

## 発泡ゴム吸音構造体

浜松研究所 RD部門 村上 淳

### 1. 緒言

グラスウールやウレタンフォームに代表される従来の多孔質吸音材は、材料中の空隙を音波が通過する際の、空気の粘性抵抗によって吸音特性が発現している<sup>1)</sup>。これら吸音材は、高周波数域においては高い吸音率を示すが、低周波数域の吸音率が低く、これを高くするためには、吸音材を厚くする必要がある。今回、これら従来の吸音材とはまったく異なった吸音特性を有する発泡ゴムからなる新規の吸音構造体を開発した。本吸音構造体は、その構造設計により任意の周波数の吸音率を向上させることが可能であり、また、低周波数域の吸音率が高いといった従来の吸音材にない特徴を有する。

### 2. 開発品の特徴

#### 2.1 構造

本吸音構造体は図1および写真1に示す様に、EPDMの半独立気泡構造のフォーム材に格子状配

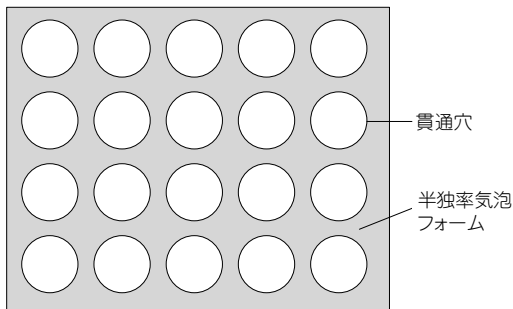


図1 本吸音構造体の構造

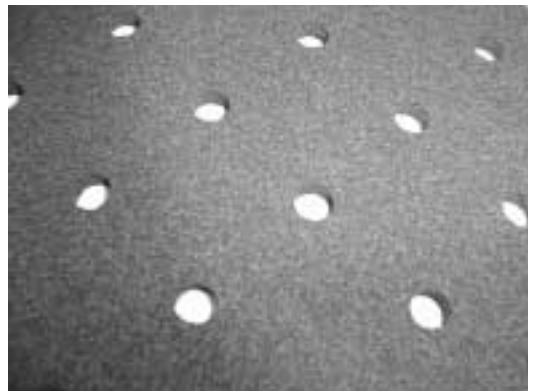


写真1 本吸音構造体の構造

置で複数の貫通穴を設けた構造体である<sup>2)</sup>。

#### 2.2 吸音特性

本吸音構造体と一般的な吸音材であるグラスウール、ウレタンフォームとの吸音率を比較した結果を図2に示す。

グラスウール、ウレタンフォームは、高周波数域においては高い吸音率を示すが、低周波数域においては低い吸音率しか示さない。また、これらの吸音材は密度などを変更することによって、ある程度吸音特性をコントロールすることが可能であるが、コントロールできる範囲が非常に狭いため、任意の周波数の吸音率を高くするといった材料設計は困難である。

これら従来の吸音材に対し、今回開発した吸音構造体は、低周波数域の吸音率が良好であることが分かる。また、図2の開発品仕様1と仕様2は、構造設計によって吸音特性を変化させた例であるが、このように、本吸音構造体は貫通穴の大きさ

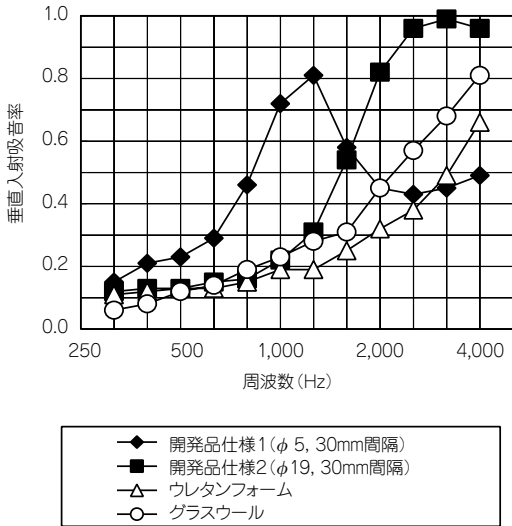


図2 本吸音構造体と従来の吸音材の吸音率（厚さ：15mm）




により吸音率ピークを任意の周波数域にシフトさせることが可能である。

### 3. 実験

#### 3.1 試験体

試験に用いたフォーム材を表1に示す。フォーム材はその気泡構造により、連続気泡、半独立気泡、独立気泡の3種類に大別され、これら気泡構造は、吸水率によって判別することが可能である。一般的な吸音材であるウレタンフォームは、連続気泡に属する。本吸音構造体で使用している半独立気泡は連続気泡と独立気泡が混在する気泡構造

表1 検討に使用したフォーム材

気泡構造	連続気泡	半独立気泡	独立気泡
イラスト	 表1-1	 表1-2	 表1-3
吸水率* (g/cm <sup>3</sup> )	0.47~0.65	0.042~0.11	0.001~0.024
素材	ウレタン, メラミンなど	各種加硫ゴム EPDM, NBRなど	各種加硫ゴム EPDM, NBRなど

\*JIS K 6767 (B法)

を有し、セルが粗く、中庸の吸水率を示す。

これら3種類のフォーム材シートに、30mm間隔の格子状に、所定の径の貫通穴を設けて試験体とした。また、比較のために、貫通穴を設けていない場合についても検討した。

#### 3.2 垂直入射吸音率の測定

JIS A 1405に準じて定在波法で垂直入射吸音率を測定した。ただし2kHz以上の周波数においてもA管を用いて測定した。

### 4. 結果と考察

各試験体の垂直入射吸音率を測定した結果を図3に示す。

一般的に吸音材として使用される連続気泡材料は、高周波数域においては高い吸音率を示すものの、限られた厚さでは中低周波数域においては十分な吸音特性を示さない。また、貫通穴を設けても、吸音特性はほとんど変化しない。独立気泡のフォーム材は、全周波数域において低い吸音率しか示さない。この材料は貫通穴を設けることによって、特定の周波数において高い吸音率ピークを示す場合があるが、全体的に吸音率は低い。一方、半独立気泡のフォーム材は、中低周波数域におい

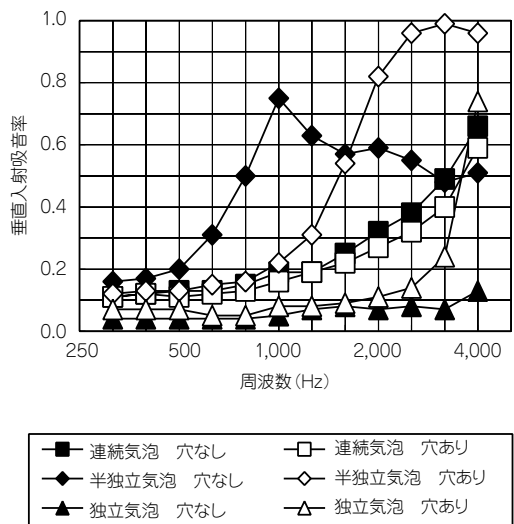


図3 各種フォーム材の吸音率（厚さ：15mm，貫通穴設置条件：φ 19, 30mm間隔）

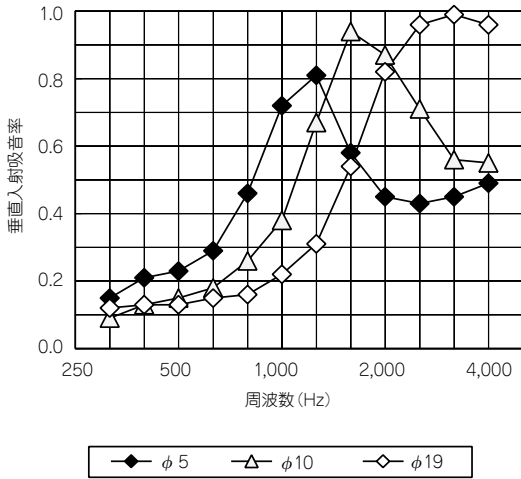


図4 開発品の垂直入射吸音率：穴径を変更した場合  
(厚さ：15mm，穴間隔30mm)

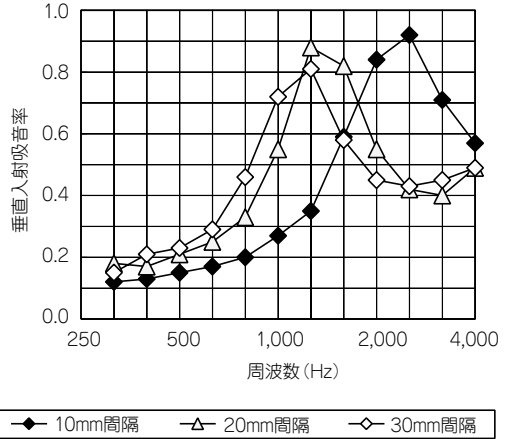


図5 開発品の垂直入射吸音率：穴間隔を変更した場合  
(厚さ：15mm，穴径：φ5)

て比較的ブロードな吸音率ピークを有し、また、貫通穴を設けることによってピークが高周波数側にシフトする。

半独立気泡のフォーム材に設置する貫通穴の径を変えた場合、貫通穴の設置間隔を変えた場合、およびフォーム材の厚さを変えた場合のそれぞれの垂直入射吸音率測定結果を図4～図6に示す。図4～図6はいずれも本吸音構造体の仕様を変更した例である。本吸音構造体は、貫通穴径が小さく、貫通穴の間隔が大きい場合、すなわち開口率が小さい場合、あるいはフォーム材厚さが厚い場合に吸音率ピークは低周波数域にシフトし、逆の場合には高周波数域にシフトする傾向があることが分かった。よって、本吸音構造体は貫通穴の開口率およびフォーム材厚さを調節することによって、任意の周波数域の吸音率を高くすることが可能である。

## 5. 膜振動モデルによる吸音率ピーク周波数の推定

### 5.1 膜振動モデル

前節の実験で確認された吸音率ピークのシフト現象に対して膜振動モデルを適用し、吸音率ピーク周波数を推定することを試みた。

一般的な吸音材料とその吸音機構を表2に、そ

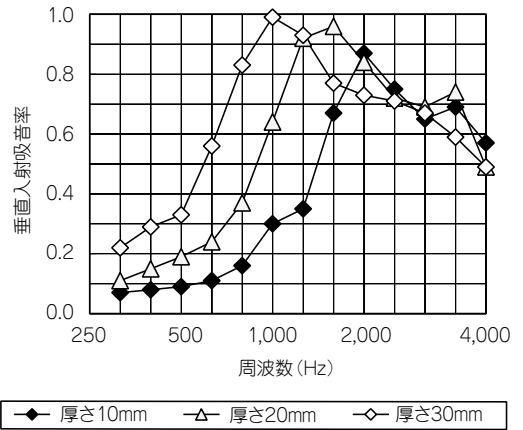


図6 開発品の垂直入射吸音率：厚さを変更した場合  
(穴径：φ10，穴間隔：30mm)

これらの吸音特性の周波数変化の傾向を模式的に図7に示す。

ウレタンフォームなどの連続気泡材料の吸音機構は空気の粘性（通気抵抗）によるものであることが知られており、これが支配的要因となる場合は、周波数が高いほど吸音率が高くなる。一方、共鳴により吸音する場合は、吸音率は周波数に対してピークを示す（図7参照）。

膜振動体とは図8に示す様な、柔軟な膜の背後に空気層が設けられている構造体であり、膜の質

表2 一般的な吸音材料と吸音機構

吸音材料	吸音機構
①空腔が連通している多孔質材料 (ウレタンフォーム, ロックウール, グラスウールなど)	空気の粘性・通気抵抗
②穴開き板 (穴開きハードボード, レゾネータ, スリット材料など)	共鳴
③膜状材料 (フィルム, レザ-など)	共鳴(膜振動)

量を空気ばねが支える機械系の共鳴機構が作用する。膜振動体は共鳴周波数において吸音率ピークを示し、吸音率ピーク周波数は(1)式で表されることが知られている<sup>3)</sup>。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho c^2}{mL}} \dots\dots\dots (1)$$

fは吸音率ピーク周波数(Hz), ρは空気密度(kg/m<sup>3</sup>), cは空気中の音速(m/s), mは膜の面密度(kg/m<sup>2</sup>), Lは背後空気層厚さ(m)である。ここで、空気密度ρと音速cは大気圧下では温度のみに依存するため、常温では定数とみなすことができる。よって、(1)式はより簡単に(2)式として表される。

$$f = \frac{60}{\sqrt{mL}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、図9に示す様に本吸音構造体を膜振動体であると仮定して、先の実験で得られた吸音率ピークのシフト現象の解析を行った。即ち半独立気泡のフォーム材を、表面が面密度mの仮想膜からなり、内部は空気層として作用する膜振動体であると仮定した。以下、本モデルを膜振動モデルと呼ぶ。膜振動モデルでは、仮想膜の厚さはフォーム材の厚さに対して無視できるほど小さく、また、空気層厚さはフォーム材厚さに相当するものと仮定する。

図10に開口率あるいは厚さが変化した場合の仮想膜の面密度m、背後空気層Lの変化の様子を模式的に示す。膜振動モデルによると開口率が大き

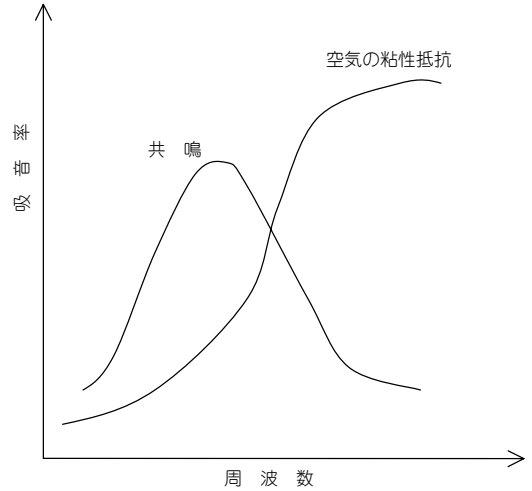


図7 代表的な吸音特性

きいほど、仮想膜の面密度はmからm'へと変化して値が小さくなる(m>m')。また、フォーム材が薄くなると膜振動体の背後空気層はLからL'へと変化して値が小さくなる(L>L')。(2)式によると、面密度mが小さい場合、あるいは背後空気層Lが小さい場合は、膜振動体の吸音率ピーク周波数fが高周波側にシフトすることになり、これら現象は、先の実験で観察された吸音率ピークのシフト現象の傾向と一致する。

5.2 吸音率ピーク周波数の推定

仮想膜の面密度mは、開口率Pによって表される関数であり、フォーム材厚さLとは独立であると仮定する。

吸音率ピーク周波数fと1/√Lの関係を図11に

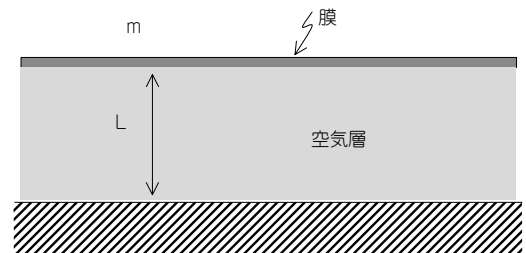


図8 膜振動体の構造

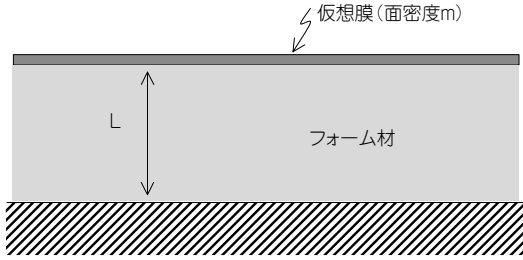


図9 膜振動モデル

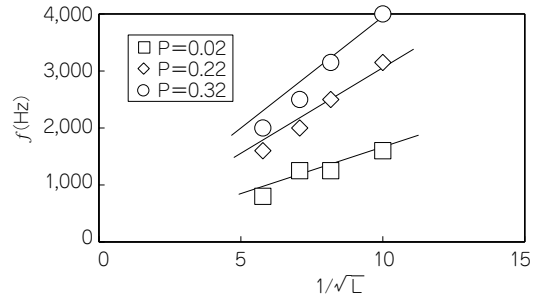


図11  $f$ と $1/\sqrt{L}$ の関係

示す。図11から、各開口率において $f$ と $1/\sqrt{L}$ はほぼ直線関係にあり、原点を通る一次式で近似できることが分かった。

図11の近似式の傾き ( $=60/\sqrt{m}$ ) から、各開口率において仮想膜の面密度を求めることができる。

開口率を $P$ とした場合の $P$ と $m$ の関係を図12に示す。図12中の曲線は近似式(3)によるものである。

$$m = 4.00 \times 10^{-3} \exp(3.83(1-P)^2) \dots\dots (3)$$

本節の冒頭で、 $m$ は開口率 $P$ によって表される関数であると仮定したが、(3)式がこの関数を表す実験式となる。図12から、仮想膜の面密度 $m$ は開口率 $P$ が大きくなるにしたがって減少することが分かる。

開口率 $P$ とフォーム材厚さ $L$ が決まれば、本吸

音構造体の吸音率ピーク周波数 $f$ を(2)式と(3)式を用いて推定することが可能となる。

吸音率ピーク周波数の推定値(線表示)と実測値(プロット点)を図13に示す。推定値と実測値は概ね一致しており、本吸音構造体の吸音率ピーク周波数の推定に、(2)式と(3)式が適用できることが分かった。また、逆に、特定の周波数の吸音率を高くするよう構造設計を行う場合は、 $P$ と $L$ の値を適当なものに設定すればよいことを示唆している。

## 6. おわりに

本吸音構造体は、その構造設計により任意の周波数の吸音率を向上させることが可能であり、また、低周波数域の吸音率が高いといった特徴を有するユニークな材料である。これら従来の吸音材にない特徴から、様々な用途が期待される。

例えば、自動車のエンジンカバー、産業用機器

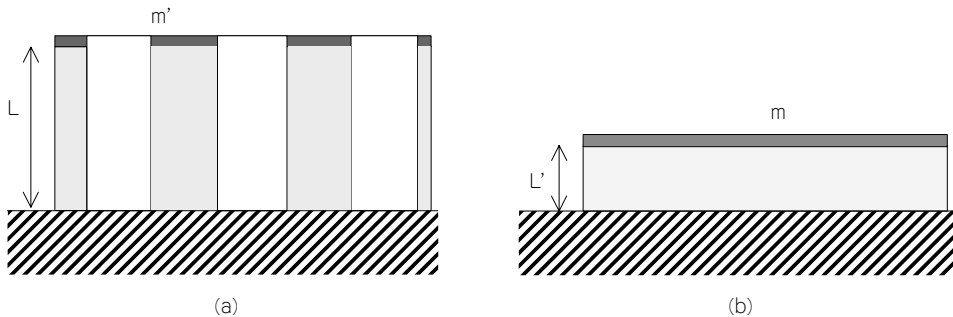


図10 膜振動モデルにおいて開口率が大きくなった場合(a)と、厚さが減少した場合(b)

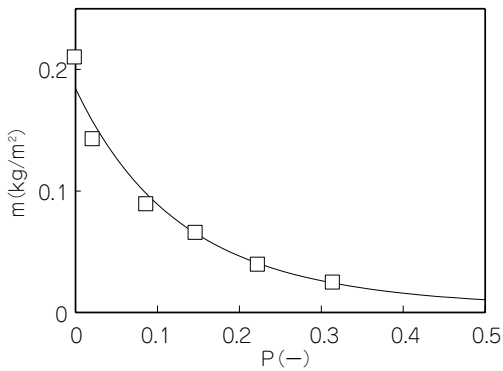


図12 Pとmの関係

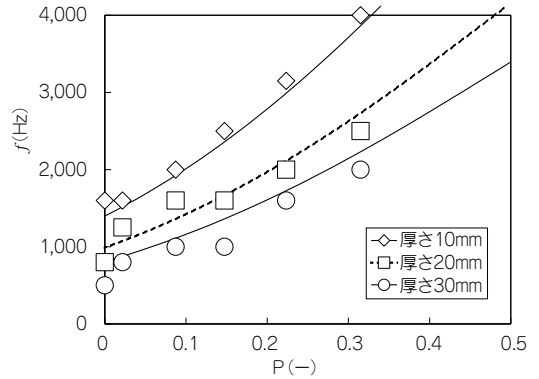


図13 吸音率ピーク周波数の推定値（線表示）と実測値（プロット点）

の防音カバーなどにおいて、特定の周波数成分の騒音レベルを低減したい場合、あるいは振動環境下、高温環境下においてグラスファイバーやウレタンフォームなどの従来の吸音材を使用することが困難な場合に、本吸音構造体が適用できるものと思われる。

今後とも、弊社ではユーザー各位のご要望により、より良い製品開発を行っていく所存であり、ご意見等いただければ幸いです。

## 参考文献

- 1) 中野有朋「低騒音化技術」技術書院
- 2) 村上他,第13回エラストマー討論会講演要旨集,220 (2000)
- 3) 日本建築学会「音響材料の特性と選定」丸善

## 筆者紹介



村上 淳

浜松研究所 RD部門