

ポリ尿素樹脂をバインダとした弾性砥石の研削性能

小柳津善二郎^{*}, 田村克浩[†], 船井 孝[‡], 安永暢男^{††}

Grinding Properties of Polyurea Elastic Grindstone

Yoshijiro Oyaizu, Katsuhiko Tamura, Nobuyoshi Tanaka, Nobuo Yasunaga

高硬度でゴム弾性、耐摩耗性、耐熱性、強靱性を兼ね備えたポリ尿素樹脂をバインダとした弾性砥石の開発を行った。この砥石の研削特性を、プラスチック材料の摩耗試験に用いられるテーバー式摩耗試験を模した研削試験機を作製し、市販の各種砥石とアルミ、軟質ガラス、フェノール樹脂、炭素鋼の研削特性を比較した。その結果、ポリ尿素をバインダとした弾性砥石は、研削能率および研削比が高く、砥石耐力も大きいという特長を持っていた。また、ダイヤモンド砥石用バインダとして適したバインダ特性を持つことを見出した。

Key words : polyurea resin , elastomer, binder, grinding ratio, roughness, line pressure

1. はじめに

ポリ尿素樹脂は、柔軟性の高い構造を持つポリアミンとポリイソシアネートを重合することにより、高硬度でゴム弾性が高く、耐摩耗性、耐熱性、強靱性を兼ね備えたエラストマー材料となる(表 1)。また、原料組成比の制御により硬度および発泡率の制御も容易にできる¹⁾。これを研削砥石用バインダとして利用すれば、砥粒保持力が大きく、研削能力や耐久性に優れた砥石とすることができ、また被削材や用途に合わせた柔

軟な砥石設計が可能であると期待される。現在、ポリ尿素樹脂とよく似た性質を持つポリウレタンをバインダとした弾性砥石が一部実用化されている。しかし、ポリウレタンは耐熱性が低く、熱溶融が発生するため乾式研削には向かないため、用途が湿式研削に限られている。ポリ尿素樹脂は、ポリウレタンに比べ耐熱性を有するため、乾式研削においても優れた研削性が期待できる。このことから、ポリ尿素樹脂をバインダとした各種砥粒の砥石を試作し²⁾、アルミニウム、ガラス、フェノール樹脂、炭素鋼に対する研削特性について市販砥石との比較検討を行った。

表1 砥石バインダの特徴

バインダ	密度 g/cm ³	硬度 ShoreD	引張 強度 MPa	引張 伸び %	テーバー 摩耗度 [†] mg	軟化 温度	接着性 ^{††} kg/cm ²
ポリ尿素SS	1.13	45	41	410	89	240	-
S	1.18	58	49	440	100	260	140
M	1.22	68	50	300	90	275	-
H	1.25	78	53	120	110	280*	244
フェノール	1.28	93	48	1.8	760	300<	-
PVA	1.30	89	72	9	-	210	-
CR	1.48	32	16	590	406	235**	-

[†] H-18、1000回、^{††} 引張剪断強度(鉄版 - 鉄版)

*軟化・分解温度、**酸化劣化温度

PVA:ポリビニルアルコール、CR:クロロブレン

2. ポリ尿素弾性砥石の特性

2.1 ポリ尿素樹脂の特性

ポリ尿素樹脂の特性を知るため、粘弾性測定装置((株)岩本製作所 Visico-Elastic meter model VES-F)を用いて貯蔵弾性率 E および損失正接 tan δ の温度変化を測定した。比較樹脂としてPVA、フェノール、ウレタン、CRの樹脂の粘弾性も併せて測定した。これらバインダ特性の温度依存性は、乾式研削時の発熱に対して砥石バインダ特性が変化せず、安定して研削できるかの指標となる。

図1にその結果を示す。ポリ尿素樹脂の温度変化による粘弾性挙動は、軟化点と見られる 240-280 °C まで緩やかに変化し、PVA、ウレタンと比較して温度による特性変化が少ないことがわかる。特に、ポリ尿素と同様のバインダ特性を持つポリウ

* (有)リード創研: 〒425-0077 焼津市五ヶ堀之内 955-1

† 静岡工業技術センター: 〒421-1298 静岡市牧ヶ谷 2078

†† 東海大学: 〒259-1292 平塚市北金目 1117

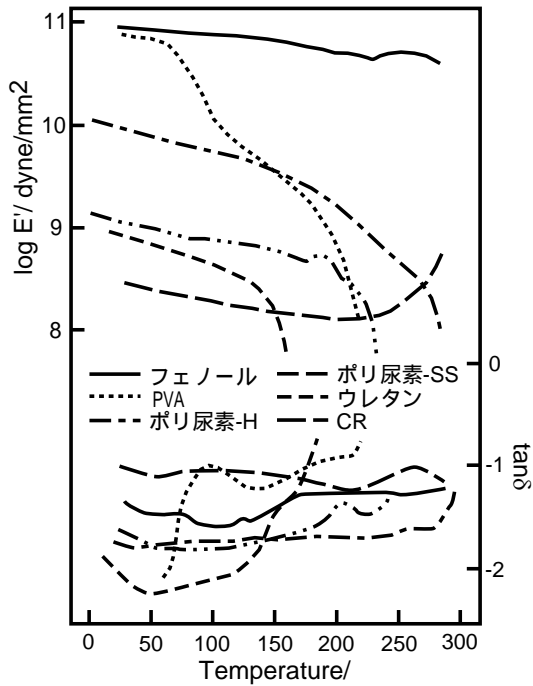


図1 バインダの粘弾性

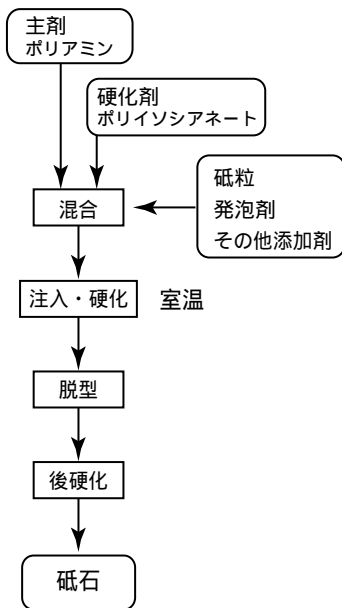


図2 砥石作成フロー

レタンと比較して、軟化点と見られる大きな物性変化が見られる温度が 100 程度高いことから、弾性砥石による乾式研削の可能性を示唆している。

2.2 ポリ尿素弾性砥石の作成

ポリアミン、砥粒、発泡剤および助剤からなる硬化剤とポリイソシアネートを混合後、注型、熱処理することによりポリ尿素弾性砥石を作成した(図2)。このポリ尿素樹脂は原料組成を変化させることにより、ショア D 硬度が 45 から 78 までの硬度が異なる樹脂を得ることができるが、今回の試験では SS(硬度 63)、S(硬度 70)、M(硬度 82)、H(硬度 85)の4種類のポリ尿素樹

脂バインダを用いた。試作砥石 GC-120SS の電子顕微鏡写真(日本電子(株)製 JSM-6300F 使用)を図3に示す。砥粒表面は、ポリ尿素樹脂でコーティングされており、樹脂、気孔、砥粒が共存している。また、気孔は連続気泡を形成していることがわかる。試作砥石および対照として使用した市販砥石の PVA、ゴム(表2中の記号 E)および複合ゴム砥石(表2中の記号 CE)の組成を表2に示す。

2.3 ポリ尿素弾性砥石の粘弾性

ポリ尿素樹脂は、ポリアミンとポリイソシアネートの重合(化学変化)により合成される。砥石作成時には、砥粒等の添加剤を添加することから、これらが重合を阻害し特性変化の恐れがある。このため、作成された砥石に対しても粘弾性測定を行った。図4にその結果を示す。図3および図4より、ポリ尿素樹脂および、これを用いて作製した砥石の粘弾性挙動が、砥石添加により E' の値が上昇するなどの、値自体の変化が見られるが、温度変化に対するバインダ特性変化挙動が変わらないことから、添加による影響は見られないことがわかった。

表2 試作および使用した砥石試料

砥石	試料名	砥粒	粒径 mesh	砥粒濃度 %	バインダ 種類
ポリ尿素砥石	D120M	D	120-140	60	M
	GC120M1	GC	120	68	
	GC120M2			70	
	D120-140 /GC-150-M	D GC	120-140 150	60	
	GC-120SS		120	70	SS
	GC-120S				S
	GC-120H				H
市販砥石	C-120PVA	C	120	-	PVA
	GC-120E	GC		-	CR
	WA-120CE	WA	複合120	-	

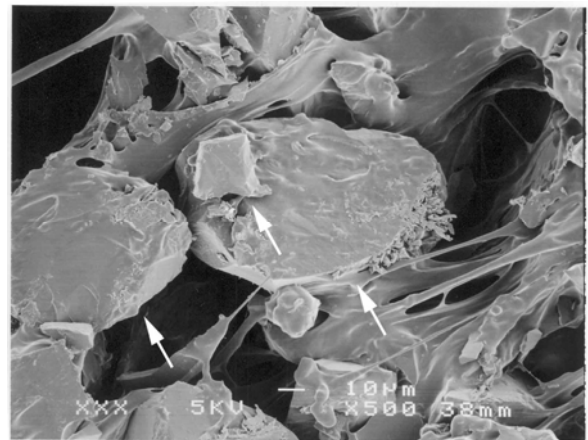


図3 GC-120SS の電子顕微鏡写真
图中矢印は砥粒を示す

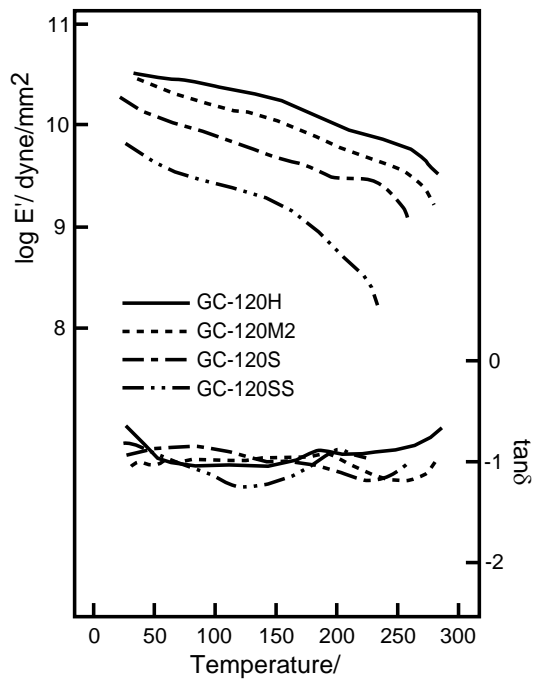


図4 ポリ尿素弾性砥石の粘弾性

3.実験

3.1 手動乾式研削試験

ポリ尿素樹脂は、軟化点または分解点が 240 から 280 であるため、乾式条件では研削熱により樹脂の溶着を起す可能性がある。そこで、電動グラインダ、エアグラインダを用いてアルミニウムの研削試験を行い、溶着性を目視による外観検査および走査型電子顕微鏡観察により評価した。試料は 10×18mm の軸付き砥石を用い、電動グラインダ、エアグラインダそれぞれの無負荷時の回転数は 14,000 および 25,000rpm である。なお、研削時間は 3 分間とした。



図5 テーバー式摩耗試験式研削試験機概略

2.3 テーバー式摩耗試験法による研削試験

2.3.1 試験機

プラスチック等樹脂系材料の耐摩耗性評価に多用されている

テーバー式摩耗試験 (JIS K 7204-1999 および ISO 9352) を参考に、これを模した試験器を作製し、砥石の研削特性を評価した。テーバー式摩耗試験法は、摩耗輪を規定し、500g または 1kg の荷重下でターンテーブルが 1,000 回転した時の被削材の摩耗量を重量または体積で示し、その値の大小で耐摩耗性を評価する試験である。しかし、この試験機は摩耗輪への荷重が 1kg と小さく、工具用軸付き砥石を想定した場合の負荷は 3kg 程度と考えられるため、砥石にかかる圧力が不足する。そのため、市販電動ろくろを利用し、上記摩耗試験器の機能を持ち、かつ 3kg 以上の荷重付加が可能な研削試験機を製作した。図 5 に試験機概略写真、図 6 にテーブル上の砥石等の配置図を示す。

なお、表面状態の異なる被削材に対し試験を行う場合、被削材ごとの摩擦係数の違いにより、砥石滑りを起こし、実験条件が異なる恐れがある。そのため、図 7 に示す砥石の周速度 v_1 とテーブルの周速度 v_2 の比を周速比 (v_1 / v_2) とし、測定した。周速比は、被削材に対する砥石の送り量の指標となるため、周速比が同じであれば同一の条件下で実験が行われたと考えることができる。今回砥石の種類および荷重を変化させても周速比は 90% であり、今回の実験条件下では、同一の条件下で試験が行われていることを確認した。

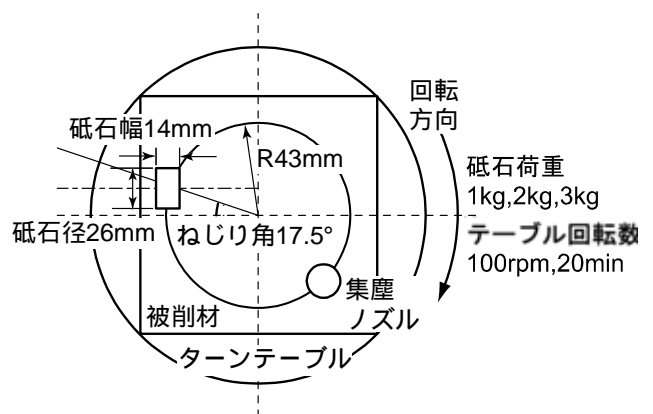


図6 試作した研削試験機テーブル上の試料配置図

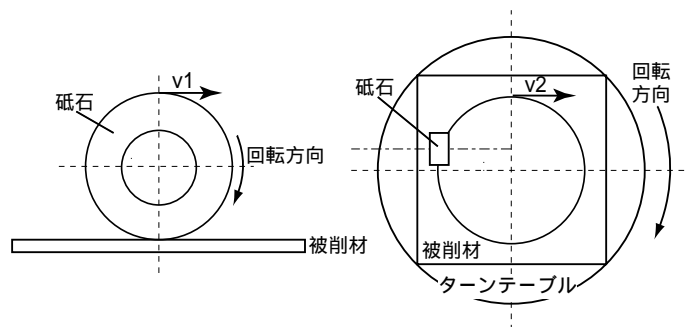


図7 周速比概略図

表 3 周速比測定結果

サンプル	砥粒濃度 wt%	荷重 kgf	テーブル		砥石			周速比 %
			回転数 rpm	周速 m/min	砥石径 mm	回転数 rpm	周速 m/min	
D120-140 /GC-150M	60	1	100	27.0	25.6	302	24.3	89.9
		3			25.3	299	23.8	88.0
D120-140M	60	1			25.5	304	24.3	90.2
		3			25.7	301	24.3	90.0
GC-120S	70	1			25.8	303	24.5	90.9
		3			25.6	305	24.5	90.8
C-120PVA	-	3			25.2	307	24.3	90.0
GC-120E	-	3			25.4	305	24.3	90.1

2.3.2 試験条件

前項の作製した試験を用いてアルミニウム、ガラス、フェノール樹脂、炭素鋼に対する研削特性についてポリ尿素弾性砥石と市販砥石の比較検討を行った。テーブル回転数は100rpmで20分間研削を行うこととし、砥石試料は26×14mm軸付き砥石、試験前にダイヤモンド単石ドレッサにより十分なドレッシングを行った。

2.3.3 評価方法

研削性能の評価は、研削前後の砥石および被削材の重量変化の測定、および試験後の被削材の表面粗さ測定を行った。なお、試験後の砥石重量の測定は、塗装用の刷毛により、表面を十分クリーニングし、研削粉を取り除いた状態で行った。表面粗さの測定はテーラーホブソン(Taylor Hobson)社製タリサーフ6型(Talysurf 6)を用い、JIS B0601-1982に準拠して試料表面の粗さ測定を行った。試料三カ所の中心線平均粗さ(Ra)を計測し、それぞれの平均値を表面粗さとした。

3. 実験結果および考察

3.1 手動乾式研削特性

試料GC-120M1、GC-120SSの目視による乾式研削試験結果を表4に示す。いずれも樹脂の溶着現象は見られず、良好な研削性を示した。電子顕微鏡による被削材表面を図8に、研削屑に含まれる砥粒片を図9に示す。ミクロ観察でも、被削材の表面への樹脂の溶着は見られず、研削屑に含まれる砥粒片には、樹脂の溶融はまったく見られず、ゴムが高剪断の条件下で引きちぎられる際によく見られる多数の筋が認められた。このことから、ポリ尿素樹脂バインダは、乾式研削時の高温下においても砥粒を確実に保持しており、十分な耐熱性があることがわかる。

3.2 テーパー式摩耗試験法による研削特性

3.2.1 バインダ硬度による研削特性変化

ポリ尿素樹脂をバインダとした砥石のアルミニウム研削試験結果を図10に示す。バインダの硬度が高くなるとともに、研削比は向上したが面粗度は粗くなった。研削量には明確な傾向がみられなかった。

3.2.2 ダイヤモンド - GC 混合砥粒系の研削性

ダイヤモンド砥粒とGC砥粒の混合率を変えた場合のアルミニウムに対する研削試験結果を図11に示す。ダイヤモンド砥粒の割合が多くなるに連れて研削量、研削比ともに増加

表 4 ポリ尿素弾性砥石の乾式研削特性

試料	密度 g/cm ³	硬度 ShoreD	研削性*	
			電動グラインダ	エアグラインダ
GC-120M2	1.80	82	○	○
GC-120SS	1.73	73	○	○

*研削性 ○:溶着なし、×:溶着あり
被削材:アルミニウム、研削時間3分間

し、特に研削量の増加は顕著であった。このことから、ポリ尿素樹脂は、ダイヤモンドのような硬く強靱な砥粒に対し優れた研削性能を引き出す効果的なバインダであると考えられる。

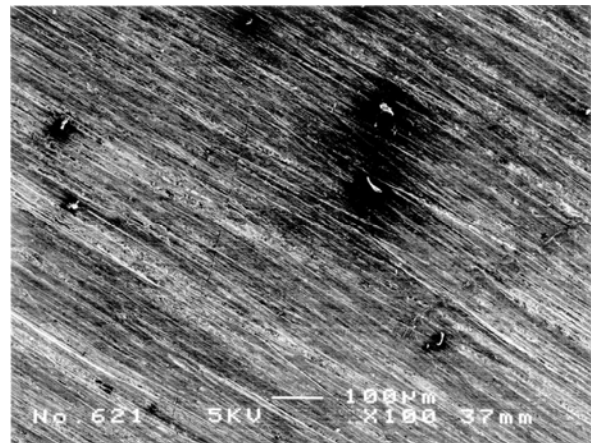


図 8 乾式研削試験後の被削材の電子顕微鏡写真

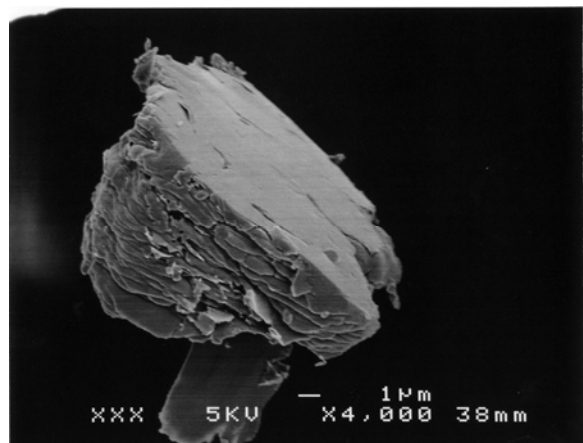


図 9 乾式研削試験研削屑中の砥粒片の電子顕微鏡写真

3.2.3 砥石の耐研削線圧特性

試料D-120MとGC-120M1および対照砥石のアルミニウムに対する研削線圧と研削比の関係を図12に示す。ここで研削線圧とは砥石荷重を砥石幅で除したものである。ポリ尿素バインダの砥石は高い研削比を示し、線圧を2kgf/cmに増加しても、ほとんど低下しなかった。特にダイヤモンド系砥石は、GC系砥石と比較して研削比が高く、バインダが砥粒の性能を引き出していると考えられる。

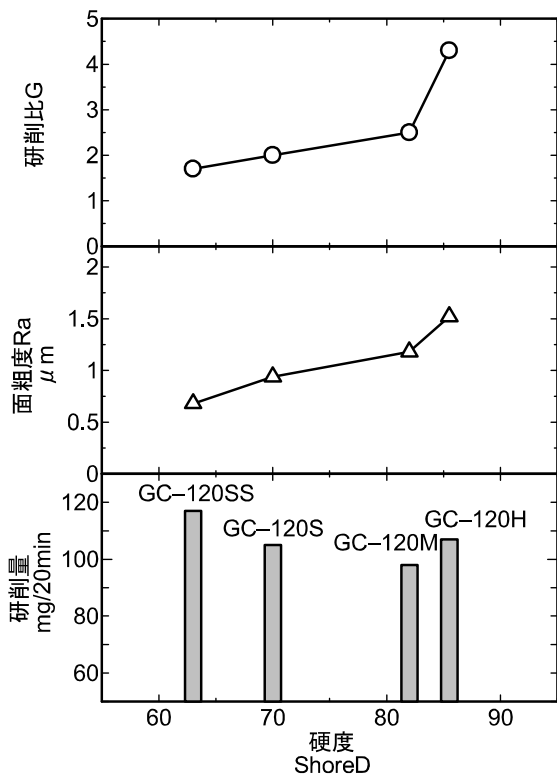


図 10 バインダ硬度と研削特性

試験条件: 被削材アルミニウム、線圧 2.1kgf/cm、
テーブル回転数 100rpm、試験時間 20 分間

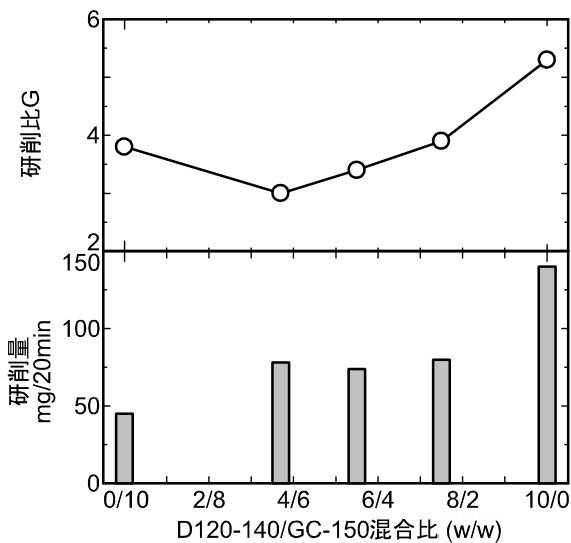


図 11 ダイヤモンド/GC 混合砥粒砥石による研削特性

試験条件: 被削材アルミ、線圧 2.1kgf/cm、テーブル
回転数 100rpm、試験時間 20 分間

3.2.4 ガラス、フェノール、SK-5 に対する研削特性

試料 D-120M と GC-120M1 のガラス、フェノール樹脂基板、炭素鋼 SK-5 に対する研削特性を図 13、図 14 および図 15 に示す。いずれの結果においても、ポリ尿素バインダ砥石が対照の市販砥石と比較して極めて高い研削量ならびに研削比を示しており、これらの材料に対しても優れた研削性能を有

することがわかる。なお、D-120M による軟質ガラス研削試験の際に、目詰まりに起因すると思われる砥石の重量増加が認められた。このため、同バインダを用い、脆い GC 砥粒を用いた GC-120M2 の砥石減量と比較して同等以下になると考えられることから、GC-120M2 の砥石減量の値を用いて、研削比を計算した。

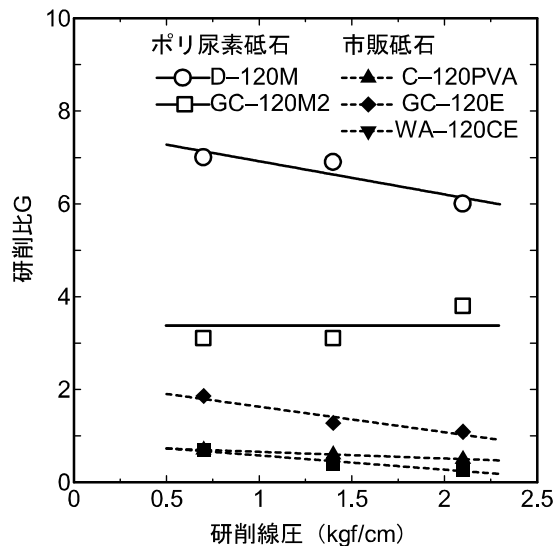


図 12 砥石研削線圧と研削比の関係

試験条件: 被削材アルミニウム、テーブル回転数
100rpm、試験時間 20 分間

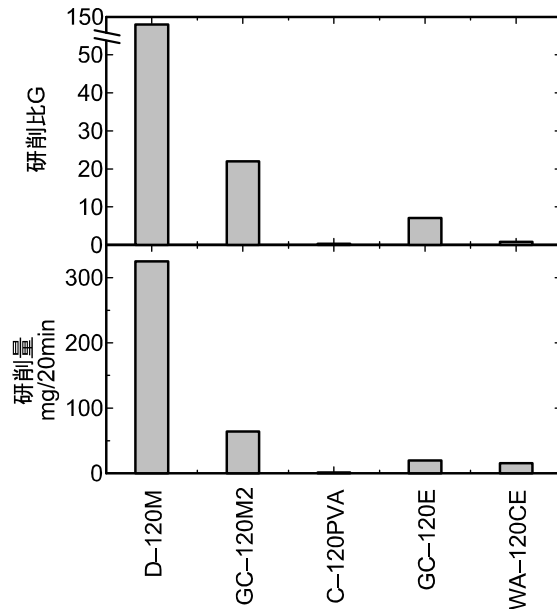


図 13 各種砥石による軟質ガラスの研削特性

試験条件: 線圧 2.1kgf/cm、テーブル回転数
100rpm、試験時間 20 分間

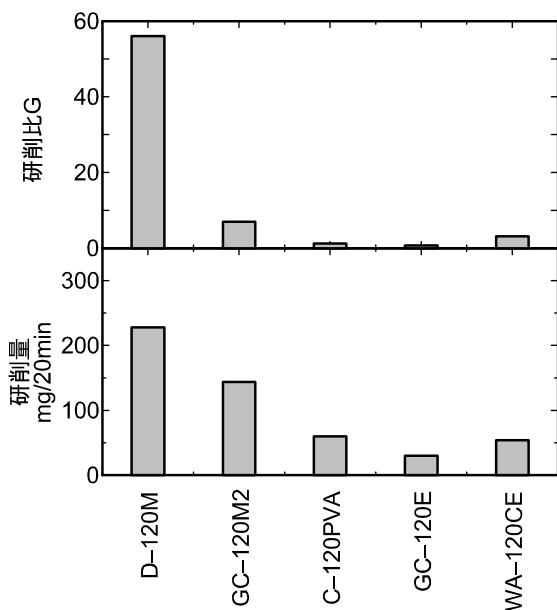


図 14 各種砥石によるフェノール樹脂の研削特性
 試験条件：線圧 2.1kgf/cm、テーブル回転数 100rpm、試験時間 20 分間

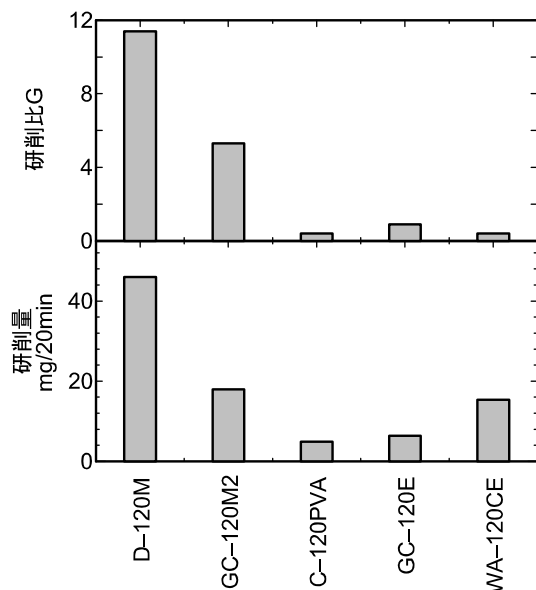


図 15 各種砥石による炭素鋼 SK5 の研削特性
 試験条件：線圧 2.1kgf/cm、テーブル回転数 100rpm、試験時間 20 分間

また砥石耐力も大きい。

- 3) ダイヤモンド砥石に適したバインダ特性を持ち、特にガラス等の脆性材料の研削特性が優れている。

参考文献

- 1) ポリウレタンの合成・配合と機能化・用途展開, 63-68, 技術情報協会(1989)
- 2) 特開 2002-264021

4. まとめ

砥粒保持力が大きく、研削能力や耐久性に優れた性能を持つと期待されるポリ尿素樹脂をバインダとした砥石を試作し、テーバー摩耗試験機を模した研削試験機により、研削特性を評価したところ次の結果が得られた。

- 1) 乾式研削でも溶着を生じることなく、安定な研削が可能である。
- 2) 従来の弾性砥石と比較して研削能率や研削比が高く、