

# 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 積層構成の影響

## Effect of laminate structures on Fracture behavior of CFRP/aluminum alloy SLJ

システム工学群

機能性材料工学研究室 1190087 砂田 敬太

### 1. 緒言

近年、航空機や自動車、スポーツ用品など様々な分野で CFRP の需要が高まってきている。CFRP は炭素繊維に樹脂を含浸させた複合材料であり、軽量で高剛性、高強度などの特性を有している。軽量化を図るため構造材料として CFRP を用いる際、従来の金属材料と組み合わせて用いられることが多い。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接合方法は困難であり、溶接ももちろん不可能である。そのため、接合方法としては一般に接着剤を用いた接着接合が用いられる。接着接合は溶接や機械的接合に比べ軽量であり、接合部での応力集中を低減できるなどの特徴がある。

異種材料間の接着においては被着材料の材料特性、特に材料間のその違いを考慮することが重要である。しかしながら、脆性材料である CFRP と延性材料である金属材料間での継手強度に関する研究はまだ不十分である。本研究では、積層構成の異なる CFRP 積層板とアルミニウム合金の単純重ね合わせ接着継手試験片の静的引張試験を行い、継手の強度特性と積層構成に依存する被着材剛性の関係について調査した。

### 2. 材料および実験方法

#### 2.1 試験片

本実験では単純重ね合わせ接着継手 (SLJ) 試験片を用いた。図 1 に試験片寸法を示す。

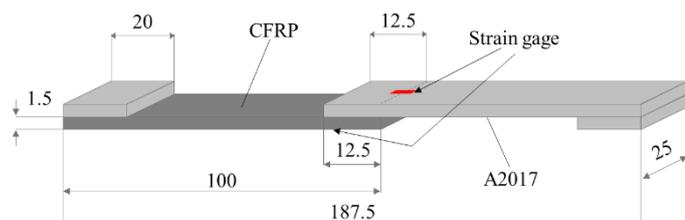


Fig.1 Schematic illustration of SLJ specimen (mm).

被着体の組み合わせはアルミニウム合金 A2017 と CFRP 積層板を使用した。CFRP 積層板については CFRP プリプレグ (TR350C100S, 三菱ケミカル社製) を 150×150mm に切り出したものを 21 枚積層した。積層構成は $[0_{21}]$ の一方向積層板 (CFRP-U) と、 $[0_7/90_7/0_7]$ の直交積層板 (CFRP-O) の 2 種類とした。積層後ホットプレス機を用い、まず 1 時間で 130°C まで昇温させた後、その温度を保持したまま、40MPa、2 時間の条件で加圧成形を行った。加圧成形時に 1.5mm のスペーサーを用いることで積層板の厚みが 1.5mm になるように制御した。アルミニウム合金は接着面をエメリー紙 #500 を用いて研磨を行い、その後アセトンを用いて脱脂を行った。

接着剤には 2 液エポキシ系接着剤 (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 40 分間真空中で脱泡を行い塗

布した。接着層厚さは 0.2mm となるよう、治具による接着時にテフロンシートを用い制御した。その後、オーブンを 70°C、1 時間で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。試験片の端部に厚み 1.5mm のタブと、0.2mm の金属板を瞬間接着剤で貼りつけた。

#### 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) を使用した。変位速度を 0.3mm/min とし、試験片が破断するまで荷重とクロスヘッド変位の関係を求めた。引張試験時に両方の被着材にひずみゲージを張り付け (図 1)、重ね合わせ端部裏面のひずみの測定も同時に行った。

本実験に使用した各材料の機械的特性を表 1 に示す。それぞれについて試験片を作製し、静的引張試験を行うことで求めた。

Table.1 Properties of materials

	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio
A2017	68.9	0.35
CFRP(U)	153	0.33
CFRP(O)	111	0.062
Araldite2011	1.37	0.38

### 3. 実験結果

#### 3.1 荷重変位曲線

一方の被着材として CFRP(U) および CFRP(O) を用いた継手試験片において得られた荷重変位曲線をそれぞれ図 2 および図 3 に示す。CFRP(U) での破断荷重の平均値は 3000N であった。また CFRP(O) での破断荷重の平均値は 3546N で、CFRP(U) を用いた継手に比べ後者の最大荷重が 500N ほど高くなる結果となった。また、破断時の変位についても CFRP(O) における値は、CFRP(U) に比べて大きくなる傾向がある。これは CFRP(O) の剛性が CFRP(U) に比べ小さいことにより、生じる変形が大きいためだと考えられる。

#### 3.2 応力とひずみ

図 3 に被着材垂直応力と重ね合わせ端部両面の圧縮ひずみの関係についての一例を示す。CFRP(U) を用いた継手では CFRP に比べ、A2017 のひずみが大きくなるのがわかる。これは A2017 に比べ、CFRP(U) の剛性が大きいためだと考える。一方 CFRP(O) を用いた継手ではひずみの差がほとんど見られなかった。また CFRP(O) では CFRP に生じるひずみが同じ応力で比較して CFRP(U) のそれに比べて、小さくなった。これはひずみゲージを張り付けた位置が曲げと引張の影響を同時に受ける部分にあり、CFRP(O) は CFRP(U) に比べて剛性が低いため、引張ひずみを大きく受けたためではないかと考える。

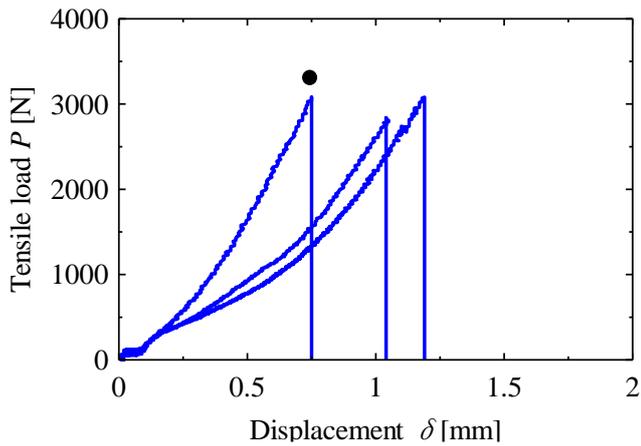


Fig.2  $P$ - $\delta$  curves of A2017-CFRP(U).

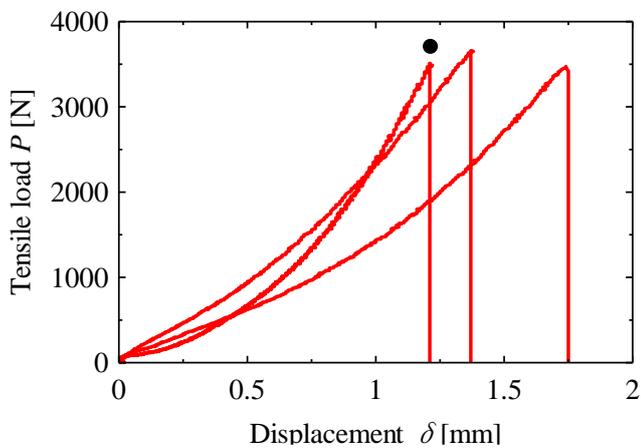


Fig.3  $P$ - $\delta$  curves of A2017-CFRP(O).

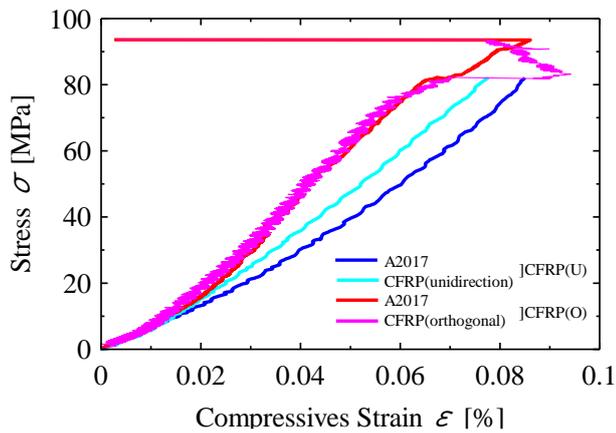


Fig.4  $\sigma$ - $\varepsilon$  curves of A2017-CFRP

#### 4. 考察

図 5 にそれぞれの材料の破断後における接着部の破面の状態を示す。CFRP(U)では破面全面で CFRP 表面での界面破壊となっているが CFRP(O)では重ね合わせ端部で A2017 表面の界面破壊、内部で CFRP 側での界面破壊であった。

継手の有限要素解析により、接着部の応力を求めた。解析には ANSYS を使い、各材料の特性は表 1 の値を用いて二次元モデルを作成した。図 6 に示すように垂直応力  $\sigma = 80(\text{MPa})$  を負荷したときの応力集中部 a 点および b 点での垂直応力およびせん断応力を求め、表 2 に示した。この各点

は応力特異点で、値がメッシュ寸法に依存するため定性的な比較しかできないが、CFRP(O)の A2017 側で  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$ ともに最大となった。

実験での破断時は大きな変形が生じているため、この結果で直接議論することはできないが剛性が大きい CFRP(U)では CFRP 側の  $\sigma_y$  の値と A2017 側の値の差は大きく、せん断による破壊が支配的で、CFRP(O)では垂直応力が支配的な裂進展により破壊が生じたと考えられる。



(a)CFRP(U)



(b)CFRP(O)

Fig.5 Fracture surface of adhesive surface.

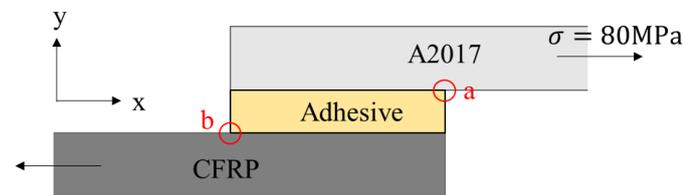


Fig.7 Adhesive layer in FEM analysis of ANSYS.

Table.2 Stress at each point by ANSYS

	Al-CFRP(U)		Al-CFRP(O)	
	$\sigma_y$ [MPa]	$\tau_{xy}$ [MPa]	$\sigma_y$ [MPa]	$\tau_{xy}$ [MPa]
a	133	41.7	137	43.1
b	119	38.7	128	41.2

#### 5. 結言

継手の強度は CFRP(O)を用いた継手が、CFRP(U)を用いた試験片に比べ高くなる。これは被着材剛性の違いによるものであった。

#### 文献

(1) 末益博志, ”入門 複合材料の力学” 培風館