

円筒重研削における研削要因

田 中 秀 穂

(受理 昭和 53 年 5 月 31 日)

CONTROLLING FACTORS IN HEAVY CYLINDRICAL GRINDING

Hideho TANAKA

The dispersions in the experimental value of grinding are seen in usual and it is often troublesome to summarize the data.

The Design of Factorial Experiment was used for the experiment in heavy cylindrical grinding in which the 3 controlling factors — radial infeed of wheel, work speed and traverse speed of table — were varied 3 levels as 3 factors - 3 levels, and the effects of the each factor on the wheel wear rate, the metal removal rate, the grinding ratio, the grinding resistance and the grinding power were analyzed statistically in this paper.

1. は し が き

一般に、研削作業において、砥石の損耗、削除率、研削抵抗、研削動力などに影響をおよぼす研削要因として、砥石切込み、テーブル速度、被削材の周速度、砥石周速度などが考えられる。これら各要因のおよぼす影響度を定量的に知ることができれば、研削作業の能率化、経費の節減に有利なことはいうまでもない。

そこで、本報告では、研削要因の影響度を定量化する前段階として、実験計画法を応用して上記研削要因のうち、(A) 被削材の周速度 v m/min, (B) テーブル速度 f m/min, (C) 砥石切込み d μ m をそれぞれ3段階に変化させるところのいわゆる、3要因3水準として、円筒重研削時の 1) 砥石損耗量 W_s' mm³, 2) 砥石損耗速度 W_s , mm³/mm³·sec, 3) 実削除率 q mm³/mm³·sec, 4) 研削比 G , 5) 研削抵抗 F_t kg, 6) 研削動力 T kw などに対する各要因の影響を調べた。

2. 実験装置および実験方法

表 1 に示す条件にて実験を行ったが、つぎの3要因 (A) 被削材の周速度 v m/min, (B) テーブル速度 f m/min, (C) 砥石切込み d μ m をそれぞれ同表に示す3水準に決定し、その各々を組み合わせると27通りの実験を実施順序を無作為抽出にて、19A60M8V, および 19A36M

8V の2種類の砥石について実施した。なお、各要因における3水準の決定にあたっては、あらかじめ、図 1 に示すように、研削加工限界を求めたのち、各水準が限界内にあるように、また、以後の統計解析が便利ないように、奥島らの方法¹⁾ にならって、各水準が対数的に等間隔になるように決定した。

実験は、所定の研削条件にて被削材の左端で所定の切込みを行う片側切込みとし、10回トラバース後 (スパークアウトあり) 諸測定を行い、1トラバースあたりの測定値を採用した。なお、実験前に、3/4カラット単石ダイヤモンドドレッサーにて、砥石面を切込み 10 μ m で2回、ついで切込み 5 μ m で2回ドレッシングした。

3. 実験結果の検討

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、粒度の粗い砥石 (19A36M8V) の方が研削可能域が広いことは、前報²⁾ と同様である。被削材の周速度 v の変化に対しては、両砥石で逆の傾向を示す。即ち、粒度の粗い砥石では、周速度 v の小さな方が研削範囲が広く、粒度の細かい砥石では周速度 v の小さな方が逆に研削範囲がせまい。粒度の細かい砥石では実際には、研削音の発生までを限界とする

表 1 実験条件

研 削 盤	円筒研削盤 豊田工機製 RU28-50 主軸モーター 2.6 kw	
被 削 材	S45C 外径×内径×長さ 約φ90×φ50×50 熱処理行わず	
砥 石	日本陶器製 19A60M8V, 19A36M8V 外径×幅×内径 φ305×50×125 を幅 25 mm に修正	
研 削 条 件	砥石回転数 N rpm	1750
	(A) 要因 被削材周速度 v m/min (被削材回転数 n rpm)	18, 31, 55 (64), (112), (200)
	(B) 要因 テーブル速度 f m/min	0.1, 0.2, 0.4
(C) 要因 砥石切込み Δ μ m 19A60M8V 19A36M8V	30, 55, 100 50, 90, 160	
研 削 液 砥石損耗測定	ジョンソンワックス 1.25%液, 30l/min ベークライト転写法による	

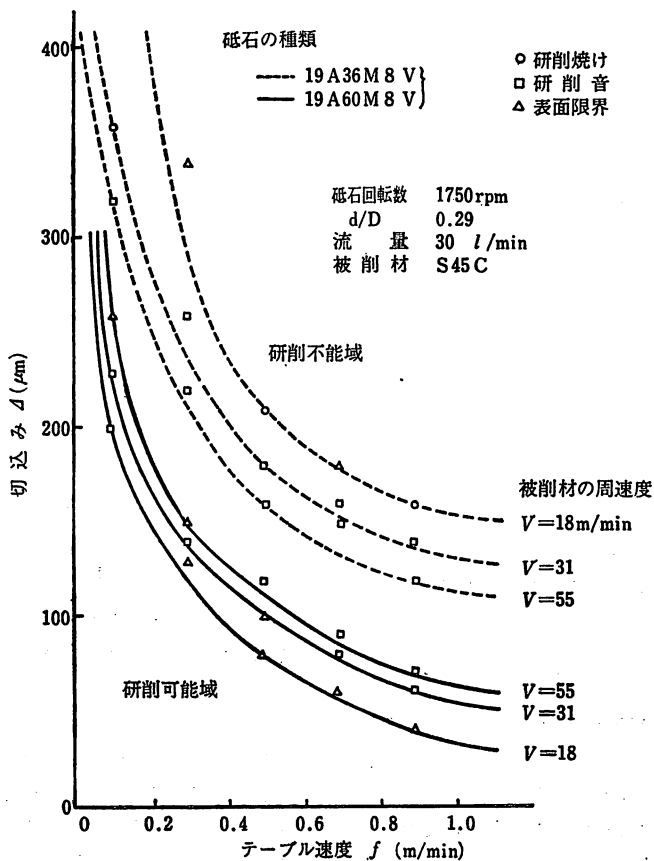


図 1 砥石の加工限界

ならばまだ切込みを増すことができ、その範囲を広げられるが、面アラサからの制約をうけてせまくなる。

いずれの砥石でも、この限界ギリギリの所で研削は行えるにしても、実際には過負荷の連続運転による軸受の発熱、モーターの過熱などのため、実験はこの限界よりずっと下の条件で行わなければならない。本実験では、この限界の約1/2の切込みを限度として、表1の砥石切込みの水準を決定した。

3.2 各研削要因の影響

研削要因としての、(A) 被削材の周速度 v m/min (B) テーブル速度 f m/min, (C) 砥石切込み d μ m の3要因が、(1) 砥石損耗量 W_s' mm³, (2) 砥石損耗速度 W_s , mm³/mm \cdot sec, (3) 実削除率 q mm³/mm \cdot sec, (4) 研削比 G , (5) 研削抵抗 F_t kg, (6) 消費動力 T kw に対して、どの程度影響するかを知るために表2～表7における分散分析において寄与率を求めることにする。また、この結果得られた寄与率を纏めて示したのが図2であり、同図より各要因の影響の程度を知ることができる。しかし、各要因の変化に対する各測定項目の増減の傾向は、同図より知ることはできない。本実験は、直交実験³⁾⁴⁾であるので、各要因間の

効果はバランス³⁾⁴⁾、お互いに直交しているので、各水準における平均値で比較することにより、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とができる。図3は、これら各要因の与える傾向を調べたもので、図中の矢印は95%信頼限界を示す。以下、各測定項目について検討を加える。

i) 砥石損耗量 W_s' について

砥石損耗量に対しては、3要因のうち砥石切込みの影響が、寄与率60%程度で最も大きく、ついでテーブル速度が約11%と影響し、被削材の周速を変化させる

表2 砥石損耗量 (W_s') に対する分散分析表

(イ) 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 \times B	16844	4	4211	2.56	
B \times C	116009	4	29002	17.66	** 13.1
A \times C	32292	4	8073	0.05	
e	13134	8	1642		

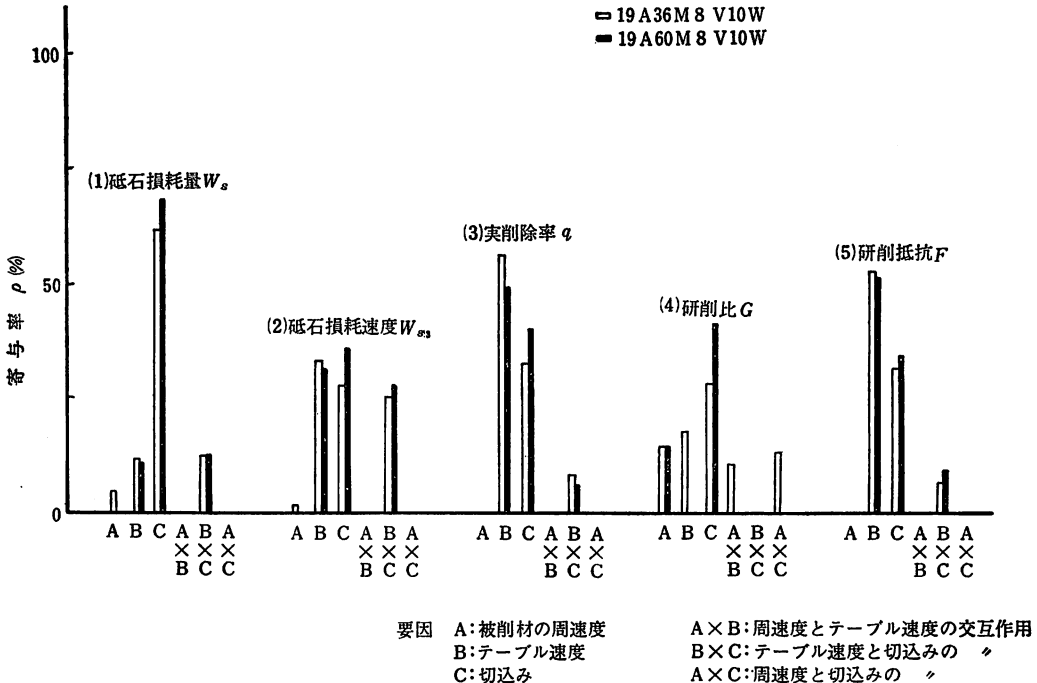


図2 各研削要因と寄与率の関係

(ロ) 19A60M8V

要因	S	ϕ	v	F_0	ρ (%)
A	2020	2	1010	1.81	
B	23135	2	11568	20.69	** 11.7
C	130512	2	65256	116.74	** 68.5
A×B	1537	4	384	0.69	
B×C	26743	4	6686	11.96	** 13.0
A×C	493	4	123	0.22	
e	4474	8	559		

A: 被削材周速 (v m/min)
 B: テーブル速度 (f m/min)
 C: 砥石切込み (d μ m)

影響は殆んど無視できる程小さい。一方、テーブル速度と砥石切込みの交互作用に有意差がみられ、その寄与率は13%である(表2, 図2)。つぎに図3のイ, ロ, ハにてわかるように、砥石損耗量は、被削材周速の増加に対しては、粒度の粗い 19A36M8V 砥石においてわずかに増加の傾向を示すが、殆んど関係しな

表3 砥石損耗速度 (W_{s_3}) に対する分散分析表
 (イ) 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		

(ロ) 19A60M8V

要因	S	ϕ	v	F_0	ρ (%)
A	3700	2	1850	1.70	
B	189764	2	94882	87.21	** 31.6
C	216176	2	108088	99.35	** 36.0
A×B	2707	4	677	0.62	
B×C	171287	4	42822	39.36	** 28.0
A×C	2085	4	521	0.48	
e	8705	8	1088		

A: 被削材周速 (v m/min)
 B: テーブル速度 (f m/min)
 C: 砥石切込み (d μ m)

いと見做してよい。テーブル速度の増加に対しては、その増加とともに増加し(同図ロ), 切込みの増加に対しても増加する(同図ハ)ことが認められる。

ii) 砥石損耗速度 W_{s_3} について

砥石損耗速度に対しては、3要因のうち、テーブル速度、砥石切込みが寄与率約30%程度でほぼ同じ程度に影響し(表3, 図2), やはり被削材の周速を変化させた影響は殆んどないといえる。i)と同様、テーブル速度と切込みの交互作用に有意差がみられる。

図3から、砥石損耗速度はテーブル速度の増加とともに増加し(同図ホ), 切込みの増加とともに増加する(同図ヘ)ことがわかる。

iii) 実削除率 q について

実削除率に対しては、テーブル速度が寄与率約50%程度で最も大きく影響し、ついで、砥石切込みが寄与率約30~40%と影響する。被削材の周速は、全く影響を与えていない(表4, 図2)。また、実削除率は、テーブル速度、砥石切込みの増加につれ、大きくなる(図3, チ, リ)。

表4 実削除率 (q) に対する分散分析表
 (イ) 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		

(ロ) 19A60M8V

要因	S	ϕ	v	F_0	ρ (%)
A	22	2	11	0.04	
B	41653	2	20827	84.32	** 49.8
C	33462	2	16731	67.74	** 39.9
A×B	15	4	4	0.02	
B×C	5481	4	1370	5.55	* 5.4
A×C	35	4	9	0.04	
e	1979	8	247		

A: 被削材周速 (v m/min)
 B: テーブル速度 (f m/min)
 C: 砥石切込み (d μ m)

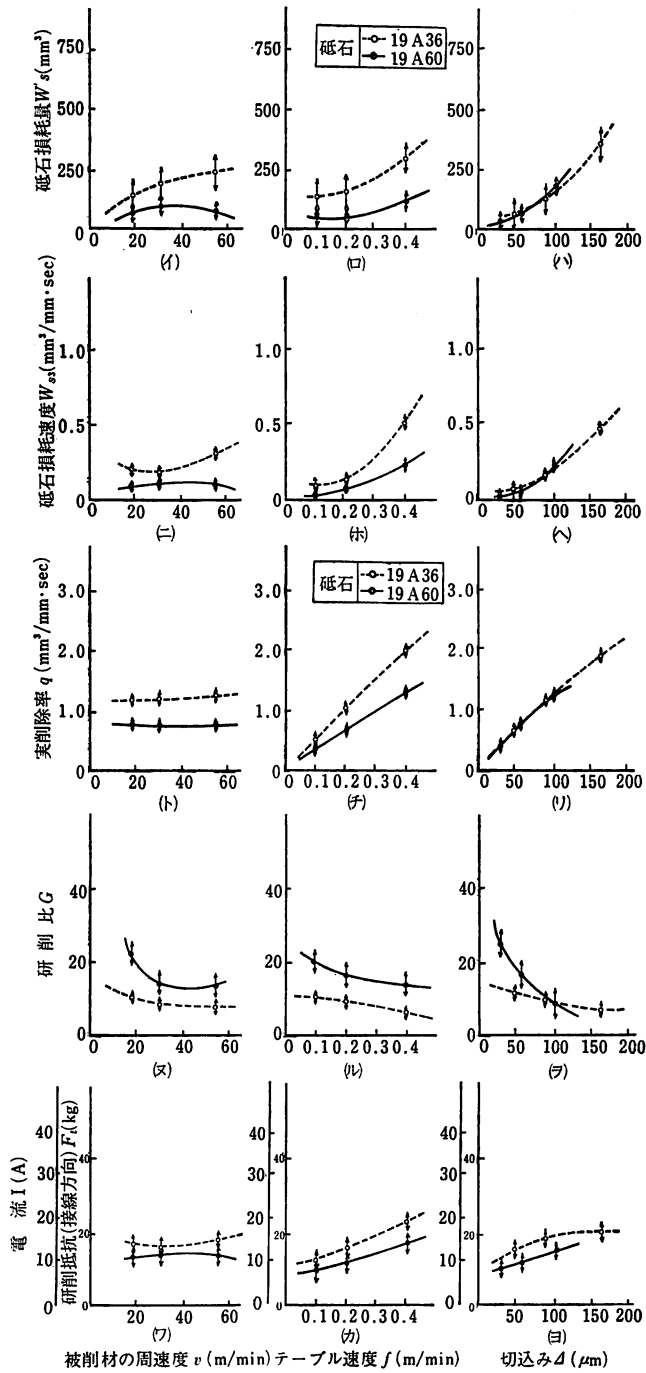


図3 砥石損耗量，砥石損耗速度，実削除率，研削比，電流と各要因の関係

iv) 研削比 G について

研削比に対しては、砥石切込みが最も大きく影響しその増加とともに研削比は減少する。特に、粒度の細かい砥石は、切込みの増加による研削比の減少が大きい(図3, ㉞)。一方、いままであまり影響しなかつ

表5 研削比(G)に対する分散分析表

(イ) 19A36M8V

要因	S	ϕ	v	F_0	ρ (%)
A	5533	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	1664	8	208		

(ロ) 19A60M8V

要因	S	ϕ	v	F_0	ρ (%)
A	47355	2	23678	7.76	* 14.7
B	21408	2	10704	3.51	
C	123180	2	61590	20.19	** 41.9
A×B	16292	4	4073	1.34	
B×C	4322	4	1081	0.35	
A×C	42758	4	10690	3.50	
e	24399	8	3050		

A: 被削材周速 (v m/min)
 B: テーブル速度 (f m/min)
 C: 砥石切込み (Δ μ m)

た被削材の周速が研削比に影響し(寄与率約14%, 表5), 被削材の周速の増加につれ研削比は減少の傾向を示し, 小野⁵⁾の指摘と同じ結果を示す。これは, 図3, ニ, トにてわかるように, 砥石の損耗速度はわずかに被削材の周速の増加で増加する傾向があるのに対し, 実削除率は全く被削材の周速の影響をうけないためと考えられる。

また, 研削比はテーブル速度, および切込みの増加につれ減少の傾向を示す。切込みの増加は砥石損耗を促進するため(同図へ)当然のことといえるが, テーブル速度の増加については, 同一削除率を得るには図4に示すように, テーブル速度の大きい方がむしろ研削比は大きくなるので, 切込みを大きくして削除率

をあげるより, テーブル速度を上げて削除率を高めた方が, 研削比のためには有利と考えられる。

v) 研削抵抗(接線方向) F_t と消費動力 T について

研削抵抗および消費動力に対しては表6, 表7にて明らかなように, テーブル速度が最も大きく影響し, ついで切込みが影響する。ここでも, 被削材の周速度は影響しない。テーブル速度の増加は, 図5に示すように, その増加につれ, 研削抵抗, 消費動力ともに, 増加曲線は上に凹となり, テーブル速度の増加に対して増加率を増すことになるが, 切込みの増加は図6に示すように, その増加曲線は下に凹となり, 切込みの増加に対し増加率を減ずることを示す。したがって消費動力のためには, 同一削除率を得るにテーブル速度を大きくするよりも, 切込みを大きくした方がよいといえる。

研削抵抗は, 同一切込みに対して, 粒度の細かい方が大きいとされているが⁹⁾, 本実験では逆の傾向を示し, 粒度の粗い方が大きい結果を示す。これは, 前

表6 研削抵抗(F_t)に対する分散分析表

(イ) 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		

(ロ) 19A60M8V

要因	S	ϕ	v	F_0	ρ (%)
A	9704	2	4852	0.38	
B	2620918	2	1310459	103.91	** 51.9
C	1736875	2	868438	68.86	** 34.2
A×B	16964	4	4241	0.34	
B×C	486506	4	121627	9.64	** 8.7
A×C	30617	4	7654	0.61	
e	100894	8	12612		

A: 被削材周速 (v m/min)
 B: テーブル速度 (f m/min)
 C: 砥石切込み (Δ μ m)

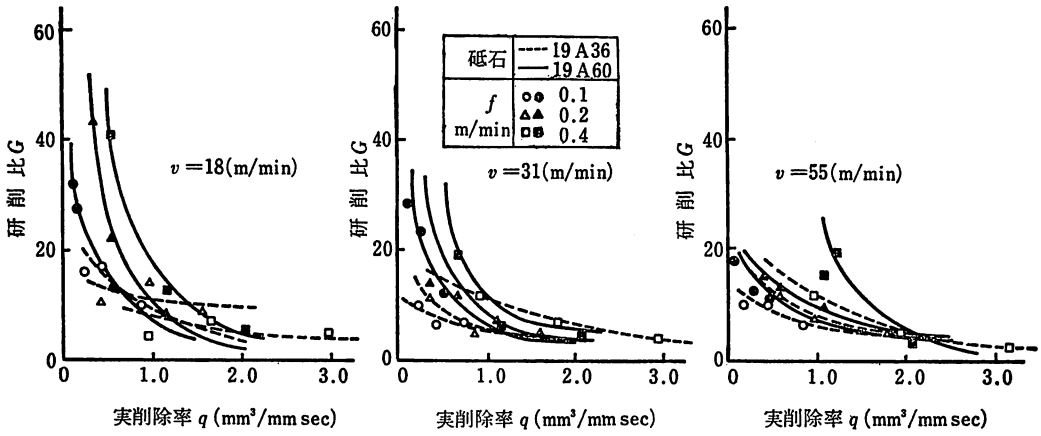


図4 研削比と実削除率の関係

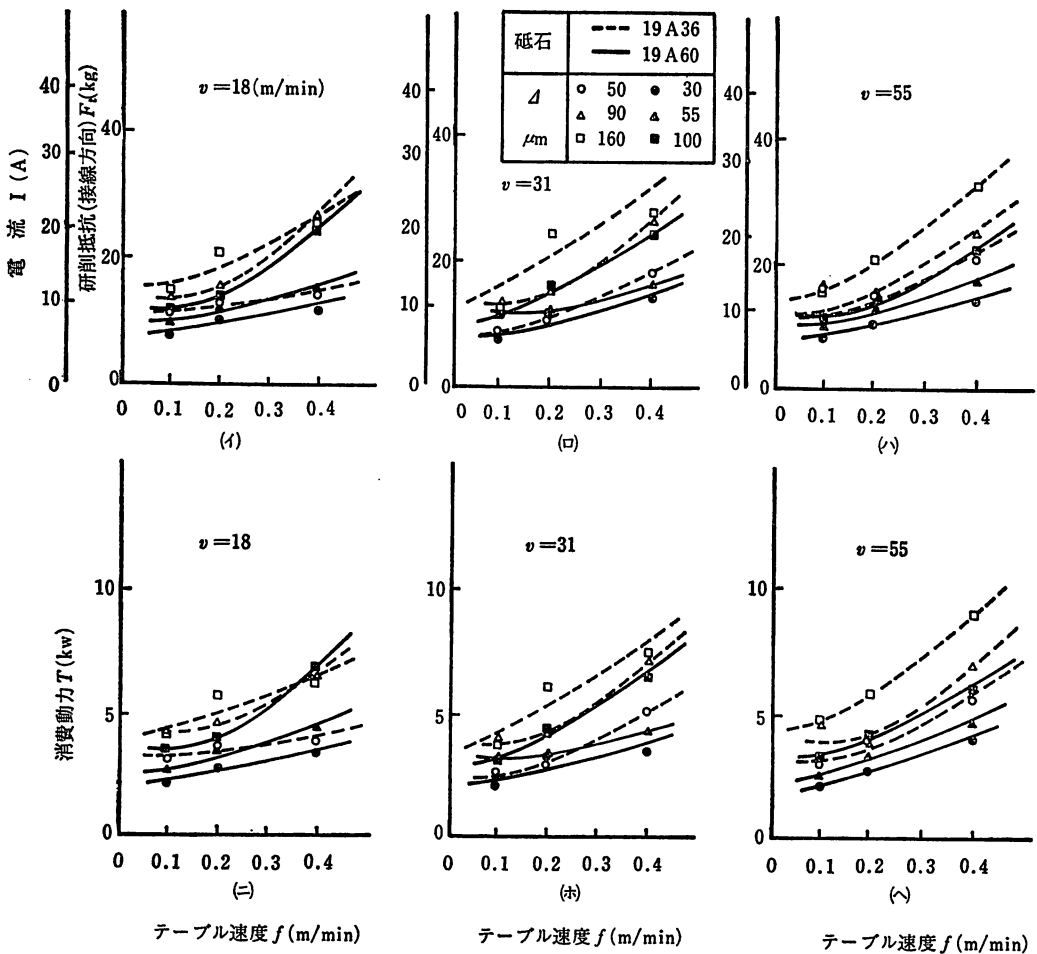


図5 研削抵抗（電流）、消費動力とテーブル速度の関係

表7 消費動力(T)に対する分散分析表
(イ) 19A36M8V

要因	S	ϕ	v	F_0	ϕ (%)
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		

(ロ) 19A60M8V

要因	S	ϕ	v	F_0	ρ (%)
A	689	2	345	0.25	
B	194071	2	97036	69.16	** 51.8
C	128407	2	64204	45.75	** 34.0
A × B	1194	4	299	0.21	
B × C	31605	4	7901	5.63	* 7.0
A × C	11223	8	1403		

A: 被削材周速 (v m/min)
B: テーブル速度 (f m/min)
C: 砥石切込み (d μ m)

報²⁾ にも同じ結果が得られた。

以上のように、図2、図3および表2～表7により各要因が各測定項目にどの程度の影響を与えるかがわかるわけであるが、研削比以外は、いずれの測定項目

に対しても、被削材の周速度は、全く影響しないか、影響しても極くわずかししか影響せず、殆んど影響はないと考えてよい。また、テーブル速度と切込みの交互

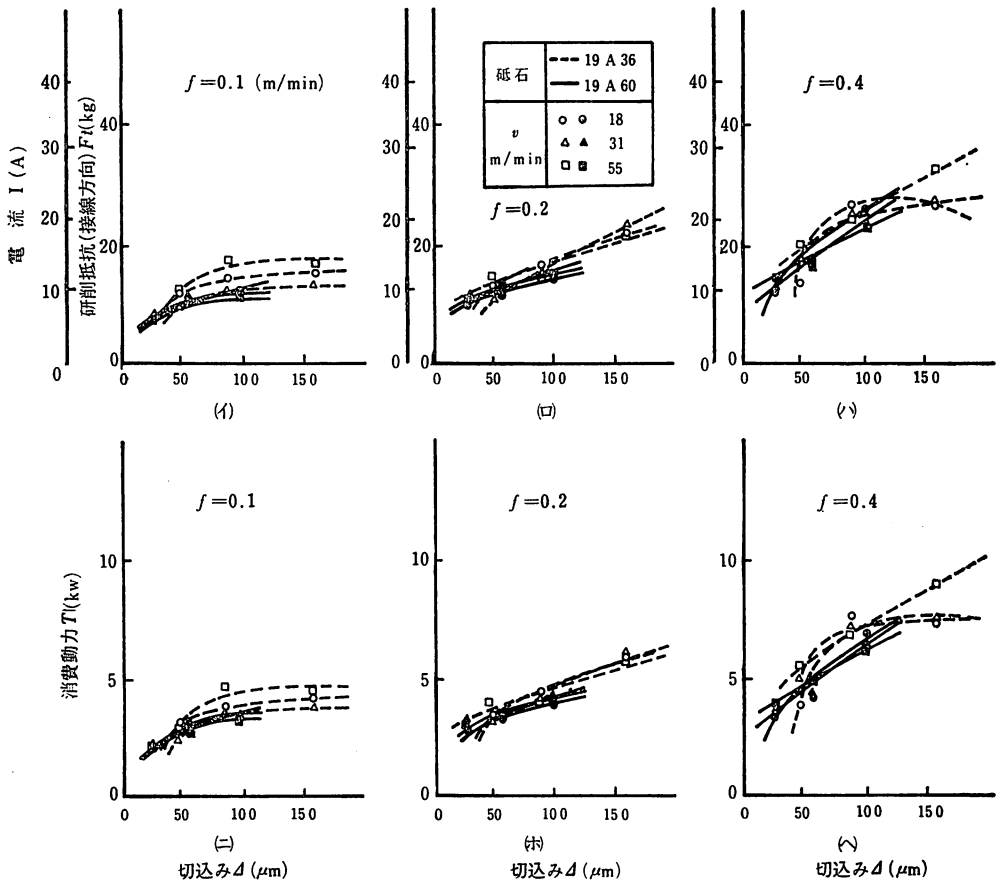


図6 研削抵抗 (電流), 消費動力と切込みの関係

作用が影響をおよぼすことがわかるが、これは、おそらく、相当研削厚さ⁷⁾に影響するものと考えられる。したがって、今後、各測定項目の中で、砥石損耗量 W_s' 、砥石損耗速度 W_s 、など、テーブル速度と砥石切込みの交互作用に有意差の認められるものに対しては、数学モデルも一次のものだけでなく、交互作用を含めた二次モデルを考える必要があり、相当研削厚さによる整理も考慮しなければならないと考える。

4. おわりに

円筒重研削における外的研削要因として、A) 被削材の周速度 v m/min, B) テーブル速度 f m/min, C) 砥石切込み d μ m の3要因の 1) 砥石損耗量 W_s' mm³, 2) 砥石損耗速度 W_s mm³/sec \cdot mm, 3) 実削除率 q mm³/mm \cdot sec, 4) 研削比 G , 5) 研削抵抗 F_t kg, 6) 消費動力 T kw に与える影響の程度を寄与率により、また、その影響の定性的傾向を知り、つぎのことがわかった。

1. 採用した3要因のうち、テーブル速度、砥石の切込みは、ともに、その影響がみられるが、被削材の周速度は、研削比以外の、各測定項目に対しては、全く影響しないか、または、影響しても、僅かである。
2. 各測定項目に対し、各要因の与える影響を数式モデル化する足がかりを得ることができた。
3. B 要因 (テーブル速度) と C 要因 (砥石切込み) の交互作用に有意差がみられ、その中でも寄

与率の大きい、砥石損耗量、砥石損耗速度については3要因の主効果による一次モデルのみならず、二次モデルを数式モデルに採用することが必要である。

あ と が き

本実験にあたり、砥石の提供をいただいた、日本陶器株式会社に対し厚くお礼を申し上げる。また、実験に協力された、榎田 薫、四元正一君に感謝の意を表するとともに、種々御協力を賜った中島繁教授に深甚の謝意を表する次第である。

文 献

- 1) 奥島啓式ほか2名 被削性試験における実験計画法の応用 日本機械学会論文集 33巻 255号 (昭42-11) 1869
- 2) 田中秀穂・南 俊美 円筒重研削における19A 砥石の性能ならびに研削盤の能力 鹿大工研究報告第17号 1 ページ
- 3) 小西省三 例題演習 実験計画法 日刊工業新聞 (昭40-4) 8
- 4) 石川 馨ほか2名 実験計画法 (上) 東京化学同人 (1971-2) 80
- 5) 小野浩二 研削仕上 榎書店 (昭37-6) 164
- 6) 小野浩二 研削仕上 榎書店 (昭37-6) 17
- 7) R. SNOEYS: The Mean Undeformed Chip Thickness as a Basic Parameter in Grinding. Annals of the C. I. R. P. (1971) 183