

円筒重研削における研削要因および数学モデル (第2報)

—S45C に対する 19A 砥石の硬度の影響—

田 中 秀 穂

(受理 昭和55年5月31日)

GRINDING FACTORS AND MATHEMATICAL MODELS IN THE HEAVY CYLINDRICAL GRINDING (2nd Report)

—Effects of Grade of 19A Wheel for S45C—

Hideho TANAKA

In the heavy cylindrical traverse grinding, the effects of 3 factors, A) work speed B) table speed C) radial infeed of wheel on the items 1) wear of wheel, 2) wear rate of wheel, 3) metal removal rate, 4) grinding ratio, 5) grinding force, 6) grinding power and 7) grinding cost, were analyzed on three kinds of wheel grade in the same manner as in former report¹⁾.

And then, the mathematical models showing the relations between these grinding factors and items 1)-7) were estimated.

1. はじめに

筆者は、いままで¹⁾²⁾高切込み研削において、性能のよいといわれる 19A 砥石を用いて、円筒重研削時における外的研削要因として、A) 被削材周速度、B) テーブル速度、C) 砥石切込みの3要因が、砥石の損耗、削除率、消費動力および研削コストなどに与える影響の程度を実験計画法を応用して、各要因の寄与率から知るとともに、前報²⁾においては、被削材 S45C、SCM3 の2種類について、各要因と砥石損耗、削除率、研削比、研削抵抗、消費動力および研削コストなどに対する数学モデルを推定し、各測定項目に対する定量的関係を知った。

本報では、さらに、19A 砥石の硬度を K.M.P の3種にかえて、前報と同じ方法で数学モデルを推定し、砥石硬度の影響を調べた。

2. 実験装置および方法

表1に実験条件を示す。消費電力測定にクランプオン電力計(日置電機製3133型)を従来の入力測定法と併用した以外は、前報と同様であるので実験方法装置については省略する。

3. 実験結果および考察

3.1. 研削加工限界

図1は、実験にさきだち、砥石および研削盤の加工限界を調べたものである。使用した3種類の硬度の砥石の中で、硬度 M の砥石が最も加工限界が広く、ついで K 、 P 硬度の順となる。軟かい K 硬度の砥石では、テーブル速度の小さいときは、 M 硬度の砥石と大差なく研削可能域も広いが、テーブル速度の増加につれ、急激に研削可能域がせばまり、テーブル速度の大きいところで研削焼け、または、表面アラサの悪化による限界がみられる。これは、おそらく、硬度の低い砥石は、砥粒保持力がよわいため、砥粒の脱落により切刃となるべき砥粒が存在しなくなるため、結合剤自体と被削材との直接摩擦によるものと考えられる。 M 硬度の砥石では、研削音の発生が主たる限界となる。また、 P 硬度の砥石は、 K 、 M 硬度の砥石の場合にくらべ、研削可能域はせまく、テーブル速度の小さいところでは、機械の出力限界、大きいところでは、研削焼けの発生が限界となっている。これは、硬度が硬いと砥粒保持力が大きいため砥粒摩擦による研削焼け

表 1 実 験 条 件

研 削 盤	円筒研削盤 豊田工機 RU28-50 主軸モーター 2.6KW										
砥 石	日本陶器製 19A36K8V 19A36M8V 19A36P8V 外径×幅×内径 φ305×50×φ125 を幅 25mm に修正										
被 削 材	S45C 外径×内径×長さ φ90~80×φ50×50 熱処理行なわず HB=152 (平均)										
研削条件・要因と水準 () 内の数字は対数変換された変数	砥石回転数 N rpm	1750 一定									
	A 要因	水準	19A36K		19A36M		19A36P				
		被削材周速度 v m/min	低 (-1)	中 (0)	高 (+1)	低 (-1)	中 (0)	高 (+1)	低 (-1)	中 (0)	高 (+1)
		被削材回転数 n rpm	17	30	53	18	31	55	17	30	53
	B 要因	水準	19A36K		19A36M		19A36P				
	テーブル速度 f m/min	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.4	
C 要因	水準	19A36K		19A36M		19A36P					
砥石切込み Δμm	30	55	100	50	90	160	10	20	40		
研削液	ジョンソンワックス 1.25%液 30l/min										
砥石損耗測定	ベークライト転写法による										

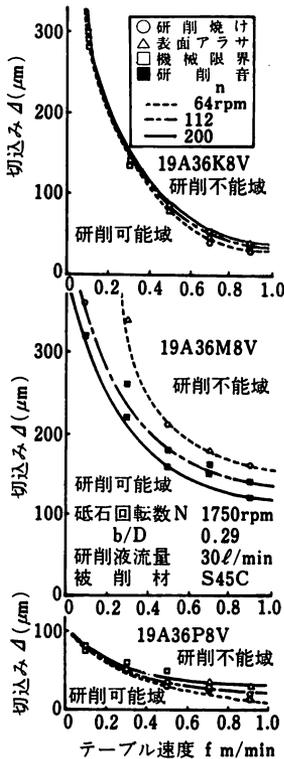


図 2 研削加工限界

の発生とみるのが通常であるが、本実験では、砥粒の摩耗に起因する研削焼けとは考えがたい。一般に、硬度が高いということは、結合剤の量も多く、従って、気孔も少ないと考えられ、そのための目つまりによる摩擦熱が原因と考えられる。このため、P 硬度の砥石の場合、表 1 に示すように、採用した砥石切込みは小さいものにならざるを得なかった。

3.2 各研削要因の影響

研削要因として選定した、A) 被削材の周速度 v m/min, B) テーブル速度 f m/min, C) 砥石の切込み Δ μm の 3 要因が、1) 砥石損耗量 W_s mm³, 2) 砥石損耗速度 W_{s3} mm³/mm·sec, 3) 実削除率 q mm³/mm·sec, 4) 研削比 G , 5) 研削抵抗 F , kg, 6) 消費動力 T_{KW} , 7) 研削コスト K 円/mm³ に対してどの程度影響するかを知るために、分散分析 (附表 1~7 参照) による寄与率を、各砥石硬度別に纏めて示したのが図 2 である。同図より各要因の影響の程度を知ることはできるが、各要因の変化に対する各測定項目の増減の傾向は知ることはできない。本実験は、前報同様、直交実験²⁾であるので、各要因の各水準における測定値の平均値でその傾向線³⁾をとれば、それぞれの要因が各測定項目の増減の動向に与える定性的傾向を知るこ

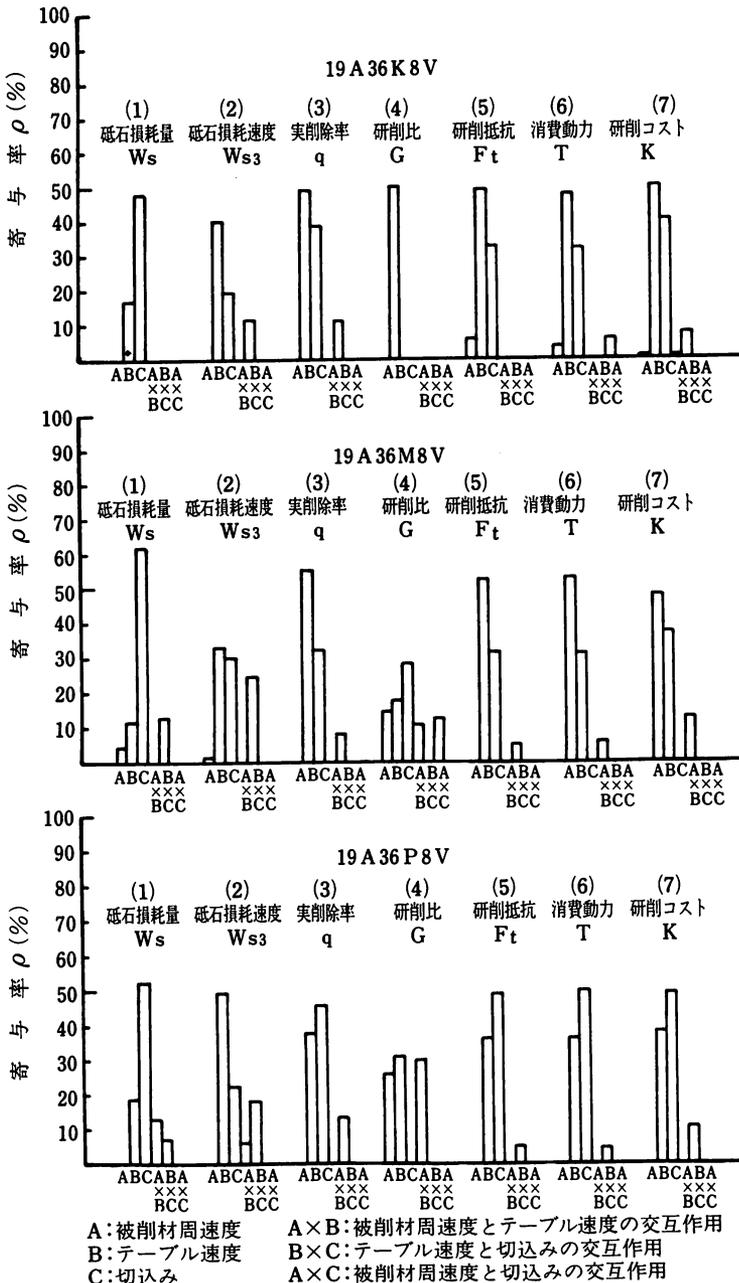


図2 各研削要因と寄与率の関係

とができる。これを図3に示す。つぎに各測定項目ごとに検討を加える。

i) 砥石損耗量 W_s について

砥石損耗量は、採用した3要因のうち砥石切込み Δ の影響が最も大で、各砥石とも約50~60%の寄与率を

示している。ついで、テーブル速度 f の影響が約15~20%前後あり、被削材周速度 v の影響は殆んどないが、あっても極めて少ない(図2)。テーブル速度の増加につれ、また、切込みの増加につれ、いずれの砥石においても、砥石損耗量は増加の傾向を示す。一方、被削材の周速度の変化に対しては、硬度 M の砥石にのみ増加の傾向がみられ、他の砥石は影響をうけない(図3.イ,ロ,ハ)。

ii) 砥石損耗速度 W_{s3} について

砥石損耗速度は、どの砥石でもテーブル速度を変化させる影響が大で、約50~35%程度の寄与率を示す。ここでも被削材周速の影響はないといえる(図2)。テーブル速度、砥石切込みの増加につれ、砥石損耗速度は大きくなり、同一切込み、テーブル速度では、当然ながら硬度の高い方が損耗速度は小さい(図3.へ)。

iii) 実削除率 q について

実削除率に対しては、テーブル速度の影響が大きい、 P 硬度の砥石が僅かに切込みの影響が大きい。いずれの砥石でも被削材周速度に影響しない(図2)。テーブル速度、砥石切込みの増加につれ、どの砥石においても、実削除率は増加するが、同一テーブル速度、砥石切込みでは、軟かい順に実削除率が大きい(図3.チ,リ)。

iv) 研削比 G について

軟かい K 硬度の砥石では、テーブル速度の影響が大きく、他の要因の影響はないが、 M, P 硬度の砥石では、いままで余り影響のなかった被削材の周速の影響をうけている。これは、被削材周速の増加につれ、砥石損耗速度がやや増加するのに対し、実削除率はほ

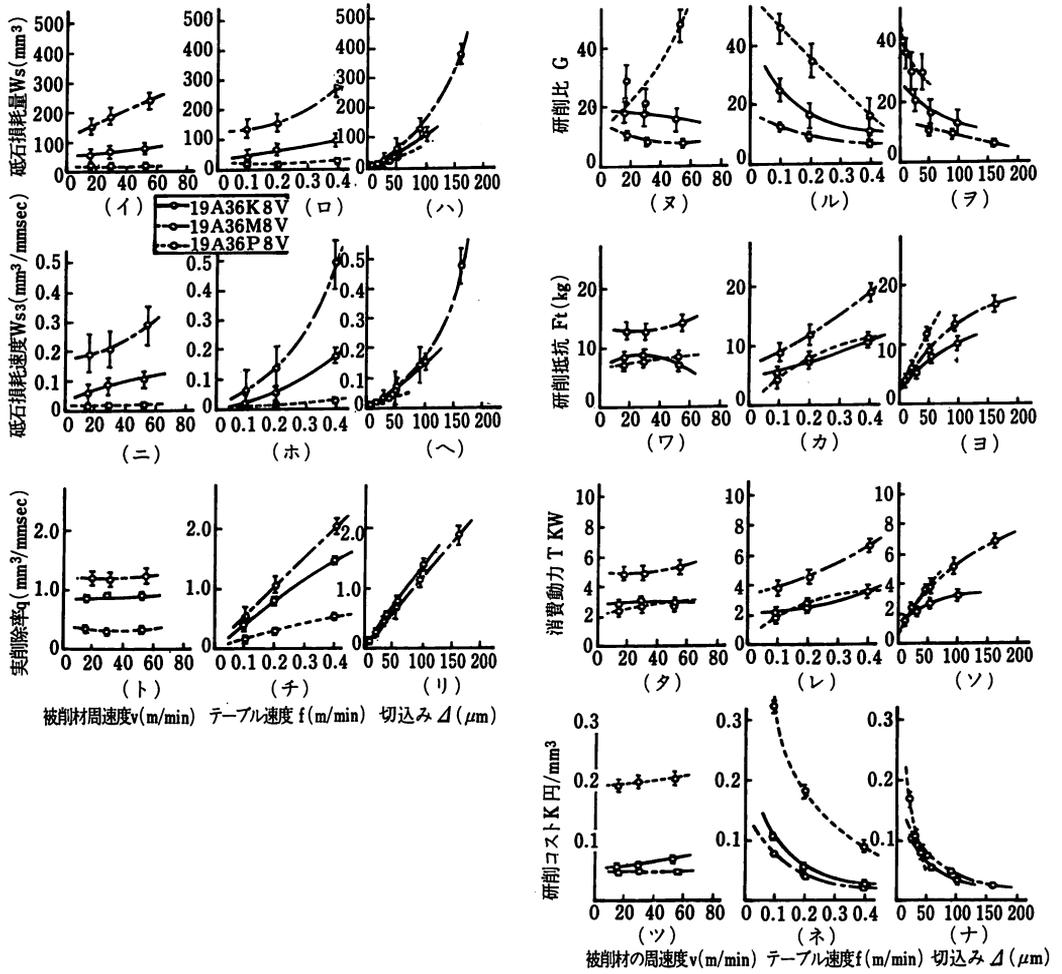
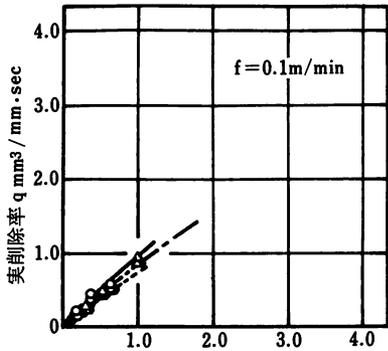


図3 各要因の影響

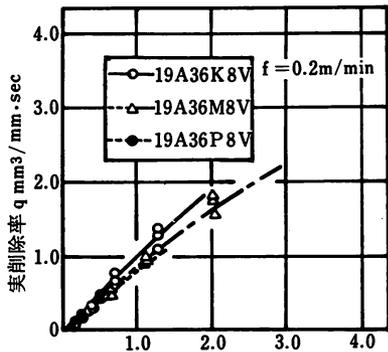
とんど変化しないためと考えられる。また、研削比は、テーブル速度、切込みの増加につれ減少の傾向を示す（図3. ル, ラ）。

v) 研削抵抗 F_r および消費動力 T について

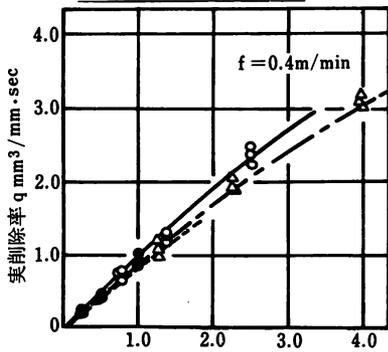
研削抵抗、消費動力とも、 K, M 硬度の砥石は、テーブル速度の影響が大きいのに対し、 P 硬度の砥石では、切込みの影響を大きく受ける。図3. (ラ)から明らかのように、同一砥石切込みに対して、 P 硬度の砥



設定削除率 $\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{sec}$



設定削除率 $\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{sec}$



設定削除率 $\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{sec}$

図4 実削除率と設定削除率の関係

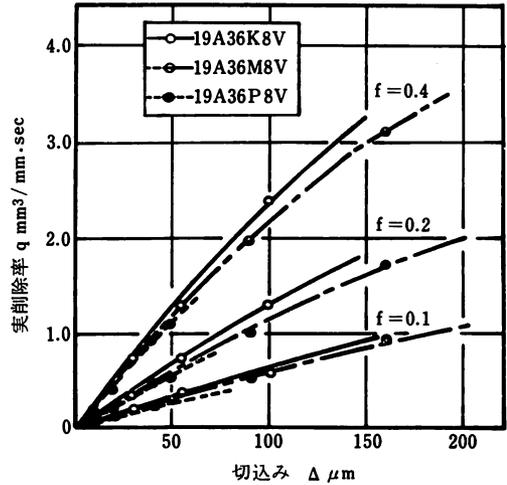


図5 実削除率におよぼす砥石硬度の影響

石はかなり研削抵抗は大きく、その増加率も大きいことから、テーブル速度を変化させる影響より切込みを変化させる影響が大きいようである。

vi) 研削コスト K について

研削コストには、テーブル速度、切込みともに大きく影響する。図3. (ネ), (ナ)をみて、テーブル速度、切込みの大きい程、研削コストは低くなる。これは、全コスト中に占める砥石コストは低く（図7参照）人件費等を含むランニングコストの比重が大きいいため、時間効率を上げた方がよいことを示すものとする。

以上の図3の傾向線より、前報同様、各砥石別に、各測定項目に対する各要因の数学モデルを、つぎの3・3で推定することにする。

図4は、設定削除率に対する実削除率を各砥石硬度別に調べたものであり、軟かい K 硬度砥石の場合が最もよい結果を与えており、硬度の高い砥石ほど悪くなり、 P 硬度の砥石が最も低い結果を示している。同一切込みに対してもやはり、 K 硬度の場合が最もよい結果を示しており、 P 硬度の砥石が最も低い結果を示している（図5）。

図6は、単位実削除率あたりの消費動力 T/q を、図3を求めたと同じ方法で調べたもので、 T/q は、被削材周速度には影響されず、テーブル速度、砥石切込みの増加とともに減少する。 K, M 硬度の砥石に対して、 P 硬度の砥石では、 T/q はかなり大きい。しかし、砥石切込みの増加につれ、 P 硬度の砥石における T/q は急激な減少の傾向をみせる。もし、何らかの方法で、目つまりりによる切込みの低下を防ぐことがで

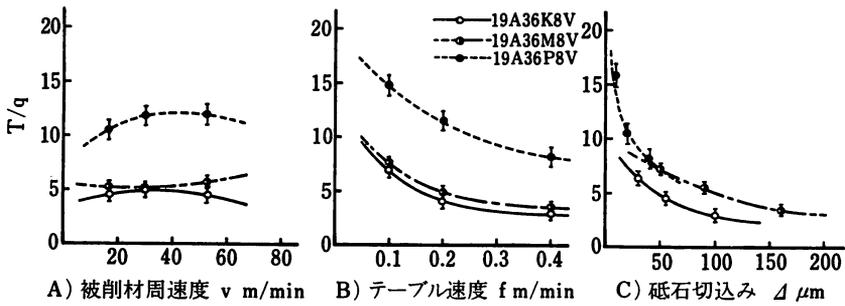


図6 実削除率当りの消費動力の比較

きれば(例へば, ジェットクリーニングによるとか, 砥石組織を粗にするとかの方法で), P 硬度の砥石により切込みを大きくした方が得策と考えられる. いずれにしても, 全砥石とも, テーブル速度, 切込みともに大きな条件で研削した方が動力の面では得策であることがわかる.

図7は, 研削コストを各研削コスト項目で比較したものである. いずれの砥石でも, 総コスト中に占める割合はランニングコストが最もその比率が大きい. したがって, 実削除率の大きい研削条件の採用が有利であることはいうまでもないが, 特に, P 硬度の砥石で実削除率の増加に伴うランニングコストの減少割合が急激にみえるが, 座標縦軸のスケールを同一にすれば K, M, P 各砥石ともランニングコストはほぼ同じで, 同一削除率をうるに必要なコストに変りはない. 唯,

硬度の高い砥石の方が砥石コストが低くなることは明らかである.

3.3. 数学モデルの推定

図3の傾向線より, 1) 砥石損耗量 W_s , 2) 砥石損耗速度 W_{s3} , 3) 実削除率 q , 4) 研削比 G , 5) 研削抵抗 F_s , 6) 消費電力 T , 7) 研削コスト K の各項目に対する, (A) 被削材周速度 v , (B) テーブル速度 f , (C) 砥石切込み Δ の3要因の関係を, 前報同様, つぎの(1)式で推定できるものとする.

$$f(x) = \xi(v/V)^{\zeta} f^{\eta} \Delta^{\nu} \quad \dots\dots(1)$$

ここで, $f(x)$ は, 1)~7) までの各測定項目を表わす. いまここで, この推定した(1)式の妥当性の検討については, 前報²⁾にて報告したので省略する.

表2は, 対数変換された一次モデル(2)式におけ

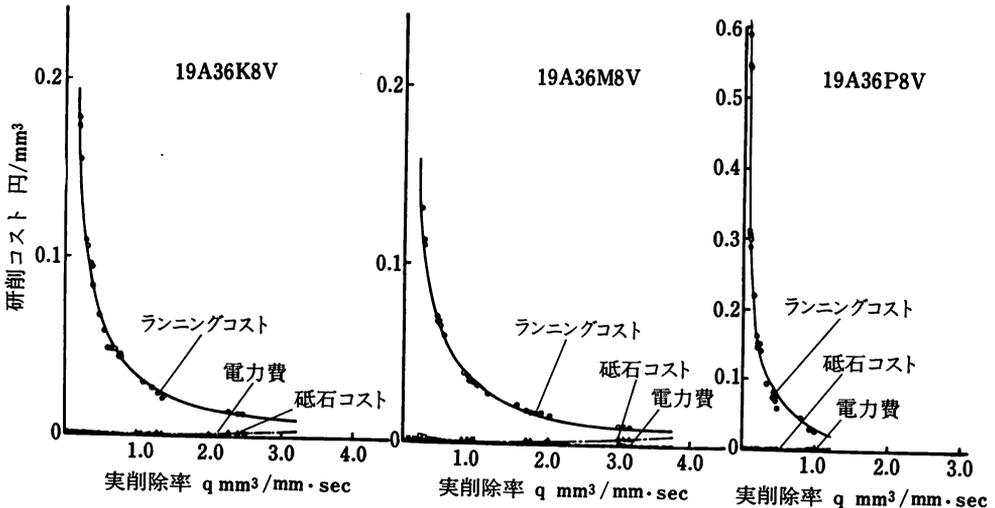


図7 研削コストと実削除率の関係

表 2 計算された回帰係数と判定結果
砥石 19A36K8V, 19A36M8V, 19A36P8V 被削材 S45C

測定項目	砥石硬度	b_0	b_1	b_2	b_3
砥石損耗量 W_s	K	1.699**	0.037	0.189**	0.347**
	M	2.134**	0.081**	0.107**	0.386**
	P	0.963**	-0.056**	0.169**	0.332**
砥石損耗速度 W_{s0}	K	-1.369**	0.033	0.509**	0.349**
	M	-0.918**	0.080**	0.408**	0.387**
	P	-2.073**	-0.048	0.443**	0.306**
実削除率 q	K	-0.181**	-0.013	0.296**	0.257**
	M	-0.021**	0.005	0.290**	0.248**
	P	-0.648**	-0.001	0.275**	0.311**
研削比 G	K	1.181**	-0.047	-0.204**	-0.084**
	M	0.897**	-0.076**	-0.117**	-0.138**
	P	1.441**	0.059	-0.193**	-0.017**
研削抵抗 F_r	K	0.881**	-0.038**	0.143**	0.123**
	M	1.071**	0.029	0.171**	0.147**
	P	0.795**	0.047	0.225**	0.235**
消費動力 T	K	0.434**	-0.014	0.104**	0.093**
	M	0.668**	0.020	0.121**	0.100**
	P	0.377**	0.028	0.152**	0.167**
研削コスト K	K	-1.284**	0.016	-0.284**	-0.247**
	M	-1.425**	0.002	-0.264**	-0.225**
	P	-0.824**	0.006	-0.273**	-0.310**

** 99% 有意

る各係数とその判定結果である。

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad \dots\dots(2)$$

この表において、推定した係数 b_0 , B および C 要因に対応する係数 b_2 , b_3 は全て 99% 有意となり、妥当性が認められるが、 A 要因に対応する係数 b_1 には、砥石損耗量、砥石損耗速度、研削比など砥石側に関係する項目に 1 部有意性が認められ、それ以外の実削除率、研削抵抗 (K 硬度の砥石にだけ例外的に認められる) 消費動力、研削コストには有意性は認められない。このことは、前報においても同じ結果を示し、したがって、数学モデルの中に、 A 要因、即ち、被削材の周速度を採用したことは無意味であることを示すものであるが、この要因を数学モデルの中に組み入れても、その値が小さいため影響が小さく、数学モデルの誤差も小さい (表 3. 誤差欄参照)。

表 3 は、これら係数より求められた数学モデルの係数および指数を纏めたもので、この表中の指数評価により、各要因のおよぼす影響の程度を知ることができる。

表中、砥石の損耗に関係する項目、砥石損耗量、砥石損耗速度、研削比など誤差が大きく、特に P 硬度の砥石についてはかなり大きい誤差を示している。これは、砥石損耗量の測定精度に起因するものと考えられ、砥石損耗測定法の今後の課題となるものと考えられる。

4. おわりに

1. 採用した 3 種類の硬度の砥石では、切込みを大きくできるのは、 M 硬度の砥石であり、ついで、 K , P の順となる。

表 3 計算された数学モデル(1)式の係数および指数
砥石 19A36K8V, 19A36M8V, 19A36P8V 被削材 S45C

測定項目	砥石硬度	ξ	ζ	μ	ν	誤差%
砥石損耗量 W_s	K	1.136	0.148	0.626	1.328	20.5
	M	0.956	0.338	0.354	1.528	23.5
	P	0.343	-0.222	0.562	1.101	39.4
砥石損耗速度 W_{s3}	K	0.005	0.131	1.692	1.333	21.2
	M	0.004	0.337	1.355	1.532	23.4
	P	0.002	-0.191	1.470	1.015	39.1
実削除率 q	K	0.051	-0.052	0.985	0.983	7.9
	M	0.058	0.019	0.962	0.984	4.9
	P	0.044	-0.002	0.915	1.033	5.7
研削比 G	K	8.632	-0.187	-0.676	-0.320	21.2
	M	13.890	-0.320	-0.390	-0.547	24.0
	P	29.984	-0.234	-0.642	-0.058	36.8
研削抵抗 F_s	K	1.354	-0.149	0.474	0.472	12.0
	M	3.526	0.123	0.568	0.580	14.3
	P	4.228	0.187	0.746	0.782	18.6
消費動力 T	K	0.912	-0.055	0.346	0.357	11.0
	M	2.107	0.084	0.402	0.394	9.9
	P	1.579	0.110	0.504	0.555	11.4
研削コスト K	K	0.640	0.062	-0.944	-0.944	7.4
	M	0.515	0.007	-0.877	-0.891	7.3
	P	0.838	0.025	-0.908	-1.029	5.5

2. P 硬度の砥石切込みを大きくできないのは、目つまりを起しやすいためと考えられ、目つまり対策が講じられれば解決できると考えられるため、組織をもう少し粗にするとか、研削液の供給方法に一考を要する。
3. 採用した3要因のうち、被削材周速度の影響は殆んどみられず、あっても僅かである。
4. 推定した数学モデルは、砥石損耗に関する項目、砥石損耗量、砥石損耗速度、研削比については、誤差が大きいが、それ以外の項目には充分適用できる。

あ と が き

本実験にあたり、砥石の御提供を載いた日本陶器株

式会社に対し厚くお礼を申し上げるとともに、貴重な御助言を賜った精機学会重研削専門委員会松尾委員長はじめ、委員諸氏にお礼を申し上げます。さらに、本実験に協力された四元正一、豊福暢史両君に対し、また、種々の点で御協力、御援助を賜った中島繁教授に対し深甚の謝意を表するものである。

文 献

- 1) 田中秀龍 円筒重研削における研削要因、砥粒加工研究会会報、22・4 (1979) 3 および鹿児島大学工学部研究報告、第20号、20ページ、昭53-9
- 2) 田中秀龍 円筒重研削における研削要因および数学モデル(第1報) S45C, SCM 3 に対する 19A 砥石の場合—精機学会重研削専門委員会講演論文集、44ページ、昭54.5、および鹿児島大学工学部研究報告第21号、43ページ、昭54.9
- 3) 例へば田口、実験計画法、丸善、1962、15ページ

附 表

各側定項目における分散分析表

1) 砥石損耗量 (W) に対する分散分析表

(イ) 19A36K8V

要 因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	165560	2	82780	0.81	
B	1463291	2	731645	7.16	16.5*
C	3889356	2	1944678	19.02	48.2**
A × B	586954	4	146738	1.44	
B × C	562925	4	140731	1.38	
A × C	154395	4	38598	0.38	
e	817846	8	102230		

(ロ) 19A36M8V

要 因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	58602	2	29301	7.15	1.5*
B	959847	2	479924	58.59	33.8**
C	864919	2	432460	52.80	30.4**
A × B	55026	4	13757	1.68	
B × C	730042	4	182511	22.28	25.0**
A × C	59383	4	14846	1.81	
e	65528	8	8191		

(ハ) 19A36M8V

要 因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	35296	2	17648	10.75	4.2**
B	102097	2	51049	31.09	11.8**
C	519838	2	259919	158.29	61.8**
A × B	16844	4	4211	2.56	
B × C	116009	4	29002	17.66	13.1**
A × C	32292	4	8073	0.05	
e	13134	8	1642		

(ニ) 19A36P8V

要 因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	39	2	19	1.27	
B	4101	2	2050	136.67	49.9**
C	1846	2	923	61.53	22.3**
A × B	562	4	140	9.33	6.2**
B × C	1467	4	366	24.40	17.3**
A × C	13	4	3	0.20	
e	127	8	15		

3) 実削除率 (q) に対する分散分析表

(イ) 19A36K8V

要 因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	287373	2	143686	1.54	
B	4576038	2	2288019	24.49	18.9**
C	12393100	2	6196550	66.33	52.4**
A × B	3253015	4	813253	8.70	12.4**
B × C	1679849	4	494962	5.30	6.9*
A × C	46389	4	11597	0.12	
e	747392	8	93424		

要 因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	190	2	95	3.96	
B	55281	2	27640	1151.67	48.9**
C	43400	2	21700	904.17	38.4**
A × B	373	4	93	3.88	0.3*
B × C	13417	4	3354	139.75	11.8**
A × C	160	4	40	1.67	
e	195	8	24		

2) 砥石損耗速度 (W_s) に対する分散分析表

(イ) 19A36K8V

要 因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	8856	2	4428	1.43	
B	135248	2	67624	21.91	40.7**
C	67108	2	33554	10.87	19.2**
A × B	21566	4	5391	1.75	
B × C	49592	4	12398	4.02	11.8*
A × C	9742	4	2435	0.79	
e	24702	8	3087		

(ロ) 19A36M8V

要 因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	1296	2	648	2.85	
B	106974	2	53487	236.00	55.3**
C	63434	2	31717	140.00	32.5**
A × B	1233	4	308	1.36	
B × C	16941	4	4235	18.66	8.3**
A × C	950	4	238	1.05	
e	1812	8	227		

(一) 19A36P8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	41	2	20	2.00	
B	6308	2	3154	315.40	37.7**
C	7791	2	3895	389.50	46.6**
A×B	105	4	26	2.60	
B×C	2320	4	580	58.00	13.7**
A×C	35	4	8	0.80	
e	82	8	10		

5) 研削抵抗 (Ft) に対する分散分析表

(i) 19A36K8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	158252	2	79126	8.25	5.3*
B	1318351	2	659175	68.69	49.0**
C	898878	2	449439	46.84	33.2**
A×B	45720	4	11430	1.19	
B×C	55992	4	13998	1.46	
A×C	95371	4	23842	2.48	
e	76769	8	9596		

4) 研削比 (G) に対する分散分析表

(i) 19A36K8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	496793	2	248396	0.67	
B	9986509	2	4993254	13.48	50.0**
C	2407120	2	1203560	3.25	
A×B	1332934	4	333233	0.90	
B×C	947857	4	236964	0.64	
A×C	357554	4	89388	0.24	
e	2963421	8	370427		

(ii) 19A36M8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	196850	2	98425	2.88	
B	5091562	2	2545781	74.39	52.8**
C	3089836	2	1544918	45.14	31.7**
A×B	120195	4	30049	0.88	
B×C	663399	4	165850	4.85	5.5*
A×C	82085	4	20521	0.60	
e	273793	8	34224		

(ii) 19A36M8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	3533	2	2767	13.30	14.8**
B	6603	2	3302	15.87	17.9**
C	10348	2	5174	24.88	28.7**
A×B	4495	4	1124	5.40	10.6*
B×C	593	4	148	0.71	
A×C	5358	4	1340	6.44	13.1*
e	1164	8	208		

(一) 19A36P8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	72038	2	36019	2.17	
B	2127987	2	1063993	64.06	36.3**
C	2887987	2	1443983	86.93	49.4**
A×B	127203	4	31800	1.91	
B×C	359135	4	89783	5.41	5.1*
A×C	68109	4	17027	1.03	
e	132884	8	16610		

6) 消費動力 (T) に対する分散分析表

(i) 19A36K8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	33681584	2	16840792	26.20	25.6**
B	40528593	2	20264296	31.52	31.0**
C	1769926	2	884963	1.38	
A×B	40692628	4	10173157	15.82	30.1**
B×C	2162305	4	540576	0.84	
A×C	2656827	4	664206	1.03	
e	5142852	8	642856		

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	8482	2	4241	4.52	3.4*
B	93019	2	46509	49.58	47.3**
C	62012	2	31006	33.06	31.2**
A×B	2226	4	556	0.59	
B×C	4237	4	1059	1.13	
A×C	15084	4	3771	4.02	5.9*
e	7510	8	938		

(=) 19A36M8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	14426	2	7213	2.62	
B	381963	2	190982	69.50	53.2**
C	225281	2	112641	40.99	31.1**
A × B	8270	4	2068	0.75	
B × C	49359	4	12340	4.49	5.4*
A × C	6634	4	1659	0.60	
e	21980	8	2748		

(-) 19A36P8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	719	2	359	1.80	
B	244569	2	122284	614.49	38.5**
C	314380	2	157190	789.90	49.5**
A × B	2738	4	684	3.44	
B × C	69561	4	17390	87.39	10.8**
A × C	882	4	220	1.11	
e	1597	8	199		

(-) 19A36P8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	4882	2	2441	2.27	
B	141339	2	70669	65.68	36.1**
C	195025	2	97512	90.62	50.0**
A × B	7586	4	1896	1.76	
B × C	23055	4	5763	5.36	4.9*
A × C	5096	4	1274	1.18	
e	8610	8	1076		

7) 研削コスト (K) に対する分散分析表

(-) 19A36K8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	235	2	117	7.80	0.4*
B	28691	2	14345	956.33	49.6**
C	23521	2	11760	784.00	40.7**
A × B	447	4	111	7.40	0.7**
B × C	4631	4	1157	77.13	7.9**
A × C	109	4	27	1.80	
e	125	8	15		

(=) 19A36M8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ %
A	26	2	13	0.40	
B	35999	2	18000	547.43	48.4**
C	28099	2	14050	427.28	37.3**
A × B	67	4	17	0.51	
B × C	9792	4	2448	74.45	13.0**
A × C	59	4	15	0.45	
e	263	8	33		