

卒業論文要旨

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

Effect of CFRP Stiffness on the Fracture Strength of CFRP/aluminum Alloy Single-lap Adhesive Joints

システム工学群

材料強度学研究室 松岡 太郎

1 緒言

近年、CO₂排出量削減や燃費向上を目的に輸送機器の軽量化が精力的にすすめられている。軽量化に対する有効な手法としてマルチマテリアル化が注目されている。マルチマテリアル化においては、軽量で高強度、高剛性の炭素繊維強化プラスチック (CFRP) あるいはアルミニウム合金等が多く使用される。樹脂を母材とする複合材料と金属材料を接合して組み合わせる場合、ボルトなど従来の機械的接合や溶接は困難である。そこで接着接合が使用される。接着接合は応力集中低減などの利点も有する^[1]。

本研究では、CFRP とアルミニウム合金の接着継手において、破壊強度に及ぼす被着材間の剛性の違いの影響について調査した。積層構成により剛性を変えた 3 種類の直交積層 CFRP 板を用いてアルミニウム合金との単純重ね合わせ継手 SLJ における静的引張試験を行った。

2 材料および実験方法

2.1 試験片

被着材としてアルミニウム合金 A5052 と直交積層 CFRP 板を用いた。CFRP プリプレグ (TR350C100S, 三菱ケミカル社製) を用いて [0₂₀]_s (A 材), [0₄90₆]_s (B 材), [0₂90₈]_s (C 材) の 3 種類の積層構成で CFRP 板を作製した。成形条件はホットプレスによる、130 °C、2 時間で、厚さを 1.5 mm に成形した。成形後、ダイヤモンドカッターで 100×25 mm に切断した。厚さ 1.5 mm の A5052 板も同様の形状に加工し、被着材とした。表 1 に被着材の軸方向ヤング率と曲げ剛性を示す。

Table.1 Elastic property of adherends

	Young's modulus in axial direction [GPa]	Flexural rigidity [Nm ²]
A: [0 ₂₀]	153	1.30
B: [0 ₄ 90 ₆] _s	62.1	0.92
C: [0 ₂ 90 ₈] _s	38.7	0.60
A5052	69.7	0.45

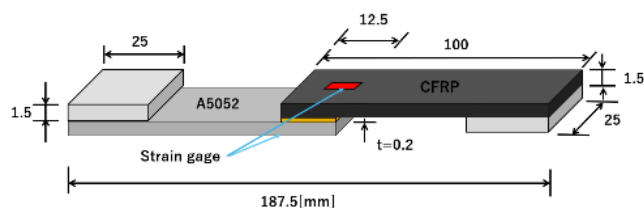


Fig.1 Schematic diagram of a single-lap joint (SLJ) specimen

接着剤には、二液型エポキシ系接着剤 (Araldite2011 HUNTSMAN 社製) を使用した。主剤と硬化剤の比は 1:0.8 で攪拌機により 350 rpm で 5 分間攪拌後、脱泡した。これを接着面にサンドブラスト処理を施した A5052 とエメリー研磨紙 #500 で軽く研磨し、アセトンで脱脂した CFRP に塗布し、接着することで図 1 に示す形状、寸法の単純重ね合わせ (SLJ) 試験片を作製した。接着剤の硬化条件は 70 °C、1 時間で行った。なお接着長さ、厚さは治具とテフロンシートにより、制御した。被着材のひずみを計測するため、ひずみゲージを両被着材の図 1 に示す位置に貼付した。

2.2 実験方法

精密万能試験機 (容量 AG100kNG 島津製作所) を使用して引張試験を行った。クロスヘッド速度は、0.5 mm/min とした。試験片の伸びをクリップゲージを用いて測定した。

3 有限要素解析

SLJ の接着層における三次元応力分布を有限要素法 (FEM) により求めた。解析には汎用ソフト ANSYS2021R1 であった。接着層端部での応力集中部は、メッシュサイズを 0.1 mm に細分化した。塑性変形を考慮し、弾塑性解析を行った。表 2 に解析に用いた各材料の材料特性を示す。CFRP については異方性を有するため、表 2 に示す特性により 0°および 90°層のモデル化を行った。

Table.2 Mechanical properties of the materials employed in FEM

CFRP	Longitudinal Young's modulus[GPa]	153
	Transverse Young's modulus[GPa]	10.3
	Major Poisson's ratio	0.3
	Minor Poisson's ratio	0.06
	Shear modulus in plane(LT) [GPa]	5.52
	Shear modulus in plane(TS) [GPa]	3.21
A5052	Young's modulus [GPa]	68.7
	Poisson's ratio	0.35
	Yield stress[MPa]	175
Araldite 2011	Young's modulus [GPa]	1.03
	Poisson's ratio	0.33

4 実験結果および考察

4.1 破断強さ

SLJ の引張試験による荷重伸び線図の一例を図 2 に示す。CFRP の剛性が小さい C 材では、破断荷重が小さく、破断ま

での伸びも少ない。CFRP の剛性が大きくなるに従い、破断荷重が上昇し、伸びが大きくなる。

複数のそれぞれの SLJ 試験片について引張り試験における破壊荷重を接着面積で除した平均せん断応力の最大値を破壊強度と定義し、図 3 に示す。本実験では、A5052 被着材の接着表面をサンドブラスト処理しているか、先行研究で行った接着部をエメリー研磨した場合との比較も併せて示した。図 3 で示したように CFRP の剛性の違いによる破断強度を比較すると、C 材は A 材の 44.8%まで低下している。

A5052 をエメリー研磨した場合、破壊は接着剤と A5052 の界面で生じたのに対し、サンドブラスト処理した場合、一部凝集破壊や CFRP との界面破壊が確認された。これにより A 材と B 材では破壊強度が向上した。

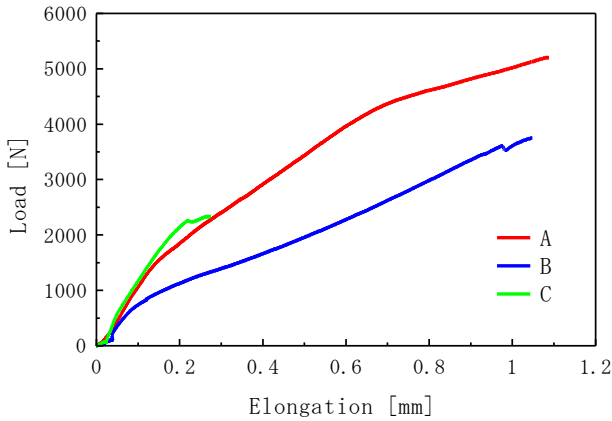


Fig.2 Load-Elongation diagram

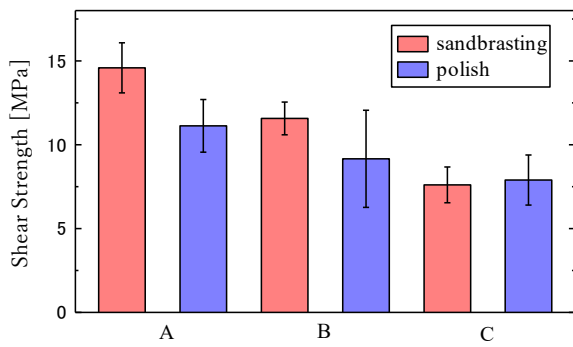


Fig.3 Average Shear Strength

4.2 接着部の被着材裏面ひずみ

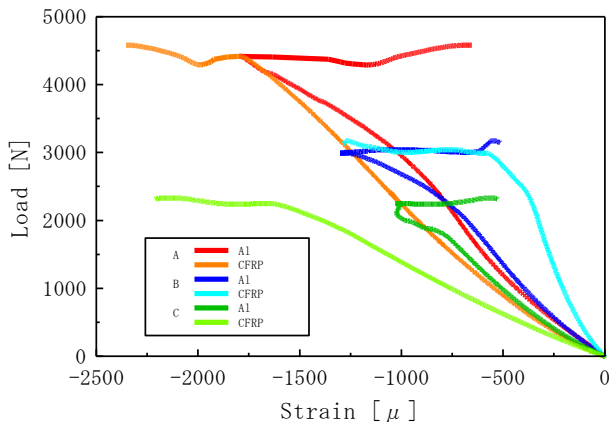


Fig.4 Relationship between load and strain on the backside of the adherends

図 4 は、各 SLJ で測定した被着材裏面ひずみの挙動を示す。SLJ に引張り荷重が負荷されると接着部の角度の変化によって生じる曲げによって接着部裏面には圧縮ひずみが生じる。接着部で破壊が始まるとその部分の被着材は曲げから引張りの成分が増加するため、ひずみが引張側に増加する。アルミニウム合金側のひずみが引張り方向に転じていることから接着層の CFRP 端部から破壊が始まっていることがわかる。

4.3 応力分布

弾性範囲内である 1.13 kN の引張荷重を SLJ に負荷したときの継手幅中央と接着層厚さ中央のピール応力の分布について FEM 解析した結果を図 5 に示す。接着層端部で応力集中が生じている。曲げ剛性が一番大きい A 材が両端部ともに最も小さい応力を示した。A 材は CFRP の剛性が最も大きく、曲げの変形も少なくなるため、ピール応力が小さくなったと考えられる。せん断応力も A 材が他のものに比べ若干小さくなる。これらの応力分布の違いからも強度に剛性の影響が見られたことの説明が可能である。またアルミニウム合金端部と CFRP 端部を比較すると後者の応力集中が若干大きく、これが CFRP 端部で先に破壊が生じた原因と考えられる。

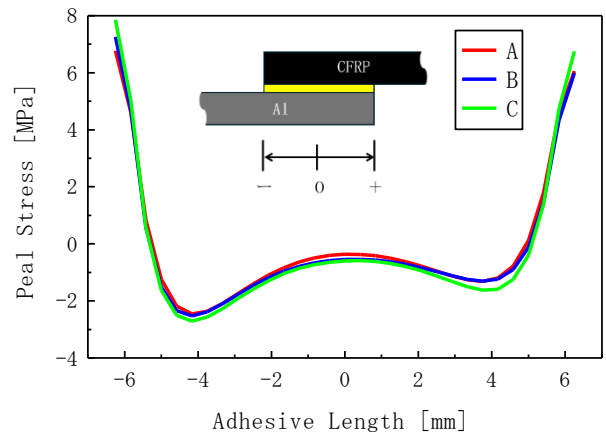


Fig.5 Peel Stress Distributions

5. 結言

A5052 と積層構成を変えた三種類の CFRP との単純重ね合わせ継手についての強度特性について調査した。得られた結論を以下にまとめる。

- (1) A5052 の接着面をサンドブラスト処理することで破壊強度は向上した。C 材と A 材を比較すると CFRP の剛性が小さい C 材では A 材の 44%まで強度が低下することがわかった。
- (2) 被着体のひずみ変化より、CFRP 端部側で先に破壊が生じることがわかった。
- (3) FEM 解析による応力分布では CFRP の剛性が大きい方が応力集中が低減されることがわかった。アルミニウム合金端部より CFRP 端部のほうが応力が大きくなり、実験結果を説明することができた。

6. 参考文献

- [1] 野田尚昭 堀田源治 佐野義一 高瀬康
“異種接合材の材料力学と応力集中”，P152-160
- [2] 竹又裕也 2025 年度高知工科大学大学院修士論文