

炭素繊維強化プラスチック (CFRP) とアルミニウムの 重ね合わせレーザ点接合

増井孝実*

The Research on the Superposition Point Junction of CFRP and Aluminum Alloy
by Laser Junction

Takami MASUI

Key words: Laser Junction, CFRP, Aluminum Alloy, Point Junction

1. はじめに

自動車や航空機など輸送機器において燃費の向上のためには車体、機体の軽量化が望まれる。軽量材料の中でも比強度の高い炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の利用は、年々拡大している。しかし CFRP は高価な材料であるため、付加価値の高い製品への適用に限られ、普及品の範囲にまでは利用が及ばないのが現状である。そこで軽量化とコストの両立を図るため、アルミニウム合金と CFRP との複合化の一方法として、レーザ光を用いた接合実験を行った。レーザ光による樹脂と金属の接合は鄭ら¹⁾により直接接合の報告がある。本研究ではアルミニウム合金と CFRP との安定した接合を目指し、接合面に熱可塑性樹脂の中間材を挟む、重ね合わせの点接合を試みた。樹脂と金属のレーザ接合で熱可塑性エラストマーを中間材として用いる方法は水戸岡ら^{2,3)}によって報告されている。本研究では CFRP は熱可塑性樹脂を基材としたシート成形品と、炭素の短繊維を混練した射出成形品の 2 種類を対象とし、中間材には CFRP 基材と同じポリアミド 6 を用いアルミニウムとの接合を行った。

2. 実験方法

2. 1 試験材

試験材にはアルミニウム合金 A5052 (H34)、純アルミニウム A1100 と、CFRP にはポリアミド 6 基材の平織りの炭素繊維 3 枚重ねのシート型のもとの、同じくポリアミド 6 基材で 2-3 mm の短繊維のカーボンを 20 %含有させて射出成形した

表 1 使用材料

アルミニウム薄板	
①A1100	無処理
②A1100	アルマイト処理品 膜厚 20-30 μm
③A1100	エメリー紙 (#220) 研磨
④A5021	無処理
⑤A5021	アルマイト処理品 膜厚 20-30 μm
⑥A5021	エメリー紙 (#220) 研磨
以上すべて 厚さ 1 mm 短冊形状 25-30 mm × 100 mm	
CFRP 薄板	
⑦シート型	ポリアミド 6 基材 3K 平織 3 層 (一村産業 (株) 製) 厚さ 0.5mm 短冊形状 25-30 mm × 100 mm
⑧射出成形	ポリアミド 6 基材 2-3 mm 炭素短 繊維 20%含有 厚さ 4 mm 短冊形状 25-30 mm × 100 mm

* ものづくり研究課

ものを用いた。また A5052 と、A1100 の接合面は無処理のもの、アルマイト処理したもの、およびエメリー紙#220 にて研磨したものを用いた。使用試験材は表 1 に示す。

2. 2 接合方法

図 1 に示すように、CFRP 薄板の上にアルミニウム合金板を重ね合わせ、ばねクリップで固定して、Yb レーザ光（波長 1070 nm、ビーム径 $\phi 0.2$ mm）をアルミニウム側からガルバノミラーにて

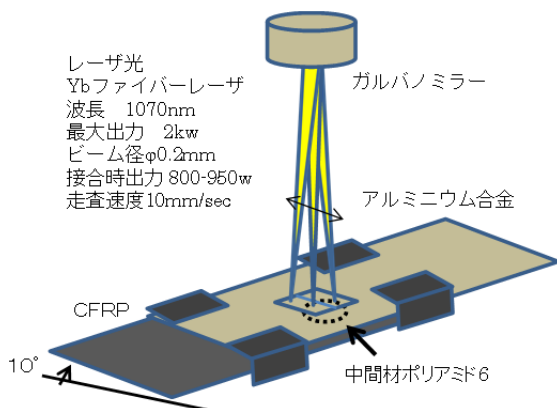


図 1 実験装置

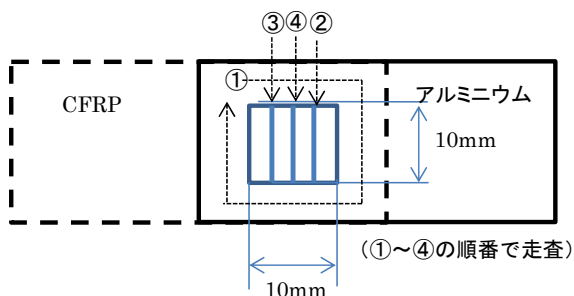


図 2 レーザ光走査方法



図 3 接合例 A5052 とシート型 CFRP (中間材有り)

走査させ照射した。試験材はレーザ光の反射を避けるため 10° 傾斜させて設置し、その表面にはカーボンブラックを塗布した。レーザ光の照射は、図 2 に示すように最初 10 mm 角の正方形形状に走査させ、連続してその内側に 3 本の線を平行に、それぞれ 10 mm/sec の速さで走査させた。レーザ出力はアルミニウム母材が溶け落ちないように、A1100 は 950 W に設定し、A5052 は 850 W とした。接合した試験片の一例を図 3 に示す。

シート型 CFRP とアルミニウム合金との接合は、アルミニウム側から加熱されると、CFRP 表面のポリアミド 6 の層は、厚さが $20 \mu\text{m}$ 程と薄いため、揮発して炭素繊維が露出してしまい(図 4)、溶着に至らず接合強度は得られなかった。そのため中間材として同種のポリアミド 6 の射出成形原材料のペレット、直径 $\phi 5$ mm、厚さ 1 mm の形状のものを 0.05 g 挟み、接合面の樹脂成分を補う方法にて接合を行った。



図 4 シート状 CFRP の接合界面

2. 3 評価方法

接合強度は、せん断引張試験にて評価を行った。表面形状の測定には表面粗さ測定器を用い、せん断引張り試験後の破断面の観察、成分分析は、走査電子顕微鏡 (SEM/EDS) で行った。

3. 結果と考察

A5052 との射出成形 CFRP の接合部の断面をマクロ観察すると、レーザ光の照射による熔融深さは中央の最終パスで板厚の全長 (1 mm) であり、最初のパスの両端の溶け込み深さの板厚の $1/2$ (0.5 mm) から順に深くなっていた(図 5)。中間材としてポリアミド 6 を挟むと下側がシート

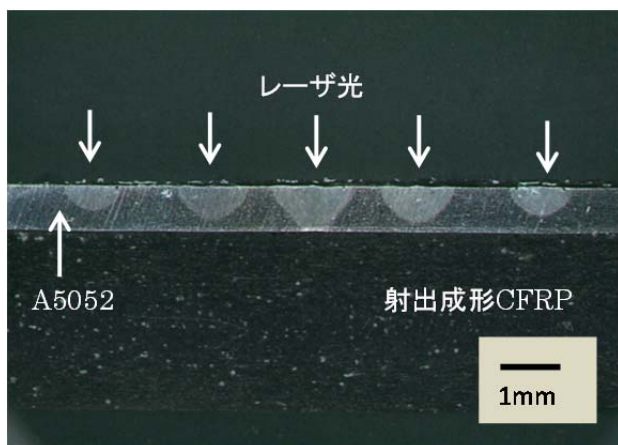


図5 A5052と射出成形CFRP（中間材有）の接合界面（長手方向断面）

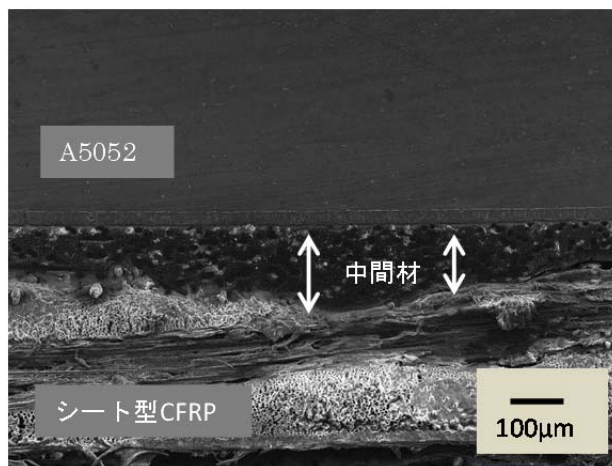


図6 A5052とシート型CFRP（中間材有）の接合界面

型 CFRP でも射出成形 CFRP でも、接合界面で 100 μm 程の厚さで存在し、シート型 CFRP は中間材が、その表面の凹凸を埋めるように存在しているのが観察された（図 6）。

せん断引張試験の結果を表 2 に示す。シート型の CFRP とアルミ合金との接合において、熱可塑

性樹脂のポリアミド 6 の中間材を挟んで接合すると、A1100、A5052 のアルマイト処理品のせん断引張強度はそれぞれ 2282N、2242N と最も高い値が得られた。アルマイト処理品は無処理品のせん断引張強度、同 1482N、1285N に比べ、4 割ほど高い値が得られた。接触面積を大きくする目的

表2 せん断引張強さ

アルミニウム種類（表面処理）	CFRP	中間材	せん断強度（N）
A1100（無処理）	シート型	無し	313
A1100（無処理）	シート型	ポリアミド	1482
A1100（エメリー#220）	シート型	ポリアミド	1134
A1100（アルマイト膜）	シート型	ポリアミド	2282
A5052（無処理）	シート型	ポリアミド	1285
A5052（エメリー#220）	シート型	ポリアミド	1207
A5052（アルマイト膜）	シート型	ポリアミド	2242
A1100（無処理）	射出成形	無し	431
A1100（エメリー#220）	射出成形	無し	624
A1100（アルマイト膜）	射出成形	無し	707
A1100（アルマイト膜）	射出成形	ポリアミド	1898
A5052（無処理）	射出成形	無し	不可
A5052（エメリー#220）	射出成形	無し	776
A5052（アルマイト膜）	射出成形	無し	1031
A5052（アルマイト膜）	射出成形	ポリアミド	1773

で、エメリー紙 (#220) で研磨して表面に凹凸をつけたものは、無処理品よりせん断強度は低く、その効果は見られなかった。

A1100 の表面処理の無処理品、膜厚 30 μm の

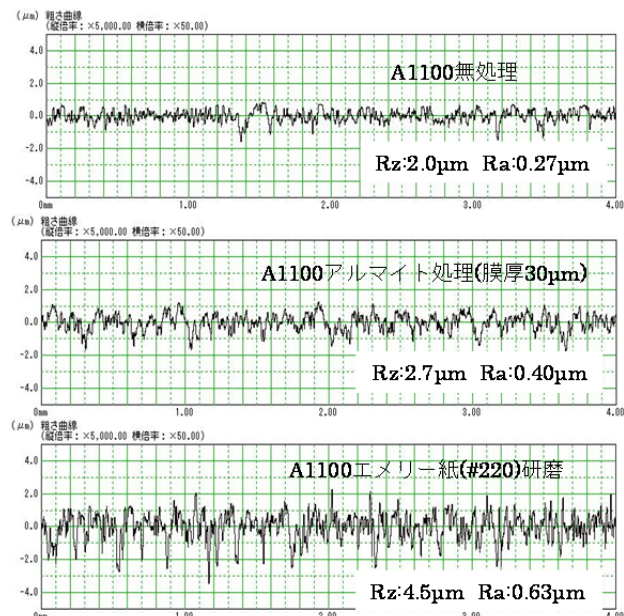


図7 アルミニウムの表面の粗さ測定結果

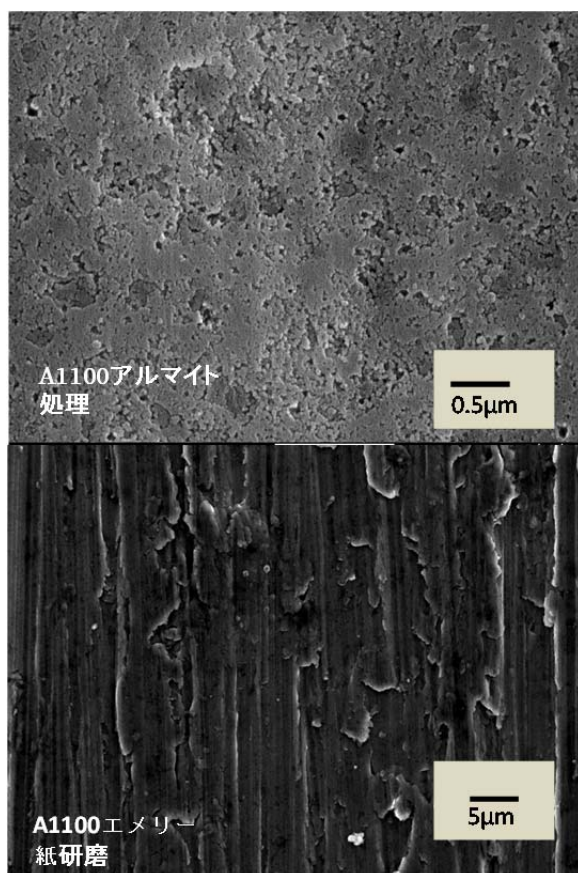


図8 アルミニウムの表面のSEM写真

アルマイト処理品、エメリー紙 (#220) での研磨品の表面粗さ測定の結果を図 7 に示す. 表面粗さは無処理品 $Rz : 2.0 \mu\text{m}$, $Ra : 0.27 \mu\text{m}$ でアルマイト膜は $Rz : 2.7 \mu\text{m}$, $Ra : 0.40 \mu\text{m}$, エメリー紙の研磨品 $Rz : 4.5 \mu\text{m}$, $Ra : 0.63 \mu\text{m}$ であった. アルマイト被膜及びエメリー紙研磨の表面の SEM 写真を図 8 に示す. アルマイト膜表面には $0.1 \mu\text{m}$ 前後の微細な孔による凹凸の存在が確認された. エメリー紙の研磨品は表面粗さの値が最も大きく、表面性状は数ミクロンの深さの研磨の溝が存在していた. エメリー紙研磨品の試験片のせん断引張強度が低かったのは、その溝形状により接合面が最初、線接触となってしまう相手材の樹脂に熱が伝達されにくいことに起因すると考える. さらに中間材のポリアミド 6 の形態が $\phi 5 \text{ mm}$ 程のペレット形状で最初の接触面が部分的であること、シート型 CFRP は平織繊維のため表面の凹凸があるため接触面は少なくなることも要因である. アルミニウム合金の種類 A1100, A5052 の材料による差は見られなかった.

射出成形 CFRP とアルマイト処理をした A1100, A5052 の接合のせん断引張強度は、中間材を挟まない場合はそれぞれ 707, 1031N で、中間材にポリアミド 6 ペレットを用いて接合すると 1898, 1733N と大きく向上した. シート型 CFRP 同様、中間材を挟むと高い強度が得られた. A1100 のアルマイト処理品と射出成形 CFRP のせん断引張試験後の破断部一例をマクロ写真 (図 9) 及び SEM 写真 (図 10) に示す. アルミニウム側の破断部では、アルマイト膜が剥がれた部分や CFRP

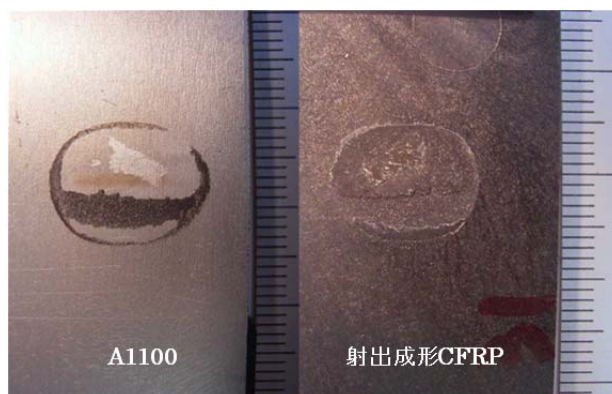


図9 せん断引張試験後の破断面 (A1100 アルマイト処理品と射出成形 CFRP)

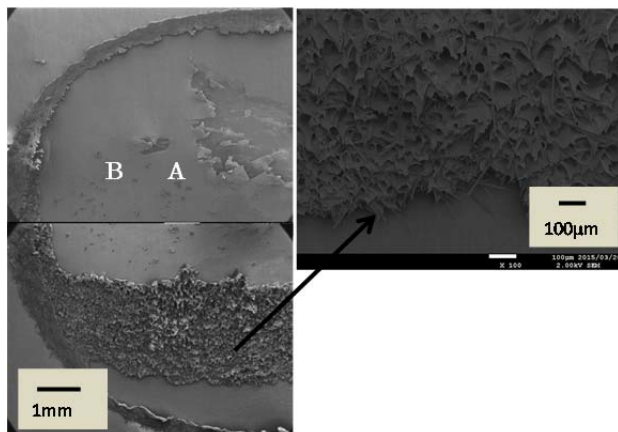


図 10 図 9 の破面 A1100 側の SEM 写真

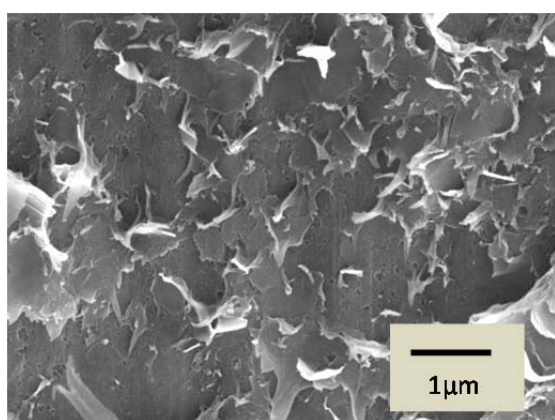


図 11 図 10 の A.B 部の拡大 SEM 写真
(CFRP 母材部で破断)

母材が付着して残っており、さらに SEM により観察すると、マクロ的には樹脂が付着していない部分にも、アルマイト膜上に CFRP が付着しているのが確認できた(図 11)。このことからせん断破断の亀裂はアルマイト膜と母材のアルミニウムとの間や、射出成形 CFRP の母材内でも起こっており、アルマイト膜の微細な孔に熱可塑性樹脂が溶着してアンカー効果はたらくため、良好な接合が得られると考える。射出成形 CFRP の場合、エメリー紙研磨品は、中間材を挟まないものは A1100, A5052 それぞれ 624, 776N でアルマイト処理品には及ばないが無処理品よりは高い値を示した。射出成形 CFRP との接合においても、せん断引張強度はアルマイト処理品で中間材を用いたものが最も優れた結果となり、次に中間材を用

いないアルマイト処理品、エメリー紙による研磨品、表面処理無し品の順となった。射出成形 CFRP は表面凹凸の有るシート型 CFRP に比べると表面が平坦であるので、エメリー紙研磨品でも接触面積が得られたため、CFRP 基材のポリアミド 6 の樹脂が熔融され密着して接合したものと考えられる。

4. 結論

アルミニウム A1100 及び A5052 とポリアミド 6 基材のシート型 CFRP, 射出成形 CFRP との重ね合わせ点接合をレーザー接合で行った。以下のことが明らかになった。

- ・アルミニウム合金の接合表面にアルマイト処理をすることにより、ポリアミド 6 基材の CFRP との接合強度は向上する。
- ・シート型 CFRP は基材と同じポリアミド 6 の中間材を挟むことにより、良好なレーザー接合が可能となる。
- ・射出成形 CFRP においても基材と同じポリアミド 6 の中間材を挟むことで、接合強度の向上が確認された。

謝辞

本研究は、公益財団法人岡三加藤文化振興財団の助成の下で行われました。ここに記して関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 鄭ほか：“CFRP と各種金属とのレーザー直接接合”
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jwstaiikai/2012s/0/2012s_220/_pdf
- 2) 水戸岡ほか：“インサート材を用いたプラスチック-金属接合における金属表面の影響”レーザー加工学会誌. Vol.15, No.3 (2008)
- 3) 金谷：“インサート材を用いたレーザー接合技術の開発”天田財団平成 21 年度一般研究開発助成
http://www.amada-f.or.jp/r_report/kkr/25/AF-2009203.pdf