ス テ ー プ ル 開 織 作 用 の 研 究

(第 3 報) 繊維の空気抵抗特性

旭化成(株)繊維研究所 木 田 徳 郎 (会員)

Mechanism of Fiber Separation Part 3: Air Drag Properties of Fibers

Tokuro Kida

Textile Research Laboratory,
Asahi Chemical Industry Co., LTD. Takatsuki, Osaka-fu

Abstract

The air drag properties of fibers have been investigated through measuring individual fibers and fiber bundles with a wind tunnel apparatus. The air drag force F of an individual fiber in both parallel and perpendicular directions to air flow is expressible as

$$F = C \frac{\rho}{2} v^2 d l$$

Where C is a drag coefficient, ρ and v are the density and the velocity of air, respectively. d and l are the diameter and the length, respectively, of a fiber specimen.

The drag coefficient C is a function of Reynolds number Re and $1.82Re^{-0.71}$ for the parallel direction and $8.13 Re^{-0.55}$ for the perpendicular direction. The former is much smaller than the latter.

The effects of fiber crimp cannot be ignored for the parallel direction. They are due to the drag effect by the perpendicular components of the fiber crimp.

If a fiber bundle which is not so compact, the drag force depends chiefly on the drag behavior of individual fibers. If the bundle are compact like twisted yarns, the drag force depends mainly on the dimension of the assembly.

(Received July 17, 1968)

摘 要

目 的 風洞を用いて種々の単繊維および繊維束の空気抵抗特性を測定した。

成 果 単繊維に作用する空気抵抗力 F は、繊維軸方向、垂直方向とも

$$F = C \frac{\rho}{2} v^2 d l$$

で表わされる。ここに ρ : 空気密度, v : 流速, d : 繊維直径, l : 繊維長, C : 抗力係数である。 d を長さ代表値としたレイノルズ数 Re を用いれば、繊維軸方向の C は $1.82Re^{-0.71}$ で、垂直方向の C , $8.13 Re^{-0.55}$ よりもかなり小さい。

クリップの繊維軸方向抵抗力におよぼす影響は、流れと垂直方向の成分を含むので無視できない。集束密度が小さい繊維束の空気抵抗は構成繊維数に依存し、加熱された糸のように緊密な繊維束では、集合体の形態の効果が大きい。

(昭和43年7月17日 受理)

1. 緒 言

前報ではカードワイヤー面付近およびゲージ間隙間における空気流の挙動を調べ、気流特性を明らかにした。^{1,2)} その結果梳綿機において繊維に作用する気流の相対速度は比較的大きく、開織における空気力学的作用の1

つとして繊維の空気抵抗特性を明らかにする必要があると考えられた。

繊維の空気抵抗については、糸、綿塊を対象としたいくつかの研究があり、^{3~6)} 単繊維については Anderson ^{7,8)} らが測定しているが十分なものではない。

本報では単繊維の軸方向および垂直方向の空気流によ

る空気抵抗特性を明らかにし、開織作用におよぼすその寄与程度を把握しようとするものである。

2. 理 論

空気流中の物体がうける空気抵抗力 F は、

$$F = C_D \frac{\rho}{2} v^2 A \dots\dots\dots (1)$$

で表わされる。ここに ρ は空気密度、 v は流速、 A は流れに垂直な平面への物体の投影面積である。 C_D は抗力係数で無次元の数である。

流れに垂直に置かれた直径 d 、長さ l の円柱棒の空気抵抗力 F_D は、その抗力係数を C_D として(2)式で与えられる

$$F_D = C_D \frac{\rho}{2} v^2 dl \dots\dots\dots (2)$$

C_D はレイノルズ数 $Re = dv/\nu$ によって変化し、 ν は空気の動粘性係数である。繊維については直径 d がきわめて小さいうえに正確でなく、 C_D とレイノルズ数との関係は従来明らかにされていない。

直径に比して長さがあまり大きくない円柱棒の、軸方向の空気流による抵抗力 F_p は $A = \pi d^2/4$ として(1)式が用いられるが、繊維のように直径が長さに比して著しく小さい場合については適用されない。この場合の抵抗力は円柱表面の摩擦抵抗によるものと考えられるから、繊維の表面積に比例し、したがって dl に比例する。そこで繊維軸方向の空気抵抗力 F_p も(2)式の形で表わされるものとして取り扱う。ただしこの場合の抗力係数は C_p とする。

3. 実験方法

3.1 測定法

装置は第1報で用いた断面 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ の風洞を用いた垂直型の風洞装置および微量天秤を用い、風速は標準ピトー管によって校正した熱線型風速計により測定した。

垂直方向の気流に対する繊維の空気抵抗力は、第1図のように1辺 5cm の正方形の薄い金属棒に繊維試料10本をたるまない程度に張り、第2図(a)のように風洞内部から微量天秤に接続して測定した。

繊維軸方向の気流については、トーション バランスを用いた第2図(b)のように直接試料を風洞内に垂下し、風洞上端から 30cm の基準位置からとった試長に対する抵抗力の増加を測定した。風速は、 $3 \sim 15\text{m/sec}$ まで 3m/sec ごとに变化した。

3.2 試料

繊維はアクリル、ポリプロピレン、キュプラおよびナイロンのトウあるいはフィラメント糸を用い、それらより単繊維を分離して試料とした。

試料

第1図 試料取付棒

第2図 測定装置

単繊維は $1 \sim 40\text{den}$ の範囲にあり、クリンプの有無が含まれる。単繊維に対する比較試料としてアクリル紡績糸、綿糸を用い、これらの試料を第1表に示す。

第1表 試 料

織 維	織 度	直 経
アクリル フィラメント	3den~40den	$22\mu \sim 69\mu$
ナイロン フィラメント	3den~10den	$21\mu \sim 35\mu$
ポリプロ フィラメント	1.5den, 3den	$17\mu \sim 26\mu$
キュプラ フィラメント	1den, 2den	$11\mu \sim 15\mu$
綿 糸	30 s	0.21mm
アクリル 糸	30 s	0.29mm

繊維および糸の直径は顕微鏡で側面幅をランダムに20回測定し、その平均値を用いた。とくに紡績糸の場合は毛羽を含まないヤーン ボディを対象とした。

4. 結 果

4.1 繊維軸に垂直方向の空気抵抗

同一風速下における繊維直径と空気抵抗力の関係を、アクリルおよびナイロン単繊維について第3図に示すが、空気抵抗力は繊維径にほぼ比例して増加する。ただし空気抵抗力は試料 1cm あたりの抵抗力で表わした。

第3図 繊維直径と空気抵抗力 (垂直方向)

第4図 風速と空気抵抗力 (垂直方向)

風速の変化に対する空気抵抗力の変化は、第4図に1例を示すように、風速とともに抵抗力の増加が大きくなるが、風速の2乗に比例するまでには達しない。

ポリプロ 3den 単繊維を5, 10および20本引きそろえ集束した状態について、クリンプの有無おのおの場合を測定した結果は第5図のとおりであるが、集束本数が

第5図 集束繊維における集束本数と空気抵抗力 (垂直方向)

第6図 集束繊維における風速と空気抵抗力 (垂直方向)

大きくなると抵抗力の増加はやや小さくなる。第5図を風速との関係で表わしたものが第6図であるが、2次曲線的变化を示す。第5, 6図でクリンプの存在する試料

は、クリンプのない場合より大きい抵抗力を示しており、クリンプは集束繊維の空気抵抗力を増加することがわかる。

アクリル糸および綿糸 30 s について、風速と空気抵抗力の関係を示したものが第7図であるが、単繊維に比べてかなり大きい値を示す。

単繊維や糸は円柱棒と見なすがたいが、平均径 d を直径とする円形断面として(2)式を適用し、 $Re=dv/\nu$ に対する抗力係数 C_D を対数グラフ上に示した結果は第8図のようである。第8図では単繊維の場合、 $Re < 20$ の範

第7図 糸の空気抵抗力 (垂直方向)

第8図 レイノルズ数と抗力係数 (垂直方向)

囲では直線関係にあり、 $Re > 30$ では試料数が少ないが勾配の小さい別個の曲線上にある。

クリンプの存在する試料の C_D はやや高い位置にあるが、明瞭な差はない。糸の場合は単繊維と異なる直線上にあり、かつ綿糸とアクリル糸間でも異なる。

以上の結果から単繊維については糸の場合と同様、そ

の空気抵抗力は(2)式によって風速と繊維直径の関係で表わされ、抗力係数はレイノルズ数20以下の範囲では

$$C_D = 8.13 Re^{-0.55} \quad \dots\dots\dots (3)$$

で示される。しかしクリンプや集束状態によっては変化し、とくに加撚糸のような密な集束状態においては別個の特性で表わされる。

4.2 繊維軸方向の空気抵抗

アクリル 3 den 単繊維について、繊維軸方向の気流によって繊維試料全体にかかる力を測定し、試長 (第2図(b)) に対して表わすと第9図のように直線で示される。したがって試長の単位長さあたり測定値増加分を空気抵抗力の測度とすることができる。

第9図 試長と空気抵抗値 (繊維軸方向, 3den アクリル単繊維)

第10図 繊維直径と空気抵抗力 (繊維軸方向)

第9図より F_p は l に比例することがわかったが、 F_p を表わす実験式は(2)式と同様の(4)式

$$F_p = C_p \frac{\rho}{2} v^2 dl \quad \dots\dots\dots (4)$$

に適合する C_p が、レイノルズ数の関数として求めればよい。

繊維の平均直径と抵抗力の関係は、第10図にアクリルおよびナイロンについて示すように、繊維径の大きい範囲では抵抗力の変化は比較的小さい。繊維と垂直方向の場合は抵抗力は繊維直径と比例関係があったが、繊維軸方向の場合には、やや曲線的变化を示す。

風速による抵抗力の増加は第11図に1例を示したように、風速とともにやや加速度的に増加する。また、クリンプの有無について比較すると第12図のように、クリンプのある場合はノークリンプ繊維より大きい抵抗力を示す傾向にあることがわかる。

試料が集束状態をとる場合、クリンプを有するアクリル繊維 3den について第13図に示したが、集束本数が大きくなると抵抗力の増加は小さくなる。

第11図 風速と空気抵抗力（繊維軸方向）

第12図 クリンプの効果（繊維軸方向）

第14図は単繊維と糸の各試料について、レイノルズ数に対する繊維軸方向抵抗力係数 C_D を対数グラフ上に示した結果である。測定範囲では単繊維については1つの直線上にあるが、クリンプを有するものは直線より高い

第13図 集束繊維における集束本数と空気抵抗力（繊維軸方向 3den アクリル繊維）

第14図 レイノルズ数と抵抗力係数（繊維軸方向）

第15図 円柱棒と繊維の抵抗力係数の比較

値をとることが多い。アクリル糸と綿糸は、それぞれ単繊維より高い位置で直線関係を示す。

クリンプのない単繊維群について、抗力係数をレイノルズ数の関数として表わすと、

$$C_p = 1.82 \text{Re}^{-0.71} \dots \dots \dots (5)$$

で示され、レイノルズ数が定まれば一般的に空気抵抗力が推定される。

5. 考 察

単繊維の垂直方向および繊維軸方向の空気流による抵抗力は、レイノルズ数の関数で表わされる抗力係数を用いて一般的な取り扱いができる。第15図は垂直方向の繊維の抗力係数 C_D を、円柱棒に関する Eisner の結果と比較したものである。円柱棒の抗力係数は、単繊維よりやや高い値をとり、 $\text{Re} > 20$ で勾配がゆるくなるとともに1に近づく。単繊維についての実験値もほぼ類似の傾向をとる。

第15図には繊維軸方向の抗力係数 C_p もともに示したが、 C_p は C_D の数分の1の低い値をとり、勾配は大きい。またレイノルズの大きな範囲でも同じ直線上にあり、 C_D より一層低い値を示す。

クリンプの効果については、繊維軸方向では第14図のようにクリンプの有無間の差が比較的大きい場合があり、垂直方向についても第5、6図のようにクリンプのある場合抵抗力は大きい。これは任意の方向をとる繊維にかかる空気抵抗力 F_T が、気流と垂直方向の成分 F_D と気流方向の成分 F_p の和

$$F_T = F_D + F_p \dots \dots \dots (6)$$

よりなるためである。すなわちクリンプが繊維軸と直角方向の成分を形成し、とくに繊維軸方向の気流に対して F_D は無視できない。

集束繊維の空気抵抗は集束条件によって異なるが、第5図および第13図の結果は第16図のように空気抵抗力は集束本数の0.83乗および0.67乗に比例している。

緊密に集束した繊維束にも(2)式が適用されると仮定すれば、空気抵抗力は繊維束の見掛け直径に比例し、集束本数の $\frac{1}{2}$ 乗に比例するはずであるが、実験結果ではそれよりも大きいから、集束内部の繊維にも気流が作用していると考えられる。

加撚された紡績糸などの比較的緊密な繊維束では、その直径を用いたレイノルズ数によって抗力係数が定まるが、表面状態や毛羽の影響により第8、14図のように糸の種類によって抗力係数が異なる。

ルーズに集束した繊維束に作用する空気抵抗力は第16図が適用され、集束本数の関数で近似される。

繊維塊の空気抵抗はその形状、集束状態および表面状態などによって定まるが、からみ合いの強くない繊維塊では第16図と同様な取り扱いで近似することができる。

梳綿機上ではネップやからみ合いの強い繊維塊のほかは、カードワイヤーの作用を受けた繊維は十分開綿されており、単繊維の空気抵抗力と集束本数からカージングにおける繊維の空気抵抗作用の大きさが求められる。

第16図 繊維束における集束本数の効果(クリンプ繊維)

6. 結 び

開織作用における空気力学的作用の1つである空気抵抗力を、単繊維および集束繊維について検討した。その結果空気抵抗力は一般に

$$F = C \frac{\rho}{2} v^2 dl$$

が適応され、単繊維について繊維軸方向では $C = 1.82 \text{Re}^{-0.71}$ 、垂直方向では $C = 8.13 \text{Re}^{-0.55}$ が成立する。

任意の配置をとる繊維の抵抗力は、繊維軸方向と垂直方向の気流の分速度の寄与によって定まると考えられ、クリンプの効果も説明される。

集束繊維の空気抵抗力は、緊密に集束した繊維束では集合体の形態の効果が大きい、ルーズに集束したものでは集束本数の関数で表わすことができる。これらの結果は開織作用における空気抵抗効果を求める上に適用できる。

本研究について御討議いただいた京工織大鈴木恵先生ならびに発表を許可いただいた諏訪研究所長に謝意を表す。

文 献

- 1) 木田：本誌，21，T200(1968)。
- 2) 木田：本誌，22，T56(1969)。
- 3) C. Mack, E.J.L. Smart ; J. Text. Inst., 45, T348 (1954)。
- 4) 樋口，笠原：本誌，15，335(1962)。
- 5) W. Bostok, S.M. Freeman et al ; I. Text. Inst. 46, T171(1955)。
- 6) 樋口：本誌，11，452(1958)。
- 7) 樋口，勝：本誌，13，771(1960)。
- 8) S.L. Anderson, R. Stubbs ; J. Text Inst 49, T53 (1958)。
- 9) たとえば藤本武助，流体力学，p.27(1965)養賢堂
- 10) 機械工学便覧：8-28，日本機械学会(1965)。
- 11) Raymond, C. Binder ; Fluid Mechanics p.170(4th Edition)(1964), Prentice-Hall, Inc.