

東 北 大 学

高速力学研究所報告

第 48 卷 第 422 号

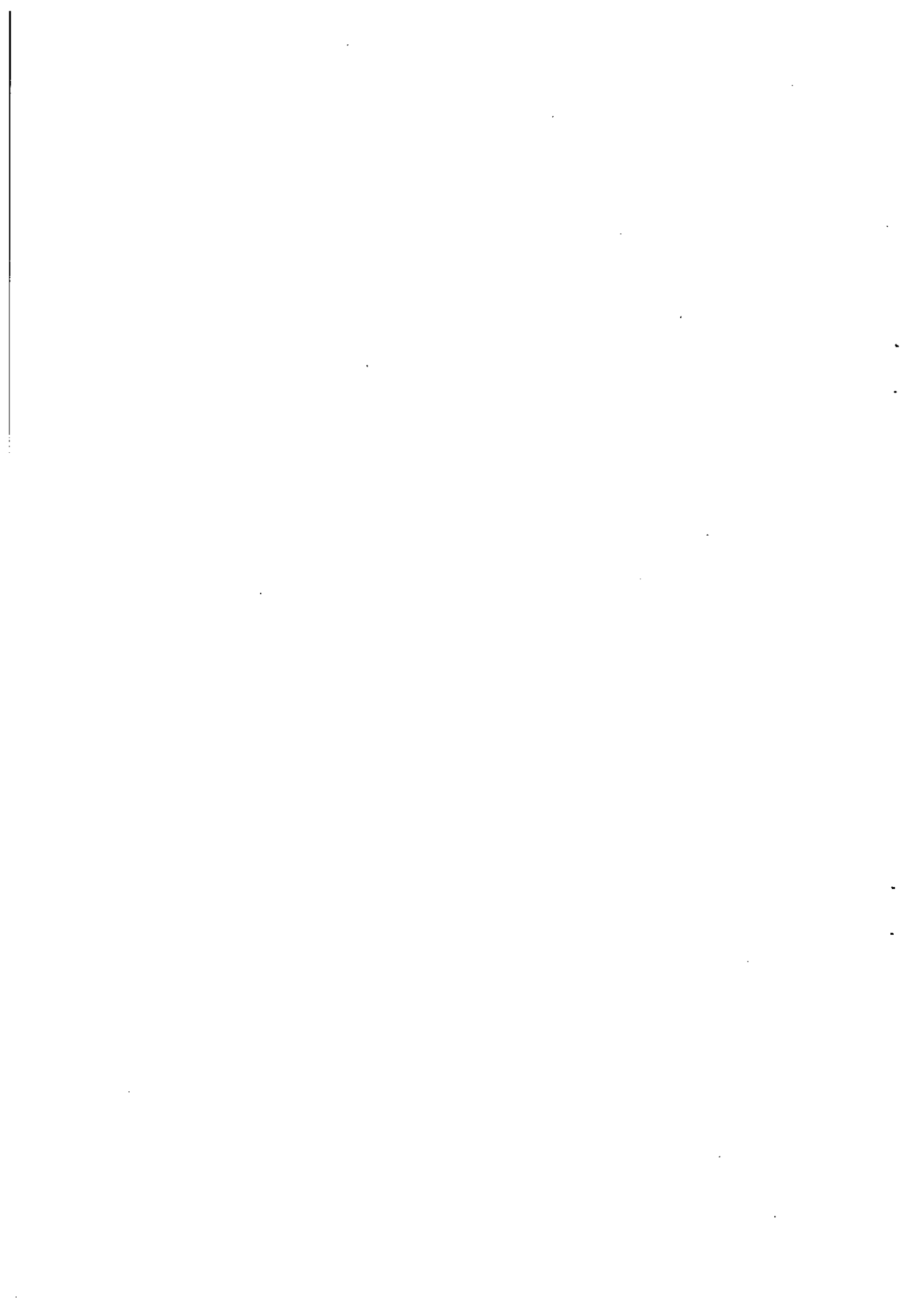
昭 和 57 年

小型低乱風洞の性能測定結果について

.....小浜泰昭, 小林陵二, 伊藤英覚

The Memoirs
of the
Institute of High Speed Mechanics,
Tōhoku University,
Sendai, Japan

(Mem. Inst. High Speed Mech., Tōhoku Univ.)
Vol. 48 (1982), No. 422



小型低乱風洞の性能測定結果について¹

小 浜 泰 昭²
小 林 陵 二³
伊 藤 英 覚⁴

摘 要

高速力学研究所附属気流計測研究施設の小型低乱風洞の性能及び整流胴内の風速分布・乱れ強さ分布の測定結果について述べる。密閉型測定部における気流の乱れ強さは風速 15 m/s において約 0.03 % であって、小寸法の低速風洞としてはきわめて低い値であった。また、整流胴内のハニカムの下流に備えつけた整流用織金網の枚数は、20 メッシュ、線径 0.27 mm、開口面積比 0.62 の場合、5 枚が最適である。

1. 緒 言

低速風洞は、各種物体周りの流れの流体力学的研究に使用されており、近年は機械工学・航空工学のみならず、土木工学、建築学、船舶工学、環境科学、気象学、農学などの分野の実験的研究にも広く利用されるに至っている[1～4]⁵。特に流体力学において重要視される境界層の層流から乱流への遷移現象の解明、及び一様流中におかれた各種物体の流体力学的特性に及ぼす気流の乱れ強さの影響を解明するためには、測定部気流は低乱流でなければならない。そのため、近年建設される低速風洞は低乱流のものが多く、本研究所附属気流計測研究施設に設置されている大型の低乱熱伝達風洞も、上記の目的で設計・製作された。本小型低乱風洞は、同研究施設の低乱熱伝達風洞[5]の建設に先立って、低乱風洞の設計方法[5～7]の妥当性を実験的に検討し、設計に必要な諸データを得るために製作され、現在は各種の気流計測用プローブ類の検定、小寸法の模型を用いた実験研究、及び低乱熱伝達風洞を用いた実験に先立つ予備実験などに常時使用されている。

本報告においては、上記小型低乱風洞の測定部を密閉型とした場合、及び開放型とした場合の

1. 昭和56年11月7日、日本機械学会東北支部仙台地方講演会において講演。原稿受付 昭和57年4月28日。
2. 東北大学講師、高速力学研究所勤務。
3. 東北大学教授、高速力学研究所勤務。
4. 東北大学教授、高速力学研究所勤務。
5. 括弧内の数字は末尾の文献の番号を示す。

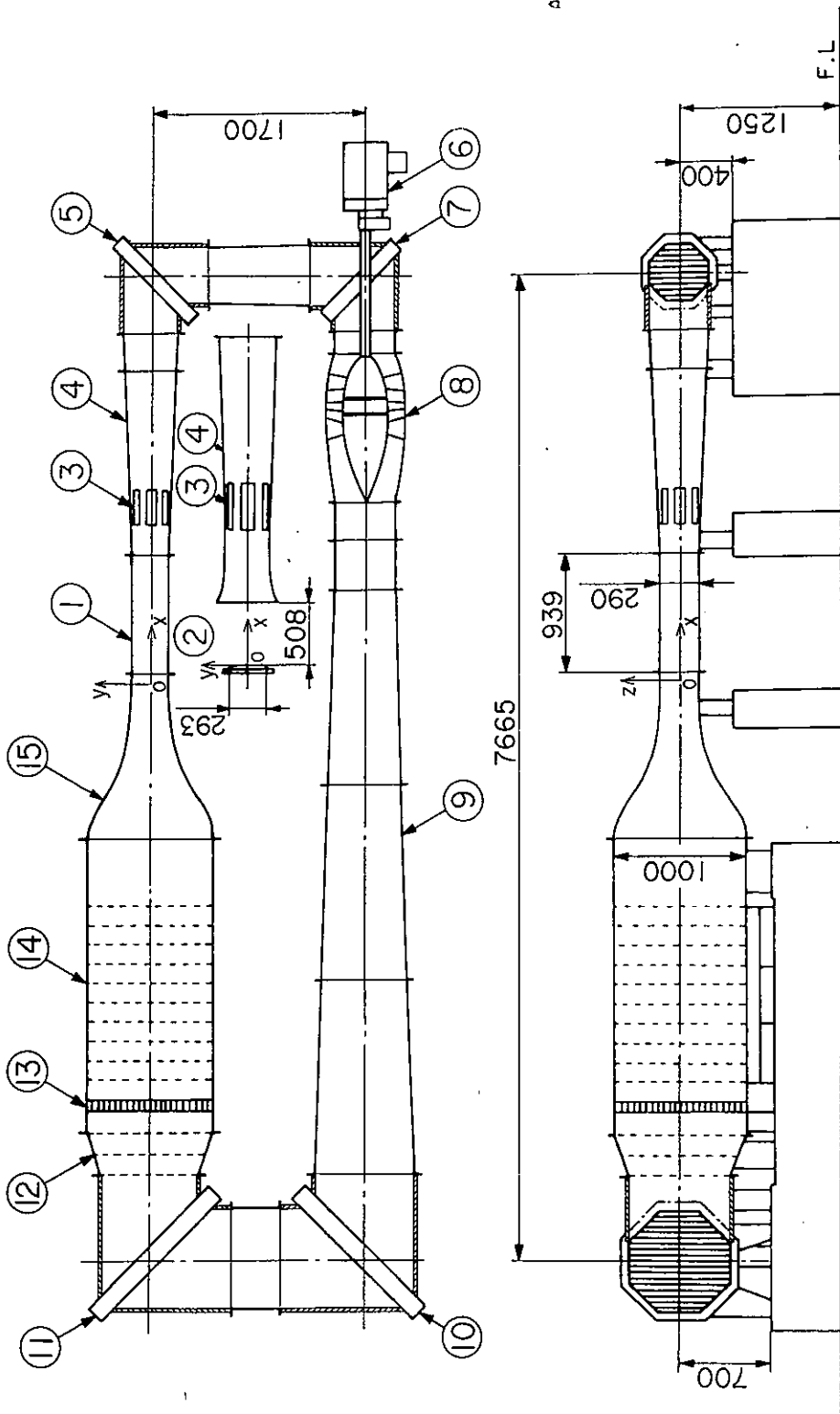
それぞれの性能測定を行なうとともに、ハニカム及び整流金網による整流胴内の風速分布の改善及び乱れの減衰を実験的に解明し、使用した整流金網について、その最適枚数を決定した。これらの実験結果は、新たに低速風洞を設計・製作する際に有用な資料を提供するものと思われる。なお、本風洞の収縮ノズルの壁面圧力分布及び密閉型測定部の気流の乱れ強さの概略値については既に報告してある [5, 8]。

2. 主 な 記 号

C : 収縮ノズルの速度係数	U_m : 整流胴断面の平均風速
D : 流路の対辺距離	u' : 変動速度の x 成分の瞬時値
H : プリーザ開度	x, y, z : 流路軸方向, 水平方向及び垂直方向の距離
N : 軸流送風機の回転数	ν : 動粘度
p : 圧 力	ρ : 密 度
p_t : 全 圧	添 字
Re_0 : レイノルズ数	0 : 測定部入口または測定部基準位置を表わす
T : 時 間	e : 開放型測定部のエフェューザ出口を表わす
t : 温 度	s : 整流胴を表わす
U : x 方向の時間平均速度成分	

3. 小型低乱風洞の概要

小型低乱風洞（現在は検定風洞と呼称）の平面図及び側面図を第 1 図に示す。また本風洞の性能諸元を第 1 表に、各部の主要設計項目を第 2 表に示す。本風洞の設計法については既に報告してある [5, 6]。風洞は単路回流型で、風路長さは中心線間の延べ距離で 18.73 m、風洞の長さは風路中心線間で測って 7.67 m、幅は 1.70 m、高さは測定室床面より 1.25 m である。風洞胴体の大部分は正八角形断面であり、軸流送風機の前後において断面形を正八角形から円形へ、また円形から正八角形へと変化させている（文献 [5] の第 27 図参照）。風路の断面に正八角形を選んだ理由は、断面が円形に近い場合第 2 種の二次流れ [9] が生じにくいこと、及び円形断面と異なり、測定部に平行壁を有し、模型を設置し易いこと、過去の製作例が多いことなどが挙げられる。風洞は収縮ノズル及び密閉型測定部がアルミニウム合金製で、その他はすべて鋼板製である。風洞の熱膨張による伸縮を吸収するため、伸縮管を 3ヶ所に設け、その内面は流路内面と面一になっている。風洞は密閉型及び開放型の両測定部に交換可能であり、密閉型から開放型に交換の際は、第 1 図に示すように密閉型測定部及び第 1 ディフューザを外し、代りにエフェューザと開放型用第 1 ディフューザを風洞に取付ける。一方、広角度ディフューザに続く整流胴には、低乱熱伝達風洞に用いたよりも目の細かいハニカム 1 枚と、低乱熱伝達風洞に用いたと同一寸法のステンレ



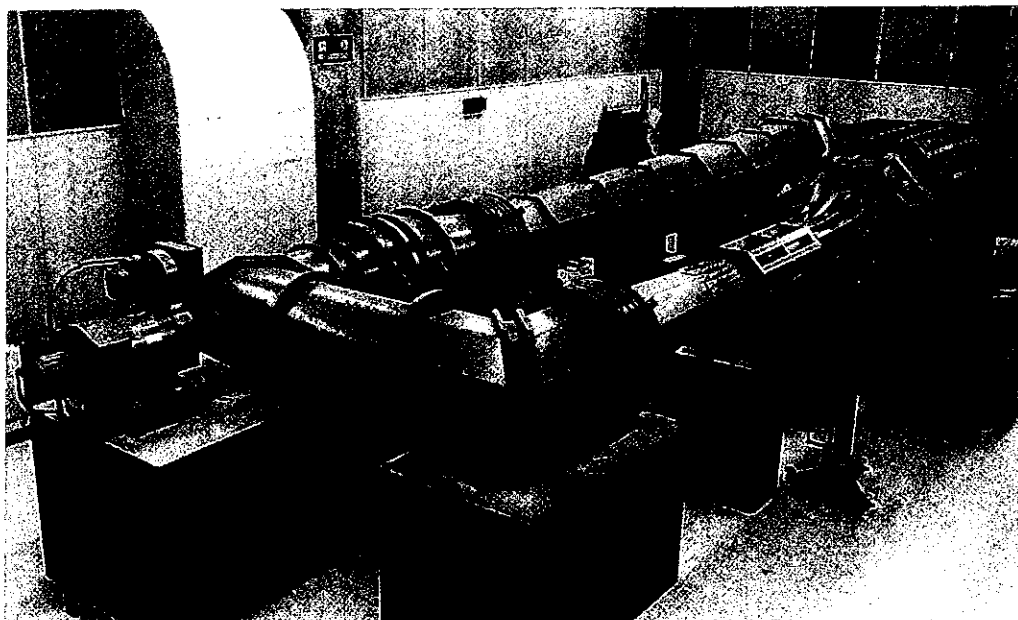
第1図 小型低乱風洞(検定風洞)の平面図及び側面図(斜線部は吸音材)
 1. 密閉型測定部 2. 開放型測定部 3. プリーザ 4. 第1ダイヤフューザ 5. 第1偏流部 6. 直流電動機
 7. 第2偏流部 8. 軸流送風機 9. 第2ダイヤフューザ 10. 第3偏流部 11. 第4偏流部
 12. 広角度ダイヤフューザ 13. ハニカマ 14. 整流金網 15. 収縮ノズル

第 1 表 小型低乱風洞性能諸元

型 式	単路回流型
測 定 部 (密 閉 型)	長さ 1 m, 対辺距離 0.29 m 正八角形断面, 風速 5 ~ 70 m/s
測 定 部 (開 放 型)	長さ 0.508 m, 収縮ノズル出口対辺距離 0.293 m 正八角形断面, 風速 5 ~ 65 m/s
送 風 機	軸流 1 段 No. 6 (入口直径 0.472 m), 前置及び後置 静翼付, 電動機直結型, 定格風量 285 m ³ /min, 送風機全圧 1.23 kPa (125 mmAq)
電 動 機	サイリスタ・レオナード方式, 定格回転数 2930 rpm, 出力 15 kW
風 洞 寸 法	長さ 8.3 m, 幅 2.7 m, 高さ 1.8 m

第 2 表 小型低乱風洞各部の主要設計項目

整 流 金 網	ステンレス鋼製織金網 10 枚, 20 メッシュ, 線径 0.27 mm, 開口面積比 0.62
ハ ニ カ ム	アルミニウム・ハニカム, 対辺距離 4.76 mm 正六 角形断面, 長さ 38 mm, アルミニウム厚さ 0.05 mm
ノズル 絞り 比	11.89
第 1 ディフューザ	面積比 2.30, 頂角 5°
第 2 ディフューザ	面積比 2.66, 頂角 3°46'
第 1 偏 流 部	羽根枚数 23 枚, 弦長 104 mm
第 2 偏 流 部	羽根枚数 23 枚, 弦長 111 mm
第 3, 第 4 偏 流 部	羽根枚数 33 枚, 弦長 128 mm
広角度ディフューザ	面積比 1.69, 頂角 44°39', ステンレス鋼製織金網 3 枚



第 2 図 小型低乱風洞(密閉型測定部)

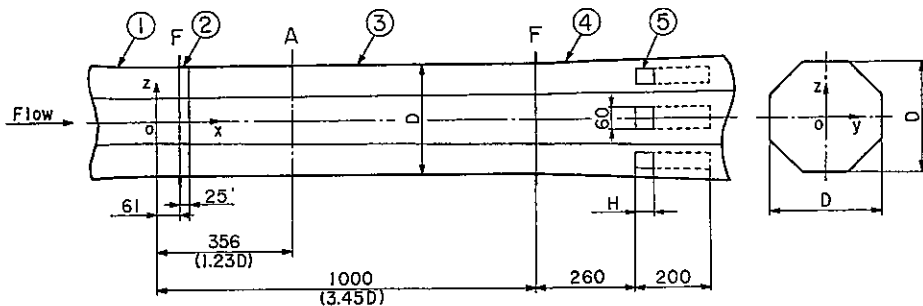
ス鋼製織金網 10 枚を備えている。各偏流部に用いた案内羽根の枚数は、低乱熱伝達風洞のそれと同様であり、羽根の断面形状及び筋弦比は低乱熱伝達風洞とほとんど相似である。風洞内の音圧レベルを下げるため、各偏流部の内側には厚さ 20 mm の吸音材(ウレタンフォーム)を内張りし、その内面は鋼板製の部分と面一としている。

小型低乱風洞の外観を第 2 図に掲げる。

4. 小型低乱風洞の特性 (密閉型測定部)

4.1 密閉型測定部の概要

密閉型測定部の寸法の概略を第 3 図に示す。断面の形状は、測定部入口において対辺距離 D が 290 mm の正八角形をなし、それより下流方向には測定部の静圧勾配を僅少にするため、対辺距離 D を一定に保ちながら四すみのフィルットの幅を直線的にわずかながら増加 [5] させている。観測窓は、測定部 8 面に合計 16 個備えており、必要に応じて観測窓を盲板に交換してプローブ等を挿入することができる。収縮ノズルの曲面の下流端は、ノズル出口フランジ面から上流に 61 mm の位置にある。座標軸は、この位置の風軸中心に原点をとり、下流方向に x 軸、垂直方向上向きに z 軸、右手系の座標系となるように y 軸をとる。このとき y 軸の正方向は、第 1 図に示すように、風洞の回流風路の外向きとなる。収縮ノズルの曲面の下流端 ($x = 0$) から第 1 ディフューザ入口までの長さは 1 m である。第 1 ディフューザに設けられたブリーザは、密閉型測定部の場合、



第 3 図 密閉型測定部(寸法単位 mm, $D = 290$ mm).

A は基準断面, F はフランジの位置を表わす

1. 収縮ノズル 2. 乱れ格子取付け用リセス 3. 密閉型測定部
4. 第 1 ディフューザ 5. ブリーザ(H はブリーザ開度)

測定部内外の圧力の平衡を得るために使用される。なお、図中の乱れ格子取付け用リセスは、乱れ格子を使用しない場合には、リセスと同一寸法の木製枠を取付けてリセスを埋め、測定部内面を面一として使用する。

4.2 送風機回転数と風速の関係

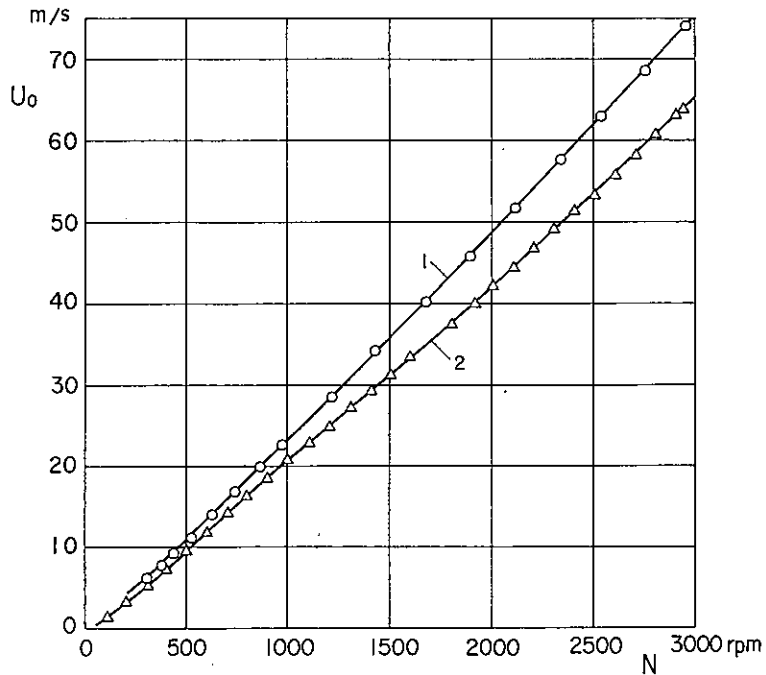
本報では、密閉型測定部の基準位置を $x = 1.23 D$ の断面の風軸中心に選ぶ。第 4 図の曲線 1 は、この位置における風速 U_0 と軸流送風機回転数 N の関係を測定した結果の一例である。この測定の場合、測定部の内部にはビトー管(外径 2.5 mm プラントル形標準ビトー管、翼形支柱付き)のみが挿入されている。最大回転数 $N = 2930$ rpm において基準位置の最大風速 U_0 は約 74 m/s となることがわかる。第 4 図の関係は、気温、気圧、挿入模型などにより若干変化するが、 U_0 と N の概略の関係を知らることができる。なお、曲線 2 は開放型測定部の場合の測定結果であり、次章において述べる。

第 5 図の曲線 1 は、密閉型測定部の場合の収縮ノズルの速度係数 C とレイノルズ数 Re_D の関係を示している。 C と Re_D は次式によって定義されている。

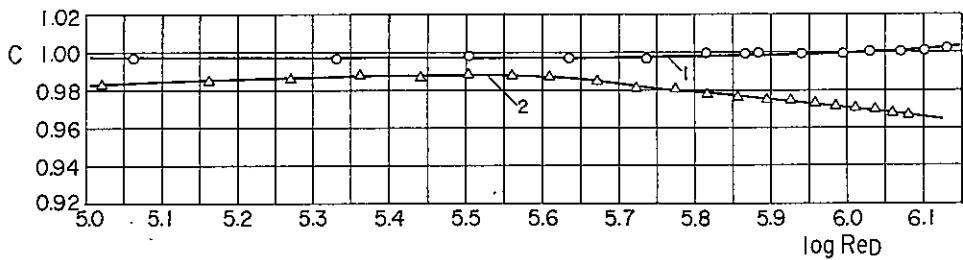
$$U_0 = C \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}}, \quad Re_D = \frac{D \sqrt{2 \Delta p / \rho}}{\nu} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 U_0 は前記基準位置における風速、 Δp は収縮ノズルの入口及び出口に設けられた圧力測定孔の指示圧力差、 ρ は空気の密度、 ν は動粘度、 $D (= 290 \text{ mm})$ は測定部内面の対辺距離である。

本風洞を用いて実験を行なう際には、ノズル差圧 Δp を測定し、第 5 図のレイノルズ数 Re_D に対応するノズル速度係数 C を用いて測定部風速 U_0 を算出することになる。もちろん、 U_0 の概略値を知るには第 4 図を用いて差し支えない。



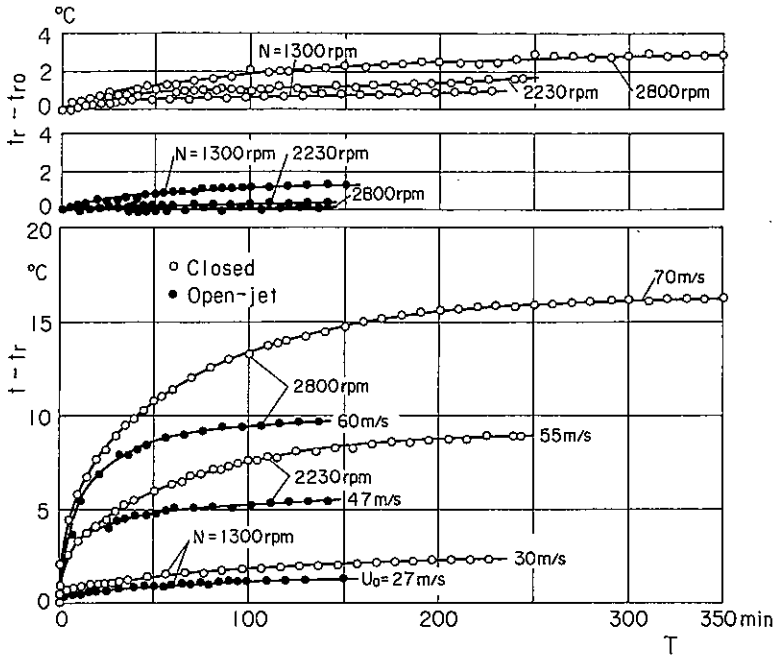
第4図 測定部風速 U_0 と軸流送風機回転数 N の関係
 1. 密閉型測定部 ($H = 15 \text{ mm}$) 2. 開放型測定部 ($H = 0 \text{ mm}$)



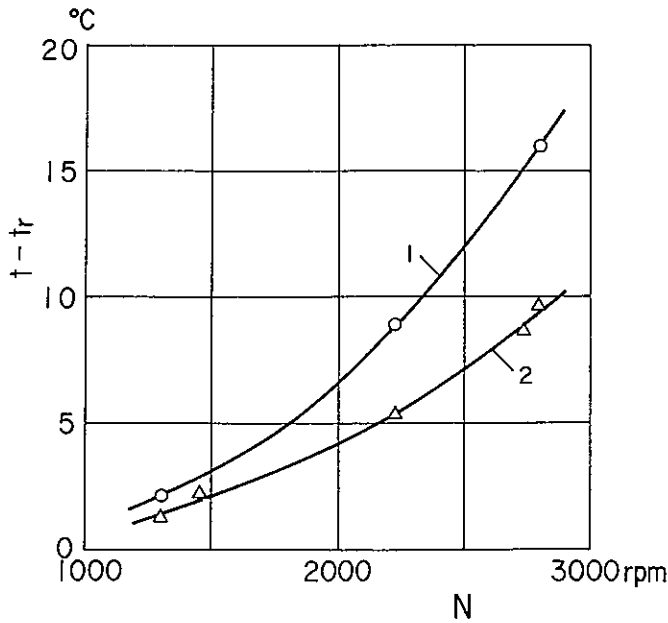
第5図 収縮ノズルの速度係数 C
 1. 密閉型測定部 ($H = 15 \text{ mm}$) 2. 開放型測定部 ($H = 0 \text{ mm}$)

4.3 気流温度

風洞運転開始後の風洞内の気流温度が、時間の経過とともにどのように変化するかを測定した。風洞内の気流温度の測定は、熱電対温度計を第3偏流部と第4偏流部の中間に挿入して行ない、室温の測定は整流胴から1m離れた位置で行なっている。第6図は、風洞内気流温度を t 、室内温度を t_r とし、気流温度と室温の差 $(t - t_r)$ が運転開始からの経過時間 T によって変化する状況を測定した結果である。図の上部に測定時間内における室内温度の変化 $(t_r - t_{r0})$ も併記してある。ここに t_{r0} は運転開始時の室内温度である。本風洞は騒音防止上、密閉された室内に設置され



第 6 図 風洞内気流温度の時間的変化
 白丸: 密閉型測定部 ($H = 15 \text{ mm}$)
 黒丸: 開放型測定部 ($H = 0 \text{ mm}$)



第 7 図 風洞内外温度差と軸流送風機回転数 N の関係
 1. 密閉型測定部 ($H = 15 \text{ mm}$) 2. 開放型測定部 ($H = 0 \text{ mm}$)

ており, 実験は空調を止めた状態で実施したため, 風洞内温度の上昇とともに室内温度も上昇している. 図から, 風速が大なるとき, 風洞内の気流温度が平衡状態に達するまでに要する時間が長いこと, 開放型測定部の場合は密閉型の場合の約半分の時間で平衡状態に達することなどがわかる.

第7図は, 平衡状態に達した時の気流温度と室温との差 ($t - t_r$) を軸流送風機の回転数 N に対して示したものである. 曲線1が密閉型測定部の場合の測定結果である. この図から, 例えば回転数 $N = 2000$ rpm の場合, 最終温度差 ($t - t_r$) は約 6.7°C となる. 本風洞を使用して各種の実験を行なう際, あらかじめ平衡温度を知っておくことは, 実験開始までの待時間を短縮することができるので好都合である. すなわち, 最初, 送風機回転数を予定値より大きめに設定して風洞内温度を急上昇させ, その後所定の回転数に下げることにより, 比較的短時間に平衡温度を得ることができる.

4.4 測定部風速分布

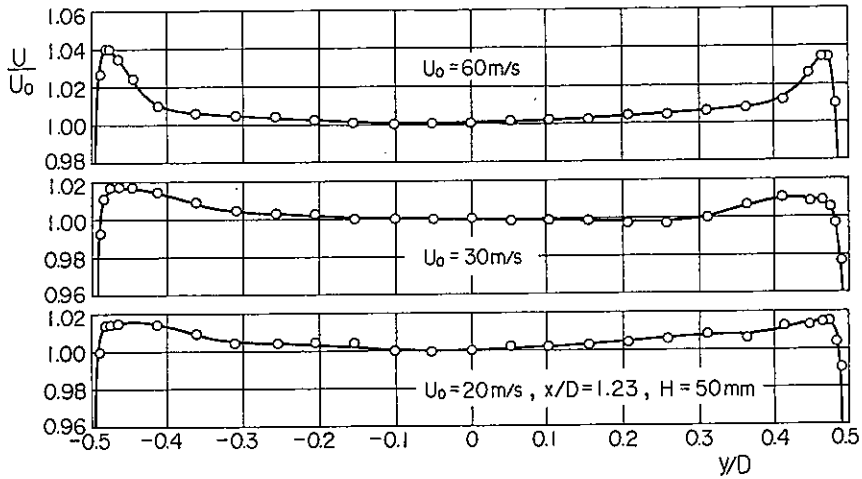
密閉型測定部断面内の風速分布の測定は, 第3図に示す座標原点 O より $1.23D$ 下流の A 断面において行ない, 風軸中心を含む水平方向及び垂直方向をトラバースした. 風速の測定には温度補償付きの熱線流速計 (DISA 55 M 12 型) を使用し, トラバースシステムは翼型形状とした. ここにブリーザ開度 H は 50 mm とした.

第8図は水平方向風速分布であり, 図の上から下へ順に $U_0 = 60$ m/s, 30 m/s, 20 m/s の場合の測定結果である. 第9図は, 同様に垂直方向の風速分布を示す. 用いた座標系については既に述べた. 図の横軸は流路対辺距離 D で, 縦軸は風軸中心の風速 U_0 で無次元化している. U_0 からの偏差は, 側壁附近を除き, $-0.3 < y/D < 0.3$ 及び $-0.3 < z/D < 0.3$ の範囲ではほぼ 0.5% 以内であり, 上記範囲内で風速分布はおおむね良好といえる. 側壁附近における $2 \sim 4\%$ の極大値の発生は, 他の小型風洞[10]においても観測されており, 収縮ノズルの絞りの形状の影響によるものと考えられる. なお, 低乱熱伝達風洞[5]においては, 上記欠点は取除かれ, 測定部の風速分布に極大値を示す領域は存在しないことが判明している.

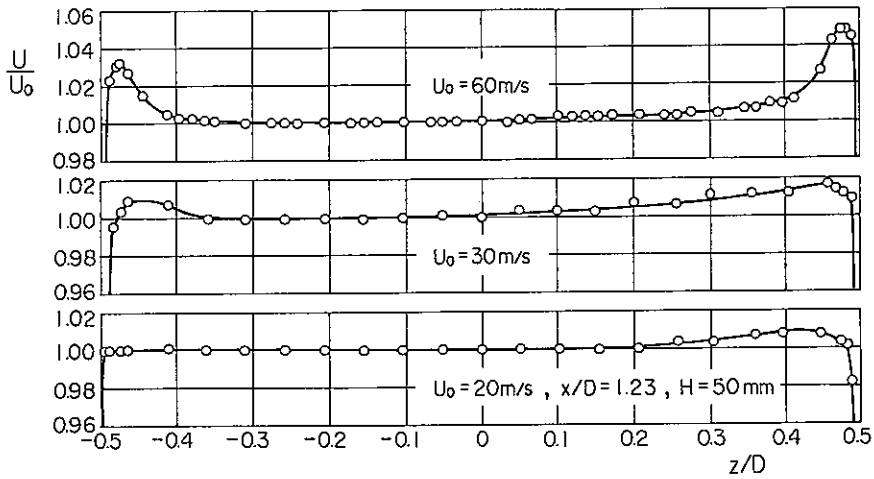
4.5 測定部気流の乱れ強さ

次に測定部気流の乱れ強さの測定結果を示す. 第10図に風軸中心上基準位置 ($x/D = 1.23$) における気流の乱れ強さと風速の関係を示す. $\sqrt{u'^2}$ は主流方向 (x 方向) の速度変動成分の自乗平均平方根である. 風洞のブリーザ開度は $H = 15$ mm として測定を行なっている. 図によれば, 測定部風速 $U_0 \approx 15$ m/s において乱れ強さが約 0.03% であり, 小型風洞としてはきわめて低い値が得られている. 上記風速を境に乱れ強さは増加の傾向を示し, $U_0 \approx 60$ m/s で約 0.06% となっている.

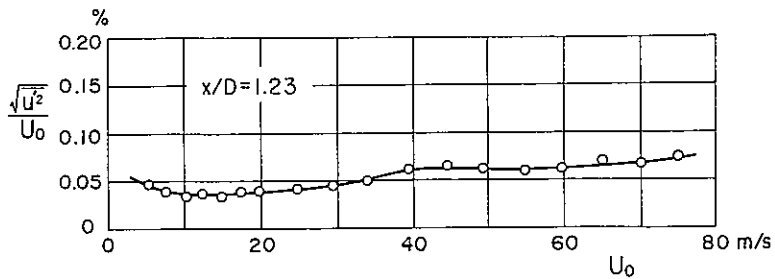
第11図は, 測定部基準位置 (A 断面) の風軸中心を含む水平方向 (y 方向) の乱れ強さの分布であり, 3つの異なった風速に対する測定結果が示されている. 同様に第12図は, 垂直方向の乱



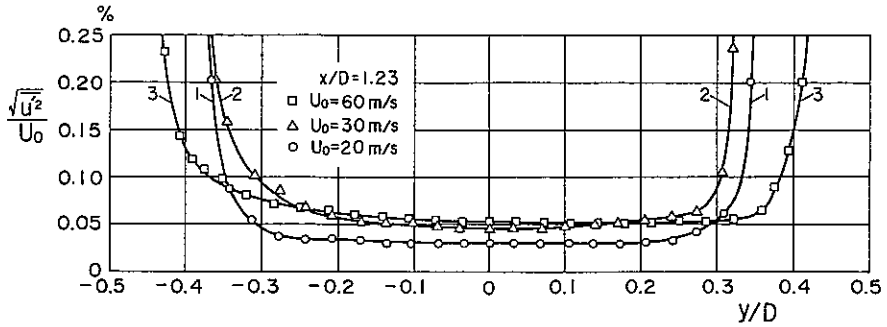
第 8 図 密閉型測定部 A 断面内の水平方向風速分布
 $x/D = 1.23, z/D = 0, U_0 = 20, 30$ 及び 60 m/s



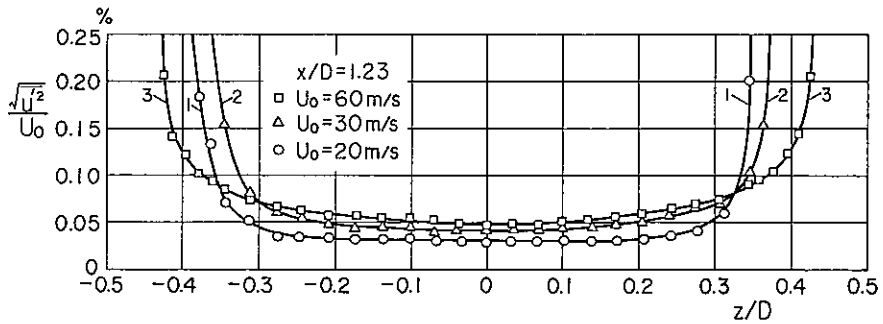
第 9 図 密閉型測定部 A 断面内の垂直方向風速分布
 $x/D = 1.23, y/D = 0, U_0 = 20, 30$ 及び 60 m/s



第 10 図 密閉型測定部風軸中心における気流の乱れ強さと風速の関係
 $x/D = 1.23, H = 15$ mm



第11図 密閉型測定部 A 断面内の水平方向の気流乱れ強さの分布
 $x/D = 1.23, z/D = 0$. 1. $U_0 = 20$ m/s 2. $U_0 = 30$ m/s 3. $U_0 = 60$ m/s



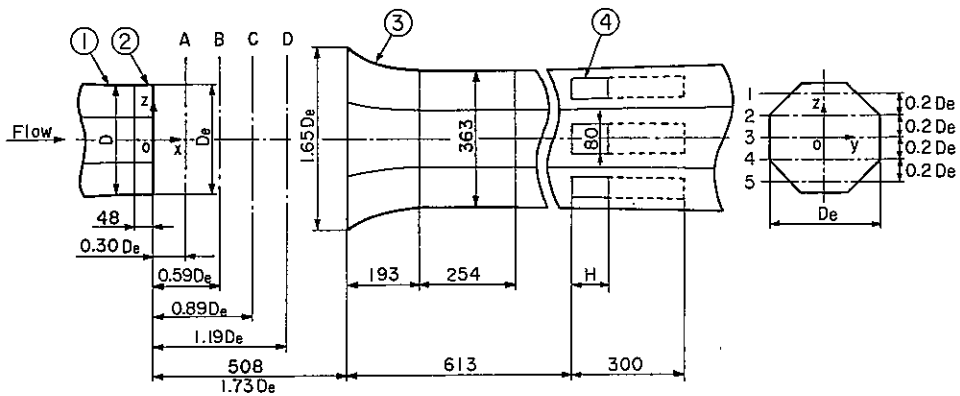
第12図 密閉型測定部 A 断面内の垂直方向の気流乱れ強さの分布
 $x/D = 1.23, y/D = 0$. 1. $U_0 = 20$ m/s 2. $U_0 = 30$ m/s 3. $U_0 = 60$ m/s

れ強さの分布である。側壁境界層の影響を受ける部分を除けば、およそ $-0.25 < y/D < 0.25$ 及び $-0.25 < z/D < 0.25$ の範囲ではほぼ一様であり、良好な分布を示している。また、両側壁近くにおいて乱れ強さが増加する領域は、第8図及び第9図から読み取れる境界層厚さよりもかなり厚いことがわかる。また、乱れ強さ分布は、水平方向及び垂直方向にはほぼ対称で良好な分布をしているといえる。

5. 小型低乱風洞の特性(開放型測定部)

5.1 開放型測定部の概要

第13図に開放型測定部の寸法の概略を示す。一般に、開放型測定部をもつ風洞に用いる収縮ノズルとしては、密閉型のそれと異なり、噴流がノズルを出た後も収縮を続けその結果ノズル出口直後に圧力降下の領域を生じないように、ノズル出口付近をわずかに拡大させる必要がある[11]。このため密閉型測定部に用いた収縮ノズルの出口に厚さ 48 mm の正八角形断面のフランジを取付け、その内面には 1.8° の勾配[12]をつけた。その結果、エフューザの出口対辺距離 D_e は 293



第 13 図 開放型測定部 ($D_e = 293$ mm, H はブリーザ開度)

1. 収縮ノズル 2. エフューザ 3. コレクタ 4. ブリーザ

mm となった。開放型測定部の全長は 508 mm, コレクタは正八角形断面で, その入口対辺距離は 483 mm である。風速分布及び乱れ分布の測定は図示の 4 つの断面 A, B, C, D について行なった。測定にあたり各断面における水平方向トラバース位置は, z 方向に $0.2 D_e$ の間隔で No. 1 から No. 5 まで 5 か所を設定した。その位置は, $z/D_e = 0.4, 0.2, 0, -0.2$ 及び -0.4 である。座標軸は右手系とし, エフューザ出口の風軸中心に原点 O をとり, そこから下流方向に x 軸, 水平方向に y 軸, 垂直方向上向きに z 軸を選んだ。

5.2 送風機回転数と風速の関係

第 4 図の曲線 2 は, 開放型測定部の基準位置を B 断面の風軸中心とし, その位置における風速 U_0 と軸流送風機回転数 N の関係を測定した結果の一例である。開放型測定部においては, 達し得る最大風速は約 65 m/s であって, 密閉型測定部の場合より小さい。

第 5 図の曲線 2 は, 開放型測定部の場合の収縮ノズルの速度係数 C とレイノルズ数 Re_0 の関係を示す。ここに C と Re_0 は密閉型測定部の場合と同様に (1) 式によって定義されている。ただし開放型測定部の場合には, U_0 は開放型測定部の風軸中心上 $x/D_e = 0.59$ における風速, Δp は収縮ノズルの入口及び出口に設けられた圧力測定孔の指示圧力差, D はエフューザ出口内面の対辺距離 $D_e = 293$ mm を用いる。図によれば, 収縮ノズルの速度係数は, 開放型測定部の場合には密閉型測定部の場合より小さいことがわかる。

5.3 気流温度

第 6 図に, 測定部を開放型とした場合の風洞内気流温度の変化を示す。図の黒丸が開放型の場合であって, 気流温度が平衡状態に達するまでに要する時間は密閉型の場合より短かく, $U_0 = 60$ m/s において 2 時間半程度に短縮されている。

第 7 図の曲線 2 は, 平衡状態に達した時の気流温度と室温との差 ($t - t_r$) が軸流送風機回転数

N によって変化する状況を示している。

5.4 測定部風速分布

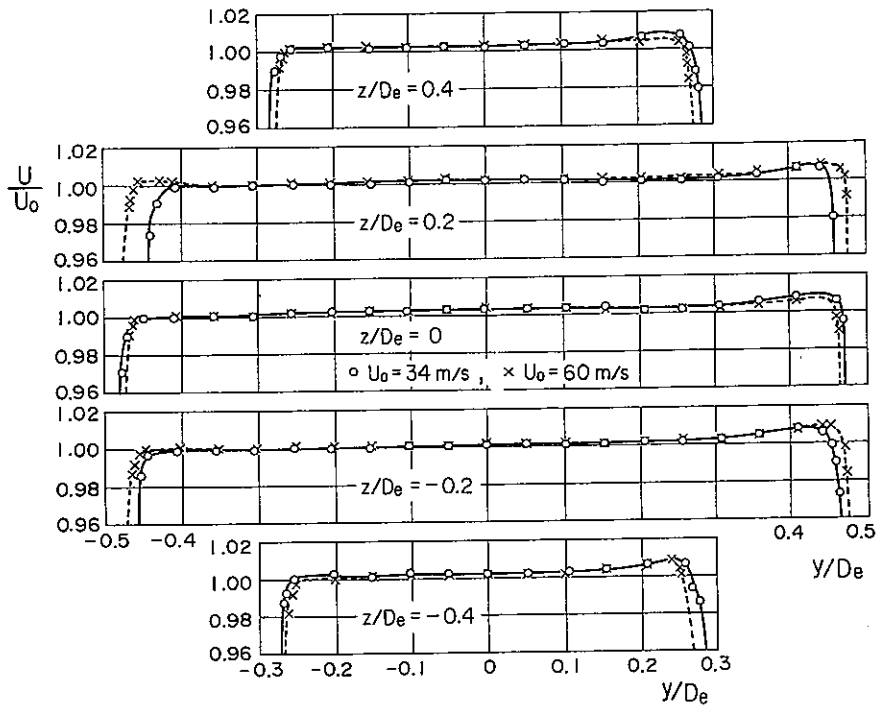
第14図は、第13図のA断面($x/D_e = 0.30$)における風速分布を、 $U_0 = 34 \text{ m/s}$ と 60 m/s の場合について、外径 2.5 mm のプラントル型標準ピトー管を用いて測定した結果を示している。風速分布は、基準位置であるB断面の風軸中心における風速 U_0 に対する比で表わしている。図の上から下へ順に $z/D_e = 0.4, 0.2, 0, -0.2$ 及び -0.4 の位置における風速分布である。 $U_0 = 34 \text{ m/s}$ 及び 60 m/s の風速のいずれの場合も、風速分布の一樣性は良好であり、 $z/D_e = 0$ を例にとると、 $|y|/D_e < 0.45$ の範囲で平均風速からの偏差はおよそ 0.8% 以内にある。なお、第8図と比較すれば、本風洞においては、開放型の場合の風速分布は密閉型のそれよりもかなり良好であることが知れる。

第15図から第17図までは、それぞれB断面($x/D_e = 0.59$)、C断面($x/D_e = 0.89$)及びD断面($x/D_e = 1.19$)における風速分布である。B断面の風速分布はA断面よりも改善され、平均風速からの偏差は 0.6% 以内となる。収縮ノズルからの噴流の混合領域が下流方向に次第に広がるため、風速分布が一樣となる範囲は幾分狭くなっている。なお、D断面の $z/D_e = 0.4$ における測定結果は、実験に際しピトー管の支柱が振動し、精度の良い測定ができなかったので図面に載せていない。

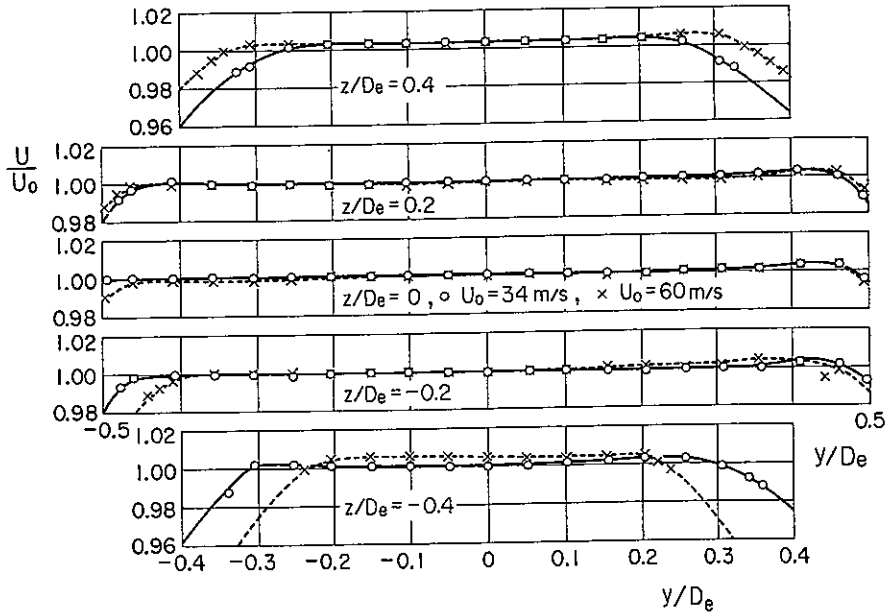
第18図は、開放型測定部の風軸中心に沿う風速分布と全圧分布である。 p_0 は大気圧を基準とした全圧、 p_{00} は測定部基準位置($x/D_e = 0.59$)における風軸中心上の全圧である。測定部風速の下流方向への変化は、 $x/D_e = 0 \sim 1.4$ の範囲で基準位置の値 U_0 のほぼ $\pm 1\%$ 以内にとどまっている。全圧は x 軸に沿い、ほぼ全域にわたり一定に近い値となっている。

5.5 測定部気流の乱れ強さ

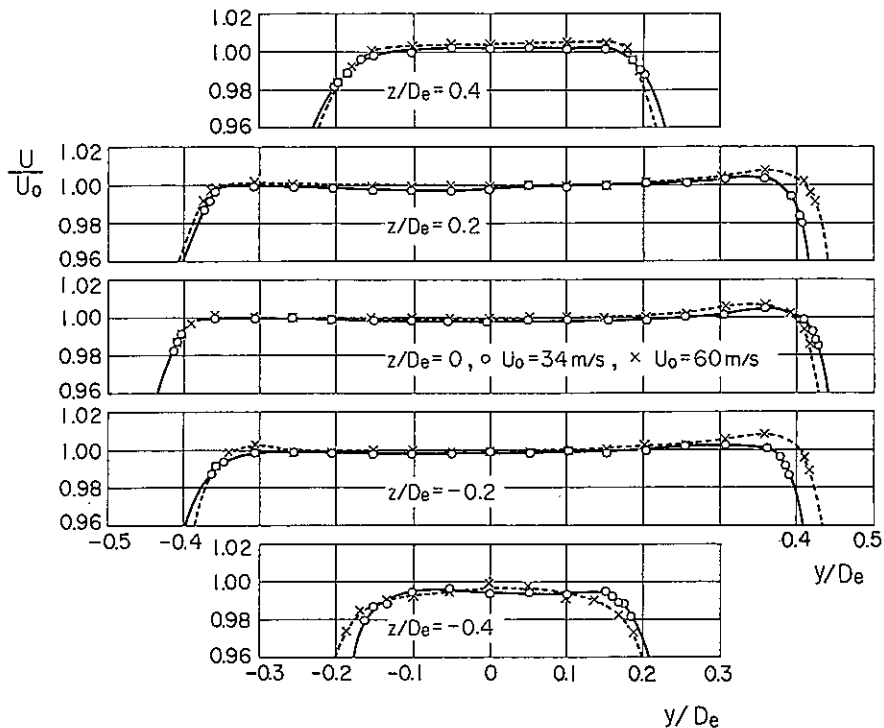
以下、開放型測定部における気流の乱れ強さの測定結果を示す。第19図は、測定部基準位置(B断面風軸中心)における気流の乱れ強さと風速の関係を示す。図はブリーザ開度 H をパラメータにとってあり、開放型測定部の乱れ強さは、ブリーザ開度により著しく変化することがわかる。ここにブリーザは第13図に示すように、正八角形断面を有する第1ディフューザの各辺に設けられ、それぞれ大気に直接開放された $300 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ の長方形の開口からなり、その上面に載せた鋼板製盲板をスライドさせることによって、適宜の開度に調節する構造である。測定部の乱れ強さに及ぼすブリーザ開度の影響は、特に風速の比較的低い $U_0 < 25 \text{ m/s}$ の範囲で顕著であり、 $H = 300 \text{ mm}$ の場合と $H = 50 \text{ mm}$ の場合とでは、乱れ強さがおよそ1桁違ってくる。ブリーザ開度を種々変えて実験を行なった結果、ある開度で乱れ強さの最小の状態が存在し、 24 m/s 以下の風速では $H = 50 \text{ mm}$ で、 25 m/s 以上の風速では $H = 100 \text{ mm}$ で最適の状態が得られることがわかった。この最適の状態における乱れ強さを第20図に示す。乱れ強さ分布は、風速 10 m/s 付近と 40 m/s 付近に極大値を持っており、乱れ強さの最小値は $U_0 = 15 \text{ m/s}$ 付近におい



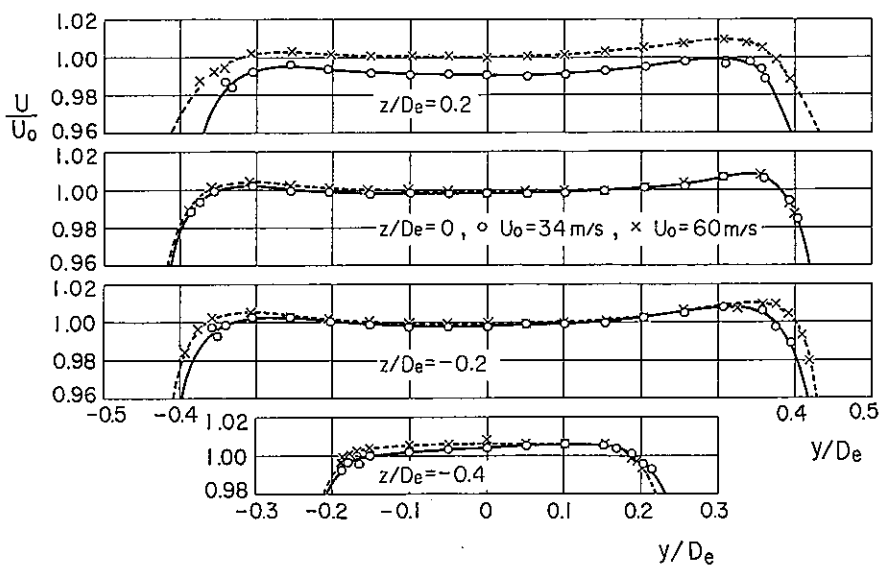
第 14 図 開放型測定部 A 断面内の風速分布
 $x/D_e = 0.30$, $U_0 = 34$ 及び 60 m/s



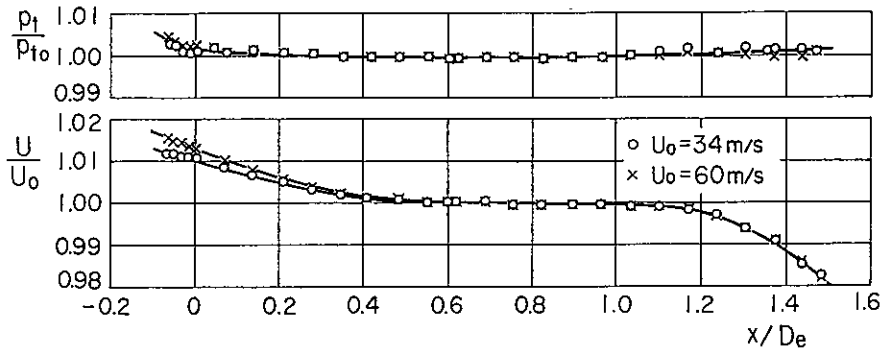
第 15 図 開放型測定部 B 断面内の風速分布
 $x/D_e = 0.59$, $U_0 = 34$ 及び 60 m/s



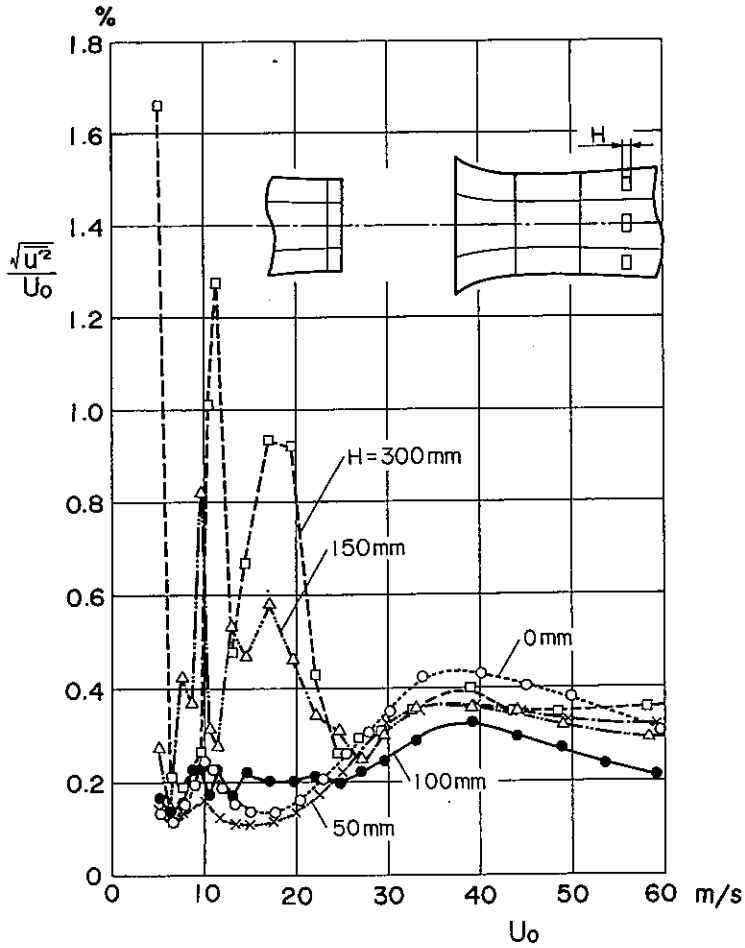
第16図 開放型測定部 C 断面内の風速分布
 $x/D_e = 0.89$, $U_0 = 34$ 及び 60 m/s



第17図 開放型測定部 D 断面内の風速分布
 $x/D_e = 1.19$, $U_0 = 34$ 及び 60 m/s



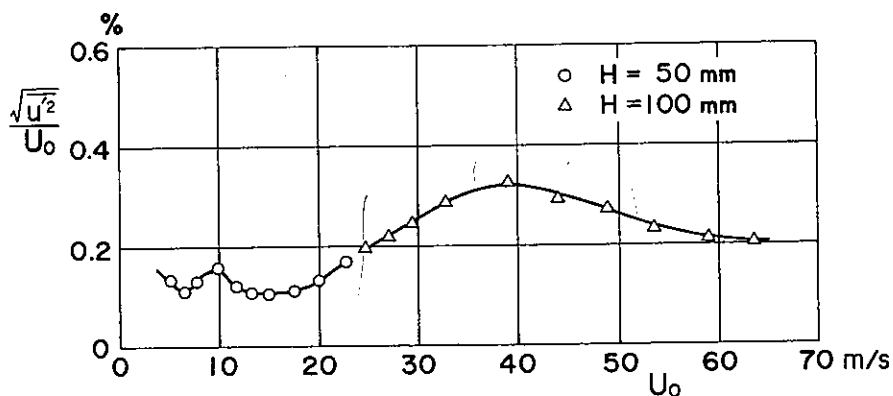
第 18 図 開放型測定部風軸中心に沿う風速分布と全圧分布
 $U_0 = 34$ 及び 60 m/s



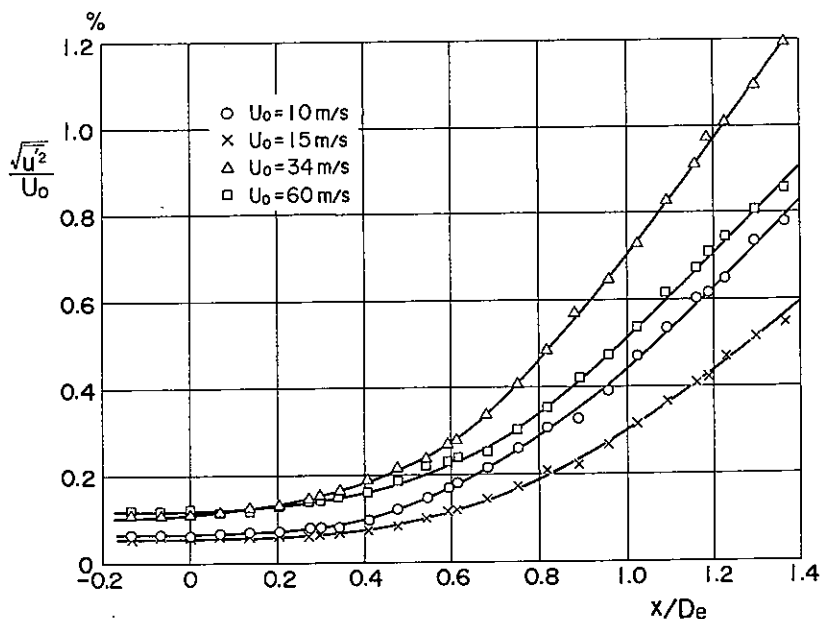
第 19 図 開放型測定部 B 断面風軸中心 ($x/D_e = 0.59$) における
 気流の乱れ強さと風速の関係に及ぼすブリーザ開度 H の影響

て約0.1%である。

つぎに第21図は, ブリーザ開度を上記最適値に保った場合の開放型測定部の風軸中心に沿う気流の乱れ強さの分布を示す。図は4種類の風速についての測定結果であって, いずれの風速においても, 乱れ強さは下流方向に増大している。これは, 主として自由噴流の境界面に発生する攪乱の影響が, 下流に行くほど風軸中心にまで及んでくるためである。例えば風速 $U_0 = 15 \text{ m/s}$ のとき, 測定部入口付近 ($x/D_e \approx 0$) で乱れ強さは0.059%, $x/D_e \approx 0.6$ において約0.11%, $x/D_e \approx 1.2$ で約0.45%となる。



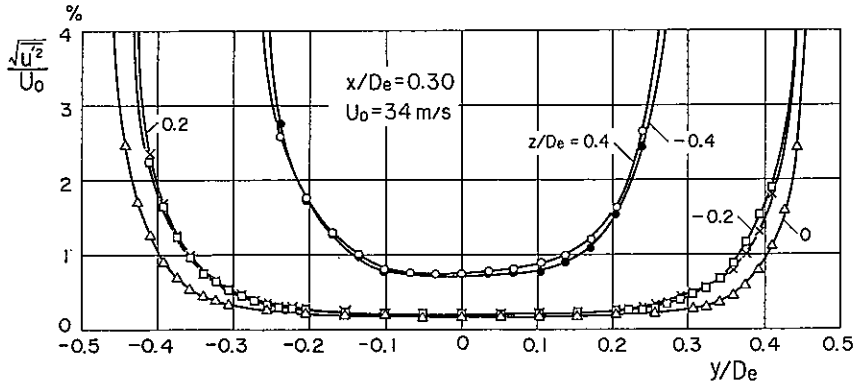
第20図 最適のブリーザ開度における開放型測定部B断面風軸中心 ($x/D_e = 0.59$)の気流の乱れ強さと風速の関係



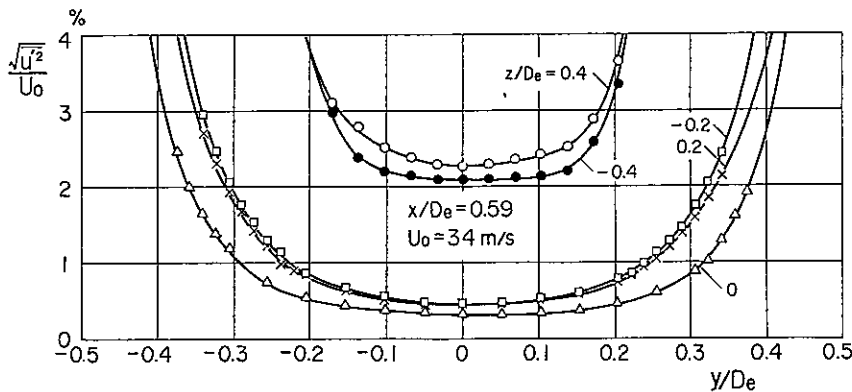
第21図 開放型測定部風軸中心に沿う気流乱れ強さの分布

第 22 図から第 25 図までは, 開放型測定部の風軸に垂直な各断面内の乱れ強さ分布を, 風速 34 m/s, プリーザ開度 $H = 100$ mm の場合について測定した結果を示している. 第 22 図は, A 断面 ($x/D_e = 0.30$) 内の $z/D_e = 0.4, 0.2, 0, -0.2$ 及び -0.4 の位置における水平方向の分布である. 風軸中心を含む $z/D_e = 0$ の線上では $-0.3 < y/D_e < 0.3$ の範囲にわたり一様かつ左右対称な分布を示している. 第 23 図から第 25 図までは, それぞれ B 断面 ($x/D_e = 0.59$), C 断面 ($x/D_e = 0.89$) 及び D 断面 ($x/D_e = 1.19$) 内の分布であり, 噴流の混合領域の増大のため中心付近の乱れ強さのほぼ一様な部分が下流方向に減少し, D 断面では消滅することがわかる.

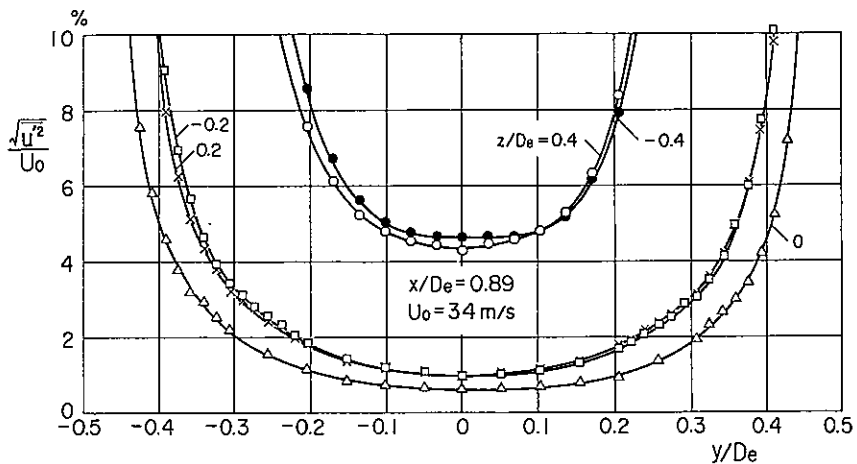
第 26 図は, 開放型測定部の風軸中心を含む水平面内の各 x/D_e の位置における y 軸方向への乱れ強さ分布である. 下流に進むに従って乱れ強さの一様な部分が減少し, また乱れ強さが次第に増加することがわかる.



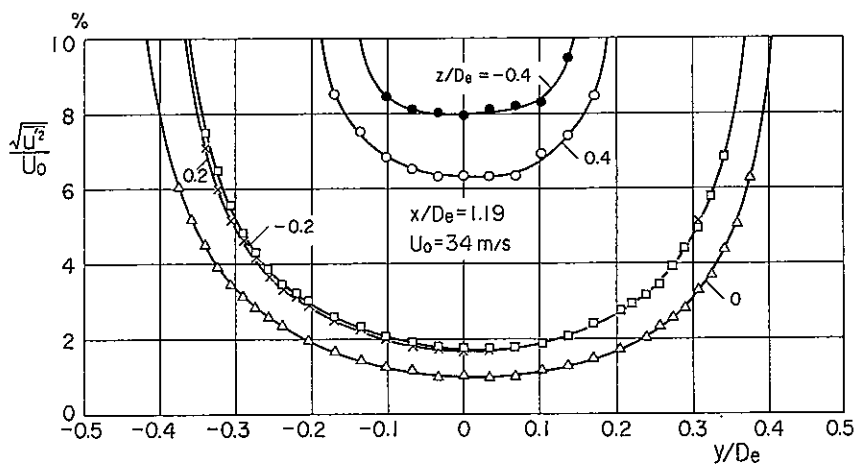
第 22 図 開放型測定部 A 断面内の気流乱れ強さの分布
 $x/D_e = 0.30$, $U_0 = 34$ m/s, $H = 100$ mm



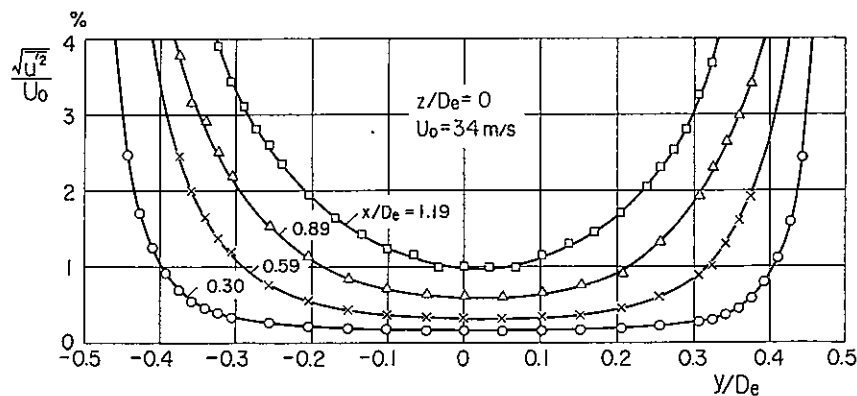
第 23 図 開放型測定部 B 断面内の気流乱れ強さの分布
 $x/D_e = 0.59$, $U_0 = 34$ m/s, $H = 100$ mm



第24図 開放型測定部 C 断面内の気流乱れ強さの分布
 $x/D_e = 0.89, U_0 = 34 \text{ m/s}, H = 100 \text{ mm}$



第25図 開放型測定部 D 断面内の気流乱れ強さの分布
 $x/D_e = 1.19, U_0 = 34 \text{ m/s}, H = 100 \text{ mm}$



第26図 開放型測定部風軸中心を含む水平面内の気流乱れ強さの分布
 $z/D_e = 0, U_0 = 34 \text{ m/s}, H = 100 \text{ mm}$

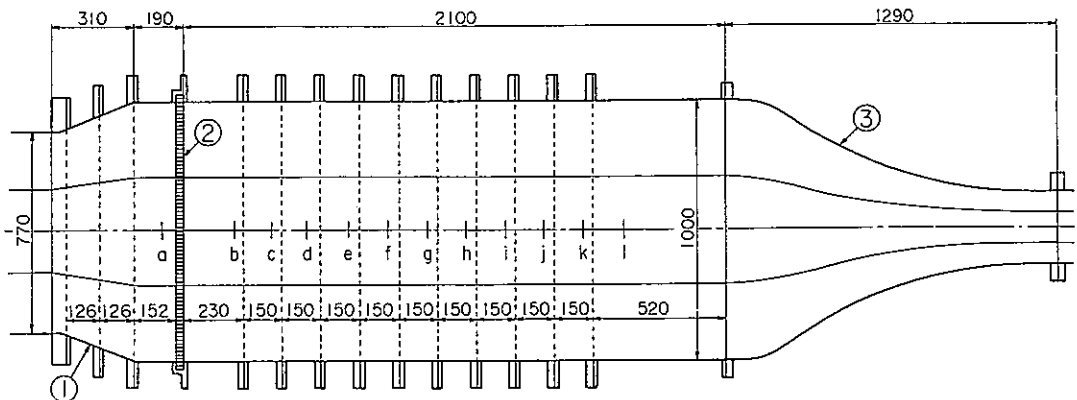
6. 整流胴内の風速分布及び乱れ強さ分布

低速風洞においては測定部に風速分布の一様性及び低乱れ度を實現する手段として、整流胴内にハニカム及び整流金網を設けることが一般的である [5~7]。しかし、風速分布の一様化及び乱れの減衰が、製作された風洞の整流胴内でどのように達成されているかに関しては、著者らの知見する範囲内で測定データは存在せず、その結果どの程度のメッシュの金網を何枚用いれば良いかは、開口面積比が 0.57 以上であることを必要とする [7] との制限を除き、主として経験に頼っていたように思われる。

本風洞の整流胴の概略は第 27 図に示すとおりであり、広角度ディフューザの下流には、第 2 表記載の比較的目的の細かいハニカム 1 枚が、その下流には同じく第 2 表記載の整流金網 10 枚が、それぞれ 150 mm の間隔で設けられ、これらは必要に応じて 1 枚ずつ取外し可能な構造となっている。なお広角度ディフューザには、整流胴に用いた金網と全く同一の織金網が、その入口、出口及び中間に等間隔に設けられている。

本実験においては、整流胴内のハニカム及び各整流金網による風速分布の改善並びに乱れ強さの減衰の状況を調べるために、整流胴壁面の 12ヶ所に合計 16 個のトラバース孔を設け、熱線風速計により風速分布及び乱れ強さ分布の測定を行なった。整流胴内の対辺距離 D_s は 1 m であり、測定位置は第 27 図に示すとおりである。断面 a と断面 l には垂直方向にもトラバース孔が設けてあり、流れの対称性を調べている。

第 28 図に、密閉型測定部における風速が $U_0 = 60$ m/s の場合の、整流胴各断面 $a \sim l$ における風速分布 U/U_m の測定結果を示す。ここに U は局所風速、 U_m は整流胴断面の平均風速である。このとき U_m は 4.92 m/s である。図の上方が風洞の上流側に対応しており、上から順に第 27 図の断面 $a \sim l$ の風速分布を表わす。なお y/D_s のマイナス側が回流型風洞の内側、プラス側が外側に

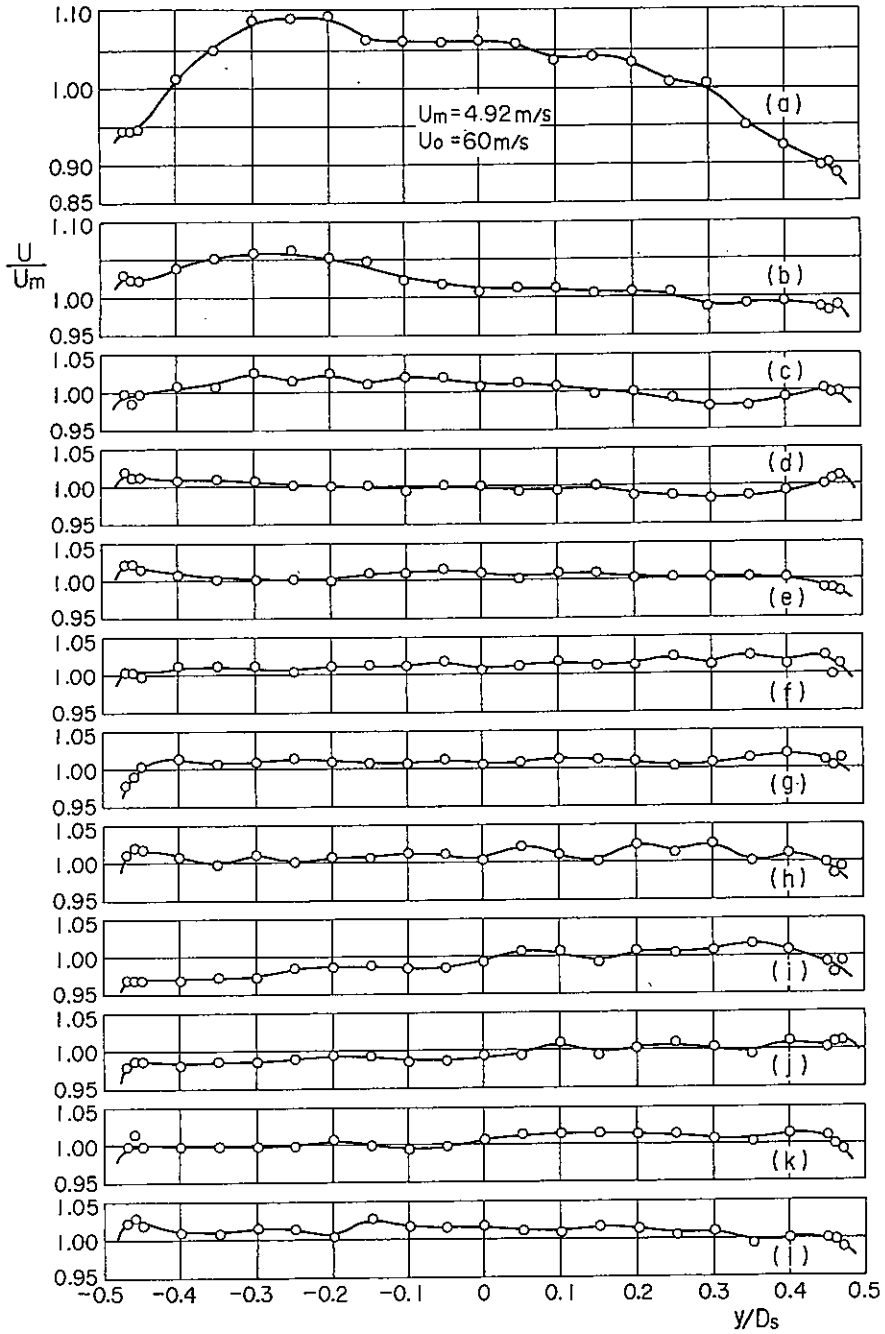


第 27 図 整流胴内の各断面のトラバース位置(图中 $a \sim l$ はトラバース位置を示す)

1. 広角度ディフューザ 2. ハニカム 3. 収縮ノズル

a. 広角度ディフューザの最終金網より 100 mm 下流 b. ハニカム出口より 205 mm 下流

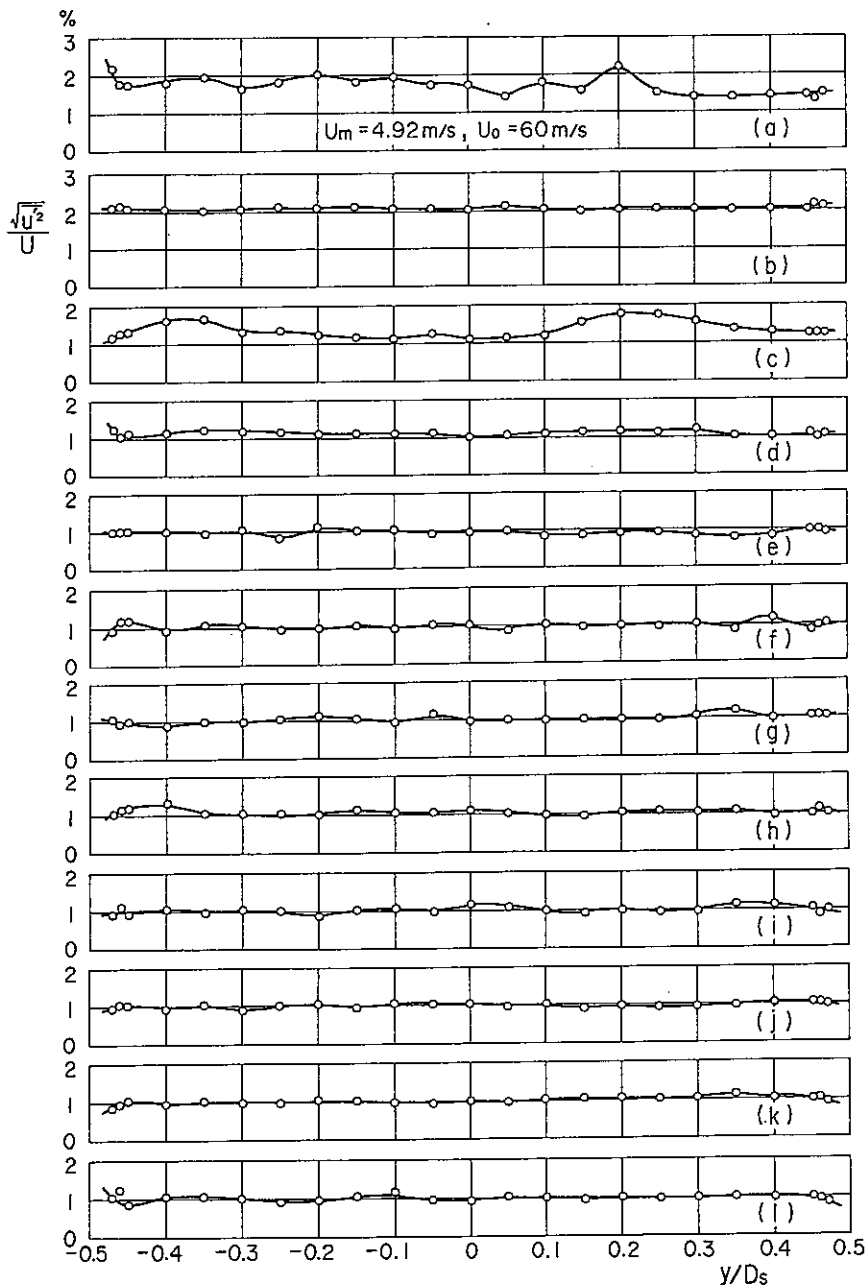
c ~ k. No. 1 ~ No. 9 整流金網よりそれぞれ 110 mm 下流 l. No. 10 整流金網より 117 mm 下流



第 28 図 整流胴内の各断面における風速分布
 U_m : 整流胴内平均風速 D_s : 整流胴内対辺距離 ($D_s = 1000$ mm)

対応している。断面 a は広角度ディフューザ出口より 100 mm 下流の位置であるが、図によればその風速分布は回流型風洞の曲りの内側に片寄っており、第 4 偏流部の曲りの影響が現われてい

る。断面 *b* はハニカム出口の下流 205 mm の位置であり、ハニカムによる整流効果のため風速分布が大幅に改善され、かなり均一な分布に近づくが、依然として曲りの影響が残っている。第 4 偏流部の曲りの影響は、断面 *c*、すなわち 1 枚目の整流金網の下流まで続くことがわかる。一方において、風速分布の均一性はほぼ 5 枚目の整流金網の下流、すなわち断面 *g* で実現されることがわ



第 29 図 整流胴内の各断面における気流の乱れ強さ分布

かる。6枚目以降の金網は、風速分布の一様性の改善に寄与していないといえる。

第29図は、整流胴内の各断面における気流の乱れ強さ分布 $\sqrt{u'^2}/U$ の測定結果で、ここに U は局所風速である。広角度ディフューザ下流の断面 a で乱れ強さ分布は不均一であるが、ハニカム下流の断面 b では著しく均一化されていることがわかる。しかし、乱れ強さはハニカムの後流によって幾分増加し、およそ2%となる。すなわちハニカムは、前述のように風速分布の一様化にはかなり貢献するけれども、一方において乱れ強さについては、その一様化には役立つが、本風洞においては乱れ強さの減衰に対して効果がないことがわかる。次に断面 c 以降の整流金網を通過するたびに気流の乱れ強さは部分的に、また全体的に少しずつ減少し、風速分布の場合と同じく、やはり5枚目の整流金網の下流 g で約1%まで減少した後は、6枚目以降の整流金網を通過してもほとんど変化しない。これは、金網による乱れの減衰と、金網自身によって作り出される乱れが同程度の大きさとなってしまいうためである〔13〕。

以上の整流胴内各断面の風速分布及び乱れ強さ分布の測定結果によれば、本小型低乱風洞に用いた整流金網の場合、風速分布の一様化及び乱れ強さの減衰効果はおよそ5枚の整流金網で限界に達している。

本小型風洞は、前述のように設計の段階で整流金網を1枚ずつ交換可能な構造に設計しており、現在は、同一メッシュの金網を10枚挿入している。今後、さらに測定部気流の乱れ強さを減少させる手段として、6枚目以降の金網を除去して気流を自然減衰させる方法、及び6枚目以降にさらに目の細かい整流金網を最適枚数挿入する方法などが考えられる。

7. 結 言

高速力学研究所附属気流計測研究施設の小型低乱風洞の性能及び整流胴内の風速分布・乱れ強さ分布の測定結果について述べた。現在までの実験の範囲内で、つぎのことがいえる。

(1) 本小型低乱風洞の気流の乱れ強さは、密閉型測定部の場合、風速 $U_0 = 15 \text{ m/s}$ において0.03%であり、小寸法の風洞としてはきわめて低い値である。また、開放型測定部の場合、 $U_0 = 15 \text{ m/s}$ のとき、収縮ノズル出口で最低値0.06%を示し、以後下流方向に増加する。

(2) 本小型低乱風洞の開放型測定部の風速分布の非一様性は、測定部基準位置で0.6%以内であり、密閉型測定部に比較して良好である。

(3) 20メッシュ、線径0.27mm、開口面積比0.62の織金網を整流用金網として用いた場合、整流胴内の風速分布の一様化及び気流の乱れ強さの減衰は、およそ5枚で限度に達する。

謝 辞

終りに、実験には本研究所技官太田福雄君、受託研究員渡辺義明君(航空宇宙技術研究所角田支所)及び元大学院学生黒沢 勝君(現在三菱重工業株式会社勤務)の助力があった。また数値計算及び図面の作成には、本研究所技術補佐員星 敦子君及び小野寺尚子君の助力があった。なお実験に必要な工作には、速研工場の方々の助力があった。ここに付記して謝意を表す。

なお, 本研究の一部は昭和 49 年度文部省科学研究費補助金〔試験研究(2)〕によるものである。

文 献

- [1] *A. Pope and J. J. Harper* : Low-Speed Wind Tunnel Testing, John Wiley & Sons, New York, 1966, pp. 406-432.
- [2] *J. Kux und K. Wieghardt* : Der neue Windkanal des Instituts für Schiffbau, Institut für Schiffbau der Universität Hamburg, Bericht Nr. 169 (1966).
- [3] *J. E. Cermak* : Applications of Wind Tunnels to Investigations of Wind Engineering Problems, AIAA J., Vol. 17 (1979), pp. 679-690.
- [4] 丸田・亀井 : 建築物周辺気流に関する風洞実験方法, 日本大学生産工学部報告, 第 14 卷 (1981), 75-107 頁.
- [5] 伊藤・ほか 13 名 : 東北大学高速力学研究所附属気流計測研究施設低乱熱伝達風洞設備および風洞性能について, 速研報告, 第 44 卷 (1980), 93-151 頁.
- [6] 伊藤・小林 : 低乱風洞の設計方法, ターボ機械, 第 9 卷 (1981), 25-32 頁.
- [7] *P. Bradshaw and R. C. Pankhurst* : The Design of Low-Speed Wind Tunnels, Progress in Aeronautical Sciences, Vol. 5 (1964), pp. 1-69.
- [8] 小林 : 風洞用収縮ノズルの設計について, 速研報告, 第 46 卷 (1981), 17-37 頁.
- [9] *L. Prandtl* : Essentials of Fluid Dynamics, 3rd ed., Blackie and Son, London, 1954, p. 148.
- [10] *H. H. Bossel* : Computation of Axisymmetric Contractions, AIAA J., Vol. 7 (1969), pp. 2017-2020.
- [11] *L. Prandtl* : Herstellung einwandfreier Luftströme (Windkanäle), Handbuch der Experimentalphysik, Bd. 4, 2. Teil, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1932, S. 65-106.
- [12] *F. B. Bradfield* : The 5-ft. Open Jet Wind Tunnel, A. R. C., R. & M., No. 1364 (1930), pp. 675-685.
- [13] *H. L. Dryden and G. B. Schubauer* : The Use of Damping Screens for the Reduction of Wind-Tunnel Turbulence, J. Aero. Sci., Vol. 14 (1947), pp. 221-228.