

レーザ加工による CFRP 材への穴あけ加工

加工技術課 清水孝晃 評価技術課 宮田直幸

1. 緒言

自動車等の輸送機械には軽量化と高剛性化を目的に CFRP の利用が一部で行われているが、CFRP 利用拡大のための課題として接合と切削加工の難しさが挙げられる。

接合は金属とのリベット接合が主であるが、このためには CFRP への下穴加工が必要である。穴あけを中心とした切削加工は硬い炭素繊維を切るのが難しく、繊維の切れ残りが出ること、工具磨耗が著しく早いことが課題とされている。この課題を解決するため、CFRP 専用ドリルが開発されるなどの改善が試みられているが、効果は限定的で有効な解決策は無く、切削加工以外の穴あけ方法の検討も必要である。

2. 実験方法

厚さ 2mm の CFRP 板に直径 5mm の穴をレーザ、ドリル、ウオータージェット加工で加工した。レーザ加工は出力 250W ではスキャナを用いて送り速度 1m/min で 3 回加工、出力 1kW ではテーブルを駆動し送り速度 2m/min で 1 回加工した。ドリルは CFRP 用のドリルを用い加工条件は主軸回転数 5,000rpm、送り速度 0.75mm/rev とした。ウオータージェット加工は、噴出圧力 3,000 気圧、送り速度 1000mm/min とした。

これらの条件により穴を開けた CFRP 板をドリルで穴を明けた厚さ 2mm アルミ板とリベットにより接合し、せん断引張試験およびせん断引張疲労試験を実施し強度を比較した。使用したリベットはステンレス製で直径 5mm、せん断荷重 5.45kN である。実験に先立ち、アルミ板にドリルで穴を明けたもの、CFRP 板にドリルまたはレーザ（出力 250W）、ウオータージェット加工により穴を明けたものを引張速度 6mm/min で引張試験を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 穴を有する板の引張試験結果

引張試験結果を表 1 に記す。アルミ板に比べ CFRP 板の引張強さは大きい。ただし、伸びはあまり無い。穴加工法による違いは現れレーザが高くウオータージェット加工が低くなった。破断後の試験片の状態を図 1 に示す。ドリル加工のものは穴中央部から直線的に破断しているのに対し、レーザの場合は、繊維の毛羽立ちが多く、変形も大きめである。ウオータージェットはドリルに近い破断形態であるが、やや毛羽立ちが認められる。

表 1 引張試験結果

試験片	最大荷重(kN)	引張強さ(MPa)
アルミ	6.76	242
CFRP(ドリル)	9.68	292
CFRP(レーザ)	10.20	339
CFRP(ウオータージェット)	8.24	272



ドリル加工 レーザ加工 ウオータージェット加工

図 1 引張後の試験片の状態

3.2 せん断引張試験結果

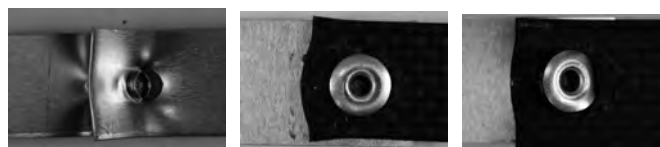
表 2 にせん断引張試験結果を記す。板の引張試験結果とは異なりアルミ板を接合したものの方がせん断引張強さは大きくなった。CFRP どうして比べると、ドリル穴のものが高くなり、出力 1kW のレーザで加工したものが小さくなった。レーザの熱によるマトリックスの破壊が影響していると考えられる。250W レーザとウオータージェット加工はほぼ同じ強度を示したが、ドリルに比べ小さかった。これもマトリックスに加工の影響が及んでいるものと思われる。破断後の試験片を図 2 に示すが、破壊の形態はいずれも板のほうである。リベットはアルミの場合大きく変形したが CFRP の場合、変形はほとんど現れなかった。CFRP 板の破壊の状態であるが、亀裂はリベット穴から軸方向に成長している。またレーザで穴加工したものはリベット頭が板に沈み込んでいる。

3.3 疲労試験結果

アルミ板にアルミ板または CFRP 板をリベット接合し、それをせん断引張となるように繰り返し荷重を与え疲労試験を行った。試験結果を図 3 に示す。横軸は破断までの繰り返し数、縦軸は与えた荷重振幅である。アルミどうしのものが CFRP と結合させたものより高い傾向が現れた。CFRP 結合で比較するとレーザ加工のものが高い荷重振幅域で破断までの回数がやや少ない傾向が見られるが、概ね加工法による違いは無いと言える。ただし、破断までの形態は異なり、レーザ加工のものは変位が大きく下穴が拡大しているものと考えられる。荷重振幅 1kN での伸び側の位置の変化を図 4 に記す。レーザ加工により穴あけしたものでは初期より位置は上昇しておりリベ

表2 せん断引張試験結果

試験片	最大荷重(kN)	破断箇所
Al+Al	4.68	アルミ板
Al+CFRP(ドリル)	3.15	CFRP板
Al+CFRP (レーザ:250W)	2.96	CFRP板
Al+CFRP (レーザ:1000W)	2.69	CFRP板
Al+CFRP(WJ)	2.95	CFRP板



Al+Al Al+CFRP (ドリル) Al+CFRP (レーザ 250W)



Al+CFRP (レーザ 1000W) Al+CFRP (WJ)

図2 せん断引張試験後の破断部状態

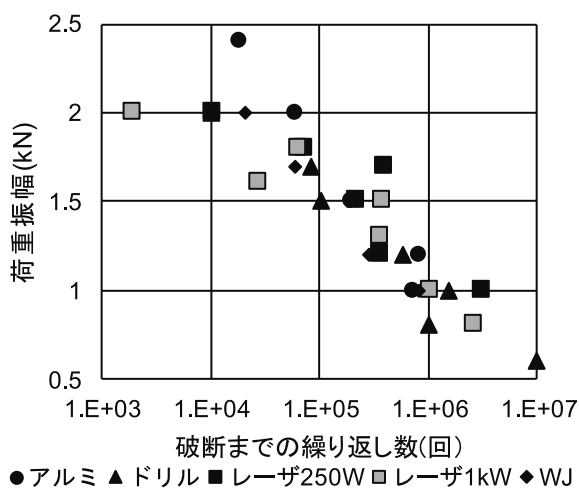


図3 疲労試験結果

キーワード：レーザ加工、CFRP、穴あけ、せん断引張強さ、疲れ強さ

Machining a Hole in CFRP by Laser Process

Processing Technology Section; Takaaki SHIMIU Evaluation Engineering Section; Naoyuki MIYATA

It is possible to manufacture a hole in CFRP board that's 2mm thick by laser process on condition that laser power is 250W and feed speed is 1000mm/min or laser power is 1kW and feed speed is 2000mm/min. But, the preceding condition was repeat 3 times. There is a heat affected area on matrix. We verified a mechanical quality at CFRP board that have a hole by laser process. Tensile strength that is a piece by laser process is strongest at drill process and water-jet process. Shear strength at tensile line and fatigue strength that is a piece by laser process is not as good as drill process.

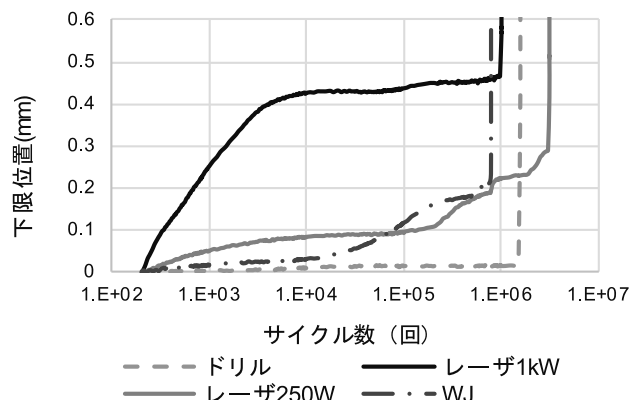


図4 疲労試験における下限位置の推移

ット穴が大きくなりリベット位置が上方に移動しているものと考えられる。ウォータージェット加工におけるものも 20,000 サイクルを越えたあたりから上昇している。一方、ドリルで穴あけしたものは破断直前までほとんど移動は見られない。また、破断はドリル加工の試験体では全てアルミ板側で破断したが、レーザ加工およびウォータージェット加工の試験体では荷重振幅が大きなものはCFRP側が破断した。

4. 結言

レーザ加工により CFRP 板へ穴加工を行い機械的性質をドリル加工およびウォータージェット加工と比較し、以下の知見を得た。

- 厚さ 2mm の CFRP 板への穴あけはレーザ出力 250W 送り速度 1m/min で 3 回走査、およびレーザ出力 1kW 送り速度 2m/min で 1 回走査することにより可能である。
- 穴周辺部はマトリックスへの熱影響が認められる。
- 穴をあけた CFRP 板の引張強さはレーザ加工によるものが最も高い。
- 疲れ強さは他の加工法と同等の強度を示すが、マトリックスへの熱影響により変位が大きくなる。