CFRP/アルミニウム合金単純重ね合わせ接着継手の強度に及ぼす CFRP 剛性の影響

Effect of stiffness of laminate CFRP on fracture behavior of CFRP/aluminum alloy SLJ

システム工学群

材料強度学研究室 1200178 横山 遥大

# 1. 緒言

近年,自動車や航空機等の輸送機器を始め,医療機器,ス ポーツ用品など様々な分野において材料の多様化が進んでい る<sup>(1)</sup>.特に,軽量化を目的に高い比強度,比剛性を有する炭素 繊維強化プラスチック(CFRP)が広く使用されるようになっ た.CFRP は単独で使用される他に,金属材料などの異種材料 と接合して使用されることも多い.この場合,金属同士の接 合に多く用いられるボルトやリベットによる機械的接合や溶 接などは困難であり,接着剤を用いた接着接合が多用される. 接着接合は溶接や機械的接合に比べ軽量化が可能で,接合部 での応力集中を低減できるなどの長所があるが,強度は被着 材の特性や表面状態に強く依存する<sup>(2)</sup>.

異種材料同士を接着接合する場合,その強度は被着材の 相対的な材料特性の差異に影響されることがある<sup>(1)</sup>.しかし ながら,例えば高剛性の CFRP と高延性のアルミニウム合金 A2017 とを接着接合するとき,その継手の強度に被着材の性 質が及ぼす影響などは十分に明らかではない.本研究では, 被着材として積層構成により剛性を変化させた4種類の CFRP 積層板とアルミニウム合金 A2017を用いて作製した単 純重ね合わせ接着継手試験片の静的引張試験を行い,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 材料および試験片

試験片に使用した材料は CFRP プリプレグ(TR350C100S, 三 菱ケミカル社製) とアルミニウム合金 A2017 である. CFRP プ リプレグを以下の4種類の積層条件で積層し,ホットプレス 成形した.すなわち,[0<sub>21</sub>]の一方向積層板と,[0<sub>7</sub>/90<sub>7</sub>/0<sub>7</sub>], [0<sub>4</sub>/90<sub>12</sub>/0<sub>4</sub>]および[0<sub>2</sub>/90<sub>16</sub>/0<sub>2</sub>]の直交積層板の4種類である. 成形手順はまず1時間で130℃まで昇温させる.そして,110℃ の時に圧力を40MPa かけ,130℃を2時間保持した.

各 CFRP と A2017 の機械的特性を表 1 に示す. なお, これ らの値は 25×100×1.5mm の試験片を作製し, 引張試験および 三点曲げ試験より得た実測値である.

	Fig.1	Pro	perties	of m	aterials.
--	-------	-----	---------	------	-----------

	Young's modulus in axial direction (GPa)	Flexural rigidity (N·m <sup>2</sup> )
[0 <sub>21</sub> ] (1/0)	141	0.953
$[0_7/90_7/0_7]$ (1/1)	101	0.912
$[0_4/90_{12}/0_4]$ (1/3)	68.6	0.918
$[0_2/90_{16}/0_2]$ (1/8)	39.5	0.554
A2017	68.9	0.513

これらの中で、(1/3)材はA2017と軸方向ヤング率を揃え

る目的で,(1/8)材は曲げ剛性を揃える目的で積層構成を決定した.図1に本実験で使用した単純重ね合わせ接着継手(SLJ)試験片の概要図と寸法を示す.接着部は25×12.5mmとし,接着層厚さを0.2mmとした.



CFRP と A2017の接着面をエメリー紙#500 を用いて研磨した. その後,超音波洗浄器で20分間洗浄し,アセトンを用いて脱脂し,表面に付着した油分を除去した.

接着剤は Araldite2011 (HUNTSMAN 社製)を使用した. 主剤 と硬化剤を質量比 1:0.8 でよく混合したものを真空中で 40 分 間脱泡し被着材の接着面に塗布した. 治具とテフロンシート を使用し接着層厚さを 0.2mm に制御した. その後,オーブン を用いて 70℃で1時間保持し接着剤を硬化させた. 加熱硬化 後,余分な接着剤をスクレイパー等で除去した. 試験片の端 部に A2017 製の厚み 1.5mm のタブと,厚み 0.2mm の金属板 を瞬間接着剤で貼付した. 試験時の SLJ のひずみを計測する ために,各被着材の接着層端部裏面にひずみゲージ(ゲージ長 5mm)を貼付した.

### 2.2 実験方法

引張試験には、精密万能引張試験機オートグラフ(島津製 作所 容量 100kN)を使用した.変位速度を 2mm/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 みゲージによるひずみを測定した.

## 3. 結果および考察

### 3.1 平均せん断応力-変位関係

各 SLJ 試験片の静的引張試験において得られた平均せん断応力とクロスヘッド変位の関係の例を図2に示す.各試験片は3本ずつ試験した.表2にこれらの試験片の最大平均せん断応力と破断までの変位の平均値を示す.

最大平均せん断応力は(1/0)材が最も大きく,(1/8)材が最も 小さい結果となった.一方,破断までの変位は逆に(1/0)材が 最も小さく,(1/8)材が最も大きい結果となった.表2に示し た各被着材の性質において(1/0),(1/1)および(1/3)材の曲げ 剛性に大きな差異はないものの,軸方向ヤング率は0°層の体 積割合に依存するため大きく異なっている.以上のことから,

破断に至るまでの強度は CFRP の軸方向ヤング率に依存し,これが大きいほど強度が向上することがわかった.



Fig.2 Relationship between average share stress and displacement diagram.

Table.2 Average value of Average fracture sharing stress and Displacement at fracture.

	Maximum average sharing stress (MPa)	Displacement at fracture (mm)			
(1/0) - A2017	13.7	0.71			
(1/1) - A2017	12.4	0.92			
(1/3) - A2017	10.9	0.88			
(1/8) - A2017	10.0	1.08			

## 3.2 被着材表面のひずみ

接着剤の平均せん断応力と測定したひずみの関係を図3に示す.縦軸の平均せん断応力は負荷荷重を接着部の面積 (25×12.5mm)で除したものである. A2017 の表面のひずみを 実線で, CFRP の表面のひずみを破線で示す. このひずみゲー ジ貼付位置では,引張による正のひずみと重ね合せに起因す る大きな圧縮曲げひずみが重畳される.

曲げ剛性が両被着材でほぼ同じ値をとる場合は、軸方向ヤ ング率の小さい CFRP での引張ひずみが大きくなり、(1/8)材 に見られるようなひずみの差が生じた.以上のことから、引 張荷重と軸方向ヤング率に基づいて、測定されたひずみから 軸荷重ひずみを差し引いたひずみを求め図4に示した.CFRP の曲げ剛性の値がA2017に近づくほど、両被着材の曲げひず みの差は小さくなった.また、(1/8)材では曲げひずみはある 平均せん断応力以上で、ひずみの増加割合が増す傾向を示し ており、被着材の塑性変形や割れが生じたことを示唆してい る.



Fig.3 Relationship between average share stress



Fig.4 Relationship between average share stress and bending strain diagram.

# 3.3 CFRP と A2017 の破面観察

図5に各SLJ試験片の破壊後の接着部の破面の状態を示す. 全ての破面において A2017 側の界面破壊が支配的であった. しかし,剛性が低下するに連れて CFRP 自体で破壊が生じる 割合が増加する傾向が見られた.





Fig.5 Fracture surface of each SLJ specimen.

#### 4. 結言

本実験では、被着材に積層構成を変化させた CFRP と A2017 を用いて SLJ を作製し静的引張試験を行った. その際の継手 の強度特性の変化について調査した. その実験により以下の 結果が得られた.

(1)継手の強度は CFRP の軸方向ヤング率が大きいほど大き くなった.

(2) SLJの破面において CFRP の剛性が小さいほど CFRP 自体で破壊が生じる割合が増加した.

### 文献

 三木光範,福田武人,元木信弥,北條正樹著,"複合材 料" pp. 5-7, pp. 21-39

(2) Guanxia Yang, Tao Yang\*, Wenhui Yuan, Yu Du
"The influence of surface treatment on the tensile properties of carbon fiberreinforced epoxy composites-bonded joints."
Composites Part B 160 (2019) pp. 446-456