

# 二重穿孔板の吸音特性

真 藤 利 孝  
平 野 滋

## Sound Absorbing Characteristics of Two-Element Resonance System

Toshitaka Shindo  
Shigeru Hirano

### Abstract

The acoustic designs of such spaces as auditoriums, radio and television studios, etc., impose ever stiffer demands on acoustic lining materials for walls and ceilings. A two-element resonance system with perforated panels was considered and the sound absorption coefficient of this system was measured in a reverberation room. The first resonance system consisted of a perforated panel and an air cushion 6 cm high. The second resonance system layered on the first system also consisted of a perforated panel and an air cushion 6 cm high. To obtain the maximum possible sound absorption coefficient, porous layers of a fibrous material were inserted in the air cushions. It is thought this resonance system would be useful for its ability to absorb sound over a wide frequency range.

### 概 要

大きな吸音率を低音域から高音域まで幅広く得るにはグラスウールのような多孔質吸音材料を100mm厚程度はれば得られるが、一般にはある程度強度のある仕上げが必要となる。仕上材としてはパンチングメタルや合板や石綿板の穿孔板が多く使用されるがこうした仕上材は共鳴現象を生じ、ある周波数域では大きな吸音率が得られるが、一般には他の周波数域では吸音率がかなり低下する。本報告書は共鳴周波数の異なる二枚の穿孔板を空気層をとって重ねることによって（内部グラスウール充填）仕上材のある広帯域吸音構造体を得た実験結果である。スタジオ、オーディトリウム、防音塀等の吸音構造体として使用が考えられる。

## 1. 序

吸音を意図した内外装材料は、一般に吸音材と仕上げ材の組合せである。

吸音のみを考えると、グラスウール、ロックウールに代表される多孔質材料が最もすぐれた吸音材であり、加工性の良さ、軽量であること、経済性等の観点からこれに代る吸音材は見当たらない。

グラスウール、ロックウールの欠点は人のふれる所では破損しやすく、仕上げ材なしでは使用できないことと、耐候性がなく屋外にはそのまま使用できないことである。仕上げ材として広く使用されているのが穿孔板で、内装材としては強度があれば良く、合板やハードボードの穿孔板がスタジオ、ホール等の内装に多く使用されている。

最近多く見られるようになった吸音付きの防音塀に

ついても、仕上げ材として耐候性のある金属板、石綿板等にあなを明け、内部に多孔質吸音材を入れたものがほとんどである。

穿孔板と背後の空気層と吸音材で構成されるこれらの吸音構造体では、共鳴周波数における吸音率は大きくなるが、吸音領域としては比較的狭い周波数範囲に限定されるのが普通である。そこで吸音周波数帯域を拡げる方法として複数の穿孔板を重ねた構造が以前から考えられているが、今回は特に低周波数域を中心とした広帯域の吸音を得ることを目的に二重穿孔板をとりあげ、実験検討を行なった。

## 2. 穿孔板の吸音機構

Zwikker と Kosten は穿孔板と空気層の組合せ構造をヘルムホルツ共鳴器と同じ概念に基づいた、より実際の構造と考えると、孔の中及び付近の空気を振動系

のマス、穿孔板背後の空気層をバネとしたとき、孔の部分（多孔質吸音材を入れれば多孔質材）の抵抗が振動系に適当なダンピングを与えるものとして、理論的に吸音特性を設計する方法を明らかにしている。

### 3. 共鳴周波数

いわゆるヘルムホルツの共鳴周波数の計算式は、空気層が波長に比して小さい場合  $L < \lambda/16$  を仮定している。 $L$ ：空気層厚  $\lambda$ ：波長

$$f_0 = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{L(t+\delta)}} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$C$ ：音速  $P$ ：開孔率  $L$ ：空気層厚  
 $t$ ：板厚  $\delta$ ：0.8d  $d$ ：孔の直径

精密解ではないがより近似解として次式が得られている。

$$f_0 = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{3P}{L\{(t+\delta)+LP\}}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

### 4. 共鳴周波数前後の吸音特性

共鳴周波数における吸音率 ( $\alpha_{res}$ ) 前後の吸音特性を示すものとして Kosten により吸音率  $\alpha$  が  $\alpha_{res}/2$  をこえるオクターブ数  $0$  を求める式が示されている。

$$0 = 1.442 \sqrt{\frac{PL}{(t+\delta)}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$R$ ：吸音体の抵抗比  $R = R_0/\rho C$   
 $R_0$ ：吸音体の抵抗  $\rho C$ ：空気の抵抗

この式より共鳴周波数を中心に幅広い吸音率を得るには、音響抵抗、開孔率、空気層は大きく、板厚は小さくすれば良いことがわかる。これより実際の構造を無視すれば、幅広い吸音特性の穿孔板構造を設計することが可能であるが、実用的には全てのものが限定されるわけで、音響抵抗については一定値まで吸音率はその対数に比例して増大するが、それ以後はほぼ対数に比例して減少し、高密度のグラスウール程度が最も大きな吸音率が得られる、開孔率、板厚は強度に、空気層は経済的に、限られたものとなる。

このようなことをふまえて、二枚の穿孔板を重ねておのおのその特性を生かそうとするには次のような意図が生かされれば、より幅広い吸音特性が得られるはずである。

表面の穿孔板構造については、下地の穿孔板までの空気層と、さらに下地の穿孔板構造の空気層を加えた2種類の空気層がおのおの生かされること。（このためには下地穿孔板の開孔率が相当大きくなければならないことは容易に推測できる）

下地穿孔板の吸音構造体については、音場に対して

常に表面の吸音構造体の影響を受けるのであるから、表面穿孔板の開孔率が大きければ大きいほど良いことになる。

### 5. 測定試料

上述したような意図と実際の構造として、表面穿孔板は5.5mmベニヤ、空気層は60mmに限定して、低中音域に共鳴周波数の生ずる3種の穿孔板を作り、これを組合せた。

試料としてとりあげた穿孔板の孔径とピッチ、及び開孔率をまとめると次のようになる。

9φ-20mmピッチ	開孔率 P=0.159
6φ-30mmピッチ	開孔率 P=0.031
6φ-60mmピッチ	開孔率 P=0.008

また空気層に充填したグラスウールは50mm厚、密度 32kg/m<sup>3</sup> のものである。

3種の穿孔板のうち表面板は先に示した意図から、9φ-20mmピッチのものを使用し、6φ-30mm、6φ-60mmピッチのものは下地の穿孔板として使用した。

これら穿孔板について空気層60mm、120mmの場合、それぞれ共鳴周波数を(3)式によって計算すると次のようになる。

空気層 L=60mm のとき

9φ-20mmピッチ	共鳴周波数 $f_r=730\text{Hz}$
6φ-30	$f_r=370\text{Hz}$
6φ-60	$f_r=190\text{Hz}$

空気層 L=120mm のとき

9φ-20mmピッチ	共鳴周波数 $f_r=450\text{Hz}$
6φ-30	$f_r=260\text{Hz}$
6φ-60	$f_r=130\text{Hz}$

### 6. 測定方法

測定は当所残響室（拡散板あり、室容積  $V=213\text{m}^3$ 、室表面積  $S=225\text{m}^2$ ）において、残響室法吸音率の測定方法、JIS-A-1409に基づいて吸音率を求めた。ただし試料面積は  $9.6\text{m}^2$  である。

$$\alpha = \frac{55.3V}{CS} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right)$$

$\alpha$ ：吸音率  $V$ ：室容積  
 $C$ ：音速  $S$ ：試料面積=9.6m<sup>2</sup>  
 $T_1$ ：試料設置時残響時間  
 $T_0$ ：空室時残響時間

### 7. 測定結果

測定結果を比較の対象となるものと対応させて図示し、図一1～6に示す。図中に  $f_r$  で示した周波数は

(3) 式で空気層60mmの場合の共鳴周波数の計算値を示したものである。

- 図-1, 2は単一穿孔板の吸音特性を背後空気層に吸音材の有無について比較したもので、共鳴周波数は計算値と良く一致している。
- 図-3は穿孔板を二重に重ねた場合で、下地穿孔板の共鳴周波数における吸音の影響が、単一の場合と同様に表われている。
- 図-4~6は吸音材の効果を比較したもので、吸音材の入れる位置による差がわかる。

### 8. 結語

以上の測定結果をまとめると次のようになる。

- 上板が16%程度の開孔率でも下板は一重のときと同様に共鳴周波数では吸音率が増大する。
- グラスウールを下板の空気層に入れると、下板の吸音率は増大するが、上板についてはその影響はほとんど認められない。
- グラスウールを上板の空気層に充填すると、上板の吸音率とともに下板の共鳴周波数前後の吸音率も増大する。下板の下地にもグラスウールを入れた場合と大差は認められない。

- 上板と下板の空気層に吸音材を入れると吸音帯域は最も広がる。上板の空気層にのみ入れた場合と比べると共鳴周波数における吸音率の大きさは変わらないが、山の幅が広がり、吸音帯域が広がる。
- 二重にした場合、上板も下板も空気層60mmとして作用する。(上板は空気層120mmとして作用しない下板の開孔率が小さすぎるためであろう)

吸音材を上下ともに入れた時と上だけに入れた時の差があまりでなかったのは次のように考えられる。

穿孔板の吸音機構から、穴の部分の空気が振動し、その摩擦損失によって吸音するので、この部分に通気性のある吸音材があるとその吸音効果が大きくなる。

このことから考えて今回使用したグラスウールが、50mmと厚く、空気層全体に充填した形になっているため、上板の空気層にのみ入れたときも、下板の穿孔板にも有効に作用したと思われる。

合板では強度的に開孔率は15%程度が限度であるが、今後さらに表面板の開孔率の大きな場合(金属板)や、三重穿孔板等について実験検討を行えば、100~4000 Hz までの全帯域吸音の吸音構造体も得られるであろう。

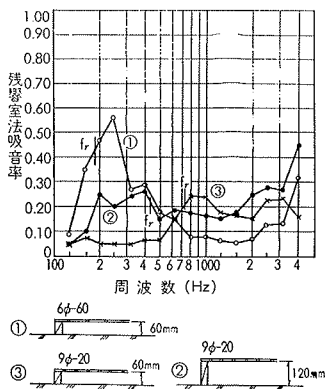


図-1

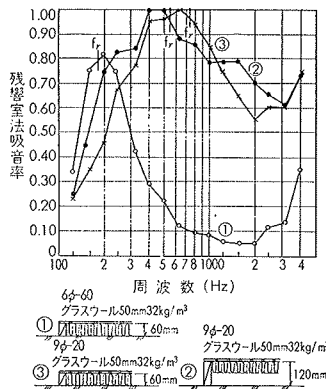


図-2

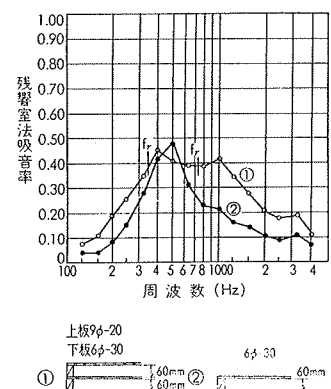


図-3

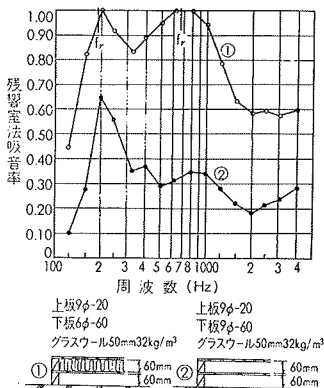


図-4

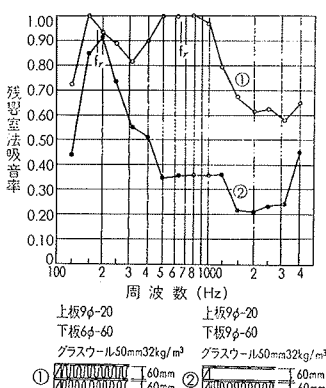


図-5

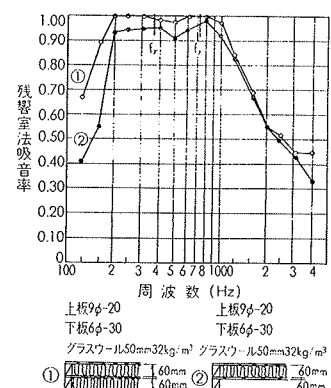


図-6