

平成12年度卒業研究

# 切断砥石のトライボロジー

平成13年3月

高知工科大学

工学部 物質・環境システム工学科

1010091 三村 和令

# 目次

概要	・・・ 1 ページ
1. はじめに	・・・ 1 ページ
2. 切断砥石の特徴	
2-1 構造	・・・ 2 ページ
2-2 自生作用	・・・ 3 ページ
2-3 作業環境悪化の要因	・・・ 3 ページ
3. 試験機の仕様	
3-1 試験機の外観と構成	・・・ 4 ページ
3-2 測定部の概略	・・・ 4 ページ
3-3 切断試験機の概要	・・・ 5 ページ
3-4 切断試験機の仕様	・・・ 5 ページ
4. 切断試験機の有効性の検討	・・・ 6 ページ
5. 実験結果	
5-1 切断抵抗	
5-1-1 データ解析の方法	・・・ 7 ページ
5-1-2 切断エネルギー	・・・ 10 ページ
5-1-3 データ解析	・・・ 11 ページ
5-2 被削材の温度	・・・ 11 ページ
6. 切断砥石の評価	・・・ 12 ページ
6-1 評価法	・・・ 13 ページ
6-2 本試験法の実験条件	・・・ 13 ページ
6-3 実験結果	
6-3-1 実験中の観察事項	・・・ 13 ページ
6-3-2 データ解析	・・・ 14 ページ
6-4 本試験法と従来試験法との比較	・・・ 15 ページ
7. まとめ	・・・ 15 ページ
8. 謝辞	・・・ 15 ページ
9. 参考文献	・・・ 16 ページ

## <概要>

切断砥石の開発の効率化を目的とし、基本性能を評価する試験機を試作した。切断時に各種パラメータを変化させ、試験法の有効性について検討した。本報では、切断抵抗と被削材温度のデータの解析を行った。そして、切断抵抗から切断エネルギーを求めた。一つ一つの切断エネルギーはばらつくが、それぞれの平均値と標準偏差を比較する事により切断砥石の性能を評価することができた。またその結果は、熟練工の手による感覚と一致したため、切断砥石の基本性能を数値化することができた。今後、本法を用いて効率よく新しい切断砥石の開発に着手できるようになった。また、切断砥石の性能を向上により作業場環境の改善が期待できる。

キーワード：切断砥石，作業場環境の改善，切断試験機，切断抵抗，切断エネルギー

## 1. はじめに

切断砥石は、軽量で持ち運びに優れており、比較的誰にでも簡単に様々な種類の材料が切断できるため金属加工に幅広く使用されている。切断を行っているところを<図1>に示す。<図1>を見て分かるように、切断に伴って火花が発生し、その影響により被削材が過熱する。また騒音が発生し、快適な作業環境とは言い難く改善が必要である。作業環境の悪化の要因はトライボロジーに由来する部分が多い。切断に必要な摩擦を被削材に伝え、発熱等に変わる無駄なエネルギーを抑えるかが問題解決のポイントとなりトライボロジーを解決方法の道具として問題に取り組んでいく。切断砥石の性能と性質は砥粒，粒度，結合度，組織，結合剤の5因子で決まる。それら5因子を改良することにより砥石の性能を向上し、作業環境の改善を行う。しかしながら、現状では切断砥石の性能を客観的に評価する試験法がなく、安定した品質管理や新しい砥石を開発するうえで障害となっている。そこで切断砥石の開発の効率化を目的として、基本性能を評価する試験機を試作した。そして、切断時に各種パラメータを変化させ、試験方法の有効性について検討した。



図1 切断砥石(切断中)

## 2. 切断砥石の特徴

### 2-1 構造

切断砥石は砥粒と結合剤を適量づつ混合圧縮したのち、結合剤の種類に応じて焼成や加熱硬化、あるいは化学反応させて固化したもので、その構造は<図 2>に見られるように、砥粒、結合剤、気孔(空隙)の3要素から構成されている<sup>1)</sup>。砥粒は切削工具の刃部に相当する要素、結合剤は隣接する砥粒の位置を固定して、それらを支持する要素、気孔は研削時に生ずる切りくずの排除を助ける要素であって、これらが一体化して砥石を形成している。

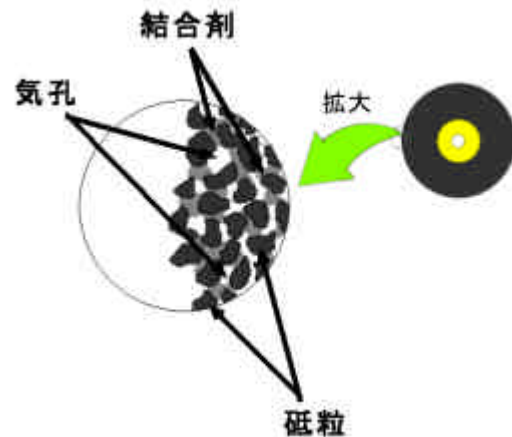


図2 切断砥石の構造

切断砥石の切削工具としての性能と性質は、主として次の5因子<図 3>によって決まる。5因子は切断砥石1包装ごとにJIS規格に従って、砥粒、粒度、結合度、組織、結合剤、の順序で記載されている。その例を<図 4>に示す。これら5因子の組合せによって、砥石の性能と性質が決まる。そのため5因子の組み合わせを可変することにより、作業場環境の改善の糸口となる。

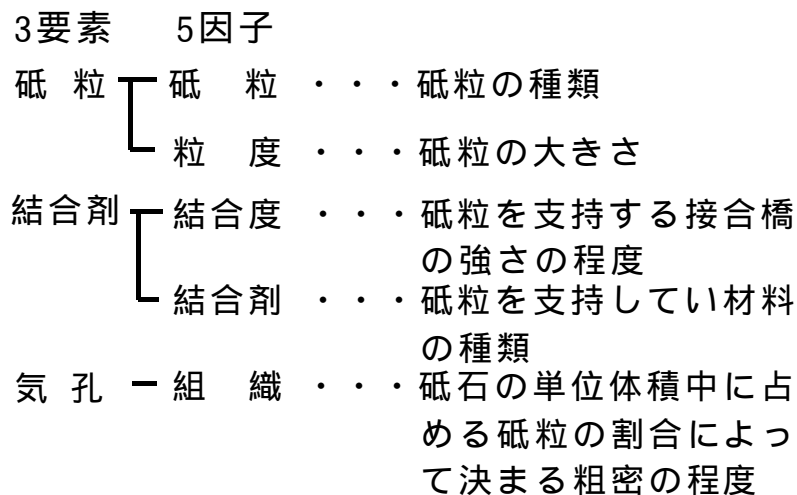


図3 切断砥石の基本性能

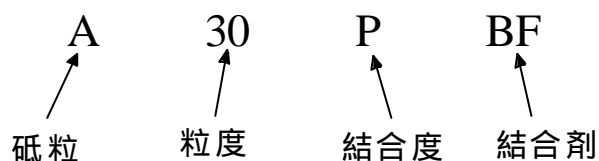


図4 切断砥石の仕様の表記方法

## 2-2 自生作用

切断砥石には切れ味の回復という点で他の切削工具にはみられない自生作用(自生発刃)という現象がある。自生作用のメカニズムは以下の通りである。切断を行うにつれ砥粒の刃が摩耗して切れ味が悪くなる。それに伴い切断抵抗が上昇していき砥粒の動摩擦係数が静止摩擦係数より大きくなり、砥粒が脱落する。そして、鋭利な切れ刃稜と切りくずを新生して、切れ味を回復するという現象である。一定の間隔で自生作用が起こす砥石が、切れ味がよい砥石である。

## 2-3 作業環境悪化の要因

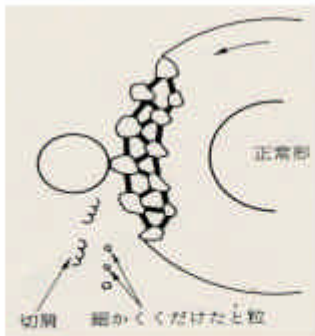


図5 正常形<sup>2)</sup>

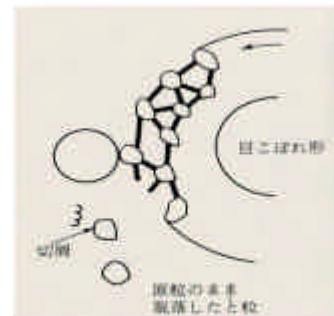


図6 目こぼれ形<sup>2)</sup>

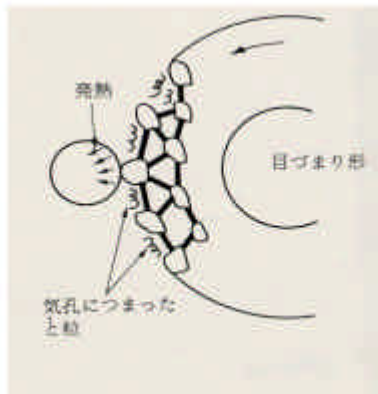


図7 目づまり形<sup>2)</sup>

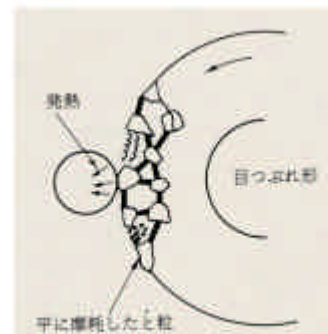


図8 目つぶれ形<sup>2)</sup>

労働省安全衛生部安全課編：グラインダ安全必携，(1972)76より転載

上述した，自生作用がスムーズに行われる切断状態を「正常形」<図 5>という。これに対して切断砥石の減りが早過ぎて加工物が削れなくなった状態を「目こぼれ形」<図 6>，切屑が気孔に詰まって加工物が削れない状態を「目づまり形」<図 7>，摩耗した砥石が表面にならび加工物が削れなくなる状態を「目つぶれ形」<図 8>という。

目こぼれ形になった切断砥石はそのまま切断作業を続行すれば，切断砥石の片減り現象を生じ，振動，加工物のくい込み，タタキ，加工物の飛ばし，切断砥石の破壊などの事態を生じるに至る．

目づまり・目つぶれの状態になれば，切断抵抗が過大になり，加工物と切断砥石に大きな研削熱が発生する．このような状態では，切断効率が極度に低下し，加工物には，研削やけ，研削割れ，さらには残留応力によるひずみ，熱膨張による寸法および加工精度の不良，加工変質層の発生等のトラブルが多発する<sup>2)</sup>．

以上のことから，切断時の切断抵抗の変位と作業環境の悪化とは密接な関係にあることがわかる．そのため，試験機の開発をするにあたり切断抵抗を測定する機能を取り付けた．

### 3. 試験機の仕様

#### 3-1 試験機の外観と構成

試験機の外観を<図 9>に示す．試験機は，切断する本体部分と制御及び測定用のコンピュータと集塵機の 3 つから構成されている．<図 10>は切断試験を行っている時の写真で，<図 9>の中央あたりの部分にあたる．

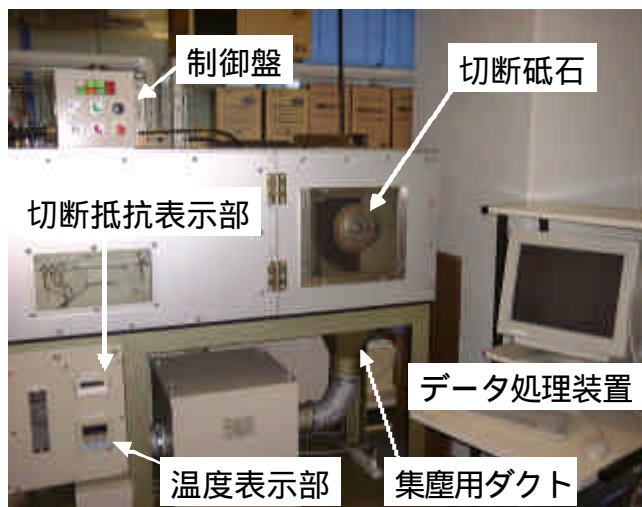


図9 試験機の外観



図10 切断試験中

#### 3-2 測定部の概略

切断部の概略を<図 11>に示す．砥石の回転軸を固定し，被削材を送りながら切断する．切断抵抗の測定にはひずみゲージを，また被削材の温度測定には熱電対を用いた．温度測定については<図 12>に示す通り，切断して切り落とされる部分を測定できるように取り付けた．また，あらゆる形状の被削材を取り付けられるように保持具としてバイスを用いた．

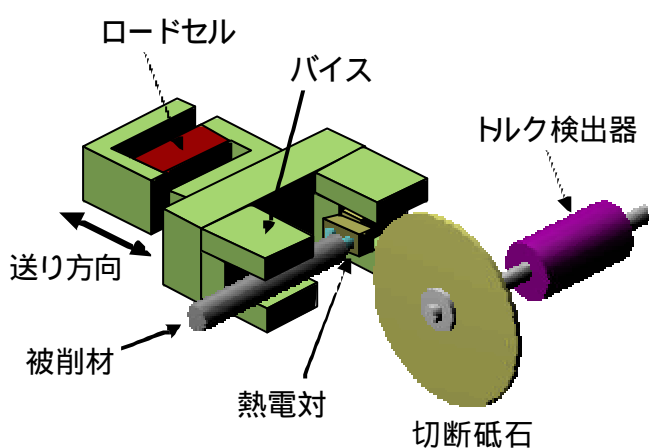


図11 切断部の詳細

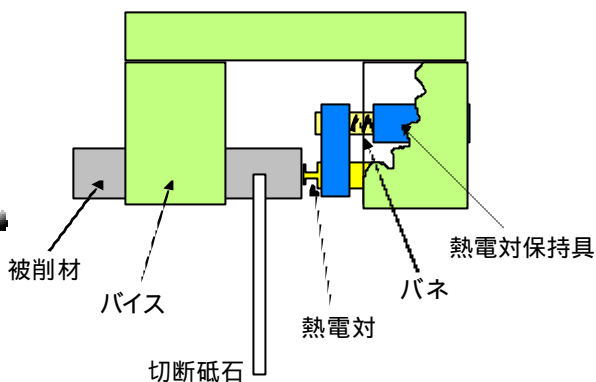


図12 熱電対取り付け部の詳細

### 3-3 切断試験機の概要

本試験機の概要を<図 13>示す。本試験機では切断時の送り速度や、回転数をコンピュータにより設定し、試験機の運動を制御している。また試験中に、切断抵抗、被削材の温度、回転数および回転トルクのデータをそれぞれデジタル変換して、コンピュータに読み込む。データは1秒間に5～7個のデータを読み込む事が出来るようにプログラムを行った。この読み込んだデータを表計算ソフトを用いて解析し、解析結果を出力することが可能である。

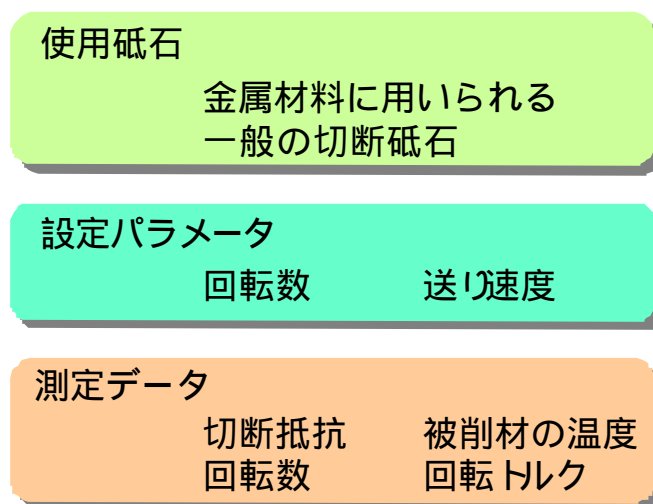


図13 試験機概要

### 3-4 切断試験機の仕様

本試験機の仕様を<表 1>に示す。被削材の寸法は、丸棒と角棒の場合の寸法である。また、砥石回転数はインバータ制御が可能で、回転数を一定のまま切断を行うことも出来る。

表1 試験機の仕様

設定回転数 ,rpm	500 ~ 4300
送り速度 ,mm/s	0.5 ~ 3.5
砥石直径 ,mm	255 ~ 305
被削材寸法 ,mm	5 ~ 50

### 4. 切断試験機の有効性の検討

試作した試験機の有効性を検討するために、各種パラメータを変化させ、以下の実験方法で行った。

切断砥石は、一般に市販されているものを使用した。A30PBF、A36PBAF の 2 種類の切断砥石を使用した。JIS 規格のもので、砥粒は純度約95%のアルミナの結晶で結合剤は補強剤入りのレジノイドを使用している。2つの砥石の違いは、粒度と補強剤である。

被削材は直径が 25mm の SS400 と S45C の丸棒を用いた。JIS 規格のもので化学成分表は<表 2>に示す。

被削材を定寸送りで送る速度を 1.0mm/s と 1.5mm/s に変化させた。

表2 被削材の化学成分表

種類	化学成分(%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Fe
SS400	0.16	0.2	0.64	0.02	0.04	-	-	-	balance
S45C	0.44	0.19	0.75	0.01	0.03	0.16	0.5	0.14	balance

以上<表 3>の条件下で切断を行った。実験には各条件ごとに新しい切断砥石を用いて 9 回切断を行った。そしてコンピュータに読み込んだデータのうち、本報では、切断抵抗と被削材温度のデータについて解析を行った。

表3 実験条件

	被削材 ( 25 )	送り速度 mm/s	周速, m/s	砥石 (砥石外径305 mm)
条件A	SS400	1.0	30	A30PBF
条件B	SS400	1.5	30	A30PBF
条件C	S45C	1.0	30	A30PBF
条件D	SS400	1.0	30	A36PBAF



## 5. 実験結果

### 5-1 切断抵抗

#### 5-1-1 データ解析の方法

1回の切断試験で得られた切断抵抗の経時変化を<図14>に示す。また<図15>に2回目の切断試験で得られた切断抵抗の経時変化を示す。2つのデータを見てわかる通り測定値は変動しており解析を行いにくい。そのため、1秒あたり5～7個あるデータを1秒ごとに平均をとり、データの解析を試みた。そのグラフを<図16>に示した。この図から切断抵抗の最大値が約12秒あたりにある。これは、被削材に丸棒を使用したために一番砥石と被削材の接触面積の広い真ん中付近で最大値を示した。また最大値から急に切断抵抗が下がったのは自生作用が起こったものと推察できる。以後、すべてのデータに同様の処理を加え比較を行った。

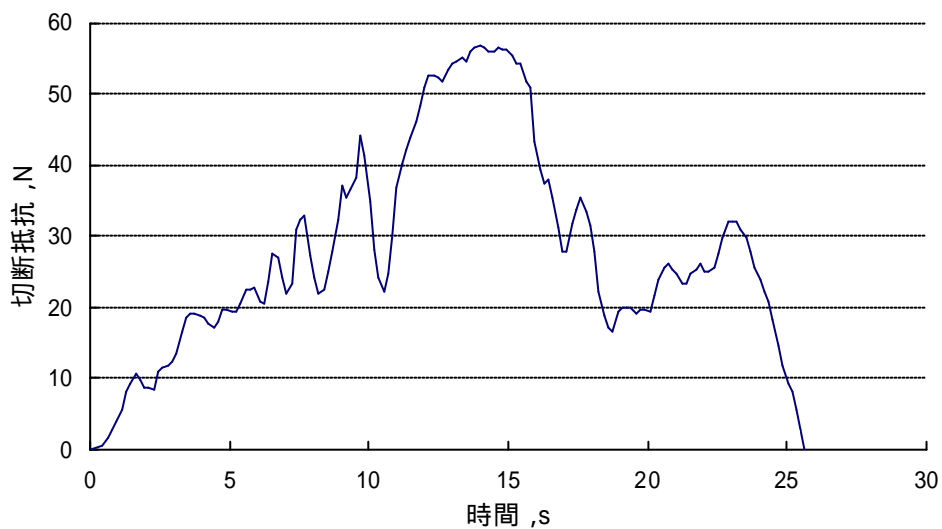


図14 切断抵抗(生データ1)

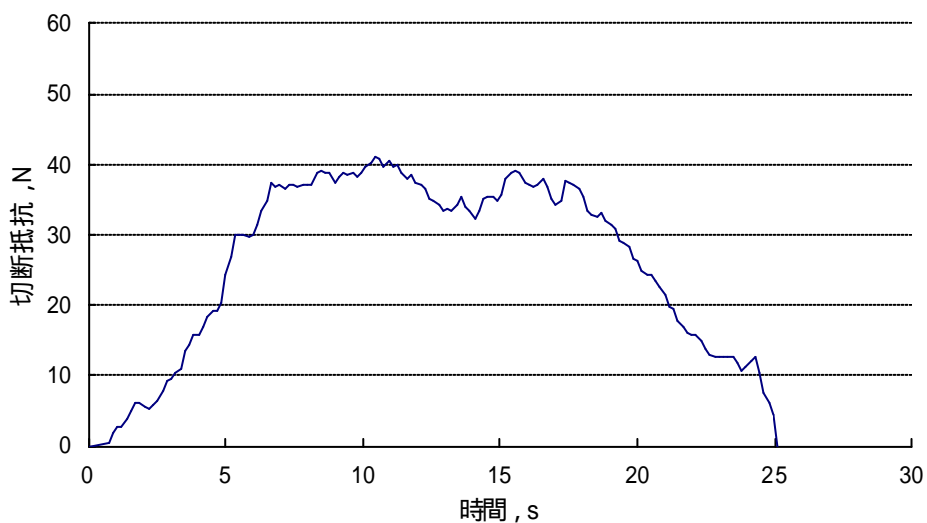


図15 切断抵抗(生データ2)

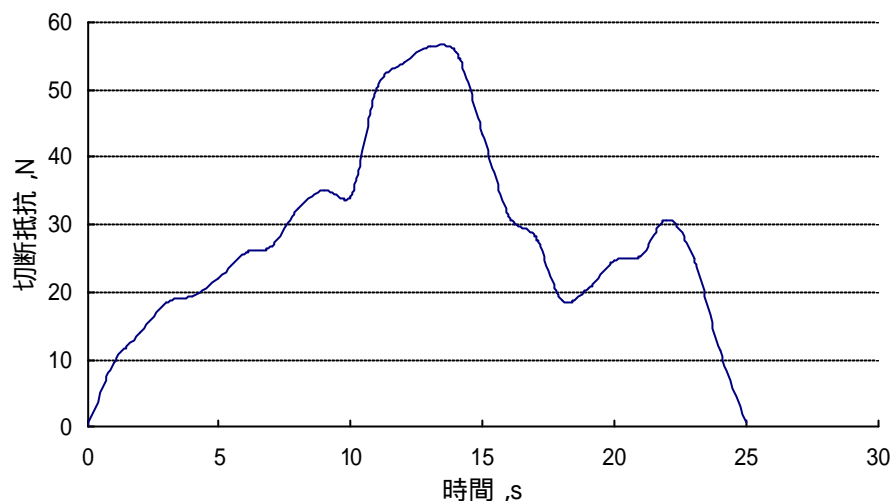


図16 切断抵抗(平均データ)

条件 A で得られた 9 回分の切断抵抗の経時変化を<図 17>に示した。測定ごとに切断抵抗は大きく変化し明確な相関性が見られなかった。また条件 B<図 18>においても同様の傾向が見られた。そこで、各条件における 9 回分のデータを平均化し、比較することにした。条件 A と各条件の切断抵抗の比較を<図 19>、<図 20>および<図 21>に示す。それぞれの条件によって切断抵抗の経時変化パターンは差位を生じており、本試験機により切断抵抗の比較が可能であることがわかった。

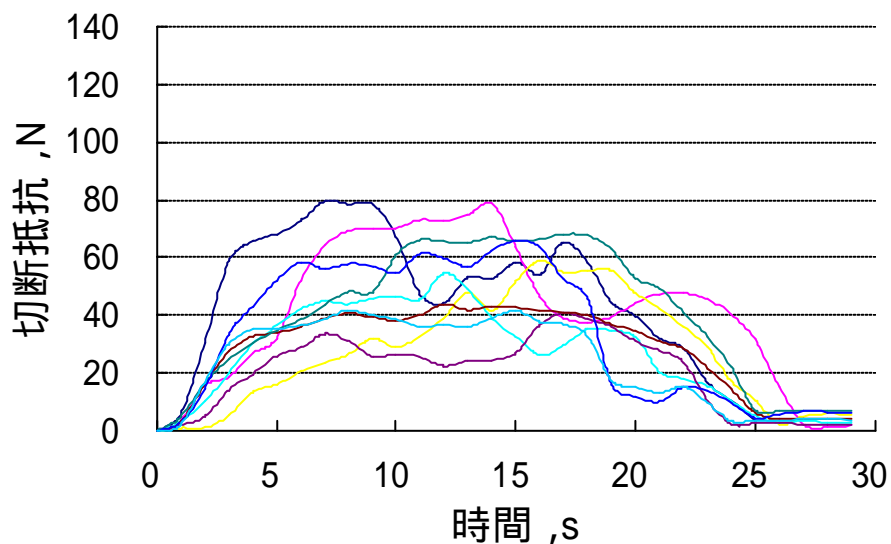


図17 条件Aの9回分の切断抵抗

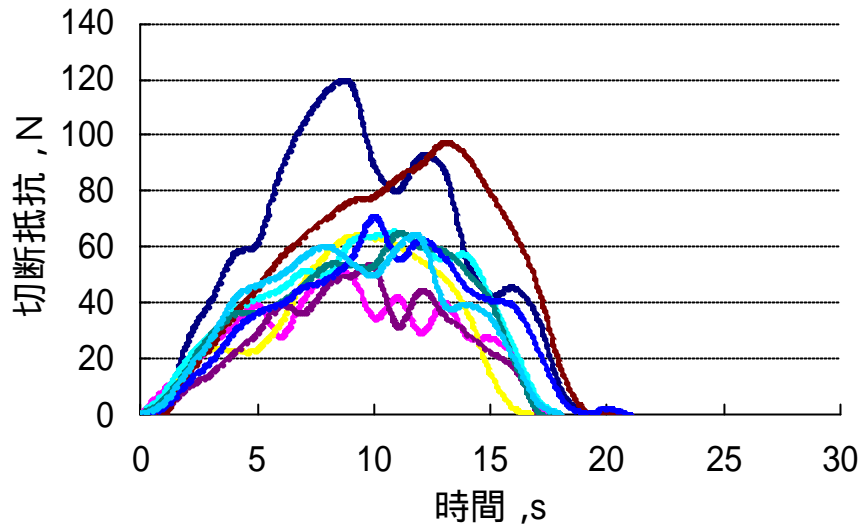


図18 条件Bの9回分の切断抵抗

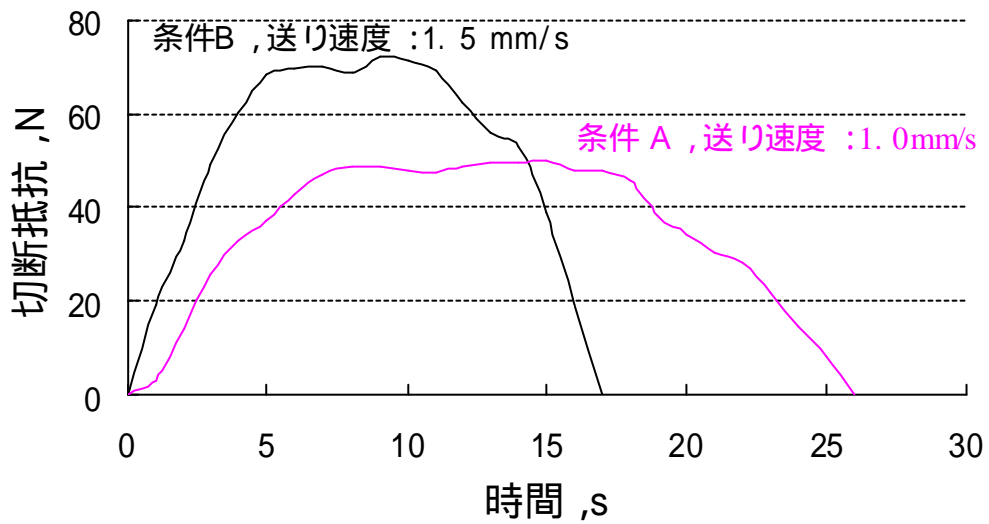


図19 送り速度の違いにより切断抵抗の比較

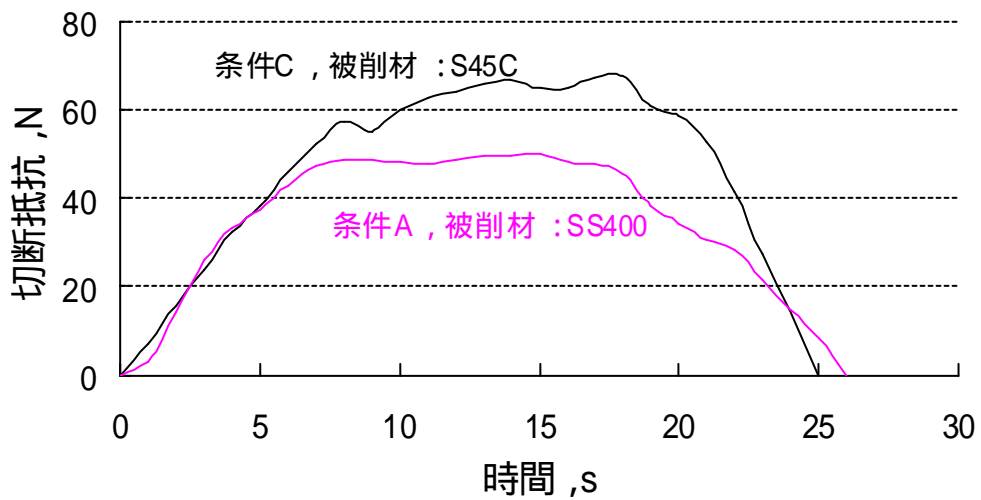


図20 被削材の違いによる切断抵抗の比較

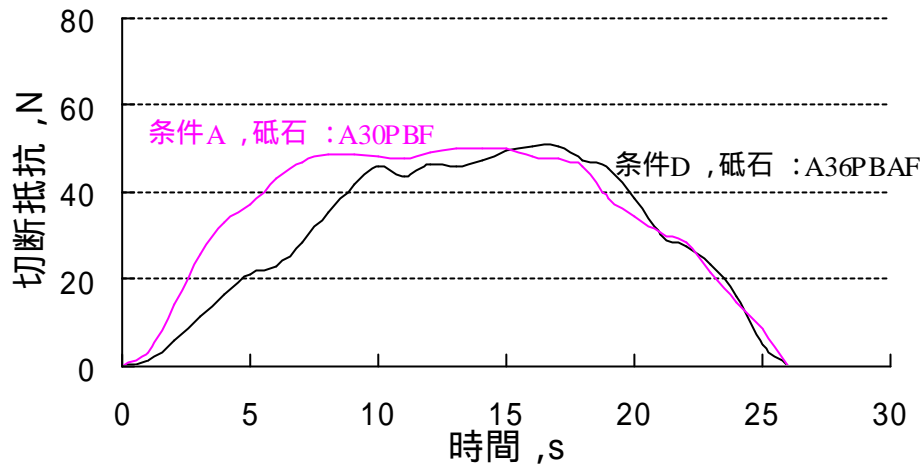


図21 砥石種類の違いによる切断抵抗の比較

### 5-1-2 切断エネルギー

上記の結果からだけでは、どの条件で切断を行い易かったのかが、一目で分かりにくい。そのため、切断抵抗の値を測定時間で積分し、その値に砥石の周速度をかけたものを切断に要するエネルギーと考えた。以後これを切断エネルギーと呼ぶ。<図 22>は、4つの条件の切断エネルギーを示す。

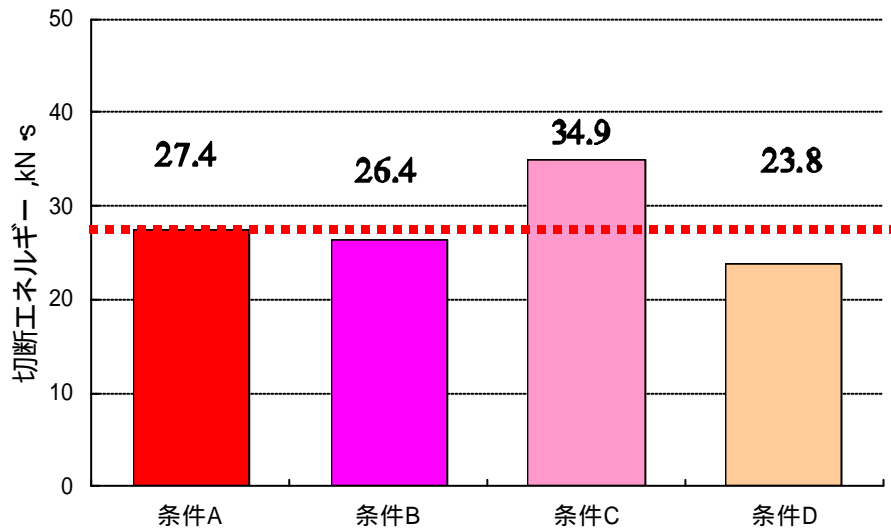


図22 切断エネルギーの比較

### 5-1-3 データ解析

<表 3>で示した通り 4 つの条件で行った実験を条件 A(送り速度:1.0mm/s , 被削材:SS400 , 周速:1800m/min , 切断砥石:A30PBF)を基準として切断エネルギーを中心として解析を行っていく .

#### ・条件 A と条件 B との比較

条件 A と条件 B との違いは , 送り速度で条件 A は 1.0mm/s で条件 B は 1.5mm/s である . また , 切断抵抗の経時変化の比較は<図 19>に示した通りである . 条件 B は送り速度が速いため最大の切断抵抗が大きい但全体のエネルギー量はほぼ同じである .

#### ・条件 A と条件 C との比較

条件 A と条件 C との違いは , 被削材の違いで , 条件 A は SS400 で条件 C は S45C である . また , 切断抵抗の経時変化の比較は<図 20>に示した通りである . 条件 C より条件 A のエネルギー量が少ない . このことから , SS400 の方が S45C より切断を行い易いことがわかる .

#### ・条件 A と条件 D との比較

条件 A と条件 D との違いは , 切断砥石の種類で条件 A は A30PBF で条件 D は A36PBAF である . また , 切断抵抗の経時変化の比較は<図 21>に示した通りである . 条件 A より条件 D のほうが切断に要するエネルギーが小さい . このことから , A36PBAF の方が A30PBF より切断を行い易いことがわかる .

以上の結果を熟練工の手の感覚と比較したところ , 結果が一致した . このため , 本試験法は , 切断砥石の性能評価に有効である .

### 5-2 被削材の温度

温度変化についても切断抵抗と同様に 9 回分のデータを平均化して比較した . 送り速度が同じ条件 A , C , D については , <図 23>に示すとおり温度変化の推移についてほとんど相違がないことがわかる . <図 24>の送り速度が大きい条件 B については最高温度が低くなった . これは条件 B は送り速度が速いため , 砥石の側面と被削材との接触時間が短かく , 温度上昇を防止したものと推察した .

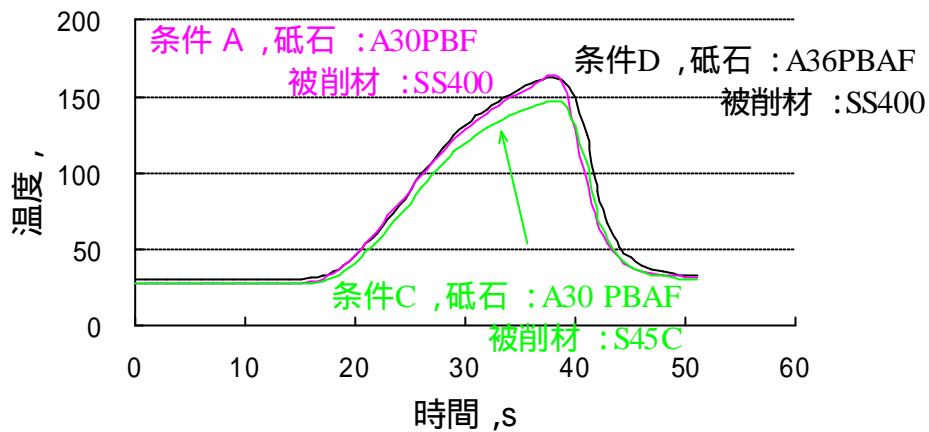


図23 条件A,C,Dの被削材の温度変化

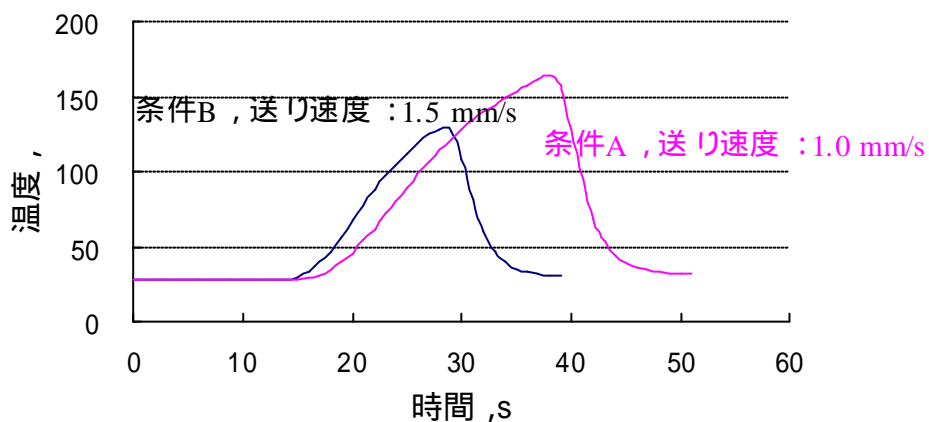


図24 条件A,Bの被削材の温度変化

## 6. 切断砥石の評価

実際にホームセンターで市販されている切断砥石を購入し、性能を評価した。切断砥石は6種類購入した。それぞれの切断砥石の仕様は<表4>に示した通りである。

表4 切断砥石の仕様

砥石名称	砥石種類
SB	A 30 P
KS	SA 30
TS	A 36 T
RK	A 36 SX
WF	AZ 30 T
SR	A 30 S

## 6-1 評価法

切断砥石の性能を評価する方法として、本研究で開発した試験法と、従来からの評価法の2つの方法を用いて比較を行った。本研究で開発した試験法では、切断エネルギーのみで評価を行った。また、従来の評価法では切断を手動で行っている。切断に要した時間、切断した被削材の面積と砥石の摩耗量から切断効率を求める。それに加えて、熟練工が切断を行った時の、手の感覚により切断砥石の評価を行う。

## 6-2 本試験法の実験方法

実験条件は、<表 5>に示したとおりである。<表 4>に示した6種類の切断砥石について3枚ずつ切断試験を行った。1枚の砥石につき9回の切断試験を行った。

表5 実験条件

被削材	材質	SS400
	直径,mm	25
送り速度,mm/s		1.0
周速度,m/s		30

\* 被削材のSS400はJIS規格,丸棒を使用

## 6-3 実験結果

### 6-3-1 実験中の観察事項

SBを基準として、切断試験中の観察事項を記す

- KS・・・切断抵抗が高く、被削材が熱変色した面積も大きかった
- TS・・・切断抵抗が切断回数を重ねるにつれ高くなっていった。
- RK・・・砥石の摩耗が少なく比較的スムーズに切断できた
- WF・・・切断抵抗が最も低くかった。また、<図 12>のバイスで固定されている被削材の切断面に熱変色が見られない物が多かった。
- SR・・・<図 12>のバイスで固定されている被削材の切断面に熱変色が見られない物が多かった。

### 6-3-2 データ解析

1つの切断砥石につき3シリーズ試験を行ったため、27個のデータを得た。それぞれにおいて切断エネルギーを求め評価を行った。<図 25>は切断エネルギーの実測値を示している。切断エネルギーの平均値を<図 26>に示す。WF, SB, RK, が低い値を示した。KS, TS は高い値を示した。KS では、切断時の被削材の温度がほかの切断砥石より上昇した。切断エネルギーの標準偏差を<図 27>に示す。WF, SB, RK, が低い値を示した。TS が高い値を示した。切断砥石エネルギーの大小に加え、値のばらつきも切断砥石の性能を評価する1つの道具になる。切断エネルギーの値が低く、ばらつきが少ないものが性能がよい。そのため<図 25><図 26><図 27>から SB, RK, WF の性能がよいことがわかる。

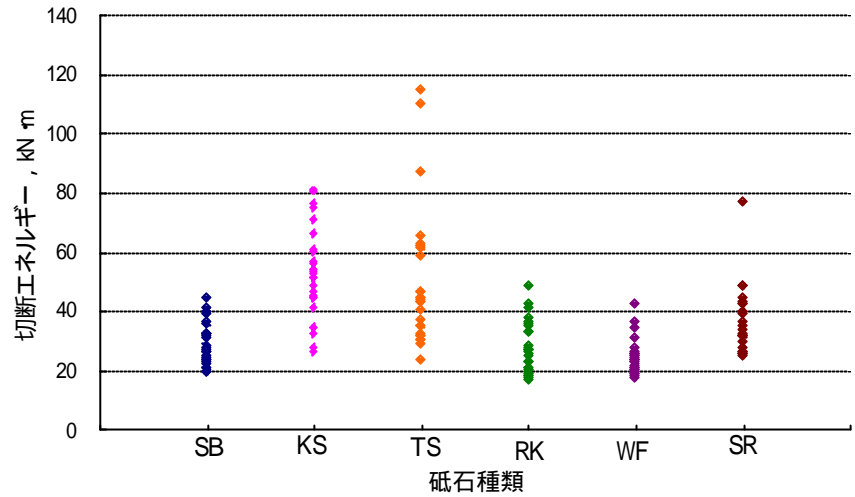


図25 切断エネルギーの実測値

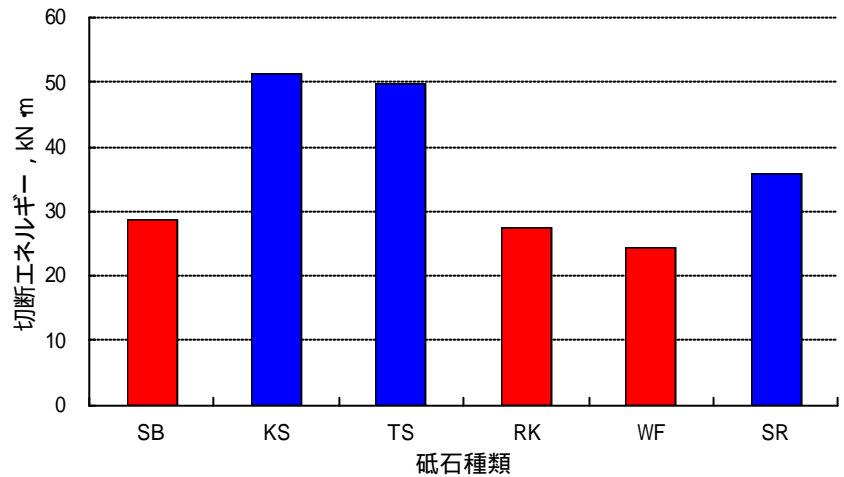


図26 切断エネルギーの平均

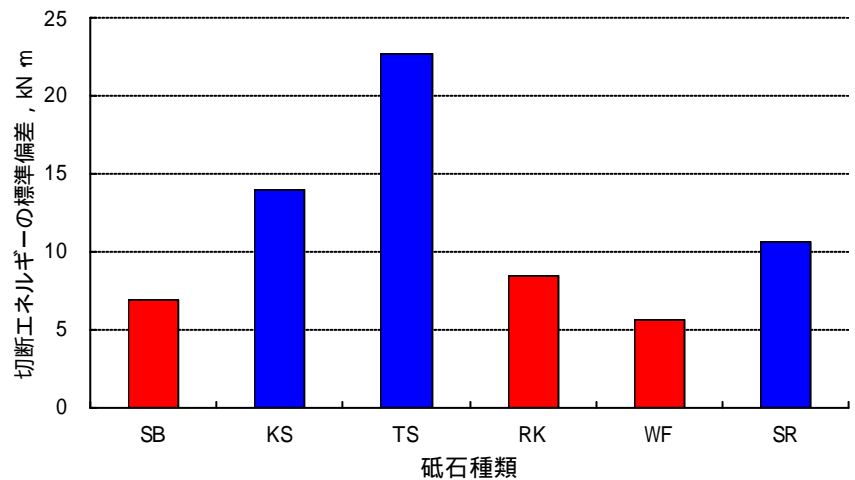


図27 切断エネルギーの標準偏差



#### 6-4 本試験法と従来試験法との比較

本試験法では、WF、RK、SBの3つの砥石がよい結果を示した。<表6>は、熟練工により6種類の砥石を評価した結果である。<表6>をみてわかるように、2つの結果が一致した。このことから実際に、切断砥石の性能評価ができ今後の新しい切断砥石の開発に有効である。

表6 熟練工の評価

砥石種類	評価
SB	優
KS	良
TS	良
RK	優
WF	優
SR	良

#### 7. まとめ

1. 切断試験により得られるデータは、毎回ばらつくため、数回分を平均化したデータの解析が有効である。
2. 切断エネルギーとその標準偏差を比較することにより、切断効率を評価できることがわかった。
3. 試作した試験機の結果は、熟練工の手の感覚と一致しており、切断砥石の基本性能を客観的に評価できることがわかった。

#### 8. 謝辞

卒業研究を遂行するにあたり、高知職業能力開発短期大学校生産技術科田上晴久先生には、砥粒加工の学術的のご指導を頂きました。また、切断試験機と切断砥石を提供して頂いた、広島研磨工業株式会社殿と、被削材を提供して頂いた宇治電化学工業株式会社殿に心から感謝を申し上げます。最後になりましたが終始ご指導ご鞭撻を頂いた高知工科大学物質・環境システム工学科南一郎助教授に心から感謝の意を表します。

## 9. 発表実績

1999, 10 トライボロジー会議 '99 高松(高松)

「切断砥石のトライボロジー」

2000, 10 International Tribology Conference NAGASAKI

“Tribology Of Cutting-Off-Wheels”

発表予定 World Tribology Congress (VIENNA, Austria)

“Tribology Of Cutting-Off-Wheels”

## 10. 参考文献

1) 河村末久 矢野章成 樋口誠宏 杉田 忠彰：切削加工と砥粒加工 共立出版社株式会社，(1984)76

2) 労働省安全衛生部安全課編：グライнда安全必携，(1972)40