エアジェットルームにおけるよこ糸の張力変動

豊田中央研究所 吉 田 一 徳
 “ 川 端 行 (会員)
 “ 長 谷 川 準 三 (“)

Tension Fluctuation of Weft Yarn in Air Jet Loom

K. Yoshida, S. Kawabata,
 and J. Hasegawa

*Toyota Central Res. & Develop. Labs., Inc.,
 Nagakute, Aichi-gun, Aichi*

Abstract

Yarn tension fluctuation occurring in the end stage of weft insertion were investigated experimentally and analytically.

Measurements of yarn tension in the middle position between mainnozzle and gripper were presented. These results were compared with the theoretical results and discussed in point of yarn breakage.

Upper limits of loom speed derived from relationships between yarn tensile strength and the peak tension were estimated. (Received 30 May, 1987)

摘 要

目的 エアジェットルームにおいて、よこ糸として紡績糸を用いた際のよこ入れ終了時に発生する張力上昇に関し、噴射条件、特に糸のゆるみとの関連性を中心にその発生状況を明らかにする。又、各種の紡績糸について、その張力ピークと破断強度分布をもとに、糸切れからみたよこ入れ率の上限についても検討する。

成果 エアブル方式において、メインノズルとグリッパーの中間にロードセルを設置して張力変動を測定した。その結果、局所的なゆるみを伴うことなく糸が正常に飛走する場合には、自由噴射終了時 t_b 及びグリッパ閉時 t_0 の2度にわたって張力がパルス状に急上昇し、 t_b 時に生ずる張力の伝播速度は、静止した糸を加振して求めた伝播速度に比べ30%ほど低いことが分かった。この原因は、正常飛走する場合でも糸が2%程度ゆるみを伴うためと考えられる。又リレー噴射の特徴である糸中央に局所的なゆるみがある場合についても、張力変動の発生状況を実験により明らかにした。

以上の実験結果並びに糸の強度分布からみて、よこ入れ率の上限は、よこ入れ時間をクランク角度で140°に設定して製織した場合には、P/C 45 sではおよそ1,600 m/min、綿単糸ではおよそ1,200 m/minと予想された。

(昭和62年5月3日受理)

1. まえがき

空気噴流を推進力としてよこ入れを行い布を織るエアジェットルームは最近になって急速に高速化が進み、よこ入れ率（おさ幅×回転数）が1,800 m/minを越える機種も開発されるに至っている。しかしながらこのような高速運転を実現するには強度が高く、かつ、むらの少ない糸を用いる必要があり、通常の紡績糸を用いた場合には、糸切れによる

停台が起きやすく、安定した製織は難しいように思われる。この糸切れの原因の1つとして、よこ入れ終了段階で発生する張力上昇があり、この張力上昇は高速で飛走していたよこ糸が、その上流端で瞬時に制動を受けることによって生じる。糸が完全な弾性体であるならば、この現象は一次元的な波動現象と考えることができ、比較的容易に取扱うことができる¹⁻³⁾。しかし現実には、糸は圧縮に耐えられないばかりでなく、一般にその伸長特性は非線形

であり、さらに後述するように、よこ糸飛走の際には少なからず波打っている。従ってよこ入れ終了時の波動伝播状況並びに張力波形は、通常の弾性体の場合に比べきわめて複雑となるものと予想される。

本報告ではこうしたよこ入れ終了時に生ずる張力上昇に関し、噴射条件、特に糸のゆるみとの関連性を中心にその発生状況を明らかにする。又、各種の紡績糸について、その張力ピーク値と破断強度分布をもとに、糸切れからみたよこ入れ率の上限についても検討する。

2. 記号

本報で用いる主な記号を以下に示す。

- a : 張力の伝播速度 ($= \sqrt{E/\rho}$)
- E : 弾性率 ($= dT/d\epsilon$)
- E_s : 伸長特性より求めた平均弾性数
- L : 下流端までの距離
- N : 織機回転数
- P_m : メインノズル供給圧力
- P_s : サブノズル供給圧力
- t : 時間
- T : 張力 (引っ張り方向を正にとる)
- T_p : 張力のピーク値
- v : 糸の速度
- V : 糸の先端速度
- x : 距離 (下流方向を正にとる)
- ρ : 糸の線密度
- ϵ : 線ひずみ (伸び方向を正にとる)

3. 張力変動の測定

3.1 実験装置の構成及び測定方法

本研究で取扱う張力はきわめて小さく、又、高周波の成分を含んでいる。それゆえその測定には細心の注意が必要であるが、この測定を実機で行おうとすると機械の振動や検出器の設置、さらにはその取扱といった問題があり、高精度の測定はなかなか難しい。そこで本研究では実機のかわりに、よこ入れ装置一式を静止した台上に組立てたよこ入れ試験機を使用した。試験機の構成を図1に示す。試験機では、よこ糸の貯留方式としていわゆるエアプール方式を用いており、搬送方式としてサブノズルを併用したエアガイド方式を用いている。

この試験機の動作は以下のとおりである。まず、糸巻き①より連続的にフィードローラ②によって一定速度で糸を引出し、この糸をエアプール装置③に送り込み、空気流によってU字状に浮遊させた状態

図1 よこ入れ試験機の構成

でいったん貯留する。そして糸の噴射開始に先立ってメインノズル⑥に高圧空気を送り込み、メインノズル内の圧力がほぼ定常値に達した段階でそれまで糸を把持していたグリッパー④を開放し、糸をエアガイド⑨の飛走通路内に向けて空気とともに噴射する。飛走通路の側壁には50 mm ピッチでサブノズル⑩が設置してあり、バルブを次々と切替えることによってサブノズルをリレー噴射し、エアガイドの端へと糸を運んでゆく。

図2には、本実験で用いる糸の噴射タイミング並びにバルブの切り替えタイミングを示す。織機の回転をおさ打ち時を起点とした角度で表示すると、グリッパーが開放している期間は120°から260°までの140°の期間である。又、サブノズル用バルブは、サブノズル4本に対し1個の割で計18個配置されており、糸先端に空気流が噴射されるよう、それぞれが糸の飛走にあわせて順次開弁する。

グリッパーを閉じて糸を把持した後、カッター⑦によって糸を切断する。実機では、この段階でよこ糸がエアガイドのスリットから抜け出て、おさにより布の中へと打込まれるが、試験機ではそのかわりにサブノズルを340°~60°の期間一斉に噴射して、飛走通路内に残っている糸を通路外へと排出する。

図2 噴射タイミング

よこ入れの際の糸の速度は、図2にその特徴を示すように噴射開始とともに急速に上昇し、エアプール内の浮遊糸量がゼロとなった段階で瞬時に低下し、その後グリッパーが閉じるまでの期間はフィードローラの周速に一致する。本報では前者の浮遊糸量がゼロとなるまでの期間を自由噴射期間、後者のフィードローラ周速にその速度が一致する期間を拘束噴射期間と呼び、グリッパー開放を起点とした各々の噴射の終了時刻を t_p 、 t_0 と記す。

次に糸の張力ならびに速度の測定方法について述べる。糸張力は図1に示すようにメインノズルとグリッパーの間にロードセル⑤を配置し、その検出部で糸を図のようにわずかに屈曲させ、そのときの張力の分力より算出した。このロードセルは焼き入れ鋼板製で、先端部に糸の接触位置を規制するための溝を加工し、支持部近くに、ひずみゲージを貼りつけてある。検出部を片持ち梁とみなして曲げ振動の固有振動数を計算した結果によれば、一次の振動数は4 kHz程度である。ひずみの出力の増幅には応答周波数が2 kHz (−1 dB)の動ひずみ計(新興通信製, 6001-F型)を使用した。

糸の速度は光学的な方法を利用して測定した。その方法はエアガイドの飛走通路を狭んで多数のフォトインタラプタ⑧を配置し、糸の先端が通過する時刻を次々に計測し、設置間隔と糸通過時間差とから速度を求めるものである。本実験には36個のフォトインタラプタを設置し、速度の算出にはマイクロコンピュータを組込んだデータ処理装置⑩を使用した。糸の先端速度はよこ入れのたびにわずかではあるが変化し、自由噴射終了時刻 t_p には変動係数が約2%の変動がみられる。今回の実験では100回の平均値でその速度を代表させた。

3.2 張力上昇パターン

図3に張力波形の測定例を示す。この例はよこ糸にポリエステル綿混紡糸(P/C)45sを用い、運転回転数を300 rpm、噴射長を3.66 m(よこ入れ率1,098 m/min)に設定し、又、回転数の割にサブノズルへの供給圧力 P_s を高めに設定し、飛走中の糸に局部的なゆるみが生じないようにしてよこ入れした場合の代表例である。なお、この時の t_0 は77.8 msであり、 t_p は t_0 の80%となるよう設定した。

張力は図に示すように噴射開始前後でわずかに増加し、その後いったん低下したのち、自由噴射終了時刻 t_p でパルス状に急上昇する。噴射中期で張力が低下するのは、糸速の増加に伴って糸と空気流との相対速度が減少し推進力が低下するためで、又、

図3 張力波形の測定例

t_p の際のパルス状の張力上昇は、飛走中の糸が瞬時にフィードローラの周速まで減速することにより生ずる。このパルス状の張力変化はその発生機構からいって非定常的な波動現象とみなすことができる。ここで以下のような仮定、すなわち、

- (1) 糸の動きは一次元的な運動とみなしうる、
- (2) 周囲の空気及びエアガイドとの摩擦は無視できる、
- (3) 糸は完全な弾性体とする、
- (4) 張力伝播速度に比べ糸速は著しく小さく、無視できる、

のもとで、その運動を表す基礎方程式を導けば、次式で示すよく知られた一次元の波動方程式が得られる。

$$\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、一般に a は $a = \sqrt{E/\rho}$ (ただし E :ヤング率、 ρ :密度)で与えられるが、紡績糸の場合その断面積が必ずしも明確でないので、本報では、 $E = (\text{張力})/(\text{線ひずみ})$ 、 ρ :線密度を用いることにする。

飛走していた糸の上流端が瞬時に減速すると、波動理論によれば、上流端では張力が急上昇し、張力波となって伝播速度 a で下流に向かって伝播していく。この波が下流端に達すると波は反射し、上流へと戻ってくる。その結果、このときの上流端における糸張力の波形は、下流端までの距離 L を張力波が往復する時間、すなわち、 $2L/a$ をパルス幅とした矩形波となる。又、張力のピーク値 T_p は、減速直前の張力をゼロとし、減速前後の速度差を Δv とすると、以下のようになる¹⁾。

$$T_p = a\rho\Delta v = \sqrt{E\rho}\Delta v \dots \dots \dots (2)$$

さて図3において、 t_p の際に生ずる張力上昇の波形 a をみると、その波形には、わずかにロードセルの過渡振動と思われる高周波振動が重畳しているが、これを除けばおおむね矩形波状となっている。

図からパルス幅 Δt を読取ると約4 msで、ちなみにこのパルス幅からおおよその伝播速度 a を計算すると、 L を張力計より t_p 時の糸先端までの長さ3.9 mとして、

$$a = 2L/\Delta t = 7.8/0.004 = 1,950 \text{ (m/s)}$$

を得る。

又、張力ピーク値は約110 gfであり、 $\Delta v = 49.2 \text{ m/s}$ 、 $\rho = 1.34 \times 10^{-6} \text{ kgfs}^2/\text{m}^2$ として、(2)式より伝播速度 a を求めると、 $a = 1,670 \text{ m/s}$ を得る。

このように、伝播速度の値は、算出方法によってやや異なっており、厳密に現象を説明するには、(1)式で示す波動方程式では不十分と言える。これは紡績糸という材料の持つ非線形性並びに糸の飛走状態に起因すると思われる、その理由については後述する。

この t_p の際の張力上昇の後に、a'で示す30 gfほどの張力上昇がみられる。この山は t_p の際の張力上昇のいわば余波ともいふべき山で、その発生機構としては、 t_p の際の張力上昇の後に生じた圧縮力によりいったん弛緩した糸が、その後、空気力によりよこ入れ方向に再び移動し、その時上流端で再度制動を受けることによって生じると考えられる。

次にグリップが閉じると、糸は速度ゼロまで急制動を受け、その際aと同様な原因により立上りの鋭い張力上昇bが生じ、又、その後a'と同様な原因によりb'が生じる。b'以後張力はしばらく一定値を保つが、これはサブノズルによる空気力によるものである。次いで糸はカットにより切断され、その際に糸が刃先の移動によって引っ張られ、cで示す山が生じる。cの直後に張力がわずかではあるが負の値となる。張力が負となることは測定法からいって起こりえないので、これはロードセルの過渡振動による誤差とみなすことができる。

以上、糸が局部的なゆるみを伴うことなく正常な状態で飛走する場合について張力波形の特徴を述べた。このような場合においては、その波形は比較的単純であり、張力のピーク値の問題を除いては特に現象的には注目すべき点はないようである。この張力ピーク値は(2)式で示すように伝播速度と相互に関連し、工業的な面からこれを定量的に明確にしておくことが必要である。本研究の対象である紡績糸の場合、こうした張力伝播に関する報告例がみあたらない。そこでまず基礎的に紡績糸の場合の張力伝播状況を調べた。

4. 伝播速度の測定

(1)式における伝播速度 a は一般に音速と呼ばれ、

液体・気体・金属など代表的な材料については資料が整っている。又、完全な弾性体とみなせるような材料の場合、伝播速度 a は、前述のように、 $\sqrt{E/\rho}$ で与えられるので、 E と ρ を個別に測定して計算により求めることができる。しかし紡績糸の場合には、糸内部の繊維間の摩擦や繊維の粘弾性的な特性により、その伸長特性はひずみ速度に依存することは周知であり、通常の静的引張り試験により得られる E を音速の計算に用いることは誤差が大きいように思われる。そこで伝播速度を、 E を用いた計算によらず、伝播速度の定義に従って、直接的な方法により測定することを試みた。

図4に、伝播速度測定のための装置を示す。糸は、その一端が加振器③に固定されており、受振器④で直角に曲げられたのち、水平に張りわたされ、他端が受振器⑥に固定される。この状態で、加振器③によって糸にわずかな張力パルスを印加し、そのときに2個の受振器において検知される張力の過渡波形を計測し、その波形から伝播遅れ時間を求め伝播速度を計算する。

本実験では、加振器③として、図中に示すようなプランジャタイプのソレノイドを製作し使用した。図5に、ソレノイドへの印加電圧とコイル電流式の非接触変位計を用いて測定したプランジャ変位 s の波形を示す。プランジャのストロークは1.2 mmで、プランジャが動き始めてからこの距離を移動するに要する時間は1.8 msである。プランジャが移動を終えた時点で、プランジャには衝突振動が発生するが、その振幅は0.1 mm程度とストロークに比べわずかで、その持続時間も短い。なお、コイルには50 msの間通電し、通電を停止の後は、プランジャはばね力により原位置に復帰する。

張力波の受振器としては、前述の張力測定に用いたものと同形状のロードセルを使用した。このロー

図4 伝播速度の測定装置

図5 プランジャ変位 s と張力の波形

ドセルはこの種の測定^{4,5)}によく用いられる圧電型の検出器に比べ応答性が必ずしも良くないが、しかし試料を長くすれば、伝播遅れ時間が大きくなって、応答性が低いことによる測定精度の問題は解消可能である。以上のような観点から、本実験では試料の長さを7mと比較的長く設定した。測定に際しては、糸の伸びを安定化させる目的で、50 gf 程度の初張力を与えた状態で60 cycle/minのサイクルで1分間励振したのち張力波形をオシロスコープに描かせ、その波形を写真撮影した。

図5に張力波形の観測例を併せて示す。 T_1 は受振器④で検出された張力波形で、 T_2 は反加振側受振器⑥の波形である。 T_1 は、プランジャの速度上昇に伴って直線的に増加し、プランジャが停止したのちに、ステップ状に低下する。ここで張力が低下した後、高周波の振動が生じるが、これは、受振器の過渡振動及びプランジャの衝突振動に起因すると思われる。この一連の張力変動は、7mの距離を伝わって反加振側に達し、反加振側の張力 T_2 は T_1 に対し位相が $\Delta t = L/a$ だけ遅れた波形となる。張力波はその後糸の両端で次々と反射を繰り返すので、いずれの端の張力波形にも、 $2\Delta t$ だけ遅れて次々とピークが現われ、そして次第に減衰していく。ここで、プランジャが吸引され糸端が図4の下方向に移動した際に加振側張力 T_1 は図5の例では6 gf 程度 T_2 に比べ平均的に高くなるが、これは受振器④において糸を屈曲させたためにその摩擦抵抗によって③～④間の糸の張力が増加したことによる影響であり、反加振側ではこのような現象は起こっていない。前述のようにプランジャ変位は全長に対し、0.02% 以下とわずかであるので、プランジャが変

位した④より⑥の区間の張力変化は設定張力に比べてきわめてわずかである。従って、このような摩擦の影響が受振器④における張力に現われたとしても結果に対しては何ら影響を及ぼさない。本実験では摩擦による誤差の少ない反加振側で測った静的張力を設定張力と呼ぶことにする。

以上のような張力波形の性質から、2つの受振器の伝播遅れ時間のかわりに、各々の受振器での張力波形の周期を読取ることによって伝播速度を求めることができる。先に述べた伝播遅れより求めた伝播速度と、張力波形の周期から求めた伝播速度は、読取り誤差の範囲で一致することを確認したのち、各種紡績糸について伝播速度を測定した。

図6に5種類の糸について設定張力を変更し、伝播速度 a を測定した結果を示す。いずれの糸の場合も設定張力の増加とともに伝播速度が上昇していくが、特に設定張力が小さい時にはその変化 da/dT は大きくなる。設定張力に対する線密度 P の変化は小さいので、このような伝播速度の非線形性は弾性率 E の非線形性によるものとみなすことができる。糸の種類と伝播速度の関係をみると、図中では綿糸(C) 80/2 s が最も伝播速度が高く、設定張力が50 gf において4,000 m/s に達している。又、P/C 45 s

図6 各種糸の伝播速度

表 1 試験に使用した糸の特性

糸の種類	Ne	伝播速度 a^* (m/s) (at 50gf)	伝播速度 a (m/s)	平均強度 F (gf)	最低強度 F_{min} (gf) ($=\bar{F}-3\sigma$)	上限速度 $F_{min}/a\rho$ (m/s)
cotton	20s	2800	1650	342.0	241.2	48.4
cotton	30s	3000	1670	232.8	156.0	46.5
cotton	36s	3110	1880	214.7	161.9	51.4
cotton	40s	3110	----	160.4	100.4	----
cotton	60s	3700	2030	136.8	99.9	49.2
cotton	80/2s	4150	2230	277.8	229.8	68.5
rayon	30s	2690	1870	312.0	200.0	53.2
polyester	30s	2300	1870	658.5	466.5	124.1
p.e./c.	45s	2590	1750	245.8	157.0	67.2
p.e./c.	84/2s	2690	1840	317.4	213.5	80.8
vinylon	30s	2330	1870	654.6	396.6	105.5

c. :cotton , p.e. :polyester ,
 a^* : 加振実験により測定した伝播速度 (設定張力 50 gf)
 a : 張力ピーク値より計算した伝播速度 ($a=T_p/(\Delta v\rho)$)
 ρ : 糸の線密度 (実測値)

の場合には約 2,600 m/s で、さきに述べたよこ入れ実験において張力波形から求めた値を大幅に上回っている。これらの理由については後述する。

さて次に、以上述べた伝播速度 a と前述のよこ入れ時の張力ピーク値 T_p の関係を調べた。試験に用いた糸の種類と物性値を表 1 に示す。 T_p の測定に際しては、 P_m 並びに P_s を適当に調整して、 Δv が一定となるようにしその平均値を求めた。なお、試験糸のなかには強度の低い糸も含まれているので、回転数は $N = 300$ rpm とし、 $\Delta v = 49.2$ m/s とした。それでも C 40 s の場合には糸が切れて T_p の測定ではできなかった。

次に伝播速度 a と張力ピーク値 T_p の関係を調べるに当たり、張力が 50 gf の場合の伝播速度をその糸の平均伝播速度 a^* とおくことにする。図 7 に、 $a^*\rho$ と T_p の関係を示す。図より両者の相関は高いことがわかるが、しかし $\Delta v a^*\rho$ で計算される張力に比べると、実測値は約 30% ほど小さくなっている。このような差が生じる理由としては、まず張力の関数である伝播速度を、一定とみなして計算したことによる誤差の問題があるが、それ以上に、糸の飛走中のゆるみ、並びに伸長特性の非線形性の問題が影響しているものと推定される。まず糸の飛走中のゆるみの影響であるが、 t_p 直後のよこ糸姿勢をストロボスコープを用いて観察すると、糸は延びており、その波打ち具合からみて、全長に対し 1 ないし 2% のゆるみが生じ、このゆるみはサブノズル圧力 P_s を増してもさほど減少することはない。こうし

図 7 $a^*\rho$ とピーク張力 T_p の関係

たゆるみの存在は、その量がわずかであっても、糸の弾性率 E を見掛け上大幅に減少させ、その結果、伝播速度 a さらには張力ピーク値 T_p を大きく低下させるものと推定できる。

次に伸長特性の非線形性であるが、紡績糸の場合、元来かさ高であるため、低ひずみの状態では、その剛性はきわめて低く、従って自由状態から急に張力が変化する場合には、この剛性の低い領域は見掛け上、上述のゆるみのようにふるまうと推定できる。

上記した 2 つの状態をここでは一括してゆるみと呼ぶことにし、次に急制動を受けた際のこのゆるみと張力伝播の関係式を導き、ゆるみの影響を検討する。

5. ゆるみを伴う場合の張力変化

5.1 伝播速度

ϵ と T の関係が下に凸の場合に、上流端の速度がステップ的に減速した時には、その張力波頭において張力は不連続となり、又、波頭より上流の張力及び糸の速度は一定となって、波はいわゆる衝撃波となることが知られている⁶⁾。

ここで波頭前後の微小区間を検査面にとり、波頭とともに移動する座標系において連続の方程式を適用すると、次式が得られる。

$$\rho_1(v_1 - c) = \rho_2(v_2 - c) \cdots \cdots (3)$$

ここで v はいわゆる粒子速度で、添え字 1, 2 は波頭の上流及び下流を示す。又、 c は波頭の伝播速度である。

次に同様な区間に対して運動量の法則を適用すると次式が得られる。

$$\rho_1(v_1 - c)^2 - T_1 = \rho_2(v_2 - c)^2 - T_2 \cdots \cdots (4)$$

(3), (4)式より c を消去すると、

$$T_1 - T_2 = \rho_1 \rho_2 (v_2 - v_1)^2 / (\rho_2 - \rho_1) \cdots \cdots (5)$$

を得る。上式において v_1 , v_2 及び ρ_2 はそれぞれ制動の条件並びにゆるみの程度によりその値は既知であり、又、 $T_2 = 0$ であるので、 T_1 は ρ_1 の関数として求まる。

ここで $T > 0$ におけるひずみ ϵ と張力 T の関係を、図 8 に示すように $T = E \epsilon$ で近似すれば、ひずみ ϵ と線密度 ρ_1 との関係は、 $\epsilon = 0$ における線密度を ρ_0 とすると、 $\rho_0 = (1 + \epsilon) \rho_1$ となるので、

$$\rho_1 = \rho_0 / (1 + T_1/E) \cdots \cdots (6)$$

又、 ρ_2 を ρ_0 とゆるみ率 α で表せば

$$\rho_2 = \rho_0 / (1 - \alpha) \cdots \cdots (7)$$

図 8 ゆるみ率 α

となる。(6), (7)式を(5)式に代入し $T_2 = 0$ において整理すると、

$$T_1^2 + E \alpha T_1 - E \rho_0 (v_2 - v_1)^2 = 0 \cdots \cdots (8)$$

ここで $T_1 \geq 0$ より

$$T_1 = \{-E \alpha + \sqrt{E^2 \alpha^2 + 4 E \rho_0 (v_2 - v_1)^2}\} / 2 \cdots \cdots (9)$$

を得る。

又、伝播速度 c は(3), (4)式から ρ_1 を消去し、 $T_2 = 0$ とおくと、

$$c = \frac{T_1}{\rho_2 (v_2 - v_1)} + v_2 \cdots \cdots (10)$$

を得る。上式において、 T_1 はすでに(9)式により求まっており、 ρ_2 は(7)式によって求まるので、 c は以下のようになる。

$$c = \frac{-E \alpha + \sqrt{E^2 \alpha^2 + 4 E \rho_0 (v_2 - v_1)^2}}{2 \rho_0 (v_2 - v_1) / (1 - \alpha)} + v_2 \cdots \cdots (11)$$

ここで $\alpha = 0$ の場合すなわゆるみが無い場合は伝播速度 c は $c = \sqrt{E/\rho_0} + v_2$ であり、又、 $\alpha = 1$ のときは、 $c = v_2$ となる。

図 9 に、(9)及び(10)式より求めたゆるみ率 α と、 $c - v_2$ 並びに T_1 の関係を示す。なお図は P/C 45 s の場合で、 $\sqrt{E/\rho} = 2,600$ m/s として計算してある。曲線の勾配はゆるみ率 α がゼロに近付くほど急になっており、わずかのゆるみが伝播速度を大きく減少させることがよくわかる。

さて次に、張力波が反射したのち上流に戻ってくる時の伝播速度を求める。この場合は(3), (4)式において、 $v_1 = 0$, $T_2 = 0$, $\rho_2 = \rho_0$ とおき、 c につい

図 9 ゆるみ率 α と、 T_1 及び $c - v_2$ の関係

て解くと、次式を得る。

$$c = -(1 + T_1/E)\sqrt{E/\rho_0} \dots\dots\dots (12)$$

この式は $\sqrt{E/\rho_0}$ にひずみの影響を考慮しただけであり、当然ながらゆるみとは無関係である。

図3の説明の際に、パルス幅を用いて伝播速度を求めた場合と、張力ピーク値を用いた場合とでは前者の方がやや伝播速度が高くなることを述べたが、その理由は、前者の場合は往復の伝播速度の平均値を求めたことになるのに対し、後者では下流端に達するまでの片道の伝播速度を求めたことになるためである。

張力ピークから求めた伝播速度 a は(11)式に対応し、図9より、伝播速度が1,670 m/sとなるゆるみ率は約2%と読取れ、これはゆるみ率の予想値とおおむね一致する。

以上、ゆるみと張力伝播の関係について述べてきた。ここで実務的な立場からは、よこ入れ実験を行うことなく張力ピーク値あるいは伝播速度を知りたいという要求がある。ここで導いた関係式を用いてこれを求めようとすると、加振実験によって伝播速度の測定を行う必要があり、実用的とは言いがたい。精度をある程度犠牲にしても、簡便に予測できる方法があれば実用的な意義は大きいと考え、以下に示す方法を試してみた。まず通常の引っ張り試験機(ひずみ速度1~2%/sec程度)によって $\epsilon - T$ の関係を求める。そしてその曲線から平均的な勾配を求め、これを平均弾性率 E_s とし、(2)式を用いて張力を計算する。実際に各種の糸について $\sqrt{E_s \rho}$ を求め、前述の張力ピーク値との関係をプロットした結果を図10に示す。図より両者の相関はきわめて高く、又、 Δv を代入して得られる張力は実測値によく一致し、 E_s を用いる方法は充分実用となることがわかる。この結果は周知のように弾性率がひずみ速度に依存し、伝播速度算出に対して期せずしてゆるみの影響とこのひずみ速度の影響の度合いが同程度であったために生じたものであり、物理的な意味は乏しいが、実務上は有用な結果であると言える。

5.2 噴射条件の影響

前節まではいわば正常なゆるみ状態の場合の張力伝播の特徴について述べてきた。よこ入れ条件次第では、ゆるみが極端に多くなったり、又、特定の位置に分布する場合があり、このような場合張力に対するゆるみの影響はきわめて複雑となる。そこで次に、高よこ入れ率のもとで、ゆるみと関連の深いメイン及びサブノズルの供給圧力を大きく変化させ、

図10 $\sqrt{E_s \rho}$ と T_p の関係

図11 P_s と t_p の関係

ゆるみと張力波形との関連性を検討する。

図11に、織機回転数を420 rpm(よこ入れ率1,537 m/min)に設定し、メインノズル及びサブノズルの供給圧力 P_m 、 P_s を変え t_p を測定した結果を示す。この回転数は、後述するように試験に用いたT/C 45 s糸の場合に、糸切れが頻発することなく試験可能なほぼ上限の回転数である。なお図中のプロットは100回のよこ入れの平均値を示している。又、図12に糸先端の平均速度 V を示す。図11より t_p は P_m の強い影響を受け、一方、 P_s についてはさほど影響を受けないことがわかる。しかし図12に示すように、 P_s が低くなれば、よこ入れ後半で糸先端速度が低下し、ゆるみは増加する。ここで、このゆるみはサブノズルの噴射条件からみて図13に示すように糸の中央部に集中する。すなわち図2に示したようにサブノズルはリレー噴射され、糸先端に集中して気流が吹付けられていることから、糸先端の

図12 糸の先端速度

図13 ゆりみ領域

姿勢は常に延びた状態に保たれる。又、よこ糸の上流部もメインノズルの空気力によりやはり延びた状態に保たれるので、従って P_s が低いときに生ずるゆるみは、図13に示すようにサブノズルの空気力が直接作用しない中央部に集中して分布することになる。

図14は、 P_m , P_s を変えたときの張力波形例を示す。 P_s が高い③、⑥では、 t_p と t_0 の際に独立に張力上昇が生じているが、 P_s が低くなると t_p の際のパルス波は a_1 , a_2 の2つの山に分離し、 P_m が増加するほどその時間間隔は広がっていく。このような波形の分離は糸中央に多量のゆるみがある場合の特徴的な現象で、その発生は以下の機構によるものと考えられる。すなわち自由噴射が終了すると上流端近くでは糸は延びているので上流端から張力波が高速で下流に向かって伝播していくが、波頭がゆるみの多い

図14 張力波形の変化

領域にさしかかると、波の速度は急速に低下し、同時に波の一部は反射して上流に向かって引返してくる。このときの波形が a_1 に相当する。糸の先端はこの期間も移動を続けており、この先端部が次に制動を受けた段階で a_2 で示す張力波が発生する。このように伝播の特性からいって t_p 直後に生ずる張力波のピーク値は、上流端の正常な領域のゆるみ率と速度差 Δv に依存し、糸中央のゆるみ状態には無関係である。上流端はさきに述べたようにメインノズルの空気力の影響を受けて延びており、従って t_p 直後に生ずる張力波形のかたちから、延びている領域の範囲を推定することが可能である。またこのように張力波形が、2つの山に分離する場合には、①に示すようにあとの山の一部分が、その発生タイミングによっては t_0 の際に生ずるピークに重畳し、 t_0 のピーク張力が t_p 時のそれよりも高くなることもある。

6. 糸切れからみたよこ入れ率の上限

織機を高速化した場合、よこ糸速度は高くなってそのぶん張力も増し、糸切れによるミスの発生頻度は高くなる。通常、工場において効率よく布を織るためには、よこ入れミス頻度は10万ピックに1回以下が要求され、ここでは、各種の糸について、こうした要求を満たしてよこ入れできるよこ入れ率の上限を求めることにする。最初によこ入れ率の上限を求めるに当たり、よこ入れの上限を与える速度差 Δv を求める。

紡績糸の場合、破断強度は通常一定ではなく、かなり大きなばらつきを持っている。ごくまれに発生する糸切れを考える場合は、強度分布の裾にあたる分布の形が重要な意味を持ち、これに何らかの方法で求めておく必要がある。図15はヤーンストレングステスター（Zellweger Uster 社製）を用いて行った強度試験の一例であるが、分布の形をここで仮に正規分布とみなすならば、裾の部分の出現確率は、図16のようになって、出現確率が1回以下/10万回となるのは $\bar{F} - 5\sigma$ となる。ただし $\bar{F}$ は平均強度、 σ は標準偏差である。しかしながら現実の問題として、強度分布の裾にあたる部分は糸の管理状態に関係し、高速で織機を運転する際には充分な糸質の管理がなされるはずである。そこで充分な管理を期待し、やや楽観的ではあるが1回以下/10万回の出現確率となる強度 F_{min} を、 $F_{min} = \bar{F} - 3\sigma$ で見積ることにする。このように F_{min} を決めるならば、P/C 45 s の場合、 F_{min} は157.0 gf となる。表1には、各種の糸についての F_{min} が示してある。 F

図15 破断強度分布 (n = 100回)

図16 出現確率 (正規分布と仮定した場合)

min が決まれば先に示した T_p の結果を用いて F_{min} に対応する速度差 Δv が求まり、P/C 45 s の場合には、 F_{min} に対応する速度差として 67.2 m/s が得られる。又、表 1 をみると、同じ綿糸であっても番手や双糸、単糸の違いにより速度差 Δv の上限値がばらついているが、一般に糸の種類によりその用途を考えて原料の質や糸構造が選択されるという紡績糸の実情を考えれば、むしろこの結果は当然と言える。ともあれ綿単糸の場合には、50 m/s あたりが Δv の上限の一応の目安と考えられ、ビニロン糸やポリエステル糸などの化繊糸では、 Δv が 100 m/s を超えるような高速製織が可能であることがわかる。

次によこ入れ率の上限を求める。エアジェットルームのよこ入れ時間は、糸貯留装置の如何にかかわらず通常クランク角度で 140° 程度に設定される。織幅や回転数が変わってもこの角度が保たれるとすれば、よこ糸の平均速度 (織幅/よこ入れ時間) とよこ入れ率 (織機回転数 $\times$ 織幅) とは比例することになる。しかし、 Δv については貯留装置や噴射条件に依存する。図17は、本実験に用いたエアブル装置を貯留装置として使用し、織幅及び回転数を変えて、糸速を測定した結果を示す。条件によってややばらつきはあるが、 t_p での速度差 Δv についてもよこ入れ率に比例するとみてよい。又、糸の種類が変わっても、図17の斜線の範囲はほぼ一致する。従って、速度差 Δv が求まれば、図よりよこ入れ率が求まる。P/C 45 s の場合は、よこ入れ率の上限はおおよそ 1,600 m/min となり、綿単糸のそれはおよ

図17 よこ入れ率と糸速の関係

そ 1,200 m/s である。

7. まとめ

エアジェットルームにおいて、よこ糸として紡績糸を用いた際のよこ入れ終了時に発生する張力上昇に関して実験により調べ、次のような結果を得た。

(1) エアブル方式において、局部的なゆるみを伴うことなく糸が正常に飛走する場合には、自由噴射終了時 t_p 及びグリップ閉時 t_0 の 2 度にわたって張力がパルス状に急上昇する。

(2) t_p 時に生ずる張力波の伝播速度は、加振実験により求めた値に比べ 30% ほど低い。その原因としては、糸が正常に飛走する場合でも、わずかではあるがゆるみを伴うためと考えられる。

(3) ゆるみ率と伝播速度の関係式を導き、ゆるみの張力上昇に及ぼす影響を明らかにするとともに、リレー噴射の特徴である糸中央に局部的なゆるみがある場合について、張力波形の発生状況を実験により明らかにした。

(4) よこ入れ時間がクランク角度で 140° の場合、糸切れ率からみたよこ入れ率の上限は、P/C 45 s ではおよそ 1,600 m/min、綿単糸ではおよそ 1,200 m/min と予想された。

参考文献

- 1) W. J. Lyons: Impact Phenomena in Textiles, 1963, M. I. T. Press
- 2) N. Cristescu: 衝撃塑性学, 1967, 黒崎永治訳, コロナ社
- 3) 団洞篇: 繊維機械学会誌, 32, No. 10, (1979), 33
- 4) 千布正雄: 繊維機械学会論文集, 23, No. 1/2, (1970), 16
- 5) 伊藤平八郎: 繊維と工業, 3, No. 10, (1970), 709
- 6) J. C. Smith, J. M. Blandford & K. M. Towne, Text. Res. J., 32, (1962), pp 67-76