

1.目的 CFRP は繊維軸方向以外の off-axis 負荷下で非線形な応力-ひずみ関係を示すため、この材料の適用分野を広げるためには、この性質を理解することが重要である。この off-axis 負荷による、非線形挙動をより精度よくモデル化するため、粘塑性挙動を実験的に明らかにすることを目的とする。また有限要素法による応力解析を実施し、積層構成の違いによる構成層厚依存性を検討するための指針を得る事を目的とする。

2.実験・解析方法 試験片は T700SC/2500((株)東レ)のアングルプライ積層板 $[\pm 45]_{12s}$ である。負荷速度の異なる単調引張試験を実施した。応力緩和試験は縦ひずみ 2%ごとに負荷を止め、緩和時間を 90 分とした。負荷除荷応力緩和試験は、基準ひずみ 4%で負荷を止め、緩和時間を 90 分とした。4%に達した後、1%ずつ除荷しながら応力緩和をする。荷重が 0 になったら反転負荷させ、4%まで 1%ごとに負荷させながら応力緩和をする。これを 1 サイクルとして 4%ごと基準ひずみを増やしていき、破断するまで繰り返した。最大応力一定負荷除荷繰り返し試験では、最大応力を 100MPa, 150MPa, 200MPa に設定し、200 回負荷除荷を繰り返した。また有限要素法では、構成層厚の異なるアングルプライ積層板, $[\pm 45]_{12s}$, $[(+45)_3/(-45)_3]_{4s}$, $[(+45)_6/(-45)_6]_{2s}$, $[(+45)_{12}/(-45)_{12}]_s$, の 4 種類のモデルにて線形弾性解析を行い、自由縁付近の応力分布を評価した。

3.結果および考察 応力緩和試験にて、基準ひずみが大きいほど、緩和する応力も大きいことがわかり、この応力がある値に漸近していることがわかった。またひずみ速度依存性が存在する事から、粘性を有する材料であると評価できる。また負荷速度を増やしていくと、応力の増加傾向が大きくなることが評価できる。Fig. 1 は負荷除荷応力緩和試験における、応力の時間変化推移を示す。負荷後に緩和した応力と除荷後に緩和した応力は一致しなかった。この事から、粘弾性材料ではなく、粘塑性材料である事がわかった。Fig. 2 には、最大応力 200MPa 負荷除荷繰り返し試験における、サイクル 20 回毎の、応力-ひずみ線図を示す。サイクルを重ねるごとに、ひずみ増加が鈍化する傾向が読み取れる。Fig. 3 は、解析で得られた繊維方向に加わる応力を構成層厚別に示す。層厚が厚いモデルは、繊維方向が交差する層間で応力が大きくなり、同じ繊維方向に挟まれた層では、周囲より応力が下がっている事がわかる。よって層厚が薄いほど繊維方向への負荷が大きく、高い応力まで耐える事ができる事が検討できる。この事は薄いモデルがひずみや強度が高いという実験的評価を、解析により裏付けた。

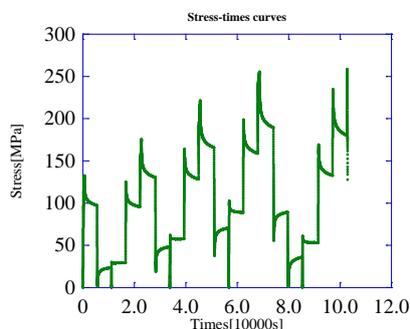


Fig.1 Stress-times history obtained by loading/unloading stress relaxation tests.

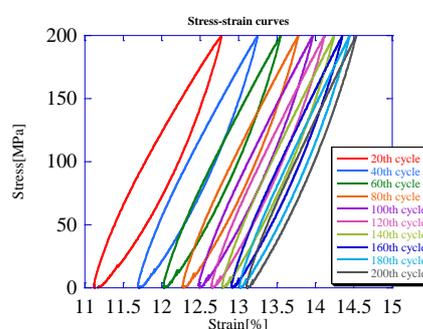


Fig.2 Stress-strain curves per 20 cycles obtained by loading/unloading tests ($\sigma_{max}=200\text{MPa}$).

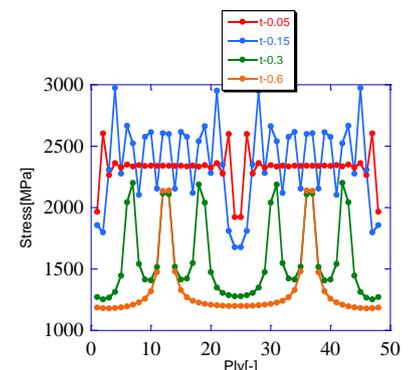


Fig.3 Fiber direction stress distinction for each laminate obtained by FEM analysis