

強化プラスチック (GFRP・CFRP)

の穴あけに関する研究

——工具材種と加工穴性状——

横尾嘉道*、瀬戸雅文*、佐久間敬三**

Study on Drilling of Fiber Reinforced Plastics (GFRP and CERF)

——Tool Material and Hole Quality——

Yoshimichi Yokoo, Masafumi Seto, Keizo Sakuma

Abstract

This paper describes the effect of tool material on drilling characteristics of FRP. High speed steel drills and three types of carbide drills were employed to examine hole quality, i.e. excite burr and inner surface roughness.

From experiments, hole quality is seen to be related to both materials of tool and work piece in FRP drilling.

1. 緒言

ガラス繊維強化プラスチック (GFRP) および炭素繊維強化プラスチック (CFRP) は前論文⁽¹⁾に示したごとく機械的・化学的性質がすぐれているため産業機器などに利用され、その需要はますます増大しつつある。しかしながらこれらの材料の穴あけに関する資料は非常に少ない。

そこで本研究では高速度鋼ドリルおよび3種類の超硬ドリルを使用して GFRP および CFRP の穴あけ加工を行い、加工穴の内面性状、穴入口および穴出口の表面性状などを調べ検討した。

2. 実験装置および実験方法

実験装置には(株)牧野フライス製作所製 MH-20 型高速度フライス盤を使用した。実験用工具は高速度鋼ドリルとしては SKH 9 を、超硬ドリルとしては K 01, P 10 および超微粒 (以下 FG と略称) の3種類の材質のもの

を使用した。このうち K 01 は TiC + TaC 4%, Co 4%, WC 92% の市販ドリルで主として鑄鉄切削に用いられる材質である。また P 10 と FG はこの研究のために特別に製作して貰ったドリルである。そのうち P 10 は TiC + TaC 28%, Co 9%, WC 63% のドリルで主として鋼切削に用いられる材質である。また FG は TaC 1%, Co 5%, WC 94% の超微粒の合金である。これらドリルの諸元を表 1 に示す。供試材料には表 2 に示すような GFRP および CFRP の積層板を使用し、その寸法は厚さ 10mm, 幅 15~60mm, 長さ 160mm である。なお、穴あけ材料は抵抗測定用と一般穴あけ用とは区別して用いたが、加工穴の性状調査は抵抗測定用の材料で行った。

実験方法は表 3 に示す通りで、主軸回転数および送りを一一定とし、穴あけ回数は各ドリルの摩耗特性に応じて選定した。加工穴出口の表面性状の調査検討は、SKH 9 および CFRP の穴あけにおける P 10 ドリルの場合、1, 10, 20, 30, 40 および 50 回目の穴あけごと、その他の超硬ドリルの場合、1, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350,

* 宇部工業高等専門学校機械工学科

** 福岡工業大学電子機械工学科

表1 試験用ドリルの諸元

	高速度鋼	超硬(ソリッド)
種類 (材種)	SKH 9	K 01, P 10, FG(超微粒)
直径(mm)	3	3
全長(mm)	70	45
みぞ長(mm)	45	25
心厚(mm)	0.6	0.6
先端角	118°	118°
ねじれ角	30°	30°
逃げ角	21°	10°
研削方法	普通研削	二段平面研削
突出し長さ(mm)	45	35

表2 被削材の種類と組織

	ガラス繊維強化プラスチック(GFRP)	炭素繊維強化プラスチック(CFRP)
マトリックス	エポキシ樹脂	エポキシ樹脂
板厚(mm)	10	10
繊維含有率(%)	約35	約55
層数	50	24
硬さ H _{RE}	102	111

表3 実験方法

加工条件	工具材種	超硬合金
	高速度鋼	SKH 9
主軸回転数 (rpm)	3,500	K 01, P 10*, FG(超微粒)
送り (mm/rev)	0.05	3,500
穴あけ回数・貫通(回)	50	0.05
乾式湿式の区別	500	乾式
	乾式	乾式

* CFRP の穴あけに際して、P10の摩耗が激しいので穴あけ回数50回で中止した。

400, 450および500回目の穴あけごとにそれぞれ行った。穴内面粗さおよび加工穴の直径は上記の穴より適当と思われるものを選出して測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 穴内面の粗さ

GFRP および CFRP を高速度鋼ドリル SKH 9 および超硬ドリル K01で穴あけした場合の第一穴と最終穴 (SKH 9 では50穴, K01では500穴) の穴内面の粗さ曲線は図1に示す通りである。図からわかるようにいずれの曲線も大小の違いがあっても材料の方向(下方)に入った凹みがあるが、これはこれらの材料が亀裂形の切くずを生成するために生じたものと考えられる。つぎに GFRP の粗さは CFRP の粗さにくらべて大きい。これは GFRP の繊維直径が CERP のそれより大きく (GFRP: 約 $9\mu\text{m}$, CFRP: 約 $7\mu\text{m}$), その上に剛直であるためと考える。また、最終穴の粗さは第一穴の粗さより大きく、SKH 9 で穴あけした場合の粗さは K01で穴あけした場合より大きい。このような結果になる主たる原因はドリルの摩耗であると考えられる。

次に GFRP および CFRP を高速度鋼ドリル (SKH 9) で穴あけした場合の穴内面の粗さを図2に、超硬ドリル (K01, P10および FG) で穴あけした場合の粗さを図3に示す。図2より GFRP の粗さが CFRP のそれより大きく、ほぼ2倍の値であることがわかる。いずれも穴あけ後、30穴くらいまでは粗さが漸増するが、それ以後の粗さはほとんど変化なく横ばいの状態である。また図3より、超硬ドリルで GFRP を穴あけした場合には、3種類とも第1穴より第100穴までは粗さは急増するが、それ以後はほぼ一定の値をとる。一方、K01と FG ドリルで CFRP を穴あけした場合には、粗さは200穴まで漸増し、その後はほぼ一定となる。これらの一定値は GFRP で約 $7\mu\text{m}$, CFRP で約 $3.5\mu\text{m}$ で CFRP の値は GFRP の値の約 $\frac{1}{2}$ である。またこれらの値は高速度鋼ドリルで穴あけした時の粗さより多少小さな値であることがわかる。また、CFRP を P10ドリルで加工する場合には10穴あけた時に $3.1\mu\text{m}$ の粗さであるが、その後はあまり変化しない。3種類の超硬ドリル間では CFRP-P10 の組合せを除けば粗さに大差ないといえる。このような結果から、穴内面粗さは工具摩耗とあまり深い関係はないように思われる。

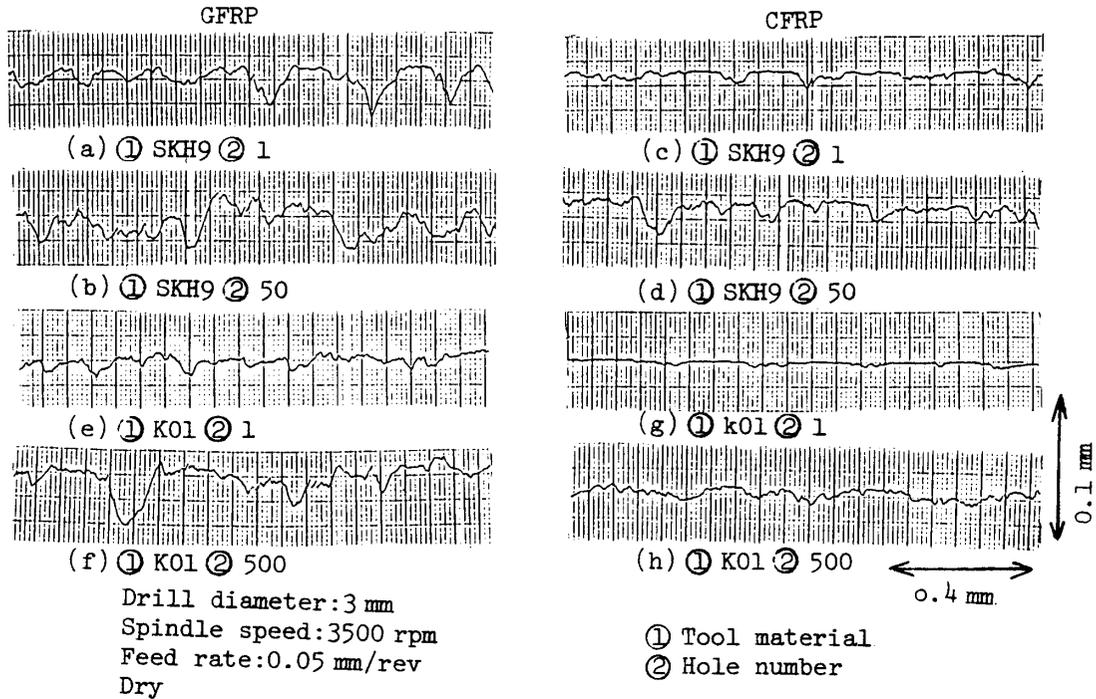


図1 穴内面の粗さ曲線

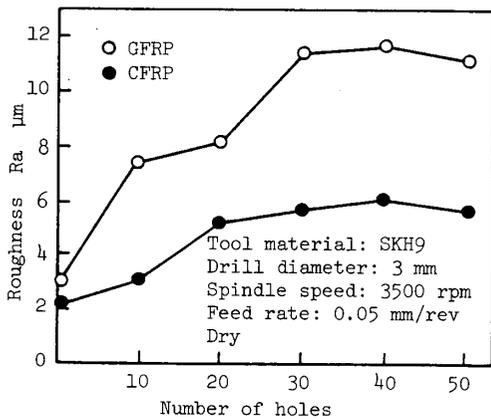


図2 GFRP および CFRP を高速度鋼ドリルで穴あけした場合の穴内面の粗さ

3. 2 穴出口の切残し

穴あけ加工した場合には加工穴の寸法精度の外にも加工穴周辺における種々の異状が問題になることが多い。GFRP および CFRP を穴あけした場合にはその周辺に切残し、はくりならびに焼けなどを生ずる。今回の穴あけでは穴出口側に切残しが生じたのでその状態を表4に示す。表中、タイプIは加工穴に切残しがなく、良好な状態を示し、タイプIIはわずかな切残しがあるが、簡単に除去できるものである。タイプIIIやIVになると切残しの量が多くなり、その除去にもそれだけ多くの手数がか

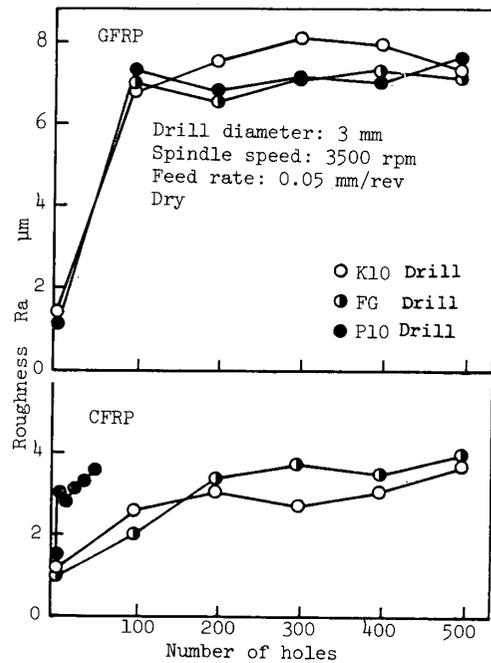


図3 GFRP および CFRP を超硬ドリルで穴あけした場合の穴内面の粗さ

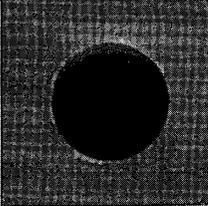
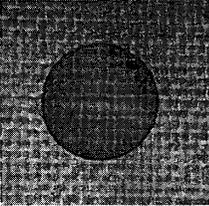
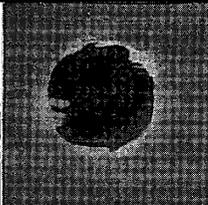
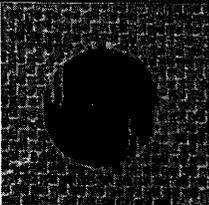
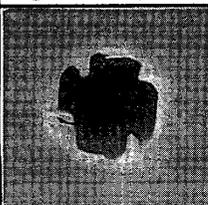
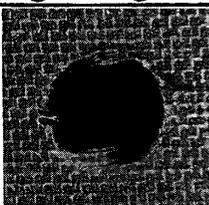
かるものである。各タイプの評価基準を図4に示す。

同表よりわかるように GFRP の穴あけに際しては超硬ドリルを使用すれば500穴までは切残しがない。SKH 9では50個の穴あけでも幾らかの切残しが生じており、この場合の評価の平均値(I~IVを1~4の数値として扱う)は表4中に示すように2.17である。次に CFRP の穴あけに際しては、SKH 9では第1穴から切残しを生じ、その他の穴はもっと切残しが多く、全体での評価の平均値は3.83である。P10は SKH 9について切残しが多く、50穴までの評価の平均値が1.50である。このようにP10が他の超硬合金にくらべて切残しの多い原因については次のように推察される。すなわち、P10は前述のごとく、他の超硬合金にくらべてTiCの含有量が多いのでアプレシブ摩耗⁽⁹⁾も多くなり、従ってマージン部近くの切れ刃も鈍化して切残しが多くなっていると考えられる。また、CFRP穴あけにおける500穴までのK01の評価の平均値は1.64、FGの平均値は1.55であるが、両者の間では大差はないといえる。このようにして、CFRPの穴あけにおいては、高速度鋼ドリルの時に切残しが一番多く、ついで超硬合金のP10種となり、K01とFGはほとんど同じ位で切残しは少い。

3.3 加工穴の直径

超硬ドリルおよび高速度鋼ドリルを用いて GFRP および CFRP を穴あけした時のドリル直径と加工穴の直径を表5に示す。同表より第1穴の直径は入口側・出口側ともに使用前のドリル径より大きい穴となることが多い。この点では塚田ら⁽²⁾の行った一般のプラスチックの場合とは異なる。これについては GFRP にはガラス繊維、CFRP には炭素繊維がはいっているために、穴あけ時の熱による膨張や穴あけ後の収縮がおこり難いためであると考えられる。

また加工穴数が増加すれば、穴径は一般に減少する傾向があるが、超硬ドリルでは一般的に CFRP の穴径の減少が GFRP の穴径の減少より大きい。これは前報⁽¹⁾に示すごとく、CFRP を穴あけした場合の摩耗量が逃げ面・マージン部のいずれにおいても GFRP の場合より大きい為であると考えられる。これに対し、高速度鋼ドリルでは GFRP の穴径の減少の方が大きい。これも前報⁽¹⁾に示したごとく、GFRP を穴あけした場合の高速度鋼ドリル・マージン部の摩耗量が CFRP を穴あけした場合のそれより大きいことが原因であると思う。

	GFRP	CFRP
I	 ① SKH9 ② 1	 ① FG ② 1
II	 ① SKH9 ② 10	 ① P10 ② 40
III	 ① SKH9 ② 30	 ① SKH9 ② 1
IV	 ① SKH9 ② 40	 ① SKH9 ② 40

Drill diameter: 3 mm

Spindle speed: 3500 rpm

* Spindle speed: 600 rpm

Feed rate: 0.05 mm/rev

Dry

① Tool material

② Number of holes 3 mm

図4 穴出口側表面における切残し判定基準

4. 結 論

高速度鋼ドリル(SKH 9)および超硬ドリル(K01, P10およびFG)を用いて強化プラスチックの穴あけを行った場合の加工穴性状に関する主な結果は次の通りである。

(1)高速度鋼ドリルおよび超硬ドリルを用いて GFRP および CFRP を穴あけした場合の穴内面粗さはある回数までは漸増または急増するが、その後はほぼ一定となる。その粗さの一定値では高速度鋼ドリルの値が一番高く、超硬3種の間では大差ない。

(2)GFRP の穴あけにおいては、高速度鋼ドリルは相当の切残しを生ずるが、超硬ドリルはいずれも500回まで切残しを生じない。

(3)CFRP の穴あけにおいては、高速度鋼ドリルが切残しを一番多く生じ、次いで超硬合金のP10種となり、K01とFG はほとんど同じ位で切残しは少い。

終りに本実験を行うにあたり、実験材料の提供をいただいた東レ・開発研究所の方々に感謝するとともに実験にご協力いただいた宇部工業高等専門学校田戸保助教授に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 佐久間敬三・横尾嘉道・瀬戸雅文；“強化プラスチック (GFRP CFRP) の穴あけに関する研究——工具材種と摩耗挙動——”，機械学会論文集49巻446号（昭和58—10月）に掲載予定
- 2) 塚田為康・白鳥進；“プラスチックの穴あけ加工法の研究”，電気試験所研究報告687号1頁
- 3) Robert G. Brierley・H. J. Siekman; "Machining Principles and Cost Control.", (1964), 49, Mc. Graw-Hill Book Company.

(昭和58年9月13日受理)

表5 使用前のドリル直径と加工穴の直径(mm)

被削材	工 具 材 種	ドリル 径(mm)	入 口 出 口	穴 番 号		
				1	50	500
GFRP	K01	2.993	入口	2.994	2.975	2.969
			出口	3.009	2.993	2.990
	P10	2.996	入口	3.020	2.987	2.971
			出口	3.012	2.997	2.982
	FG	2.994	入口	3.024	3.008	2.987
			出口	2.997	2.994	2.995
SKH9	2.988	入口	3.012	2.906	/	
		出口	3.012	2.948	/	
CFRP	K01	2.994	入口	3.002	2.998	2.973
			出口	2.984	2.971	2.960
	P10	2.993	入口	3.013	2.978	/
			出口	2.999	2.985	/
	FG	2.993	入口	3.023	2.992	2.972
			出口	2.993	2.978	2.963
SKH9	2.990	入口	3.028	2.982	/	
		出口	2.956	2.971	/	

表4 GFRP ならびに CFRP 穴あけの時の切残しの状態

(a) GFPP

工 具 材 種	穴 番 号											平均値
	1	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
K01	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	1.00
P10	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	1.00
FG	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	1.00
工 具 材 種	穴 番 号						平均値					
	1	10	20	30	40	50						
SKH9	I	II	II	III	II	III	2.17					

(b) CFRP

工 具 材 種	穴 番 号											平均値
	1	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
K01	I	I	II	I	II	II	I	II	II	II	II	1.64
FG	I	I	I	II	I	II	I	II	II	II	II	1.55
工 具 材 種	穴 番 号						平均値					
	1	10	20	30	40	50						
P10	I	I	I	II	II	II	1.50					
SKH9	III	IV	IV	IV	IV	IV	3.83					

タイプI. 良好
タイプII. 切残し少しあり
タイプIII. 切残しあり
タイプIV. 切残し多し