

○学 長谷川 良樹 (新潟大) 学 石川 修 (新潟大院)
 正 一宮 亮一 (新潟大) 正 坂本 秀一 (新潟大)

Yoshiki HASEGAWA, Niigata University, Igarashi 2-8050, Niigata
 Osamu ISHIKAWA, "
 Ryoichi ICHIMIYA, "
 Shuichi SAKAMOTO, "

Key Words : Acoustic Pipe, Measurement, Sound, Sound Pressure, Standing Wave

1. 緒 言

音波の伝達、音響機器の機械・音響系を組み立てる素子である音響管は、その用途が多方面にわたっているため、種々の研究が行われている。

音響管に音波を放射したとき、音響管内には、管軸方向に音圧の大きな変化が生じる。本研究では、この現象を利用して、音響管内の音圧を測定し、変位を感知するという新しい変位測定法の基礎実験を行った。その結果について報告する。

2. 測定法の原理⁽¹⁾

音響管の断面の半径が音の波長に比べて充分小さい場合には、この管の内部には管軸方向に伝搬する平面波を発生させることができる。音響管の入口を図1のようにピストン振動板で駆動するとき、この管内には平面進行波が形成される。いま、管は比音響インピーダンス Z_l をもち、剛壁で閉止されて一端閉口となっているものとする。

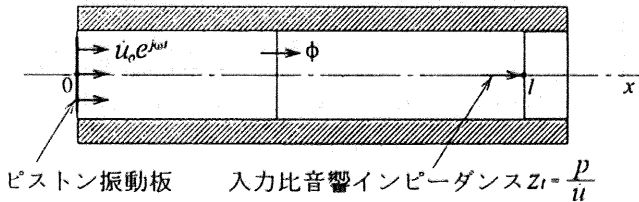


Fig.1 Schematic Diagram of an Acoustic Pipe

このときの波動方程式は、
 $0 < x < l$ において、

$$\left(\frac{d^2}{dx^2} + k^2\right)\phi = 0 \tag{1}$$

ただし $k = \frac{\omega}{c}$ (k : 波長定数, c : 音速)

と表される。

また、 $x=0$ において、ピストン振動板が $\dot{u} = \dot{u}_0 e^{j\omega t}$ で駆動していることと、 $x=l$ において比音響インピーダンス Z_l の壁で閉止されていること($p = z_l \dot{u}$)から、式(1)の解は、

$$\phi = \frac{\dot{u}_0 e^{j\omega t}}{k} \frac{\cos(\theta - k(l-x))}{\sin(\theta - kl)} \tag{2}$$

ただし $\theta = j \tanh^{-1} \frac{\rho c}{z_l}$

となる。

したがって、このときの音圧は、

$$p = j\rho c \dot{u}_0 e^{j\omega t} \frac{\cos(\theta - k(l-x))}{\sin(\theta - kl)} \tag{3}$$

となる。

また、特に $x=l$ の端が完全に剛体をもって閉止された場合($z_l = \infty$)、この音響管は閉止音響管となる。このときの音圧の表示式は、

$$p = -j\rho c \dot{u}_0 e^{j\omega t} \frac{\cos k(l-x)}{\sin kl} \tag{4}$$

となる。

後述の理論計算結果は、式(4)を用いて行った。

3. 実験装置と実験方法

図2に、音響管内の音圧分布の測定装置の概略を示す。

無響箱の一端に、スピーカを取り付け、その正面に音響管を組み込むことによって、管の開放端が近似的自由音場内にある状態とした。管の中心軸上の音圧分布は、プローブ・マイクロホンを用い、これを閉止板に設けた挿入口より管内に挿入することで測定した。プローブ・マイクロホンは、内径 $\phi 2.4\text{mm}$ 、外径 $\phi 3.0\text{mm}$ の細管をコンデンサ・マイクロホンに取り付けたものである。

音響管内の音圧分布を測定するために、シグナル・ジェ

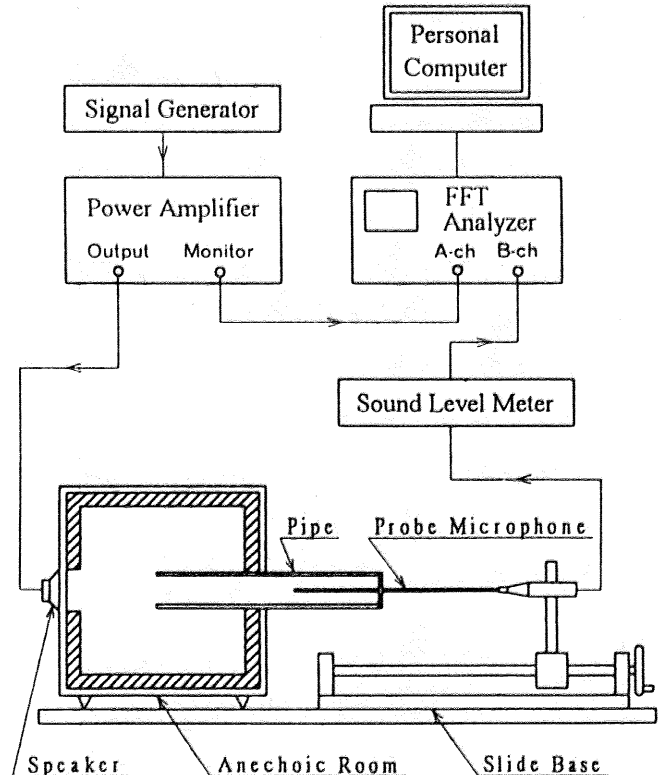


Fig.2 Outline of the Measuring System

ネレータから0~2kHzまでの正弦波スイープ信号を、パワーアンプを通してスピーカとFFTアナライザのAチャンネルに送信する。スピーカから管内に放射された音波は、管内に音圧分布を引き起こす。この音圧はプローブ・マイクロホンにより電気信号に変換された後、騒音計を通してFFTアナライザのBチャンネルに入力し、高速フーリエ変換を行って求めた伝達関数をパーソナル・コンピュータで処理して音圧分布を得た。

なお、プローブ・マイクロホンは、ボールねじを利用したスライド・ベースにより、正確に移動させた。

4. 実験結果

4.1 理論計算値と実験値との比較 図3に、内径 ϕ 15.6mm、外径 ϕ 25.4mm、長さ400.0mmの音響管の各周波数における音圧分布を示す。

この図において、理論計算値と実験値との間に差がみられる。x=0の音響管の開口部においては、理論計算で開口端補正を考慮していないためと考えられる。また、他の部分におけるずれは、プローブ・マイクロホンに用いた細管が音響管内に存在するためと推測される。あらかじめ校正曲線を求めておけば、このようなずれの存在は、変位測定を行う上で妨げとなるものではないと思われる。

4.2 音響管内の音圧分布 図3において、どの周波数においてもマイクの位置に応じて音圧の変化がみられる。また、周波数が高いほど音圧の変化が急激になっていること

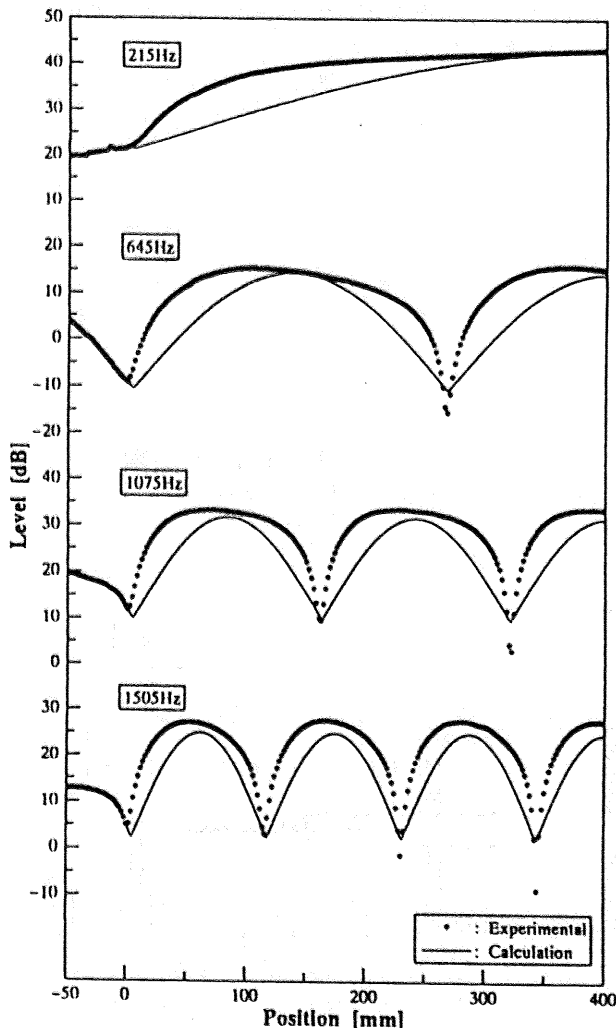


Fig.3 Sound Pressure Distribution in a Pipe

もわかる。単位長さあたりの音圧変化が大きいほど、高精度な変位測定が可能であるので、高い周波数を用いることが適当であると考えられる。そこで、測定の例として、1505Hzにおける335~350mmの位置を取り上げ、音圧分布の詳細を図4に示す。

図中のA~Cを見ると音圧の変化量が最下点に近づくにつれて大きくなっていることがわかる。したがって、C部分の音圧変化を用いることで、より高精度な変位測定が可能であると考えられる。

しかし、最下点を含んだ音圧差を利用すると、音圧の落ち込む部分と起ち上がる部分の境界となる箇所の特が難しい。よって、それを含まない範囲を利用するのが望ましい。

また、精度を向上させるには、式(4)からわかるように、スピーカの出力の増大により、音響管内に生じる音圧変動が大きくなる現象を利用することが考えられる。

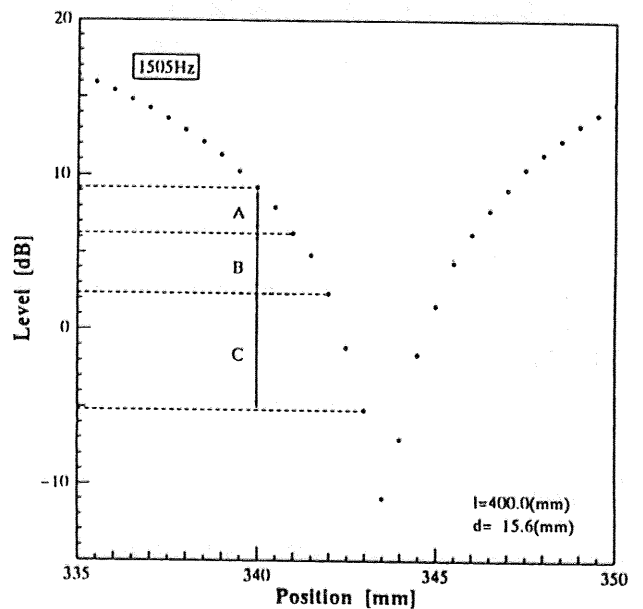


Fig.4 Sound Pressure Distribution (335~350mm) in a Pipe

5. 結 言

音響管に音波を放射したときに、管内に発生する音圧分布の測定を行い、以下のような結果を得た。

- (1) 音響管内の音圧分布の測定値は、理論計算値とよく似た傾向を示した。
- (2) 音響管内に生じる位置に応じた音圧変化を利用して、高精度な変位測定が可能であると考えられる。
- (3) 今回の実験で用いた周波数は、1505Hzまでであったが、より高い周波数を用いることにより、高精度な変位測定が可能であると考えられる。
- (4) スピーカの出力の増大により、高精度な変位測定が可能であると考えられる。

文 献

- (1) 早坂・吉川, 音響振動論, (1974), 487-489, 丸善.