

技術ノート

低周波用吸音体の吸音特性の解析

平間麻子* 神田浩一* 横田裕史* 牧野晃浩* 長谷川徳慶*
高田省一* 加藤光吉*

Analysis of sound absorption characteristics of the low frequency resonator

Asako HIRAMA, Koichi KANDA, Yuji YOKOTA, Akihiro MAKINO, Norichika HASEGAWA
Shoichi TAKADA and Kokichi KATO

1. はじめに

平成12年7月、床衝撃音対策や室内低騒音化等、住宅の品質確保の促進に関する法律に係わる告示が出された。また、自動車室内の静音化も要求され始めている。しかし、二重天井・二重床や自動車室内では、その寸法から低周波領域の定在波が生じ、低騒音化の実現を難しくしている。こうした背景から、低周波音に対応した騒音対策が求められている。

低周波用吸音体は、一般にオーディオルーム用などとして市販されている。しかし、それらは高価なので、一般の住宅や自動車には用いられない。そこで、安価な材料、再生資源などを利用した室内騒音制御用の実用的な低周波用吸音体の開発を目指し、その基礎実験としてヘルムホルツ型吸音体を試作した。そして、その吸音特性を2つの方法で測定及び解析したので報告する。

2. 理論

2.1 ヘルムホルツ型吸音体

図1のように、空洞に小さな開孔があって外に通じていると、その開孔あるいは首の空気は一つの塊として運動するため、機械的には、単一共振系と同様の運動をすることになる。この構造体は、RLC直列回路で等価することができ、ある特定の周波数(共振周波数)で吸音率が大きくなる。このような吸音体をヘルムホルツ型吸音体という。

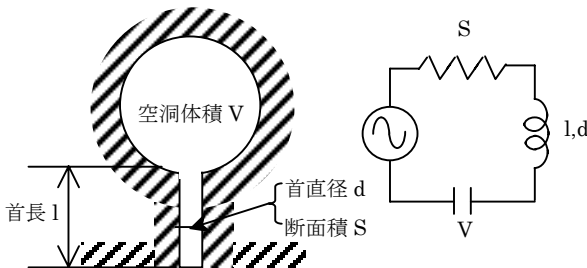


図1 ヘルムホルツ型吸音体

2.2 吸音率とノーマル音響インピーダンス

吸音体の開口面で見えた音圧と法線方向の粒子速度の比率

をノーマル音響インピーダンスという。吸音体のノーマル音響インピーダンスを $Z_N = R_N + jX_N$ とすると、比音響インピーダンス z は、次式で定義される。

$$z = \frac{Z_N}{\rho c} = \frac{R_N}{\rho c} + j \frac{X_N}{\rho c} = r + jx \quad (1)$$

ここで、 ρ : 空気の密度、 c : 音速(m/s)

音が試料表面へ法線方向より角度 θ で入射した時、吸音率 α_θ は、比音響インピーダンスを用いて表すと次式となる。

$$\alpha_\theta = \frac{4r \cdot \cos \theta}{(r \cos \theta + 1)^2 + (x \cos \theta)^2} \quad (2)$$

共振時、 z の虚数部 x は0となる。また、式(2)から、共振周波数で垂直入射時に z の実数部 r が1になると、吸音率が最大になる。

2.3 吸音率の測定方法

2.3.1 垂直入射吸音率

音波を試料に垂直に入射させて測定した吸音率を垂直入射吸音率という。

音響管の一方の端に試料を入れ、他方から純音を送ると、管内に定在波が生じる。定在波の極大を P_{\max} 、極小を P_{\min} 、 $P_{\max}/P_{\min} = n$ とすると、垂直入射吸音率 α_0 は次式で示される。

$$\alpha_0 = 1 - \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 = \frac{4}{n + \frac{1}{n} + 2} \quad (3)$$

なお、音響管は、定在波の P_{\min} の位置から音響インピーダンスの測定も行うことができる。

2.3.2 残響室法吸音率

残響室を用いて、音波を試料にランダムに入射させて測定した吸音率を残響室法吸音率という。

容積 V (m³)、残響時間 T_0 (秒) の残響室に試料 s (m²) を入れて残響時間 T_m (秒) になったとき、試料の残響室法吸音率 α_r は

$$\alpha_r = \frac{KV}{s} \left[\frac{1}{T_m} - \frac{1}{T_0} \right] + \bar{\alpha} \quad (4)$$

となる。但し、 K は波数、 $\bar{\alpha}$ は残響室の平均吸音率である。残響室法吸音率を測定する場合、試料面積が小さくなるほ

*計測応用技術グループ

ど測定値が大きくなる傾向がある。これを面積効果という。面積効果は、試料寸法が音の波長程度以下の場合著しくなる。その結果、吸音率が1より大きくなることもある。

面積効果の生じる理由として、一般的には吸音体周辺の音波の回折現象が考えられている。Kosten は、吸音率は試料の単位面積当たりの周辺長が吸音率の増加に依存し、直線的に変化するとしている。一方、河井らは、シミュレーションから、吸音面の単位面積当たりの周辺長が短いと、吸音率は低周波領域で曲線的に変化するという結果を導いている。³⁾⁴⁾

3. 吸音体と測定結果

3.1 試作吸音体

試作した箱型の吸音体を図2に示す。この吸音体は、厚さ15(mm)のベニヤ板製で、内寸は下記のとおりである。

空洞部：縦×奥行×高さ=200×200×200(mm)

首部：縦×奥行×高さ=120×120×125(mm)



図2 試作吸音体

3.2 測定

垂直入射吸音率測定では、吸音率及び比音響インピーダンスを測定した。残響室法吸音率測定では、測定対象の形状が平面でないことから、吸音率で評価するのが適当でないため、等価吸音面積(吸音率)×(吸音面の面積)(m²)を求めた。

試作吸音体1個の垂直入射吸音率測定と、吸音体7個を配置した残響室法吸音率測定を行った。さらに、比音響インピーダンスの変化を見るため、付加物として首部にウレタン(厚さ75(mm)、面密度1.26(kg/m²))を挿入した場合と、空洞部にグラスウール(厚さ50(mm)、面密度1.25(kg/m²))を挿入した場合についても測定した。

また、形状等の比較のため、ビール瓶1本の垂直入射吸音率測定と、ビール瓶48本を配置した残響室法吸音率測定を行った。垂直入射吸音率測定では、ウレタンを首部に挿入したものについても行った。

3.3 測定結果(1)

表1 試作吸音体の測定結果

付加物	共振周波数(Hz)	垂直入射吸音率	1個当たり残響室法等価吸音面積	Z実数部	備考
なし	160	0.03	0.07	0.007	
ウレタン75mm	160	0.53	0.11	0.18	首部挿入
グラスウール	125	0.14	0.11	0.04	空洞部挿入

試作吸音体は、付加物なしの場合、ウレタンを首部に挿入した場合及び空洞部にグラスウールを挿入した場合を比較すると、ウレタン挿入時が吸音率、等価吸音面積ともに最大

となっている(表1参照)。

表2 ビール瓶の測定結果

付加物	共振周波数(Hz)	垂直入射吸音率	1個当たり残響室法等価吸音面積	Z実数部	備考
なし	125	0.3	0.015	0.09	
ウレタン25mm	100以下	0.5	—	5.7	首部挿入

ビール瓶は、ウレタンを首部に挿入した場合と付加物なしの場合とで吸音率の差はないが、ウレタン挿入時、zの実数部が1以上に大きくなっている(表2参照)。

垂直入射吸音率の測定結果は、式(2)と一致している。

3.4 測定結果(2)

表3 等価吸音面積の比較(カッコ内は付加物)

	試作吸音体(首ウレタン75mm)	ビール瓶(なし)
首部断面積(S)(m ²)	0.0144	0.0002
1個当たり残響室法等価吸音面積(A)	0.11	0.015
A/S	7.64	74.60

試作吸音体の首部にウレタンを挿入した場合とビール瓶のみの場合で、等価吸音面積Aを首部断面積Sで割り、首部のみかけ上の吸音率を求めると、どちらも大幅に1を上回っている(表3参照)。これは、面積効果によるものである。

表4 配置による比較(カッコ内は付加物)

	試作吸音体(首ウレタン75mm)		ビール瓶(なし)	
	周波数(Hz)	1個当たり残響室法等価吸音面積	周波数(Hz)	1個当たり残響室法等価吸音面積
密集	160	0.11	125	0.015
分散	160	0.09	125	0.009

さらに、これらのケースについて、残響室内での配置を密集させた場合と1(m)間隔で分散させた場合の等価吸音面積を比較した(表4参照)。その結果、どちらも顕著な差はなかった。一定の面積の試料でも、配置を密集させた場合と分散させた場合とでは、後者の方が見かけ上の吸音率が大きくあることがあるが、今回はその現象は見られなかった。

4. まとめ

垂直入射、残響室法の2通りの方法で吸音体の吸音特性を測定・評価した。その結果、付加物の吸音特性に及ぼす効果が明らかになった。また、ビール瓶の吸音特性も測定し、吸音体の結果と併せて評価を行い、面積効果について確認した。

今後は、安価で環境負荷の少ない再生紙を用いて、1個当たりの吸音力が大きな吸音体の実用設計・製作を行う。そして、その吸音体について、吸音率測定や二重床の小規模モデルでの実験及び解析を継続する予定である。

参考文献

- 1)前川 純一:建築音響,共立出版(1968).
- 2)日本音響学会:建築音響,コロナ社(1988).
- 3)河井 康人:日本音響学会講演論文集,947-948(2001).
- 4)豊田 政弘他:日本音響学会講演論文集,889-890(2002).

(原稿受付 平成14年8月1日)