

703 伝達関数法による多孔性材料の音響特性の測定

Acoustic Characteristics Measurement of Porous Material by Transfer Function Method

正 坂本 秀一 (新潟大)
○学 坂井 則夫 (新潟大院)

正 一宮 亮一 (新潟大)

Suichi SAKAMOTO, Niigata University, Igarashi 2- 8050, Niigata
Ryoichi ICHIMIYA, "
Norio SAKAI, "

Key Words : Sound, Measurement, Transfer Function Method, Porous Material

1. 緒 言

グラスウールをなどの多孔性材料は、一般に騒音を減衰するために用いられている。その音響特性を材料固有の値から算出することは実際には困難であるが、近年の計算技術の発達により伝達関数法(2マイクロホン法)の理論から導くことができるようになり、簡便なこの手法がかなりの精度で行うことができるようになった。しかし、測定可能な周波数範囲は上限が 2kHz 程度と低いため、実際に騒音等の音響を扱う現場での実用は困難な状態にあった。

本研究は、伝達関数法による特性測定の周波数範囲を人間の可聴周波数帯域程度にまで拡大すると共に、吸音材料としての実用を想定した際、騒音対策上問題となる周波数域における多孔性材料の音響特性を把握することを可能にする簡単かつ信頼性の高い測定方法を開発し、実用化することを目的としている。さらに、多孔性材料として布等のシート材にも適用できるような測定法を開発し、その基礎的実験を行った結果について報告する。

2. 測定法の原理

図 1 に実験装置の概略を示す。音響管端にスピーカを接続しておき、管内に測定対象となる多孔性材料を封入、その後方に適切な長さの空洞部(この空洞部の長さを「空間奥行」と呼ぶ)を設ける。そして管壁に2本のマイクロホンを設置し、スピーカから音波を放射すると管内に定在波分布が生じる。このとき管壁に設置した2本のマイクロホンの間の伝達関数を2チャンネルのFFTアナライザを用いて測定を行う。ここで得られた伝達関数より、材料前面(

基準面)から右側を見た音響インピーダンス Z_0 が得られる。⁽¹⁾ これを材料後方面から右側を見た音響インピーダンス Z_1 、マイク1と材料前面までの距離 l 、マイクロホンの間隔 s 、材料の厚さ d 、および空間奥行 L により、多孔性材料の音響特性を導出する。これが2マイクロホン法、或いは伝達関数法と呼ばれる実験手法である。

この音響特性の導出過程において、材料の音響特性は2種類の計算方法で得ることができる。そのうちの1つは、空間奥行を変化させる「2空洞法」⁽²⁾ と呼ばれるもので、空間奥行を2通りに変化させることでそれぞれの伝達関数を得て、図1に示す材料の基準面から見た音響インピーダンス Z_0 と、空間奥行変化後の音響インピーダンス Z_0' を得た後に材料の特性インピーダンス及び波定数を導くものである。もう1つは材料の厚さを変化させる「2厚さ法」と呼ばれるもので、空間奥行を0にして、材料の厚さを2通り変化させることによりそれぞれの伝達関数を測定し、同様に Z_0 、 Z_0' を得て材料の音響特性を得る方法である。前者は材料を1度取り付けると測定を終了するまで固定しておくことができる。後者は材料の付け替えはあるが、材料の後方が剛体壁となっているので境界条件が作りやすく、シート状の材料などに適用する場合、材料の厚さがその枚数によって決定できるといった利点がある。

測定できる上限の周波数は管の内径およびマイクロホンの間隔によって決定される。その条件式は次の2つである。

$$D \leq \frac{0.586c}{f_c} \quad (1), \quad s \leq \frac{c}{2f_c} \quad (2)$$

D : 管の内径, c : 音波の伝搬速度,
 f_c : 測定周波数の上限, s : マイクロホン間隔

次に、音響インピーダンス Z_0 および Z_1 を式に表すと(3),(4)式のように表される。

$$Z_0 = jZ_{air} \frac{H_{12} \sin kl - \sin\{k(l-s)\}}{-H_{12} \cos kl + \cos\{k(l-s)\}} \quad (3)$$

$$Z_1 = jZ_{air} \cot(kL) \quad (4)$$

Z_{air} : 空気の固有音響抵抗 (= 密度 $\times c$).
 H_{12} : マイク1-2間の伝達関数.
 k : 波数 (= $2\pi f/c$). l : マイク1から基準面までの長さ

また、2空洞法による特性インピーダンス Z_c および複素波定数 k_a は(5),(6)式のように表される。

$$Z_c = \pm \sqrt{\frac{Z_0 Z_0' (Z_1 - Z_1') - Z_1 Z_1' (Z_0 - Z_0')}{(Z_1 - Z_1') - (Z_0 - Z_0')}} \quad (5)$$

$$k_a = \frac{1}{2jd} \ln \left(\frac{Z_0 + Z_c}{Z_0 - Z_c} \frac{Z_1 - Z_c}{Z_1 + Z_c} \right) \quad (6)$$

ここで、 Z_0 は空間奥行 L を用いて伝達関数を測定し、求め

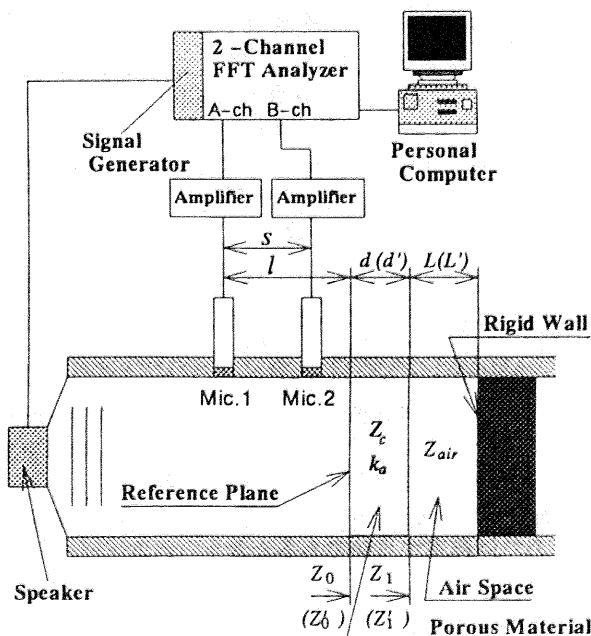


Fig.1 Outline of the Measuring System

たもので、 Z_0' は空間奥行 L' を用いて求めたものである。 Z_1 および Z_1' も同様である。

2厚さ法による Z_c および k_a は(7),(8)式により表される。

$$Z_c = \pm \sqrt{2Z_0 Z_0' - Z_0'^2} \quad (7)$$

$$k_a = \frac{1}{2jd} \ln \left(\frac{Z_0 + Z_c}{Z_0' - Z_c} \right) \quad (8)$$

ここで、 Z_0 は材料の厚さ d を用いて伝達関数を測定し、求めたもの、 Z_0' は d' を用いて求めたものである。

3. 実験方法

ここでは、音響管として管内径 20mm, マイクロホン間隔 17mm のもの、マイクロホンは直径 7mm の精密コンデンサマイクロホンを 2 本使用した。この装置は(1),(2)式により 10kHz までの測定が可能である。音源は、FFT アナライザ内蔵の信号発生器により、0Hz から 10kHz 迄のマルチサイン波をスピーカで管内部に放射させ、マイク 1 の測定信号をアンプを介して FFT の A チャンネルに入力し、マイク 2 の測定信号を B チャンネルに入力して高速フーリエ解析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特性インピーダンスおよび複素波定数を算出する。

4. 実験及び計算結果

4.1. 伝達関数測定 図 2(a),(b)にグラスウールを 2 空洞法で測定した伝達関数の周波数応答を測定した結果を示す。ここで、マイクロホンの特性差を相殺するためにマイクをスイッチしてそれを平均するといった作業を行っている。太線がスイッチ前、細線がスイッチ後の波形を示す。計算を行う際はスイッチ前の伝達関数と、スイッチ後の伝達関数を 0dB および 0deg に対してリバースさせたものとの平均をとって、それを真の伝達関数としている。ここでは空間奥行を $L=3\text{mm}$, 材料の厚さを $d=10\text{mm}$ にて測定した。

4.2. 計算結果 図 3(a),(b)に、2 空洞法により $L=3, L'=9$ で計算した結果を示す。(a)が特性インピーダンス、(b)が複素波定数を示す。(a)は空気と比較するために空気の固有音響抵抗で割ったものを示してある。また、それぞれの太線が実数部、細線が虚数部を表す。

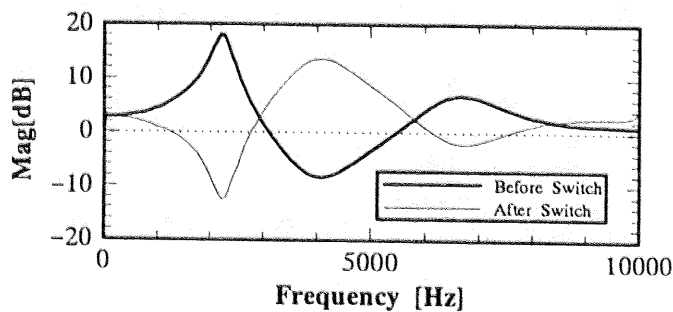


Fig.2(a) Result of Transfer Function (Magnitude)

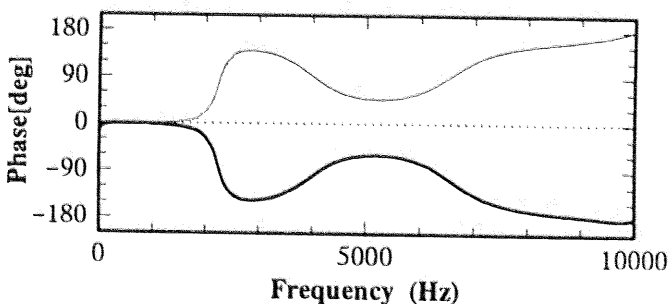


Fig.2(b) Result of Transfer Function (Phase)

図 4 に 2 厚さ法で計算した結果について特性インピーダンスを示す。測定条件はグラスウール、 $d=5, d'=10\text{mm}$ である。これは 2 空洞法の場合と結果はかなり異なっているが、グラスウールは試験材を製作する際に個々の材料が不均質になるので、2 厚さ法での測定は正確さを欠くものとなり、現段階においては不向きであると思われる。

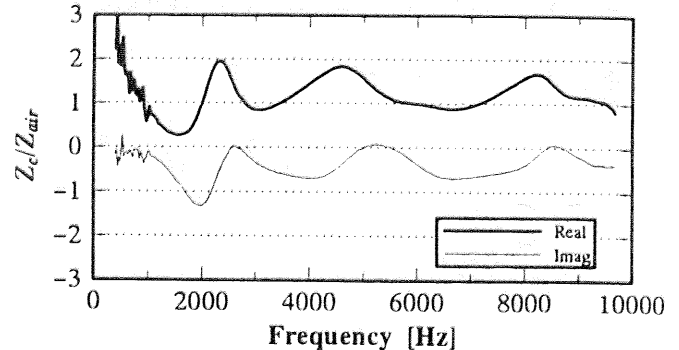


Fig.3(a) Result of Characteristic Impedance Normalized by Air (2-Cavity Method)

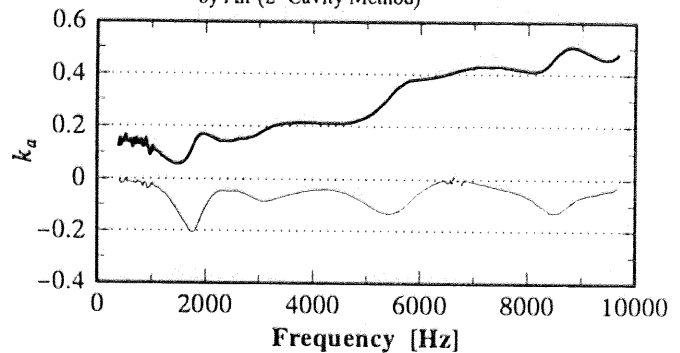


Fig.3(b) Result of Complex Wave Number (2-Cavity Method)

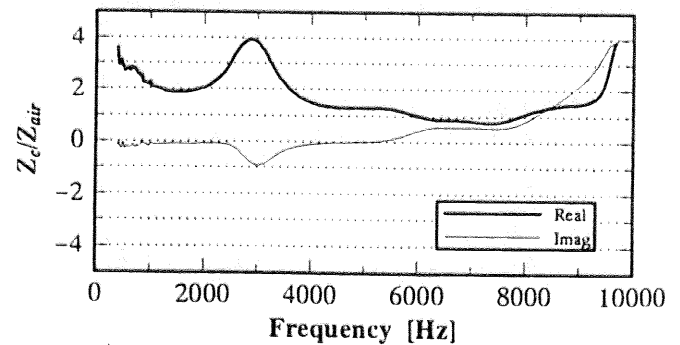


Fig.4 Result of Characteristic Impedance Normalized by Air (2-Thickness Method)

5. 結 言

本研究では、伝達関数法が適用できる装置を開発し、グラスウールの音響特性を 2 空洞法および 2 厚さ法にて基礎的実験を行い、次の結果を得た。

(1) 本装置により、騒音対策上十分な 10kHz までの周波数領域の音響特性が測定可能であることが確認された。また、更に小型のマイクロホンを使用すれば人間の可聴域全体にまで周波数範囲を拡大できると思われる。

(2) 2 厚さ法を使用する場合、シートのような均質な材料であれば測定が可能であると考えられる。

文 献

- (1) J. Y. Chung and D. A. Blaser, J. Acoust. Soc. Am. 68(3), 907-921 (1980).
- (2) Hideo Utsuno, Toshimitsu Tanaka, Takeshi Fujiwara, J. Acoust. Soc. Am. 86(2), 637-643 (1989).