織機の経糸張力に関する研究 (第2報)*

交錯せる経緯糸の釣合条件

(昭和26年8月28日受理)

会 員 三 浦 義 人**
" 宇 野 稔

—— 摘 要 ——

研 究 目 的

箠打前後の経糸張力の変化、箠打位置に緯糸が安定する条件及び経糸張力が織物の厚さに及ぼす影響を考察する。

研 究 結 果

問題を数式的に取扱い次の結果を得た。

- 1) 緯糸は織巾の全体にわたり略同一張力。
- 2) 箠打時の経糸張力増加率を表わす式。
- 3) 箠打に要する力を表わす式。
- 4) 緯糸が打込位置に安定するか否かを判別する式。
- 5) 経糸張力と織物の厚さとの関係を表わす式。

以上の諸式を誘導した。

1. 緒 言

筆者等は先に織物の経糸張力の変化について主として実験的な解析を試みたがその際緯糸は全然考慮に入れなかつた。本報はこの緯糸をふくめ主として箠打前後における現象を数式的に取扱い、経糸の張力変化及びそれが織物の厚さと如何なる関係があるかを調べた。なお箠打後緯糸が打込位置に安定するか否かの問題を取扱い或程度の解決を得た。

2. 箠打前の経緯糸の釣合

第1図は緯糸が打込まれて罫口が次第に閉ちて来た時の緯糸中心線を含み経糸に垂直に切った図面である。経

(第1図) 箠 打 前 の 状 態

緯糸の押合う力は箠打時に比し小さいので各々の断面は円形を保持しているとすると、次の関係が成立つ。図の右端を織物の端としその緯糸張力を T_{eo} とする。但し添字の R は経糸、 e は緯糸を表わすものとする。経糸に押されて緯糸は屈曲するが右端では緯管より糸がほどけ

て出てくるので糸は左へ引かれる。従つて経糸との間に摩擦力を生じ右端より第1番目の経糸を過ぎると

$$T_{e1} = T_{eo} e^{\mu \alpha_1}$$

但し μ = 経緯糸間の摩擦係数

α = 経緯糸の接触角

第 n 番目の経糸を過ぎると

$$T_{en} = T_{eo} e^{\mu(\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n)}$$

接触の始期では接触

角は小さく従つて何れも仮りに $\alpha = 0.2$ ($11^\circ 30'$) とする。

又第1表のようにナイロン糸では μ は略 0.3 であるから、この場合は

$$T_{en} = T_{eo} e^{0.06n}$$

n の変化による T_{en} の値を求めると接触角や始めの張力 T_{eo} が小さくとも緯糸張力は急激に増加し例えば $T_{eo} = 10g$ としても28本目で

第 1 表

圧力 (g/cm ²)	静摩擦係数 μ
0.79	0.493
1.98	0.418
2.86	0.337
3.84	0.332
4.98	0.324
6.10	0.316
7.20	0.312
8.28	0.296
9.42	0.284
10.51	0.291
11.60	0.323
平 均	0.3

直交糸の摩擦係数ナイロン 500 den. 温度 $11^\circ C$ 、関係湿度 85% 測定は傾斜法による

* The study of warp tension in weaving machine (No. 2)
Equilibrium condition of warp and weft.

** Yoshito Miura Member 京都工芸繊維大学
Minoru Uno " "

は1kgとなり緯糸の切断強度を越してしまう。

従つて以上のような摩擦状態は経緯糸の交錯部の端部においてのみ生ずる現象であり、他の大部分においては緯糸は滑らず経糸による屈曲のための伸張力のみが生じ織布ではこの緯糸が折返し経糸と交錯する関係上殆んど織布の全巾にわたり緯糸張力は一様と見做し得る。

3. 箴打時の釣合

箴打が極限に達した時の釣合を考える。

緯糸張力は一様に T_e であり経糸の中心線は第2図に示すように巻取側では

(第2図) 箴打時の状態

$$y = h_k \left(\cos \frac{\pi}{p_e} z - 1 \right)$$

なるコサイン曲線をなし、綜綹側では水平線 z 軸と γ なる角度をなす所でコサイン曲線に繋つているものとする。但し p_e = 緯糸の間隔、 h_k = 経糸の波高の半分とする。従つて任意の点 z における切線方向 β を求めると

$$\tan \beta = -\frac{\pi}{p_e} h_k \sin \frac{\pi}{p_e} z$$

z 点より微小距離 dz 隔つた点では ※

$$n = -T_k d\beta = \frac{T_k}{e^{\mu \tan \gamma}} \left(\frac{\pi}{p_e} \right)^2 h_k e^{\frac{\mu h_k}{p_e} \sin \frac{\pi}{p_e} z} \cos \frac{\pi}{p_e} z dz$$

よつて法線力 n の水平分力の合計は経緯糸の接触点 B から A まで積分して

$$H = \int_B^A n \sin(-\beta) = \frac{T_{k0}}{e^{\mu \tan \gamma}} \left(\frac{\pi}{p_e} \right)^2 h_k \int_B^A e^{\frac{\mu \tan \beta}{\cos \frac{\pi}{p_e} z}} dz \sin \beta$$

z を β に置き代えると

$$H = \frac{T_{k0}}{e^{\mu \tan \gamma}} \int_{\beta}^{\gamma} e^{\frac{\mu \tan \beta}{\tan \beta \sec \beta}} \sec \beta d\beta = \frac{T_{k0}}{\mu e^{\mu \tan \gamma}} h \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{但し } h = \int_{\beta}^{\gamma} e^{\frac{\mu \tan \beta}{\sin \beta}} d\beta + \left[e^{\frac{\mu \tan \beta}{\cos \beta}} \right]_{\beta}^{\gamma} \dots \dots \dots (4)$$

次に摩擦力の水平分力 F は

$$F = \int_B^A -n \mu \cos(-\beta) = \int_{\beta}^{\gamma} \frac{T_{k0} \mu}{e^{\mu \tan \gamma}} e^{\frac{\mu \tan \beta}{\sec \beta}} \sec \beta d\beta = \frac{T_{k0} \mu}{e^{\mu \tan \gamma}} f \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{但し } f = \int_{\beta}^{\gamma} e^{\frac{\mu \tan \beta}{\sec \beta}} \sec \beta d\beta \dots \dots \dots (6)$$

箴打時の経糸張力 T_{k0} は

箴打前の経糸張力 T_k に比べ摩擦力だけ大であるから

$$T_{k0} = T_k + F \cdot \sec \gamma *$$

$$\begin{aligned} \text{※ } \tan(\beta + d\beta) &= -\frac{\pi}{p_e} h_k \sin \frac{\pi}{p_e} (z + dz) \\ &\approx -\frac{\pi}{p_e} h_k \left(\sin \frac{\pi}{p_e} z + \frac{\pi}{p_e} dz \cos \frac{\pi}{p_e} z \right) \\ \therefore d\beta &\approx \tan(\beta + d\beta) - \tan \beta = -\left(\frac{\pi}{p_e} \right)^2 h_k \cos \frac{\pi}{p_e} z dz \\ &\dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

緯糸は経糸に接して圧潰しているとすると経緯糸の間には法圧力があり従つて摩擦が働く。

故に綜綹側の経糸張力を T_{k0} とすると巻取側では次第に張力が減ずる。

(第3図)

第3図に示す経糸の微小部分に働く張力 T_k 及び $T_k - dT_k$ による下向きの合力 n を求めると

$$-n \approx T_k \frac{d\beta}{2} + (T_k - dT_k) \frac{d\beta}{2} = T_k d\beta \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{又 } dT_k = n \mu = -T_k \mu d\beta$$

$$\text{故に } \frac{dT_k}{T_k} = \mu \left(\frac{\pi}{p_e} \right)^2 h_k \cos \frac{\pi}{p_e} z dz$$

第2図において経糸が水平線と γ なる角をなす点 A で垂直な断面を考え箴打が γ まで来るとする。又緯糸は圧潰してこの点 A で経糸に接するとすれば積分条件として

$$-\tan \gamma = -\left(\frac{\pi}{p_e} \right) h_k \sin \frac{\pi}{p_e} A \text{ で } T_k = T_{k0} \text{ であるから}$$

$$T_k = \frac{T_{k0}}{e^{\mu \tan \gamma}} e^{\frac{\mu h_k}{p_e} \sin \frac{\pi}{p_e} z}$$

(2) に入れて

$$* T_{k0} \left(1 - \frac{\mu \sec \gamma \cdot f}{e^{\mu \tan \gamma}} \right) = T_k$$

$$\therefore \frac{T_{k0}}{T_k} = \frac{1}{1 - \frac{\mu \sec \gamma \cdot f}{e^{\mu \tan \gamma}}} \dots \dots \dots (7)$$

(7) 式は箴打時の張力の増加を表わす。

箴が緯糸を押すに要する力Pは

$$P = H + F = \frac{T_{k0}}{\mu e^{\mu \tan \gamma}} \left\{ h + \mu^2 f \right\}$$

但しこれは糸1本当たりであるから経糸の総数をNとすれば全体としてPNだけの力を要する。

即ち

$$\Sigma P = \frac{T_k N}{\mu e^{\mu \tan \gamma}} \frac{h + \mu^2 f}{1 - \frac{\mu \sec \gamma \cdot f}{e^{\mu \tan \gamma}}} \dots\dots\dots (8)$$

4. 箴打時の数値例

繰糸から来る糸が箴打箇所で緯糸を夾む角 2γ は $10^\circ \sim 15^\circ$ であり、交錯せる糸の摩擦係数を0.3として前述のf, hの積分値を求めこれを第4図に示す。 $\gamma = 5^\circ$ として μ の値を変えたものが第5図である。

a) 経糸張力の増加率

以上の値を用いて7式から箴打時の張力増加率 T_{k0}/T_k を求めると第6図のようになる。

(第4図) $\mu=0$ の時の f, g の値

(第5図) $\gamma=5^\circ$ の時の f, g の値

(第6図) 箴打ちの時の経糸張力の増加率

β を巻取側で緯糸と経糸が接する最終点Bにおける切線の傾きとすると、これは経糸の交叉角の半分に略等しい。この角が 50° 附近であると μ の増加により張力増加率は急激に増すが普通 45° を超えることは稀で大体 30° 附近である。従つてこの時は

$\mu=0.5$ としても張力増加率は54%である。

特に通常の $\mu=0.3$, $\gamma=5^\circ$ の場合は25%である。

なお経糸張力の増加率に及ぼす傾角 β , γ の影響は β が大きく γ は殆んど省略出来る程度である。

b) 箴打に要する力

(8)式を用いると箴打に要する力を求めることが出来る。例えば $\mu=0.3$, $\gamma=50^\circ$, $N=2000$ 本, 1本当りの経糸張力30gの時は第7図のようになり β が大きいと可成り大きな力が箴に掛る。

(第7図) 箴打ちに要する力

更に後述のように余り交叉角の大なる場合は箴打後緯糸が後戻りするから無益である。

なお(8)式を用いば箴に与うべき強度を決定出来る。

5. 箴打後の釣合

箴打後緯糸が打込まれた位置に当っているか又は経糸に押されてずれるかは経糸と緯糸の摩擦力による。箴が後退した瞬間各糸の占める位置は第2図と同一であるとすると、この時の経糸張力は T_{k0} より T_k に復帰しているから経糸が緯糸を水平に押す力は(3)式から

$$H = \frac{T_k}{\mu e^{\mu \tan \gamma}}$$

一方緯糸がずれないように働く摩擦力は(5)式から

$$F = \frac{T_k \mu f}{e^{\mu \tan \gamma}}$$

而して $F \geq H$ ならば緯糸は原位置に当っている。

即ち

$$\frac{T_k}{\mu e^{\mu \tan \gamma}} (\mu^2 f - h) \geq 0$$

判別式Dを次のように表わす。

$$D = \mu^2 f - h \dots \dots \dots (9)$$

$D \geq 0$ ならばずれない。

$\gamma = 5^\circ$ としてDを計算すると第8図のようになり μ の

値により変化する。

例えば $\mu = 0.3$

では $\beta = 24^\circ$ 以上の交差角に打込まれた場合は 24° の位置まで緯糸はずれる。

なお判別式には経糸張力は含まれていないので交差角を大にするために経糸張力を減じても

(第8図) 判別式Dの値

効果はない。従つて交差角の大なる織物を得るには

i) 摩擦係数 μ を大にする。

ii) f を大にし h を小とする。即ち γ を大にする。

然し綜統の開く角 γ は織機により限度があり又これを大きくすることは経糸の張力変化を大にするから一般には経緯糸に特殊の処理を施して両者間の摩擦係数を大ならしめなければならぬ。

6. 織物の厚さ

箠打後緯糸の張力は一様に T_0 であり中心線は第9図

(第9図) 緯糸の釣合状態

に示すようなコサイン曲線をなしていると考えると、

$$y = h_e \left(\cos \frac{\pi}{p_k} x - 1 \right)$$

但し h_e = 緯糸の波高の半分

p_k = 経糸間の間隔

経糸は圧潰してこの緯糸に接しているとする。

従つて緯糸が経糸を押す力Qは

$$Q = 2T_e \sin \alpha$$

緯糸の両端付近ではコサイン曲線は略直線状であるので僅かの位置の変化による傾角は変らぬとして近似的に

$$\tan \alpha = -\frac{\pi h_e}{p_k} \sin \frac{\pi}{p_k} x \times \frac{p_k}{2} = -\frac{\pi}{p_k} h_e$$

$$\therefore Q = \frac{2T_e}{\sqrt{1 + \left(\frac{p_k}{\pi h_e} \right)^2}}$$

一方箠打後の織布内の経糸張力は略初めの張力 T_k に等しいと考えられる。

何故ならば箠打時においても経糸張力は第6図に示す程度にしか変動せぬからである。

従つて経糸が緯糸を垂直に押す力は緯糸の場合と同様に

$$\tan \beta = \frac{\pi}{p_e} h_k$$

と置き $Q = 2T_k \sin \beta$

$$\therefore T_k \sin \beta = \frac{T_e}{\sqrt{1 + \left(\frac{p_k}{\pi h_e} \right)^2}} \dots \dots \dots (10)$$

緯糸に発生する張力は伸びにより生じたものでフックの法則に従うものと仮定すれば

$$T_e = A E \varepsilon$$

但し A = 緯糸の断面積

E = 緯糸の弾性係数

ε = 緯糸に生ずる歪

経糸1本の間に挟まれた緯糸を考え始めは直線をなして長さが p_k であつたものが屈曲後 s になつたとする。

$$s = \int_0^{p_k} \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

曲線の原点を移動して緯糸の形状を次のようにする。

$$y = h_e \sin \frac{\pi}{p_k} x$$

$$\therefore dy = h_e \frac{\pi}{p_k} \cos \frac{\pi}{p_k} x dx$$

$$u = \frac{\pi}{p_k} x \text{ と置く}$$

$$\begin{aligned} s &= 2 \int_0^{\frac{p_k}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{h_e \pi}{p_k} \right)^2 \left(1 - \sin^2 \frac{\pi}{p_k} x \right)} dx \\ &= \frac{2p_k}{\pi} \sqrt{1 + \left(\frac{h_e \pi}{p_k} \right)^2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - K^2 \sin^2 u} du \\ &= \frac{2 \sqrt{p_k^2 + (h_e \pi)^2}}{\pi} E(\varphi) \end{aligned}$$

$$\text{但し } K = \frac{\frac{\pi h_e}{p_k}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\pi h_e}{p_k}\right)^2}} = \sin \varphi,$$

$$E(\varphi) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - K^2 \sin^2 u} \, du$$

$E(\varphi)$ は第2種楕円積分であるから φ の値に応じて数表から簡単に見出すことが出来る。

$$\therefore T_e = AE \frac{(s - p_k)}{p_k} = AE \left(\frac{2 \sqrt{1 + \left(\frac{\pi h_e}{p_k}\right)^2}}{\pi} E(\varphi) - 1 \right) \quad \dots\dots\dots (11)$$

(10) 式と (11) 式から

$$h_e = \frac{\frac{T_k p_k \sin \beta}{AE \pi}}{\frac{2E(\varphi)}{\pi} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\pi h_e}{p_k}\right)^2}}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

(12) 式により織物の厚さと経糸張力との関係を与える式を求め得る。厚さを表わすに次の2種に分つ。

a) 屈曲した経糸の上下端が厚み W である場合。経緯交錯点における各糸の厚さを dk, de とする。

$$W = 2dk + de - 2h_2 = 2dk + de - \frac{\frac{2T_k p_k \sin \beta}{AE \pi}}{\frac{2E(\varphi)}{\pi} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\pi h_e}{p_k}\right)^2}}}$$

従つて AE の大なる緯糸即ち歪難い糸を用いたり、経糸張力 T を大にすると厚さは減ずる。

b) 屈曲した緯糸の上下端が厚みを表わす場合

$$W = de + 2h_e = de + \frac{\frac{2T_k p_k \sin \beta}{AE \pi}}{\frac{2E(\varphi)}{\pi} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\pi h_e}{p_k}\right)^2}}}$$

歪み難い緯糸を用い又経糸張力を大にしても厚みは増す。

7. 結 語

箠打前後における経糸及び緯糸の関係を数式的に取扱ひ次の結果を得た。

- 1) 緯糸の張力は全市にわたり略一定と見做される。
- 2) 経緯糸間の摩擦係数、綜統の動程及び経糸の交叉角が与えられると箠打時の経糸張力の増加率は(7)式で求められ普通20%~50%の増加を示す。
- 3) 箠打に要する力は(8)式で与えられこれから箠の強度を定めることが出来る。
- 4) 打込後緯糸が打込位置に安定するか否かは(9)式の判別式により定められ交叉角が大なる時はずれる。大なる交叉角を得るためには糸間の摩擦係数を大きくせねばならぬ。糸の張力には関係せぬ。
- 5) 緯糸に発生する張力は弾性体の伸びによるものと仮定し経糸張力と織物の厚さとの関係を示す式を得た。

〔註〕

1) 本誌昭26年7月号	宇野、三浦
2) 京高工初10年論文集	萩原清彦
3) 繊維学会誌投稿中	三浦義人