

UDC 531.78

532.58

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-108

インダクタンス型小型圧力変換器の
試作とその応用

長洲秀夫・柳沢三憲

1967年7月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

既 刊 資 料

TM-46	翼胴結合金具の疲労特性	1964年12月	竹内和之, 藤枝郭俊
TM-47	ローター後流中のヘリコプター胴体の抵抗について	1965年1月	幸尾治朗, 岡 遠一
TM-48	極超音速風洞用ペブル加熱器の予備実験	1965年2月	平木一, 橋本登崇 林二識, 吉永 山口富夫, 岡鎌田幸一男
TM-49	Queen-Air 機の失速特性について	1965年2月	幸尾治朗, 岡鎌田幸一男 井祐之, 堀 武敏
TM-50	LS-A 型ロケットの曲げ剛性および振動試験について	1965年5月	中井映一, 堀 武敏 泉日出夫
TM-51	超音速風洞空力データ表示記録装置	1965年5月	谷 喬, 高島一明史 原 亘利, 近藤洋史
TM-53	ベクトルのノルムと行列のノルム—数値解法の収束条件その他への応用—	1965年5月	板垣芳雄
TM-54	熱衝撃試験用風洞整備試験	1965年5月	武藤洋治郎, 池田為治雄 坂元思無邪, 光山敏
TM-55	ロケット模型風洞試験における超音速相似則の応用	1965年5月	河崎俊夫, 谷 喬
TM-56	2024-T4アルミニウム合金平滑丸棒の常温回転曲げ疲労試験	1965年7月	石田 誠, 河野哲雄
TM-57	極超音速における軸対称物体の前面抵抗	1965年7月	曾我 男
TM-58	試験用飛しょう体の超音速風洞試験	1965年8月	斎藤秀夫, 木村友昭
TM-59	ジェットリフトエンジン空気取入口の実験 (I)	1965年9月	近藤 博, 増田惣平
TM-60	吹出式超音速風洞における実験データの処理方式について (II)	1965年9月	原 亘利, 高島一明夫 関根英夫, 中 正夫 戸川保子
TM-61	クインエア機の風洞試験	1965年9月	広末健一, 矢沢健司 塚野雄吉, 田村征一 佐野四郎, 能村 実 別府信宏
TM-62	高温歪ゲージの温度特性試験	1965年10月	江川幸一
TM-63	2024-T3アルミニウム合金の有孔補強平板の軸荷重による疲労特性	1965年10月	飯田宗四郎
TM-64	応力集中による材料の疲れ強さに関する一実験 (I)	1965年10月	池田為治, 坂元思無邪 光山敏雄
TM-65	ジェットエンジンの翼の固有振動に関する実験	1965年11月	武内澄夫, 宮地敏雄 星谷昌二
TM-69	質量分析計による水蒸気を含む試料のガス分析	1965年12月	斎藤隆, 堀内正司 中村浩子
TM-71	可動アイアンバードの構造および機能	1965年12月	機体第一部, 計測部 原動機部
TM-72	地上付近の風の影響による小型ロケットの姿勢角変化	1965年12月	戸川隼人, 石黒登美子
TM-73	固定端を有する薄肉円筒殻の自由振動について	1966年1月	田寺木一, 泉日出夫
TM-74	回転振動試験装置の計画, 構造および特性	1966年2月	武内澄夫, 宮地敏雄 星谷昌二
TM-75	高マッハ数風洞の消音装置について	1966年2月	牛田健二, 清水福寿 吉永 崇
TM-76	コーティングの断熱効果のアナログシミュレーション	1966年2月	小川 敏一
TM-77	テレメータ電波の偏波面の回転を利用したロケットのスピン測定について	1966年3月	田畑浄治, 桜井善雄 三浦雅男
TM-78	昇降舵の操舵力特性に関するシミュレータ解析	1966年3月	堀川勇壯, 森 幹彦 中野佳直
TM-79	テレメータ機上装置の小型化の研究	1966年3月	新田慶治
TM-80	安定制御のための一計算法	1966年3月	新崎哲二
TM-81	吹出式超音速風洞の起動時および停止時における過負荷防止装置	1966年3月	石原久蔵, 斎藤秀夫 外立政隆, 榊原盛三 宗美 均
TM-82	ピトー管による境界層速度分布測定について	1966年4月	長洲秀夫, 柏原登喜子
TM-83	ジェットリフトエンジン空気取入口の実験 (II)	1966年4月	近藤 博, 増田惣平

インダクタンス型小型圧力変換器の 試作とその応用*

長洲秀夫**・柳沢三憲**

物体に作用する静圧および1,000c/s程度までの変動圧力を測定するために、非常に小型で模型の内部に装着できるようなインダクタンス型圧力変換器を3種類試作した。較正試験を行なった結果、温度効果がやや大きかったが、直線性、周波数特性などについては良好な性能が得られた。

また、この変換器を用い、亜臨界領域における円柱表面の変動圧力の周波数を測定し、変換器の実用性をたしかめた。その結果、圧力の基本周波数はカルマン渦の周波数と等しいが、円柱の後部の表面ではその2倍の周波数の強い変動もあることがわかった。

1. ま え が き

非定常空気力学の研究分野においては、気流中で振動している物体の表面圧力、非定常流中の変動する表面圧力の測定が非常に重要である。この目的に使用できる変換器に要求される性能としては次のことが考えられる。

- (1) 周波数応答が良いこと。
- (2) 極めて小型であること。

変換器自身として周波数特性が良くても、長い圧力導管を用いると、導管による圧力伝達の遅れが大きく、変動圧力は測定できない。したがって変換器は圧力測定孔のすぐ近く、模型内部に置く必要がある。風洞実験模型の大きさには制限があるので、変換器は必然的に小型でなければならない。また小型にすることにより変換器自身の周波数特性も良くなる。

- (3) 慣性力による影響が小さいこと。

振動する模型の表面圧を測定する場合には特にこのことは重要である。

- (4) 周囲温度の影響が小さいこと。
- (5) 内部インピーダンスが低いこと。
- (6) 構造が簡単で堅固であること。
- (7) 圧力と出力の直線性が良いこと。
- (8) 測定法が簡単なこと。

このような圧力変換器として、圧電型、抵抗線歪計型、容量型、インダクタンス型などが考えられる。著者

の一人¹⁾はこれらの型式について比較し、容量型と圧電型について小型のものを試作したが、容量型より圧電型の方が取扱いが簡単であった。しかし、強誘電体を利用した圧電型では、誘電体内部の電氣的漏洩のため、静的な圧力が測定できない。ここでは、直流的な静的圧力から、1,000c/s程度の高い周波数の変動圧力まで測定できる、磁性金属膜を用いたインダクタンス型の小型圧力変換器を試作し、その較正を行なうとともに、実際にそれを利用して、円柱上の変動する圧力の周波数を測定したのでその結果について述べる。

2. 構造と製作

2.1 変換器部

この変換器は図1に示したように、コイルと強磁性体のケースおよび膜とで磁気回路を構成したもので、圧力によりこの磁性体の膜が変位すると、コイルとの間の空隙が変化し、磁気抵抗が変り、したがってコイルのインダクタンスが変化するもので、バリャブル・リラクタンス型とも言われる。このコイルを交流ブリッジの辺に挿入しておけば、コイルのインダクタンスの変化に比例した出力がブリッジから得られる。このような回路について Patterson²⁾ および Smotherman³⁾ の解析によると、

(1) 磁気回路に磁束の漏洩がなければ、膜の変位が小さいときは、インダクタンスの変化は膜の変位に比例する。

(2) 膜およびケースの材質としては初期透磁率の大きい方が出力が大きい。また、ヒステリシス損失が小

* 昭和42年5月23日受付

** 空気力学第一部

さく、渦電流損失を小さくするためには電気抵抗の大きいものがよい。

(3) 図1に示したように、膜の両側にコイルを置き、このコイルを交流ブリッジの二辺としてプッシュ・プル動作させると、出力が増大するのみならず、膜の変位と出力との直線性も改善される。

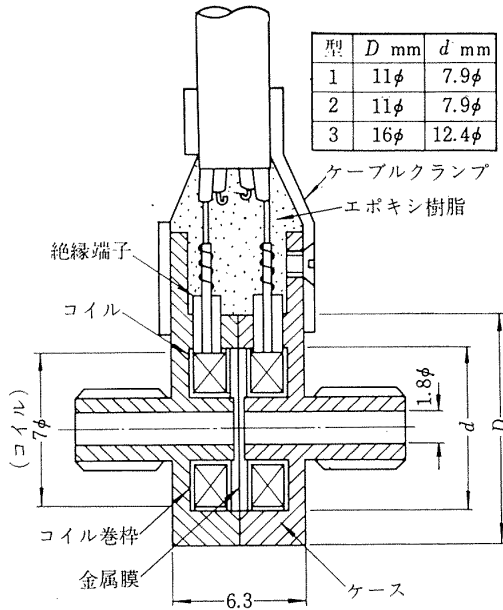


図1 変換器組立図

(4) 膜とコイルとの間隙は小さい方が出力の直線性は良くなるが、出力が減少し、温度膨張の影響を受けやすくなる。

(5) 圧力と膜の変位の関係は、変位が大きくなるにつれて非線形となる。膜に初期張力を加えておけば線形の範囲を増大することができる。さらに、薄膜にあらちな初期歪の影響を除くこともできる。

実際に試作した変換器の構造を図1に、写真を図2に示した。

ケースおよび膜の材質としては透磁率の大きいパーマロイを使用した。また加工による内部歪を除くために、工作後に水素焼鈍を行なった。コイルは二個を膜の両側に置きプッシュ・プル型式とした。このように膜を中心にして空隙、コイル、ケースを構造的、電気的に対称に作ることにより、変換器全体の温度ドリフトが小さくなるようにした。

膜とコイルとの間隙は、Smotherman³⁾は膜厚よりわずかに大きい程度の非常に小さな値を用いているが、ここでは膜の変位より大きいこと、および製作上の誤作が大きく影響しないようにするため、比較的大きな値とし、0.25mmとした。

初期張力のある場合の周辺固定の円板の変位と圧力の関係は次式で与えられる²⁾。

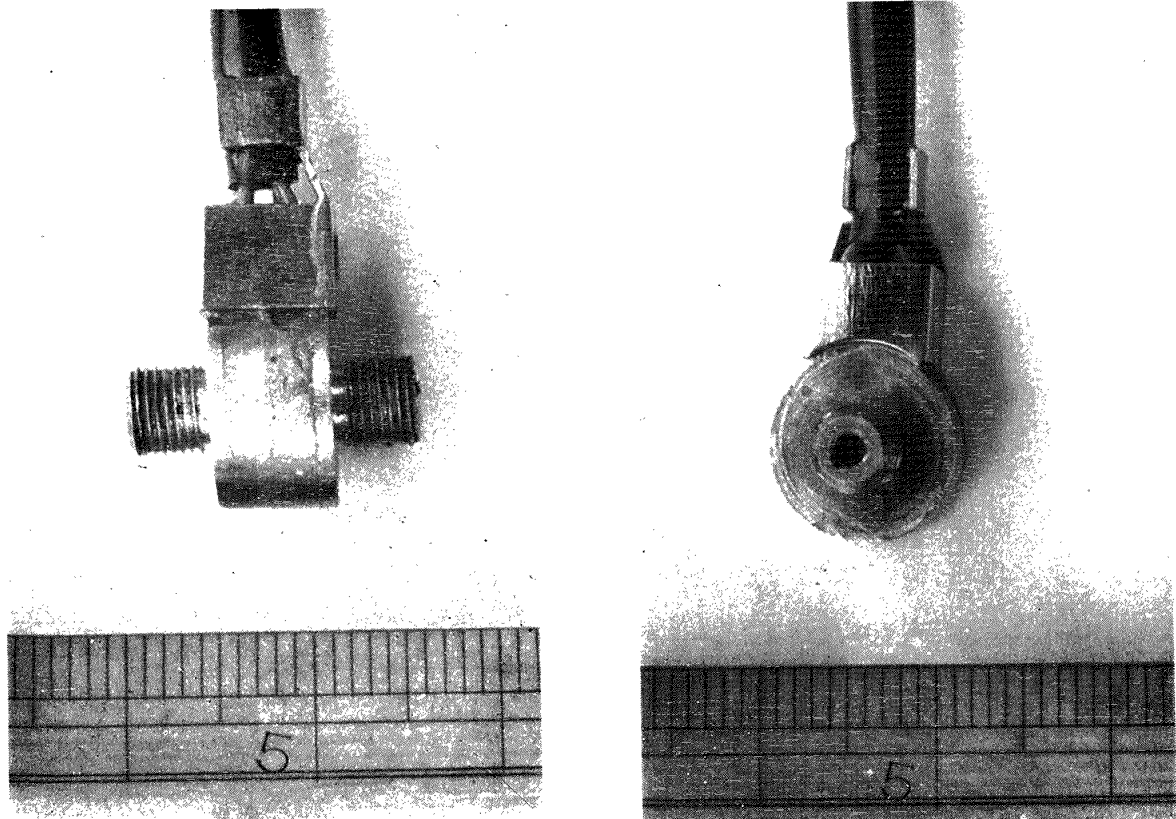


図2 1型変換器(外径11mmφ)

$$p = \frac{16}{3} \cdot \frac{E t^3 w}{(1-\sigma^2) R^3} \left[1 + \frac{5(1+\sigma)}{6} e_0 \frac{R^2}{t^2} + \frac{(1+\sigma)(173-73\sigma)}{360} \frac{w^2}{t^2} \right] \quad (1)$$

ただし $w < 8t$, $e_0 < \frac{10t^2}{R^2}$ とする。

ここに

- E : 材料の縦弾性係数
- σ : 材料のポアソン比
- t : 円板の厚さ
- e_0 : 初期張力による伸び率
- R : 円板の半径
- w : 変位
- p : 圧力

(1) 式に $E=2 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma = 0.3$$

$$R = 0.397 \text{ cm}$$

を代入し, $t=0.025 \text{ mm}$, および $t=0.05 \text{ mm}$ の場合について変位と圧力の関係を求めた結果を図3, 4に示し

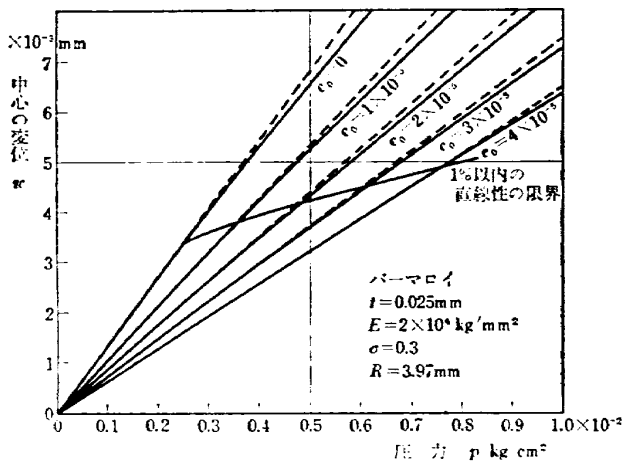


図3 膜の変位と初期張力 ($t=0.025 \text{ mm}$ の場合)

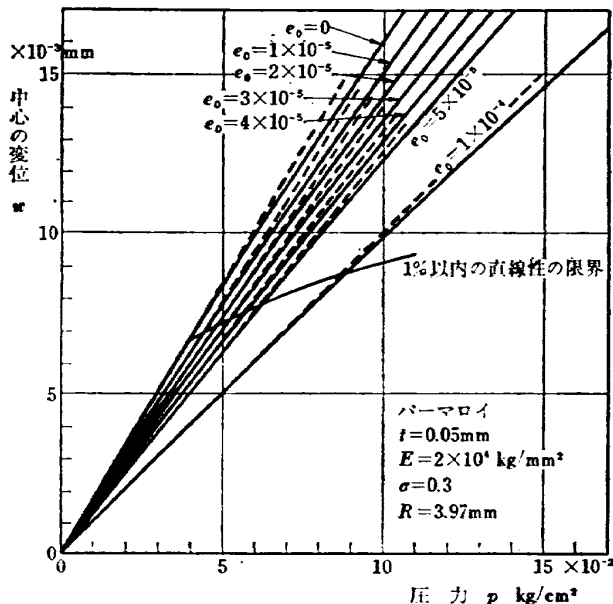


図4 膜の変位と初期張力 ($t=0.05 \text{ mm}$ の場合)

た。圧力と変位とが直線関係からずれる量を1%とすると、その範囲は(1)式から

$$1 + \frac{5(1+\sigma)}{6} e_0 \frac{R^2}{t^2} \geq 100 \times \frac{(1+\sigma)(173-73\sigma)}{360} \frac{w^2}{t^2} \quad (2)$$

で与えられる。図3, 4には(2)式から求めた1%以内で直線的と見なし得る限界をも示した。この図から、初期張力をつけることにより、圧力に対する変位は小さくなるが、直線性が良くなることがわかる。たとえば1%以内のずれで直線と見なし得る限界は $t=0.025 \text{ mm}$ の場合には $e_0=0$ では $p=2.5 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2$, $w=3.4 \times 10^{-3} \text{ mm}$ であるが $e_0=4 \times 10^{-5}$ では $p=7.5 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2$, $w=4.85 \times 10^{-3}$ となり、 e_0 の効果により使用できる圧力の範囲が広がっている。実際の製作に当たって小さな膜に既知の初期張力をつけることは困難であったので Patterson にならって特別な治具を用いた。この治具にあらかじめ膜を張っておき、その両側にコイルを装着したケースを密着させる。そのとき膜とケースとの接合部にはあらかじめ接着用液体半田を塗っておく。この状態で全体を炉の中で約 180° C 位に加熱して半田により膜とケースを接着する。治具の材質にはステンレス鋼を用いたので、半田の凝固点におけるステンレス鋼とパーマロイの熱膨張の差により膜に張力のかかった状態で接着が行なわれる。しかし実際には初期張力の定量的な測定はできなかった。

コイルは温度効果を小さくするためマンガニン線(直径 0.1 mm)を用いた。巻き数150回、直流抵抗 144Ω 、インダクタンス 1 mH (空心)のものを作り、2個のコイルは電気的特性のそろったものを組合せ使用した。コイルの抵抗、空心インダクタンスの測定値を図5に示した。

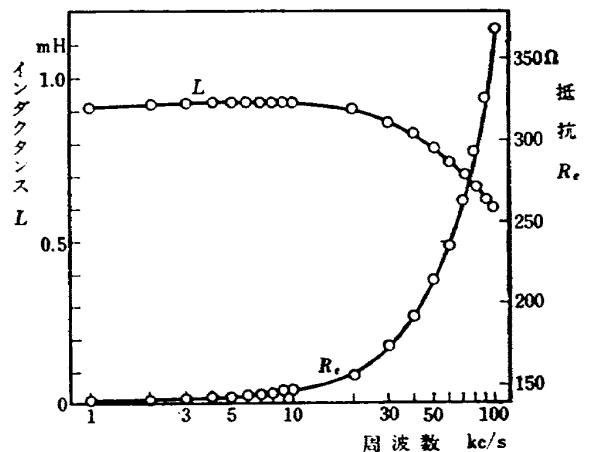


図5 コイルの抵抗とインダクタンス

実際に製作した変換器の種類は次表の通りである。

	外径 D (mm)	膜の直径 d (mm)	膜の厚さ t (mm)
1型	11ϕ	7.9	0.025
2型	11ϕ	7.9	0.05
3型	16ϕ	12.4	0.025

3型は低圧用として膜の直径を大きくしたが、コイルは便宜上 11ϕ のものと同一のものを用いた。したがってケース内部に大きな空間部ができるので、この部分に接着材をつめ、できるだけ空間部の容積をへらし、

周波数特性が悪くならないようにした。

2.2 増幅器部

この変換器は圧力に比例して交流ブリッジの不均衡電圧を生ずるものであるから、電気回路としては交流励起の歪ゲージ変換器用のものと原理的には同じものと考えてよい。

図6に全体の回路図を示した。増幅器入力側に抵抗によりブリッジの二辺を作り、変換器のコイルとで交流ブリッジを作り、交流電圧により励起する。不平衡電圧を帯域増幅器により増幅した後同期検波、電力増

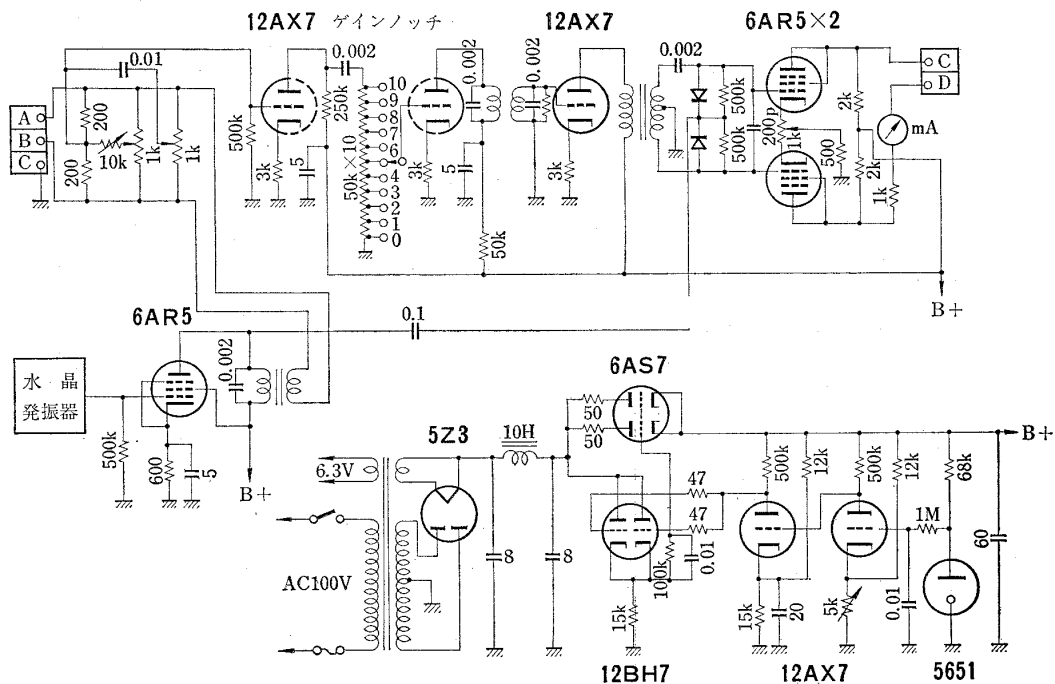


図6 増幅器回路

幅回路を経て圧力に比例した信号を得る。

(1) ブリッジ零調整

交流ブリッジの零調整は可変抵抗により行なったが、搬送波の第二高調波成分まで平衡をとることは困難であった。高調波成分の発生の原因としては、搬送波の歪、コイル、磁気回路内での波形の歪などが考えられる。しかしこの不平衡量はわずかであり、また帯域増幅器を使用したので、後に述べる較正、実用試験の結果に示すように実用上問題とはならなかった。

(2) 搬送波周波数

搬送波周波数をきめるに当たって次のことを考慮した。

- (i) 出力が大きくとれること。
- (ii) 測定すべき変動圧力の周波数に比べて十分高いこと。

交流ブリッジの励起電圧を10V一定に保ち、周波数を変えて、一定圧力におけるブリッジ出力を直接に測

定した。図7にその結果を示したが、この変換器においては20kc/sの場合が最大出力を与える。また、この変換器の周波数特性として1,000c/s程度までの圧力変動の測定ができることを目標としたので、搬送波としては20kc/sあれば十分である。以上のことから搬送波周波数として20kc/sを採用した。発振器としては水

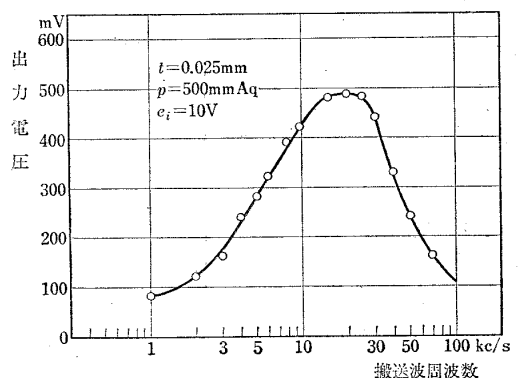


図7 搬送波周波数と変換器出力

晶発振器を用いた。

(3) 帯域フィルタ

圧力信号の最大周波数を 1,000c/s とし、通過帯域は 20kc/s ± 1kc/s とし、双峰型のフィルタを設計した。

3. 校正試験

3.1 静特性

変換器の基準圧力側を大気圧とし、他方から静的な圧力を加えて静特性を測定した。図 8. 9, 10 にその結

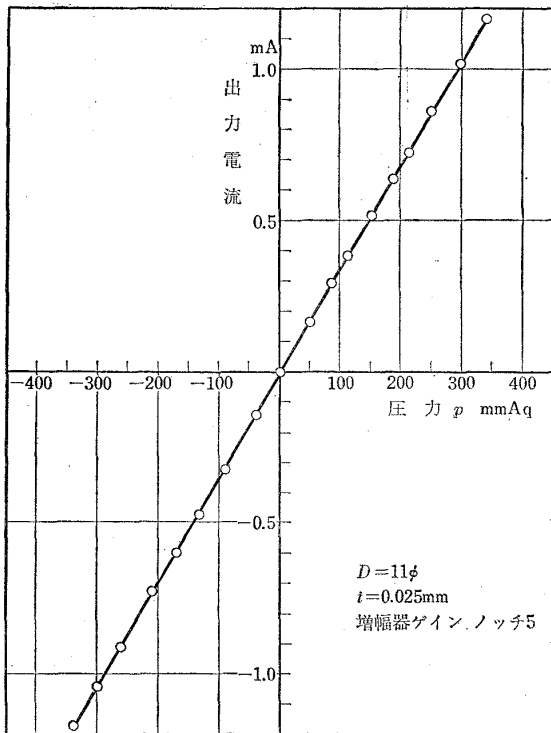


図 8 1型変換器静特性

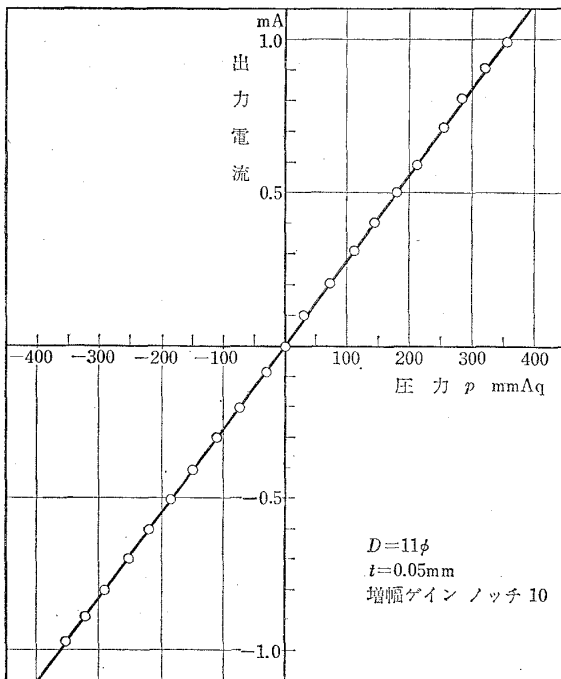


図 9 2型変換器静特性

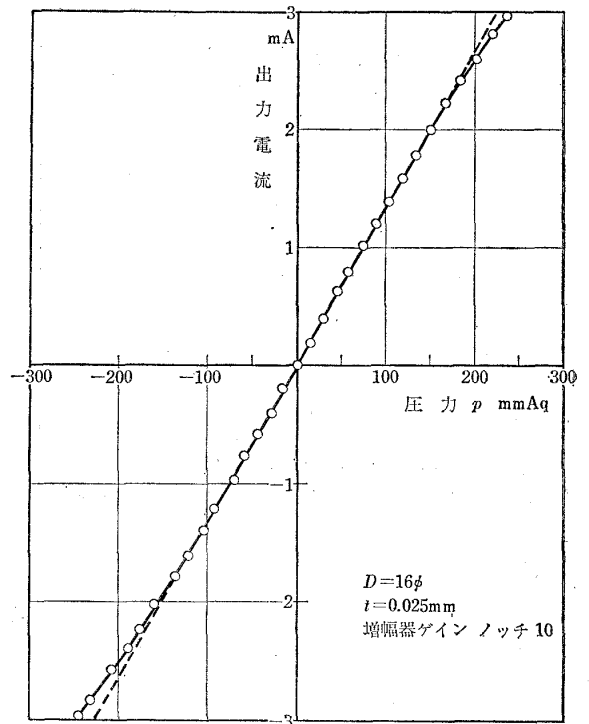


図 10 3型変換器静特性

果を示す。1型では±350mmAq, 2型では±400mmAq, 3型では130mmAqの範囲で非常によい直線性を示し、ヒステリシスもなかった。なお、図10の3型における直線からのずれは、増幅器最終段の直線性が悪かったためである。

3.2 周波数特性

振幅のわかった正弦的な変動圧力を広い周波数範囲にわたって作ることは非常に困難であったので、次の方法によった。すなわち、圧力により膜を変位させる代わりに、交流電圧をコイルに通じて膜を変位させそれによって生ずる音圧を標準コンデンサマイクロホンにより受けて各周波数に対する出力を求めた。図11にその系統を示す。標準マイクロホンは約 10,000c/s まで

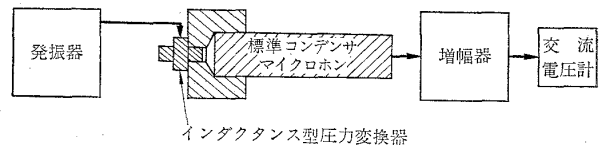


図 11 周波数特性試験の系統図

感度一定のものである。図12に1型変換器について結果を示したが、二つの周波数において共振を示している。その一つは音響的な共鳴で、他の一つは膜の固有振動数における共振であると考えられる。

(1) 音響的共鳴

管と空隙とから成る音響回路の共鳴周波数 f_0 と減衰係数 α は、管路部の容積が空隙容積に比べて小さいとき次の式で与えられる。

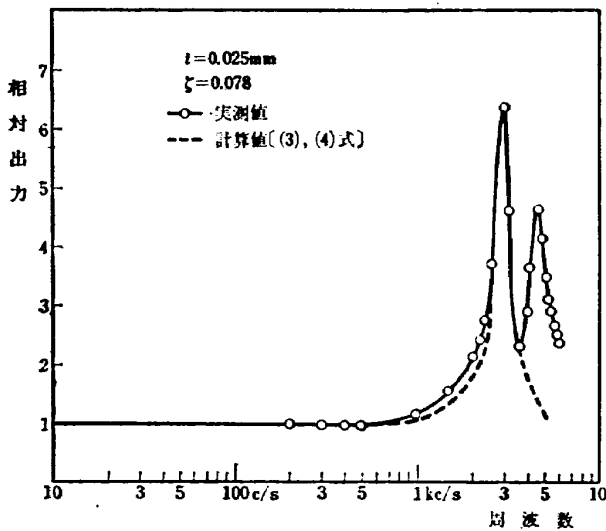


図12 1型変換器の周波数特性

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} c \sqrt{\frac{A}{Vl}} \quad (3)$$

$$\zeta = \frac{4\mu}{r^3 \gamma p_0} \sqrt{Vl/\pi} \quad (4)$$

ここに

c : 音速

A : 管路の断面積 (πr^2)

V : 空隙の容積

l : 管路の長さ

μ : 空気の粘性係数

r : 管の半径

γ : 空気の比熱の比

p_0 : 空隙内の初期圧力

この変換器の導入管とケース内空隙とから成る部分について f_0 を求めると約 4,000c/s となる。しかし図11に示した方法では空隙としては変換器内部でなく、変換器と標準マイクロホンを結合している部分の体積を考えるべきであろう。この容積について f_0 を求めると約 2,100c/s となる。実際には導入管路部の体積が空隙に比べて十分小さくないこと、また導入管の他端が開管でないことなどのために実測値との食い違いが生じたものと思われる。(4)式は管路内の流れが層流ポアゼイユ流として求めたもので、実際より低い値を与えると云われている²⁾。図12に示した破線は $\zeta=0.078$, $f_0=3,000$ c/s として計算した曲線である。この第一の共振点が校正装置の音響的共鳴によるものであれば、変換器自身の使用可能周波数範囲はさらに広がると考えられよう。

(2) 膜の固有振動

半径方向に張力を加えられた周辺固定の薄膜の固有振動数を文献^{1), 2)}の方法により求めた結果を図13に

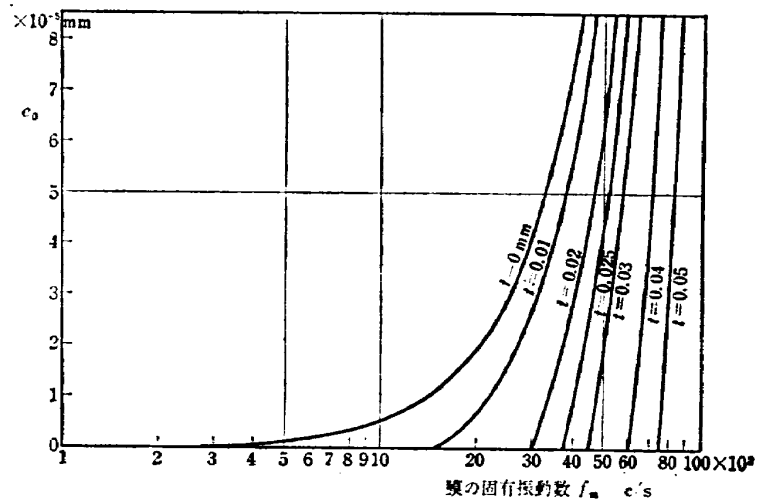


図13 周辺固定の円形膜の固有振動数と初期張力

示す。初期張力が増せば固有振動数 f_m は増大するが、その効果は膜が厚くなるにつれて減少する。実際の変換器についての初期張力の値は不明であるが、実測された第二の共振点は 4,600c/s で、 $t=0.025$ mm の f_m の計算値の範囲内にあり、この共振は膜の固有振動によるものと考えられる。

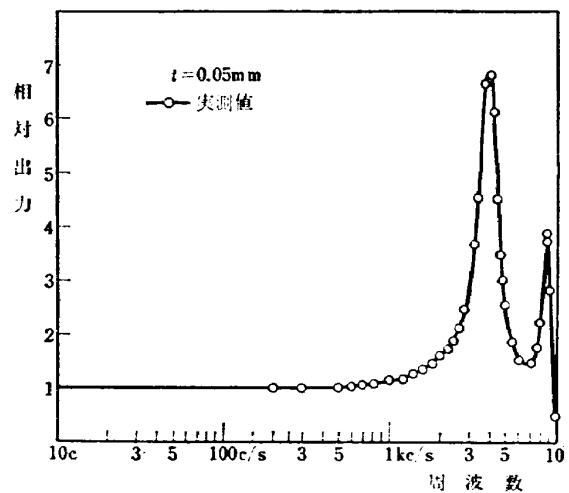


図14 2型変換器の周波数特性

図14には $t=0.05$ mm の変換器の周波数特性試験結果を示す。この場合にも二つの共振点があり、第一のものは音響的なもの、第二のものは膜の共振によるものと考えられる。第二の膜の共振周波数から考えると2型の方が1型より初期張力が大きかったことがわかる。

変換器の真の周波数特性を求めるにはさらに厳密な試験が必要であるが、上述の結果からこの変換器が 1,000c/s までの変動圧力の測定には十分使用できるとわかった。

3.3 加速度効果

振動する物体に変換器を取り付ける場合には、加速度により膜の変位が起り、出力として現われる。膜に垂直方向に加速度が加えられたときの出力、すなわち見かけの圧力 p_e は

$$p_e = \rho t a$$

ρ : 膜材料の密度

a : 加速度

たとえば、1型変換器を 50c/s で膜に垂直方向に振幅 1 mm で振動させると $p_e = 0.0002 \text{ kg/cm}^2$ (2mmAq) で、測定レンジに比べて小さく、この程度の振動を行なう物体に取り付けて使用することは十分可能である。

3.4 温度効果

恒温槽内で変換器周囲温度を 20~60 °C の範囲で変化させ、一定圧力に対して出力を測定した。図15にその結果を示す。3型の場合には温度効果は比較的小さ

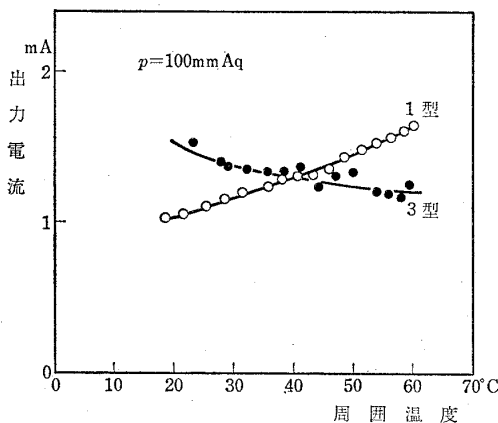


図 15 変換器温度特性

かったが、1型ではかなり大きいことがわかった。また1型と3型とは温度効果が逆であることがわかった。温度効果の原因としては変換器内部での温度の不均一による変形、温度による透磁率の変化、製作上の誤差のため構造的および電気的な対称性が十分でなかったこと、膜とコイルとの間隙が小さかったこと、などが考えられる。これらの点については今後改良されねばならない。

4. 円柱上の変動圧力の測定

試作した変換器を用いて変動する圧力が実際に測定できることを確かめるため、一様流中の二次元円柱の表面圧力を測定した。

一様流中に流れに直角に置かれた円柱には、抵抗の

ほかに流れに直角方向に振動的な揚力が働くことはよく知られており、古くは煙突や橋などの構造物の振動から、最近ではロケットが横風を受けた場合の振動、安定などの問題に関連して注目されている。

円柱からはく離れた境界層からやがて伴流中に渦—カルマン渦—が形成される。カルマン渦列は円柱のレイノルズ数 R_D が 10^3 以下で形成されるといわれているが、伴流中で速度変動を測定してみると亜臨界領域 ($R_D < 2 \times 10^5$) ではカルマン渦に相当する卓越した周波数の変動が認められる。さらに超臨界領域の高いレイノルズ数範囲でも同様に卓越した周波数の速度変動が測定されている^{4),5)}。円柱に作用する振動揚力の原因はこの渦の生成の機構と密接に結びついているが、力に振動成分のあることは円柱上の圧力にも振動成分のあることを意味している。そこでこの変動する圧力の周波数を試作した変換器を用いて測定することにした。

4.1 実験装置

実験は風速 21m/s~65m/s の範囲で行なった。模型は直径 3cm の円柱で、長さは風洞測定部両側壁間 (18 cm) にわたっている。円柱は軸のまわりに回転可能で、かつ有害な振動をさけるために任意の回転角位置で風洞壁に固定できる。図16に示すように模型の中央位置に圧力測定孔をあけ、変換器をそのすぐ後に埋めこみ、圧力導管による圧力伝達のおくれがないようにした。測定孔と同一母線上に別の測定孔をあけ、この圧力をダンパを通して平均化し、これを変換器の基準圧として用いた。したがって変換器で測定される圧力は平均

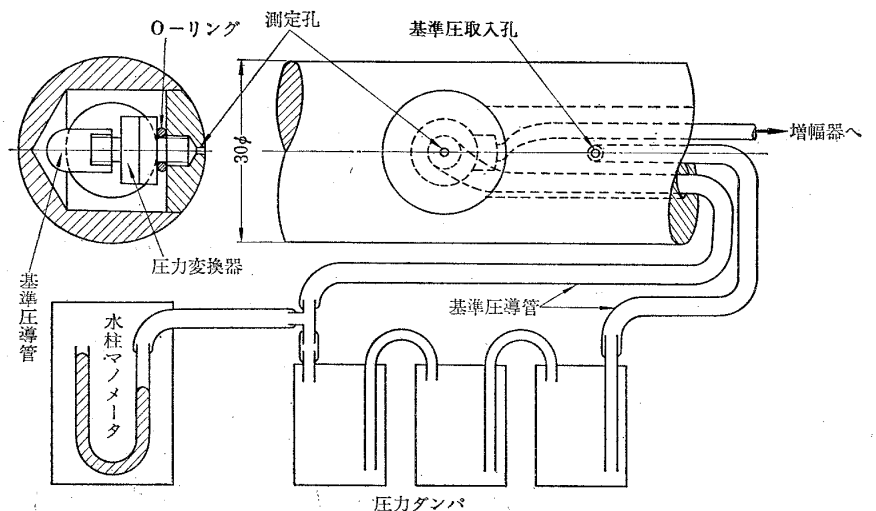


図 16 円柱表面圧力変動測定の様式図

値のまわりの変動成分である。基準圧力としては主流の静圧、あるいは大気圧を用いてもよいが、風速の高

い場合角度によっては差圧が大きすぎてダイヤフラムを破損する恐れがあったので、変動圧力のみを測定することとした。この模型を軸のまわりに10°ずつ回転させ、円周上の圧力を測定した。変換器は1型を使用した。

実験を行なった風速とそれに対応する円柱のレイノルズ数は次の通りである。

U_∞ m/s	R_D
21	4.2×10^4
31	6.4×10^4
51	1.0×10^5
65	1.3×10^5

4.2 実験結果

(1) 静圧分布

図17に円柱上の静圧分布を示す。実験したレイノルズ数の範囲ではいずれも亜臨界領域の圧力分布を示していることがわかる。

(2) 変動圧力の測定

変換器の増幅器出力を磁気テープに記録し、測定終了後に再生してその出力を周波数分析器にかけ、周波数分析を行なった。

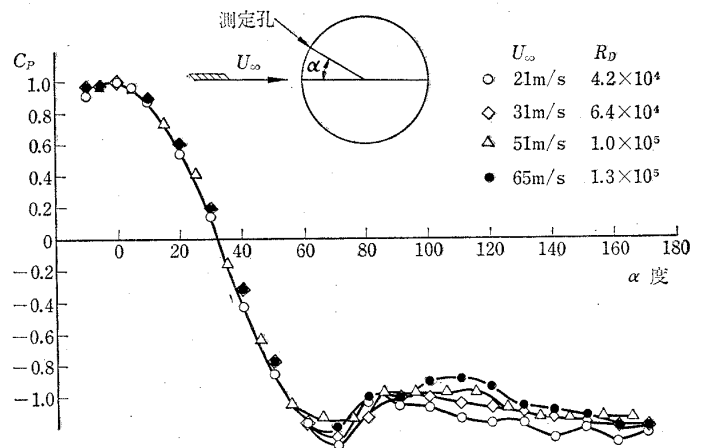


図 17 円柱上の静圧分布

図18, 19, 20, 21にその結果を示す。風速に応じて増幅度を適当に変えてあるため、これらの図で異なる風速間での縦軸の定量的比較はできない。

いずれの風速でも前方よみ点では変動成分は非常に小さく、また卓越した周波数成分はみとめられない。後方にゆくにつれて変動圧力が大きくなり、風速により定まる周波数のところに非常に強い成分がでる。さらに後方にゆくにつれ、その2倍の周波数のところに

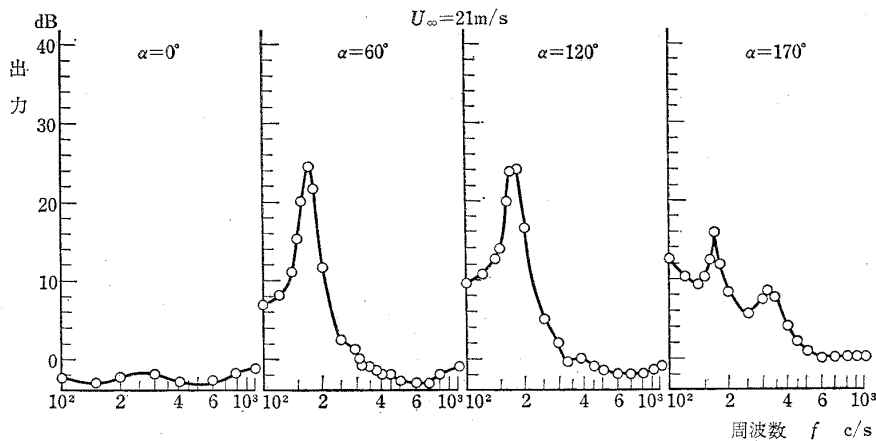


図 18 円柱上の変動圧力の周波数分布 ($U_\infty=21\text{m/s}$ の場合)

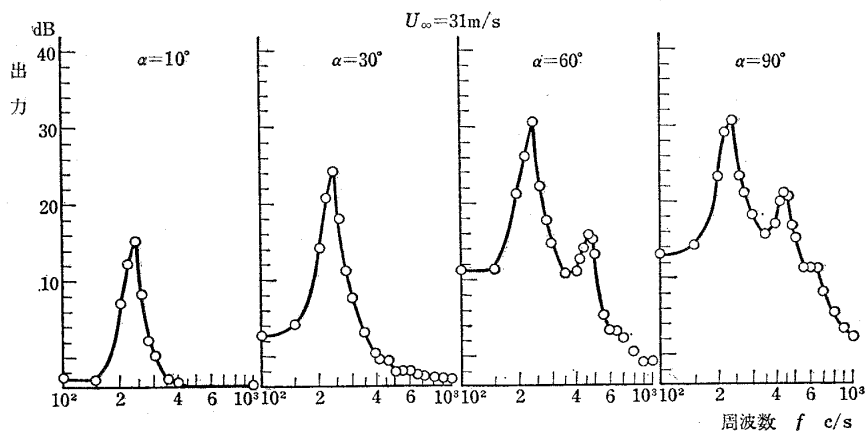


図 19 (a) 円柱上変動圧力の周波数分布 ($U_\infty=31\text{m/s}$ の場合)

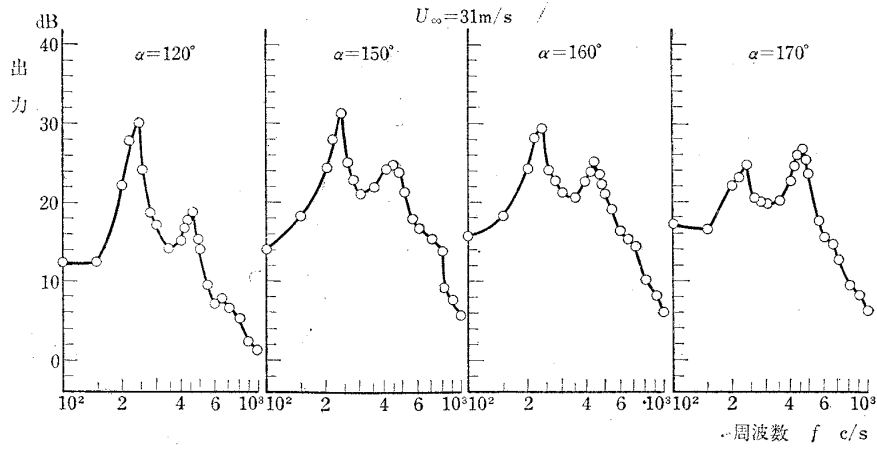


図 19 (b) 円柱上変動圧力の周波数分布 ($U_{\infty}=31\text{m/s}$ の場合)

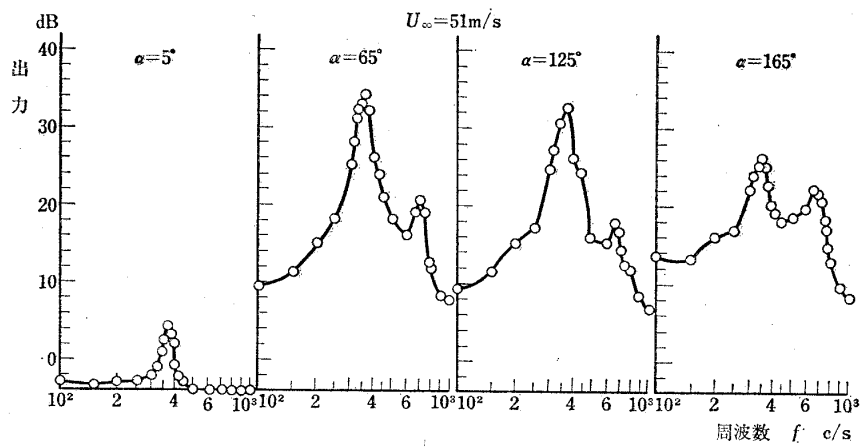


図 20 円柱上変動圧力の周波数分布 ($U_{\infty}=51\text{m/s}$ の場合)

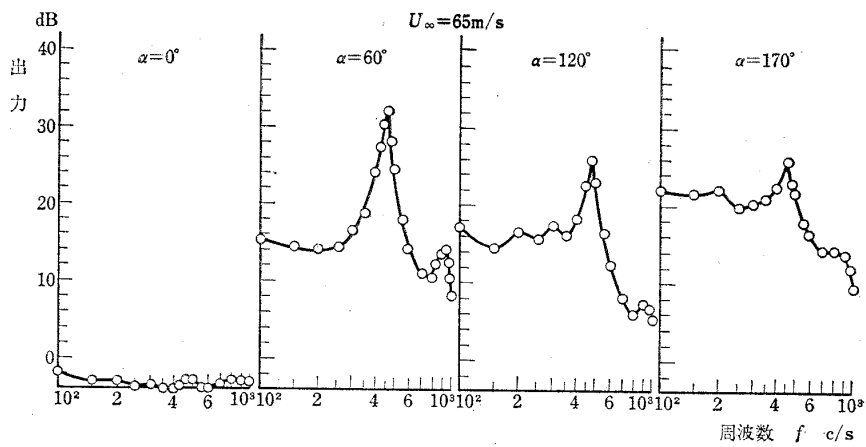


図 21 円柱上変動圧力の周波数分布 ($U_{\infty}=65\text{m/s}$ の場合)

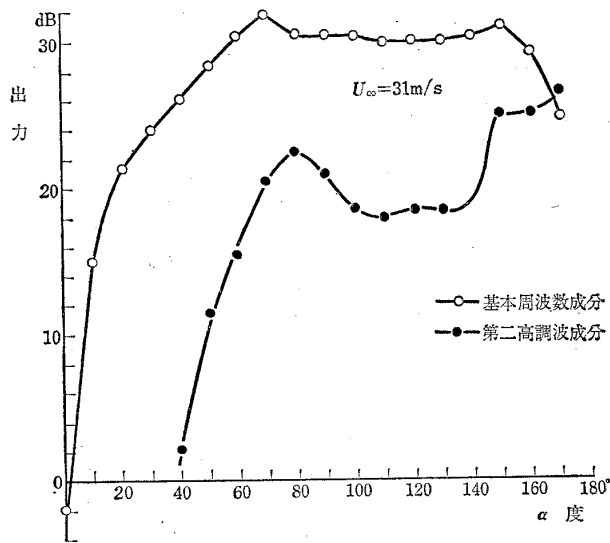


図 22 圧力変動の基本周波数および第二高調波成分の強さの円周上分布 ($U_{\infty}=31\text{m/s}$ の場合)

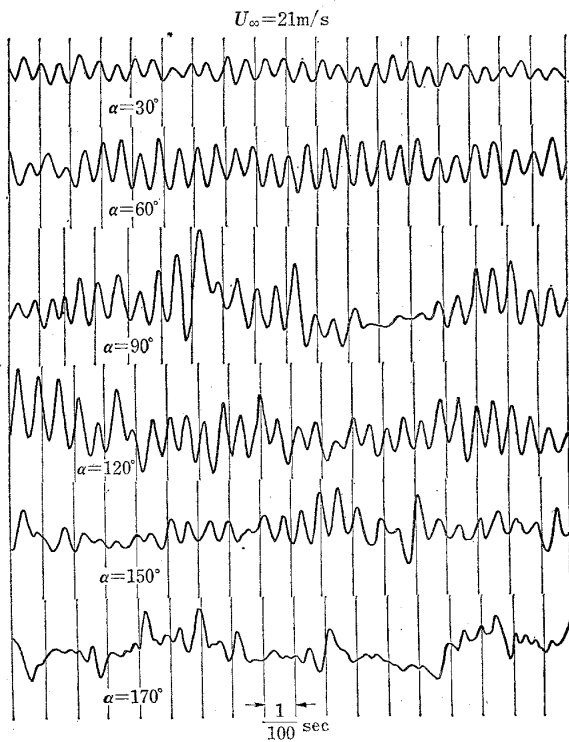


図 23 変動圧力の波形 ($U_{\infty}=21\text{m/s}$ の場合)

も第二のピークが現われる。後方よどみ点近くでは基本周波数の成分は急激に小さくなる一方、第二高調波成分は急激に大きくなる。しかしながらこの二つの成分の強さを比べると基本周波数成分の方が10~20dB位大きい。図22に風速31m/sの場合の二つの周波数成分の強さを円周上の位置に対して示した。図23は電磁オシログラフに記録した変動波形の一例である。図に見られるように、変動の強さは一定したものではない。これは円周上のはく離点は一点に固定したものでなく、平均位置の前後に常に動いているためであろう。

図24に基本周波数と第二高調波周波数と風速との関

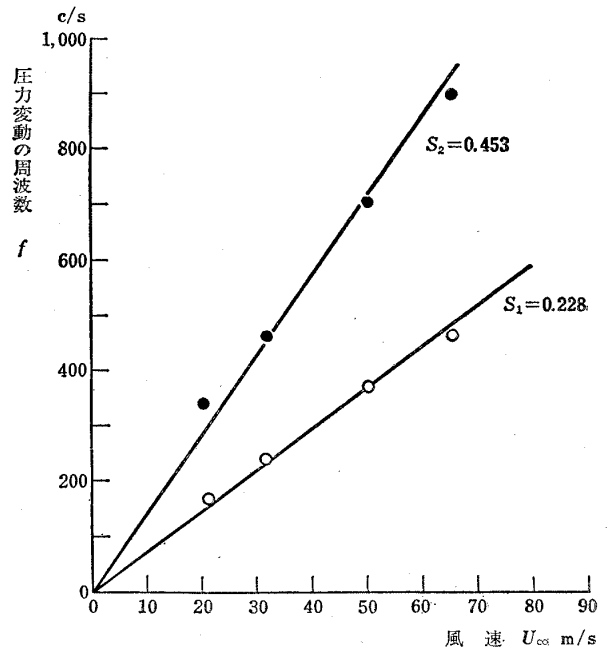


図 24 変動圧力の周波数と風速

係を示す。周波数と風速とは比例しておりストロハル数 $S = \frac{fD}{U_{\infty}}$ (f : 周波数, D : 円柱の直径, U_{∞} : 主流の風速) を求めると基本周波数に対して0.228となる。これは円柱のカルマン渦のストロハル数に相当するものである。

カルマン渦は上下には食い違いに配列され、回転方向は上下反対向きである。したがって揚力成分の周波数としては、カルマン渦の周波数と同一になる。しかし流れ方向に作用する抗力成分については上下の渦の影響は同一と考えられるから変動の周波数としてはカルマン渦の2倍の値をもつべきであると考えられる。Phillips⁶⁾ は実験から得られた速度場に基づき円柱の揚力および抗力の変動成分を求め、抗力の周波数は揚力の周波数の2倍で、かつその大きさは揚力比べて一桁小さいことを示した。しかし実験的にこの関係を示したものがほとんど見当たらない。これは抗力の変動が小さくて測定が困難であるためであろう。いずれにせよ、抗力変動にカルマン渦の2倍の周波数のものが存在すれば表面圧力にも必ずカルマン渦の2倍の周波数の変動がなければならない。図18~21に測定された第二高調波成分はこれに相当するものである。本実験では測定されなかったが、もし渦が理想的に上下食い違いに配列されていれば $\alpha=180^\circ$ の点では圧力変動の周波数は第二高調波成分のみとなるであろう。抗力はこれらの圧力を位相を考慮した上で円周について積分したものであるが、表面圧力に第二高調波成分が存在することは、抗力変動の周波数はカルマン渦の2倍で

あることを示唆するものであろう。

本実験は試作した圧力変換器の実用性を調べるための予備的な実験で単に変動圧力の周波数分析のみを行った。変動圧力の定量的測定、円周上の各点での変動の位相、流れ場との関係などは今後の研究課題である。

5. む す び

磁性体の金属薄膜を利用した小型の可変空隙型インダクタンス式圧力変換器を試作し、次の結果を得た。

(1) この変換器は出力が比較的大きく(図7参照)電気回路も簡単で使いやすい。

(2) 測定範囲は水柱 500mm 以下で、直線性も良く、ヒステリシスの少い再現性のよい静持性が得られた。

(3) 周波数特性としては 1,000c/s までは平坦である。

(4) 温度効果が比較的大きかった点が今後の大きな改良すべき点である。

(5) 円柱上の変動圧力の測定に使用した結果、十分実用性のあることがたしかめられた。

なお実験を行なうに当って、空気力学第一部河野長生技官に標準マイクロホンを貸与していただくとともにいろいろ御教示をいただいた。厚く感謝する次第である。また空気力学第一部原田吉表技官、斎藤実技官に実験を手伝っていただいた。

文 献

- 1) 石井孝雄, 柳沢三憲; 振動翼用圧力ピックアップの試作・較正, 航技研報告 TR-15 (昭和36)
- 2) J. L. Patterson; A Miniature Electrical Pressure Gage Utilizing a Stretched Flat Diaphragm, NACA TN 2659 (1952).
- 3) W. E. Smotherman; A Miniature Wafer-Style Pressure Transducer, AEDC-TR-60-11(1960).
- 4) A. Roshko; Experiments on the Flow Past a Circular Cylinder at Very High Reynolds Numbers, J. Fluid Mech. Vol. 20 (1961) pp. 345-356.
- 5) I. Tani; On the Periodic Shedding of Vortices from a Circular Cylinder at High Reynolds Numbers, Presented at IUTAM Symposium on Concentrated Vortex Motion in Fluids, Ann Arbor, Michigan, July, 1964, D. Küchemann; Report on IUTAM Symposium on Concentrated Vortex Motion in Fluids, J. Fluid Mech. Vol. 21 Part 1 (1965), pp. 1-20.
- 6) O. M. Phillips; The Intensity of Aeolian Tones, J. Fluid Mech. Vol. 1 (1956) pp. 607-624.

TM-84	二段ロケットの低速風洞試験	1966年7月	毛利 浩, 田村 敦宏 佐野 四郎, 能村 美
TM-85	航空機の滑走路走行時の振動に関する 実験的研究	1966年8月	小野 幸一
TM-87	極小型超音速機用姿勢制御装置の特性 解析	1966年8月	池谷 光栄, 畑山 茂樹
TM-88	プロペラ後流偏向型 STOL 機の風洞 試験 (I)	1966年9月	犬丸 矩夫, 岡部 祐二郎 北村 清美, 川幡 長勝 木村 友昭
TM-89	有孔板の振動について	1966年9月	川井 忠彦, 泉 日出夫
TM-90	地上付近の横風の影響による小型ロケ ットの方位角変化	1966年9月	戸川 隼人, 石黒 登美子
TM-91	高速タービン翼列二次元試験	1966年10月	近藤 博, 養田 光弘 山崎 紀雄
TM-92	リフトジェットエンジン試験設備 (I) 一台上運転設備一	1966年10月	大山 耕一, 吉田 晃 中山 光男, 吉田 晃 五味 澄夫, 宮地 敏雄
TM-94	J-3ジェットエンジン用タービン動翼 の固有振動特性	1966年11月	武内 澄夫, 宮地 敏雄 星谷 昌二
TM-95	超軽量軸流圧縮機動翼の固有振動特性	1966年11月	武内 澄夫, 宮地 敏雄 星谷 昌二
TM-96	2024-T4および7075-T6有孔平板の曲 げ疲労試験と2024-T4平滑丸棒の軸 荷重疲労試験	1966年11月	佐野 政明, 菰岡 一洋
TM-97	高マッハ数風洞について (II)	1967年1月	吉永 崇, 井上 建二 広田 正行, 榎 篤志 野村 茂昭, 相原 康彦
TM-98	40kWプラズマ発生装置の諸特性	1967年1月	
TM-99	搭載機器用環境試験装置の特性	1967年2月	大月 正男, 鈴木 孝雄 田畑 浄治, 円居 繁治
TM-100	二連型リフトエンジンの吸込み抵抗	1967年3月	近藤 博, 大城 章一郎
TM-101	低圧環境下における固体ロケットモー タの性能	1967年3月	望月 昌, 斎藤 克彌 五代 富文, 伊藤 克彌 湯沢 克宜
TM-102	弾性支持片持板の振動	1967年3月	塙 武敏, 築地 恒夫 越出 慎一, 林 洋一 築地 恒夫, 林 洋一
TM-103	結合梁の振動について	1967年3月	
TM-104	平板翼模型の固有振動モードの測定	1967年4月	中井 咲一, 森田 甫之
TM-105	非定常境界層方程式を含む放物型微積 分方程式の数値解法	1967年4月	関口 清子
TM-106	動安定微係数測定用風洞天秤について	1967年5月	高島 一明, 榎原 盛三 原 亘利, 北出 大三 金 成正, 好
TM-107	プロペラ後流偏向型 STOL 機の風洞 試験 (II)	1967年6月	犬丸 矩夫, 岡部 祐二郎 北村 清美, 川幡 長勝 高橋 清俣, 木村 友昭

注：欠番は配布先を限定したもの

航空宇宙技術研究所資料108号

昭和42年7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)

印刷所 一誠社総合印刷株式会社
東京都武蔵野市御殿山1-6-10

