巻取機構の張力装置に関する基礎的研究*

(第3報) 非摩擦型について

(昭和37年4月26日受理) 会 員 酒 井 哲 也**

久 世 栄 一

→ 摘 要 ←

目 的

糸をある物体に拘束させ、その物体に制動を与えて糸を摩擦することなく張力を発生させる張力装置について特性を研究した。

成 果

この型では糸の伸縮を考慮する必要があり、ドラフト野に適用した質量保存則と糸の伸長特性を表示する関数とを結合することによって張力現象を解析することができる。その結果つぎのようなことがわかった。

- (1) 積極拘束型では、巻取速度、送出速度の関係でほぼ張力値が定まる。
- (2) 消極拘束型では、供給側の高周波張力変動を巻取り側に伝えない特長を有する。
- (3) ドラフト野の走糸径路長を変化させることにより、比較的ゆるやかな張力変動を緩和することができる。

1. 一般 的 解 析

摩擦型張力装置においては、前報¹⁾で指摘したように糸の伸縮を無視して張力の関係を

$$T_a = T_s + T_p$$

の重ね合わせの形で表現してよかった。これに対し非摩擦型の張力装置では、積極型、消極型のいずれも基本的には、「付加張力が巻取速度と拘束部における糸の送出速度との差によって与えられる」とする点に特長がある。すなわち、第1図に示す機構が非摩擦型の張力装置のもっとも原理的なもので送出ローラと巻取ローラとの表面速度の差によってローラ間に所定の張力を発生させる。送出ローラの送出し速度が積極的に与えられる

か、糸の運動にともなって消極的に定まるかによって、2つの型が区別される。巻取ローラと送出ローラとの中間部、いわゆるドラフト野にある糸の線密度を ρ_a 、供給体と送出ローラ間の糸の線密度を ρ_s 、巻取速度 V_a 、送出速度 V_s 、ローラによる糸のはじ点間の距離を l とすれば

$$l d\rho_a = V_s \rho_s dt - V_a \rho_a dt$$

$$\therefore l \frac{d\rho_a}{dt} + V_a \rho_a = V_s \rho_s \quad \dots\dots\dots (1)$$

が成立する。これはドラフト野の質量変動を表わしている。つぎに糸の伸びと張力とが考察の範囲内では比例すると仮定すれば

$$\left. \begin{aligned} T_a &= E \frac{\rho_0 - \rho_a}{\rho_a} \\ T_s &= E \frac{\rho_0 - \rho_s}{\rho_s} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ρ_0 : 無張力時の線密度, E : 糸の引張り弾性係数
 T_a, T_s : ρ_a, ρ_s に対応する張力

(1), (2) 式よりドラフト野の張力状態を解析することができる。しかし(2)式から推察されるように、そのままでは一般的に解き難い。ここでは、線型に導くため張力および線密度を平均値と変動成分の和で表わ

(第1図) 積極型の機構図

* Study on Tension Device for Winder. Part 3: Non-friction Type Device. (第1, 2報 14巻 4号所載)

** T. Sakai, E. Kuse, Member. 東京工業大学

し、変動成分が比較的小さいとして検討をすすめよう。

すると(2)式は近似的に

$$\left. \begin{aligned} \bar{T}_a + \Delta T_a &= E \left(\frac{\rho_0 - \bar{\rho}_a}{\bar{\rho}_a} - \frac{\rho_0 - \bar{\rho}_a}{\bar{\rho}_a^2} \Delta \rho_a \right) \\ \therefore \Delta T_a &= - \frac{\bar{T}_a}{\bar{\rho}_a} \Delta \rho_a \\ \text{同様に} \quad \Delta T_s &= - \frac{\bar{T}_s}{\bar{\rho}_s} \Delta \rho_s \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

となる。したがって(1)式は

$$\begin{aligned} l \frac{d}{dt} (\bar{\rho}_a + \Delta \rho_a) + V_a (\bar{\rho}_a + \Delta \rho_a) &= V_s (\bar{\rho}_s + \Delta \rho_s) \\ l \frac{d}{dt} \Delta \rho_a + V_a \Delta \rho_a &= V_s (\bar{\rho}_s + \Delta \rho_s) - V_a \bar{\rho}_a \\ \therefore l \frac{\bar{\rho}_a}{\bar{T}_a} \cdot \frac{d \Delta T_a}{dt} + V_a \frac{\bar{\rho}_a}{\bar{T}_a} \Delta T_a &= V_s \frac{\bar{\rho}_s}{\bar{T}_s} \Delta T_s \\ &+ (V_a \bar{\rho}_a - V_s \bar{\rho}_s) \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

(4)式において、 V_a , V_s がきまれば、張力変動の時間的経過を知ることができる。

以下、積極型、消極型について検討を進めよう。

2. 非摩擦積極型

この型では V_s が積極的に与えられる。いま、巻取り、送出しが定速で行なわれたとすれば

$$V_a \bar{\rho}_a - V_s \bar{\rho}_s = 0$$

であるから(4)式は

$$l \frac{\bar{\rho}_a}{\bar{T}_a} \cdot \frac{d \Delta T_a}{dt} + V_a \frac{\bar{\rho}_a}{\bar{T}_a} \Delta T_a = V_s \frac{\bar{\rho}_s}{\bar{T}_s} \Delta T_s \dots\dots\dots (5)$$

となって、方程式の左辺は張力の過渡的な変化を、右辺は定常時の張力状態を表わす。 ΔT_s を $\Delta T_s \sin \omega t$ とおけば

$$\Delta T_a = C e^{-\frac{V_a t}{l}} - \frac{\Delta T_s}{\sqrt{\omega^2 + \left(\frac{V_a}{l}\right)^2}} \cdot \frac{V_a}{l} \cdot \frac{\bar{T}_a}{\bar{T}_s} \cdot \cos(\omega t + d) \dots\dots\dots (6)$$

$$C: \text{積分定数}, d = \tan^{-1} \left(\frac{V_a}{\omega l} \right)$$

換言すれば、この型の張力装置は一次の容量をもつ系である。 ΔT_a , ΔT_s に関する伝達関数は

$$\frac{V_s \bar{\rho}_s / \bar{T}_s}{V_a \bar{\rho}_a / \bar{T}_a} \cdot \frac{\bar{T}_a}{\left(\frac{l}{V_a} \lambda + 1\right)} \dots\dots\dots (7)$$

巻取速度が大であれば、短時間に定常に達し、また解じよ側の張力変動の巻取り側における影響も小さくなる。 ΔT_s の絶対値が充分小さければ、定常時には ΔT_a

もきわめて小さくなり、糸はほぼ

$$V_a \bar{\rho}_a - V_s \bar{\rho}_s = 0 \dots\dots\dots (8)$$

を満足する線密度に達する。

$$\bar{\rho}_s \approx \rho_0$$

であるから

$$\bar{\rho}_a \approx \frac{V_s}{V_a} \rho_0$$

このときの糸張力は

$$\bar{T}_a = E \frac{V_a - V_s}{V_s}$$

すなわち、積極型の張力装置では、ローラ速度が一定であれば張力も一定になり、張力制御は速度制御に帰着する。しかし糸のように伸びが少ないものを高速で巻取ったり、強いあや振りなどによる巻取速度の変化がかなり顕著な場合には、張力制御を実施するのに機械的困難が大きく、まだ実用の段階にない。一方紡糸工程における延伸、サイジング、ビーミングにおける巻取り方面ではかなりの実用化が可能で、実行されてもいる。

3. 非摩擦消極型

この型では送出しローラが単なる回転円板で、これに巻きつけた糸に引張られて運動する。第2図において回転円板の回転軸に対する慣性性能率を I , 半径 r , 回転角

(第2図) 消極型の機構図

速度を θ , 円板に働かせる抵抗を τ とすれば、つぎの運動方程式によって V_s が定まる。

$$\left. \begin{aligned} I \frac{d\theta}{dt} &= T_a \cdot r - T_s \cdot r - \tau \\ \theta r &= V_s \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

上式を(1)式、(2)式と連立させることによって、非摩擦消極型の張力付加の特性を知ることができる。しかし、解は得られないので前項同様の手法によって線型化を行なう。巻取速度 V_a が一定の場合にはつぎの2式を得る。

$$\left. \begin{aligned} l \frac{\bar{\rho}_a}{\bar{T}_a} \cdot \frac{d \Delta T_a}{dt} + V_a \frac{\bar{\rho}_a}{\bar{T}_a} \Delta T_a &= V_s \frac{\bar{\rho}_s}{\bar{T}_s} \Delta T_s \\ &- \bar{\rho}_s \Delta V_s \\ \frac{I}{r} \frac{d \Delta V_s}{dt} &= r (\Delta T_a - \Delta T_s) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

張力付加装置の特性をみるために、両式より ΔV_s を消去し ΔT_s を入力、 ΔT_a を出力として伝達関数を求めてみよう。おのおのの式のラプラス変換により

$$\left. \begin{aligned} l \frac{\bar{\rho}_a}{T_a} \lambda \cdot L[\Delta T_a] + V_a \frac{\bar{\rho}_a}{T_a} L[\Delta T_a] &= \bar{V}_s \frac{\bar{\rho}_s}{T_s} L[\Delta T_s] \\ &- \bar{\rho}_s L[\Delta V_s] \\ \frac{I}{r} \cdot \lambda \cdot L[\Delta V_s] &= r(L[\Delta T_a] - L[\Delta T_s]) \end{aligned} \right\}$$

したがって伝達関数 $G(\lambda)$ は

$$G(\lambda) = \frac{\bar{V}_s \frac{\bar{\rho}_s}{T_s} \lambda + \bar{\rho}_s \frac{r^2}{I}}{l \frac{\bar{\rho}_a}{T_a} \lambda^2 + V_a \frac{\bar{\rho}_a}{T_a} \lambda + \bar{\rho}_s \frac{r^2}{I}} \quad \dots\dots\dots(10)$$

供給側の張力変動 ΔT_s が $\Delta T_s \cdot \sin \omega t$ で表わされる場合には

$$\lambda = j\omega$$

$$\therefore G(j\omega) = \frac{\bar{V}_s \frac{\bar{\rho}_s}{T_s} j\omega + \bar{\rho}_s \frac{r^2}{I}}{-l \frac{\bar{\rho}_a}{T_a} \omega^2 + \bar{\rho}_s \frac{r^2}{I} + V_a \frac{\bar{\rho}_a}{T_a} j\omega} \quad \dots\dots\dots(11)$$

ω が小なるときは

$$|G(j\omega)| \rightarrow 1$$

で、供給側の張力変動はそのまま巻取り側にあらわれる。

$$\omega \rightarrow \infty$$

のときは

$$|G(j\omega)| \rightarrow 0$$

で、ごく高い周波数の張力変動は巻取り側にほとんど現われない。中間の ω に対しては、各定数の値で $|G(j\omega)|$ が異なるが、大体第3図のような傾向をもち、ゲインが1より大きくなる部分が生じるものと考えられる。第4図はチーズを解じよし、中間に回転円板を入れた場合（下図）と入れない場合（上図）との巻取り側張力の線図である。たしかに上記の考察が裏づけられている。

(第3図) 消極型の周波数特性

(第4図) 回転円板有無に対する解じょ張力線図

また糸の伸びを無視すれば、近似度は悪くなるが、いっそう簡単に議論をすすめることができる。すなわち V_a と $r\dot{\theta}$ が一致し、(1)式、(2)式を考慮する必要がなくなり、張力の関係は

$$T_a = T_s + \frac{\tau}{r} + \frac{I}{r} \cdot \frac{d\dot{\theta}}{dt} \quad \dots\dots\dots(12)$$

これは摩擦型における張力関係式と同じで、解じょ側の張力変動、回転円板の制動力の変動、巻取速度の変化などは、巻取り側にそのまま張力変動として現われる。張力制御は T_a を検出して τ を調整すればよい。その制御特性に関しては、摩擦張力を独立に付加する張力装置についての考察を、そのまま適応することができる。

巻取速度が一定であれば(12)式は

$$T_a = T_s + \frac{\tau}{r}$$

となり、糸の伸びを考慮した場合の ω が小さい範囲の結果と一致する。通常制御対象になる ω は比較的小さいから、大体の議論は伸びを無視してもよい。とくに巻取速度が変化するとき、糸の伸びを考慮して解析することはほとんど不可能であるが、伸びを無視すれば(12)式から容易に検討できる。巻取速度 V_a がしだいに大となる、すなわち

$$\frac{d\dot{\theta}}{dt} > 0$$

であれば、巻取り側張力 T_a もしだいに大となる。逆に V_a が減少する場合を考えると、 T_a は減少するが

$$\frac{d\dot{\theta}}{dt} < 0$$

で、かつ

$$I \frac{d\dot{\theta}}{dt} \leq T_s + \frac{\tau}{r}$$

ならば

$$T_a > 0$$

の範囲で変化する。この範囲で V_a が $V_0(1 - \cos \varphi t)$ のような正弦状の変動を行なえば、 T_a は

$$T_a = T_s + \frac{\tau}{r} + IV_0 \varphi \sin \varphi t$$

と変化する。

$$\frac{d\dot{\theta}}{dt} < 0$$

で、かつ

$$I \frac{d\dot{\theta}}{dt} > T_s + \frac{\tau}{r}$$

ならば、巻取り側の糸はゆるみ

$$T_a = 0$$

である。したがってこの間の回転円板の運動は

$$I \frac{d\dot{\theta}}{dt} = - \left(T_s + \frac{\tau}{r} \right)$$

$$\therefore \dot{\theta} = C - \frac{1}{I} \left(T_s + \frac{\tau}{r} \right) t$$

C：積分定数

T_s の時間的変動を無視

以上の結果を図で示せば第5図のようになる。

(第5図) 消極型において巻取速度が変化する場合の張力線図

4. 走糸径路長の変化による効果

(4) 式を観察すると、ドラフト野における張力現象に関与する因子は、 V_d 、 V_s など糸の速度のみでなく、走行径路の糸長 l もその一つであることに気がつく。実際繊維工業の多くのプロセスの中で、張力の変動に応じて糸の自由長を変化させ、張力変動を緩和するようくふうした機構がしばしば使用されている。本項ではそのような機構について検討するが、そのもっとも基本的なモデルとして第6図を考えよう。糸長変化を行なう部分に

(第6図) 走糸径路長の変可機構

は、摩擦や質量の効果を考えないことにする。ドラフト野の張力変動 ΔT_a に応じてバネが ΔL 伸びるとすれば、走糸径路長 l は

$$\left. \begin{aligned} l &= \bar{l} - \Delta L \\ \text{かつ } \Delta T_a &= \varepsilon \frac{\Delta L}{L_0} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

$\bar{l}$ は $\bar{T}_a$ に対応する糸の長さ、 ε はバネの引張り弾性係数、 L_0 はバネの自然長である。上式を(4)式に代入して解けば、糸長伸縮機構の効果がわかる。たとえば系の過渡応答は

$$\left(\bar{l} - \frac{L_0}{\varepsilon} \Delta T_a \right) \frac{d \Delta T_a}{dt} + V_d \Delta T_a = 0$$

$$\bar{l} \cdot \frac{d \Delta T_a}{dt} - \frac{L_0}{\varepsilon} d \Delta T_a + V_d \cdot dt = 0$$

$$\therefore \bar{l} \log \Delta T_a - \frac{L_0}{\varepsilon} \Delta T_a + V_d t = C_0 \quad C_0: \text{積分定数}$$

さらに変形し

$$\Delta T_a = C e^{-\frac{V_d}{\bar{l}} t} \cdot e^{-\frac{L_0}{\bar{l} \cdot \varepsilon} (C - \Delta T_a)} \dots\dots\dots (14)$$

(14) 式を検討すれば糸長伸縮機構のない場合の過渡応答

$$\Delta T_a = C e^{-\frac{V_d}{\bar{l}} t}$$

に比し、第7図に示すように、一層急速に0に収束す

(第7図) 走糸径路長可変機構の有無に対する過渡応答

ることがわかる。 $\bar{l}$ が小なるほど、バネが弱く、バネ長が長いほどその効果は大きい。

また、この種の機構は張力変動の原因が変位によって与えられる場合、たとえばよこ打ち、編立などにかんがりの効果がある。第8図において、糸の一端に生じた変位を $\Delta L'$ 、糸に実際に生じた伸びを Δl 、バネの伸びを ΔL 、糸およびバネの自然長をそれぞれ l_0 、 L_0 、引張り弾性係数を E 、 ε とすれば

(第8図) 変位に対する走糸経路長可変のモデル

$$\left. \begin{aligned} \Delta L' &= \Delta l + \Delta L \\ \Delta T &= E \frac{\Delta l}{l_0} \\ \Delta T &= \varepsilon \frac{\Delta L}{L_0} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

$$\therefore \Delta T = \frac{1}{\left(\frac{l_0}{E}\right) + \left(\frac{L_0}{\varepsilon}\right)} \Delta L \dots\dots\dots (16)$$

すなわち糸の見掛けの強伸度特性は、糸に比しバネのそう入によって弱められている。よって一定の変位に対して張力変動も当然小さく押えられる。

2) 実用されている機構は、多くは第2報第1、2図に示したようなものである。その走糸経路長変化の意味は、本報第6、8図のモデルによって充分はあくすることができよう。ただ上述の考察では質量の効果を考えなかったが、実際には糸の動特性を検討するとき無視するわけにいかない。動特性の解析は従来の論法と重複するのでここではとくに述べない。しかし質量が糸の動特性を悪くするのは当然で、第2報の議論から類推しても不用の張力変動を誘起する。

したがって走糸経路を変化させる機構は、実用上比較的ゆるやかな張力変動には効果があるが、急速な変化に対してはかえって好ましくない場合が多い。

5. 結 言

本報では非摩擦型張力装置、すなわち糸の運動をある物体で拘束し、その物体に制動を与えて張力を発生させ

る型の張力装置について、その特性を研究した。以下それらの結果を簡単にまとめる。

(1) 非摩擦型張力装置の特長は、張力の付加を巻取速度 V_a と送出速度 V_s との差により糸をドラフトして行なうことにある。このときの張力現象はドラフト野に適用した質量保存則と、糸の伸長特性関数とを結合することによって解析でき、近似的につぎの方程式が得られた。

$$l \frac{\bar{\rho}_a}{T_a} \cdot \frac{dT_a}{dt} + V_a \frac{\bar{\rho}_a}{T_a} \Delta T_a = V_s \frac{\bar{\rho}_s}{T_s} \Delta T_s + (V_a \bar{\rho}_a - V_s \bar{\rho}_s)$$

(2) 非摩擦積極拘束型は V_s を積極的に与えるもので、張力制御も速度制御に帰着する。 V_s 、 V_a ともに一定とすれば定常時の張力はつぎのようになる。

$$T_a = E \frac{V_a - V_s}{V_s}$$

(3) 非摩擦消極拘束型では、糸を巻きつけた円板に制動をかけることにより張力を生ぜしめる。 V_s は消極的に定まり、張力変化の微分方程式に円板の回転速度と張力とを関係づける方程式がつけ加えられる。張力はいこれを検出し、円板の制動力を変化させて制御する。

ΔT_s を入力、 ΔT_a を出力とすればつぎの伝達関数が与えられる。

$$G(\lambda) = \frac{V_s \frac{\bar{\rho}_s}{T_s} \lambda + \bar{\rho}_s \frac{r^2}{I}}{l \frac{\bar{\rho}_a}{T_a} \lambda^2 + V_a \frac{\bar{\rho}_a}{T_a} \lambda + \rho_s \frac{r^2}{I}}$$

周波数の低い解じょ側の張力変動はそのまま巻取り側に現われる。周波数のやや高いものは張力変動が拡大される。さらに高周波の変動になるとしだいにゲインが小さくなり、ごく高周波では巻取り側に変動がまったく現われなくなる。糸の伸びを無視すると、第1報に記した摩擦型の理論がそのまま適用できる。

(4) ドラフト野に適当な装置を組み込み、張力に応じて走糸経路長を変化させると、比較的ゆるやかな張力変動の影響を緩和することができる。

文 献

- 1) 酒井、久世；本誌，14，243 (1961-4)
- 2) “ ” “ ” 14，250 (1961-4)