

# ウォータジェットによる CFRP 加工効率化に関する研究 (第2報)

加賀 忠士、丹羽 孝晴、小河 廣茂、西村 太志

## A study of abrasive water jet to cut CFRP structures efficiently (II)

Tadashi Kaga, Takaharu Niwa, Hiroshige Ogawa and Futoshi Nisihimura

ウォータジェット加工による熱硬化性 CFRP および熱可塑性 CFRP の加工効率化を目指し、ノズル送り速度を変化させたときの切断面の仕上がりへの影響を把握するため、表面粗さやバリの大きさについて数値的な評価を行った。その結果、(1) ノズル送り速度が増加するに従い粗さの数値が増加すること、(2) ノズル送り速度が遅い場合や速い場合にバリ高さが高くなること、(3) このバリ高さを低くするための最適なノズル送り速度が有ること、がわかった。また、ウォータジェット加工による様々な材料の切断サンプル作製に取組んだ。

### 1. はじめに

ウォータジェット加工機は、高圧の水を細いノズルから噴射した噴流に研磨剤を添加して金属などの切断や穿孔が可能な加工機である。研磨剤は比較的高価であるが、①材料の変形・歪が少ない、②発熱しないので熱影響がない、③水に濡れるので粉じん飛散がない、④任意の点で加工開始・終了ができるなど、他の加工にない特徴を併せ持つ。そのため、石材、ガラス材、金属材料、複合材料等の様々な部材の切断に利用されており、例えば航空機産業における機体製造業者が複合材料をトリムする方法として活用している<sup>1)</sup>。

当研究所のウォータジェット加工機は経済産業省平成 24 年度補正予算事業「地域新産業創出基盤事業」で設置され、開放機器として県内企業を中心に利用されている。この設置を機に、当所では平成 26 年度から本研究に取組み始め、昨年度は金属材料の切断面の仕上がりについて表面粗さやバリの大きさの評価を実施した<sup>2)</sup>。本年度は、熱硬化性 CFRP および熱可塑性 CFRP の加工効率化を目指し、ノズル送り速度を変化させたときの切断面の仕上がりへの影響を把握するため、表面粗さやバリの大きさについて数値的な評価を実施したので報告する。また、ウォータジェット加工による様々な材料の切断サンプルを作製したので、その事例を報告する。

### 2. 実験

#### 2.1 実験装置および実験方法

実験に用いたウォータジェット加工機 (Flow 社 FlowMach3 1313b-XD) は、最大圧力 350MPa に加圧した水を 0.254mm のノズルから噴射し、これに研磨剤 (ガーネット: #80) を添加している。実験の様子を図 1 に示す。被加工材は、熱硬化性 CFRP (東邦テナックス(株) 特注品 マトリックス樹脂: エポキシ) 板厚 3mm と熱可塑性 CFRP (BOND LAMINATES 社 TEPEX dynalite201 マトリックス樹脂: PA66) 板厚 2mm を用いた。実験は、ノズル送り速度を変化させ、

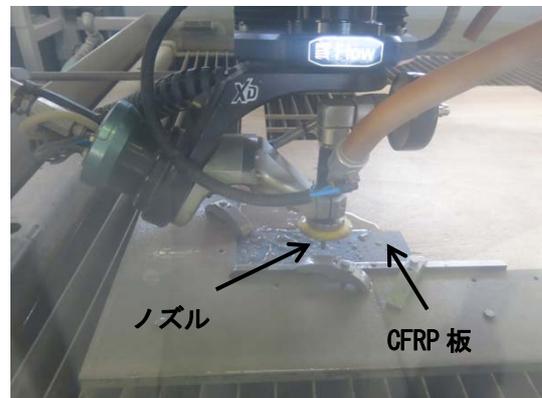


図1 実験の様子

熱硬化性 CFRP は 29.3~1755mm/min、熱可塑性 CFRP は 38.9~1946mm/min の速度範囲で直線切断加工を実施した。なお、ノズルの進行方向に対し左側と右側の二つの切断面を同時に得るが、本研究では、左右どちらも同等であると判断し、切断面の左側に対し表面粗さおよび切断部のバリ高さを測定した。

#### 2.2 表面粗さ、バリ高さの測定

表面粗さの評価には表面粗さ測定機 (テイラーホブソン(株)社 フォームタリサーフシリーズ 2S4C) を用いた。粗さ測定 (Ra) は板厚の中心位置でスタイラスの進行方向はノズル送り方向と同じとした。バリ高さ測定にはレーザー変位計 ((株)キーエンス社 LK-G5000、 $\pm 3\text{mm}$ 、繰り返し精度  $0.02\mu\text{m}$ 、スポット径  $25\mu\text{m}$ ) を用い、板材表面からの高さとした。なお、板材の二つの面の示し方はノズル側を上面側、水槽側を下面側としている。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 切断面の表面粗さ

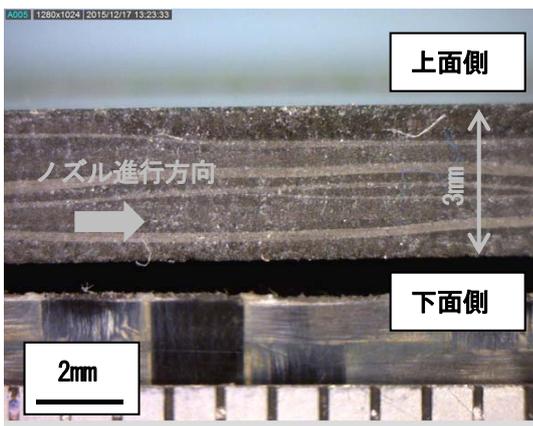
ノズル送り速度 1463mm/min のときの熱硬化性 CFRP の切断面の様子を図 2 (a) に、ノズル送り速度 1557mm/min のときの熱可塑性 CFRP の切断面の様子を

図2 (b) に示す。これらから熱硬化性 CFRP に対し熱可塑性 CFRP では、切断面上に切断しきれないケバ状の樹脂が多く残存していることがわかった。次に、ノズル送り速度と表面粗さ (Ra) の関係を図3に示す。この結果から熱硬化性 CFRP および熱可塑性 CFRP ともにノズル送り速度が増加するに従い、表面粗さの数値が増加していることがわかった。

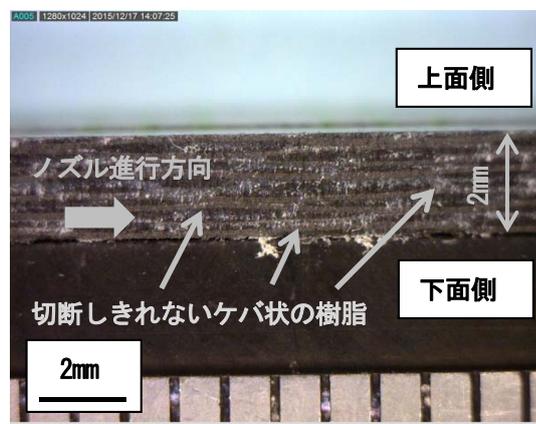
次に、今回の実験結果に対し、航空機組立てにおける穴交差や穴周りの品質<sup>3)</sup>に照らし合わせて評価した。表面粗さ Ra 0.8 $\mu$ m の規格と比較すると、すべてが規格から外れていることがわかった。このことから今回の加工条件では、最終仕上げではなく、粗加工に適していると判断できる。

### 3. 2 バリ高さ

ノズル送り速度 1463mm/min のときの熱硬化性 CFRP の切断後のバリの様子を図4 (a) および (b) に、ノズル送り速度 1557mm/min のときの熱可塑性 CFRP の切断後のバリの様子を図4 (c) および (d) に示す。これら



(a) 熱硬化性 CFRP  
(ノズル送り速度 1463mm/min)



(b) 熱可塑性 CFRP  
(ノズル送り速度 1557mm/min)

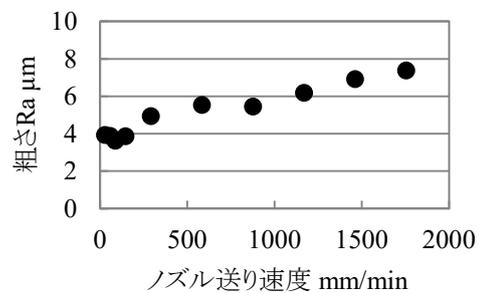
図2 切断面の様子

の図から上面側および下面側ともバリが生じていることがわかる。次に、ノズル送り速度とバリ高さの関係を図5に示す。この結果から、熱硬化性 CFRP および熱可塑性 CFRP ともにノズル送り速度が遅い場合や速い場合にバリ高さが高くなり、このバリ高さを低くするための最適なノズル送り速度が有ることがわかった。また、この傾向は、熱硬化性 CFRP に比べ熱可塑性 CFRP の方が顕著であることもわかった。

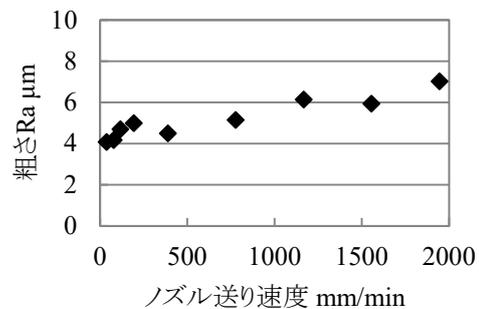
次に、表面粗さの評価と同様に、今回の実験結果に対し、航空機組立てにおける穴交差や穴周りの品質<sup>3)</sup>に照らし合わせて評価した。欠損・剥離の最大高さ (バリ高さ) 0.2mm、最大幅 0.8mm の規格を本実験結果で得られたバリ高さと比較すると、熱可塑性 CFRP のノズル送り速度 1557mm/min の1条件のみが規格から外れたが、それ以外はすべて規格を満たしていることがわかった。

### 4. 切断サンプル作製

ウォータージェット加工機は様々な部材の切断に利用されている。そこで、開放機器利用促進のディスプレイとして、本研究の取組みの中でも、ウォータージェット加工機を使用した切断サンプルを作製した。図6 (a) に模擬包丁を示す。包丁の名入れ部分には文字および螺旋形状を施し、熱硬化性 CFRP の柄部にはアルミニウムを埋め込んだ。これらはすべてウォータージェット加工機に

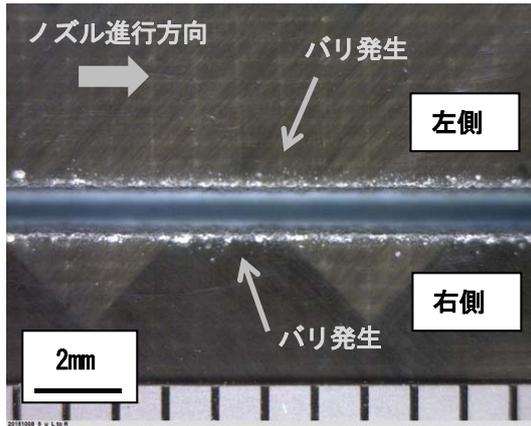


(a) 熱硬化性 CFRP

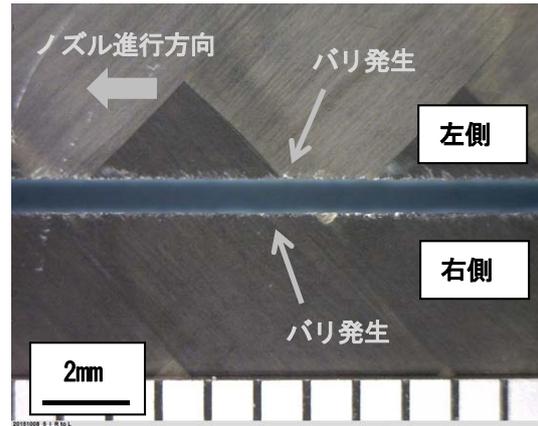


(b) 熱可塑性 CFRP

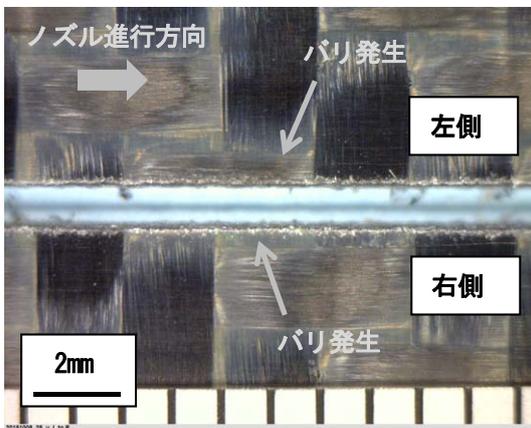
図3 ノズル送り速度と切断面表面粗さの関係



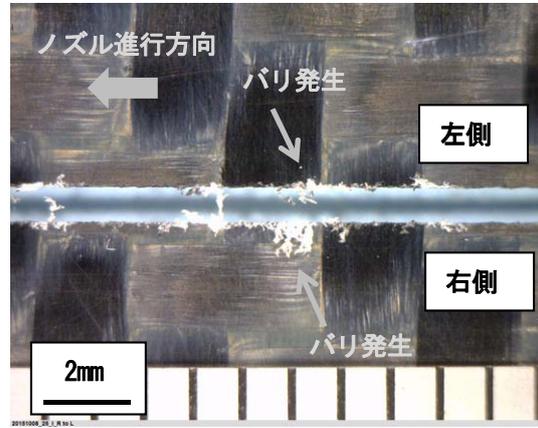
(a) 熱硬化性 CFRP 上面側  
(ノズル送り速度 1463mm/min)



(b) 熱硬化性 CFRP 下面側  
(ノズル送り速度 1463mm/min)

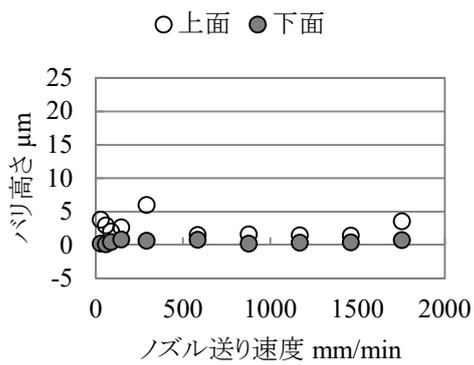


(c) 熱可塑性 CFRP 上面側  
(ノズル送り速度 1557mm/min)

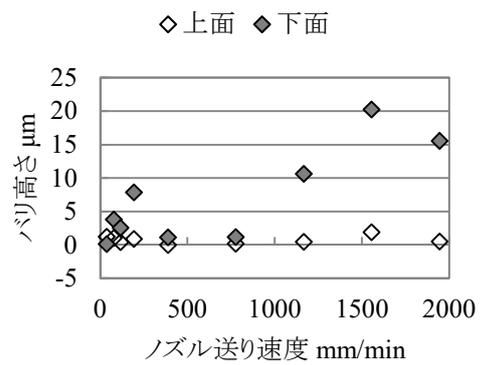


(d) 熱可塑性 CFRP 下面側  
(ノズル送り速度 1557mm/min)

図4 切断部バリの様子



(a) 熱硬化性 CFRP



(b) 熱可塑性 CFRP

図5 ノズル送り速度と切断部バリ高さの関係



(a) 模擬包丁



(b) 自動車形状をくり抜いたプレート

図6 ウォータージェット加工機を使用した切断サンプル

よって切断加工を行っている。次に、図6 (b) に自動車形状をくり抜いたプレートを示す。材質はアルミニウム、黄銅、タイル、ガラス、熱硬化性 CFRP、熱可塑性 CFRP の6種類について作製した。

### 5. まとめ

ウォータージェット加工による熱硬化性 CFRP および熱可塑性 CFRP の切断面の仕上がりについて、ノズル送り速度を変化させたときの表面粗さやバリの大きさについて数値的な評価を行った。その結果、以下のことがわかった。

- (1) ノズル送り速度が増加するに従い粗さの数値が増加する。
- (2) ノズル送り速度が遅い場合や速い場合にはバリ高さが高くなる。
- (3) このバリ高さを低くするための最適なノズル送り速度が有る。

また、ウォータージェット加工による様々な材料の切断サンプル作製にも取組んだ。

### 【参考文献】

- 1) 馬場,精密工学会誌 Vol.75,No.8,pp945-948,2009
- 2) 西村ら,岐阜県工業技術研究所研究報告 第3号, pp47-48,2015
- 3) 深川,日本機械学会誌 No.1128,Vol.115,pp28-32,2012