

卒業論文要旨

ウレタン系接着剤を用いた CFRP-アルミニウム合金接着継手の強度特性

Strength properties of CFRP-Aluminum alloy adhesive joints using urethane adhesive

システム工学群

材料強度学研究室 1240088 高橋 幸也

1 緒言

近年CO₂の排出量削減を目的として、自動車、航空機等の輸送機器の軽量化が進められている。この軽量化に有効な手法の一つとして、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では、材料を適材適所で使用することに主眼が置かれる中、高強度かつ軽量という特徴を持つ炭素繊維強化プラスチック (CFRP) が多く使用されている。CFRP と他の金属材料などを組み合わせて使用する場合、ボルトやリベットなどを用いた従来の機械的接合では困難である。そこで、異種材料の接合が可能で、かつ応力集中の低減や軽量化が期待できるといった点から接着接合が使用されることが多い。この接着接合にも課題点があり、接着面の状態や接着層厚さ等の違いで定量的に強度が変動し、信頼性が懸念される点である。そのため、これらの影響を把握しておくことが重要である。

本研究では、CFRP とアルミニウム合金の異種接合接着継手において、被着体剛性の違いが継手強度に及ぼす影響を明らかにするため、積層構成を変えた3種類のCFRP とアルミニウム合金を被着体とした単純重ね合わせ継手 (SLJ) を作製し、静的引張試験を行った。また、接着層厚さ等が破壊荷重や破面に及ぼす影響について検討を行った。

2 材料および実験方法

2.1 材料

本研究で使用した材料は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[0₂₀](Type A), [0₄/90₆]_s(Type B), [0₂/90₈]_s(Type C)の3種類の積層構成で成形した。成形は、ホットプレスにおいて、130℃、2時間の条件で行った。

表1に、3種類のCFRP と A2017 のヤング率および曲げ剛性を示す。これらの値は、25×100×1.5 mm の試験片を作製して、引張試験および三点曲げ試験によって得た値である。

Table. 1 Elastic properties of adherends

	Young's modulus in axial direction (GPa)	Flexural rigidity (Nm ²)
[0 ₂₀] TypeA	150	0.953
[0 ₄ /90 ₆] _s TypeB	62.1	0.918
[0 ₂ /90 ₈] _s TypeC	40.0	0.554
A2017	68.9	0.513

実験に使用した SLJ を図1に示す。接着剤には二液型のウレタン系接着剤 (主剤: ルピロン KA-10/硬化剤: ルピロン KB-35) を使用した。重量比が、主剤: 硬化剤=1:3 で攪拌機を使って 500 rpm で3分間攪拌したものを、エメリー研磨紙#500 で研磨しアセトンで脱脂した被着体に塗布した。本接着剤は室温で硬化させるため、硬化時間を2d と12d に変えて検討した。接着長さはすべて12.5 mm とし、接着層厚さを $t=0.2$ mm と、 $t=0.4$ mm で制御した。接着層厚さの制御は、治具とテフロンシートを用いて行った。

試験片には検討中の被着体ひずみを計測するためにひずみゲージ (ゲージ長2 mm) をそれぞれの被着体の図1に示す位置に貼付した。

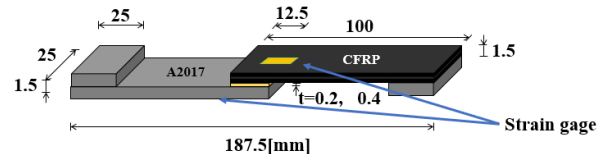


Fig.1 Schematic illustration of SLJ specimen

2.2 実験方法

精密万能試験機 (島津製作所, 容量: 100 kN) を使って引張試験を行った。引張速度を 0.5 mm/min にして破断するまでの荷重とクロスヘッド変位および被着体ひずみを計測した。

3 結果および考察

3.1 積層構成の影響

図2に、各タイプの被着体の試験片について得られた破壊荷重とそのばらつきを示した。参考として、過去実施されたエポキシ接着剤 (Araldite2011) の結果を比較として示した。本研究で用いたウレタン系接着剤による SLJ の強度は、エポキシ系接着剤の強度を用いたそれよりも高い。

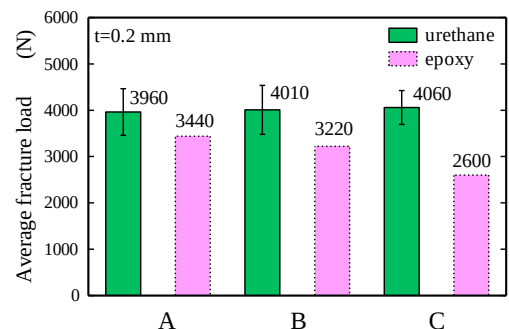


Fig.2 Average fracture load

またエポキシ系接着剤において見られた被着体剛性の強度に及ぼす影響はウレタン系接着剤では見られず、いずれのタイプもほぼ同じ破壊荷重となった。

3.2 硬化時間の影響

図3にType C, $t=0.4$ mmのSLJについて、硬化時間を変えた時の引張試験における荷重-変位線図の例を示す。硬化時間2 dおよび12 dの破壊荷重の平均は2377 Nおよび3176 Nであり、硬化時間を長くしたものは約1.3倍強度が高くなることがわかった。

図4にそれぞれの巨視的破面を示す。2 d硬化させた試験片の破面では界面破壊の割合が多くなり、一方12 d硬化させた試験片の破面では凝集破壊の割合が多くなる。このことから、硬化時間を長くすると、接着剤と被着体との界面の強度が向上し、継手の強度が向上すると考えられる。

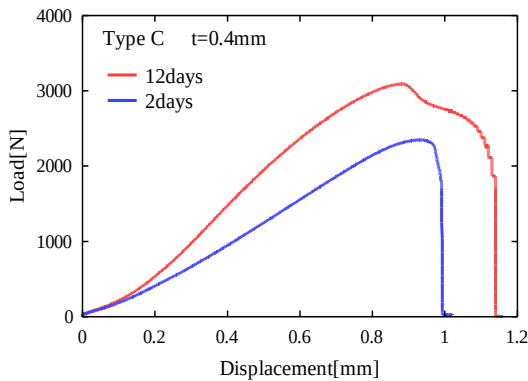


Fig.3 Relationship between load and displacement of SLJ



(a) 2 d curing (b) 12 d curing

Fig.4 Fracture surface of Type C($t=0.4$ mm)

3.3 接着層厚さ

図5に接着層厚さを変えたときの比較を示す。接着層厚さが増すと、継手の強度は低下する傾向が見られた。中でも、B材を用いた場合の強度の低下が顕著だった。この原因は破壊形態の変化によるものと考えられる、詳細を次節で述べる。

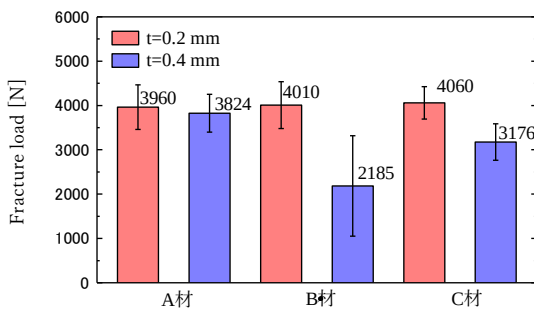


Fig.5 Average fracture load (urethane)

3.4 破面

図6に12 d硬化させたType A,B ($t=0.4$ mm)の破面を示す。図4(b)と比較すると、被着体剛性の小さいType A,Cの場合は凝集破壊の割合が多かったが、Type Bではほぼ全面が界面破壊となっていた。試験した4本すべて同じ傾向であり、このような破壊形態の違いがType Bで強度が低下した原因であると考えられる。



(a) Type A

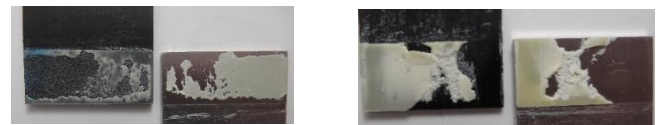
(b) Type B

12 d curing

Fig.6 Fracture surface of Type A,B($t=0.4$ mm)

図7にType C, $t=0.2$ mmおよび $t=0.4$ mmにおける破面を示す。Type Cの場合、接着層厚さにかかわらずすべての試験片で破面に占める凝集破壊の割合が多かった。このため図5に示すようにType Bに比べ強度が被着体剛性の影響をあまり受けなかったと考えられる。

図8は凝集破壊した接着剤の破面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した破面である。破面には、気泡が多くみられた。使用したウレタン系接着剤は即硬化性であるため、脱泡することができず、攪拌した後、ただちに被着体に塗布したためであると考えられる。



(a) $t=0.2$ mm

(b) $t=0.4$ mm

Fig.7 Fracture surface observation (Type C)

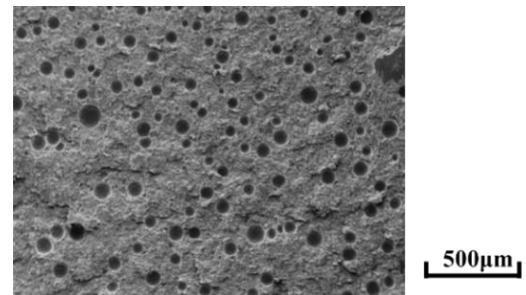


Fig.8 SEM observation of Type C

4 結言

- (1) $t=0.2$ mmで破壊荷重はCFRPの積層構成の違いに関係せずほとんど同じだった。また、 $t=0.2$ mmのときのほうが、 $t=0.4$ mmのときよりも強度が高いことがわかった。
- (2) 使用したウレタン系接着剤では、硬化時間が短いと、被着体との接合が十分でないため強度も低下する。
- (3) 接着層厚さが $t=0.2$ mmの場合、破面は凝集破壊の割合が多かった。しかし、 $t=0.4$ mmかつCFRP剛性が高い場合、界面破壊の割合が多く、継手強度も低かった。

(参考文献省略)