

周波数特化型自動車用防音材料の開発（第3報）

5 プラスチック共鳴器による吸音特性の評価

長谷川浩治，宮野忠文，岡村雅晴*，酒井利文*，西村公伸**

Development of soundproofing materials for cars with specific frequency absorption (3rd Report) Characteristics of sound absorption using plastic resonator

HASEGAWA Koji, MIYANO Tadafumi, OKAMURA Masaharu*, SAKAI Toshifumi* and NISHIMURA Kiminobu**

Recently, reduction of undesirable sound has become important for creating additional values of various products. The soundproofing materials for cars need both lightness and high performance of sound absorption. Soundproofing materials were developed by injection expansion molding of plastic, and estimation method of their sound absorption properties from the resonators shape were discussed.

キーワード：共鳴器，吸音率，射出膨張成形

1 緒 言

自動車室内は快適性が求められるため，多くの箇所に騒音対策用の吸音材料や遮音材料が使われている。これらの防音材料は，防音性能の向上と軽量化が求められ，特に，こもり音等の低い周波数領域の対策が必要とされている。自動車部品は，軽量化を目的として樹脂材料の利用が多くなっている。一般的には，軽量化により遮音性能は低下するため，防音性能向上への取り組みが，今後ますます重要になると考えられる。本研究の目的は，軽くて特定周波数の音に対して吸音性能がよい防音材料を開発し，エンジンカバー等の自動車防音部品に適用することにある。昨年度は，プラスチック膨張成形材料を利用した共鳴器を試作し，吸音性能が得られることを確認した。¹⁾共鳴器の設計は，孔径，孔長，孔部の粘性抵抗や空洞部の体積等のパラメータを必要とするが，膨張成形材料は内部構造が樹脂とガラス繊維が複雑に絡み合っているため，目的の吸音特性に合わせた設計が難しい。本年度は，共鳴器の設計指針を得るため，吸音率の測定データから粘性抵抗や空洞部のバネ定数の関係を求め，孔径，開孔率，膨張倍率から吸音特性を算出する計算式の検討を行った。

2 プラスチック膨張成形を用いた共鳴器

2.1 射出膨張成形

プラスチック膨張成形は，ポリプロピレン等の樹脂に長いガラス繊維を充填して金型に射出した後，金型をコアバックさせる。金型内部のプラスチックは，繊維のスプリングバックによって膨張する。射出膨張成形で試作

した成形体を写真1に示す。この成形体は，材料表面のスキン層間をガラス繊維が支えて剛性が向上するため，軽くて強度のあるプラスチック部品の成形が可能となる。材料内部は，複雑に絡み合ったガラス繊維により構成され，連続した空洞となる。

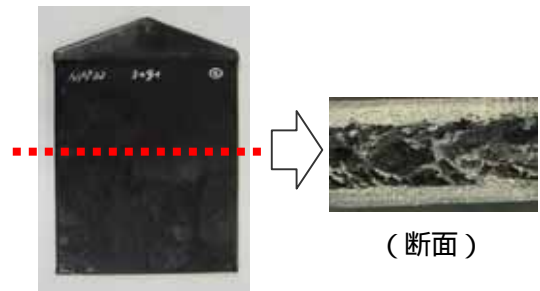


写真1 膨張成形したプラスチック成形体

2.2 射出膨張成形を利用した共鳴器

射出膨張成形を利用した共鳴器の構造を図1に示す。材料内部は連続的な空洞であるため，成形体表面に穴を開けると共鳴器の形状となる。そのため，共鳴器の特徴である特定の周波数で高い吸音効果を得られる。吸音率や吸音ピークの周波数は，孔径，開孔率，膨張倍率，スキン層の厚みを変えると吸音特性も変化する。

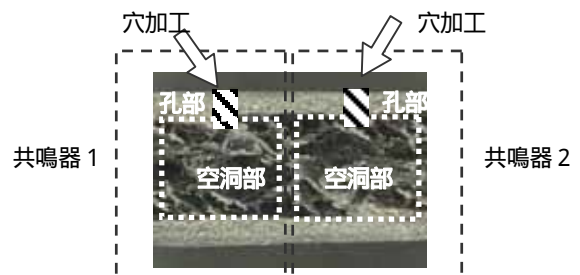


図1 共鳴器の構造

3 共鳴器の吸音原理

共鳴器の吸音原理を図2に示す。音波が共鳴器の孔から空洞部に入射すると、空洞部の空気のバネを k 、孔部の空気の質量を m とした単一共振系となる。その運動方程式は(1)式となり、共鳴器のインピーダンス Z は(2)式、共振周波数 f は(3)式、吸音率は(4)式で表される。共振周波数付近で、孔部の空気が激しく振動するため、孔部との摩擦損失で吸音され、共振周波数をピークとした吸音特性となる。共鳴器の孔径や開孔率を調整してピーク周波数を制御できるため、吸音特性を目的の周波数にあわせることが可能となる。膨張成形材料の共鳴器は、剛体で試作した共鳴器に比べ、吸音のピークである共振周波数が低くなるのが、昨年の測定データからわかっている。そこで、吸音作用に影響する共鳴器の孔長を実験から求め、蓄積した吸音データから、バネ定数 k 、粘性抵抗 μ の傾向を求めた。これらのパラメータを用いて、単一共鳴器の吸音特性を算出した。

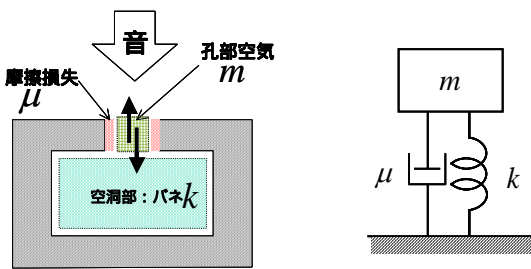


図2 共鳴器の原理

$$m \frac{dv}{dt} + \mu v + k \int v dt = s p e^{j\omega t} \quad (1)$$

$$m = sl\rho, \quad k = \frac{\rho c^2 s^2}{V}$$

m : 孔部空気の重量 μ : 摩擦抵抗 v : 速度 k : ばね定数

s : 孔の面積 l : 孔の長さ ρ : 空気の密度 c : 音速

V : 空洞の体積 $p e^{j\omega t}$: 共鳴器に働く外部音圧

$$Z = \frac{1}{P} \left(\frac{\mu}{s} + j \left(\omega l \rho - \frac{k}{s \omega} \right) \right) \quad (2)$$

P : 孔の開孔率

$$f = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{s}{lV}} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{4\rho c Z_{re}}{(Z_{re} + \rho c)^2 + Z_{im}^2} \quad (4)$$

Z_{re} : Z の実数部, Z_{im} : Z の虚数部

3 実験方法

3.1 吸音率測定

吸音率の測定は、周波数分析器と自作した音響管を使い音響管内部に取り付けた2本のマイクロホン間の伝達関数から垂直入射吸音率を求めた。

3.2 孔長の測定

膨張成形材料の孔長部分は、徐々に材料密度が変化しているため、吸音作用に影響する孔の長さを測ることが困難である。そこで、(1)式に示すように孔長を変えることで共鳴器の共振周波数が変化することを利用して、膨張成形材料の孔長を実験的に求めた。実験に用いた長さを変えた金属パイプと金属パイプを埋め込んだ試料を写真2に示す。孔が1つで共振周波数を測定した後、孔の内径(直径7mm)が等しく長さの異なる金属製パイプを共鳴器の孔部として共振周波数を測定した。その共振周波数を比較することで孔長を算出した。



写真2 金属パイプを挿入した試料

4 実験結果

4.1 孔長の算出結果

試験体は、自動車部品を想定して3倍膨張の成形体を用いた。試料の孔に挿入した金属パイプの長さと共振周波数の関係を図3に示す。

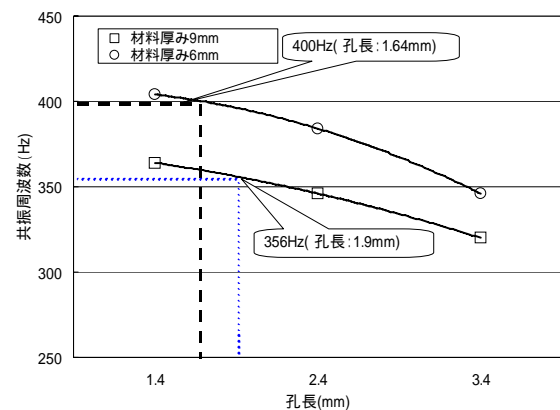


図3 孔長と共振周波数の関係

金属パイプを使用しない試料(厚さ 9mm, 孔径 7)の共振周波数は 356Hz であることがわかっている。この共振周波数に対応する試料の孔長をグラフから読み取ると試料の孔長は約 1.9mm と考えられる。同様に試料の板厚が 6mm の場合, 共振周波数は 400Hz であるため孔長は約 1.64mm と考えられる。

4.2 膨張成形材料のバネ定数と粘性抵抗値

膨張成形材料で試作した共鳴器は, 剛体の共鳴器より共振周波数が低いため, 吸音率測定結果を用いてバネ定数を実験値の傾向から求めた。板厚 6mm の共鳴器(孔数: 1 ~ 25 個)とバネ定数の関係を図4に示す。次に孔数と孔部の粘性抵抗値の関係を図5に示す。これらの関係を線形近似してバネ定数及び孔部の粘性抵抗値の値として吸音特性を算出した。

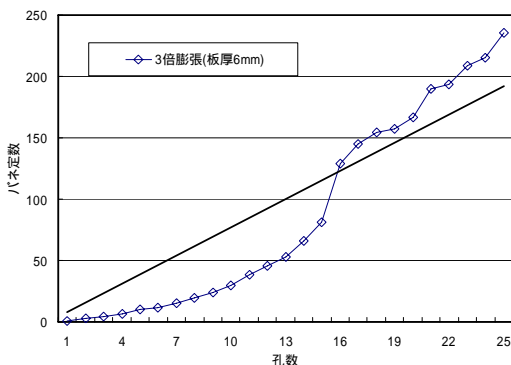


図4 共鳴器の孔数とバネ定数の関係

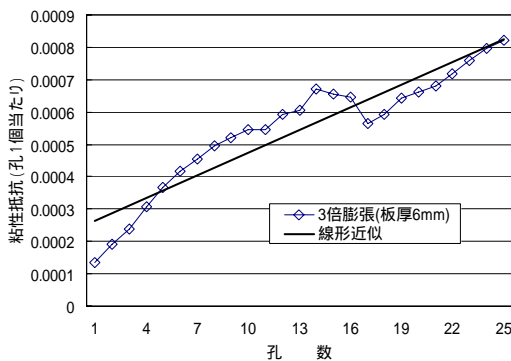


図5 共鳴器の孔数と粘性抵抗値の関係

4.3 膨張成形材料の吸音特性

板厚 6mm, 孔径 4mm, 孔数が 1 個, 5 個, 20 個の吸音率測定結果と孔長や粘性抵抗の線形近似を用いて算出した結果を図6に, 板厚 9mm の場合を図7に示す。厚さ 6mm の共鳴器は, 吸音特性のピークの周波数について計算値と実測値との誤差は孔数 1 ~ 25 個の平均で $\pm 17\%$, 厚さ 9mm の共鳴器では, 計算値と実測値との誤差は $\pm 4\%$ であった。ピークの吸音率の値について計算値と実測値誤差は, 厚

さ 6mm の共鳴器で $\pm 15\%$, 厚さ 9mm の共鳴器で $\pm 5\%$ であった。

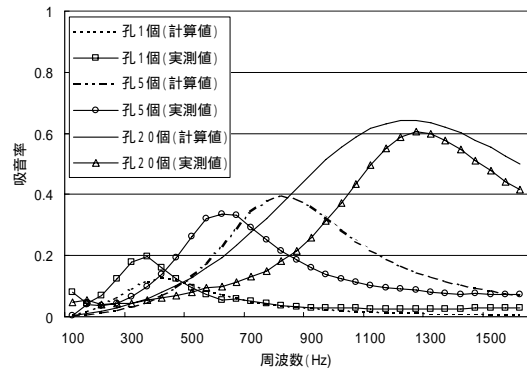


図6 共鳴器の吸音特性(厚さ 6mm)

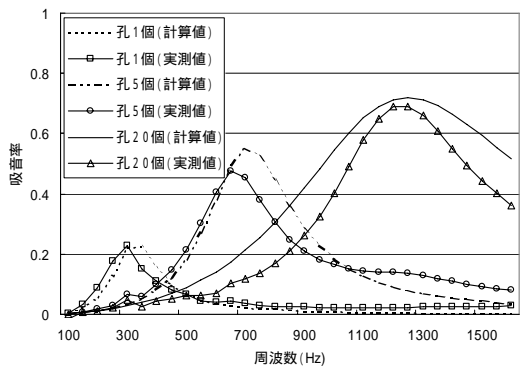


図7 共鳴器の吸音特性(厚さ 9mm)

5 結 言

膨張成形材料を用いた共鳴器を試作し, 共鳴器の設計に必要な孔長や粘性抵抗と空洞部のバネ定数の関係を実験から求めた。粘性抵抗と補正した空洞部のバネ定数から単一共鳴器の吸音原理により吸音特性を算出した。その結果以下のことがわかった。

(1) 厚み 9mm の 3 倍膨張材料で試作した共鳴器は, 孔長が 1.9mm, 厚み 6mm の共鳴器は 孔長が 1.6mm であると考えられる。

(2) 3 倍膨張成形材料の吸音特性は, 吸音するピークの周波数の誤差は $\pm 17\%$ 以内, 吸音率は $\pm 15\%$ 以内で算出が可能となった。

今後の課題としては, エンジンカバー等の実用化を想定した成形体の試作とその吸音性能評価が挙げられる。

文 献

- 1) 長谷川他: 広島県立西部工業技術センター研究報告, No49(2006), 28
- 2) 前川: 建築環境音響学, 共立出版株式会社, 1990