(昭和44年5月21日受理)

ロール絞り作用に影響をおよぼす要因*

繊維高分子材料研究所 伴 菊夫・川上 達也

ON THE FACTORS GOVERNING THE EFFICIENCY OF MANGLING

By Kikuo Ban and Tatsuya Kawakami

(Research Institute for Polymers and Textiles, 4, Sawatari,
Kanagawa-ku, Yokohama, Japan)

The effects of total load, hardness of roller cover and speed of cloth on the water retained in fabric after mangling were investigated. At first, a three-factor factorial experiment in a parametric model was used. In this experiment factor A (total load) has 8 levels, factor B (cloth speed) 5 levels and factor C (cover hardness) 4 levels, and entire experiment is replicated seven times. The results of analysis of variance show that factor A and C are highly significant but B is less when using a 1% level of significance. Next, the principal factor analysis is used to determine the minimum number of dimensions needed to account for the variance in the original set of variables. In this analysis the numbers of dimension of variable spaces are 96 (total load 8, speed 3, hardness 4) and 36 (total load 3, speed 3, hardness 4), respectively.

It is confirmed that 75% of total variance is explained sufficiently with three eigenvalues in the order of reducing magnitude.

(Received May 21, 1969)

1. 緒 言

パディングならびにマングリングに使用されているロール工程の動特性を明らかにするために本実験を計画した。本報告に関係する従来の研究としては H. Rath, E. Selter らの報告が見られる¹⁾。Rath らは圧力と平衡水分量の測定から始めて、絞りロールの平均圧力、温度、速度、試料などの変化に対する付着量の変化を測定しているが、それらの要因の組合せによる絞り工程動特性の数学モデルに関する実験は行なわれていない。

本実験ではロール硬度、表面速度ならびに荷重を変化させた時の絞り付着量の変化を多変量解析の手法を利用して明らかにし、動的絞り作用の数学モデルを作成するための資料を得ようとするものである。そこでまず絞り付着量に影響を及ぼす因子を分散分析により明確にし、ついで主因子分析によって全分散の 70~80% を説明することのできる共通因子を見出し、さらに因子負荷行列を求めてその構造模形と比較検討する。

2. 実験装置

幅 300 mm 外径 160 mm のステンレスロールと同幅

* この報文を「ロール絞り作用の動特性に関する研究 (第1報) Dynamical characteristics of mangling action (Part 1)」とする。

で外径 140 mm のゴム被覆ロールとからなる実験用絞り装置を使い、秤量法により絞り上り重量を測定した。ゴムロールの被覆層は 14 mm で硬度はショア 40~80° のものをそれぞれ取りかえて使用した。試料は 40 番ブロード (240 mm×260 mm) を糊抜きしたものを用いて使った。付着量は標準状態では平衡に達した時の試料乾燥重量 x_0 を測定しておき、絞り上り重量測定値

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus. Rubber-covered roller RU is loaded with two air cylinders A, and metal roller RB is connected to an electric motor through a variable-speed transmission.

Table 1.1 Air pressure and load per linear cm of the experimental apparatus.

air pressure (kg/cm ²)	0.6	1.0	1.4	1.8	2.2	2.6	3.0	3.4
load (kg/cm)	2.09	2.61	3.14	3.66	4.18	4.71	5.23	5.75

Table 1.2 Graduation of variable-speed transmission and cloth speed.

graduation	0.0	2.5	5.0	7.5	10.0
speed (m/min)	4.38	8.19	12.99	18.38	24.31

x から $(x-x_0)/x_0$ として求めた。ロール系は Fig. 1 に示すように 2 本のエアシリンダで荷重するようになっており、供給側の空気圧を 0 から 4 kg/cm² まで変えることによって荷重を変化させることができるようになっている。ロール表面速度は無段変速器によって変えることができ、その変化範囲は Table 1.1, Table 1.2 に示すとおりである。

3. 分散分析実験計画

ロール加圧用の供給空気圧と変速器の目盛とロール硬度とをそれぞれ A, B, C 制御因子として繰返しのある母数型分散分析を計画した。ロール加圧用の供給空気圧因子 (A 因子) は 0.6 から 3.4 kg/cm² までを 0.4 kg/cm² おきに 8 水準とり、表面速度因子 (B 因子) は変速器の全目盛を 4 等分して 5 水準とし、ロール硬度因子 (C 因子) は 40°, 60°, 75°, 88° の 4 水準とした。すなわち荷重としては単位長さ当り 2.09 から 5.75 kg/cm, 表面速度としては 4.38 から 24.31 m/min をカバーしている。繰返しの回数については第 2 種の過誤 β に焦点を置いて理論的に求める方法があるが、本質的に β をいくらしらよいかという点を決定しかねたので本実験では田口の推奨する Baye's Wald の解における λ の推定が困難な場合 8 から 10 回²⁾ というのを参考にして実験の都合により 7 回と決めた。実験順序はランダムな 4 水準の硬度因子に対して、供給空気圧因子 8 水準と表面速度因子 5 水準の組み合わせとして、それぞれ 40 回の無作為配置を作りこれを繰返し 1 回 (R 因子とする) とし、毎回無作為配置表を作りなおして 7 回の繰返し実験を行った。次に各硬度における速度因子の有意性を見るために A, B, R 因子はそのまま C 因子をばらばらにして 4 回の繰返しのある 2 元配置として計算した。

4. 実験結果

まず最初に繰返しのあたる 3 元配置の分散分析結果を Table 2 に示す。誤差項は R+AR+BR+ABR+CR

+ACR+BCR+ABCR とし計算した³⁾。Table 2 から A ならびに C 因子は問題なく付着量変化に大きな影響を及ぼしていることがわかる。すなわち供給空気圧を変えてもロール

Table 2. Three-factor analysis of variance with replication.

source of variation	sums of squares	degrees of freedom	mean squares	F value
A	24485.9	7	3497.9	1723.6**
B	19.5	4	4.8	2.36
AB	189.7	28	6.7	3.30**
C	19662.3	3	6554.1	3229.5**
AC	460.0	21	21.9	10.7**
BC	398.9	12	33.2	16.3**
ABC	208.6	84	2.4	1.18
R	98.0	6	16.3	
AR	49.4	42	1.1	
BR	37.6	24	1.5	
ABR	179.1	168	1.0	
CR	676.0	18	35.7	
ACR	197.6	126	1.5	
BCR	141.7	72	1.9	
ABCR	568.9	504	1.1	
Total	47373.9	1119		
Error	1948.3	960	2.02	

硬度を変えても、その結果として絞り付着量には有意な変化が見られる。交互作用 AC, BC が有意となっているのは A, C ならびに B, C がそれぞれ直交していないということである。速度因子 B については 1% 有意にわずかにみえないが、この程度の速度変化では付着量に有意な差として影響するだけの要因とはなり得ない。次に各硬度別に繰返しのある 2 元配置として計算した結果を Table 3.1 から Table 3.4 に示す。速度因子については硬度が大きくなると、すなわち 75° と 88° の場合には速度による付着量の変化が明確に出てくる。そこで各硬度における付着量の変化を速度に対して図示すると Fig. 2(a) から Fig. 2(d) までのようになる。Fig. 2(a), (b) から硬度 40° 60° においては、単位長さ当りの荷重が 2.09 kg/cm の場合にわずかに速度の影響が見られるが、それ以外には速度による変化は認められない。硬度 75° の場合には Fig. 2(c) に示すように単位長さ当りの荷重が 3.14 kg/cm 以上になると、速度が増加するにつれて絞り効果が悪くなって行くのが見られる。Fig. 2(d) に示すように硬度 88° の場合には全体的に速度の効果が見られるが、特に影響が大きいのは 75° の場合とは逆に

Fig.2. Effects of cloth speed on water take-up when the hardness of cover is equal to 40°. The figures alongside the data indicate the level of total load.

Table 3-1 Two-factor analysis of variance when hardness is equal to 40°

source of variation	sums of squares	degrees of freedom	mean squares	F value
A	5434.6	7	776.3	685.1**
B	30.4	4	7.6	6.72**
AB	207.4	28	7.4	6.53**
R	3.2	9	0.5	
AR	55.6	42	1.3	
BR	27.9	24	1.1	
ABR	185.0	168	1.1	
Total	5944.5	279		
Error	271.9	240	1.13	

Table 3-2 Two-factor analysis of variance when hardness is equal to 60°

source of variation	sums of squares	degrees of freedom	mean squares	F value
A	5424.8	7	774.9	381.3**
B	11.1	4	2.7	1.37
AB	29.8	28	1.0	0.52
R	213.4	6	35.5	
AR	73.9	42	1.7	
BR	60.2	24	2.5	
ABR	140.0	168	0.8	
Total	5953.5	279		
Error	487.6	240	2.03	

Table 3-3 Two-factor analysis of variance when hardness is equal to 75°

source of variation	sums of squares	degrees of freedom	mean squares	F value
A	5345.7	7	763.6	222.4**
B	176.6	4	44.1	12.8**
AB	58.6	28	2.0	0.6
R	503.1	6	83.8	
AR	53.8	42	1.2	
BR	65.9	24	1.1	
ABR	200.9	168		
Total	6404.8	279		
Error	823.8	240	3.43	

(a) : a 95 % confidence interval for mern is

↗ ±2.3%

(b) : " ±2.6%

(c) : " ±3.4%

(d) : " ±3.1%

Table 3-4 Two-factor analysis of variance when hardness is equal to 88°

source of variation	sums of squares	degrees of freedom	mean squares	F valus
A	8740.8	7	1248.6	820.2**
B	200.2	4	50.0	32.8**
AB	102.4	28	3.6	2.4**
R	54.2	6	9.0	
AR	63.7	42	1.5	
BR	25.2	24	1.0	
ABR	222.1	168	1.3	
Total	9408.8	279		
Error	365.3	240	1.52

Fig. 3. Effects of cloth speed and cover hardness on water take-up.

Cloth speed : straight line ; 4.38 m/min.
dotted line ; 24.31 m/min.

Shore hardness : ○ : 40°, □ : 60°, △ : 75°
+ : 88°

単位長さ当りの荷重が最小の場合であり、しかも速度が増加するにつれて絞り効果がよくなって行く傾向が見られる。各硬度間の差を見るために付着量の変化を単位長さ当りの荷重をパラメータにして書いたものが Fig. 3 である、この図から判定すると最も絞り効率のよいのは 88° の場合であり、次いで 60°, 75°, 40° という順に悪くなっていくことがわかる。

5. 多変量解析のための考察

全体として速度効果はあまり見られないが硬度の高い場合に若干の影響が認められるので、速度因子を 1 水準おきに取って 3 変数とし供給側の空気圧因子は単位長さ当りの荷重に換算して 8 変数とし硬度もそのまま 4 変

数として全部で 96 次元の変数空間（ユークリッドベクトル空間）を考えると、分散にはノルムの 2 乗を共分散（または相関係数）にはベクトルの内積をあてはめることができる。そこで絞り作用の数学モデルとして次のような因子分析モデルを考える。

$$x_i = \mu_i + \sum_{j=1}^m l_{ij} f_j + s_i \quad (i=1, 2, \dots, 96) \quad (1)$$

x_i , μ_i はテスト変数としての付着量とその母平均, f_j は共通因子, m は共通因子の個数, l_{ij} は f_j に対する因子負荷量であり s_i は誤差因子である。共通因子数 m については本実験の場合荷重, ロール圧力分布, 速度, 布地の圧縮特性などをあげることができるが、少なくとも 96 より小さいと考えてもさしつかえない。 f_j , s_i は確率変数で互いに独立であると仮定しそれぞれの平均, 分散, 共分散について次のような仮定を置く。

$$\begin{aligned} E(f_j) &= 0, & E(s_i) &= 0 \\ V(f_j) &= 1, & V(s_i) &= v_i \\ \text{Cov}(f_j, f_k) &= 0, & \text{Cov}(s_i, s_k) &= 0 \end{aligned}$$

$j \neq k$, $i \neq k$, f_j , f_k については $j, k=1, 2, \dots, m$, s_i , s_k については $i, k=1, 2, \dots, 96$ すると次の関係が得られる。

$$\Sigma = BB' + V \quad (2)$$

ここで Σ は分散共分散行列であり B は因子負荷行列, B' は転置行列, V は対角な誤差因子行列である。これを相関係数行列 R を使って書くと

$$R = LL' + S \quad (3)$$

相関行列 R から L と S を推定するにはセントロイド法, 主因子分析, 最尤法, Jöreskog の方法などがあるが, 本実験では主因子分析法により L , S を推定する, すなわち R の代りにその推定値 A を用いて $A-S$ の固有値を求め全体の分散の 70 から 80% を説明できる因子の個数 m を見つけ出しそれを共通因子数とする。誤差分散 s_i の上限は変数 x_i の他の 95 個の変数に対する重相関係数を ρ_i とすると $1-\rho_i^2$ に等しいことが証明⁴⁾ されているのでそれを使うと $\rho_i^2 = 1 - 1/r^{ii}$ であるから次のように書くことができる。

$$0 \leq s_i \leq 1/r^{ii} \quad (4)$$

ここで r^{ii} は R の逆行行列の対角成分である。

6. 計算結果とその考察

まず変数を 96 とした時の $A-S$ の固有値とその累積値とを Table 4-1 に示す, 次に分析結果の安定性すなわちデータの増減によって結果が大きく変わるかどうかの問題を検討するために, 変数空間を若干変更して計算してみた結果を Table 4-2 から Table 4-4 に示す。Table 4-2 は圧力 3 変数, 速度 3 変数, 硬度 4 変数, Table 4-3 は圧力 1 変数, 速度 3 変数, 硬度 4 変数,

Table 4.1. Eigenvalues and those cumulative percentage of 96 variable space. (load 8, speed 3, hardness 4)

eigenvalue	34.8	18.7	13.8	10.8	9.4	8.2
percentage	36	55	70	81	91	99

Table 4.2. Eigenvalues and those cumulative percentage of 36 variable space. (load 3, speed 3, hardness 4)

eigenvalue	14.7	7.1	4.7	3.8	2.9	2.5
percentage	41	60	74	84	92	99

Table 4.3. Eigenvalues and those cumulative percentage of 12 variable space. (load 1, speed 3, hardness 4)

eigenvalue	5.3	3.4	1.5	0.95	0.42	0.22
percentage	44	73	86	94	98	99

Table 4.4. Eigenvalues and those cumulative percentage of 8 variable space. (load 1, speed 2, hardness 4)

eigenvalue	4.2	1.8	1.0	0.69	0.11	0.04
percentage	52	75	89	98	99	99

Table 4.4 は圧力 1 変数, 速度 2 変数, 硬度 4 変数についてそれぞれ固有値とその累積値とを示すものである。いずれの場合も相関行列の逆行列の対角成分 r^{ii} は大きな値になり, その逆数は 10^{-5} 程度になるので主成分

Table 5. Three-factor experimental arrangements. The figures 1~96 correspond to the rotated factor loadings of fig. 4.

hardness	speed (m/min)	load per linear cm							
		2.09	2.61	3.14	3.66	4.18	4.71	5.23	5.75
		(kg/cm)							
40°	4.38	1	2	3	4	5	6	7	8
"	12.99	9	10	11	12	13	14	15	16
"	24.31	17	18	19	20	21	22	23	24
60°	4.38	25	26	27	28	29	30	31	32
"	12.99	33	34	35	36	37	38	39	40
"	24.31	41	42	43	44	45	46	47	48
75°	4.38	49	50	51	52	53	54	55	56
"	12.99	57	58	59	60	61	62	63	64
"	24.31	65	66	67	68	69	70	71	72
88°	4.38	73	74	75	76	77	78	79	80
"	12.99	81	82	83	84	85	86	87	88
"	24.31	89	90	91	92	93	94	95	96

Table 6. Three-factor experimental arrangements. The figures 1~36 correspond to the rotated factor loadings of fig. 5.

hardness	speed (m/min)	load per linear cm		
		2.09	3.66	5.75 (kg/cm)
40°	4.38	1	2	3
"	12.99	4	5	6
"	24.31	7	8	9
60°	4.38	10	11	12
"	12.99	13	14	15
"	24.31	16	17	18
75°	4.38	19	20	21
"	12.99	22	23	24
"	24.31	25	26	27
88°	4.38	28	29	30
"	12.99	31	32	33
"	24.31	34	35	36

析の結果とはほぼ同じになる。

全体の分散の 75% 程度までを説明できるものを共通因子 m とすると Table 4.1 と Table 4.2 からは $m=3$ Table 4.3 と Table 4.4 からは $m=2$ という結果が出てくる。両者の変数空間を比較してみると後者は供給空気圧を固定してしまったようになっているので共通因子数が減少したものと思われる。共通因子数の決定に際して固有値の数が明確にテスト変数よりも少なく出てきた点は, この種の問題に対して因子分析法がかなり有効な手法であることを示すものである。しかし誤差分散の限界をいくらするかという点では若干問題が残っている。本実験の場合には誤差分散の推定値として $1-\rho^2$

を取ったが実際に計算してみると $\rho^2 \approx 1$ となってしまうので, 誤差分散に関しては構造模型を修正するか, または他の推定方法を考えるかする必要がある。

共通因子を 3 として 96 変数の場合と 36 変数の場合とについて因子負荷量を求め, Varimax 法による回転結果を Fig. 4 および Fig. 5 に示す。Table 5 ならび Table 6 にはそれらの時の変数空間と実験条件との対応を示す。そこで共通因子の物理的な意味が問題になってくるが, たとえば単位長さ当りの荷重が最高の点を Fig. 4 ならびに Fig. 5 にマークしてみると (図中の△印) いずれの場合も全体に散らばってし

Fig. 4. Rotated factor loadings of 96×96 correlation matrix.

- (a) : factors 1 and 2
- (b) : factors 1 and 3
- (c) : factors 2 and 3

Fig. 5. Loadings on rotated factors obtained from analysis of correlation coefficients between the percentage of water retention of 36 variables.

- (d) : factors 1 and 2
- (e) : factors 1 and 3
- (f) : factors 2 and 3

まて、共通因子を解釈するには単位長さ当りの荷重という要因では不充分であることがわかる。同様に速度の要因をプロットしてみてもやはり解釈のためには不充分であることがわかる。これらのことは分散分析の結果単位長さ当りの荷重、速度、硬度の要因間に交互作用が存在したことを考え合せても当然のことである。したがって共通因子を物理的に意味づけるためには因子負荷量を別の要因によってプロットして判定すべきことがわかる。

7. 結 論

従来経験的に推測されていた動的なロール絞り作用の要因数を多変量解析特に主成分分析の手法を適用することによって明確に定めることができ、その数学モデルを設定できることがわかった。すなわち布の状態を一定に保ちロール硬度、荷重、通過速度を変化させて絞り付着量を測定した場合に、硬度 75° では単位長さ当りの荷重約 3.0 kg/cm から 5.8 kg/cm まで、硬度 88° では単位長さ当り荷重 2.0 kg/cm から 5.8 kg/cm までの範

囲内では、絞り付着量が速度によって変化することがわかった。さらに主成分分析によれば、布および溶液の条件を一定にした場合には、付着量に影響をおよぼす要因数は 3 個を取れば全分散の 75% を説明できることがわかった。なお因子負荷量による要因の解釈については絞り付着量に影響をおよぼすロール間の圧力分布の状態、すなわち最高圧とかニップ幅とか圧力勾配とかの物理量の変化と負荷因子量とを比較対応してみる必要がある。

終わりに本研究を進めるにあたりご指導いただきました東京工業大学石川章一教授に深く感謝します。

文 献

- 1) H. Rath; *Textil Praxis*, 1, 65 (1954)
E. Selter; *Textil Praxis*, 2, 178 (1954)
- 2) 田口玄一; 実験計画法 下, 丸善, p. 778
- 3) A. Ralston, H. S. Wilf; *Mathematical Methods for Digital Computers*, John Wiley & Sons (1964) p. 224
- 4) 北川, 国沢, 森口 編; 因子分析, JUSE (1965) p. 9