

卒業論文要旨

CFRP フレクシャヒンジの積層構成が曲げ変形に与える影響

システム工学群

先端機械・航空材料工学研究室 1260020 今池 龍之介

1. 緒言

近年、航空宇宙産業や自動車産業では軽量かつ高剛性構造部材として CFRP の利用が拡大している。しかし、可動部品としての CFRP の応用は依然として少なく、その変形機構に関する知見は十分に蓄積されていない。特に、摩耗や摩擦がなく軸を必要としないフレクシャヒンジは高精度な可動機構として有用である一方、大きい変形が伴う場合に CFRP の積層構成が変形特性に与える影響は体系的に整理されていない⁽¹⁾⁽²⁾⁽¹¹⁾。

本研究では、FRP が有する剛性設計の自由度に着目し、CFRP 製フレクシャヒンジの積層構成が曲げ特性および柔軟性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。ヤング率の低いアングルプライ積層板に注目し、3 点曲げにより大たわみを与えて曲げ変形後の残留変形を調べた。

2. 実験方法

2.1 材料・積層方向

本研究で使用した試験片には CFRP プリプレグ (TR350C100S, 三菱ケミカル製) を用いた⁽³⁾。硬化温度 130°C、圧力 0.5Mpa でホットプレス成形により積層板を製作した。その後、幅 mm、長さ mm の短冊形に試験片を切り出した。

本試験では厚みの異なる 45°及び 60°の 4 種類のアングルプライ積層板を試験に用いた。積層構成を表 1 に示す。また、厚みは 0.35mm と 0.7mm の 2 種類であった。

Table.1 Stacking sequence

Sample ID	Stacking sequence
A	[45/-45] _s
B	[45/-45/45/-45] _s
C	[60/-60] _s
D	[60/-60/60/-60] _s

2.2 3 点曲げ大たわみ試験

支点間の距離を 40mm として、変位を 29mm 加えた。試験の際に 3 点曲げの治具との間の滑りを防止するため治具を設置し実験を行った。

3. 結果及び考察

3.1 3 点曲げ大たわみ試験

図 1 にそれぞれの試験片に変位を 29mm 加えた際の变形写真を示す。図より、積層板が大きく変形していることが分かる。与えた変形の度合いを定量化するために、支持点の角度から開き角度を求めた。その値を表 2 に示す。表から、開き角度がほぼ 0° に近いことが分かる。

図 2 に、荷重変位線図を示す。変位 10mm で荷重は最大に

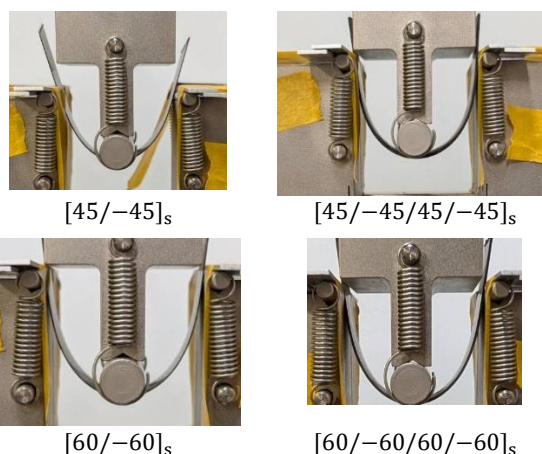


Fig.1 Deformation of thin angle-ply laminates at 3 point bending test

Table.2 Opening angle at maximum displacement

Stacking sequence	Opening angle [°]
[45/-45] _s	20
[45/-45/45/-45] _s	6
[60/-60] _s	6
[60/-60/60/-60] _s	8

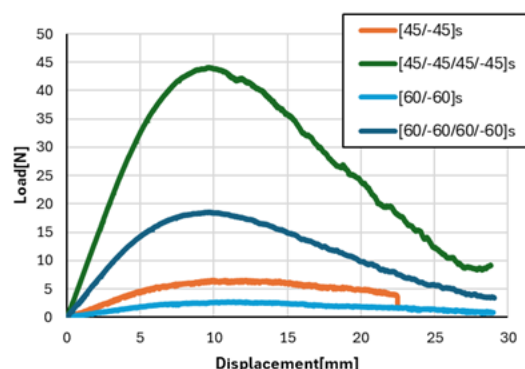


Fig.2 Load-displacement curves of 3-point large bending test

達し、その後徐々に低下していることが分かった。よって変位が 10mm 以上では支点における滑りが支配的となることが分かった。

3.2 残留曲げ変形

表3に試験後の開き角を、図3に試験後の試験片の側面写真を示す。表および図より、45°材は60°材よりも残留変形が大きく、また厚みが大きいほど残留変形が大きくなることが分かった。残留変形のコーナー部側面を観察したところ、明確な損傷は見られなかった。よって、残留変形は樹脂の塑性変形に加え、層間せん断すべりや繊維回転など複合的な非線形変形が寄与していると考えられる⁽⁸⁾。

CFRPは脆性的で知られているものの、アングルプライでは樹脂の塑性変形が大きくなり、積層板も塑性変形を起こすことが知られている。図2から得られる最大荷重からも分かるように、厚い試験片では大きな曲げ応力が加わることで残留曲げ変形が生じたものと考えられる。

Table.3 Residual angle

Stacking sequence	Residual angle [°]
[45/-45] _s	9
[45/-45/45/-45] _s	42
[60/-60] _s	7
[60/-60/60/-60] _s	20

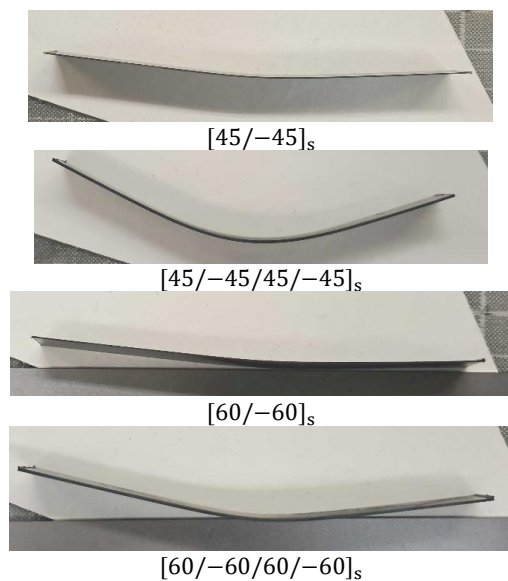


Fig.3 Side view of Specimen after 3 point bending test

4. 結言

本研究ではアングルプライ積層板に大たわみ3点曲げ試験を行い、積層構成と厚みが残留変形に与える影響を調べた。その結果、45°材は60°材よりも残留変形が大きく、また厚みが大きいほど残留変形が大きくなることが分かった。

フレクシャヒンジでは繰り返し曲げを加えるため、弾性範囲内での使用になる。本研究では大たわみを3点曲げで与えたが、実用的にはたわみ量と残留変形量の関係を明らかにする必要がある。また、将来的には純曲げ試験を行う予定である。

文献

- (1) 末益博志, “入門 複合材料の力学”, 培風館(2009), pp.27-32
- (2) 日本航空宇宙学会編, “複合材料工学”, 日本航空宇宙学会, 2010.
- (3) 三菱ケミカル株式会社, “TR350C100S プリプレグ 技術データシート”, 三菱ケミカル, 2022年.
- (4) Daniel, I. M. and Ishai, O.: Engineering Mechanics of Composite Materials, Oxford University Press, 2006.
- (5) Jones, R. M.: Mechanics of Composite Materials, Taylor & Francis, 1998.
- (6) Whitney, J. M. and Nuismer, R. J.: Stress fracture criteria for laminated composites containing stress concentrations, Journal of Composite Materials, Vol. 8, No. 3, pp. 253-265, 1974.
- (7) Smith, S. T.: Flexures: Elements of Elastic Mechanisms, CRC Press, 2000.
- (8) Chawla, K. K.: Composite Materials: Science and Engineering, Springer, 2012.
- (9) 近藤恭平: 複合材料の力学, コロナ社, 1994.
- (10) Gibson, R. F.: Principles of Composite Material Mechanics, CRC Press, 2011.
- (11) Kaw, A. K.: Mechanics of Composite Materials, CRC Press, 2005.