

# エアガイド方式エアジェットルームにおける 流れ特性の実験的研究

第2報 エアガイドと各種円筒管との流れ特性の比較

旭化成工業	石	田	稔*	(会員)
金沢大学工学部	岡	島	厚**	
旭化成工業	島	田	幸	保***
〃	倉	田	建	夫*** (会員)
〃	星	合	文	隆***

## Experimental Study on the Flow of an Air Jet Loom with an Air-Guide Part 2: A Comparison of the Air Flow Characteristics between in an Air Guide and in Various Air Tubes

Minoru Ishida\*, Atsushi Okajima\*\*, Yukiyasu Shimada\*\*\*, Takeo Kurata\*\*\*, Humitaka Hoshiai\*\*\*

\*Textile Research Laboratory, Ashahi chemical Industry Co., Ltd. Nonoichi, Ishikawa

\*\*Department of Technology, Kanazawa University, Kanazawa, Ishikawa

\*\*\*Textile Research Laboratory, Ashahi chemical Industry Co., Ltd. Takatsuki, Osaka

### Abstract

As a fundamental study on the flow in a air jet loom with an air-guide, we have investigated the flow characteristics of flow in the tubes with different diameters, and also compared with the flows in the tubes with slits.

The main results are as follows: (1) The flow in a tube can be divided into two regions by the difference of flow feature. (2) The flow in the first region shows similar features to a free jet flow until a jet flow from a nozzle reattaches on a tube wall and the static pressure on the tube wall is negative. (3) The other region is a downstream part of the tube and shows the characteristics of a pipe flow. The effects of the diameter, the gap-distance between a nozzle and a tube, and the slit are clarified. (Received September 28, 1988)

### 摘 要

本研究では、エアガイド方式エアジェットルームで織入れ性能を向上させるための基礎研究として前報に引続き、ガイド内の空気特性について、スリットの有無や口径の異なる円筒管との空気特性の比較から検討した。以下得られた結果を要約する。

(1) 円筒管内の空気の流れは、エアガイドと同様に2つの領域に分類される。この2つの領域は、壁面静圧が負圧を示す自由噴流の性質を持つ領域と、正圧を示す管内流の特性を持つ領域として特徴づけられる。

(2) 壁面静圧が負圧を示す領域では、円筒管のノズル噴流は、円筒管の存在にもかかわらず、周囲の空気を取込んで成長する。壁面静圧はノズル噴流が円筒管の内壁面と接する位置とほぼ対応して負から正に転ずる。壁面静圧が正圧を示す領域では、円筒管の口径やスリットの有無によってそれぞれ異なる管内流の特性を示す。

(3) スリット付き円筒管の流れとエアガイドの流れを比較すると、最高流速、壁面静圧変化などはノズルとの口径比3.3スリット率4%の円筒管がエアガイドの特性と概略一致する。(昭和63年9月28日受理)

## 1. 緒言

空気で緯糸を飛走させるエアジェットルーム（以下AJLと略す）では、ノズルから出た空気は、そのままの状態では拡散しやすく、流速の低下が著しいため、いかに空気を拡散させないかが重要な技術課題となる。AJLの性能を向上させようとするならば、省エネルギー化に対応してより少量の空気量で、高速化に対応してより早く、織物幅幅化に対応してより遠くまで、緯糸を飛走させる必要がある。AJLの緯糸は、空気流と糸表面の摩擦によって生ずる牽引力により飛走することから、AJLではノズルからの噴射空気の流速をできるだけ遠くまで低下させないことが重要となる。

AJLはシャトル織機に代わる合理化織機として比較的早くから研究に着手されたが、その実用化にかなりの期間を必要とした。それは、上記の流速低下防止技術が低い上、消費エネルギーも高く、経済的に成り立たなかったためである。

その後、チェコスロバキアにおいて国家ベースで、Elitx P-45型AJLが開発実用化されたが、それに備えられた噴射空気拡散防止用エアガイド<sup>1)</sup>はその経済的問題を打開させた方式として、果した意義は極めて大きい。しかし、エアガイドを用いた現状商用機を見る限り、先に述べた省エネルギー化・高速化等の織機性能を発揮する観点からはまだ改善の余地が十分ある。

そこで前報<sup>2)</sup>では、AJLにおいて最も重要な要素であるエアガイドについて、主として流体力学的に見た特性を検討し、エアガイド内空気流速はその特徴から、中心軸最高流速がノズル自由噴流下の流速と一致する領域とガイドの特性に応じた流速を示す領域の2つに大別できることを報告した。

本報では、エアガイドについてスリットの機能を調べたり口径の異なる円筒管との比較により、エアガイドの基本的特性を検討する。

## 2. 実験装置と測定方法

### 2.1 実験装置

本実験で用いたノズルとエアガイドの寸法、形状は第1報と同一である。

図1、図2に本実験で用いたアクリル樹脂製円筒管のうち、口径20mmφのものについて形状、寸法を示す。図1はスリットのない円筒管で、壁面静圧

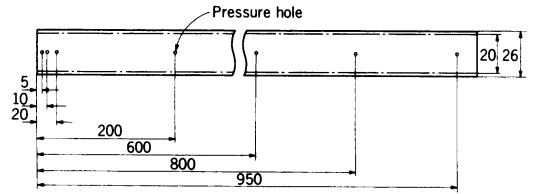


図1 円筒管

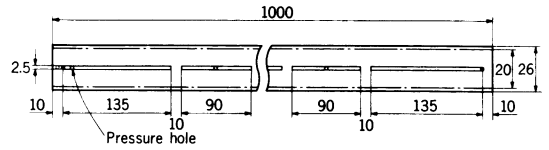


図2 スリットあり円筒管

測定のため0.8mmφの静圧孔が円筒管入口から5, 10, 20, 200, 400, 600, 800, 950 mmの位置に設置してある。又、図2に示すスリット円筒管は壁面に所定幅 [幅  $W=4.0:(\text{スリット幅})/(\text{円筒管内径円周})\times 100$ ] のスリットがあり、スリットと反対側の壁面には壁面静圧測定のための静圧孔が、スリットなし円筒管の場合と同じ位置にある。なお、図に示すようにX軸方向に90°ないし135°の間隔で10 mm長のノンスリット部がある。

本実験では、20 mmφの円筒管の他に13 mmφと25 mmφのものを用いた。口径以外の各部寸法、形状、スリット率はすべて同一である。

### 2.2 空気流速と流量、並びに圧力の測定方法

本実験では、前報と同じように織機のスレイを台の上に固定して、図3に示すようにノズルと、エアガイドあるいは円筒管を配置して、図4に示すような座標軸を取決めて一連の測定を行った。なお、空

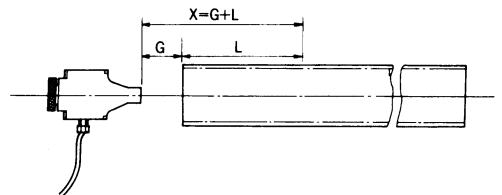


図3 ノズルと円筒管との位置関係

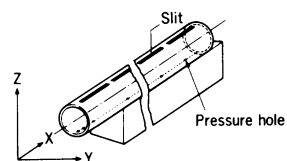


図4 スリットあり円筒管

気流速・空気流量・壁面静圧の測定方法は既に前報で述べた通りである。

### 3. 実験結果

#### 3.1 スリットなし円筒管内の流れ特性

##### 3.1.1 壁面静圧分布

図5は口径の異なる円筒管についてノズルから円筒管入口までの距離 ( $G$ ) を  $0 \sim 13.3d$  の範囲で変えた場合の、ノズル出口からの無次元距離 ( $X/d$ ) による壁面静圧  $P_s$  の分布を示す。図より、いずれの円筒管も壁面静圧  $P_s$  はノズルに近い領域において大気圧より低圧 ( $P_s < 0$ ) で、その後  $P_s > 0$  に転じ、円筒管出口で大気圧  $P_s = 0$  となる。なお、口径の小さな円筒管程、負圧領域・正圧領域とも大きい値を示す。ここで負圧領域の壁面静圧  $P_s$  はいずれの円筒管もノズル側に近付くほど低く、その値は、 $G$  や  $L$  の大きさにはほとんど無関係で、それらの和 ( $X = G + L$ ) に依存している。なお、 $P_s = 0$  となる位置のノズルからの距離を  $X_0$  と表すと、円筒管口径  $13 \text{ mm}\phi$ 、 $20 \text{ mm}\phi$ 、 $25 \text{ mm}\phi$  の場合、それぞれ  $X_0 \approx 3.3d$ 、 $6.6d$ 、 $10d$  となり、口径の大きなものほど  $X_0$  は大きい。

一方、 $X_0 \approx 36d$  以上では、いずれの円筒管も壁面静圧  $P_s$  は大気圧値となる円筒管出口までの管内圧の損失を示し、 $X$  が長くなるに従い、反比例して  $P_s$  は減少している。なお、その場合の  $P_s$  は、口径の小さい円筒管ほど  $G$  の大きさの影響を受けやすい。

そこで、実際に管内圧損を算出し、壁面静圧の測定値との対応を検討する。一般に、円筒管内圧力損失  $\Delta P$  は次式で示される<sup>3)</sup>。

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_m^2 \quad (1)$$

ここで、 $\lambda$  は円筒管の乱流抗力係数、 $l$  は円筒管の長さ、 $d$  は円筒管直径、 $\rho$  は空気密度、 $V_m$  は円筒管内の平均流速である。円筒管の乱流抗力係数は Blasius の実験式より、本実験では概略  $\lambda = 0.025$  となる。そこで、表1に示す各円筒管出口の平均空気流速の測定値を用い、円筒管の入口からの各距離 ( $L$  /

表1 ノズル～円筒管の隙間  $G$  と円筒管出口の平均流速

円筒管口径 $d$ (mm)	円筒管長さ $L$ (mm)						
	0	10	20	40	60	80	100
13	27.6	30.4	29.9	26.6	23.5	19.9	16.8
20	22.5	23.0	22.8	21.6	21.0	18.8	17.7
25	14.4	19.5	19.4	18.6	18.0	17.5	16.5

(m/s)

$d$ ) における出口に至るまでの圧力損失  $\Delta P$  を  $G/d = 0 \sim 13.3$  について算出する。その結果を図5に実線を用いて示すが、管内流が一樣となる  $X/d \geq 36.2$  ( $L/d \geq 33.3$ ) では概略壁面静圧の測定値に一致し、本測定結果の妥当性が確認された。

##### 3.1.2 円筒管口径とノズル自由噴流径との関係

図6はノズルからの自由噴流の各断面における流速が  $V_{max}$  の5%となる点での無次元直径 [ $Z_{0.05}/d$ ] を求め、ノズルからの無次元距離 [ $X/d$ ] との関係を示す。図において、前項で述べた各円筒管の無次元元口径  $D/d = 2.2, 3.3, 4.2$  を自由噴流の直径を示す直線上に○印でプロットすると、その点のノズルからの距離 ( $X/d$ ) は各口径の円筒管内壁面静圧  $P_s = 0$  となる位置 ( $X_0$ ) とほぼ対応する。

##### 3.1.3 ノズルと円筒管との隙間 ( $G$ ) と円筒管出口の空気流量との関係

図7はノズルと円筒管との距離 ( $G$ ) ( $=X/d$ ) を

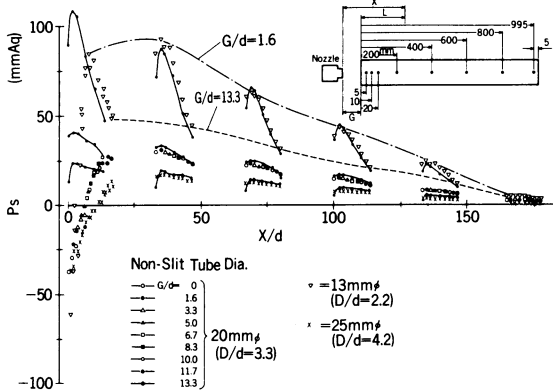


図5 種々の  $G$  による各種口径スリットなし円筒管の静圧分布

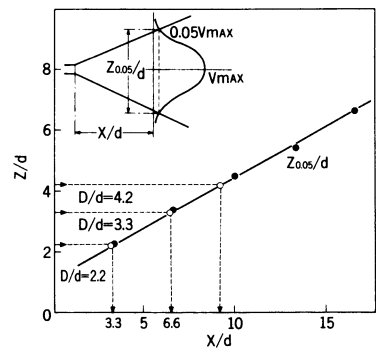


図6 スリットなし円筒管の口径とノズル自由噴流径との関係

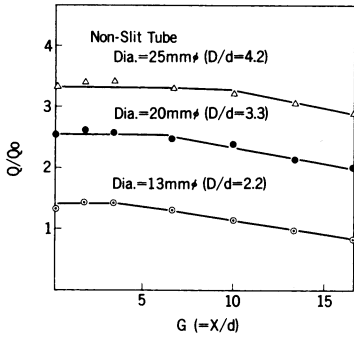


図7 ノズル～円筒管の隙間  $G$  と円筒管出口の空気流量との関係

種々変更した場合の円筒管出口の無次元空気流量 [(円筒管出口の流速分布の積分値より得られる空気流量  $Q$ ) / (ノズル出口の空気流量  $Q_0$ )] を示す。図より、各円筒管とも出口流量は  $G$  の小さい範囲では  $G$  に依存せず、ほぼ一定値を示す。次に  $G$  がある大きさ以上になると、 $G$  の大きさに応じて円筒管出口流量が減少する。その境界点となる  $G$  の大きさは、円筒管口径によって異なるが、いずれの円筒管もその大きさはほぼ壁面静圧  $P_s = 0$  を示すノズルからの位置  $X_0$  と対応する。

以上述べた3項目の結果から、ノズルから出た噴流の円筒管の流れは、図8に示すように壁面静圧  $P_s = 0$  となり、自由噴流が円筒管壁面と衝突する位置  $X_0$  までは、 $G$  を変えても (換言すれば円筒管の存在にもかかわらず) 自由噴流の場合とほとんど同様に周囲の空気を取込んで、噴流は成長する。しかし、自由噴流が円筒管に衝突して壁面静圧  $P_s = 0$  を示す位置  $X_0$  より下流では、管内流と同様の性質を持つようになる。

図9にはノズル出口からの距離 ( $X$ ) =  $3.7d$  ( $G = 1.7d$ ) におけるスリットなし円筒管  $20\text{mm}\phi$ 、 $25\text{mm}\phi$  の半径方向の空気流速分布を同地点における自由噴流と比較したものを示す。取込み空気流量は、図8に示したように、ノズル自由噴流の円筒管入口での流量  $Q_A$  と壁面静圧  $P_s = 0$  なる地点での流量  $Q_B$  との差  $Q_B - Q_A$  であり、図9に示すごとく、壁面近くの流速増加分として表れており、円筒管口径

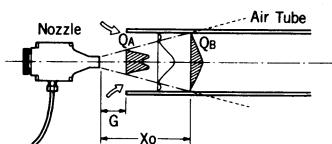


図8 ノズル自由噴流と円筒管内壁面との相対関係

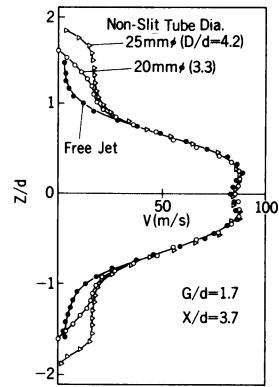


図9  $X/d = 3.7$  におけるノズル自由噴流、各種口径円筒管内流の流速分布比較

$D$  の大きなものほど、その取込み空気流量が大きい。

### 3.1.4 円筒管軸方向の流速分布

図10には、 $G = 1.7d$  一定にして、口径の13、20、 $25\text{mm}\phi$  と異なる円筒管について、中心軸方向の最高流速分布をノズルからの距離との関係で示す。図から、 $V_{max}$  は入口近くで急激に減少し、その後、円筒管入口からの距離が増加するにつれ、わずかであるが増加する。そこで図11に、 $Z$  軸半径方向の流速分布を入口からの距離との関係で示す。図から、円筒管入口からの距離  $X = 35d$  ( $L = 11.1D$ ) 以降になると、入口から遠ざかるにつれ、壁面近傍の流速が遅くなる。

以上より、空気流は円筒管内を流れるに従い、その壁面境界層が発達するが、円筒管では、管内流量は一定であるので中央部の流速が速くなったものと考えられる。

図12は、円筒管内の半径方向の流速分布を知るために、流れが円筒管特性に一致した性質を示すノズルからの距離  $X/d = 160$  において ( $V/V_{max}$ ) と ( $Z'/1/2D$ ) との関係を両対数でプロットしたものであ

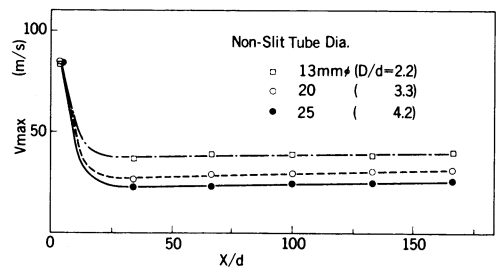


図10 各種口径のスリットなし円筒管のノズルからの距離による最高流速分布

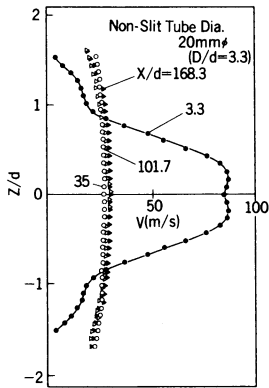


図11 スリットなし円筒管 20 mmφ のノズルからの距離による Z 軸半径方向の流速分布

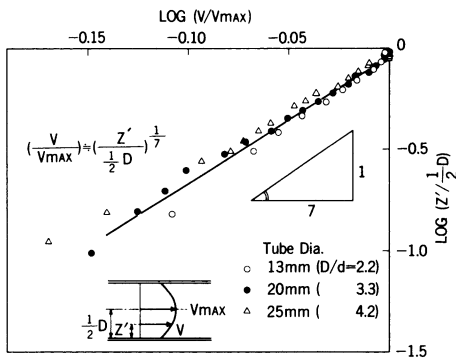


図12 円筒管内の乱流速度分布に対する 1/n 乗法則の適用性

る。図から、直線の傾きは1/7となり、両者の関係はほぼ

$$(V/V_{max}) \approx (Z'/1/2D)^{1/7}$$

で表される。これより、本実験の円筒管の半径方向の流速分布はほぼ1/7乗法則<sup>9)</sup>に従うことがわかる。

### 3.2 スリット円筒管の流れ特性

#### 3.2.1 壁面静圧分布

図13は、口径 20 mmφ の円筒管について、スリットあり(スリット率=4.0%)とスリットなしの壁面静圧分布を比較したものである。図より、壁面静圧  $P_s = 0$  なるノズルからの距離  $X_0$  の値を比較すると、スリット円筒管では  $X_0 \approx 13.3d$  となり、スリットなしの  $X_0 \approx 6.6d$  と比べて大きい。即ち、ノズルと円筒管入口の距離  $G$  を同一に設定した場合、スリット円筒管の方が管外からの空気取込み領域が長い。又、 $X_0$  を越える下流側ではいずれの円筒管も正圧を示すが、その値はスリット円筒管の方が小さく

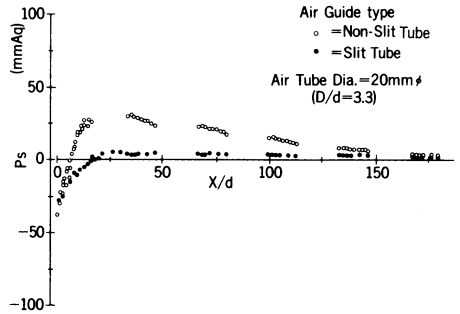


図13 口径 20 mmφ 円筒管におけるスリットの有無による壁面静圧分布比較

大気圧に近い。

#### 3.2.2 空気流量

図14は、前項のスリットあり、スリットなし円筒管について、 $G = 1.7d$  における円筒管軸方向の空気流量変化を示す。図より、スリットなし円筒管で

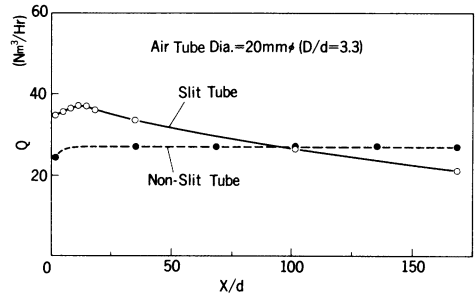


図14 口径 20 mmφ 円筒管におけるスリットの有無による空気流量変化の比較

はその中を流れる空気流量は一定であるのに対し、スリット円筒管では壁面静圧  $P_s < 0$  となる  $X_0 \leq 13.3d$  の範囲においてスリット部を通して円筒管外から空気を積極的に取込み、管内の空気流量はノズルから遠ざかるにつれ増加する。その後、壁面静圧  $P_s = 0$  なる  $X = 33.3d$  より下流の範囲では、スリット部から逆に空気もれるため、空気流量はノズルから遠ざかるにつれ、逐次減少する。従って、最終的な円筒管出口での空気流量は、スリット円筒管の場合  $21 \text{ Nm}^3/\text{hr}$  となり、スリットなしの場合の  $27 \text{ Nm}^3/\text{hr}$  に比べて少ない。

#### 3.2.3 軸方向の流速分布

図15に、 $G = 1.7d$  一定とし、入口流速が同一で円筒管(口径 20 mmφ)にスリット有無の場合の軸方向最高流速を比較したものを示す。図より、円筒管内の最高流速がノズル自由噴流の流速とほぼ一致している範囲はスリット円筒管の場合  $X \leq 13.3d$  までで、スリットなし円筒管では  $X \leq 6.6d$  である。

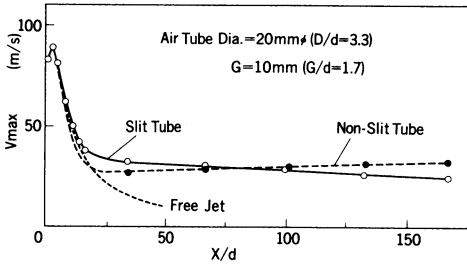


図15 口径 20 mmφ 円筒管におけるスリットの有無による最高流速分布

この領域は前述の壁面静圧  $P_s = 0$  なる地点  $X_0$  と対応している。そして両者の管の  $V_{max}$  値は  $X \approx 75d$  付近で一致する。次に  $X_0 \leq X \leq 75d$  では流速とともに円筒管特性を示すが、スリットなし円筒管よりスリット円筒管の方が流速が早い。これはスリット円筒管では前述したようにそれ以前の領域 ( $X \leq X_0$ ) で積極的に円筒管外から空気を取入れているためである。従って、 $X = 35d$  では、スリット管の場合  $V_{max} = 32 \text{ m/s}$  であるのに対して、スリットなし円筒管では  $V_{max} = 26.5 \text{ m/s}$  となる。さらに下流の  $X \geq 75d$  では、スリットなし円筒管では空気がもれないため大きく変化しないが、スリット円筒管では途中空気もれのため、漸次減衰していく。

3.2.4 半径方向の流速分布

図16は、上記スリット円筒管の Z 軸半径方向の流速分布をノズルからの距離との関係で示す。図の上

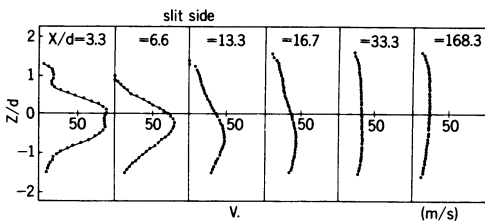


図16 円筒管口径 20 mmφ のスリットあり円筒管におけるノズルからの距離による Z 軸半径方向の流速分布

方がスリット側に対応する。円筒管壁面静圧が負から正になるノズルからの距離  $X_0 \approx 13.3d$  までの流速分布形状は図から明らかなように、スリット部からの空気の入込み量増加のため、最高流速の位置が反スリット側に偏る。

図17には、そのスリット円筒管の最高速度 ( $V_{max}$ ) 部分の中心軸からの偏り量 ( $ZV_{max}$ ) を無次元化して示す。図より、その最高速度部分は空気流が円筒管入口から下流に行くに従い、反スリット側に急激に

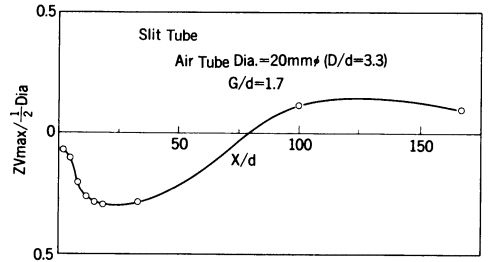


図17 口径 20 mmφ のスリットあり円筒管における最高流速地点の円筒管中心軸からの偏り

偏り、 $X = 20d$  で最大となる。その後、最高流速部はスリット側に反転し、最終的に円筒管出口では、中心軸を越えてスリット側に移動する。

3.3 口径の異なる円筒管の流れ特性

図18, 19, 20は、スリット率が4.0%一定で、口径が13 mmφ ( $D/d = 2.2$ ), 20 mmφ (3.3), 25 mmφ (4.2) の円筒管について、 $G = 1.7d$  での円筒管軸方向の最高流速・壁面静圧・空気流量を示す。

図18より、いずれの口径の円筒管についても、軸方向の最高流速分布は前報のエアガイドの場合と同様、その特性から2つの部分に分けられる。即ち、ノズルの自由噴流の特性とほぼ同じ流速を示す領域

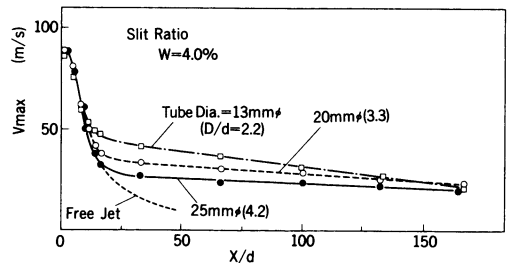


図18 スリット率一定の各種口径円筒管のノズルからの距離による流速分布

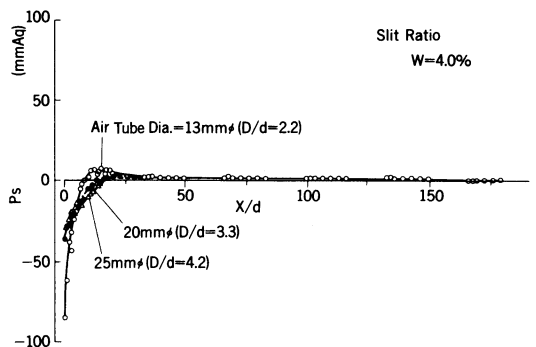


図19 スリット率一定の各種口径円筒管のノズルからの距離による壁面静圧分布

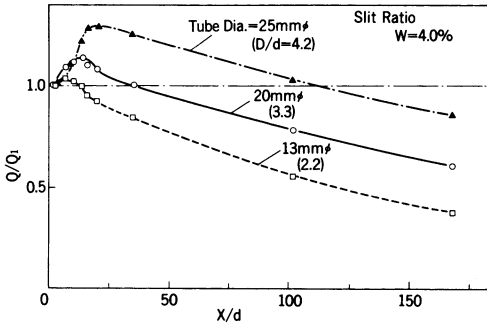


図20 スリット率一定の各種口径円筒管のノズルからの距離による空気流量変化

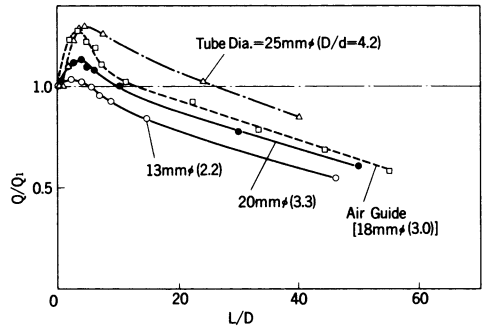


図22 エアガイドとスリットあり円筒管の無次元空気流量変化比較

と、円筒管の特性に応じた流速を示す領域がある。前者の領域の長さは、いずれの円筒管も図19の壁面静圧の負の領域の長さ ( $X_0$ ) と対応し、口径の大きいものほど長い。又、図20より、この  $X \leq X_0$  の領域では円筒管外から空気を吸込んでおり、その吸込み率 [(最大値を示す  $X = X_0$  での円筒管空気流量)/(円筒管入口での空気流量  $Q_i$ )] は、口径の大きなものほど大きい。一方、 $X > X_0$  の領域での流速分布の特徴は、円筒管自体の特性によって決定される。図18より、同じスリット率の円筒管では、口径の小さなものほど速度減衰率大きい。これは図20より、吸込み率が少ない上にスリットからの吹出し率 [(円筒管出口の空気流量)/(円筒管入口の空気流量)]  $\times 100$  が大きいからだと考えられる。

### 3.4 エアガイドとスリット円筒管との流れ特性の比較

図21、図22のそれぞれは、前項で取上げた各種円筒管 13 mmφ ( $D/d = 2.2$ ), 20 mmφ (3.3), 25 mmφ (4.2) について円筒管軸方向の最高流速分布と空気流量の変化率を前報のエアガイドと比較して示したものである。図より、最高流速分布・空気流量の変化率とともに円筒管口径 20 mmφ ( $D/d = 3.3$ ), ス

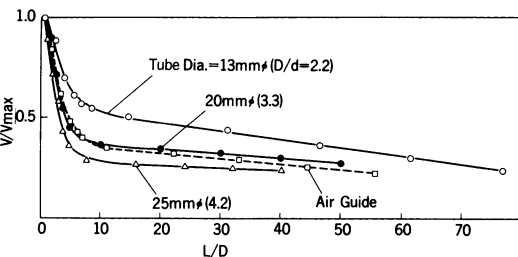


図21 エアガイドとスリットあり円筒管の無次元空気流速比較

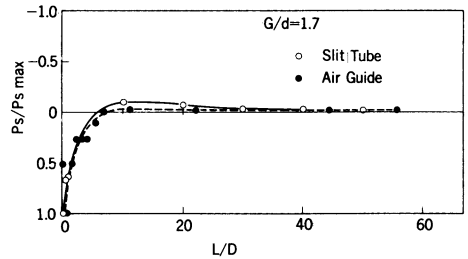


図23 エアガイドとスリットあり円筒管の壁面静圧分布比較

リット率 4.0% の円筒管がエアガイドと比較的一致している。

図23は口径 20 mmφ ( $D/d = 3.3$ ), スリット率 4.0% の円筒管とエアガイドのノズル軸方向の静圧分布を比較するが、これについても両者は比較的よく一致している。

## 4. 結論

本研究では、エアガイド方式 AJL での織入れ性能を向上させるための基礎研究として、前報に引き続いてエアガイドの中の空気流の特性を明確にするため、スリットを付けた場合とない場合の円筒管の空気特性を比較して検討した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 円筒管内の空気の流れは、壁面静圧  $P_s$  が負となる領域では自由噴流の性質をもち、正圧の領域では管内流の特性を示す。
- (2) 負圧を示す領域では、ノズルから出た噴流は円筒管の存在にもかかわらず、自由噴流とほとんど同じように周囲の空気を取込んで成長する。
- (3) 壁面静圧  $P_s = 0$  となるノズルからの位置 ( $X_0$ ) は、スリットなし円筒管では自由噴流が内壁面に衝突する位置にほぼ対応する。

(4) したがって  $X_0$  の大きさは、ノズルと円筒管との間に依存せず、円筒管の口径に依存する。なお、同一口径の円筒管においては、スリットありの方がなしより  $X_0$  の値は大きい。

(5) 任意のエアガイドのガイド軸方向の流れは、円筒管の無次元直径（円筒管口径/ノズル加速管口径）とスリット率  $\left\{ \left( \frac{\text{スリット幅}}{\text{円筒管円周}} \right) \times 100 \right\}$  を選定することにより、円筒管内流で類似させることができる。本実験では、無次元直径3.3、スリ

ット率4.0%の円筒管内の流れがエアガイドの空気流と概略一致した。

#### 参考文献

- 1) 石田; 繊維誌, 13, P240 (1977)
- 2) 石田, 岡島ら; 繊維誌, 42, T69 (1989)
- 3) 藤本; 流体工学, 養賢堂 (1980) P225
- 4) 原田; 流体の力学, 森北出版 (1959) P122