

平成 13 年度卒業論文

トラバースクリープフィード研削特性

高知工科大学

知能機械システム工学科

1030124 辰田 記通

指導教員 松井 敏 教授

目 次

1 . 緒 言	1
1.1 平面研削盤の自動化の現状	1
1.2 砥石と工作物の位置合せの現状	2
1.3 本研究の目的	3
2 . 砥石と工作物の位置合せの自動化	4
2.1 本研究での砥石と工作物の位置合せの方法	4
2.2 前年度までの研究結果	5
3 . 実験方法および実験装置	7
3.1 実験方法	7
3.1.1 研削実験	7
3.1.2 研削抵抗の測定	9
3.1.3 砥石寿命の測定	10
3.1.4 表面粗さの測定	10
3.2 実験装置	10
4 . 実験結果および考察	13
4.1 研削条件と総研削面積（砥石寿命）の関係	13
4.2 研削条件と接線抵抗の関係	20
4.3 研削条件と表面粗さの関係	22
4.4 研削条件と砥石作業面粗さの関係	23
5 . 結 言	24
参考文献	24

1. 緒言

1.1 平面研削盤の自動化の現状

NC 研削盤が出現して以来かなり経つが，切削加工においては，マシニングセンタのように工作物や工具の着脱も含めた全加工作業の自動化が進んでいる．一方，平面研削盤においては研削作業そのものが熟練を要し，手作業によってのみ高精度で高品質な製品が作られるという見方があった．このことが，平面研削盤の NC 化を遅らせてきた要因の一つと思われる．しかし，平面研削盤も CNC 化が進み，総合的な自動化が望まれている．図 1 が NC 平面研削盤の作業工程であり，その工程の一部は自動化されているが，まだ手作業や一部の自動化にとどまっている工程が多い．自動化されていない工程では熟練のカンや経験に依存しているのが現状であり，これらの工程の自動化技術の開発が必要とされている．

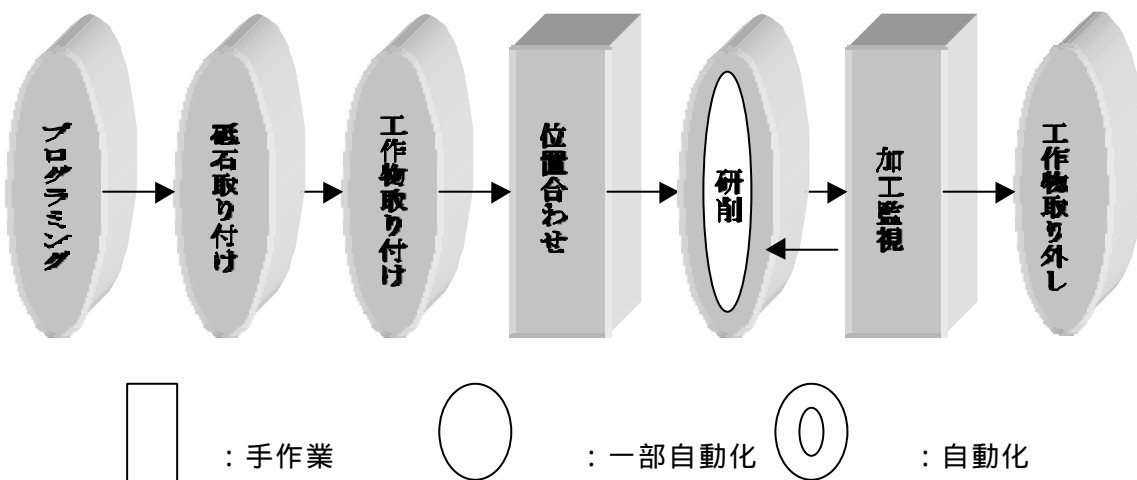


図 1 NC 平面研削盤の作業工程

1.2 砥石と工作物の位置合せの現状

一般に行われる NC 平面研削加工では、決められた加工原点から、砥石がプログラミングされた移動量下降し、研削が始まる。しかし、前工程の熱処理などの加工によって工作物そのものが数 μm から数十 μm 程度の形状誤差が生じている場合がある。このため、加工原点の設定、すなわち砥石と工作物の位置合せが適切でないと、過大切り込みになり研削焼けや砥石作業面の損傷を引き起こす恐れがある。

このような現象を避けるため、図 2 に示すように実際に必要な砥石下降量よりも少なくプログラミングすることが行われるが、エアカット時間が増え能率が低下する。また、図 3 に示すようにあらかじめ工作物の全面に砥石を走査させて最高点を探し出してから、その点を加工原点とする方法もあるが、手作業であるため熟練した経験や、時間が必要である。

また、センサを利用して位置合せ作業を自動化する研究もあるが、これまでの研究で検討されているセンサでは 1 点しか計測できないことや、信頼性の問題などがあり実現していない。

このため、平面研削盤の自動化を進めるには砥石と工作物の位置合せ作業の自動化が課題の一つとなっている。

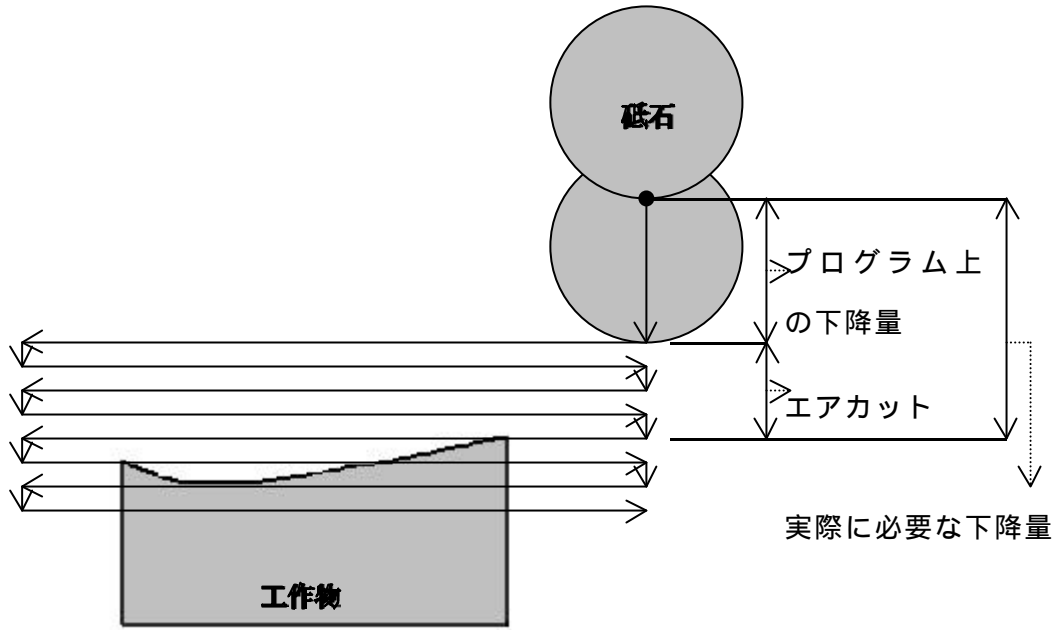


図2 砥石下降量を少なくプログラミングする方法

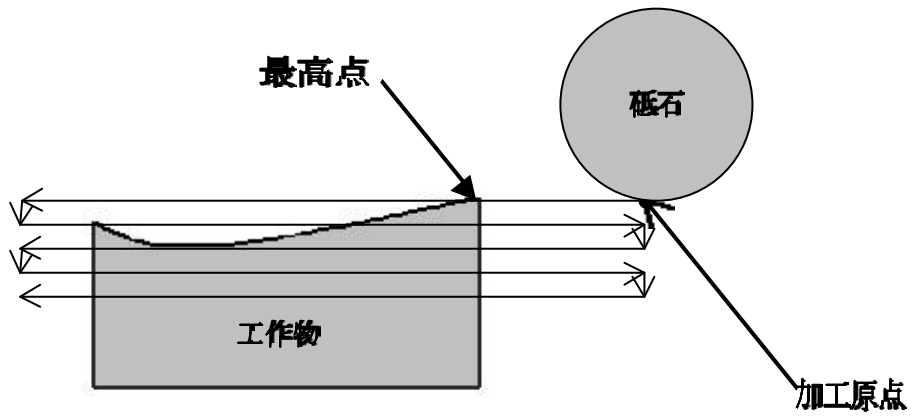


図3 工作物の最高点を加工原点とする方法

1.3 本研究の目的

そこで本研究では、NC 平面研削盤で自動化されていない工程の中で、砥石と工作物の位置合せ作業を自動化するための技術開発を行うことを目的とする。

2. 砥石と工作物の位置合せの自動化

2.1 本研究での砥石と工作物の位置合せの方法

センサを使用する自動化は、信頼性の問題などがあるため、センサを使用しないで位置合せを自動化する方法を検討した。その方法として、図4に示すようなクリープフィード研削を応用することを考えた。

一般のクリープフィード研削は、普通研削の数十倍から数百倍の切込み量を与えるとともに非常に遅い速度でテーブルを送り、それによって工作物を1パスで加工する研削方法である。この方法では、切込み量が非常に大きいため工作物表面に多少の形状誤差があったとしても、その影響を受けずに研削できる可能性がある。したがって、砥石と工作物を正確に位置合せしなくても研削でき、実質的に位置合わせ作業を自動化するのと同じ効果が得られるのではないかと考えた。

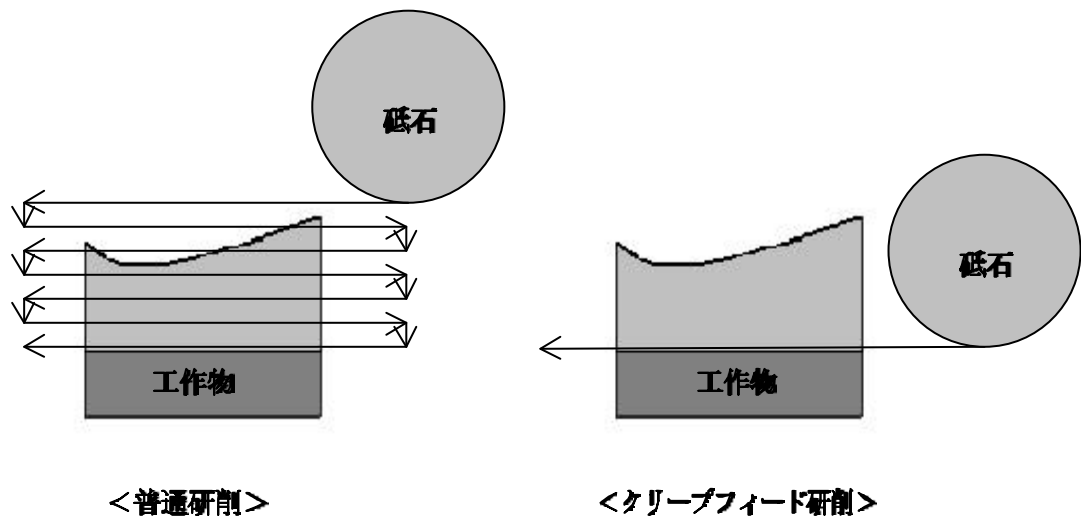


図4 普通研削とクリープフィード研削

2.2 前年度までの研究結果

これまで、クリープフィード研削が用いられるのはプランジ研削がほとんどで、トラバース研削に使用された例は見られなかったが、前年度までの研究で、トラバースクリープフィード研削について、以下の結果を得ている。

1) トラバースクリープフィード研削の研削限界の関係

図5に示すように、テーブル速度と切込み量の積がある値以下であれば研削可能である。

2) 研削能率

普通研削と同等以上の研削能率を得られる。

3) ドレッシング条件と砥石寿命の関係

図6に示すように、ドレッシング送り速度やドレッシング切込み量を大きくすると、砥石寿命（総研削量）が延びる。また、ドレッシング送り速度を500mm/minにすると、目標であるチャック面積に相当する工作物を、途中でドレッシングすることなく研削できる。

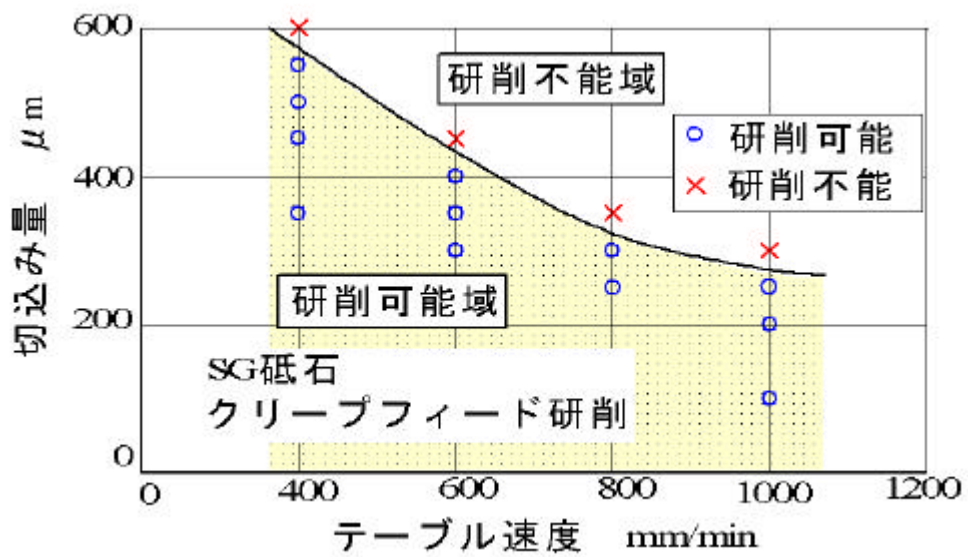


図5 クリープフィード研削の研削限界

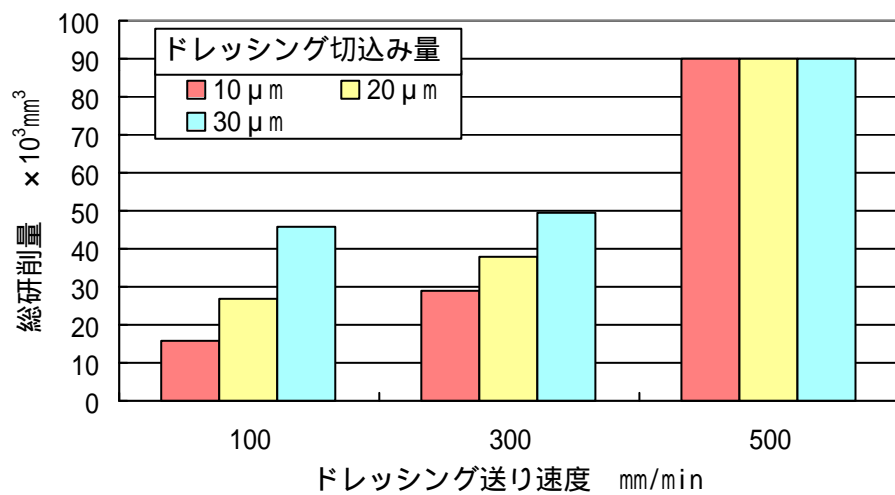


図6 ドレッシング送り速度と総研削量（砥石寿命）の関係

3．実験方法および実験装置

3.1 実験方法

本研究は、砥石と工作物の位置合わせを自動化することが目的であるので、1度工作物の全面を粗研削することができれば、それ以降はクリープフィード研削を行う必要はない。今回実験で使用する研削盤の加工可能な工作物最大寸法は、チャックと同じ寸法で、幅 300mm×長さ 600mm である。したがって、この寸法に相当する面積を途中でドレッシングすることなく、トラバースクリープフィード研削することを目標として、研削条件が砥石寿命などに及ぼす影響を調査した。

3.1.1 研削実験

工作物を、チャックの上に設置した3成分動力計に固定して研削を行った。

送り量を一定にすれば、研削能率は切込み量とテーブル速度の積で表される。そこで、研削能率が同じになるような切込み量とテーブル速度の組み合わせを数種類選び、その組み合わせが砥石寿命などに及ぼす影響を調べた。今回は、研削能率が $150 \times 103 \text{mm}^2/\text{min}$ および $220 \times 103 \text{mm}^2/\text{min}$ になるような組み合わせをそれぞれ5種類選んで実験した。ドレッシング条件は、前年度の研究で送り速度を $500 \text{mm}/\text{min}$ にすれば途中でドレッシングすることなく、今回目標としている面積まで研削できることが分かっているので、この条件を採用した。表1にドレッシング条件、表2にクリープフィード研削条件を示す。

研削には、幅 100mm×長さ 150mm の工作物の全面を、送り量 25mm でアップカットのみ4回クリープフィード研削するプログラムを使用した。

今回使用した研削盤は、クリープフィード用モータの電流値が基準の数値を超えた場合に、テーブルが停止する機構になっている。前々年度の研究から、テーブル停止時の研削抵抗は、接線抵抗で 170N 前後であることが求められているので、接線抵抗が 170N に達するか、目標の面積に達するまで研削を行った。

表1 ドレッシング条件

ドレッサ	単石ドレッサ
切込み回数	6回
切込み量	30 μ m
送り速度	500mm/min

表2 クリープフィード研削条件

研削砥石	3SG46I12V クレノートン 305mm \times 32mm \times 76.2mm	
研削液	シンセティック 870 ユシロ化学工業 希釈率 20 倍	
工作物	S50C 幅 100mm \times 長さ 150mm	
研削能率 (テーブル速度 \times 切込み量) (mm/min \times μ m)	150 \times 103mm ² /min (条件 1)	200 \times 750, 300 \times 500, 400 \times 375, 500 \times 300, 600 \times 250
	220 \times 103mm ² /min (条件 2)	300 \times 730, 400 \times 550, 500 \times 440, 600 \times 370, 700 \times 310
送り量	25mm \times 4 回	

3.1.2 研削抵抗の測定

3 成分動力計からの信号をチャージアンプで増幅し，オシログラフィックレコーダとパソコンに接続したデータ収集システムを使用して研削抵抗を記録した．

研削抵抗は図 7 に示すようなアナログ波形と，表計算ソフトに数値として出力する 2 種類の記録方法を使用した．アナログ波形は研削中の研削抵抗を監視するために使用し，表計算ソフトに数値として出力したものは，研削抵抗のグラフを作成するために使用した．

図 7 に示すように，アナログ波形の研削抵抗の波形は研削中と研削外とに分けられる．そこで，1 パス分の研削中の波形を図 8 のように 3 等分し，A,B,C それぞれの部分の平均値で研削抵抗を示した．

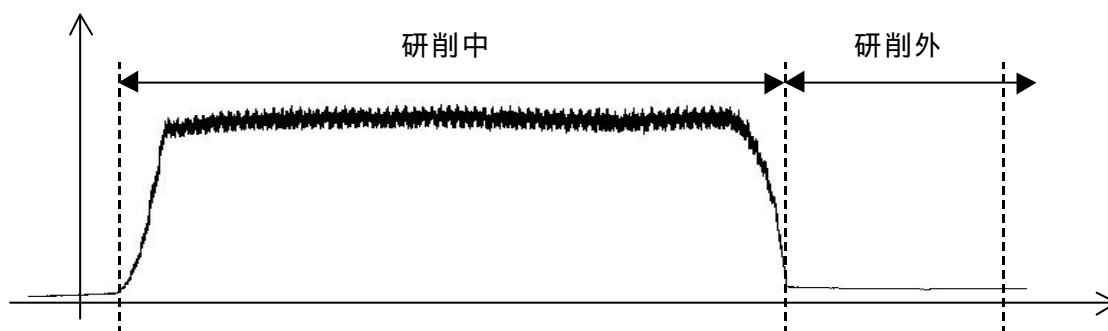


図 7 記録される研削抵抗波形

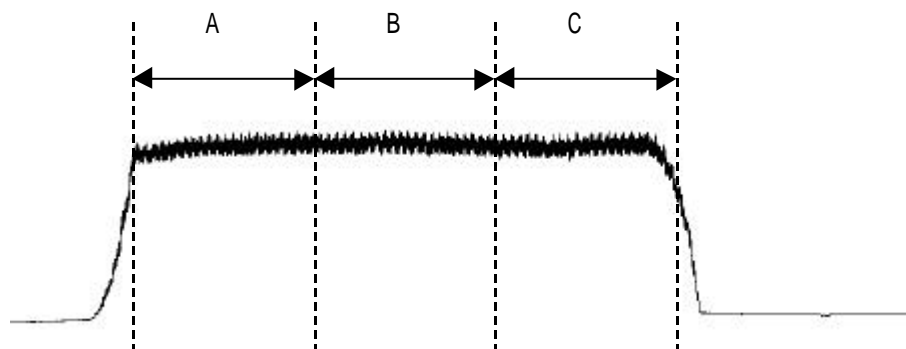


図 8 研削抵抗波形の分割

3.1.3 砥石寿命の測定

砥石寿命の判定には、研削抵抗を使用した。

前年度は、接線抵抗が急激に変動し始める時点で砥石寿命と判定し、その時点までの総研削量で砥石寿命を表した。しかし、今回は研削能率が同じになるようにテーブル速度と切込み量を変えて実験しているため、同じ面積を研削してもその時点までの総研削量は各条件で異なることになる。そこで、今回は砥石寿命と判定した時点までの総研削面積で砥石寿命を表すことにした。

3.1.4 表面粗さの測定

表面粗さの測定は、最初の研削面の1パス目と、最終研削面の最終パスの測定を行い、両者を比較した。また、それぞれの場所で3箇所ずつ測定し、平均値を使用した。

また、研削終了後に砥石作業面粗さを測定した。砥石作業面粗さの測定は、全研削終了後にカーボンをブランチ研削し、その研削したカーボンの表面粗さを測定して求めた。

3.2 実験装置

本研究に使用したNC平面研削盤の型式と本体仕様を表3に、外観写真を図9に示す。また使用した測定機器の型式・仕様を表4に、写真を図10から図13に示す。

ドレッサはドレッサ摩擦の影響をなくすために、図14に示す自転形単石ドレッシング装置を使用し、1回の実験ごとにドレッシングを行った。

また、前々年度の研究から、研削開始点に研削液を十分に供給する必要性が指摘されているので、今回の実験にも、図15に示すクーラントガイドを使用した。

表 3 NC 平面研削盤の仕様

本体製造元	日立精工株式会社
型式	GHL-NB306M (FANUC Series0-MC 付)
テーブル作業面積 (長さ × 幅)	600mm × 300mm
テーブル左右送り速度	2 ~ 25m/min
砥石の大きさ (外形 × 幅 × 内径)	305mm × 32mm × 76.2mm
砥石回転数	1800min ⁻¹
砥石軸用電動機	AC 3.7kW
テーブル駆動方式	油圧送り
クリープフィード方式	ピニオン・ラック送り
クリープフィード用電動機	100W (安川電機製)
クリープフィード送り速度	10 ~ 1000mm/min



図 9 NC 平面研削盤の外観

表 4 使用した測定機の型式・仕様

測定機器	型式 (製造元)	仕様	
		測定範囲	
3成分動力計	9254 (KISTLER)	測定範囲	Fx, Fy - 500 ~ 500N Fz - 1000 ~ 1000N
マルチチャンネル チャージアンプ	5019B (KISTLER)	チャンネル数	最大 3 チャンネル
		測定範囲	±10 ~ 999000pC
オシログラフィック レコーダ	OR1400 (横河電気)	チャンネル数	最大 8 チャンネル
表面粗さ形状測定機	SARFCOM 480A - 12 (東京精密)	測定範囲	X 軸 (横方向) 100mm Y 軸 (縦方向) 800 μm
		記録倍率	縦方向 50000 倍 横方向 2000 倍
データ収集システム	NR - 2000 (KEYENCE)	チャンネル数	最大 16 チャンネル
		測定レンジ	±0.25 ~ ±10V



図 10 3成分動力計

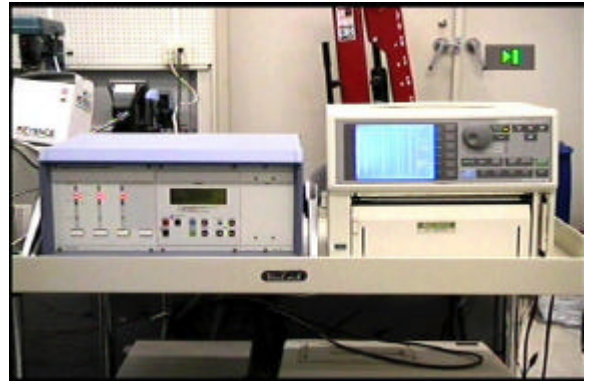


図 11 チャージアンプ(左)と
オシログラフィックレコーダ(右)



図 12 表面粗さ形状測定器



図 13 データ収集システム



図 14 自転形単石ドレッシング装置

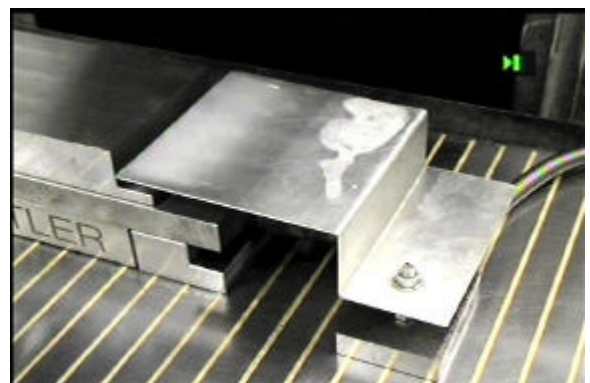


図 15 クーラントガイド

4．実験結果および考察

4.1 研削条件と総研削面積（砥石寿命）の関係

図 16 は，研削能率が $150 \times 103 \text{mm}^2/\text{min}$ になるように，図 17 は研削能率が $220 \times 103 \text{mm}^2/\text{min}$ になるように，それぞれ 5 通りのテーブル速度と切込み量の組み合わせを選んだときの，研削面積と接線抵抗の関係を示す．

グラフが途中で終わっているものは，その段階で接線抵抗が 170N に達したため，実験を終了したものである．

図 16 の (A) や図 17 の (A), (B) では，それぞれの図に破線で示したように，接線抵抗が 140N 前後から急激に変動するという顕著な現象がみられる．この部分では，研削中の火花，研削音ともに非常に激しくなった．しかし，研削抵抗が急増してから数秒後までに，火花も研削音もおさまり，研削抵抗も増加する前より低い値まで減少した．

研削抵抗が減少した原因としては，過大な研削抵抗のため，砥石作業面に目こぼれが発生したためと考えられる．しかしながら，この場合は，正常な自生作用と違って，過大抵抗による砥粒の脱落や破砕であるため，研削焼けなどの不良が生じる場合がある．実際の研削面にも，研削焼けが確認できた箇所があったので，正常な研削状態とは言えない．したがって，このような現象が発生した場合は，砥石寿命と判断した．

したがって，図 16 (A) の場合は，総研削面積が $109 \times 103 \text{mm}^2$ の時点，図 17 (A) の場合は，総研削面積が $86 \times 103 \text{mm}^2$ の時点，図 17 (B) の場合は，総研削面積が $139 \times 103 \text{mm}^2$ の時点で砥石寿命と判断した．

図 18 は，図 16 と図 17 から研削条件（テーブル速度と切込み量の組合せ）と総研削面積（砥石寿命）の関係を求めたものである．

図より，テーブル速度を遅くし，切込み量を大きくすると，砥石寿命が短くなり，逆にテーブル速度を速くし，切込み量を小さくすると，砥石寿命が延びることが分かる．

この原因は次のように考えられる。すなわち，平面研削加工における接触弧の長さ
と最大切り屑厚さは，

$$l = \sqrt{Dt}$$

$$t_{\max} = 2\mu \frac{v}{V} \sqrt{\frac{t}{D}}$$

ここで， l ：接触弧の長さ

D ：砥石直径

t ：切込み量

t_{\max} ：最大切り屑厚さ

v ：テーブル速度

V ：砥石周速度

μ ：平均砥粒間隔

で表される。これから，接触弧の長さは切込み量が大きいほど長くなる。また，切り屑厚さは切込み量に比べてテーブル速度の影響を大きく受けるため，切込み量が大きくテーブル速度が遅いほど薄くなる。したがって，切込み量が大きくテーブル速度が遅いほど，接触弧の長さが長く，切り屑厚さが薄くなり，砥粒は破碎や脱落をするよりもすり減り摩擦をする傾向が強くなるものと予測される。このため，砥粒切れ刃先端は摩滅して切れ味が低下するものと考えられる。このことが，切込み量が大きく，テーブル速度が遅い条件で砥石寿命が短くなる原因と考えられる。

以上の結果より，研削能率が $150 \times 103 \text{mm}^2/\text{min}$ の場合は，テーブル速度が $300 \text{mm}/\text{min}$ より大きい条件と，切込み量が $500 \mu\text{m}$ より小さい条件の組合せのときに，研削能率が $220 \times 103 \text{mm}^2$ の場合は，テーブル速度が $500 \text{mm}/\text{min}$ より大きい条件と，切込み量が $440 \mu\text{m}$ より小さい条件の組合せのときに，目標面積の工作物を途中でドレッシングすることなく研削できることが，明らかになった。

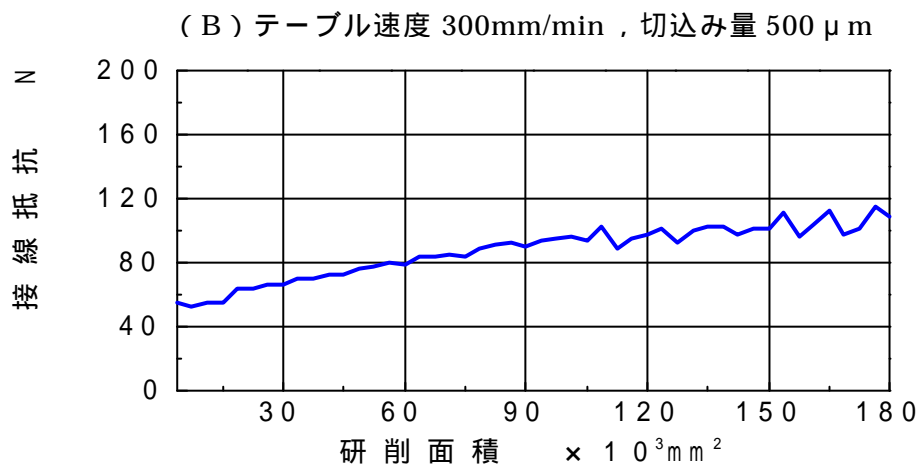
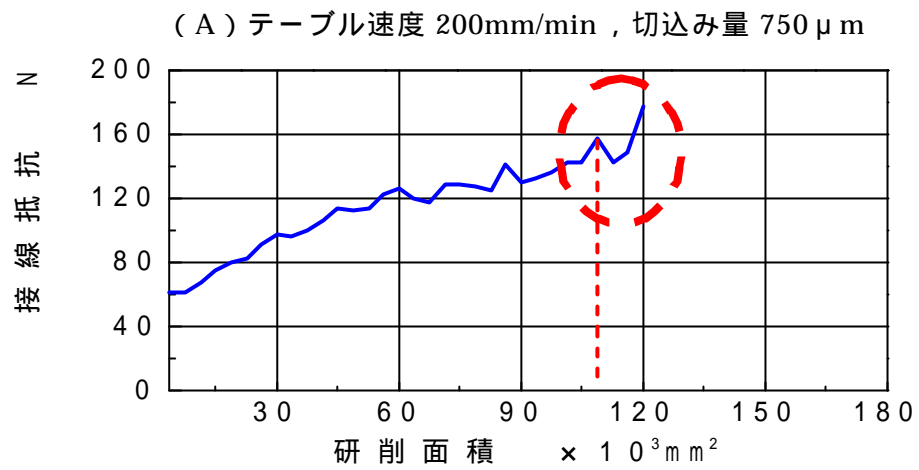


図 16 (1) 研削面積と接線抵抗の関係 (研削能率 $150 \times 10^3 \text{ mm}^2/\text{min}$ の場合)

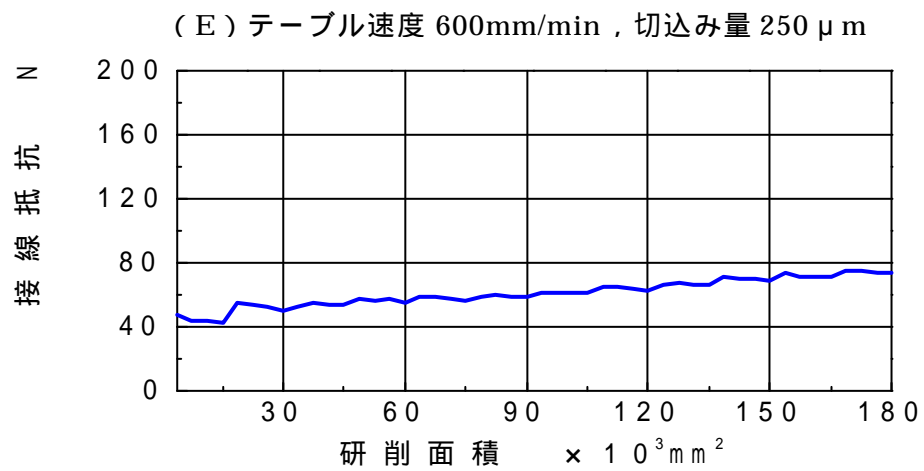
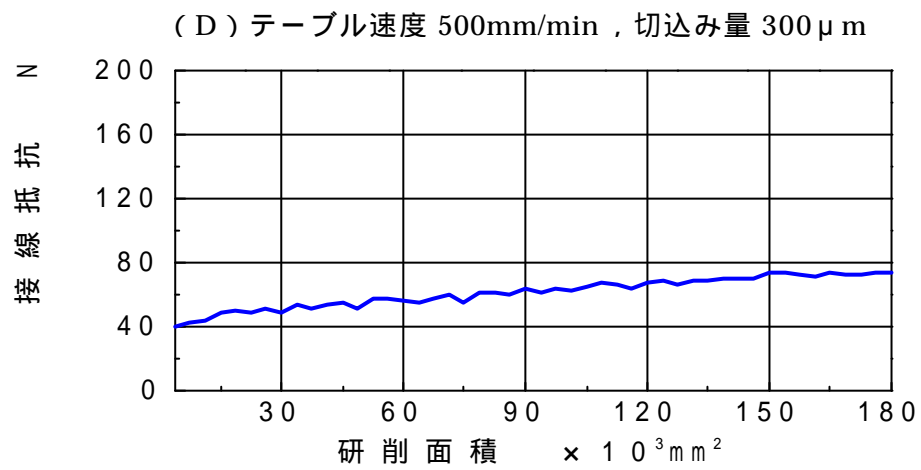
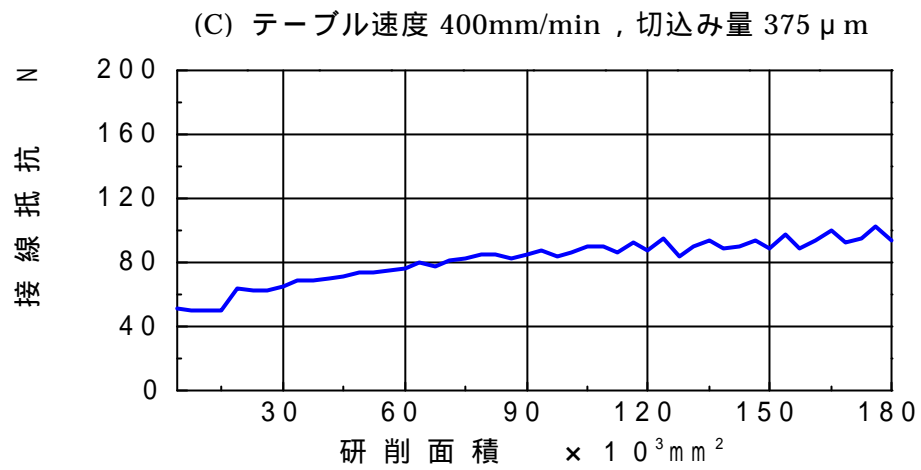


図 16 (2) 研削面積と接線抵抗の関係 (研削能率 $150 \times 10^3 \text{mm}^2/\text{min}$ の場合)

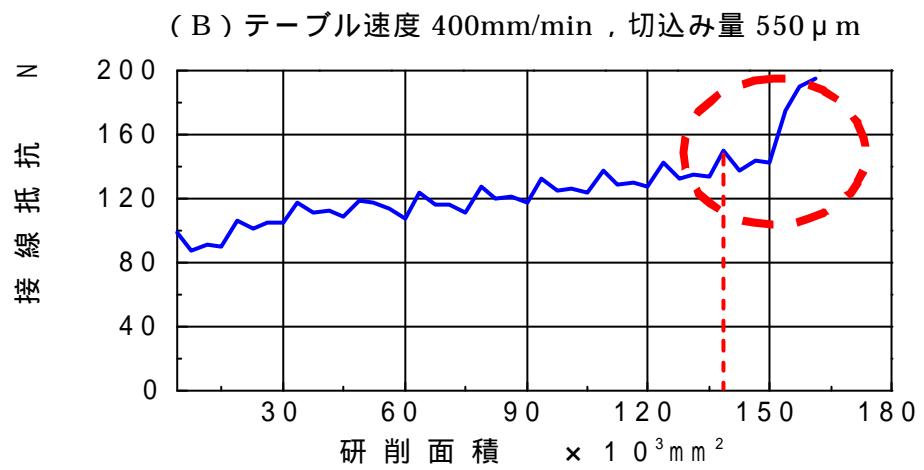
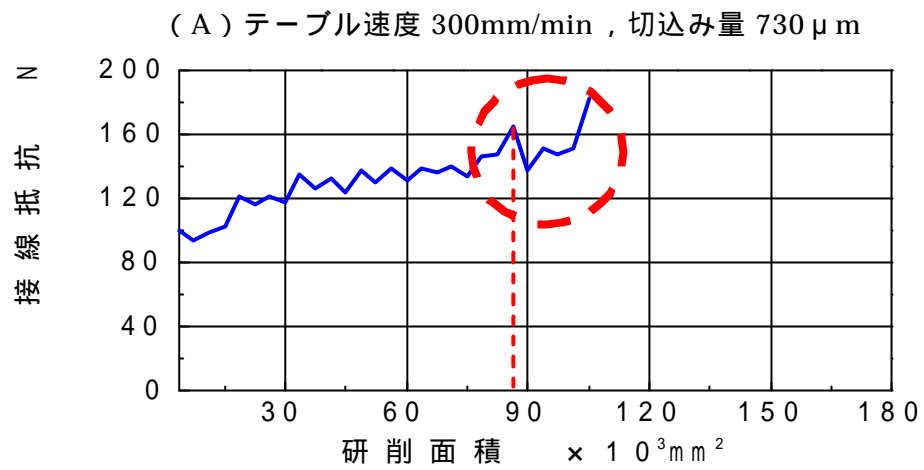


図 17 (1) 研削面積と接線抵抗の関係 (研削能率 220 × 103mm²/min の場合)

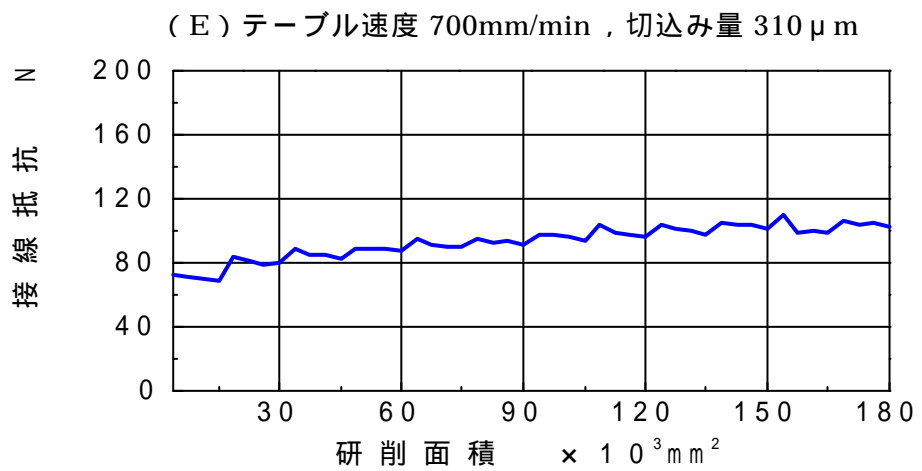
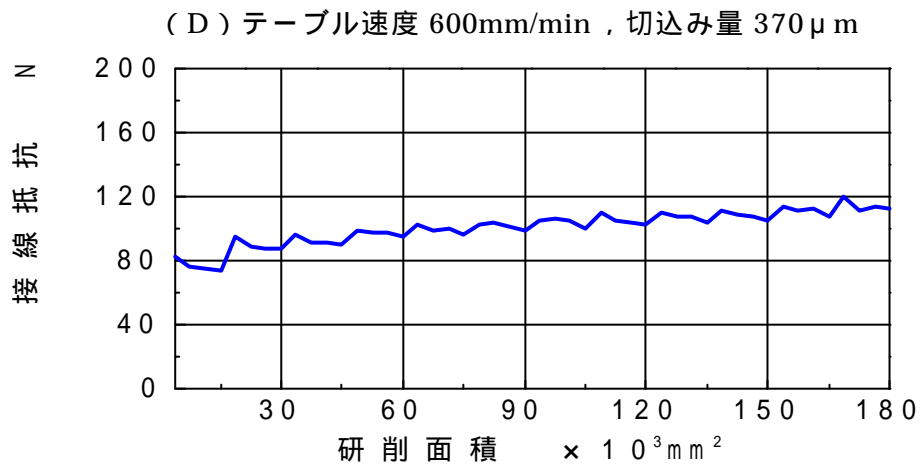
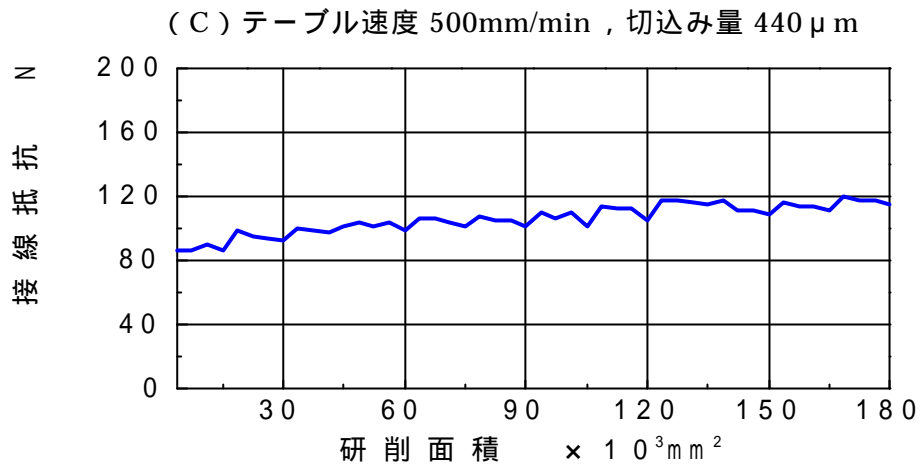


図 17 (2) 研削面積と接線抵抗の関係 (研削能率 $220 \times 103 \text{mm}^2/\text{min}$ の場合)

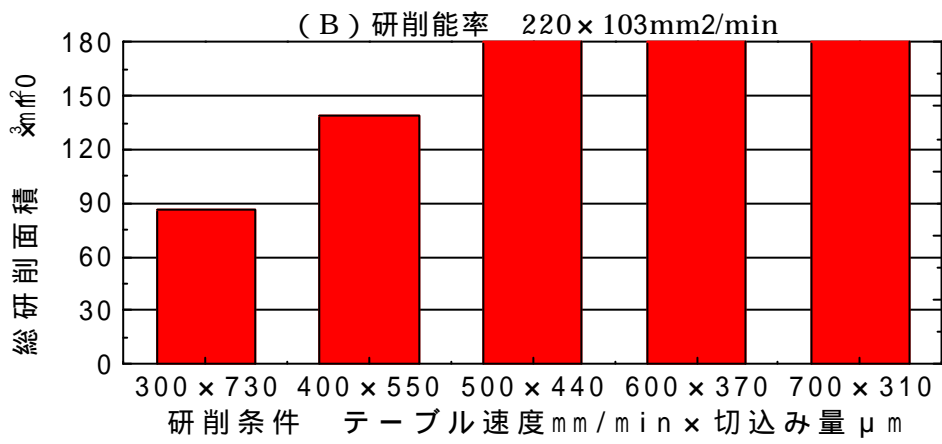
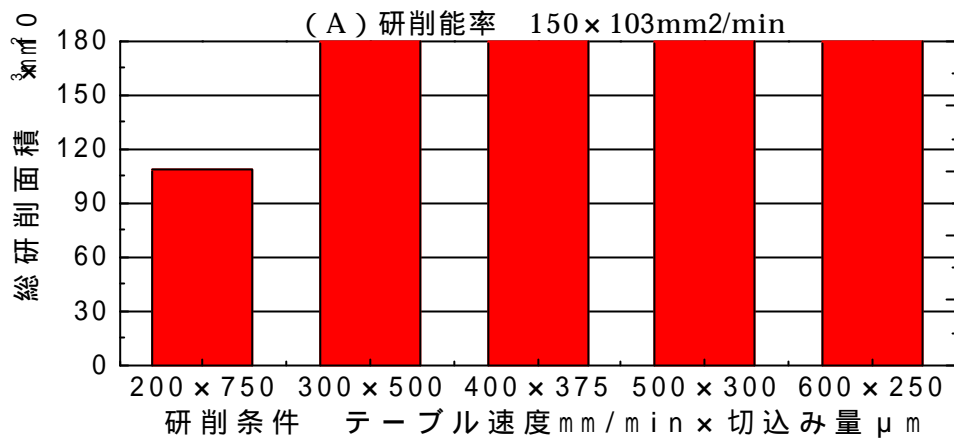


図 18 研削条件と総研削面積（砥石寿命）の関係

4.2 研削条件と接線抵抗の関係

図 19 は研削条件（テーブル速度と切込み量の組合せ）と接線抵抗の関係を示している。図より、切込み量が小さくテーブル速度が速い組合せの方が、接線抵抗が小さくなっている。

研削抵抗の理論式の一例として次式がある。

$$F_t = k_0 B \mu^{-0.5} t^{0.88} \left(\frac{v}{V} \right)^{0.75} D^{0.13}$$

ここで、 F_t ：接線抵抗

k_0 ：定数

B ：研削幅

これから、接線抵抗はテーブル速度よりも切込み量の影響をより多く受け、切込み量が小さいほど接線抵抗は小さくなる。このため、テーブル速度×切込み量の値が同じになるようにこの 2 つの条件を変えて研削した場合は、切込み量を小さくする組合せの方が接線抵抗が小さくなったものと考えられる。

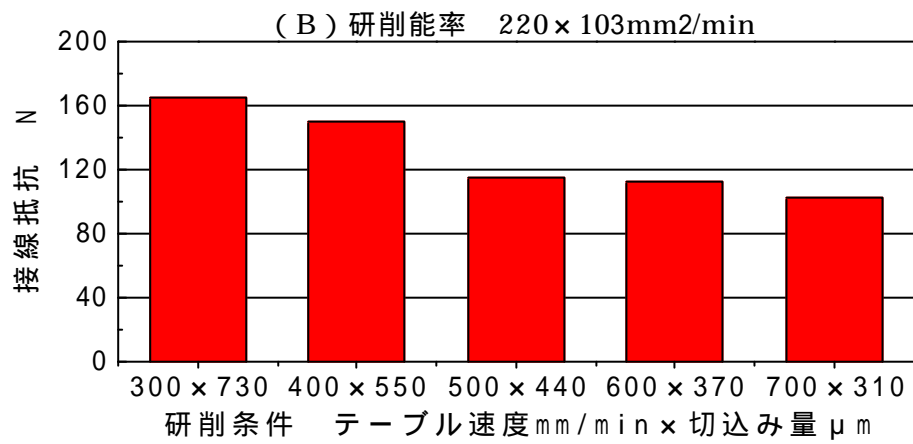
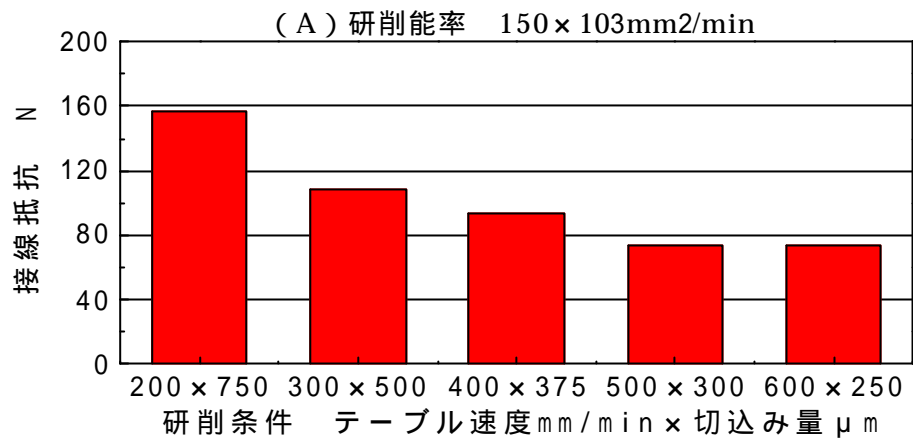


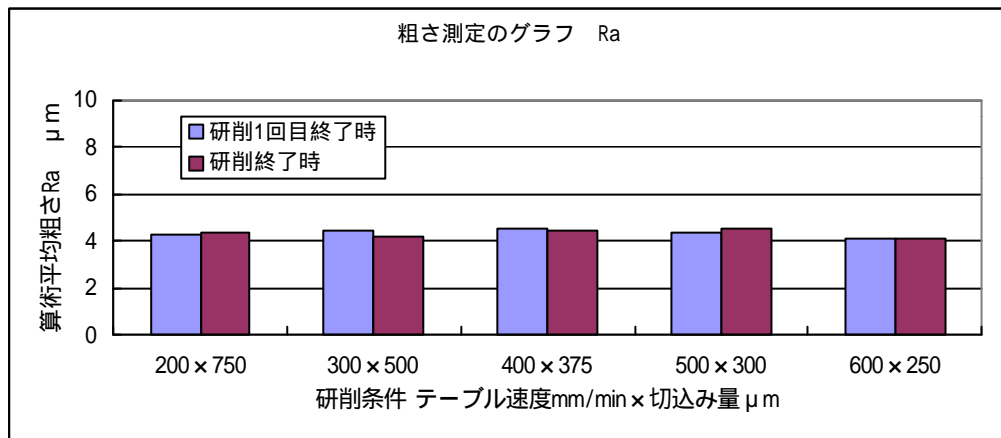
図 19 研削条件（テーブル速度と切込み量の組み合わせ）と接線抵抗の関係

4.3 研削条件と表面粗さの関係

図 20 に研削条件（テーブル速度と切込み量の組合せ）と表面粗さの関係を示す。

図から、どの条件の場合でも表面粗さの数値に大きな差は見られなかった。一方、研削 1 回目終了後と研削終了後を比べると、全体的に、研削終了時の方が表面粗さの数値が小さくなる傾向がある。これは、4.1 節で述べたように、クリープフィード研削は普通研削に比べて接触弧が長く、切り屑厚さが小さいため、砥粒の破碎や脱落よりもする減り摩耗が多くなり、切れ刃先端が平滑化することが原因と考えられる。

(A) 研削能率 $150 \times 103 \text{mm}^2/\text{min}$



(B) 研削能率 $220 \times 103 \text{mm}^2/\text{min}$

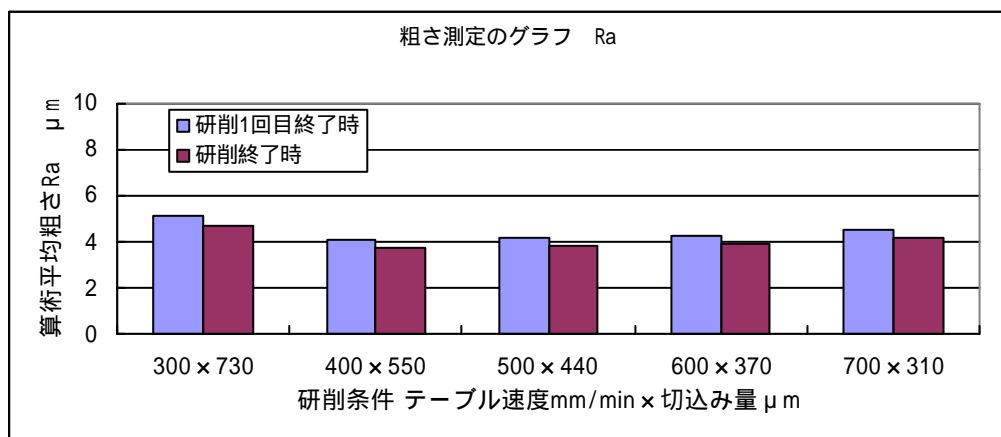


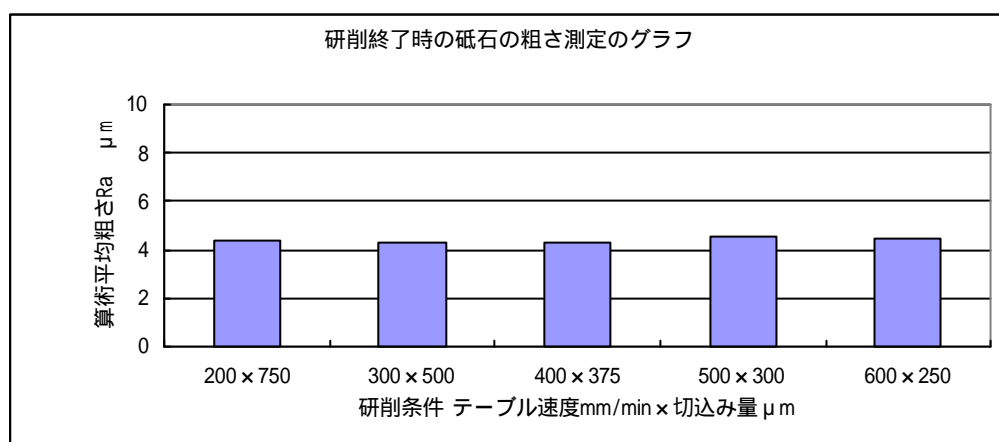
図 20 研削条件（テーブル速度と切込み量の組合せ）と表面粗さの関係

4.4 研削条件と砥石作業面粗さの関係

図 21 に、研削条件（テーブル速度と切込み量の組合せ）と砥石作業面粗さの関係を示す。

図から、砥石作業面粗さは研削条件による大きな違いは見られない。

(A) 研削能率 150×103mm²/min



(B) 研削能率 220×103mm²/min

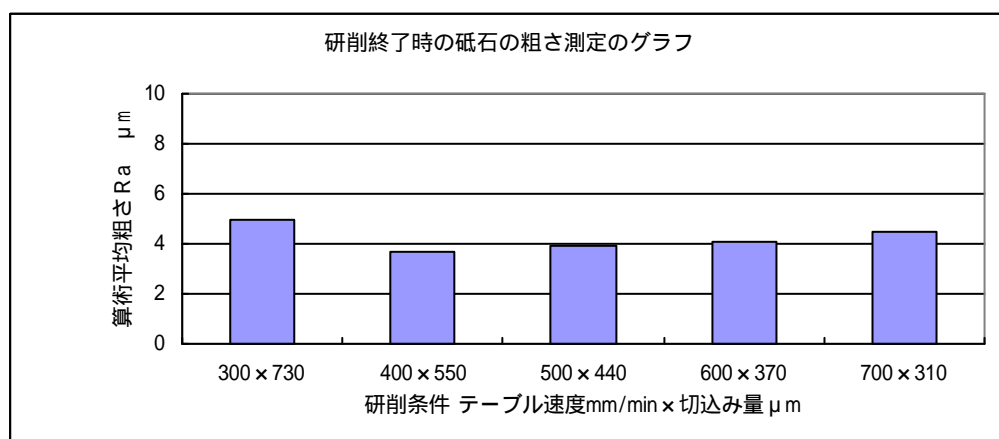


図 21 研削条件（テーブル速度と切込み量の組合せ）と砥石粗さの関係

5. 結 言

チャック面積に相当する工作物を途中でドレッシングすることなくトラバースクリープフィード研削を行うことを目標として、研削条件が砥石寿命等に及ぼす影響を調査した結果、次のようなことがわかった。

- (1) 研削能率が $150 \times 103 \text{mm}^2/\text{min}$ の場合は、テーブル速度が $300 \text{mm}/\text{min}$ 以上と切込み量が $500 \mu\text{m}$ 以下の組合せのときに、研削能率が $220 \times 103 \text{mm}^2/\text{min}$ の場合は、テーブル速度が $500 \text{mm}/\text{min}$ 以上と切込み量が $440 \mu\text{m}$ 以下の組合せのときに、それぞれ途中ドレッシングすることなく目標面積（幅 $300 \text{mm} \times 600 \text{mm}$ ）まで研削できる。
- (2) 切込み量が小さく、テーブル速度が速い組合せの方が、研削抵抗は小さくなり、総研削面積は延びる。
- (3) テーブル速度と切込み量の組合せを変えても、表面粗さや砥石作業面粗さに対する影響はあまり見られない。

今後の課題としては、次のようなことが上げられる。

- (1) 砥石摩耗特性について
- (2) 従来の研削法との総合比較について

参考文献

- 1) 川村 聡，中越順哉：トラバースクリープフィード研削の基礎特性 砥石と工作物位置合わせの効率向上 ，平成 12 年度卒業論文
- 2) 合田昌泰，和田快也：トラバースクリープフィード研削特性，平成 13 年度卒業論文
- 3) 小野浩二：研削仕上 ，槇書店，(1966)，3
- 4) 小野浩二：研削仕上 ，槇書店，(1966)，23