繊維の配列度に関する研究* (第3報)

(昭和31年10月5日受理)

会 員 井 谷 和 十 郎**

→ 摘 要 ←

研究目的

繊維の有効要素が繊維束の軸となす配向角を顕微鏡で測定し、配向角の標準偏差で繊維束の繊維配列の程度を表示する新しい測定法について考察した。

研究結果

紡績工程を経るにしたがって、繊維束の有効要素の配向角の標準偏差は漸次減少し、その減少率も次第に小さくなる事が認められた。繊維束の配向角の分布は工程を経るにしたがって、順次正規型——不正規型——正規型に変化し、繊維束の配向角の分布のとりがり度も工程を経るにしたがって増加し、練条機2, 3回通し後最大となりその後次第に減少することが認められた。

1. 緒 言

繊維の有効要素の散布度を測定して、繊維束の中の繊維配列の程度を定量的に示す方法について述べる。この種の研究として Morton¹⁾ はスライバにトレーサ繊維を混合して、その形状を描画し、スライバ軸方向への繊維の平均射影長と平均繊維長の比で繊維配列度をあらわし、またトレーサ繊維の形状を5種に分類し、各種の繊維の増減によって繊維の配列の程度を比較している。

繊維の散布度を間接に測定する方法として、石川氏は梳毛スライバ表面の光沢度で繊維平行度を比較し、Orchard³⁾ はウェーブ表面における投射光の反射、屈折による光の光電池出力を測定し、次式で繊維配列の程度を比較している。

$$\frac{\text{光電池最大出力}}{\text{光電池最小出力}} - 1$$

Morton の方法はトレーサ繊維を用うため不便であり、石川氏及び Orchard の方法は投射光を使用しているため、繊維の形状との関係が明確でない。

よって本文においては繊維を鎖のように多くの有効要素がつながりあってできているものと見なし、有効要素が繊維束の長さ方向となす配向角を測定し、配向角の散布度あるいは配向角の余弦の平均値で繊維配列の程度をあらわす方法並びに実験結果について述べる。

2. 実験方法

顕微鏡にアッペ描画装置を取付けて、繊維束の表面を

観察し、視野にあらわれる繊維数を多くし、描画中の繊維の変形を阻止するように、繊維束の上にカバーガラス(18 × 18 mm², 127 mg)を置いて、視野内の繊維の輪郭を描画した。ラップの断面繊維を描画する場合は、その厚さに等しい長方形の容器を作り、スライバの場合はその横断面とほぼ同形で、短径を含む軸方向を切口とする半楕円筒の容器を作り、これらの中に西洋紙にはさんだ繊維束を入れ、容器の切口に出た部分を西洋紙と共に鉄で切断する。ロービングの場合は、これらとほぼ同径で、弾性の極限の大きいパイプ(例えばゴム、ビニール)にそう入し、中心軸に沿ってパイプと一緒に鉄で切断する。

これらの断面をガラス板で押え、切断のとき圧縮された繊維束がほぼ原形に膨化した後、断面にあらわれた繊

(第 1 図)

* On the Fiber Orientation. Part 3.

** W. Itani, Member. 京都工芸繊維大学

維の形状を描画する。

描画円の中の繊維の長さの差を比較約少なくするため第1図のように描画円Oの中央部で直径の $\frac{3}{8}$ 以内にある繊維pqについて、その両端を結ぶ線分pqを繊維の有効要素と見なした。断面の場合には視野にあらわれる繊維の長さは著しく短いから、ラップ、カードスライバなどの場合は直径の $\frac{1}{4}$ 位の長さのものまで測定した。

繊維束の長さ方向 oxo' となす鋭角 $\angle x'oq'$ ($pq \parallel oq'$)を配向角とし、 $\angle x'oq'$ が直線 oxo' の上方にあるときは正、下方にあるときは負とすれば、配向角の変域は(-90° , 90°)となるから、級間隔を 10° とし、それぞれの階級に属する頻度数を計測し、配向角の標準偏差及び配向角の余弦の平均値をもとめ、これらの数値で繊維配列の程度を比較した。

特別の場合を除き顕微鏡の倍率は50倍にして、視野の直径は2.1mmであるから、有効要素の長さはほぼ1.4mmであるが、繊維配列の悪い繊維束の断面の有効要素の長さは1.0mmである。

3. 実験結果

(A) 試料の位置、有効要素の長さ及び顕微鏡の倍率による影響

繊維束の上下層の位置、縦断面の両側と中央の位置における有効要素の散布度の差異、有効要素の長さ及び顕微鏡の倍率が有効要素の散布度に及ぼす影響について測定した。

同一の試料については描画円数8個、円内の描画繊維数25本、総標本数200個について計測した。

第1表は繊維束の上層より順次下層の繊維を描画し、描画繊維を上下2層に分けて、各層の有効要素の配向角の平均値、標準偏差を計測したもので、仕上ラップ、スラッピングでは上下層の標準偏差の差が少なく、カード及び第1練条スライバには相当の差が認められる。

(第1表)

試料	平均値(度)			標準偏差(度)		
	上層	下層	平均	上層	下層	平均
仕上ラップ	8	-6	1	46	42	44
カードスライバ	-4	-2	-3	37	28	33
第1練条スライバ	-2	0	-1	30	20	25
スラッピング	-14	-12	-13	19	13	16

第2表は荒打及び仕上ラップの上部の繊維房を削いで中間部の繊維房の表面繊維について測定した結果で、ラ

(第2表)

試料	中間繊維房表面		表面	
	平均値(度)	標準偏差(度)	平均値(度)	標準偏差(度)
荒打ラップ	-1	42	-3	45
仕上ラップ	-2	38	3	39

ップ表面の場合と著しい差は認められない。

仕上ラップ表面の繊維配列は悪く、スラッピングは撚りにより表面繊維の変形の回復が束縛されているが、スライバでは繊維の受けた変形が大きく、しかも表面繊維相互の摩擦抵抗が少ないために上述のような標準偏差の差が生じたものと考えられる。

第3表はカードスライバの縦断面の横方向等間隔の位置における有効要素について測定したもので、位置による変化の傾向は認められない。したがって繊維の変形の回復の著しいのは最上層部の繊維であることが推察される。

(第3表)

位置	1	2	3	4	5	6	7
平均値(度)	2	-1	-1	2	1	-1	1
標準偏差(度)	25	22	24	24	22	24	24

描画した繊維の有効要素の長さによる散布度の影響を考察するために、倍率25倍の顕微鏡(実視野直径6mm)を用い、描画円の中央部で視野の直径1, 2, 4, 6mmに相当する円内の有効要素について計測した。

第4表のように有効要素の長さが大になるにしたがって、標準偏差は多少小さくなることが認められる。

(第4表)

試料	視野の直径(mm)	1	2	4	6
カード	平均値(度)	3	1	3	2
スライバ	標準偏差(度)	28	27	25	24
第2練条	平均値(度)	-4	-5	-3	-5
スライバ	標準偏差(度)	18	17	15	14

第5表はカードスライバの同じ位置を顕微鏡の倍率を換えて描画し、倍率の影響を示したもので、倍率が大きくなるにしたがって、標準偏差は増加することが認められる。

顕微鏡の倍率を大にすると焦点の深さが浅くなるから下層繊維の描画が困難となり、繊維配列の悪い上層繊維のみを描画する結果となること及び顕微鏡の倍率が大きいと視野の直径が減少し、有効要素の長さが小となることに起因するものと考えられる。

(第 5 表)

試 料	倍 率	25		35		50		100	
	有効要素の長さ (mm)	6*	4	3*	2	2*	1.5	1.5*	1
カード スライバ	平 均 値 (度)	2	3	1	2	0	0	0	0
	標 準 偏 差 (度)	24	25	28	29	31	31	32	32
第2練条スライバ	平 均 値 (度)	-5	-3	-2	-2	-4	-3	-2	-2
	標 準 偏 差 (度)	14	15	15	16	17	18	19	19

(注) * は描画円内の繊維の全長について測定した

(B) 各工程繊維束の配向角の標準偏差

綿及びスフ紡績各工程の繊維束について、その表面及び断面の繊維の有効要素の配向角の標準偏差を計測した第6表の綿繊維束は第1報第1表の紡績条件で製造したもので、第7表のスフスライバはT社で製造されたものである。各試料について描画円12個、視野内の描画繊維数25、全標本数300とした。

第2, 3図は綿繊維束の表面及び断面の繊維の配向角

(第 6 表)

試 料	表 面		断 面	
	平均値 (度)	標準偏差 (度)	平均値 (度)	標準偏差 (度)
原 綿	1	47.5	0	30.5
荒 打 ラ ッ プ	-3	46.5	2	26
仕 上 ラ ッ プ	3	43.5	2	25
カードスライバ	0	31	0	23
第1練条スライバ	0	24	-1	17
第2練条スライバ	0	20	0	15
第3練条スライバ	0	17	1	13
ス ラ ッ ピ ン グ	-13	14	0	11.5
ロ ー ビ ン グ	-13	11.5	1	10

(第 7 表)

原料	試 料	表 面		断 面	
		平均値 (度)	標準偏 差(度)	平均値 (度)	標準偏 差(度)
(1.5den, 1¼in)	荒 打 ラ ッ プ	0	46.5	-1	17.6
	仕 上 ラ ッ プ	-2	42.3	-1	14.2
	カードスライバ	2	32	1	13
	第1練条スライバ	0	22.4	1	10.7
	第2練条スライバ	1	19.8	-1	10.5
	第3練条スライバ	3	12.4	0	8.1
(3den, 2¼in)	荒 打 ラ ッ プ	2	44.2	3	23.1
	仕 上 ラ ッ プ	2	42.3	2	14.7
	カードスライバ	1	30.9	2	15.1
	第1練条スライバ	-1	23.7	2	11.2
	第2練条スライバ	0	20.7	1	10.8
	第3練条スライバ	1	15.2	-1	10

(第 2 図)

第2～5図において SL は仕上ラップ, CS はカードスライバ, 1, 3 DS は第1, 3練条スライバ, R はロービングである

(第 3 図)

の相対度数分布を示したもので、工程を経るにしたがって有効要素は繊維束の長さ方向（粗糸の表面繊維は撚り角の方向）に密集することが認められる。

第6, 7表のように配向角の標準偏差も工程を経るにしたがって漸次減少し、繊維配列が良好となる。殊にカード及び練条機1回通しの効果が顕著であって、工程を経るにしたがって効果は漸減し、スラッピング、ロービングでは飽和値に近づくことが認められる。

各試料の配向角の平均値はほとんど0であるが、粗糸はいずれも 13° で、これは撚りによる影響である。

ラップの表面及び断面の標準偏差の差は大であるが、工程を経るにしたがって漸減し、粗糸ではことにきん少になる。

ラップの差の大きいのは開打綿による効果及びカレンダローラによる圧縮のためであり、その後の工程で標準偏差の差が漸減するのはドラフトにより繊維の巻縮が伸ばされ、有効要素の配向角が漸次小さくなることに起因するものと考えられる。

(写真 1) 仕上げラップ

(写真 4) 第5練条スライバ

(写真 2) カードスライバ

(写真 5) 仕上げラップ

(写真 3) 第3練条スライバ

(写真 6) カードスライバ

(写真 7) 第2練条スライバ

写真1~4はO社で製造された米綿(有効纖維長 $1\frac{1}{16}$ in)纖維束, 写真5~7はT社で製造された巻縮スフ(3 den, $2\frac{1}{4}$ in)纖維束の表面纖維の顕微鏡写真にして, 写真の実直径は2 mmである.

(C) 各工程纖維束の配向角の分布の型

第4, 5図は綿纖維束の表面及び断面の配向角の累積相対度数を正規確紙にプロットしたもので, ラップ, カードスライバ及びロービングの分布はほとんど直線となるから, これらの纖維束の配向角の分布は正規分布にしたがい, 練条スライバの分布はS字型となるから, 配向角は正規分布よりもスライバの長さ方向の近くに密集していることが認められる.

次にこれらの度数分布は正規分布における平均値, 標準偏差の2個の母集団常数を含んでいると想定し, 正規分布に適合しているや否やを χ^2 検定により判定する. 第8, 9表は度数分布の階級が k のとき自由度は $k-3$ とし, 有意水準0.01の場合について計算したものである.

纖維束の表面纖維の分布は原料によって異なるが, 大体ラップ, カードスライバなど工程の最初のものは正規型, ドラフト工程を経た練条スライバは不正規型であるが, 更にドラフト工程を経るにしたがって正規型に近

(第 8 表)

試料	表 面				断 面			
	自 由 度	χ^2	χ_0^2	判 定	自 由 度	χ^2	χ_0^2	判 定
原綿	15	25.4	30.58	正 規	9	21.3	21.67	正 規
荒打ラッブ		26.2				19.1		
仕上ラッブ	9	16	21.67	正 規	7	47.2	18.48	不正規
カードスライバ		21.1				7.9		
第1練条スライバ	5	26.7	15.09	不正規	3	41.3	11.34	不正規
第2練条スライバ		66				20.4		
第3練条スライバ	4	42	13.28	不正規		17.2		
スラッビング		22.9				21.4		
ロービング	2	8.4	9.21	正 規		1.2		正 規

(第 9 表)

原料	試料	表 面				断 面			
		自 由 度	χ^2	χ_0^2	判 定	自 由 度	χ^2	χ_0^2	判 定
(1.5 den, 1 3/4 in) 普通スフ	荒 打 ラ ッ プ	15	44.7	30.58	不正規	5	20.1	15.09	不正規
	仕 上 ラ ッ プ	9	17.8	21.67	正 規	3	40.0	11.34	
	カ ー ド ス ラ イ バ		5			28.9	15.09		
	第1練条スライバ	5	41.6	15.09	不正規	3	12.7	11.34	正 規
	第2練条スライバ		43.1				11.3		
	第3練条スライバ	3	28.5	11.34	1.8				
(3 den, 2 1/4 in) 巻縮スフ	荒 打 ラ ッ プ	9	30.7	21.67	不正規	3	14.7	11.34	不正規
	仕 上 ラ ッ プ		17.2		26.6				
	カ ー ド ス ラ イ バ	7	14.2	18.48	正 規	5	16.6	15.09	
	第1練条スライバ		10.3		12.0	3	9.0	11.34	正 規 不正規
	第2練条スライバ	5	29.1	15.09	不正規		19.5		
	第3練条スライバ		15.7

(第 4 図)

(第 5 図)

似する傾向が認められる。

断面繊維の分布はほとんど不正規型にして、開打綿作用及びカレンダーローラによる圧縮などの効果が他の原因に対して顕著であるためと考えられる。

(D) とがり度

配向角 α を確率変数と見なし、 μ_r を変数 α の平均値 $\bar{\alpha}$ の回りにおける第 r 次のモーメントとすれば、繊維束の配向角の度数分布のとがり度 β_2 は次式であらわされる⁴⁾。

$$\beta_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} = \frac{1}{N} \sum f_i \left\{ \frac{\alpha_i - \bar{\alpha}}{\sigma} \right\}^4$$

ただし f_i は配向角 α_i の頻度数、 σ は標準偏差、 N は全標本数、 $\mu_r = \frac{1}{N} \sum f_i (\alpha_i - \bar{\alpha})^r$ である。

第10表は綿紡績各工程の繊維束（第1報第1表参照）について、とがり度 β_2 を計算したもので、繊維束の表面減速は第3練条スライバまで、断面繊維は第2練条スライバまで、工程を経るにしたがってとがり度は増加するが、以後の工程では漸次減少することが認められる。

(第 10 表)

試料	とがり度	
	表面	断面
原綿	1.92	3.13
荒打ラップ	2.19	3.76
仕上ラップ	2.41	4.84
カードスライバ	3.36	3.38
第1練条スライバ	6.84	8.92
第2練条スライバ	5.62	9.05
第3練条スライバ	6.39	5.63
スラッピング	5.92	5.21
ロービング	2.77	4.12

ラップ及びカードスライバの表面繊維の有効要素の標準偏差は大きく、その分布は正規型であるが、カードのカレンダーラフト及び練条機のドラフトにより繊維配列は漸次良好となり、有効要素はドラフト方向に漸次密集した分布となるため、分布は不正規型となり、とがり度は漸次大となるが、その後の工程では繊維配列が著しく良好であるため、ドラフトによる有効要素の配向効果は漸次減少し、測定誤差、繊維の変形の回復など、微小原因の差が小となるため、分布は漸次正規型に近似し、とがり度も漸次減少するものと考えられる。

4. Orchard 及び石川氏の実験結果との比較

Orchard はカードウェブ表面に平行光線をあてると入射面（入射光線とウェブ表面の法線方向に平行な面）に垂直な繊維のみが繊維軸に垂直方向に光を反射または屈折させる。この光を増巾光電池の後ろにある集光レンズにより一点に集中させると、理論的には光電池出力は入射面に垂直な繊維の長さ按比例すると述べ、普通スフの

カード ウェブについて入射面を回転させて、第6図のような繊維の方向分布を計測している。

このグラフから各方向の光電池出力の累積相対度数を計算し、正規確率紙にプロットすれば、第7図のようにほとんど直線となり、繊維の方向分布は正規型と見なされる。

石川氏は光沢計の入射光線の方に対する梳毛トップの方向を種々変えて、第8図のように各方向の光沢度を測定している。梳毛トップはほとんど長さ方向に繊維が配列し、光沢度の入射光線の方と一致するため、その方向で光沢度は最大、直角方向で最小となると述べている。このグラフから各方向の光沢度の累積相対度数を計算し、正規確率紙にプロットすれば、第7図のようにほとんど直線となり、分布は正規型と見なされる。

これらの分布は筆者の測定した普通スフ及びメリノトップの有効要素の配向角の分布に比べて、いずれも繊維の散布度は多少大であるが、分布の型はいずれも正規型で一致している。(スフ及び羊毛繊維の有効要素の長さはほぼ 1.5 mm 及び 4 mm とした)

(第6図) Aは未伸長スフ カード ウェブ, Bは伸長スフ カード ウェブ, Cは試料なし

(第7図)

(第8図) スライバの長さ方向は 0° (180°) である

このように散布度が相違する原因として(1)描画円内の繊維は曲っているが、直線と見なしたこと、(2)繊維及び繊維束表面の形状は複雑であって、投射光の反射及び屈折が理想的に行われないことなどが考えられる。

5. 結 言

(1) 繊維束の最上層繊維の配向角の標準偏差は下層のものより大であるが、縦断面の横方向の位置による標準偏差の差はほとんど認められない。有効要素は長いほど、顕微鏡の倍率は小さいほど標準偏差は小さい。

(2) 紡績工程を経るにしたがって、配向角の標準偏差は小となり、その減少率は漸次小となる。

(3) 繊維束の表面及び断面繊維の標準偏差の差は工程を経るにしたがって漸次減少する。

(4) 紡績工程初期の繊維束の配向角の分布は正規型であるが、工程を経るにしたがって不正規型となり、粗糸ではまた正規型に近似する。

(5) 配向角の分布のとりが度工程を経るにしたがって増加し、練条機2, 3回通して最大となり、その後漸次減少する。

(6) Orchard 及び石川氏の光学的測定法によるスフカードウェブ及び羊毛トップの繊維の散布度は筆者の測定した有効要素の散布度より多少大であるが、いずれの分布も正規型となった。

本報は昭和28年11月本学会研究発表会で発表したものである。

参考文献

- 1) W. E. Morton, R. J. Summers: J. Text. Inst., (1949-40) ibid., (1950-41)
- 2) 石川: 繊維誌, (昭27-6)
- 3) G. A. J. Orchard: J. Text. Inst., (1953-8~9)
- 4) 佐藤: 数理統計学概説, P. 16