

UDC 533.6.071.3 :
662.613.5

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-197

二次元煙風洞について

高橋 宏・戸田亘洋・白井正孝

1971年1月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

既 刊 資 料

TM-170	JR エンジン燃焼器に起きた振動燃焼	1970年2月	鈴木邦男, 石井浅五郎 山中国雅
TM-171	缶形燃焼器(低圧, 低温系)試験設備による航空計器の氷結(着氷)試験	1970年3月	鈴木邦男, 相波哲朗 本間幸吉, 服部宣夫
TM-172	自動追尾型風向風速測定器	1970年3月	川幡長勝, 中谷輝臣
TM-173	FA-200 改機の動安定微係数	1970年3月	遠藤 浩, 林 良生 海老沼幸成, 中谷輝臣
TM-174	遷音速風洞動安定測定装置の構造と作動	1970年4月	小橋安次郎, 河野長正文 西 武徳, 宮沢政文
TM-175	NAL-16・31D 型ロケットの研究試作	1970年5月	五代富文, 近藤洋史 中井暎一, 田畑浄治
TM-176	非対称自由流線の一計算法	1970年5月	高橋 倅
TM-177	小型固体ロケットモータの振動燃焼実験 —パルス法による中周波振動燃焼の研究—	1970年5月	五代富文, 伊藤克弥 西村久男, 湯沢克宜 柴藤 羊二
TM-178	大型低速風洞動安定微係数測定装置	1970年5月	広岡貫一, 遠藤 浩 戸田亘洋, 岡部祐二郎
TM-179	風洞天秤の試作	1970年5月	金成正好, 北出大三
TM-130	ジェットエンジン燃焼器出口ガス流の乱れの測定(II) —レーザーのドップラ効果を利用する方法—	1970年5月	相波哲朗
TM-181	航空機の乗り心地について	1970年6月	幸尾治朗
TM-182	排気系障害板の模型実験	1970年9月	田辺義一
TM-183	ロケット模型の大型低速風洞試験	1970年9月	近藤洋史, 高橋 宏 桑野尚明
TM-184	金属線へ衝突する液滴の現象	1970年9月	田丸 卓, 乙幡安雄
TM-185	推進エンジン用空気取入口の予備実験	1970年9月	近藤 博, 石賀保正
TM-186	NAL-25・31型ロケットの試作と飛しょう試験	1970年11月	宇宙研究グループ
TM-187	推力300 kg シンバル液体ロケットエンジンの揺動特性(I)	1970年11月	檜崎哲二, 中野富雄 橋本亮平, 竹花真一郎
TM-188	自由飛行模型FFM-10の空力微係数におよぼす機体弾性変形の影響について	1970年11月	河崎俊夫, 河本 徹 戸田 勸
TM-189	燃料蒸発管に関する研究(III) 管内の燃料—空気二相流への熱伝達	1970年12月	田丸 卓, 乙幡安雄 鈴木邦男
TM-190	NAL-25・31型ロケットのノズル部FRPライナーの接着剥離の検討	1970年12月	中井暎一, 五代富文 古田敏康, 大竹邦彦
TM-191	大型電子計算機プログラム・ライブラリ	1970年12月	戸川隼人, 磯部俊夫
TM-192	極超音速風洞M9ノズル較正試験	1971年1月	長洲秀夫, 橋本 登 穂積弘一, 松崎貴至
TM-194	航空機のSTOL 性に関する一考察	1971年1月	田辺義一
TM-195	曲面壁上の噴流に対する噴出孔形状, 配列の効果について	1971年1月	西村英明, 白井 弘 井上重雄, 三村富嗣雄
TM-196	NAL-16H 型ロケットの研究試作	1971年1月	宇宙研究グループ

二次元煙風胴について

高橋 宏** 戸田 亘洋** 白井 正孝**

1. ま え が き

低速気流中におかれた、翼模型や各種高揚力装置を備えた模型の、周囲の気流状況を観察し、また、写真に記録するなど、STOL機の研究に必要な設備の一つとして、二次元煙風胴を製作した。この風胴は、煙風胴として、比較的低いレイノルズ数で使用するほかに、もっと高いレイノルズ数での要素試験も行なえるようになっている。

風胴の製作は、昭和42年3月に本体を完成し、その後、試運転を重ねたうえ、各種試験に供されているが、風胴特性試験の結果の一部がえられたので、風胴製作の経緯とあわせて報告する。

2. 計 画

風胴設計の基本となる測定部の大きさは、取扱いの点と設置場所の関係から、高さ1m、長さ2mとした。幅については、境界層の影響を考慮して、なるべく大きくとれるように検討したが、あとで述べる縮流比と模型製作の点から、100mmとした。また、測定部における風速は、煙風胴として使用する場合は、20m/s以下とし、さらに高いレイノルズ数で行なう要素試験に使用する場合は、60m/sまで上げられるように計画した。

煙風胴を製作するうえで、特に工夫することは、(1)風胴気流の乱れ対策、(2)煙発生装置、(3)測定部の照明の3点である。これらの事項に対して、本風胴でとった方策はつぎのとおりである。

2.1 風胴気流の乱れ対策

気流の乱れには、境界層のはく離による比較的大きなものと、気流内に置かれた格子などの障害物の後流に生じる、細かいものがあるが、いずれにしても、いったん発生したものを減少させるより、できるかぎり発生の原因を取除く方が得策である。一般に、煙風胴の測定部には、監視窓、模型取付および変角装置、

さらに上流には煙母管の貫通部、掃除口等隙間を生じやすい部分が数多くある。そのため、測定部の下流に送風機をもつ吸込式風胴では、測定部が低圧となり外気を吸込んで気流をはく離させる欠点がある。本風胴では、送風機を測定部の上流に置く、押込式の型式をとって、乱れを生じる原因の1つを除いた。反面、送風機の影響を直接うける結果となるが、それに対しては、別に考慮した。

送風機や電動機に生じる振動に対しては、絶縁構造をもつ据付法をとり、風胴胴体に伝わらないように計画した。その詳細については、後述の構造の項で述べる。また、送風機から送り出される気流は、大きな乱れをもっているため、集合胴に到達する前に、できるだけ風速を下げ、さらにスクリーンを通して、十分鎮静される部分を設けるようにした。集合胴の上流には、整流金網を設けて、乱れの減少を計ることとした。整流金網の選択は、Schubauer¹⁾の次式により、他の事例²⁾を参考に決定した。

$$f = \frac{1}{(1+k)^n}$$

式中、 f は乱れの減少率、 k は金網の圧力損失係数、 n は金網の枚数である。ここで f が $1/1000$ に近い値をとるようにして、60メッシュ、素線径0.17mmのSuS27製金網8枚を採用した。この金網のBlockage coefficient²⁾は0.37で、 K が約4.5となる。また、それぞれの金網の取付間隔は、素線間隔のほぼ200倍³⁾とした。

つぎに、縮流筒の絞り比の効果は、次のDryden⁴⁾の式でしめされている。平均の乱れの強さ U' は

$$\sqrt{\frac{2C}{3} + \frac{1}{3C^2}}$$

に従って変化する。

式中、 C は絞り比で、この値を大きくすると U' は増加するが、平均風速を U としたときの U'/U の値は減少し、実効的な乱れが減少することになる。この絞り比を大きくすることが、乱れを減少させるうえで、最も効果的な方法であるから、縮流筒の上流側すなわち集合胴の断面積を、可能なかぎり大きくとるよう考慮

* 昭和45年12月2日受付

** 空気力学第2部

した。本風胴においては、測定部の観測のため、気流の中心高さを床から1.3mとすると、集合胴の高さは、内のりで2m以内に制限される。また、幅についても、風路内で金網のつなぎ目を作らないためと、風胴据付場所の状況から、内のりで2m以内となる。結局胴体に使用する各材料の寸度を考慮に入れて、集合胴断面を1.8m×1.8mとした。ここで、絞り比を30前後となるように検討の結果、測定部の大きさを、高さ1,020mm、幅100mmと決定した。このときの絞り比は31.7となる。

なお、構造の項でのべるとおり、胴体の主要部分を木製構造として、防振と吸音の効果をねらった。

2.2 煙発生装置

煙風胴に使用する煙は、つぎに例記する条件にかなった性状²⁾のものであることを要する。

- (1) 軽くて気流中で沈下しないうえ、気流の変動にしたがって流れる。
- (2) 適当な照明によって、明瞭に観察できるか、または、写真撮影が可能である。
- (3) 煙の発生と量的な調整が容易である。
- (4) 模型や風胴表面に堆積物を作ったり、煙を送る管や孔につまりを生じない。
- (5) 模型や風胴胴体の材質をおかさない。
- (6) 毒性がなく、また、長時間呼吸しても不快感が少ない。
- (7) 安価にえられる。

以上のことから、本煙風胴では、白灯油の蒸気を冷却し、霧状の白煙にして、風胴内へ流す方法をとった。楕形にならぶ送煙細管へ煙を送るための母管は、管内で煙が鎮静されるのに十分な断面積をもつとともに、風胴気流に悪影響をおよさないような整形を要する。楕形細管は、母管を包む整形カバーの弦長と同程度の長さとし、さらに細管内の煙の流れが、臨界レイノルズ数(約2000)以下となるようにして、煙自体の乱れを防いだ。また、楕形細管の先端位置(開口位置)を、縮流筒で圧力勾配が最大となる場所を選び、煙細管後流の乱れを減少させるようにした。

2.3 測定部照明

煙風胴による試験は、観測と写真撮影が基本となるため、測定部の照明は、不可欠でかつ重要なものである。照明は、試験目的に応じて、いろいろな方法をとることができるようにするが、ここでは、一般的な観測と撮影のためにとった照明方法について述べる。

- (1) 光源を測定部の上下面に置き、光が測定部の側壁にあたるのをさけ、煙が流れる部分にのみ集中する

よう、狭いスリットを通して照明する。

- (2) 測定部の内面の塗装は、光沢をもった黒色仕上げとして、壁面へそれた光線の乱反射をさける。

- (3) 測定部を置く部屋には暗幕を用意して、観測等に有害な外部からの光線を遮断する。

3. 風胴の要目

型 式	押込型開放路二次元風胴
測定部寸法	1,020mm×100mm, 長さ 2,100mm
試験風速	煙観測 20m/s以下, 最大 60m/s
送風機	リミットロード送風機 No. 4 ^{1/2} 5m ³ /s×s. p. 200mmAq×2,000rpm ×13.5kw
電動機	3相全閉かご形誘導電動機 15kw×200v×50Hz×4p ×1,450rpm
風速制御	バイパス風量制御方式
レイノルズ数	(1m基準) 1.4~4.2×10 ⁶

4. 構 造

風胴全体の配置は、図1に示すとおりである。各部分の詳細については、以下それぞれの項で説明するが、全般的な特徴としては、鎮静室から測定部を経て、拡散筒に至る部分を、木製枠組と合板によって製作した。これによって、騒音と振動の吸収、製作の容易さ、さらに仕上がり精度の向上を計った。

4.2 送風機と基礎

本風胴は、送風機を測定部の上流側に置く押込型としたが、鎮静室を設けて、気流の乱れを十分鎮静させる方法をとったので、前記要目でのべたような汎用のリミットロードファンを採用した。送風機の性能試験の結果は、図2に示すとおりである。送風機の振動が、直接風胴胴体へ伝わらないよう、送気管と鎮静室の間にゴム板製の可撓接手を設けた。また、振動が、基礎からコンクリート床を介して、胴体の振動源になるのを防ぐため、図3のような要領の据付法をとった。電動機の基礎も、送風と同じ要領の構造をとっている。

4.2 鎮 静 室

本室は、幅2.6m、高さ2.1m、気流方向の長さ1.2mの木製構造である。気流の入口部分は、噴流となる形状をしているので、16メッシュの金網を円すい状に取り付けて、拡散を助長するようにした。また、室の中央には、毛布地1枚と60メッシュの金網2枚を張り、低速のもとで、気流を十分鎮静するよう工夫した。

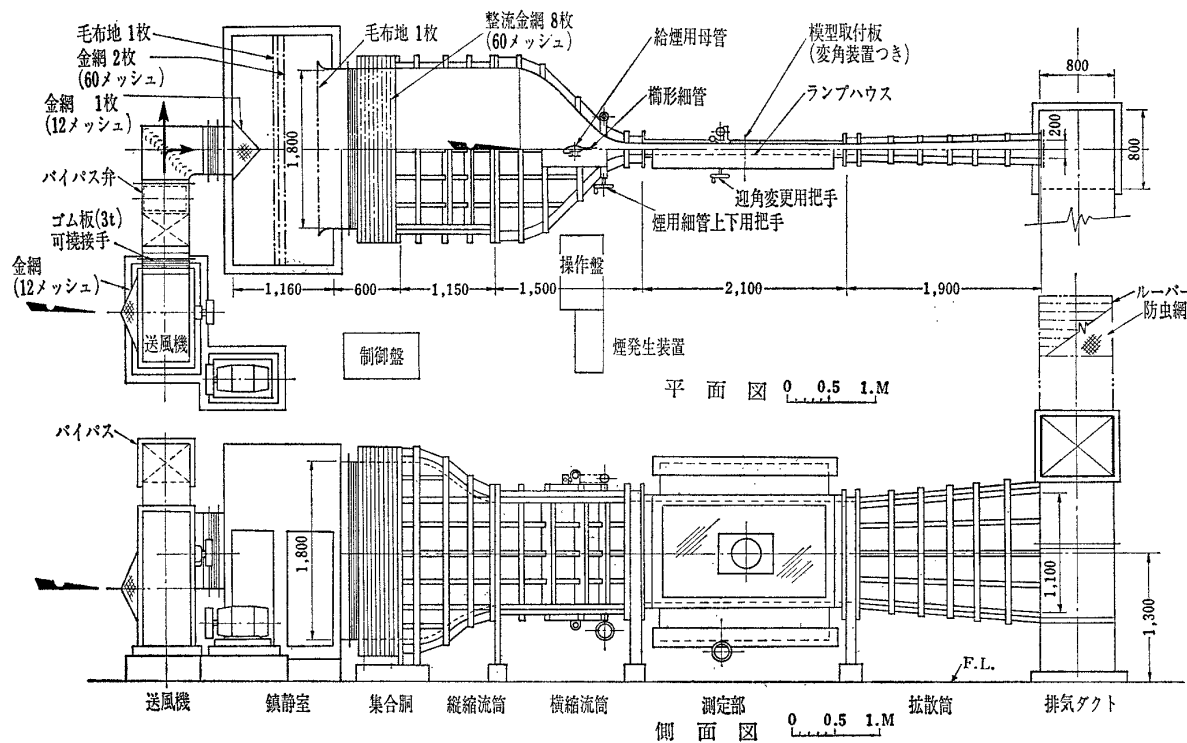


図1 煙風洞全体配置

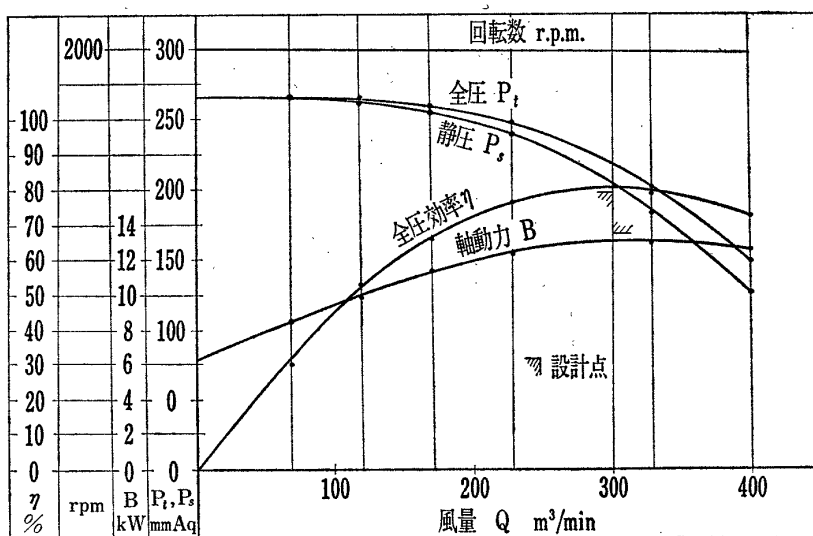
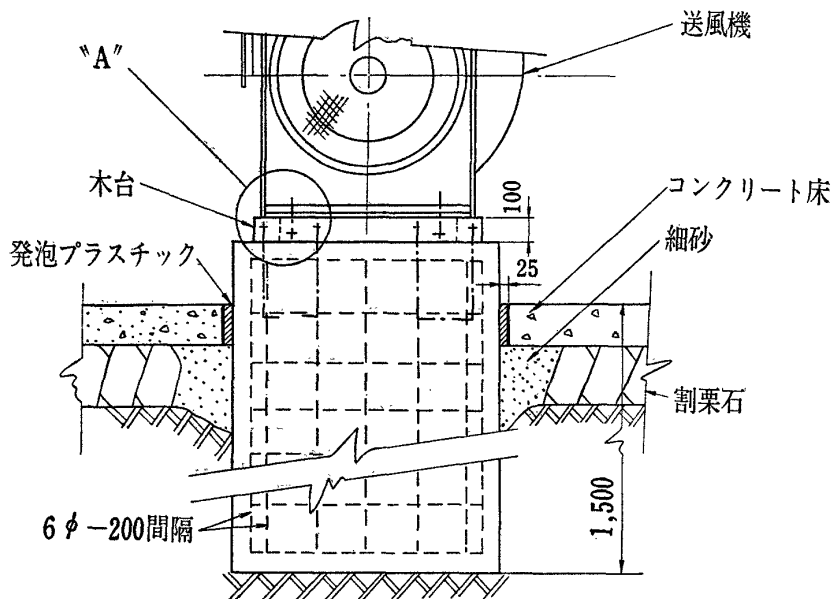


図2 送風機 の 特性 曲線



“A” 部詳細

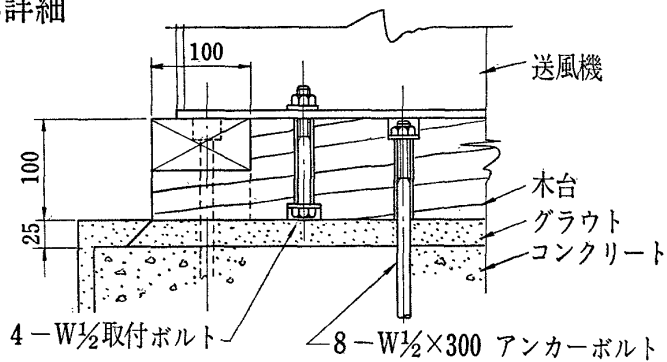


図 3 送風機基礎要領

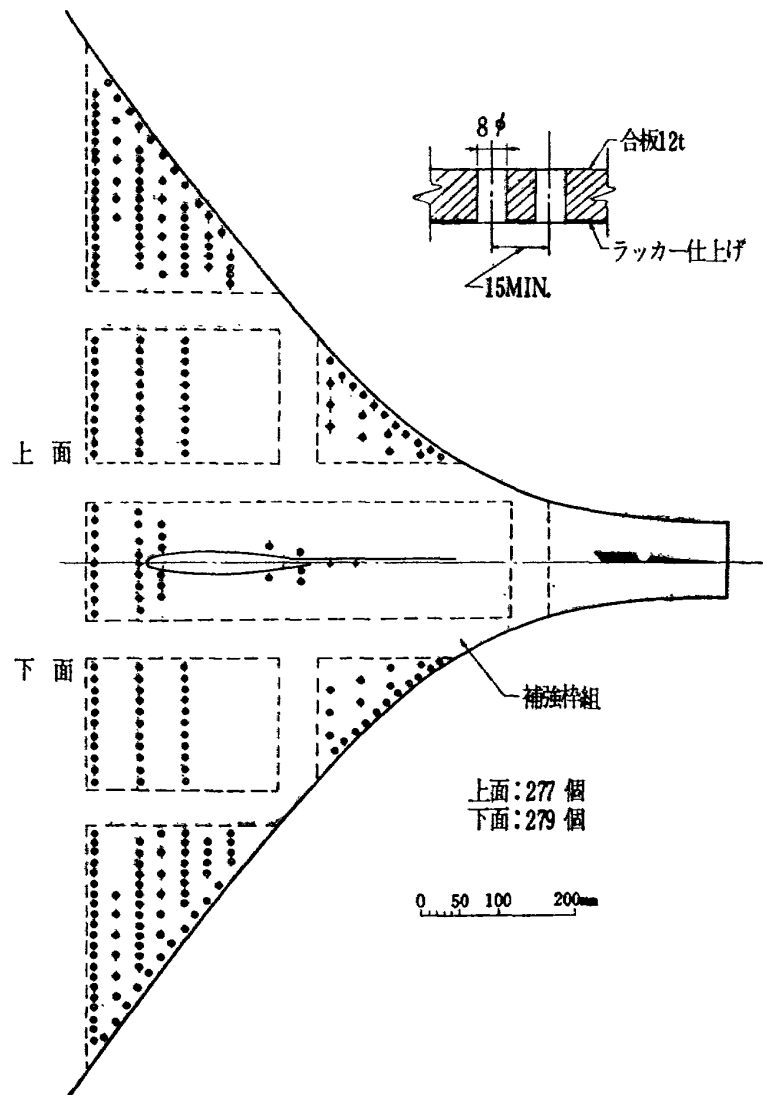


図4 境界層吹出孔

4.3 集合胴と縮流筒

集合同と縮流筒は、木製枠組に合板を張って風路を形作っている。曲面部分の合板は、内外面ともFRPでおおい、内面は所定の形状に仕上げている。平面部の内面には、ポリエステル系パテを塗り、平坦に仕上げている。また、風路となる内面は、すべて光沢のある黒色ラッカー仕上げとした。

集合同の大きさは、前にも述べたように、1.8m×1.8mで、鎮静室との接続部にはベルマウスを設け、さらに毛布地をその入口に張って、気流が一様に流れこむように考慮した。集合同に取り付けた整流金網は、60メッシュ（素線径 0.17mm SUS27）で継目のないもの8枚を等間隔に例べた。

縮流筒は、高さ1.8mを1.02mにする縦絞り縮流筒と、幅1.8mを0.1mにする横絞り縮流筒の2段階に分けて、製作を容易にした。なお、試運転において、気流を観察した結果、測定部の上下壁近くに相当大きな

乱れがみられたので、横絞り縮流筒の上下面に、図4に示すような吹出孔を設けた。これらの吹出孔から、乱れの原因となる気流を排除して、流れの改善を計った結果、満足しうる状態になった。

4.4 櫛形細管

図5に示すような形状の給煙用母管を、縮流筒の上下面を貫通して取付け、風洞の中心位置から±30mmの間で上下できるようにしてある。母管には、25mm間隔で39本の細管が取り付けられている。細管の内径は、2.8mm、2.0mm、1.3mmの3種類用意し、適宜交換できる構造をとった。いずれの管も、端末の外周を鋭い円すい状に削り、端末から生じる乱れの減少をはかっている。細管の長さは、母管の整形カバー弦長とほぼ等しく200mmとした。細管に使用する管の肉厚は、気流を乱さないよう薄いほうがのぞましいが、外部からのわずかな振動をうけて、管の先端に振れを伴うことがあるので、十分検討して決定する必要がある。母管へ

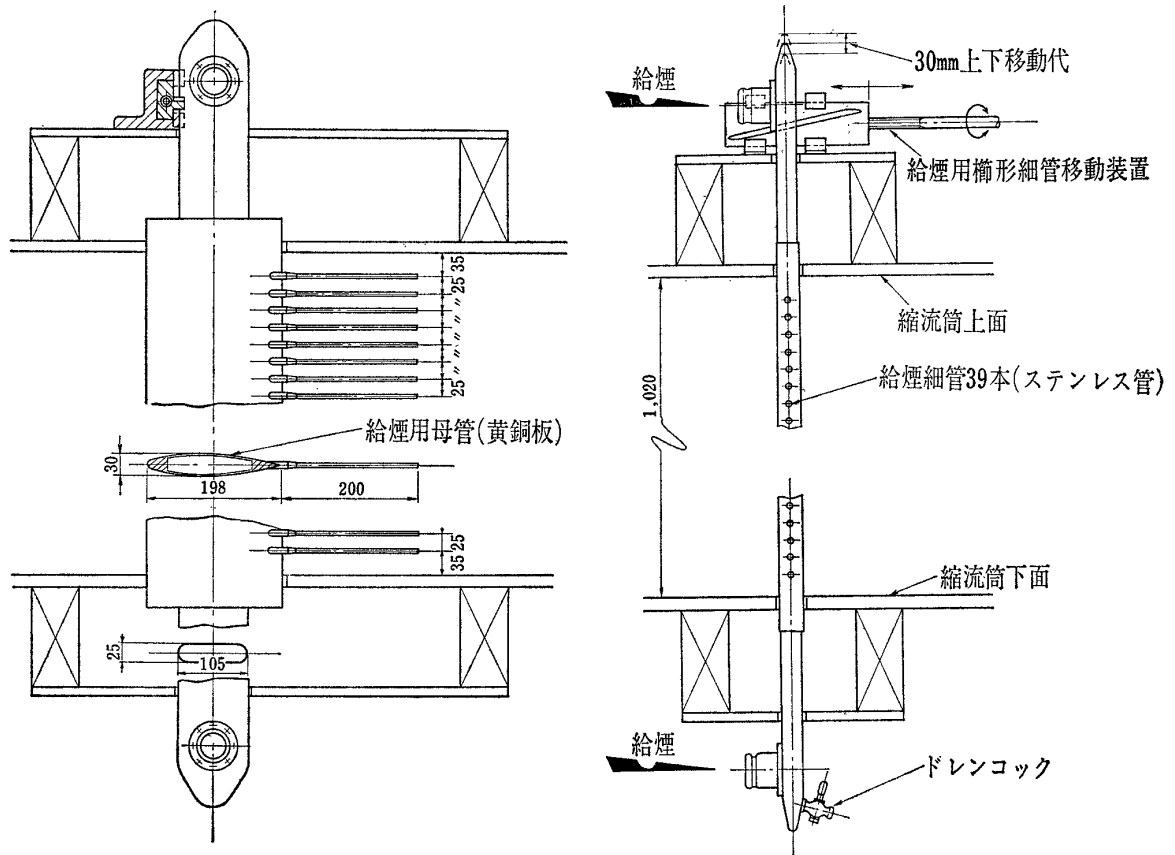
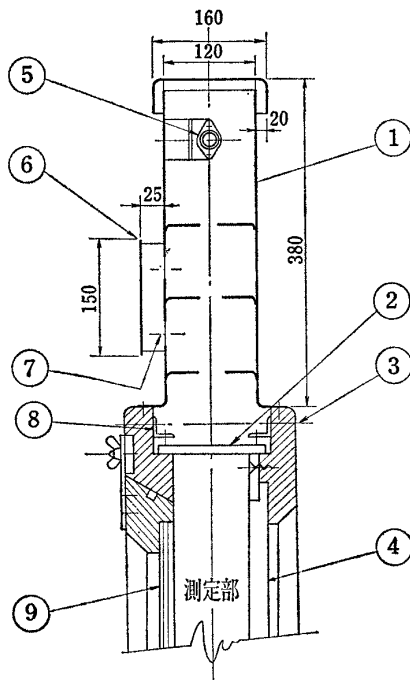


図 5 給煙用櫛形細管



記号	記 事
①	本体、1t
②	ガラス、5t
③	控えボルト、測定部枠組保持用
④	観視用ガラス、8t強化ガラスと10t普ガラス接合
⑤	沃素ランプ、1kw 上下各6灯
⑥	遮光板
⑦	通気孔、30φ 100mm間隔
⑧	ガラス押え金物
⑨	合板12mm、内面黒色ラッカー仕上げ

註：ランプハウス本体の内面は耐熱黒色塗装を施してある。

図 6 測定部ランプハウス

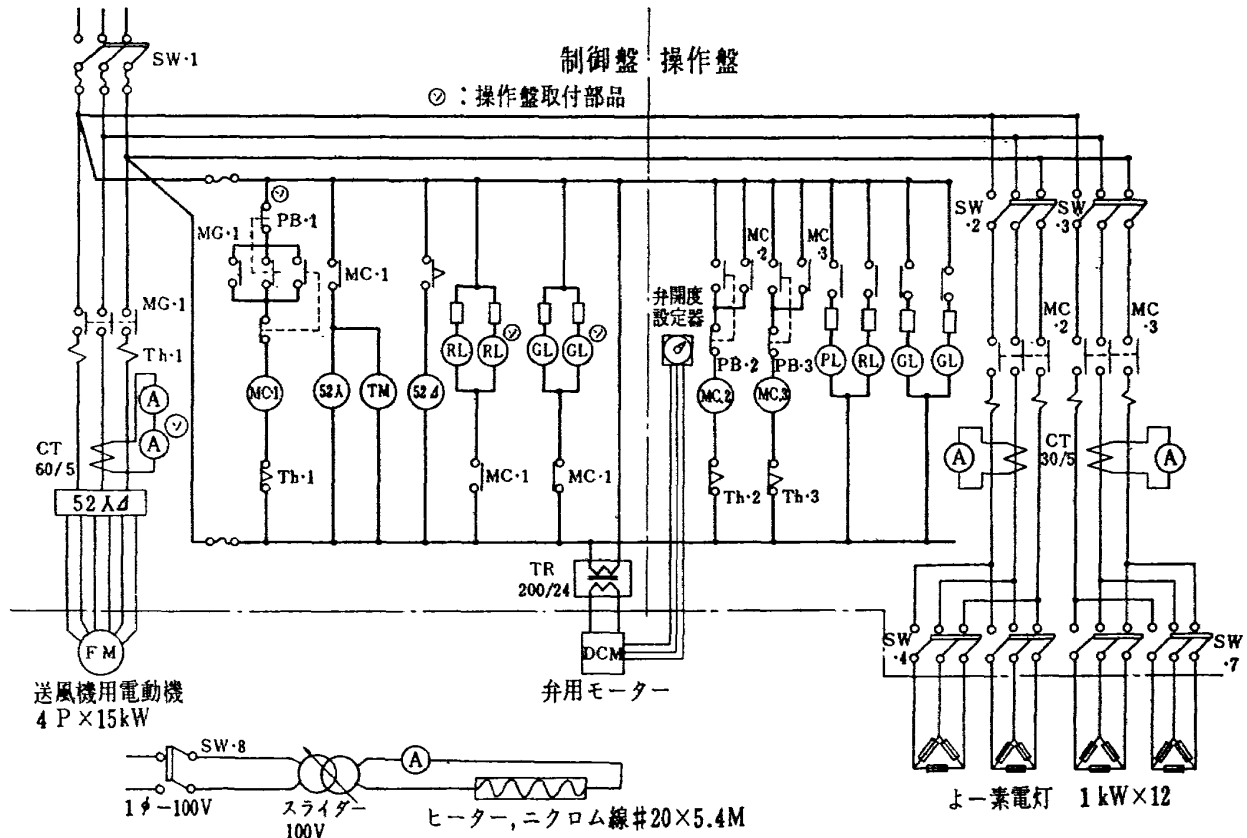


図7 電気配線系統図

の煙の供給は、その上下両端から行ない、細管に送られる煙の濃さに、むらを生じないようにしてある。

4.5 測定部と照明

測定部の大きさは、前記の要目で示したとおり、高さ1,020mm、幅100mmで、観測する側には高さ970mm、長さ1,970の板ガラスを取り付けてある。反対の面には、変角装置をもった模型取付板がある。ガラス面をのぞき、測定部内面はすべて光沢をもった黒色仕上げになっている。また、測定部の上下面は、照明のため全面ガラス張りとしてある。なお、測定部は全長にわたって同一断面形とし、境界層の発達に対して、拡散角をとるなどの方策はとっていない。

照明は、図6のようなランプハウスを測定部上下面に設け、光源には1kWの沃素電灯を上下各6個、計12個使用し、スリットを通して測定部のほぼ全長におよんでいる。ランプハウスは、測定部本体から取外しができるようになっているため、他の照明法を採用することも可能である。照明に対する配線系統は、図7の電気系統図に示すとおりで、4つのグループに分割して点滅する。

4.6 拡散筒

拡散筒は、木製枠組と合板で形作られ、内面は平滑に仕上げ、黒色塗装を施してある。拡散角は、両面で

ほぼ3°になっているが、筒円の境界層のはく離を防ぐとともに、排気ダクト内の気流の乱れが測定部におよばないように、筒の下流端に、60メッシュの金網を張ってある。金網は、必要に応じて取外し取替えが可能で、試験風速に適したスクリーンに交換することができる。とくに、風速制御がバイパス制御方式となっていて、主流側ダンパーは2枚の有孔板(開口比10%)を使用して、主流に生じる乱れを細分するようにしているため、最低風速に限度がある。上記の形態で使用する場合は、最低風速が約7m/sとなるので、より低速での試験には、筒端に、より大きな抵抗をもつスクリーンを取付ける必要がある。

4.7 排気ダクト

本風洞は、気流が外気の影響をうけないように、屋内の空気を吸込むようにしたが、放出空気は、保健や安全の点からはもちろん、煙を風洞へ再導入しないように排気ダクトにより屋外へみちびくようにした。排気ダクトの端末は、外気の変動が少ないところを選び、水平に開口し、雨水を防ぐルーバーと、防虫用の金網を取り付けてある。排気ダクトは、22番の垂鉛引鉄板で製作しているが、振動を防ぐように、十分な補強を施してある。

4.8 煙発生装置

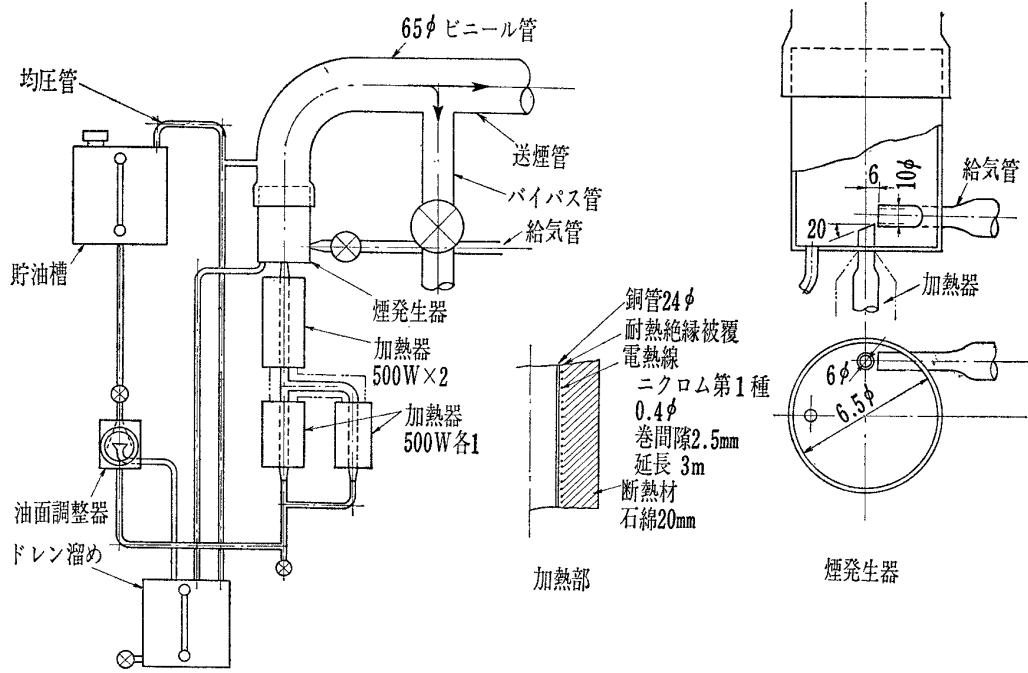


図 8 煙 発 生 装 置

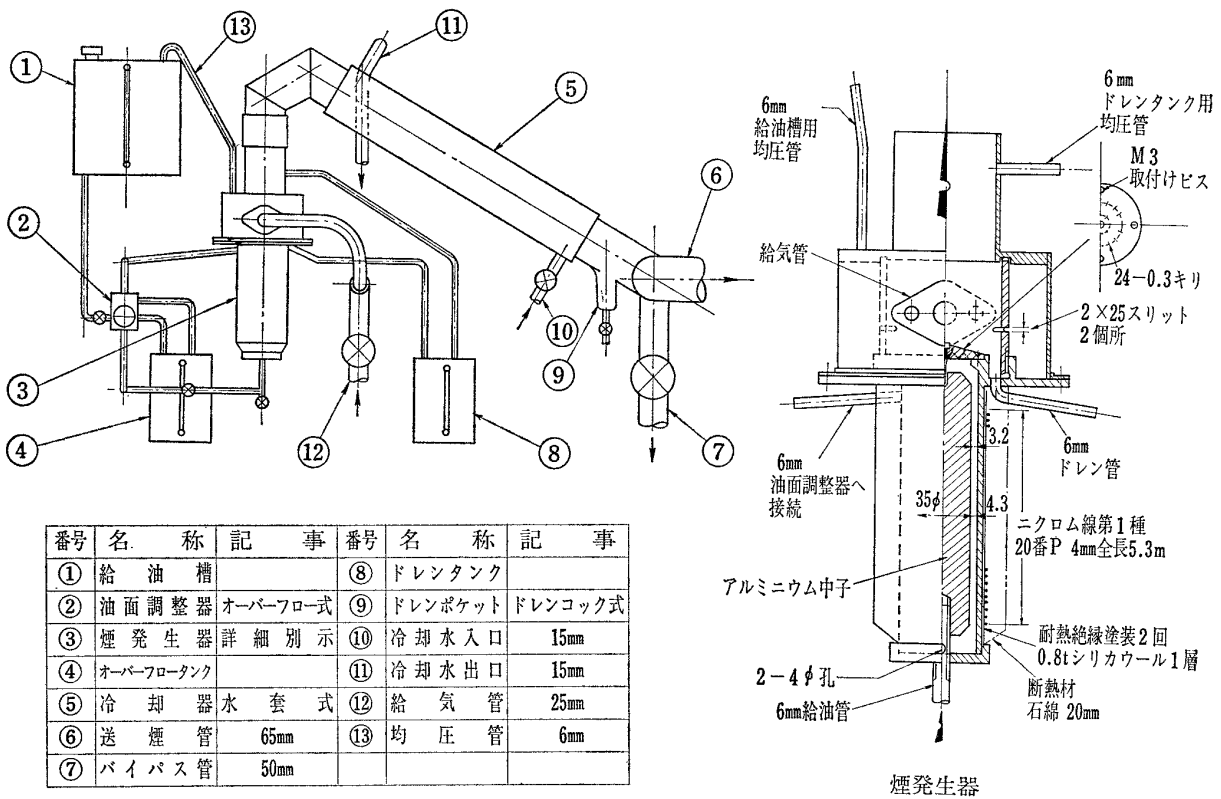


図 9 煙 発 生 装 置

本風胴用に、2種類の煙発生装置を用意しているが、図8に示すものは、はじめに製作したものである。外径24mmの銅管の周囲に、耐熱絶縁材を介して、電熱線（ニッケルクローム第1種、径0.7mm）を巻付けた2本の加熱器により、白灯油を蒸発気化し、さらに、1本の加熱器に集合して、過熱状態として混合筒に送

る。混合筒には、円周方向に空気を流しこむノズルと、その下方から白灯油の蒸気をみちびく吸込み口がある。ここで、白灯油の蒸気は十分にかくはん、冷却され、霧状になって白煙をつくる。この中で、粒子の大きいものや筒壁で凝縮したものは、底部に集合してドレン管により排出される。以上のようにして作られ

た白煙は、導管をへて、細管から風胴測定部へ流される。また、導管の途中に設けたバイパス管の仕切弁を操作して、煙の流量を調整する方式をとっている。この煙発生装置は、実用上ほとんど支障のないものであるが、蒸気を微細な孔から噴射し、より急速に冷却することによって、さらに小さな粒子を作ること、2) 5) すなわち、より軽い煙とすることを期待して、図9に示すような煙発生装置も製作した。この装置でとくに考慮した点は、加熱部で大きな気泡が発生し、その振動が煙の流れに影響しないよう、中心部に中子を入れ、狭い部分(4.3mm)で沸騰させること、均圧管やドレン管の径を6mm以上として、それぞれの機能低下による不都合、とくに加熱器内の油面の変動をさけること、さらに、長時間の連続使用に耐えられる構造にするなどである。加熱器に使用した電熱線は、ニッケルクローム第1種で、線番20(0.813mm)のものである。

電源の電圧を100Vとしたので、加熱温度がほぼ500°Cとなるように、全長5.4mの線を4mmピッチで巻付けてある。なお、電源と電熱線の間に電圧調整器を設けて、電熱線の電流を変化できる方法をとっている。また、白灯油を加熱する関係上、火災やそれに伴う事故については、十分な注意が必要である。とくに、加熱部分については、場合によって異状な圧力をうけることも考えられるので、十分な厚みを持った材料を使用した。長時間の連続使用に対しては、直接高温にさらされる部分の材料を耐熱のものとして、その他の部分も、熱絶縁や冷却を考慮するなど、過熱による故障を防止している。万一、引火したときのため、給煙用母管に接続する配管の途中に、弁板をスプリングで押える簡単な防爆扉を用意し、瞬間的圧力上昇による危害の防止を計っている。

前記の、送煙量を制御するバイパス管の端末は、直接外気に開放され、現状では不都合はないが、将来何らかの対策が必要と思われる。

4.9 電気設備

送風機用電動機および測定部照明の電源は、実験用分電盤の200V系から供給される。測定部付近に操作盤を設けて、送風機の起動停止、風速制御および測定部照明の操作を行なう。

煙発生装置は、他の風胴にも使用できるように、可搬式になっているため、上記の操作盤とは別に、100V系から、ナイフスイッチ、電圧調整器をへて加熱器へ供給されている。

電気系統の概略は、測定部照明の項であげた図7に示すようなものである。なお、図中に記されている制

御盤は、送風機の機側に据えられている。

5. 風胴特性

本風胴は、試験風速の大幅な変更を拡散筒下流端に設けるスクリーンの選択、すなわち、その抵抗の変化によっているので、あらかじめ全体的な静圧分布を求めておく必要がある。

また、測定部の断面形が気流方向に一様で、境界層の発達の影響を除去する対策をとっていないので、どのような結果を生じているか、さらに、煙の流れが鮮明に観察できるように、気流の乱れが少ないかどうかなど、風胴の特性を把握することとした。

そこで、風胴を煙の流れ観測に適した形態にして、風胴系全般の静圧分布、測定部の静圧勾配と風速分布、さらに気流の乱れ、について行なった風胴特性試験の結果を、それぞれの項に分けて述べる。

5.1 風胴の静圧分布

風胴の系全体の特性を知るとともに、前にのべたとおり、試験風速にしたがって拡散筒末端のスクリーンを選択する資料にするためと、将来、整流などほかの目的で抵抗物を増設する余裕を見出しておくため、風胴各部の静圧を測定した。壁面に設けた測圧孔によって測定したもので、図10に示す結果をえた。測定時の風胴形態は、拡散筒下流端のスクリーンに、整流金網と同じ60メッシュの金網を使用している。試験風速は、10、15および20m/sの3種とし、バイパス風量を制御して設定している。図の縦軸は、風胴各部の静圧と風胴を設置している室内の大気圧との差をmmAqで表わしたものである。ここで、測定部の静圧が、はじめに計画したとおり大気圧より高くなっていることがわかる。また、鎮静室と集合胴の入口に取り付けた毛布地は、風速の低い部分にあるため、拡散筒下流端のスクリーンと比べて、圧力損失の少ないことが認められる。なお、風速設定をバイパス量制御によっているため、本図と図2の送風機の作動状態から、直接的に拡散筒下流端のスクリーンを選択することは困難であるが、このスクリーンと送風機入口側の金網を変更して、試験風速を大幅に変えられることがわかる。

5.2 測定部の鎮圧勾配と速度分布

測定部は、風胴軸方向に一様の断面形となっているため、境界層の発達にしたがって静圧勾配をもっている。その状態を知るため、測定部の壁面に設けた測圧孔と、風胴軸上に設ける静圧測定管を併用して、各位置の静圧を測定した。その結果は、図11のとおりであるが、図の横軸は測定部の上流端からの距離で、縦軸

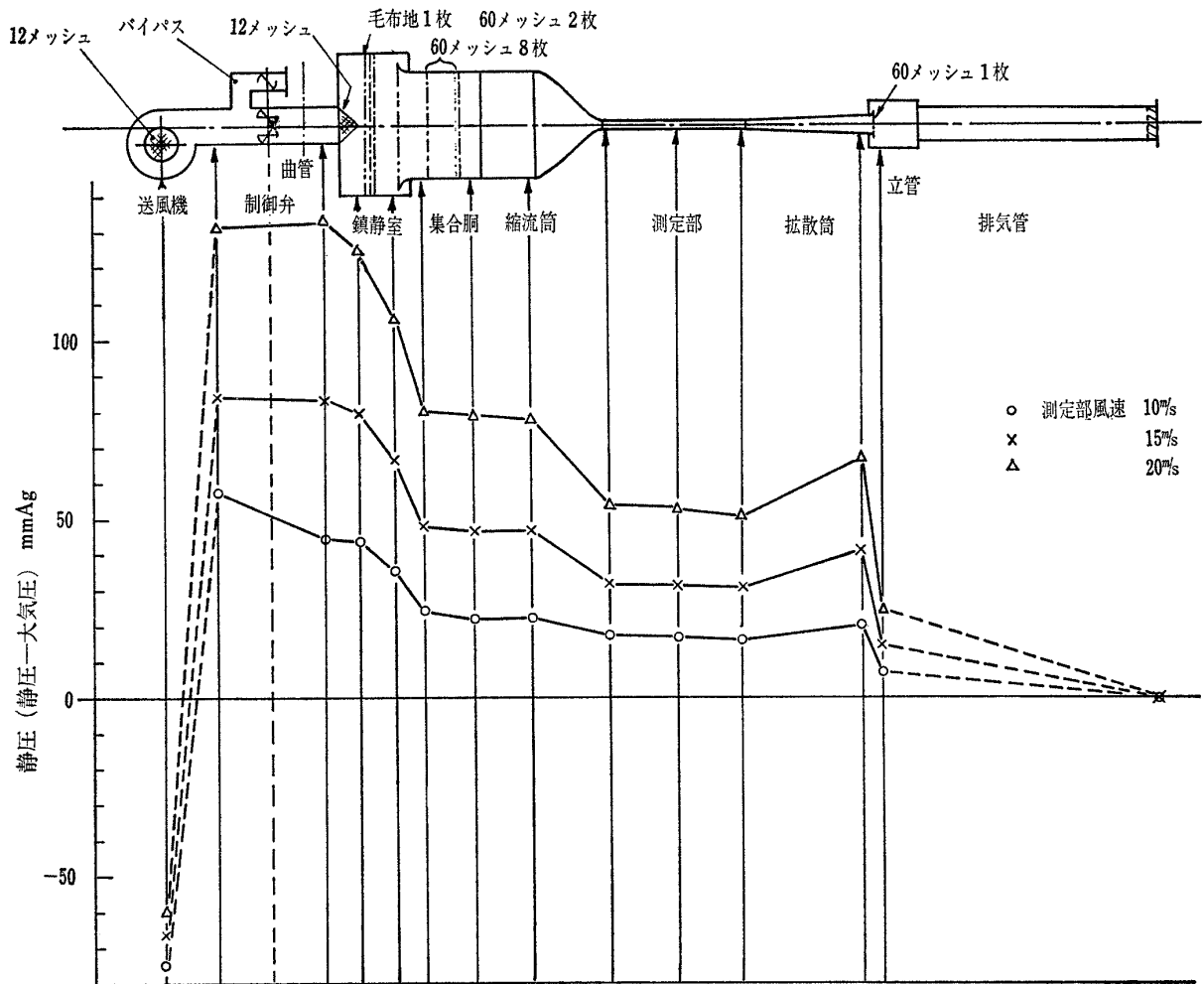


図 10 静 圧 分 布

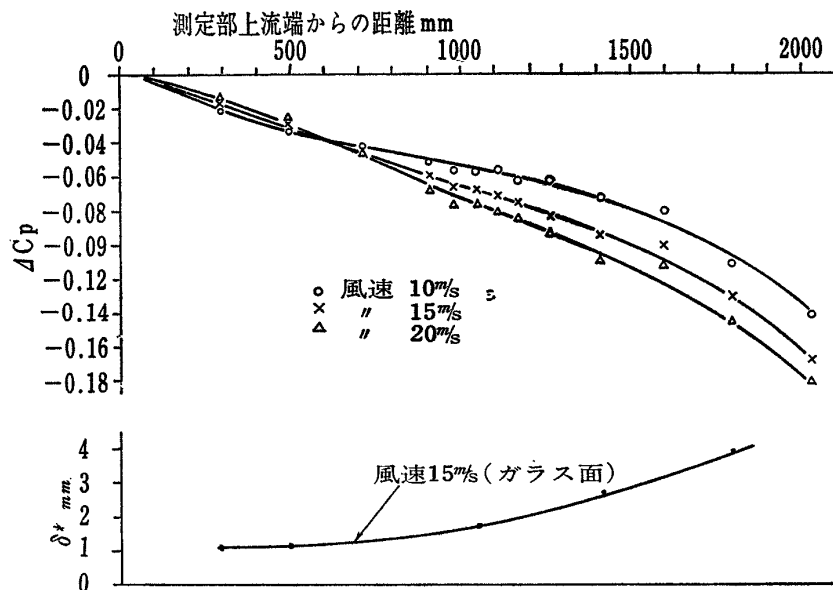


図 11 測定部静圧勾配

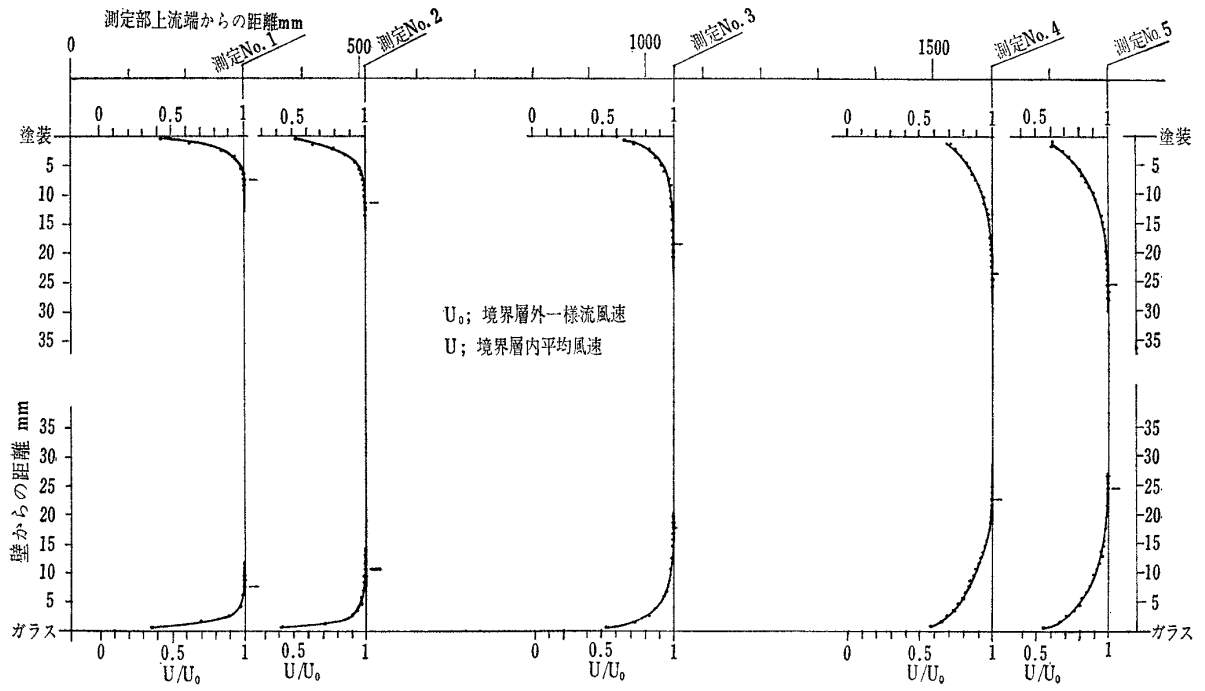


図 12 測定部速度分布

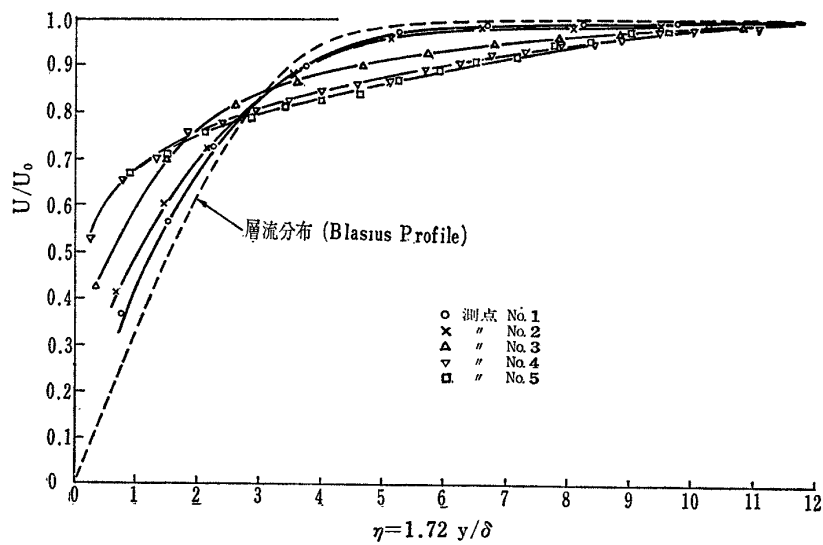


図 13 境界層内平均風速分布

は上流端の基準静圧に対する各静圧の差を無次元化したもの;

$$\Delta C_p = \frac{\text{測定点の静圧}(p_n) - \text{上流端の基準静圧}(p_0)}{\text{上流端の平均動圧}(q_0)}$$

である。なお、同図には、あとで述べる境界層内の平均風速分布から求めた排除厚 (δ^*_{mm}) の値を、参考に付記してある。図でみられるように、本風洞測定部の静圧勾配は大きい値を示しているが、これは、測定部幅を比較的狭い100mmに選定した結果と考えられる。

また、測定部の境界層の厚さとその形状を知るため、測定部の中心高さで、幅方向の速度分布を求めた。風洞軸方向に5点測定したが、一般流風速 15m/s のときの結果は、図12のようになった。一般流風速が 10および20m/s の場合も測定したが、境界層の厚さが速度に応じて増減しているほか、速度分布の移りかわりはほとんど同じ傾向となっている。一般流風速 15 m/s のときの、模型取付位置 (測点 No. 3) における境界層の厚さは、ガラス面で約17mm、塗装面で約18mm になっている。

図12に示す5個所の測定点について、境界層内の平均風速分布を図13にまとめてある。本図は、縦軸に U/U_0 を、横軸に $\eta = 1.72y/\delta^*$ をとってプロットしたもので、 y は壁からの距離を表わす。点線で示してある、平板の層流境界層における平均風速分布(Blasius profile) と、各境界層内の平均風速分布を比較すると、測点 No.1から No.5に向うに従って層流分布から離れ、測点 No.5に至って、完全な乱流境界層に遷移していると考えられる。なお、図示のものは、すべて各測定部のガラス面側の境界層について表わしているが、それぞれの境界層厚さ (δ_{mm})、排除厚 (δ^*_{mm}) お

表 1 境界層厚さ算定値

測定位置	δ	δ^*	θ	$\frac{\delta^*}{\delta}$	$\frac{\theta}{\delta}$	$H = \frac{\delta^*}{\theta}$
No. 1	7.5	1.145	0.553	0.153	0.0737	2.06
No. 2	11.5	1.176	0.633	0.118	0.055	1.86
No. 3	17.5	1.65	1.033	0.0945	0.0591	1.60
No. 4	22.5	2.77	1.886	0.123	0.0838	1.47
No. 5	24.9	3.18	2.249	0.128	0.0904	1.41

よび運動量厚 (θ_{mm}) を求めると、表1のとおりになる。ここで、平板における Shape Factor ($H = \delta^*/\theta$) について、Schubauer と Klebanoff が測定した結果(6) を本測定部にも適用できるものとすれば、測定部上流端で H の値が2.6より小さく、すでに遷移領域にあると推定される。測定部下流付近では、 H の値が1.4となり、この点からも測定部下流部では完全な乱流境界層になっていると考えられる。

5.3 測定部気流の乱れ

測定部の模型取付位置における主流の乱れは、熱線風速計による測定の結果、風速 7~25m/s で 0.1%前後となった。外気による影響を大きくうけるため、測定時の状況から、外部の大気が静穏なときの乱れは、0.1%以下と判断される。また、境界層の乱れをオシログラフで観測した結果、風速 5m/s 以上で層内に間欠的乱れがみられ、18m/s では完全乱流領域が現われる。さらに、同じ模型取付位置で、熱線風速計によって境界層内の平均風速分布と乱れの分布を測定した結果、図の14ようになった。

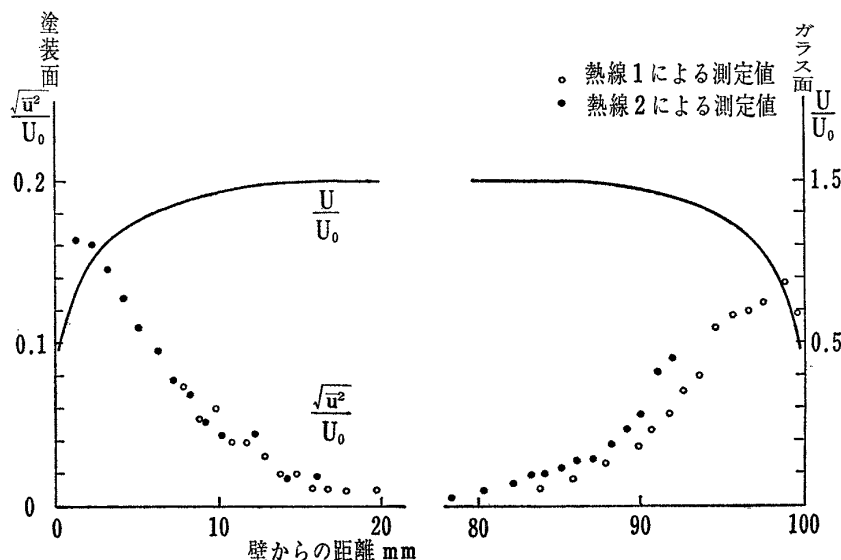
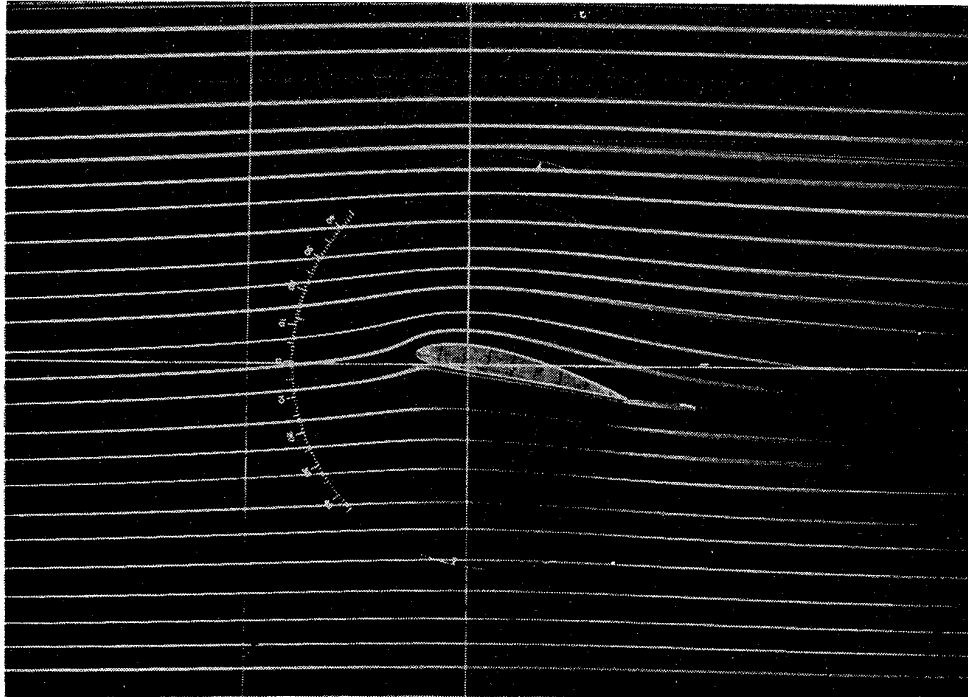


図 14 境界層内の乱水分布 (測定部中央)



風速 9m/s 迎角 12°

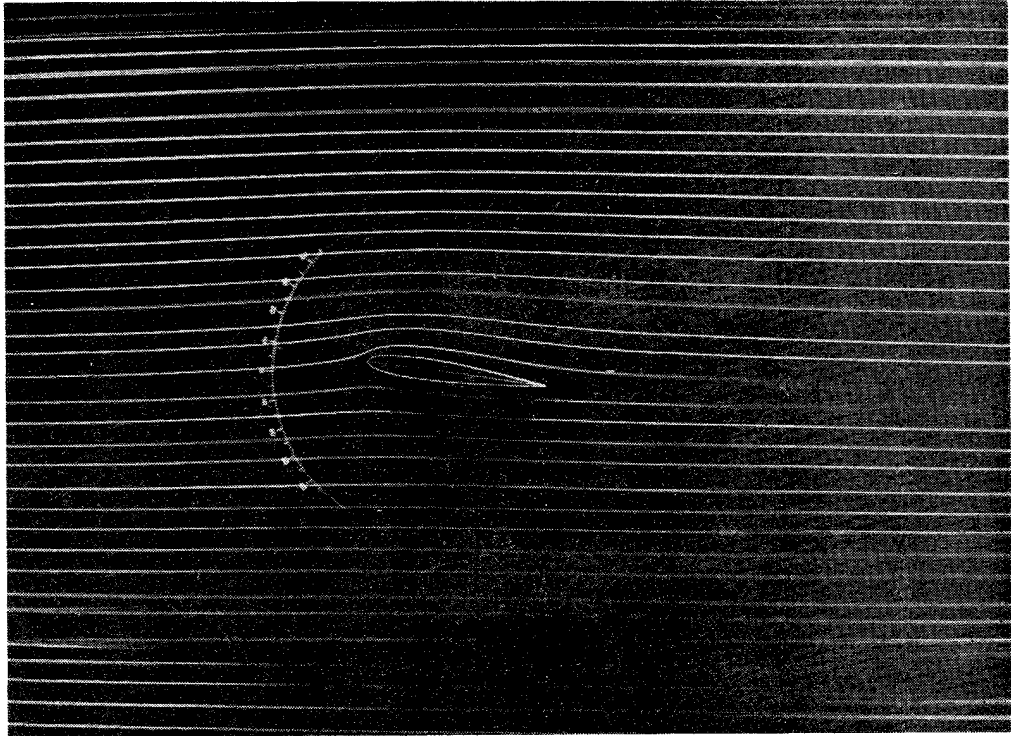
図 15 NACA 4412 翼のまわりの流れ

6. む す び

本煙風洞は、本体完成後、整流についての補足や煙発生装置の改良を重ね、所期の性能をえて各種試験に供されているが、そのうちのいくつかを参考までに付記する。なお、現在の測定部照明では、普通のスチル写真の撮影に対しては十分であるが、ムービー撮影

には不足の感があり、今後検討の必要がある。

図15; NACA 4412 翼模型を使って、基本的な流線の観測法を検討したときの写真で、流線の高さを測定する場合、カセットメーターを使用して比較的容易にとらえられることが確かめられた。模型の弦長は 200mm で、迎角12° の状態を示している。



風速 9m/s 迎角8°

図 16 NACA 0012 翼のまわりの流れ

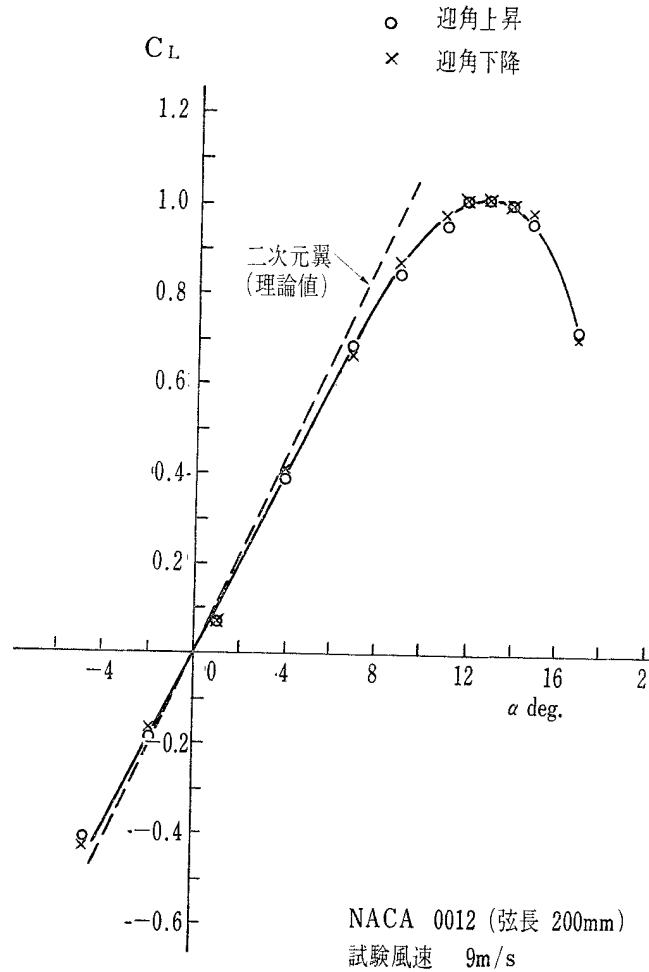
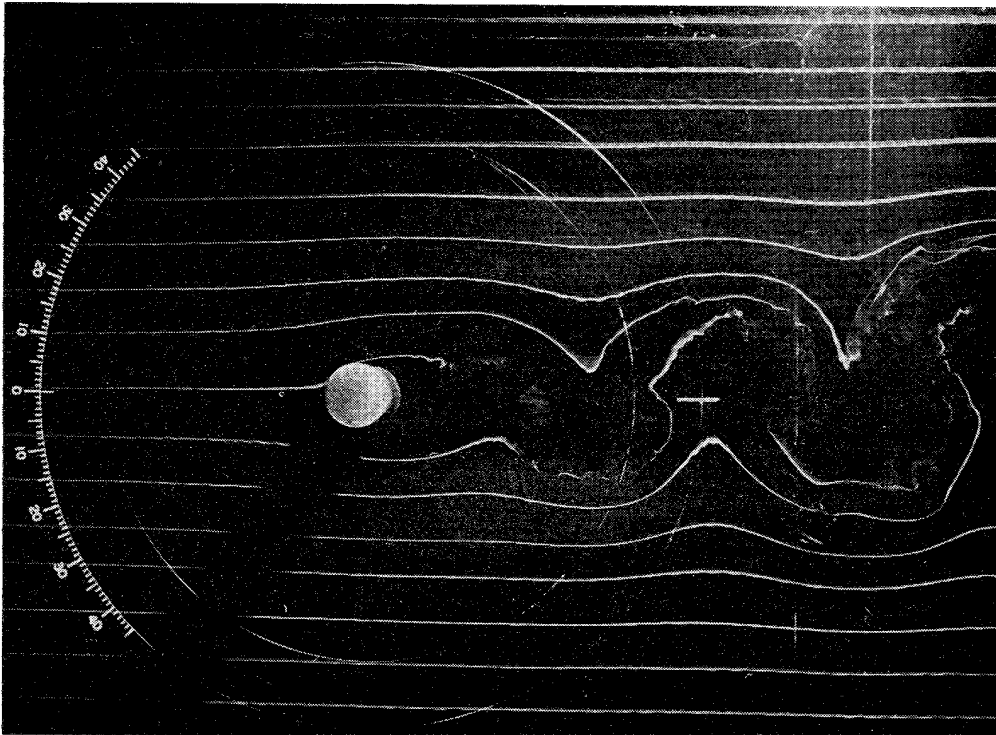
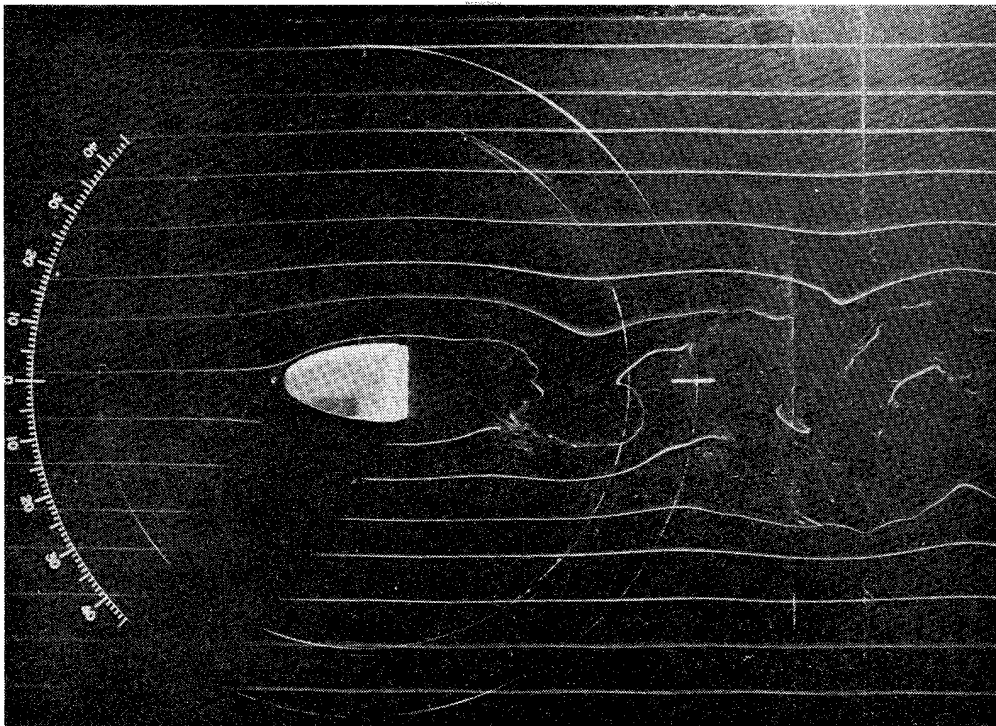


図 17 断面揚力係数



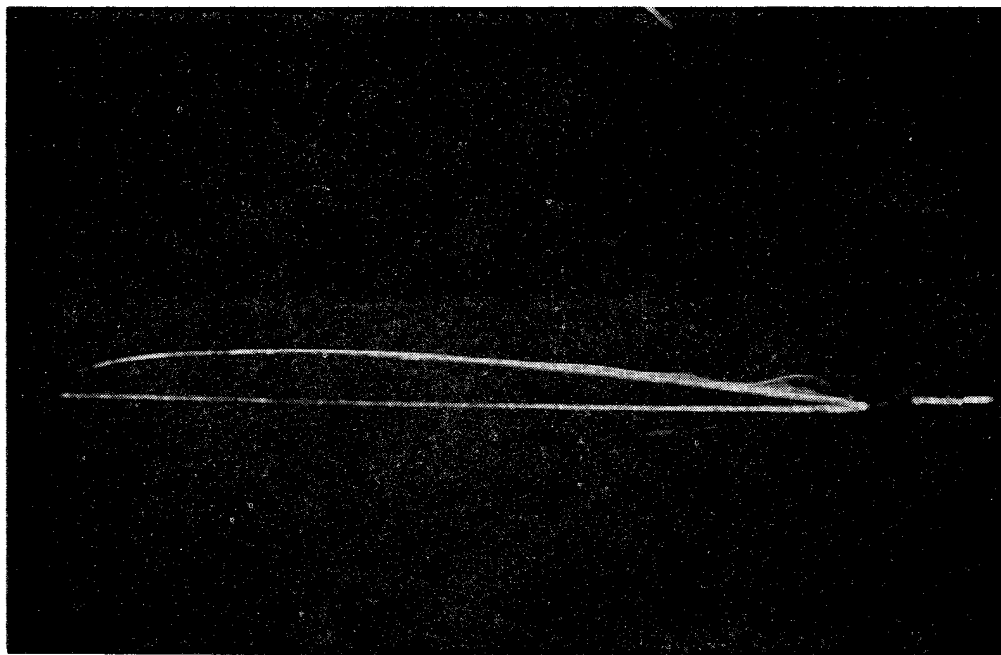
風速 7.8m/s 直径 30mm f 46.7Hz

図 18 円筒後流のカルマン渦の観測

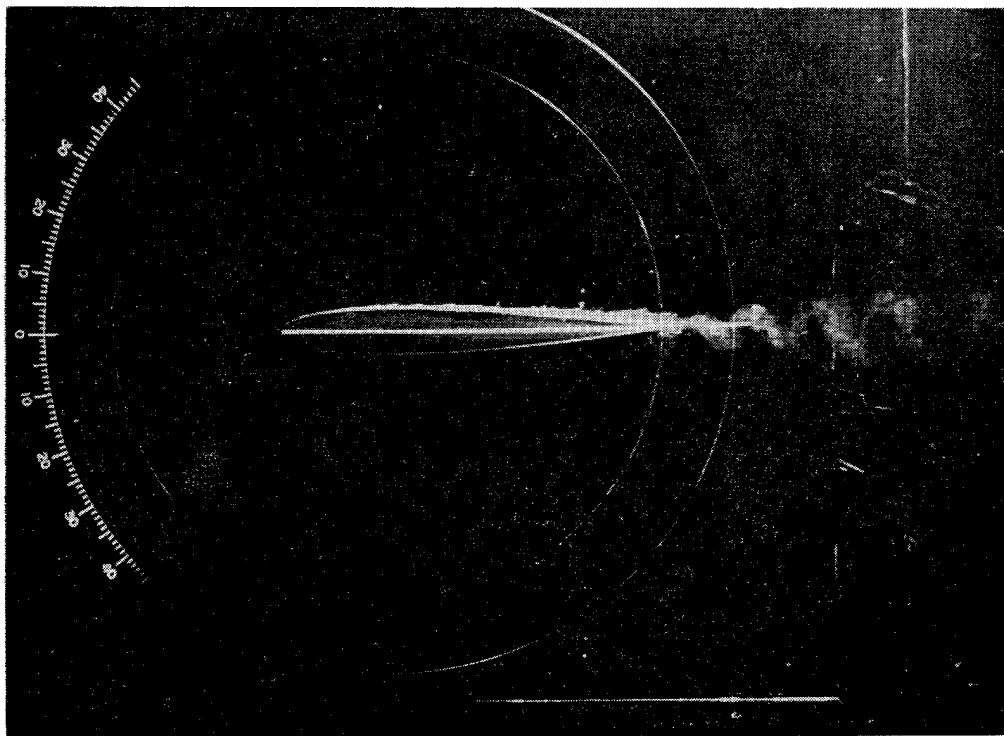


風速 7.45m/s 短径 40mm f 46.7Hz

図 19 半だ円柱後流のカルマン渦の観測



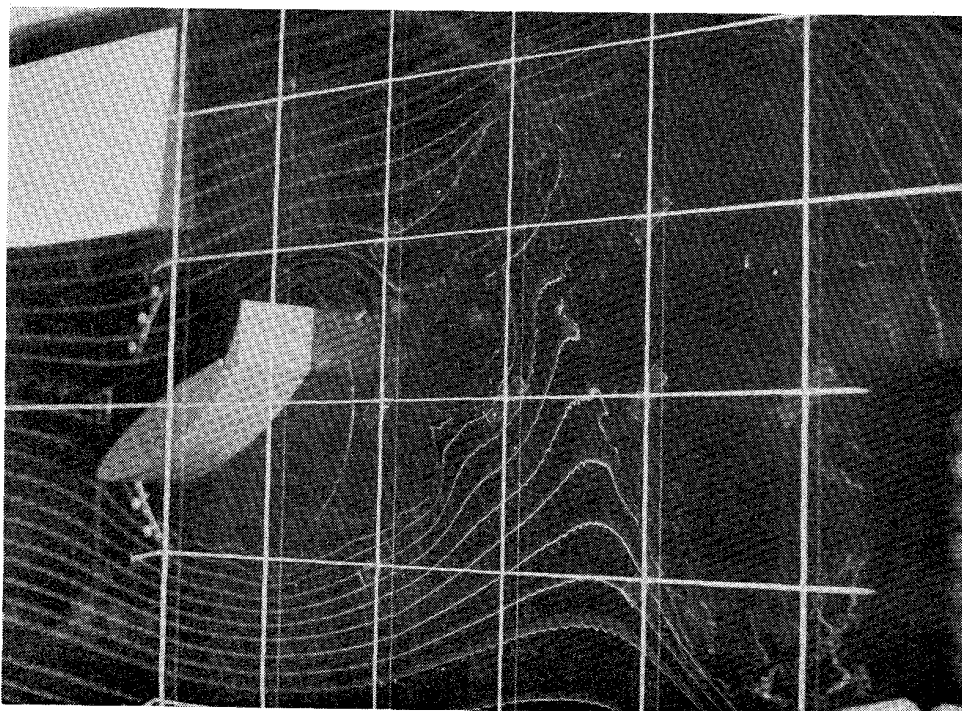
(A) じょう乱をうけない場合



(B) わずかにじょう乱をうけた場合

風速 4m/s 翼弦長 200mm

図 20 NACA 0012 翼上面の境界層



風速 5m/s 迎角 30°
フラップ角 45° f 4.7Hz

図 21 はく離れた翼のまわりの流れ

図16および17; NACA 0012 翼模型を使って気流や煙の状態を調べるなど、予備試験を行なったときの写真と、文献7にならって算定した断面揚力係数を示している。この時点では、鎮静室に毛布地を張るなど、整流の補足を行なった後で、十分実用に供される状態であることがわかる。断面揚力係数の算定結果については、同程度のレイノルズ数の適当な資料が見当たらないので、断定はできないが、勾配が小さめにでている原因の1つに、図12にみられるような境界層の存在による、実効アスペクト比の影響が考えられる。

図18および19; 円筒および半だ円柱の後流に生じるガンマン渦を観測したときの写真の一部である。ストロボを使って観測したもので、この場合のストロハル数を求めると、円筒で0.18, 半だ円柱で0.25となる。図中の f は毎秒発生する渦の数を示している。

図20; NACA 0012 翼模型上面の前縁付近にスリットを設け、そこから翼上面の境界層へ煙を流して、層

の様子を観測したときの一例である。(a)は煙の量を十分おさえて、境界層に直接じょう乱をあたえないようにした場合で、層流境界層のまま流れているのがみられる。(b)は煙の量を少し増して、境界層にごくわずかなじょう乱をあたえたときのものである。

図21; フラップをもった翼型が大迎角をとって、流れがはく離れた状態を観測したときの写真(新型航空機部犬丸室長撮影)で、模型の形態その他は図に付記したとおりである。

最後に、本風洞の計画にあたって、ご指導やご援助下さった東京大学工学部の中口教授と同研究室の方々、および当所管理部工作課の田村係長、また参考写真の掲載を許可された新型航空機部犬丸室長に、さらに、全体の計画から特性試験まで終始ご助力いただいた重見空気力学第二部長、牛田室長、広岡室長、遠藤室長はじめ空気力学第二部の皆様に、謝意を申しのべる次第です。

文 献

- 1) G. B. Schubauer and W. G. Spangenberg; The Effect of Screen in Wide-Angle Diffusers NACA T. N. No. 1610 1948.
- 2) R. C. Pankhust and D. W. Holder; Wind-Tunnel Technique, 1952 p. 140, 647.
- 3) D. C. Hazen and R. F. Lehnert; Smoke Flow Studies Conducted at Princeton Univ. Contract N6 onr 27016.
- 4) H. L. Dryden and I. H. Abbot; The Design of Low-Turbulence wind Tunnels, NACA T. N. No. 1755 Nov. 1948.
- 5) C. Salter, M. A. of The Aerodynamics Div. N. P. L. Multiple-jet White-Smoke Generator R&M No. 2657, March 1950.
- 6) H. Schlichting; Boundary Layer Theory, 4th Ed., Transl. by J. Kestin, p. 380 Mcgraw-Hill N. Y. 1960.
- 7) 山名正夫; 二次元煙風洞による断面揚力係数の近似測定, 日本航空学会誌 vol. 13 No. 141.

頁	行	誤	正
P - 2	下から19行目	4. 2 送風機と基礎	4.1 送風機と基礎
P - 5	上から2行目	集合同と縮流筒	集合胴と縮流筒
P -11	図13 横軸	$\eta = 1.72y/\delta$	$\eta = 1.72y/\delta^*$
P -12	最下行	図 14 ……乱水分布	図 14……乱れ分布

航空宇宙技術研究所資料 197号

昭和46年1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)44-9171(代表)〒182

印刷所 第一印刷株式会社
東京都新宿区富久町58
