

CFRP 直交積層板とアルミニウム合金の単純重ね合わせ接着継手の強度特性

Strength properties of adhesively bonded single lap joints of CFRP cross-ply laminates and aluminum alloy

知能機械システム工学コース

材料強度学研究室 1225007 大久保 優也

1. 緒言

近年、様々な工業分野で低コスト化や軽量化が進められており、それに伴い使用する材料の多様化が進んでいる。材料の多様化が進むにつれ、その特性を人為的に変えることが可能な複合材料が注目されている。代表的複合材料である炭素繊維強化プラスチック(CFRP)も軽量、高強度、高剛性といった特徴から航空分野をはじめ、自動車、スポーツ用品などの幅広い分野で使用されている。これらの材料は異種材料と接合して使用されることが多く、その際に多用されるのが接着接合である。しかし、接着継手の強度は被着材の種々の特性に依存する。強い異方性を示す CFRP と金属が接着接合される自動車などでは、その接着強度が CFRP の機械的性質に影響されることが予想されるため、この点を明らかにしておくことは重要である。

本研究では、CFRP の積層構成を変化させることで剛性を変化させた 4 種類の CFRP 積層板とアルミニウム合金 A2017 による単純重ね合わせ接着継手(SLJ)の静的引張り試験を行い、接着継手の強度特性に及ぼす CFRP 積層構成の影響について調査した。

2. 材料および実験方法

2.1 材料

被着材の CFRP 積層板は、CFRP プリプレグ(TR350C100S, 三菱ケミカル社製)を、表 1 に示す積層構成となるよう積層し加圧成形した。成形手順は 1 時間で 130 °C まで昇温させ、110 °C の時に 40 MPa の圧力を負荷した。その後、130 °C を 2 時間保持した。これら CFRP 積層板から 25×100×1.5 mm の試験片を作製し、引張り試験および 3 点曲げ試験を行い引張り弾性率と曲げ弾性率を求めた。結果を表 1 に示す。各積層構成の横の丸括弧は 0 °層と 90 °層の割合で表わしたものであり、以後各 SLJ はこの表記を使用する。

図 1 に SLJ 試験片の寸法を示す。接着長さは 12.5 mm とし、接着厚さは 0.2 mm とした。接着面はエメリー紙#500 で研磨を施し、超音波洗浄器での洗浄の後アセトンで脱脂を行った。

接着剤は Araldite2011(HUNTSMAN 社製)を使用した。主剤と硬化剤を 1:0.8 で混合したものを真空機で 40 分間脱泡し、接着面に塗布した。その後、70 °C を 1 時間保持し接着剤を硬化させた。硬化後、余分な接着剤はスクレイパーで除去した。

Table 1 Properties of materials

	Young's modulus(Tensile) [GPa]	Young's modulus(Bending) [GPa]
[0 ₂₁] (1/0)	141	122
[0 ₇ /90 ₇ /0 ₇] (1/1)	101	111
[0 ₄ /90 ₁₂ /0 ₄] (1/3)	68.6	108
[0 ₂ /90 ₁₆ /0 ₂] (1/8)	39.7	72.1
A2017	68.7	73.2

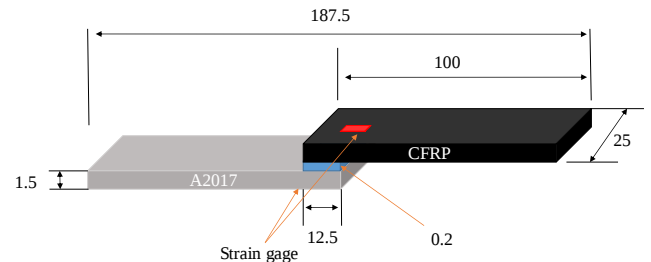


Fig.1 Schematic illustration of SLJ specimen [mm]

2.2 実験方法

引張り試験には、万能材料試験機オートグラフ(島津製作所 容量 100 kN)を使用した。2 枚の被着材の接着層端部裏面にひずみゲージ(ゲージ長 5 mm)を貼付した。変位速度を 2 mm/min とし、試験片が破断するまでの荷重とクロスヘッド変位およびひずみを記録した。

3. 実験結果および考察

3.1 荷重変位曲線

各 SLJ の荷重変位曲線の例を図 2 に示す。CFRP の剛性の大きいものから順に破断荷重は高くなった。(1/1)と(1/3)の CFRP では、曲げ弾性率の差異はほとんどないが、破断荷重は(1/1)が高かった。以上のことから、破断荷重は引張り弾性率の影響を大きく受けると考えられる。

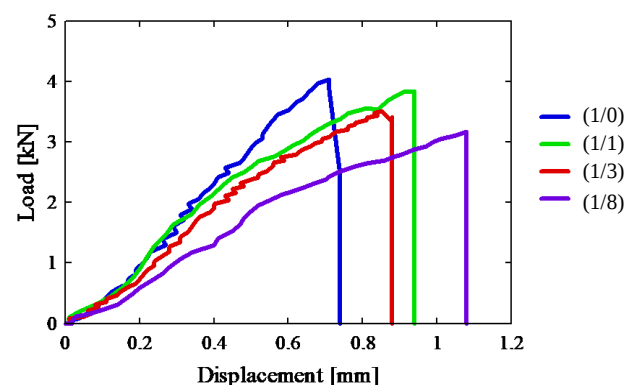


Fig.2 Relationship between load and displacement

3.2 被着材の変形

図 3 に引張り試験時に測定した被着材のひずみを示す。縦軸は引張り荷重であり、横軸のひずみは SLJ に貼付したひずみゲージから得られた値である。本研究ではひずみゲージを SLJ の接着層端部に貼付したため、ここでのひずみは引張りによる正のひずみと曲げ変形による圧縮の曲げひずみが足し合わされたひずみとなる。

CFRP の剛性が高い SLJ ほど同一荷重下での A2017 の圧縮ひずみが小さくなった。これにより、CFRP の弾性率の違いが A2017 のひずみに大きく影響を与えることが分かった。CFRP の引張り弾性率が著しく低下すると CFRP は引張りひずみが生じた。

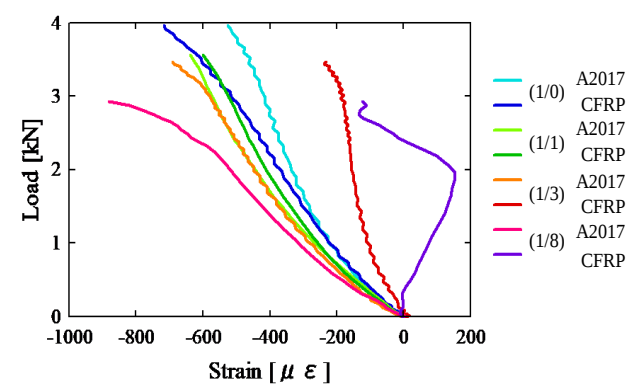


Fig.3 Relationship between load and strain

3.3 破面観察

図 4 に各 SLJ の破断後の接着部の破面を示す。全ての試験片で A2017 と接着剤との界面破壊が支配的であった。しかし、CFRP の剛性が低下するほど、A2017 に付着する接着剤の面積が増加した。よって、被着体の剛性の変化によって破壊形態が変化すると考えられる。さらに、(1/8)の A2017 に付着した接着剤に CFRP の繊維を確認できたことから、(1/8)は、CFRP 自体での破壊が生じたと考えられる。

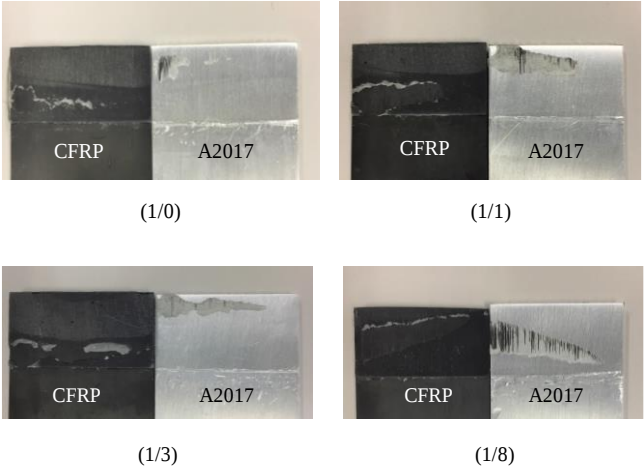


Fig.4 Fracture surface of each SLJ specimen

4. 有限要素解析

4.1 解析条件

汎用有限要素解析ソフト ANSYS を用いて継手の 2 次元応力解析を行った。表 2 は解析の際に使用した材料特性である。Araldite2011 の σ_y , σ_t , ϵ_f と CFRP の G_{xy} の値は参考文献の値⁽¹⁾⁽²⁾で、その他は実測した値に基づいている。要素は 2 次元 4 節点要素を使用し、図 5 に示すモデルを作成した。また、被着材の CFRP 部分は 0°層、90°層それぞれを積層したモデルとした。また、SLJ の幾何学的非線形を考慮した。荷重 P を 2 kN 負荷した際の接着層の応力分布について調査した。

Table 2 Properties of materials

	A2017	Araldite2011	CFRP	
			E_x [GPa]	141
Tensile modulus E [GPa]	68.7	1.37	E_y [GPa]	9.92
			E_z [GPa]	9.92
			ν_{xy}	0.382
Poisson's ratio ν	0.35	0.37	ν_{yz}	0.382
			ν_{xz}	0.382
			G_{xy} [GPa]	4.36
Yield stress σ_y [MPa]	298	24.5	G_{yz} [GPa]	2.52
Failure stress σ_f [MPa]	396	31.7	G_{xz} [GPa]	4.36
Failure strain ϵ_f [%]	19.5	20		

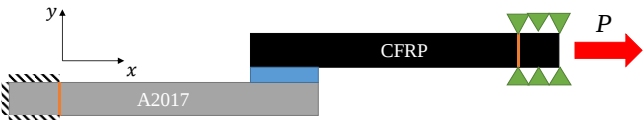


Fig.5 Analysis model

4.2 解析結果

図 6 は各 SLJ の接着層の厚さ中心におけるせん断応力分布を示している。縦軸はせん断応力 τ_{xy} 、横軸は接着層の位置を表しており、接着層の中心を 0 としている。比較対象として両被着体を A2017 とした SLJ の結果を黒色で示している。

(1/3)は A2017 同士の SLJ と挙動が一致した。これは、(1/3)の CFRP が A2017 と近い引張り弾性率であるためと考えられる。一方で、A2017 と曲げ剛性が近い値の CFRP を用いた(1/8)では A2017 同士の SLJ よりも右端でのせん断応力の値が大きくなり、A2017 よりも高い剛性を持つ(1/0), (1/1)ではその値は A2017 同士の SLJ より小さくなった。従って、一方の被着材の引張り弾性率を大きくすることで応力集中を緩和することが可能であると考えられる。

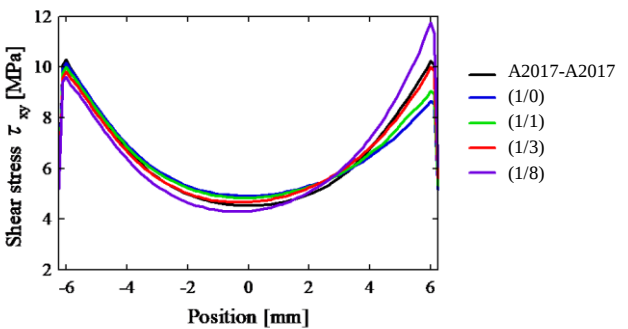


Fig.6 Shear stress distribution

5. 結言

- (1)A2017 と CFRP の SLJ において引張り弾性率の大きい CFRP を被着材とすることで SLJ の破断荷重は大きくなった。
- (2)剛性の高い CFRP を用いた SLJ では、同一荷重下での A2017 のひずみが小さくなった。
- (3)破面観察より、A2017 側の界面破壊が支配的であった。CFRP の剛性の低下につれ、A2017 に付着する接着剤の割合が増加した。
- (4)応力分布より、せん断応力は一方の被着体の引張り弾性率を大きくすることで応力集中を緩和した。

文献

- (1)Influence of the Adhesive, the Adherend and the Overlap on the Single Lap Shear Strength
Lucas F M da Silva, J E Ramos, M V Figueiredo, and T R Strohaecker
Journal of Adhesion and Interface Vol7, No4, 2006
- (2)Golf club shaft
Satoshi SHIMONO, Takashi KANEKO US Patent App 2015