

熱可塑性CFRPのレーザー接合技術の開発

奥村航* 廣崎憲一** 森大介***

熱可塑性CFRP同士をレーザー加熱で接合する技術の開発を行った。まず、一方の熱可塑性CFRP試料に突起を成形する。次に、レーザー光をその突起部分に照射し、突起を熔融させる。最後に熔融している突起部分と他方の熱可塑性CFRPを圧着することで熱可塑性CFRP同士の接合をした。サーモビューアでレーザー照射時の突起の温度を測定すると共に、引張せん断接着強さ試験により接合強度を評価した。その結果、突起の温度がマトリックス樹脂融点の約30℃上の温度で最大接合強度となることが判明した。また、2本の突起を平行にしたものと1本の突起をジグザグにしたものの接合強度を比較した結果、突起をジグザグに配置した試料では約3倍の接合強度が得られた。また、レーザー光の照射方法を試料移動方式とガルバノミラー方式で接合した試料の接合強度を比較した結果、ガルバノミラー方式で接合した試料で約2倍の接合強度が得られた。

キーワード：熱可塑性CFRP，レーザー，接合

Development of Laser Heat Fusion Technology for CFRTP

Wataru OKUMURA, Kenichi HIROSAKI and Daisuke Mori

We have developed technique of a heat fusion between CFRTP (Carbon Fiber Reinforced Thermo-Plastic) by laser heating. First, convex part was formed in one CFRTP sample. Next, the convex protrusion was irradiated with a laser beam, melting it. Finally, heat fusion of the CFRTP was achieved by crimping the melted convex protrusion and another CFRTP sample. The temperature of the irradiated convex protrusion was measured using a thermos-viewer. The bonding strength of the heat-fused CFRTP sample was estimated through a single-wrap test. As a result, the heat-fused CFRTP was found to have maximum bonding strength when laser heating approximately 30℃ above the matrix polymer melt temperature was performed. In addition, a CFRTP sample with convex protrusion arranged in parallel, and one with a single zigzagged protrusion were made, and the bonding strength measured. As a result, the bonding strength of the sample arranged with the zigzagged convex protrusion was found to be approximately 3 times stronger than the sample arranged with parallel convex protrusion. Moreover, heat-fused samples were made using two different types of laser irradiation system, the "sample transfer system" and the "galvanometer mirror system", and the bonding strength measured. As a result, the bonding strength of the sample made using the galvanometer mirror system was found to be approximately 2 times stronger than the sample made using the sample transfer system.

Keywords : CFRTP, laser, heat fusion

1. 緒 言

熱可塑性樹脂を使った炭素繊維複合材料（以下、熱可塑性CFRP）は、高強度、軽量、短時間で成形できるという特徴から、軽量化を目指す自動車への適用が見込まれ、近年、研究開発が盛んにおこなわれている材料である。自動車をはじめとするアプリケーションへ熱可塑性CFRPを適用しようとする場合、熱可塑性

CFRPの部品同士を接合し、より大型部材へとビルドアップしていく必要がある。

例えば、BMW社のi3は熱硬化性CFRPで作製された自動車であり、ロボットアームで熱硬化性CFRP部品に接着剤を塗布し部品同士を接合している。しかしながら、熱可塑性CFRPにおいては熱可塑性CFRP自体が新規な材料であるため、その接合技術が確立していないのが現状である。

そこで本研究では、ロボットアームに装着する接合

*繊維生活部 **機械金属部 ***企画指導部

ユニットを念頭に置き、レーザによる熱可塑性CFRPの接合技術を考案した。特に、接合部以外への熱影響を避けるため、接合試料に突起形状を付与し、レーザを突起部のみに照射して溶融することで、熱可塑性CFRP同士を融着させる接合技術を開発したので報告する。

2. 実験

2.1 レーザ接合用試料

長さ100 mm×幅25 mm×厚さ3 mmの熱可塑性CFRP板（母材はポリアミド6樹脂）をエンドミルでの切削加工により図1のように突起が平行に配置するように加工した。（以下、突起平行配置試料とする。）突起部の高さは1.5 mm、幅は1.5 mmである。この加工した板、および、未加工板を1組の接合試料とし、レーザ接合試験に供した。

また、突起平行配置試料と比較して融着面積を大きくするため、図2に示すように突起をジグザグに配置

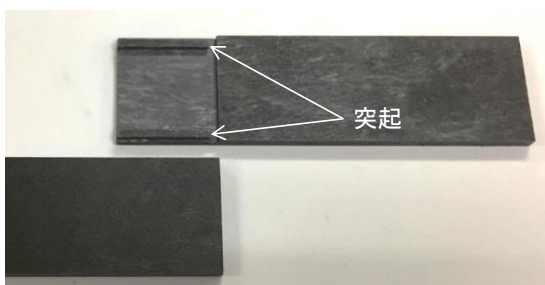


図1 レーザ接合に供した突起平行配置試料



図2 レーザ接合に供した突起ジグザグ配置試料

した試料を作製した。（以下、突起ジグザグ配置試料とする。）突起の角度は80°とし、突起部の高さは1.5 mm、幅は1.5 mmとした。

2.2 レーザ接合

図3に本研究で試作したレーザ接合装置の概略図を示す。本装置は半導体レーザ（波長974 nm、最大出力50 W）を光源とし、レーザ発生器から照射されたレーザ光を光ファイバで伝送した後、焦点距離100 mmの

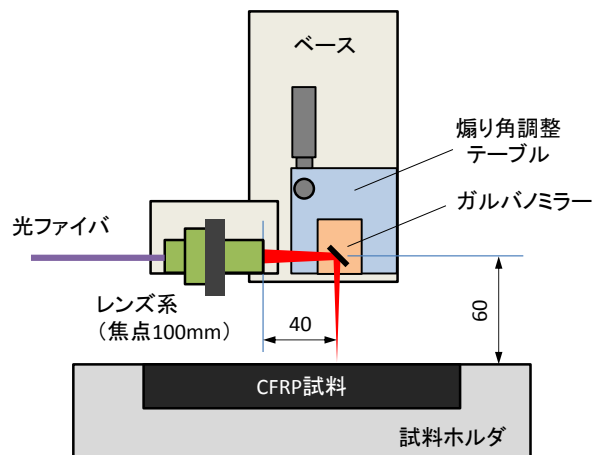


図3 レーザ接合装置の概略図

レンズ（ビーム径約1 mm）とガルバノミラーを経て、照射位置を走査することができると共に、ガルバノミラーを介することで、約20 mmの範囲を250 Hzでレーザ光を走査することができる。

本研究で検討したレーザ接合試験方法は以下の通りである。まず、予め試料の縁に沿って突起を成形する。次に、突起を挟むようにもう一方の試料を密着・加圧した上で、試料と試料の隙間からレーザ光を照射し、突起のみを溶融させる。レーザ光の照射位置を試料の縁に沿って走査させることで突起部分全体を溶融させ、試料同士を接合した。本研究では、レーザ光の走査方法については以下の2つの方法を検討した。

2.2.1 試料移動方式

試料移動方式の概略図を図4に示す。試料ホルダを移動させることでレーザの照射位置を走査させている。

試料温度はレーザの出力と試料ホルダの移動速度により制御している。試料温度は図5の計測例に示すようにサーモビューアにより測定した。

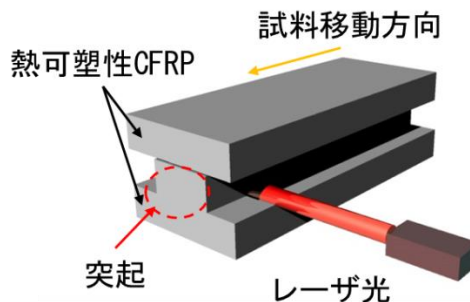


図4 レーザ照射・走査方法（試料移動方式）

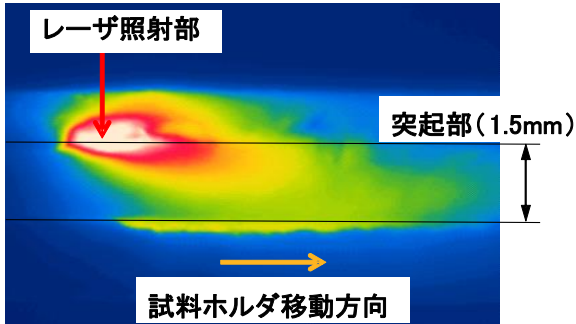


図5 サーモビューによるレーザー照射部分の温度計測例

2. 2. 2 ガルバノミラー方式

ガルバノミラー方式の概略図を図6に示す。ガルバノミラーはレーザーの反射角度を高速に変化させる光学系であり、レーザーの反射角度を変えることで、レーザーの照射位置を走査させている。試料移動方式と比較して、広域の突起を一度に加熱できるという特徴がある。

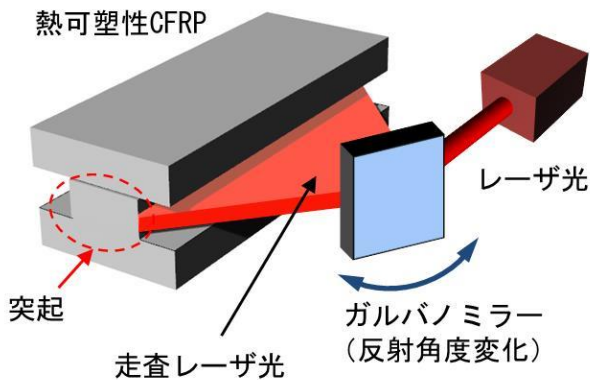


図6 レーザ照射・走査方法 (ガルバノミラー方式)

2. 3 接合評価

レーザー接合した試料の接合強度はJIS K6850¹⁾を参考に引張せん断接着強さ試験により評価した。但し、突起平行配置試料の接合範囲は長さ12.5 mm×幅25 mmであるのに対し、突起ジグザグ配置試料は長さ72 mm×幅25mmとした。また、レーザー接合した試料にはつかみ部に段差が生じるため、熱可塑性CFRPと同等の厚さのアルミ板を接着剤で貼り付け、段差を解消した後試験に供した。図7に引張せん断接着強さ試験の様子を示す。試験速度は5 mm/minとした。

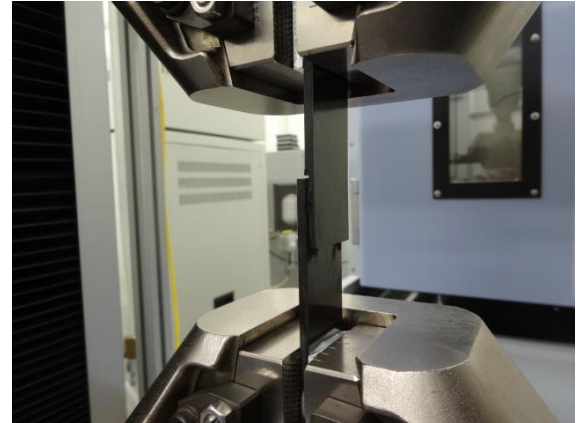


図7 引張せん断接着強さ試験の様子

3. 結果と考察

試料移動方式において、種々のレーザー出力と試料移動速度を変化させた際の接合時における試料温度と接合強度の関係を図8に示す。各プロットは2回の平均値を示す。試料温度が高くなるに伴い、接合強度も高くなり、母材となる熱可塑性樹脂の融点(約220℃)より約30℃高い温度で最大接合強度を示した。試料温度190℃以下では試料の接合が不十分であったため、接合強度がばらついたものと推察される。試料温度が260℃以上になると試料の樹脂が燃焼し始め、試料温度は440~470℃を示し、接合強度は低くなった。

また、突起平行配置試料(図1)と突起ジグザグ配置試料(図2)について、それぞれ最適なレーザー接合条件を検討した。その結果、得られた突起平行配置試料と突起ジグザグ配置試料のそれぞれの最大接合強度を図9に

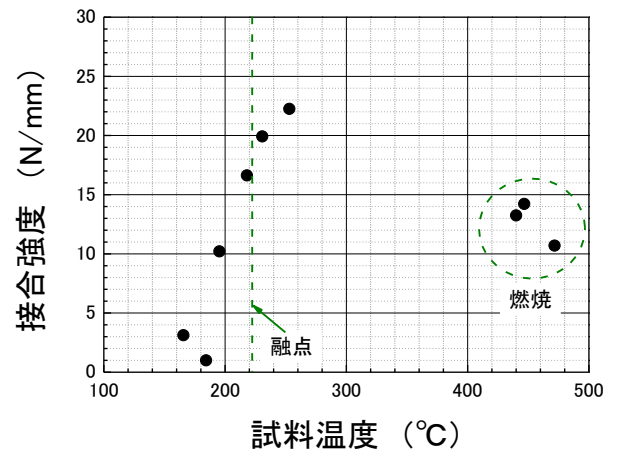


図8 試料温度と接合強度の関係

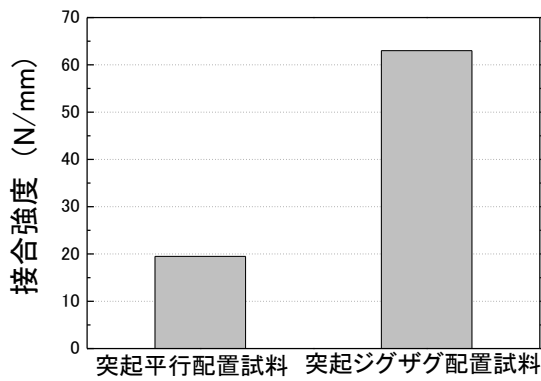


図9 突起配置による接合強度の違い

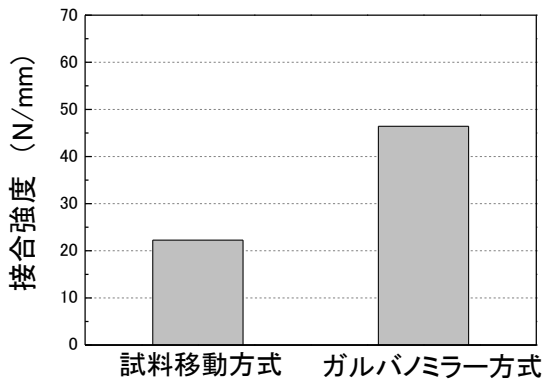


図10 接合方式による接合強度の違い

示す。いずれも試験回数2の平均値を示している。突起平行配置試料より突起ジグザグ配置試料の接合強度が約3倍となった。この値は、突起平行配置試料の突起の長さとして突起ジグザグ配置試料の突起の長さ比2.88とほぼ一致しており、突起の熔融面積が大きくなったことによる接合強度の向上と考えることができる。

試料移動方式とガルバノミラー方式での接合強度を図10に示す。いずれも試験回数2の平均値を示している。ガルバノミラー方式での接合強度は試料移動方式と比較して約2倍である約45 N/mmの接合強度を示した。試料移動方式とガルバノミラー方式で接合した後の断面写真をそれぞれ図11に示す。試料移動方式では突起形状が残っているのに対し、ガルバノミラー方式では突起が完全に潰れていることが分かる。これは試料移動方式だと加熱が局所的であるため、レーザーが未だ照射されていない未熔融部分が支えとなって突起が完全に潰れ無いのに対し、ガルバノミラーを用いると

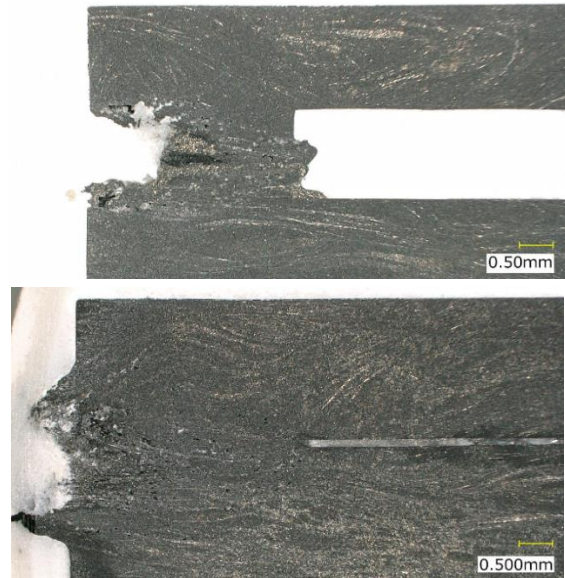


図11 接合後の断面写真

(上：試料移動方式、下：ガルバノミラー方式)

広域の突起を一度に加熱できるため、突起を完全に潰すことができると考えられる。

4. 結 論

熱可塑性CFRP試料に突起を成形し、その突起にレーザーを照射し、突起部のみを熔融して接合するレーザー接合技術の検討を行なった。

その結果、レーザー出力や試料移動速度を制御し、母材樹脂の融点より約30℃高い温度で突起を溶かすことで最大接合強度を示した。

突起平行配置試料と比較して突起の長さが約3倍長い突起ジグザグ配置試料では、接合強度も約3倍の値が得られた。

レーザーの走査方法について、試料移動方式とガルバノミラー方式を検討した結果、ガルバノミラー方式の方が突起を熔融し、完全に潰すことができ、試料移動方式の約2倍の接合強度となった。

謝 辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものである。

参考文献

- 1) JIS K6850:1999 接着剤－剛性被着剤の引張せん断接着強度試験方法.