

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-334

大型低速風洞の特性試験(1)

——気流検定試験——

海老沼 幸成 ・ 戸田 亘洋 ・ 白井 正孝
馬場 滋夫 ・ 吉田 典生

1977年10月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

大型低速風洞の特性試験(1)*

—— 気流検定試験 ——

海老沼 幸 成**・戸 田 亘 洋**・白 井 正 孝**

馬 場 滋 夫**・吉 田 典 生***

1. まえがき

航空宇宙技術研究所の大型低速風洞は、昭和40年に運転を開始してから既に10余年を経過している。

同風洞は、送風機の試運転に始まり種々の調整が続いて慣熟運転に入ると同時に、所内各部からの要請に基づく各種の風洞試験、所外からの依頼試験等に従って来、繁忙な時期が続いた。一方風洞特性試験は、それ等試験の間隙を縫って行われる形となり、試験する装置が大がかりとなること、時間的な制限等があった、未だ完全に終了したとは云い難い状態にある。しかしながら、風洞特性試験はこれまでに数多く実施して、風洞特性の改善、風洞試験で問題となった事項に対する資料の提供その他で直接役立てられたものが多い。

最近一部のものについて補足試験を行い、データにまとめることができたので、風洞特性試験を実施した順に記述し、本風洞使用者の参考になればと考え報告する。

2. 記 号

測定点等を明確にするために、風洞に固定した直角右手座標を用いる。原点は風洞中心線と天秤中心線の交点とする。(図-1参照)

X : 前後軸、気流に沿って正(0~200) [m]

Y : 左右軸、下流に向って左(風洞内側)を正 [m]

Z : 上下軸、上方を正 [m]

z : 測定部床面、または基準面よりの高さ方向の距離 [m, mm]

P_0 : 大気圧

P : 静 圧

q_∞ : 測定部基準動圧

U_∞ : 測定部基準風速

ψ : 吹き上げ、吹き下し角、吹き上げを正

添字

p : パイロット風洞を示す。

3. 送風機出口部の流れ

送風機出口部の気流測定は2種にわかれる。第1は、送風機後流の旋回流を除去するために設けた後置静翼用フラップの効きと、その修正結果である。第2は、本風洞の風速制御を送風機のピッチ制御で行っているので、各種の測定部風速に対する送風機出口部の風速分布の測定である。

3.1 送風機出口部の旋回流とその改善

図-1は大型低速風洞の平面図である。風洞測定部は自由壁にも出来るが、図には固定壁の場合が描かれている。同図右上の送風機下流に設けた後置静翼は、それ自体キャンバーをもっており、後縁部に一枚のフラップが追加して取り付けられている。フラップを取り付けた理由は、パイロット風洞(縮尺1/10、送風機については縮尺1/9.3)の送風機特性試験の結果による。

参考のためパイロット風洞送風機性能試験結果より送風機後流の旋回角(気流の Xp 軸に対する傾き角)を図-2に示す。旋回角の測定位置は、送風機内筒後端より6m後方(送風機ケーシング内径を D とすれば $6D$ に相当し、本風洞の $X=101.5$ に相当する)の位置について、測定は旋回流が風洞軸(Xp)に対称と考え内側($Y_p > 0$)のみ行っている。測定結果は旋回角が零となっておらず、明らかに旋回流が残っていることがわかる。本風洞に取り付けた送風機の後置静翼およびフラップの形状を図-3に示す。

パイロット風洞の送風機性能試験結果により取り付けることになったフラップは、その弦長決定に当りレイノルズ数効果など不明な点があったので、必要と思われる弦長より長いものが取り付けられており、試運転時の測定結果によってその弦長の修正が容易なようにしてあった。

大型低速風洞の試運転直後、送風機後流測定を実施し

* 昭和52年5月27日 受付

** 空気力学第二部

*** 元空気力学第二部

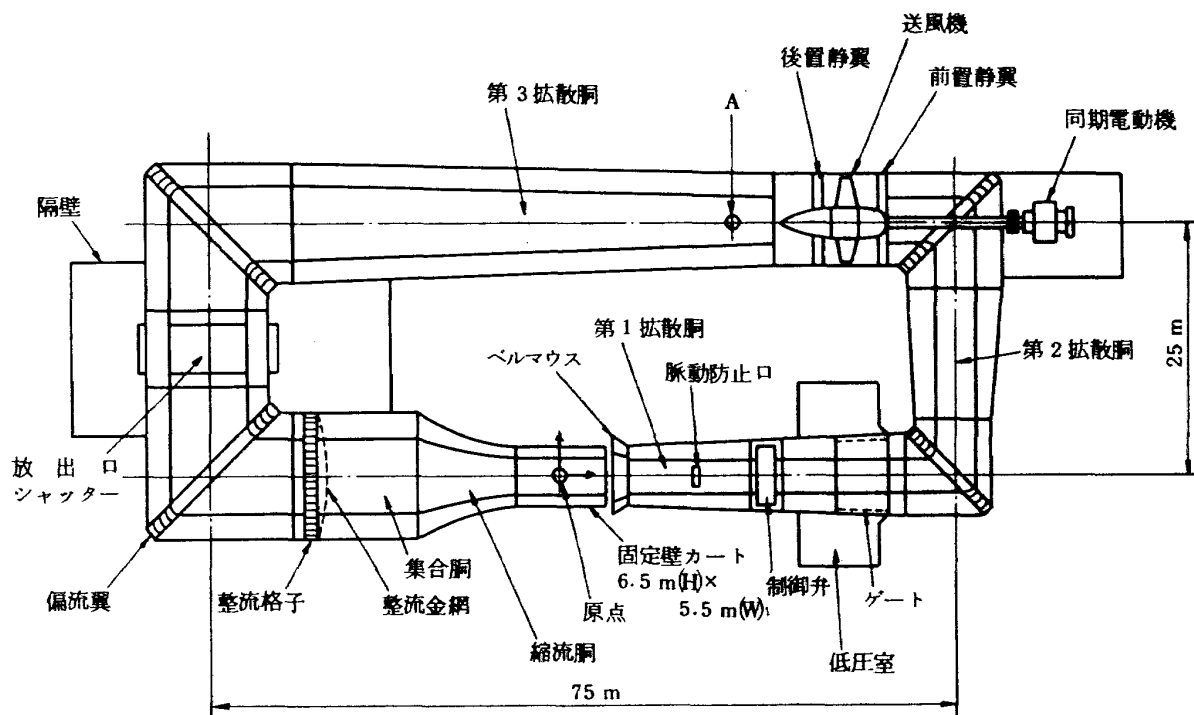


図-1 大型低速風洞 平面図

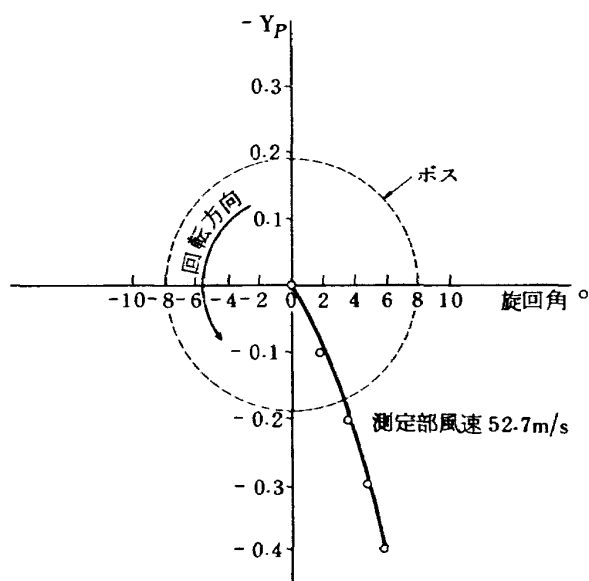


図-2 パイロット風洞の送風機後置静翼下流
(本風洞の $X=101.5$, $Z=0$ 相当)
の旋回角(下流側より見る)

た。測定位置としては第3 拡散胴、図-1 のA点 ($X=87.8$) 断面を選んだ。旋回角の測定方法は、先づ胴体床面 ($Y=0$) に胴体中心線を基準とした角度目盛を描いて置き、風洞中心に直径1 mm のピアノ線を鉛直に張り、それに長さ5 m の気流糸を取り付け、気流糸の高さを胴体外部から滑車を使って任意の高さにセットし気流糸の偏り角を胴体天井の照明窓から読みとるようにした。測

定部風速 58 m/s における測定結果を図-4 に示す。図示の計測値には目視位置と気流糸の高さの変化に対応した補正が施されている。風速 42 m/s においても同じ測定を行っているが風速 58 m/s とほぼ同じ結果が得られている。

図中破線のデータは、設置当初のまゝのフラップを付けた場合の結果で、各点での偏りが大きく、かつ、送風機の回転方向から見て反対方向に旋回していることを示している。パイロット風洞の測定結果に見られた偏りを修正するためにフラップを付けたのであるが修正が行過ぎてしまったことがわかった。図-4 の実線は、その後試行錯誤的にフラップを切り落して行き最終的に原形の後置静翼のみとなった場合の測定結果である。フラップを取り除いたことで旋回流はかなり減少したが未だ大分残っている。この旋回流を取り除くため、これ以上修正を加えることは、それに関する経費、時間を考え合えると容易でないので中止した。この旋回流は測定部に至る長い風路、変流翼、整流格子、集合胴等で、ある程度は鎮静させることができるので、それに期待することになる。それ等については5.測定部の気流の特性で述べてあるが、後置静翼のみの場合この程度の旋回流があっても実用上支障の無いことが確かめられている。

3.2 送風機後流の風速分布

大型低速風洞の送風機は、可変節、1 段軸流送風機で、第2 屈曲部下流に配置され、3000 KW の同期電動機で

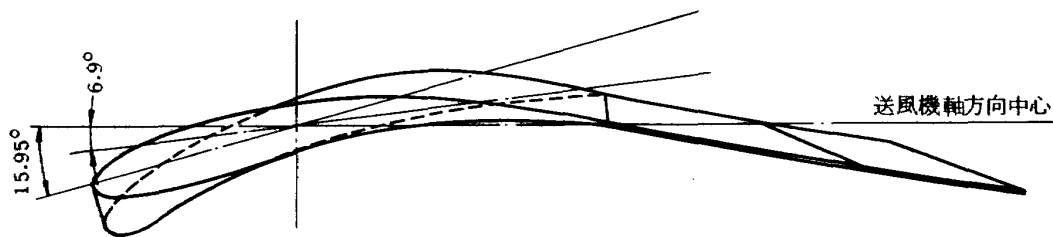
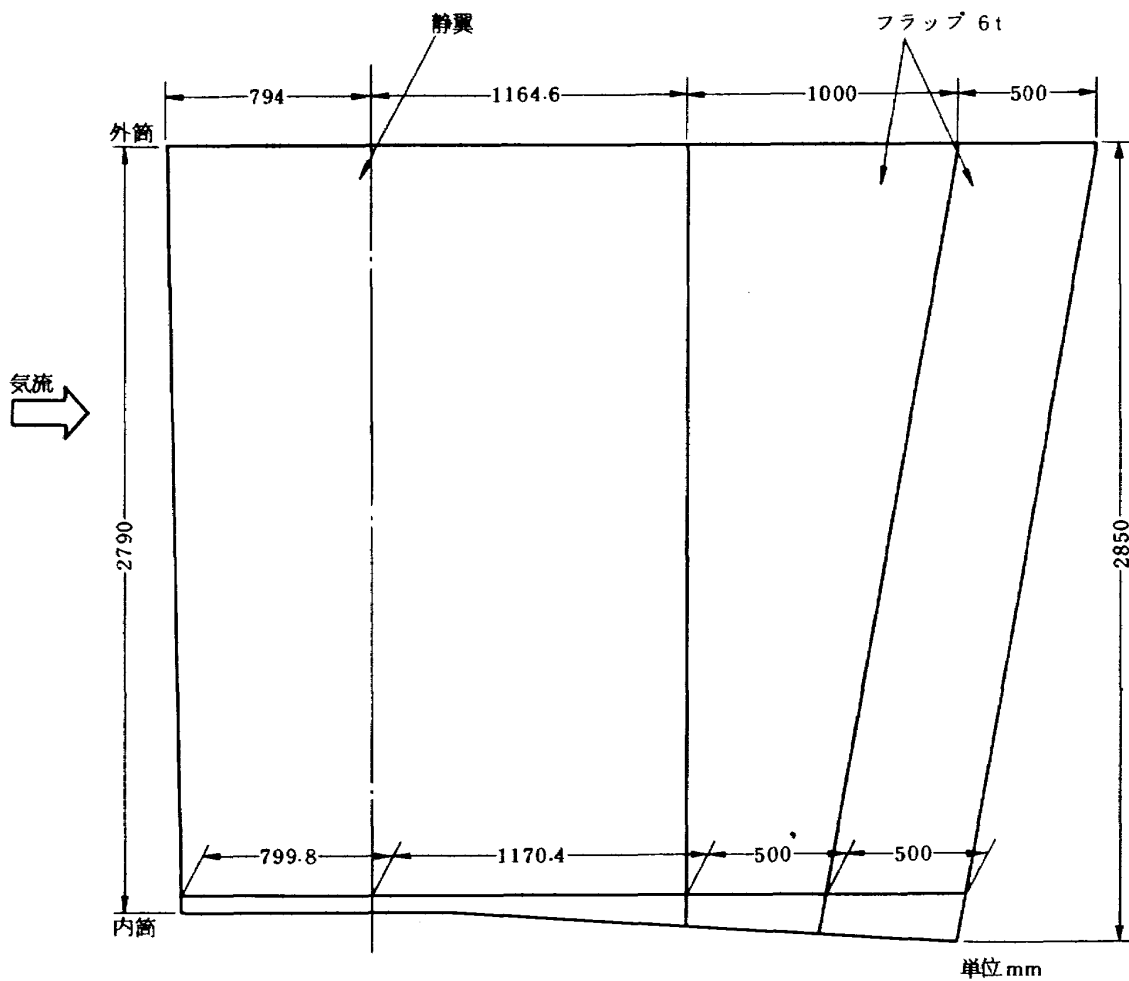


図-3 後置静翼およびフラップ(原形)

駆動される。測定部風速 60 m/s の時、流量 $2,020\text{ m}^3/\text{s}$ 、全圧上昇 100 mm Aq が得られるように設計されている。測定部の風速設定は送風機動翼の取り付け角を変更して行っているため、設計点以外の風速では送風機出口部の風速分布が悪くなることが予想できる。その関係を量的に把握するため送風機出口部の風速分布を測定した。その測定結果を図-5に示す。図の横軸は気流の軸流速度である。測定部の風速、5種類に対し、高さを3段階に変えた結果が示されている。

測定位置は送風機ボス整形体終端附近、図-1のA点より3 m上流($X=84.8$ 断面)で、風速は風洞軸に合

せて取り付けられたビトー管により測定した。ビトー管位置の気流には旋回流、変動成分が含まれているわけであるが、マンメーターの指示値をそのまま用いている。

動的な気流の変動については別に測定しているため、それ等については4.2胴体各部の気流の変動の所で述べてある。

図-5より軸流速度は、測定部風速 $20\sim 30\text{ m/s}$ において周辺が低く中央に向かって高くなる傾向があり、半径方向の速度差が大きいこと、測定部風速 $50\sim 60\text{ m/s}$ についてはその速度差が小さく平均化の方向にあることがわかる。このような特性が測定部の風速分布に影響を及

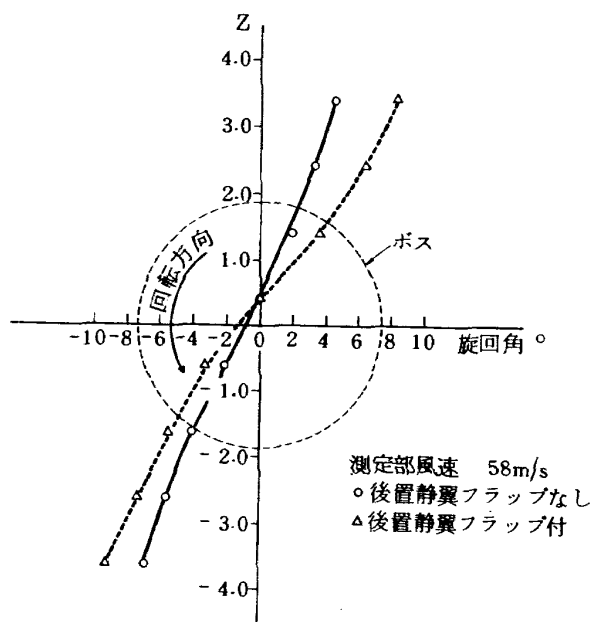


図-4 大型低速風洞第3拡散入口部 ($X = 87.8$ $Y = 0$) の旋回角
(下流側より見る)

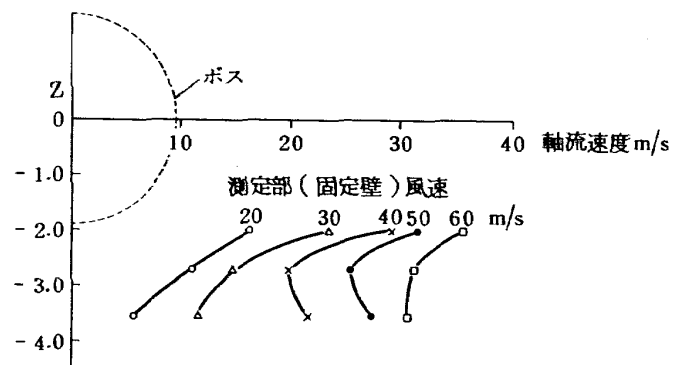


図-5 送風機出口 ($X = 84.8$, $Y = 0$) の風速分布

ほし周辺部が低く、中央部で高い原因をなすものと考え
る。

4. 胴体各部の気流

胴体各部の気流として本章で述べる内容は、風洞内各部の圧力、圧力損失を知るための静圧 (壁圧を使用) 測定、および気流速度の変動成分のみに着目した風速変動の測定結果についてである。

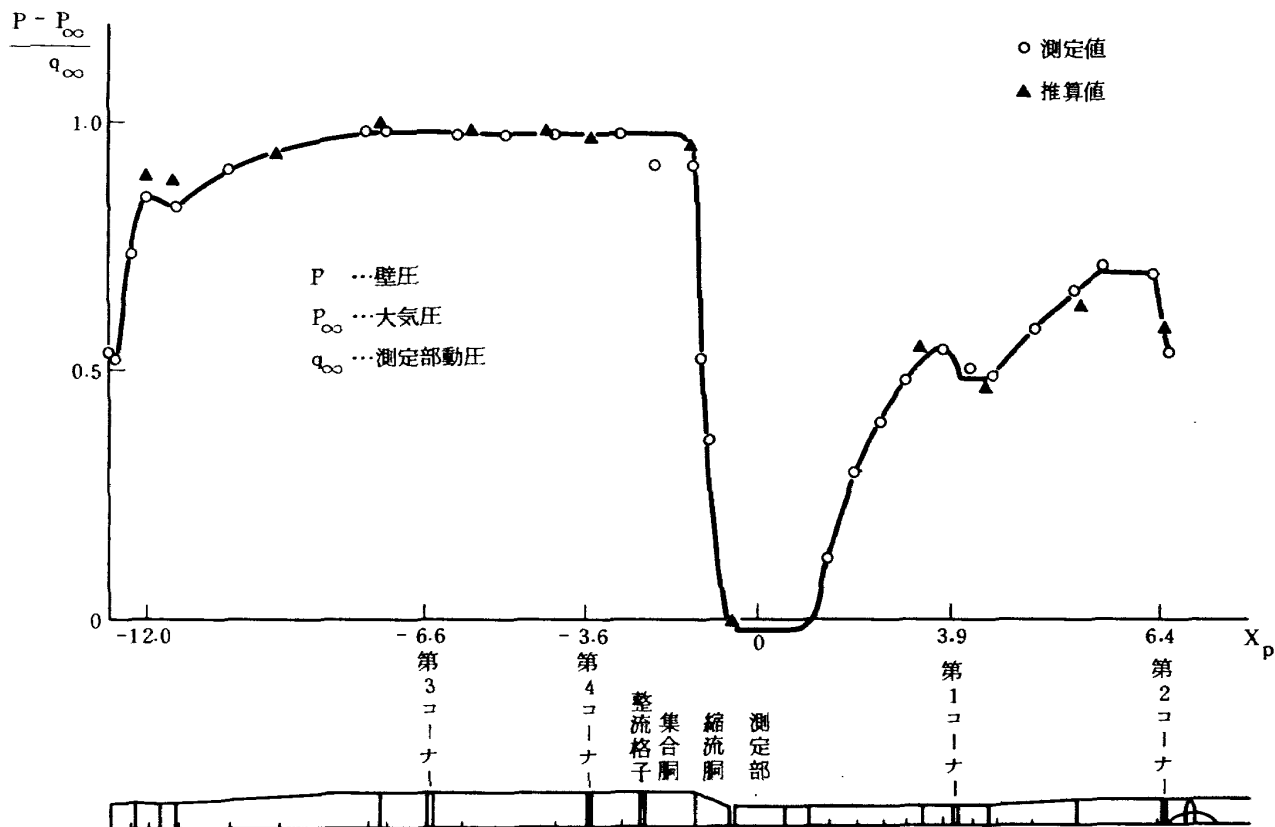


図-6 パイロット風洞壁圧分布 (測定部風速 55.8 m/s)

4.1 胴体各部の壁圧分布

参考のため縮尺 1/10 のパイロット風洞の壁圧を図-6に示す。下端はパイロット風洞断面の展開図で、測定値は展開図に対応している。各部の壁圧測定結果から胴体要素の圧力損失を算出したが、これは推算値とよく合致した。⁽¹⁾

図-7に大型低速風洞の壁圧測定結果を示す。測定部は二段絞りノズル付の自由壁である。展開図の下に数字は測定箇所を示す番号で31断面について測定していることを示す。壁圧孔は風洞胴体中心面上 ($Z=0$) の対称位置の両側壁に設けてあったが、内側の数が少なかったため、外側のみを使用した。

本風洞、胴体各部の壁圧測定値も計画時の各部の圧力損失係数から計算された壁圧と概ね一致する。ただし、縮流胴下流の二段絞りノズル付近では、壁圧孔の仕上がり精度に左右されたのか推定値より離れた値を示しているところがある。

図-6のパイロット風洞の壁圧分布と図-7の本風洞の壁圧分布と比較すると、測定部附近の壁圧分布の様相が少し異っているが、これは測定部の形態の違いによる

もので、パイロット風洞の場合は固定壁、本風洞の場合が自由壁で測定したことによる。

風洞各部の圧力損失係数については、文献〔2〕、〔3〕に基づいて算出している。

4.2 胴体各部の気流の変動

測定部気流の乱れの原因と推移を求めるため、風洞各部の風速の変動を差圧式風速計で測定した。熱線風速計で測定した測定部の気流の乱れについては5.6で述べてある。変動風速の検出に用いた差圧式風速計を図-8に示す。その差圧式風速計は、バイパス弁を持っており、バイパスされる空気量を調節することにより定常的な圧力差をカットし、変動する圧力差のみが検出できる様になっている。歪ゲージにより電気信号に変換された変動圧力差は動歪計を通してペン書きオシログラフで記録した。図-9に差圧式風速計の周波数特性を示す。⁽⁴⁾ 図中、漏れ時定数 1.1 sec はバイパス調整ツマミにより設定できるもので、 $\Delta P = 26 \text{ mmAq}$ は検定を行なった時の変動圧力の最大値である。

図-10は胴体各部の変動風速の測定記録を整理した結果である。図の最上段は大型低速風洞の展開図で、そ

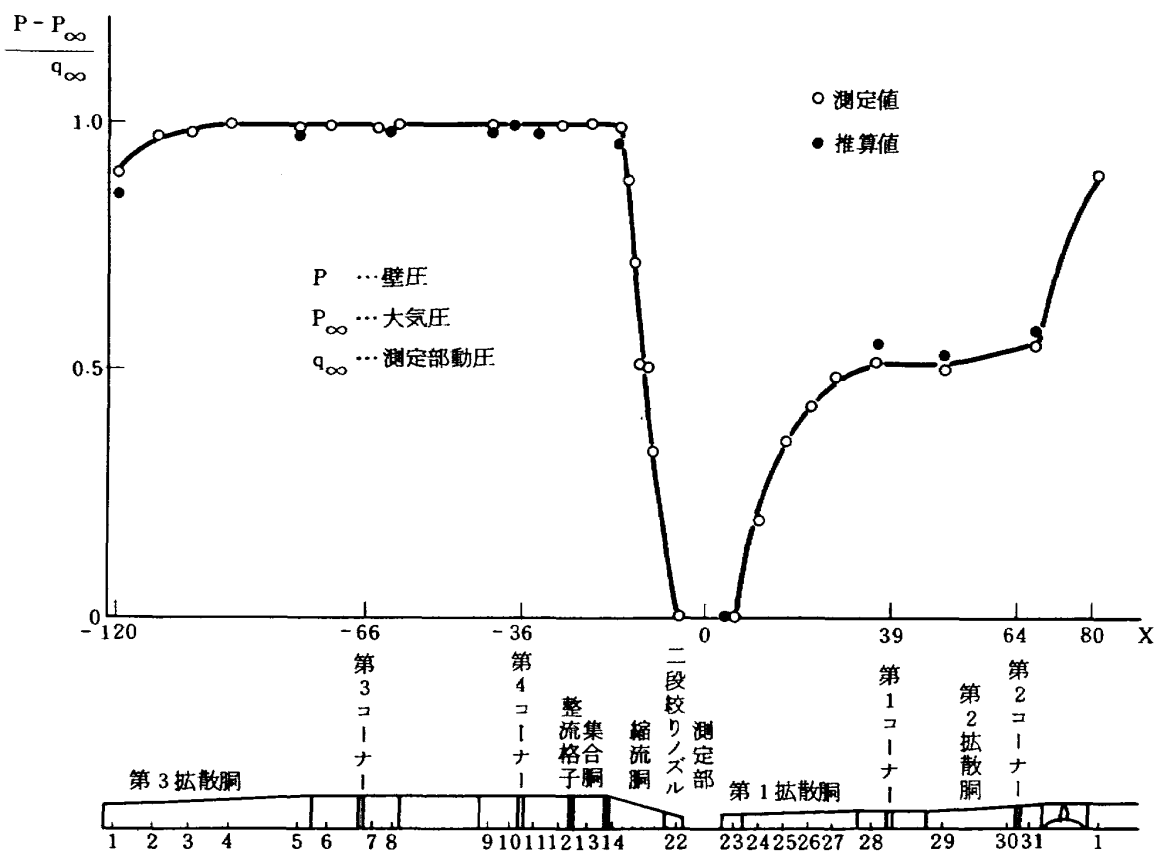
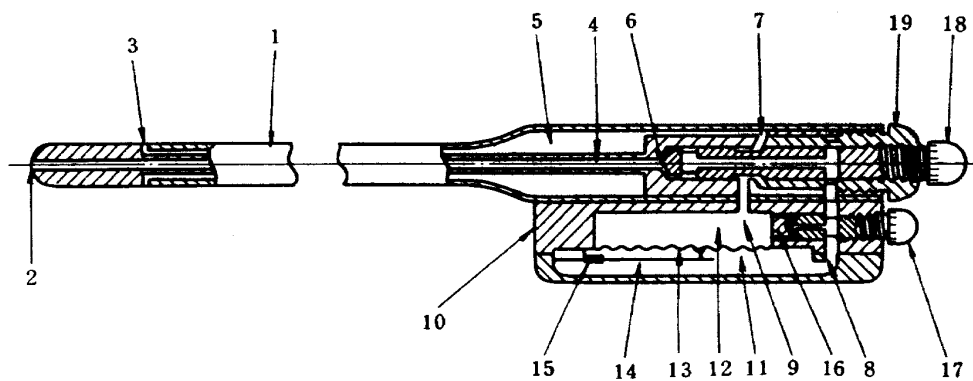


図-7 大型低速風洞壁圧分布 (測定部風速 60 m/s)



名称番号	名 称
1	ピットー管部
2	総圧孔
3	静圧孔
4	総圧導管
5	静圧導管
6	総圧絞り弁
7	静圧絞り弁
8	総圧導管
9	静圧導管
10	圧力変換部
11	総圧室
12	静圧室
13	ダイヤフラム
14	板バネ
15	歪ゲージ
16	バイパス弁
17	バイパス調整ツマミ
18	総圧調整ツマミ
19	静圧調整ツマミ

図-8 差圧式風速計断面図

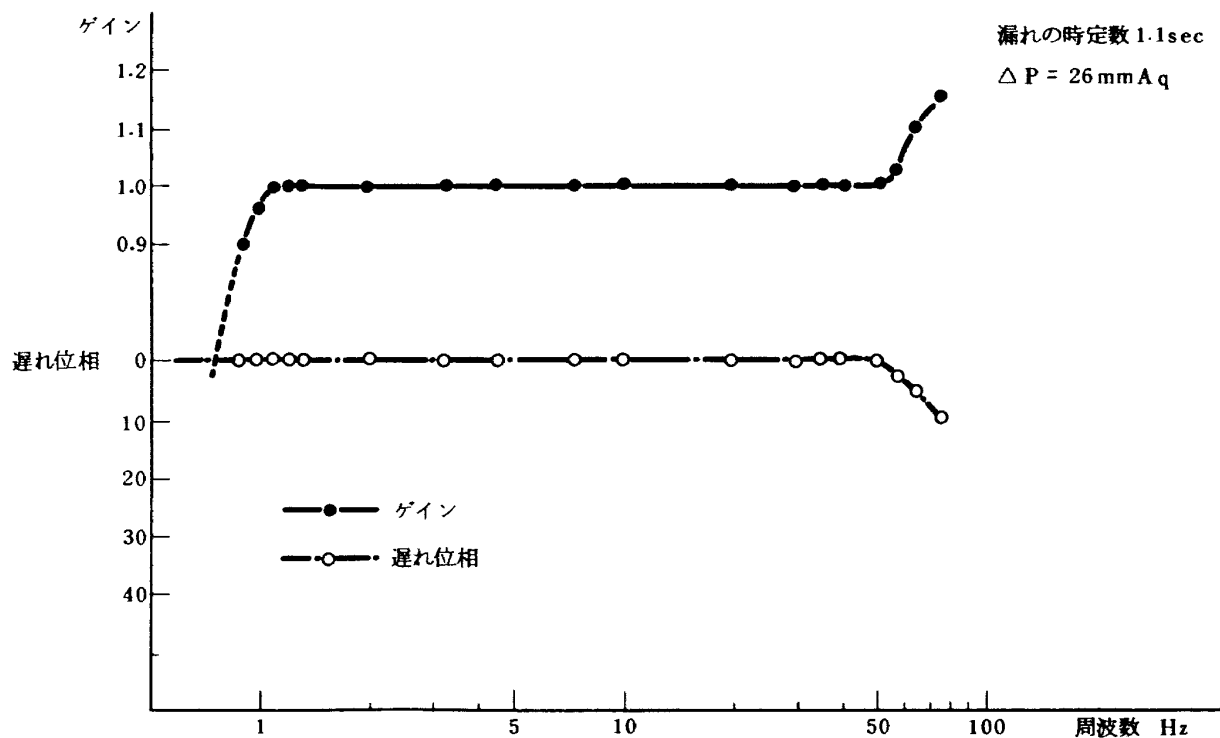


図-9 差圧式風速計の周波数特性

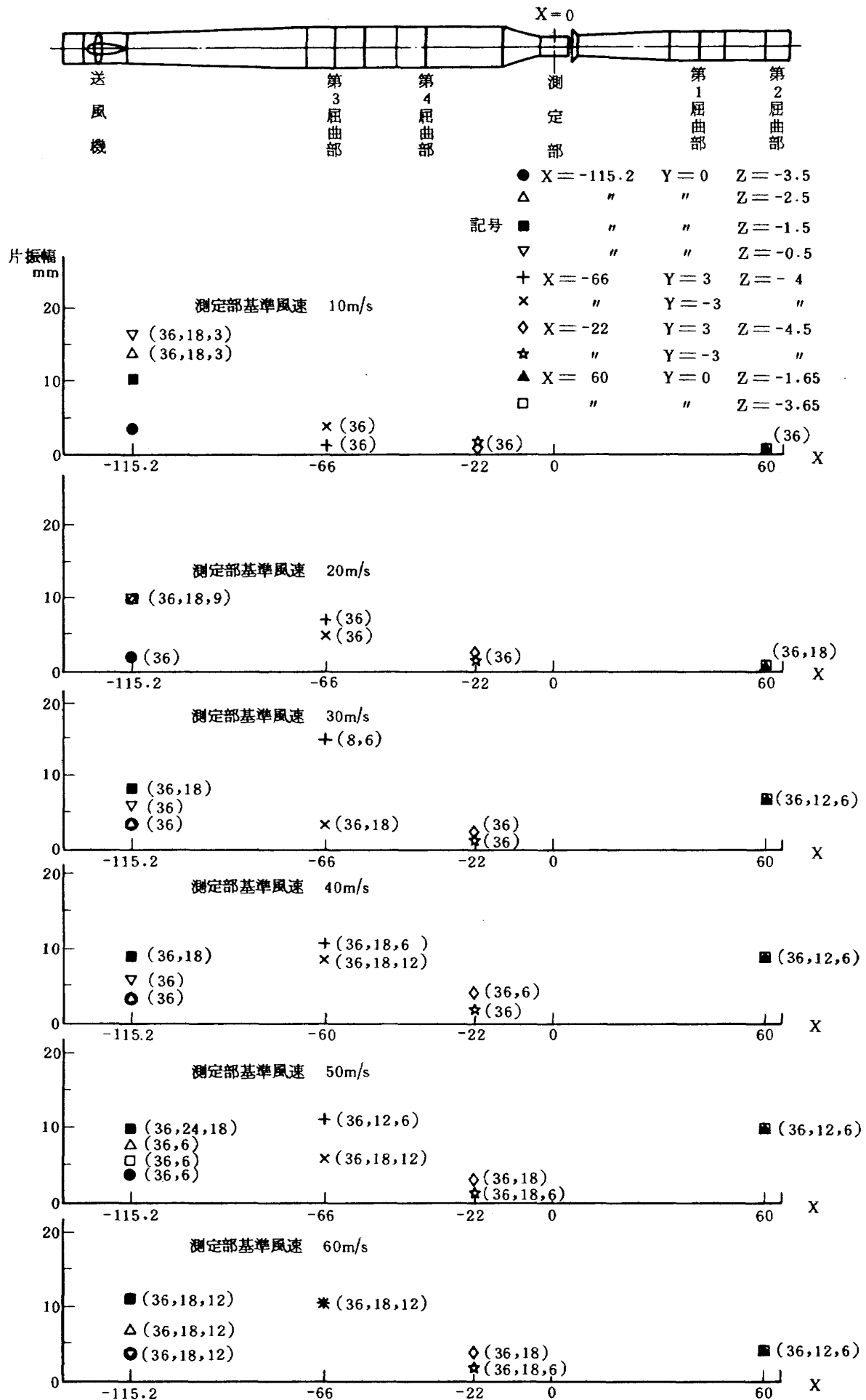


図-10 大型低速風洞の気流変動分布

したもので、総圧管 11 本、静圧管 3 本が取り付けであり、固定壁測定部にも適用できるように高さ 3.6 m とし、床面近くの測定に際して 2 本の総圧管が付いた 1 m の楕円管を接続できるようになっている。

図-13 は整流金網取り付け以前の自由壁測定部の風速分布を示す。数値は一般流基準風速と測定点の風速との比で、各々の線はその等速度線である。

測定箇所は天秤中心断面 ($X=0$) と天秤中心より 1.6 m 前方断面 ($X=-1.6$) である。

図-14 は整流金網取り付け後の天秤中心断面 ($X=0$) での測定結果である。

整流金網取り付け以前の基準風速は集合胴と二段絞り出口との壁圧差に、その両方の断面積比より算出される常数 (この場合 $K=1.019$) を掛けた値を用いている。

整流金網取り付け後の基準風速は二段絞りノズル上部 ($X=-2.6$, $Y=1$, $Z=2.1$) にピトー管を取り付けて検出し、その値を用いた。壁圧差とピトー管から求めた風速の対応は、測定部中心断面 ($X=0$, $Y=0$, $Z=0$) に検定用ピトー管を置いて調べているが差異の無いことがわかっている。

基準風速 60 m/s の結果から風速の一樣性について比較すると (図-13 (e), 図-14 (d) 参照), 軸方向速度の非一樣性の割合は整流金網取り付け以前が 2 % であったものが、取り付け後 0.5 % に減り、整流金網の取り付けにより風速分布の非一樣性が改善されたことがわかった。

5.2 固定壁測定部の風速分布

固定壁測定部における風速分布は、整流金網取り付け以前の測定が時期的に実施できなかったため、整流金網取り付け後の測定結果についてである。

測定結果には固定壁測定部であるため回転楕型ピトー管および支持架台の阻害効果による静圧上昇分の補正が行ってある。図中の数値については自由壁測定部の場合と同じである。

固定壁測定部では、模型支持支柱を使つての 6 分力試験、あるいは 3 分力試験が多く行われるので、支柱および風防のある場合の風速分布も測定した。

(a) 模型支持支柱およびその風防のない場合

模型支持支柱およびその風防がない状態の固定壁測定部の風速分布測定結果を図-15 に示す。基準風速が 60 m/s の場合、天秤中心断面 ($X=0$) における軸方向速度の非一樣性は 0.5 ~ 0.75 % で、自由壁測定部の場合より少し大きい。これは自由壁と固定壁とで縮流胴の絞り比が相違しているためと思われる。

(b) 模型支持支柱および風防のある場合

本風洞の模型支持法は、模型を下方から支える支柱型

式で数種の支持方式がある。前部 2 点支持、後部 1 点支持の 6 分力支柱およびその風防のある場合、その支柱と風防の投影面積の和は風路断面積の 4 % 程度になり、支柱および風防の影響を無視できない。この影響を明らかにするため、丸形支柱、流線形支柱あるいは前部 1 点支持等取り付け状態を変えて風速分布の測定を行った。その結果を図-16 に示す。図中 $X=0$ の断面は、同断面が天秤中心と一致しているため、楕型ピトー管が支柱および風防に当たらない範囲の全面が測れるように適宜架台を動かして行っている。

模型支持支柱および風防を設置することにより、風速分布はかなり複雑となり、且つ風速の一樣性も悪くなることがわかる。

5.3 固定壁測定部の境界層

半截模型による風洞試験を実施するにあたり、模型の取り付け位置を決める必要から、固定壁測定部の境界層の厚さの測定を実施した。この測定には 10 本の総圧管と 3 本の静圧管を組合せた楕型ピトー管を用いた。壁に最も近い総圧管を壁面から 0.5 mm 離して取り付け風洞中心面 ($Y=0$) の床面上を軸方向に移動して、境界層を測定した。測定部両壁面での測定位置は床面の測定位置に対応した位置 ($Y=2.75$ および $Y=-2.75$, $Z=0$) を選んだ。風速 20, 40, 60 m/s について測定を行ったが、その一例として天秤中心 ($X=0$, $Y=0$) における境界層内の速度分布を図-17 に示す。図の速度比から排除厚 δ^* を計算すると、10.53 mm となる。

図-18 は風洞中心面 ($Y=0$, $Z=-3.25$) 上の固定壁測定部床面上における境界層の排除厚を示す。図-18 において、排除厚 δ^* の軸方向の勾配を求めると 1.2/1000 となる。この値は乱流境界層における排除厚を求める式や数表⁽³⁾から得られる勾配と一致している。従って測定部壁面上の境界層は乱流境界層になっていると云える。

5.4 測定部の静圧勾配

風洞試験の精度、とくに抵抗力の正確さを期するため重要な測定部の静圧勾配は、自由壁、固定壁測定部に於いて、また、整流金網効果を含めて求めている。

(a) 自由壁測定部の静圧勾配

自由壁測定部における静圧測定は、ピトー管により風洞中心線 ($Y=0$, $Z=0$) 上を X 方向 (1 m 間隔) に移動して行った。その移動は昇降台上に固定した移動架台にピトー管の付いた支柱を取り付けて行った。

整流金網取り付け以前および後の結果を図-19 の (a), (b) に示す。

縦軸は測定点の静圧と天秤中心 ($X=0$, $Y=0$, Z

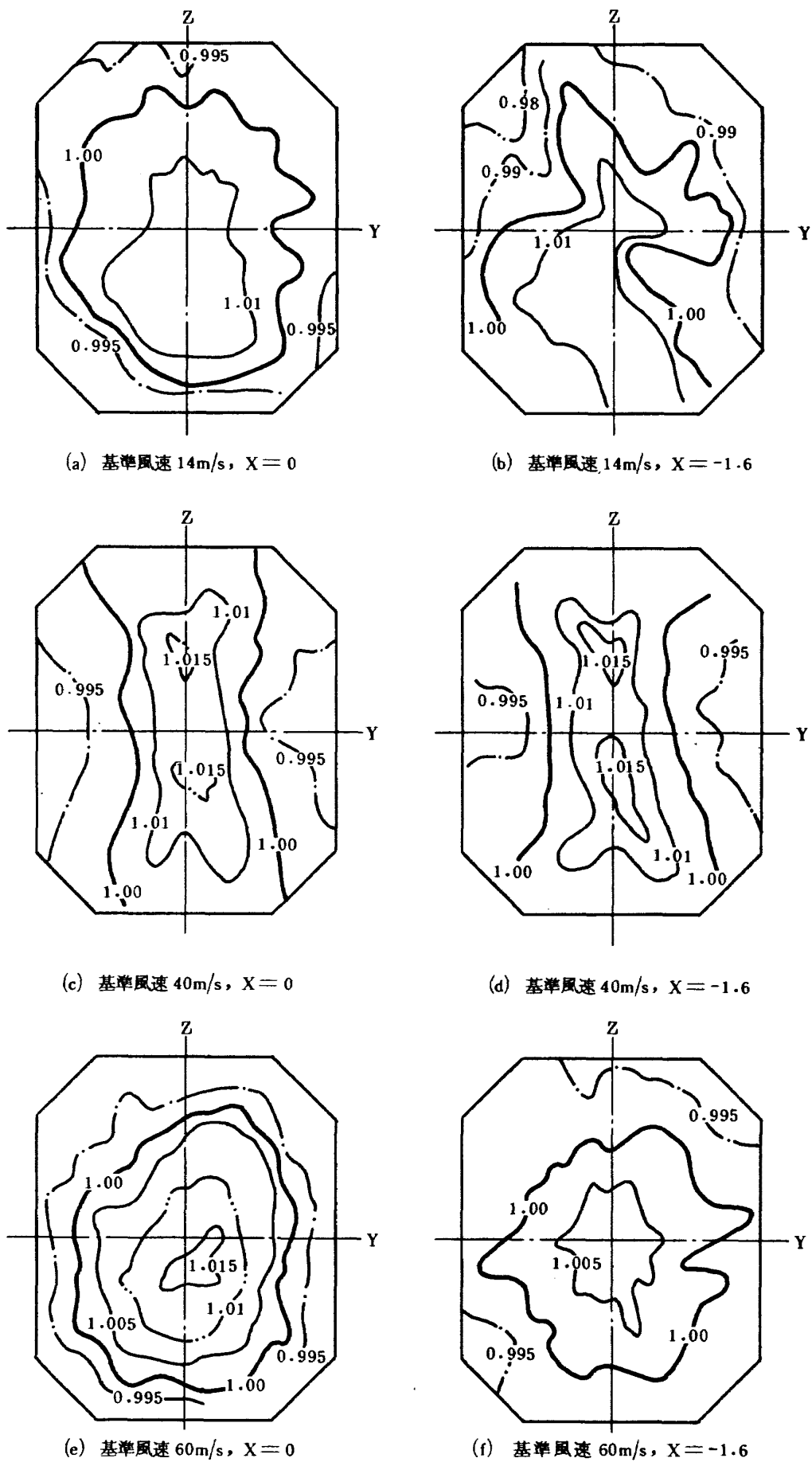
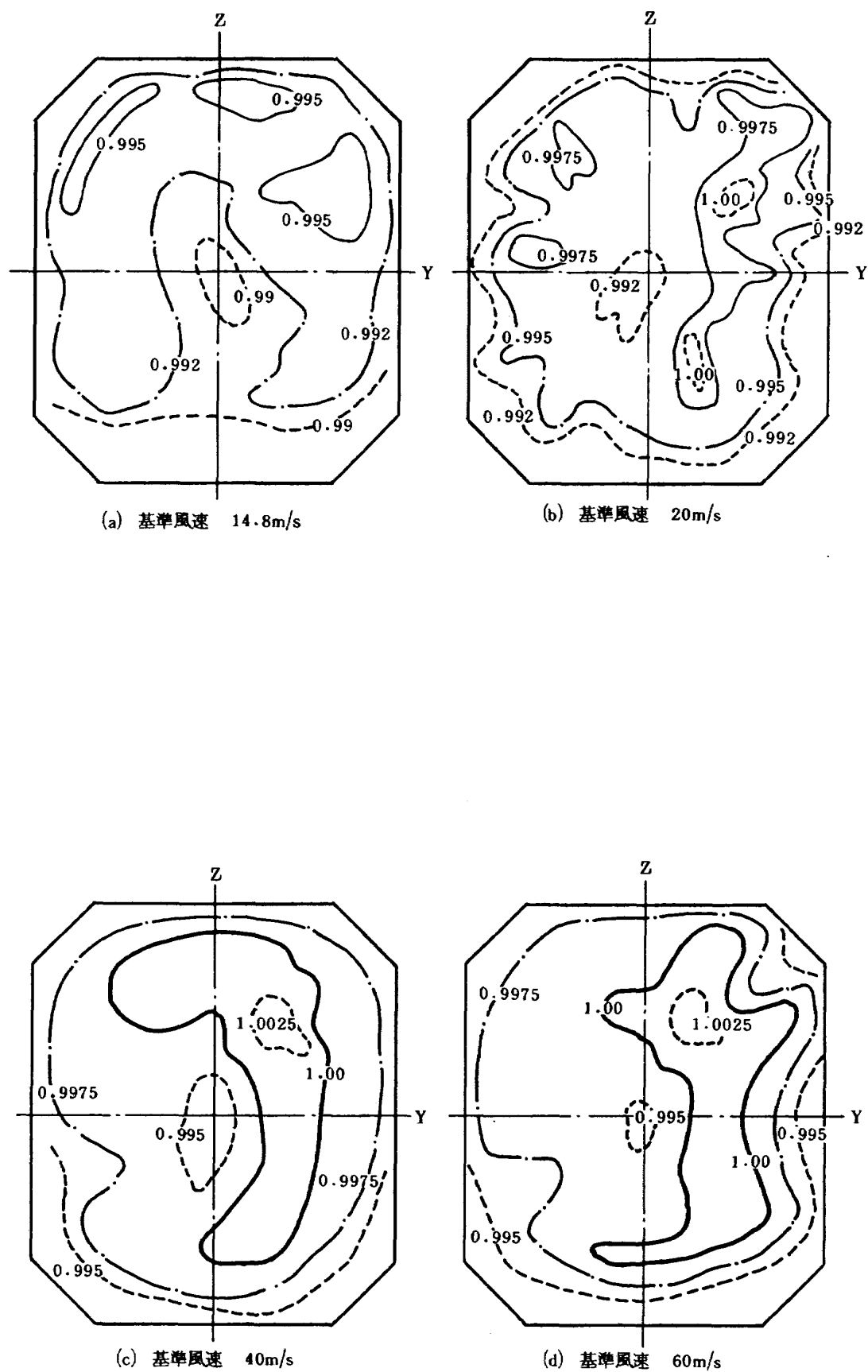


図-13 自由壁測定部の風速分布（整流金網取り付け前，下流側より見る）

図-14 自由壁測定部 ($X=0$) の風速分布 (整流金網取り付け後)

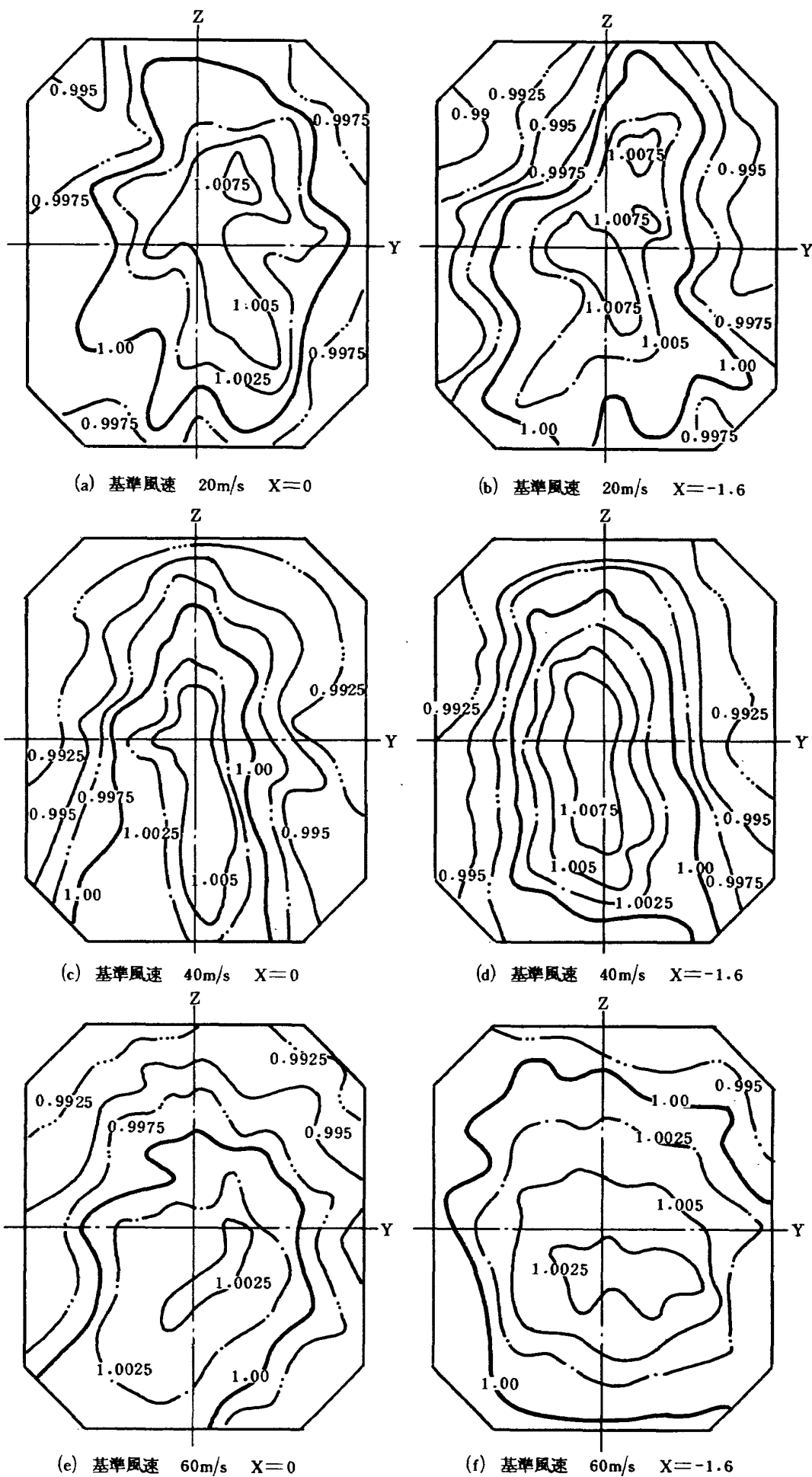


図-15 固定壁測定部の風速分布 (模型支持支柱およびその風防なし)

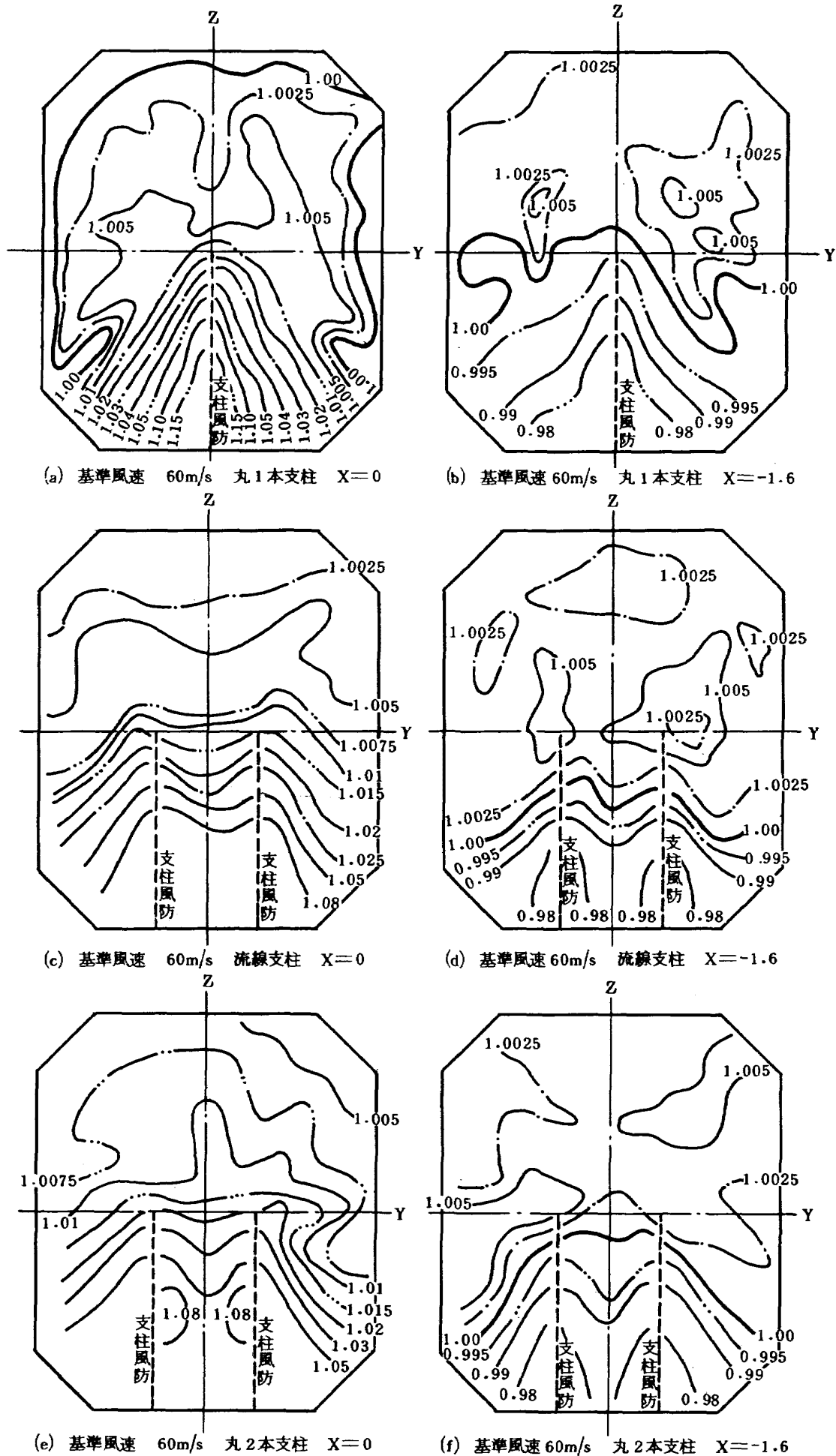
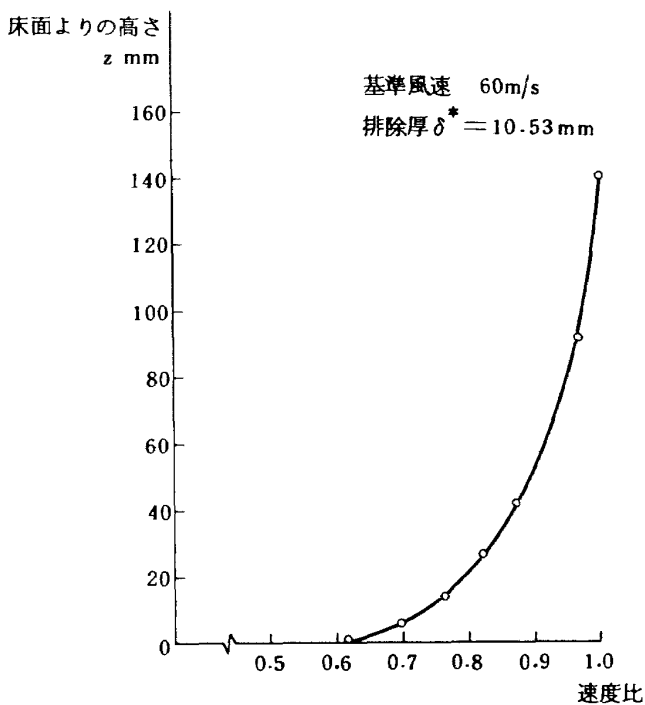
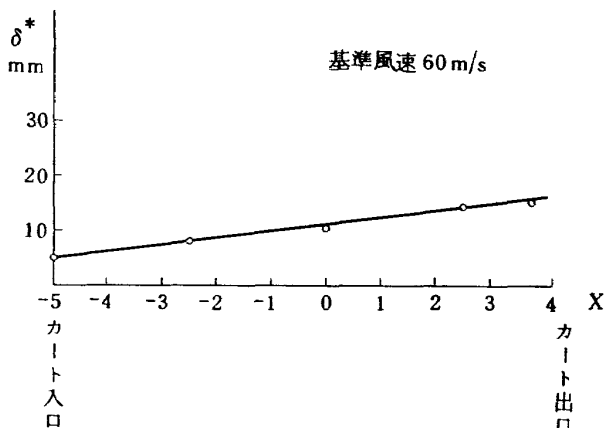


図-16 固定壁測定部の風速分布(支柱・風防付)

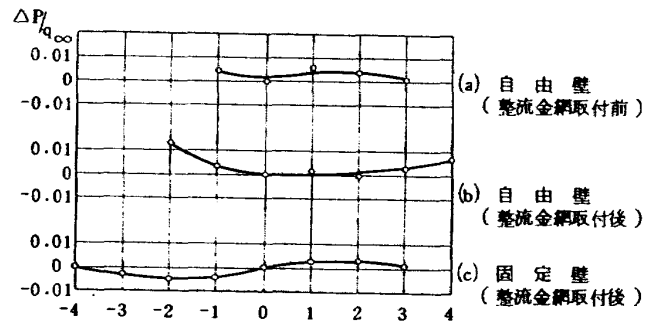
図-17 固定壁測定部 ($X=0, Y=0$) の境界層図-18 カート床面上 ($Y=0, Z=-3.25$) の境界層排除厚

$=0$) の静圧との差 Δp を測定部基準動圧 q_{∞} で無次元化した値である。整流金網取り付け前後の値を比べると、天秤中心以降 ($X>0$) での静圧勾配は大変良くなっている。

(b) 固定壁測定部の静圧勾配

固定壁の場合、整流金網は取り付け後の結果である。静圧の測定および測定値の無次元化の方法は自由壁の場合と同じ要領で実施している。ビトー管の移動および支持は測定部床面に 5 m の溝型鋼 ($150\text{ mm} \times 75\text{ mm}$) 2 本を固定しておき、それにビトー管の付いた支柱を取り付けて行った。その結果を図-19 の(c)に示す。

整流金網取り付け後の自由壁測定部の静圧は天秤中心

図-19 測定部断面中心線 ($Y=0, Z=0$) における静圧勾配 (基準風速 60 m/s)

より後方で平坦であったが、固定壁測定部の時には天秤中心より後方で静圧が少し上る傾向にある。この傾向は、パイロット風胴における静圧勾配の測定結果にもとづいて、固定壁測定部の断面積を等価円に換算したときの拡り角を $4/1000$ にしているが、先の境界層測定結果と考え合わせると、その拡り角が少し大きすぎたことによるものとする。

5.5 測定部の風向

測定部の風向の測定は、模型迎角を補正する時に必要とされる気流の上下方向の偏りについて、長さ 5 m の楕円管 ($95\text{ mm} \times 50\text{ mm}$) 支柱に 45° 対称のヨーメータを取り付けて行った。

(a) 自由壁測定部の風向

自由壁測定部の風向測定は、6 分力ピラミッド天秤を実際の風胴試験と同じ状態、すなわち、ターンテーブル面が附加ノズル (2 段絞りノズル) の吹き出し口下面より 450 mm 下の位置 ($Z=-3.25$) になるように設置し、楕円管支柱を鉛直に立て、ヨーメータを水平に取り付けて測定を行った。測定位置は天秤中心線 ($X=0, Y=0$) 上の Z 方向についてである。測定部基準風速 60 m/s における測定結果を図-20 に示す。図の縦軸は風胴中心 ($Z=0$) より距離、横軸は風向 φ を表す。

ターンテーブル面より上方 2 m あたりに吹き下しが目立つが、これは恐らく附加ノズルより吹きこぼれた気流が 6 分力天秤上面のターンテーブルに当り、反射するあまり作用の影響によるものではないかと考える。

風速 20, 40 m/s においても、この傾向はほぼ同じである。模型取り付け位置附近での風向は $0.2 \sim 0.25^\circ$ 程度の吹き上げとなっている。

(b) 固定壁測定部の風向

固定壁測定部においては、模型取り付け位置附近の風向を測定した。その測定位置は $X=0, Y=-1.75 \sim 1.75, Z=-0.399 \sim 0.399$ の範囲についてである。

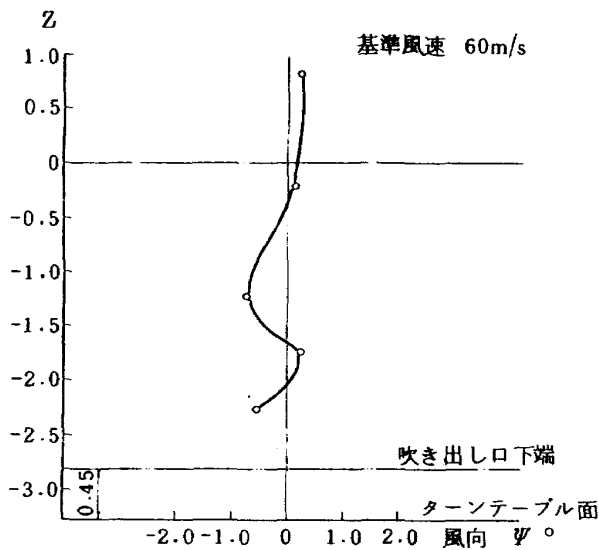


図-20 自由壁測定部の天秤中心線 ($X=0$, $Y=0$) 上における風向

測定状態は模型支持支柱および風防の無いクリーンの状態、前部の模型支持支柱および風防が1本の場合、前部2本で丸型支柱(6分力用)の場合、同じく2本で流線型支柱(3分力用)の4種についてである。前部2本の場合、その支柱間隔は1.5mであり、ピッチングストラットである後部支柱および風防は何れの場合も取り付けしていない。測定は楕円管支柱を鉛直に立て、それに風洞中心($Z=0$)を基準としてヨーメータを鉛直方向に7本133mm間隔に取り付け、その支柱をY軸方向に250mm間隔にトラバースして行った。その測定結果を図一

21に示す。

図示の値は、7本のヨーメータの間隔が小さいため、各ヨーメータの測定値を平均して、風洞中心($X=0$, $Z=0$)の値として用いている。なお、同図右上の記事は各々の模型支持形態による風向 ψ の全平均値である。図-21でわかる様に、固定壁測定部がクリーンの形態(模型支持支柱およびその風防なし)でも、わずかであるが吹き上げが見られる。さらに、模型支持支柱を設置することにより吹き上げ角は増加することがわかる。吹き上げ角は阻害効果の大きい前部2本支柱風防付で丸型支柱が最も大きく、1.25°流線型2本、丸型1本、クリーン形態の順に小さくなっている。また、模型を取り付けることにより風向が大きく変化することも充分推測できる。

5.6 測定部の乱れ

4.2項で述べたように胴体内の気流が変動していて、それが測定部に悪い影響を与えていたので、気流の改善を図るため集合胴整流格子下流に整流金網が取り付けられたわけである。その金網は12メッシュ、SWG No 22、素線径0.712mmのものである。この整流金網は乱れの減衰に大きく寄与するわけであるが、金網取り付け前の乱れの測定は実施する機会が得られなかった。従って金網取り付け後の結果のみで、取り付け前後の比較はできない。乱れの測定は、自由壁、固定壁測定部のそれぞれについて、熱線風速計のプロブを天秤中心($X=0$, $Y=0$)基準で上下方向にトラバースして行った。その測定結果を図-22に示す。

縦軸は測定点の高さで、自由壁測定部の場合は吹き出

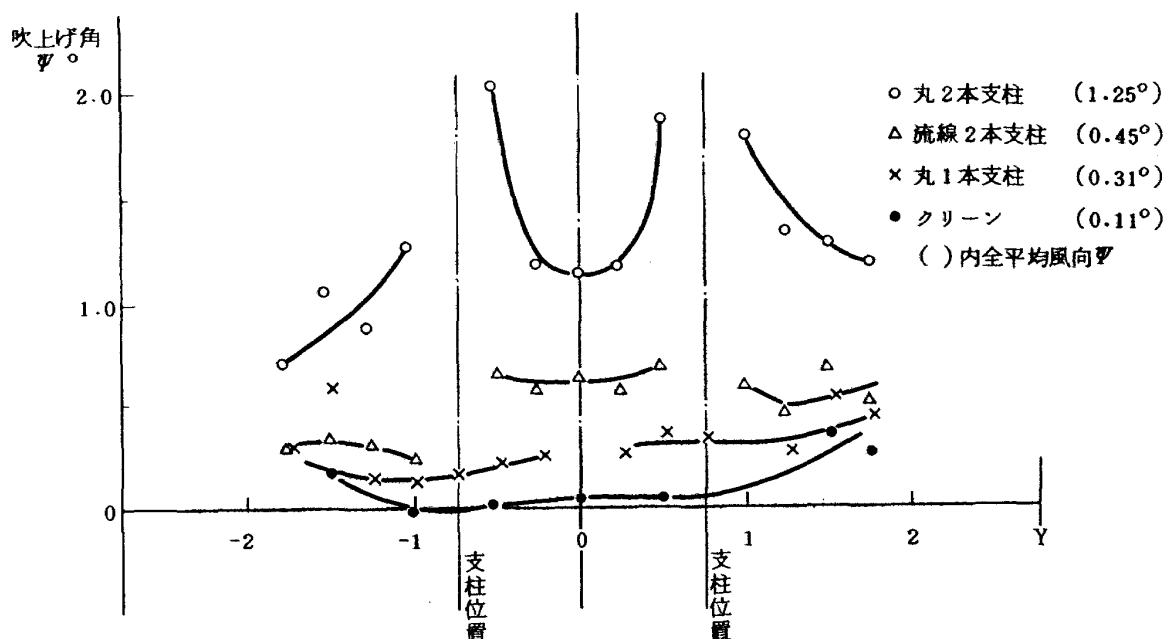


図-21 固定壁測定部の模型取り付け位置附近 ($X=0$, $Z=0$) における風向 (基準風速 60m/s)

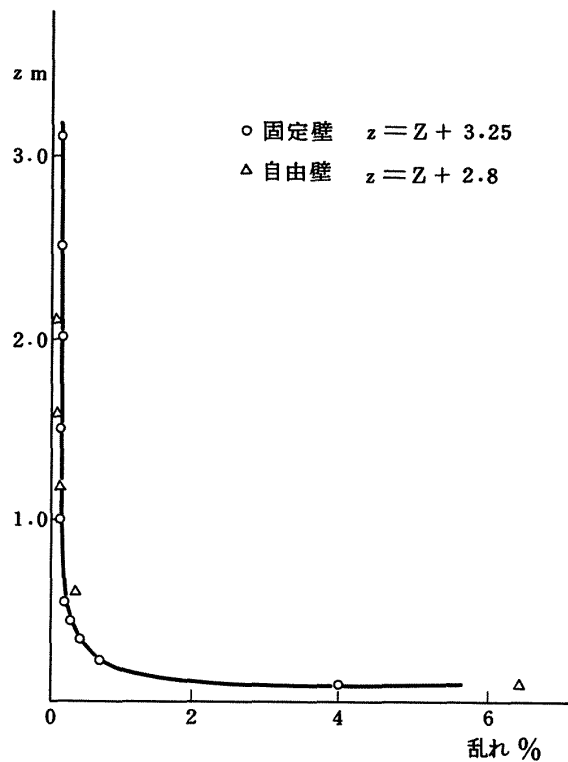


図-22 測定部天秤中心線 ($X=0$, $Y=0$) 上の乱れ (基準風速 60m/s)

し口下端よりの高さを, 固定壁測定部の場合は床面よりの高さを示す。横軸は乱れの強さ ($\sqrt{u^2/U}$) を%で表している。自由壁および固定壁測定部とも気流の境界近くでの乱れは大きな値を示している。

自由壁測定部の場合6%を越える大きな値となっているが, これは恐らく測定部風向の所でも述べたように気流境界附近の流れが, 吹き出しノズル, ノズル下端より下方450mm位置に天秤のターンテーブルが位置しているなど, 攪乱された複雑な流れになるためと思われるを得ないものと考え。固定壁測定部においても床面附近の乱れが強いのは, 集合胴と縮流胴の接合部に渦が発生し, その渦が壁に沿って流れ出す影響によるものと考え。その参考として本風洞の集合胴-縮流胴の二次元模型を使って煙風洞で試験した時の写真を図-23に示す。写真はストロボ照明を正面にセットしたので, 斜め上流から撮影している。そのため, 渦の発生個所が不鮮明であるのでスケッチを添えた。集合胴-縮流胴の接合部に渦が発生し, 周期的に流れ出すのが観察された。

風洞中心点 ($X=0$, $Y=0$, $Z=0$) 附近では自由壁測定部の乱れ強さはわづかではあるが固定壁測定部のそれより小さい値を示している。数値的にはいずれも十分低い値で, 自由壁 0.14 ~ 0.17 %, 固定壁 0.18 ~ 0.19

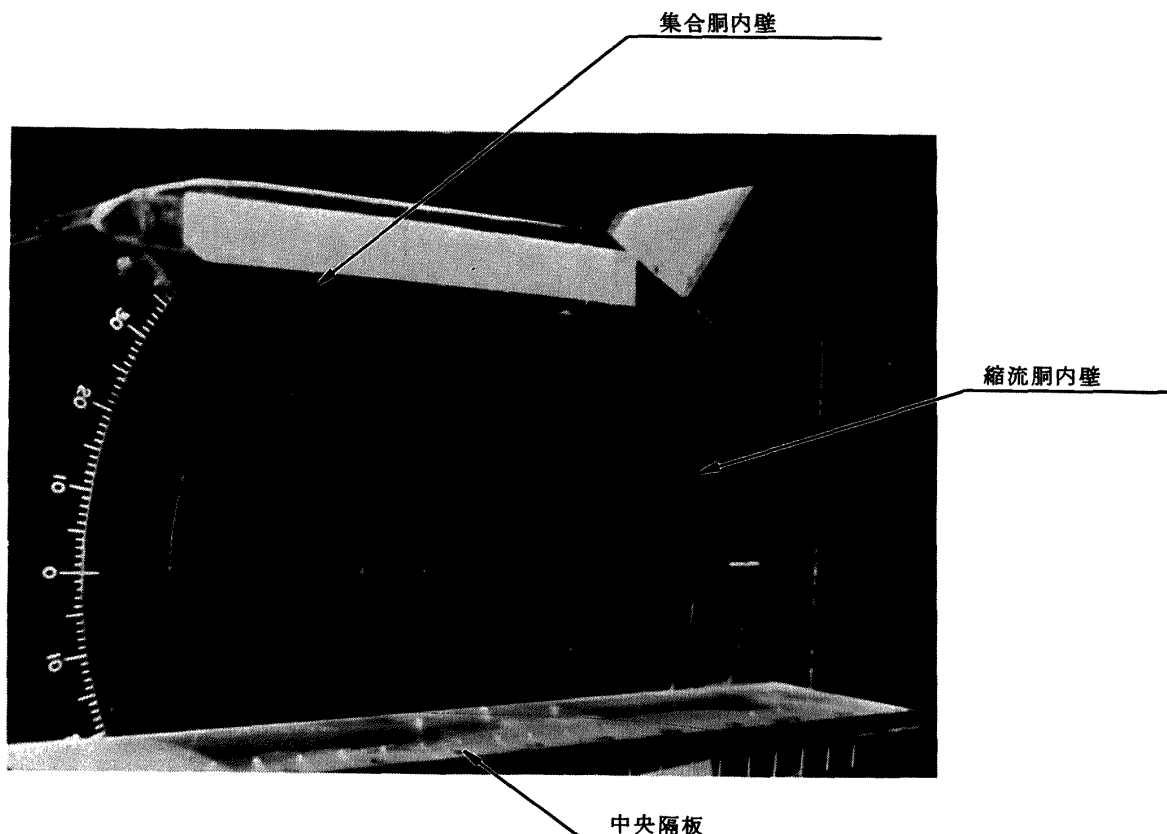


図-23(a) 集合胴・縮流胴の煙風洞試験

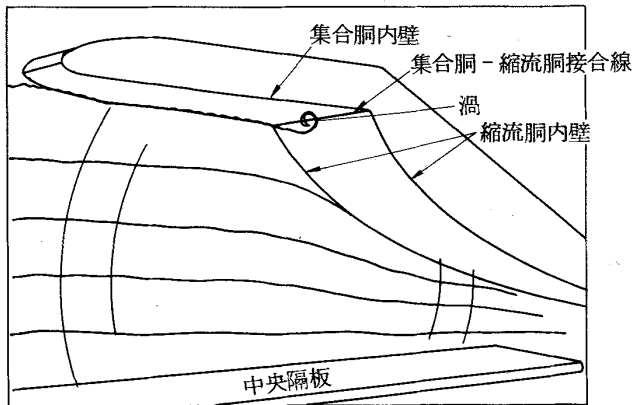


図-23 (b) 煙風洞試験の説明図

%である。この相違は、自由壁の絞り比が大きいのでその効果⁽⁵⁾によるものと思われる。

6. ムービング・ベルト上面の気流

ムービング・ベルト装置完成当初、ベルト上面の境界層や模型取り付け位置附近の風速だけを主として測定した。しかし、風洞試験結果を詳細に検討する上に、ベルト装置の上下移動（模型とベルト面との関係位置の変化）による風洞主流や、ジェット・フラップ付模型試験⁽⁶⁾を行うにあたり尾翼附近の気流についてもその状態を把握しておく必要が生じた。ムービングベルト装置完成時の試験結果⁽⁷⁾と重複する部分もあるが、これら一連の測定結果を一括して報告する。

6.1 ムービング・ベルト装置の上下位置による風速の変化

当風洞において、ムービング・ベルト装置を使用する試験の場合、測定部は自由壁測定部となる。基準風速はビート管を二段絞りノズルの吹き出し口上端部（ $X=-2.6$, $Y=1$, $Z=2.1$ ）に取り付けて検出している。模型とベルト面の関係位置を変えるために、装置を固定した昇降台が上下するので、測定部の気流はその影響を受ける。風洞の最大断面（集合胴）、最小断面（縮流胴二段絞り）の壁圧から求める測定部風速はムービング・ベルト装置を測定部で上下させても15～20m/sの範囲では変動量が大変少ないので、この値を基準に考える。従って測定は、地面高さに相当するベルト面の高さを換え、且つベルトを駆動した場合、あるいは停止させた場合につき、吹き出し口上端のビート管および壁圧から得られる動圧を測定した。その結果を図-24に示す。

ベルト運転時のベルト速度は測定部風速と同じ速度であり、壁圧から得られた速度に合せた。

縦軸はベルト面の位置である。横軸はビート管動圧

q_∞ と集合胴壁圧 P_1 、縮流胴二段絞り壁圧 P_3 、とした時の吹き出し口の動圧 $q_0 = K(P_1 - P_3)$ 、（この場合 $K=1.019$ ）との比の平方根 $\sqrt{q_\infty/q_0}$ である。測定の結果を見ると、ムービング・ベルト装置の阻害効果は大きく、風洞中心線（ $Z=0$ ）からベルト面までの距離1.5mまで基準より大きな値を示している。その上ベルト運転時と停止時における数値も異なっていることからムービング・ベルト装置を使用して試験を行なう場合、その試験の目的等を考えて、基準風速の検定が必要と思われる。

6.2 ムービング・ベルト上の境界層

ムービング・ベルト上の境界層の厚さは、この装置の適否を判断する一つの要因である。装置の完成直後は、上流側の駆動ローラと前部ケーシングとの間隙が大きく、ベルト下方から巻き上げられた気流によって、ベルト上面に剥れた流れが生じていたが、スプリング・シールの採用によって、その剥れた流れは大きく改善された。改良前後の模型取り付け点（ $X=0$, $Y=0$ ベルト面 $Z=-0.3$ ）の速度分布を図-25に示す。図中、吸い込み圧とあるのは、上段の装置断面図の吸い込みスリットにかけた圧力を指す。

縦軸はベルト面からの距離を示し、横軸は各測定点の風速とベルト面よりの高さ150mm（ $Z=-0.15$ ）の風速との比である。改善された結果は同種他設備の測定結果⁽⁸⁾とほぼ等しい値になっている。

6.3 模型取り付け位置附近の流れ

模型は模型支持支柱の関係から概ね風洞中心線上（ $Z=0$ ）に取り付けられる。試験の形態として、第1は模型の車輪が地面についている状態、第2は離陸直後または着陸寸前の状態、第3に地面の影響がなくなった状態を想定する。想定したベルト位置3種類（ $Z=-2.3$, -1.3 , -0.3 ）について、ベルト停止時における風速および風向を測定した。測定には5.5で用いた長さ5mの楕円管支柱ならびに45°対称ヨーメータ、およびビート管を使用した。その結果を図-26である。

縦軸は風洞中心（ $Z=0$ ）を基準とした測定点までの距離で、横軸は測定点の風速と基準風速との比 \bar{U}/U_∞ （実線）および吹き上げ角 $\bar{\psi}$ （破線）である。ここで \bar{U} , $\bar{\psi}$ は翼幅方向3mの間の同じ高さ6点（ U ）または5点（ ψ ）の平均値である。

ベルト面より1.3～1.5m上方に風速の高い部分があり、ベルト面でほぼ基準風速に近かずく。ベルト面より上方1.3mの風速は、基準風速より1～2.5%高く、この値はほぼベルトの高さに比例する。風向は吹き上げ方向で、ベルト面よりほぼ0.5m上方に吹き上げの強い層がある。ゆえに、ベルトが模型に接近した状態で試験を行な

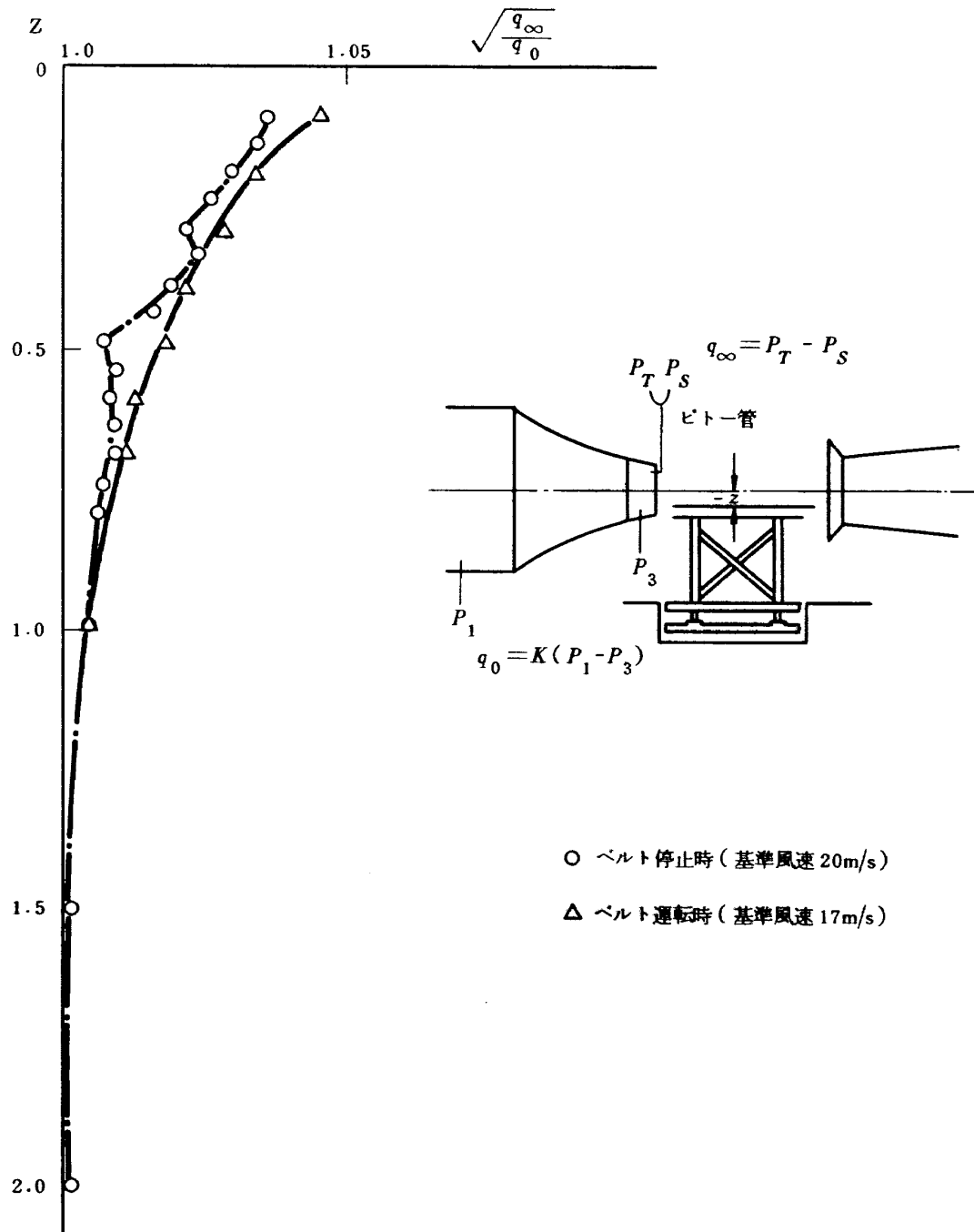


図-24 ムービングベルトの上下位置によるピトー管
($X=-2.6$, $Y=1$, $Z=2.1$) 風速の変
化

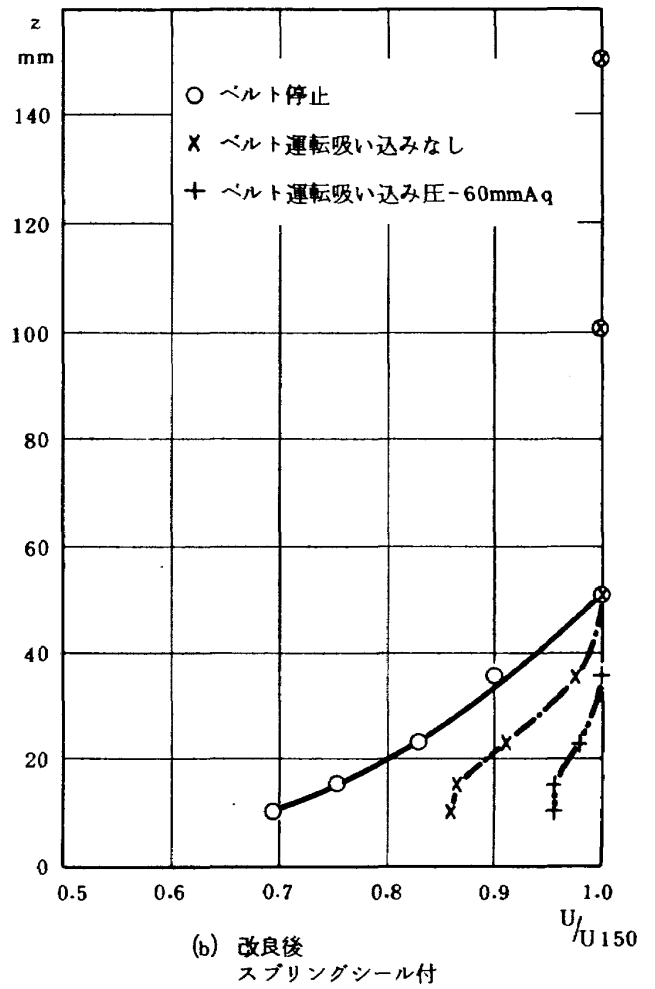
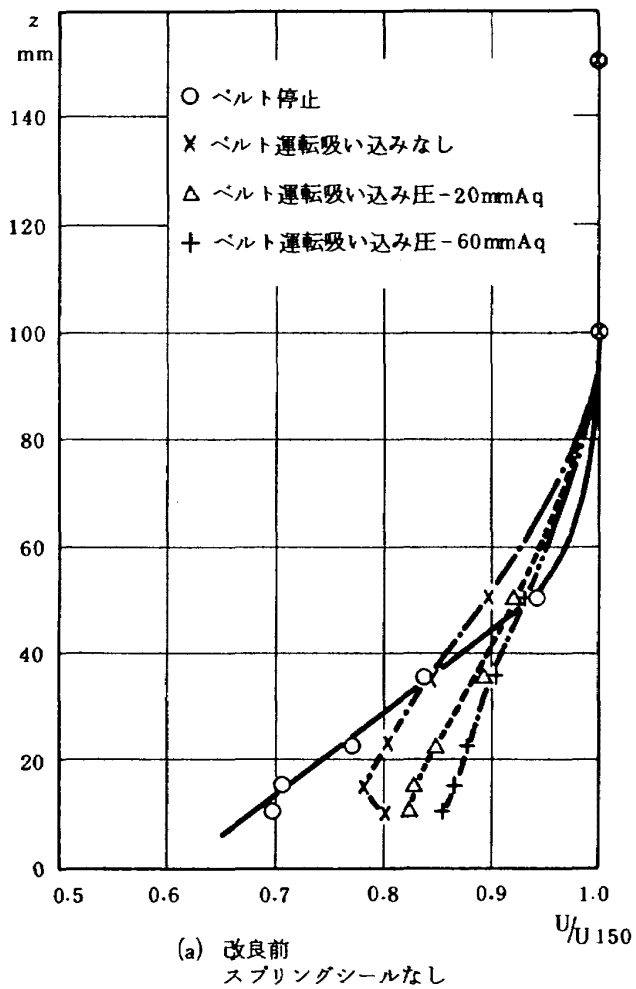
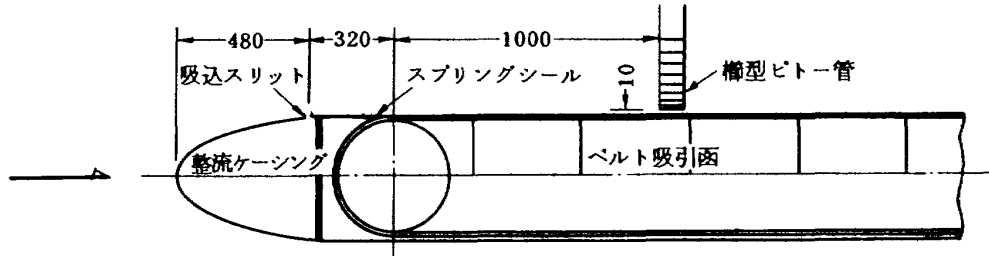


図-25 改良前後のムービング・ベルト上 ($X=0$, $Y=0$,
 $Z=1000 \times (Z+0.3)$) の風速分布 (基準風速 15 m/s)

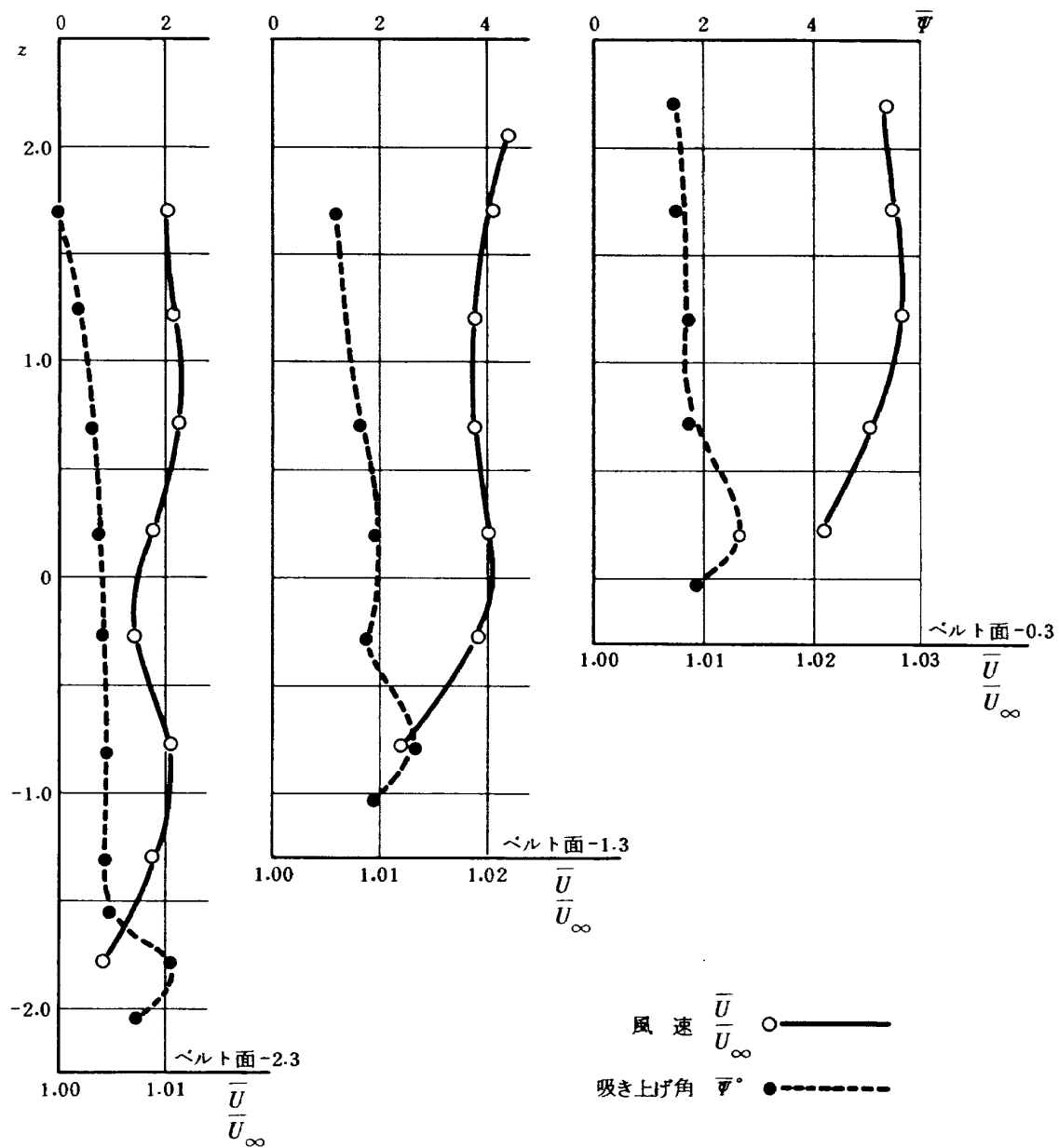


図-26 ムービング・ベルト上 ($X=0, Y=0$) の
風速, 風向分布 (基準風速 $U_\infty = 20 \text{ m/s}$,
ベルト停止時)

った場合には、此の結果を参考に、計測データを補正するか、先に述べた様に模型の試験目的に合った検定を行う必要がある。

6.4 供試模型主翼および尾翼附近の風速および風向分布

ジェット・フラップ付 FA200 改 $\frac{1}{3}$ 全機模型の地面効果試験⁽⁶⁾において、試験結果の解析上、尾翼附近の流れの状態を調べる必要が生じた。それで同模型の主翼位置附近および尾翼位置附近の風速と風向の測定を行った。この測定には7本のピトー管と同数の45°対称ヨーメータを使用した。測定装置とその取り付け状況の概略を図-27に示す。図-27にはヨーメータにピトー管を重ねて描いてあるが、計測の際にはどちらか一方を取り付けて測定した。図-28には、FA200改機の主翼および尾翼附近の気流の測定結果を示す。ベルト面の位置は $Z = -0.68 \sim 1.28$ の間で、基準風速およびベルト速度は17m/sについてである。

縦軸は同模型の主翼・翼弦線($Z = -0.48$)を原点としたベルト面迄の距離で、横軸は測定部基準動圧 q_∞ と測定点の動圧 q との比の平方根(実線)と吹き上げ角 ψ (一点破線)である。最上段の数字は図-27の測定装置を下流から見て、左からピトー管またはヨーメータの番号および位置を示し、一番右はその位置における7

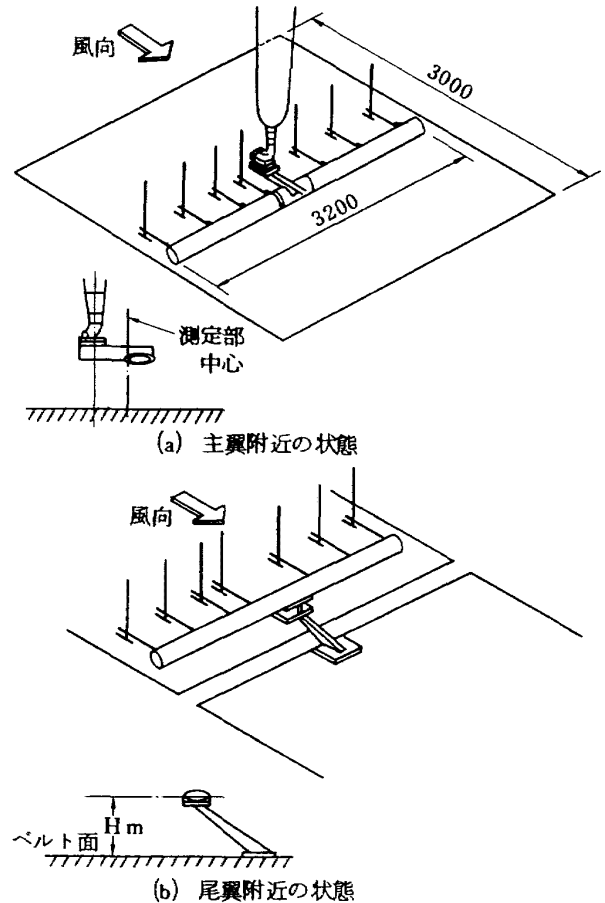


図-27 ムービング・ベルト上の風速・風向分布測定状態

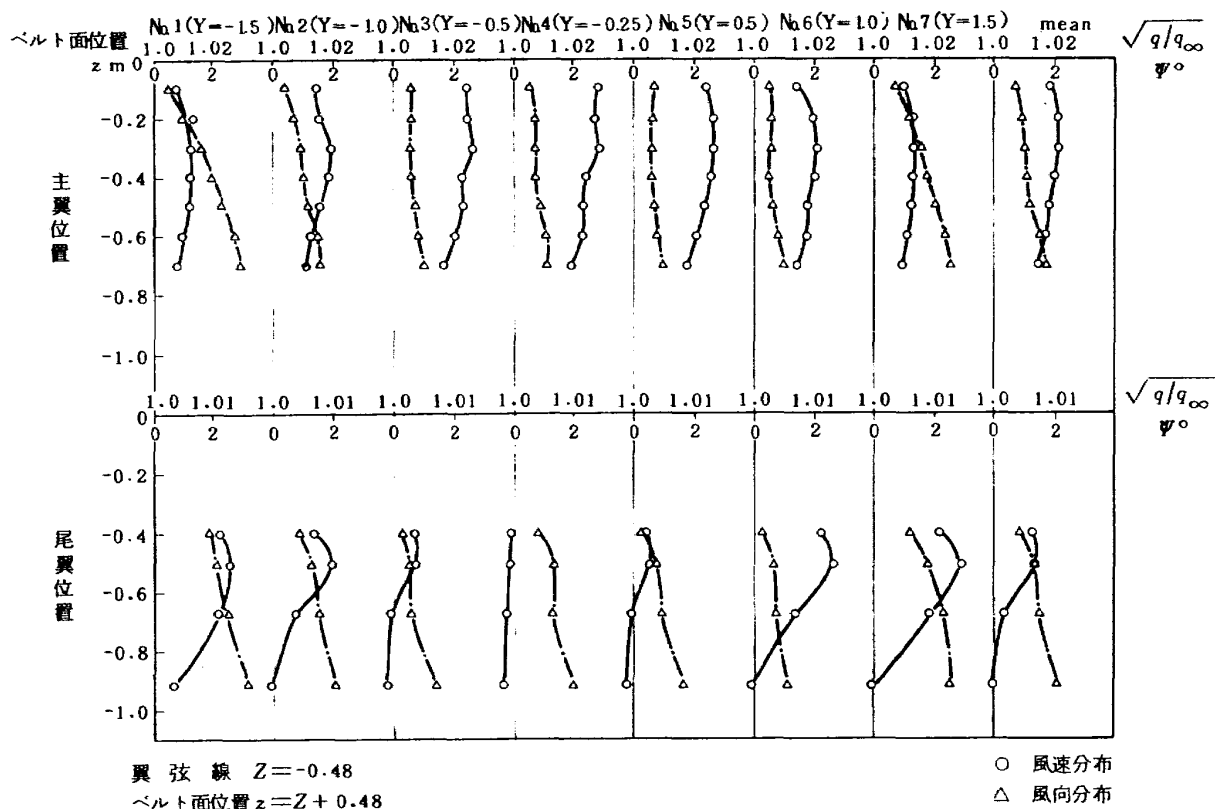


図-28 供試模型・主翼($X = -0.3$)および尾翼($X = 1.15$)附近の流れ(基準風速17m/s, ベルト運転)

点の平均値である。主翼位置 ($X = -0.3$, $Y = -1.5 \sim +1.5$, $Z = -0.48$) の風速は全般に基準風速より高く、翼弦線とベルト面の距離が $200 \sim 400 \text{ mm}$ あたりで最高値を示している。また、左右方向について見ると、中央部が特に高くなっている。風向については左右両端の吹き上げが目立つ。

水平尾翼取り付け位置 ($X = 1.15$, $Y = -1.5 \sim +1.5$, $Z = 0.103$) の風速は、左右方向では中央部が低めで、上下方向では、ベルト面よりの高さが 500 mm あたりに突出部があり、 $1,000 \text{ mm}$ になると基準風速より低めとなる。風向は主翼位置と同様に左右両端の吹き上げが目立つ。

本装置とは別の固定地面板を使用した他の全機模型の地面効果試験を実施したとき、地面板上に気流糸を取り付けて観察したことがある。このときは二段絞り吹き出し口直後から固定地面板両端の上面に剝離が生じ、下流に向うにしたがって、その剝離領域が広がり地面板の中央部まで及んでいた。このときと同じ現象がムービング・ベルト装置のベルト面にも生じていると思われるので、今後それらについても調べて置く必要があるものと考ええる。

7. むすび

大型低速風洞の気流検定試験について述べたが、風洞特性の一資料として参考になれば幸いである。

昨今時代の変遷とともに、航空機への要求も変わり、風洞試験の内容も多様化して来ている。それらの風洞試験の精度向上のために、風洞特性試験を続け、それ等に役立てたいと考えている。さしあたって、第3屈曲部上流部、第4屈曲部上流部、整流格子下流部、整流金網下

流部の風速、風向、静圧、乱れ等を測定することを予定している。

この報告をまとめるに当たり、高橋室長はじめ多くの方々の御指導と御協力を戴きました。また、大型低速風洞の計画から建設を担当された元大型低速風洞、制御研究室長、広岡貫一氏の懇切なる指導を受けたことに対し深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 重見孝, 広岡貫一; 航空宇宙技術研究所大型低速風洞について, 日本航空学会誌 Vol 15 No 167 1967
- 2) M. S. Alan Pope; Wind-Tunnel Testing, J. Wiley & Sons, Inc., 1954.
- 3) R. C. Pankhurst; Wind-Tunnel Technique, London Sir Isaac Pitman & Sons Ltd., 1952.
- 4) 遠藤浩; 風洞気流の加振と制御, 日本航空学会誌 Vol 14 No 150 1966.
- 5) L. Prandtl; Attaining a Steady Air Stream Wind-Tunnel, NACA TM, No. 726, 1926.
- 6) 遠藤浩・高橋宏・他; ジェットフラップをもつ高揚力機の地面効果, 航空宇宙技術研究所資料, TR - 294.
- 7) 広岡貫一・高橋宏; 大型低速風洞のムービング・ベルト装置, 日本航空宇宙学会誌, Vol 19 No 226, 1971.
- 8) John Williams and Sidney F. J. Butler; Further Development in Low-Speed Wind-Tunnel Techniques for VSTOL and High-Lift Model Testing, AIAA Aerodynamic Testing Conference, March 1964.

航空宇宙技術研究所資料334号

昭和52年10月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺町1880
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)〒182
印刷所 株式会社 共 進
東京都杉並区久我山4-1-7(羽田ビル)
