

ブラストによる航空機用 CFRP への小径孔加工 — エロージョン摩耗による加工メカニズムの解明 —

深川 仁* 清水啓祐* 西川幸佑* 廣垣俊樹** *岐阜大学 **同志社大学

1. 背景

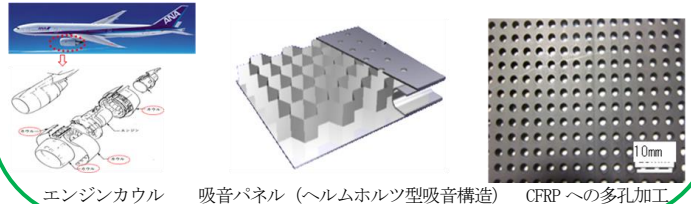
CFRP (炭素繊維強化プラスチック) は、比強度が高い軽量部材であるが、素材コストが高く、難削材であり、孔加工に特殊な機械やドリルが必要となるため、加工コストが高い。従来、CFRP に対する孔加工には超硬ドリル、AWJ などが用いられ、最近ではレーザーも研究されている。しかし、ドリル加工では工具が摩耗しやすく孔出口に剥離が生じやすく、AWJ では設備費がかかり小径孔加工が難しい、レーザーでは熱影響が孔周りに残る、など加工効率・コスト・品質面で課題がある。一方、ブラスト加工は技術が改良され、電子基板やセラミックスなどの孔加工などの微細加工に応用されている。しかし、ブラストを CFRP 加工に適用した例はなく、CFRP に対する、孔加工法としての可能性を見出すため、研究を行ってきた。その結果、1~2mm の小径で、効率的に大量に加工する手段として、適していることが明らかとなった。

加工法分類	ブラスト加工	ドリル加工
穴加工時間	○ 数秒以内同時加工	△ 平均4~5秒
加工コスト	○ メディア安価	× 刃具費大
設備費	◎ 安価 プラスト装置	○ 安価
加工品質	△ 穴がテーパ状になる	△ 出口にケバ剥離発生
切断面模式図		
加工法分類	アレイ加工/オーダーシート	レーザー加工
穴加工時間	○ 平均2~3秒	△ 平均10~20秒 → 高速化
加工コスト	△ フスル消耗早い	△ 発熱密定期交換
設備費	△ 高額 設備大掛り	△ 高額 設備大掛り
加工品質	△ 穴がテーパ状、剥離発生	△ 穴内熱影響出る → 極小化
切断面模式図		

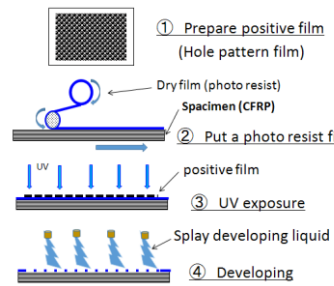
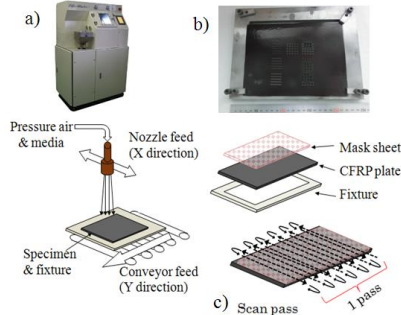
2. 目標

適用目標は、航空機部品用 CFRP で、安価で大量の孔を加工することである。例えば、航空機エンジンカウル(カバー)には、騒音低減のために、カウル内面に吸音部材が使われているが、現状は主に板厚 1~2mm のアルミ合金板に大量の小径孔(直径 1~2mm, 精度±0.2mm) がドリル加工されており、ハニカム材料に接着された構造である。この部材を CFRP に置き換え、孔加工手段にブラスト加工を用いることで、航空機の軽量化と耐腐食性の向上を図りたい。

しかし、ブラストによる孔あけ過程には不明な点が多く、CFRP に対して微細砥粒を用いた直噴式ブラストによる孔加工実験を実施した。孔加工が進展する過程をステージごとに高速度カメラやレーザ顕微鏡などを用いて、エロージョン摩耗(固気二層流において、粉体粒子が対象物に衝突して生じる磨耗現象)を測定分析した。そして、被削材と加工条件を変化させることで、加工に最適な方法を探り、ブラストによる孔加工のメカニズムを、“エロージョン摩耗による孔加工の進展”という観点で検証した。



3. 加工原理と実験方法

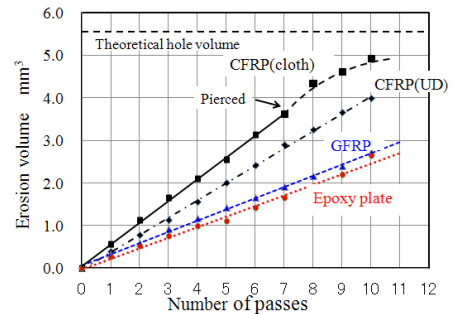
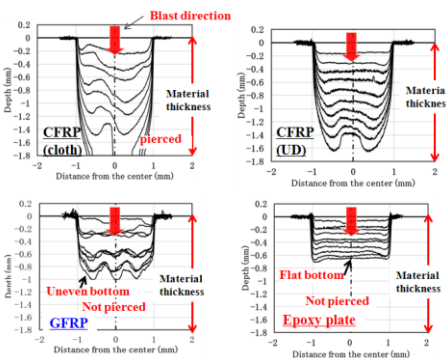
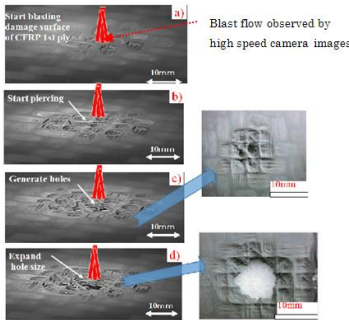


Item	Description
Mask-material	Dry film resist ^o Acrylic polymer resin film, Thickness 0.1mm, 2 sheets, ^o
Abrasive-(Media)	White aluminum oxide ^o WA #320, #600 Density 3.9g/cm ³ , Grain dia. 40μm, 20μm ^o Carborundum ^o SiC #320 Density 3.2 g/cm ³ Silicon carbide ^o Grain dia. 40μm ^o
Pressure	At nozzle ^o 0.10 MPa, 0.15MPa ^o
Feed speed	X axis ^o Nozzle feed 8m/min ^o Y axis ^o Conveyor feed 20mm/min ^o
Nozzle	Diameter & nozzle distance ^o φ5mm, 120mm (between nozzle and specimen)



直圧式ブラスト加工装置と加工パス、マスク。試験片 マスク製作とCFRPへの貼付け工程 プラスト加工条件とメディア 高速度カメラによる観察

4. 試験結果



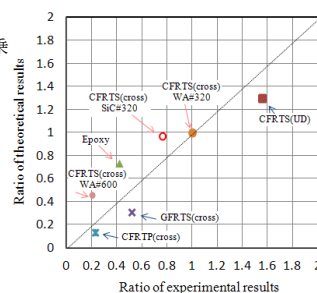
エロージョン摩耗による孔加工進展の様子 各種被削材ごとの孔加工進展状況(断面図) 加工パスとエロージョン体積の関係

5. 結果まとめ・考察の一部

エロージョン率 Q はヤング率 E が高いほど進展が早く $5/4$ 乗に比例する l_c はクラックの長さ、 d_c クラックの深さ、 ρ_t と ρ_p は基材と砥粒の密度、 γ_p 砥粒の平均粒径、 v_p は流速、 H は硬度、 K_c は破壊強度。式右項はブラスト装置と砥粒が一定なら決まる項目で定数 A

$$Q \propto \pi l_c^2 d_c \propto \frac{\rho_t E^{5/4}}{H^{17/12} K_c} \rho_p^{1/6} r_p^{1/2} v_p^{7/3} = \frac{\rho_t E^{5/4}}{H^{17/12} K_c} A$$

計算値と実験結果の比較



6. 結言

CFRP への小径孔加工で、以下が明らかとなった。

- (1)ブラストによりCFRP(厚さ1~2mm)に対して、1~2mmの小径孔加工が可能。
 - (2)ブラスト流中心と、孔中心のずれで、エロージョンの偏析が起こるが、孔貫通までパス数(時間)を確保すれば、加工差を平準化できる。
 - (3)エロージョン率を算出する式に基づけば、加工条件や被削材が変化しても、加工能率の予想は可能である。
 - (4)CFRP に対しブラストによる微細なエロージョン過程としての材料除去メカニズムがある程度解明された。
- 今後、孔精度の追求やマスク材料の改良と、加工効率の向上を目指す