

ジルコニアセラミックの小径穴あけ加工

Small hole open processing of Zirconia ceramics

学生G (B4)

学生H (B4)

学生K (B4)

(指導教員：井原之敏)

1 研究目的

ファインセラミックスの加工方法として主流となっているのがラッピング、ポリッシング、研削加工があげられるが、脆性材加工用工具を用いた切削加工や、近年ではレーザー加工など新しい加工方法が見出されてきている。本研究ではファインセラミックスの一種であるジルコニアセラミックスをベースとして金型用に開発された新材料について、研削による小径穴あけ加工を実施し、高精度かつ高能率に加工できる条件を検討する。

2 材料

ジルコニアセラミックスをベースとし、金型用として性質を改善された新材料である。ジルコニアセラミックスの高硬度、高密度、熱収縮が小さいなどに加え、更なる高靱性、高衝撃性、金型用として離型性が良好の性質がある。



Fig. 1 Work piece

従来品の性質

- 高硬度
- 高密度
- 熱収縮が小さい

+

新たな性質

- 高靱性
- 高衝撃性
- 離型性が良好

3 合成ダイヤモンド砥石

市販されている軸付き電着ダイヤモンド砥石を使用した。

Table 1 Tool spec

Tool diameter	[mm]	0.4	0.6	0.8
Average grain diameter	[μm]	25~35 (#600)	60 (#240)	
Length of grain part	[mm]	2	3	
Over hang	[mm]	7	10	
Shank diameter	[mm]	3		
Grain		Synthetic diamond		
Bond		Electroplating		

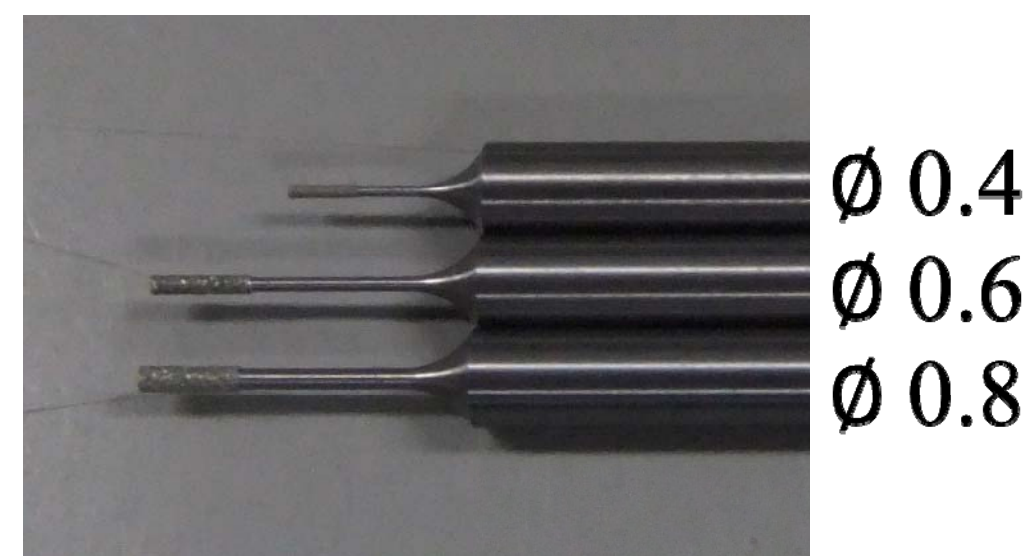
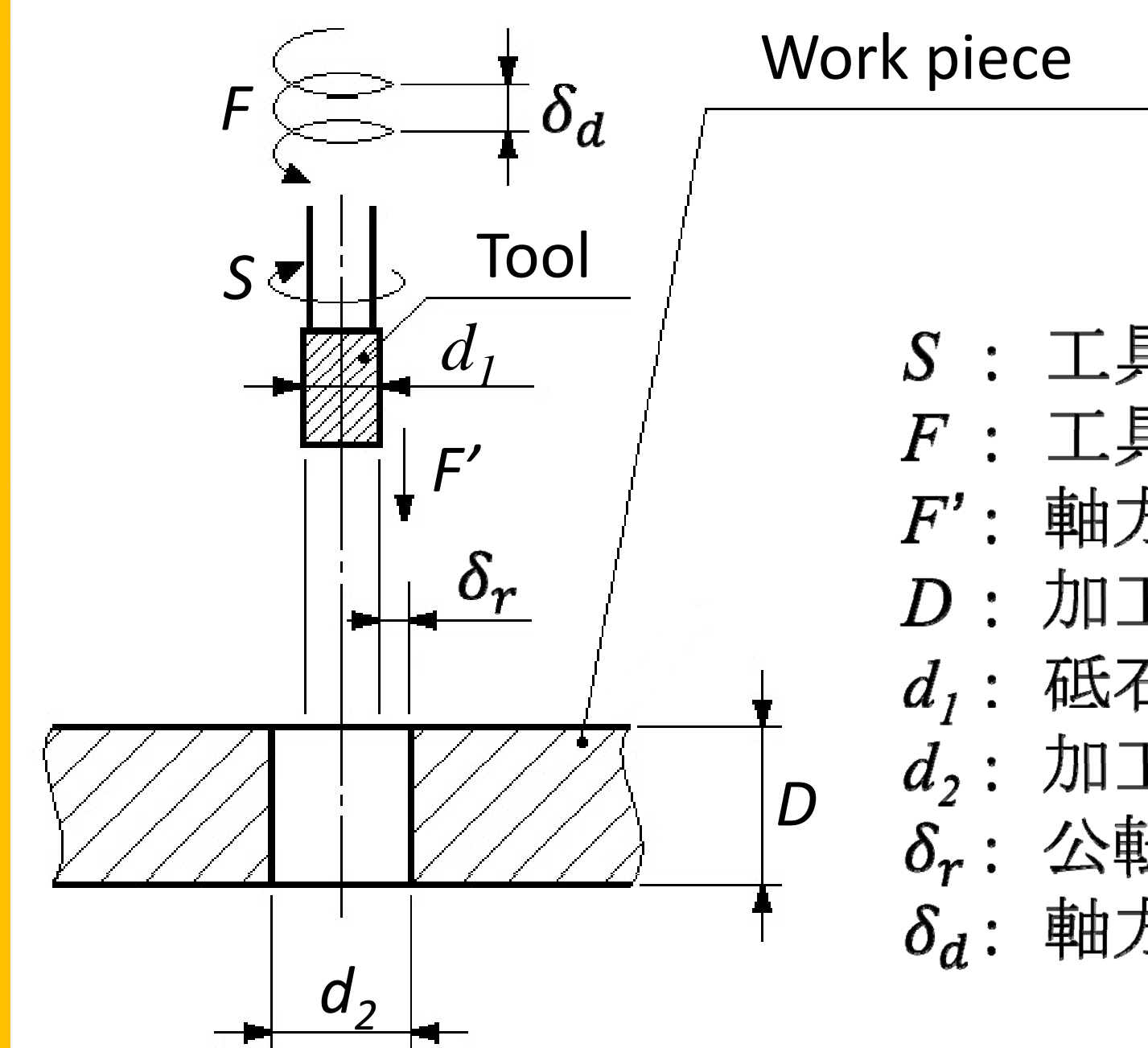


Fig. 2 Grinding stone

4 ヘリカル加工



- S : 工具回転数 [rpm]
- F : 工具送り速度 [mm/min]
- F' : 軸方向速度 [mm/min]
- D : 加工穴深さ [mm]
- d₁ : 砥石直径 [mm]
- d₂ : 加工穴直径 [mm]
- δ_r : 公転半径 [mm]
- δ_d : 軸方向切込量 [mm/rev]

5 エアタービンスピンドル

高回転数での実験を行うために機械主轴の回転ではなく、(株)ナカニシ製エアタービンスピンドルを使用した。

Table 2 Spindle speed

Spindle speed [rpm]
0.1 MPa at 50,250
0.2 MPa at 78,250
0.3 MPa at 111,000
0.4 MPa at 135,750
0.5 MPa at 150,000



Fig. 3 Air turbine spindle

6 実験装置

機械は一般的な3軸工作機械を使用した。機械テーブル上に3成分動力計を設置し、治具を用いて動力計上面にワークピースを固定した。その他、測定機器を含めた実験装置の構成図を図4に示す。

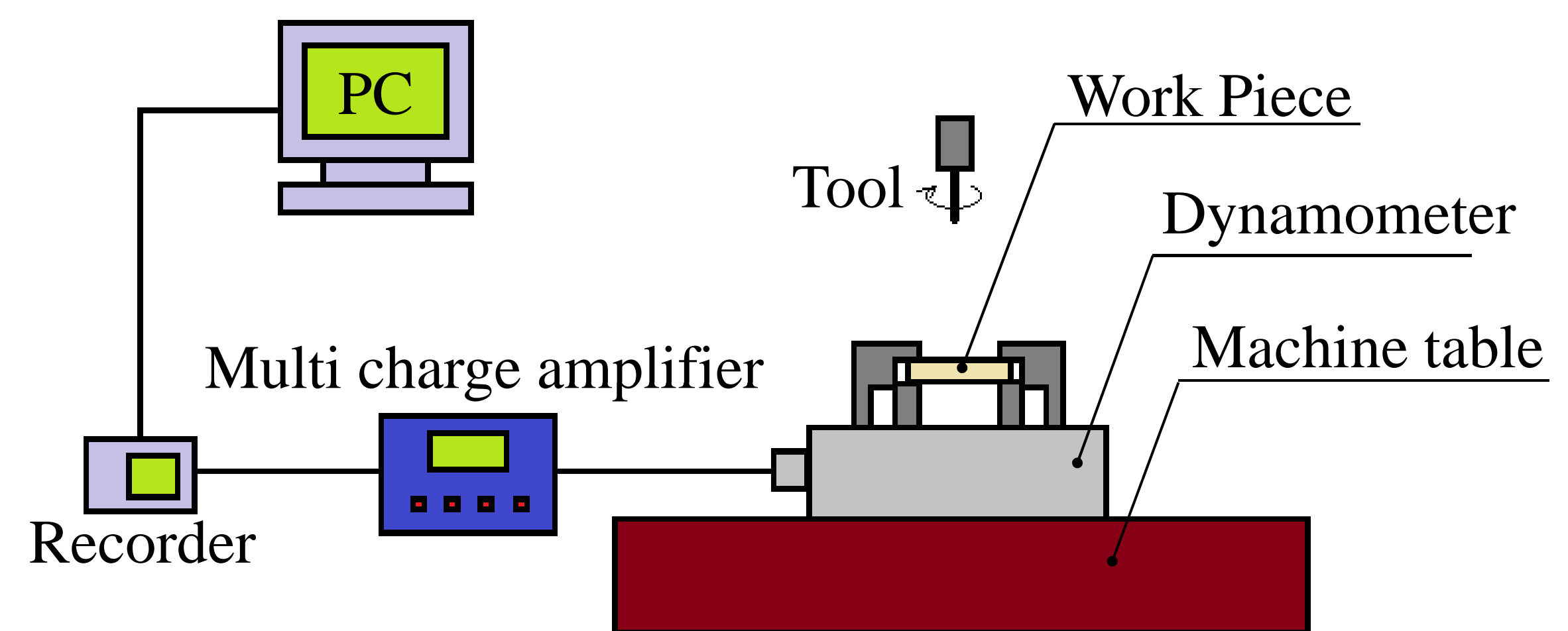


Fig. 4 Experimental device

7 加工条件

昨年度の結果を参考に加工条件を決定した。5個の穴を加工するごとに加工穴および砥石の観察と、砥石の洗浄を行った。

$$\text{加工穴時間 } T [\text{min} : \text{sec}] = \frac{D}{\delta_d} \cdot \frac{2\pi\delta_r}{F} = \boxed{31 : 24}$$

Table 3 Processing condition 1

D	[mm]	5.0
d ₁	[mm]	∅0.6
d ₂	[mm]	1.0
δ _r	[mm]	0.2
S	[rpm]	66000
V	[m/min]	124.4
F	[mm/min]	40
δ _d	[mm/rev]	0.005

- ① 加工穴深さの見直し
- ② 工具径の変更
- ③ ②に伴う公転半径の変更
- ④ 送り速度の変更
- ⑤ 切り込み量の変更

Table 4 Processing condition 2

D	[mm]	2.6		
d ₁	[mm]	∅0.8		
d ₂	[mm]	1.0		
δ _r	[mm]	0.1		
S	[rpm]	111000		
V	[m/min]	279.0		
F	[mm/min]	100		
δ _d	[mm/rev]	0.003	0.004	0.005

Grain Synthetic diamond

Grain Synthetic diamond

8 結果および考察

Average grain diameter #240

Average grain diameter #240

a) 全てのグラフについて、軸方向切り込み量が0.003mm/revの条件では5個目の穴を加工終了後に砥石のエッジ部が摩耗し、砥粒が無くなってしまったため5個目加工終了時点で加工不能と見なした。また軸方向切り込み量が0.005mm/revの条件での5個目の加工については測定値が思わぬ変化をしたために、加工を中断した。

ジルコニアセラミックの小径穴あけ加工

Small hole open processing of Zirconia ceramics

学生G (B4)

学生H (B4)

学生K (B4)

(指導教員：井原之敏)

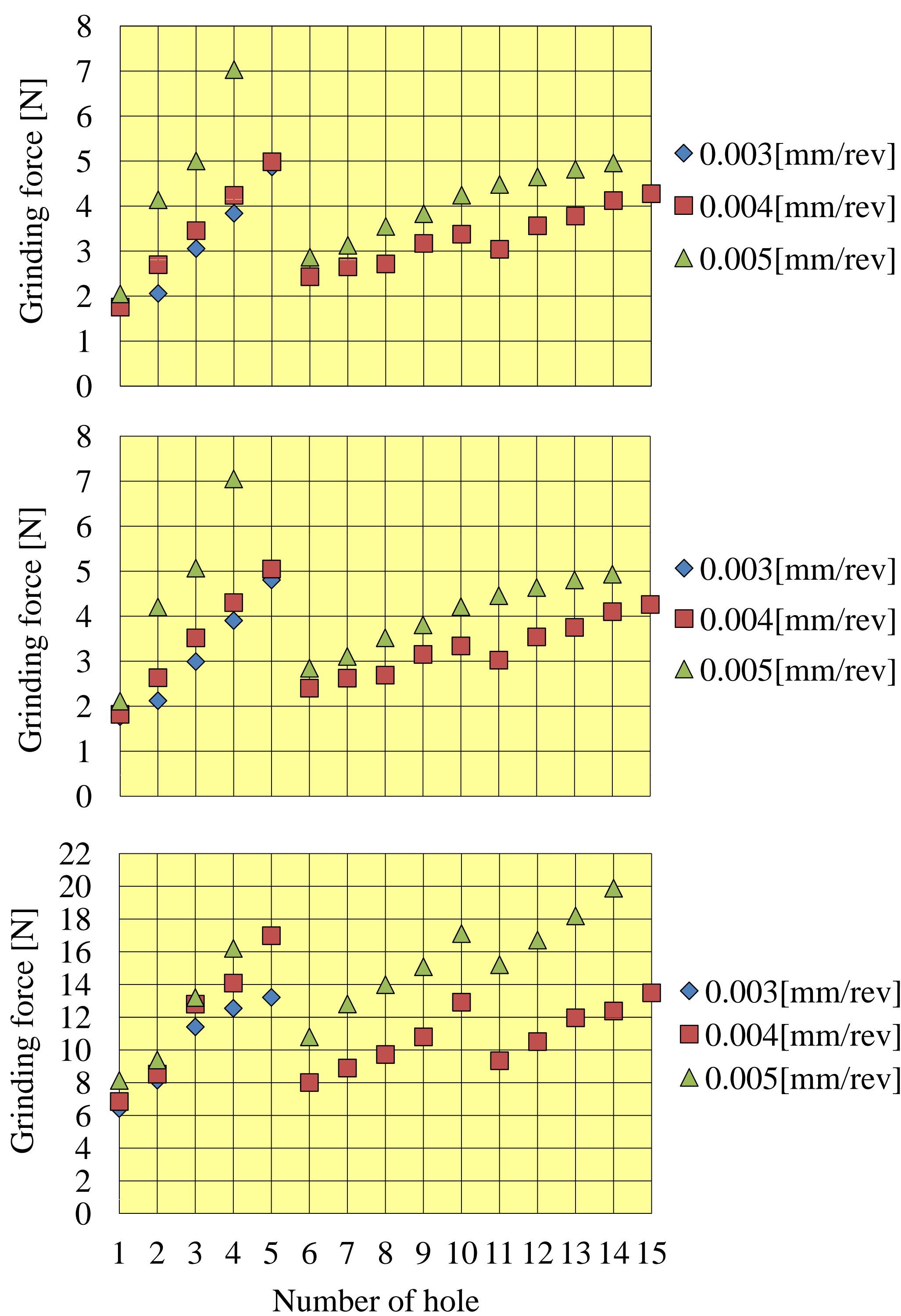


Fig. 5 Grinding force of 3 direction

Top : X direction
Middle : Y direction
bottom : Z direction

b) 5個の穴を加工するごとに砥石の確認を行ったところ、セラミックスの切りくずによる砥石の目詰まりが確認できた。例として、5個目の穴の加工後の写真と洗浄後の様子を図7にそれらを示す。

c) 半径方向 (X方向およびY方向) の研削抵抗値について、貫通穴を5個加工するごとに超音波洗浄機による砥石の洗浄を行ったため、砥石の目詰まりが解消した。それにより6個目と11個目の研削抵抗値が5個目と10個目よりも減少している。それは軸方向 (Z方向) の研削抵抗値に関しても同様のことが言える。

ここで軸方向切り込み量0.005mm/revで加工した際に発生している研削抵抗値に関して、10個目と11個目の半径方向の研削抵抗値の洗浄効果が見られない。これは砥石の目詰まりではなく砥石の摩耗の影響が顕著であると考えられる。

d) 最も懸念している軸方向の研削抵抗値を見てみると、最も大きな切り込み量0.005mm/revで加工した際のものが最も大きい。また、0.003mm/revで加工した際は5個目で工具が破損してしまっているため、0.004mm/revで加工した際が最も安定している。

e) 加工開始面および終了面の寸法を S および L として表5および表6にまとめた。また、テーパ形状を $(S - L)$ と定義し、表7にまとめた。2.6mmで貫通後、0.2mm多く加工することによりテーパ形状の改善を試みた。昨年度の加工条件を用いて同じ環境下で加工を行ったところ、開始面 (S) と終了面 (L) の差が100 μm の差が見られたが、本年度の条件を用いた結果それぞれの切り込み量で50 μm 以下にまで低減することができた。

これらの中で周囲の値とはかけ離れている特異点のような値がある。例えば0.004mm/revで加工した際の2~5個目のような値である。これらは砥石の摩耗や工具の動的振れの影響もあると思われるが、測定誤差の影響も多いと考えられる。

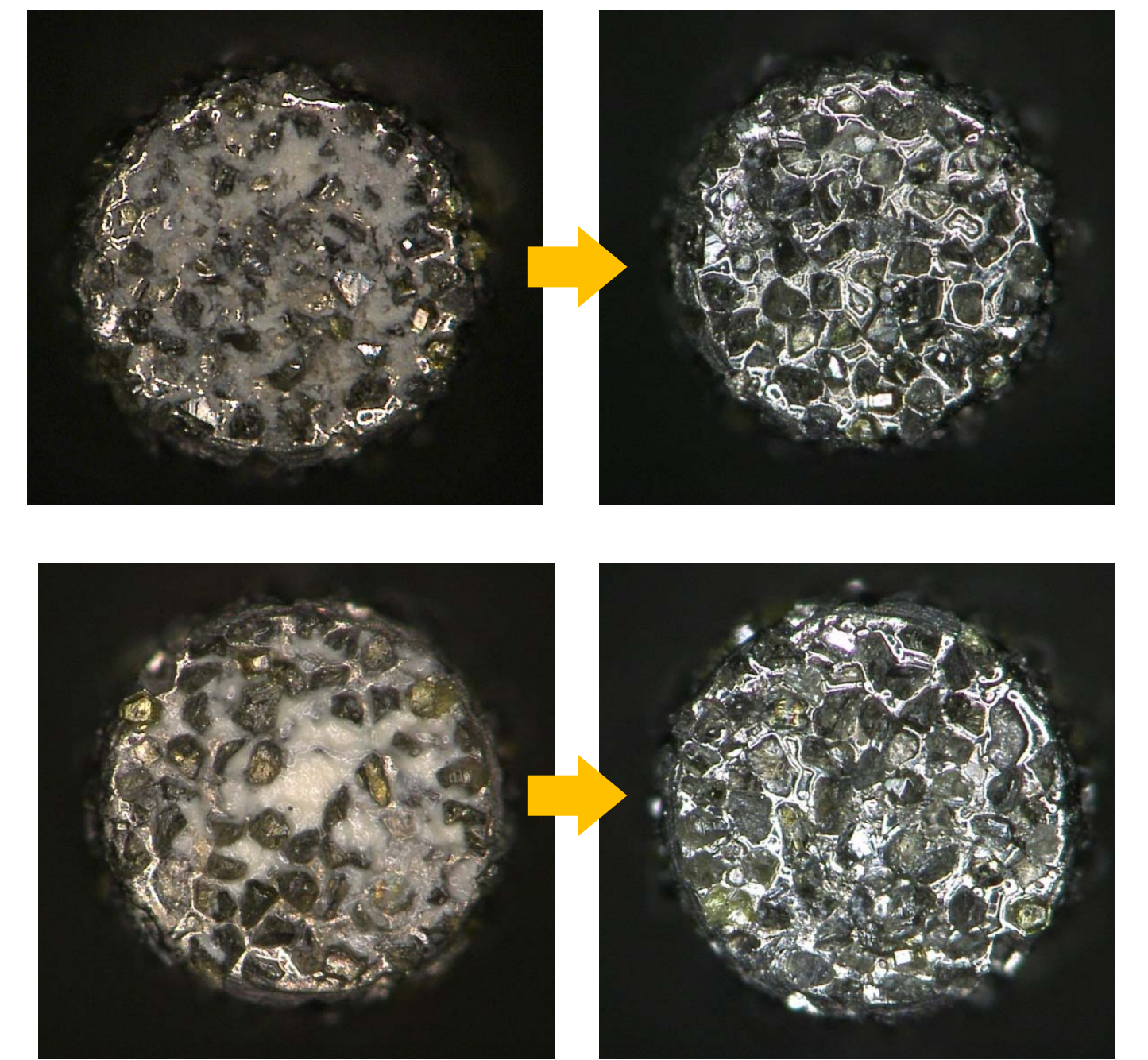


Fig. 7 Grinding stone

Top : 0.004mm/rev at 5 hole
Bottom : 0.005mm/rev at 5 hole

Table 5 Diameter S of processing start surface

Hole	δ_d [mm/rev]		
	0.003	0.004	0.005
	S [mm]		
1	1.047	1.035	1.012
2	1.043	1.006	1.027
3	1.034	1.006	1.007
4	1.020	1.008	1.001
5	1.013	1.003	
6		1.019	1.014
7		1.016	1.012
8		1.015	1.007
9		1.022	1.000
10		1.009	0.990
11		1.022	0.995
12		1.030	0.989
13		1.016	0.988
14		1.013	0.986
15		1.017	

Table 6 Diameter L of processing finish surface

Hole	δ_d [mm/rev]		
	0.003	0.004	0.005
	L [mm]		
1	1.001	1.023	0.993
2	0.998	1.013	0.991
3	0.997	1.007	0.991
4	0.988	1.004	0.981
5	0.989	1.002	
6		0.999	0.977
7		0.989	0.985
8		0.984	0.980
9		0.985	0.968
10		0.982	0.965
11		1.023	0.967
12		0.992	0.964
13		0.998	0.968
14		0.995	0.971
15		1.004	

Table 7 ($S - L$)

Hole	δ_d [mm/rev]		
	0.003	0.004	0.005
	$(S-L)$ [μm]		
1	46	12	19
2	45	-7	36
3	37	-1	16
4	12	4	20
5	24	1	11
6		18	37
7		27	27
8		31	27
9		37	32
10		27	25
11		-1	28
12		38	25
13		18	20
14		18	15
15		15	

9 結言および今後の課題

(1) 加工穴の真円度測定

ヘリカル加工は円弧補間を用いているため、真円度がどれほどの信頼性があるのかを確かめなければならない。

また、テーパ形状は改善できていないため工具の動的振れの測定や、測定方法などを検討しなおさなければならない。

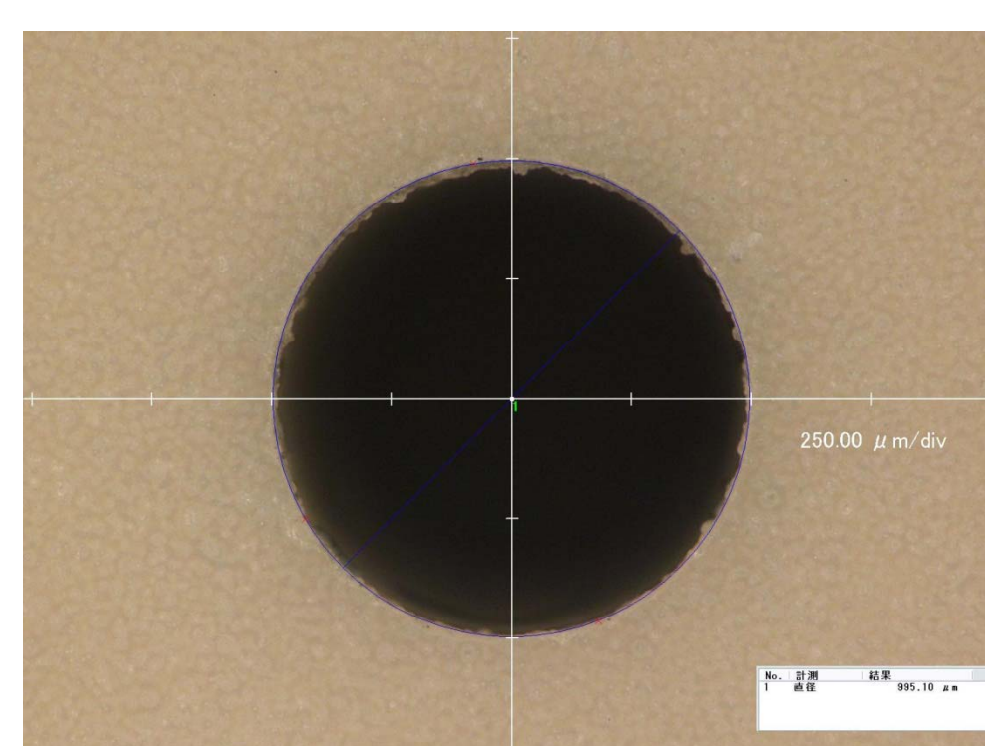


Fig. 6 measure of hole

(2) 加工終了面の割れについての考察

加工が進むにつれて砥石が摩耗し、とくに軸方向の研削抵抗値が増大する。これにより貫通直後の加工穴輪郭に割れが生じる。

この割れは軸方向0.005mm/revで10個目以降から割れが生じていることが確認できているが、数ミクロン単位での観察を行うと10個目の加工以前で発生していることも考えられるため、より高精度な観察が必要となる。

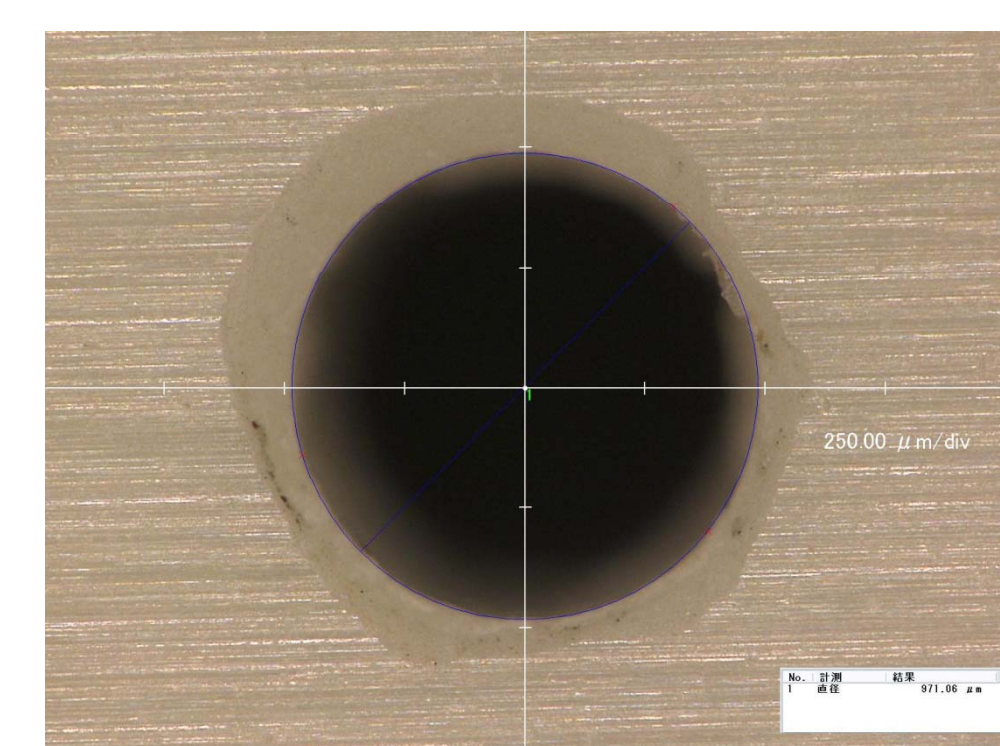


Fig. 7 crack

(3) 切削条件

もっとも重要な検討事項であるが、様々な条件下で研削抵抗値の比較を行い、(1)や(2)の要因もふまえながら追及していかなければならない。