よこ編における編成張力の一考察

工業技術院繊維工業試験所

相 坂

登 (会員)

川 上 達 也

新 藤

忠 (会員)

Knitting Tension during Weft-Knitting

Noboru Aisaka, Tatsuya Kawakami and Tadashi Shindo

Textile Research Institute of Japanese Government, Yokohama, Kanagawa-ken

Abstract

Knitting tension is an important quantity having a bearing on the loop length of the knit fabric and, therefore, on its quality and properties. A precise understanding of knitting tension is needed to fix the yarn strength and choose the method of pre-processing the yarn to be used.

Treating the yarn as a plasto-elastic material, this article discusses the generative mechanism of knitting tension and the effect of robbing back on the mechanism.

It is reasonable to think of knitting tension as frictional tension produced by scraping and bending yarn with the knitting elements.

When there is the additional tension of bending, knitting tension is affected by the diameter of yarn and the dimension of the knitting elements.

The larger the elastical and frictional coefficients of the yarn used, the larger the decrease in the knitting tension produced by robbing back.

The relation between knitting tension and the work done by robbing back has nothing to do with the knitting condition. The curve of that relation is conditioned by the yarn properties used.

(Received November 16, 1968)

摘 要

目 的 よこ編編成において、糸を弾塑性材料として扱い、編成張力の発生機構と、これに対する robbing back 現象の影響について考察する。

成 果 編成張力は、編成要素による糸へのしごき作用によって付加された摩擦力であると考えるのが妥当である。曲げによる付加張力を考えると、糸の太さ、編成要素の大きさが影響する。

RB現象による編成張力の低下は、弾性係数、摩擦係数の大きい糸ほど大きい。

編成張力—引き戻し仕事量曲線は、編成条件に関係なく、糸の物性に関連した曲線を描く。

(昭和 43 年 11 月 16 日受理)

1. 緒 言

編成張力は、編地を構成するループ長に、ひいては編地の品質、物性に影響を及ぼす重要な因子である。同時にまた、使用する原糸の強伸度とか、その摩擦特性に関連した糸処理をどのようにするのかを決める上にも、その適確な理解が強く要求されている。

最近、動的状態での編成張力を測定した報告^{1~3)}がなされ、編成動作を解析するにあたって、給糸張力とループ長とから推論していた時点から一步前進したといえるが、編成張力の発生⁴⁾についての考察はまだ不十分のようである。Garbaruk⁴⁾は、針の編成動作による糸の引き込み力について解析したが、この場合、対象とする糸の質量が非常に小さいため、糸の引き込み力だけでは編成張力を

十分に説明することはできない。多くの実験的研究⁵⁾において、糸の摩擦特性がループ長や編成中の糸切れなどに影響することが明らかにされていることから、編成張力を考察する上で、摩擦による付加張力を無視することはできない。むしろ、編成動作は編成要素（針やシンカーなど）によって糸をしごきながら引き込む動作であるから、摩擦力が付加されることによって編成張力が増加すると考えるべきであろう。

摩擦力は糸と編成要素との接触によって発生する力であるが、糸の性質（摩擦係数）はもとより、接触面の状態、入口側の張力などによっても相異なる。一般に、糸と円筒面との接触において、入口側張力 T_I と出口側張力 T_0 の間には接触角を θ としてつぎの関係が導びかれている。⁶⁾

$$(T_0/T_I)^{1-n} = 1 + (1-n) \cdot a \cdot (\rho/T_I)^{1-n} \cdot \theta \quad (n \neq 1) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 ρ は円筒面の半径、 a は $[F/L]^{n-1}$ の次元をもつ常数、 n は摩擦力 F と法圧力 R との間に成り立つ $F = \mu R^n$ の関係における摩擦指数であって、完全弾性体間では $n = 0.67$ 、完全塑性体間では $n = 1$ であると報告されている。⁶⁾

(1) 式において、 $n \rightarrow 1$ の場合には

$$T_0/T_I = \exp(a \cdot (\rho/T_I)^{1-n} \cdot \theta) \quad \dots\dots\dots (2)$$

となり、さらに $n = 1$ とおけば

$$T_0/T_I = \exp(\mu \theta) \quad \dots\dots\dots (3)$$

となって、Amonton の式となる。

各種の紡績糸やフィラメント糸を用いた実験結果⁷⁾によると、 n は $0.75 \sim 0.98$ の値をとるから、編成張力を考えるにあたっては (1) 式を用いねばならないが、糸に潤滑剤を添加した場合には $n \geq 0.89$ となり⁷⁾ (2) 式により考察を進めても十分である。さらに、マクロな扱いをする場合には (3) 式によって入・出口の張力関係を求めてもよいであろう。

編成張力は (2) 式あるいは (3) 式に基づいて摩擦により付加された力として求めることが可能であるが、編成過程においては、給糸側から糸を引き込むだけではなく、既成ループからの糸の引き戻し、いわゆる **robbing back** 現象（以下、RB 現象と記す）が起これ、このために編成張力が低下する。つまり、編成動作の進行にともなって、針が編成点を通過後では、それまでの針の運動方向が変わり、編成域出口に向かって張力は低下していく。このため、編成張力の最大値は、必ずしも接触角が最大となる編成点に針が来たときに生じるの

ではなく、給糸口側にずれた位置にあることが実験的にも確かめられている。³⁾

本報では、糸を弾塑性体として扱い、編成動作による引き込みと、RB 現象による影響とに関連して、編成張力を現象論的に考察する。

2. 編成過程と編成張力

2.1 編成過程

よこ編における編成動作は、針がステッチカムの作用を受けて下降（後退）運動を行ない、それにつれてフック中に供給された糸をオールドループの中に引き込んでニューループを形成する動作であり、糸の折り曲げと引き込みが同時に行なわれる。このため、糸は編成要素によるしごきを受けて摩擦力が付加され、針が編成点に近づくにつれて編成張力は大きくなる。また、編成点を通過後、針が上昇（前進）運動すれば、糸の伸長は回復し張力は低下する。

いま、編成域において、オールドループとニューループの接触、屈曲を無視し、各編成要素 N 、 S によって曲げられた糸の状態を図示すると第 1 図になる。糸と編成

N : 針 S : シンカー G : 給糸口
 Y : 糸 T : 張力 θ : 接触角

(第 1 図) 編成域における糸と編成要素との関係

要素との接触角を θ_i 、各区分における糸張力（編成張力）を T_i とすれば (2) 式あるいは (3) 式により、給糸張力 T_I 、糸と編成要素との摩擦係数 μ_i (ρ_i , T_i)、編成要素の曲率半径 ρ_i とからつぎの関係がなりたつ。

$$T_i = f_1(T_I, \mu_i, \rho_i, \theta_i) \quad \dots\dots\dots (4)$$

また、RB 現象を考慮すれば、編成域出口における糸張力 T_0 が関係するから

$$T_i = f_2(T_I, T_0, \mu_i, \rho_i, \theta_i) \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。

RB 現象による編成張力の変化については 3 章で考察することとし、ここでは、糸の引き込み時のしごきによる摩擦力の増加、つまり、給糸点から編成点までの間における編成張力を考える。また、各編成要素によって糸に付加される張力を (2) 式に基づいて考えると、各区

間における張力 T_i を個々に求めなければならず、計算が複雑になるから (3) 式つまり Amonton の式が成り立つ場合として考察する。

2.2 針位置と接触角

以上の仮定に立って考察するにあたって、第2図に示す編成域のモデルを考える。すなわち、糸断面は半径 d の円であり、曲げによっても形状に変化はないとする。また、針フック部およびシンカーの糸と接触する部分の断面も円形であり、それぞれの半径を r_2, r_1 とする。

(第2図) 編成域のモデル I

いま、1本の針 N で編成動作が行なわれるとすれば、編成張力 T_2 は (3) 式の関係から給糸張力 T_1 の関数として求められる。

$$T_2 = T_1 \exp(\mu(\theta_1 + \theta_2)) \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 θ_1, θ_2 は第1図に示した位置における糸と編成要素との接触角、 μ は摩擦係数で位置や張力に関係なく一定としたものである。接触角 θ は針の下降に伴って大きくなり、針の位置により定まるから、給糸張力 T_1 が一定であれば、編成張力 T_2 は針の位置の関数として求められる。

第2-1図において、シンカー S_1, S_2 の上面を結ぶ直線を y 軸にとり、その中点 O を通り y 軸に垂直な座標を x 軸として、下向きに正とする。針の中心 O' はつねに x 軸上にあるから、その座標値 x で針の位置を示すこと

にする。

針間隔を $2y$ とし、また、給糸口 G と針 N との距離 $\overline{GN}$ は y に比べて十分大きく、供給された糸が y 軸となす角 α は針の位置 x に関係なく一定であるとする。第2-1図から変数 x (針位置) と φ (角) の間につきの関係が成り立つ。

$$x = d + r_1 + y \tan \varphi - (2d + r_1 + r_2) \sec \varphi \quad \dots\dots\dots (7)$$

これを解いて φ を求めると

$$\varphi = \sin^{-1} g(x) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\left. \begin{aligned} g(x) &= (Ry + X\sqrt{y^2 + X^2 + R^2}) / (y^2 + X^2) \\ X &= x - d - r_1 \\ R &= 2d + r_1 + r_2 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (9)$$

となる。針が糸と接触し始める位置 x_c は第2-2図より、 $\varphi = -\alpha$ として求まるから、

$$x_c = d + r_1 - y \tan \alpha - (2d + r_1 + r_2) \sec \alpha \quad \dots\dots\dots (10)$$

また、さらに針が下降し、糸がシンカー S_1 と接触するときの針位置 x_t は、第2-3図より $\varphi = \alpha$ であるから、

$$x_t = d + r_1 + y \tan \alpha - (2d + r_1 + r_2) \sec \alpha \quad \dots\dots\dots (11)$$

したがって、 $x_c < x \leq x_t$ における針と糸との接触角 θ_2 は、第2-3図の関係から、

$$\theta_2 = \varphi + \alpha \quad \dots\dots\dots (12)$$

また、 $x_t < x \leq x_{\max}$ ($=h$: カムセット) においては、糸とシンカーおよび針との接触角 θ_1, θ_2 は第2-1図により、 $\theta_1 = \varphi - \alpha$ 、 $\theta_2 = 2\varphi$ で与えられ、給糸点からの全接触角 θ は

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 = 3\varphi - \alpha \quad \dots\dots\dots (13)$$

となる。(6), (8), (12), (13) 式から、針1本で編成動作が行なわれるときの編成張力の変化が求められる(第4図参照)。

つぎに、針 N_1 が編成点に達する前 ($x_1 < x_{\max}$) に、後続の針 N_2 が糸と接する場合を考える。いま、カム角度を γ とすれば、針 N_1, N_2 の位置 x_1, x_2 の間につきの関係が成り立つ。

$$x_1 = x_2 + 2y \tan \gamma \quad \dots\dots\dots (14)$$

したがって、 $x_1 = x_c + 2y \tan \gamma$ になったとき、針 N_2 が糸に接する。 $x_t + 2y \tan \gamma \geq x_{\max}$ であれば、 $x_c + 2y \tan \gamma < x_1 \leq x_{\max}$ において、糸とシンカー S_1 との接触角 θ_1 および給糸位置からの全接触角 θ は、第3-1図より

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \varphi_1 + \varphi_2 \\ &= \sin^{-1} g(x_1) + \sin^{-1} g(x_2) \quad \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta &= (\varphi_1 + \varphi_1) + (\varphi_1 + \varphi_2) + (\varphi_2 + \alpha) \\ &= 3\varphi_1 + 2\varphi_2 + \alpha \quad \dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

3-1 図

3-2 図

(第3図) 編成域のモデル II

また, $x_l + 2y \tan \gamma < x_{\max}$ であれば, $x_1 = x_l + 2y \tan \gamma$ において糸はシンカー S_0 と接触するから $x_l + 2y \tan \gamma < x_1 \leq x_{\max}$ において, 全接触角 θ は第3-2図より

$$\begin{aligned} \theta &= (\varphi_1 + \varphi_1) + (\varphi_1 + \varphi_2) + (\varphi_2 + \varphi_2) + (\varphi_2 - \alpha) \\ &= 3\varphi_1 + 4\varphi_2 - \alpha \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (17)$$

となる。

3本以上の針が重なって編成する場合についても同様にして針位置と接触角の関係が求められるが、いずれにしても計算はかなり面倒になる。したがって、簡便法と

(第4図) 針位置と編成張力の関係

して、糸および編成要素の太さ、厚さを無視すれば(8)式の角 φ は

$$\left. \begin{aligned} \varphi &\doteq \varphi' = \tan^{-1}(x/y) \\ g'(x) &= x/\sqrt{y^2 + x^2} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (18)$$

となり、計算が容易になる。第4図は、この近似計算により、摩擦係数をパラメーターとして針位置に対する編成張力の値を求め示したものである。

2.3 曲げによる付加張力を考慮する場合

(2), (3)式の誘導にあたって、糸の直径 $2d$ は円筒の半径 ρ に比べて微小であるとして、曲げによる付加張力は無視されている。しかし、編成要素の断面を円筒とみなしたとき、その半径 r は糸の太さ $2d$ を無視できるほどに大きくはない。したがって、編成張力を考える場合、糸を曲げるために要する力を考察しておく必要がある。

第5図において、糸を弾完全塑性体とみなし、その断面は円形で曲げによる変形はないものとする。いま、微

(第5図) 引き込みによる曲げ

小長さ dl の糸区間を円筒面に引き込んで角 $d\theta$ に曲げるときの曲げ仕事 $M \cdot d\theta$ が、付加張力 T_{Bin} によって $(r+d) \cdot d\theta$ だけ引き込まれる間になされたとするば、

$$T_{Bin} \cdot (r+d) \cdot d\theta = M \cdot d\theta \quad \dots\dots\dots (19)$$

ここで、 M は曲げモーメントである。半径 d の円形断面における全塑性曲げモーメントは、糸の降伏張力を T_e として、

$$M = \frac{4}{3\pi} \cdot d^2 \cdot T_e \quad \dots\dots\dots (20)$$

であるから(19), (20)両式から付加張力 T_{Bin} は、

$$T_{Bin} = \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{d}{r+d} \cdot T_e \quad \dots\dots\dots (21)$$

で与えられる。これが円筒面入口で付加されるから、出口においては(3)式により

$$T_{B out} = T_{B in} \cdot \exp(\mu \theta) \quad \dots\dots\dots (22)$$

となる。さらに、糸は円筒面出口において曲げ戻しをうけ、この曲げ戻しによる付加張力も近似的に $T_{B in}$ に等しいと考えられるから、結局、曲げによる付加張力 T_B は

$$\begin{aligned} T_B &= T_{B in} + T_{B cut} \\ &= T_{B in} (1 + \exp(\mu \theta)) \\ &= \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{d}{r+d} \cdot T_e (1 + \exp(\mu \theta)) \quad \dots (23) \end{aligned}$$

となる。(23) 式より、編成要素の形状が小さい(細ゲージ)場合、より太い糸の場合、および降伏張力の大きい糸の場合には、曲げによる付加張力は大きくなることがわかる。

しかしながら、糸断面は必ずしも円形でなく、仮にまっすぐな状態で断面円形とみなしても、曲げた状態では円形がくずれ、さらに(19)式での曲げ仕事は、糸の引き込みにのみついやされるのではなく、糸を構成する繊維間のずれとかねじりなどにもついやされる。また、糸によっては降伏張力すら明らかでない場合もあり(23)式から曲げによる付加張力を算出しても、実際とかなり離れた値が得られることになる。

2.2 および 2.3 の考察に基づき、編成張力は定性的に調べることはできるが、定量的に把握するためには実験により調べなければならない。

3. Robbing Back 現象による編成張力の変化

編成域中における針の運動はカムによって規制されるが、針がカムの踏をはずれたあとはカムからの拘束力がなくなり、針の重さと針みぞに対する摩擦力とその針が保持するループの張力とのつりあい関係によって運動軌跡をかき、新たな平衡状態に達してから走行位置へと移ってゆく。

第6図は、編成点 K.P. 以降の編成域における糸の屈曲

(第6図) 編成点以降の編成域における糸と編成要素の関係

状態を示した図である。針 N_1 が踏をはずれて Δh だけ移動したあとの糸張力 T_0 は、当然、針 N_1 が踏にかかっていたときの糸張力 T'_0 よりも低くなっている。また、針 N_1 が Δh だけ移動したために、糸とシンカー面との接触角 θ_1 も変化して小さくなる。この張力 T_0 、接触角 θ_1 の低下により、針 N_1 が保持しているループから編成点に向かって張力変化の伝播および糸の移動が起こり、編成張力が低下しループ長も短くなる。これがRB現象である。

このRB現象による張力低下と糸移動を第6図の状態で解析するのは困難であるから、つぎの仮定をおいて考える。

- イ) 糸、針およびシンカーの太さ、厚さは無視し、糸と編成要素との接触角は編成要素相互位置から幾何学的に求めた値とする。
- ロ) オールドループとニューループの接触は無視する。
- ハ) 糸は完全にたわみやすく、曲げ剛性が働かないものとする。
- ニ) 糸区間の張力は Amonton の式(3)に従い、糸と編成要素との摩擦係数は定値をとるものとする。

以上の仮定のもとに、第6図を第7図のように書きな

(第7図) 第6図のモデル

おす。両図における記号の対応は、 $S_1: S$, $N_1: N$, $N_2: K$, $T_0: T_i$, $T_1: T_k$, $\theta_1: \theta$, $\theta_2: \varphi$ である。さらに、第6図において、

$$T_3 = T_1 \exp(\mu (3\theta_2 + \theta_3))$$

であるから、 $\varphi = 4\theta_2 + \theta_3$ と考えれば、第7図の T_k は第6図の T_3 と対応づけて考えることができる。

いま、糸区間 SN , SK の張力 0 における長さを l_i , l_k , 張力 T_i , T_k における長さを L_i , L_k として、考察の範囲では糸張力は糸の伸びに比例すると考える。すると、糸の引張弾性係数を E とすればつぎの関係が成り立つ。

$$\left. \begin{aligned} T_i &= E \cdot (L_i - l_i) / l_i & (i) \\ T_k &= E \cdot (L_k - l_k) / l_k & (ii) \\ T_k &= T_i \cdot \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \} & (iii) \\ L_i &= \sqrt{x^2 + y^2} & (iv) \\ L_k &= \sqrt{h^2 + y^2} & (v) \\ x &= y \cdot \tan \theta & (vi) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (24)$$

ただし、 μ は糸と編成要素との摩擦係数、 y は針とシンカーの中心間距離（針間隔の $1/2$ ）、 h はカムセット、 x は針 N が踏をはずれたあとのシンカー面からの距離で $h \geq x \geq x_{\min}$ ($x_{\min}$ はカム形状によって定まる) の範囲にある。

針 N が N' に移って、 x が Δx だけ変化したために、接触角 θ 、張力 T_i , T_k 、糸長 L_i , l_i , l_k が変化したとする。ここで l_i と l_k の変化は、張力変化によって生じた正味糸長の移動つまり RB 現象による引き戻し糸長を意味し、 l_i と l_k の間で等量の糸長 Δl が授受される。なお、 x が変化しても、 S と K の位置は変化しないから、 φ および L_k は一定である。

上にあげたそれぞれの変化量が微小であるとすれば、(24) 式より

$$\left. \begin{aligned} \Delta T_i &= E \cdot (1/l_i \cdot \Delta L_i - L_i/l_i^2 \cdot \Delta l) & (i) \\ \Delta T_k &= E \cdot L_k/l_k^2 \cdot \Delta l & (ii) \\ \Delta T_k &= \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \} \cdot \Delta T_i + T_k \cdot \mu \cdot \Delta \theta & (iii) \\ \Delta L_i &= x/L_i \cdot \Delta x & (iv) \\ \Delta x &= y \cdot \sec^2 \theta \cdot \Delta \theta & (v) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (25)$$

となる。これを整理して Δx に対する張力変化 ΔT_k および糸の移動量 Δl の関係を求めると、

$$\frac{\Delta T_k}{\Delta x} = \frac{E/l_i \cdot x/L_i \cdot \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \} + T_k \cdot \mu \cdot \cos^2 \theta / y}{1 + (l_k/l_i)^2 \cdot L_i/L_k \cdot \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \}} \dots\dots\dots (26)$$

$$\frac{\Delta l}{\Delta x} = \frac{x/(l_i \cdot L_i) \cdot \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \} + T_k/E \cdot \mu \cdot \cos^2 \theta / y}{L_k/l_k^2 + L_i/l_i^2 \cdot \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \}} \dots\dots\dots (27)$$

となる。(26), (27) 式から、編成張力 T_k が大きいと

きはど、針の一定移動に対する編成張力の低下および糸の引き戻し量は大きくなることがわかる。

また、これら両式において、 E と μ は糸の物性値で他の変数と独立である。したがって変化量 $\Delta T_k / \Delta x$, $\Delta l / \Delta x$ を E と μ の関数

$$\frac{\Delta T_k}{\Delta x}(E, \mu); \frac{\Delta l}{\Delta x}(E, \mu)$$

として考えることができる。まず、 μ = 一定として E について (26), (27) 式を書きかえると、

$$\frac{\Delta T_k}{\Delta x}(E) = A_E \cdot E + B_E \dots\dots\dots (28)$$

$$A_E = \frac{x/(l_i \cdot L_i) \cdot \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \}}{1 + (l_k/l_i)^2 \cdot L_i/L_k \cdot \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \}} \dots\dots (28')$$

$$B_E = \frac{T_k \cdot \mu \cdot \cos^2 \theta / y}{1 + (l_k/l_i)^2 \cdot L_i/L_k \cdot \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \}} \dots\dots (28'')$$

$$\frac{\Delta l}{\Delta x}(E) = A'_E + B'_E / E \dots\dots\dots (29)$$

$$A'_E = \frac{x/(l_i \cdot L_i) \cdot \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \}}{L_k/l_k^2 + L_i/l_i^2 \cdot \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \}} \dots\dots\dots (29')$$

$$B'_E = \frac{T_k \cdot \mu \cdot \cos^2 \theta / y}{L_k/l_k^2 + L_i/l_i^2 \cdot \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \}} \dots\dots\dots (29'')$$

各変数の定義から、 $A_E > 0$, $B_E > 0$, $A'_E > 0$, $B'_E > 0$ であるから、糸の摩擦係数が等しい場合には、引張弾性係数の大きい糸ほど RB 現象による張力の低下は大きい、引き戻される糸の長さは短くなる。ただし (28), (29) 式において各係数中の T , l に E が陰関数として含まれるから、必ずしもこのような簡単な関係で表わされないであろう。

つぎに、 E = 一定として、 μ の相違について考える。この場合 (25) — (ii) 式の関係から、 $\Delta l / \Delta x(\mu)$ は $\Delta T_k / \Delta x(\mu)$ と同じ変化をするから (26) 式の変化を調べるだけでよい。(26) 式を μ の関数として書きなおすと、

$$\frac{\Delta T_k}{\Delta x}(\mu) = \frac{A_\mu \cdot \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \} + B_\mu \cdot \mu}{1 + C_\mu \cdot \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \}} \dots\dots (30)$$

$$A_\mu = E/l_i \cdot x/L_i > 0 \dots\dots\dots (30')$$

$$B_\mu = T_k \cdot \cos^2 \theta / y > 0 \dots\dots\dots (30'')$$

$$C_\mu = (l_k/l_i)^2 \cdot L_i/L_k > 0 \dots\dots\dots (30''')$$

このままでは、 μ の変化による影響を推定しにくいから (30) 式を μ で微分して変化の様子を調べる。すると、(31) 式となる。(31) 式右辺の分母はつねに正であるから (31) 式の符号は分子の正負によって決まる。そこで、

$$\frac{\partial}{\partial \mu} \cdot \frac{\Delta T_k}{\Delta x}(\mu) = \frac{[A_\mu (\theta + \varphi) + B_\mu \cdot C_\mu \{1 - \mu (\theta + \varphi)\}] \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \} + B_\mu}{[1 + C_\mu \cdot \exp \{ \mu (\theta + \varphi) \}]^2} \dots\dots\dots (31)$$

分子だけをとりだしてまとめると

$$G = \{A_\mu / (B_\mu \cdot C_\mu) - \mu\} (\theta + \varphi) + 1 + \exp\{-\mu(\theta + \varphi)\} / C_\mu \quad (32)$$

(32) 式右辺の第 2, 3 項は正であるから

$$A_\mu / (B_\mu \cdot C_\mu) > \mu \quad (33)$$

は G が正であるための十分条件である。(30'), (30''), (30''') 式と $y = L_i \cos \theta$, $T_k = E(L_k - l_k)/l_k$ の関係から

$$A_\mu / (B_\mu \cdot C_\mu) = x/y \cdot L_k / (L_k - l_k) \cdot l_i / l_k \quad (34)$$

となる。第 7 図および各変数の定義から, $x \approx h$ においては $l_i/l_k > 1$, また, $x \approx x_{\min}$ においても, l_i/l_k はたかだか $1/2$ くらいである。また, $x/y > 1$, $L_k/(L_k - l_k) \gg 1$ であるから, 考察の範囲では $A_\mu / (B_\mu \cdot C_\mu) > 1$ と考えてよい。一方, 摩擦係数 μ は $1 \geq \mu \geq 0$ であり, 普通, 糸と金属間の摩擦係数は 0.6 以下であるから (33) 式が成り立つ。したがって,

$$\frac{\partial}{\partial \mu} \cdot \frac{\Delta T_k}{\Delta x}(\mu) > 0 \quad (35)$$

つぎに (31) 式で $\mu = 0$ とおけば,

$$\left. \frac{\partial}{\partial \mu} \cdot \frac{\Delta T_k}{\Delta x}(\mu) \right|_{\mu=0} = \frac{A_\mu(\theta + \varphi) + B_\mu \cdot C_\mu + B_\mu}{(1 + C_\mu)^2} > 0 \quad (36)$$

また (31) 式において, μ の増大につれて分子より分母が急速に増大するから (31) 式は漸減する。(35), (36) 式により (31) 式は単調減少関数, したがって, 元の関数 $\Delta T_k / \Delta x$ は単調増加関数となる。

(30) 式で $\mu = 0$ とおけば,

$$\begin{aligned} \left. \frac{\Delta T_k}{\Delta x}(\mu) \right|_{\mu=0} &= \frac{A_\mu}{1 + C_\mu} \\ &= \frac{E/l_i \cdot x/L_i}{1 + (l_k/l_i)^2 \cdot L_i/L_k} = K_1 > 0 \end{aligned} \quad (37)$$

同様に, $\mu = 1$ とすれば,

$$\begin{aligned} \left. \frac{\Delta T_k}{\Delta x}(\mu) \right|_{\mu=1} &= \frac{A_\mu \cdot \exp(\theta + \varphi) + B_\mu}{1 + C_\mu \cdot \exp(\theta + \varphi)} \\ &\doteq \frac{A_\mu}{C_\mu} = \frac{E/l_i \cdot x/L_i}{(l_k/l_i)^2 \cdot L_i/L_k} = K_2 > 0 \end{aligned} \quad (38)$$

したがって, μ に対する $\Delta T_k / \Delta x(\mu)$ の変化を図示すると第 8 図のようになる。結局, RB 現象による編成張力の低下の度合は, 糸の摩擦係数が大きいほど大きくなる。また, 前述のように, $\Delta l / \Delta x(\mu)$ も第 8 図と同じ変化をする。これは一見, 奇異に感じられるが, Knapton らの実験結果から, この推論が正しいことが裏づけ

(第 8 図) 摩擦係数に対する $\Delta T_k / \Delta x$ の変化

される。第 9 図は, 彼らの報告から, ワクシング糸と非ワクシング糸を用い給糸張力 $2g$ で編成した編地のループ長をカムセットに対しプロットしたものであり, 各カムセットにおいて, ワクシングしていない(摩擦係数の大きい)糸のほうが, 約 0.022 in 短くなっている。

(第 9 図) 摩擦係数の異なる糸でのループ長の相違 (J. J. F. Knapton ら)

しかしながら, 一般には, 摩擦係数は (2) 式で示したように, 張力と曲率の関数であるから, 上に考察したことは, ごく限られた範囲にのみ成り立つものと考えられる。

4. 実験による考察

4.1 モデル装置での実験

実験装置と方法

編成動作を机上で再現するために, 第 10 図に示すモデル装置を試作した。シンカー S_1 , S_2 は背板 A に固定され(その距離 G は可変) 針 N はブラケット B で支持された上下可動の軸 R に固定されている。同期モーターか

(第10図) モデル装置説明図

ら歯車列をへて突起カムCが回転駆動されると、その突起Dにより軸Rが突き上げられ、シンカーSと針Nの間に糸Yが供給されている場合には、そこで編成動作に準じた糸の折り曲げが行なわれる。突起Dの立ち上り部分bc間の形状は、針Nが等速運動する形に作られており、その中心角は 15° 、立ち上り高さ3mmである。また、シンカーと針の断面円形部の直径はともに0.8mmである。

一端に荷重Wを吊した糸Yを、ベアリングで支持した軸に取り付けたプーリーPに掛け、シンカーと針の間を通して他端をUゲージのクランプKで把持する。

編成動作による糸張力の変化は、Uゲージから動歪計、増幅器をへて直記式電磁オシログラフ（振動子の感度一様の上限振動数1000 c/sec）により記録した。測定に際して、カムを軸Rがa点に接する位置にとったのち同期モーターを駆動し、助走距離abを経たあとの1回目の編成動作における記録から、そのピーク値を読みとり編成張力とした。

試料には、梳毛糸2/40s、ウーリーナイロン糸110/2d（第1表*印）を用い、つぎの条件で測定した。

ゲージG (mm) : 3, 6, 12

初荷重W (g) : 2, 6, 10, 15, 20

編成速度V (cm/sec) : 5, 10, 17, 25, 50

なお、編成速度は歯車比をかえた測定の記録結果から算出した。

結果と考察

編成速度50 cm/sec、ゲージ3 mmで行なった実験における各給糸張力（初荷重）に対する編成張力の変化を第11図に示す。両試料ともに、給糸張力が増すにつれ

(第11図) モデル装置による実験

て編成張力も増加するが、その変化は直線的でなく、給糸張力の低い範囲で変化の度合が大きくなっている。第12図は、ゲージを変え、カムを手動（編成速度0.5 cm/sec以下）により動かした場合の給糸張力と編成張力の比 T_k/T_I を給糸張力 T_I に対しプロットしたものである。梳毛糸では $T_I = 2g$ でとくに比 T_k/T_I が大きく、 $T_I \geq 10g$ においては、ほぼ一定値をとる。ウーリーナイロン糸でも同様な関係を示しているが、 $T_I = 2g$ における比 T_k/T_I は梳毛糸の場合のように大きくはない。これは、ウーリー加工によるクリンプが伸びきらずかなり残っているために、接触面の状態が異なるためと考えられる。

(第12図) 給糸張力と編成張力の比

各給糸張力に対する比 T_k/T_I の関係は、ゲージの変化、つまり接触角が変わっても同様な関係を示すことから、 T_I に対する T_k/T_I の変化は摩擦係数の変化を示すものと考えられる。したがって、給糸張力の低い範囲(梳毛糸では6 g以下)においては、摩擦による付加張力は前記(2)式に基づいて考えるべきことを示すものである。また、 T_k/T_I は、第12図では梳毛糸よりもウーリー ナイロン糸のほうが大きいにもかかわらず、第11図では梳毛糸のほうが大きくなっている。これから、編成張力には編成速度も影響するものと考えられる。

第13図は、ゲージ3 mmにおいて編成速度に対する編成張力の変化を、各給糸張力につきプロットしたものである。なお、編成速度0における値は、カムの回転を手動で行なった場合の値である。

(第13図) 編成速度と編成張力の関係

編成速度10 cm/sec以下においては、梳毛糸、ウーリー ナイロン糸ともに、速度の増加に伴って編成張力も大きくなるが、それ以上の速度ではほとんど変化がみられない。編成動作の進行に伴って編成張力が増加すると、給糸側から糸が流入し、張力の増加を抑制するが、編成動作が速くなると糸の流入量が少なくなり(伸長速度>流入速度)このために編成張力が大きくなるものと考え

られる。梳毛糸とウーリー ナイロン糸との編成張力の差は糸の伸長特性の相違によるものであろう。また、編成速度10 cm/sec以上において編成張力が一定であることは、その速度範囲では、糸の引き込み力の編成張力への影響は少ないことを意味し、摩擦力と糸の伸長特性によって編成張力が相違するものと考えられる。

4.2 丸編機での実験

実験装置と方法

使用した編機はシリンダー直径20 in、針間隔12 npiの台丸編機であり、回転数3 rpm(編成速度8 cm/sec)給糸口1口で実験した。給糸張力は、給糸路途中にコイルパネで加圧される平行板形張力器をとりつけ、パネ力を調節して給糸口前の測定位置で1~13 gの範囲にとった。編成張力の測定は、既報の検出器を用い、そのカバーを取り替えることにより、踏の長さを2~5本踏とした。なお、本編機の標準カムは2本踏CF1である。

実験結果と考察

各カムを用いカムセット $h=2.9$ mmで行なった実験結果から求めた給糸張力-編成張力曲線、給糸張力-ループ長曲線および編成張力-ループ長曲線を第14図に示す。

カムCF4における給糸張力-編成張力曲線は、第11図と似た変化をしており、ループ長もほとんど一定であることから、このカムにおいてはRB現象は起こっていないと考えられる。第14図における各線図から、カムCF1においては、RB現象による影響が編成張力、ループ長にあらわれていることが明らかである。

カムCF1とCF4を用いた編成におけるRB現象の有無から、給糸張力-編成張力線図において各給糸張力 T_I に対するカムCF4とCF1における編成張力 F_{k4} と F_{k1} の差は、RB現象によって生じた糸張力の低下を、また、編成張力-ループ長線図におけるループ長 L_4 と L_1 の差はRB現象によるループ長の減少を示すものと考えられるから、これらをそれぞれ引き戻し張力 f_r 、引き戻し糸長 l_r と呼ぶことにする。すなわち

$$f_r = F_{k4}(T_I) - F_{k1}(T_I) \quad \dots\dots\dots (39)$$

$$l_r = L_4\{F_{k1}(T_I)\} - L_1\{F_{k1}(T_I)\} \quad \dots\dots\dots (40)$$

また、 $f_r \cdot l_r$ はRB現象によって消費された(ループ形成に際して節約された)仕事量の意味を持つから、これを引き戻し仕事量 W_r と呼ぶことにする。すなわち

$$W_r = f_r \cdot l_r \quad \dots\dots\dots (41)$$

(39)~(41)式は、給糸張力 T_I について求めるが、本来、RB現象は編成張力 F_{k4} によって生じるものであ

14-1 図 梳毛糸 2/40s

14-3 図 ウーリー ナイロン糸 110/2d

14-2 図 梳毛糸 2/40s

14-4 図 ウーリー ナイロン糸 110/2d

(第14図) 丸編機での実験結果

るから、標準カムCF 1における編成張力 F_{k1} について調べるほうが適している。第15図は、ウーリー ナイロン糸を用いカムセットを3段階にとった実験から求めた引き戻し張力 f_r と引き戻し糸長 l_r の変化の様子を、ま

た、第16図は、梳毛糸とウーリー ナイロン糸の引き戻し仕事量 W_r の変化を示したものである。

(第15図) 編成張力と引き戻し張力および引き戻し糸長の関係

(第16図) 編成張力と引き戻し仕事量の関係

第15図から、 f_r 、 l_r ともに編成張力が大きくなるにつれて増加することがわかる。梳毛糸においても同様な変化が認められたが、3章で考察した摩擦係数、引張弾

(第1表) 原糸の性能

原糸	太さ (番手 or デニール)	切断強度 (g)	切断伸度 (%)	弾性係数 E	摩擦指数 $T_0/T_I (T_I=20g)$	曲げ剛性度 $G (\times 10^{-3} g \cdot cm^2)$
梳毛糸	1/40 s	362	32.8	5580	1.65	4.78
毛, アクリル混紡糸	1/36 s	364	23.8	6100	1.69	5.76
"	2/48 s	414	30.0	5870	1.74	8.56
梳毛糸*)	2/40 s	342	24.0	7620	1.66	8.68
"	2/32 s	376	21.0	6920	1.78	12.4
ウーリー ナイロン糸	100 d	520	38.0	1550	1.65	1.47
"	70/2 d	428	22.4	1880	1.69	1.35
"*)	110/2 d	876	38.8	2580	1.70	2.71

性係数の差による相違はあまり顕著ではなかった。これは張力の低下と糸の引き戻しが独立して起こるのではないためと、踏をはずれた針の垂直移動量が相違しているためであろう。

ところで、第16図にみるように、引き戻し仕事量 W_r の変化は、梳毛糸とウーリー ナイロン糸とで明らかに異なった変化を示し、さらに、カムセットが異なっても、それぞれの糸で同じ曲線上に実験値がのっている。つまり、編成張力—引き戻し仕事量曲線は糸の物性値の相違を示すものと考えられる。第1表に示す各メリヤス用原糸を用いて得た結果を第17図に示す。

(第17図) 編成張力と引き戻し仕事量の関係

引き戻し仕事量は、編成張力の増加に伴って大きくなるが、引張弾性係数 E の小さなウーリー ナイロン糸では編成張力のある値から急に大きくなるが、 E の大きな紡績双糸では急激な変化点がみられない。また、紡績単糸の E は紡績双糸の値とさほど変わらないのに、引き戻し仕事量の変化はウーリー ナイロン糸のそれに似ており、これらの変化の相違を糸の弾性係数あるいは摩擦係数の

差で説明することは困難である。

第18図は、編成張力の値を糸の太さに対してプロットした図で、これから太さに関連した物性値が関与していることが考えられる。そこで、糸の曲げ剛性度 G をリング法で測定し、 G と F_k の関係を示したのが第19図である(図中、カッコ内の点はウーリー ナイロン)。これから、編成張力およびループ長の変化には、糸の曲げ

(第18図) 糸の太さと編成張力の関係

(第19図) 糸の曲げ剛性度と編成張力の関係

剛性が寄与しているものと考えられる。つまり、糸張力の低い範囲においては、張力の変化は主に糸の曲げに係り、高い範囲では糸の移動が変化の主体になるものと考えられる。したがって、糸屈曲部の弾塑性域の割合、編成要素間での屈曲状態、接触角など、より多くの検討が必要であろう。

5. む す び

本報では、糸を弾塑性体として扱い、編成張力は編成要素によるしごき作用によって付加された摩擦力として解析したが、もとより、編成域中での糸の状態変化はかなり複雑であり、さらにRB現象の生起は解析を困難にする大きな原因である。しかしながら、いくつかの仮定を置いて導いた(6)、(18)式および(26)、(27)式により、編成張力およびループ長の変化が定性的に調べることが確認された。また、RB現象による張力低下は、切断強力の低い糸の編成を可能とすることから、その有効利用(カム道的设计など)を積極的に取り上げることは、編成能率向上に有意であると考ええる。

終わりに、種々ご指導いただいた東京工業大学 石川章一教授、久世栄一助教授、また、ご検討いただいた織

維機械学会メリヤス研究委員会 田畑委員長はじめ委員各位に深謝する。なお、本報の一部は編成張力と製品の品質、物性に関するシンポジウム(1968-8)において発表した。

文 献

- 1) 相坂, 川上, 新藤; 織学誌, **24**, 70 (1968)
 - 2) J. J. F. Knapton; Text. Res. J., **37**, 539 (1967); **38**, 22 (1968)
 - 3) D. E. Henshaw; Text. Res. J., **38**, 592 (1968)
 - 4) W. N. Garbaruk; Deutsch. Textiltech., **17**, 680 (1967)
 - 5) たとえば, T. S. Nutting; J. Text. Inst., **51**, T190 (1960)
J. J. F. Knapton, D. L. Munden; Text. Res. J., **36**, 1081 (1966); **38**, 22 (1968)
 - 6) H. G. Howell; J. Text. Inst., **44**, T359 (1953)
 - 7) C. Rubenstein; Shirley Inst. Mem., **30**, 80 (1957); **30**, 157 (1957)
 - 8) たとえば, 山田, 中原; 塑性学, P119, 1960, 日本機械学会
 - 9) J. J. F. Knapton, D. L. Munden; Text. Res. J., **36**, 1081 (1966)
 - 10) 相坂, 川上, 新藤; 織学誌, **24**, 76 (1968)
- 注1) 既報¹⁰⁾においては、給糸張力—編成張力曲線を直線近似した。