

8 周波数特化型自動車用防音材料の開発 (第1報)

- 共鳴器による吸音特性の検討 -

長谷川浩治, 武田幹雄, 酒井利文*, 西村公伸**

Development of soundproofing materials with targeted frequency characteristics for cars (1st Report)
Examination of characteristics of sound absorption using resonator

HASEGAWA Koji, TAKEDA Mikio, SAKAI Toshifumi* and NISHIMURA Kiminobu**

Recently, technologies of reducing noise and creating additional values for various products have become very important. To develop soundproofing materials for cars, Helmholtz resonators were constructed with different volumes, hole diameter and hole depth, using a kind of metal, and experiments were performed to evaluate their sound absorption properties. The effectiveness of the simulations is verified by comparing the simulated values with the experimental results.

キーワード：共鳴器，吸音率，音響インピーダンス

1 緒言

近年，製品の低騒音化は，付加価値向上につながる重要な技術となっている。その中でも自動車は，車室内の快適性と周囲環境への配慮を求められることから，吸音や遮音を目的とした防音材料が多く使用されている。

フェルト等の多孔質吸音材料は，高い周波数領域の吸音性能を確保出来ることに加え質量が軽い為，自動車用防音材料として用いられているが，低い周波数領域の吸音性能が悪い為，その性能向上が課題として挙げられる。そこで，共振周波数において大きな吸音力を示すヘルムホルツ共鳴器の吸音原理を利用して，低い周波数領域の騒音を対策できる防音材料を開発する。

共鳴器の設計は，対象とする音の周波数に応じた形状設計が必要である。そのため，本年度は，設計の効率化を図る吸音シミュレーションの検討と共鳴器の吸音性能についてデータ収集を行った結果を報告する。

2 共鳴器の吸音原理

図1に示すように孔があいた空洞に音が入射すると，空洞部の空気がバネとして働き，孔部の空気が激しく振動することで，空洞部のバネと孔部の空気の質量による共振周波数において摩擦損失による大きな吸音作用が生じる。機械的には質量とバネと粘性抵抗による共振系と等価である¹⁾²⁾。

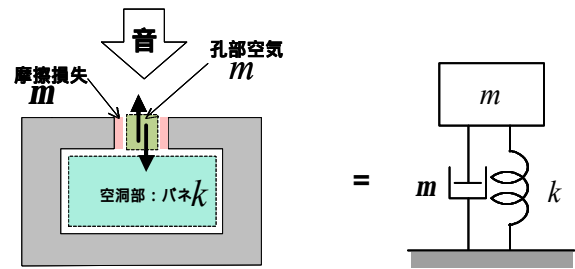


図1 共鳴器の吸音原理

3 吸音効果のモデル化

共鳴器設計の効率化を図るためには，共鳴器の吸音性能を理論式により算出する必要がある。ここでは，共鳴器の吸音率を算出するためのモデルとして，図2に示すように孔の面積を s として，孔の長さ l とした単一共鳴器を用いる。

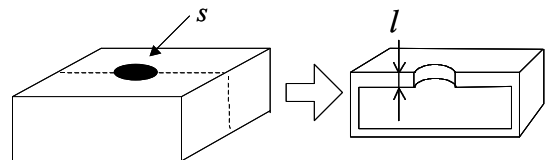


図2 共鳴器のモデル

この単一共鳴器は，孔部の空気の質量 m と空洞部の空気バネ定数 k とした単一共振系と見なせるため，運動方程式は式(1)のようになる。

*ダイキョーニシカワ(株), **近畿大学

$$slr \frac{dv}{dt} + mv + k \int v dt = spe^{j\omega t} \quad (1)$$

$$m = slr$$

$$k = \frac{rc^2 s^2}{V}$$

s : 孔の面積 l : 孔の長さ r : 空気の密度

m : 摩擦抵抗 v : 速度 k : ばね定数

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

よって、速度 v および共鳴器のインピーダンス Z は、以下ようになる。

$$v = \frac{spe^{j\omega t}}{\left(m + j\left(wslr - \frac{k}{\omega}\right)\right)} \quad (2)$$

$$Z = \frac{1}{P} \left(\frac{m}{s} + j\left(\omega lr - \frac{k}{s\omega}\right) \right) \quad (3)$$

P : 孔の開口率

共鳴器の共振周波数は、インピーダンスの虚数部分が 0 の時に共振するため、その周波数 f は以下ようになる。

$$\omega^2 = \frac{sc^2}{lV} \quad (c: \text{音速})$$

$$f = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{s}{lV}} \quad (4)$$

平面波が媒質 1 (空気: Z_1) から媒質 2 (共鳴器: Z) に入射する場合、 $Z_1 = c$ 、 Z の実数部を Z_{re} 、虚数部を Z_{im} とすると吸音率 a は次式となる。

$$a = 1 - \left| \frac{Z - Z_1}{Z + Z_1} \right|^2 = 1 - \left| \frac{Z - rc}{Z + rc} \right|^2 = \frac{4rcZ_{re}}{(Z_{re} + rc)^2 + Z_{im}^2} \quad (5)$$

4 吸音実験

共鳴器の基本的なデータ収集を目的として、孔径や孔長、空洞容積、孔の周囲長の条件変更に伴う吸音率測定を行い、理論値との比較を行った。

4.1 金属共鳴器の形状

共鳴器は金属材料 (黄銅) により作成した。図 3 に、共鳴器の外観を示す。底面の寸法は 120mm × 120mm (空洞部分 100mm × 100mm)、空洞部の高さ 5mm ~ 10mm (1mm 間隔) および 15mm の 7 個の共鳴器を試作した。

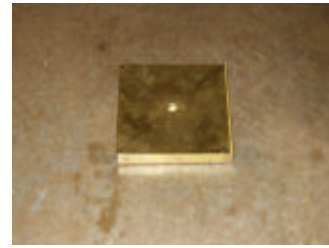


図 3 試作共鳴器の外観

吸音率の測定方法については、2 マイクロホン法による垂直入射吸音率により測定した。

4.2 金属共鳴器の吸音測定結果

孔長を 2mm として空洞部の容積を変更した共鳴器の吸音率測定結果を図 4 に、空洞容積一定 (空洞部の厚み 15mm) において孔長を変更した場合の測定結果の一例を図 5 に示す。ピークの周波数は空洞容積の増加と孔長が長くなることにより共振周波数が低周波数側にシフトしていることが確認できる。

次に孔の周囲長に対する吸音効果への影響を測定した。孔の開口率を一定とした条件 (共振周波数一定) で孔径と孔数 (1 から 5 個) を変更した。その吸音率測定結果を図 6 に示す。ピーク値の吸音率は殆ど変わらなかった。

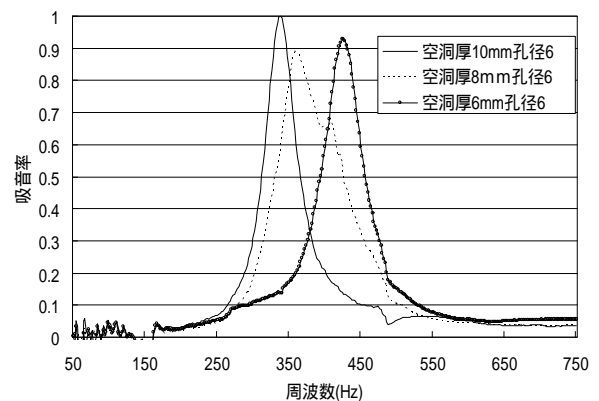


図 4 空洞容積変更時の吸音特性 (孔長 2mm)

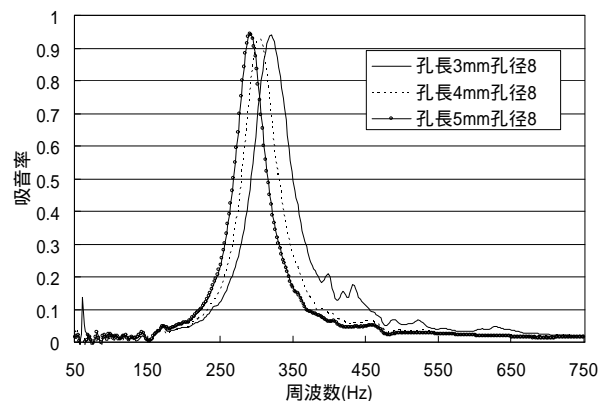


図 5 孔長変更時の吸音特性 (空洞厚 15mm)

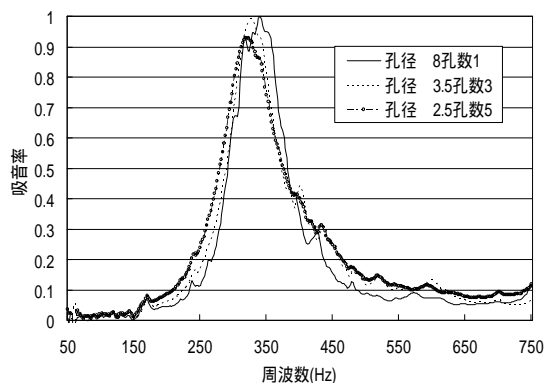


図6 孔の周囲長の影響 (空洞厚 15mm)

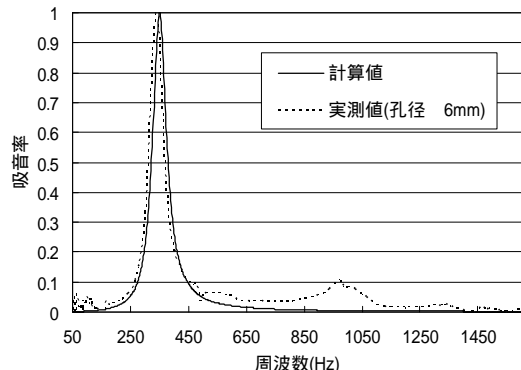


図7 実測値と計算値の比較

前節の吸音率の導出式(5)による計算値と実測値との比較を図7に示す。共鳴器の条件としては、図4で示した孔長2mm、孔径6mm、空洞の厚み10mmである。計算に必要なパラメータである摩擦による抵抗値は吸音測定により得られた値を使用し、孔長は、開口端補正(補正後の孔長=孔長+0.8×孔径)を考慮した値とした。共振周波数付近の吸音の傾向をよく捕らえている。

4.3 プラスチック膨張成形材料を用いた共鳴器

エンジンカバー等の自動車用部品への実用化を想定した場合、軽量化・大きさ・強度・製造の容易性からプラスチック膨張成形材料が有望である。プラスチック膨張成形材料は、図8に示すように材料表面に通気性のないスキン層があり、内部はガラス繊維やプラスチックが混在した空洞となっている。スキン層に孔をあけることで図1の原理と同様に共鳴による吸音作用が生じると考えられる。その確認のため、膨張成形材料を用いた吸音測定を行った。その測定結果と理論計算値を図9に示す。理論計算のパラメータとしてスキン層の厚みや空洞部の容積が必要となるが、実際の膨張成形材料では、スキン層と空洞部が連続的に変化しており、どこまでがスキン層でどこまでが空洞部かを特定できない。そこで、スキン層の厚みは膨張させる前の板厚の半分とし、空洞部の容積は膨張で増した容積と板厚から計算した。そして、

摩擦係数のパラメータは、試料の吸音率を測定する過程で得られた結果から算出した値を用いた。図9において共振周波数のピークから高周波数領域になるにつれて実測値と理論値との開きがある。シミュレーションの精度を高めるためには、空洞部にある材料の影響を考慮する必要があると考えられる。

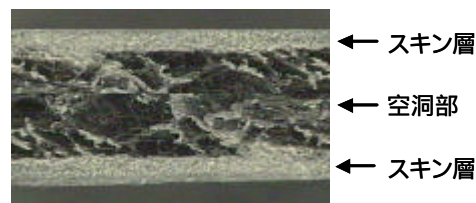


図8 膨張成形材料の断面図

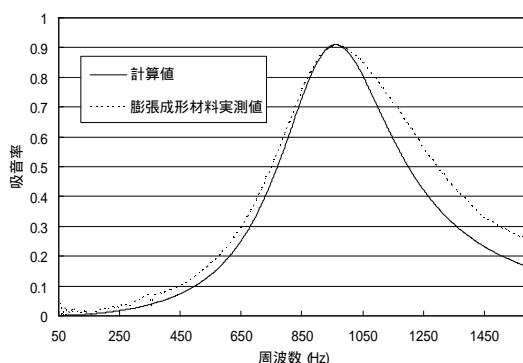


図9 膨張成形材料の吸音率

5 結 言

空洞容積や孔長の異なる金属共鳴器を用いて吸音率を測定し、空洞容積、孔長の変化に対する吸音率の影響を調べた。併せて単一共鳴器のモデル化を行い、実測値と比較した結果、よく一致しており吸音シミュレーションの有効性を確認した。

自動車用防音材料として想定しているプラスチック膨張成形材料においても吸音率の測定を行い、共鳴による吸音効果があることを確認した。仮定した条件のもとで吸音シミュレーションを行った結果、共振周波数以上の領域において実測値との開きがある。これらの精度向上が今後の課題として挙げられる。吸音シミュレーションの精度アップおよび実用性を増すための課題として、孔の摩擦抵抗値・空洞容積・スキン層厚の算出方法、空洞内部のガラス繊維による吸音効果への影響が挙げられ、今後検討していく。

文 献

- 1)前川：建築環境音響学，共立出版株式会社，1990
- 2)時田：音の環境と制御技術(第I巻)，2000