Air-Drag Coefficient of Polyester Textured Yarns

SINTANI Ryuji* and OKAJIMA Atsushi**

*Industrial Research Institute of Ishikawa, Ro-1 Tomizu-machi, Kanazawa 920-0223, Japan

**Faculty of Engineering, Kanazawa University, 2-40-20 Kodatsuno, Kanazawa 920-8667, Japan

Received 22 August 2001; accepted for publication 7 May 2002

Abstract

The correspondence to consumer needs and the development of high value added products are required for the textile manufactures. The textile manufacture is obliged to shift to a large variety and small quantity of production. The improvement in efficiency of warp preparation and a quick determination of weaving conditions (air pressure and injection timing) is important to the air jet loom (AJL).

In order to obtain basic data for determining quickly the weaving conditions in AJL of the profile reed with sub-nozzles, the air-drag coefficient of eight kinds of polyester textured multi-filament yarn was measured, and the factors which affect the air-drag coefficient of yarn were investigated. The following conclusions were obtained as a result.

- (1) The air-drag of polyester textured yarns which are 16.5 tex and 33.9 tex with 96 filaments became the largest.
- (2) Measuring the diameter of polyester textured yarn used in the experiment, the diameter changes with the static loads and approaches to about 1.8 times as long as the equivalent diameter calculated from yarn count.
- (3) The air-drag coefficient of polyester textured yarns used in the experiment is explained as a function of a Reynolds number.

Key Words: air-drag coefficient, polyester textured yarn, weft insertion, air jet loom

ポリエステル加工糸の空気抗力係数

新谷隆二* 岡島 厚**

1. 結 論

織物製造業では消費者ニーズへの対応、高付加価値製品の開発が必要となっており、多品種少量生産への移行が余儀なくされている。織物製造業におけるエアジェットルーム (AJL) を使用した多品種少量生産では、品種変更に伴う段取り換えを迅速に行うことが必要であり、たて糸準備の効率化と製織条件 (空気圧力と空気噴射タイミング) の決定が重要な課題として挙げられる。ここで製織条件について注目すると、製織条件の決定は実際に試織を行い、よこ糸の飛走状態を確認しながら行っているため、未だ経験と勘によるところが大きい。特に製織現場では、よこ糸飛

走不良で織機が停止するのを防ぐため、空気圧力を高めに設定する傾向がある。

AJL は、空気と糸との摩擦により糸を搬送し、よこ入れを行う織機である。ここで重要になるのは、糸の空気抗力係数であり、AJL で製織される糸のほとんどが短繊維であることから、糸の空気力学的性質を表す短繊維の空気抗力係数について、樋口ら[1]が報告している。化学繊維に関しては、Gould ら[2]が、一様流中で両端を固定した状態におけるモノフィラメントの空気抗力係数を実験的に計測し、直径を代表長さとするレイノルズ数で整理できることを明らかにしている。八田ら[3]は、スパンデックス糸の空気抗力係数を明らかにしている。これらの研究から糸の空気抗力係数は、糸種によって異なることが明らかとなっ

* 連絡先 石川県工業試験場, 920-0223 金沢市戸水町口 1 番地, FAX: 076-267-8090,

** 金沢大学工学部, 920-8667 金沢市小立野 2-40-20, TEL. 076-234-4744

ている。また、いずれも吸い込み風洞を用いた実験であり、マルチフィラメントについては、ほとんど報告されていないのが現状である。

そこで本研究では、現在主流となっている変形おさ補助ノズル方式の AJL における製織条件の決定を迅速に行うための基礎データを得ることを目的として、マルチフィラメント糸であるポリエステル仮燃加工糸 8 種類の空気抗力係数を測定し、糸の空気抗力係数に影響する要因について検討したので報告する。

2. 記号

本報で用いた主な記号を以下に示す。

C_f	: 空気抗力係数
d_e	: 糸の等価直径
d	: 糸の代表直径
F	: 空気抗力
L	: 空気流に触れる糸長
P	: メインノズル圧力
Q_0	: 標準状態における供給流量
Re_d	: 糸の代表直径を代表長さとするレイノルズ数
T	: 糸への荷重
U	: 加速管内空気速度
ε	: 糸の伸び率
ν	: 空気の動粘性係数
ρ	: 空気の密度

3. 実験装置および実験方法

3.1 実験装置

Fig.1 Schematic diagram of experimental equipment

図 1 にポリエステル加工糸の空気抗力を求めるために用いた実験装置の概略を示す。従来の研究では、吸い込み風洞を用いて実験しているが、本研究においては、特別な実験装置を使わず製織現場で簡便に実験できるように、実際の AJL で使用されている加速管長さ 200 mm、出口内径 3.9 mm のメインノズルを用いた。空気抗力の測定には、3 点式の張力計（IRO 製 Yarn Tension Meter 最大荷重 200 cN）を用いた。また、図 1 に示すように、メインノズル入口部での空気圧力測定には、半導体型圧力変換器（豊田工機製 PMS5-10H）、また、供給流量の測定には、質量流量計（CKD 製）を用いた。

3.2 実験方法

(1) 空気抗力

空気抗力 F の測定は、図 1 に示すように、供試糸の左端を固定した片端支持の状態で行った。このときの糸長はメインノズル加速管内に糸先端が存在するように、把持点から 350 mm の長さとした。また、メインノズル圧力 P を 300 kPa まで変化させ、サンプリング周波数 1 Hz で 150 秒間空気抗力と圧力および供給流量の測定を行った。

マルチフィラメント糸は、フィラメント 1 本 1 本が絡み合った複雑な形状をしているが、本報告では、円柱断面と仮定し、空気流と平行に置かれた円柱断面の空気抗力 F は次式で与えられるものとした。

$$F = \frac{1}{2} C_f \rho U^2 \pi d L \quad (1)$$

式(1)から空気抗力係数 C_f は次式となる。

$$C_f = \frac{2F}{\rho U^2 \pi d L} \quad (2)$$

ここで、 U は加速管内の空気速度、 d は糸の代表直径、 L は空気と触れる糸の長さである。

Fig.2 Over view of four test yarns

ポリエステル加工糸は、レギュラー糸と比較して低荷重域（後述のように 0.2 N 以下）での伸びが大きく、このときの直径変化も大きいために、より有用な空気抗力係数を算出するには、糸の伸びと直径変化を考慮する必要がある。

そこで式(2)において、厳密には加速管内の空気速度、糸に掛かる張力は、場所によって異なり、糸の代表直径および伸び率も糸の張力によって異なることになるが、簡単化のため、空気速度については、場所によって変化しないものと仮定し、糸の代表直径および伸び率については、静的な特性の適用を試みた。

(2) 強伸度試験

空気と触れる糸長 L に、糸の静的な特性としての空気抗力に対する伸びを考慮するため、インストロン製の万能材料試験機（4301 型）を用いて、供試糸の強伸度試験を行った。JIS の試験方法によれば、初荷重としてかさ高加工糸の場合、8.82 mN×（表示テックス）を付加する必要があるが、本実験においては、初期の伸び率が重要と考え、初荷重 0 N として実験を行った。

(3) 代表直径

マルチフィラメント糸で、糸を円柱と仮定した場合の直径には、糸の繊度と比重量から求められる等価直径 d_e を用いることが多い。加工糸の場合、レギュラー糸と比較して糸の直径変化が大きいので、等価直径を用いることは適当でないと考えられる。そこで、糸の代表直径 d の測定に

は、非接触外径測定器（ZIMMER 製 PORTABLE DIAMETER MONITOR 460D/2 測定範囲 0～2 mm）を用いた。供試糸 300 mm の片端を U ゲージ式荷重変換器（ミネベア製 UT-100g）に固定し、他端の自由端を引張した。非接触外径測定器は、固定端から 150 mm の位置に設置した。

3.3 供試糸

実験には、繊度とフィラメント数が異なる 8 種類のポリエステル仮撚加工糸を用いた。図 2 に 8 種類のうち 4 種類の供試糸外観を示す。図に示すように、供試糸はフィラメント 1 本 1 本が複雑に絡み合い、弾力性に富んだ構造であ

Table 1 Test yarns

No.	Yarn Count [tex]	Number of Filaments	Equivalent Diameter [μm]
1	8.7	48	89.5
2	8.1	72	86.2
3	16.5	48	123.2
4	16.5	96	123.2
5	21.7	48	141.3
6	21.7	72	141.3
7	33.2	72	175.0
8	33.9	96	176.8

ることがわかる。表 1 に、供試糸の繊度とフィラメント数を、等価直径 d_e の値とともに示す。

4. 実験結果および考察

4.1 空気抗力

図 3 は、実験により得られた空気抗力を示す。横軸は、標準状態（0℃，101.3 kPa）に換算した供給流量 Q_0 である。図 3 からわかるように、約 $1.3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ の供給流量までの空気抗力 F は糸種によらずほぼ同じ値である。

この流量範囲では、加速管内に置かれた糸が管壁との接触等により糸種による変化が現れなかったと考えられる。

また、それ以後の空気抗力は、糸種によりその傾向は異なるが、供給流量にほぼ比例して増加している。フィラメント数 96 の 16.5 tex と 33.9 tex の糸の空気抗力は、他の糸の空気効力より大きい。8.1 tex / 72 f と 16.5 tex / 48 f の糸の空気抗力は、一番小さい。その他の糸の空気抗力はこの中間にあり、実験した糸では 3 グループに分かれるようである。

空気抗力は、AJL でよこ入れを行う場合に糸を加速する力となる。このことから、16.5 tex / 96 f と 33.9 tex / 96 f の糸は、実験に用いた他の糸よりメインノズルの噴流による加速力が一番大きく、8.1 tex / 72 f の糸の場合、メインノズル噴流による加速力が実験した糸の中で一番小さくなると考えられる。

4.2 供試糸の強伸度

実験に用いたポリエステル加工糸はかさ高性を有し、図 2 に示したようにフィラメントが直線状ではなく曲線状となっているため、通常のポリエステル糸より小さな荷重での伸びが大きい。そこで、前節で得られた空気抗力の範

囲における強伸度試験の結果を図 4 に示す。縦軸は荷重 T 、横軸は伸び率 ϵ である。AJL におけるよこ入れ中の糸に作用する張力は、それ程大きくはなく、経験上 0.2 N 以下であることが知られている。それゆえ AJL のよこ入れを考える場合 0.2 N 以下での強伸度が重要であり、図 4 から糸種によって、0.2 N 以下での伸び率が大きく異なることがわかる。

AJL のよこ入れに重要と考えられる荷重範囲よりも大きい荷重範囲での強伸度試験結果を用いて、最小二乗法を用いて次式で近似した。

$$T = c_1 \epsilon^{c_2} \tag{3}$$

ここで、 c_1 と c_2 は定数である。

16.5 tex / 96 f の糸について、求めた近似曲線を図 5 に示す。得られた曲線の相関係数は 0.98 である。同様に、他の糸について求めた近似曲線の定数を表 2 に示す。いず

Fig.4 Tenacity of polyester textured yarn

Fig.3 Air-drag of polyester textured yarn

Fig.5 Curve fitting for tenacity of polyester textured yarn of 16.5tex/96f

Table 2 Results of Curve fitting for tenacity

No.	Yarn kind	c_1 [N]	c_2
1	8.7tex/48f	0.1275	1.93
2	8.1tex/72f	0.0005	4.73
3	16.5tex/48f	0.0001	5.46
4	16.5tex/96f	0.0078	3.23
5	21.7tex/48f	0.0195	2.69
6	21.7tex/72f	0.0039	4.21
7	33.2tex/72f	0.0048	4.44
8	33.9tex/96f	0.1039	3.32

れの場合も得られた曲線と実験データとの相関係数は 0.96~0.98 であった。

4.3 供試糸の糸直径

前節においても説明したが、ポリエステル加工糸はかさ高性を有している。図 6 は代表直径 d について、16.5 tex / 96 f の糸の荷重に対する変化を示すが、特に荷重 0.2N 以下における糸の代表直径変化が大きいことがわかる。図中の破線は、表 1 に示した等価直径 d_e である。16.5 tex / 96 f

Fig.6 Characteristic diameter of polyester textured yarn of 16.5tex/96f

Table 3 Results of Curve fitting for characteristic diameter

No.	Yarn kind	c_3	c_4
1	8.7tex/48f	133.0	-0.101
2	8.1tex/72f	121.6	-0.163
3	16.5tex/48f	198.6	-0.146
4	16.5tex/96f	194.5	-0.147
5	21.7tex/48f	257.0	-0.103
6	21.7tex/72f	250.3	-0.113
7	33.2tex/72f	332.4	-0.092
8	33.9tex/96f	321.2	-0.106

の糸の場合、荷重 0.2 N 以上ではほぼ一定の代表直径になることがわかる。しかしながら、一定となる代表直径は、等価直径よりは大きく、等価直径の約 1.8 倍である。

代表直径と荷重の関係を、最小二乗法を用いて次式で近似した。

$$d = c_3 T^{c_4}$$
(4)

ここで、 c_3 と c_4 は定数である。また、式(4)で使用する荷重 T の単位は N、計算される代表直径の単位は μm である。

16.5tex/96f の糸について、得られた曲線の相関係数は 0.96 である。同様にして、他の糸について求めた近似曲線の定数を表 3 に示す。いずれの場合も得られた曲線と実験データとの相関係数は 0.89~0.96 であった。

また、式(4)では、 $T \rightarrow 0$ のとき $d \rightarrow \infty$ となるため、 $d > 3c_3$ となる場合、 $d = 3c_3$ とした。

4.4 空気抗力係数

糸の空気抗力係数を求めるにあたり、前節で求めた糸の静的な特性の適用を試みた。すなわち、空気速度 U に対して得られた空気抗力を T_1 として、式(3)を用いて式(5)で計算した伸び率 ε を空気と触れる糸の長さ L に考慮し、式(4)を用いて式(6)で計算した値を代表直径 d とした。

$$\varepsilon = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} \left(\frac{T}{c_1} \right)^{\frac{1}{c_2}} dT$$
(5)

$$d = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} c_3 T^{c_4} dT$$
(6)

$$\text{Re}_d = \frac{Ud}{\nu}$$
(7)

式(5)と(6)で得られた値を式(2)に代入して計算した空気抗力係数 C_f を式(7)の糸の代表直径を代表長さとするレイノルズ数 Re_d で整理した結果を図 7 に示す。図中に示す実

Fig.7 Air-drag coefficient of polyester textured yarn

線は, Gould ら[2]の両端支持の条件下でのモノフィラメントによる実験結果である. 図から空気抗力係数のレイノルズ数に対する変化は, 織度には依存せず, 図3の空気抗力と同じように3つのグループに分かれている. 特にフィラメント数96本の糸16.5 tex と33.9 tex が, 実験した中では一番大きな空気抗力係数となった. また, 得られた空気抗力係数は, Gould らの結果よりもかなり大きな値を示している. この理由としては, ポリエステル加工糸は糸の構造から空気との接触面積が多いことと, 実験条件が片端支持であるので, 主として自由端の振動や曲率を持つことにより, 空気抗力係数が大きくなったものと考えられる.

また, これまでの糸の空気抗力係数を求める実験は, 空気流の安定性から吸い込み流を用いており, レイノルズ数としては400以下であり, 1000以上の大きな値での実験が行われていない. しかし, 本実験では, エアジェットルームに用いられるメインノズルを用いた噴き出し流であり, 乱流中での実験であるにも関わらず, レイノルズ数の増加による空気抗力係数の変化に関しては, Gould ら[2]の結果と同じ傾向がある.

このことから, 吸い込み流を用いた実験では, 空気抗力係数は400以上のレイノルズ数でほぼ一定になると考えられていたが, 噴き出し流を用いることにより, 1000から10000までの大きなレイノルズ数においても, 空気抗力係数をレイノルズ数の関数として扱うことができると考えられる.

Gould ら[2]や岩木ら[4]によれば, 糸の空気抗力係数 C_f は式(7)で与えられるレイノルズ数の関数として次式で表されている.

$$C_f = K Re_d^n \quad (8)$$

表4には実験値から最小二乗近似により得られた式(8)の K と n の値を示す. Gould ら[2]によれば, 式(8)における比例定数 K は糸のしまり具合等を表し, 指数 n は表面の滑らかさを表すと考えられている. 実験に用いたポリエステル加工糸の n の値は, 織度およびフィラメント数によらず -0.76 であることが明らかとなった. また, ポリエステル加工糸の代表直径は, 荷重0.2 N以上のとき前述のように織度から求められる等価直径の約1.8倍であり, 荷重の変化に対して直線的でなく, 指数関数的に減少している. この荷重に対する代表直径の変化が, 式(8)における比例定数 K の(糸のしまり具合を表すと考えられる)値に大きく影響し, 3グループ分かれたものと考えられるが, その有意性については明確ではなく, 今後の検討課題である.

空気速度と糸の直径が与えられた場合, レイノルズ数から空気抗力係数を求め, 空気抗力を計算した後, 得られた空気抗力により糸の伸びと糸の直径を再計算し, 空気抗力の値が収束するまでレイノルズ数の計算からを繰り返し行うことにより, ポリエステル加工糸の空気抗力を求める

Table 4 Results of Curve fitting for air-drag coefficient

No.	Yarn kind	K	n
1	8.7tex/48f	7.72	-0.76
2	8.1tex/72f	5.04	
3	16.5tex/48f	5.04	
4	16.5tex/96f	14.8	
5	21.7tex/48f	7.72	
6	21.7tex/72f	7.72	
7	33.2tex/72f	7.72	
8	33.9tex/96f	14.8	

ことが可能となる.

5. 結論

現在主流となっている変形おさ補助ノズル方式の AJL における製織条件の決定を迅速に行うための基礎データを得ることを目的として, マルチフィラメント糸であるポリエステル加工糸8種類の空気抗力係数を測定し, 糸の空気抗力係数に影響する要因について検討した結果, 以下の結論を得た.

- (1) 実験したポリエステル加工糸の中では96フィラメントの16.5 tex と33.9 tex の糸の空気抗力が一番大きくなった.
- (2) 実験に用いたポリエステル加工糸の代表直径を計測した結果, 荷重によって代表直径は変化し, 荷重0.2 N以上で織度から求められる等価直径の約1.8倍に近づく.
- (3) 実験したポリエステル加工糸の空気抗力係数は, 糸の代表直径を代表長さとするレイノルズ数の関数として表され, このときの指数は, 織度およびフィラメント数によらず -0.76 であることが明らかとなった.
- (4) エアジェットルームのメインノズルを用いた噴き出し流で実験を行った場合, 1000から10000までのレイノルズ数においても, 空気抗力係数をレイノルズ数の関数として取り扱うことができると考えられる.

References

- [1] Higuchi K. and Kasahara Y.; J. Text. Mach. Soc. Japan, **15**, 4, T335 (1962)
- [2] J. Gould and F. S. Smith; J. Text. Inst., **71**, 1, p.38 (1980)
- [3] Hatta K., Kinari T., Shintaku S and Iwaki N.; J. Text. Mach. Soc. Japan, **50**, 8, T216 (1997)
- [4] Iwaki N., Kinari T. and Yamazaki H.; J. Text. Mach. Soc. Japan, **41**, 10, T145 (1988)