

導管抵抗に就いて

佐々木達治 郎
渡邊 保
木村泰清 造
佐藤藤 信
佐藤 堅 二

目次

1. 緒言	227
2. 概説	227
3. 実験装置及実験法	228
4. 実験	231
4.1. 一般的説明	231
4.2. 導管長さ及内径の影響	232
4.3. 空気容積の影響	234
4.4. 屈曲の影響	235
4.5. 空気圧周期の影響	235
4.6. 空気圧波形の影響	236
5. 結論	236

(附) 導管の内径と長さを知つて遅れを求むる表

1. 緒言

一般に空気壓力傳達には中空導管を以て行ふ。従つて測定壓力が時間的に速かに變化する場合は導管壁の摩擦抵抗が影響し壓力傳達に遅れ及減少が生ずる。

此の導管抵抗に依る氣壓傳達の遅れに就いては曩に航研彙報第百六十一號に於て武田晋一郎氏の理論的基礎研究が行はれ、亦其他にも二三あるけれども、猶實驗的には充分でないし、亦他の特種の目的もあつたので、今回實驗的に此の問題を研究して見る事とした。

勿論全般的解決を求めたものではなく、其の一部の實驗的研究である。

2. 概説

空気壓傳達用導管抵抗は主として、

- | | |
|------------------|-------------------|
| 1. 導管の長さ (l) | 2. 導管の内径 (r) |
| 3. 空気容積 (V) | 4. 空気壓の周期 (T) |
| 5. 導管の屈曲 (N) | 6. 空気の粘性 |
| 7. 氣壓 | 8. 氣温 |

等に依り種々變化するが、6~8は其の影響が極めて小さいので省略して考へても實用上、

(1) N.A.C.A.T.N. No.593, P. 1~36, 1937/2. Journal of the aeronautical Sciences P. 165~169, 1936.

左程支障を来さない。故に

$$R=f(l, r, V, N, T)$$

と考へる事とすれば此等の五因子の函數として表される導管抵抗の影響は

1. 時間的遅れ (λ)
2. 位相の遅れ (ϵ)
3. 傳達壓力の減少 (p_e)

と云ふ現象となつて現はれる。

故に、抵抗の五因子の内、四因子をコンスタントにして他の一因子を種々變化させ、上記の三現象を測定すれば之の一因子のみの影響を知る事が出来る。

扱て、上記三現象を測定するには、原則的に、導管の一端に於て空氣壓を發生せしめ他端に其れが到達するに要する時間と振幅とを精密に記録すれば同時に λ 値と p_e 値を知る事が出来る。亦空氣壓の發生を周期的とし極めて規則的に之を行へば、位相の遅れ (ϵ) を知る事が出来る。然し導管抵抗の五因子のみの正しい影響を求める爲には、其の他から来る誤差を完全に除去しなければならない。

例へば空氣壓發生機構に起因する誤差、或は傳達壓測定機構より生じた誤差、或は記録方式に依り生ずる誤差等、數々のものが考へられるが、之等の影響が寸毫も介入する事は望ましくない。

之の目的を達する爲にはゼロメソッドが最も簡單且つ容易の様に思はれる。即ち、全く相等しき條件を具備する二つの装置を併立せしめ、此の二つの装置に於て唯求めんとする因子のみを變へて實驗を行ふ方法である。

今、例へば、導管の長さ (l) の影響を求めんとする時に、同一系統の空氣壓發生機構から二本の導管 (半徑相等しき) を出し一本の管を 1m, 他方の管を $(l+1)$ m とし、それぞれの管端を同一條件を具備する二つの壓力測定機構に連結し同一條件を以て實驗測定を行へば前記の諸影響は總て相殺されて消去し、 l のみの影響を知る事が出来る。

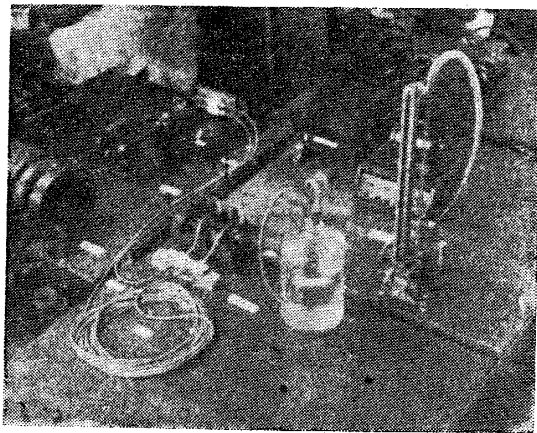
3. 實驗装置及實驗法

我々は上述の方法を実施すべき装置として第1圖に示す如き装置を作成した。

以下、此の装置に就き説明を試みる。

一定速度にて廻轉する直流電動機の回轉は無段變速機に依り低速度に落されてカムに依りレバーを應動しピストンを作動せしめる。従つてシリンダー内に發生する空氣壓は週期的となる。シリンダーは二連同型のものを使用し其の各々から測定空盒の第一第二盒へそれぞれ實驗目的に應ずる導管に依り連結される。

空盒は第2圖に示す如き構造をなし A は空盒で材料は 6/100 m/m 厚洋白、波型は昇降計用のものであつて著者の考案に成る新式結



第1圖 導管抵抗實驗裝置

合法に依つた。即ち波型板は眞鍮輪を挟んで同じ向きに合せてあり特に壓力對變位の關係が直線的なること、又内部空氣容量の少なる事を特徴として居る。Bは光挺である。aは圓錐穴、bはV型溝、cは鏡、dは滑り面である。材料は焼入硬鋼重量は0.3g弱である。空盒の直線變位を角變位に轉換すべき機構は一般に

- i. 慣性能率の小にして固有振動周期の短い事
- ii. 部材の相對位置が衝擊等に對して安定なる事
- iii. 摩擦抵抗少さく遊隙のないこと
- iv. 感度調節が幾許か可能にして其の操作が簡易なる事

等の條件を満足すべきで、現在のエレメントの振動特性は第3圖に示す如くである。Aは空盒のみのもの、Bは光挺を含むものである。本實驗装置に於ける空盒の直線變位は鏡Cの變角となりオプチカルボックスよりの光線の反射をコントロールする。

此の反射光線はオプチカルボックス内の撮影装置に入り、此處で感光紙上に記録される。

此の際、シリンダー及測定空盒の各二つは全く同一型のものなる事前述の通りで之等を連結する導管は各實驗目的に依り次の如く種々と變化せしむる。

1. l の影響

内徑等しき管を以つて周期を一定にし屈曲を與へず第一の空盒を1mの長さで連結し第二の空盒を $(l+1)$ m で連結し此の値を種々に變へて兩者を比較する。

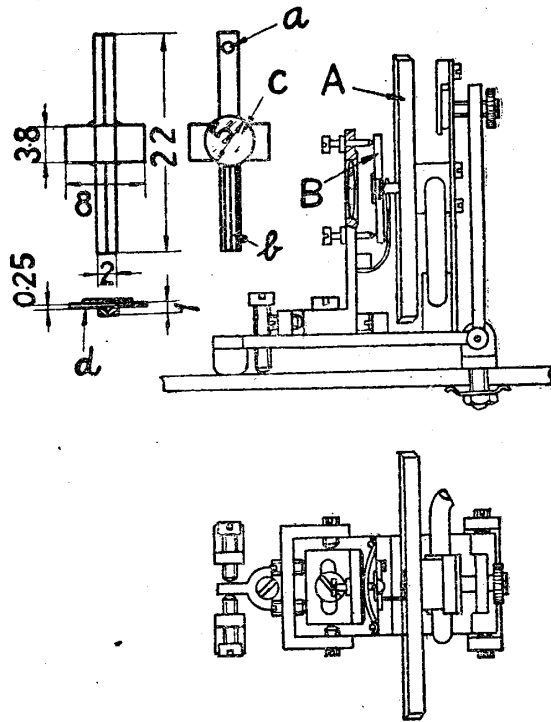
2. r の影響

上記の實驗を種々の内徑の管を以て行ふ。

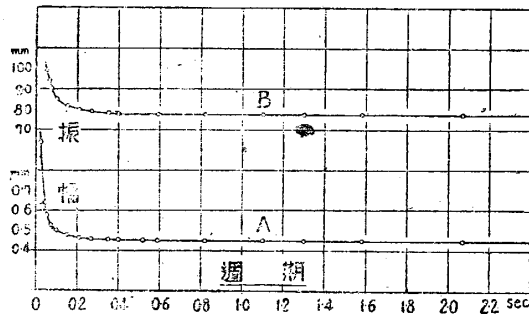
3. V の影響

第一の空盒は1m管で連通せしめ第二の空盒は途中で第1圖中に示す如きガラス容器に連結し V の値を變化せしむるには始め容器内に水を充滿せしめ次々と所望の V 量だけ放出せしむれば容器内の空氣容積は V となる。

4. n の影響



第2圖 空氣壓測定空盒機構



第3圖 エレメントの振動特性曲線

之を求むるには第一空盒は一定の長さ (l) 一定の内径 (r) の導管で屈曲なしで連結し第二空盒は同一条件の導管を第4圖に示す如き屈曲を與へ其の回数を色々變へて連結し兩者の比較に依り其の影響を求めらる。

5. T の影響

第一空盒は 1m で連結し、第二空盒を ($l+1$)m で連結し變速機に依り回轉を變へて周期 T を變化せしめ lm に於ける周期の影響を調べる。

以上の實驗に依り求められたる數々の記録に依り下記の數値を同時に知る事が出来る。

1. l の影響

基本管に依り連通された第一空盒の運動軌跡と lm 管に依り連通された第二空盒の運動軌跡とを比較し兩者の振れの最大値即ち山の頂點間の距離を時間的に表はせば、それが λ 値となり角度を以て表はせば ϵ となる。亦、 p_e は基本管の振幅と lm 管の振幅との比で表はされる。單位は % である。

2. r の影響

前述の如く l の實驗中 r の値を色々變へて行ふ事に依り r の影響を容易に知る事が出来るが、之を便利に知る爲には各 r に就いての λ, ϵ の方向係數を以て曲線的に表現してもよいし、亦一定の l の時の各 r 値に對する λ, ϵ, p_e 等を記録より求め此等の關係表を作成しても良い。

3. V, N, T の影響

V, N, T に就いては

$$V \sim \lambda, V \sim \epsilon, V \sim p_e$$

が記録紙上より求められ、 N に就いては

$$N \sim \lambda, N \sim \epsilon, N \sim p_e$$

T に就いては

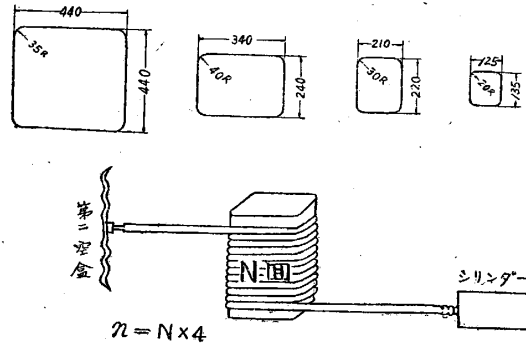
$$T \sim \lambda, T \sim \epsilon, T \sim p_e$$

の値が求められる。

實驗に用ふるカムの形狀に依り發生壓力の波型を變へる事が出来る。本報告の實驗にて用ひたるカムは第5圖に示す如く a, b, c の三種で發生する壓力の波型は後述の實驗データより明瞭の如く a は衝擊波型, b は混合波, c は正弦波型である。

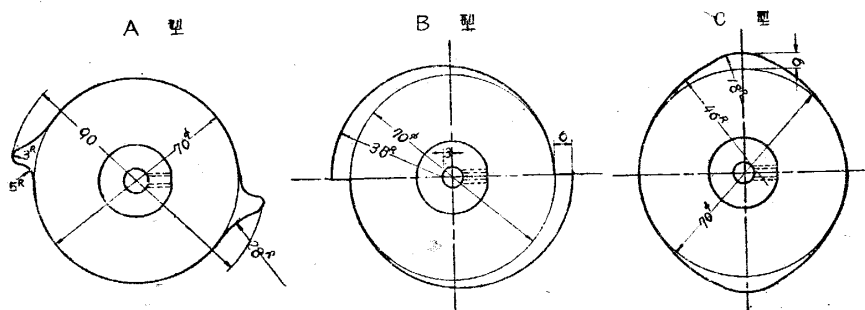
本實驗に於て時間的遅れ及位相の遅れに關する實驗は總て A カムを使用し (即ち衝擊波型) 亦傳達壓力測定には特に C カムを使用した。

(1) 第一空盒に連結する管は長さ 1m の管を常に使用し、之を基本として第二空盒用の條件管と比較するを以て基本管と呼稱す。



第4圖 屈曲の影響實驗要領

カム形状



第5圖 カムの形状

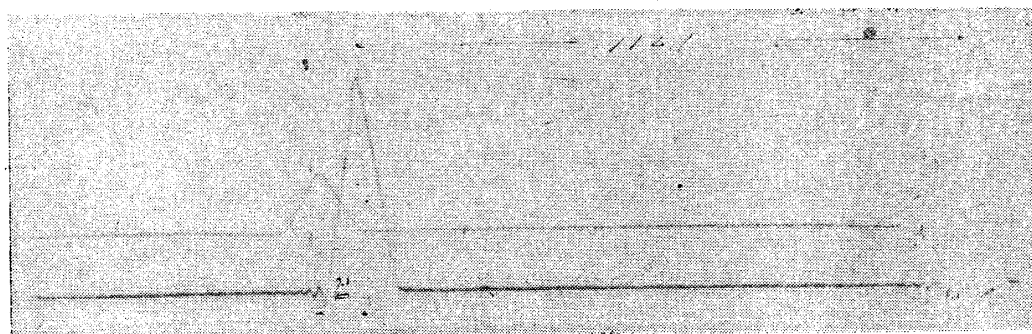
4. 實 験

4.1. 一般的説明

本実験に使用する材料を列挙すれば概ね次の如くである。

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| 1. 導管……………ゴム管 | 2. カム……………a, b, c |
| 3. l の値……………1~30 m | 4. r の値……………1~6.7 m/m |
| 5. V の値……………0~3500 cc | 6. N の値……………0~128回 |
| 7. T の値……………0.08~1.25秒 | |

実験はモーターの廻轉周期を一定にして（周期の影響を除く爲）第一シリンダーより基本管を通じて第一空盒へ第二シリンダーより種々の条件を入れて第二空盒へそれぞれ連結し、オツシロドラムで撮影すれば其の一例を第6圖に示す如き結果を得る。



第6圖 オツシロ記録の一例

此の記録上より基本管側の頂點及條件管側の頂點から時刻線へそれぞれ垂線を下し、兩者の間隔を時間で読み之を λ とする。従つて λ の單位は 1/100 秒である。

次に基本管側の一頂點より次の頂點迄の距離（即ち一波長）を L とし、遅れを距離 L' とすれば

(1) 第二空盒を連結する管は条件を色々變へて行ふものであるから條件管と呼ぶ。

$$\epsilon = \frac{L'}{L} \times 360^\circ$$

で表される。

次に兩波の振幅を測定し基本管側を l_1 、條件管側を l_2 とする時は

$$p_e = \frac{l_2}{l_1} \times 100\%$$

で表される。 p_e が傳達壓力の減少率である。(單に之の振幅) 即ち p_e のみを求めるだけならばオツシロドラムを廻轉せしめず、換言すれば時間的に引延さずに撮影すれば振幅は明瞭なる直線長となつて記録され測定に便である。

此處に於て注目すべきはカム A, B の波型に於ては衝擊の際の加速度の爲、眞の振幅を示さず、其れ以上の振れがあるので上述の如き測定は困難である。故に之の對策として我々は p_e の測定に就いては特にカム C を用ひ、正弦波を發生せしめ如上の缺點を除く事が出來た。

實驗に用ひた壓力發生裝置に依り發生される壓力は第1圖中にあるゲツチンゲン型精密マノメーターに依り測定した結果連結導管を 3m/m 内徑の 1m 管とせる時第一シリンダーの壓力はアルコール柱 3.7m/m、第二シリンダーの壓力はアルコール柱 3.5m/m であつた(兩者に 0.2m/m の差があるが、之は多分實驗の誤差であらう)。此の値は本實驗一般に適用さるべきものであるが、特に $r=1m/m$ の管に限り p_e の影響が甚だしく此の壓力では感應しない爲ピストンのストロークを増して壓力を第一シリンダー 9.0m/m、第二シリンダー 9.0m/m として實驗を行つた。

實驗中基本管側と條件管側の振幅比の誤差修正の目的を以て時々双方共各々基本管で連結して記録を撮り比較修正する事を怠らなかつた。

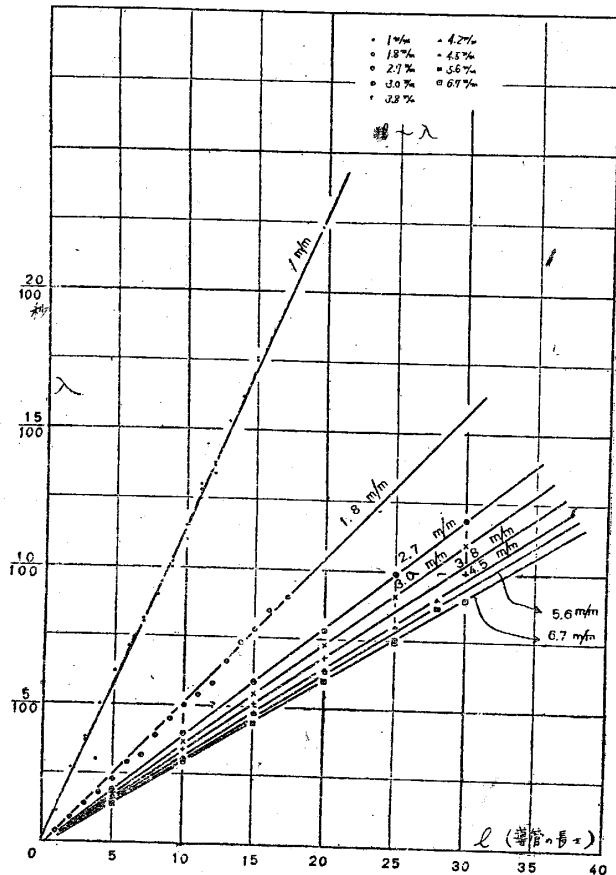
4.2. 導管長さ及内徑の影響

1. l の影響

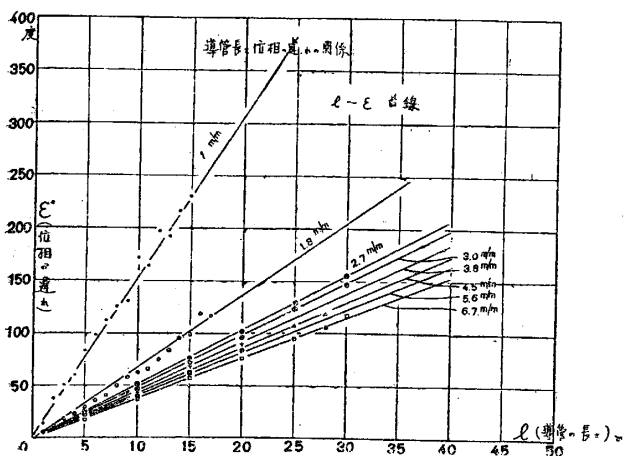
$l=0\sim 30m$ の實驗は條件管を $(l+1)m$ として $l=30m$ から行ひ逐次 5m づつ切斷して行つた。途中屈曲を與へず溫度、氣壓は常溫一氣壓である。 r は前記九種類を實驗し其の結果は第7圖に $l\sim\lambda$ 、第8圖に $l\sim\epsilon$ 、第9圖に $l\sim p_e$ の關係を示す如く $l\sim\lambda$ 、 $l\sim\epsilon$ に就いては

$$\lambda = K_1 l, \quad \epsilon = K_2 l$$

となり直線的關係を有する。而して此の K は r の函數で實驗値より計算した結果を示せば次の如くである。



第7圖 導管の長さとの時間的遅れの關係



第8圖 導管の長さとの位相の遅れの関係

r_1 m/m	K_1	K_2
1.0	1.14	15.3
1.8	0.515	6.8
2.7	0.394	5.16
3.0	0.366	4.88
3.8	0.342	4.55
4.5	0.322	4.277
5.6	0.31	4.0555
6.7	0.30	3.8055

(K の 値)

実験結果より近似的に実験式を求めて見ると略々

$$p_e = a l^b$$

なる拋物線型となる。

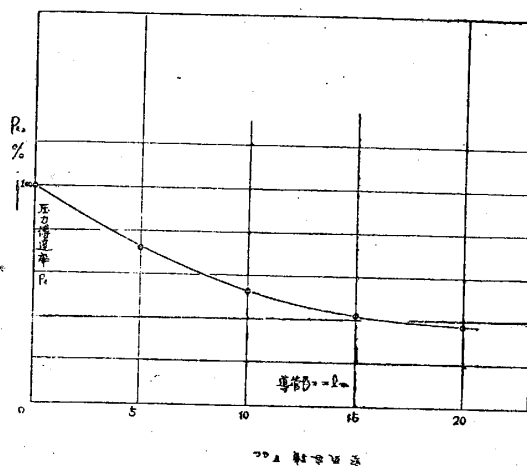
今之の減少を全く導管の容積 V の影響と考へ計算し、之を $l \sim p_e$ 曲線に適用して見ると第9圖中點線にて示せる如くなり、導管長さによる傳達壓力の減少はほとんど導管の容積 V に依る減少に等しい事が判る。

2. r の 影 響

第7圖で注目すべきは r に依る λ の變化である。各内徑管の特性係數である K の數値は既に求めた如く r に依つては著しい變化を受けるが、内徑 4m/m 以上になると時間的に考へて略々音の傳播速度に近い値を示して居る事は特に注目し價する事で、之は 4m/m 管以上では本實驗の状態に於てはほとんど壁の影響が表はれて來ない事を明瞭に物語るものである。故に壁の影響なき場合即ち音速を基準として各内徑管の遅れ係數を書き直せば右表の如くなり、其のグラフは附第4表の通りである。

此の係數 K は導管壁の抵抗係數と稱すべきものである。

而して此の値は約 4m/m 管以上では ≈ 1 となり實用上壁の



第9圖 導管の長さとの傳達壓力減少率との関係
 $r=4.5$ mm $l=0 \sim 20$ m $P=0.8$ sec

任意内徑の任意長さの導管の時間的遅れ並に位相の遅れは之の計算値をグラフで表はした附第1表及第2表に依り K_1 K_2 なる方向係數を求めて上記の實驗式に依り計算すればよい。

次に $l \sim p_e$ であるが、條件及結果は第9圖に示す如く之の影響は $l=1 \sim 20$ m では比較的少ないものである。

r	K
1.0	3.883
1.8	1.73
2.7	1.32
3.0	1.21
3.8	1.14
4.5	1.08
5.6	1.04
6.7	1.009

音速=1

効きは0と考へて差支へない。

以上の實驗で結論し得る如く實用上 4m/m 以下の導管を使用する事が遅れと云ふ事に就いては相當影響が多く好ましく無い。亦内徑が小さくなると塵芥等がそれを塞ぐ心配も有るし安定度が悪くなるので出来る事なら 4m/m 以上の管を使用したいものである。唯左程遅れを問題としない使用面に於ては 2.5m/m 以上なら音の速さに近いと考へて大差無いから此の問題に就いては心配は無からうと思ふ。然し一面飛行機上で使用する場合には管の重量或は管の占むる容積等の點も勿論考慮に入れる必要があるので、一概に内徑の大きい管を採用する事も出来ないであらうから双方を睨み合せて適當の管に決定すべきであらう。

導管の傳達壓力の減少率は、管の壁の効きと管自身の容積に依るものと考へて差支へない。

r が一定値に達する迄は管壁の効きが大きく、それ以後は當然之の逆となり管容積の効きが大きくなる事と考へられる。

果して實驗の結果は之の豫想通り第 10 圖に示す如く 1~3m/m 程度迄は 2.7m/m を頂點とする拋物線的徑路をたどりそれ以後は双曲線的徑路を畫く。

従つて 2.7m/m 附近が所謂境界點でそれ迄は壁の効き、それ以後は容積の効きが大きくなる。

今各管に於ける管の容積の影響を除いて見ると(後述 $V \sim p_e$ 曲線より計算) 第 10 圖中點線にて示せる如くなり、大様次の如き結論を得る。

1. 壓力傳達率を良好にする目的には内徑 2.5~3.0m/m 管を出来るだけ短距離にて連結すべきである。
2. 3m/m 以上の管に於ては其の管徑に逆比例して傳達壓は減少する。これはほとんど導管の容積の影響である。
3. 2.5m/m 以下の管に於ては導管徑の減少に比例して傳達壓は著るしく減少する。之はほとんど壁の効きの爲である。

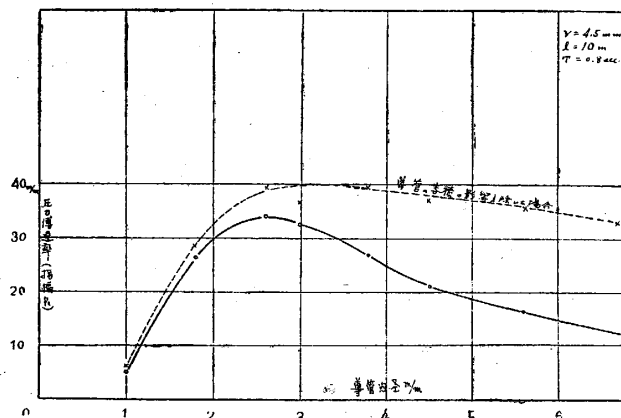
4.3. 空氣容積の影響

一般に導管の有效容積は

$$V = \pi a^2 \frac{l}{2}$$

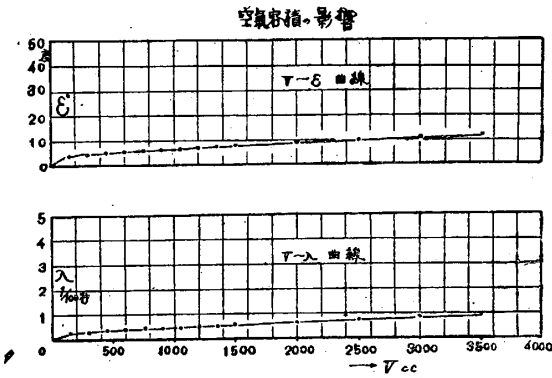
で表はされる。之に基づき計算したる結果は附第 3 表に示す如く相當の容積を持つて居る。本實驗では之の導管の有效容積の効きは一應考へず、之と別に容積を 0~3500 cc の範圍に於て與へ λ , ϵ , p_e を求めた。

其の結果第 11 圖に $V \sim \lambda$, $V \sim \epsilon$, 第 12 圖に $V \sim p_e$ を示す如く ϵ , λ に関しては之の影

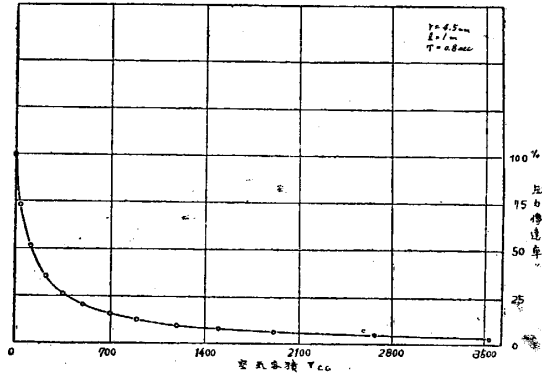


第 10 圖 導管内徑と傳達壓減少率との關係

響は小さいもので、他の諸種の影響に比して考へればほとんど無視して良い程度である。



第11圖 空気容積の影響



第12圖 空気容積と伝達圧減少率との関係

然し、 $V \sim p_e$ のみに關しては全く逆で V の影響が非常に大きい。

實驗に依れば既に 150 cc にて 40% 程度に減少し 800 cc に到つては 10% に減少して居る。

實驗結果より近似的に實驗式を求めて見ると

$$V \approx \frac{\alpha}{V^b}$$

となり、其の影響は著るしい。

従つて上記の導管そのものの有效容積も之に關する限り重要視する必要がある、若し傳達壓力が極めて小さく導管の長さが長い場合到達壓力の減少をさける爲には時間的遅れ或は位相の遅れを犠牲に出来る限り導管の徑は小さくする必要がある。

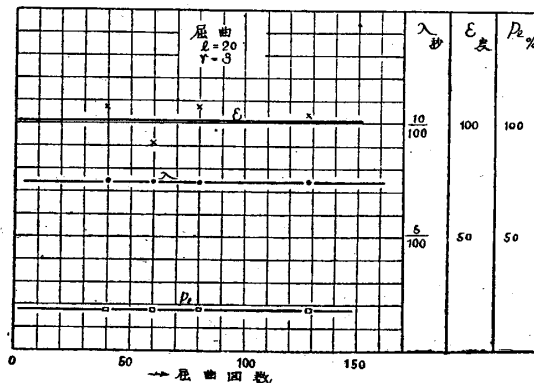
4.4. 屈曲の影響

實驗に使用した導管は總てゴム管である。従つて屈曲を強くすれば折れてしまふ危険性があるので、實驗には第14圖に示す如く 90° 角を R をつけて屈曲せしめ曲りの回数を屈曲數として之の影響を調べたのであるが、實驗では第一空盒を基本管で第二空盒を 20 m 管で連結し (各 3 m/m 管) 之を屈曲せしめて兩者の軌跡を比較して數値を求めた。其の結果は第13圖に示す如くほとんど何等の影響が無い。従つて何回導管を屈曲しても若し其れが導徑をせばめない限り其の影響なしと考へる事が出来る。

4.5. 周期の影響

實驗は第一空盒を $r=3\text{m/m}$ の基本管第二空盒を lm で接続してモーターの回轉を變へて發生壓力の周期を變化させ其の影響を見た。

$T \sim \lambda$



第13圖 屈曲の影響

周期を 0.1 sec~1.25 sec の範囲で實驗したる結果第 14 圖に示す如く何等變化なく、従つて時間的遅れに關する限り周期の影響は無いものと考へて差支へない。

$$P \sim \epsilon$$

上記同様の周期を以て位相の遅れを調べて見ると之は非常に影響がある。第 15 圖に其の結果を示す如く二次曲線となり、之は略々

$$\epsilon = \frac{b}{T} - \frac{a}{T^2} - c$$

なる方程式で表される。

之より考へれば T が早い時、即ち $T < 0.5 \text{ sec}$ では位相の遅れ甚だしく位相を問題とする各種用途に於ては極めて不利である。故に若し位相の遅れを好まない使用面に於ては必ず $T > 0.5 \text{ sec}$ の範囲を用ひなければならぬ。然し一面特殊目的に依つては $\Delta\epsilon/\Delta T$ の大きい事

を逆に利用する事も出来る譯で、之の場合には言ふ迄もなく周期 $< 0.5 \text{ sec}$ を選べば周期の變動の頗る鋭敏なる感度を得る事が出来る。例へば周期の變動を監視する目的の爲には其の位相の遅れを見れば之が極めて擴大された形で視られる故便利である。

次に $T \sim p_c$ であるが、之に就いての實驗結果は第 16 圖に示す如く周期に依つては傳導

壓力の減少率には影響が無いと云ふ事が出来る。(圖中 0.1 sec で變動が現はれて居るのは空盒部分の自己振動數の爲である)(第 3 圖参照)

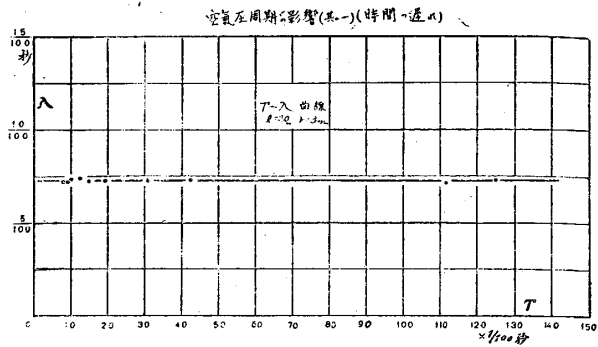
4.6. 空氣壓波型の影響

前記三種のカムを使用し正弦波、衝撃波、混合波に依り同一條件のもの

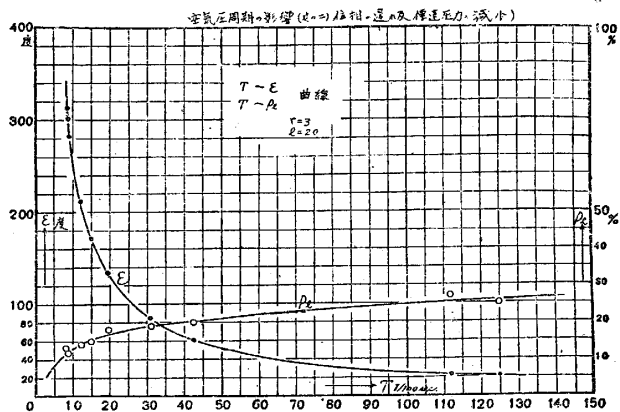
とに比較實驗せる結果全く同一なる數値を得た。従つて波型に依る影響は全くないものと考へる事が出来る。

5. 結 論

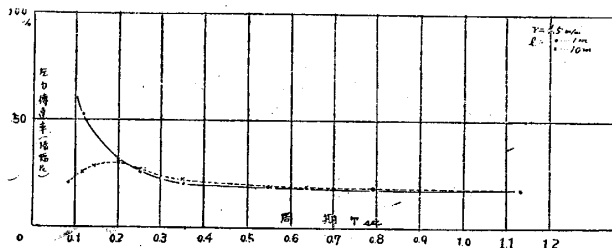
一體之の導管の抵抗に就いては其の因子が多く複雑多岐に涉り未だ研究すべき多くの餘地



第 14 圖 空氣壓周期と時間的遅れの關係



第 15 圖 空氣壓周期と位相の遅れの關係



第 16 圖 空氣壓周期と傳達壓減少率との關係

が残つて居るのであるが、今回は一應以上で取纏めて見る事とした。

今迄の實驗で得た結果を分類して見ると

1. 導管抵抗の時間的遅れに就いては

1.1. 導管の長さに比例して遅れは増減する。

$$\lambda = K l$$

1.2. 導管の内徑に就いては音速を漸近線とする双曲線の關係を有し、内徑 4 m/m 以上の管では略々音速に等しいと考へて差支へない。

實用上 4 m/m 以下の導管を使用する事は壁の効きが大きい爲相當の影響がある事を覺悟せねばならぬ。

亦、内徑が小さくなると塵芥等が之を塞ぐ心配もあり安定度が悪くなるので出来る事なら 4 m/m 以上の管を使用すべきである。

唯左程遅れを問題としない使用面に於ては 2.5 m/m 以上なら音速に近いと考へて大差ないから此の問題に就いては心配は無からうと思ふ。然し一面飛行機上で使用する場合には管の重量或は管の占むる容積等の點も考慮に入れねばならぬので一概に内徑の太い管を採用する事も出来ないだらうから双方睨み合せて適當の管に決定すべきであらう。

1.3. 空氣容積に依つては一次的變化をなすが、その數値頗る小さくほとんど遅れを生じないものと考へて良い。

1.4. 導管の屈曲に依つては導管の内徑をせばめない範圍では何等之を行つても何等影響が無い。

1.5. 空氣壓周期に依つては遅れは變らない。

1.6. 空氣壓波型に依つては遅れは變らない。

1.7. 任意内徑、任意長さの導管の時間的遅れは附第 1 表に依り容易に求める事が出来る。

2. 導管の位相の遅れに就いては

2.1. 導管の長さに依つては

$$\epsilon = K l$$

なる一次的關係を有し長さが長くなると位相の遅れも比例して大きくなる。

2.2. 導管内徑に依つては、結論 1, 2 にて示せる通り。

2.3. 空氣容積に依つては結論 1, 3 の通り。

2.4. 導管の屈曲に依つて何等變化ない。

2.5. 空氣壓周期に依つては近似的に

$$\epsilon = \frac{b}{T} - \frac{a}{T^2} - c$$

なる實驗式にて示す如き關係を有する。之に依れば T が早い時、即ち $T < 0.5 \text{ sec}$ では位相の遅れ甚だしく位相を問題とする各種用途に於ては極めて不利である。故に若し位相の遅れを好まない方面に於ては $T > 0.5 \text{ sec}$ の範圍を選ぶべきである。然し一面、特殊使用目的に依つては此の $\Delta \epsilon / \Delta T$ の大きい部分を活用する事も可能で、面白い事である。

2.6. 空気壓波型に依つては其の影響が無い。

3. 傳達壓力の減少に就いて

3.1. 導管の長さに依つては大體

$$p_e = a \frac{1}{l^b}$$

の方程式が考へられ拋物線型である。之はほとんど管自身の空氣容積に依るものである。實用上 $l=1\sim 20\text{m}$ では長さに逆比例して行く一次的關係と考へても良い。

3.2. 導管の内徑に依つては内徑 3.0 m/m 附近以上の管に於ては其の管徑に逆比例して傳達壓力は減少する。之はほとんど導管の空氣容積に依るものである(双曲線的徑路)。2.5 m/m 以下の管では導管徑の減少に比例して壁の効きが著るしくなり傳達壓の減少が大きい(拋物線的徑路)。

3.3. 以上の二つを實用的見地より考へれば實用上、壓力傳達率を良好にする目的の爲には 2.5~3.0 m/m 管を出来るだけ短距離にて連絡すべきである。

3.4. 空氣容積に依つて生ずる影響は著るしく、大體

$$p_e = \frac{a}{V^b}$$

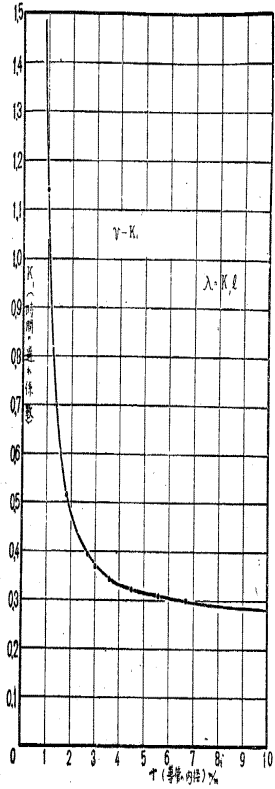
で表され實驗に依れば既に 100 cc では p_e は半減して居る状態である。故に p_e を問題とする使用面に於ては V の影響に就いては重大なる關心を持つべきで出来るだけ V の値を小さくする様心掛くべきである。

3.5. 屈曲の影響は全くない。

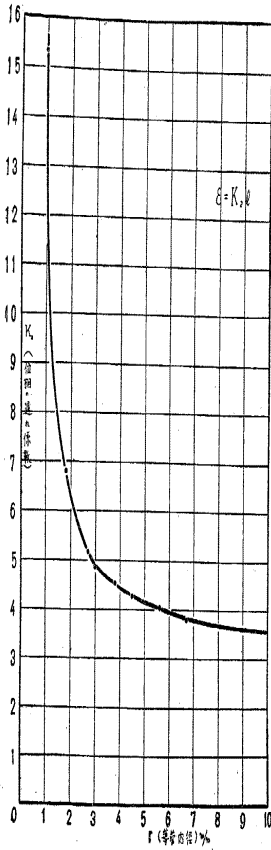
3.6. 周期の影響もほとんど無いものと考へて差支へない。

以上の結論は總て本研究範囲内より出したものであるが、一般的にも充分普遍性が認められ得るのではなからうか。

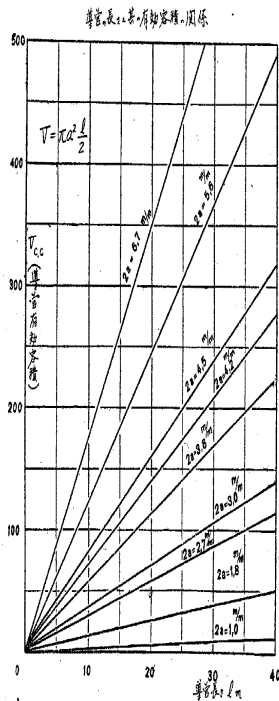
(昭和十九年一月二日 科學第二部新館にて)



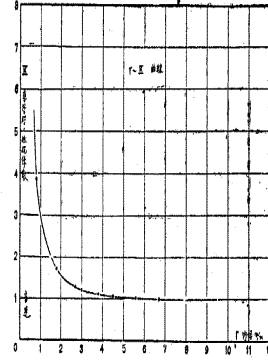
附第1表 導管の内径と長さを知つて其の時間的遅れを求むる表



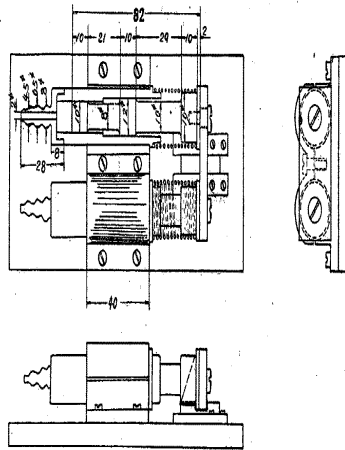
附第2表 導管の内径と長さを知つて其の位相の遅れを求むる表



附第3表 導管の長さとその有効容積の関係



附第4表 音速を基準として導管の壁の抵抗を示した表 (音速=1)



附第5表 空気壓發生用二連ピストン構造圖