

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, SCM3 に対する 19A 砥石の場合—

田 中 秀 穂

(受理 昭和54年5月31日)

GRINDING FACTORS AND MATHEMATICAL MODELS IN THE HEAVY CYLINDRICAL GRINDING (1st Report)

—On 19A WHEELS FOR S45C, SCM3—

Hideho TANAKA

In the heavy cylindrical traverse grinding, 3 factors, A) work speed, B) table speed, C) radial infeed of wheel, were chosen as a grinding factor which controls 1) wear 2) wear rate of grinding wheel, 3) metal removal rate, 4) grinding ratio, 5) grinding force, 6) grinding power, and 7) grinding cost.

To know the influences of these 3 factors for above these items (1)-(7), the extents of the effects of each factor were analyzed using the analysis of variance. And mathematical models showing the quantitative relations between those 3 factors and the each item were estimated by applying the Design of Factorial Experiment.

1. はじめに

筆者は、さきに、円筒重研削における砥石の損耗、削除率、研削抵抗、研削動力などの制御要因として、被削材の周速度、テーブル速度、砥石の切込みの3要因を外的研削要因として考え、S45Cを円筒重研削する場合について、それぞれの影響の程度を実験計画法の応用により、その寄与率から知ることができた¹⁾。

本報では、さらに、新しくSCM3を追加し、前報¹⁾と同様に、砥石の損耗、削除率、研削抵抗、研削動力、研削コストなどに対する各要因のおよぼす影響を調べるとともに、前報と比較し、かつ、各測定項目に対する数学モデルを奥島ら²⁾の方法にならって導出し、各要因と、各測定項目との間の定量的関係を知らうとした。

2. 実験装置および方法

表1に実験条件を示す。実験方法、装置は、前報¹⁾と同様であるので省略する。

3. 実験結果および検討

3.1. 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 d μ m の3要因が、(1) 砥石損耗量 W s mm^3 , (2) 砥石損耗速度 W_s , $\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{sec}$, (3) 実削除率 q $\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{sec}$, (4) 研削比 G , (5) 研削抵抗 F_t kg, (6) 研削動力 T kw, (7) 研削コスト $K' = k/W_w$ $\text{円}/\text{mm}^3$ に対してどの程度影響するかを知るために、分散分析*による寄与率を求め、その結果を纏めてS45C, SCM3の両材料について比較して示したのが図1である。両材料の間に、各測定項目に対し、各要因間での寄与率の大小関係は、その傾向はほぼ同じで、被削材材質による違いはみられないが、研削比に材質の差異によるわずかの違いがみられる。すなわち、S45Cでは、砥石の切込みが最も大きく影響し、SCM3ではテーブル速度が一番大きく影響している。一方、砥石の損耗に関するもの、すなわち、砥石損耗量、砥石損耗速度、研削比について、砥石間の差異を

*S45Cについては前報、SCM3は附録参照

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 2.6KW																														
砥 石	日本陶器製 19A 36M 8 V, 19A 60M 8 V. 外径×幅×内径 305×50×125を幅25mmに修正																														
被 削 材	外径×内径×長さ S 45 C $\phi 90 \times \phi 50 \times 50$ S C M 3 $\phi 120 \times \phi 50 \times 50$																														
熱 処 理 条 件	S C M 3 一次860℃油冷、二次600℃除冷、焼入硬度HB=288(平均) S 45 C 熱処理行なわず HB=152(平均)																														
研 削 条 件 と 対 数 変 換 さ れ た 変 数 の 3 水 準		砥石回転数 Nrpm	1750 一定																												
	(A) 要 因	被削材周速度 vm/min (被削材回転数 nrpm)	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">S 45 C</td> <td colspan="2">S C M 3</td> </tr> <tr> <td>低</td><td>中</td><td>高</td> <td>低</td><td>中</td><td>高</td> </tr> <tr> <td>(-1)</td><td>(0)</td><td>(+1)</td> <td>(-1)</td><td>(0)</td><td>(+1)</td> </tr> <tr> <td>18</td><td>31</td><td>55</td> <td>24</td><td>42</td><td>75</td> </tr> <tr> <td>(64)</td><td>(112)</td><td>(200)</td> <td>(64)</td><td>(112)</td><td>(200)</td> </tr> </table>	S 45 C		S C M 3		低	中	高	低	中	高	(-1)	(0)	(+1)	(-1)	(0)	(+1)	18	31	55	24	42	75	(64)	(112)	(200)	(64)	(112)	(200)
	S 45 C		S C M 3																												
	低	中	高	低	中	高																									
(-1)	(0)	(+1)	(-1)	(0)	(+1)																										
18	31	55	24	42	75																										
(64)	(112)	(200)	(64)	(112)	(200)																										
(B) 要 因	テーブル速度 fm/min	<table border="1"> <tr> <td>低</td><td>中</td><td>高</td> </tr> <tr> <td>(-1)</td><td>(0)</td><td>(+1)</td> </tr> <tr> <td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.4</td> </tr> </table>	低	中	高	(-1)	(0)	(+1)	0.1	0.2	0.4																				
低	中	高																													
(-1)	(0)	(+1)																													
0.1	0.2	0.4																													
(C) 要 因	砥石切込み $\Delta \mu\text{m}$ 19A 60M 8 V 19A 36M 8 V	<table border="1"> <tr> <td>低</td><td>中</td><td>高</td> </tr> <tr> <td>(-1)</td><td>(0)</td><td>(+1)</td> </tr> <tr> <td>30</td><td>55</td><td>100</td> </tr> <tr> <td>50</td><td>90</td><td>160</td> </tr> </table>	低	中	高	(-1)	(0)	(+1)	30	55	100	50	90	160																	
低	中	高																													
(-1)	(0)	(+1)																													
30	55	100																													
50	90	160																													
研 削 液	ジョンソンワックス1.25%液 30 l/min																														
砥石損耗測定	ベークライト転写法による																														

みてみると、粒度の細かい #60 では、A 要因の被削材の周速度 v の寄与率は認められず、粒度の粗い #36 では、 v に寄与率がみられる。 v の影響は、最大砥粒切込み深さ g に影響するため、よくいわれるように、 v の増大は、砥粒 1 個あたりの研削力を増大し、砥粒を脱落させ、砥石の動的硬度 (effective hardness) を軟かくするため⁹⁾ 砥石は目こぼれ型損耗となることの影響を受けたことを示したもので、したがって、#36 の砥石は、#60 に対して、前にも指摘したように⁴⁾ 結合度をもう少し高めた方がよいように考えられる。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、前報¹⁾ 同様、直交実験であるので、各要因について、各水準における平均値でそれらの動向を比較できる。図 2 は、これらの動向に与える各要因の定性的傾向を示したものである。両材料の間の増減の傾向は、ほぼ同じで、材質の差異による変化はみられない。したがって、図 1、図 2 より、定量的には、各要因の影響はあるにしても、

材質の差による変化は、各測定項目に対して定性的には、同様な変化を示すことがわかる。一方、この図 2 の傾向より、各要因に対して、後述の (1) 式の形の数学モデルを推定することにする。この (1) 式の指数評価により各測定項目に対する各要因の評価の指標となすことができる。

3.2. 数学モデルの推定

図 2 より、1) 砥石損耗量、2) 砥石損耗速度、3) 実削除率、4) 研削比、5) 研削抵抗、6) 研削動力、7) 研削コストの各項目に対する、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 要因の関係をつぎの (1) 式で仮定できるものとする。

$$f(x) = \xi(v/V)^a f^b \Delta^c \quad \dots\dots(1)$$

ここで $f(x)$ は、(1) ~ (7) までの、それぞれの測定項目を表わす。いま、ここで推定した (1) 式が妥当であるか否かは、各測定項目のそれぞれの式について、次に述べるように対数変換された 1 次モデル、2 次モデルの各項の係数の t 検定による有意性の判定に

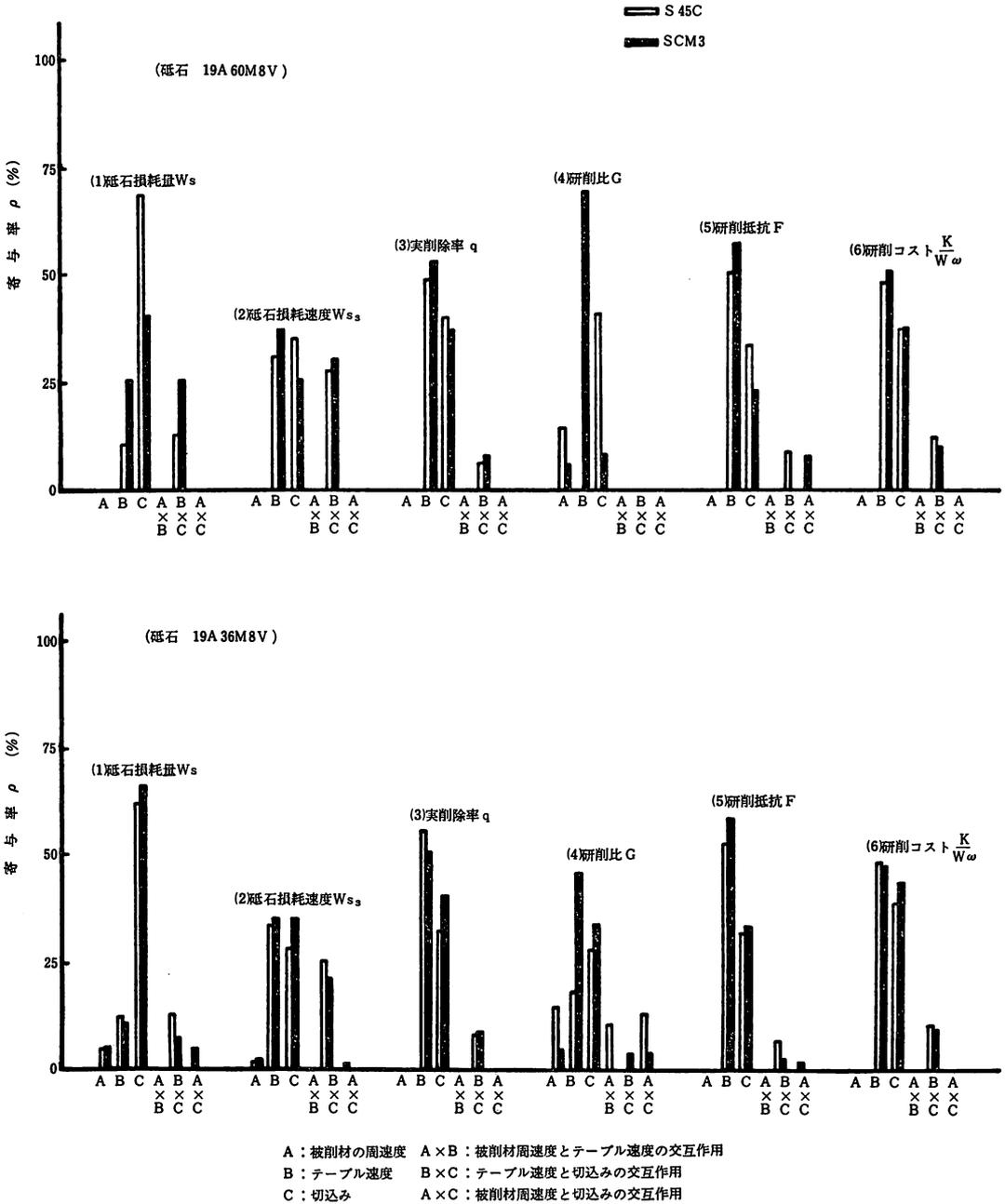


図1 各研削要因と寄与率の関係

よって確かめられる。そこで、まず、(1)式を対数変換してつぎの(2)式に書きなおして、

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 \quad \dots (2)$$

として、これらの関数関係を1次方程式で近似するこ

とにする。すなわち、 y は、 $f(x)$ 、変数 x_1, x_2, x_3 はそれぞれ後述の(3)式により、各研削要因、 $v/V, f, \Delta$ の適当な対数変換された値に対応し、 b_0, b_1, b_2, b_3 は(1)式の ξ, ζ, η, ν にそれぞれ対応すること

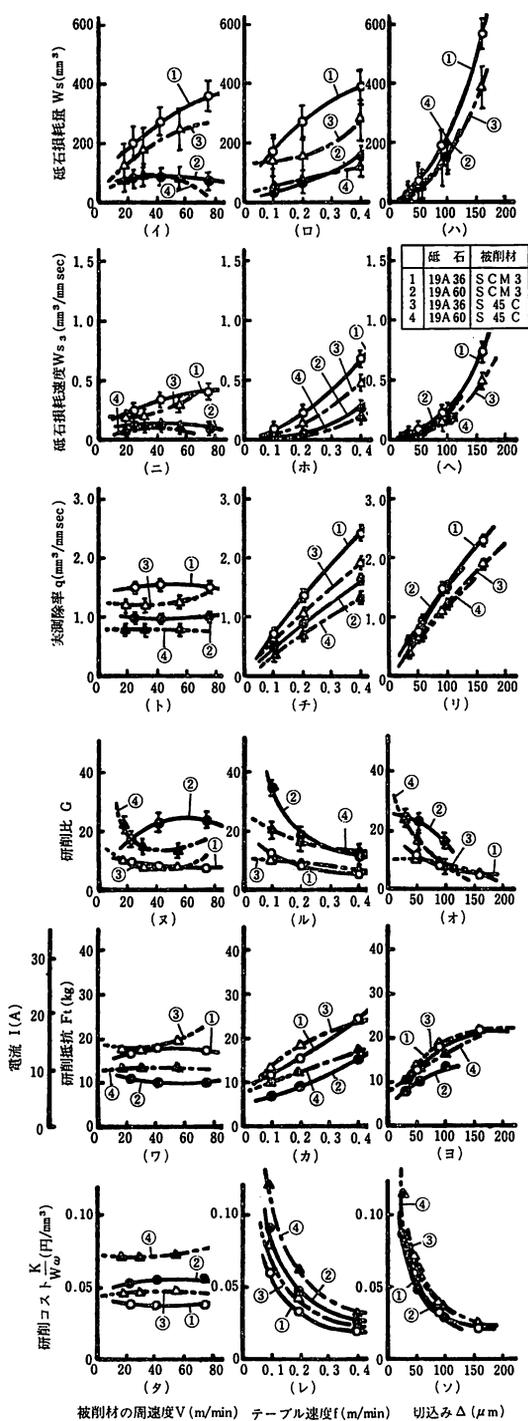


図2 各要因の影響

になる。この(2)式を1次モデルと呼ぶ。なお、この(2)式の変数 x_1, x_2, x_3 は、(2)式における各係数推定の統計解析が容易になるように対数尺で表わされる3水準の間隔を等間隔にすべく、(3)式にて、それぞれ、 $-1, 0, +1$ になるように各水準の間隔を選んである。すなわち、あらかじめ求めた、研削加工限界より、高水準、低水準を定めて、(3)式にて中水準の決定を行なう。(3)式は、S45C, 19A36M 8V の場合を例にとって示してある)

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{2(\log v - \log 18)}{\log 55 - \log 18} - 1 \\ x_2 &= \frac{2(\log f - \log 0.1)}{\log 0.4 - \log 0.1} - 1 \\ x_3 &= \frac{2(\log \Delta - \log 50)}{\log 160 - \log 50} - 1 \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

つぎに、(2)式の回帰係数は、最小二乗法に基づいて推定することになり、奥島ら²⁾の方法により推定した回帰係数を表2(ロ)に示す。本来、推定された回帰係数は、2次の数学モデルを設定して各要因間の交互作用等の有無についての有意性の検定が必要である。この結果を表2(イ)に示す(SCM3については附録参照)。交互作用のみられる、砥石損耗量、砥石損耗速度、研削比については、交互作用の消去を行うべく、別の水準を採用するか、別の要因をとりあげた実験が必要と考えられ、したがって数学モデルの精度も悪い(図3参照)。つぎに1次モデルについてみると、推定した係数 b_1, B および C 要因に対応する係数 b_2, b_3 はすべて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、砥石損耗に関する項目のみに有意性が認められ、それ以外の実削除率、研削抵抗、消費動力、研削コストには有意性が認められない。このことは、数学モデルの中に、要因として A 要因、すなわち、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なかに組入れても、 b_1 が小さい値であるため、その影響は小さく、したがって、表3、図3に示すよう誤差も小さい。

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ある。前にのべたように、この表中の指数評価により、各要因のおよび影響の程度を知ることができる。また、砥石の損耗に関する項目では、その誤差が大きいことは、前述の通り2次モデルにその有意性がみられたことも1因であると

表 2 計算された回帰係数と判定結果の例 19A 砥石 被削材 S 45C

(イ) 二次モデル

測定項目	砥石	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁₂	b ₁₃	b ₂₃	b ₁₁	b ₂₂	b ₃₃
砥石損耗量 W _s	# 36	2.041**	0.081**	0.107**	0.386**	-0.024	0.063	0.064*	-0.009	0.080	0.067
	# 60	1.741**	0.085**	0.125**	0.490**	-0.019	-0.096**	0.083*	-0.092	-0.004	0.050
砥石損耗速度 W _{s3}	# 36	-1.010**	0.080**	0.408**	0.387**	-0.024	0.063	0.063	0.007	0.080	0.065
	# 60	-1.310**	0.088**	0.425**	0.494**	-0.022	-0.102**	0.081*	-0.090	0.001	0.043
実削除率 q	# 36	-0.032*	0.005	0.290**	0.248**	0.017*	0.001	-0.011	0.017	0.008	-0.009
	# 60	-0.192**	-0.004	0.288**	0.251**	0.009	-0.007	-0.015**	-0.001	-0.011	-0.007
研削比 G	# 36	0.978**	-0.076**	-0.117**	-0.138**	0.041	-0.062	-0.074*	0.025	-0.072	-0.075
	# 60	1.118**	-0.088**	-0.138**	-0.240**	0.028	0.089*	-0.098**	0.091	-0.006	-0.058
研削抵抗 F _t	# 36	1.048**	0.029	0.171**	0.147**	0.007	-0.016	0.011	0.057	0.045	-0.068
	# 60	0.908**	0.010	0.202**	0.165**	0.006	-0.021	-0.012	-0.031	-0.006	-0.016*
消費動力 T	# 36	0.647**	0.020	0.121**	0.100**	0.006	-0.009	0.019	0.035	0.039	-0.042*
	# 60	0.545**	0.005	0.119**	0.096**	0.004	-0.013	0.016	-0.016	0.012	0.002
研削コスト K'	# 36	-1.437**	0.002	-0.264**	-0.225**	-0.015	0.008	0.034**	-0.012	0.006	0.024
	# 60	-1.276**	0.005	-0.275**	-0.238**	-0.008	0.008	0.027**	-0.002	0.016*	0.016

(ロ) 一次モデル

測定項目	砥石	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃
砥石損耗量 W _s	# 36	2.134**	0.081**	0.107**	0.386**
	# 60	1.711**	0.085**	0.125**	0.490**
砥石損耗速度 W _{s3}	# 36	-0.918**	0.080**	0.408**	0.387**
	# 60	-1.341**	0.088**	0.425**	0.494**
実削除率 q	# 36	-0.021**	0.005	0.290**	0.248**
	# 60	-0.205**	-0.004	0.288**	0.251**
研削比 G	# 36	0.897**	-0.076**	-0.117**	-0.138**
	# 60	1.136**	-0.088**	-0.138**	-0.240**
研削抵抗 F _t	# 36	1.071**	0.029	0.171**	0.147**
	# 60	0.873**	0.010	0.202**	0.165**
消費動力 T	# 36	0.668**	0.020	0.121**	0.100**
	# 60	0.544**	0.005	0.119**	0.096**
研削コスト K'	# 36	-1.425**	0.002	-0.264**	-0.225**
	# 60	-1.256**	0.005	-0.275**	-0.238**

** 99% 有意

* 95% 有意

表 3 計算された数学モデルの係数および指数
(イ) S45C

測定項目	砥石 #	ξ	ζ	η	ν	誤差 %
砥石損耗量 W_s	36	0.956	0.338	0.354	1.528	23.5
	60	0.224	0.356	0.414	1.876	26.9
砥石損耗速度 W_{s3}	36	0.004	0.337	1.355	1.532	23.4
	60	0.001	0.370	1.413	1.890	26.6
実削除率 q	36	0.058	0.019	0.962	0.984	4.9
	60	0.058	-0.015	0.955	0.961	3.4
研削比 G	36	13.890	-0.320	-0.390	-0.547	24.0
	60	59.836	-0.369	-0.457	-0.917	29.4
研削抵抗 F_t	36	3.526	0.123	0.568	0.580	14.3
	60	2.060	0.040	0.670	0.630	10.3
消費動力 T	36	2.107	0.084	0.402	0.394	9.9
	60	1.630	0.019	0.394	0.368	5.7
研削コスト K	36	0.515	0.007	-0.877	-0.891	7.3
	60	0.534	0.022	-0.914	-0.912	4.9

(ロ) SCM3

測定項目	砥石 #	ξ	ζ	η	ν	誤差 %
砥石損耗量 W_s	36	0.694	0.302	0.572	1.747	20.9
	60	0.293	-0.210	0.863	1.393	34.0
砥石損耗速度 W_{s3}	36	0.003	0.302	1.573	1.749	20.9
	60	0.001	-0.211	1.873	1.402	34.0
実削除率 q	36	0.085	0.015	0.909	0.987	5.0
	60	0.083	-0.024	0.939	0.912	3.4
研削比 G	36	17.759	-0.286	-0.624	-0.712	31.0
	60	64.334	0.186	-0.926	-0.484	24.8
研削抵抗 F_t	36	4.462	0.056	0.528	0.527	9.5
	60	3.389	0.014	0.597	0.509	16.2
消費動力 T	36	2.226	0.038	0.395	0.387	7.2
	60	2.027	-0.012	0.373	0.305	9.9
研削コスト K	36	0.424	0.011	-0.797	-0.857	7.0
	60	0.366	0.023	-0.888	-0.863	5.4

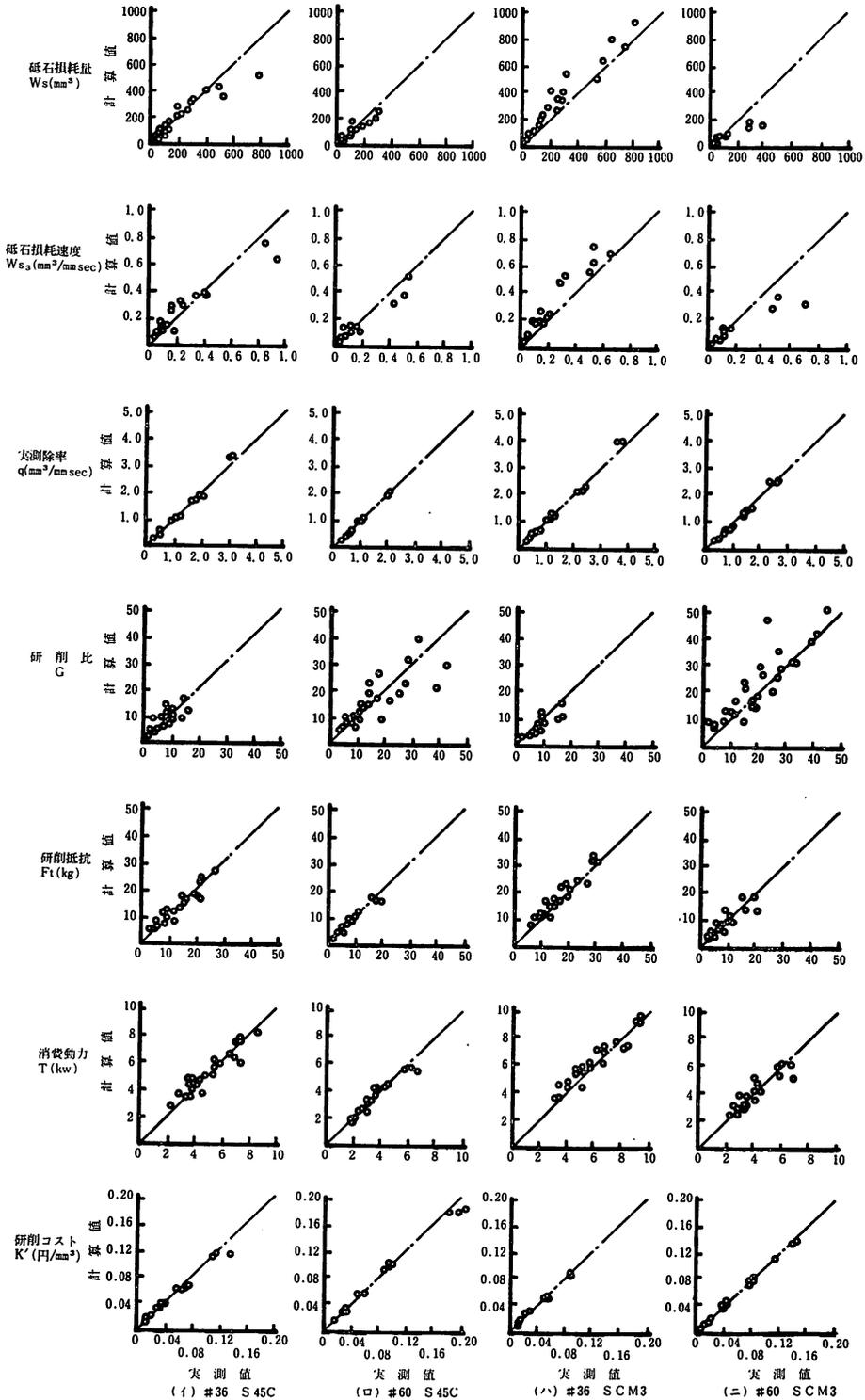


図3 実測値と計算値の比較

同時に、砥石損耗量の測定法をいまま少し精度を上げることによって解決できるものと考えられる。

図3に、(1)式で求められた計算値と実測値の相関を纏めて示した。砥石の損耗に関する以外の項目については、(1)式を採用しても構わないと考えるが、それ以外については、再考を要するので、つぎの機会にあらためて検討することにする。

4. おわりに

円筒重研削における、1) 砥石損耗量 $W_s \text{mm}^3$, 2) 砥石損耗速度 $W_{s_0} \text{mm}^3/\text{sec} \cdot \text{mm}$, 3) 実削除率 $q \text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{sec}$, 4) 研削比 G , 5) 研削抵抗 $F \text{kg}$, 6) 研削動力 $T \text{kw}$, 7) 研削コスト $K' \text{円}/\text{mm}^3$ に対する制御要因として、A) 被削材周速度 $v \text{m}/\text{min}$, B) テーブル速度 $f \text{m}/\text{min}$, C) 砥石切込み $\Delta \mu \text{m}$ を考え、被削材として S45C, SCM3 を用い、それぞれの要因が、各測定項目に対しどのように影響するかを、また、各測定項目と各要因との関係を知るために、数学モデルを導出し、定量的関係を知ることができた。すなわち、

- 1) 採用した3要因の中、被削材周速度の影響は、砥石損耗量、砥石損耗速度、研削比など、砥石損耗に関するものには影響するが、それ以外の項目には影響しない。
- 2) S45C, SCM3 の被削材材質の差異による各測定項目に与える、3要因の影響は、定量的には差異

が認められるが、定性的傾向は同じで材質による相違は認められない。

- 3) 砥石損耗量、砥石損耗速度、研削比などに推定した。数学モデル

$$f(x) = \xi(v/V)^c f^a p^a \quad \dots\dots(1)$$

を採用するには再検討を要するが、それ以外の項目については、採用してもよいと考える。

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、実験に協力を惜まなかった、四元正一、豊福暢史、橋口修の3君に対し、また、種々の御協力を賜った中島繁教授に対し感謝の意を表わす次第である。

文 献

- 1) 田中秀穂：円筒重研削における研削要因，鹿大工学部研究報告，第20号，20，昭53.9.
- 2) 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，日本機工学会論文集，33巻255号，1869，昭42.11.
- 3) 白井英治：切削，研削加工（下），共立出版，p.31，昭49.
- 4) 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について，鹿大工学部研究報告，第17号，5，昭50.9.

附 録

附表1 S C M 3 に対する分散分析表

(1) 砥石損耗量 (Ws) に対する分散分析表

(イ) 19A60M8V

要因	S	ϕ	V	F _o	ρ (%)
A	823	2	412	0.57	
B	60939	2	30470	42.03	**25.7
C	94945	2	47473	65.48	**40.4
A×B	5068	4	1267	1.75	
B×C	62009	4	15502	21.38	**25.6
A×C	1726	4	432	0.60	
e	5803	8	725		

(ロ) 19A36M8V

要因	S	ϕ	V	F _o	ρ (%)
A	106291	2	53146	10.79	** 5.3
B	215113	2	107557	21.83	**11.2
C	1227401	2	613701	124.58	**66.3
A×B	10848	4	2712	0.55	
B×C	149036	4	37259	7.56	** 7.0
A×C	107907	4	26977	5.48	* 4.8
e	19703	8	4926		

(2) 砥石損耗速度 (W_{s3}) に対する分散分析表

(イ) 19A60M8V

要因	S	ϕ	V	F _o	ρ (%)
A	3045	2	1523	0.76	
B	302178	2	151089	75.77	**37.3
C	207538	2	103769	52.04	**25.4
A×B	12187	4	3047	1.53	
B×C	253738	4	63435	31.81	**30.7
A×C	5898	4	1475	0.74	
e	15955	8	1994		

(ロ) 19A36M8V

要因	S	ϕ	V	F _o	ρ (%)
A	124775	2	62388	10.96	** 2.2
B	1846450	2	923225	162.20	**35.4
C	1840556	2	920278	161.68	**35.3
A×B	47244	4	11811	2.08	
B×C	1161315	4	290329	51.01	**22.0
A×C	119547	4	29887	5.25	* 1.9
e	45536	8	5692		

(3) 実削除率 (q) に対する分散分析表

(イ) 19A60M8V

要因	S	ϕ	V	F _o	ρ (%)
A	207	2	104	2.74	
B	65966	2	32983	867.97	**53.2
C	46891	2	23446	617.00	**37.8
A×B	206	4	52	1.37	
B×C	10248	4	2562	67.42	** 8.2
A×C	112	4	28	0.74	
e	303	8	38		

(ロ) 19A36M8V

要因	S	ϕ	V	F _o	ρ (%)
A	221	2	111	0.01	
B	14290677	2	7145339	861.82	**50.6
C	11252597	2	5626299	678.60	**39.9
A×B	42270	4	10568	1.27	
B×C	2524173	4	631043	76.11	** 8.8
A×C	11975	4	2994	0.36	
e	66324	8	8291		

(4) 研削比 (G) に対する分散分析表

(イ) 19A60M8V

要因	S	ϕ	V	F _o	ρ (%)
A	2383112	2	1191556	8.57	* 5.7
B	26043666	2	13021833	93.67	**69.8
C	3459547	2	1729774	12.44	** 8.6
A×B	1960016	4	490004	3.52	
B×C	432668	4	108167	0.78	
A×C	1551082	4	387771	2.79	
e	1112184	8	139023		

(ロ) 19A36M8V

要因	S	ϕ	V	F _o	ρ (%)
A	295751	2	147876	8.55	* 4.7
B	2588714	2	1294357	74.80	**45.6
C	1931190	2	965595	55.80	**33.9
A×B	71687	4	17922	1.04	
B×C	283951	4	70988	4.10	* 3.8
A×C	288009	4	72002	4.16	* 3.9
e	138431	8	17304		

(5) 研削抵抗 (Ft) に対する分散分析表

(イ) 19A60M8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ (%)
A	563	2	282	1.54	
B	35514	2	17757	97.03	**57.6
C	14679	2	7340	40.11	**23.4
A×B	1877	4	469	2.56	
B×C	1304	4	326	1.78	
A×C	5669	4	1417	7.74	** 8.1
e	1466	8	183		

(ロ) 19A36M8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ (%)
A	605	2	303	1.42	
B	76431	2	38216	179.42	**58.4
C	43929	2	21965	103.12	**33.4
A×B	272	4	68	0.32	
B×C	3782	4	946	4.44	* 2.3
A×C	3464	4	866	4.07	* 2.0
e	1706	8	213		

(7) 研削コスト (K/Ww) に対する分散分析表

(イ) 19A60M8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ (%)
A	3272	2	1636	8.02	*0.1
B	1959179	2	979590	4801.91	**50.9
C	1477080	2	738540	3620.29	**38.4
A×B	441	4	110	0.54	
B×C	402513	4	100628	493.27	**10.4
A×C	2512	4	628	3.08	
e	1632	8	204		

(ロ) 19A36M8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ (%)
A	88	2	44	0.25	
B	768115	2	384058	2194.62	**47.1
C	703508	2	351754	2010.02	**43.2
A×B	137	4	34	0.19	
B×C	154868	4	38717	221.24	** 9.5
A×C	1626	4	407	2.33	
e	1403	8	175		

(6) 消費動力 (T) に対する分散分析表

(イ) 19A60M8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ (%)
A	4591	2	2296	2.12	
B	241099	2	120550	111.21	**58.0
C	99645	2	49823	45.96	**23.7
A×B	12510	4	3128	2.89	
B×C	8927	4	2232	2.06	
A×C	36501	4	9125	8.42	** 7.8
e	8668	8	1084		

(ロ) 19A36M8V

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ (%)
A	3406	2	1703	1.34	
B	527689	2	263845	207.59	**58.3
C	307519	2	153760	120.98	**33.8
A×B	1495	4	374	0.29	
B×C	26862	4	6716	5.28	* 2.4
A×C	24168	4	6042	4.75	* 2.1
e	10166	8	1271		

附表2 計算された回帰係数と判定結果の例 19A 砥石 被削材 S C M 3

(イ) 二次モデル

測定項目	砥石	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁₂	b ₁₃	b ₂₃	b ₁₁	b ₂₂	b ₃₃
砥石損耗量 W _s	#36	2.257**	0.090**	0.172**	0.441**	-0.011	0.074**	0.016	-0.008	-0.003	0.017
	#60	1.616**	-0.062*	0.260**	0.364**	0.020	0.057	0.110*	0.058	-0.007	0.072
砥石損耗速度 W _{s3}	#36	-0.795**	0.089**	0.473**	0.442**	-0.012	0.073**	0.015	-0.008	-0.003	0.017
	#60	-1.438**	-0.063*	0.564**	0.367**	0.019	0.057	0.109**	0.058	-0.009	0.073
実削除率 q	#36	0.110**	0.004	0.274**	0.249**	-0.003	-0.005	0.004	-0.003	-0.008	-0.043**
	#60	-0.092**	-0.007*	0.283**	0.238**	-0.002	0.003	-0.005	0.017**	-0.011	-0.020**
研削比 G	#36	0.896**	-0.085**	-0.188**	-0.180**	0.008	-0.079**	-0.029	0.031	-0.015	-0.074*
	#60	1.343**	0.055	-0.279**	-0.126**	-0.021	-0.054	-0.116**	-0.038	-0.005	-0.094
研削抵抗 F _t	#36	1.225**	0.016	0.159**	0.133**	0.006	-0.033**	-0.002	-0.031	0.040*	-0.047**
	#60	0.924**	0.004	0.180**	0.133**	-0.030	-0.050	-0.028	0.010	0.058	0.002
消費動力 T	#36	0.761**	0.011	0.119**	0.098**	0.005	-0.023**	0.009	-0.015	0.037**	-0.033**
	#60	0.557**	-0.004	0.112**	0.080**	-0.018	-0.026	-0.003	0.014	0.047*	0.004
研削コスト K'	#36	-1.560**	0.003	-0.240**	-0.216**	0.012	0.013	0.022**	-0.005	0.023*	0.058**
	#60	-1.382**	0.007	-0.267**	-0.226**	0.001	-0.003	0.020**	-0.018	0.022*	0.027**

(ロ) 一次モデル

測定項目	砥石	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃
砥石損耗量 W _s	#36	2.261**	0.090**	0.172**	0.441**
	#60	1.700**	-0.062*	0.260**	0.364**
砥石損耗速度 W _{s3}	#36	-0.791**	0.089**	0.473**	0.442**
	#60	-1.356**	-0.063*	0.564**	0.367**
実削除率 q	#36	0.074**	0.004	0.274**	0.249**
	#60	-0.102**	-0.007*	0.283**	0.238**
研削比 G	#36	0.857**	-0.085**	-0.188**	-0.180**
	#60	1.252**	0.055	-0.279**	-0.126**
研削抵抗 F _t	#36	1.200**	0.016	0.159**	0.133**
	#60	0.971**	0.004	0.180**	0.133**
消費動力 T	#36	0.753**	0.011	0.119**	0.098**
	#60	0.600**	-0.004	0.112**	0.080**
研削コスト K'	#36	-1.509**	0.003	-0.240**	-0.216**
	#60	-1.361**	0.007	-0.267**	-0.226**

** 99% 有意

* 95% 有意