オープン エンド精紡用ロータ内の流れ

(第1報) モデル化したロータ内の流速分布の測定

大阪大学 工学部	堀	川	明 (会員)
" "	矢	井 田	修 (会員)
" "	三	村 宣	治
" "	浜	田	徹*

Air-Flow in an Open-End Spinning Rotor.

Part 1: Measurements of an Air Velocity Distribution
in a Modified Rotor.

Akira Horikawa, Osamu Yaida, Nobuharu Mimura and Toru Hamada*,

*Department of Mechanical Engineering, Osaka University, Osaka*** Present Addresss: Daikin Seisaku-sho Co., Ltd.*

Abstract

To investigate the air flow behaviour in an open-end spinning rotor, at the first stage, the direction and distribution of an air flow have been determined in a modelled rotor which is, in size, twice as large as the practical ones. The effects of spinning conditions, *i.e.*, number of air exhausting holes, rotor speed, etc. on an air flow behaviour have also been observed by determining the distribution of the static pressure, that of radial angle, and tangential velocity. The experimental results were summarized as follows:

- 1) A nearly equal static pressure was obtained on the same radius in the rotor.
- 2) The pressure gradient near the rotor center and near the rotor wall was smaller than that of the other parts.
- 3) The tangential velocity of the air flow was equal irrespective of the measured plane, the rotor velocity, and the number of exhausting holes.
- 4) While the forced vortex motion was observed by the rotor rotation near both the rotor axis and the outer wall, the free vortex motion was observed between these regions.
- 5) The angle distribution in the direction of the radius was equal irrespective of the measured plane, the rotor velocity, and the number of exhausting holes. (Received October 21, 1977)

摘 要

目 的 ロータ式オープン エンド精紡機のロータ内部の流れの状態を解明する第1段階として、モデル化(寸法⁴⁾2倍)したロータを製作しそのロータ内の気流の方向および流速分布を測定し、また空気放出口数やロータ回転数などによってそれらがどのような影響を受けるかについて研究する。

成 果 ロータ内部の流れの状態を5孔ピート管により測定し、ロータ内の静圧分布、周方向分速度、半径方向角度分布を求めた。得られた結果は次のとおりである。

- 1) ロータ内の同一半径上ではほぼ同一の静圧を示す。
- 2) 中心部およびロータ内壁近くでは圧力勾配が小さい。
- 3) 周方向分速度の半径方向の分布状態は測定平面、ロータ回転数、空気放出口数を変えても同じである。
- 4) ロータ内の流れは、回転軸付近では強制渦状であり、それより外側では自由渦状であるが、さらに外周部ではふたたび強制渦状となる。
- 5) 半径方向角度分布の状態はロータ回転数、空気放出口数および測定平面にかかわらず同じである。(昭和52年10月21日受理)

* 現在、大金製作所株式会社

1. まえがき

ロータ式オープン エンド精紡法では、高速回転するロータの自己ポンプ作用¹⁾によって繊維の分離・輸送を行なう方式が多い。分離された繊維は繊維輸送管を通してロータ内の壁面(滑壁)に達するが、その間にロータ内の気流の影響を受ける。この気流の状態によっては繊維を滑壁上の目的とする位置へ導くことができなかったり、繊維の形状を複雑に変化させたり、また飛込み繊維²⁾をひんぱんに生じたりする場合がある。

しかし、ロータ内の気流の状態は現在までほとんど解明されておらず、とくにロータ内の気流の方向および流速分布などについての研究はなされていない。これは実際のロータが非常に高速回転をしていることや、ロータ寸法が小さいため、測定が困難であることに起因している。そこで本研究では、実際のロータ内の気流の状態を明らかにする第1段階として、モデル化したロータを製作しそのロータ内の気流の方向および流速分布の測定を行ない、また空気放出口数やロータ回転数などによってそれらがどのような影響を受けるかについて調べた。

2. 実験装置

2.1 モデル化したロータ

実験装置の概略を図1に示す。モデル化したロータをベルト駆動によって回転させ、ロータ内の流れの状態を5孔ピトー管によって測定する。図2はモデル化したロータの形状および寸法を示す。

ロータのモデル化に際しては、相似則(幾何学的相似、運動学的相似、力学的相似)を満足しなければ妥当では

図1 実験装置概略

図2 モデル実験用ロータ寸法

ない³⁾。ここでは空気駆動方式のオープン エンド精紡機のロータ⁴⁾をモデル化したものを使用した。すなわち、ロータ内の流れの状態はロータの内部形状によるところがほとんどなので、モデルでは内部形状を実際のロータと同じとしスケールを2倍にした。またロータの運動は垂直軸まわりの回転なので、運動学的には相似である。力学的相似については、レイノルズ数、 $Re = d \cdot u / \nu$ 、ただし d は代表寸法、 u は流速、 ν は流体の動粘性係数、を等しくすれば良い。実際のロータを使用する場合もモデル化したロータを使用する場合にも、流体は空気であり動粘性係数は等しい。したがって、代表寸法としてロータ径をとれば、モデル化したロータは実物の2倍なので回転速度が実物の半分のときレイノルズ数が等しくなる。つまり、モデル化したロータで10 000rpmのときのロータ内の流れ場は、実際のロータで40 000rpmのときと相似である。

2.2 5孔ピトー管の特性

ロータ内部の流れの状態は三次元的であり、通常のピトー管では流速の精密な測定は困難である。そこで本実験では五つの測圧孔をもつ5孔ピトー管を製作し使用した。

図3 5孔ピトー管

図3は実験に使用した5孔ピトー管を示している。ピトー管先端部分および長軸部分の径は3.6mmであり、この大きさでは直径110mmのロータ内の流れをあまり乱さず測定できると判定した。

図4 5孔ピトー管による測定原理図

また5孔ピトー管での測定原理は次のようである。

5孔ピトー管の測圧孔には圧力を生ずるが、この圧力は静圧および動圧の一部との和の形で表わされ⁵⁾、第 n 番目の測圧孔の圧力 P_n は次式で示される(図4)。

$$P_n = P_s + \zeta_n P_o \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 P_s は静圧、 P_o は動圧である。また ζ_n は圧力回復係数とよばれる無次元数であり、小さな流速範囲では速度ベクトルとピトー管の軸(短軸)とがなす角度 δ だけの関数となる。

式(1)を五つの孔に適用し、また ξ 、 ζ_o 、 ζ_s を次式のように定義する。

$$\xi = \frac{\zeta_4 - \zeta_5}{2\zeta_o - \zeta_3 - \zeta_4} = \frac{P_4 - P_5}{2P_o - P_3 - P_4} \dots\dots\dots (2)$$

$$\zeta_o = \frac{1}{2\zeta_o - \zeta_3 - \zeta_4} = \frac{P_o}{2P_o - P_3 - P_4} \dots\dots\dots (3)$$

$$\zeta_s = \zeta_o = \frac{P_o - P_s}{P_o} \dots\dots\dots (4)$$

ここで ξ 、 ζ_o 、 ζ_s は δ の関数であるから、検定によって δ との関係を求めておけば式(2)、(3)および(4)によって P_o 、 P_s の値を求めることができる。

図5 検定装置概略

図5は5孔ピトー管の検定装置を示す。フロア⑥によって風洞②内に平行気流を発生させ、③の部分に取付けた5孔ピトー管の検定を行う。5孔ピトー管は③と風洞との取付部を支点として扇形に $\pm 45^\circ$ の角度で回転可能であり、また5孔ピトー管はその長軸まわりに 360° 回転可能である。また圧力の測定にはベッツ型マノメータ3台を使用した。風洞内の流速分布を図6に示す。実験範囲内の流速分布は一様である。

(2L: 風洞内壁間距離, l: 中心からの距離)

図6 風洞内流速分布

5孔ピトー管の検定を行なうには、まず5孔ピトー管を検定装置に取付け、 z 軸(図4参照)まわりに回転させ測圧孔1と2とが等しい圧力を示すようにする。すなわち、

$$\delta = \alpha \dots\dots\dots (5)$$

図7 検定曲線($\xi-\alpha$ 曲線)

次に、5孔ピトー管を z 軸(図4参照)方向に 5° ずつ回転させ、そのときの測圧孔0, 3, 4の圧力を読取る。これらの圧力 P_0 , P_3 , P_4 とあらかじめ測定しておいた風洞の静圧 P_s 、動圧 P_o より、 ξ , ζ_o , ζ_s の値を計算し検定曲線を作成する。このようにして得られた5孔ピトー管の検定曲線を図7～図9に示す。

図8 検定曲線 (ζ_s - α 曲線) 図9 検定曲線 (ζ_s - α 曲線)

3. ロータ内の流れの状態の測定

モデル化したロータ内の流れの状態を調べるため、検定ずみの5孔ピトー管を用いた。測定点数は多い方が望ましいが、ロータの内部形状が中ふくらみの測定しにくい形状であることなどから、図10に示すように30箇所とした。これではロータ内壁近くを測定することはできなかったが、ピトー管をでき得る限りロータ内壁に近づけて測定した。またロータの最大内径部にあるV字形の繊維集束面の水平面を中心として上方に20mm, 下方に10mm, そしてロータ半径方向に5mm 間隔で測定点とした。

図10 測定点位置

実際にロータ内の任意の点の流速を測定する順序は次のとおりである。

- 1) ピトー管を z 軸まわりに回転させ $P_1=P_2$ となるようにする。
- 2) そのときの角度 β および P_0 , P_3 , P_4 の値を読取る。
- 3) 式(2)により ξ の値を求める。
- 4) ξ - α 検定曲線により角度 α の値を求める。
- 5) ζ_o - α , ζ_s - α 検定曲線により、上で求めた α の値に対応する ζ_o , ζ_s の値を求める。
- 6) 式(3)および(4)により逆に P_o , P_s を求める。

以上の方法により、三次元流れ場の任意の点の流速、静圧、流れ方向(α , β)を求めることができる。

実験条件として空気放出口数、ロータ回転数を取り、それらがロータ内の流れの状態に及ぼす影響を調べた。

4. 実験結果および考察

実験データの解析に際しては、ここでは静圧分布、周方向分速度(V_θ)、半径方向角度分布についてまとめた。静圧分布はロータの回転にともなうロータ内の回転気流の同一半径方向の静圧(ゲージ圧)の分布状態を示し、周方向分速度(V_θ)は各半径における速度の接線方向成分の大きさを示し、半径方向角度分布は各半径における速度ベクトルの接線方向とのなす角の分布を示している。

a. 静圧分布

図11はロータ回転数5000rpm, 空気放出口数4個の場合の各測定点での静圧を示している。図12はロータ回転数を変えたときの静圧分布を示し、図13は空気放出口数を変えたときの静圧分布を示している。

図11によれば、ロータ内の回転軸に垂直などの平面でも同一半径上ではほぼ同一の静圧分布となり、また半径

図11 静圧分布
(ロータ回転数 5000 rpm
空気放出口数 4 個)

図13 静圧分布に及ぼす空気放出口数の影響
(ロータ回転数 5000 rpm
集束面からの距離 0 mm)

図12 静圧分布に及ぼすロータ回転数の影響
(集束面からの距離 0 mm
空気放出口数 4 個)

図14 周方向分速度
(ロータ回転数 5000 rpm
空気放出口数 4 個)

15mm 以内およびロータ壁面近くでは圧力勾配が小さいことを示している。図12によれば、ロータ回転数が増加するほど半径方向の圧力勾配が大きくなり、とくに半径15~25mm 付近でいちじるしい。しかし図13によれば、空気放出口数が4 個から8 個に増加しても、半径方向の静圧分布の状態はほぼ等しく空気放出口数の影響は少ない。この場合静圧の値は17mmAq 程度低下する。

図11~13において、半径15~25mm 以内では圧力勾配が大きいが、これは半径20mm の円筒状空洞がロータ中心部の底にあることや空気放出口の影響であるが、これについては後述する。

b. 周方向分速度

図14はロータ回転数5 000rpm, 空気放出口数4 個の場合の各測定点での周方向分速度を示している。図15はロータ回転数を変えたときの周方向分速度を示し、図16は空気放出口数を変えたときの周方向分速度を示している。図14~図16とも、周方向分速度の半径方向の分布の傾向は、測定平面、ロータ回転数、空気放出口数を変化させても同じである。また同一半径位置における周方向分速度は上方の平面ほど速い傾向があるが、図14に示すようにその差はたかだか1~2m/s であるのでそれほど大きくはない。この傾向はロータ回転数、空気放出口数を

図15 周方向分速度に及ぼすロータ回転数の影響
(集束面からの距離 0 mm
空気放出口数 4 個)

図16 周方向分速度に及ぼす空気放出口数の影響
(ロータ回転数 5000 rpm
集束面からの距離 0 mm)

変えても同じである。図15に示すように、ロータ回転数の周方向分速度に及ぼす影響は大きくロータ回転数に比例して周方向分速度は大きくなるが、半径方向の分布状態は同じである。図16によれば、空気放出口数が多いほど同一測定位置の周方向分速度は大きくなるが、ロータ内壁付近ではその差はなくなる。また図14～図16より、半径35mm以内の流れの状態はランキン渦状をなしているようである。すなわち半径20～25mm以内の部分は強制渦状で、それより外周部は自由渦状をなしており、半径35mmよりさらに外周部ではふたたび強制渦状をしている。これは、空気放出口位置より内側の空気は空気放出口に引張られてほぼ剛体的に回転するため、流速は半径

にはほぼ比例して大きくなり、それより外周部の空気はそのような拘束が少ないため自由渦状となり半径が大きくなるほど流速が小さくなる、またさらにその外周部のロータ内壁付近の空気はロータ壁の回転に引きずられふたたび流速が上昇するためと推測される。

図17 半径方向角度分布
(ロータ回転数 5000 rpm
空気放出口数 4 個)

図18 半径方向角度分布に及ぼすロータ回転数の影響
(集束面からの距離 0 mm
空気放出口数 4 個)

c. 半径方向角度分布

図17はロータ回転数5000rpm、空気放出口数4個の場合の各測定点での半径方向角度を示している。図18はロータ回転数を変えたときの半径方向角度分布を示し、図19は空気放出口数を変えたときの半径方向角度分布を示している。図17～、19によれば、半径方向の角度分布の傾向はロータ回転数、空気放出口数、集束面からの距離によらず同じである。半径35mm程度までは、半径とともに β の値は減少し、それより外周部ではふたたび β の値は増大する。このようにロータ中心部とロータ内壁付近で半径方向角度 β が大きくなるのは、中心部分では空気が空気放出口に吸引され、ロータ内壁部分ではロータ

図19 半径方向角度分布に及ぼす空気放出口数の影響
(ロータ回転数 5 000 rpm)
(集束面からの距離 0 mm)

の回転によりロータ壁面に空気が引きずられるためである(空気の粘性による)。 β の値は測定平面によって大きな差があり、ロータ内の流れが上方から下方へ旋回していることを示している。ロータ回転数を変化させても各測定位置での β の値はほとんど差がなく、空気放出口数の影響もわずかである。

5. まとめ

ロータ式オープン・エンド精紡機に使用するロータをモデル化したロータを用い、ロータ内部の流れの状態(静圧分布、周方向分速度、半径方向角度分布)につい

て調べ、またロータ回転数、空気放出口数のそれらに及ぼす影響について考察した。

得られた結果は次のとおりである。

- 1) ロータ内の同一半径上ではほぼ同一の静圧を示す。
- 2) 空気放出口付近の圧力勾配が大きく、ロータ中心部では静圧分布はフラットになる。
- 3) 周方向分速度の半径方向の分布状態は測定平面、ロータ回転数、空気放出口数を変化させても同じである。
- 4) ロータ内の流れの状態は半径35mm以内ではランキン渦状をなしている。すなわち回転軸付近では強制渦状であり、それより外周部は自由渦状であるが、さらに外周部ではふたたび強制渦状となる。
- 5) 半径方向角度分布の状態はロータ回転数、空気放出口数および測定平面にかかわらず同じである。

6. あとがき

本研究において用いた5孔ピトー管の検定装置については大阪大学工学部博士課程の久保忠延氏に多大の援助をたまわり厚く感謝いたします。

参考文献

- 1) 清水, 井戸, 武智; 繊維工学, **20**, 845 (1967)
- 2) Artzt; Chemiefasern., **9**, 701 (1974)
- 3) 原田幸夫; 流体の力学, p. 147 (1970), 槇書店
- 4) 堀川, 矢井田; 繊維論文集, **29**, T86 (1976)
- 5) 池森亀鶴; 水力学, p. 221 (1976), コロナ社