

熱拡散実験用風洞の製作および性能

吉野 章男・林 農・若 良二
林 達夫

機械工学科

(1985年9月3日受理)

Design and Performance of Wind Tunnel for Thermal Diffusion

by

Fumio YOSHINO, Tsutomu HAYASHI, Ryoji WAKA,
Tatsuo HAYASHI

Department of Mechanical Engineering

(Received September 3, 1985)

The new wind tunnel which is used in the experiment of thermal diffusion has been designed and constructed, and the performance has been tested. The working section can be separated into two parts and the walls are detachable. Such flexible feature of this wind tunnel has been established for use in various experiments, such as the effect of end condition, near wake and far wake of a body. At the maximum wind velocity 15.6 m/s, the deviation of the velocities from the mean value at the measured cross section is 0.5% and the area with turbulence intensity less than 0.28% occupied 61% of that of the effective cross section of the working section. From this excellent uniformity and homogeneity of the flow field, it might be concluded that this wind tunnel has an extensive usefulness for experimental researches for thermal diffusion.

1. まえがき

エネルギー輸送や熱伝達機構を持つ装置は、その大型化に伴って、わずかな効率向上も重要視されてきている。この代表的なものが熱交換器であり、省エネルギー的観点からは絶えず工学あるいは工業上の重要課題の一つに挙げられている。熱交換器のうちでも最も多く利用されている多管式熱交換器の設計のためにはその基礎資料として、一様流中の円柱まわりの流れ¹⁾、種々の配置の二円柱間の流れの干渉²⁾、傾斜した円柱まわりの流れ³⁾等の研究成果は有効に利用されることができる。さらに熱交換器に近寄る流れはかならずしも一様流とは限らないので、流れに直角方向に速度勾配のある剪断流⁴⁾や一様な温度勾配を持つ流れに関する研究⁵⁾⁻⁶⁾も重要視されている。一方、円柱表面からの局所熱伝達係数を精度よく測定した研究成果⁹⁾も熱交換器の効率向上に役立つに違いない。

しかしながらこれらの研究成果は同一条件同一状態で得られたものでないので、最適設計条件を見いだせるかどうかは疑問の残るところである。以上のことを背景として種々の実験条件の組合せが可能な、例えば一様な温度勾配のある一様流中の傾斜円柱からの局所熱伝達係数のように随意的な組合せが可能な、融通性のある風洞を開発し、円管または円管群に関する研究を取り上げることは意義深いことである。

そこで筆者らは、このような種々の実験に対して融通性のある熱拡散実験用風洞を設計して、実験条件を明確に定義した上で同一条件の実験を同時進行させることを目的として、この熱拡散実験用風洞を3台製作した。3台の風洞は設置場所の許容床面積や配置等の違いの關係から、その構造には若干の相違がある。本報告はその内の一台についてのもので、その風洞は図1に示すように全長約11mの吹抜け構造のエッフェル型である。

記号

- x : 加熱胴始端を原点とする流れ方向の座標
- y : 流路中心軸を原点とする水平方向の座標
- z : 流路中心軸を原点とする垂直方向の座標
- y' : 境界層内における側壁からの距離
- U : 主流速度
- Uc : 流路中心軸上の主流速度
- Ue : 境界層外縁の主流速度
- $\sqrt{u'^2}/U$: 乱れ強さ
- δ : 境界層厚さ
- δ^* : 排除厚さ = $\int_0^\delta (1-U/Ue)dy'$
- θ : 運動量厚さ = $\int_0^\delta U/Ue(1-U/Ue)dy'$
- H : 形状係数 = δ/θ
- Pd : 主流の動圧
- ΔP : 縮流胴前後の差圧

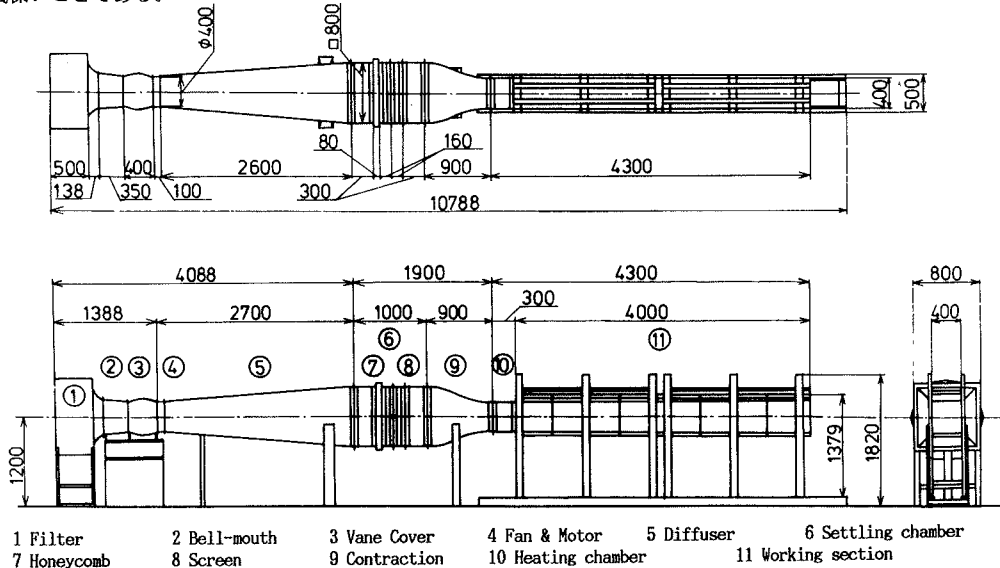


Fig. 1 Wind tunnel for thermal diffusion

2. 基本計画

2-1 基礎条件

3台の風洞は同一条件下で実験が行なえるように出来る限り同一構造としたいので、それぞれの設置場所の許容床面積の大きさから全長は10m程度とする制限が設けられる。また、流路内に一様な温度勾配のある流れを実現することによって引き起こされる温度上昇量を低く抑えるために風洞は吹抜け構造のエッフェル型を採用する。流速は5~10m/sの範囲で可変とし、供試円柱の直径は10~20mm、実験レイノルズ数は約 10^4 前後とする。円柱近傍後流のみならず遠方後流についても測定可能な構造とする。流路内の温度勾配は加熱格子により作成し、温度勾配の方向が縦横に変換可能なように断面は正方形とする。以上の要件を満たすように算出した設計仕様は要約すると次のようである。

- (1) 測定胴は断面400mm×400mm、長さ4000mmとする。
- (2) 流速は $U=5\sim 10$ m/s程度で可変とする。
- (3) 流路内の温度勾配は $U=10$ m/sの時 $0.2\text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$ で、温度上昇は $5\text{ }^\circ\text{C}$ 程度とする。

2-2 風洞本体

風洞本体は、図1に示すように全長10,788mmの吹抜け型である。縮流胴は入口寸法800mm×800mm、出口寸法395mm×395mmの間を三次元的に絞り、その絞り比は4.102:1である。縮流胴と加熱胴の接合部には断面積の急拡大による乱流境界層の発達を促すために、2.5mmの段差を設けた。縮流胴ノズル形状は次の $\Pi \circ B \times$ の式¹⁰⁾

$$Y = \frac{Y^2}{\sqrt{1 - [1 - (Y_2/Y_1)^2] \frac{(1 - 3X^2/a^2)}{(1 + X^2/a^2)}}} \quad (1)$$

を用いて算出した。ここで、 Y は入口からの任意距離 X における中心線からノズル壁面までの距離を表わし、 Y_1 は入口での中心線からの距離、 Y_2 は出口での中心線からの距離、 $a/\sqrt{3}$ はノズルの全長を表わす。ノズル壁面および加熱胴の内法の概形を図2に示す。なお図中にはノズル形状比較のためにVitoshinskii¹¹⁾による概形も破線で示した。

整流胴には整流格子1枚と整流金網2枚をそれぞれ160mmの間隔で設け、塵埃除去用窓を格子および金網の上流側に設けた。整流格子はセルサイズ3/8インチ、長さ80mmのアルミハニカムを採用した。目の大きさは整流胴の

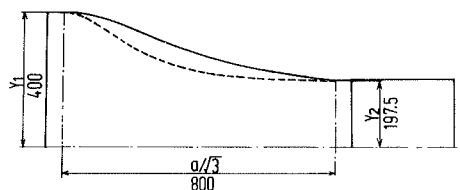


Fig. 2 Contraction

辺の長さの1.19% 格子の長さはセルサイズの8.4倍であるので十分な整流効果が期待される¹¹⁾。整流金網は最適開口比が0.57である^{12)・13)}ことと損失係数の推薦値が2.0である¹¹⁾ことを考慮して、上流側1枚目には線径0.47mm、メッシュ16、開口比0.496、損失係数2.00、下流側の2枚目には線径0.29、メッシュ24、開口比0.527、損失係数1.82の金網を採用した。熱伝達に及ぼす主流乱れの影響は顕著であることが予想されるので、主流中に含まれる乱れ強さは0.5%以下に抑える必要がある。したがって、整流胴の構造は整流格子や金網が容易に追加できるようにした。

風洞用送風機は在原製作所製斜流式送風機(No.4, LFM 1.5) 吐出・吸込口径400mm、風量 $96\text{ m}^3/\text{min}$ 、静圧 55 mmAq 、電動機定格200V、6.2A、1710rpm、3相、1.5kW、60Hzを採用した。この送風機のナセル後端は切り立った形状であるので、縮流胴出口での速度分布の不均一さを除くため流線形後縁部を加えて改造した。

送風機出口での直径400mmの円形断面から整流胴入口での800mm×800mmの正方形断面までをなめらかに接続する異型拡大管は、その内部での流れには離れ領域が生じないように長さは2600mmとした。その拡がり角は辺に向かって片側 4.4° 、角に向かって 8° であり、平均拡がり角を $\theta = \tan^{-1}(\sqrt{W^2/\pi - D}/2)/L$ と定義するとその値は 5.5° である。ただし W は正方形断面の辺の長さ、 D は円形断面の直径、 L は拡大管の長さである。

ベルマウスは送風機入口での空気の流入をなめらかにして入口損失を減少させる。これは厚さ1mmの鉄板を叩き出し作業によって吸込部に半径150mmの曲率を付加したものである。最上流部には微小な塵を除去して熱線流速計による測定精度を上げるために、漏材厚さ14mm、捕集効率76%のエアーフィルタを設けた。

5~10m/sで可変である主流速度の制御については、送風機上流側の吸込口ベーンによる風量制御の方法(ベーン・コントロール方式: ケースI)と試験部出口に設置する吐出ダンパによる風量制御の方法(ダンパ方式: ケースII)の二種類について二者択一が可能ないように備えた。

2-3 測定部

測定部は入口断面400mm×400mm 長さ4mであり、近傍後流測定時には丁度半分の2mの所で切り離すことのできる構造となっている。図3は半分に切り離した測定部の状態を示している。内壁の材質は熱絶縁性のよい塩化ビニール樹脂板およびアクリル樹脂板を採用した。壁面温度は乱流熱伝達を仮定すれば約5～6分で定常状態に達する。境界層の発達に伴う排除厚さの増分は基準流速10m/sと仮定して上下壁面を、最後端で24mm上げることによって吸収した。さらに測定部の抵抗損失と排除厚さによる圧力降下を補償するための測定部断面積の微小調整ができるように上壁面は厚さ4mmの塩化ビニール樹脂板によって可撓壁とし、ネジ棒46ヶによる釣下げ式とした。この釣下げ式で問題となる壁の弛みは水平方向に張力を加える機構を採用することによって解決した。この張力付加機構をそれぞれ独立に持っているので、前半・後半の測定部は着脱が容易である。

両側の壁は全長に渡って可視化観察が可能なように厚さ10mmの透明アクリル樹脂板を採用し、流れ方向の任意の位置に供試物体(円柱)を設置したり移動したりできるように400.5mm 幅の小片に区分けしてある。このように側壁を小区分することによって壁面自体を任意の位置に自在に着脱・入替えることができるので、運転時においても熱線プロブやピトー管あるいは供試物体すらも任意の位置に移動可能となる。さらに傾斜円柱に関する研究では自由噴流による実験や風洞による実験などが混在しており円柱端の影響が見落とされているので、壁面着脱自在構造を採用することにより円柱の自由端、壁面端、端板付属の3種類の端形状の違いによる実験を企画することができるように特別な工夫を凝らしたものである。

供試円柱の位置は、(1) 一様な温度勾配ができてい

る位置であること(2) 温度勾配は加熱格子の目の間隔の40倍で安定することを考慮して、加熱胴始端からX=1300mmの位置とする。直径dの円柱が一様流中にある時の後流の幅はその時の抵抗係数をCdとすれば、 $b = 0.566((X-1300) \cdot Cd \cdot d)^{1/2}$ である。遠方後流に注目する時、測定部出口端X=4300では、d=10mmならばb=100mmとなり後流が境界層と干渉しない条件を満足する。

3. 性能試験

縮流胴出口断面における速度分布は361ヶの交点において外径1.5mm、内径0.8mmのピトー静圧管で速度を、球形直径6mmの5孔ピトー管で風向を計測する。加熱胴出口においても同様な計測をする。これらの測定では送風機上流のベルマウスやフィルタを取り付けずに、粗塵吸込防止用として開口比0.597の金網を装着した状態である。測定部床面には流路幅の中央Y=0の位置に流れ方向に沿ってX=360～4180mmの間17ヶ所に直径0.7mmの静圧孔が明けられている。測定部の主流速度は縮流胴前後の圧力差を用いて算出できるように較正曲線を求める。測定部内の流況は入口X=400(X座標の原点は加熱胴始端)、供試円柱が設置される予定のX=1300、出口端X=4000の3ヶ所に於いて、断面内平均速度分布、乱れ強さ分布および側壁上での境界層内速度分布を計測する。流路に沿う流れ方向には壁面静圧分布、中心軸上の速度・静圧・乱れ強さ分布および側壁中心軸に沿った境界層の発達状態を調べる。

流速制御方法としてはケースIのベーン・コントロール方式とケースIIのダンパ方式の二種類について特性の違いを比較検討する実験を行なう。ケースIでは送風機の上流側に設けられているベーンカバー内に可動翼を設置することによって風量を制御することを想定して、フ

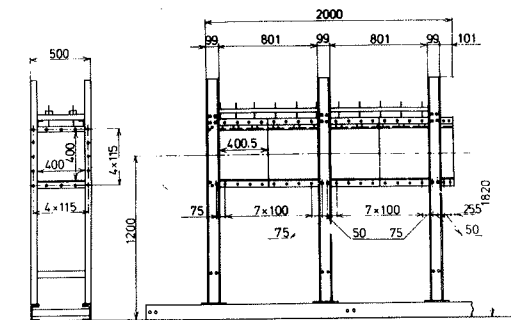


Fig. 3 Working section

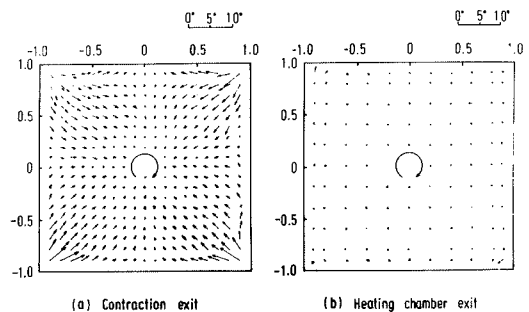


Fig. 4 Velocity vector diagram

フィルタの空気流入面積を加減して流速を変化させる。ケースⅡでは、測定部出口にダンパを設置することを想定して、500mm×500mm 厚さ1mmの鉄製遮断板を測定部からの吐出流に垂直に立て、測定部流路の終端と遮断板との距離を変えることによって流速を変化させる。ケースⅠ,Ⅱのそれぞれについて測定部内の主流速度と静圧分布を測定し、最適な流速制御方式を選択する資料を得る。

4. 風洞性能

4-1 縮流特性

縮流胴出口断面における速度分布は断面中央部約20%の領域での速度が低く周辺領域で速度が高くその速度差は中心速度 11.92m/s の5%にも達することを示した。この一因が送風機のナセル後端の絶壁形状にあると推察して、木製の流線形後縁物体を追加したところ中心速度は 12.2m/sとなり 2.6%の上昇が得られたが、等速線図は間隔が若干拡がったにとどまった。この時の風向線図は、図4(a)に示すように、中心に向かう強い速度成分を持っていることを示し、中心部での圧力回復が完全でないことを示唆している。この主因としては、本風洞に採用したノズルの絞り込み過程が不十分であることが考えられる。ノズル内での中心速度が出口速度の1/2に達する点をより上流側に移動するのが望まれるので、1例として図2中に破線で示したように、絞り込みの急な形状が好ましい。この圧力回復の不十分さは、2.5mmの段差で急拡大した加熱胴を流が通過することにより解消され、図4(b)に示すように、平均速度の風向はX軸にほぼ平行となり、速度差1%以内の一様な速度分布が得られた。

最終的な組上げ段階で得られた最高主流速度は 15.6 m/sにも達した。これはバルマウス接続の効果であり、送風機の入口損失を減じることによって測定部およびフィルタの装着にもかかわらず、平均速度は20%も上昇した。

4-2 流路特性

図5は測定部流路中心軸上での主流速度、乱れ強さ、静圧の流れ方向分布を示す。これは測定部の抵抗損失と流路周囲壁面上での境界層排除厚さによる圧力降下を補償するために、壁面静圧が一定になるように監視しながら、可搬上壁面の微調整を行なった後での結果である。主流速度は全域にわたって 15.4m/s で一定である。壁

面の隙間を通して外部からの空気の流入を防ぐために流路内圧は大気圧よりわずかに高くしてあるので、中心静圧は 0.05~0.10mmAl に納まってほぼ一定である。乱れ強さは $X=450$ において 0.27%, $X=1350$ で 0.275%, $X=3350$ で 0.30%と下流に向かってわずかずつ増加する傾向を示している。しかし整流金網はわずか二枚入れただけでもかかわらず乱れ強さは十分小さな値が得られたことは特筆すべき事柄である。

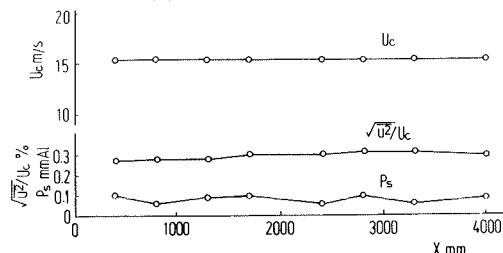


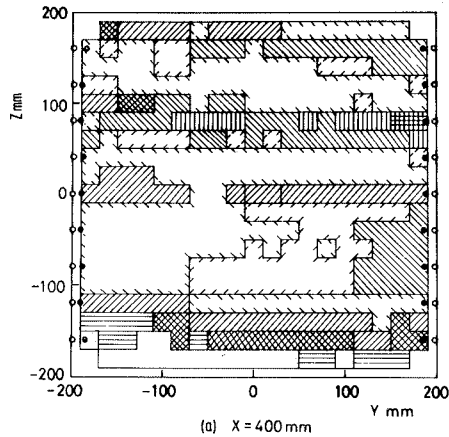
Fig. 5 Streamwise distribution of velocity, turbulence and static pressure ($Y=0, Z=0$)

4-3 断面平均速度特性

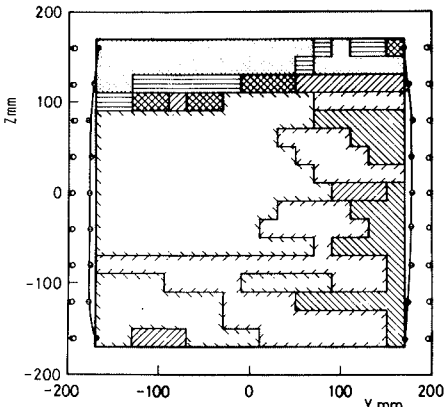
図6は $X=400$, $X=1300$ および $X=4000$ における流路断面内の境界層領域を除いた範囲での平均速度の偏り分布を示す。図6(a) $X=400$ に示すように、領域全体の平均を基準とした平均速度の偏りが $0 \sim \pm 0.25\%$ の領域は全体の38%, $\pm 0.5\%$ 以内の領域は 66%も占めているので、測定部入口において既に相当一様な速度分布を得ていると言える。しかしその空間分布を詳細に見ると、 $Z>0$ の範囲に高速領域があり断面下方で速度の遅い傾向を示している。最も重要な供試円柱設置位置 $X=1300$ においては、図6(b)に示すように、速度差が $0 \sim \pm 0.25\%$ の領域は全体の 43%, $\pm 0.5\%$ まで含めると 69%も占めている。 $100 < Y < 160$ の領域でやや高速領域が見られるもののほぼ一様な速度分布を呈していると言える。図6(c)に示す $X=4000$ の位置では境界層の領域が大部分を占め主流領域は全断面積の40%程度に過ぎない。主流領域での速度分布はほとんど完全に一様化され偏り量が $0 \sim \pm 0.25\%$ 以内に含まれる範囲はその内の82%, $\pm 0.5\%$ まで含めると 98%まで達している。

4-4 乱れ強さ特性

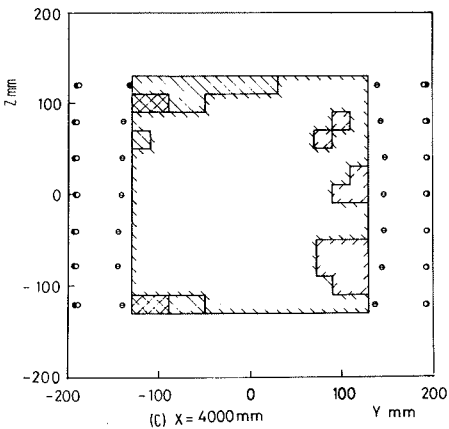
図7は $X=450$, $X=1350$ および $X=4050$ における断面での乱れ強さ $\sqrt{u^2}/U$ の分布を示す。 $X=450$ では、図7(a)に示すように、乱れ強さが 0.3%以下の領域は 73%, 0.5%以下は 96%である。図7(b) $X=1350$ では乱れ強



(a) X=400 mm



(b) X=1300 mm



(c) X=4000 mm

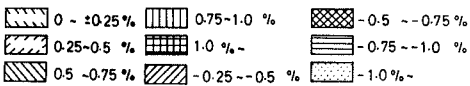
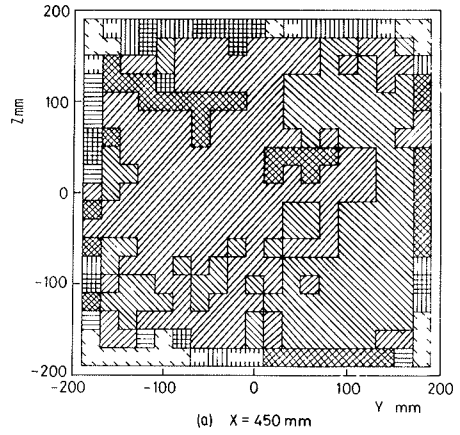
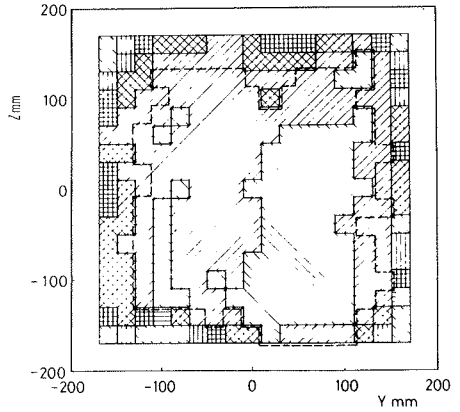


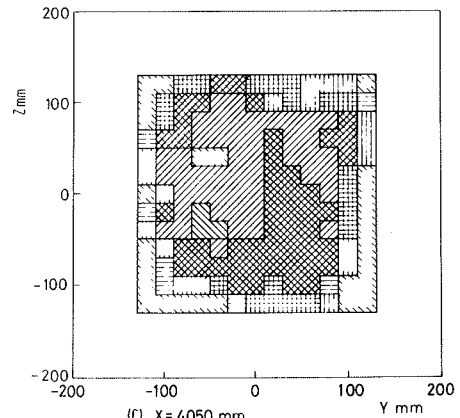
Fig. 6 Velocity distribution in working section



(a) X=450 mm



(b) X=1350



(c) X=4050 mm

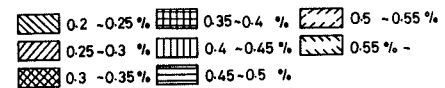


Fig. 7 Distribution of turbulence intensity in working section

さが 0.2 ~ 0.25% 以内の領域は 27%、0.3% 以下の領域は 73% であるが、0.22 ~ 0.28% の領域は破線で囲まれる 61% の領域である。図 7 (c) $X=4050$ では乱れ強さは増大しており、0.3% 以下の範囲は 31% に減少している。

4-5 境界層特性

側壁面上での境界層内の速度分布を図 8 に示す。図 8 (a), (b), (c) は $X=400, 1300, 4000$ における、左図は左舷 ($Y = -200$) 右図は右舷 ($Y = +200$) での、速度分布を示す。左右側壁とも中央 ($Z = 0$) で境界層は最も薄く、天井

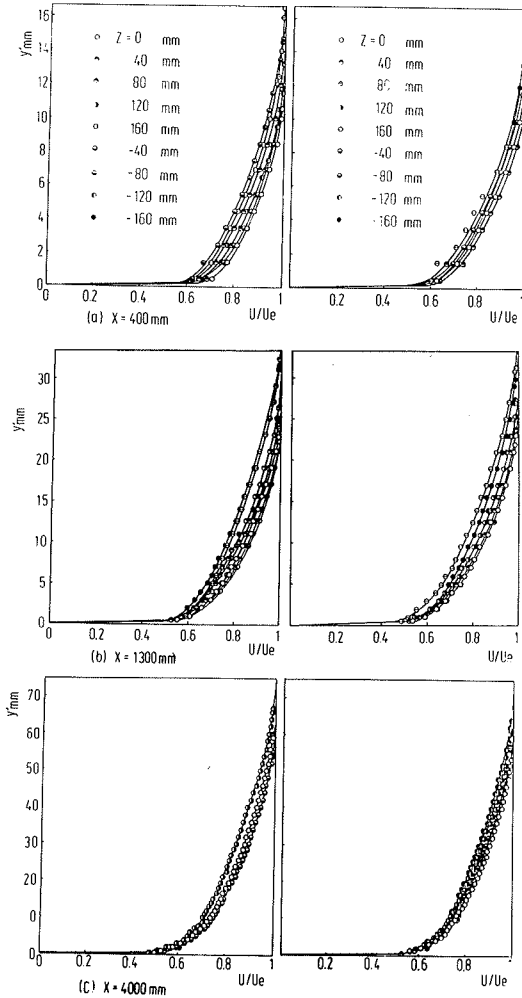


Fig. 8 Velocity distribution in boundary layer

($Z > 0$) および床 ($Z < 0$) に近づくにしたがって境界層は厚くなることを示す。これは、図 6 (b) 中にも丸印と実線で境界層厚さ δ の変化の様子を示してあるように、流路のコーナーへ向かう二次流れを含んでいることを示唆している。壁面からの距離 Y' を運動量厚さ θ で無次元化した速度分布は、図 9 に示すように、 Z に関係なく相似であることを示している。図 10 は左舷及び右舷の側壁面中央での境界層内速度分布の流れ方向への推移を示したものである。左右の壁での速度分布は全長にわたって相似であることを示している。図 11 は境界層内速度分布から得られた境界層厚さ δ 、排除厚さ δ^* 、運動量厚さ θ および形状係数 H の下流方向への変化を示す。 δ, δ^*, θ それぞれの値は左右の壁面上でほぼ同じであり、下流へ向かって増加し主流速度が 15 m/s では測定部出口での排除厚さは約 20 mm である。形状係数 H は全域で約 1.4 の値であるので、加熱胴の始端から乱流境界層が始まっていると見る事ができる。

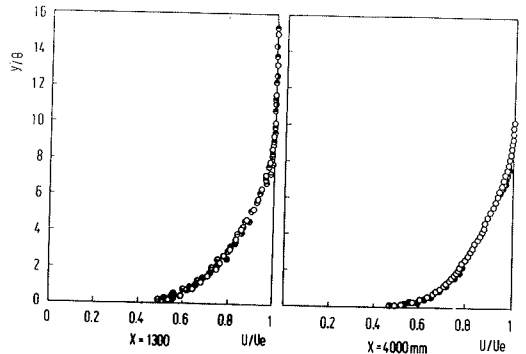


Fig. 9 Nondimensional velocity distribution in boundary layer

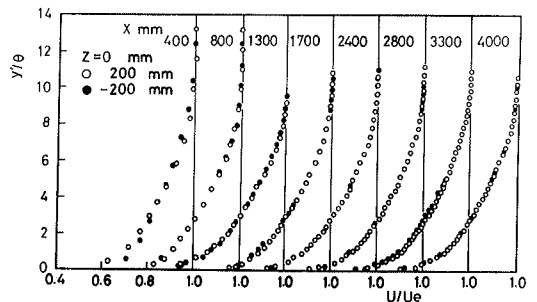


Fig. 10 Nondimensional velocity distribution in boundary layer

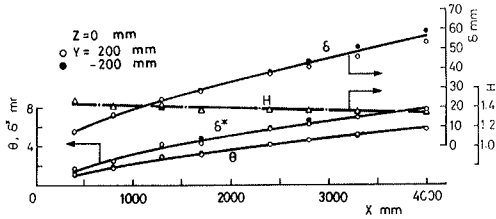


Fig. 11 Boundary layer-, displacement-, and momentum thicknesses, and shape factor

5. 風量制御特性

風量制御実験に先だって、最大流速 $U=15.638\text{ m/s}$ の時測定部の流れ方向の壁面静圧を、流路内全域にわたって大気圧よりわずかに高い $0\sim 0.05\text{ mmAl}$ の範囲に納めることを目標にして、可撓上壁面の微調整を行なった。図12の実線はその結果得られた下側壁面静圧の分布を示し、最上流測定点を除いて $0\sim 0.05\text{ mmAl}$ 以内の静圧となっている。

ケース I のペーン・コントロール方式を想定した上流側制御法では、図12の破線で示すように、流速を減じてもその流路内の壁面静圧は変わらないことを示している。

ケース II のダンパ方式を想定した下流側制御法では、図13に示すように、主流速度を減じることに伴って下側壁面静圧は上昇し、測定部全域にわたって静圧は一定であることを示している。その時得られた壁面静圧と主流速度の動圧の和は送風機の流量-圧力特性にしたがって変化し、送風機性能に直接支配されることが分かった。測定部出口直前での静圧の急激な減少は流線の曲がりによる影響である。



Fig. 12 Distribution of wall static pressure :Case I

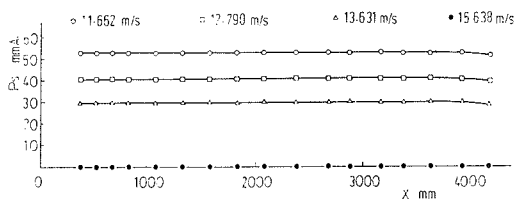


Fig. 13 Distribution of wall static pressure :Case II

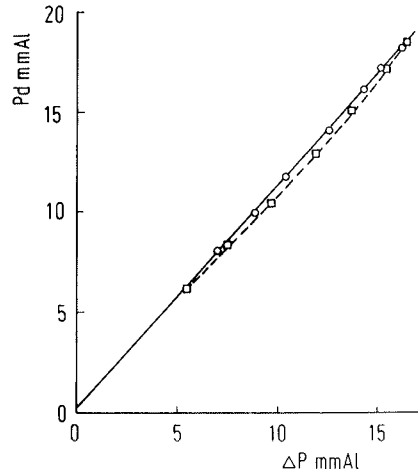


Fig. 14 Calibration curves for dynamic pressure

図14は測定部中心における主流速度をノズル前後の圧力差で算出するための較正曲線である。圧力差 ΔP は縮流胴入口前方150mmの整流胴上壁と縮流胴出口後方200mmの加熱胴上壁に取り付けられた圧力タップから求められた。ケース I の場合の測定部中心の動圧 Pd は圧力差 ΔP と線形関係にあり

$$Pd = 1.11300 \times \Delta P + 6.5275 \times 10^{-2} \quad (2)$$

で表わされる。ケース II の場合はやや低い動圧を示し、かならずしも線形関係にあるとは言えない。

6. 供試物体端の実験条件

一般に流れの中に置かれた供試物体は、その特性の二次元性を保証するために、アスペクト比 $1/d$ を十分大きく採ったり、Gerrardが提案¹⁴⁾したように端板をつけたりする。一方、傾斜物体の場合は横相が一変して、二次元性を保証するものは何であるかが分かっていない。また二次元性が保証できるか否かも分かっていない。従って物体を傾ける時、その物体の端と測定部の側壁との取付部の構造が大変厄介なものとなることと相俟って、供試物体の設置状況は研究者によってまちまちである。例えば (1)自由噴流中に置いた場合 (2)平行壁面間に差し渡した場合 (3)水路中に没した場合等々である。主としてその端の状態が異なっている。厳密な意味では、従来の研究はこの端の条件の違いを見落としていると言える。そこで、本風洞を利用した実験の一例として、直径10mmの円柱まわりの表面静圧分布に及ぼす端の影響について調べ、実験条件を明確に定義することを試みた。

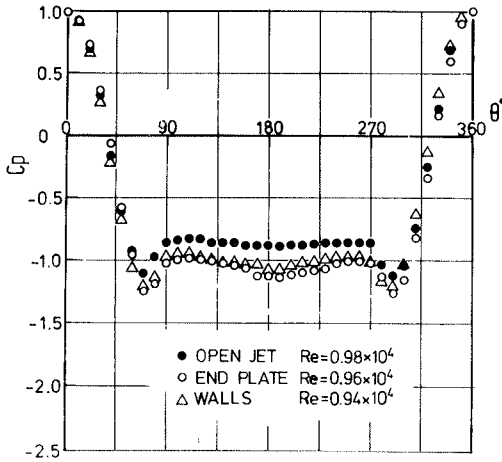


Fig. 15 Distribution of static pressure on the circular cylinder

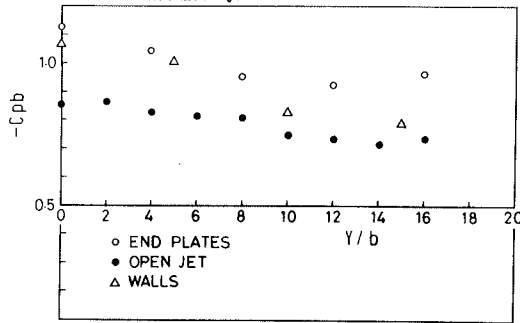
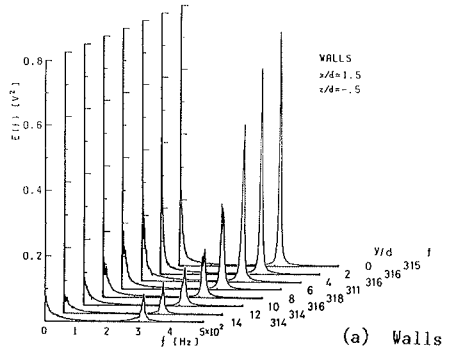


Fig. 16 Spanwise distribution of base pressure
円柱端の状態は(1)円柱を測定部側壁間に差し渡した状態(Walls) (2)側壁を取りはずして円柱が流路を貫通している状態(Open-jet) (3)流路を貫通している円柱に流路幅より狭い間隔で端板をつけた状態(End-plates)の3種類である。

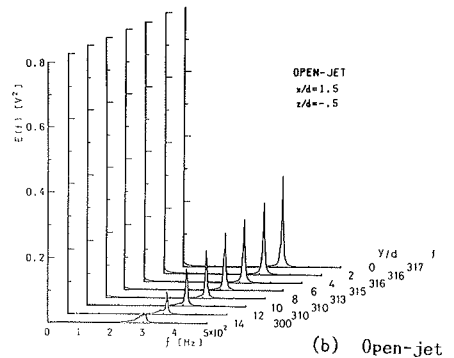
図15は円柱のスパン中央断面における表面静圧分布を示す。円柱前面の圧力は端の条件には関係しなく、 $80^\circ < \theta < 280^\circ$ の範囲での背圧係数に対して影響が著しいことを示している。 $\theta=180^\circ$ における背圧係数は、(3)の端板条件では $C_{pb_{180}} = -1.125$ と最も低く、 $Re=10000$ 程度で一般に二次元性が保証されているとされる場合の背圧係数と一致している。一方 (1)の壁面間条件では $C_{pb_{180}} = -1.069$ 、(2)の端開放条件では $C_{pb_{180}} = -0.855$ の値に上昇している。このように端開放状態で最も高い値を示す理由として、円柱端から円柱背面に回り込む流体が背圧を上昇させることが考えられる。すなわちアスペクト比が $l/d = 40$ と比較的小さいために円柱端の影響がスバ

ン中央にまで及んでいることを示している。

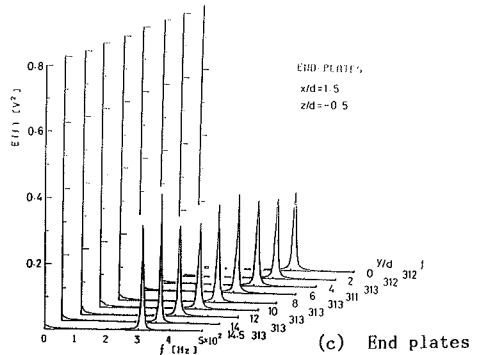
背圧係数のスパン方向分布は、図16に示すように、端板、壁面間、解放端の順に $-C_{pb}$ が減少することに加えて円柱中央より端に向かうに従っても減少している。この傾向は解放端のみならず壁面間、端板条件の場合でも見られることは注目すべきことである。



(a) Walls



(b) Open-jet



(c) End plates

Fig. 17 Power spectrum of vortex

他の原因として、円柱から放出される渦の構造の三次元性が考えられる。¹⁵⁾ 図17(a)、(b)、(c)は円柱後流の放出渦のパワースペクトル分布を示す。端の条件の違いによって卓越周波数およびピーク値に差が生じている。ここでは、この事実を指摘するにとどめ詳細については今後の研究で解明する。

7. あとがき

多管式熱交換器の円管または円管群の熱伝達に関する研究に主眼を置いて、種々の実験条件を設定できるように設計・製作された熱拡散実験用風洞についてこれまでに実施した性能試験の結果、本風洞は種々の実験にたいして融通性があり、十分広範囲な実験条件を提供し得る装置であるという結論に達した。主なものを列記すると風洞の性能に関しては

- (1) 流速は測定部断面内で一様で、その値は15m/s以上に達しているので、フィルタの経年変化や風量制御機構の追加等を勘案しても、計画の10m/sは十分保証できる。
- (2) 流路内の主流特性は、供試円柱設定位置で平均速度の偏りが0.5%以内で一様、乱れ強さは0.28%以内で十分小さく良好である。

風洞の構造に関しては

- (1) 壁面着脱自在構造を採用したことによって円柱の自由端、壁面端、端板付属の3種類の端条件の違いによる実験が可能となり、円柱まわりの流れに対して端条件は顕著な影響を及ぼすことが判明した。
- (2) 流速制御の方式はケースⅠのベン・コントロール方式の方がケースⅡのダンパ方式よりも、測定部の静圧が一定であること、主流速度の較正が容易であることの点において優れている。

最後に、本風洞の製作および本風洞を使った熱拡散に関する研究は鳥取大学工学部機械系学科の流体・熱関連三講座の共同研究からなるものである。共同研究に参加された熱機関学講座の藤本義雄教授、鈴木豊彦助教授、落合義孝助手、生産装置工学講座の柏田幸男教授、田辺征一助教授、岩田博助手に深く感謝の意を表わします。

さらに風洞の製作に際して実習工場の技官の皆様の大なる援助と、性能試験に関して4年生の井上武志君、中島美則君、井上恭介君の協力を感謝致します。

参考文献

- 1) Bearman, P.W., J. Fluid Mech., 37, 577(1969)
- 2) Zdrovkovich, M.M., Trans. ASME, I: J. Fluids Engng. 99, 618(1977)
- 3) King, R., Trans. ASME, I: J. Fluids Engng. 99, 495(1977)
- 4) Kotansky, D.R., AIAA J, 4-8, 1490(1966)
- 5) Rooney, D.M. & Peltzer, R.D., Trans. ASME, I: J. Fluids Engng. 103, 88(1981)
- 6) Tavoularis, S. & Corrsin, S., J. Fluid Mech., 104, 311(1981)
- 7) Alexopoulos, C.C. & Keffer, J.F., Phys. Fluids, 14, 216(1971)
- 8) Durbin, P.A. & Hunt, J.C.R., Phys. Fluids, 25, 588(1982)
- 9) Boulos, M.I. & Pei, D.C.T., Int. J. Heat Mass Transfer 17, 767(1974)
- 10) ポフ, 村田他訳: 空気力学実験法 朝倉書店, 1969
- 11) Gorlin, S.M. & Slezinger, I. I.,: Wind Tunnels and Their Instrumentation, Israel Program for Scientific Translations, 1966
- 12) 古屋・大坂, 機論, 40 339 (昭49-11), 3045
- 13) 大坂ら, 機論, 42 359 (昭51-7), 2081
- 14) Gerrard, J.H., J. Fluid Mech., 25, 143(1966)
- 15) Gerich, D. & Eckelmann, H., J. Fluid Mech., 122, 109(1982)