

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-565

航技研 2m×2m遷音速風洞用壁圧分布測定装置の開発

榑原盛三・沢田秀夫・鈴木弘一
中村正剛・細江信幸

1987年3月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

1. まえがき	1
2. 開発の要点と装置の概要	3
2.1 開発の要点	3
2.2 製作上の留意点	6
2.3 装置の概要	8
3. 装置の機構部詳細	13
3.1 静圧レール	13
3.2 直線運動軸受部	15
3.3 直線運動軸（案内板）	17
3.4 スキヤニバルブ用コードと巻取ドラム	17
3.5 駆動用ワイプリー機構と伝動力	17
3.6 静圧レールの駆動と位置検出機構	21
4. 装置の組立要領と試験結果	22
4.1 側壁用静圧レールトラバース装置の組立	22
4.2 床用静圧レールトラバース装置の組立	25
4.3 風洞試験結果	25
5. むすび	26
6. 記 号	26
7. 文 献	27
8. 付 録	28

航技研 2m × 2m 遷音速風洞用壁圧分布測定装置の開発*

榑原盛三** 沢田秀夫** 鈴木弘一**
中村正剛** 細江信幸**

Development of Wall Pressure Measuring Apparatus for an Existing Transonic Wind Tunnel Test Section

Seizo Sakakibara, Hideo Sawada, Koichi Suzuki,
Seigo Nakamura and Nobuyuki Hosoe

Abstract

An apparatus for measuring ventilated wall pressure distributions in NAL's 2m × 2m transonic wind tunnel was developed. Firstly described in this paper is the necessity for transonic wind tunnel test section pressure distribution data. Secondly, the construction and function of each component of the apparatus, which were designed for the transonic wind tunnel without altering the existing wall configurations, are described. Finally, typical examples of pressure distribution data obtained with this apparatus are shown. The result of detailed analysis of this pressure distribution data will be separately reported.

1. まえがき

ここに述べる測定部側壁面及び床面の圧力分布測定ルール(以下、静圧ルールと略称する。)トラバース装置(図1, 3)は、当研究所に設置されている2m × 2m 遷音速風洞¹⁾の壁干渉の効果を修正する試験研究^{2) 3)}に供するため開発したものである。

通気性が無い所謂固定壁の測定部を持った風洞では、気流の速度が音速に近づくと模型の存在によって気流の閉塞現象が起こるため、風洞試験に使用できる遷音速気流を得ることができない事は良く知られている。これまで、多くの試験研究を重ねた結果、この現象は、通気壁を採用することによって回避することができるようになった⁴⁾。爾来、通気性を与え

るため壁面に多数の小孔、あるいは溝を設けた測定部(通気壁)を持った風洞が遷音速気流を実現できる設備として航空機の研究開発などに広く使われている²⁾。しかしながら、この通気壁は模型と空力的に干渉するため、実機の現象を正しく模擬できない場合がある⁵⁾。例えば「レイノルズ数の食い違いによるものか、あるいは通気壁からの干渉効果によるものか」を判別するには、レイノルズ数を実機に合わせる事が難しい現状にあるので、この壁からの干渉の効果を評価することが出来る技術を確認しておくことは重要である⁶⁾。このように通気壁からの干渉は、遷音速風洞の信頼性を損なう重大な問題の一つとして認識することができよう。したがってこの問題には、早くから取り組まれていたが⁷⁾、それらの多くは通気壁の流れを理想化した数式モデルとして評価しようとしていたのに対し、通気壁の流れの様子は複

* 昭和61年12月19日 受付

** 空気力学第二部

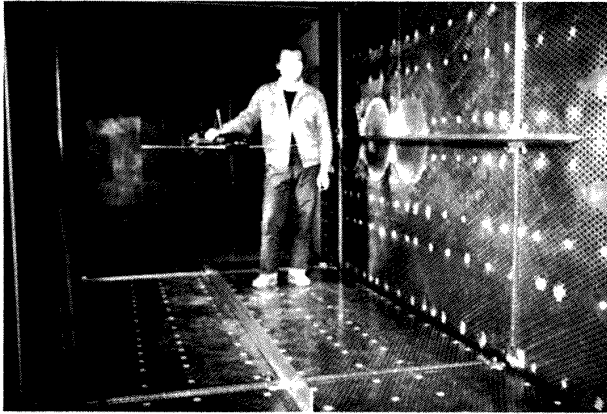


図1 測定部内から見た静圧レールトラバース装置 (ONERA-M5 模型付)

雑さを極め、未だに理解されていない面があるという事情からか、目立った成果は得られていなかったばかりか、ここ10年来の試験研究から不適当であることが明らかになってきた⁸⁾。近年、当研究所を皮切りに諸外国においても次々に、通気壁の流れを取り扱わずに、壁圧分布の測定から壁干渉の効果を合理的に修正できる新しい方法が公表された。例えば澤田の方法^{2) 5)}によると、メカニズムに依って揚力と阻への効果の二種類に分けることが出来る壁干渉の効果は、二次元の場合には、上下壁の静圧、 C_{pup} 及び C_{plow} から次のようにあたえられる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta\alpha &= \frac{c}{2h} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{C_{pup} - C_{plow}}{1 + \frac{2\pi c}{\beta h} (\xi - x)} d\xi + \frac{c}{4h} C_L \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{c}{2h} \frac{(-1)^n}{(2n)!} \left(\frac{2\pi c}{\beta h} \right)^{2n-1} \\ &B_n \int_0^1 (x - \xi)^{2n-1} (C_p^+ - C_p^-) d\xi \\ &= a_0 + a_1 x + \dots \end{aligned} \right\} (1)$$

と展開したときの係数から

$$\left. \begin{aligned} \Delta\bar{\alpha} &= a_0 + \frac{1}{2} a_1 & \Delta C_m &= \frac{\pi}{8\beta} a_1 \\ -\Delta C_L &= \frac{\pi}{2\beta} a_1 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \varepsilon(x) = \frac{\pi}{12\beta^3 h^2} S_p + \frac{\pi C^2}{24\beta^2 h^2} \frac{x_T - C}{C} \cdot C_D \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} &-\frac{1}{2\beta} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2} (C_{pup} + C_{plow}) \\ &\quad \operatorname{sech} \left(\frac{\pi}{\beta} \frac{\xi - x}{h} \right) d \left(\frac{\xi}{h} \right) \\ \bar{\varepsilon} &= \frac{1}{c} \int_{-\infty}^{\infty} \varepsilon(x) dx, \\ \Delta M &= M_{\infty} (1 + 0.2 M_{\infty}^2) \bar{\varepsilon} \end{aligned} \right\} (2)$$

三次元の場合、文献9)を参照されたい。この場合、広大な風洞壁面の圧力分布を高精度に測定することが大きな課題²⁾となり、このため静圧レールや圧力パイプなどを使う方法が試みられている⁸⁾。これまで公表された圧力分布測定法は、いずれも取り扱いの容易さ、経費、データの生産性などの点からみると、満足できるものとは考え難いものばかりである。

風洞壁の圧力分布は、壁面上の位置を表わす x および y 座標と、その位置の静圧の三つの量によって与えられることは言うまでもない。従来から広く行なわれている圧力分布の測定法では、測定位置にオリフィスを設け、これに加わる圧力を検出していた。この方法では、位置を測定する必要がないものの、壁面に数多くのオリフィスを設置しなければならないなど、既設の大型風洞では、実現困難な問題が多かった。本装置は、静圧レール(図3)と呼ばれる一種のプローブを壁面上でトラバースすることによって、既設の風洞に改修工事等の加工をしないでも、風洞壁付近の微小な圧力の分布を容易に測定出来るようにしたものである。即ち、気流方向に長く、薄板状の静圧レールと称する物体の表面には、多数のオリフィスが設けてあるので、風洞壁の x 方向の圧力分布はこれで測定する事ができる。一方 y 方向の圧力分布は、この静圧レールを平行移動(トラバース)することによって測定する事ができるようにしたものであって、本装置は静圧レールにトラバース機能を与えることによって、圧力分布測定用プローブの計測範囲を線から面へ拡張したものであり、これが本装置の特徴である。本装置は、圧力検出探子(静圧レール)部と、これが正しい姿勢を保ちながら予め設定された位置までトラバースさせる機能を持つ制御部、及び圧力分布データ集録部から構成されている。このため、本装置の開発にあたっては、

表1 静圧レールトラバース装置の諸元

項目 位置	測定範囲(mm)		静圧孔 の数	静圧レール寸法(mm)			S.V.格納部寸法(mm)			全長 (mm)	壁面から の全高 (mm)	測定点数 (5cmピッ チのとき)
	気流方向	注1) 上下又は 左右方向		長さ	全高	巾	長さ	全高	全巾			
側壁面用	2600	1787	46	2997	120	5 (35)	356	44.5	51	3177	121.5	1702
床面用	2600	1629	46	2997	108	5 (30)	351	44.5	51	3172	108.5	1518

注)1; トラバース範囲

表2 直線運動軸および直線運動軸受部の主要寸法

項目 取付位置	直線運動軸受				直線運動軸					
	上流側用		下流側用		上流側用			下流側用		
	全巾	高さ*	全巾	高さ*	全高	全巾	全長	全高	全巾	全長
床面用	171	6.5	90	8.5	6.5	40	1814	8	52	1776
側壁面用	120	6.5	160	8.5	6.5	40	1800	8	52	1900

注)* ワイヤ張力調整部(H10×W10)およびテフロンパット格納部(H10.2×W20)を除く。

プローブに関する技術はもとより、トラバースに必要な機構や制御技術が必要である。しかしながら、データ集録及び制御の分野については、後に述べるように既設の計測システムをそのまま使えること、ならびに手作りの簡単なコントローラで実現できたことで、本文では主に、当研究所2m×2m遷音速風洞の三次元的な壁干渉の効果修正³⁾⁹⁾に必要な風洞壁の圧力分布を測定するため開発した静圧レールトラバース装置の機構や構造を中心に述べることにする。風洞壁干渉効果の修正に必要な圧力分布を測定するには、その範囲も測定部の大部分に及ぶ広い面積に亘って行なう必要があり、同風洞の場合、その数は数千点にも達するなど、既設の風洞では大規模な改修工事や多額の経費を要する事態が起り易く、実現が難しい状況にあった。今般開発した静圧レールトラバース装置は、当研究所2m×2m遷音速風洞に何等改修しない現状のままで取付ることができるうえ、計測システムも従来から使用中のままで活用できるので、従来からルーチン化されている

風洞試験と全く同一感覚で、壁干渉の効果修正に必要な圧力分布が測定できる。この種の測定機器は、ますます高精度の風洞試験が要請されている背景²⁾¹¹⁾を考えると、今後も盛んに使われるものと思われるのに対し、試験研究に重要な役割を演じているこれら測定器材に関する詳しい文献は、殆ど見当たらないのが現状である。本文の前半では、本装置の開発の問題点と機構の詳細を、また後半では取り扱い上の注意点を述べ、風洞試験の結果についても、簡単に触れることとする。

2. 開発の要点と装置の概要

2.1 開発の要点

当研究所2m×2m遷音速風洞の三次元的な壁干渉の効果修正に必要なデータは、四壁面に関する圧力分布であるので、本トラバース装置は、各壁面に1台ずつ計4台を、用意するのが理想である。今回は左側壁および床面用の2台だけを試作し、模型を

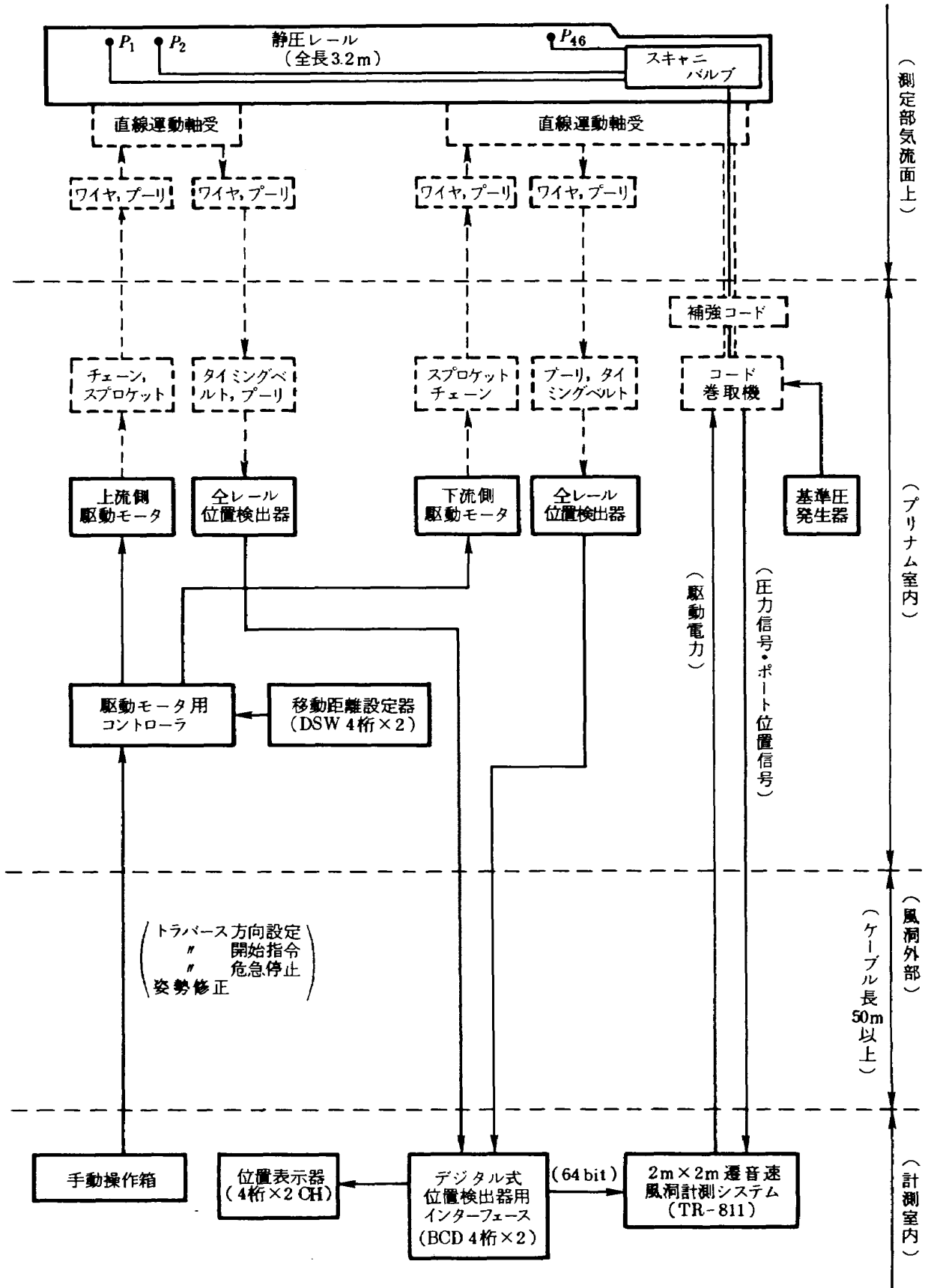


図 2 静圧レールトラバース装置系統図

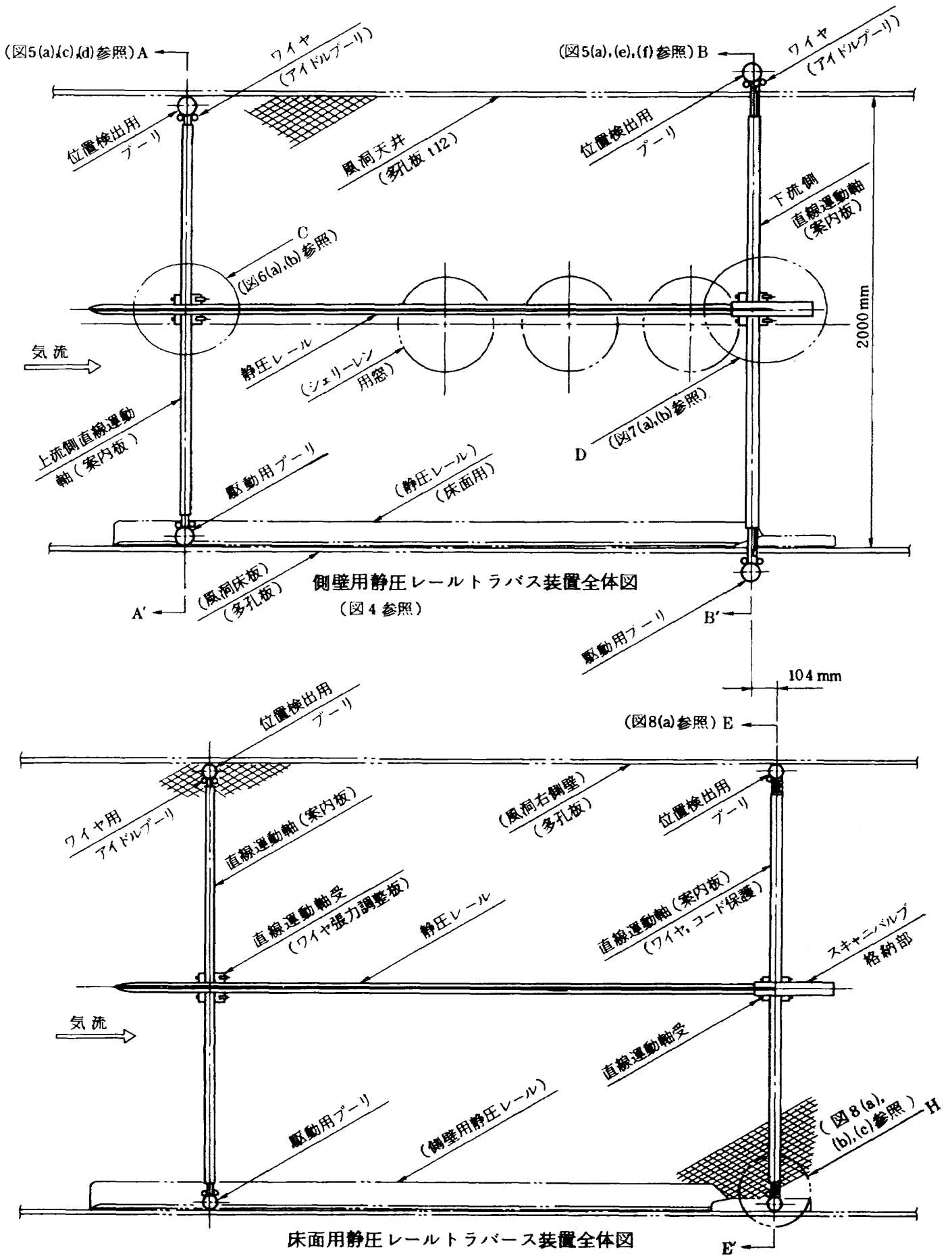


図3 2m×2m遷音速風洞用静圧レールトラバース装置機構部全体平面図

90度あるいは180度回転させて相対位置をそれぞれ床面が右側壁面に、あるいは左側壁面が右側壁面に変更して不足分を補うことにした。静圧レール(図3, 図6(a)⑩)は風洞軸方向の壁付近の圧力分布を測定するプローブとして使用出来ることは上にも述べた。風洞軸方向の圧力分布の測定範囲とその数は、静圧レールの長さとおリフィスの位置、あるいは数を適当に選ぶ事によって決める事ができる。また横方向の測定範囲と数は、トラバース範囲と停止位置の数から決まる。このようにして測定部壁面の任意の位置の圧力分布は、測定出来るものと考えた。圧力検出には、現在稼働中のスキュニバルブ(以下 S.V. と略称する。)を搭載すれば、測圧導管の全長を大幅に短縮する事ができ、圧力伝播遅れの問題も解決出来るばかりでなく、計測システムには何等手を加える必要がなくなる。現用の S.V. は1台あたり、48箇所までの圧力測定が可能であるから、S.V. を搭載した静圧レールトラバース装置が測定出来る圧力点数は多い。例えば、今般開発した側壁圧力分布測定用レールトラバース装置の場合では、トラバース範囲が最大約1.8mであるから、5cmの刻みでトラバースすれば、測定点数は実に $(180/5+1) \times 46 = 1702$ 箇所に達する(表1, 本装置では、48点の内、2点は基準圧測定用として使っているため、46となった)。このように多数箇所の圧力が1台の圧力変換器によって測定出来るという事は、圧力変換器やシグナルコンディショナーなどの違いに起因して入り込む誤差がなくなることを意味し、測定精度を確保するうえできわめて有利であることも見落としてはならない特長である。しかしながら、風洞に改修を加えずに、壁面上でこのような静圧レールをほぼ全幅に亘って横、あるいは垂直方向にトラバースするには、次の問題を解決しなければならない。

(1) 長尺で薄い静圧レールを高速気流中で風洞壁に正しい姿勢で固定し、必要に応じ所定の位置までトラバース出来る直線運動軸(案内板)系、および駆動機構を開発すること。

(2) 風洞に加工することが許されないため、気流面上に固定しなければならない部品は、測定に悪影響を与えない形状にすること。

(3) 高速気流中で、長い距離を繰り返し往復運動

する静圧レールに搭載してあるS.V.に対し、電力や信号(電気, 空気)を容易に送受信することが出来る装置を開発すること。

(4) 静圧レールが風洞軸と常に平行を保ちながらトラバースし、また所定の位置に正確に停止するために必要な位置検出機構を開発すること。

(5) 以上の各機器はもとより、すべての部品は風洞に特別の加工をしないで取付が可能な事などであろう。

2.2 製作上の留意点

当研究所2m×2m遷音速風洞の壁干渉の効果の修正に必要な圧力分布の測定範囲は、測定部のほぼ全域に及ぶため広く、従ってこれらの寸法に応じ静圧レールの全長と、トラバース範囲が長くなるなど、大型化することは避けられない上に、更に風洞への加工も許されないため、各部品は風洞気流面上あるいは測定部の構造部材である枠などに、既設の開口部やネジ穴を利用して固定しなければならない。このうち気流面上に取付なければならない部品は、形状に厳しい制約を受ける。即ち、その気流面からの高さは、壁面境界層排除厚を目安として決め、また平面形は多孔壁の特性に悪影響をあたえないよう配慮して決定する必要がある。従って、大型化し易い駆動力源や位置検出器などは、測定部の内部に設置することはできない。ワイヤは小さい断面形で、大きい力を伝える事が出来るから、風洞気流面上での使用に向いている。また気流面の全幅にわたって、風洞軸に直角に固定されている静圧レールを支持する直線運動軸(図3, 案内板)は、その形状に最も厳しい条件が課されるが、適切に設計すれば、ワイヤやコードを空気力や振動から保護し、切断などの故障を防止する一種のカバーとしても共用できるものと考えた。S.V.は小型のものが製品化されており、静圧レールに容易に搭載できる。問題は高速気流中を移動するS.V.と風洞外にある計測機器との間を結ぶ配線、配管(基準圧用)をどう処理するかにある。これらの配線類は、優れた柔軟性を持った管の中にまとめて通せば、小さい径の一本の管(以下S.V.用(補強)コードと略称する)として取り扱えるので、風洞壁の小さい開口部や間隙を利用して外部へ引き出せるものと考えた。当研究所2m×2m遷音速風洞

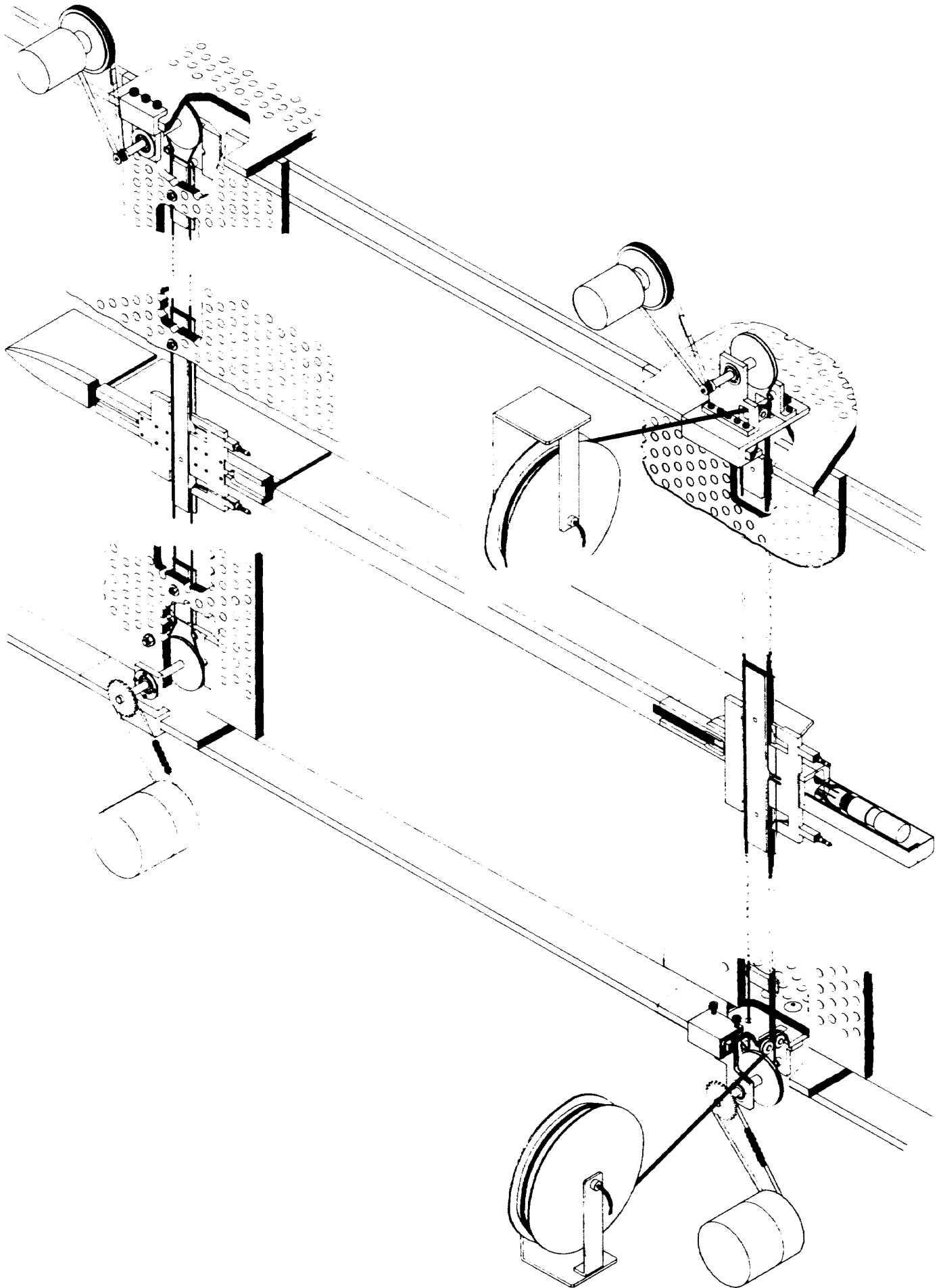


図4 外部から見た側壁用静圧レールトラバース機構全体

の場合、好都合な事に測定部は通気壁であって、四面を厚さ12mmのステンレス鋼板製の多孔板で囲まれているので、開口部に不足はなく、また壁面は定盤のように正確な平面に仕上げているので、各部品は壁面に直接正確に固定することができる。この多孔板に部品を取り付ける場合、大きな制約となるのは、構造部材の存在である。即ち、風洞測定部を囲む四壁面は、それぞれ横2m以上、縦4.5mと広い面積となっているのに対し、壁面の板はわずか12mmと薄いので、撓み易いため多数の支持棒と縦通材によって固定されている。例えば、図5(a)の左側に示すように、風洞用構造部材(縦通材)は、気流方向に20cm~40cmの間隔で測定部の外周を囲むように配置されている。気流に直に接する多孔板は、この縦通材に10cm~20cmのピッチで植込まれている支持棒を介して固定されている。従って、多孔板の外周にあるこれらの部材は、配線の際に大きな妨げとなることは言うまでもない。S.V.用コードがこれらの障害物に接触すると、摩擦力によってトラバースの際に大きな抵抗力を発生し、断線などの故障を引き起こす恐れがある。それ故、S.V.用コードが風洞構造部材と接触しないようにプーリで支持し、常に一定の張力を加えておけばよい。このコードを静圧レールの動きに合わせて移動させるために必要な張力は、プーリの抵抗力が小さいので殆ど無視出来るものの、プーリ部でS.V.用コードが運動方向を変えるとき発生する力は、コードの引き出しあるいは引き込みの時に発生する抵抗力の大部分をしめるものと推測できる。このプーリ部で曲げによって生じる力は、コードの材質・構造および径、プーリ径、曲げ角などによって変化することを念頭において、最小の抵抗力になるよう、決めることが重要である。また、このS.V.用コードの移動距離は長く、静圧レールのトラバース範囲に等しい1.8mにも達するから、静圧レールの動きに応じ、コードを巻取りあるいは巻戻す機能と、常に一定の張力を発生する一種の巻取ドラム(図9)を開発する必要がある。本装置用の巻取ドラムとして、電動式も考えたが経費と電氣的なノイズの点で不利と考え、巻取ドラムの回転角度に殆ど関係なく一定トルクを発生する特殊なゼンマイを使うこととした。ドラムの直径を決め

る際には、コードのねじれを抑えるため、ドラムの回転回数が大きくなるよう注意した。本装置の各部品が取り付く場所は、当然測定部の構造部材を形成している位置であって、付近には縦通材や支持棒などの部材が複雑に入り組んでおり狭く、またこれらの部材は溶接構造であるので精度を期待できないので、固定時に精度が要求される部品には、特別の配慮が必要である。また風洞内で組み立て調整しなければならない部品の点数は多く、形状も全長約3.2mの静圧レールや、全長1.9mの直線運動軸(案内板)など、大型であるので、本装置を組み立てるには、多くの時間と手間がかかる。このため、調整点検し易い構造にすることはもとより、ボルト、ナットの径や全長に至るまで、出来るだけ寸法を統一しておくことは、必要な工具やネジの種類を減らし、作業時間を短縮するうえで大きな効果が期待できる。また、本装置には、静圧レールや直線運動軸など、長くて薄板状に加工しなければならない部品が多く、加工の順序や方法が適切でないと、大きな加工歪が発生し易いので、この点にも細心の注意を払う必要がある。

2.3 装置の概要

以上の各点を念頭において、今般、当研究所2m×2m遷音速風洞の3次元的な壁干渉効果の修正に使用可能なデータを得るため試作した静圧レールトラバース装置の概要を、図1~4及び表1~2に示す。図1は、供試模型と共に本装置を風洞に装着した時の測定部内部の全景を示す。図2は、1台分について圧力、電気および動力の伝導系統を示すものであって、今回は同じ構成のものを2台製作したことは、先にも述べた。図3は、本装置の平面形を寸法に忠実な縮尺で引いたものである。図4は側壁用について、風洞外部から装置全体を見たパース図であり、機構部品の位置と形状が良くわかるように描いたものである。これらの図から、静圧レールは直線運動軸受とワイヤによってその運動が拘束され、4個のプーリを同時に回転させることによって、初めて円滑なトラバースが可能である事が分かる。ワイヤプーリによる静圧レールの駆動機構の概念図を示したのが図A1である。

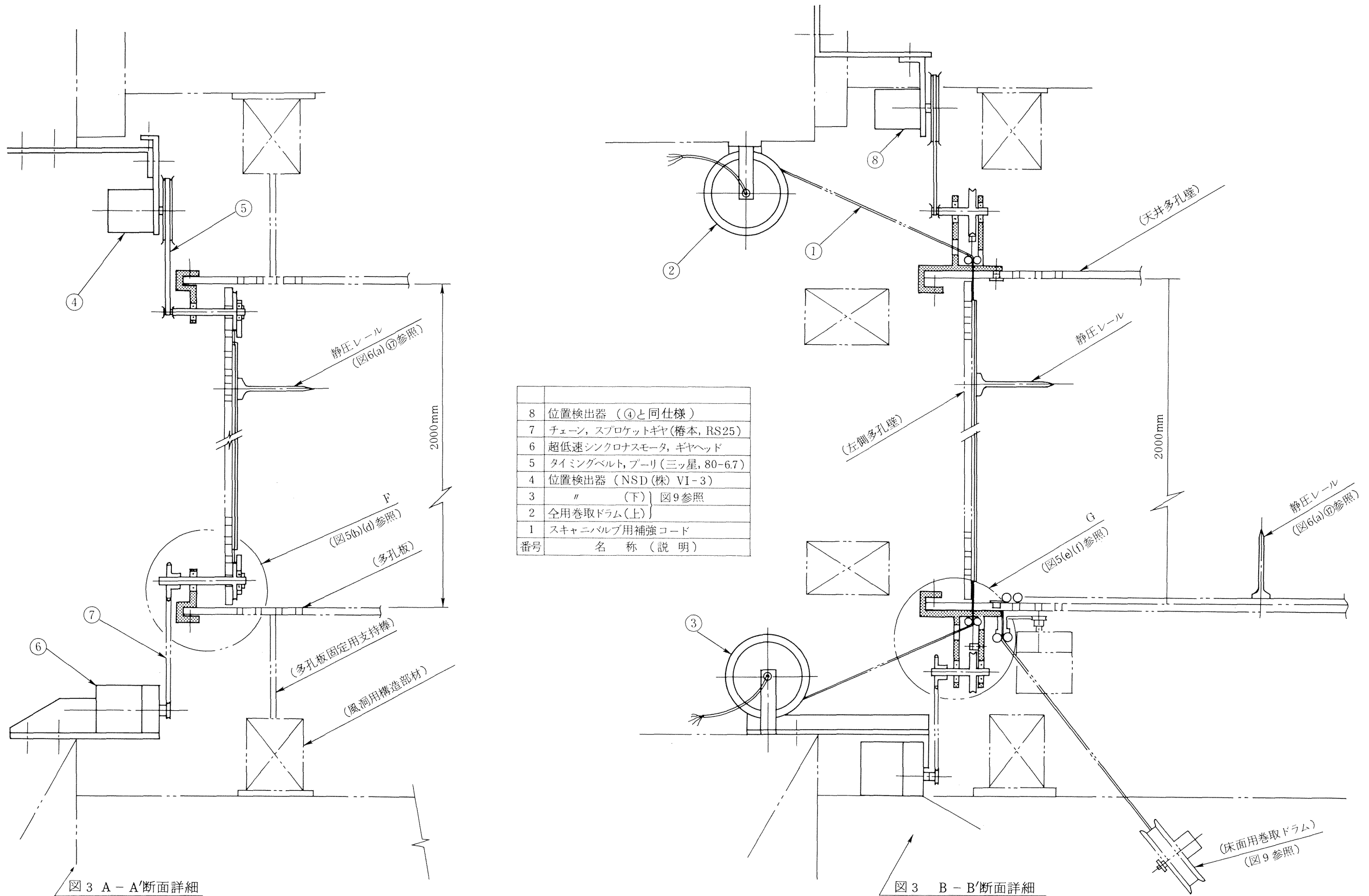
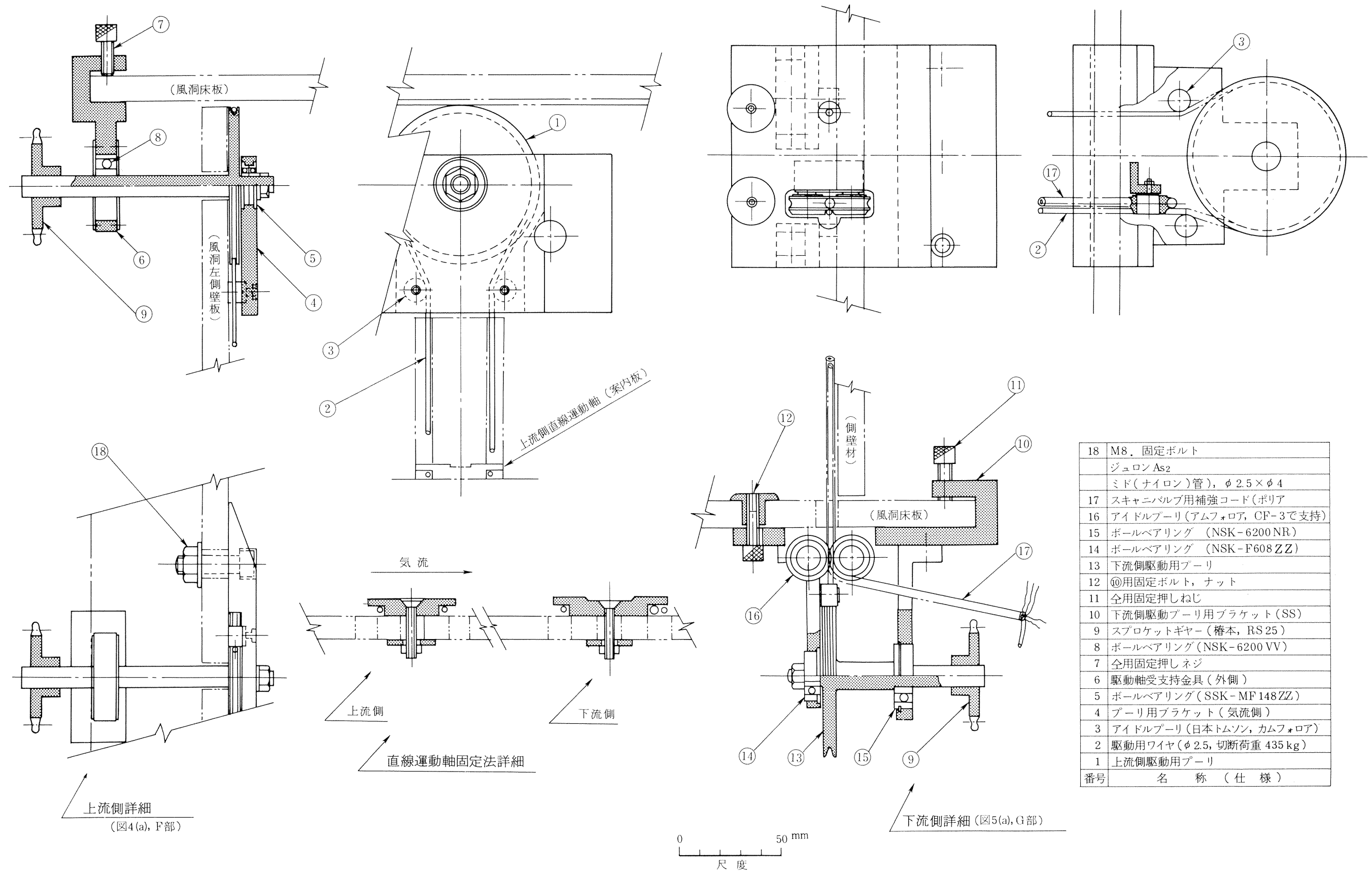


図5(a) 側壁用駆動及びコード取出機構 (図3, A-A'およびB-B'断面詳細)



18	M8. 固定ボルト
	ジュロン As2
	ミド(ナイロン)管), $\phi 2.5 \times \phi 4$
17	スキャニバルブ用補強コード(ポリア
16	アイドルプーリ(アムフロア, CF-3で支持)
15	ボールベアリング (NSK-6200 NR)
14	ボールベアリング (NSK-F608 ZZ)
13	下流側駆動用プーリ
12	⑩用固定ボルト, ナット
11	全用固定押しねじ
10	下流側駆動プーリ用ブラケット(SS)
9	スプロケットギヤ(椿本, RS 25)
8	ボールベアリング(NSK-6200 VV)
7	全用固定押しネジ
6	駆動軸受支持金具(外側)
5	ボールベアリング(SSK-MF 148 ZZ)
4	プーリ用ブラケット(気流側)
3	アイドルプーリ(日本トムソン, カムフロア)
2	駆動用ワイヤ($\phi 2.5$, 切断荷重 435 kg)
1	上流側駆動用プーリ
番号	名称(仕様)

図 5(b) 側壁用駆動及びコード取出機構(図 5(a), F および G 部)と直線軸固定法詳細

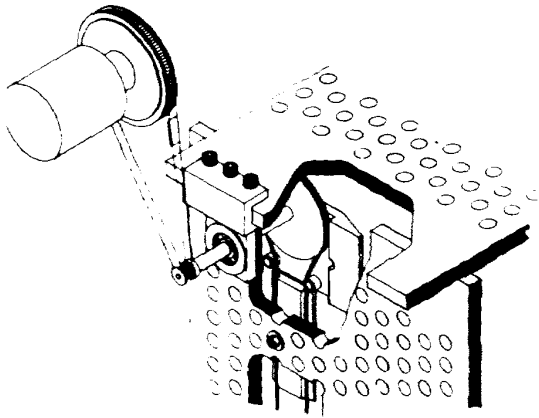


図 5(c) 上流側位置検出機構見取図

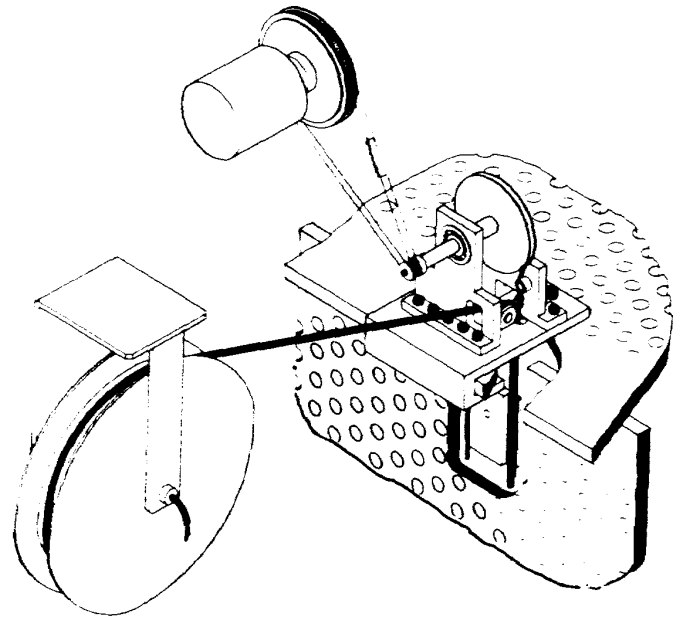


図 5(e) 下流側位置検出機構及びコード巻取系見取図

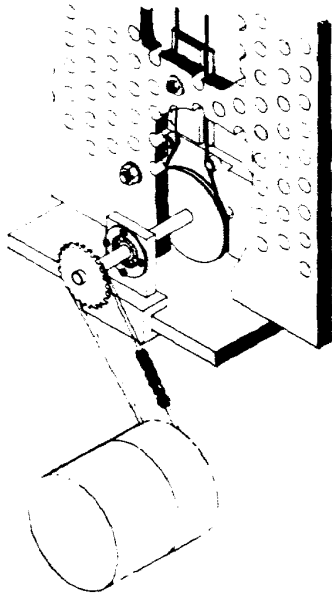


図 5(d) 上流側駆動機構見取図

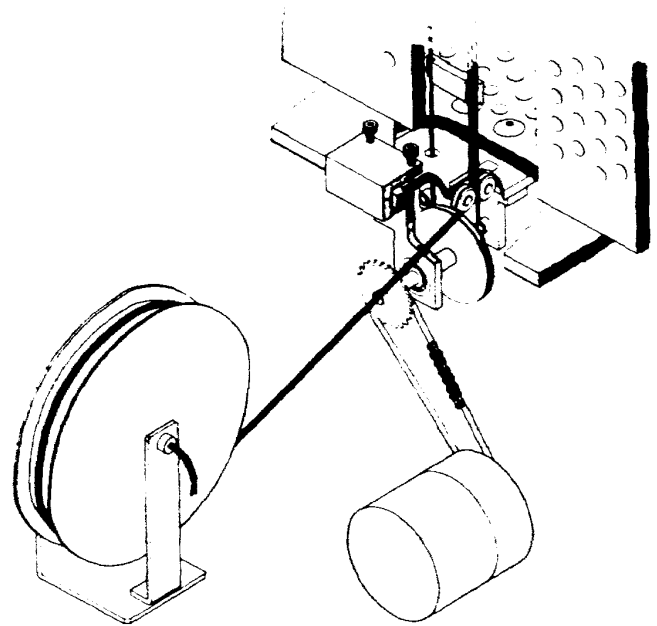


図 5(f) 下流側駆動機構及び巻取系見取図

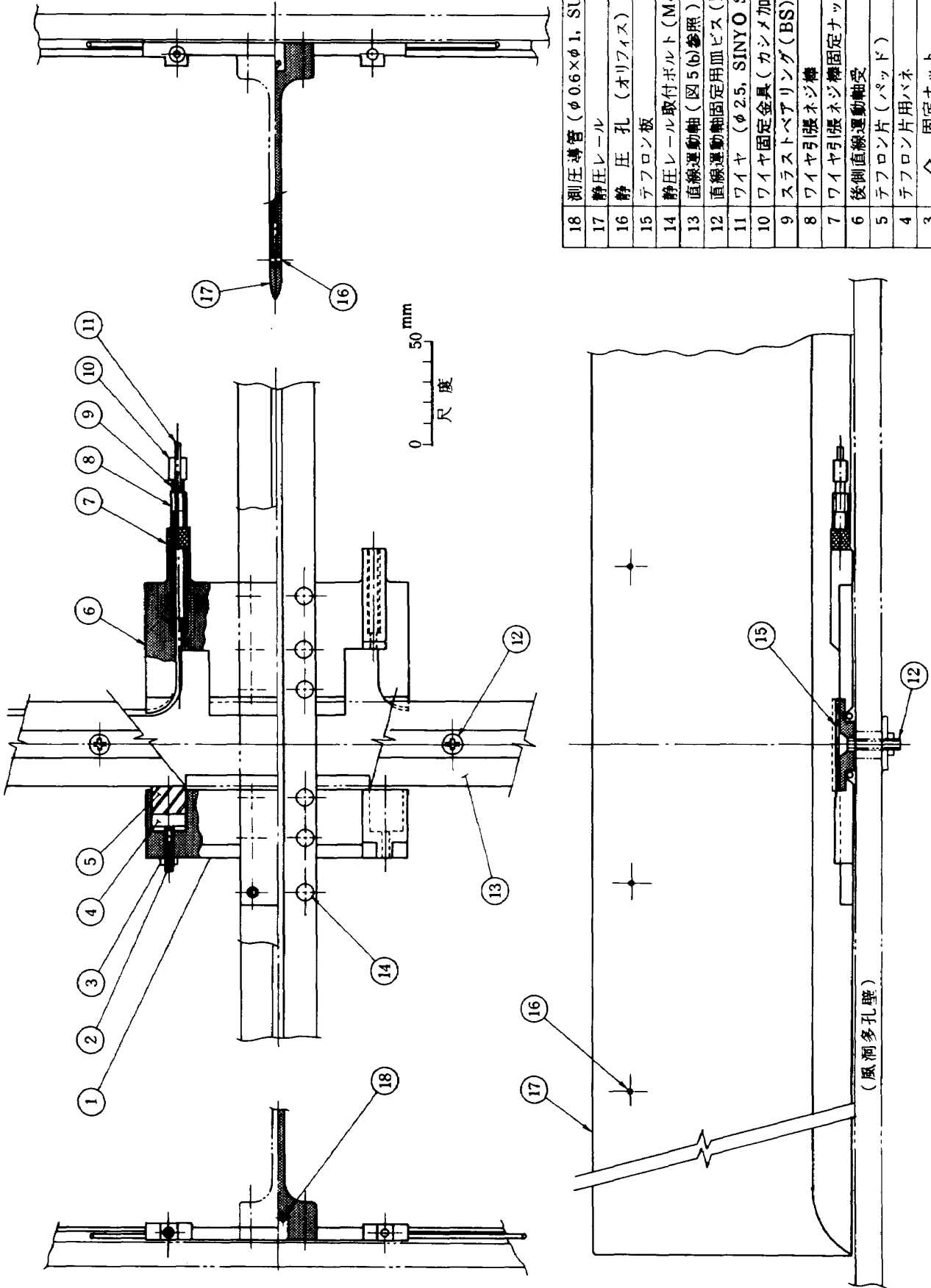
3. 装置の機構部詳細

本節では、図 2 の中で上部に示す機構部品の詳細について述べることにする。

3.1 静圧レール

静圧レール(図 3)は、測定部壁面上を上下又は左右方向にトラバースして、壁面付近の圧力を捉えるため、断面形がレール状で、両側面(厚さ 5mm)には径 0.5mm の静圧孔が貫通している(図 6(a)④⑤)。各静圧孔はレール内部に配管されているステンレス鋼製導管(内径 0.6mm)によって、後部に搭載してある S.V. に接続されている。この静圧レールは S.V. を格納する部分を除き軽くするため一体構造として、幅 120mm × 厚さ 35mm × 全長 3500mm の高力アルミ

ニウム板(JIS 7079)から削り出されたものである。このように強度を確保しながら自重の軽量化を図っても、側壁用の場合のように自重による曲げモーメントに対して、断面係数が小さくなる姿勢で、取付られる場合には、たわみを抑えるため固定位置と方法には注意する必要がある。このレール固定部は同時に、トラバースを可能にする直線運動軸受としての機能も要求されるから、上流側と下流側の二箇所には直線運動軸受を設けた。下流側の直線運動軸受



18	測圧導管 (φ0.6×φ1, SUS)
17	静圧レール
16	静圧孔 (オリフィス)
15	テフロン板
14	静圧レール取付ボルト (M4)
13	直線運動軸 (図 5(b)参照)
12	直線運動軸固定用皿ビス (M5)
11	ワイヤ (φ2.5, SINO SC-250)
10	ワイヤ固定金具 (カシメ加工)
9	スラストベアリング (BS)
8	ワイヤ引張ネジ棒
7	ワイヤ引張ネジ棒固定ナット
6	後側直線運動軸受
5	テフロン片 (パッド)
4	テフロン片用バネ
3	全 固定ナット
2	テフロン片押しネジ
1	前側直線運動軸受
番号	名称, 説明

図 6(a) 上流側直線運動軸及び軸受詳細 (側壁用, 図 3 C 部詳細) と
静圧レール断面

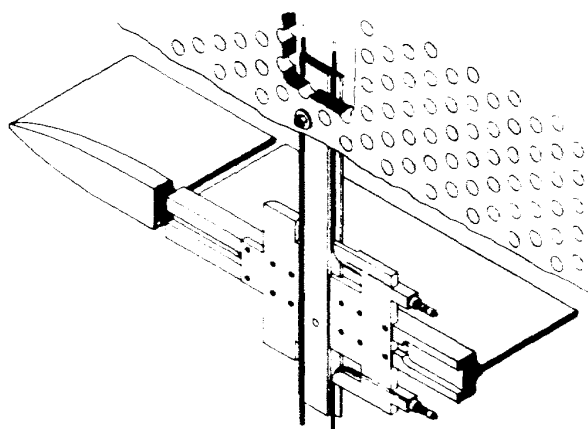


図6(b) 上流側直線軸受機構見取図

部(図7(a)(b))からS.V.格納部の間には、静圧レールオリフィス(図6(a)(16))からの測圧用導管や、S.V.からの配線あるいは固定用ボルトなど多数の部品が集中する。風洞に取付るときには、これらの導管やS.V.の点検や、ボルトの締め付け作業をする必要があるため、その作業性を良くするため、全体を容易に露呈出来るようにすると同時に、測定時には外形を整形できるように着脱容易なカバーを考案した(図3, 図7(a)(11))。なお今般製作した静圧レールは左側壁用と床面用の計2台であり、その寸法は取付姿勢や壁面の状態を考慮して、表1のように僅かに変えてある。

3.2 直線運動軸受部

直線運動軸受部は前項でも触れたように、一本の静圧レールについて、上流側部(図6(a)(b))用と下流側部(図7(a)(b))用としてそれぞれ1組、計2組から構成されている。この部分は静圧レールと一体になって気流面上を往復運動をするので、外形には厳しい制約が加えられる上に、その機能も多彩なものが要求されている。すなわち(1)静圧レールを支持し、軸方向だけの運動を許す直線運動軸受、(2)駆動ワイヤの格納位置決めと締結及び張力の調整、(3)静圧レールの振動及び自重によるたわみ(特に側壁用の場合)防止、更に、下流側直線運動軸受部にはこれに加え、(4)軸受を構成する平板に巧みに明けた穴の中にS.V.用コードを通し、これを軸受部に締結し、あるいは直線運動軸の下側の所定の位置に格納する機能を持っている。この軸受部は壁面上で高速気流に直接さらされるので、その高さ(厚さ)

は直線運動軸と同程度におさえた。このため円滑なトラバースには向いているが、小型化に難点がある転がり式の直線運動軸受の採用は断念し、スライド式の軸受を用い、滑り面には可能な限りテフロン板を使用し、摩擦抵抗の軽減に務めた。また、この軸受部は二分割され、直線運動軸より低い位置で、上流側と下流側の両方向から直線運動軸を挟みこむような形で静圧レールに固定するため、上面には軸受け用の板はなく直線運動軸が気流に露出しており、静圧レールが直線運動軸と交叉して載っている部分に、テフロン板を填め込んで、滑り易くしている(図6(a)(15), 図7(a)(11))。直線運動軸の上流側に取付く軸受にも、左右両端の内部にテフロン片(図6(a)(5), 図7(a)(11))が入れており、これは摩擦力の軽減と取付誤差の逃げに対して有効に作用するものと考えた。このテフロン片は静圧レールがたわんだ際、直線運動軸に接触してたわみを抑えるモーメントを発生するので、トラバース時の抵抗力の増加となる面圧を上げずに、大きなモーメントを得るには、テフロン片の間隔は広い程よい。一方、この間隔の増加により、軸受部の全幅が広がり、トラバース範囲を縮小させてしまう上に、壁面の通気性を変えてしまう恐れがあるので注意する必要がある。静圧レールのたわみを抑えるには、軸受部の形状ばかりでなく、その位置を適切に決める事も重要である。直線運動軸(案内板)の下流側に取付く軸受(図6(a)(6), 図7(a)(2))の場合は、上流側のそれとは可成り違った形状をしており、軸受としての機能の他に、静圧レールに駆動力を伝動し、あるいは定位置に保持し、又は釣り下げるワイヤを締結するための金具であり、また張力調整機でもある。ワイヤの張力は、ピッチ0.75mmの細目ネジを切ったネジ棒(図6(a)(1), 図7(a)(15))によって調整する。上に述べた(4)の機能は、レール下流側で直線運動軸の後側に取付く軸受部(図7(a)(3))が果たしている。さらに、この軸受部はS.V.用コードを外部に引き出す上で重要な働きをしている。即ち気流面上を繰り返し往復運動する静圧レールからS.V.用コードを引き出すには、気流面に接して這わすような形に配線すれば、大型の風洞であるから境界層は厚いため、風洞気流への影響も殆ど無くなるものと推察できるが、全長が最大で約

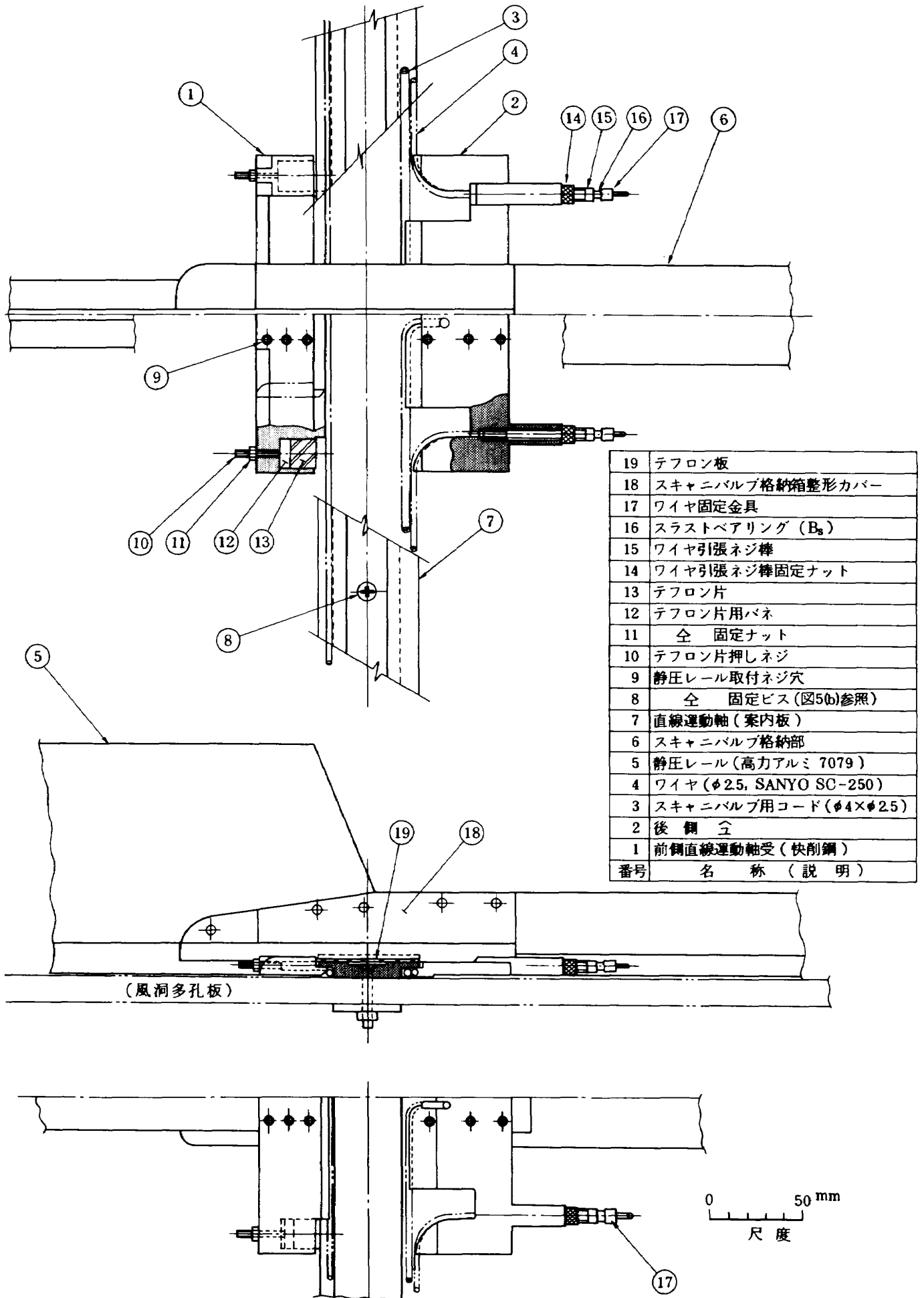


図 7(a) 下流側直線運動軸及び軸受部詳細 (図 3, D 部)

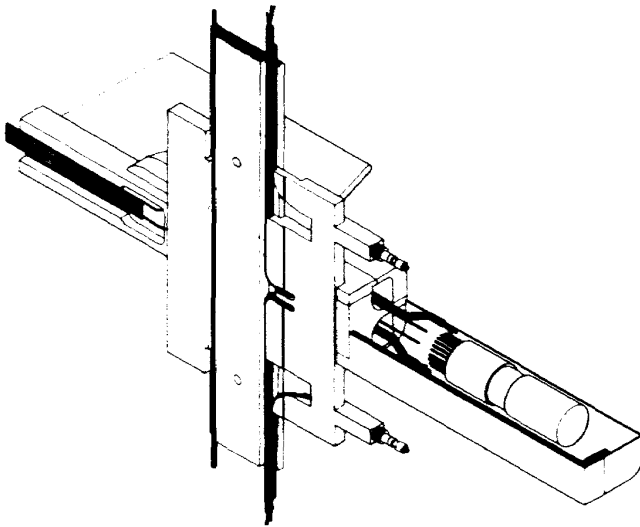


図7(b) 下流側直線運動軸受及びスキヤニバルブ格納機構見取図

1.8 mと長いコードの直角方向に、気流が直接当たるため、小さい動圧でもそれによって引き起こされる張力はかなり大きくなるので、円滑なトラバースの障害になるばかりでなく、断線の危険がある。幸い、付近には壁面から突起した直線運動軸(図7(a)④;案内板)が固定されており、また大きな張力によって一直線に張ったワイヤ(同図④)がコードと全く同一の運動をするから、S.V.用コードはこれらによって囲まれた形に配置することによって空気を避け、初めて円滑なコードの引き出しが実現できる。静圧レールからS.V.用コードをこのような位置まで導くことができるようにするのも、この軸受部の役目である。材料は切削性の良い鋼板である。

3.3 直線運動軸(案内板)

直線運動軸(図3)は凸状の断面形をしており、風洞壁にある既設の通気孔を利用して図5(b)に示す要領で気流方向と直角に固定される。その機能は、上に述べた同軸受と対をなし、静圧レールを正しい姿勢に保持しながら円滑にトラバースさせるための案内機能と、駆動用ワイヤ及びS.V.用コードを高速気流の動圧から保護することである。高さ(板厚)は表2に示すように上流側で6.5mmである。下流側の高さは、S.V.用コードを通し易くする事と、境界層が上流側より厚くなっている事を考え8.5mmとした。平面形は全長がトラバース範囲から決まるのに対し、幅は強度と空力的な影響を考慮して、上流側

で40 mm、下流側で52 mmとした。

3.4 スキヤニバルブ用コードと巻取ドラム

S.V.用コードは、直線運動軸受部の両側から直線運動軸の下側へ導かれ、一直線になるよう常に巻取ドラム(図9)のトルクによって張力が加えられていることは上にも述べた。この張力は軸受け部の両側に同一強さでかかるので、相殺され駆動力には無関係である。静圧レールがトラバースを開始すると、S.V.用コードの張力のバランスが崩れ、これに応じ両側(又は上下)の巻取ドラムが回転し、S.V.用コードの巻取と巻戻しが同時に進行する(図5(a)①~③, (e)(f), 図8(a)①②)。この際、S.V.用コードは、図8(b)(c)に示すように、いくつものアイドルプーリによって繰り返し曲げを受けながら移動するので、S.V.用コードには張力に耐えると同時に、優れた可とう性が要求される。このため、S.V.用コードは外径4 mm×内径2.5 mm×全長3500 mmのポリアミド(ナイロン)管(潤工社As2)を用い、この中に導線と基準圧用ビニール管(線材)を通し、補強と同時に多数の線材をコンパクトにまとめることが出来た。コードの可とう性を一層良くするためには、線材に潤滑剤を塗布すると良く、又こうすることによって線材のナイロン管への通し作業を容易にすることができる。巻取ドラム(図9)は、一種のゼンマイ(図9④~⑥;三光発条(株)製N型コンストン)を動力源として、トルクを発生する。このゼンマイの特長は、ドラムの回転角が一定範囲(本装置では5回転)ならば、回転角に無関係にほぼ一定のトルクが得られ、又ゼンマイを交換することにより、トルクの大きさを自由に選択出来る。なお本装置では、S.V.用コードの張力で1 kgおよび1.2 kg(側壁上側用;補強コードの自重に釣り合わせるため、張力を大きくしてある。)のゼンマイを使ったが、やや不足気味で2 kg程度のほうが良さそうである。

3.5 駆動用ワイヤプーリ機構と伝動力

駆動用ワイヤ(図5(b)②)は、外径2.5 mm×全長4 m程度であって、外径0.16 mmの素線19本を摩擦係数が大きくなる形に撚ったものである(新洋社製SC-250, 切断荷重435 kg)。このワイヤは直線

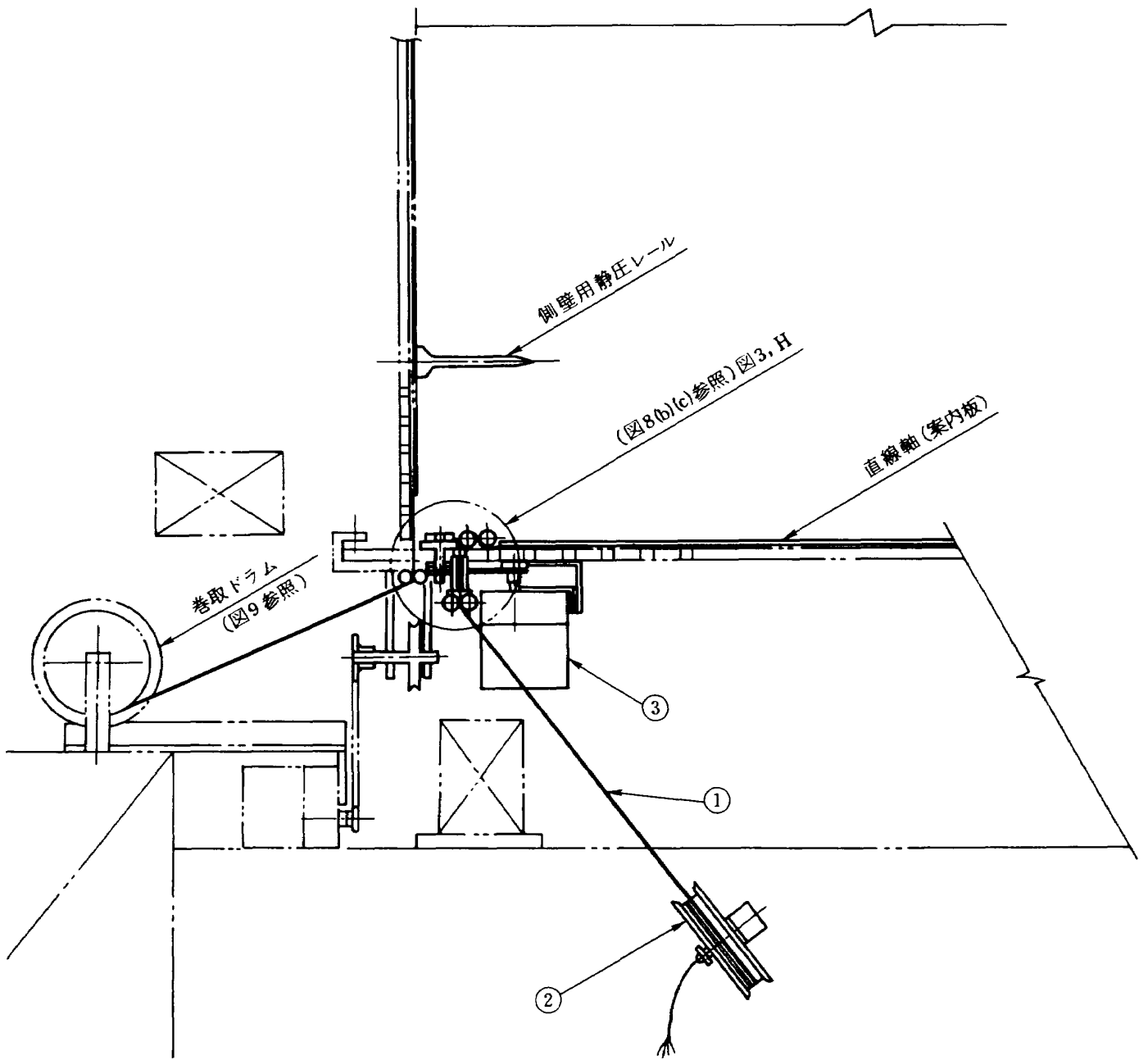
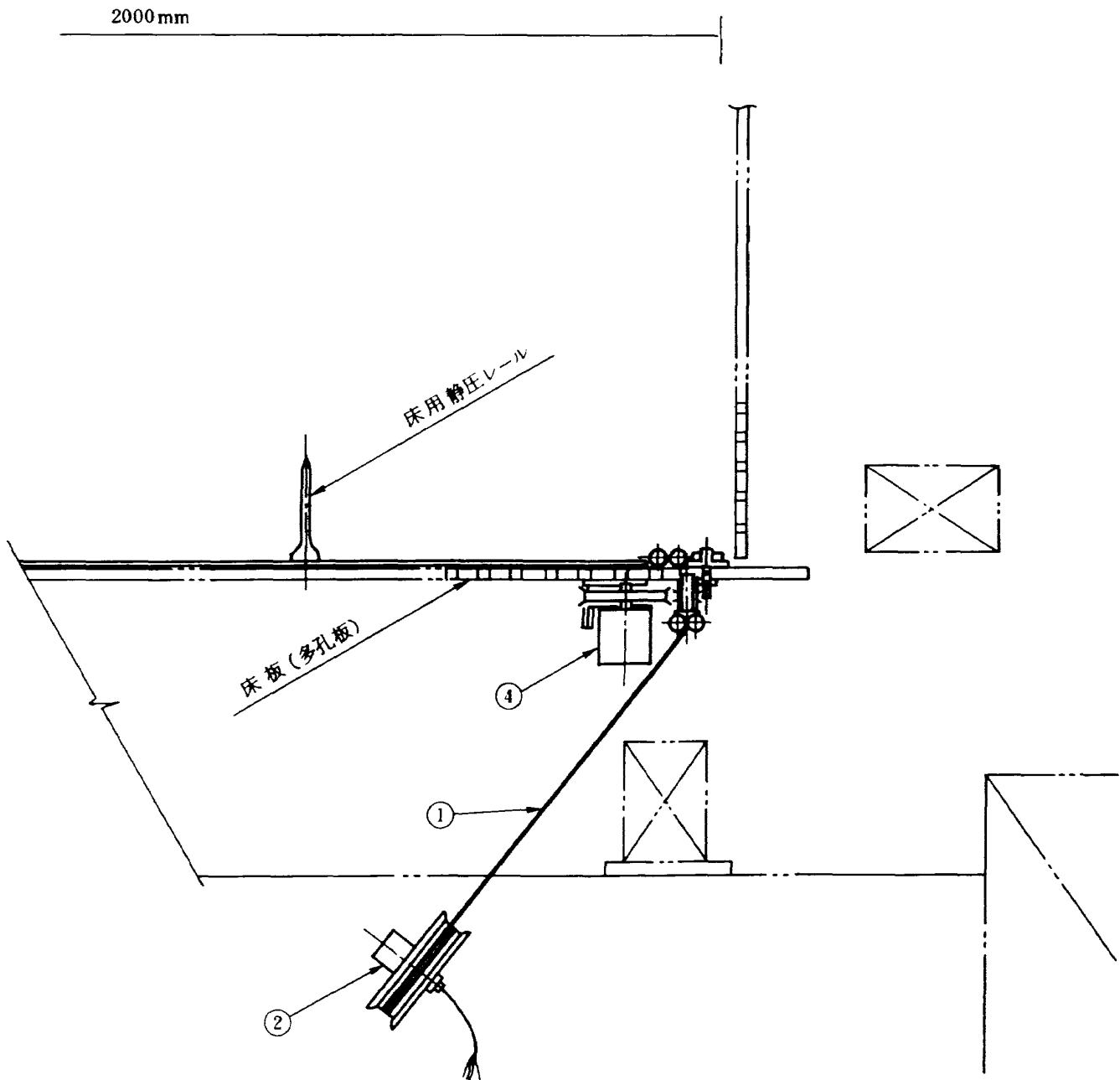
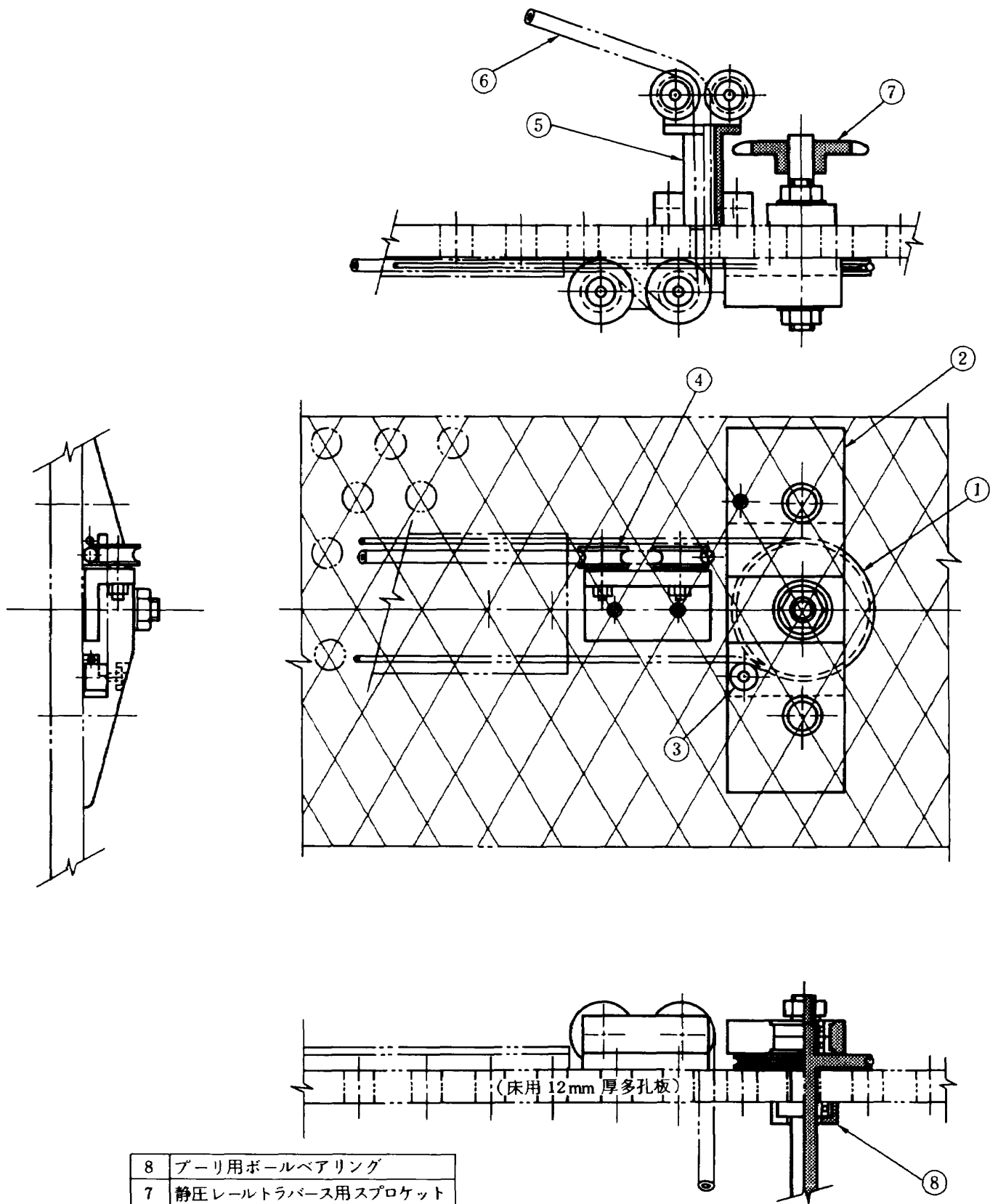


図 8(a) 床面用駆動及びコード引出機構



4	位置検出器 (下流側用)
3	超低速シンクロナスマータ (ギヤヘッド付)
2	巻取ドラム (図9参照)
1	スキャニバルブ用補強コード ($\phi 4 \times \phi 2.5$)
番号	名称, 記事



8	プーリ用ボールベアリング
7	静圧レールトラバース用スプロケット
6	スキャニバルブ用補強コード
5	アイドルプーリ及びブラケット
4	コード用アイドルプーリ
3	ワイヤ用アイドルローラ
2	全用 ブラケット(気流面側)
1	駆動用プーリ
番号	名称 (説明)

図 8(b) 床面用駆動及びコード取出機構詳細 (図 8(a), H部)

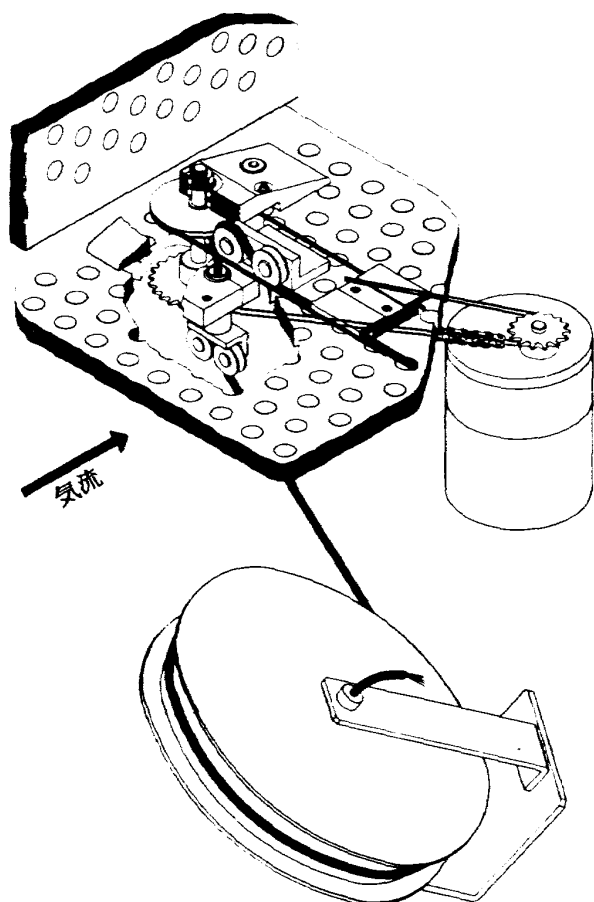


図8(c) 床面用下流側駆動機構及びコード巻取系見取図

運動軸とその両端にあるプーリを囲むように張られ、ワイヤの両端は先にも述べたように、直線運動軸受部に締結される(図6(a)⑦~⑪, 図7(a)⑭~⑰)。ワイヤの全体あるいは大部分が気流面上にあるので、気流の動圧を直接うけないよう直線運動軸の下を通しカバーをした。図2に示すように静圧レールを駆動し、あるいは釣り下げる力の伝動経路は、モータ sprocketギヤ → チェーン → sprocketギヤ → プーリ軸 → プーリ → ワイヤ → ネジ棒 → 直線運動軸受 → 静圧レールの順になっている。この中で部品が破損する前に、その機能を失うのはプーリ → ワイヤ部の摩擦に頼っている部分だけである。この摩擦力はワイヤの張力によって変化するので、張力調整は慎重に行なう必要がある。殊にプーリ部の摩擦係数は小さく、次に述べるように静圧レールの位置によって引っ張り力 F は変化するので、ワイヤ引っ張りネジ棒(図6(a)⑧, 図7(a)⑱)を用いて強い張力を加えておかなければならない。プーリに掛けてあるワイヤの張り側と緩み側の張力

をそれぞれ T_1 及び T_2 とすれば、次の関係があることは良く知られている。

$$T_1 / T_2 = \exp \mu' \theta \quad (3)$$

ここに μ' はワイヤとプーリとの間の摩擦係数を、又 θ は巻き掛け中心角度を表わす。実プーリで測った結果、 $\mu = 0.46$ であった。本装置の場合、 $\theta = 220$ (床面用)~ 270 度であるから、 $T_1 / T_2 = 5.87 \sim 8.73$ となる筈である。静圧レールを引く力 F は次のようになる。

$$F = T_1 - T_2 \quad (4)$$

プーリに駆動力を加えていない($F = 0$)時のワイヤ張力いわゆる初期張力を T_0 (この場合、 $T_0 = T_1 = T_2$)と仮定すれば、 F は式(3)で与えられるように駆動プーリの構造と摩擦係数によって決まる。ここで注意しておかなければならない事は、ワイヤの伸びの影響によって T_2 が激しく変化するため、必要な F がえられないことがあることである。張り側及び緩み側のワイヤの長さをそれぞれ L_1 , L_2 とすれば、 $T_1 = T_0 + F$ であるのに対し、 $T_2 = T_0 - F(L_1 / L_2)$ となる(付録参照)。初期張力 T_0 と駆動力 F との関係は、次のようになる。

$$T_0 / F = \frac{\exp \mu' \theta \cdot (L_1 / L_2) + 1}{\exp \mu' \theta - 1} \quad (5)$$

(L_1 / L_2)は静圧レールの停止位置によって変化する事は明らかであるが、動力伝動系の設計にあたっては、その値が最小となるよう充分配慮する必要がある。

3.6 静圧レールの駆動と位置検出機構

静圧レールの横方向の運動は、図3あるいは図4に示すように、2組のワイヤプーリによってその運動が拘束されていることは、先(2.3項)にも述べた。このワイヤプーリと静圧レールの位置関係を概念的に示したのが図A1であって、駆動用プーリとアイドルプーリから構成される2個のプーリの周りにはワイヤが掛けてある。同図中、 S で表した部分が静圧レールの中心位置であり、ワイヤは3.2項で述べたように直線運動軸受を介して静圧レールに締結されている。従って、静圧レールの位置は、プーリの回転角とプーリ径によって与えられることは言うまでもない。一对のプーリの内、駆動側のプーリ

は、3.5項で述べたように駆動トルクによって滑ることがあるので、レールの正しい位置が測定できない場合があり、不適當である。これに対し、アイドルプーリには回転角検出のトルクが加わるが、その値は極めて微小であり、滑ることはないので、図A1に示すS点（静圧レール位置）とプーリの回転角との間の関係は（ワイヤの伸びが無視できる範囲内で）常に一定である。従って、静圧レール位置の測定精度はこのプーリの回転角を測定する検出器の精度に依存することが分かる。静圧レールは、図A1に示すS点に相当する部分が2箇所ある。静圧レールをトラバースさせるということは、この2つのS点が同時に等速で等距離を運動させることである。この条件が崩れると、2つのS点の位置はズレるため、静圧レールに迎角を与え大きな空気力が加わったり、あるいは直線運動軸受部に過大な負荷がかかるなど、極めて危険である。駆動部は、このような事態を念頭に置いて設計されているが、そのためには、先ずプーリの回転角を高精度に検出してやる必要がある。検出器に要求される精度は、トラバース距離1800mm程度に対して、その誤差を±2mm以下にするとすれば0.11%となり、この種の計測に広く用いられているポテンショメータでは無理である。位置検出器として本装置に採用したNSD社製アブソコーダはシャフトエンコーダの一種であって、 $1/3600=0.028\%$ 以下の精度が保証されているもので、廉価のうえに優れた耐環境性を持っている。アブソコーダによって検出した静圧レールの位置は、4桁のデジタル式位置表示器で監視できる。運転者は2つの位置データから、静圧レールが正常にトラバースされていることを瞬時に判断する必要があるので、2つの表示器が示す数値は、同一であるのが好ましい。2つの表示器がズレを引き起こす原因は、ワイヤの直線運動をシャフトエンコーダの回転運動に変換する機構部（図5(a)⑤、図5(c)(e)）にある。この内、タイミングベルトプーリ部は加工精度ではなく、山数の比を揃えれば良いので問題はないが、ワイヤ用アイドルプーリの径の変化は、シャフトエンコーダの回転角に直接影響するので、上流側および下流側の2つのプーリの径はアブソコーダ並の精度で同一に揃えておく必要がある。

4. 装置の組立要領と試験結果

風洞に本装置を取り付けるには、次の要領で行なうと、作業が円滑に進める事が出来る。作業員数は少なくとも、測定部の外側に1名、静圧レールの上流側および下流側に各1名の、計3名で取付作業を進めると能率的である。側壁用及び床面用のいずれから組立を開始しても不都合は起こらないが、いずれの場合も、静圧レールは風洞壁の中央位置で組み立てるのが良い。ここでは、手順が変わると非能率的になり易い、測定部付近の機器の取り付け作業について概要と順序を述べることにする。

4.1 側壁用静圧レールトラバース装置の組立

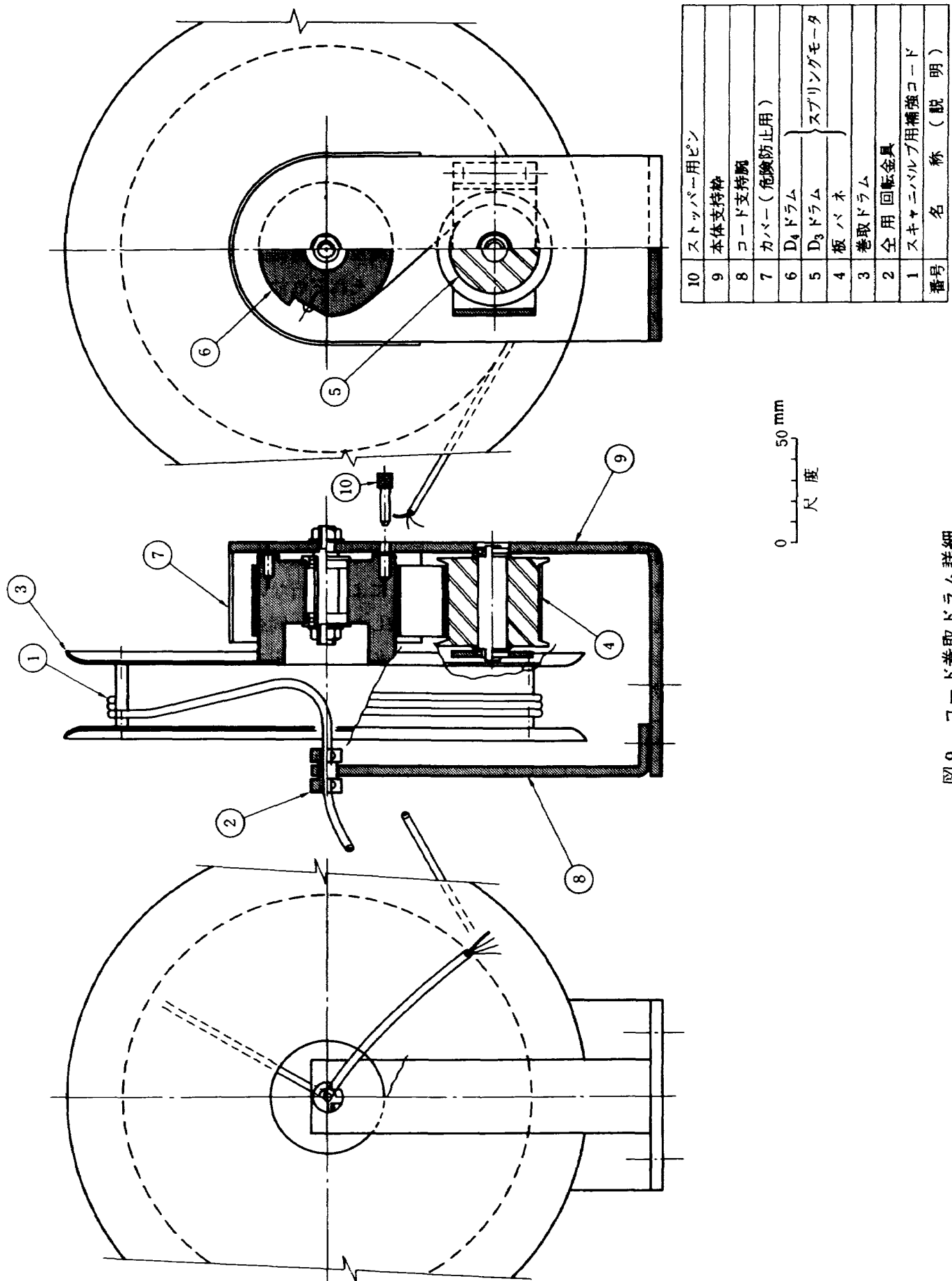
(1) 先ず最初に下流側直線運動軸を径5mmの皿ビスを用いて仮固定する（図3）。皿ビスは風洞壁を構成している多孔板の既設開口部（径12mm）を貫通して大型の座金と、ナットを使って、軽く締めつけておく（図5(b)直線運動軸固定法詳細）。

(2) コード巻取ドラム（図9）を中立位置（トルク0）から、約2.5回転した位置で（ドラムが2.5回転分巻き込んだコードを引き出す間は引っ張り力が発生する。）回転防止ピン（同図⑩）を差し込み固定する。この巻取ドラムは図3、B-B'断面（図5(a)②③、図5(e)(f)）に示す姿勢にし、測定部外枠にある8mmネジ穴を使って固定する。この際とくに注意しなければならないことは、S.V.用コードと巻取ドラム軸が直角にすることである。

(3) 駆動プーリ用ブラケット（図5(b)⑩、図5(d)）及び位置検出プーリ用ブラケット（勝手違いの同一外形で、プーリとスプロケットギヤに違いがあるだけ）を、図5(a)G部として示した状態（図5(e)(f)）にして仮固定する。

(4) 下流側軸受（図7(a)②）の両側にS.V.用コード（全長3.5m×2本）を通し、さらに片側にワイヤ（全長4.5m×径2.5mm）を通し、ワイヤに同図⑭～⑯を通し、⑰をかして固定する（ハンマ等で叩きつぶす）。（ワイヤの他の一端は(6)で処理する。）

(5) 下流側直線運動軸受（図7(a)②）を側壁中央部に仮固定し、同軸受に(4)でセットしたS.V.用コードを風洞壁孔から外側へ通し、さらにアイドルプー



番号	名称 (説明)
10	ストップパー用ピン
9	本体支持枠
8	コード支持筋
7	カバー (危険防止用)
6	D ₄ ドラム
5	D ₃ ドラム
4	板バネ
3	巻取ドラム
2	全用回転金具
1	スキヤニバルブ用補強コード

図9 コード巻取ドラム詳細

り(図5(b)⑩;同図は下側の場合を示すが,上側もほぼ同一形状)間を通して,巻取ドラム付近(図5(a)②③)に引き出しておく。

(6) 図7(a)②に示す後側軸受に対し,(4)の要領で固定したワイヤの他の一端を,図3の上部に示すように風洞壁の開口部を通してプーリ及び直線運動軸(図7(a)⑦)の外周を一周する格好で,再び直線運動軸受へ戻し,同軸受(図7(a)②)に通しておく。

(7) S.V.用コードは,図5(a)「B-B'断面詳細」に示す状態で,巻取ドラムに2周程度巻き込んだ後,図9②に示すように配線する。この際,図9⑩に示すピンは必ず抜いて,S.V.用コードに張力がかかるようにしておく。

(8) ワイヤ及びS.V.用コードが風洞床及び天井を貫通する部分を注視しながら,直線運動軸及びプーリ用ブラケット(図5(b)⑩,図示はしてないが,上側も同時に行う)を木槌などで叩いてその位置を調整し,ワイヤ及びS.V.用コードが貫通している風洞壁孔に触れない位置に合わせる(粗調整)。

(9) (6)で通しておいたワイヤに図7(a)⑭~⑰を通し,同図⑤のネジ棒を,上下両側共奥までネジ込んだ状態にして,ワイヤを強く引きながら同図⑰の金具をかきつけて固定する(ハンマ等で叩きつぶす)。余ったワイヤは切断する。

(10) 図7(a)⑮に示すネジ棒を左にまわし,ワイヤに更に大きい張力を加えたあと,同図②に示す直線運動軸受を直線運動軸に沿わせながら上下に動かし,コード及びワイヤが貫通している上下風洞壁孔に触れない位置で,かつコード及びワイヤが直線運動軸にも触れない位置に,プーリ用ブラケット(図5(b)⑩)及び直線運動軸(図7(a)⑦)の位置を調整し,これらをそれぞれ5mm皿ビス(図7(a)⑧)及び,8mm押ネジ(図5(b)⑪)を用いてしっかりと固定する。

(11) 上流側直線運動軸受(図6(a)⑥)にワイヤの両端を通し,片側は同図⑩に示す金具でかきめ,さらに同軸は風洞壁孔に通した針金などを用いて仮固定する。(ワイヤの他の一端は,同軸に通しておくだけ。)

(12) 上流側駆動用プーリブラケット(図5(b)④)及び位置検出用プーリブラケットに同図①③をセッ

トし,(11)でセットしたワイヤを掛け,各プーリ軸を風洞の既設開口部(径12mmの孔)に通し,各プーリブラケットは仮固定しておく。

(13) プーリ軸支持金具(図5(b)⑥;上下同一形状)を各プーリ軸に通し仮固定する。

(14) 上流側直線運動軸(図6(a)⑬)を風洞壁に,風洞壁孔を貫通した5mm皿ビス(同図⑫)を用いて仮固定する。

(15) 上流及び下流側直線運動軸(図6(a)⑬,図7(a)⑦)に,それぞれ前側軸受(図6(a)①,図7(a)①)を当て,静圧ルールが取付けられるよう上流側直線運動軸の位置を調整し,ルールと各軸受(計4個)を4mmボルト(24本)(図6(a)⑭,図7(a)⑨)で締結する。

(16) 上流及び下流側直線運動軸(図6(a)⑬,図7(a)⑦)の平行度と軸及び軸受部の間隙を調整するため,静圧ルールを手動で水平を保ちながら上下にトラバースする。調整は上流側直線運動軸の位置を動かすことによって行ない,円滑にトラバースできる事を確認した上で,同軸を風洞壁に5mm皿ビス(図6(a)⑫)によって固定する。

(17) ワイヤ(図5(b)②;片側は軸受(図6(a)⑥)に固定されている。)に張力を加えながら,上流側駆動用プーリブラケット(図5(b)④),位置検出用プーリブラケット及びプーリ軸支持金具(図5(b)⑥;上下同一形状)の位置を調整し,ワイヤが直線運動軸に触れない事,および各プーリが円滑に回転することをそれぞれ確認してから,これらを風洞壁に8mmボルト(図5(b)⑩)および8mm押ネジ(図5(b)⑦)を用いて固定する。

(18) 上流側後部軸受(図6(a)⑥)のネジ棒(同図⑧)を奥までネジ込んだ状態にし,ワイヤの一端に張力を加えながら固定金具(同図⑩)をかきめ固定する。

(19) このほか駆動系,位置検出系を組み立てるため雑多の作業があるが手順を変えることによって作業が難しくなるような事はなく,また本装置の撤去の要領は組み立て作業の逆を行えばよいので省略する。

4.2 床用静圧レールトラバース装置の組立

本装置の構造が側壁用と著しく異なる点は、図3「B-B'断面」(図5(a))のように、ワイヤが風洞壁を貫通して、外部に出ることがないことである。しかし、全般の要領は、側壁用の上流側の場合と同じと考えて良く、また部品の大部分は床面に置くだけで作業を進める事ができるので、側壁用のように落下の危険がないだけ、容易である。下流側の直線運動軸を固定し、これを衝(基準位置)に組み立てを進めていく考え方は、側壁用の場合と同じである。

(1) S.V.用コードおよびワイヤをセットした下流側軸受(図7(a)②③④, ⑭~⑰;この図は側壁用のものを示しているが床面用もほぼ同一形状である。)を風洞中心部に置く。

(2) プーリ用ブラケット(図8(b)②)に図8(b)①および③を組み込み、さらにプーリにワイヤを掛け、プーリ軸は風洞壁開口部に通しておく。この際S.V.用コードは、ワイヤと平行に配線しておく。

(3) S.V.用コード(図8(b)⑥)をアイドルプーリ(図8(b)④)にS字状に掛けたあと、風洞壁孔を通して同コードを外部へ引き出しておく。同プーリブラケットは風洞壁孔を貫通する5mm皿ビスで仮固定する。

(4) S.V.用コードを外側アイドルプーリブラケット(図8(b)⑤)に通し仮固定する。

(5) 巻取ドラムを前項(2)の要領で、図8(a)②に示す姿勢に固定する。

(6) 前項(7)と同様の要領で、S.V.用コードを巻取ドラムにセットする。

(7) S.V.用コードが風洞壁を貫通する孔の中心位置にくるよう、同コード用アイドルプーリ(図8(b)④)を調整し、固定する。

(8) 上流および下流側直線運動軸を風洞壁に仮固定する。

(9) コード用アイドルプーリ(図8(b)④)とワイヤがわずかに接触するようプーリブラケット(図8(b)②)の位置を調整し、同ブラケットを固定する。

(10) 下流側直線運動軸(図3)がS.V.用コードおよびワイヤに触れない位置に調整し、風洞壁孔を貫通する5mm皿ビスで同軸を風洞壁に固定する。

以下は、側壁の場合と殆ど同じであるので省略す

る。なお、下流側直線運動軸のS.V.用コードが納まる部分の風洞壁開口部は、S.V.用コードが吹き上げられないよう、風洞壁の外側から粘着テープなどで塞いでおく必要がある。

4.3 風洞試験結果

図10(a)は、当研究所の2m×2m遷音速風洞に、図1に示す状態で本トラバース装置を取付け、ONERA-M5模型を装着した場合に得られた圧力分布計測データの一例を示したものである³⁾。同図の上部は、側壁用静圧レールトラバース装置を用いて測定した南側(左側)側壁面の圧力分布を、また同図下部は、床面用静圧レールトラバース装置を用いて測定した床面の圧力分布を、それぞれ示したものである。基準圧は、いずれも一般流の静圧である。以上のデータから最も懸念されていた、壁面上で流れと直角方向にある直線軸(案内板)や、同軸受の存在による影響と考えられる圧力分布の「うねり」は、現われ

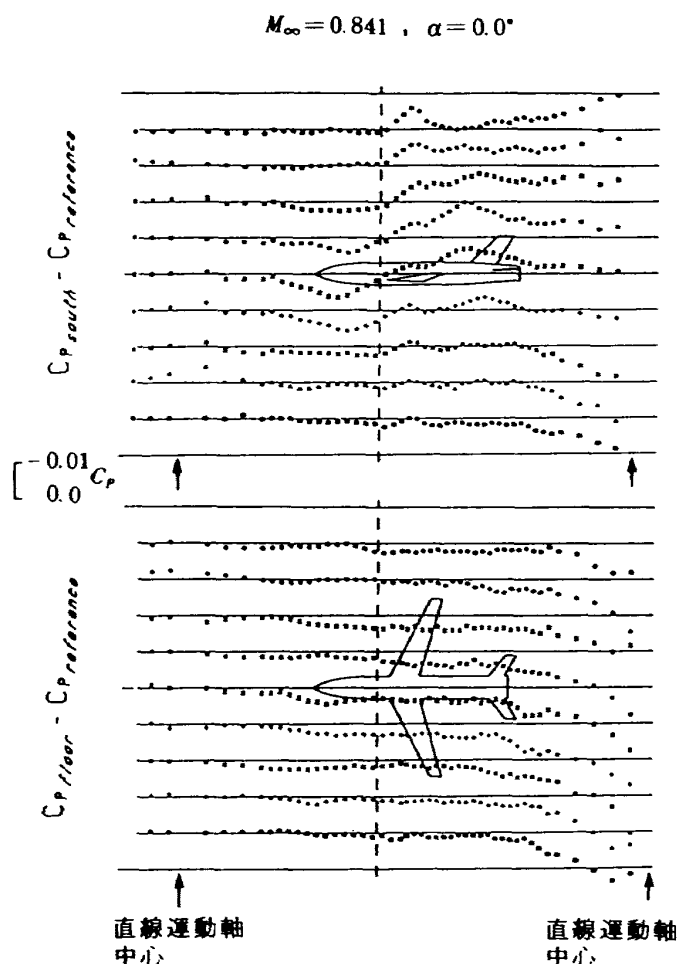


図10(a) 本装置によるONERA-M5模型装着時の壁圧分布(側壁,床)測定結果の例¹²⁾

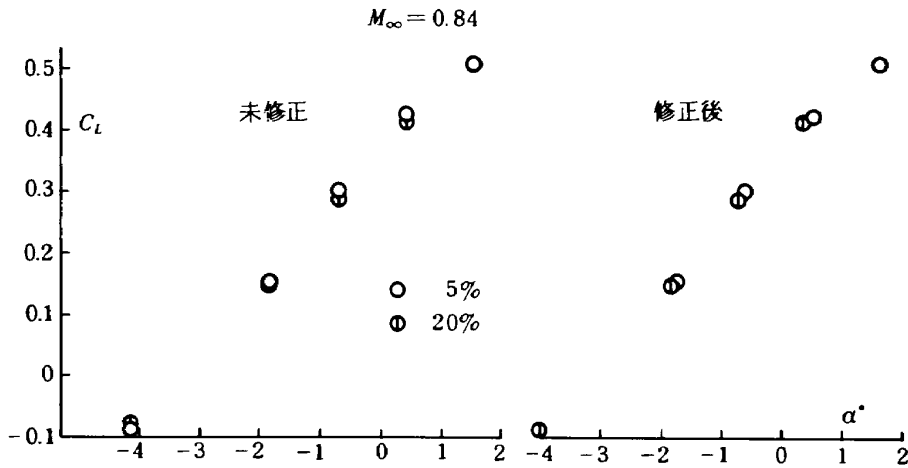


図 10 (b) ONERA M5 模型に対する壁干渉効果の修正例¹³⁾

ていないことがわかる。模型から充分離れ、かつスティングやストラットなどの影響がないとみられる上流側では、一様流の特徴をよく表わしており、また模型位置の部分では、その影響と見られる典型的な特徴をよく捉えていると言えよう。したがって、本装置を用いて壁干渉の効果修正に必要な測定部壁面の圧力分布が測定できることがうかがえる。また、図10(b)は、以上の場合と同じ測定要領で、風洞壁干渉の効果が異なる2種類の壁について、 $C_L \sim \alpha$ 線図の修正前後の様態を比較したものである。ONERA-M5模型の本風洞に対する阻へい比は0.46%程度と可成り小さいにもかかわらず、壁干渉の効果を良く捉えている事が分る。

5. むすび

遷音速風洞の測定部壁面付近の圧力分布の測定は、壁干渉効果の修正に対し貴重データを与え、風洞精度の向上に威力を発揮するものと考えていた。しかしながら、商用旅客機の開発に用いられる風洞の規模は大きく、既設の風洞では改修に多額の経費を要するなど、実現が困難な状況にあった。今般、静圧ルールと呼ばれる風洞壁面上で、気流方向にルールのように長く薄板状の物体の表面に設けたオリフィスが、風洞壁付近の静圧を測定できる事に着目し、これを風洞壁面上でトラバースできるプローブとして応用することによって線だけでなく、面に拡張した圧力分布の測定ができる装置の開発に成功した。同装置は、既設の風洞に改修工事を加えなくても簡

単に装着できるうえに、計測装置も在来のものを使用できるため、風洞測定部壁のほぼ全面にわたり、3200点に及ぶ多数の圧力分布データが通常行なわれる風洞試験と同程度の経費で取得することが出来る事を実証した。本装置は当研究所2m×2m遷音速風洞の3次元的な壁干渉効果の修正に関する試験研究に対し強力なデータを提供出来るものと考えている。また、本装置の開発を通して得たノウハウを活用すれば、ルール上でトラバースできる構造のプローブが設計出来るものと考えられるので、気流に対する影響が一層少ない計測系を容易に構築出来る筈である。従って、風洞壁付近の風向、風速分布データなどを、直接測定することも期待できる。なお、本装置は理化精機工業(株)が難しい設計に応え製作した。記して謝意を表わす次第である。

6. 記号

a_0, a_1 ; 式 1

B_n ; ベルヌーイ数 ($n=1, 2, 3, \dots$)

C ; 模型の弦長

C_D ; 風洞試験で測定された抗力係数

C_L ; 風洞試験で測定された揚力係数

C_P ; 圧力係数

C_P^- ; 模型の前縁からとだけ上流へいった点での模型上面の圧力係数

C_P^+ ; 模型の前縁からとだけ下流へいった点での模型上面の圧力係数

$C_{P \text{ floor}}$; 風洞床面の圧力係数

$C_{P_{low}}$; 模型の前縁から x だけ下流へいった点での風洞測定部下壁の圧力係数
 $C_{P_{reference}}$; 風洞一般流の圧力係数
 $C_{P_{south}}$; 風洞南(左)側壁面の圧力係数
 $C_{P_{up}}$; 模型の前縁から x だけ下流へいった点での風洞測定部上壁の圧力係数
 h ; 風洞測定部の高さ
 M_{∞} ; 風洞一般流のマッハ数
 S_p ; 模型の断面積
 x ; 風洞中心軸に沿って, 模型前縁位置を0とした座標
 α ; 模型の迎角
 β ; プラントル・グラワート数($=\sqrt{1-M^2}$)
 ΔC_L ; 風洞壁干渉に伴う揚力係数の修正量
 ΔC_m ; 風洞壁干渉に伴うピッチング係数の修正量
 ΔM ; 風洞壁干渉に伴うマッハ数の修正量
 $\Delta \bar{\alpha}$; 風洞壁干渉に伴う模型迎角の修正量
 $\bar{\xi}(x)$; 模型の前縁から x だけ下流へいった点でのブロックageファクタ, (式2)
 $\bar{\xi}$; 模型上の平均ブロックageファクタ
 τ ; 測定部壁の開口面積比

7. 文 献

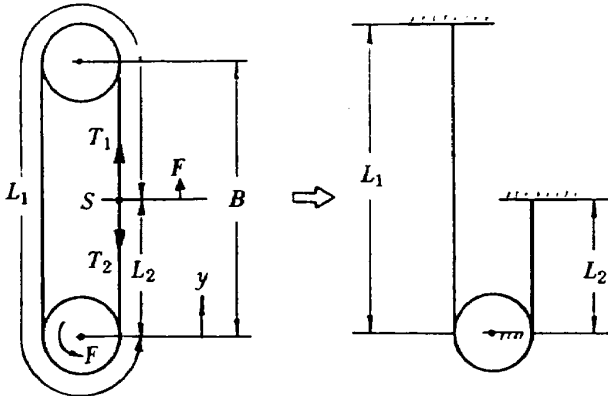
- 1) 航空技術研究所; 「航空技術研究所2m×2m遷音速風洞の計画と構造」, 航空技術研究所報告, TR-25(1962)
- 2) 遠藤 浩; 「最近の航空機開発と風洞試験」, 日本航空宇宙学会誌, 第31巻, 第351号(1983/3), 168~179頁
- 3) 沢田秀夫; 「壁圧を利用した3次元風洞壁干渉の評価の試み」, 日本航空宇宙学会第17期年会議演会講演集(昭61.4.), 161~2頁
- 4) Goethert, B.H.; "TRANSONIC WIND TUNNEL TESTING" Pergamon Press, N.Y.(1961), P.P.1~39.
- 5) 沢田秀夫他; 「航技研二次元風洞の壁干渉評価」, 航技研報告TR-829
- 6) 遠藤 浩; 「特集, 流体力学における数値シミュレーション」, 日本航空宇宙学会誌, (1986.7.), Vol.34, No.390, 349頁
- 7) Ebihra, M.; "A Study of Subsonic Two-Dimensional Wall-Interference Effects in a Perforated Wind Tunnel with Particular Reference to the NAL 2m×2m Transonic Wind Tunnel Inapplicability of the Conventional Boundary Condition" NAL TR-252T(1972)
- 8) Morkry, M.; "Subsonic Wall Interference Corrections for Half Model Tests Using Spars Wall Pressure Data", N.A.E., LR-616(Nov.1985)
- 9) Sawada, H.; "Wind Tunnel Wall Interference in a Test Section with Ventilated Walls", ICAS-80-23.5(1980)
- 10) 中村正剛, 鈴木弘一, 白井正孝, 小池 陽, 藤田敏美; 「航技研2m×2m遷音速風洞のデータ処理」, 航技研報告TR-811, (1984/4)
- 11) 遠藤 浩; 「国際対応風洞試験について」, 航技研技術資料, N-25(1979/4)
- 12) 榑原盛三; 「航技研2m×2m遷音速風洞壁圧分布測定装置」, 航技研ニュース1986/6, No.326, 3頁
- 13) Sawada, H.; and ENDO, H.; "The Wind Tunnel Facilities at the National Aerospace Laboratory", Supersonic Tunnel Association 66th Meeting, (Oct.6~7.1986)

8. 付録 (ワイヤプーリに依る
引っぱり力の限界)

モータの回転力によって静圧レールに加わえられる引張り力 F は、ワイヤが ΔL 伸ることによって発生する力と釣り合うから、ヤング率および有効断面積をそれぞれ E , A として、

$$F = (\Delta L / L_1) EA \quad (A1)$$

一方緩み側では、図A1に示す S 点が固定されている (静圧レールが異物などの障害によって大きな抗力を発生している。) とすれば、式(A1)でワイヤが伸びた長さだけ縮むから、初期張力 T_0 は逆に減少する。



図A1 ワイヤプーリによる駆動力伝達系の概念図

$$T_2 = T_0 - (\Delta L / L_2) EA \quad (A2)$$

式(A1)を変形して、

$$(\Delta L / L_2) EA = (L_1 / L_2) F \quad (A3)$$

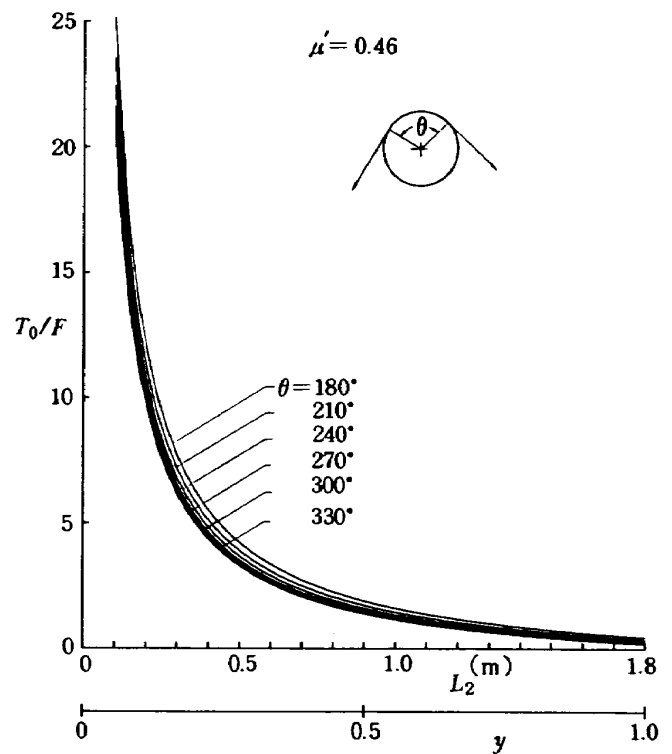
従って

$$T_2 = T_0 - (L_1 / L_2) F \quad (A4)$$

また、静圧レールの位置と、 T , F との関係は、図A1に示すように静圧レールの位置を無次元距離 y として、次のように定義すれば、プーリ軸間距離を B として、

$$y = L_2 / B \quad (A5)$$

$$L_1 + L_2 \div 2 B \quad (A6)$$



図A2 $T_0/F \sim y$

から、

$$L_1 / L_2 \div 2 / y - 1 \quad (A7)$$

式(A7)と3.5項の式(5)から、

$$T_0 / F = \frac{\exp \mu' \theta \cdot (2 / y - 1) + 1}{\exp \mu' \theta - 1} \quad (A8)$$

になる。静圧レールから駆動プーリ軸中心までの無次元距離 y と、 T_0 / F との関係は、図A2に示す。静圧レールを引く力 F はレール位置 y によって激しく変化することは、先にものべたが、 θ の変化による影響は小さいことが分る。本装置の場合、床面用トラバース装置の条件が最も厳しく、 $\theta = 220$ 度程度で、 y の最小値は 0.15 程度であるので、280 kg の初期張力 T_0 を加えても、レールを引く力の最小値は 20 kg である。 T_0 の増加はワイヤをはじめ、動力伝達系の大型化を意味し、好ましいことではない。 T_0 の値を下げるには、緩み側ワイヤの伸 ΔL を吸収する工夫が必要であり、 T_0 に等しい張力を持つコイルばねを介して固定するのも一つの方法であろう。

航空宇宙技術研究所資料565号

昭和62年3月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7-44-1
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5-6-17
