ウィービング プロセス アナリシスに 関する一試論*

(第2報) 実験による検証

(昭和39年9月7日受理) 会 員 久 世 栄 一**

酒 井 哲 也

→ 摘 要 ←

目 的

第1報で導いた織機の状態転移方程式を適当な初期条件の下で解き、実際の織機によって検討した。

成 果

- (1) 金網織機においては、理論値と実験値とは定量的にかなり良い一致を示した。
- (2) 普通の綿自動織機においては、理論値と実験値とは次数的にかなり良い一致を示し、本理論によって少なくとも定性的には十分満足すべき程度に製織過程をはあくしうることが期待される。

1. もっとも簡単な場合の実験

われわれは前報において、通常のウィービング プロセスに関し、つぎのような状態転移の方程式を導いた。

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Delta L}{dt} &= \left(\frac{\partial X}{\partial L} \right) \Delta L + \left(\frac{\partial X}{\partial T} - \frac{B}{A+B} \frac{\partial Z}{\partial T} \right) \Delta T + \Delta f \\ \frac{d\Delta T}{dt} &= - \left(\frac{A \cdot B}{A+B} \frac{\partial Z}{\partial T} \right) \Delta T + \Delta g \\ A &= \frac{E_f}{l_{of}}, \quad B = \frac{E_y}{l_{oy}} \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

ここに T は張力, L は布側から計った織前位置, Δ はその変化分を示す。 X はよこ糸間隔, Z は送り出し量, $\Delta f, \Delta g$ はプロセスに入る外乱, E_f, E_y は布あるいは糸の引張り弾性係数, l_{of}, l_{oy} は布あるいは糸の自由長である。

本報では上述の方程式を実際の織機について検討する。まずもっとも簡単なプロセス例として導いた結果について述べよう。すなわち布生成が織前位置よってのみ定まり、張力が関係しない場合であるが、筆者らはこの条件が金網の製織においてかなり満足され

ていると考え、金網織機で実験を行なった。

1.1 実験 I

定常で製織していて適当時期に止め、織前位置を微小量だけ前方あるいは後方にずらせる。織機側に近寄る場合を $-$, 遠ざかる場合を $+$ と規約して区別しよう。織前位置をずらせてからふたたび製織を始め、十分時間の後ほとんど状態が元にもどつたと見られるとき停止してよこ糸間隔に生じた変化を読みとる。第1, 2図はその測定例で、定常よこ糸間隔 0.55 mm, 初期条件とし

(第1図) 織前位置を $-$ にずらせた場合のよこ糸間隔の変化

(第2図) 織前位置を $+$ にずらせた場合のよこ糸間隔の変化

* Study on Weaving Process Analysis. Part 2: Experimental Investigations. (第1報は 17巻, 11号に所載)

** E. Kuse and T. Sakai, Members. 東京工業大学

て $t = 0$ で $\Delta L_0 = -1.5 \text{ mm}$ および $+1.0 \text{ mm}$ を与えたときのものである。いずれも織前位置の変化によって、顕著なよこ糸間隔変化が起きたことが認められる。(1)式からこのような場合の織前位置に関する方程式は

$$\frac{d \Delta L}{d t} = \left(\frac{\partial X}{\partial L} \right) \Delta L$$

$$\therefore \Delta L = \Delta L_0 \cdot e^{\left(\frac{\partial X}{\partial L} \right) t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

となるから、よこ糸間隔の変化は

$$\left(\frac{\partial X}{\partial L} \right) \Delta L_0 \cdot e^{\left(\frac{\partial X}{\partial L} \right) t} \quad \dots\dots\dots (3)$$

によって計算される。一方よこ糸間隔を 0.5 mm から 0.83 mm まで 5 段階に変え、各間隔における織前位置を求めてグラフにした結果第 3 図が得られた。かなり良

(第 3 図) 金網織機における織前位置とよこ糸間隔の関係

い一次関係がみられるが、実験例に使用したよこ糸間隔近傍で接線を作り $\left(\frac{\partial X}{\partial L} \right)$ を求めれば

$$\left(\frac{\partial X}{\partial L} \right) = -0.11 \quad \dots\dots\dots (4)$$

となった。(4)式の値を(3)式に代入すればよこ糸間隔の変化を計算することができ、第 1, 2 図中に破線で示したのがそのような曲線である。計算値と実験値はかなり良い一致を示すといえよう。

1.2 実験 II

ある線径のよこ糸を用い定常に製織して、あるとき突然線径の異なったよこ糸に変え、その後線径を変えたままに織り続ける。十分時間の後状態がほとんど定常になったと見られるとき織機を停止し、織前位置およびよこ糸間隔に生じている変化を測定する。第 4, 5 図は

(第 4 図) よこ糸径を大→小とした場合のよこ糸間隔の変化

(第 5 図) よこ糸径を小→大とした場合のよこ糸間隔の変化

よこ糸間隔の測定例であり、線径を変えた直後よこ糸間隔も変化するが漸次もとの定常値に復帰する模様がみられる。一方線径変化前後での定常状態における織前位置に生じた変化は約 0.45 mm であった。このような変化に関する理論的検討は前報で特に述べなかったが、前報の趣旨を演えきすることによってまったく同様に議論することができる。すでに指摘したように、ウィービングプロセスの状態変数として織前の位置 L 、張力 T 以外に一般に n 個の因子を考えてよい。いま、 L 、 T 以外の因子としてよこ糸径のみを取り上げ、径 D のよこ糸で製織し定常状態に達した後、ある時刻から径 $D + \Delta D$ の糸で織り続ける場合を考えよう。ただしこの間巻き取り、送り出しなどの操作量は人為的に変えないとする。

プロセスの状態転移式は一般に

$$\left. \begin{aligned} \frac{d \Delta L}{d t} &= [L] \Delta L + [T] \Delta T + \Delta f \\ \frac{d \Delta T}{d t} &= [L]' \Delta L + [T]' \Delta T + \Delta g \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

である。ここに $[]$ 、 $[]'$ は現象論的係数をそれぞれ L 、 T に関してまとめたものを表わす。糸径変化 ΔD による影響は Δf 、 Δg にふくませて

$$\Delta f = [D] \Delta D, \quad \Delta g = [D]' \Delta D \quad \dots\dots\dots (6)$$

として考えればよい。したがって(6)式の解は

$$\alpha^2 - [L] \cdot [T]' \alpha + \{ [L] \cdot [T]' - [T] \cdot [L]' \} = 0$$

の根を α_1 、 α_2 とすれば

$$\left. \begin{aligned} \Delta L &= c_1 e^{\alpha_1 t} + c_2 e^{\alpha_2 t} \\ &+ \frac{[T] \left(\frac{\partial T}{\partial D} \right) - [T]' \left(\frac{\partial L}{\partial D} \right)}{[L] \cdot [T]' - [T] \cdot [L]'} \Delta D \\ \Delta T &= c_1' e^{\alpha_1 t} + c_2' e^{\alpha_2 t} \\ &+ \frac{[L]' \left(\frac{\partial L}{\partial D} \right) - [L] \left(\frac{\partial T}{\partial D} \right)}{[L] \cdot [T]' - [T] \cdot [L]'} \Delta D \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (7)$$

となる。経験によれば普通 α_1 、 α_2 は負の実数をとるの

で解の形から明らかなように、糸は漸次新しい定常状態へ移行することがわかる。そのときのよこ糸間隔 $X(t=\infty)$ を計算すると

$$X(t=\infty) = X(\bar{L}, \bar{T}, D) + \left(\frac{\partial X}{\partial L}\right) \Delta L(t=\infty) + \left(\frac{\partial X}{\partial T}\right) \Delta T(t=\infty) + \left(\frac{\partial X}{\partial D}\right) \Delta D \quad (8)$$

特に積極巻き取りで、かつ送り出しも張力のみで調整されるような場合、すなわちもっとも普通の織機に対しては

$$\left. \begin{aligned} \Delta L(t=\infty) &= - \frac{\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)\left(\frac{\partial X}{\partial D}\right) \Delta D}{\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)\left(\frac{\partial X}{\partial L}\right) - \left(\frac{\partial Z}{\partial L}\right)\left(\frac{\partial X}{\partial T}\right)} \\ \Delta T(t=\infty) &= \frac{\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)\left(\frac{\partial X}{\partial D}\right) \Delta D}{\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)\left(\frac{\partial X}{\partial L}\right) - \left(\frac{\partial Z}{\partial L}\right)\left(\frac{\partial X}{\partial T}\right)} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

となって

$$X(t=\infty) = X(\bar{L}, \bar{T}, D) \quad (10)$$

であり、よこ糸径を変えて織った場合定常状態では結局よこ糸間隔に変化がなくなっていることを示している。これは金網の製織実験に見られたとおりであるし、経験的にもうなずけることであろう。

さて上記の結果を本実験の場合に適用すると、張力に関与する項が 0 となるから、結局新しい定常状態における織前の位置は元の位置に比べて

$$\Delta L = \left(\frac{\partial X}{\partial D}\right) \cdot \Delta D \left/ \left(\frac{\partial X}{\partial L}\right) \right. \quad (11)$$

だけ移動することが推定できる。実験値から $\Delta L \approx 0.45$ mm を得ているから上式に代入し

$$\left(\frac{\partial X}{\partial D}\right) \Delta D = \pm 0.45 \text{ mm} \times -0.11 \pm 0.05 \text{ mm} \quad (12)$$

すなわちよこ糸の径を変えた直後近傍ではよこ糸間隔が約 0.05 mm 程度変化しているはずである。実際実験値について糸径を変えた前後 15 個の平均よこ糸間隔を比較すると危険率 5% で有意であり

$$\#35 \rightarrow \#33 \quad \#33 \rightarrow \#35$$

$$0.511 \rightarrow 0.559 \text{ mm} \quad 0.614 \rightarrow 0.563 \text{ mm}$$

となって計算結果と良い一致を示す。第 4, 5 図の点線はその平均値を表わしている。このようにして $(\partial D / \partial X)$ の値が一度定まれば、以後任意の線径変化による影響を推算することができる。

2. 通常織機による場合の実験

この節では自動綿織機を使って実験を行ない、前節よ

り一般化された場合について状態転移式を適用してみる。使用した糸綿 30 s 双糸、よこ糸綿 30 s 単糸、組織は平織り、張力は三線ローラ方式のピックアップ部で検出、U ゲージによって変換し、増幅器を経てペンオシロに記録した。織前位置はテンブル付近にピアノ線を張り写真撮影したものから読みとった。これらの基準値としてクランク軸のバックポイントの場合をとった。

2.1 実験 I

まず係数 $(\partial X / \partial L)$, $(\partial X / \partial T)$ を求めるために張力を 2 段階、よこ糸間隔を 5 段階に変えて織前位置を測定した。その結果は第 6 図に示す。つぎに定常で製織してい

(第 6 図) 普通織機における織前位置とよこ糸間隔と張力との関係

て適当な時期に停止し、巻き取りおよび送り出し装置を操作して張力をそのままに保ちながら織前位置のみを数 mm ずらせる。その後ふたたび織り始め、定常状態へ復帰するまで数ピック毎に織機を止め織前位置の変化を測定し、また張力変動を記録した。張力については結局

実線：計算曲線 ⊙：実験値

(第 7 図) 張力を変えず織前位置をずらせて織った場合の織前位置の変化

(1) 式から明らかなように変化がなく, (1) 式を導く際考えたように使用織機の送り出し機構では $(\partial T / \partial L) = 0$ なることを示した。第7図は織前位置変化を追跡した一例を表わし, 定常時よこ糸間隔 0.6 mm の場合のものである。この変化曲線は理論式から推定される $\Delta L = \exp Kt$ ($K = (\partial X / \partial T)$: 定数) の形がかなり良くあてはまり, 適当な K を求めると

$$\left(\frac{\partial X}{\partial L}\right) \approx -0.080 \quad \dots\dots\dots (13)$$

となる。この値は第6図 $L-X$ の関係曲線の接線として考えられる値にかなり近いように思われる。

2.2 実験 II

実験 II では実験 I の逆を行なう。すなわち, 定常で織した後停止し, 巻き取り, 送り出し装置を適当に操作して織前位置を変えないままで張力だけ変化せしめる。その後ふたたび織り始め, 定常状態へ復帰するまで実験 I と同様, 張力, 織前位置の変化を測定する。第8, 9図

—: 計算曲線 ●: 実験値

(第8図) 織前位置を変えず張力を+に変え織った場合の織前位置, 張力の変化

—: 計算曲線 ●: 実験値

(第9図) 織前位置を変えず張力を-に変え織った場合の織前位置, 張力の変化

は定常よこ糸間隔 0.6 mm の場合の実験例である。ここに興味深いのは織前位置の挙動であって, もし初期に与える張力の変化量が正ならば織前位置は一時負の方向に移動し, 張力変化分を負に設定すれば織前位置は一時正の方向に移動し, やがてはいずれも原位置へ収束して行く。

状態転移式 (1) を

$$t = 0 \text{ で } \Delta T = \Delta T_0, \Delta L = 0$$

なる条件の下で解けば

$$\Delta L = \frac{\left(\frac{\partial X}{\partial T}\right) - \left(\frac{B}{A+B} \frac{\partial Z}{\partial T}\right)}{\left(\frac{\partial X}{\partial L}\right) + \left(\frac{A \cdot B}{A+B} \frac{\partial Z}{\partial T}\right)} \Delta T_0 \left(e^{\left(\frac{\partial X}{\partial L}\right)t} - e^{-\left(\frac{A \cdot B}{A+B} \frac{\partial Z}{\partial T}\right)t} \right) \quad \dots\dots\dots (14)$$

を得る。解の形から明らかなように, ΔL は 0 から漸次ある値を取り

$$\frac{d\Delta L}{dt} = 0$$

$$\therefore t = \frac{1}{\left(\frac{\partial X}{\partial L}\right) + \left(\frac{A \cdot B}{A+B} \frac{\partial Z}{\partial T}\right)} \log \frac{-\left(\frac{A \cdot B}{A+B} \frac{\partial Z}{\partial T}\right)}{\left(\frac{\partial X}{\partial L}\right)} \quad \dots\dots\dots (15)$$

なる t において極値を取り, その後ふたたび 0 に復帰する傾向を示すことが理解できよう。張力に関しては

$$\Delta T = \Delta T_0 e^{-\left(\frac{A \cdot B}{A+B} \frac{\partial Z}{\partial T}\right)t} \quad \dots\dots\dots (16)$$

となり, 第8, 9図の張力曲線にあてはめると

$$\left. \begin{aligned} \Delta T_0 \oplus \left(\frac{A \cdot B}{A+B} \frac{\partial Z}{\partial T}\right) &\approx 0.065 \\ \Delta T_0 \ominus &\approx 0.040 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (17)$$

を得る。実験例における条件では, 使用織機の機構は高い張力を下げる場合の方が復帰速度が大きいことがわかる。

さて実験 I から

$$\left(\frac{\partial X}{\partial L}\right) \approx -0.080$$

$$\text{第6図から } \left(\frac{\partial X}{\partial T}\right) \approx 0.0017 \text{ mm/g} \quad \dots\dots\dots (18)$$

実験条件から

$$\Delta T_0 = +16 \text{ g or } -27 \text{ g}$$

これらの値および (17) 式の値を使って (14), (15) 式を計算し, 第8, 9図の実験値 ΔL と比較すれば

$$\left. \begin{aligned} \Delta T_0 \oplus \left(\frac{B}{A+B} \frac{\partial Z}{\partial T}\right) &\approx 0.021 \text{ mm/g} \\ \Delta T_0 \ominus &\approx 0.014 \text{ " } \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (19)$$

を得る。 $\left(\frac{A \cdot B}{A+B} \frac{\partial Z}{\partial T}\right)$ と $\left(\frac{B}{A+B} \frac{\partial Z}{\partial T}\right)$ の値から

$$A \approx 3 \text{ g/mm} \quad \dots\dots\dots (20)$$

となる。一方 A , B を求めるにはつぎのような実験を行なえばよい。まず定常で製織して適当時期に織機をとめる。その後、織機の送り出しを行なわせぬようにし、かつよこ入れもしないで、数回織機を回転してその間の張力および織前位置の変化量を測定する。このような場合状態転移式から明らかなように

$$\left. \begin{aligned} \frac{\text{張力の変化量}}{\text{巻き取り長さ}} &\doteq \frac{A \cdot B}{A+B} \\ \frac{\text{織前位置の変化量}}{\text{巻き取り長さ}} &\doteq \frac{-A}{A+B} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (21)$$

であるから、上述実験で得られる値を代入して A , B を定めることができる。これを実験例と同じ条件について実行すると

$$\left. \begin{aligned} \frac{A \cdot B}{A+B} &\doteq 1.7, \quad \frac{A}{A+B} \doteq 0.45 \\ \therefore A &\doteq 3 \text{ g/mm} \\ B &\doteq 4 \text{ g/mm} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (22)$$

となり、先に得た A の値と次數的に割によい一致を示す。 B をさらに別の方法で求めてみよう。元来 B は

$$B = \frac{E_y}{l_{0y}}$$

である。使用したたて糸の強伸度曲線がほとんど直線であるとし引張りの弾性係数 E_y を考えると、切断強度約 350 g、切断伸度約 7% であったから

$$E_y = \frac{350}{0.07} \text{ g}$$

一方織機上のたて糸自由長は約 1300 mm と推定されたので、結局

$$B = \frac{350}{0.07 \times 1300} \text{ g/mm} \\ \doteq 4 \text{ g/mm}$$

を得る。この値もさきの値と次數的にかなり良い一致を示す。

3. む す び

以上第1報で与えた状態転移式をある初期条件の下に解き、実験値と比較したが、ほぼ満足すべき結果を得た。普通織機の場合は、厳密な実験条件の設定および実験値の測定が困難であって、しかも状態転移式を簡略化する過程で用いた一連の仮定がすべて適切であったとはいえない。特に織前位置をずらせたときよこ打の効果が仮定の範囲を越えて大きい場合も見出され、結果的には大きな修正はいらないとしても仮定の導入に一段と工夫が欲しいようなところである。

これらの事柄から本理論を一般的な問題に適用する場合精密な定量的比較は無理であるが、少なくとも定性的には十分ウィービングプロセスを具体的に説明、はあくしうるものと信ずる。なお上述仮定の問題については目下やや詳細な実験を企画しており、その結果を抱括する本理論の反省については改めて発表したい。

終わりに本研究にご討議賜わった当研究室の古島昭雄氏、金網織機を実験に供して下さった日本金網株式会社深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 久世, 酒井; 本誌, 17, 793 (1964-11)