

卒業論文要旨

CFRP-アルミニウム接着継手強度に及ぼす接着条件の影響

システム工学群

材料強度学研究室 1230094 竹又 裕也

1. 緒言

近年、自動車や航空機等の輸送機器の分野においては、燃費の向上を目的として軽量化が強力に進められている。この軽量化の手段として、適材適所で複数の材料を組み合わせるマルチマテリアル技術が注目されている⁽¹⁾。特に、軽量かつ高強度という特徴を持つ炭素繊維強化プラスチック(CFRP)と展延性、加工性に優れた金属との組み合わせが広く使用されている。CFRPを用いる場合、金属同士の接合に多く用いられる溶接やボルトやリベットによる機械的接合は困難であるため接着接合が使用されることが多い。接着接合は機械的接合に比べ軽量化に有利で、接合部での応力集中を低減できるなどの利点がある。しかしながら継手強度は被着体の機械的特性や表面状態、接着厚さなどに左右されるため、強度特性に及ぼすこれらの影響を十分把握しておく必要がある。

本研究では、積層構成により剛性を変化させた3種類のCFRPと、アルミニウム合金A5052を被着体とした単純重ね合わせ異材接着継手(SLJ)の静的引張試験を行い、継手の破壊挙動と被着体剛性ならびに接着長さ、接着厚さ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

実験に使用した材料はCFRPプリプレグ(TR350C100S, 三菱ケミカル社製)とアルミニウム合金A5052である。プリプレグを以下の3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[020]の一方向積層板(A)と、[04/906]s(B)および[02/908]s(C)の直交積層板の3種類である。成形条件は130°で2時間保持とした。

引張試験および三点曲げ試験より得た各被着体の弾性的性質を表1に示す。接着剤にはAraldite2011(HUNTSMAN社製)を使用した。主剤と硬化剤を1:0.8で混合し、40分間真空脱泡を行った。被着体をエメリー紙#500で研磨し、アセトンで脱脂した後接着剤を塗布した。

Table.1 Elastic properties of adherends

	Young's modulus in axial direction (GPa)	Flexural rigidity (N m ²)
[0 ₂₀]	150	0.953
[0 ₄ /90 ₆]s	62.1	0.918
[0 ₂ /90 ₈]s	40.0	0.554
A5052	69.7	0.45

ジグを用いて接着層厚さ(以下 t) 0.2 mm および 0.4 mm に制御しつつ 70°C で 1 時間加熱硬化させた。その後、余分な接着剤をスクレイパー等で除去した。なお接着長さ(以下 ℓ) を 12.5 mm および 25 mm の 2 種類としたが、継手全体の長さはいずれも 187.5 mm となるよう被着体寸法を加工した。被着体の接着端面裏面にはひずみゲージ(ゲージ長 2mm)を貼付した。試験片の端部のつかみ部は A5052 製の(25×25×12.5mm)のタブを瞬間接着剤で貼付した。SLJ 試験片の形状および寸法を図 1 に示す。

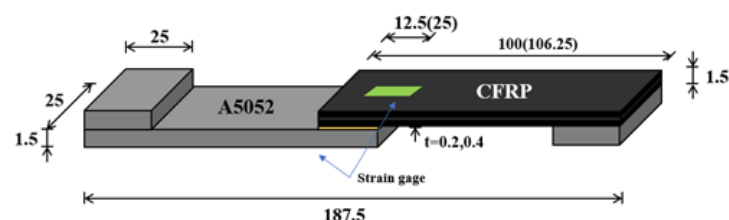


Fig.1 Schematic illustration of SLJ specimen [mm]

2.2 実験方法

引張試験には、万能試験機(島津製作所製、容量 100kN)を使用した。変位速度を 0.5mm/min とし、試験片が破断するまでの荷重および試験片伸びを測定した。

3. 結果および考察

3.1 破壊強度

引張試験において得られた破壊荷重を図 2 に示す。引張試験は、いずれの試験片条件に対しても 3 本ずつ行い、その平均値を示している。破壊荷重は ℓ が長いものが、いずれの被着体 CFRP の種類および接着厚さにかかわらず大きい結果となった。ただし、接着面での平均せん断応力の観点からは、ℓ=25mm の場合接着面積は 2 倍となるので強度が低いと言える。また、t の影響について注目すると、被着体に依存せず、接着層厚さが厚い場合の破壊荷重が大きかった。被着体剛性の破壊荷重に及ぼす影響については、図 2 において A 材と C 材を比較すると剛性が小さくなるほど破壊荷重が小さくなることわかる。

ℓ=12.5 および 25mm のそれぞれについて、荷重-伸び線図の例を図 3 および図 4 に示した。ℓ=12.5mm の場合、いずれの被着体でも破断するまでの SLJ の伸びは平均値として、t=0.4mm のほうが t=0.2mm より大きくなった。このことは t=0.4mm 破断荷重が増加したことと関係している。一方、ℓ=25mm の場合は少し様相が異なり、破断伸びにばらつきが大きく、t の影響は見られない。図 3 と図 4 を比較すると、

$\ell=12.5\text{mm}$ の場合、最大荷重で瞬時に破断に至るのではなく、最大荷重に至るまでに、荷重が増加せず伸びたり、荷重が低下する挙動が多く見られた。 ℓ が短い場合、非接着部分の被着体の寸法が長くなるため、き裂が発生すると、被着体の弾性回復で、き裂が一気に進展しなくなるためと考えられる。

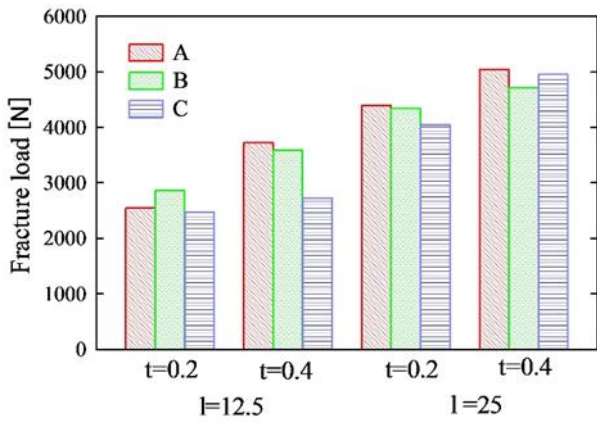


Fig.2 Average fracture load

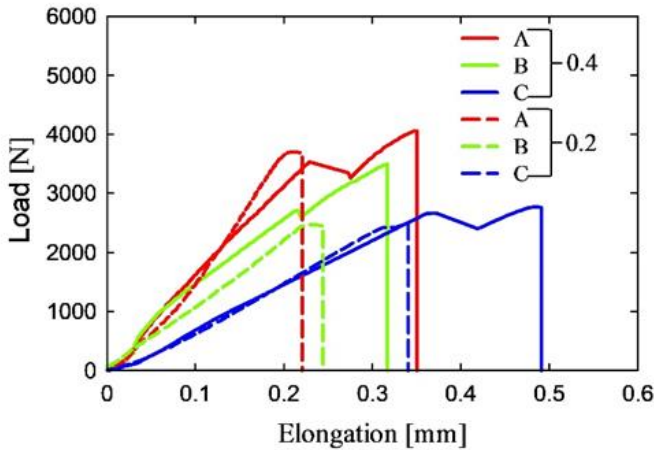


Fig.3 Relationship between load and elongation of SLJ $\ell=12.5(\text{mm})$

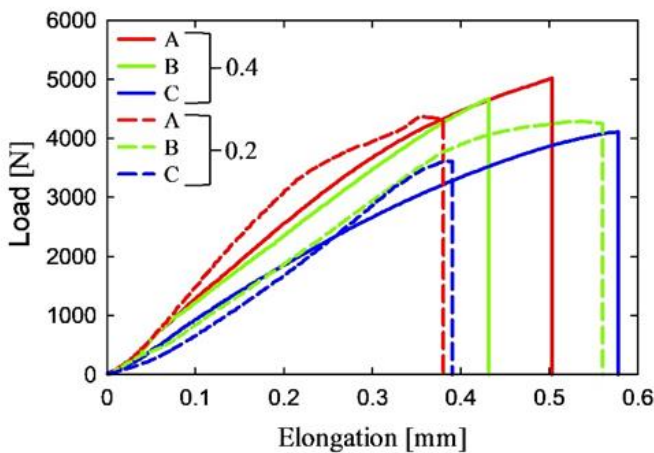


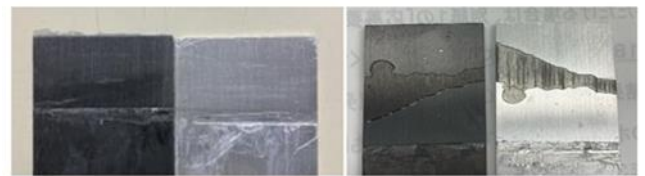
Fig.4 Relationship between load and elongation of SLJ $\ell=25(\text{mm})$

A5052 被着体は塑性変形が生じるが、その大きさは相手の CFRP 被着体の剛性によって異なる。CFRP の剛性が小さくなるほど、A5052 の曲げ変形も大きくなり、ピール成分が大きくなるため破壊荷重が小さくなると考えられる。

これらの結果より、破壊荷重、伸びにもっとも影響を及ぼすのは SLJ 試験片の接着長さであることがわかる。接着長さが長くなると、単純に接着面積が増え、破壊荷重が向上するが、臨界長さといわれる性能が向上しなくなる限界の長さが存在することも指摘されている⁽²⁾。

3.2 巨視的破面様相

図 5 に、A5052-C 材接着部破面を一例として示す。 $\ell=12.5\text{mm}$ では、CFRP 被着体の種類及び t によらず、すべての破壊が図 5(a)に示すような A5052 と接着剤側の界面で生じた。 $\ell=25\text{mm}$ の試験片においても、A 材および B 材では、 t によらず同様の界面破壊が支配的であったが、C 材においては、図 5(b)に示すように A5052 側に炭素繊維が付着している領域が見られ、CFRP で層間剥離破壊が生じていることが確認された。この場合、層間剥離が起きていない同条件の試験片に比べ、破壊荷重と伸びが著しく大きくなっていった。これらの結果より、 ℓ が大きく被着体 CFRP の剛性が小さい時、被着体 CFRP の層間剥離が生じる場合があり、強度、伸びが増加ことがわかった。



(a) $\ell=12.5, t=0.2$ (b) $\ell=25, t=0.2$

Fig.5 Fracture surface of SLJ specimen (a),(b)

4. 結言

- (1) 接着長さが大きくなると、被着体剛性、接着厚さにかかわらず、破壊荷重、伸びともに著しく大きくなった。
- (2) 接着厚さについては被着体剛性にかかわらず 0.2mm よりも 0.4 mm のほうが引張強度が大きくなった。
- (3) 接着条件にかかわらず、破壊荷重は CFRP 被着体の剛性が小さい程小さくなる傾向にあった。
- (4) 破面は、A5052 と接着剤との界面破壊が支配的であった。しかし、 $\ell=25\text{mm}$ の C 材においては CFRP の界面剥離が生じ、A5052 側に繊維が付着している破面が観察された。

文献

- (1) 廣瀬明夫 “マルチマテリアルと異種接合” 軽金属 第 71 巻 軽金属 第 71 巻 第 4 号 (2021), 188-196
- (2) P.A.M.G.P. Bamberg, U. Reisgen, A. Schiebahn, J.D.V. Barbosa, B.Marx,R.S. Coelho “Digital Image Correlation Analysis Of The Effects Of The Overlap Length, Adhesive Thickness And Adherends Yield Strength Over Similar And Dissimilar Joints Of High Strength Steel And Aluminum Alloys” International Journal of Adhesion and Adhesives 83(2018)69-75