

平成 13 年度卒業論文

砥石寿命の判定法に関する基礎研究

平成 14 年 2 月 5 日

高知工科大学

知能機械システム工学科

1020164 山下 誠司

指導教員 松井 敏 教授

目次

1. 緒言	1
1.1 研究の背景	1
1.2 従来の研究	2
1.3 研究の目的	3
2. 実験方法と実験装置	4
2.1 ドレッシング方法	4
2.2 研削方法	5
2.3 測定方法	6
3. 実験結果および考察	10
3.1 ドレッシング切込み量と研削諸現象の関係	10
3.2 ドレッシング送り速度と研削諸現象の関係	14
3.3 切込み方式と研削諸現象の関係	18
3.4 研削諸現象の関係	20
4. 結言	24
参考文献	25

1. 緒言

1.1 研究の背景

高学歴化が進み、熟練作業者が減少してきているが、さらに今後 IT 化による遠隔操作、身体障害者の社会参加などへの対応も考えると工作機械の完全自動化を実現することができれば社会へ大きく貢献することになる。このような考え方に従い、1960 年代後半から 1970 年代頃に NC (Numerical Control : 数値制御) 工作機械の普及期があり、機械加工の自動化・無人化が熱心に試みられた¹⁾。

しかし、研削加工については自動化があまり進んでいない。これは研削加工が一般に最終工程に用いられる場合が多く、極めて高精度な加工が要求されるためである。加工が連続的に可能な円筒研削盤や内面研削盤などに比べ、断続的に加工する平面研削盤は自動化がより困難である。NC 化されている平面研削盤も存在してはいるが、実際に自動化されているのは NC による研削盤の動きが中心であり、その他の砥石と工作物の位置合わせや砥石表面を研ぎ直すドレッシング作業の時期の決定などは熟練作業者の技能や経験に依存する場合が多い。

平面研削盤を完全に自動化するためには、研削作業を合理的に管理し、研削経過時間による研削抵抗などの変化と研削作業条件との相互関係を明らかにする必要がある²⁾。そこで、本研究では研削作業の中の自動化されていない作業のひとつである砥石寿命判定を自動化するため、この相互関係を明らかにすることを目的とした。

研削加工においては加工の進行に伴い、砥石作用面の砥粒切れ刃が摩耗、破碎、脱落などの変化を起こす。前者により砥石能力の低下が起こり、後者により自生作用を生じ、研削能力を回復する。この両者が平衡状態であるならば正常な研削作用が維持される。しかし、一般的な研削加工においては前者の進行速度が後者よりも速く、研削能力は次第に低下していき正常な研削ができなくなる。そこで、ドレッシングを行い研削能力を回復させる。このドレッシングからドレッシングまでの間隔を砥石寿命と呼び、砥石寿命の判定には多大な経験とノウハウが必要とされているのが現状である³⁾。

1.2 従来の研究

砥石寿命に関する研究は現在までにいろいろと行われている。砥石寿命の判定基準としては、津和、吉川、および松井らが次のようなものを上げている⁴⁾。

1) 工作物表面のびびりマーク

砥石の切れ味が悪くなると砥石と工作物との摩擦が増大し、仕上面にびびりマークが現れてくる。この時をもって砥石の寿命とする方法。この方法は、研削を中断して評価しなければならないことや、びびりマークそのものの定量的評価法が確立していないことから、自動化のための判定基準としては使えない。

2) 研削音

砥石の切れ味が悪くなると音響は高く、かつ振動を伴ったような唸り音となる。これを利用した砥石寿命判定法である。この方法は、周囲の騒音の影響を受けるので工場現場における判定基準としては不向きである。

3) 工作物や工作機械の振動

研削中の工作物の振動振幅を測定し、振幅がある一定限度に達するまでの研削時間を寿命とする方法。

4) 工作物表面における研削焼けの発生

砥石の切れ味が悪くなると研削温度が高くなり、工作物表面に研削焼けが生ずるようになる。この時間をもって判定する方法。この方法は、研削を中断して評価しなければならないことや、研削焼けそのものの定量的評価法が確立されていないので、自動化のための判断基準としては使えない。

5) 研削抵抗

研削抵抗が最初の値からある一定量だけ増加した時をもって寿命と定める方法。

6) 仕上面粗さ

研削表面の粗さが最初の粗さに対してある一定の割合だけ増大した時に寿命と判断する方法。この方法は研削を中断して評価しなければならないことや、機上での表面粗さ測定法が確立されていないので、自動化のための判定基準としては不向きである。

1.3 研究の目的

上記の通り、現在までに砥石寿命に関する研究はいろいろと行われてはいるが実用化段階までは達していない。平面研削盤の自動化に適用可能な砥石寿命判定法として考えると、びびりマーク、仕上面粗さ、研削焼けなどによる判定のように、研削を中断しなければならぬ方法は使用できない。研削音、振動、研削抵抗などによる判定は自動化の目的に使用できる可能性はあるが、ドレッシング条件や研削条件によって測定値が変化するため、条件に左右されない判定法を確立しなければならない。また、研究用としては最も多く用いられている研削抵抗による判定は、チャックと工作物の間に測定器を介在させる必要が生じ、工作物の大きさや形状に制限ができてしまう。自動化の目的に使用できるようにするためには、これらの課題を解決しなければならない。

本研究は、ドレッシング条件や研削条件の影響、工作物の制約などを受けることなく、砥石寿命を判定できる方法を開発することを目的としている。今回は、工作物の制約を受けずに砥石寿命を判定できる方法を調査することを目的として、数種類の砥石寿命判定法について、研削抵抗による判定法との比較評価を行った。同時に、ドレッシング条件が砥石寿命におよぼす影響についても調査した。

2. 実験方法と実験装置

難削材の一種である合金工具鋼 SKD11 を平面研削加工して、砥石寿命を調べた。研削抵抗に代わる砥石寿命判定法を見出すため、以下の研削諸現象を測定し、比較検討した。

- (1) 研削抵抗（法線方向および接線方向）
- (2) 砥石軸モータ電流
- (3) 砥石軸頭上の振動
- (4) 砥石回転数

同時に聴覚により砥石寿命を判断した結果とも比較した。

2.1 ドレッシング方法

表 1 にドレッシング条件を示す。ドレッサの先端摩耗が砥石寿命に影響をおよぼすことを避けるため、ドレッサは図 1 に示す自転形単石ドレッサ⁵⁾⁶⁾を使用した。ドレッシング送り速度とドレッシング切込み量をそれぞれ 3 条件、計 9 条件に変化させてドレッシングを行った。

表 1 ドレッシング条件

研削砥石	WA46I6V φ 300×32
ドレッサ	自転形単石ドレッサ
砥石回転数	1800 min ⁻¹
ドレッシング切込み量	10,30,50 μ m × 5 回
ドレッシング送り速度	100,300,500mm/min
研削液	ユシローケン シンセティック #870 20 倍希釈液



図 1 自転形単石ドレッサ

2.2 研削方法

実験機は、**図 2** に示す日立精工製 GHL-NB306M を使用した。



図 2 NC 平面研削盤

図 3 のように精密バイスに工作物を取り付け、その精密バイスを**図 4** のように切削動力計に固定して研削した。



図 3 精密バイスと工作物

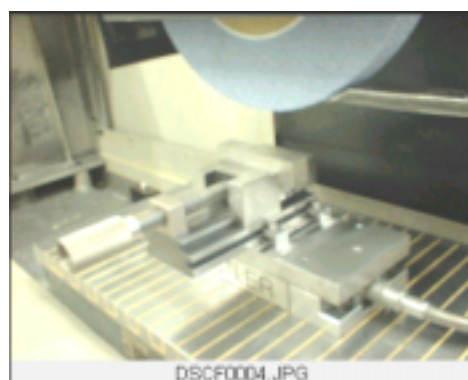


図 4 精密バイスの切削動力計
への取付方法

表 2 に研削条件を、**表 3** に SKD11 の化学成分を示す。

研削はアップカット、ダウンカットともに切込む方式（両端切込み方式）とダウンカットの時のみ切込む方式（片端切込み方式）の二種類のプランジ研削で行った。

表 2 研削条件

工作物	SKD11	20×100 mm
研削砥石	WA46I6V	φ 300×32
砥石回転数	1800 min ⁻¹	
切込み量	2 μm (両端切込み, 片端切込み)	
テーブル速度	10 m/min	
研削液	ユシローケン シンセティック #870 20 倍希釈液	

表 3 SKD11 の化学成分

化学成分 %								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W	V
1.40	0.40	0.60	0.030	0.030	11.00	0.80	—	0.20
~ 1.60	以下	以下	以下	以下	~ 13.00	~ 1.20		~ 0.50

2.3 測定方法

表 4 に、使用した計測器を示す。

表 4 使用計測器

測定対象	名称	メーカー	形式
研削抵抗	薄型切削動力計	KISTLER	9254
	3チャンネルチャージアンプ	KISTLER	5019B130
モータ電流	CTL センサ	U_RD	CTL - 6 - S - Z
振動加速度	アンプユニット	KEYENCE	GA-245 SO(0358)
	センサヘッド	KEYENCE	GH-313A
回転数	デジタル回転計	小野測器	TM-2130
	光電式検出器	小野測器	LG-916 型
	信号ケーブル	小野測器	MX-700 シリーズ
記録計		KEYENCE	NR - 2000

(1) 研削抵抗の測定

研削抵抗は図 5 に示す切削動力計に組み込まれた圧電素子の電荷出力をチャージアンプで増幅し、記録計に記憶した。

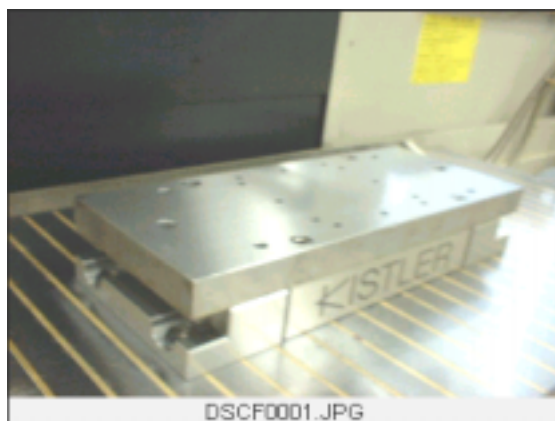


図5 切削動力計

また、測定したデータのうちダウンカット時の研削抵抗を研削量 24mm^3 毎に読み今回の測定値とした。値の読みとり方は 図6 のように各パス中の平均値になるよう（図中Aの値のように）読み、今回の測定値とした。

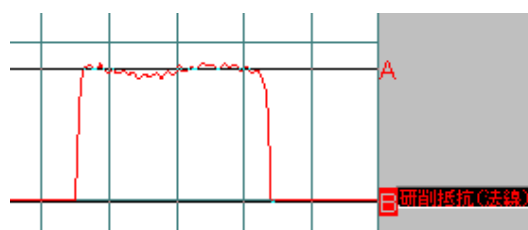


図6 研削抵抗の読みとり方

(2) モータ電流の測定

モータ電流は CT センサを使用して測定した。図7，図8に、電流測定回路と回路図を示す。電流測定回路は平面研削盤制御盤内の砥石軸モータ電源配線に取り付けた。



図7 電流測定回路

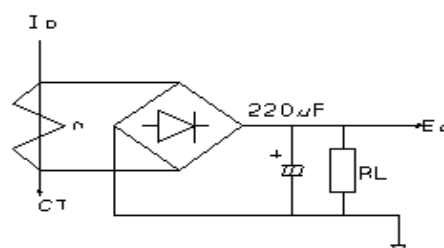


図8 電流測定回路図

図 9 に電流の読みとり方を示す。読みとり方は研削抵抗に準ずる。読みとった値は交流電流計(201313 横河電機)で測定した電流と比較し、校正した値を測定値とした。

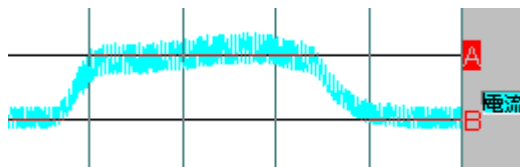


図 9 モータ電流の読みとり方

(3) 振動の測定

振動は図 10 に示すように、加速度センサを砥石軸頭上に取り付けて、加速度センサの出力を図 11 に示すアンプユニットで増幅し、記録計に記録した。

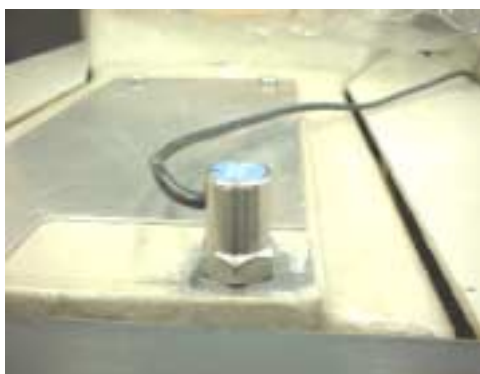


図 10 振動計センサヘッド



図 11 振動計アンプユニット

図 12 に振動の読みとり方を示す。読みとり方は図の上方向での平均値とした。

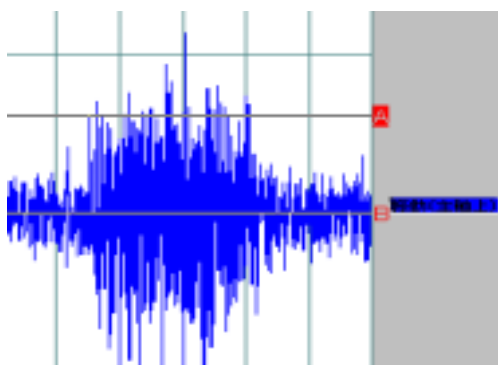


図 12 振動の読みとり方

(4) 砥石回転数の測定

砥石回転数は図 13 に示す回転数計測器を砥石軸に張り付けた反射シールに対向させて取り付け、反射光の検出周波数を計測することにより計測した。

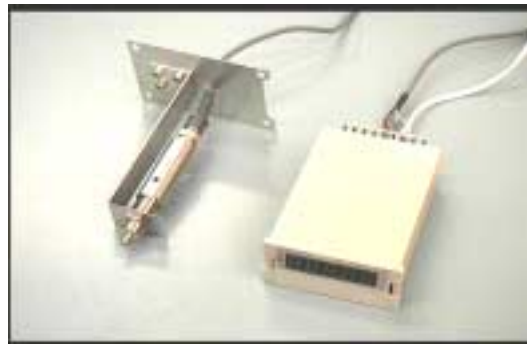


図 13 回転数計測器

今回の実験では、研削開始直後から砥石寿命と判断される時期を越えても、回転数に変化は見られなかったため、測定値としては使用しなかった。

3. 実験結果および考察

3.1 ドレッシング切込み量と研削諸現象の関係

ドレッシング切込み量が研削抵抗，モータ電流などの研削諸現象におよぼす影響を調べた．図 14～図 17 に，それぞれ研削量と法線抵抗，接線抵抗，モータ電流値，振動加速度の関係を，ドレッシング切込み量をパラメータとして示す．いずれも両端切込み方式の場合を示す．同時に聴覚による判断時期を図中に示す．○はドレッシング切込み量 $10\mu\text{m}$ ，□は $20\mu\text{m}$ ，△は $30\mu\text{m}$ の場合の砥石寿命を示す．

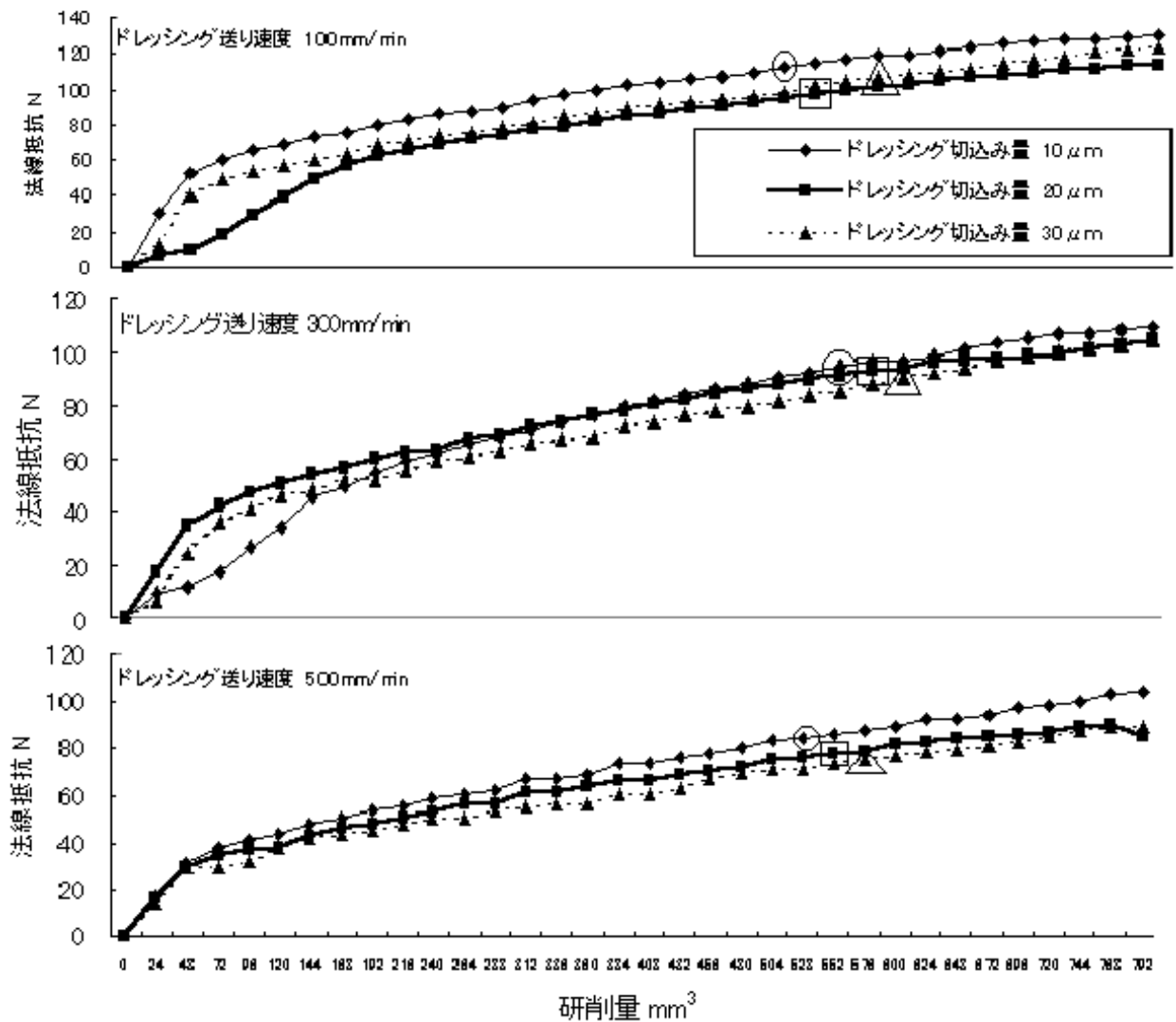


図 14 研削量と法線抵抗の関係

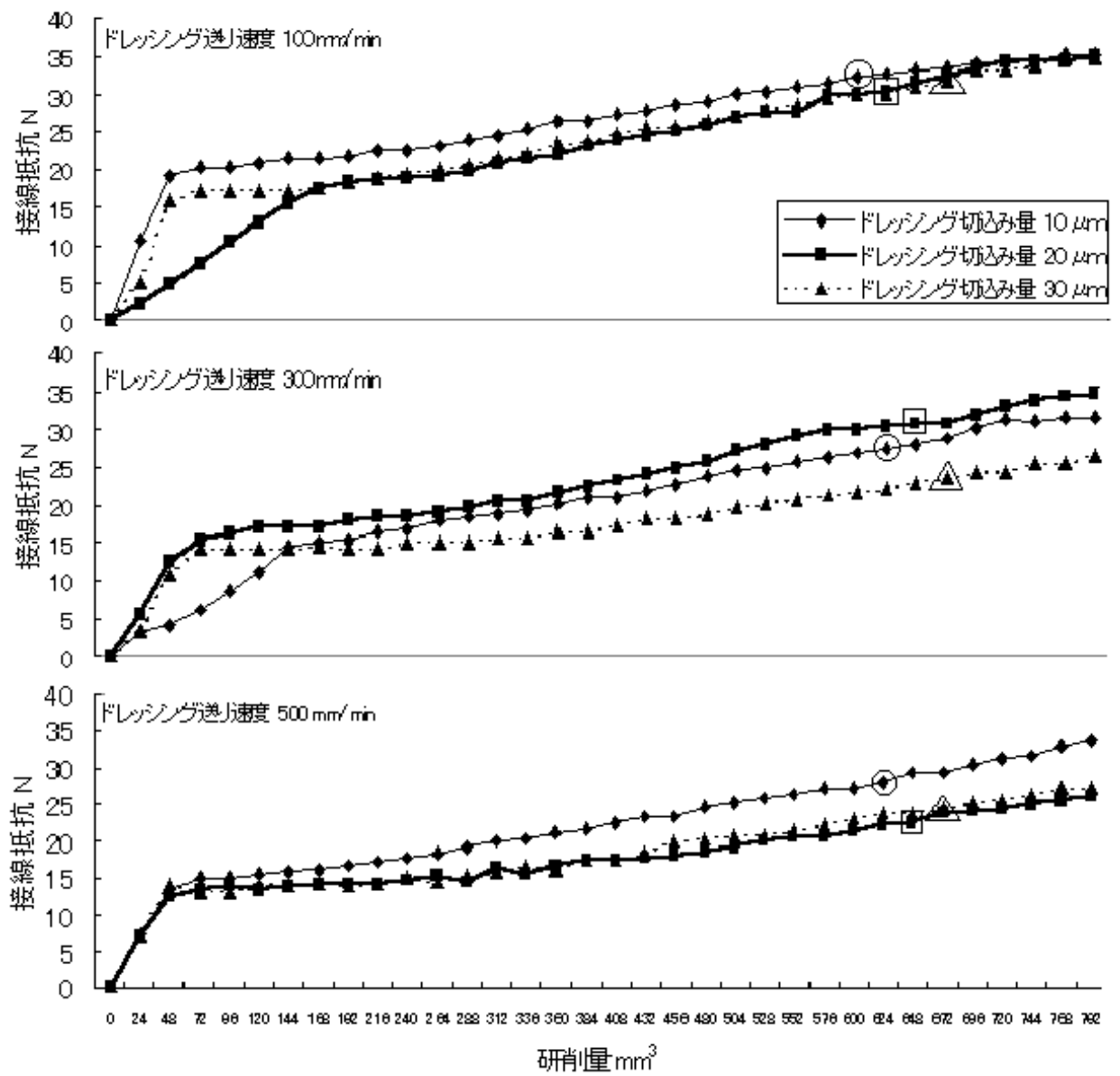


図 15 研削量と接線抵抗の関係

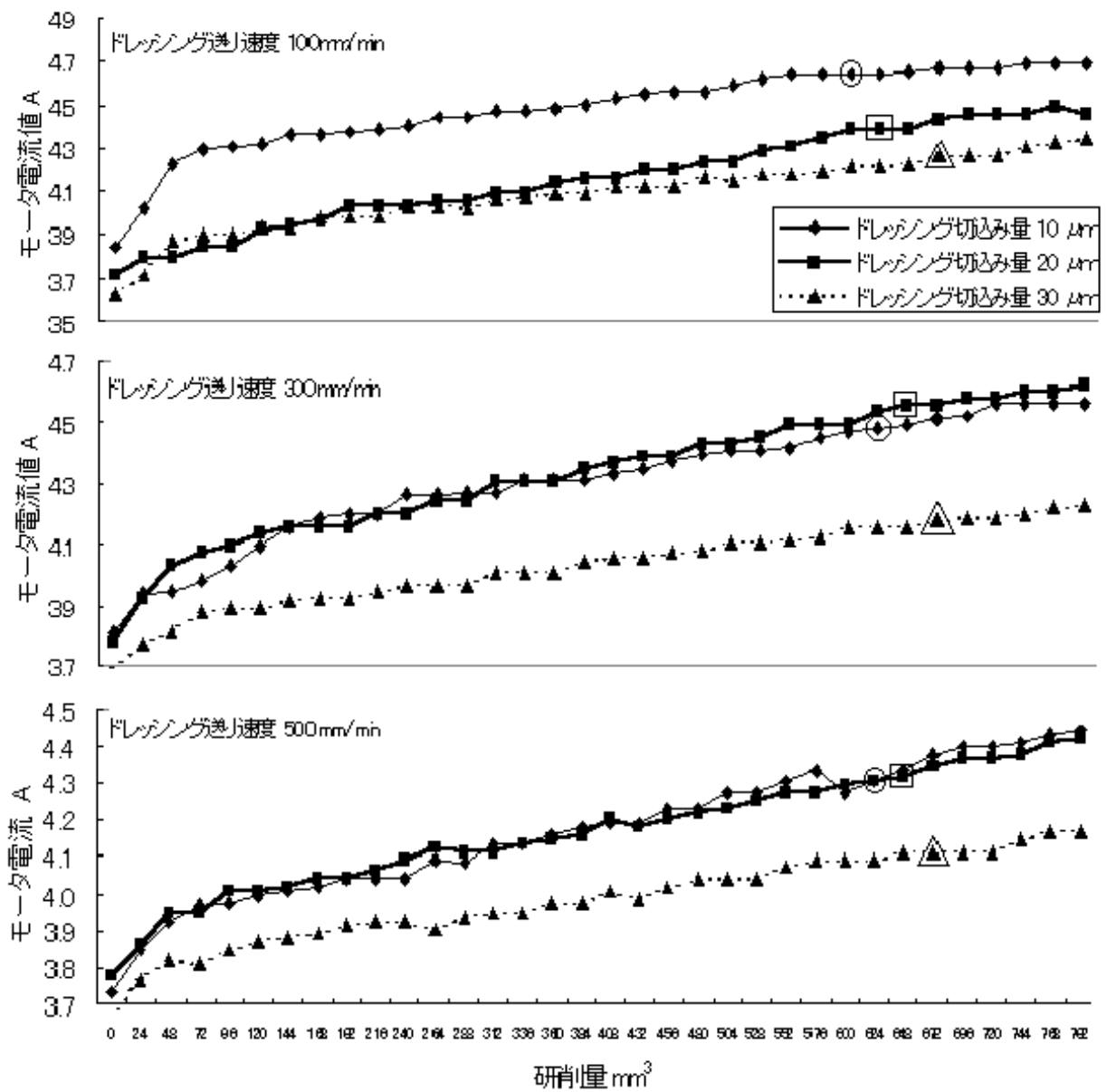


図 16 研削量とモータ電流の関係

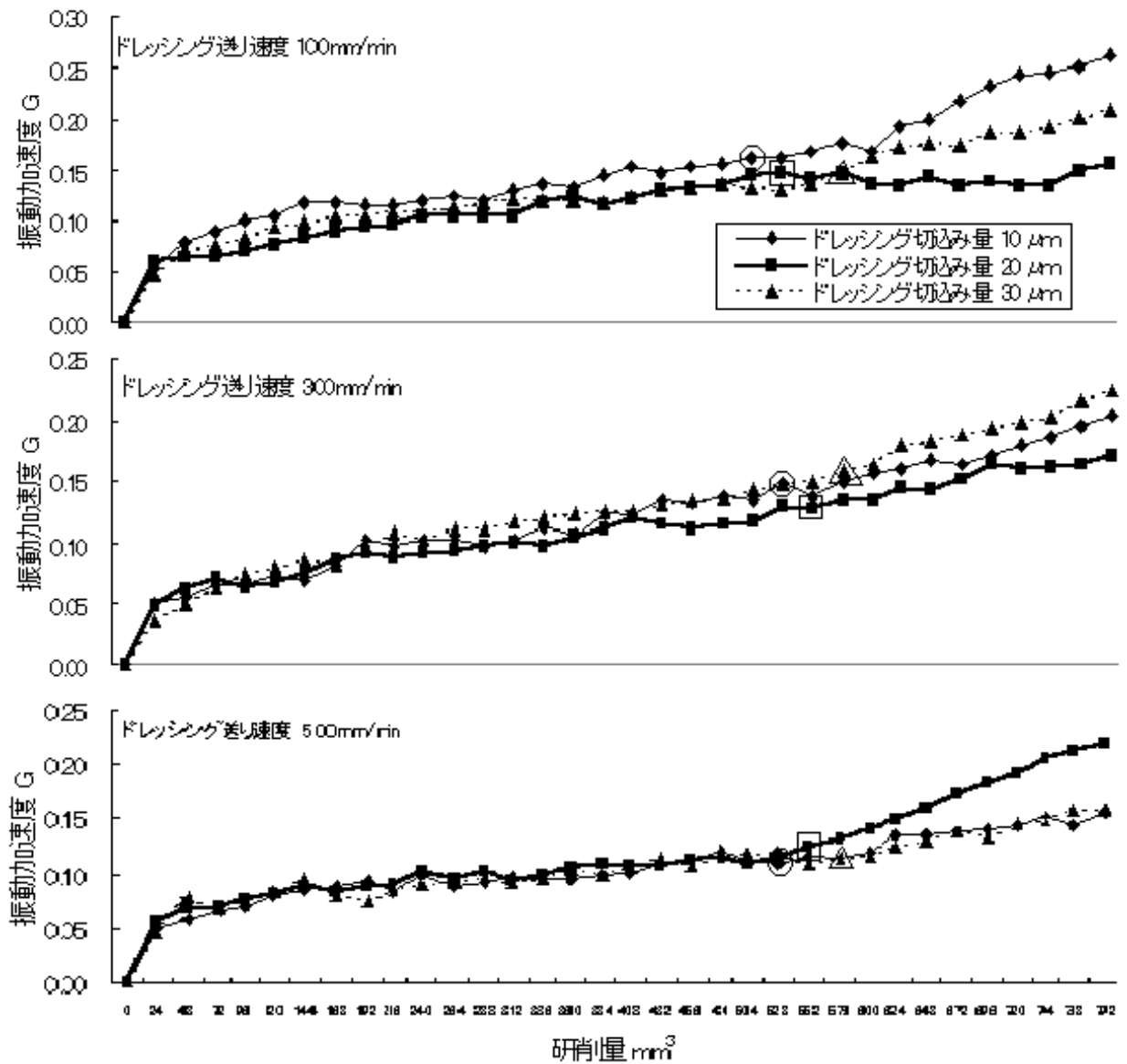


図 17 研削量と振動加速度の関係

これらから、研削抵抗およびモータ電流はドレッシング切込み量が大きいくほど、小さくなる。また、ドレッシング切込み量は振動加速度にはほとんど影響しないと言える。一方、砥石寿命はドレッシング切込み量が大きいくほど長くなると言える。

3.2 ドレッシング送り速度と研削諸現象の関係

ドレッシング送り速度が研削抵抗，モータ電流などの研削諸現象におよぼす影響を調べた．図 18～図 21 に，それぞれ研削量と法線抵抗，接線抵抗，モータ電流，振動加速度の関係を，ドレッシング送り速度をパラメータとして示す．いずれも両端切込み方式の場合を示す．同時に聴覚による判断時期を図中に示す．○はドレッシング送り速度 100mm/min，□は 300mm/min，△は 500mm/min の場合の砥石寿命を示す．

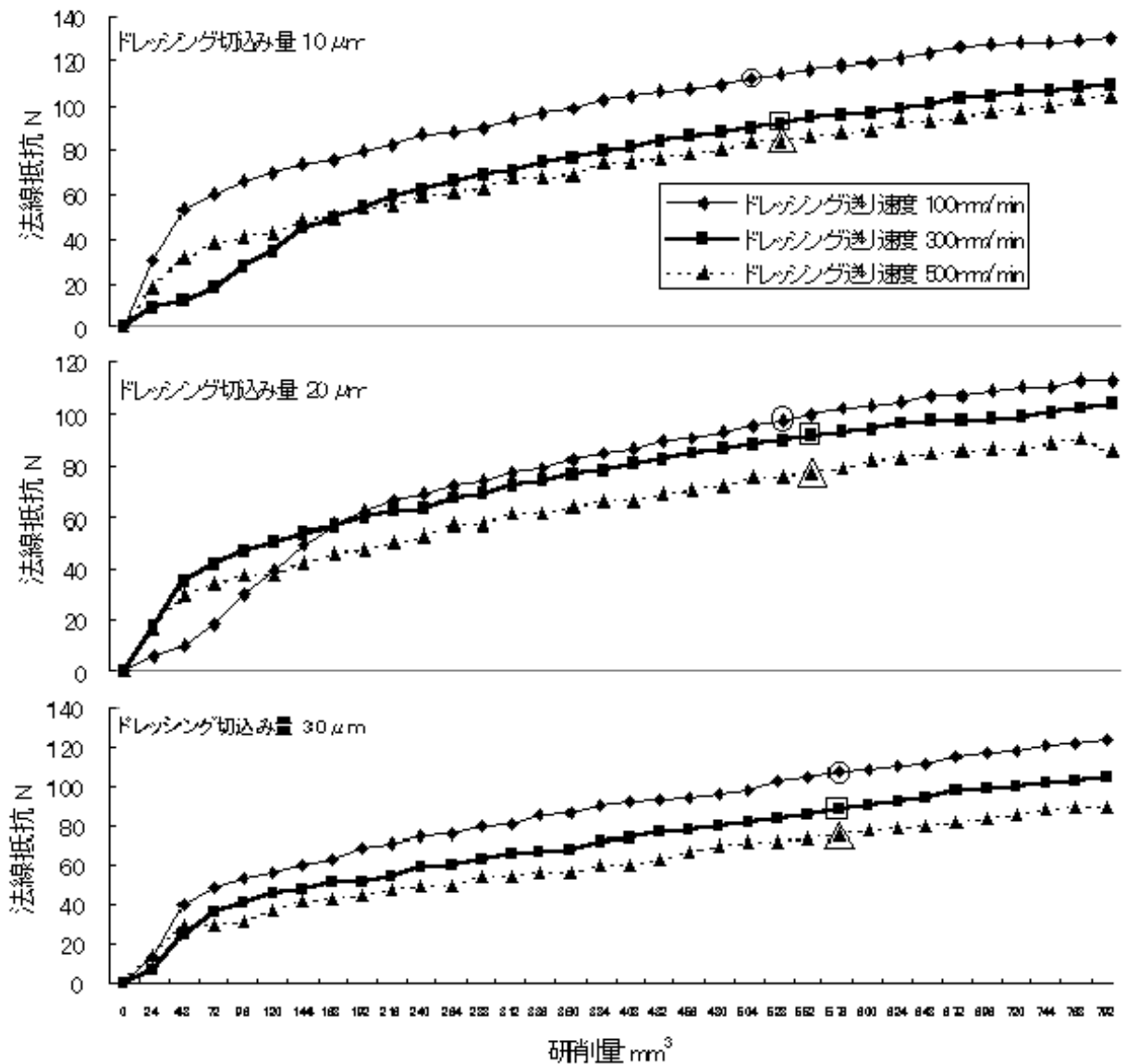


図 18 研削量と法線抵抗の関係

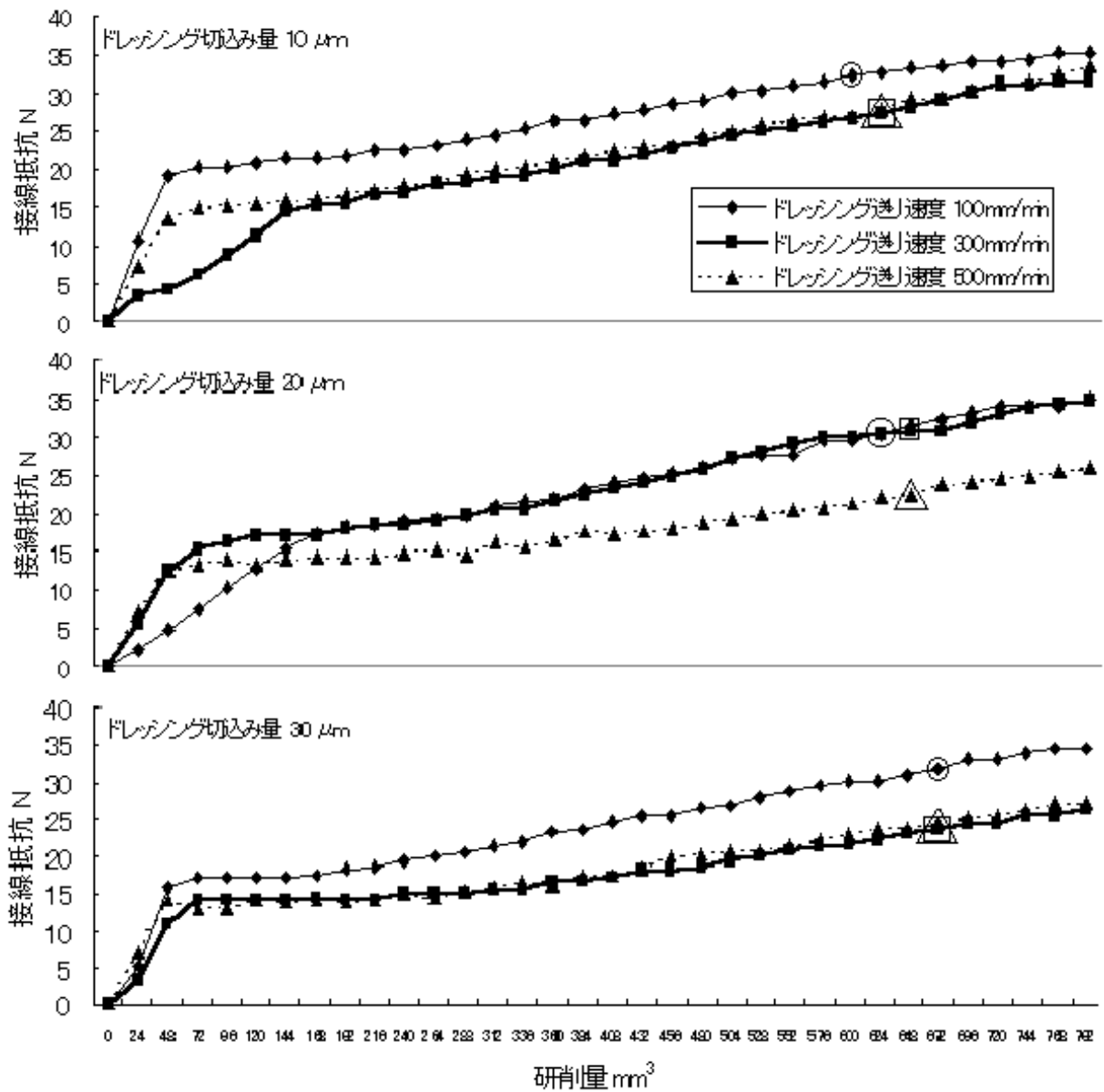


図 19 研削量と接線抵抗の関係

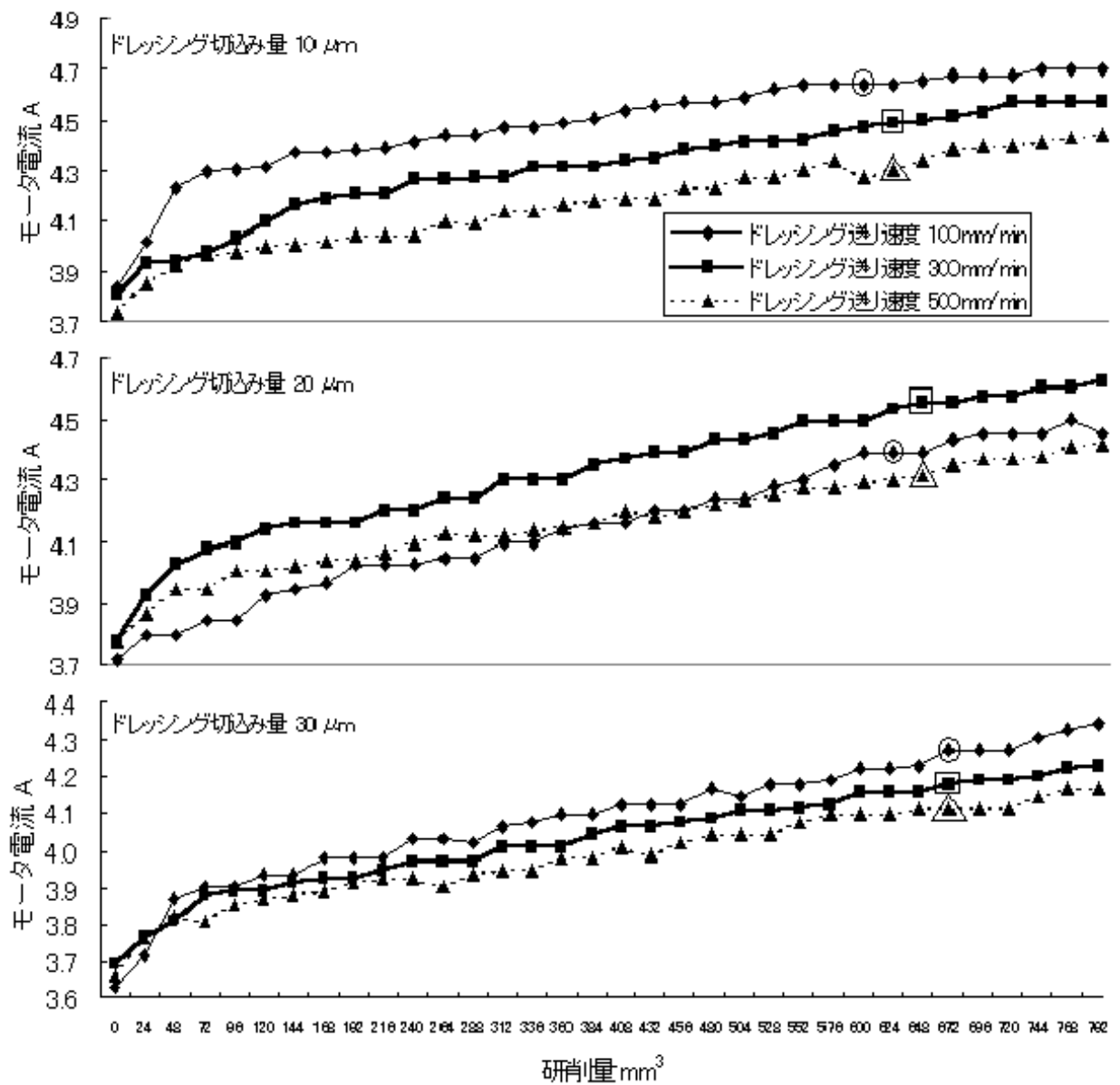


図 20 研削量とモータ電流の関係

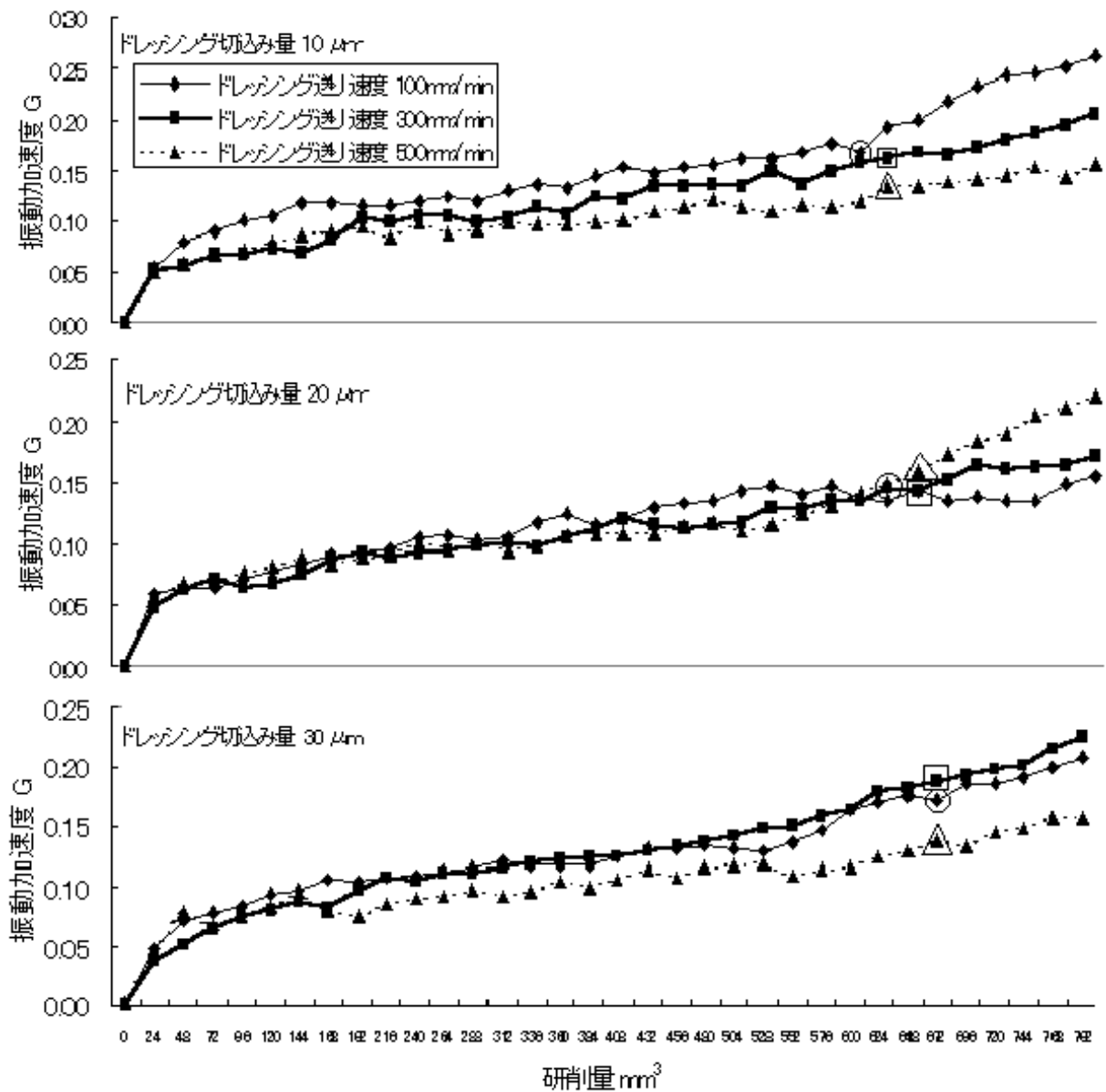


図 21 研削量と振動加速度の関係

これらから、研削抵抗およびモータ電流はドレッシング送り速度が大きいほど、小さくなる。また、ドレッシング送り速度が振動加速度におよぼす影響は、研削抵抗やモータ電流に比べて小さい。一方、砥石寿命はドレッシング切込み量ほどの影響はないが、ドレッシング送り速度が大きい方が砥石寿命は長くなると言える。

3.3 切込み方式と研削諸現象の関係

切込み方式の違いが研削抵抗，モータ電流などの研削諸現象におよぼす影響を調べた。一例として，図 22～図 25 にドレッシング送り速度 100mm/min，ドレッシング切込み量 10 μ m の場合について，切込み方式による研削諸現象の比較を示す。片端切込み方式ではダウンカット側で切込みを与えているので，両端切込み方式もダウンカットの時のデータで示している。

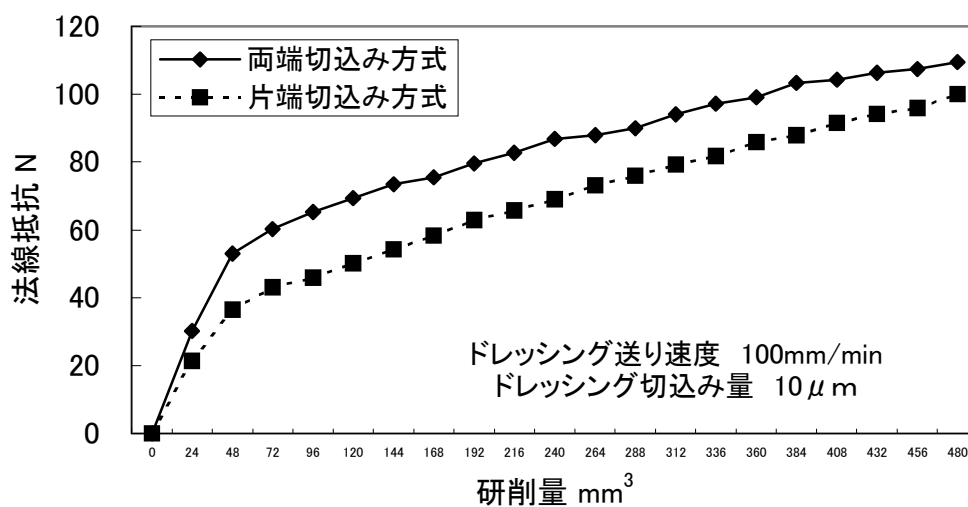


図 22 切込み方式による法線抵抗の比較

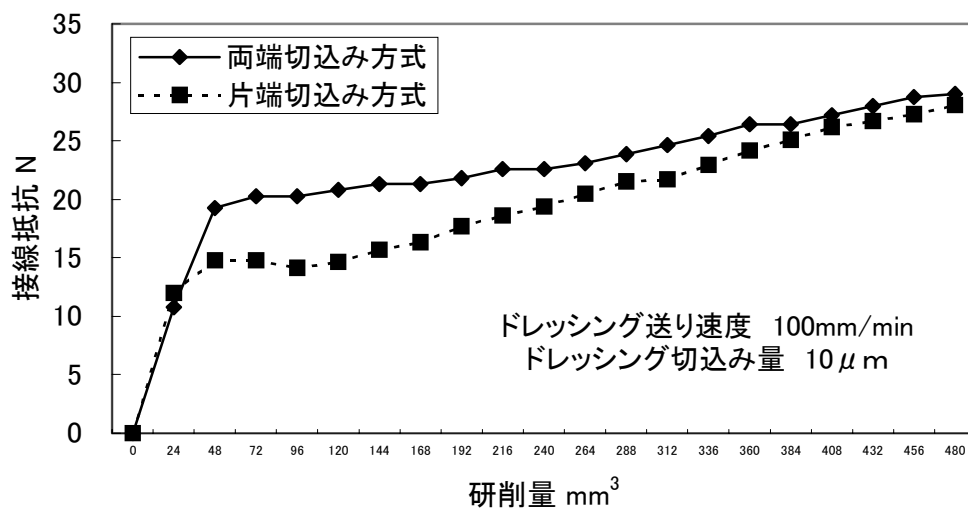


図 23 切込み方式による接線抵抗の比較

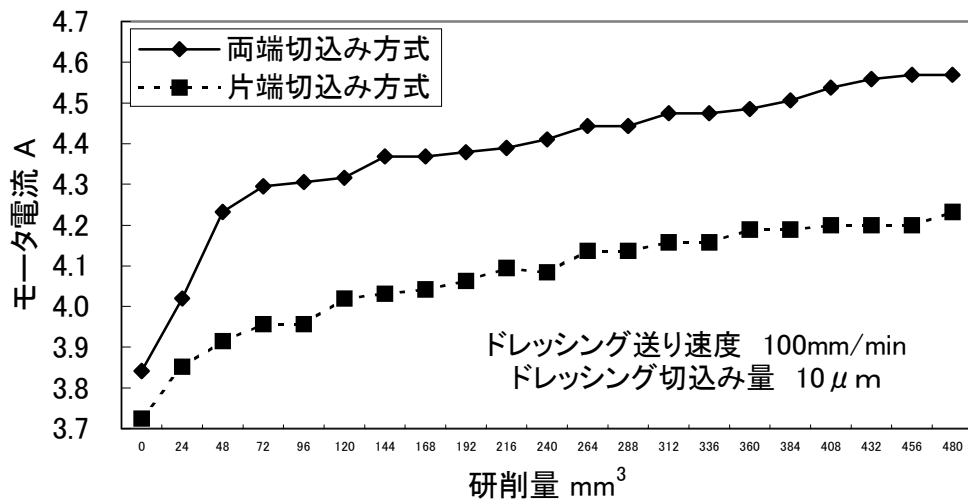


図 24 切込み方式によるモータ電流の比較

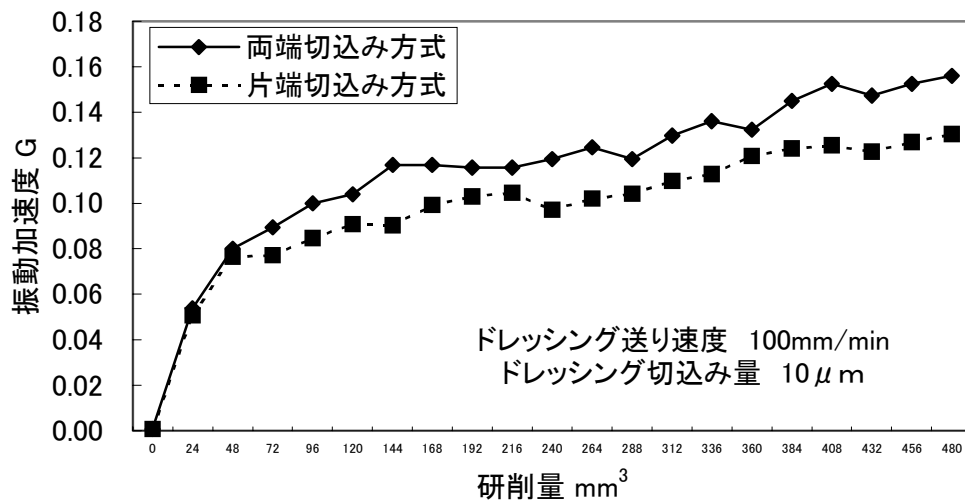


図 25 切込み方式による振動加速度の比較

これらから、片端切込み方式は両端切込み方式よりも各研削諸現象とも小さい値になっている。これは、片端切込み方式は一往復ごとに一回切込むので、両端切込み方式よりも前回の切残しが少ないためである。一方、砥石寿命については両端切込み方式では 600mm^3 付近、片端切込み方式では 300mm^3 付近であり、両端切込み方式の方が砥石寿命が長いことが分かった。

3.4 研削諸現象の関係

本研究では研削抵抗の代わりに砥石寿命の判定が可能な研削現象を検討することを目的としているので、研削抵抗とその他の研削現象について比較検討した。

まず、砥石回転数においては、どの条件下においてもドレッシング直後から砥石寿命と思われる時期まで特に変化は認められなかった。これは砥石軸用電動機の定格出力（3.7kW）に比べ接線抵抗が小さいためと考えられる。よって、使用できる可能性は少ない。

次に、モータ電流については、3.1 節及び 3.2 節に示した実験結果を比較すると、研削抵抗と似たような変化をしているように見える。そこで、図 26 に、モータ電流値と接線抵抗、法線抵抗を同じグラフで比較してみた。

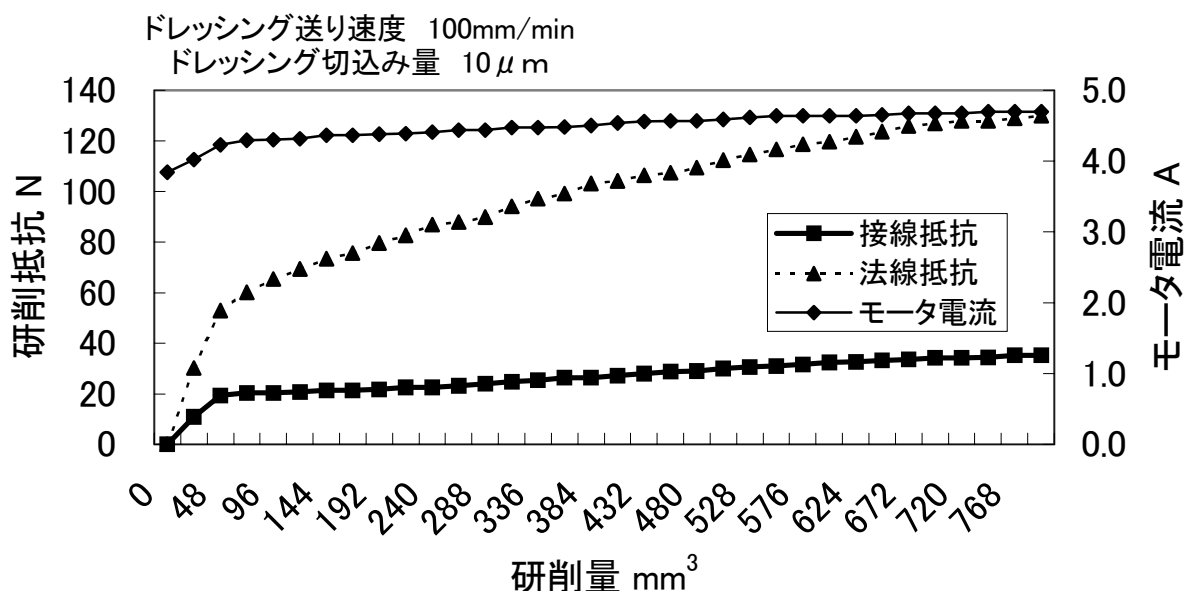


図 26 モータ電流と研削抵抗の比較

図 26 は両端切込み方式のドレッシング送り速度 100mm/min, ドレッシング切込み量 10 μ mのものである。

3つのグラフはどれもなだらかな曲線を描いて上昇しているように思われるが、このままではどの程度曲線が似ているのかが判断しにくい。そこで、図 26 の各研削現象について研削量 200mm³ の時点を 1 として正規化したグラフを図 27 に示す。ただし、モータ電流は研削中でなくとも砥石を回転させるために電流が流れているので、研削開始時をグラ

フ原点にあわせるために砥石に負荷がかからない砥石空転時の電流（約 3.8A）を一律に引いた後の数値を正規化した。

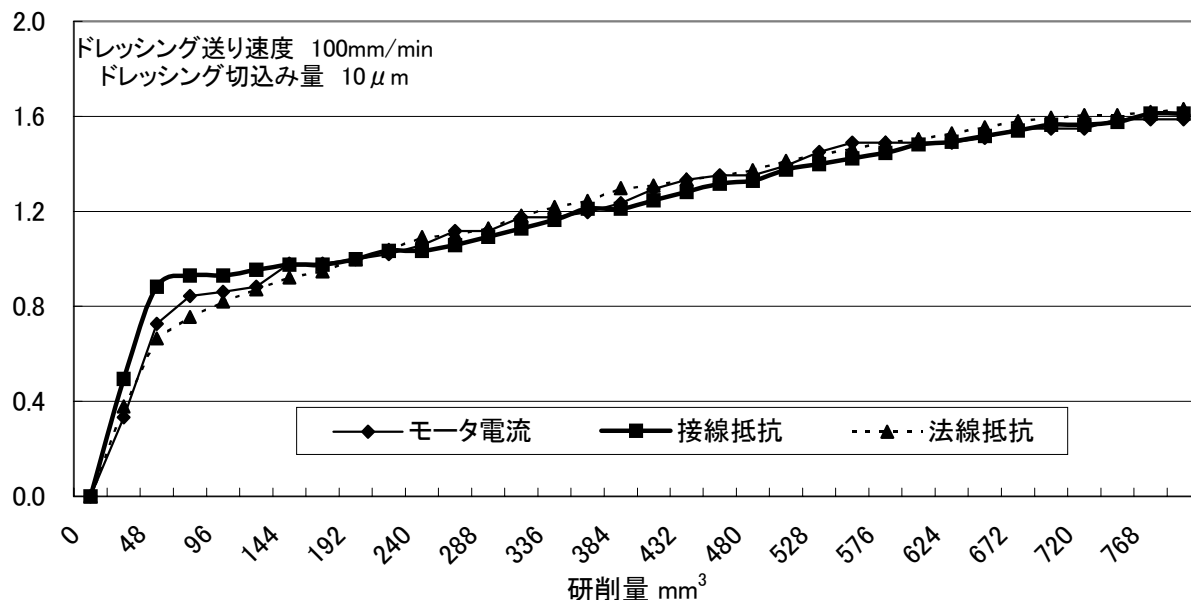


図 27 モータ電流と研削抵抗の変化を正規化したグラフ

図 27 から、3つの研削現象はほとんど一本のグラフにまとまること分かる。これはモータ電流が研削抵抗の代わりになりうることを示していると思われる。この一回だけのデータでは信頼性に欠けるため、他のドレッシング条件で得られたデータについても検証を試みた。

その結果、ほとんどのデータにおいてモータ電流は研削抵抗と非常によく似た変化をするという結果が得られた。

いくつかの条件では、図 27 のようにほとんど重なり合うという結果にはならないものもあった。その中でも特に食い違いの大きい例を図 28 に示す。図 28 は片端切込み方式のドレッシング送り速度 500mm/min、ドレッシング切込み量 20 μm のものである。なお、片端切込み方式の場合は研削量 150 mm^3 の時点から 1 として正規化した。

図 28 は図 27 に比べると3つの研削現象の不一致がかなり大きいですが、これぐらいの誤差であれば砥石寿命を判断するには十分許容範囲内に含まれると思われる。

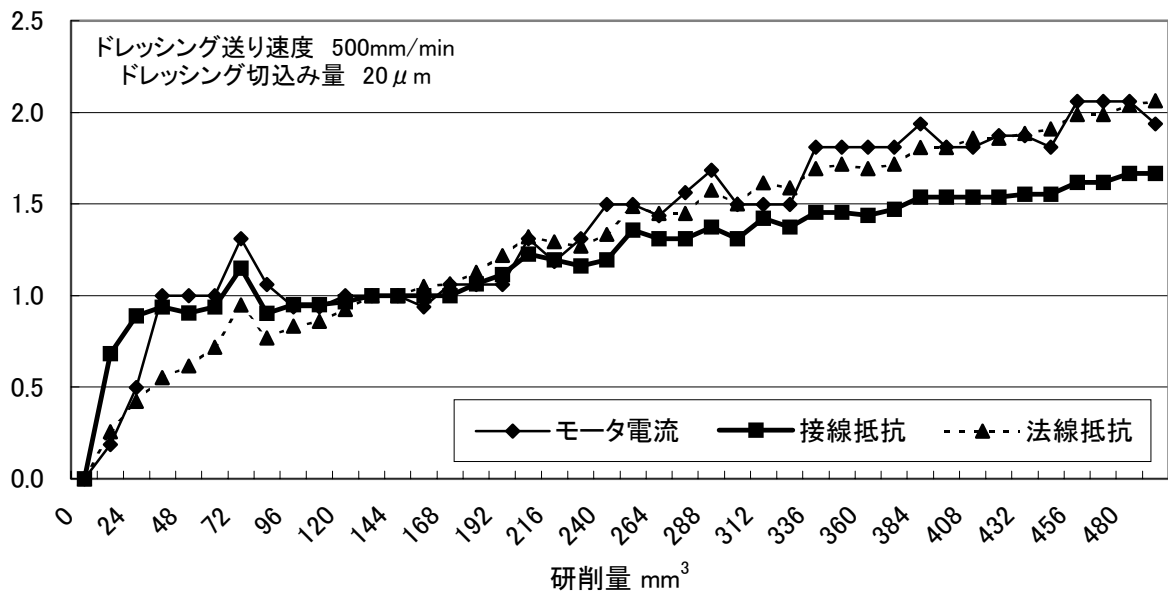


図 28 モータ電流と研削抵抗の変化を正規化したグラフ

また、これぐらいの誤差であれば計測誤差である可能性もあるので、砥石寿命判定にモータ電流を用いることは可能であると思われる。

次に砥石軸頭上の振動について検証をしてみた。一例として両端切込み方式のドレッシング送り速度 100mm/min、ドレッシング切込み量 10 μm の時のもので検証してみる。

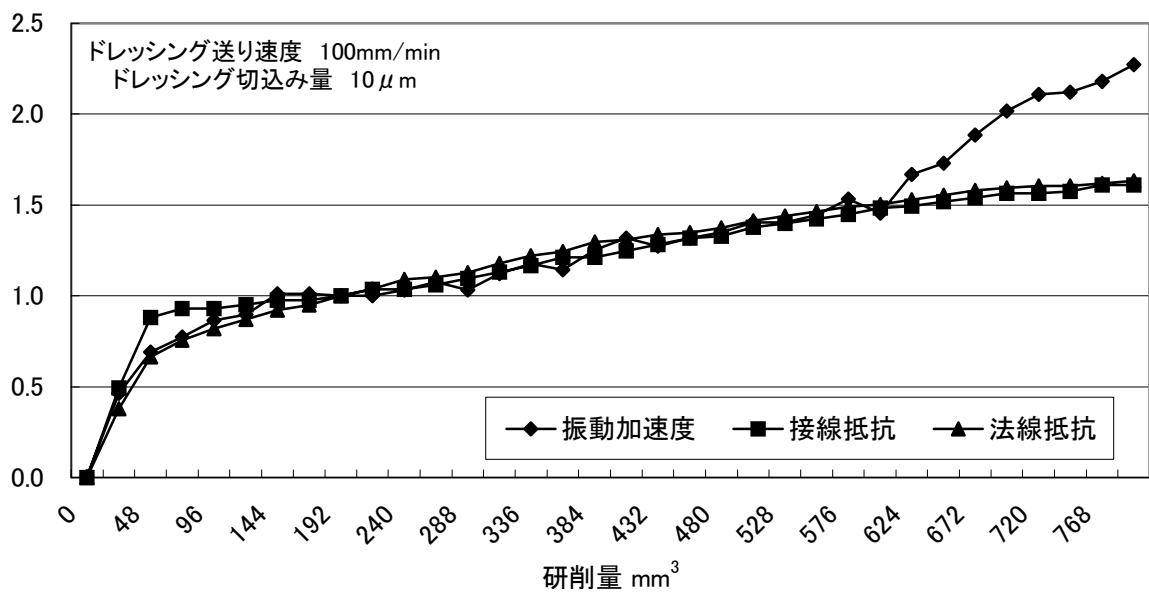


図 29 振動加速度と研削抵抗の変化を正規化したグラフ

図 29 に振動と研削抵抗をモータ電流の場合と同様に正規化して比較した結果を示す。これから振動は研削量が 600mm^3 を越えたあたりから急激に増加している。

なぜ急激に増加しているかを考えてみると、研削中に聴覚により判定した砥石寿命時期がこの 600mm^3 付近にあったので、この振動の急激な増加は砥石寿命時期と一致していると思われる。よって、振動はモータ電流や研削抵抗と違う形で砥石寿命の判定に役立てることができると思われる。

また、他の条件で収集したデータも同じ様な結果になったため、十分汎用性があると思われる。

4. 結言

平面研削盤における砥石寿命判定法として数種類の研削現象について研削抵抗と比較し、研削抵抗に代わる砥石寿命判定に有効な研削現象を明らかにした。

本研究で明らかになった点は次の通りである。

- 1) 砥石軸モータ電流は研削抵抗と同じような変化をするので、研削抵抗の代わりに使用できる可能性がある。
- 2) 砥石軸頭上の振動は研削抵抗とは違う変化をするが、砥石寿命時期付近で急激に増加するため、砥石寿命判定基準として使用できる可能性がある。
- 3) 砥石回転数は今回の実験ではほとんど変化が認められなかった。
- 4) ドレッシング送り速度を速くすると研削抵抗、モータ電流は小さくなる。
また、砥石寿命は長くなるが振動加速度にはあまり関連が認められなかった。
- 5) ドレッシング切込み量を大きくすると研削抵抗、モータ電流が小さくなる。
また、砥石寿命は長くなるが振動加速度にはあまり関連が認められなかった。

参考文献

- 1) 齋藤義夫：実用性の高い加工状態認識用インプロセスセンサ，マシンスト，29，8 (1985)84.
- 2) 島宗 勉，小野浩二：砥石寿命に関する研究(第1報)－研削抵抗の時間的变化－，精密機械，46，11(1980)1379.
- 3) 松井正己：研削砥石の寿命，機械の研究，25，4 (1973)521.
- 4) 3) に同じ.
- 5) 松井 敏，堀内 毅：自転形単石ドレッシングに関する研究－寸法精度及び表面粗さに対する効果－，精密工学会誌，59，3 (1993)461.
- 6) 松井 敏，堀内 毅：自転形単石ドレッシングに関する研究－四角柱形ダイヤモンドの場合－，砥粒加工学会誌，39，1 (1995)40.