

平成14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

1030109 楠瀬 真司

指導教員 松井 敏

目 次

1. 緒言-----	1
1.1 研削加工自動化の現状-----	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-----	4
2. 砥石位置合せの自動化-----	5
2.1 自動化の考え方-----	5
2.2 前年度までの研究概要-----	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 砥石寿命の判定-----	10
3.1.4 表面粗さの測定-----	10
3.2 実験装置 -----	11
4. 実験結果および考察-----	14
4.1 研削条件と砥石寿命(総研削面積)の関係-----	14
4.2 研削条件と研削抵抗の関係-----	21
4.3 研削条件と工作物表面粗さおよび砥石作業面粗さの関係-----	23
5. 結言-----	26
参考文献-----	26

1. 緒言

1.1 平面研削加工自動化の現状

機械加工の自動化・無人化は、1960年代から1970年代のNC工作機械の普及により急激な発展を遂げた。

機械加工の中で研削加工のNC化は遅れていたが、現在では、研削盤のNC化も進んできた。しかし、図1に示すように、NC平面研削盤において、自動化が実現できているのは、NC制御が行われている研削加工サイクルに関する作業だけであり、その他は一部を除いて自動化されていない。

研削加工は一般に最終仕上工程として用いられるため、熟練した技能者のカンや経験に依存している部分が多く、その作業を代行できる計測装置や制御装置がまだ実現していないことが、NC平面研削盤の自動化を遅らせている要因の一つに挙げられる。

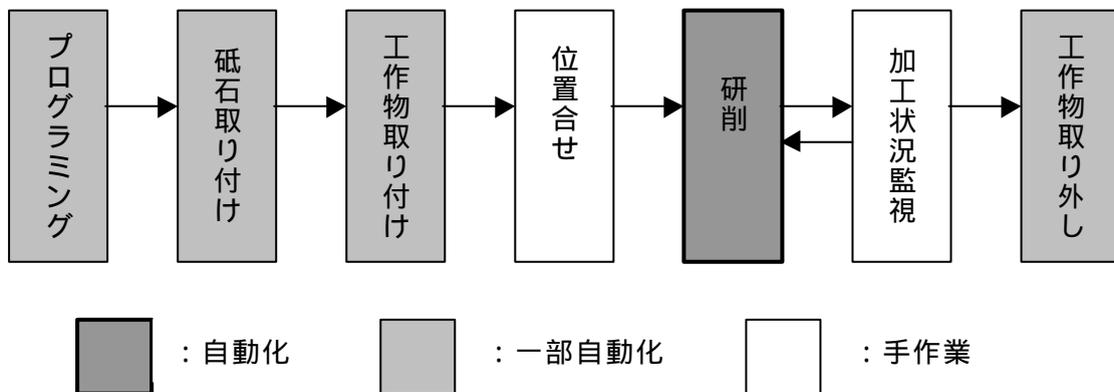


図1 NC平面研削盤の作業手順

1.2 砥石と工作物の位置合せの現状

図1に示した作業手順の中で現在も自動化されていない作業のひとつに、砥石と工作物の位置合わせがある。NC平面研削盤における切込み方向の動きは、図2に示すように、あらかじめ決定された加工原点を基準に、プログラムされた移動量だけ砥石が下降して研削が開始される。

しかし、研削前の工作物表面は、熱処理などによって形状誤差が生じる場合があるため、前もってマイクロメートルオーダで工作物の高さを知ることは難しい。一般に行われる普通研削では、一回の切込み量が数 μm から十数 μm と少ないため、図3に示すように、例えばプログラムで最初の移動量（下降量）を決めた場合、加工面に移動した位置より高い場所があれば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ことがある。

このため、図2に示したように、砥石下降量を図面寸法から算出した値よりも少なくプログラムすることが行われるが、この場合エアカット時間が増えるため能率が低下する。

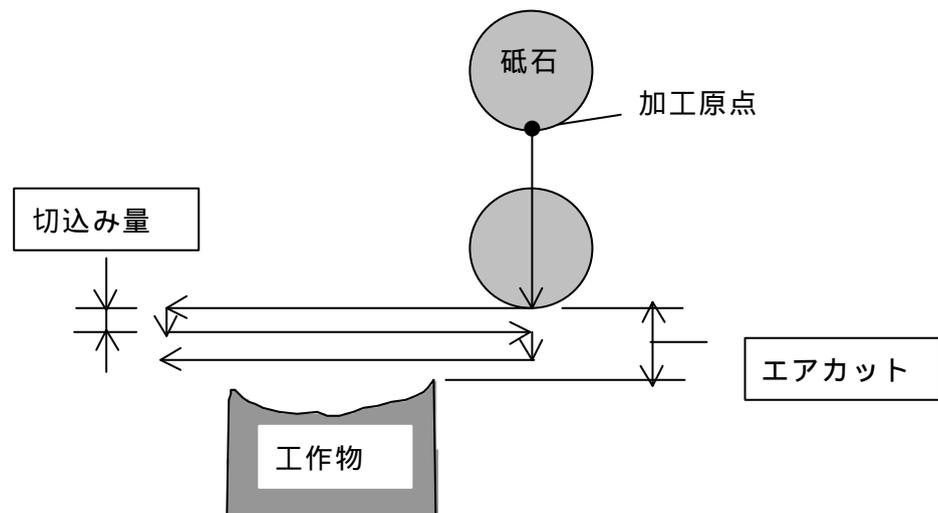


図2 砥石と工作物との位置関係

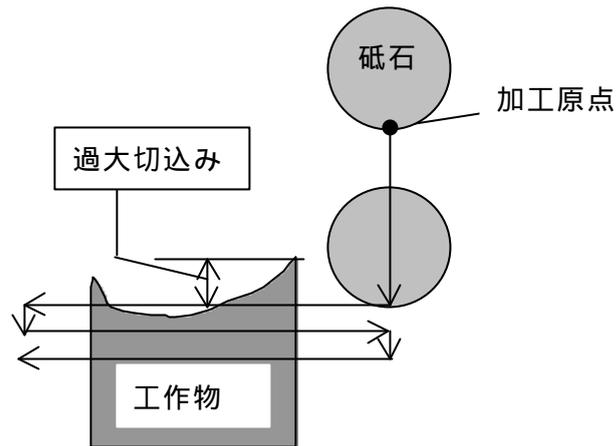


図3 砥石降下量の設定が不適切な場合の状態

能率低下と過大切り込みの両方を防ぐために、図4に示すように、砥石を走査させて工作物の最高点を探し出し、図5に示すように、その高さを加工原点とする方法も行われているが、この作業は、手作業により行われているため、作業者の経験とともに、時間も必要とする。

位置合わせに対する従来の研究としては、センサを利用するものがあるが、これまで研究されているセンサでは一点しか計測できないことや精度の問題などで普及していない。

このように、砥石と工作物の位置合わせ作業は、平面研削盤の自動化を進める上でのひとつの課題となっている。

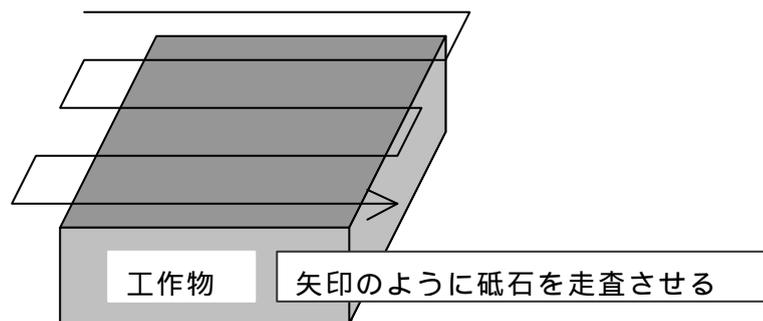


図4 工作物表面の最高点を見つける動き

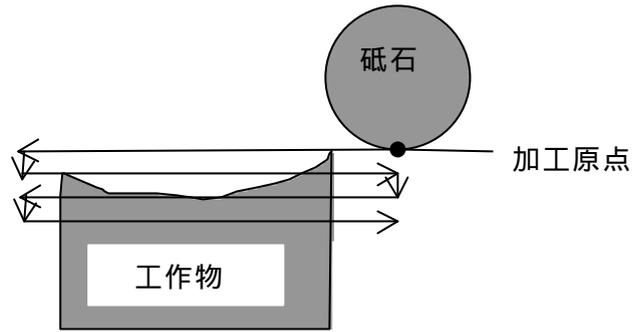


図5 工作物の最高点を加工原点とする研削方法

1.3 本研究の目的

そこで本研究は、NC 平面研削盤で自動化されていない作業の中で、砥石と工作物の位置合わせ作業の自動化を取り上げ、特に、センサを使用しないでこの作業を自動化するための技術を開発することを目的とする。

2. 砥石位置合わせの自動化

2.1 自動化の考え方

砥石と工作物との位置合わせを自動化する方法として、図6に示すクリープフィード研削を応用することを考えた。

クリープフィード研削は、成形研削に用いられる研削方法で、非常に遅い速度でテーブルを送る代わりに、普通研削の数十倍から数百倍の切込み量を与えて、工作物を1パスで加工する研削方法である。このように大きい切込み量を与えるので、研削面に多少の形状誤差があっても、その影響を受けることなく加工できる可能性がある。したがって、砥石と工作物の位置合わせを省略できて、実質的に位置合わせ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。

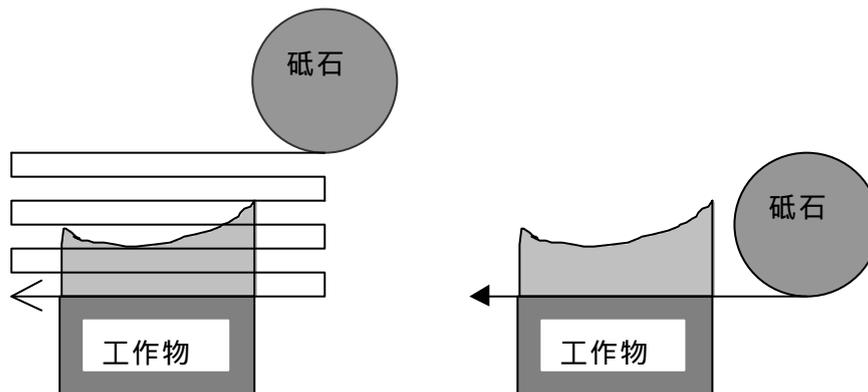


図6 普通研削とクリープフィード研削の違い

2.2 前年度までの研究概要

前年度までの研究¹⁾²⁾で、トラバースクリープフィード研削の特性について、以下の結果を得ている。

研削条件と接線抵抗の関係

テーブル速度 × 切込み量 = 一定となるようにテーブル速度と切込み量を決めれば、接線抵抗もほぼ一定になる。

ドレッシング条件と砥石寿命の関係

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、砥石寿命が延びる。また、ドレッシング送り速度を 500mm/min にすると、チャック面に相当する面積の

工作物を，途中でドレッシングすることなく研削できる．

研削法と研削能率の関係

普通研削と同等以上の研削能率を得られる．

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から，1 度工作物の全面を粗研削できれば，それ以降はクリープフィード研削である必要はない．

今回使用する研削盤の加工可能な工作物最大寸法は，研削盤のチャック面積である幅 300mm×長さ 600mm に相当する．この面積を途中でドレッシングすることなく研削することを目標とし，研削条件と砥石寿命の関係について調査した．

3 . 1 . 1 研削実験

工作物を，チャック上に設置した 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，

$$\text{研削能率} = \text{テーブル速度} \times \text{切込み量}$$

と表すことができる．そこで，研削能率が同じになるようなテーブル速度と切込み量の組合せを数通り選び，その組合せが砥石寿命に及ぼす影響を調査した．

すなわち，上式で表される研削能率が $150 \times 103 \text{mm}^2/\text{min}$ になるようなテーブル速度と切込み量の組合せ（条件 1）と， $220 \times 103 \text{mm}^2/\text{min}$ になるような組合せ（条件 2）をそれぞれ 5 通り選び，この組合せが砥石寿命に及ぼす影響を調べた．実験はそれぞれ 2 回ずつ行い，その平均値で評価した．

ドレッシングについては，前年度の研究で，ドレッシング切込み量を $30 \mu\text{m}$ ，ドレッシング送り速度を $500 \text{mm}/\text{min}$ とすると，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ているので，この条件でドレッシングを行った．

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 の工作物を使用し，送り量 25mm でアップカットのみ 4 回で全面をクリープフィード研削するプログラムを作成した．目標面積を幅 300mm×長さ 600mm と設定しているため，今回使用した幅 100mm×長さ 150mm の工作物では，プログラムを 12 回実行した時点で目標面積となる．

ところで，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（15 A）を超えた場合に，テーブルが停止する構成になっている．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 170 N 前後であることが求められているので，接線抵抗が 170 N に達するか，目標面積に達した時点で研削を中止した．

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×32mm×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×長さ 150mm	
研削能率 (テーブル速度mm/min ×切込み量 μ m)	150 × 103mm ² /min (条件 1)	200 × 750, 300 × 500, 400 × 375, 500 × 300, 600 × 250
	220 × 103mm ² /min (条件 2)	300 × 730, 400 × 550, 500 × 440, 600 × 370, 700 × 310
送り量	25mm × 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計測した．

研削抵抗は図 7 に示すようなアナログ波形として記録されるが，そのままでは分析が困難なため，オシログラフィックレコーダから出力されたアナログ波形を，データ収集システムで数値化し，表計算ソフトを使用して分析した．

図 7 に示すように，アナログ波形は研削中と研削外とに分かれる．そこで，1 パス分の研削中の波形の中（破線の）を図 8 のように 3 等分し，A,B,C それぞれの部分のデータ収集システムで数値化した値の平均値で研削抵抗を示した．

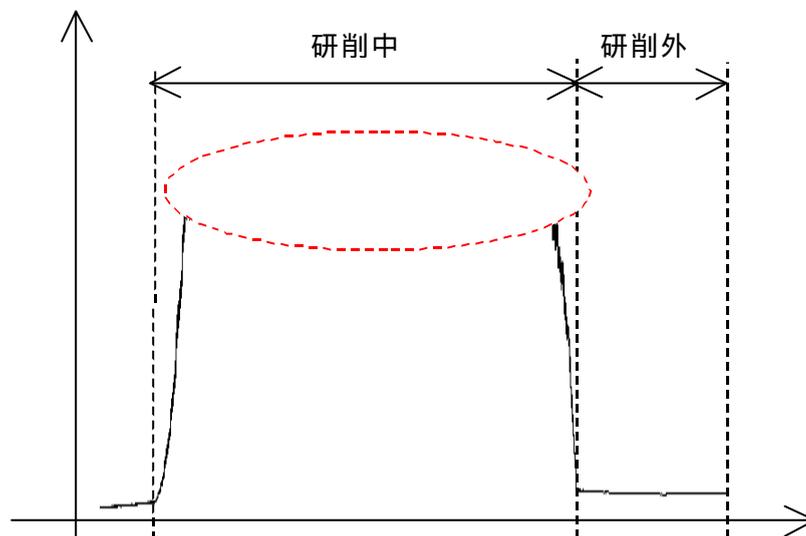


図 7 記録された研削抵抗波形

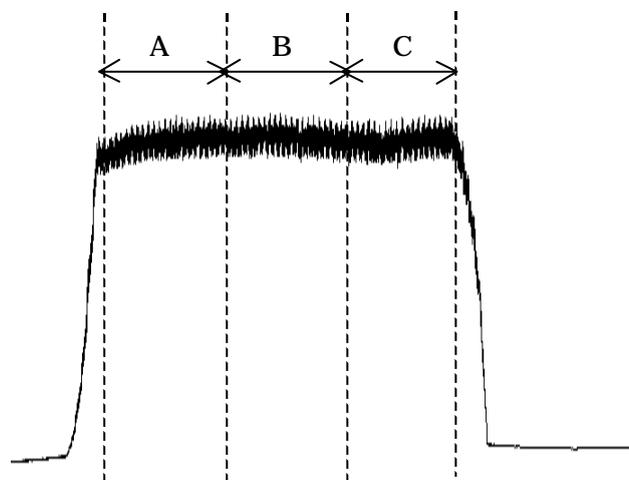


図 8 研削抵抗波形の分割

3.1.3 砥石寿命の判定

砥石寿命の判定には研削抵抗を用いた。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

表面粗さは、1回目研削終了後の研削面の1パス目と、最終研削終了後の研削面の最終パスのひとつ手前のパスの2回行い、両者を比較した。また、それぞれの場合について3箇所ずつ測定し、平均値を求めた。

また、砥石作業面粗さも測定した。作業面粗さは、最終研削終了後の砥石でカーボンを研削し、そのカーボンの表面粗さを砥石作業面粗さとした。

3.2 実験装置

本研究に使用した NC 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，外観写真を図 10～13 に示す．

ドレッサはドレッサ摩耗の影響をなくすために，図 14 に示す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．

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，今回の実験も，図 15 に示すクーラントガイドを使用して行った．

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 (外径 × 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 ~ 1000 mm/min



図9 NC平面研削盤の外観

表4 使用した測定機器の型式・仕様

測定機器	型式	仕様	
		3成分動力計	9254 (KISTLER)
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 (横川電気)	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 Z軸(縦方向) 800μm
		記憶倍率	縦方向 5000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	±0.25V ~ ±10V



図 10 3成分動力計

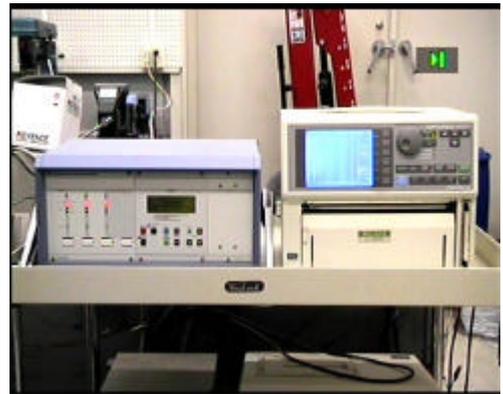


図 11 チャージアンプ(左)と
オシログラフィックレコーダ(右)



図 12 データ収集システム



図 13 表面粗さ形状測定機



図 14 単石ドレッシング装置

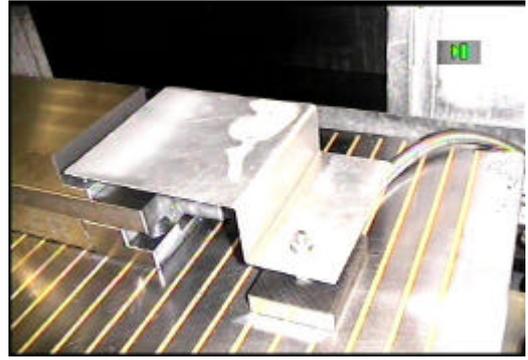


図 15 クーラントガイド

4 . 実験結果および考察

4 . 1 研削条件と砥石寿命（総研削面積）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合せを選んだときの、研削面積と接線抵抗の関係を示す。グラフが途中で途切れているものは、その時点で接線抵抗が 170N を超えたため、実験を終了したものである。

図 16 (A) と図 17 (A), (B) には、他の図では見られない顕著な現象が起こっている。それぞれの図に破線の で示したように、接線抵抗が 140N 前後から急激に変動してきている部分が数箇所見られる。この部分では、研削中の火花が激しくなり、研削音も高くなった。しかし、研削抵抗が急増してから数秒後には、火花も研削音も収まり、研削抵抗も減少した。

このような現象は、前年度の実験でも起きており、研削抵抗が減少した原因は、過大な研削抵抗により、砥石作業面に目こぼれが起こったためと考えられる。これは、正常な自生作用と違い、過大抵抗による砥粒の脱落や破砕であると考えられるため、研削焼けなどの不良が生じる場合がある。今回の実験でも、工作物に数箇所研削焼けが確認されたので、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。

図 18 は、図 16 および図 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

削面積の関係を求めた結果を示す．ここで示す総研削面積とは，砥石寿命と判定するまでに研削した工作物の総研削面積である．

図 18 から，テーブル速度が遅く，切込み量が大きい組合せにすると，砥石寿命は短くなることが分かる．逆に言えば，テーブル速度が速く，切込み量が小さい組合せを選べば，砥石寿命を長くできる．

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 l 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減り摩耗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耗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．

以上の結果から，研削能率が $150 \times 103 \text{mm}^2/\text{min}$ の場合には，テーブル速度 $300 \text{mm}/\text{min}$ 以上と切込み量 $500 \mu\text{m}$ 以下の組合せの場合に目標面積（幅 $300 \times$ 長さ 600mm ）まで途中でドレッシングすることなく研削でき，研削能率が $220 \times 103 \text{mm}^2/\text{min}$ の場合には，テーブル速度 $500 \text{mm}/\text{min}$ 以上と切込み量 $440 \mu\text{m}$ 以下の組合せの場合に目標面積（幅 $300 \times$ 長さ 600mm ）まで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．

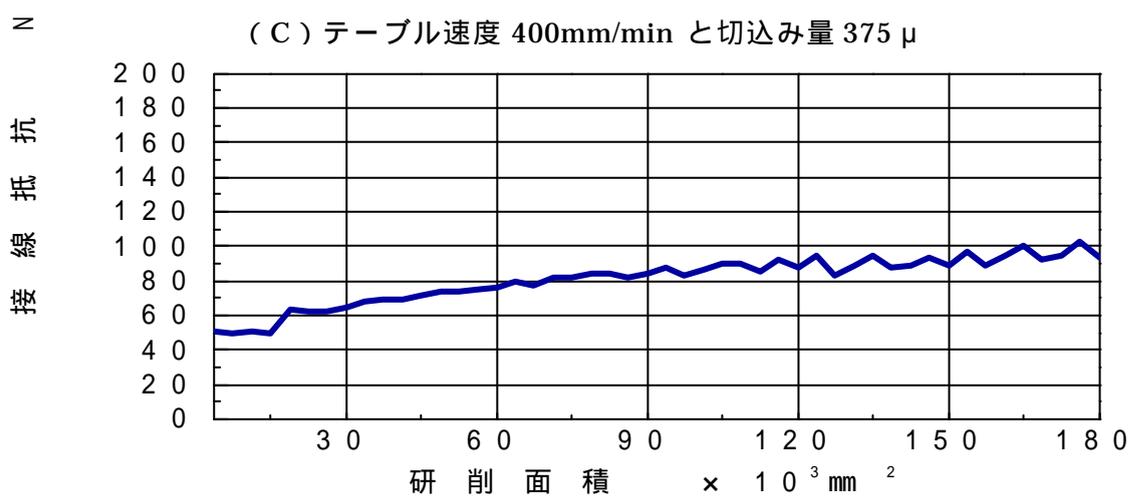
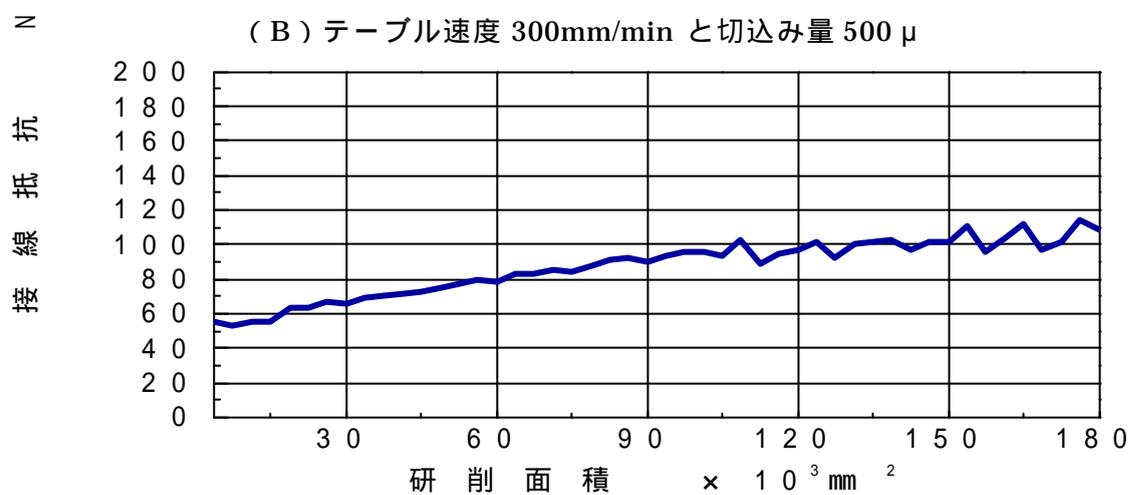
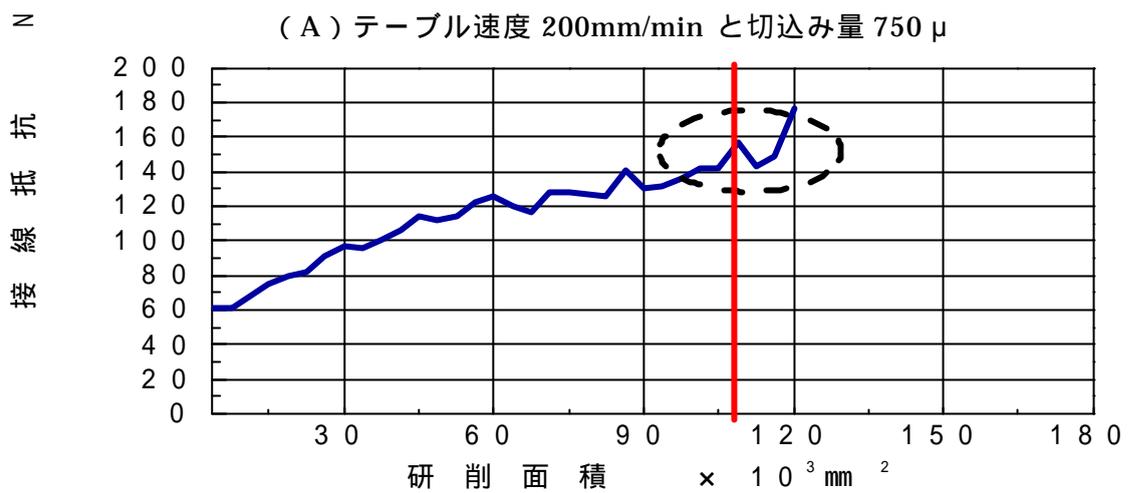
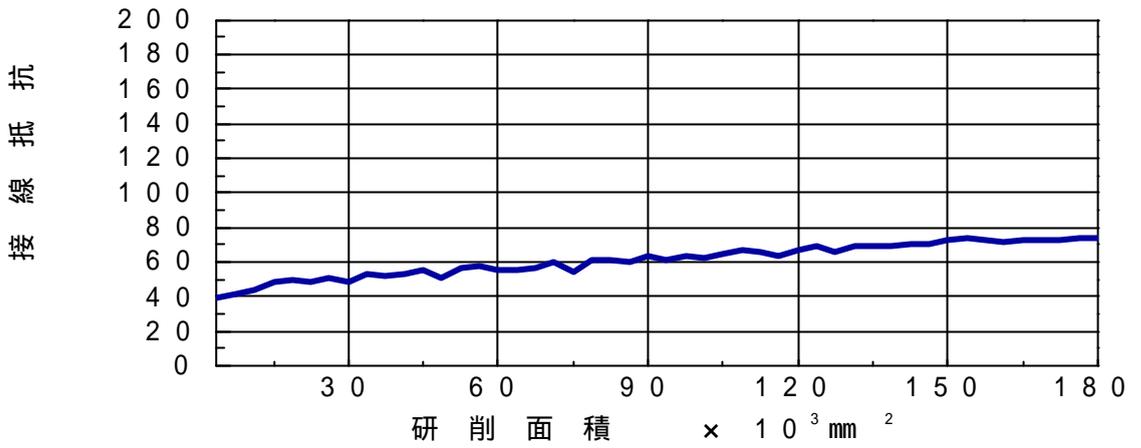


図 16 (1) 研削面積と接線抵抗の関係 (研削能率 $150 \times 10^3 \text{ mm}^2/\text{min}$ の場合)

N

(D) テーブル速度 500mm/min と切込み量 300 μ m



N

(E) テーブル速度 600mm/min と切込み量 250 μ m

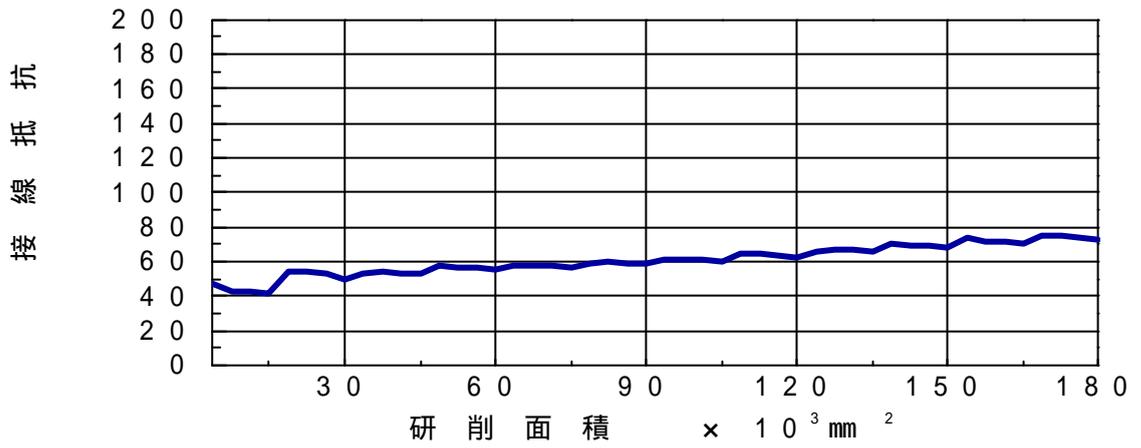


図 16 (2) 研削面積と接線抵抗の関係 (研削能率 $150 \times 103 \text{ mm}^2/\text{min}$ の場合)

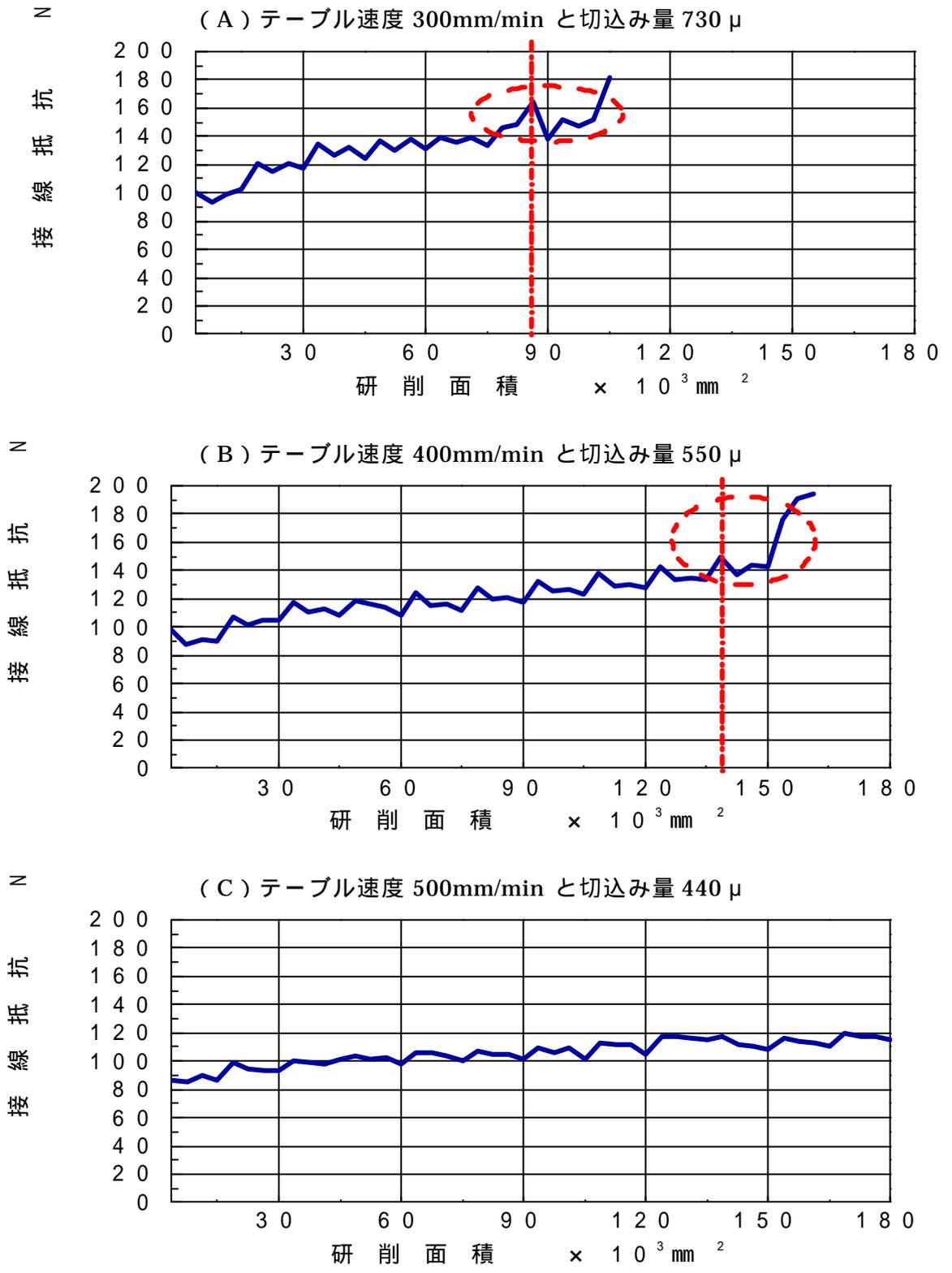


図 17 (1) 研削面積と接線抵抗の関係 (研削能率 220 × 103mm²/min の場合)

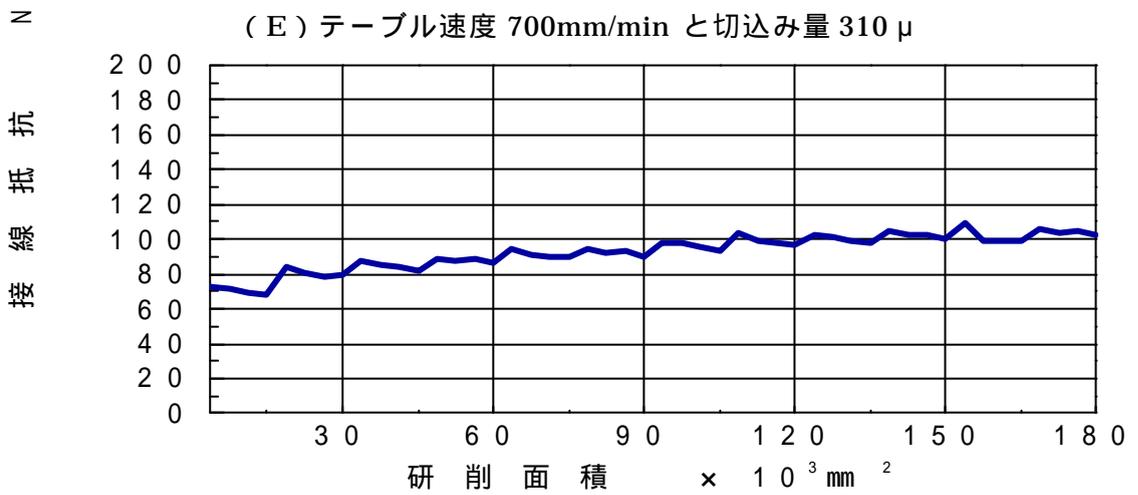
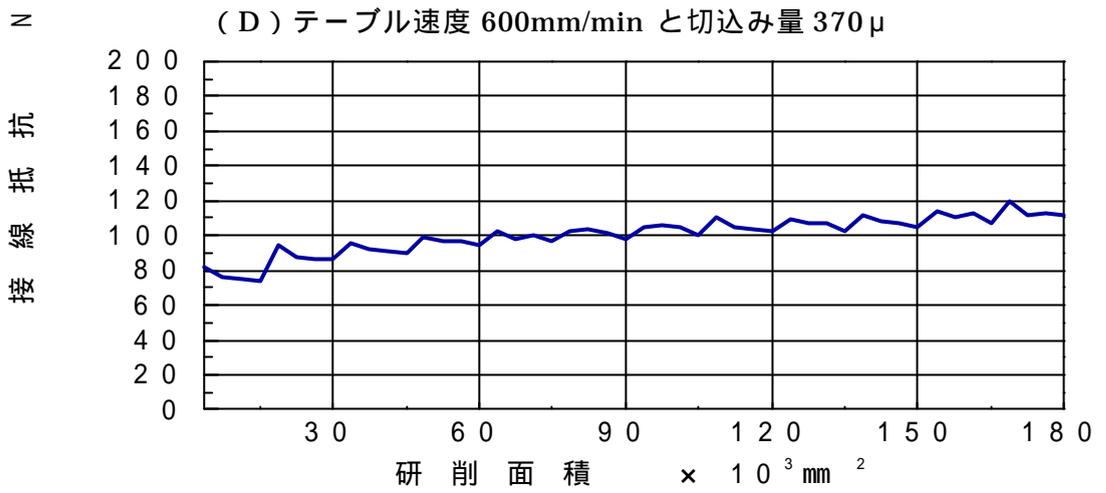
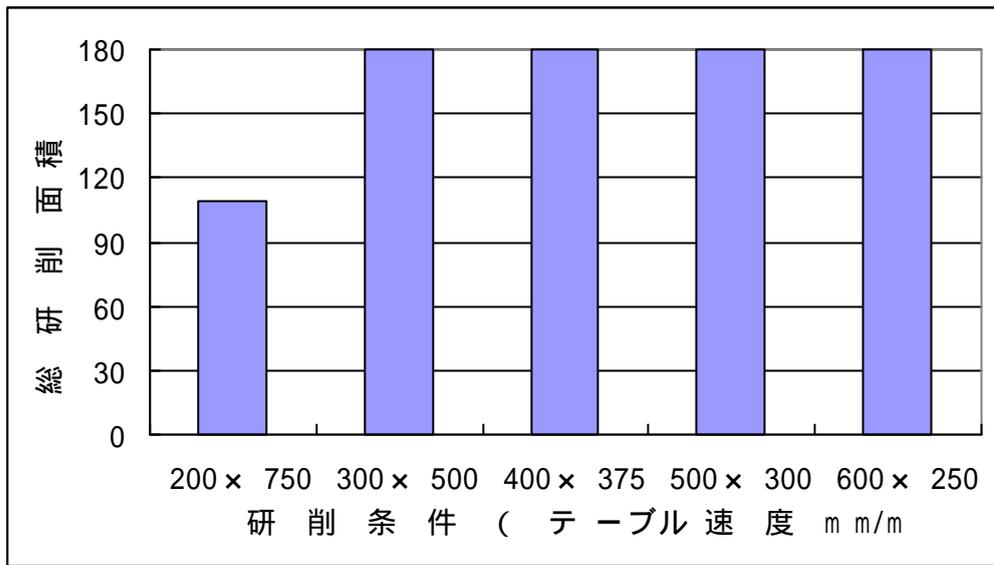


図 17 (2) 研削面積と接線抵抗の関係 (研削能率 $220 \times 103 \text{ mm}^2/\text{min}$ の場合)

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



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

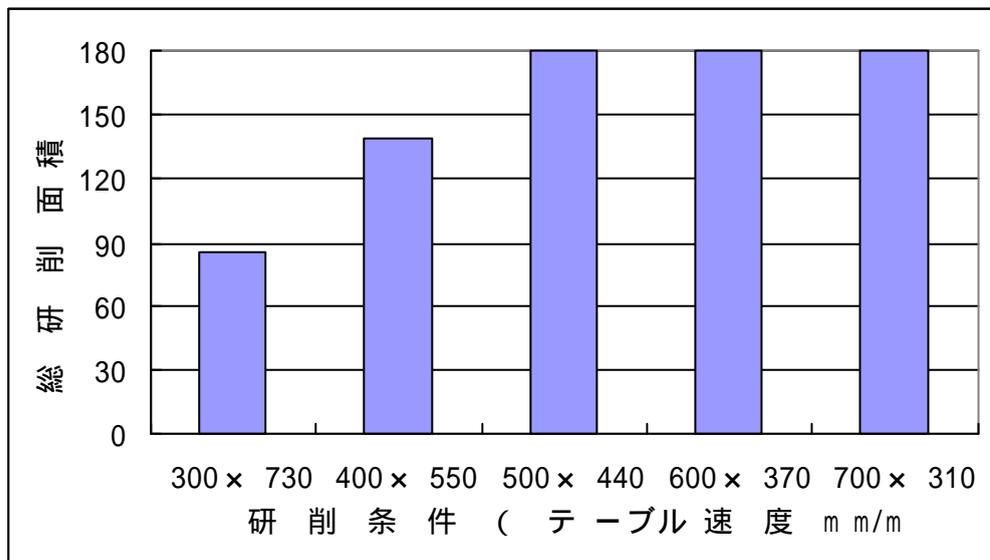


図 18 研削条件 (テーブル速度と切込み量の組合せ) と総研削面積の関係

4.2 研削条件と研削抵抗の関係

次に、研削能率が同じになるように、テーブル速度と切込み量の組合せを選んだときに、この組合せが接線抵抗に及ぼす影響を調べた。

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す。

図から、テーブル速度が速く、切込み量が小さい組合せの方が、研削抵抗が小さい値になることが分かる。

研削抵抗の理論式の一例として次式がある。

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

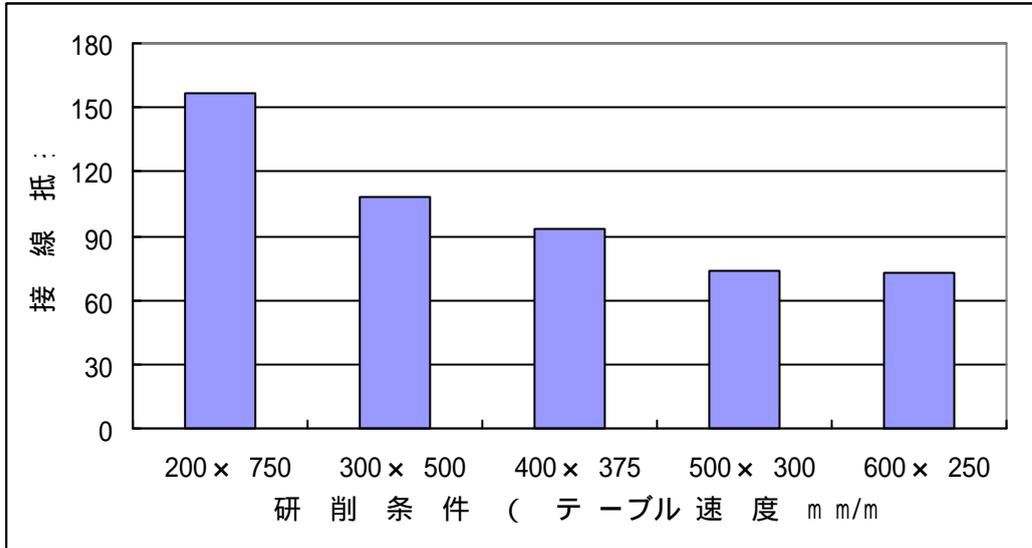
ここで、 F_t :接線抵抗

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。

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



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

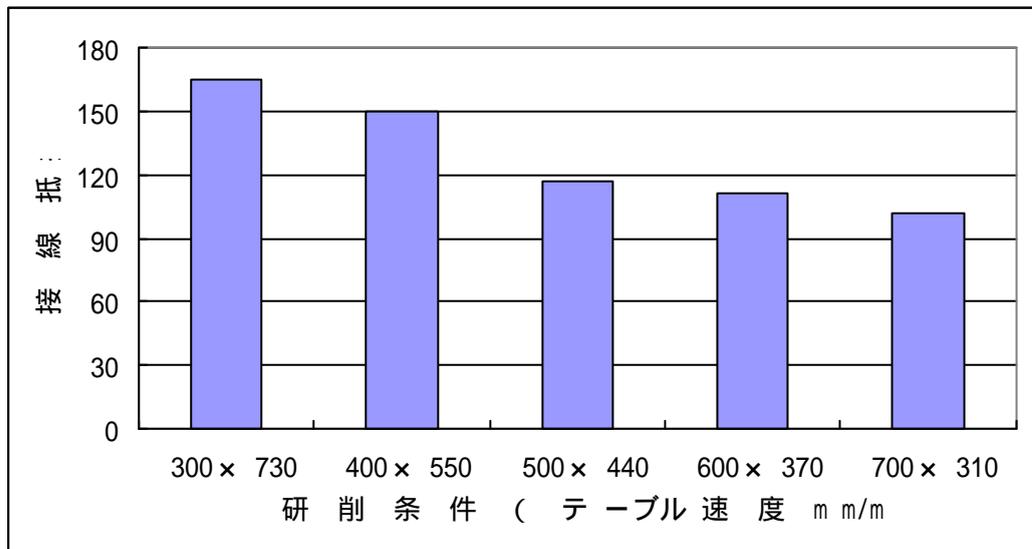


図 19 研削条件 (テーブル速度と切込み量の組合せ) と接線抵抗の関係

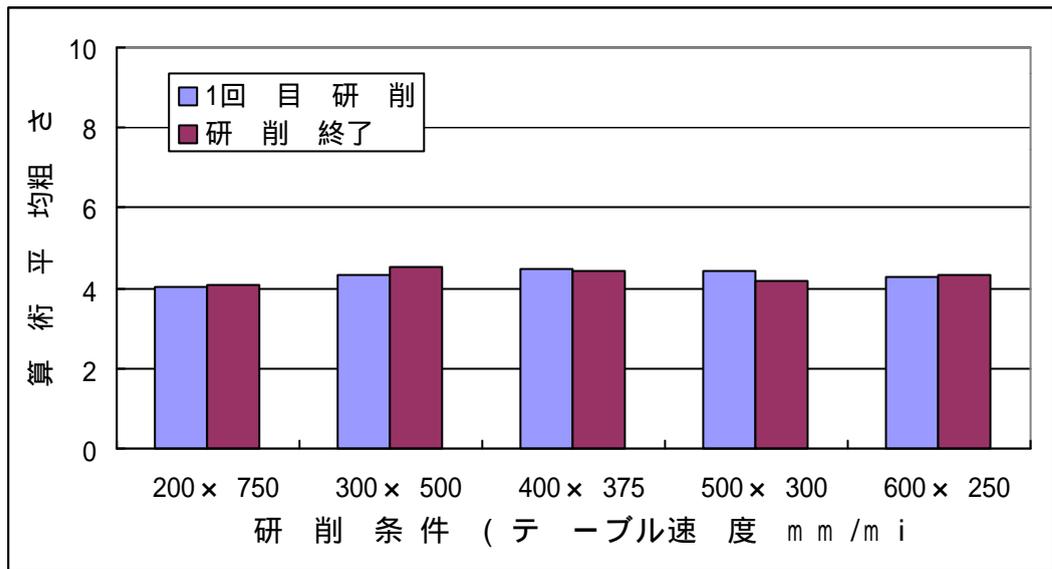
4.3 研削条件と工作物表面粗さおよび砥石作業面粗さの関係

図 20 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の組合せを選んだときの研削条件（テーブル速度と切込み量の組合せ）と工作物の表面粗さの関係を、図 21 は、研削条件（テーブル速度と切込み量）と砥石の作業面粗さの関係を示す。

これから、1 回目研削終了後の表面粗さと、最終研削終了後の表面粗さを比較すると一般的に後者の方が小さくなっていることがわかる。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り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。また、研削条件による表面粗さへの影響はほとんどないことが分かる。

一方、砥石作業面粗さについても、研削条件による大きい違いは見られない。

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



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

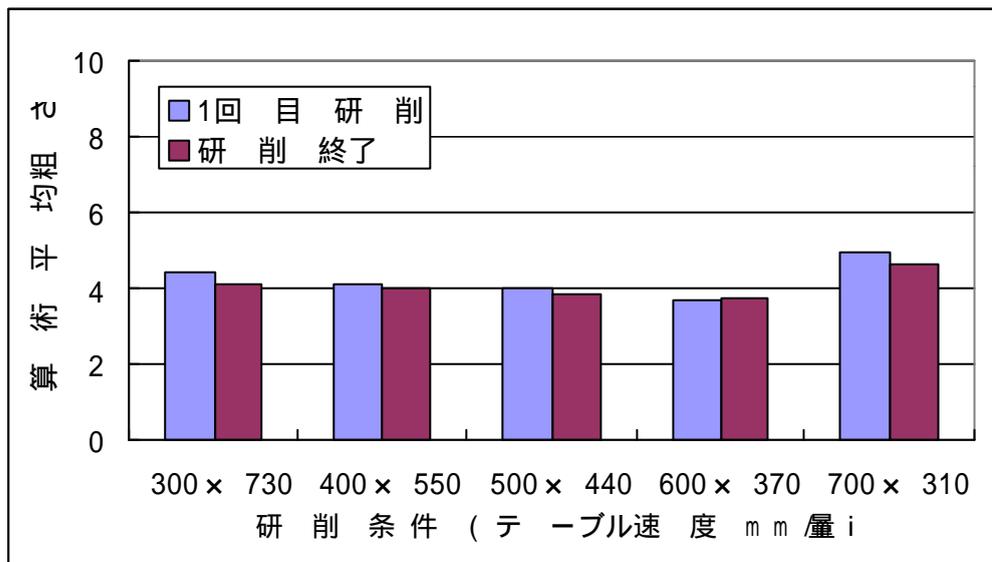
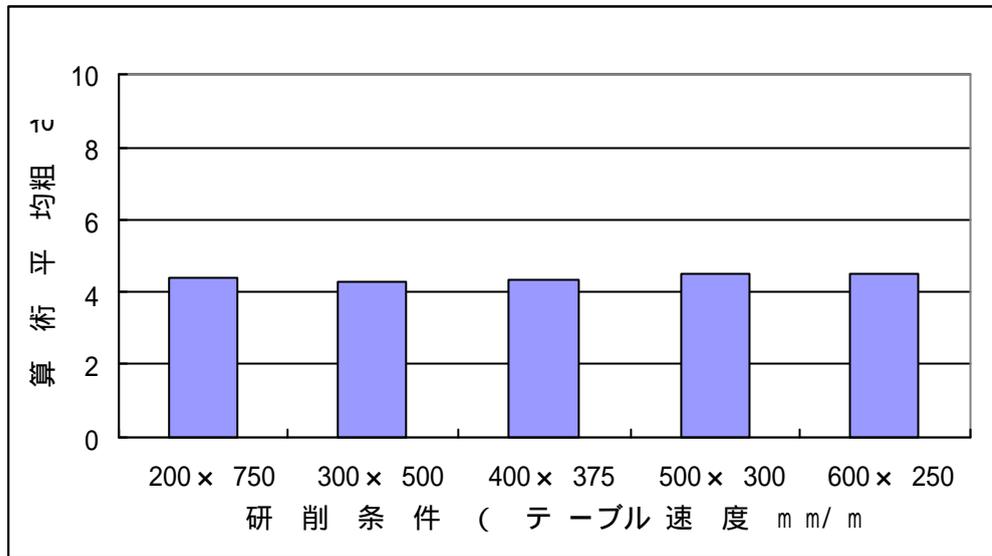


図 20 研削条件 (テーブル速度と切込み量の組合せ) と工作物の表面粗さの関係

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



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

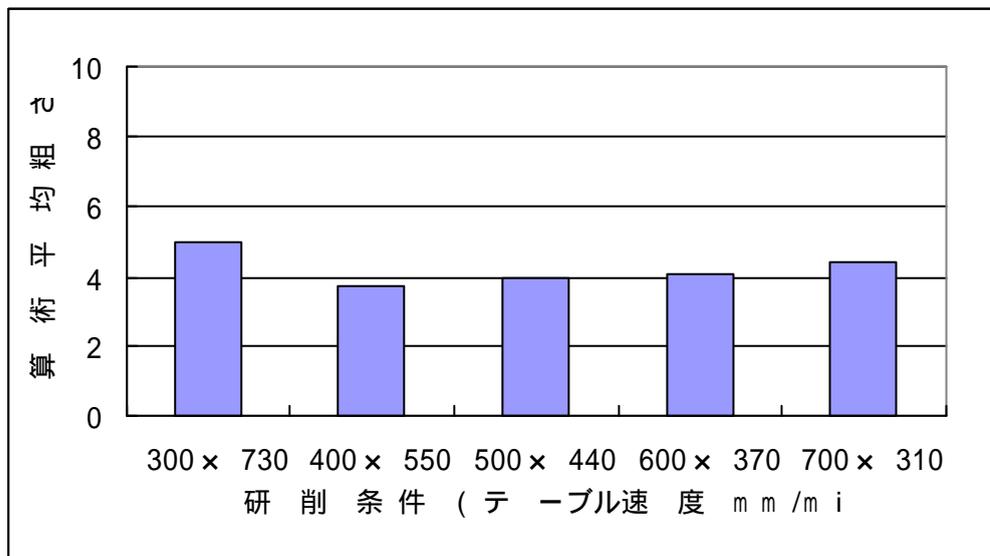


図 21 研削条件 (テーブル速度と切込み量の組合せ) と砥石作業面粗さの関係

5 . 結 言

チャック面積に相当する工作物をトラバースクリープフィード研削できる条件を検討するとともに、その研削条件が砥石寿命等に及ぼす影響を調査した結果、次のことが分かった。

- (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 $500 \mu\text{m}$ 以下の組合せのときに、研削能率 $220 \times 103 \text{mm}^2/\text{min}$ の場合は、テーブル速度 $500 \text{mm}/\text{min}$ 以上と切込み量 $440 \mu\text{m}$ 以下の組合せのときに、それぞれ途中でドレッシングすることなく目標面積(幅 $300 \text{mm} \times$ 長さ 600mm)まで研削できる。
- (2) テーブル速度を速くし、切込み量を小さくすると、砥石寿命は延びる。
- (3) テーブル速度を速くし、切込み量を小さくすると、研削抵抗は小さくなる。
- (4) 研削条件による、工作物表面粗さや砥石作業面粗さへの影響はほとんどない。

今後の課題としては、次のようなことについて調査が必要であると考えられる。

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

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