを用いて引張とせん断の計 6 方向にそれぞれ一定ひずみを与えたマイクロ解析を実施した。図 7b, c は、マイクロ解析により得られた $t = 100$ 秒間の変形保持に対する一方向材の緩和弾性マトリクス成分を、様々な温度において示している。この結果より、ミクロスケール解析を用いて一方向材の緩和弾性マトリクスを評価できることが分かった。

次に NCF 複合材積層板において測定された成形時残留変形と解析結果を比較することで、構築した粘弾性マルチスケール解析の妥当性を検証した。試験片の観察により、NCF/Epoxy では樹脂リッチ部が存在していたのに対し、NCF/PA6 では樹脂リッチ部が極めて小さく、一部が繊維と混合していた。そ

のため、NCF/Epoxy の解析モデルのみ、図 2b で示すような樹脂リッチ部を持つように構成した。

NCF/PA6 積層板と NCF/Epoxy 積層板における残留変形の実験と解析結果の比較として、図 8 に円筒状の変形に沿った積層板の曲率形状を示す。両材料において実験と解析結果は非常に良く一致し、本マルチスケール解析が NCF 複合材の残留変形を良好に再現できることを示した。

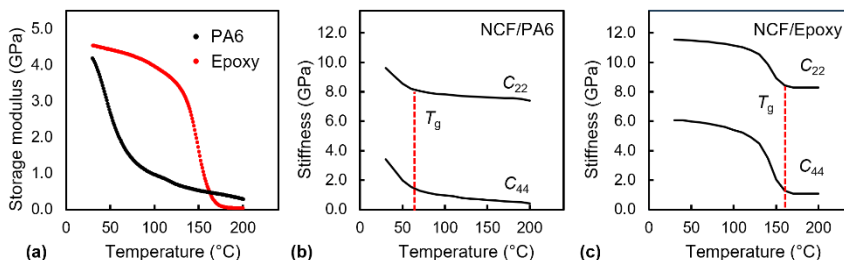


図 7 樹脂の緩和弾性率と NCF 複合材の緩和弾性マトリクス

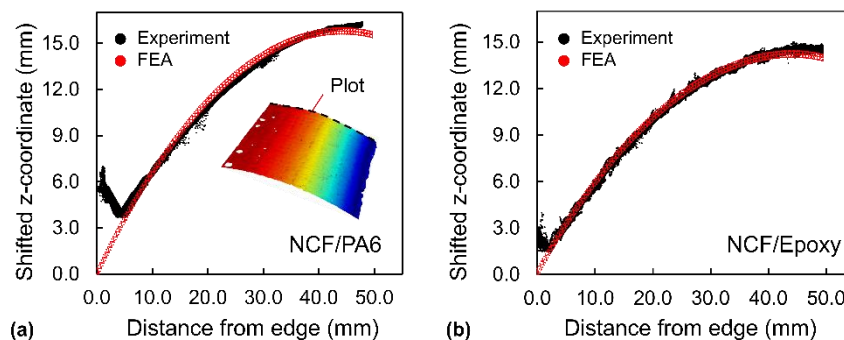


図 8 NCF 複合材の残留変形における実験および解析結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kazuki Ryuzono, Sera Koo, Yamato Hoshikawa, Yoshiaki Kawagoe, Tomonaga Okabe	4. 巻 196
2. 論文標題 Mechanism investigation and comparison of long-term deformations caused by process-induced residual stresses in thermosetting CF/epoxy and thermoplastic CF/PAEK composite laminates	5. 発行年 2025年
3. 雑誌名 Composites Part A: Applied Science and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 108963
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.compositesa.2025.108963	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tomonaga Okabe, Kazuki Ryuzono, Yoshiaki Kawagoe	4. 巻 34
2. 論文標題 Recent studies on multiscale modeling of carbon fiber-reinforced composites	5. 発行年 2025年
3. 雑誌名 Advanced Composite Materials	6. 最初と最後の頁 452-462
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/09243046.2024.2414467	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuuki Kinugawa, Yoshiaki Kawagoe, Kota Oine, Kazuki Ryuzono, Yamato Hoshikawa, Tomonaga Okabe	4. 巻 33
2. 論文標題 Experiment-free multiscale simulation of residual deformation in non-crimp fabric composites	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Advanced Composite Materials	6. 最初と最後の頁 1420-1432
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/09243046.2024.2348861	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 龍園一樹, クーセラ, 干川大和, 川越吉晃, 岡部朋永
2. 発表標題 一方向CFRPの動的粘弾性測定に基づく複合材積層板の成形時残留変形および長期変形の予測
3. 学会等名 第50回複合材料シンポジウム
4. 発表年 2025年

1. 発表者名 衣川裕貴, 川越吉晃, 生稲晃汰, 干川大和, 龍園一樹, 白須圭一, 岡部朋永
2. 発表標題 Non-crimp fabric複合材料の残留変形マルチスケールモデリング: 母材樹脂種の影響評価
3. 学会等名 第49回複合材料シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Sera Koo, Kazuki Ryuzono, Yamato Hoshikawa, Yoshiaki Kawagoe, Tomonaga Okabe
2. 発表標題 Mechanism investigation and comparison of long-term deformation in thermoplastic and thermoset composite laminates
3. 学会等名 第49回複合材料シンポジウム
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------