オープンエンド精紡用ロータ内の流れ

(第2報) 繊維供給管挿入角度および挿入長さの
BD 200 型 ロータ内気流に及ぼす影響

大阪大学 工学部 堀 川 明 (会員)
" 矢 井 田 修 (会員)
" 新 居 田 昌 則

Air Flow in an Open-End Spinning Rotor,

Part 2: Effects of the Inserted Length and Angle of the Feed
Tube on Air Flow in a modelled Rotor of BD 200.

Akira Horikawa, Osamu Yaida, Masanori Niida,

Department of Mechanical Engineering, Osaka University, Suita, Osaka.

Abstract

An air flow behavior in the BD 200 type OE spinning rotor was studied by using a five-hole Pitot tube and a modelled rotor. Further, the effects of the inserted length and angle of the feed tube on an air flow in the modelled rotor were investigated. The experimental results were summarized as follows:

- (1) The hollow part occurred in the distribution of the circumferential velocity and the static pressure, and its position were nearly dependent on the feed tube position.
- (2) An air flow in the rotor was most disturbed at 90 degree of the inserted angle of the feed tube.
- (3) Longer the inserted portion of the feed tube, greater the hollow in the distribution of the circumferential velocity and higher the static pressure.
- (4) When the inserted length of the feed tube was deep, or the inserted angle was large, an air flow from the feed tube ran against a bottom wall and dispersed in all directions.
- (5) Longer the inserted portion of the feed tube and greater the inserted angle, less disturbed an air flow.

(Received December 5, 1979)

摘 要

目 的 BD 200 型ロータをモデル化 (寸法 2 倍) したロータを用い、繊維供給管のロータ内挿入角度および挿入長さを変化させてロータ内部の気流状態を実験的に調べる。

成 果 ロータ内部の気流状態を示す諸量として、気流の周方向速度分布、軸方向および半径方向速度分布、静圧分布をとり、繊維供給管のロータ内挿入角度および挿入長さがロータ内部の気流状態に及ぼす影響を調べた。得られた結果は次のとおりである。

- 1) 繊維供給管付近 ($\gamma = 20 \sim 80^\circ$) の子午面では周方向速度分布、静圧分布に くぼみを生じ、その位置は繊維供給管の半径位置 (r_f) とほぼ等しく、また くぼみの程度は繊維供給管に近づくほど大きくなる。
- 2) 繊維供給管挿入角度 が大きい場合 (90°)、ロータ内の気流の乱れが大きくなり、かつ周方向速度分布や静圧分布におけるくぼみの程度が大きくなる傾向を示す。
- 3) 繊維供給管挿入角度が小さい場合 (30°)、周方向速度分布における くぼみの程度が小さく、また静圧分布も直線状となる。
- 4) 繊維供給管挿入長さが長いほど周方向速度分布、静圧分布における くぼみの程度が大きくなるが、その傾向は周方向速度分布については $\gamma = 40^\circ$ の子午面までであり、静圧分布については $\gamma = 80^\circ$ の子午面ではなくなり、それ以上の子午面では繊維供給管挿入長さの影響はみられない。
- 5) 繊維供給管挿入長さが短く、また挿入角度が小さいほどロータ内の気流を乱すことは少ない。
- 6) 繊維供給管挿入長さが長く、また挿入角度が大きい場合には、繊維供給管より流入した気流がまずロータ内底面に衝突し周囲に四散するためロータ壁面近くで大きな逆流を生じる。

(昭和54年12月5日受理)

1. まえがき

前報¹⁾ではロータ上部のふた(ステータ)として平板を用い、ステータとロータとのすき間(1mm)から空気が流入するという条件のもとで高速回転するロータ内部の気流状態の概略を実験的に調べた。

本報ではステータに糸引出し管と繊維供給管を取付け、ロータ内部の気流状態に大きな影響を及ぼす繊維供給管の挿入角度および挿入長さを変化させ、BD 200 型ロータをモデル化したロータ内部の気流状態を5孔ピトー管を用いて実験的に調べる。

繊維供給管を設けると、そこから流入する空気の影響を受け、ロータ内部の気流状態はロータ回転軸に関して非対称となる。またロータ回転軸に沿う方向の気流の占める割合が大きくなるため、前報¹⁾における気流状態よりもかなり複雑となる。これらのことから、ここでは実験結果を整理する場合に、ロータ回転軸を含む6個の平面とロータ回転軸に垂直な5個の平面内での流速分布および静圧分布を求め、ロータ内部の三次元流れ場を定量的にとらえようとした。

2. 実験装置および実験条件

2.1 実験装置の概略

実験装置の概略を図1に示す。実験用ロータ⑤を電動機⑥によってベルト駆動し、ロータ回転数の測定にはストロボ スコープ、ロータ内部の気流状態の測定には検定済みの5孔ピトー管と3台のベッツ型マノメータを用

いた。ロータ上部には繊維供給管④および糸引出し管②を取付けたステータ③を設置した。なお、このステータは種々の実験条件を設定することができるように取り外しが可能である。またロータとステータとのすき間から空気の流入をできるだけ防止するため、ステータに円環状の溝を設けその中にロータの上端をはめ込み、ステータとロータとのすき間間隔を0.5mmとした。

測定用5孔ピトー管の形状を図2に示す。今回の実験に用いた5孔ピトー管は前報¹⁾におけるものよりも小型であり、外径0.7mmのステンレスパイプを組合わせたもので、測定部分の外径は2.1mmである。なお、5孔ピトー管の検定方法および検定曲線の求め方は前報¹⁾と同様である。

図2 5孔ピトー管

2.2 モデル化したロータおよび内部流れ状態測定用ステータ

実験用ロータの形状寸法を図3に示す。このロータはBD 200 型ロータをモデル化(寸法2倍)したものであり、集束面半径は65.9mmで、空気放出孔径は8mm、個数は8個である。図4に内部流れ状態測定用ステータを示す。ステータは厚さ10mmの亚克力樹脂製で、糸引出し管、繊維供給管およびピトー管挿入用溝が設けてある。さらにロータと接する面には幅4.8mm、深さ4mmの円環状の溝があり、ステータとロータとのすき間は0.5mmである。またピトー管挿入用溝は幅8mmの半径方向に長い長方形の穴である。ここからピトー管を挿入するが、その際ピトー管支柱とステータとの間を柔軟なビニールフィルムで塞ぎ、外部空気のロータ内への流入を防いだ。

糸引出し管および繊維供給管の長さや内径は圧力損失などを考慮して決める必要があるが、現在のところ一般的な値は公表されていない²⁾。ここでは糸引出し管としては全長50mm、内径6mm、外径8mmの真ちゅう管

図1 実験装置概略

図3 実験用ロータ

図4 実験用ステータ

を用い、ロータ中心部に位置するようにステータに垂直に取付けた。繊維供給管としてはやはり全長 60 mm、内径 6 mm、外径 8 mm の真ちゅう管を用いた。

2.3 実験条件

オープン エンド精紡用ロータ内に糸引出し管および繊維供給管より空気が流入するが、とくに繊維供給管から流入する空気のロータ内部気流状態に及ぼす影響は大

きい。そこで繊維供給管の挿入角度 (θ) とロータ内に挿入される長さ (l_f) がロータ内部気流状態に及ぼす影響を調べるため、それらを組合せて実験条件を設定した (記号については図4参照)。なお、ロータ回転数は 3000 rpm であり、繊維供給管位置 (r_f) と集束面半径 (R) との比は 0.71 である。

表1に実験条件を示す。

表1 実験条件

N (rpm)	r_f/R	l_f (cm)	θ ($^{\circ}$)
3,000	0.71	1.0	30
			60
			90
		0.5	60
		1.0	
		1.5	

2.4 繊維供給管内の気流速度

繊維供給管内の気流速度は挿入角度や挿入長さによって多少差があるので、それらをピトー管により調べた。流速測定には別の内径 6 mm、長さ 60 mm の真ちゅうパイプを用い、総圧測定用ピトー管をパイプ上部より 25 mm の位置に取付け、また静圧測定用の小孔を総圧管先端と同じ高さに設けた。

表2に各条件での繊維供給管内の気流速度を示す。

表2 各条件における繊維供給管内流速

N (rpm)	r_f/R	l_f (cm)	θ ($^{\circ}$)	V_f (m/s)
3,000	0.71	1.0	30	5.95
			60	6.37
			90	5.38
		0.5	60	6.67
		1.0		6.37
		1.5		5.98

3. ロータ内部の気流状態

3.1 ロータ内部の気流状態の測定

図5にロータ内部気流状態の測定位置を示す。すなわち、ロータ回転軸方向にはロータ内底面を S_4 平面とし、それより上方に 5 mm 間隔で S_8 , S_2 , S_1 平面をとり、また S_4 平面より 5 mm 下方に S_5 平面をとった。ステータを取付けた場合には S_1 平面はステータ下部面より 2 mm の距離となる。ロータ半径方向にはロータ回転軸

図5 測定位置

を中心とし、半径(r) 25 mm, 35 mm, 45 mm, 50 mm の位置に測定点を設け、 S_2 , S_3 平面にはさらに外側に1個所測定点を設けた。また空気放出孔付近の気流状態を調べるため、 S_4 平面の半径 30 mm の位置にも測定点を設けた。ロータ円周方向には繊維供給管の中心を通るロータ回転軸を含む子午面を基準($\gamma=0^\circ$)とし、ロータ回転方向に $\gamma=20^\circ$, 40° , 80° , 120° , 200° , 280° の子午面を測定平面として採用した。任意の位置の気流状態を測定する場合の5孔ピトー管の操作手順は前報¹⁾と同じである。

ロータ内部の気流状態を表わす諸量として次式で示される、気流のロータ周方向成分(V_θ)、ロータ軸方向成分(V_z)、ロータ半径方向成分(V_r)、および無次元静圧(Ψ_s)を求めて比較検討した。

$$V_\theta = V \cos \alpha \cos \beta$$

$$V_z = V \sin \alpha$$

$$V_r = V \cos \alpha \sin \beta$$

$$\Psi_s = (P_s - P_a) / \frac{\gamma_a U^2}{2g}$$

実験結果を整理する際、ロータ集束面の半径 R およびその周速度 U を基準として用いて無次元化した。すなわち、 V_θ , V_z および V_r は U で除することにより、また r , r_f は R で除して無次元化した。

実験結果の整理に用いた記号は次のとおりである。

R : ロータ集束面半径 (mm)

U : ロータ集束面の周速度 (m/s)

N : ロータ回転数 (rpm)

r : 測定点の半径方向位置 (mm)

r_f : 繊維供給管中心の半径位置 (mm)

l_f : 繊維供給管のロータ内部に挿入される長さ (mm)

V : 測定点での気流速度 (m/s)

V_θ : V のロータ周方向成分 (m/s)

V_z : V のロータ軸方向成分 (m/s)

V_r : V のロータ半径方向成分 (m/s)

α : ロータ内気流の速度ベクトルとロータ回転軸に垂直な平面とのなす角度 (deg)

β : ロータ内気流の速度ベクトルとロータ円周の接線とがなす角度 (deg)

P_s : 測定点での静圧 (kg/m²)

Ψ_s : 無次元化した静圧

γ : 繊維供給管中心を基準としたロータ回転方向への角度 (deg)

γ_a : 空気の比重量 (kg/m³)

P_a : 大気圧 (kg/m²)

g : 重力加速度 (m/s²)

3.2 ロータ内部気流状態の概要

図6は S_2 平面における周方向速度分布のロータ回転方向の変化を示す。図において矢印の后端は各測定点の位置を示し、またその長さは各測定点における気流の周方向成分の大きさを示している。図からロータ内部の空気はたんにロータ壁に引きずられて旋回しているだけではないことがわかる。というのは、ロータ内部の空気がロータ壁に引きずられて旋回しているだけでは、周方向速度の分布状態はロータ半径の増加にしたがい直線状もしくは徐々に速度の増加する曲線²⁾になるはずであるからである。ところが実際の周方向速度はこの場合、 $r/R(26.5/65.9)=0.4$ 付近以内では半径にほぼ比例し

図6 周方向速度分布のロータ回転方向の変化 ($\theta=90^\circ$, S_2 , $l_f=10$ mm)

て大きくなる強制渦状の様子を示し、それより外側ではほぼ一定となり、さらに外側では再び大きくなる傾向を示している。この強制渦の部分にロータ下部に開口している空気放出孔の位置に近いことから、ロータ中心付近の空気は空気放出孔内に吸引されると同時に旋回を与えるため、強制渦状の旋回運動を行うと考えられる。しかし、この円周方向速度分布はロータ回転方向でも変化しており、 $\gamma=20\sim80^\circ$ の範囲では速度分布にくぼみを生じ、その傾向は繊維供給管に近づくにしたがい大きくなる。このような変化は流体中に置かれた物体の後流の速度分布と似ており、繊維供給管より流入した気流のために生じたものである。

図7は $\gamma=40^\circ$ および 120° の子午面における速度分布を示す。図において矢印の長さはロータ内部気流の軸方向成分と半径方向成分の合速度の大きさを示し、矢印の方向は合速度の向きを示す。図からロータ内部の空気はロータ下部に開口する空気放出孔付近に向って旋回して流れているのがわかる。またロータ上部では逆流を生じているが、とくに $\gamma=40^\circ$ の繊維供給管に近い子午面では繊維供給管より流入する気流の強い影響を受け大きな渦が生じている。

図7 子午面内速度分布

このように繊維供給管から流入する気流がロータ内部の気流状態に大きな影響を及ぼすので、繊維供給管の挿入角度および挿入長さの影響について調べた。

3.3 繊維供給管挿入角度の影響

図8, 9は繊維供給管挿入角度 θ の周方向速度分布に及ぼす影響を示す。 S_2 平面における $\gamma=20^\circ$ と $\gamma=80^\circ$ の子午面内の周方向速度分布を比較したものである。両

図8 θ の周方向速度分布におよぼす影響 (S_2 , $\gamma=20^\circ$, $l_f=10$ mm)

図9 θ の周方向速度分布におよぼす影響 (S_2 , $\gamma=80^\circ$, $l_f=10$ mm)

図とも繊維供給管と同じ半径位置($r_f=0.71$)で速度分布にくぼみを生じているが、 $\gamma=80^\circ$ の子午面では θ の変化による差は小さく、 θ の影響が小さくなっている。 $\gamma=20^\circ$ の子午面では $\theta=60^\circ$ の場合に周方向速度の低下がもっとも大きく、ついで 90° , 30° の順となる。これは θ の影響というよりも、 S_2 平面で $\gamma=20^\circ$ の子午面における測定点が $\theta=60^\circ$ のときの繊維供給管の開口位置付近にあるということに原因していると考えられる。したがって図10に示すように S_3 平面では $\gamma=20^\circ$ の子午

図10 θ の周方向速度分布におよぼす影響
(S_s , $\gamma=20^\circ$, $l_f=10\text{ mm}$)

図12 θ の静圧分布におよぼす影響
(S_s , $\gamma=20^\circ$, $l_f=10\text{ mm}$)

図11 θ の軸方向速度分布におよぼす影響
(S_s , $\gamma=120^\circ$, $l_f=10\text{ mm}$)

図13 θ の静圧分布におよぼす影響
(S_s , $\gamma=200^\circ$, $l_f=10\text{ mm}$)

面でも $\theta=30^\circ$ と 60° との間に差がなくなる。図10では $\theta=90^\circ$ の場合に繊維供給管から流入する気流の影響をもっとも大きく受けるが(破線の途切れているところは気流の乱れが大きく測定不可能な部分), これは繊維供給管より流入した気流がロータ底面にまず衝突した後周囲に四散しながら上昇し, さらにロータ内を巡回しながら空気放出口に向うためであると考えられる。

図11は θ の軸方向速度分布に及ぼす影響を示す。 $\gamma=80^\circ\sim 280^\circ$ の範囲ではほぼ同じ速度分布であった。図11

によれば, $r/R=0.75$ までは θ の値にかかわらず速度分布の形状はほぼ同じであるが, ロータ壁面付近では $\theta=60^\circ$ の場合に上向きの軸方向速度が大きくなる(ロータ断面(図7)の上向きを負, 下向きを正にとってあるので, 絶対速度としては大きくなる)。

図12, 13は θ の静圧分布に及ぼす影響を示す。同一平面 (S_s 平面) 内における $\gamma=20^\circ$ と $\gamma=200^\circ$ の子午面内の静圧分布を示す。図12において, $\theta=90^\circ$ の場合にはやはり気流の乱れが大きく測定不可能な部分が生じた。ま

図14 l_f の周方向速度分布におよぼす影響
(S_2 , $\gamma=20^\circ$, $\theta=60^\circ$)

図15 l_f の周方向速度分布におよぼす影響
(S_2 , $\gamma=40^\circ$, $\theta=60^\circ$)

図16 l_f の軸方向速度分布におよぼす影響
(S_3 , $\gamma=120^\circ$, $\theta=60^\circ$)

図17 l_f の軸方向速度分布におよぼす影響
(S_3 , $\gamma=200^\circ$, $\theta=60^\circ$)

た $\theta=60^\circ$ と 90° の場合には静圧分布の中央付近に くぼみを生じるが、 $\theta=30^\circ$ の場合にはほぼ直線状の静圧分布となり、繊維供給管より流入する気流の影響を受けない。図13の $\gamma=200^\circ$ の子午面では θ の影響はほとんどなくなるが、 $r/R=0.75$ よりも外側の領域で $\theta=90^\circ$ のときに静圧の低下が生じる。

3.4 繊維供給管挿入長さの影響

図14, 15は繊維供給管挿入長さ l_f の周方向速度分布に及ぼす影響を示す。図14の $\gamma=20^\circ$ の子午面ではやは

り繊維供給管と同じ半径位置で速度の低下が生じ、 $l_f=15\text{ mm}$ の場合がもっともその程度が大きく、 l_f が短くなるにつれて速度の低下が小さくなる。図15の $\gamma=40^\circ$ の子午面でも前記の傾向があるが、速度低下の程度も l_f による差も減少する。なお $\gamma=120^\circ$ ぐらいまでこの速度の低下が現われるが、その場合 l_f による差はなくなる。

図16, 17は l_f の軸方向速度分布に及ぼす影響を示す。 S_3 平面の $\gamma=120^\circ$ と 200° の子午面での速度分布である

図18 l_f の静圧分布におよぼす影響
(S_s , $\gamma=20^\circ$, $\theta=60^\circ$)

図19 l_f の静圧分布におよぼす影響
(S_s , $\gamma=80^\circ$, $\theta=60^\circ$)

が、共に $r/R=0.75$ 以上になると軸方向速度が上方に増加し、繊維供給管より流入する気流がロータ壁面付近で逆流となる様子を示している。なお、 $\gamma=120^\circ$ の場合には l_f が長いほどこの傾向は顕著となる。

図18, 19は l_f の静圧分布に及ぼす影響を示す。 S_s 平面の $\gamma=20^\circ$ の子午面では繊維供給管より流入する気流の影響を受け、静圧分布にくぼみを生じるが、 $l_f=5\text{ mm}$ の場合にはその程度は小さく、 $l_f=15\text{ mm}$ の場合に静圧の低下が大きい。しかし $\gamma=80^\circ$ の子午面になると繊維供給管より流入する気流の影響はなくなりほぼ直線状の静圧分布となる。またロータ中心付近では l_f が短いほど静圧が低下する傾向を示す。

4. まとめ

BD 200 型ロータをモデル化(寸法2倍)したロータを用い、ロータ内部の気流状態に及ぼす影響が大きい繊維供給管のロータ内挿入角度および挿入長さの影響を5孔ピトー管を用いて実験的に調べた。

ロータ内部の気流状態を示す諸量として、気流の周方向速度分布、軸方向および半径方向速度分布、静圧分布をとり、またロータ内部の子午面における速度分布を用いた。得られた結果は次のとおりである。

- 1) 繊維供給管付近($\gamma=20\sim 80^\circ$)の子午面では周方向速度分布、静圧分布にくぼみを生じ、その位置は繊維供給管の半径位置 r_f とほぼ等しく、またくぼみの程度は繊維供給管に近づくほど大きくなる。
- 2) 繊維供給管挿入角度が大きい場合(90°)、ロータ内

の気流の乱れが大きくなり、かつ周方向速度分布や静圧分布におけるくぼみの程度が大きくなる傾向を示す。

- 3) 繊維供給管挿入角度が小さい場合(30°)、周方向速度分布におけるくぼみの程度が小さく、また静圧分布も直線状となる。
- 4) 繊維供給管挿入長さが長いほど周方向速度分布、静圧分布におけるくぼみの程度が大きくなるが、その傾向は周方向速度分布については $\gamma=40^\circ$ の子午面までであり、静圧分布については $\gamma=80^\circ$ の子午面ではなくなり、それ以上の子午面では繊維供給管挿入長さの影響はみられない。
- 5) 繊維供給管挿入長さが短く、また挿入角度が小さいほどロータ内の気流を乱すことは少ない。
- 6) 繊維供給管挿入長さが長く、また挿入角度が大きい場合には、繊維供給管より流入した気流がまずロータ底面に衝突し周囲に四散してから上昇し、旋回しながら空気放出口に向うためロータ壁面近くで大きな逆流が生じる。

また、繊維供給管挿入角度の値は実際上では 20° 以内であり、この条件のもとで繊維供給管挿入長さならびに繊維供給管位置のロータ内気流状態に及ぼす影響を解明することが今後の課題である。

参考文献

- 1) 堀川, 矢井田, 三村, 浜田; 織機論文集, 31, T67 (1978).
- 2) 宇野, 塩見, 木瀬; オープンエンド紡績, p. 157, 1969, 理工新社.
- 3) 村上, 菊山 等; 機論, 42-358, p. 1784 (1976).