

卒業論文要旨

CFRP/金属の単純重ね合わせ接着継手の強度に及ぼす金属の機械的性質の影響

Effect of mechanical properties of metallic adherends on fracture behavior of CFRP/ metal single-lap adhesive joints

システム工学群

材料強度学研究室 1210134 長谷川 剛

1. 緒言

近年、航空宇宙分野や自動車分野など輸送機器の分野において軽量化や高機能化を目的に、マルチマテリアル化が推進されている⁽¹⁾⁽²⁾。中でも、特性を比較的任意に変えることが可能な、複合材料の利用が注目されている。代表的複合材料である炭素繊維強化プラスチック(CFRP)は高剛性、高強度、軽量といった特性から幅広い分野で使用されているが、マルチマテリアル化では、金属材料などの異種材料と併用して使用されることになる。この場合、金属同士の接合に多く用いられている溶接や機械的接合は困難で、接着接合が多用される。接着接合は溶接や機械的接合と比べて、軽量で接合部での応力集中が低減できるなどの利点があるものの、継手強度が被着体の機械的特性に依存することも考えられる⁽³⁾。

本研究では、CFRPの積層構成を変えることで剛性を变化させた2種類のCFRP積層板と、熱処理で強度を変えたアルミニウム合金を被着体とした単純重ね合わせ接着継手(SLJ)の静的引張り試験を行い、継手の強度特性に及ぼす被着体の機械的特性の影響について調査した。

2. 材料および実験方法

被着体として使用した材料はCFRP積層板とアルミニウム合金A2017である。CFRP積層板はCFRPプリプレグ(TR350C100S, 三菱ケミカル)を用い、積層構成を $[0_2/90_8]_s$ (A材)および $[0_4/90_6]_s$ (B材)の2種類とし、130°C、40MPaの条件で加圧成形して作製した。A2017は納入材がT3処理材であり、このT3材と、410°C、2hrの条件で焼きなまし処理を行ったO材の2種類とした。T3材とO材の降伏応力はそれぞれ298MPa、103MPaであり、焼きなましによりO材の降伏応力はT3材の35%まで低下した。CFRP積層板およびA2017の引張ヤング率と曲げ剛性を表1に示した。A材はA2017と曲げ剛性を、B材はA2017と軸方向ヤング率をそろえる目的で積層構成を決定した。T3材にリン酸を用いて陽極酸化処理を施したものを陽極酸化処理材(AD)と以後表記する。T3材では一部比較のため、500番のエメリー研磨(MP)のみのものを用いた。

接着剤はAraldite2011(HUNTSMAN社製)を使用した。主剤と硬化剤を真空機にて20分間の脱泡、その後これらを質量比5:4で混合、真空中にて10分間脱泡し、被着体の接着面に塗布した。ジグを用いて70°Cで1hr保持し接着剤を硬化させた。硬化後、余分な接着剤はスクレイパー等で除去した。また図1に示すように被着体それぞれの接着端部裏面にひずみゲージ(ゲージ長0.2mm)を貼付し試験片のひずみ変化を測定した。

引張り試験には、万能材料試験機オートグラフ(島津製作所容量100kN)を使用した。引張り速度を0.5mm/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を記録した。

本実験で使用したSLJ試験片の形状寸法を図1に示す。

Table.1 Elastic Properties of adherends.

	Young's modulus (Tensile)[GPa]	Flexural rigidity [N/m ²]
$[0_2/90_8]_s$ (A)	40.3	0.51
$[0_4/90_6]_s$ (B)	67.8	1.07
A2017(T3)	68.9	0.52

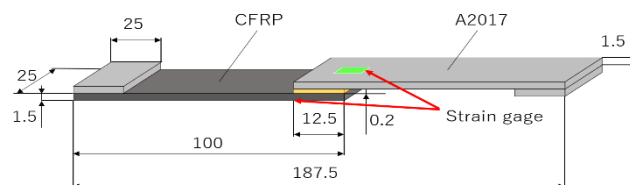


Fig.1 Schematic illustration of SLJ specimen

3. 実験結果および考察

引張り試験の結果として、表2に各材料の破断せん断応力(破断荷重/接着面積)の平均値 τ_s と破断までのクロスヘッド変位の平均値 δf を示した。A-T3(MP)材とA-T3(AD)材またB-T3(MP)材とB-T3(AD)材の τ_s を比較すると、両者に差異はほとんどなく、A2017に対する陽極酸化処理の効果は認められなかった。これは破壊がすべての試験片において、CFRPと接着剤との界面で生じたためである。

A材と、陽極酸化処理したA2017各材料によるSLJ試験片3本についてのせん断応力とクロスヘッド変位の関係を図2に示す。3本の試験片を区別するため、それぞれを#1~#3の記号で示した。破断応力はA-T3(AD)材の3本で多少のばらつきはあるものの、差は3.6MPa以内に納まっている。一方、A-O(AD)材では#3の試験片のみ、他のものに比べ2倍以上の強度を示し、変位においても最も小さい#2と大きい#3では3倍以上の差が生じた。この原因は、次節で述べるように破壊形態の違いによるものである。

B材とA2017各材料における同様の結果を図3に示す。B材では明らかにB-T3(AD)材とB-O(AD)材において破断応力に違いがみられる。すなわちB-O(AD)材の破断応力は約17MPaで3本の試験片にあまり差が見られない。また、破断時のクロスヘッド変位もかなり増大する。これはCFRPの積

層構成の違いにより、0°層の多い B 材の曲げ剛性が A 材に比べ 2 倍ほど大きいため、金属被着体側の低強度、高延性の O 材の塑性変形が大きくなり peel 応力成分が大きくなったためと考えられる。実際、破断後の A2017 材の曲げの永久変形量も、B-O(AD)材の方が大きいものとなった。

Table.2 Average shearing stress and cross-head displacement at the fracture

	Average shearing stress τ_s [MPa]	Average cross-head displacement at the fracture δf [mm]
A-T3(MP)	9.41	0.97
A-T3(AD)	9.84	0.92
A-O(AD)	10.2	1.07
B-T3(MP)	10.6	1.37
B-T3(AD)	10.5	1.04
B-O(AD)	16.9	2.10

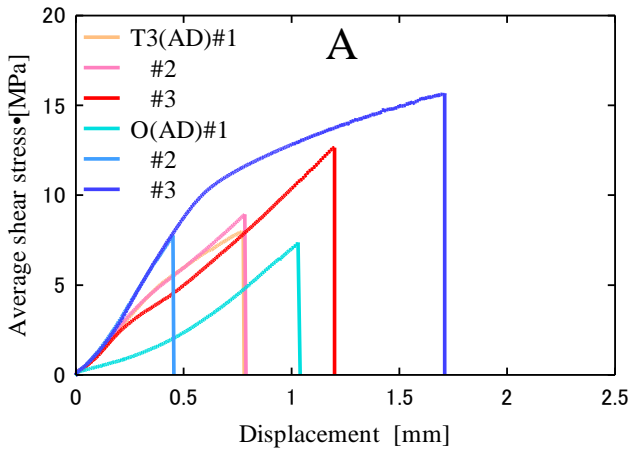


Fig.2 Relationship between average shear stress and cross-head displacement of CFRP-A

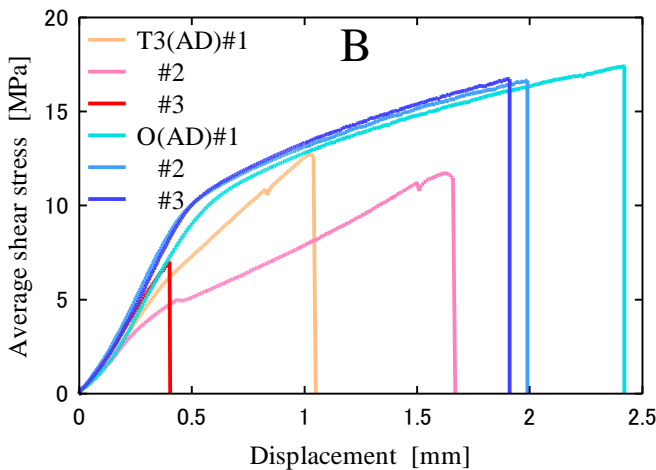


Fig.3 Relationship between average shear stress and cross-head displacement of CFRP-B

4. 破面観察

図 4 に各 SLJ の破断後の試験片破面を示す。機械研磨のみの T3(MP)を被着体とした場合も含め、破壊は CFRP と接着剤との界面破壊が支配的であった。一方、図 2 に示した A-O(AD) の 3 本の試験片のうち、強度が高くなった #3 については図

4(e)に示すように炭素繊維の金属側への付着が見られ、CFRP の層間剥離が生じたことがわかった。他の 2 本については CFRP と接着剤との界面で破壊が生じている。

図 3 に示した B-O(AD)材は 3 本とも高い強度を示したが、これらの試験片では図 4(f)に示すように全て CFRP 層間剥離が生じていた。このことは、CFRP と接着剤の界面、および CFRP の層間剥離における強度の相対強度の差によるもので、界面での強度が大きくなる場合は CFRP の破壊になる。B 材では、曲げ剛性が大きく、かつ A2017 の強度が低いため大きな破断変形が生じたことで、peel 成分が大きくなり、全ての試験片で CFRP 層間剥離となった。

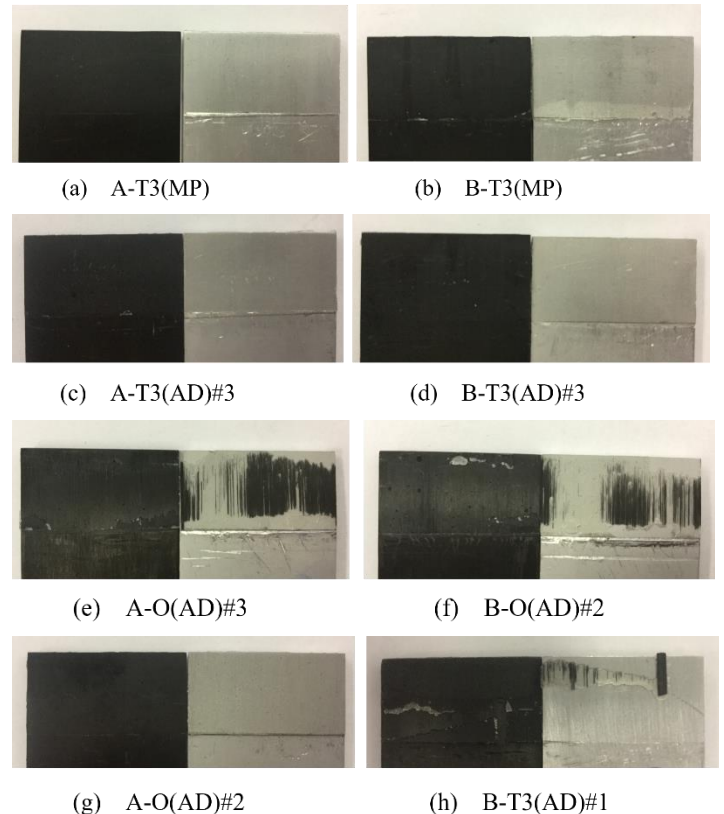


Fig.4 Fracture surface of each SLJ specimen

5. 緒言

- (1) A2017 と CFRP を接着接合した SLJ 試験片の引張り強度は、CFRP の剛性が大きい試験片の強度が高くなった。
- (2) A2017 材の焼きなまし処理を行うことで、SLJ 試験片の破断荷重は大きくなった。これは A2017 の強度が焼きなましにより低下し、かつ延性が増したため、試験片の変形量が大きくなったことによる。
- (3) CFRP の積層構成によらず CFRP 側の界面破壊が支配的となることがわかった。

文献

- (1) 末益博志. 入門複合材料の力学. 日本複合材料学会(監修), 培風館, 2009, P27
- (2) 井塚淑夫. 炭素繊維複合化時代への挑戦-炭素繊維複合材料の入門~先端産業部材への応用. 繊維社, 2012, P93
- (3) 若林一民. 樹脂と金属の接着・接合技術 第 1 章 樹脂-金属間の接着メカニズム 第 2 節 各種接合・接着技術のメリット, デメリット, 高橋諒人(編集), 技術情報学会, 2012, P20