よりむらに関する研究*

(第1報) リング精紡機におけるよりの生成

(昭和36年5月30日受理)

会 員 藤 野 清・久**
 " 宇 野 稔
 " 塩 見 昭
 " 柳 川 良 樹

——→ 摘 要 ←——

目 的

リング精紡機における加ねん状態を理論的に考察し、糸のよりによらず諸因子の影響を検討する。

成 果

(1) リング精紡機のフロント ローラと、加ねん点間にある繊維に作用する力の釣合より加ねん現象を解析し、つぎの関係式を得た。

$$\text{紡出張力} \quad F = \int_{-b}^{+b} \frac{|x-a|l}{\sqrt{l^2 + (x-a)^2}} k_t N f(x) (1-p) dx$$

$$\text{よりモーメント} \quad M_t = d_0 \int_{-b}^{+b} \frac{N f(x) (1-p) k_t}{4} \cdot \frac{(x-a)^2}{\sqrt{l^2 + (x-a)^2}} dx + \frac{\alpha k_e}{4}$$

ただし、 $f(x)$ はニップ点に沿う座標 x に関する繊維の分布、 a, l はおのおの加ねん点の x, y 座標、 N は全繊維数、 d_0 は仮想軸径、 α は比例定数、 k_t, k_e は各繊維の引張りおよび圧縮に対するばね定数。

(2) 得られた理論式により、従来よりに関し経験的に知られている事実がよく説明でき、またよりむらに影響する諸因子を明らかにすることができる。

1. 緒 言

紡績糸の均質化のため、最近ドラフトに関する研究が多くおこなわれ、またドラフトの自動制御によってむらの減少が計られている。しかし、紡績において、繊維束の質量むらを皆無にすることは極めて困難である上、繊維束はドラフト後に加ねんされ、巻取られるから、糸品質におよぼす加ねん工程の影響も決して軽視さるべきではない。

従来加ねん工程に関する研究としては、バルーン張力や巻取張力の研究が極めて多いが、加ねん工程と糸品質との関係について述べたものは、ほとんど見ることができない。一方、糸のよりに関する文献も数多くをあげることができるが、これらはいずれもフィラメント糸あるいはむらのない均質な模型にもとづいて解析されたもので、加ねん工程の影響に触れていないのが普通である。むらのある繊維束とよりとの関係については、糸重量とより数との関係を定量的に求めた Barella¹⁾ や Monfort²⁾ あるいは、Maillard³⁾ 等の研究があり、また定

性的な解析には森⁴⁾、石倉⁵⁾や Hannah⁶⁾等の研究がある。しかし、これらも加ねん工程の影響を述べていないことでは、他のよりに関する研究と同じである。

筆者等は、精紡機のフロント ローラから送り出された繊維束が、加ねんされる状態を理論的に考察し、繊維束と加ねん工程との関係を明らかにすると共に、紡績糸によりむらの生じる原因について考察をこころみた。

2. リング精紡機でよりがかかる現象

一般に繊維束が加ねんされる形式には、古く Balls⁷⁾によって示されたように2種ある。第1は引揃えた針金の円筒状集束を、その軸のまわりによる型式で、集束中心の針金は常にまっすぐである。第2の型式は、針金を平らに平行に並べたものを仮想軸のまわりに巻きつけた型式で、各針金のより角度はいずれも同じと見なされる。Balls は前者のより模型を中実より (Solid twist)、後者を平より (Flat twist) またはリボンより (Ribbon twist) と呼び、糸がこれらのいずれの型式でよられる

* Twist Irregularity. Part 1 : Twisting on a Ring Spinning Frame.

** K. Fujino, Member. 京都大学, M. Uno, A. Shiomi, Y. Yanagawa, Member. 京都工芸繊維大学

かは、リボンの幅、張力によって定まり、平よりは張力の小なるとき、中実よりは張力のときに生じると述べている。

リング精紡機上でドラフトされた繊維束が、フロントローラ ニップより送り出される場合、繊維束はフロントトップローラとボトムローラ間の圧力で扁平化され、リボン状をなしていると考えられる。このような繊維束は、加ねん直前において横幅方向に圧縮され、繊維密度の高い、幅の狭いリボン状に集束されてから、加ねんにとまって仮想軸のまわりに巻きつくと考えることができる。実際には加ねん後の横圧力によって、繊維束は糸中心に向かって圧縮され、糸は中実よりのように充実したものになるから、一般の糸において、このような中空軸をみとめることはできない。しかし、精紡糸を少し解ねんし、その横断面を観察すれば、第1図(a)の綿糸 10 s、

(a) 綿糸 10 s

(b) 綿糸 16 s

(第1図) 解ねんした糸の断面

(b)の 16 s のように、糸中央付近に中空洞がみとめられ、繊維束はそのまわりにまきついていることがわかる。したがって、リング精紡機による加ねんは、中実よりでなくリボンよりであると考えられるので、以下これにもとづいて加ねんとこれに影響する諸因子を理論的に考察する。

3. よりの生成点

はじめにリボン状をなして送り出された繊維束がよられ、よりが生成する点の位置を考えて見る。

フロントローラから送り出されたリボン状の繊維束において、繊維はすべて同一の断面形状、断面積および同一性質を有するものとする。また加ねんされた糸の太さは、フロントローラニップにおける繊維束の幅や、ニップと加ねん点間の距離に比して十分小さいと考えれ

(第2図) ニップ点から加ねん点までの繊維束の状態

ば、繊維束は第2図の P で示した一点に集束され、この点で加ねんされると考えることができる。

座標の原点をニップ点での繊維束の幅 $2b$ の中央 O にとり、ニップ点に沿って x 軸をとる。またよりの生成点(加ねん点) P の座標を (a, l) 、繊維端がこの加ねん三角形の領域に存在する確率を p とし、さらに

$$f(x): \text{ニップ点における繊維の分布} \left(\int_{-b}^{+b} f(x) dx = 1 \right)$$

N : ニップ点にある全繊維本数

l : x 軸より加ねん点までの距離

k_t : 各繊維の引張りに対するばね定数

とすれば、原点 O より x だけへだたった B において、一端をフロントローラにニップされ、他端を加ねん点でつかまれている繊維 BP に働く引張力は、この繊維の伸びに比例し、その繊維数は $Nf(x)(1-p)dx$ となる。いま近似的に繊維の伸びは、軸線 AP からの x 座標に比例すると考えれば、 x 点にある全繊維に働く引張力は

$$k_t |x-a| N f(x) (1-p) dx$$

で与えられる。

よって、 x 方向の成分 X は

$$X = k_t |x-a| N f(x) (1-p) dx \cdot \sin \theta \quad \dots\dots\dots (1)$$

したがって、ローラにニップされる全繊維によって P

点に作用する x 軸方向の力 H は

$$H = \int_{-b}^{+b} k_t |x-a| N f(x) (1-p) dx \cdot \sin\theta \dots\dots (2)$$

同じく軸線方向の力 V は

$$V = \int_{-b}^{+b} k_t |x-a| N f(x) (1-p) dx \cdot \cos\theta \dots\dots (3)$$

$$\text{ここで } \sin\theta = \frac{x-a}{\sqrt{l^2 + (x-a)^2}}$$

$$\cos\theta = \frac{l}{\sqrt{l^2 + (x-a)^2}}$$

P は釣合状態にあるから

$$H = \int_{-b}^{+b} \frac{|x-a|(x-a)}{\sqrt{l^2 + (x-a)^2}} k_t N f(x) (1-p) dx = 0 \dots\dots (4)$$

$$V = \int_{-b}^{+b} \frac{|x-a|l}{\sqrt{l^2 + (x-a)^2}} k_t N f(x) (1-p) dx = \text{紡出張力 } F \dots\dots (5)$$

(4), (5)式を解けば、加ねん点 P の位置および各繊維に作用する力を求めることができる。

もし $f(x)$ が対称分布であれば、(4)より $a=0$ となり、加ねん点 P は分布の対称中心に一致する。 $f(x)$ が非対称分布であれば、その分だけ加ねん点はずれるが、

(第3図) ニップ点における繊維分布をモデル化した場合

いま簡単のため $f(x)$ が第3図に示すように、一様分布 f_1 (分布領域 $-b \sim +b$) と付加一様分布 f_2 (分布領域 $b-mb \sim b$) よりなる場合について考える。

図において、座標原点を (a, O) に移し、 $x-a=z$ とおけば、(4)式は

$$\int_{-b-a}^{b-a} \frac{|z|z}{\sqrt{l^2 + z^2}} k_t N f(1-p) dz$$

$$= \int_{-b-a}^{b-a} \frac{|z|z}{\sqrt{l^2 + z^2}} k_t N (f_1 + f_2) (1-p) dz = 0 \dots\dots (6)$$

f_1 については被積分関数は奇関数であるから、 $(-b+a)$ より 0 までの積分は 0 より $(b-a)$ までの積分と打ち消し合う。よって(6)式は簡単となり

$$\int_{-b-a}^{b-a} \frac{z^2}{\sqrt{l^2 + z^2}} k_t N f_1 (1-p) dz + \int_{b-a-mb}^{b-a} \frac{z^2}{\sqrt{l^2 + z^2}} k_t N f_2 (1-p) dz = 0 \dots\dots (7)$$

いま $f_1=f_2$ とし、 $a=nb$, $l=qb$ とおけば(7)式より

$$(1-n)\sqrt{(1-n)^2 + q^2} - \frac{1+n}{2}\sqrt{(1+n)^2 + q^2} - \frac{1-n-m}{2}\sqrt{(1-n-m)^2 + q^2} + \frac{q^2}{2} \log \frac{\sqrt{(1-n)^2 + q^2} - (1-n)}{\sqrt{(1+n)^2 + q^2} - (1+n)} \cdot \frac{\sqrt{(1-n-m)^2 + q^2} + (1-n-m)}{\sqrt{(1-n)^2 + q^2} + (1-n)} = 0 \dots\dots (8)$$

(8)式において、 q の種々の値に対応する n の値は第4図の通りである。すなわち、付加分布のひろがりを表

(第4図) 繊維分布による加ねん点の変化

わす m の値が変化しても釣合点 P の位置は b に関してそれほど大きく変化しない。また $m=0$, すなわち対称分布の場合、 P は対称中心に一致することが、この結果からも明らかである。また、第4図において、 q の値が変化しても P の位置はあまり大きく変化しない。

いまニップ点において、最も外側にある繊維と軸線 AP (第2図) とのなす角が糸表面でのより角度を表わすと考えれば、より角は $\tan^{-1}(b+a)/l = \tan^{-1}b(1+n)/l$

となる。上述のように、 m, q の変化に対して n の値が小さいから、より角度は近似的に $\tan^{-1}b/l$ で表わすことができる。したがって、以下の考察には b および l の変化によってより角度変化を表わし、よりの評価をおこなうこととした。

4. よりモーメント

よりモーメントを求める場合、前述の仮定のほかに、さらに次の仮定が成立つと考える。

(1) 糸直径 d は、繊維数に比例する仮想軸径 d_0 と、各繊維に作用する引張力のうち、軸線に垂直な成分が横方向のばね定数 k_c に働いて定まる部分よりなる。

(2) 糸のよりモーメントは各繊維の引張力の合計が糸半径の $2/3$ のところに作用して生じる。

以上の仮定より、まず糸直径を求める。第2図において、繊維 BP に作用する引張力の x 軸方向の成分は(1)式で与えられるが、圧縮力としては常に軸線に垂直方向に働くから、正弦の符号は正のみを考えればよい。したがって

$$d = d_0 + \left(\alpha k_c / \int_{-b}^{+b} \frac{(x-a)^2}{\sqrt{l^2 + (x-a)^2}} \cdot k_t N f(x) (1-p) dx \right) \dots \dots (9)$$

ここで、 α = 比例定数

よってよりモーメント M_t は次式で与えられる。

$$M_t = \frac{d}{4} \int_{-b}^{+b} \frac{(x-a)^2}{\sqrt{l^2 + (x-a)^2}} k_t N f(x) (1-p) dx \dots \dots \dots (10)$$

(9)式を(10)式に代入すれば

$$M_t = \left\{ d_0 \int_{-b}^{+b} \frac{N f(x) (1-p) k_t}{4} \cdot \frac{(x-a)^2}{\sqrt{l^2 + (x-a)^2}} dx \right\} + \frac{\alpha k_c}{4} \dots \dots \dots (11)$$

5. 紡出張力およびよりモーメントの影響

紡出張力やよりモーメントと加ねんとの関係は(5)および(11)式を解けば求まるが、一例として $f(x)$ が一様分布 f_0 である場合について求めるとつぎのとおりである。

5.1 紡出張力の影響

対称分布のとき $a=0$ であるから、(5)式より

$$2 \int_0^b \frac{x l}{\sqrt{l^2 + x^2}} k_t N f_0 (1-p) dx = F$$

よって

$$F = 2 \phi k_t N f_0 (1-p) \dots \dots \dots (12)$$

$$\text{ただし } \phi = l(\sqrt{l^2 + b^2} - l)$$

上式から求めた ϕ と b および l の関係を第5図に示す。これからつぎのような結果が得られる。

(第5図) 紡出張力に関する ϕ, b, l の関係

(1) N (繊維数) が一定で F (紡出張力) が増加すれば ϕ が増加する。このとき b が一定か、または減少すれば、 l (ニップ点と加ねん点間の距離) は増加しより角は小となる。 b (ニップにおける繊維束幅) が適当に増えれば、 l の増加と釣合ってより角は一定となる。したがって、 F の変化に応じて b を制御すれば均一なよりが与えられる。

(2) F, N, p が一定なら ϕ も一定。このとき b が増加すれば l が減少し、より角は大となる。

(3) F が一定で N が増加すれば ϕ は減少する。このとき b が一定か増加すれば、 l は減少する。しかし、よりモーメントに関して後に説明する第6図において、 b が増加して l が減ると ϕ は増し、必要モーメントは増加するので、実際にはこのようなより角まではよられない。一般にリング精紡ではよりモーメントはほぼ一定であるから、 F 一定のほかに M_t 一定の条件を設ければ、 N が増えると一般に b は増加し、このため繊維束はよられない状態のまま加ねん可能の l に達してより角の小さい糸となる。もし N が増しても b を減らすような制御をおこなえばよりを均一に保つことができる。

(4) F, N が一定で、繊維端含有の確率 p が増加すれば、 ϕ は増加し、より角は小となる。

5.2 よりモーメントの影響

一様分布の場合、前述のように $a=0$ であるから、糸直径 d は(9)式より

$$d = d_0 + \frac{\alpha k_c}{k_t N f_0 (1-p) \Phi} \quad \dots\dots\dots (13)$$

また(11)式より よりモーメント M_t は

$$M_t = \frac{N f_0 (1-p) k_t d_0}{4} \Phi + \frac{\alpha k_c}{4} \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\text{ただし, } \Phi = l^2 \left\{ \left(\frac{b}{l} \right) \sqrt{1 + \left(\frac{b}{l} \right)^2} - \log \left(\frac{b}{l} + \sqrt{1 + \left(\frac{b}{l} \right)^2} \right) \right\}$$

Φ と b および l の関係を第6図に示す。なお図中に

(第6図) よりモーメントに関する Φ , b , l の関係

より角をあらわす b/l 曲線を参考のために示した。これからつぎの結果が得られる。

(1) N が一定でよりモーメントが増加すれば、 Φ が増加する。このとき b が一定かまたは減少すると、第6図より l が小になり、より角が大となる。 b がある程度増すと b/l が一定かまたは減少し、より角は小となる。したがって、 M_t の増加につれて b を増せば均一な糸が得られる。

(2) M_t が一定で N が増加すれば Φ は小となる。このとき b が増加すると b/l は減少し、より角は小となる。 b がある程度減少すれば b/l が一定か、または増加し、より角は大となる、よって N の増加に対して逆に b を適当に減少させれば均一な より が与えられる。たとえば、第6図の $b/l = 1$ なる曲線について、 Φ の値が N の増加にともなって Φ より減少したとき、図の斜線部まで b を減少させれば $b/l = 1$ なら均一なより、 $b/l > 1$ なら強ねんとなり、見掛け太さのむらを少なくした糸を作りうる。逆に N が減少するとき、 b を増加させれば

よりを調節することができる。

(3) M_t が一定の場合、 N が増えても(14)式より $N f_0 (1-p) d_0 \Phi$ は一定である。したがって(13)式の第2項は d_0 に比例し、 d_0 が N に比例して増加するため、第1項の d_0 と相まって糸直径 d は N に比例して増加する。

(4) 一般に N が増すと b は増加するから、 M_t が一定なら(2)によってより角が小となり、(3)によって直径は大となって、太くて甘い糸となる。

(5) M_t , b , N が一定でも p が増加すれば Φ は増加し、 l が増加してより角は小となる。

(6) N , b が一定で M_t が増加すれば Φ は増加し(13)式から d が小となる。

(7) k_c が大になれば糸直径は増加する。これは繊維の配列度が悪いと直径が増加することを意味する。

一般に紡績糸によりのかかる現象は非常に複雑であるが、以上のように本理論は加ねんされる繊維束の性質や加ねん工程因子など、多くの因子の関係をよく説明するものである。

6. 糸のより数

前述のより角 Θ および糸直径 d より糸のより数を求めることができる。いま β をよりのピッチとすれば

$$\tan \Theta = \pi d / \beta$$

単位長さ当りのより数を T とすれば $T = 1/\beta$ であるから

$$T = \tan \Theta / \pi d$$

前述の $\tan \Theta = b + a/l$ および(9)式の d を代入すれば

$$T = \left(\frac{b+a}{l} \right) / \left\{ d_0 + \frac{\alpha k_c}{k_t N \int_{-b\sqrt{l^2+(x-a)^2}}^{+b} f(x) (1-p) dx} \right\} \quad \dots\dots\dots (15)$$

(15)式に(10)式を代入すれば

$$T = \left(\frac{b+a}{l} \right) / \left(d_0 + \frac{\alpha k_c d}{4 M_t} \right) \quad \dots\dots\dots (16)$$

したがって、 M_t が増加すればより数 T が増加することがわかる。

7. 吟 味

従来加ねんにもっとも影響すると考えられた因子は糸の質量であって、たとえば Monfort²⁾ はそ毛糸の重量とより数の間に $-0.47 \sim -0.87$ なる相関係数を得ている。またこれに類似する研究としては Maillard³⁾, Ba-

rella^b のものがあり、前者はそ毛糸のより数と断面積の間に -0.8 の相関係数を、後者はそ毛糸の 1.5cm 間の平均直径とより数との間に -0.708 の相関係数を得ている。これらはいずれもよりが糸の細い個所に集まる傾向を定性的に求めたものであるが、筆者等の研究によればなせ糸質量とよりの間に 1 に近い相関係数が得られないかを理論的に説明することができる。

また、その他の因子、たとえば紡出張力およびよりモーメントのよりに及ぼす影響については、従来経験的に知られているのみであるが、(4), (5)式および(11)式を用いれば理論的に関係づけることができる。

しかし、本報ではニップ点から加ねん点までの間の繊維に働く力の釣合より加ねん現象を考察したのみで、バルーン領域をへて実際ポビンに巻かれるときのよりについては考察していない。実際には加ねんは他の因子、たとえばトラベラやポビン巻取径の影響をうけるから、これら他因子の影響については次報以下に考慮することとする。

8. 結 論

本報ではリング精紡機における加ねんをリボンよりと考へ、フロントローラから加ねん点までの各繊維に働く力の釣合から加ねん現象を考察し、つぎの理論式をみちびいた。

加ねん点の釣合位置に関し

$$H = \int_{-b}^{+b} \frac{|x-a|}{\sqrt{l^2+(x-a)^2}} k_t N f(x) (1-p) dx = 0$$

紡出張力 F との釣合に関して

$$F = \int_{-b}^{+b} \frac{|x-a| l}{\sqrt{l^2+(x-a)^2}} k_t N f(x) (1-p) dx$$

糸の直径は

$$d = d_0 + \left(\alpha k_c / \int_{-b}^{+b} \frac{(x-a)^2}{\sqrt{l^2+(x-a)^2}} \cdot k_t N f(x) (1-p) dx \right)$$

よりモーメントは

$$M_t = \left\{ d_0 \int_{-b}^{+b} \frac{N f(x) (1-p) k_t}{4} \cdot \right.$$

$$\left. \frac{(x-a)^2}{\sqrt{l^2+(x-a)^2}} dx \right\} + \frac{\alpha k_c}{4}$$

単位長当りのより数は

$$T = \left(\frac{b+a}{l} \right) / \left(d_0 + \frac{\alpha k_c d}{4 M_t} \right)$$

これからみちびかれる主な結果はつぎの通りである。

(1) 加ねんには単に繊維本数のみでなく、極めて多くの因子が影響する。

(2) 繊維本数以外に加ねん前の主な因子は、ニップ点における繊維の分布状態、平行度、繊維集合体の引張弾性、圧縮弾性などである。

(3) 特にニップ点における繊維束のひろがり幅は直接より角に影響するので、繊維数の増減に応じてニップ幅の制御を行なえば、さらに均一な糸が得られるであろう。

(4) 加ねん後の因子としては、紡出張力、巻取モーメント、糸とトラベラとの摩擦、巻取張力などがあるが、これらの影響については後報で論じる。

参 考 文 献

- 1) A. Barella; "Etudes sur la Torsion des Fils", Belgische Wetenschappelijke Textielannalen, p. 58 (1955-12)
- 2) Monfort, I.W.T.O.; Tech-Comm., Barcelone (1951)
- 3) Maillard, Roehrich, Amouroux, I.W.T.O.; Tech. Comm., (1952)
- 4) 森平三郎; "番手斑ある糸における撚の分布", 繊維工業学会誌, 4, p.1 (昭13-7) および 4, p.4 (昭13-8)
- 5) 石倉新十郎; "紡績単糸の撚に関する理論的解説" (第1, 2報), 繊維工業学会誌, 4, p.20 (昭13-10)
- 6) M. Hannah; "The Theory of High Draft", J. Text. Inst., 41, T57 (1950)
- 7) W. L. Balls; "Studies of Quality in Cotton", (1928) London, Mcmillan & Co., Ltd