

ISSN 0452-2982
UDC 533.6.07
533.6.08
629.7.014

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-724

ムービングベルト式地面効果試験装置

野 中 修・萱 場 重 男・林 良 生

1998年2月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

1. まえがき	2
2. 地面効果試験用システムの概要	2
2.1 ム - ビングベルト装置の概要	3
2.2 ム - ビングベルト装置本体	3
2.3 ベルト走行制御装置	8
2.4 張力制御装置	14
2.5 蛇行制御装置	14
2.6 境界層制御装置	16
3. ム - ビングベルト装置の機能及び性能	16
3.1 ベルト走行特性	16
3.2 ベルト振動特性	17
3.3 ベルト蛇行特性	19
3.4 騒音特性	19
4. 気流特性試験	19
4.1 測定装置	19
4.2 デ - タ処理	20
5. パラメ - タの設定	20
5.1 パラメ - タの設定方法	20
5.2 パラメ - タの最適値	21
6. ム - ビングベルト上の気流特性	23
6.1 静圧勾配	23
6.2 速度分布	25
6.3 乱れ分布	26
6.4 地面板有効範囲	27
7. あとがき	29
参考文献	30

ム - ビングベルト式地面効果試験装置

野中 修** 萱場 重男** 林 良生**

Moving belt ground effect testing System of NAL 6.5 × 5.5m Low Speed Wind Tunnel

Osamu NONAKA**, Shigeo KAYABA**, Yoshio HAYASHI**

ABSTRACT

A moving belt type ground effect measurement system was constructed to evaluate ground effect characteristics of aircraft models at the NAL low speed wind tunnel facility in March 1995.

This paper summarizes the hardware and function of this equipment. Some function tests and flow characteristic tests were carried out, with this equipment installed in the test section.

Some effects of the following parameters to drive this system on the flow above the belt plane are indicated:

- 1) Belt running speed,
- 2) Boundary layer suction, and
- 3) Rear flap of ground plane.

These parameters were adjusted to the optimum values experimentally.

Some experimental results on the following items are indicated:

- 1) Static pressure distribution along the wind tunnel axis on the moving plane,
- 2) Turbulent distribution on the moving plane, and
- 3) Boundary layer velocity profile on the moving plane.

Keywords: moving belt, wind tunnel test, ground effect test, flow characteristics

概 要

航空機模型の離着陸時の地面効果を評価するために、ム - ビングベルト式の地面効果試験装置が1995年3月に大型低速風洞に完成した。

ここでは、本装置の構成と特性について述べる。

記 号

p_s	: 標準ピト - 管で測定される静圧 (Pa)	p_i	: くし型ピト - 管で測定される総圧 [i 番目の位置の値] (Pa)
p_{sk}	: くし型ピト - 管で測定される静圧 (Pa)	q_∞	: 標準ピト - 管で測定される動圧 (Pa)
		Q_N	: 境界層吸込ファン回転数 (rpm)
		U	: 境界層内側風軸 (X) 方向の速度成分 [<

* 平成9年7月17日受付 (received 17 July 1997)

** 空力性能部

	し型ピト - 管による測定値] (m/s)
U_{∞}	: 一様流速度 (m/s)
U/U_{∞}	: 一様流速度 (U_{∞}) に対する境界層内側風軸 (X) 方向の速度成分 (U) の比 [平均流速分布]
u'	: 境界層内側風軸 (X) 方向の速度変動成分の実効値 ($\sqrt{\bar{u'^2}}$) [熱線風速計による測定値]
V_B	: ベルト走行速度 (m/s)
V_{∞}	: 基準風速 (m/s)
X	: 前後軸, 気流に沿って正 [前方地面板先端を原点とする (mm)]
Y	: 左右軸、下流に向かって左を正 [地面板幅の中央を原点とする (mm)]
Z	: 上下軸, 上方を正 [地面板及びベルトの上面を原点とする (mm)]
ΔP_s	: [$p_{sk} - p_s$] (Pa)
$\partial \Delta P_s / \partial X$: X 方向の静圧勾配を表す
l	: 平板の排除厚理論式における平板先端からの X 方向の距離 (mm)
δ	: 平板理論式から求めた排除厚 (mm)
δ^*	: 排除厚 (実験値 mm) [$= \int_0^{\infty} (1 - U/U_{\infty}) dz$]
δ_f	: 後方フラップの傾き角 (deg.)
ν	: 動粘性係数
θ	: 蛇行制御口 - ラ軸の傾き角 (deg.)

(添 字)

i	: 代表数字を意味する
s	: 最適値を意味する
B	: ベルトを意味する
K	: くし型ピト - 管の総・静圧管 (図 20(a)) による測定値を意味する

1. まえがき

当所大型低速風洞において、航空機の全機模型の離着陸時の地面効果を評価するためのム - ビングベルト式地面効果試験装置を整備するために、大型低速風洞の 1/10 の大きさを持つ低乱風洞に小型スチ - ル製ム - ビングベルト装置模型を試作し、大型低速風洞に適用する場合の技術的な課題を解決するための研究が行われてきた。この小型スチ - ル製ム - ビングベルト装置模型の試作研究と評価試験の結果を踏まえて、1995 年 3 月に大型低速風洞にム - ビングベルト式地面効果試験装置 (以下、ム - ビングベルト装置という) が整備された。従来、大型低速風洞にはゴムベルト式ム - ビングベルト装置があったが、この装置では、気流状態の悪い開放型測定部でベルト走行速度が低い条件でしか使用できなかった。当時 (30 年

前) の技術からすればやむを得ないことであったが、それでも風洞一様流風速を下げて F A-200 模型の地面効果試験に使用された¹⁾。ベルトの蛇行調整は運転者が蛇行を目視で確認して、蛇行制御用レバ - を操作するという手動式のもので、試験中にベルトにしわが入って使用不能となったこと、また、装置が老朽化したことにより装置の更新がはかられたものである。新しい装置では、ベルトは高性能コンベアベルトを用い、蛇行制御を自動的に行い、気流条件の良い固定壁測定部で使用することのできる操作性に優れ、かつ高速走行が可能な最新式のものに更新された。

本報告は、ム - ビングベルト装置のハ - ドウエアの概要、装置の機能及びム - ビングベルト上の境界層の発達、測定部の静圧勾配等の気流特性試験の結果について報告する。

2. 地面効果試験用システムの概要

大型低速風洞のム - ビングベルト装置を使用して行う地面効果試験は、スティング式模型支持装置付きのスティングカ - トの床部分に、ム - ビングベルト装置をセットして行われる。ここでは主に大型低速風洞の地面効果試験に使用される地面効果試験用システムならびに本システムを構成する装置の 1 つであるム - ビングベルト装置についてその概要を述べる。

図 1 は、スティング支持装置付きのスティングカ - ト測定部にム - ビングベルト装置をセットした状態を示す。スティングカ - トの下流側にはスティング支持装置が取り付けられ、2 階制御室のスティング支持装置制御盤により模型の位置、姿勢が設定される。ム - ビングベルト装置はベルト軸間中央位置がスティングカ - トの上流端より 4990 mm の位置にセットされる。スティングカ - ト下流側にはスティング支持装置があり、これは電動サ - ボ式のものでブロッケ - ジが約 6 % と大きいので、模型の回りの流れ場を乱すおそれがあり、その影響をさけるため模型をできるだけ上流側で支え、それに対応してム - ビングベルト装置をできるだけ上流側に配置できれば良かったが、スティングカ - ト主構造部材の配置の関係から、測定部床面のム - ビングベルト装置装着用開口部分をこれ以上に上流側にとることができなかった。そのため、模型はベルト部の中央より上流側の配置となった。移動用台車上に設置されているム - ビングベルト装置本体を測定部下部から取り外して風洞外に移動し、測定部下部の開口部を盲用の床板で閉めることによって、本スティングカ - トはスティング支持の固定壁測定部としても使用できる。

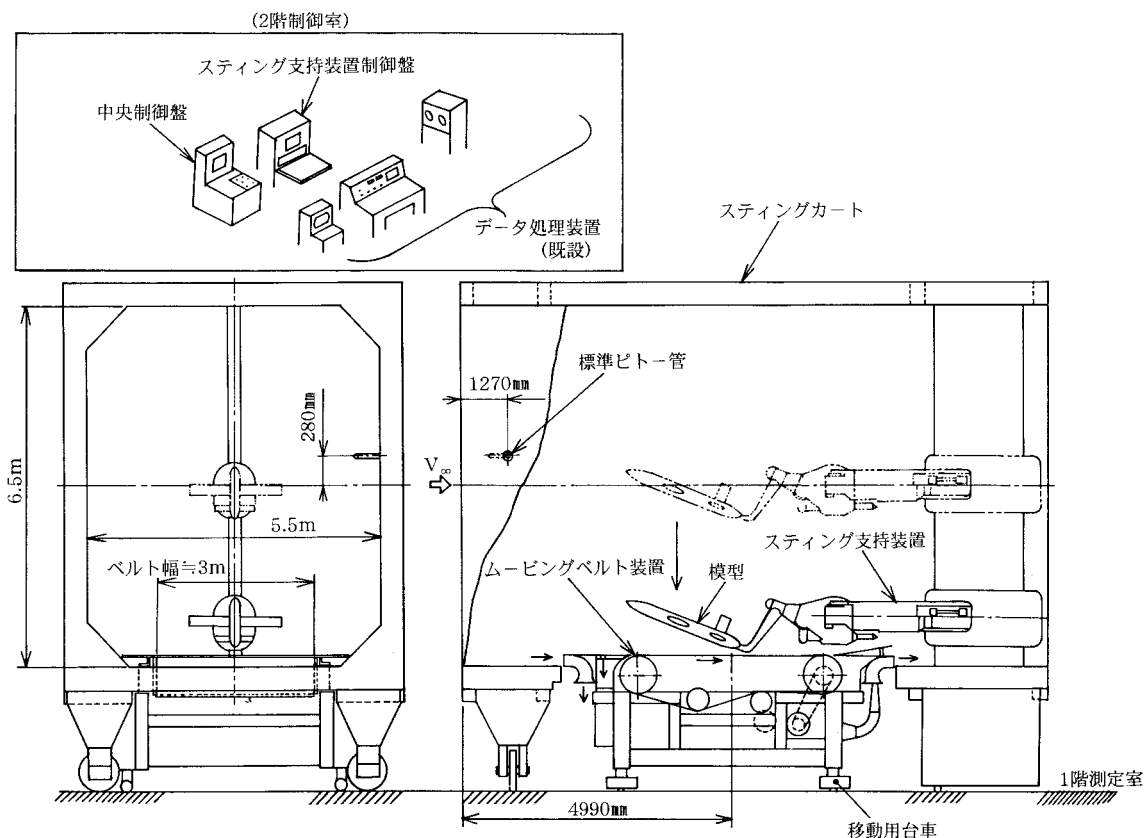


図1 地面効果試験用システムの概要

2.1 ム - ビングベルト装置の概要

本ム - ビングベルト装置は、ム - ビングベルト装置本体、ベルト走行制御装置、張力制御装置、蛇行制御装置、境界層制御装置等により構成されている。ベルトは合成樹脂を含む高性能のコンベアベルトで、輸入品であり、ベルト端の結合には特殊な機械を必要とする。ム - ビングベルト装置は、大型の高速回転装置であるため、安全性を重視した設計となっている。例えば、通常2階制御室の遠隔から行う運転操作は、機側制御盤と中央制御盤で行う操作位置選択が双方合致した時に、2階制御室中央制御盤からの運転操作が可能になるような制御回路が形成されるようになっている。また、回転部分及び吸い込み部分の周りには異物の侵入防止と安全保持のために防制御網等が設置されている。

2.2 ム - ビングベルト装置本体

ム - ビングベルト装置本体の構成概要を図2に、外観を図3に示す。以下に図2をもとに装置本体の構成及び機構について述べる。

2.2.1 ベルト

図2の で示したベルトは、表面材はポリウレタン、芯材はポリエステル繊維を使用した2層構造の1枚の織物の両端を、特殊なアイロンにより熱を加えながら圧着する方法によって接合した高性能コンベアベルトである。

ベルトの寸法は、厚さが2.5mm、幅は2920mm、全長(ベルト軸間)は3500mmである。ベルトの幅は、大型低速風洞で用いる風試模型の翼幅の最大寸法が3m程度であることを考慮し、3500mmにすることを目標としたが、ム - ビングベルト装置をスティンクカート下部床面開口部にセットする際のスティンクカート下部床面開口部幅の寸法が3.5mであることと、開口部幅3.5mの寸法に対して、許容されるベルトローラの最大幅が構造上3020mmに制約されることにより当初の目標に比べて狭くなった。

2.2.2 ベルト駆動モータ

ベルト駆動モータ()は、本装置の後方にある駆動ローラを駆動させるためのもので、本装置下部後方の台座に取り付けられている。ベルト駆動モータには、大型で重い駆動ローラを滑らかにスタートできると共に、低速から高速までの回転数制御が容易なインバータ制御方式の電源が採用されている。モータの出力は45Kwで、駆動用電源は三相200Vである。

2.2.3 駆動ローラ

駆動ローラ()は、ベルトを駆動させるためのもので、本装置後方上部の軸受部に取り付けられている。ローラは鋼鉄製で、形状はローラの中央部分の直径が、ローラ両端部の径より5mm大きい紡錘型の外形形状をなし、内部は中空となっている。これは、ベルト走行時の蛇行を少なくするものである。ローラの中央部分の最大直径は

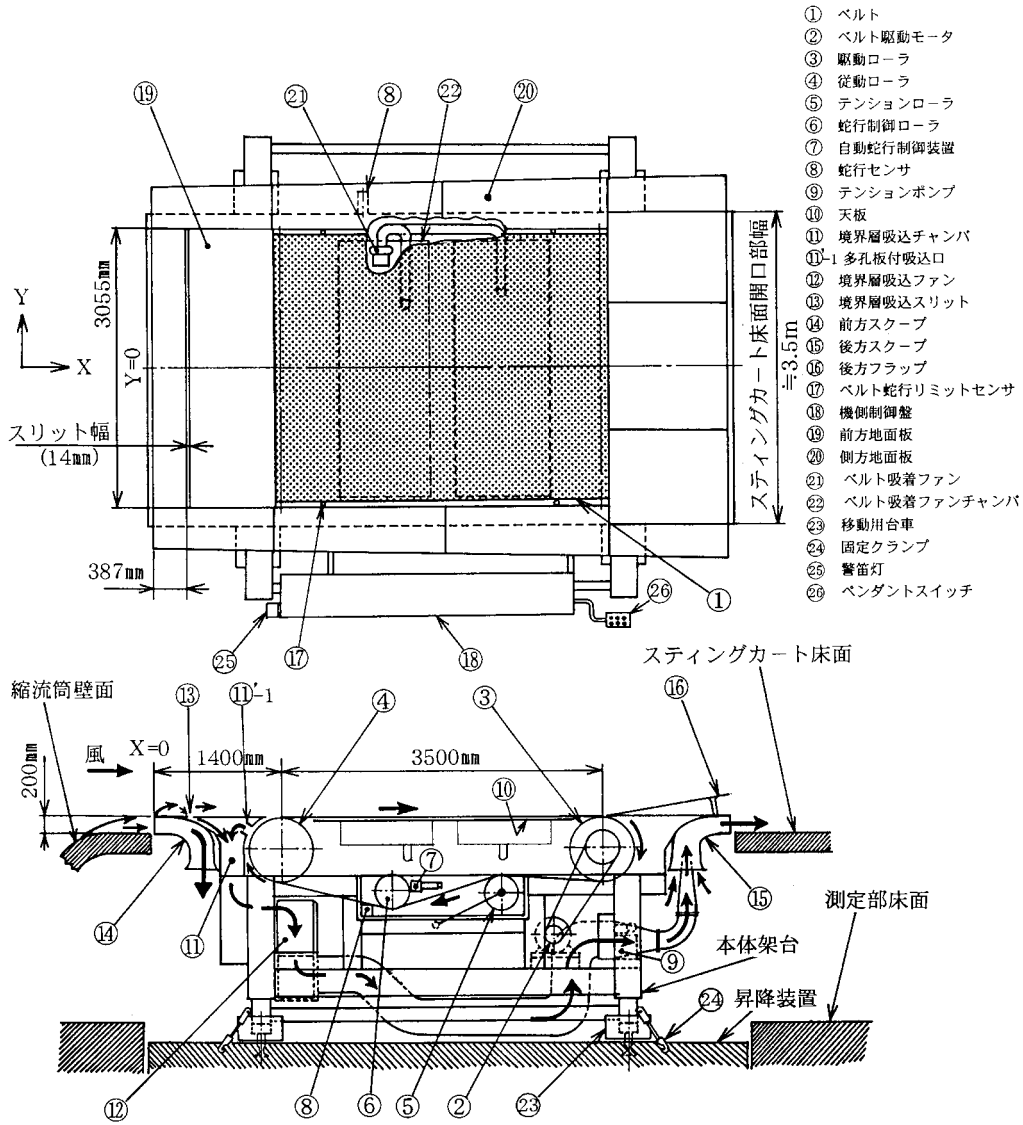


図2 ムービングベルト装置本体の概要



図3 ムービングベルト装置の外観

700 mm, 長さは 3020 mm である。

2.2.4 従動ロ-ラ

従動ロ-ラ()は、駆動ロ-ラにより走行するベルトで滑走路面を模擬する地面板を形成させるためのロ-ラ

であり、本装置架台前方の上部軸受部に取り付けられている。ロ-ラの大きさ及び形状は、駆動ロ-ラと同一である。

2.2.5 テンションロ-ラ

テンションロ-ラ()は、ベルトに一定のテンションを与えるためのものである。ベルトテンションは、図4に示すテンションロ-ラ駆動機構のテンションポンプ[図4(a)]で一定圧に制御された油圧で、油圧シリンダ[図4(b)]を動かして、テンションア-ム(図4(b))を介して、力をロ-ラシャフトに伝達し、ベルトのテンションを一定に保持することができる。テンションロ-ラは、同一の材質及び形状のロ-ラ2本(ロ-ラシャフト部含む)を軸方向に並べて配列し、これを鋼鉄製の連結棒及びテンションア-ム等で一体化した支持部で支持されている。ロ-ラは共に鋼鉄製で、直径は400 mm, 長さが1480 mmの直線外形形状の中空円筒となっている。



図4(a) テンションポンプ

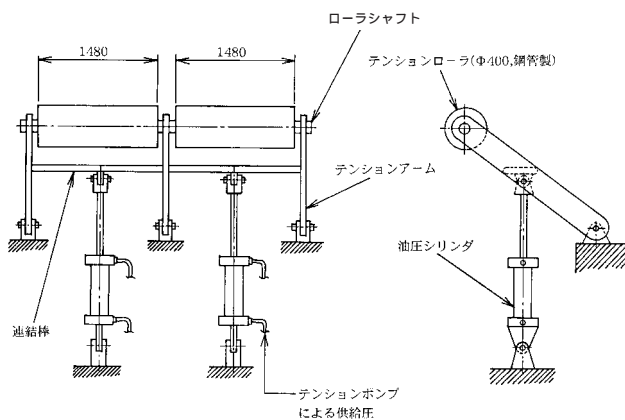


図4(b) テンションローラ駆動部

図4 テンションローラ駆動機構

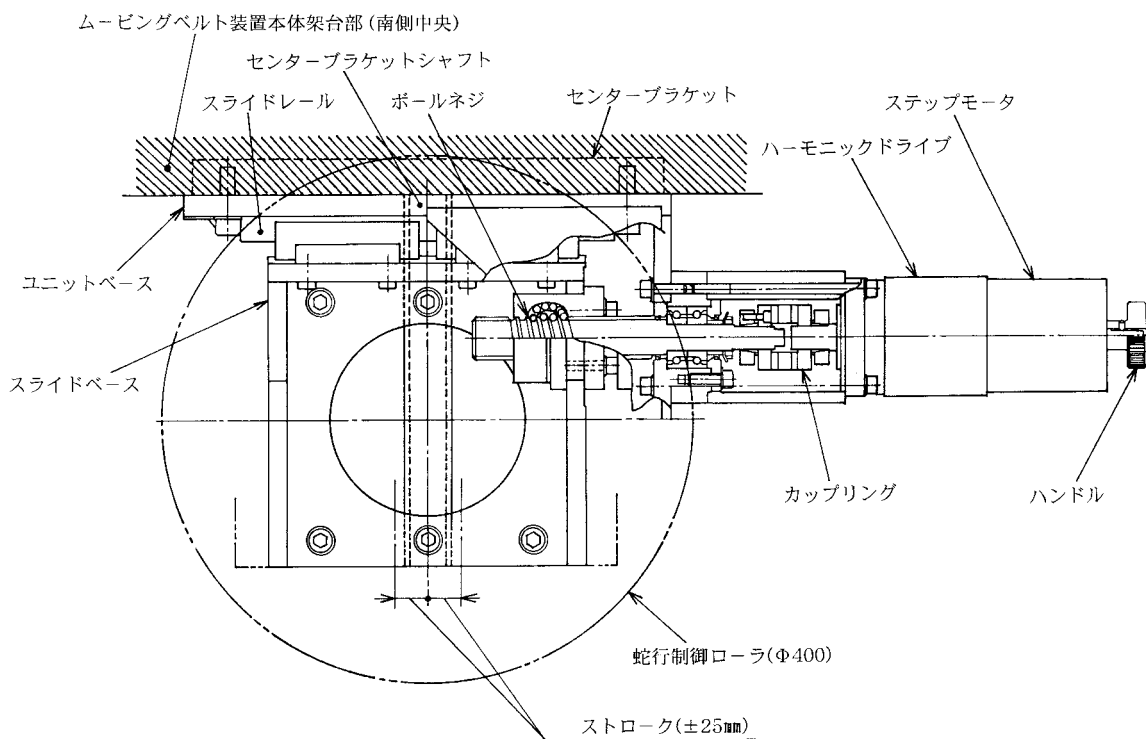


図5 自動蛇行制御装置装置 (駆動部)

2.2.6 蛇行制御口 - ラ

蛇行制御口 - ラ()は、ベルトが幅(左右)方向に片寄った場合に、ベルトを移動した方向と反対方向にもどし、ベルトの蛇行を少なくするための口 - ラである。本口 - ラは、同一の材質及び形状の口 - ラを、口 - ラ軸方向(横)に2本並べて一体化したものを、装置架台中央上部に蛇行制御装置と共にスライドレ - ルに吊り下げた形で取り付けられている。2本の口 - ラは共に鋼鉄製で、直径が400mm、長さが1480mmの直線外形形状の中空円筒である。

2.2.7 自動蛇行制御装置

自動蛇行制御装置()は、ベルトの蛇行を少なくするためのものである。蛇行制御は蛇行センサが感知するベルトの蛇行量をフィ - ドバック信号として、蛇行量に応じて蛇行制御口 - ラを移動させるための装置である。図5に示すように、架台中央上部にスライドレ - ルと共に取り付けられている。自動蛇行制御装置の構造及び機能の詳細は2.5.1項に後述する。

2.2.8 蛇行センサ

図2に示す蛇行センサ()は、ベルトの蛇行量を検出するためのレ - ザ - 変位計で、図6に示すようにレ -

ザ - 投光器とレ - ザ - 受光器が1セットとなって架台上部の蛇行制御口 - ラの前方に取り付けられている。投光器より投光された約 30 mm 幅のレ - ザ - 光が、受光器に到達する途中で、ベルトの蛇行によって遮断され、蛇行幅によって電圧が変化する原理によって蛇行量 (mm) が計測される。蛇行量は電圧値にして、1 V ~ 5 V の範囲で変化する。

2.2.9 テンションポンプ

テンションポンプ () は、テンション口 - ラを駆動させる際の、油圧シリンダを駆動させるための油圧ポンプであり、装置後方下部の台座に取り付けられている。作動油圧は常用 1.96 Mpa であり、モ - タの出力は 0.75 Kw で、駆動用電源は三相 200 V である。

2.2.10 天板

図 2 に示した天板 () は、ベルト走行時の上下振動を抑えベルトを平面に保つと共に、実験準備作業時の作業用床としても使用され、架台上部にボルトにより固定されている。天板は走行するベルト部との接触摩擦力をできるだけ小さくするために、一枚当たりの寸法が幅 1480 mm × 長さ 3044 mm、厚さ 29 mm のカ - ボンファイバ - 製の板を本装置のセンタ - ライン上より左右 (Y 方

向) に 2 枚並べて配置されており、全幅は 2963 mm となっている。また、天板にはベルト吸着ファンチャンバを介してベルトを吸着するための小さい孔が多数あけられている。

2.2.11 境界層吸込チャンバ

図 2 に示す境界層吸込チャンバ () は、図 7 に示す前方地面板のスリット及び従動口 - ラに近接する多孔板付吸



図 7 境界層吸込口チャンバと他孔板吸込口の外觀

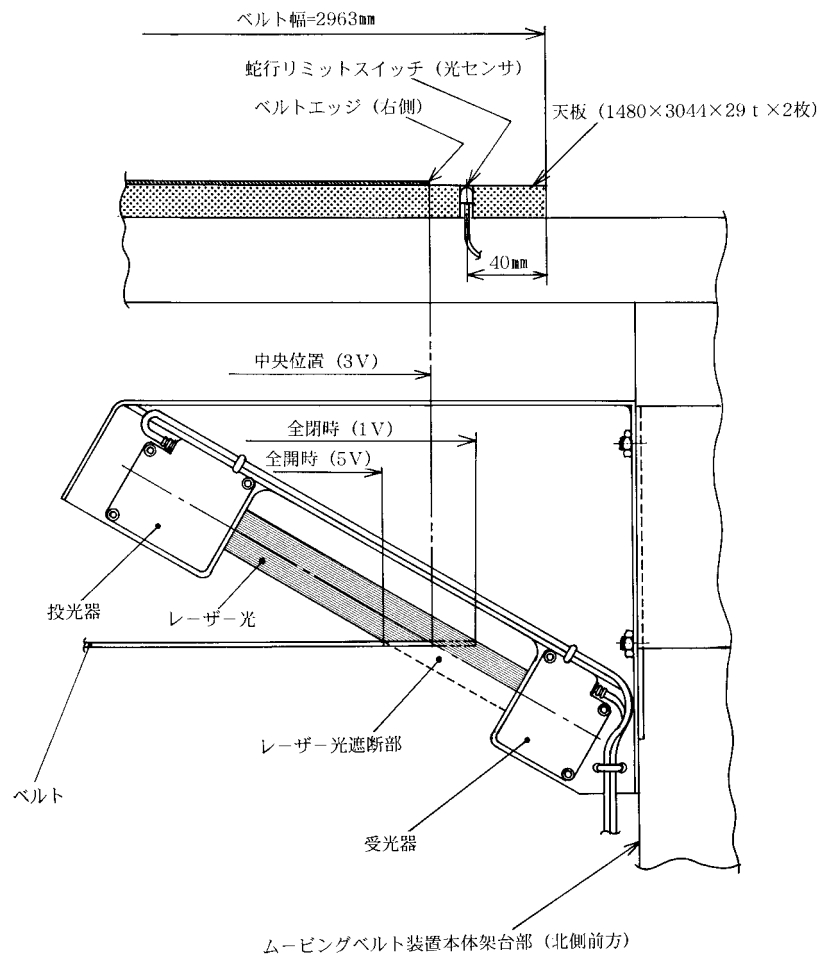


図 6 蛇行センサ

込口()から吸い込まれた空気を吸い込むチャンバ部分と、蓋の機能を兼ねた前方地面板で構成される。このうち従動口 - ラに近接する多孔板付吸込口の吸い込みは、従動口 - ラ近傍のベルト表面の空気が風洞内に引き込まれるのを防止するためのものである。尚、スリットの機能の詳細は2.2.13項に記述する。境界層吸込チャンバは鋼鉄製で、本装置前方の前方スク - プと従動口 - ラの間に取り付けられている。

2.2.12 境界層吸込ファン

境界層吸込ファン()は、吸込チャンバ内の圧力を負圧に保つためのもので、境界層吸込ファン(プロア)および駆動モ - タと共に、前方下部架台に取り付けられている。境界層吸込ファン駆動モ - タは、ベルト駆動モ - タと同様にインバ - タ制御方式の電源を採用しており、プロアの回転数を制御することにより、境界層吸込に必要な吸込量(抽気量)を変えることができる。モ - タの出力は22 Kw,駆動用電源は三相200 Vである。

2.2.13 境界層吸込スリット

境界層吸込スリット()は、前方スク - プ先端から発達した境界層を除去するためのもので、スリットは前方スク - プ及び境界層吸込チャンバの上に取り付けた2枚の前方地面板によって形成されている。スリットの位置(X)は、前方スク - プ上流端より下流側へ387 mm,スリットの幅は約14 mm,長さは3055 mmである。

2.2.14 前方スク - プ

前方スク - プ()は、風洞床面に発達した境界層を風洞外へ排出するためのもので、本装置の前方に取り付けられている。前方スク - プは鋼板製で、吸込口断面の大きさは横幅が3490 mm,高さは200 mmである。尚、前方スク - プの高さを決定するにあたっては、本装置のベルト中央位置($X = 3150$, $Y = 0$)が文献²⁾に示す固定壁測定部中心($X = 0$, $Y = 0$)に相当しており、この位置の境界層厚さが140 mm程度であることから、前方スク - プ先端位置での境界層厚さはこれより薄いと予想できるが、前方スク - プ入口から取り込んだ空気を垂直に方向転換して排気するためのスク - プの曲がり形状部分で、空気の流れが淀むことのないように、吸込口高さに余裕をもたせて200 mmとした。

2.2.15 後方スク - プ

後方スク - プ()は、前方地面板境界層吸込スリット及び従動口 - ラに近接する多孔板付吸込口から吸い込まれた空気と、前方スク - プから一旦風洞外に流れ出た空気を再び風洞内に取り込むためのものである。装置最後方部にあり、前方スク - プと同様にスク - プ上部の先端が風洞床面より200 mmの高さになるように設置されている。後方スク - プは鋼板製で、開口部断面の大きさは、横幅3490 mm,高さは200 mmである。



図8 後方フラップ変角用手動ハンドル

2.2.16 後方フラップ

後方フラップ()は、スティング支持装置、模型、ベルト面の境界層の発達によって生じる地面上のX軸方向の静圧勾配を調整するためのものである。図8に示す手動ハンドルによって後方フラップの傾きは、 $0 \sim 10(\text{deg.})$ の範囲で任意に設定することができる。

2.2.17 ベルト蛇行リミットセンサ

ベルト蛇行リミットセンサ()は、図6の上方に示すように、ベルト蛇行が制御範囲を越えたことを検出するものである。これが作動するとベルトの走行は停止する。センサとしては光センサが使用されている。蛇行リミットセンサは、前方スク - プ先端の幅の中心位置をX及びY座標の原点とすると、 $X = 1757 \text{ mm}$, $Y = \pm 1485 \text{ mm}$ の座標位置に各1個ずつと、 $X = 4645 \text{ mm}$, $Y = \pm 1485 \text{ mm}$ の座標位置に各1個ずつ合計4個が天板に埋め込まれて取り付けられている。

2.2.18 機側制御盤

機側制御盤()は、機側(現場)で本装置を単体で運転する際の操作盤の機能及び本装置の移動作業時の操作盤の機能を持っている。さらに、本装置を2階制御室より遠隔で操作する場合の、選択操作(現場/遠隔)及び2階制御室から運転を行う前に実施する機側制御盤側での運

転準備操作を行うための制御盤であって、本装置の下流側から見て左側架台部に取り付けられている。尚、機側制御盤の詳細は2.3.3項に述べる。

2.2.19 前方地面板

図2に示す前方地面板()は、前方スク - プ先端とベルトの間を繋ぐ平板の機能、前方スク - プ先端から発達する境界層を除去するための吸込スリットを形成する機能及び境界層吸込チャンバの上蓋としての機能を合わせ持ったものである。前方地面板は幅の異なる2枚のアルミニウム製の平板を、スリットを形成させるため14 mmの間隔を開けて境界層吸込チャンバの上にネジにより固定されている。2枚の平板で構成される前方地面板のうち、前方スク - プ取付用地面板の寸法は、幅が387 mmで長さが3055 mmであり、境界層吸込チャンバ取付用地面板の寸法は、幅が940 mmで長さが3055 mmである。2枚の平板の幅が異なる理由は、吸込スリット位置が、境界層吸込チャンバの構造配置により制約されたことによる。

2.2.20 側方地面板

側方地面板()は、本装置を風洞測定力 - ト内にセットした場合に、本装置と風洞測定部の側壁の間を塞ぎ、風洞測定部幅全体にわたる地面を形成するための板で、片側4枚で構成されるアルミニウム製の板である。側方地面板の取付は、本装置全体を測定力 - ト内にセットした後、本装置両側の架台部分にネジ及びボルトにより固定する。

2.2.21 ベルト吸着ファン

ベルト吸着ファン()は、ベルト吸着ファンチャンバ内を一定の低圧に維持するためのファンである。図2に示すように、本装置の下流から見て右側の下部架台部に取り付けられている。駆動モ - タの出力は、0.2 Kw、駆動用電源は三相200 Vである。

2.2.22 ベルト吸着ファンチャンバ

ベルト吸着ファンチャンバ()は、ベルト吸着ファンによってベルトと地面板天板の間の空気を吸い取り、ベルトを吸着させるためのチャンバで、2個のチャンバが、天板と共に本装置中央の上部架台部前後にそれぞれ取り付けられている。チャンバは鋼板製で、寸法は幅が約1000 mm、長さが2850 mm、深さが270 mmである。

2.2.23 移動用台車

移動用台車()は、図9に示すように、本装置を測定室内に敷設されているレ - ル上を走行させるための車輪付きユニット型移動用台車であり、本装置架台底面四隅にそれぞれ1台ずつ合計4台の車輪がボルトにより取り付けられている。このうち、本装置前方左側の台車と後方右側の台車には、減速機付の駆動用モ - タが直結している。駆動用モ - タの出力は、0.2 Kw、駆動用電源は三相

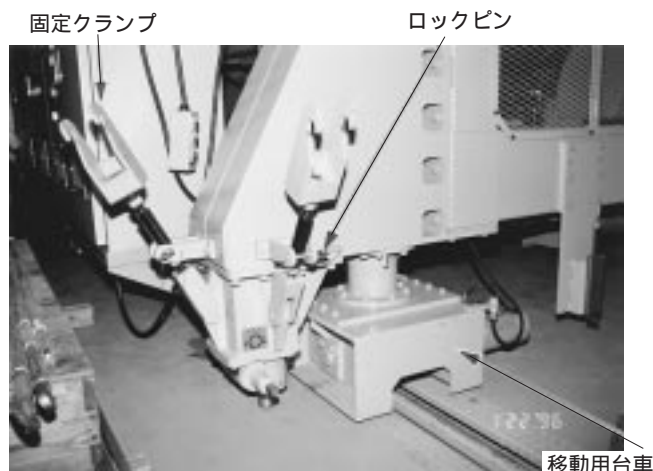


図9 移動用台車および固定クランプ

200 Vである。移動速度は1.5 m/分である。

2.2.24 固定クランプ

図2に示す固定クランプ()は、本装置を測定力 - ト内にセットした後、固定するためのクランプである。本装置架台下部の四隅に縦方向用および横方向用それぞれ1個ずつ合計8個の固定用クランプが取り付けられている。固定クランプは鉄製で、図9に示すように本装置架台下部に、ピン・ヒンジを回転中心にして上下に回転できるようになっている。本装置を固定する場合は、固定クランプを支えているロックピンを外して、固定クランプを下げ、レ - ル側の所定の固定治具にクランプ部を引っかけたあと、締付けネジで本装置を固定する。

2.2.25 警笛灯

警笛灯()は、本装置が移動中に警笛を鳴らしながら赤色ランプを点滅させることによって、周囲に移動中の危険を知らせるもので、本装置の下流側から見て左側にある機側制御盤上部に取り付けられている。警笛灯は、移動中に警笛灯内部の反射用ミラ - が回転しながら点滅及び警笛を発するようになっている。

2.2.26 ペンダントスイッチ

ペンダントスイッチ()は、測定室に敷設されたレ - ル上の移動台車を東西南北方向に移動させるための操作スイッチボックスであり、本装置の機側制御盤よりキャプタイヤケ - ブル(長さ5.5 m)及びコネクタで接続されている。

2.3 ベルト走行制御装置

2.3.1 制御装置の構成

ベルト走行制御装置は、図10に示すように、機側制御盤、中央制御盤で構成されている。中央制御盤操作パネル及び機側制御盤操作部からベルト走行速度、境界層吸込ファン吸込量(以下、吸込量という)の設定及び運転(起動・停止)操作による指令信号でベルトの走行が開始

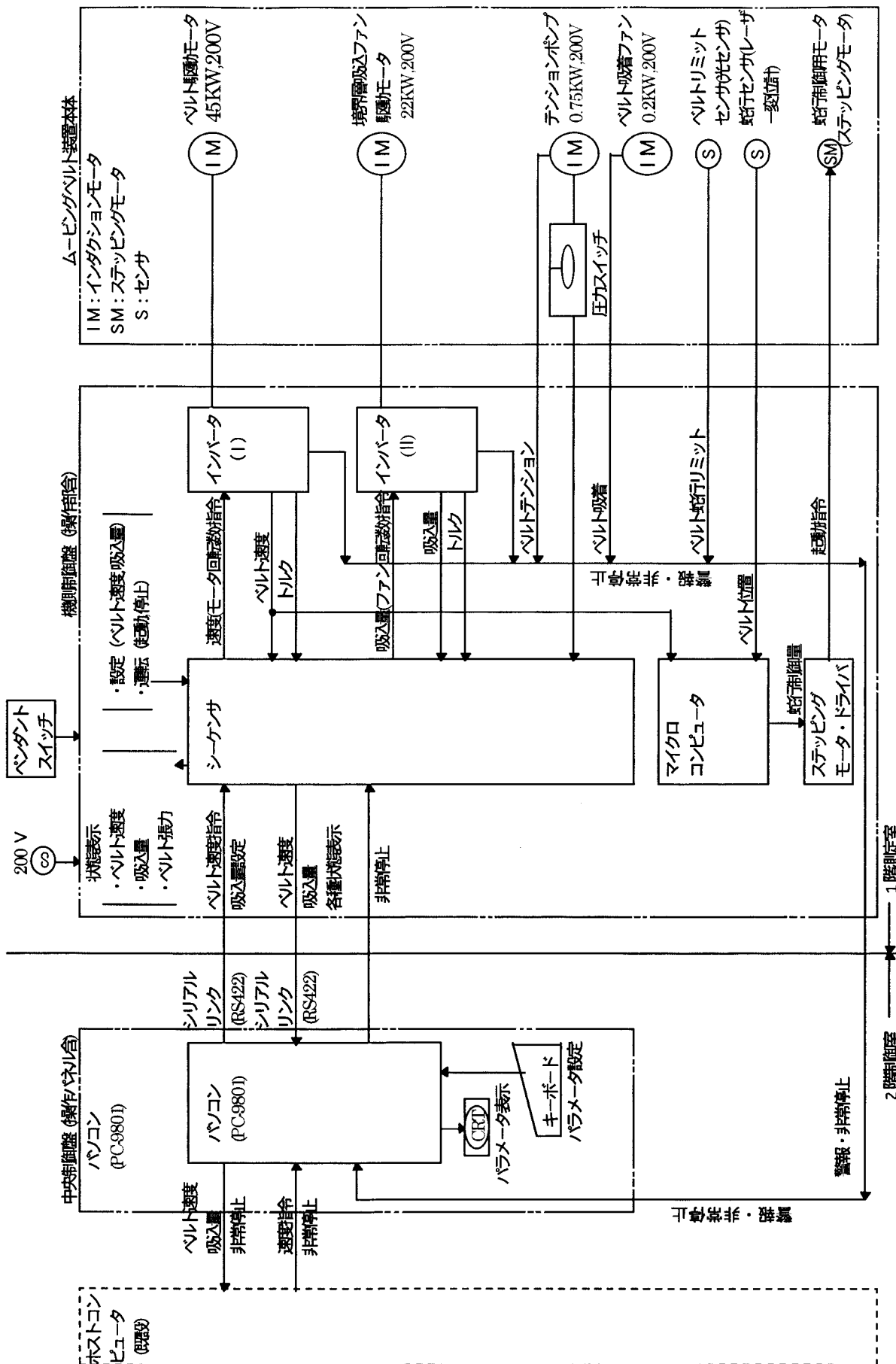


図 10 ベルト走行制御系

されると、ベルト装置本体に取り付けられている各センサからの信号が機側制御盤のシ - ケンサにフィードバックされ、目標値になるようインパ - タが制御される。ここでは、図 10 をもとに本装置制御系の構成について述べる。

ム - ビングベルト装置本体には、ベルトの駆動、走行速度等のベルト走行に関わる量の制御と境界層の吸い込み等のファン又はポンプの回転数を制御するモ - タ類とセンサが取り付けられている。ベルトモ - タび境界層吸込ファンの駆動制御は、機側制御盤の操作部又は中央制御盤のパソコンによって行われる。制御装置は、機側制御盤に内蔵されたマイクロコンピュータ、シ - ケンサを中心にインパ - タ、A/D 変換器等の各ユニット及びモ - タ、ポンプ、センサを結ぶ GPIB ケ - ブル、シリアルリンク (RS-422) 等の制御、信号ケ - ブルによって構成されている。中央制御盤と機側制御盤間の信号配線にシリアルリンク (RS-422) を使用した理由は、本装置の周囲には、大型低速風洞送風機運転制御装置、スティング支持装置等の高電圧、大電流を有する制御機器があることと、機側制御盤と中央制御盤間の距離が約 20 m と長いため、電氣的ノイズ環境に強いシリアルリンク (RS-422) を用いた。

本装置の制御には、中央制御盤のパソコン (PC-9801) キ - ボ - ドからシ - ケンサに指令する制御方法と、機側制御盤操作部のスイッチからシ - ケンサに指令を与える 2 つの方法がある。ここでは、中央制御盤のパソコンからシ - ケンサを操作する場合の制御系について述べる。

パソコンとシ - ケンサ間の通信は、シリアルリンク (RS-422) によって行われ、パソコンからシ - ケンサには、ベルト速度指令及び吸込量 (ファン回転数) 設定信号が入力される。シ - ケンサからパソコン CRT 画面には、ベルト速度 (V_B m/s)、吸込量 (ファン回転数 N rpm)、2.3.2 項で述べる各種状態表示が出力される。また、シ - ケンサからインパ - タ (I) には、速度指令 (ベルト駆動モ - タ回転数) 信号が入力され、インパ - タ (I) からは、ベルト駆動モ - タからのベルト速度及びトルク信号が並列に出力され、1 つはシ - ケンサへ入力され、トルク信号と共にベルト速度の演算用で使用される。もう 1 つのベルト速度信号は、蛇行制御用モ - タを制御するためのマイクロコンピュータへ、蛇行センサからの位置信号と共に入力される。マイクロコンピュータで演算された制御量はこれに直結したステッピングモ - タ・ドライバにより蛇行制御用モ - タに起動指令信号が与えられる。このようにベルトの走行速度と、蛇行の制御はインパ - タ (I) によって行われる。

シ - ケンサからインパ - タ (I) には、境界層吸込ファンモ - タの回転数を制御するための吸込量 (ファン回転数) 指令信号が与えられる。インパ - タ (II) からシ - ケンサには、境界層吸込ファンモ - タから検出されたファン回転

数及びトルク信号が入力され、吸込量の演算用で使用される。また、ベルト走行の際には、テンションポンプから油圧シリンダへ供給する一定圧力 (1.961 Mpa) の油圧により、ベルトには常に一定のテンションをかけており、この圧力をセンサにより検出してシ - ケンサに入力する。

また、本装置では、機側制御盤操作部及び中央制御盤操作パネルのスイッチ等のハ - ドウェアの異常に基づく「警報」及び「非常停止」と、中央制御盤のパソコンからはソフト的な「警報」及び「非常停止」を行うことができる。ソフト的な「警報」及び「非常停止」には、ベルト速度、境界層吸込量、ベルトテンション、ベルト吸着、ベルト蛇行リミット信号である。即ちこれらの信号が規定値を越えたときに「警報」又はベルトの走行を停止する。

2.3.2 中央制御盤

本ム - ビングベルト装置のベルト走行時の運転操作は、調整運転などの「現場からの運転」を除きほとんどが中央制御盤 (パソコン、中央操作パネル) から行われることが多い。ここでは「中央制御盤からの運転」の際に行う運転準備操作および運転操作機能と中央制御盤を構成する構成要素の操作機能について述べる。

中央制御盤からの運転準備操作は、機側及び制御室側で行う運転準備操作を行うことから始まり、まず機側の運転準備として、2.3.3 項で後述する機側制御盤操作スイッチにより、運転場所を機側に選択 (切替え) した後に電源を投入し、テンションポンプ運転切替スイッチを ON にして操作条件を完了させた後に、機側においてベルト走行が可能状態 (ロ - ラ及びベルトの周りに異物がいないか等) であることを確認した後、ベルト速度を 5 m/s 以下で約 5 分間暖気運転を行い、2.5 項に述べる自動蛇行制御装置が正常に機能していることを確認する。この後、再度機側においてベルト走行が可能であることの安全性を確認した後、操作場所を 2 階制御室に切り替えてその後の運転は 2 階制御室に配置されている中央制御盤で行う。

以下に中央制御盤の構成及び操作機能について述べる。中央制御盤は、操作パネル、パソコン (PC-9801) で構成されている。

(1) 中央制御盤の操作機能

中央制御盤は、各機器の操作スイッチ及び表示灯とパソコンで構成されており、機器の起動停止は主に操作スイッチで行い、パラメ - タの設定、表示はパソコン (キ - ボ - ド、CRT) で行う。中央制御盤には操作パネル (以下、中央操作パネルという) が付属しており、ここでは、中央操作パネルからの、運転準備操作及び運転操作機能について述べる。

(中央操作パネルからの運転準備操作)

中央操作パネルからの運転準備操作は、図 11 に示す中央操作パネルの押釦スイッチ類により行われる。まず、

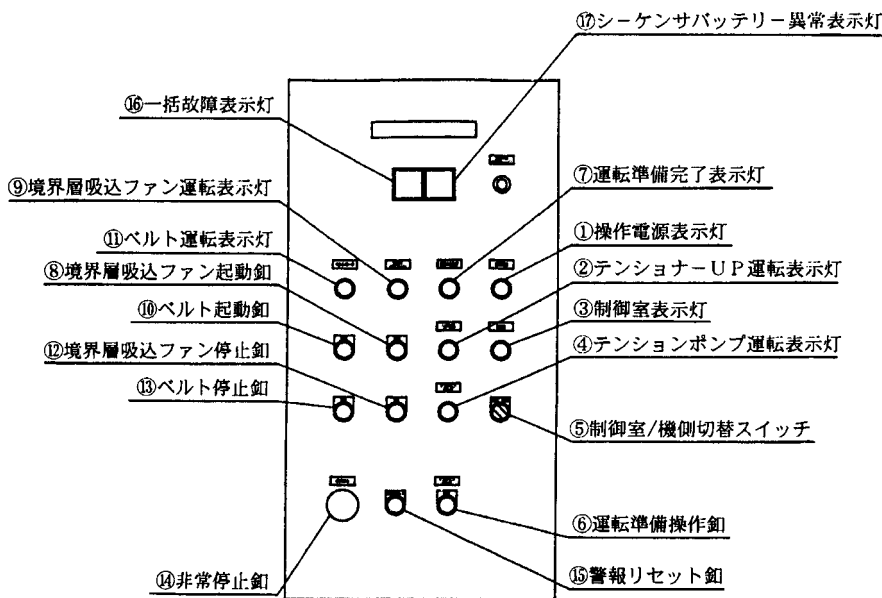


図 11 中央制御盤操作パネル

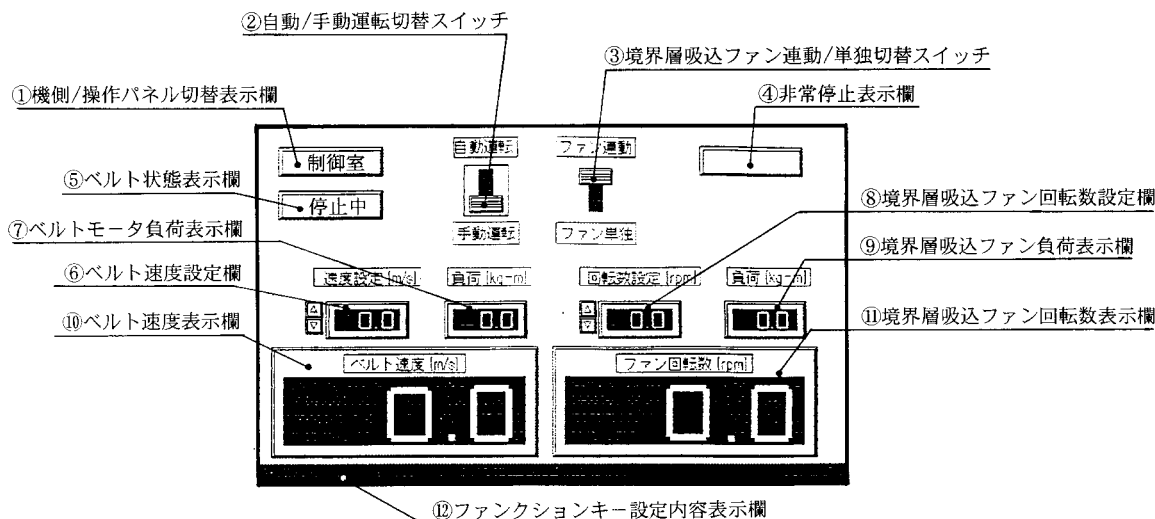


図 12 パソコン CRT 画面の設定および表示機能

前述した機側制御盤での準備操作により、運転操作可能状態であることを表す操作電源表示灯()テンショナーUP表示灯(), 制御室表示灯(), テンションポンプ運転表示灯()がON(点灯)状態であることを確認した後、制御室/機側切替スイッチ()を制御室側に切り替える。次に運転準備操作釦()をONにした後、運転準備完了表示灯()が点灯し、運転準備操作が完了したことを確認する。次に以下で述べるパソコンからの設定操作を行う。

(2) パソコンの設定および表示機能

中央制御盤のパソコンからはベルト走行速度、境界層吸込量の設定等を行うことができる。図 12 に示すように、パソコン CRT 画面には ~ の番号で示される内容が文字、色、数値により表示される他、パソコンのキーボード又はマウスによって、これら表示内容のうち、設

定欄に示すパラメータの設定を行うことができる。以下に各表示欄の機能について述べる。

機側/操作パネル切替表示欄

機側制御盤と中央操作パネルの操作位置選択が双方合致した時に、現在操作可能な位置が文字で表示される。

自動/手動運転切替スイッチ

キーボードの左右矢印キーでこの欄の選択を行うと、選択した側の文字枠の色がオレンジ色に変わる。

境界層吸込ファン連動/単独切替スイッチ

キーボードの左右矢印キーでこの欄の選択を行うと選択した側の文字枠の色がオレンジ色に変わる。

非常停止表示欄

「非常停止」と文字で表示される。

ベルト状態表示欄

ベルトの運転状況、つまりベルトの「運転」または「停止中」状態が、表示枠の中に文字（黒色）で、しかも「運転」状態の時は、表示枠全体の色が赤色に、「停止中」状態の時は緑色に表示される。

ベルト速度設定欄

ベルト速度設定欄には、設定したベルト速度の数値が表示される。また、キ - ボ - ドの左右矢印キ - でこの欄を選択した後に、この欄の左側にある上下矢印キ - をマウスでドラッグすることによって、ベルトの速度の値を設定欄に表示及び設定した値を変更することができる。この設定及び表示は、0.1 ~ 55.0 m/s の範囲で可能である。さらに、 項に述べるファンクションキ - からもベルト速度の設定及び表示値を変更することができる。

ベルトモ - タ負荷表示欄

ベルトモ - タの負荷がデジタルで表示 (Kg-m) される。

境界層吸込ファン回転数設定欄

キ - ボ - ドの左右矢印キ - でこの欄を選択し、上下矢印キ - で速度を設定する。また、ベルト速度の表示及び設定方法と同様にこの欄を選択すると、ファンクションキ - から境界層吸込ファン回転数を設定することができる。

境界層吸込ファン負荷表示欄

境界層吸込ファンの負荷がデジタルで表示 (kg-m) される。

ベルト速度表示欄

現在のベルト速度がデジタルで表示 [m/s (小数点以下1桁まで)] される。

境界層吸込ファン回転数 (rpm) 表示欄

境界層吸込ファン運転中における境界層吸込ファン回転数の現在値がデジタルで表示 (rpm) される。

ファンクションキ - 設定内容表示欄

ベルト速度設定表示欄 または、境界層吸込ファン回転数表示欄 を選択することにより、ベルト速度または、境界層吸込ファン回転数の設定数値が の位置に配列表示される。ファンクションキ - からのベルト速度の設定は 10 ~ 50 m/s まで 10 m/s 毎に、境界層吸込ファン回転数の設定は 500 ~ 2920 rpm まで 500 rpm 毎にそれぞれ設定変更することができる。

- (3) 中央操作パネルからの運転(起動, 停止)操作機能
中央操作パネルからの運転操作は、2.3.2 (1) 項で前述

した中央操作パネルからの準備操作及びパソコンからの運転パラメータ [(吸込)ファン回転数, ベルト速度] の設定をした後に行われ、境界層吸込ファンを起動する場合は図 11 に示す の起動押釦を、ベルトを起動する場合は の起動押釦を押すことにより、それぞれの運転パラメータに関する起動操作ができる。また、境界層吸込ファンまたはベルトを停止させる場合は、境界層吸込ファンの停止は の停止押釦を、ベルトの停止は の停止押釦をそれぞれ操作することによって停止操作を行うことができる。また、中央操作パネルの警報リセット釦()は、一括故障表示灯()及びシ - ケンサバッテリー - 異常表示灯()が点灯した場合に解除するためのものである。

2.3.3 機側制御盤

機側制御盤は 2.2.18 項で前述したように、「現場からの運転時」または「中央制御盤からの運転時」における主電源の投入、遮断および機側における各機器の運転操作ならびに装置の移動操作等を行うためのものであり、後述する本制御盤を構成する主スイッチ盤、制御盤 (A, B) 等の操作スイッチ類により、ベルトモ - タおよび境界層吸込みファン等の各機器を単独または連動で運転操作することができる。

ここでは図 13、図 14 及び図 15 をもとにこれらの構成機器の設定及び操作機能について述べる。

(1) 主スイッチ盤

主スイッチ盤 (図 13 の右端) は、1 階測定室のカ - ト低圧分電盤からキャブタイヤケ - ブル配線により供給される三相 200 V の主電源を主スイッチにより入・切操作するためのものである。また、主スイッチの左側には、ベルトテンション用油圧ポンプの圧力ゲ - ジ (Mpa) が取り付けられている。

(2) 制御盤 A

制御盤 A (図 13 の右より 2 つめ) には主に、図 14 の外観図に示すように、各種の運転操作 (ON, OFF, 非常停止)



図 13 機側制御盤

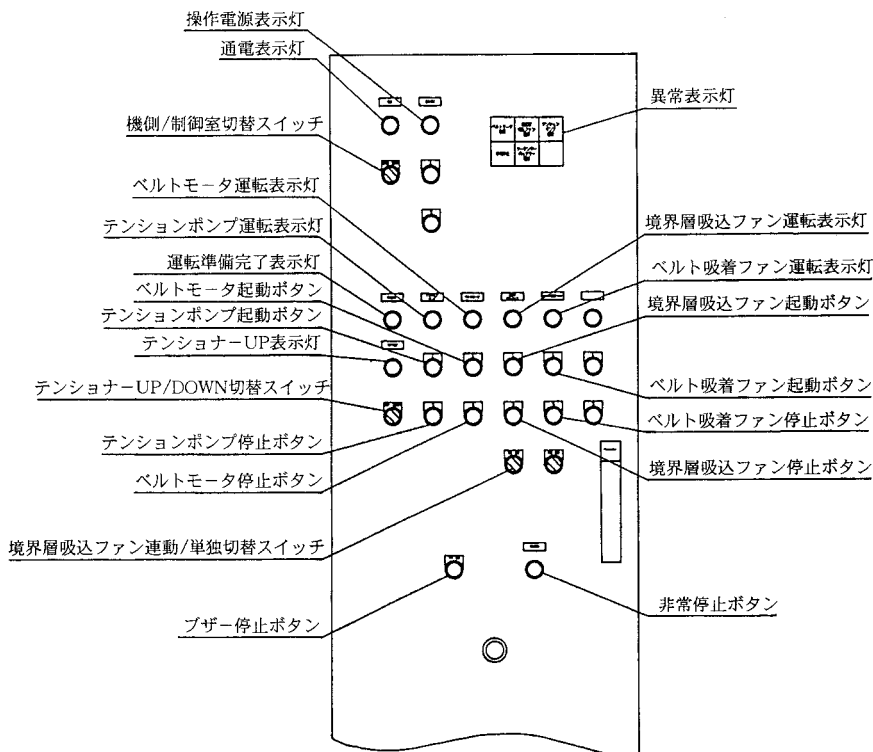


図 14 制御盤 A

- (a) : ベルト速度制御用
- (b) : 境界層吸込ファン制御用



図 15 制御盤 B

押釦スイッチ、運転動作(テンションポンプUP/DOWN)切替スイッチ、運転操作位置選択(1階機側/2階制御室)及び運転方式(吸込ファン連動/単独)を切り替えるための切替スイッチ、各種の状態表示灯(通電、運転、異常表示)で構成されており、これらの操作スイッチにより、テンションポンプ、ベルト走行、境界層吸込ファンの単独運転または、それぞれの運転機能を組み合わせた連動運転を行うことができる。また、ベルトテンション、蛇行制御等の各種センサ信号により非常停止した場合には、ブザー及び異常表示ランプで警告するようになっている。

(3) 制御盤 B

制御盤 B は図 15 に示すように、ベルト速度及び境界層吸込ファンの回転数を手動制御するための操作部であり、盤面の左側 (a) がベルト速度制御用、右側 (b) が境界層吸込ファン制御用に使用される。両者は制御項目が異なるものの、操作機能においては同一であるので、ここでは代表して、盤面左側のベルト速度制御用操作部の構成と、ベルト速度制御用操作部の操作、設定及び表示機能について述べる。

盤面左側のベルト速度制御用操作部は、最上部から順にベルト駆動モータ用電流計、ベルト速度用インパクタタッチパネル、ベルト速度表示盤、ベルト速度調整ツマミ、インパタリセットボタンによって構成される。

ベルト駆動モータ出力電流計は、ベルト走行用駆動モータの駆動出力電流をアナログ式で表示するためのものである。

盤面左側の上から2つめのベルト速度用インバ - タッチパネルは、製作メ - カ - が装置調整試験時に行うベルトモ - タの仕様に合わせたベルトモ - タ回転数の上限値、速度指令ゲイン及びベルトモ - タの加速時間等の設定を行うための操作盤であり、通常ユ - ザ - が使用することはない。

ベルト速度表示盤(図15の下から3番目)は、ベルト速度(m/s)を表示盤に赤色でデジタル表示するためのもので、0.1 ~ 99.9 m/sの範囲の数値表示が可能である。

ベルト速度調整つまみ(下から2番目)は、ポリウム式の速度調整つまみによりベルト速度を調整するためのもので、ベルト速度調整は0 ~ 55 m/sの速度調整範囲で任意に設定することができる。

インバ - タリセットボタンは、インバ - タモ - タに異常が生じて運転が停止した場合に、製作メ - カ - によって、再度インバ - タタッチパネルで制御量を設定した後、警報をリセットするためのものである。

境界層吸込ファン回転数の設定、調整及び表示機能も同様である。

(4) ペンダントスイッチ

ペンダントスイッチは、ム - ビングベルト装置本体を載せた移動用台車を移動するための手持ち操作スイッチであり、押釦スイッチのON,OFF操作によって、台車を測定室内に敷設されたレ - ル上を東西南北に移動させることができる。

2.4 張力制御装置

張力制御装置は、ベルトに最適な張力を与えてロ - ラとの滑りを防ぐと共に、ベルト上下方向の振動を押さえるためのもので、図4に示すようにテンションポンプ、テンションロ - ラ、テンションア - ム、油圧シリンダ、油圧バルブユニット等で構成されている。張力制御装置によるベルトの張力制御は、テンションロ - ラ及びテンションア - ムを動作させる油圧シリンダ内の油圧を一定に制御する定値制御によって行われる。シリンダ内の油圧の定値制御は、油圧ポンプからの吐出圧力をソレノイドバルブ圧力調整弁、圧力計等で構成された油圧バルブユニットで行われ、常用1.961 Mpaになるように制御された圧力を油圧シリンダへ供給し、テンションア - ムを介してテンションロ - ラをベルトに一定の力で押しつけて張力を与えるようになっている。

2.5 蛇行制御装置

蛇行制御装置は、ベルトが左右方向にずれないようにするためのもので、駆動ロ - ラ、蛇行制御ロ - ラ、自動蛇行制御装置、ベルト蛇行制御センサ、ベルト蛇行リミットセンサによって構成されている。ベルトの蛇行制御

は、クラウニング加工された駆動ロ - ラによって、蛇行制御を機械的に行う方法と、ベルト蛇行センサによりベルトの左右方向のずれを検出し、これをマイクロコンピュータで計算処理して求めた制御量分だけ蛇行制御ロ - ラを前後に移動させて行う2つの方法を併用することによって行われている。

2.5.1 自動蛇行制御装置(駆動部)の構造及び機能

図5に示すように自動蛇行制御装置(駆動部)は、2.5.2(2)項に後述する蛇行制御ロ - ラ軸に傾き角を与えてベルトをY方向に移動させるためのもので、ハンドル、ステッピングモ - タ、ハ - モニックドライブ、ボ - ルネジ、スライドベ - ス、センタ - ブラケット、センタ - ブラケット・シャフト・スライドレ - ル等で構成されている。自動蛇行制御装置本体は、ム - ビングベルト装置本体架台上部の左側中央位置にユニットベ - スにより固定されている。ハンドルは、ベルト端が蛇行制御範囲を越え、リミットスイッチが作動し、ベルト走行運転が停止した場合に、ベルトリミットを手動でOFFにするためのものである。ステッピングモ - タは、機側制御盤内のマイクロコンピュータの指令によって起動される。ステッピングモ - タの出力は、高減速比(1:500)、高トルクが得られるハ - モニックドライブに伝達され、さらに、カップリングで接続されたシャフトに伝達される。シャフトの先端はボ - ルネジになっており、これを回転させることにより、ユニット化されたボ - ルネジボックス、スライドベ - ス及び蛇行制御ロ - ラ(但し、左側のみ)が、センタブラケットシャフトを中心にしてスライドレ - ル上を最大 ± 25 mmの範囲で移動することにより、ベルトの蛇行を制御できるようになっている。

2.5.2 蛇行制御の原理

(1) クライニング加工による方法

図16は駆動ロ - ラの形状によるベルトの応力(張力)分布の相違を示したものである。図16(a)は、製作誤差が無くロ - ラが理想的なストレ - ト形状に加工された場合である。ベルトには左右方向に均等な応力が働くことになるが、左右方向にずれやすい不安定な状態となる。また、図16(b)は、左側が少し太く加工された場合であるが、ベルトには右側に比べ左側に大きな応力が働くことになるため、ベルトは左側に引っ張られることになる。この両者に対して、本装置で採用したクライニング加工を施した駆動ロ - ラは、図16(c)に示すようにベルトが常に中央に引っ張られるため、蛇行しにくい安定な状態が得られる。クライニング加工におけるテ - パの度合いが大きいと、平坦な地面を模擬できなくなるので限界があるが、本ム - ビングベルト装置では、ロ - ラの最大径(700 mm)と最小径(695 mm)の差が5 mmで、十分地面の平坦さを模擬しているといえる。

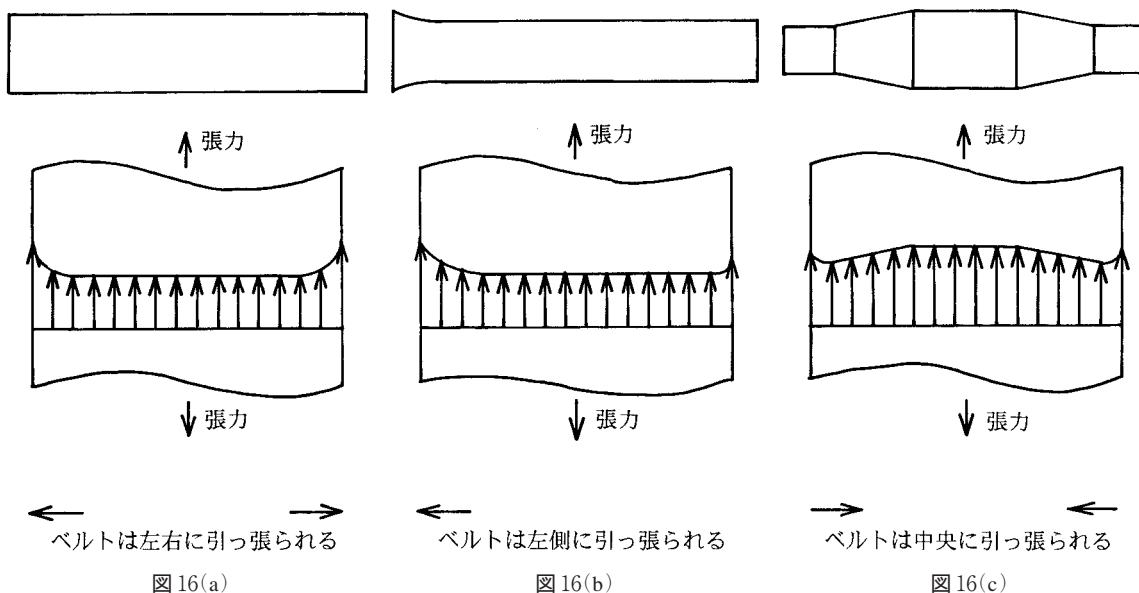


図 16 ローラ形状の違いによる応力（張力）分布の比較

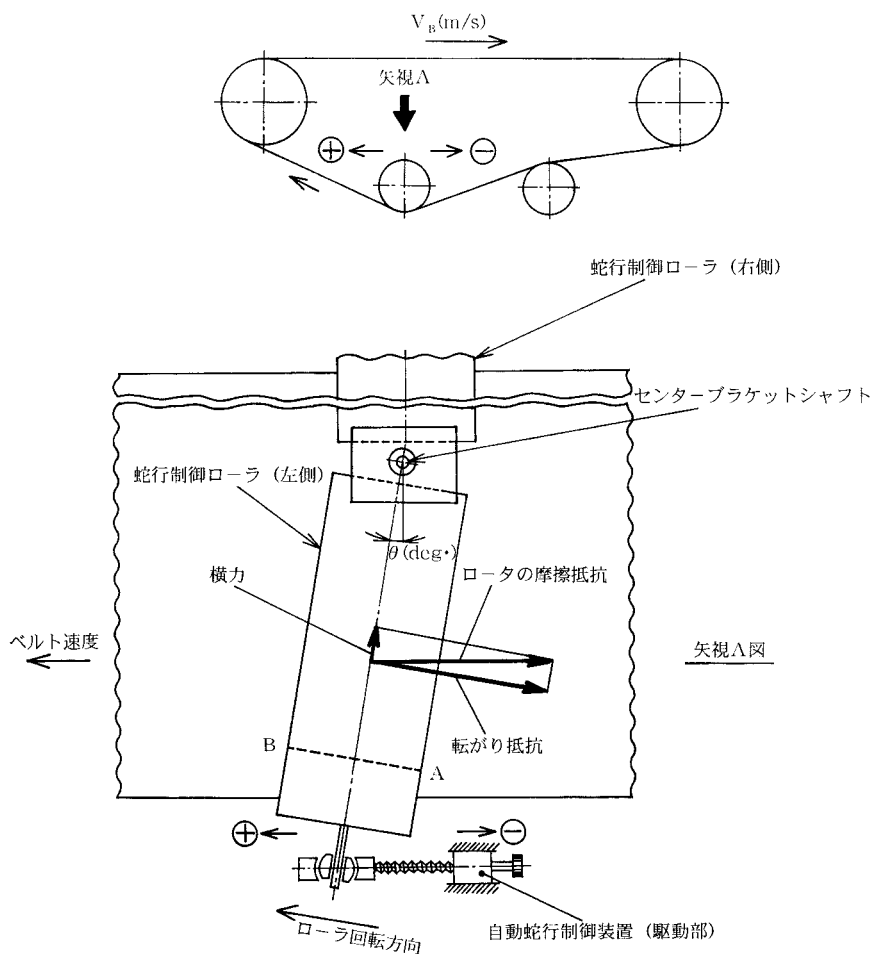


図 17 蛇行制御ローラ軸の傾き θ による横力発生原理

(2) 蛇行制御センサと自動蛇行制御装置による方法

蛇行制御には前述した機械的な方法の他に、図 17 に示すように、蛇行制御ローラ軸の傾き角 θ による横力発生原理に基づき、ローラ軸を変角させる自動蛇行制御があ

る。ここでは図 6 と図 17 をもとに自動蛇行制御装置及び自動蛇行制御の原理について述べる。

図 17 は、蛇行制御ローラ軸の傾き角 θ による横力発生原理を示したもので、図でベルト進行方向に対し、左側

の蛇行制御口 - ラ軸を自動蛇行制御装置（駆動部）の出力で θ だけ傾けると、ベルト進行方向と口 - ラの回転方向が一致しないために横力が発生することになる。仮に、完全にすべりがないとすれば、A 点で口 - ラに接触すれば、口 - ラの回転に伴い A 点は B 点の位置へ移動することになる。実際にはすべりがあるため、蛇行制御口 - ラ軸は θ の角度分だけ移動することはないが、蛇行制御口 - ラ軸を θ だけ傾けることによって、口 - ラ軸方向に分力が発生し、これによりベルトは本図の上方へ移動することになる。

図 6 は蛇行検出センサによる蛇行検出の原理を示したものである。レ - ザ - 投光器と受光器が一体となった蛇行制御センサは、取付金具で本装置本体右側架台部の蛇行制御口 - ラの下部に取り付けられている。蛇行検出センサ受光器が感知する光の強さは、ベルトの蛇行に伴いレ - ザ - 光が一部遮断されるため弱くなる。センサの感知する受光量は電圧値として機側制御盤内のマイクロコンピュータに入力され、自動蛇行制御装置の駆動量を計算するために用いられる。ベルト端によりレ - ザ - 光が遮断される量は電圧値に変換され、全閉時 1 V、全開時 5 V の電圧値に設定されている。ベルトが中央位置になる通常の使用状態では、電圧値が 3 V になるように制御されている。また、ベルト端が蛇行制御範囲を越えた場合は、2.2.17 項で述べた 4 つの蛇行リミットセンサのうちのどれかが作動してベルトの走行が停止するようになっている。

2.6 境界層制御装置

ベルト面のできるだけ広い範囲が模擬地面として使用できるように、境界層制御装置が取り付けられ、ベルト面に到達する境界層を薄くする工夫がなされている。ここでは、境界層制御装置の構成と境界層の除去方法について述べる。

境界層制御装置は前方スク - プ、境界層吸込スリット、境界層吸込ファン、境界層吸込チャンバ、排気ダクト及び後方スク - プで構成される。

2.6.1 境界層の除去方法

ベルト面上の境界層で最初に問題となるものは、縮流筒壁より発達して測定部に至る境界層である。前方スク - プは、まずこの境界層を除去（大気に排除）するためのものである。スク - プの高さは、2.2.14 項に前述した文献²⁾の結果を受けて 200 mm とした。次に、前方地面板の先端より発達する境界層の影響を受ける。その境界層を吸い込むための境界層吸込スリット（幅 = 14 mm）は前方地面板先端より 387 mm の位置に設けられている。さらに、ベルトに付着した空気が風洞内の気流に合流することのないように、従動口 - ラの前方に設けた境界層吸込チャンバの多孔板付吸込口から空気を吸い込むことも行

われている。吸い込まれた空気は境界層吸込チャンバへ導かれた後、境界層吸込ファンによって後方スク - プから風路内にもどされる。また、後方スク - プからは前方スク - プから風路外に流出した空気を風路内に再び取り込み圧力回復がなされる。これらスリット及び境界層の吸い込み量の制御は、境界層吸込ファンの回転数制御によって行われる。

3. ム - ビングベルト装置の機能及び性能

ム - ビングベルト装置を駆動させた場合のベルト走行特性、ベルト振動特性、ベルト蛇行特性及び騒音特性について行った機能試験の方法及びその結果について述べる。尚、本体の機能試験では、境界層吸込ファン及びベルト吸着ファンは OFF 状態として行われた。また、ベルト走行速度は当初の設計目標であった 50 m/s を達成し、数分間ではあるが 55 m/s 走行を確認した。

3.1 ベルト走行特性

ベルト走行特性試験は、本装置の使用可能な連続運転時間を推定するため、テンションシリンダ、ベルト駆動モ - タ、自動蛇行制御装置、油圧ポンプユニットの各構成機器を作動させた状態でベルト速度を 20, 30, 40, 50(m/s) の各風速に合わせて設定して運転を行い、それぞれの風速におけるベアリングケ - ス温度上昇の変化率が鈍化する 20 分後に、ベアリングケ - ス温度を測定した。測定は図 18 に示す従動口 - ラ軸及び駆動口 - ラ軸それぞれの左右両端の軸受部 A, B, C, D 合計 4 箇所、ベアリングケ - スの温度 () を熱電対温度計 ($C_u - C_o$) により測定し、ベアリング部の温度変化を調べた。

表 1 は、設定ベルト速度に対するベアリングケ - ス温度の測定結果を示す。表 1 のいずれのベルト速度においても、総体的に A, B, C, D の各ベアリングケ - ス温度の上昇率は、ベルト駆動モ - タの電流値の上昇率と同程度で、電動機出力に比例していることがわかる。また、ベアリングケ - ス温度 A, B の値が、従動口 - ラ側であるにもかかわらず、駆動側の C, D のベアリングケ - ス温度よりも高いのは、次に述べる駆動軸と従動軸の据えつけ構造の違いによるものと考えられる。

駆動軸は固定されているのに対して、従動軸はアライメント調整のため前後に移動できるようになっており、駆動軸よりも口 - ラセンタ - とベアリングセンタ - の振れが出やすく、これが発熱の原因となって温度が高めになるものと考えられる。尚、表 1 にはないが、ベアリングケ - ス温度の変化率は、全ての試験風速において最初の 10 分間まで急激に上がるが、その後 20 分までは鈍化した変化で、風速を上げない限り口 - ラ及びベルトからの

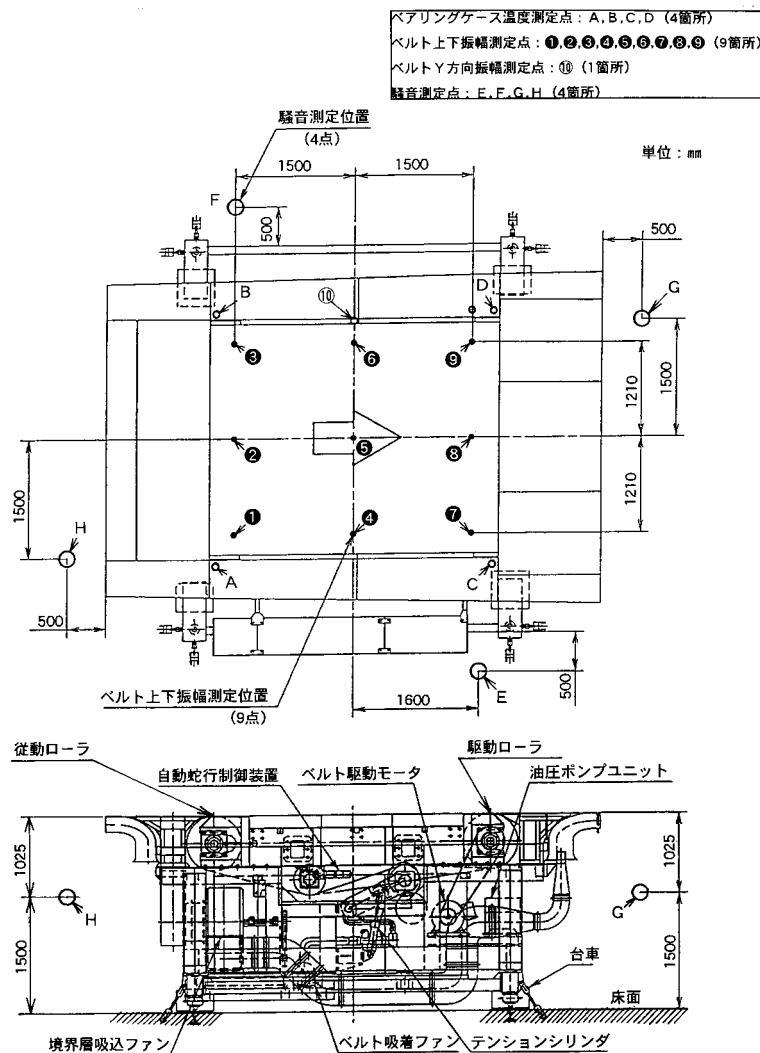


図18 単体機能試験（軸受温度，ベルト振幅，蛇行幅，騒音）の測定点

表1 ベアリングケース温度

条件 ベルト速度(m/s)	ベルト駆動モータON/OFF	自動蛇行制御装置ON/OFF	油圧ポンプユニット ON/OFF	境界層吸込ファン ON/OFF	ベルト吸着ファン ON/OFF	テンションシリンダ ON/OFF	測定室内温度 (°C)	ベアリングケース [A,B,C,D] 温度(°C)			
								A	B	C	D
20	ON	ON	ON	OFF	OFF	ON	17.5	36.2	34.4	32.7	29.5
30	ON	ON	ON	OFF	OFF	ON	17.5	44.5	39.4	35.0	32.8
40	ON	ON	ON	OFF	OFF	ON	17.5	51.2	44.5	40.4	36.5
50	ON	ON	ON	OFF	OFF	ON	17.5	64.2	53.1	47.3	42.6

空気の巻き込みによる冷却作用で，ほぼ一定値を保持する傾向が見られることが確認されている。

3.2 ベルト振動特性

ベルト振動特性試験では，図18に示す9箇所の測定点においてベルトの上下方向の振幅(mm)をレ - ザ - 変位計で測定した。

表2は，各測定点におけるベルト上下方向の振幅の測

定結果を示したものである。平均値についてみると，総合的にどの風速においても，測定点①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦における測定値の値は，測定点⑧, ⑨における測定値に比べて大きく，風速50 m/sにおけるベルト中央位置(X = 3150 mm)におけるベルト幅方向(Y)の平均値のうち最も大きいものは測定点④で2.4 mm程度である。この値は，本ム - ビングベルト装置を使った地面効果試験において，風試模型(車輪部)をベルト面に最も近づけて良

表2 ベルト振動（上下変位）測定結果

条件 ベルト 速度 (m/s)	ベルト駆動モ ータON/OFF	自動蛇行制御 装置ON/OFF	油圧ポンプユニ ット ON/OFF	境界層吸込ファ ン ON/OFF	ベルト吸着ファ ン ON/OFF	テンションシリ ンダ圧力 (Mpa)	各測定点のベルト上下変位測定結果 (mm)					
							特性 測定点	最大値	最小値	最大-最小	平均	分散
20	ON	ON	ON	OFF	OFF	1.961	1	0.922	0.146	0.776	0.543	0.00885
							2	0.681	0.079	0.602	0.391	0.00403
							3	0.803	0.000	0.803	0.535	0.00487
							4	2.089	1.382	0.706	1.703	0.00641
							5	1.262	0.210	1.052	0.698	0.01750
							6	1.152	0.445	0.706	0.819	0.00651
							7	1.649	-0.289	1.936	1.245	0.00480
							8	0.701	-0.573	1.234	0.159	0.03561
							9	0.320	-0.352	0.672	0.006	0.00573
30	ON	ON	OFF	OFF	1.961	1	1.667	-0.615	2.281	0.691	0.00795	
						2	0.809	0.206	0.603	0.473	0.00454	
						3	0.961	0.016	0.945	0.592	0.00901	
						4	2.503	1.705	0.798	2.224	0.00466	
						5	1.361	-0.510	1.871	0.424	0.05254	
						6	1.367	0.691	0.676	1.033	0.00512	
						7	2.088	1.452	0.636	1.802	0.00388	
						8	0.287	-0.621	0.908	-0.062	0.01531	
						9	0.384	-0.192	0.576	0.090	0.00392	
40	ON	ON	OFF	OFF	1.961	1	1.838	-0.566	2.394	0.626	0.00532	
						2	0.903	0.253	0.650	0.601	0.00337	
						3	1.560	-0.173	1.733	0.552	0.00888	
						4	2.606	-0.476	3.082	2.363	0.01054	
						5	1.165	-0.971	2.136	0.611	0.00888	
						6	1.290	0.676	0.614	0.986	0.00431	
						7	2.853	1.467	1.386	2.253	0.00478	
						8	0.446	-0.589	1.035	-0.002	0.01839	
						9	0.432	-0.192	0.624	0.116	0.00377	
50	ON	ON	OFF	OFF	1.961	1	2.079	-0.406	2.485	0.462	0.02085	
						2	1.061	0.364	0.697	0.712	0.00631	
						3	1.720	0.246	1.474	0.602	0.04083	
						4	2.677	-0.530	3.207	2.379	0.03568	
						5	1.339	-1.100	2.439	0.778	0.00847	
						6	1.367	0.568	0.799	0.944	0.00698	
						7	3.250	1.498	1.752	2.557	0.01089	
						8	0.573	-0.239	0.812	0.205	0.00906	
						9	0.496	-0.096	0.592	0.189	0.00483	

いすき間(高さ)は,6.2項に後述する境界層速度分布からわかるようにせいぜい数十mm程度であることを考慮すると,特に模型に対して空力的に影響しない値と考えられる。測定点④,⑤,⑥の位置の測定値が大きい理由は,測定点④,⑤,⑥の位置のベルトに働く張力は,従動口-ラ及び駆動口-ラに接触せず,しかも従動口-ラ及び駆動口-ラから遠い距離にあるためと考えられる。また,測定点⑤を除いた測定点①,④,⑦及び③,⑥の振幅の値が大きくなるもう一つの理由は,ベルトを走行することにより,ベルトと側方地面のすきまからベルトが風洞外の空気を巻き込むためと考えられる。また,測定点①,②,③,④,⑤,⑥,⑦の中でも測定点④,⑦の振幅が特に大きい値を示している理由として,測定点①,④,⑦は2.5.2項で前述したように,ベルトの蛇行を制御する2つの口-ラからなる蛇行制御口-ラのうちの駆動側(左側)口-ラに接するベルト上において,その中でも測定点④,⑦は測定点①に比べ蛇行制御口-ラから離れた距離にあるため,蛇行制御によるベルト張力の変化が大きいので振幅に大きく影響するものと考えられる。同様の理由で,本来測定点⑤と測定点⑦の上下振幅は同程度と予想されたにもかかわらず,測定位置によって大きな違いがみられる。これは,製作されたベルトの寸法に対して,駆動口-ラ及び従動口-ラの据え付けの位置の関係の誤差及びベルト張力の一様性の欠如によるものと考えられる。

3.3 ベルト蛇行特性

ベルトの蛇行量は,図18に示す測定点④においてY方向の振幅(mm)をスケールにより測定した。その結果,ベルトの蛇行は,ベルト走行速度にかかわらず±1.5mm以内に制御されている。

3.4 騒音特性

騒音特性試験は,ベルト走行及びベルト振動特性試験と同様に,本装置の油圧ポンプユニット,テンションシリンダ,ベルト駆動モータ及び自動蛇行制御装置の各機器を作動状態(ON)にして,ベルト速度は20,30,40,50m/sについて図18に示すE,F,G,Hの4箇所騒音

計により測定した。尚,本測定におけるマイクロホンの設置高さは全て床面(F,L)より1.5mとした。

表3は,設定ベルト速度に対する各測定点の騒音の測定結果を示したものである。各ベルト速度における騒音の値が最も大きいのはG点(下流側)であり,ベルト速度50m/sにおいて97.5dB(A)であった。

4. 気流特性試験

4.1 測定装置

(1) 静圧,速度分布の測定

図19に地面板上の静圧,境界層厚さ(速度分布)を測定するための1軸(X)トラバース装置を示す。Y,Z方向に移動可能なスティング支持装置の先にとりつけられた曲がりスティングに,本1軸トラバース装置を取り付け,これにくし型ピット管図20(a)又は熱線プロブを取り付けて測定した。ただし,前方地面板上の静圧及び境界層厚さ(速度分布)の測定には,境界層が薄いことを考慮して,図20(b)に示すような小型くし型ピット管を前方地面板上に固定して測定した。

(2) 乱れ分布の測定

地面板上の乱れ測定には,熱線風速計及び熱線プロブ(直線型)を使用した。



図19 1軸トラバース装置

表3 騒音測定結果

条件 ベルト速度 (m/s)	ベルト駆動モータON/OFF	自動蛇行制御装置ON/OFF	油圧ポンプユニット ON/OFF	境界層吸込ファン ON/OFF	ベルト吸着ファン ON/OFF	テンションシリンダ ON/OFF	各測定点の騒音測定結果 [dB(A)]			
							E	F	G	H
20	ON	ON	ON	OFF	OFF	ON	84.5	83.5	86.8	85.3
30	ON	ON	ON	OFF	OFF	ON	87.5	87.4	93.6	88.8
40	ON	ON	ON	OFF	OFF	ON	92.3	92.0	94.4	93.2
50	ON	ON	ON	OFF	OFF	ON	95.2	93.8	97.5	92.5

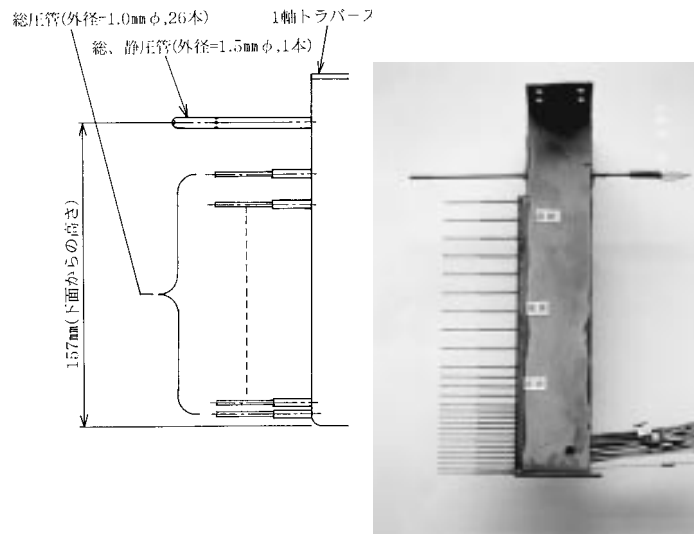


図 20(a) くし型ピトー管

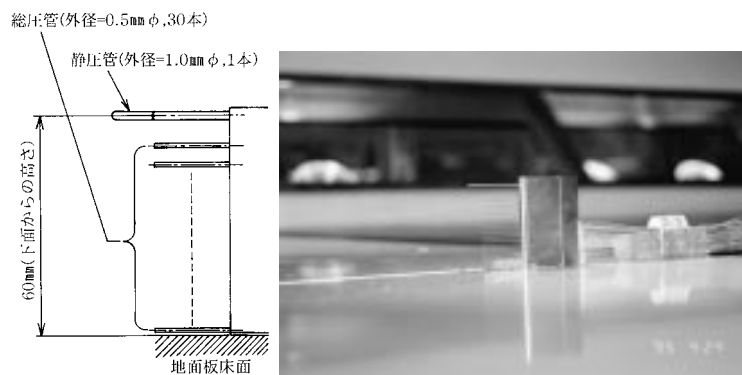


図 20(b) 小型くし型ピトー管

図 20 境界層測定ピトー管

4.2 データ処理

(1) 地面板上の静圧，境界層厚さ（速度分布）の測定

地面板上の静圧，速度分布の測定は，図 1 に示す標準ピトー管で測定される一様流の静圧(P_s)，動圧(q_∞)と，くし型ピトー管で測定される静圧(P_{SK})，総圧(P_t)等のデータから V_∞ ， U_∞ ， U を求めた。このデータから δ^* を求めた。

(2) 地面板上の乱れ測定

地面板上の乱れ(u'/U_∞)は，熱線プロブ及び熱線風速計により測定される rms 値によって求めた。

5. パラメータの設定

ここでは，設定すべき各パラメータの最適値を求めるためのムビングベルト装置上の気流特性（静圧勾配，境界層測定）試験の概要とその結果を使って最適パラメータを決定する方法について述べる。

5.1 パラメータの設定方法

地面効果試験装置は，航空機の離着陸時の空力特性を評価するためのもので，風洞内でできるだけ正確に実飛行条件を実現することが必要である。実飛行では，地面と周囲の空気が静止し，航空機が動いているのに対し，ムビングベルト式地面効果試験装置を使用した風洞試験では，航空機模型が静止し，地面と空気が飛行速度で動いている。実飛行の場合には地面の表面に境界層はない。また，広い空間であり高度方向は別として，離着陸時の飛行方向に大気静圧勾配がない。地面効果風洞試験において，風洞壁干渉，支柱干渉は小さくはできても避けることは困難であるが，前述したベルト面上の境界層及び風路の静圧勾配の影響は，測定部カト及び地面効果試験装置を設計する時に考慮することによって，小さくすることができる。ベルト面上の境界層を薄くする方法として，本試験装置には前方スクrub，前方地面板上の境界層吸込スリット，従動口ラ部ベルト付着空気の吸取用多孔板付吸込口が設けられ，境界層吸込用ファ

ンによってこれらの境界層の吸い込みが行われている。吸い込みを多くすればするほど境界層は薄くなるが限度があり、最も効率の良い最小吸込量が存在すると考えられる。また、風路の静圧勾配は、後方地面板の角度を変えて、測定部後方の風路の面積を変えることによって、調整することができる。

さらに、ベルト走行速度を一樣流速度より高くすることによって、ベルトの近接面の気流速度は一樣流より高くなるが、境界層の排除厚は小さくすることができる。風洞試験では実飛行状態を模擬しているか否かを判定する3つのパラメータがあり、これらの最適値を求める必要がある。

(調整パラメータ)

- 後方フラップ角
- 境界層吸込量
- ベルト走行速度

(1) 後方フラップ角の設定

後方フラップ角の設定は、地面板上の静圧勾配が零になるようにすることである。このために、後方フラップ角をいくつか変えて、ベルト中心線上 (Y = 0), X = 1500 ~ 3400 mmの範囲における風軸(X)方向の静圧を測定した。得られた結果から静圧勾配 $\partial \Delta P_s / \partial X$ を求め、横軸にフラップ角、縦軸に $\partial \Delta P_s / \partial X$ をとり曲線が横軸を切る点を最適なフラップ角として求め、最後に、そのフラップ角で静圧勾配 ($\partial \Delta P_s / \partial X = 0$) を確認して、最適なフラップ角とした。

(2) 境界層吸込量の設定

後方フラップ角を前述の(1)で設定された値にし、境界

層吸込用ファンの回転数を変えて、前方地面板上の吸込スリット後方位置 (X = 1140 mm, Y = 0) の境界層内の速度分布を測定し、排除厚 δ^* を求める。ファン回転数を上げ境界層の吸込量を増やせば増やすほど、境界層は薄くなるが、横軸にファン回転数、縦軸に排除厚をプロットすると、ファン回転数がある値より高くなると排除厚の減少が鈍る。この時のファン回転数を最適値として定める。

(3) ベルト速度の設定

後方フラップ角を最適値に、基準風速を一定にそれぞれ設定した状態で、ベルト速度を変えて、ベルトの中央位置 (X = 3150 mm, Y = 0) で境界層を測定し、排除厚 δ^* を求める。ベルト走行速度を高くすればする程、ベルト表面近傍の気流が速くなり、排除厚は小さくなる。但し、この時ベルト直近の気流速度も一樣流より高くなっていると考えられるが、この領域はベルト面法線方向のわずかな範囲に限られ、航空機模型の地面効果には影響が小さいものと考えられる。ベルト走行速度を横軸に、排除厚を縦軸にプロットし、理想的には排除厚が零になるベルト走行速度を最適ベルト走行速度と定める。

5.2 パラメータの最適値

(1) フラップ角

図 21 は基準風速 40 m/s でフラップ角を変えた時の、風洞軸 (X) 方向の静圧変化を示すものであると同時に、X = 1500 mm から X = 3400 mm の間で測定した静圧を最小2乗法で直線近似して勾配を求めた図でもある。図 21 の直線近似で求めた静圧勾配から、フラップ角を大きくすることによって、静圧勾配が低下することがわかる。

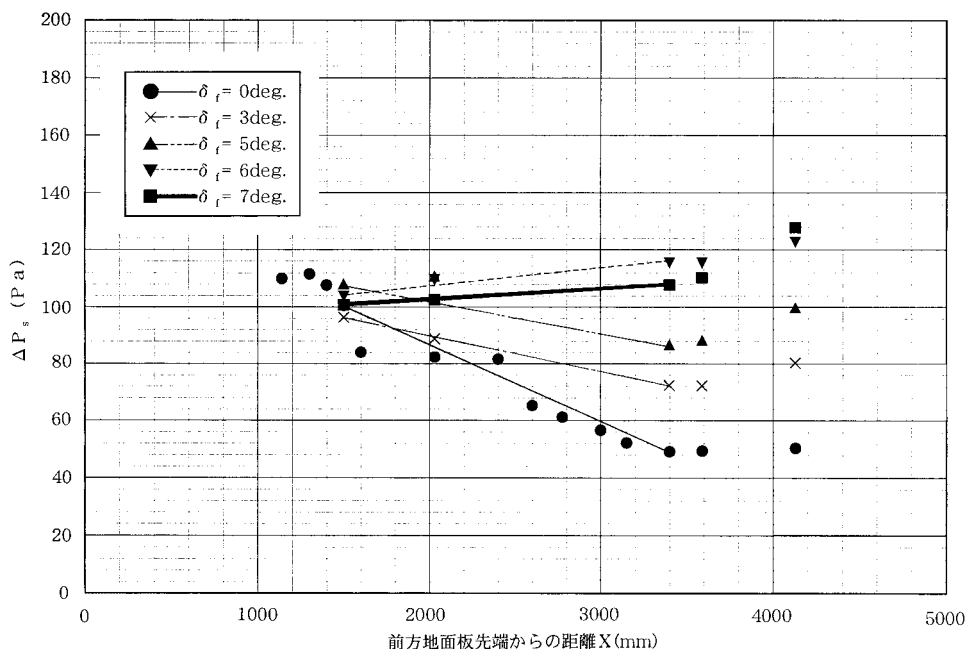


図 21 静圧勾配 (V∞ = 40 m/s)

次に図 21 で求めた静圧勾配の値をフラップ角に対してプロットし、内、外挿により静圧勾配が零になるフラップ角を求めたのが図 22 である。図から基準風速 40 m/s における最適フラップ角度を 5.5 deg. と定めた。このようにして求められた最適フラップ角を基準風速に対して図 23 に示す。基準風速とフラップ角の関係はほぼ比例関係にあり、基準風速が高いときにはフラップ角も大きくする必要がある。図から各基準風速に対する最適なフラップ角 δ_{fs}

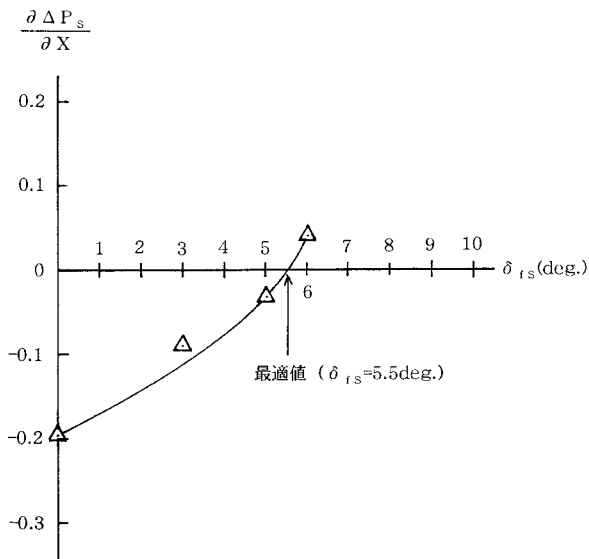


図 22 最適フラップ角の決定
 [$V_\infty = 40 \text{ m/s}$, $V_B = 0$, $Q_N = 0$]

は、基準風速 30 m/s では $\delta_{fs} = 2.5 \text{ deg.}$, 40 m/s では $\delta_{fs} = 5.5 \text{ deg.}$, 50 m/s では $\delta_{fs} = 8.3 \text{ deg.}$ であることがわかった。

(2) 境界層吸込ファン回転数

図 24 は基準風速 40 m/s で境界層吸込ファンの回転数を変えた時の、ベルト中央部の境界層厚さの変化を示したものである。ファン回転数が大きくなるに従って排除厚の変化は、ファン回転数に対して負の勾配をもった 1 本の直線で表される。また、ある回転数以上になると、境界層吸込みの効果は低下し、排除厚の変化はなくなり平坦な直線となる。この両者の線が交わる点、すなわち境界層吸込み効果が鈍り始める点をファン回転数の最適値として定めた。

境界層吸込ファン回転数を図 25 に示す。図から基準風速に対する最適な吸込ファン回転数は、基準風速に伴って大きくなる。基準風速 30 m/s では、 $Q_{NS} = 2300 \text{ rpm}$, 40 m/s では、 $Q_{NS} = 2500 \text{ rpm}$ であることがわかる。図 25 で基準風速 50 m/s に対する最適な吸込ファン回転数は、本風速における最適フラップ角 8.3 deg. では吸込ファンの吸込能力が足りないため、ここではフラップ角が 7 deg. における値 [$Q_{NS} = 2920 \text{ rpm}$ (本吸込ファン回転数の最大値)] を参考値として示した。

(3) ベルト走行速度

図 26 は、基準風速 40 m/s でベルト走行速度を変えた時のベルト中心の排除厚への影響を示したものである。ベルト走行速度が変化しても排除厚に大きな変化は認めら

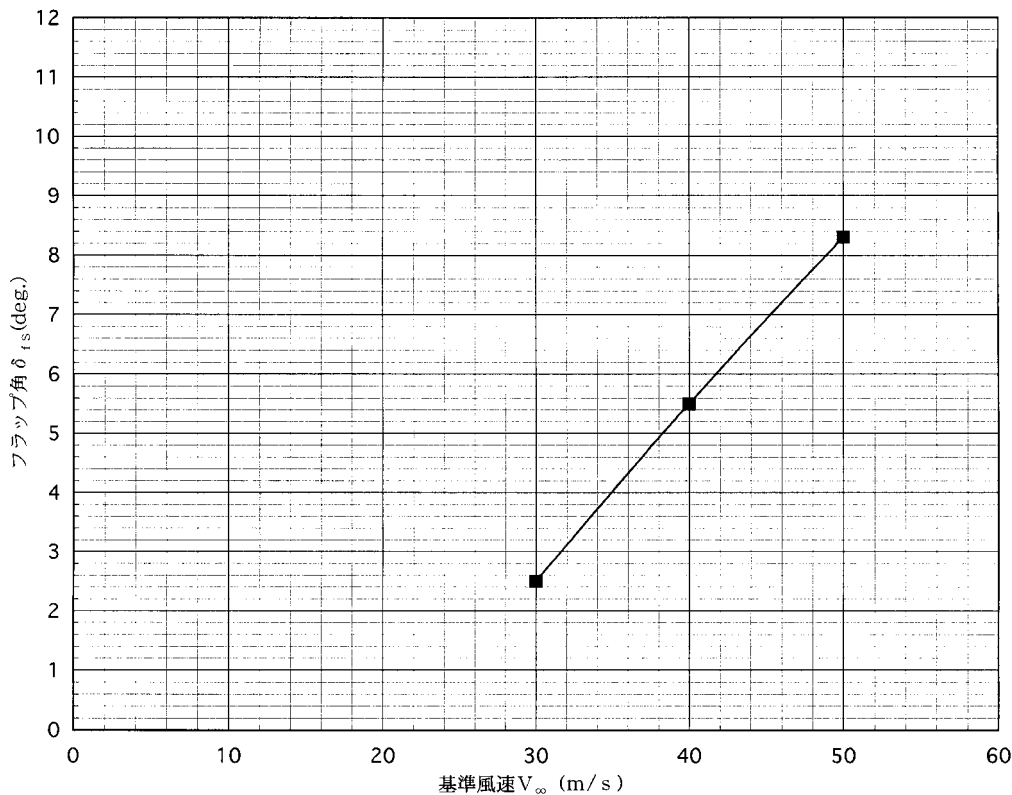


図 23 風速に対する最適フラップ角 (δ_{fs} deg.)

れない。これは、ベルトを一樣流速度より高速走行させてもベルトに引きずり込まれる気流はベルト表面直近に限られ、境界層の大局には影響がないことによる。従って、ベルト走行速度は一樣流速度と同一にして運用することとした。

6. ム - ビングベルト上の気流特性

前項で述べた通り基準風速 30, 40, 50 m/s における本装置の運用時のパラメータであるフラップ角, 境界層吸込ファン回転数, ベルト速度の3つの最適値が求められたので、各パラメータをこれら最適値に設定して、ム - ビングベルト面上の静圧, 境界層厚さ等の気流特性及び地面板として使用可能な有効範囲等を調べた。

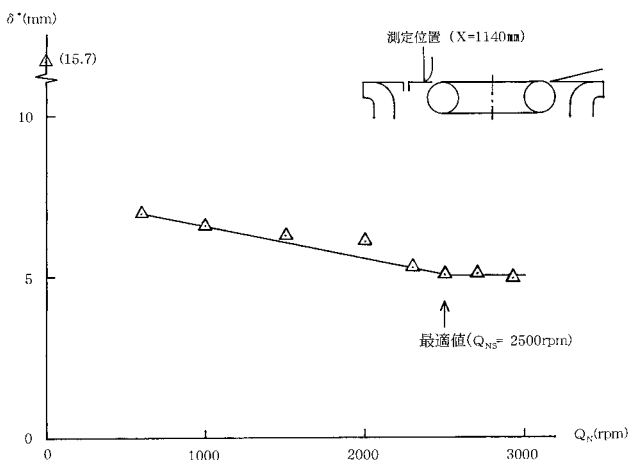


図 24 境界層吸込効果 ($V_\infty = 40$ m/s)

6.1 静圧勾配

(1) フラップ角最適設定時の静圧分布

図 27 の 印は、基準風速を 40 m/s で、フラップ角を 5.2(1)項で求めた最適値 ($\delta_{fs} = 5.5$ deg.) に設定した状態で、図 20(a)に示したくし型ピット - 管最下部を、地面板と接触させないように地面板から 8 mm 離し、一樣流測定用総・静圧管の高さを地面板から 165 mm になるように合わせたくし型ピット - 管を X 方向にトラバ - スさせた場合の静圧

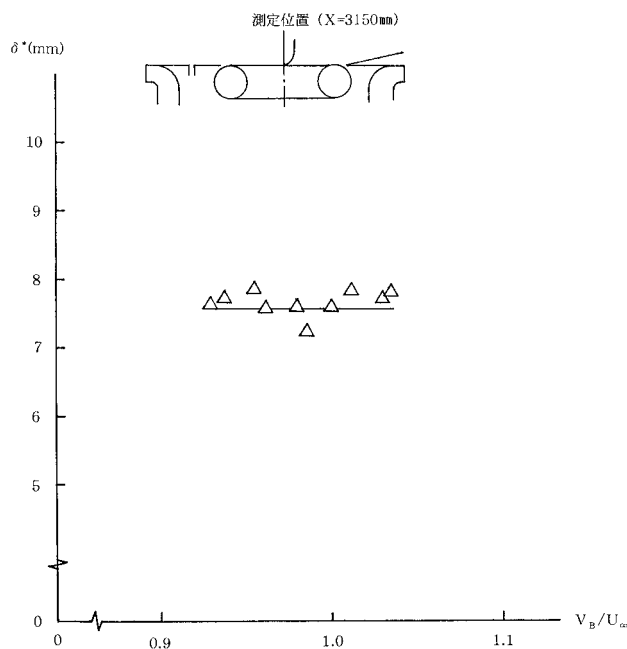


図 26 ベルト走行速度の影響

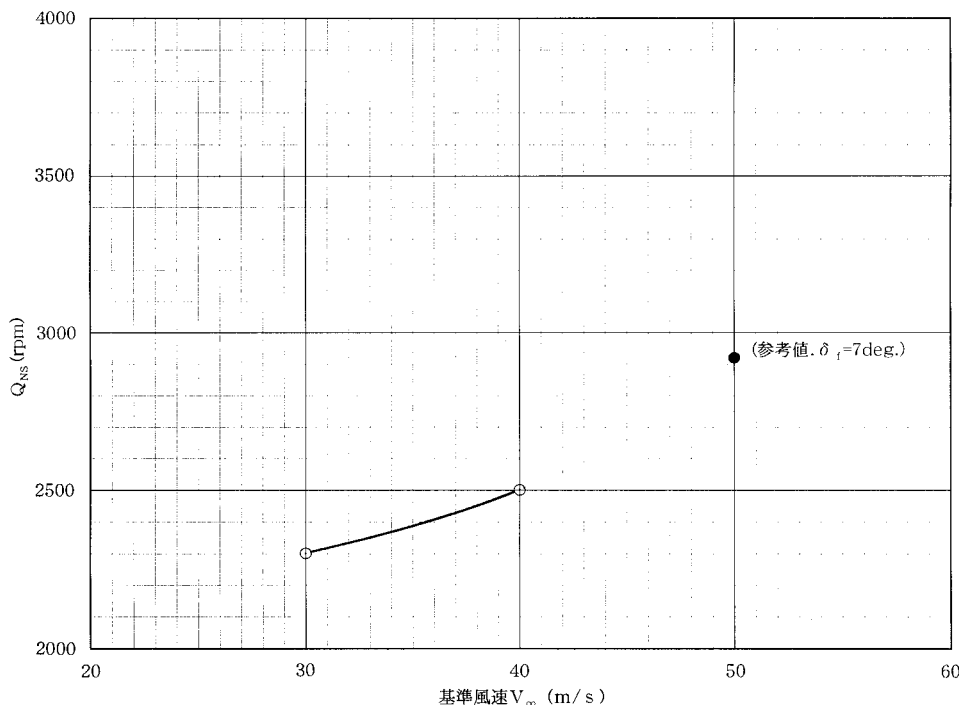


図 25 基準風速に対する最適な吸込ファン回転数

を示す。この場合、ベルト走行速度は零で、境界層の吸込ファンも作動していない。前方地面板からベルト上流端までは静圧は上昇し、その後 $X = 4000$ mm 程度までほぼ平坦となっている。前方地面板からベルト上流端までの上流側の静圧がベルト上面（の静圧）より低くなっているのは、地面効果試験装置が固定壁の測定部に床面より 200 mm 高い位置の高さに設置され、風路の断面積が減少することによるものと考えられる。また、下流側の圧力上昇は、ブロッケ - ジの大きなスティング式模型支持装置があるためと考えられる。

(2) 境界層吸込みによる静圧分布

図 27 の 印は、前項の(1)の最適フラップ角 ($\delta_{fs} = 5.5$ deg.) に加えて最適な境界層吸込み ($Q_{NS} = 2500$ rpm) を行った場合の静圧を示す。前方地面板スリットとベルト上流端 ($X = 1200$ mm) の隙間からの空気吸込みによって、ベルト上流端の下流側 $X = 1600 \sim 3600$ mm の範囲の静圧は、境界層吸込みを行わない(1)の場合に比べて大きくなっているが、ベルト上面での静圧の変化は(1)の場合に比べて小さく平坦となっている。 印の静圧の変化が 印の静圧の変化に比べて小さいのは、吸込スリットによる前方地面板先端から発達する境界層の吸込み効果が顕著であることを示していると考えられる。

(3) ベルト走行による静圧分布

図 27 の 印は、最適フラップ角を 5.5 deg. に設定した状態でベルト走行を行った場合の静圧を示す。ベルトを走行させることによって、従動口 - ラよりやや後方の位置 ($X = 1600$ mm) で静圧の落込みが見られる。これは、

上流側従動口 - ラベルト部と前方地面板（後部）とのすきまから、風洞外の空気がベルトの走行によって引き込まれ、風洞内に吹き出すことによるものと考えられる。

風洞の静圧勾配は、風試における 6 分力デ - タの補正（浮力補正）に関係するが、静圧勾配だけに着目すれば、本地面効果試験装置ではベルト走行は行わないで境界層吸込みを行うだけで十分である。

(4) 境界層吸込とベルト走行の併用による静圧分布

図 27 印は、最適フラップ角 ($\delta_{fs} = 5.5$ deg.) の設定に加えて、境界層の吸込み ($Q_{NS} = 2500$ rpm) 及びベルト走行 ($V_{BS} = U_{\infty} = 37.5$ m/s) を併用した場合の静圧を示す。ベルト走行により、前項(3)の場合と同様ベルト上流側 $X = 1600$ mm と 1800 mm の位置で静圧係数の落込みはあるが、ベルト面上 $X = 2000 \sim 4000$ mm の静圧係数のバラツキは 0.01 以内におさまっており、文献 2) の固定壁による測定部の静圧勾配と同程度であり、しかも図 27 の中の表中の近似静圧勾配による補正ができることから、バラツキ 0.01 の値は風洞試験上妥当であると考えられる。ベルトを走行させるとベルト上流端直後 ($X = 1600, 1800$ mm) での静圧の落込みは避けられないが、ベルト走行により $X = 2000 \sim 4000$ mm の範囲におけるベルト上の静圧の変化は平坦になることを示している。また、浮力補正の必要がある場合には、図中の $X = 1140 \sim 4130$ mm の範囲の 印, 印, 印, データを使って、近似的に求めた最小自乗法による直線近似デ - タ ($\partial \Delta P_s / \partial X$) の値を、浮力補正における参考値とする方が望ましい。

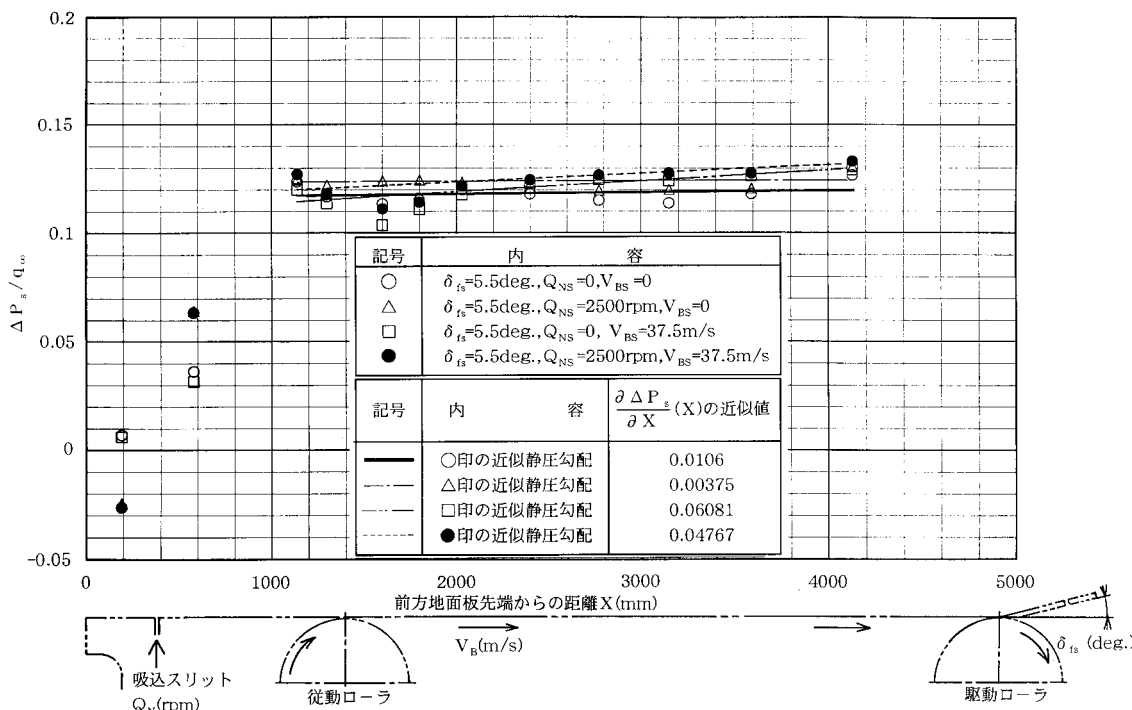


図 27 X 方向の静圧分布 ($V_{\infty} = 40$ m/s)

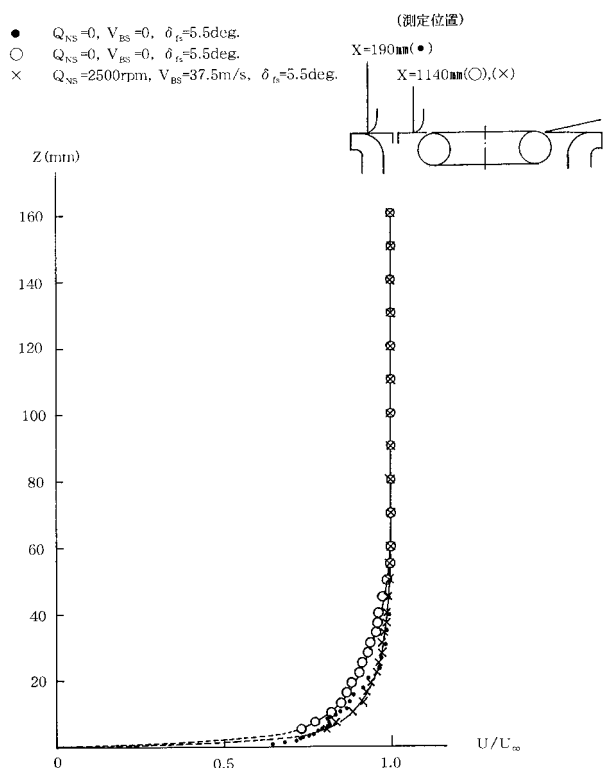


図 28 境界層吸込みの効果 ($V_{\infty} = 40 \text{ m/s}$)

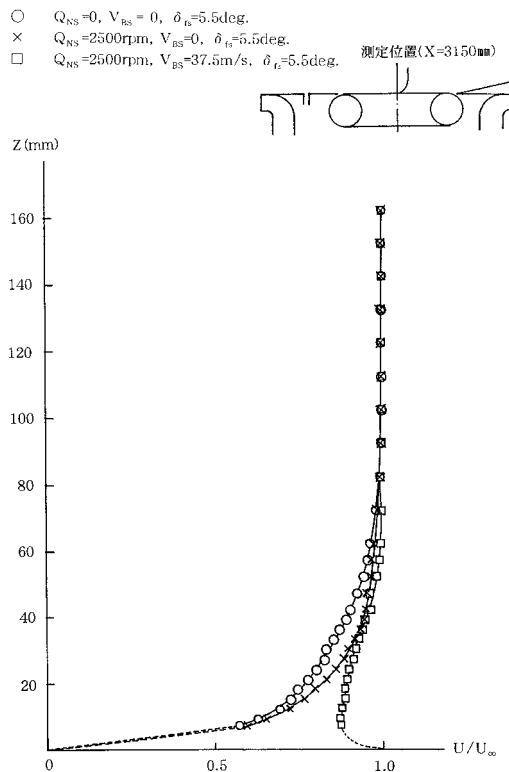


図 29 ベルト走行の効果 ($V_{\infty} = 40 \text{ m/s}$)

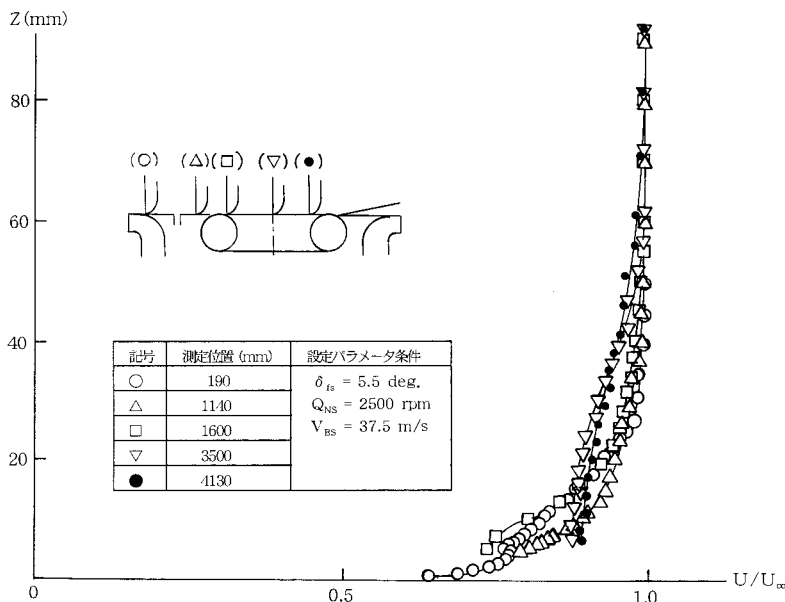


図 30 X 方向の境界層の発達 ($V_{\infty} = 40 \text{ m/s}$)

6.2 速度分布

(1) 境界層吸込みの効果

図 28 は、基準風速が 40 m/s の時の境界層吸込みを最適値に設定し、ベルト走行速度は基準風速 40 m/s におけるベルト中央位置 ($X = 3150 \text{ mm}$) での一様流速度と同一に設定した場合の、前方地面板吸込スリットの前後の位置における境界層内の速度分布を示したもので縦軸は地

面板からの高さ (Z) を、横軸は速度 (U/U_{∞}) を示す。印は、境界層吸込みもベルト走行も行わない場合の境界層吸込スリット前方位置 ($X = 190 \text{ mm}$) の境界層内の速度分布を、印及び×印は、境界層吸込スリット後方 ($X = 1140 \text{ mm}$) の速度分布を示す。印は境界層吸込み及びベルトの走行がない場合であり、図から境界層厚さは約 80 mm 程度である。また、×印は境界層吸込及びベルト走行がある場合の速度分布を示す。これによると境界層

吸込みにより境界層が薄くなり、吸込みの効果が出ていることがわかる。

(2) ベルト走行の効果

図 29 は、境界層吸込ファン回転数とベルト走行速度を最適値に設定した場合のベルト中央位置のベルト面上の境界層内の速度分布を示したもので、縦軸は地面板からの高さ方向(Z)を、横軸は速度分布(U/U_∞)を示す。境界層の吸込みもベルト走行もない場合(印)の速度分布は、境界層の吸込みがある場合(×印)に比べて、より乱流境界層の傾向が強く、明らかに境界層の吸込み効果があることがわかる。それにベルト走行(印)が加わると、ベルト表面の空気がベルトに引きずられて流速が速くなり境界層が薄くなる。ベルト直近の速度分布の測定はできていないが、おそらく、ベルト表面の流速はベルトの走行速度とほぼ同一になっているものと考えられる。

(3) 境界層の発達状況

図 30 は、基準風速 40 m/s においてフラップ角、境界層吸込ファン回転数のパラメータを最適値に設定し、ベルト速度をベルト中央位置($X = 3150$ mm)で代表した一様流速度(37.5 m/s)と同一速度とした場合の一様流方向のベルト表面に発達する境界層の速度分布を示したものである。境界層の速度分布の発達をみると、ベルトの上流端付近を除いたベルト面上では、境界層の吸込みとベルト走行の効果が現れており、ベルトにより空気が引っ張られている様子が見られる。また、ベルトの上流端付

近(印)では速度プロファイルが乱れている。この原因は、前方地面板とベルトのギャップ及びベルトを走行させることにより、上流側の従動口-ラから風洞内に空気が引き込まれることによるものと考えられる。このことは、多孔板付吸込口で行われるベルトに付着した空気の吸い込みが不十分なためと思われる。

6.3 乱れ分布

図 31 ~ 34 は、ベルトを含む地面板中心線上($Y = 0$)の $X = 190 \sim 4130$ mm の範囲の各測定位置における境界層の乱れ分布の測定結果を示したものである。各図において 印は、フラップ角のみを最適値にした場合、印はフラップ角と境界層吸込ファン回転数を最適値に設定し、ベルトをベルト中央位置(3150 mm)における一様流速度と同一速度で走行させた場合の乱れ分布を示している。

図 31 は、境界層吸込スリットより上流の前方地面板上の位置における地面板上の境界層の乱れ分布を示したものである。境界層の吸込み及びベルト走行の効果はほとんど現れていないことがわかる。これは、測定位置が境界層吸込スリット及びム-ピングベルトの上流側にあり、境界層の発達に後方の流れ場の影響が小さいことを意味している。

図 32 は、境界層吸込スリットと上流側従動口-ラの間($X = 1140$ mm)の位置に於ける地面板上の乱れ分布を示したものである。境界層吸込み効果が乱れ分布にも

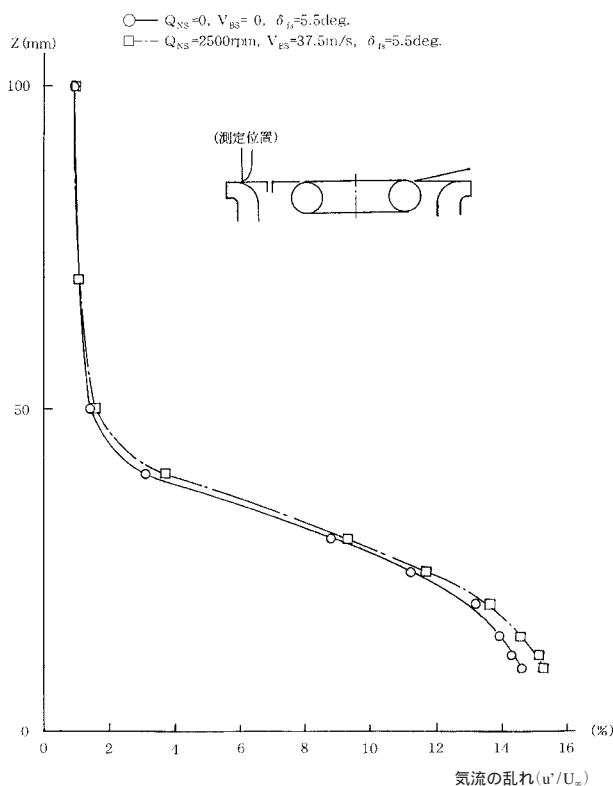


図 31 乱れ分布 [$V_\infty = 40$ m/s, $X = 190$ mm]

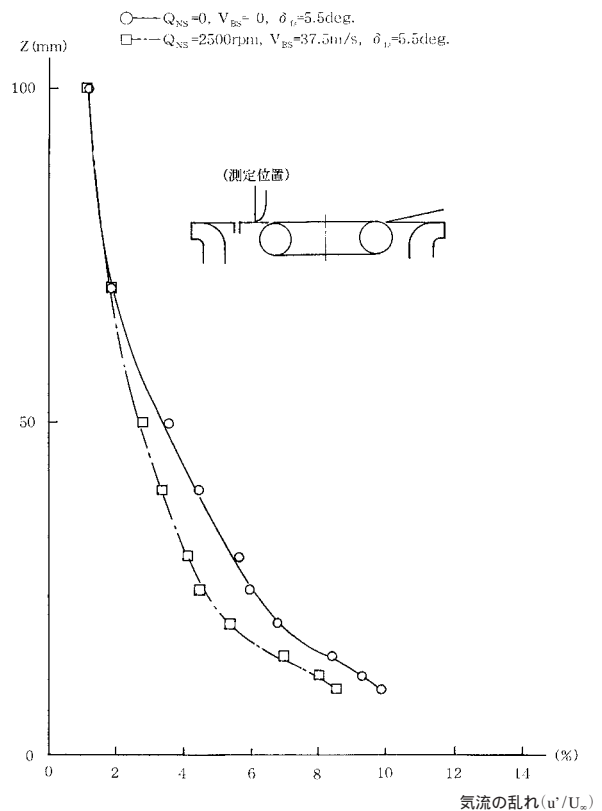


図 32 乱れ分布 [$V_\infty = 40$ m/s, $X = 1140$ mm]

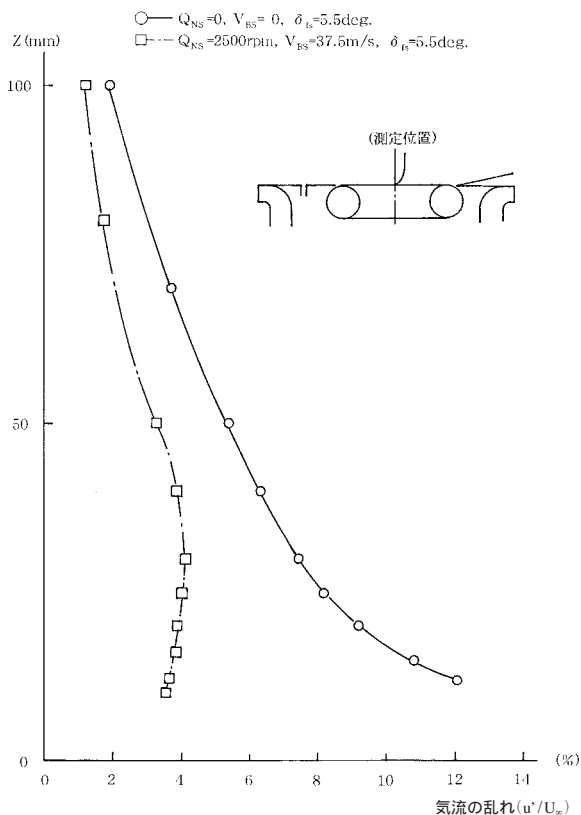


図33 乱れ分布 [$V_{\infty} = 40 \text{ m/s}$, $X = 3150 \text{ mm}$]

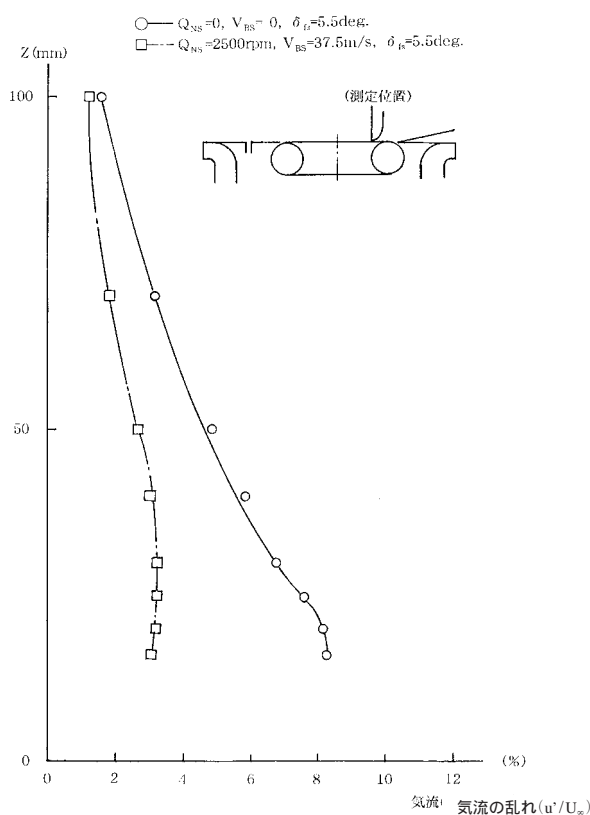


図34 乱れ分布 [$V_{\infty} = 40 \text{ m/s}$, $X = 4130 \text{ mm}$]

現れていることがわかる。また、この位置における平均速度分布形(図28)における境界層吸込み及びベルト走行の効果が大いことと同様に、乱れ分布への吸込み効果も大きい。

図33は、ベルト軸間の中央位置 ($Y = 0$) $X = 3150 \text{ mm}$ における地面上の乱れ分布を示す。境界層吸込み及びベルト走行が無い場合の乱れに比べて境界層吸込み及びベルト走行による効果が明瞭に現れており、境界層内の乱れは大幅に減少していることがわかる。

図34は、ベルト後方 $X = 4130 \text{ mm}$ の位置における地面上の乱れ分布を示したものである。境界層の吸込み及びベルト走行により乱れは大きく減少していることがわかる。

6.4 地面板有効範囲

2.2.1項に述べたように、風洞形状が八角形のため、地面効果試験装置本体のベルト幅は風洞下面いっぱい広げることができなかった。ベルト側端では、風洞外の気流が風洞内に入り込むこと、また、この部分ではベルトが走行していないため、前方地面板からの境界層の発達が大きく、地面板としての有効幅に制限があると考えられるのでこの確認を行った。

(1) X方向の排除厚の変化

図35は、風軸中心線上のベルト表面に発達する境界層の排除厚の変化を示したものである。境界層の吸込みも

ベルトの走行も無い場合(印)の排除厚は、前方地面板上流端から徐々に発達していく。前方地面板上の吸込スリットに境界層の吸込みをかける(×印)と、スリットの直ぐ後方では排除厚が小さくなり、排除厚のX軸方向の変化(×印)は、印の値が縦軸方向にシフトしたと同様な変化を示す。さらに、ベルトを走行させる(印)ことによって、ベルト面上の排除厚は薄くなり、ベルト上面の境界層の発達が抑制される。このことから、本装置における境界層吸込み及びベルト走行の効果は有効な機能を果たしていることがわかる。図で印は、谷³⁾による平板上に発達する境界層厚さの理論式 $\delta = 5.3 \times \sqrt{\nu l / U_{\infty}}$ より求めた排除厚の値を示す。ここで、 U_{∞} は一様流風速 40 m/s とし、 ν の値は、 $1.521 \times 10^{-5} (\text{m}^2/\text{s})$ [大気圧 = 101.325 Kpa (760 mm Hg), 気流温度 = 20 における値] を、 l は前方地面板先端からの距離 $X(\text{mm})$ をそれぞれ理論式に代入して δ の値を求めた。また、 $X = 190 \text{ mm}$ の位置の印、×印、印の排除厚の値が $X = 580 \text{ mm}$ の位置における排除厚の値よりも大きく出ているのは、図2に示す風洞床面壁面より発達する境界層を排除するために設けた前方スクープの吸込みダクトの曲がり部分の形状が急激なために、ここからの境界層の排除が十分に行われていないためと考えられる。このことは、前述した小型スチール製ム - ビングベルト装置でも同様な現象が熱線による乱れ測定の結果から明らかになっていることからもうかがえる。

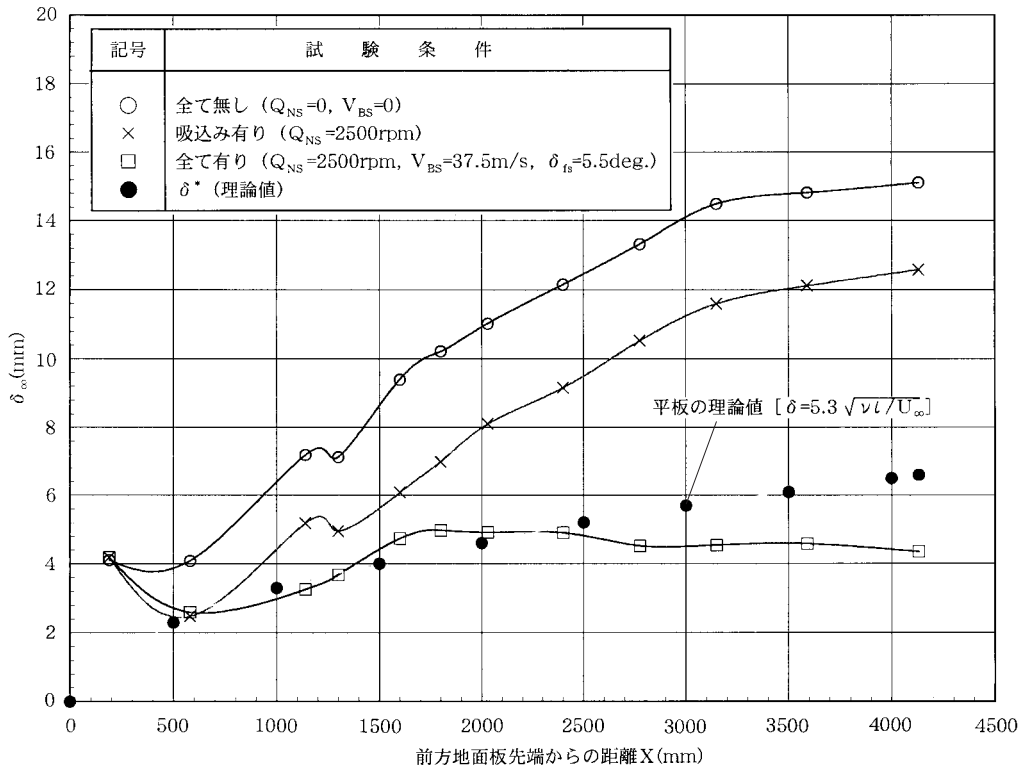


図 35 前方地板吸込みの効果 [$V_\infty = 40 \text{ m/s}, \delta_{fs} = 5.5 \text{ deg.}, V_B = 0$]

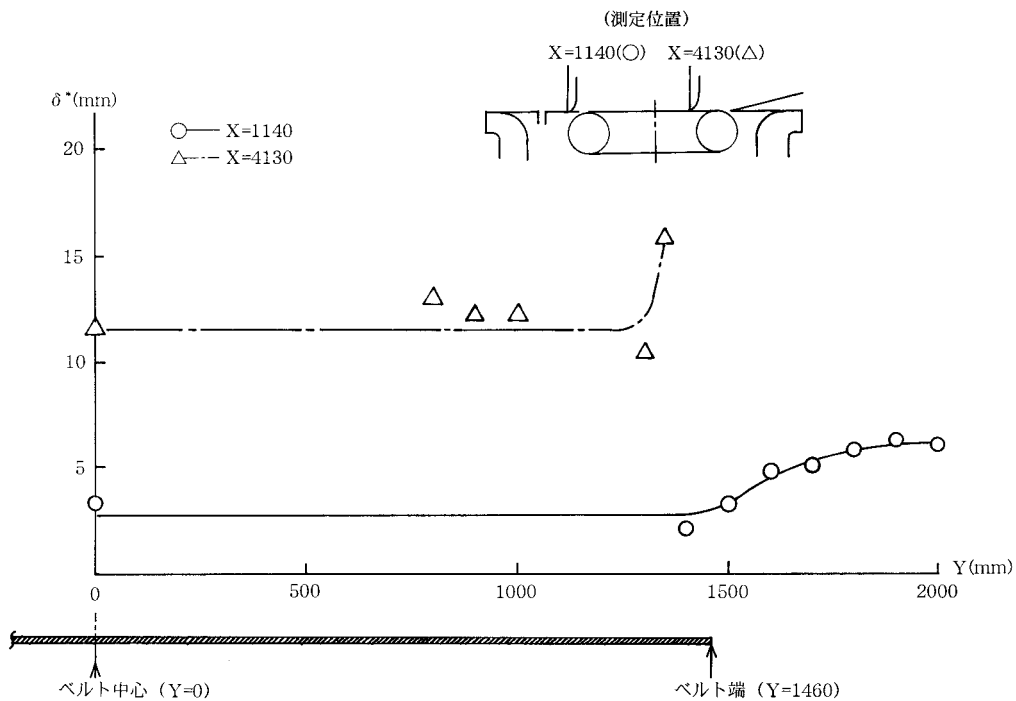


図 36 Y 方向の排除厚の変化 [$V_\infty = 40 \text{ m/s}, \delta_{fs} = 5.5 \text{ deg.}, Q_{NS} = 2500 \text{ rpm}, V_B = 0$]

(2) Y 方向の排除厚の変化

図 36 は、境界層吸込スリットの後方($X = 1140 \text{ mm}$)のベルト幅(= 2940 mm) 中心を Y 方向の基準位置 $Y = 0$ とする Y 方向の排除厚の変化を示したものである。この断面では、 $Y = 1500$ 位から側方に向かって排除厚の緩やかな増加がみられる。これは、ベルトのすきまからの風洞

内への空気の流入及びその外側の側方板の境界層の発達等によるものと考えられる。この図から地板の有効範囲は排除厚が大きくなる Y 方向の位置とし、 $X = 1140 \text{ mm}$ の位置の有効幅と、同様な測定を $X = 4130 \text{ mm}$ の位置でも行いこの位置での有効幅を決定した。

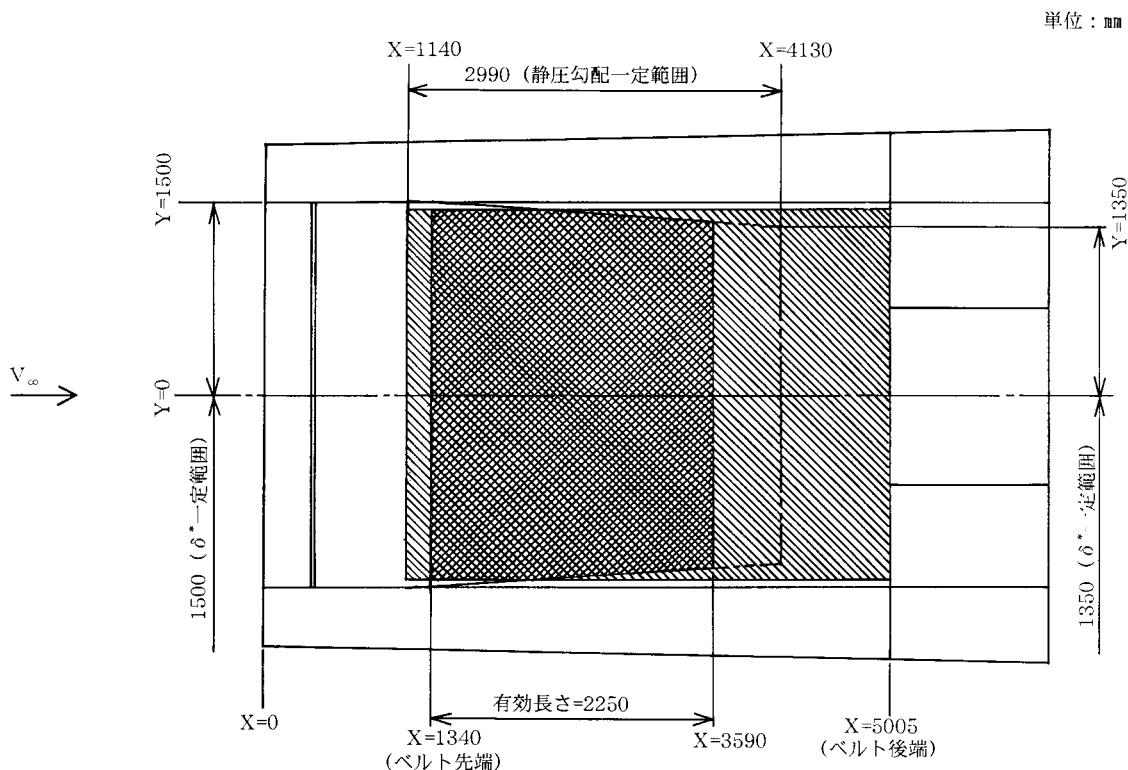




図 37 ムーピングベルトの有効範囲 ()

(3) 地面板 (ベルト面) における有効範囲

図 37 は、前述した 6 項の気流特性試験の結果から求めた地面板 (ベルト面) の有効範囲を示す。ここでは、図をもとにベルトを走行させたム - ビングベルト運用上の、全てのパラメ - タ (フラップ角、境界層吸込、ベルト速度) を全て最適値に設定して運転した状態において、地面板 (ベルト面) として使用可能な有効範囲を定める方法及び結果について以下に述べる。


(a) X 軸方向の静圧勾配からみた有効範囲


地面板の有効範囲を決めるにあたっては、図 37 に示す斜線部 () のベルト面上で気流特性について調べた、X 軸方向の静圧勾配 (図 27) を有効範囲決定のパラメ - タの 1 つとした。図 27 () 印で、ベルト上流端 X = 1600, 1800 mm の位置での静圧の落ち込みが見られるが、ベルト上における X 軸方向静圧測定範囲内での静圧勾配を総体的に見ると、平坦であると見なすことができると考えられる。

(b) X 及び Y 軸方向の排除厚の変化からみた有効範囲

地面板の有効範囲を決める 2 つめのパラメ - タとして、前述した 6.4 (1), (2) 項 (図 35, 36 に示した) の X 及び Y 軸方向の排除厚 (δ*) の変化 (δ* 一定であること) を用いた。図 36 で、X = 1140 mm の位置における δ* が一定になる Y 方向の範囲 (長さ) は 1500 mm である。また、X = 4130 mm の位置における δ* 一定になる Y 方向の範囲 (長さ) は 1350 mm である。

(c) 地面板 (ベルト面) の有効使用面積

図 37 で、地面板 (ベルト面) の有効使用面積は、(2).(a) 項、(2).(b) 項で前述した X 軸方向の静圧勾配一定の範囲と、X 及び Y 軸方向の排除厚一定の範囲を定め、最終的にベルト面上で両者の条件が合致する範囲 () 印で示すほぼ台形に等しい部分) を作図上から求めた。

以上により、ム - ビングベルト上で使用可能な地面板の有効範囲は、図 37 で示した台形 (上底 = 2700, 下底 = 3000, 高さ = 2250) の面積部分 [網目で示した () 印で示すほぼ台形に等しい部分] であることがわかった。

7. あとがき

当所大型低速風洞に、航空機の着陸時の地面効果試験を実施することができるム - ビングベルト式の地面効果試験装置が整備された。本報告ではこの装置のハ - ドウエアの概要、装置の機能について述べるとともに、静圧勾配及び地面効果試験装置のベルト面上の境界層内の速度分布及び乱れ分布等の気流特性の測定結果について述べた。ここで得られた結論は以下の通りである。

- (1) 本実験により、地面効果試験装置を使用する場合の運用上の設定パラメ - タ (δ_{fs}, Q_{NS}) の最適値を決めた。また、同時にベルト走行速度は、一様流速度に合わせることで妥当であることも示した。

- (2) 地面効果試験装置の地面板としての有効な範囲を求めた。
- (3) 前方地面板を含むベルト面上の速度分布、静圧を測定し、測定部の静圧勾配、排除厚及び境界層の乱れ分布から判断して、前方地面板のスリットからの境界層の吸込み、ベルト走行の効果は非常に有効であることを確認した。

また、今後の技術課題として、以下の事項が明らかとなった。

- (1) ベルトの上流部分の前方従動口 - ラ付近の境界層の速度分布、X方向の静圧分布が滑らかでない。原因を明らかにして対策を行う必要がある。
- (2) 風洞測定部に地面効果試験装置を装着することにより、風路断面積が不連続に変わり、静圧が急激に変化し、地面板としての使用可能範囲が狭いものになっている。前方地面板を上流側に延長する等の対策を行って、静圧変化が平坦となる範囲を広げる必要がある。
- (3) ベルト下面の吸着に関して、風洞風速の上昇とともにベルト表面が浮き上がり、ベルト面が上下に振動

し、ベルト面上の境界層を厚くし、乱れを大きくしている。ベルト吸着ファンの吸込み能力を上げる等の対策を行い、ベルト表面が風洞内に浮き上がる効果を少なくする必要がある。

おわりに、本地面効果試験装置を設計製作するにあたっては、受注先である三菱重工業株式会社神戸造船所ならびに設計製作の担当会社である株式会社童夢の関係者には、風洞（スティングカ - ト側）の限られた制約条件の中で終始当所からの意向を設計に反映させるべくご協力を頂いた。その結果、国内最大級のム - ビングベルトを完成させることができた。この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 広岡貫一、高橋 宏；大型低速風洞のム - ビングベルト装置，日本航空宇宙学会誌 19 巻第 206 号，1971 .
- 2) 海老沼幸成他；大型低速風洞の特性試験 (1) .
気流検定試験 ，航技研資料，TM-334 1977 .
- 3) 谷 一郎著；流れ学 第 3 版，岩波全書発行 . 1967 .

航空宇宙技術研究所資料 724号

平成10年2月発行

発行所 科学技術庁航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1
電話(0422)47-5911 ㊦182
印刷所 株式会社 東京プレス
東京都板橋区桜川2-27-12

© 禁無断複写転載

本書(誌)からの複写, 転載を希望される場合は, 企画室調査普及係にご連絡ください。

Printed in Japan