

気柱共鳴を利用した吸音体に関する基礎的研究

A BASIC STUDY ON A SOUND ABSORBER USING THE TUBULAR CAVITY RESONANCE

小泉穂高*¹, 松岡明彦*², 小林正明*³, 河井康人*⁴

Hodaka KOIZUMI, Akihiko MATSUOKA, Masaaki KOBAYASHI and Yasuhito KAWAI

In recent years, a sound absorber using the tubular cavity resonance has been proposed as a way to absorb sound at low frequencies effectively. It provides large absorption by appending the resistor materials to the opening or the inside of the resonator with the large particle velocity amplitude. In this paper, sound absorption and particle velocity distribution around the opening of the sound absorber using the tubular cavity resonance were measured in the reverberation room and the effect of several factors such as materials, placement, and additional resistor materials of the sound absorber was investigated. As a result, it was indicated that directing the opening with a resistor material downward and positioning it close to the floor increases particle velocity level around the opening and provides more absorption.

Keywords : Sound absorber, Tubular cavity resonance, Particle velocity, Flow resistance
吸音体, 気柱共鳴, 粒子速度, 流れ抵抗

1. はじめに

吸音材料や吸音構造はそれらの吸音機構によって多孔質型, 板(幕)振動型, 共鳴器型の3種類に大別されるが¹⁾, 低周波数帯域での吸音は設置スペースの問題から困難であることが多い。例えば多孔質材を用いるのであれば, 設置しようとする壁体等との間に空気層が必要であり, 共鳴器を壁体に埋め込むのであればそれだけの壁厚が必要となる。より低い周波数帯域での吸音効果を高めるようとするほど, 一般に所要スペースは大きくなり, 建築的制約から現実性に欠ける場合がある。

このような問題点を解決する手法として, 近年, 気柱共鳴を利用した吸音体^{2), 3)}が提案されている。これは共鳴器の開口部や内部の粒子速度が大きい領域に抵抗材を付加し効率良くエネルギーを消費するものであり, 所要スペースを増やすことなく高い吸音効果を得ることが可能とされている。

本報では, 気柱共鳴を利用した吸音体について, 吸音体の材質や配置方法, 付加する抵抗材等の条件を変えながら実際にその吸音力を測定し, それらの要因が吸音力に及ぼす影響を明らかにする。また, 吸音体の開口部周辺の粒子速度分布を測定し, 吸音力の測定結果と併せて考察することで, より効果的な吸音構造について検討する。

2. 気柱共鳴を利用した吸音体の吸音力

2.1 測定方法

吸音力の測定は, 試験体の吸音特性, 設置方法, および測定周波数を除いて JIS A 1409「残響室法吸音率の測定方法」に準拠して行った。JIS A 1409には「共鳴特性の鋭い共鳴器の吸音率特性の測定を意図していない」とあるが, 今回の測定は試験体の材質や配置等の条件による吸音力の比較を目的とした。音源位置は2箇所とし, 5箇所マイクロホン位置で残響時間を測定した。残響室の容積は313 m³, 表面積は273 m²である。

(1) 試験体

試験体は直径200 mm, 長さ700 mmの空洞を有する円筒である。その諸元を表-1に示す。試験体の一方の開口は厚さ9 mmのベニヤ板で密閉し, もう一方は開放とした。試験体の開口部に抵抗材を付加する場合は, 表-2に示す2種類の抵抗材を用いた。

(2) 測定条件

試験体の配置は図-1に示す3通りとし, 試験体間の距離は1 m以上離れた。試験体の設置方法は図-2に示すように, 開口部を上向きとする場合と, 下向きとする場合の2通りとした。下向きとする場合は開口部と床の距離を30 mmとし, 鋼製のブロックを置いて支持した。

*1 戸田建設㈱開発センター 修士(工学)

*2 戸田建設㈱開発センター

*3 戸田建設㈱開発センター 博士(工学)

*4 関西大学環境都市工学部 博士(工学)

Research and Development Center, TODA CORPORATION, M.Eng.

Research and Development Center, TODA CORPORATION

Research and Development Center, TODA CORPORATION, Ph. D.

Faculty of Environmental and Urban Eng., Kansai Univ., Dr. Eng.

表-1 試験体の諸元

種類	材質	厚さ, mm	重さ, kg
A	塩化ビニル	7.0	4.6
B	紙	4.0	1.4
C	熔融亜鉛メッキ鋼板	0.5	2.3

表-2 開口部に付加する抵抗材の諸元

種類	流れ抵抗, Ns/m^3	厚さ, mm	面密度, kg/m^2
a	約 300	1.7	2.6
b	約 100	1.4	1.9

2.2 測定結果

図-2 (a) に示す開口部が上向きの条件において、開口部に抵抗材を付加しない場合の試験体 1 体あたりの吸音力の測定結果を図-3 に、抵抗材を付加した場合の測定結果を図-4, 5 に示す。これらの測定結果を見ると、試験体はいずれの材質、配置条件においても 100 Hz 付近にピークを有する吸音特性であると言える。試験体の材質による吸音力のピークへの影響は、抵抗材を付加しない場合の壁際 6 体配置を除いては特に見られない。

図-3, 4 より、抵抗材を付加しない場合と、抵抗材 a を付加した場合の吸音力のピークを比較すると、材

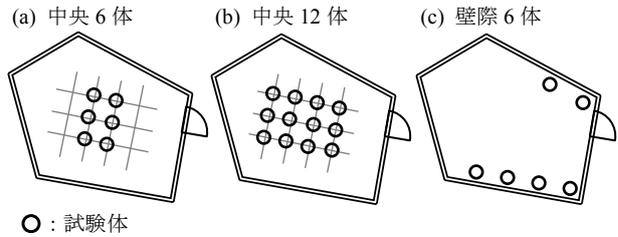


図-1 試験体の配置

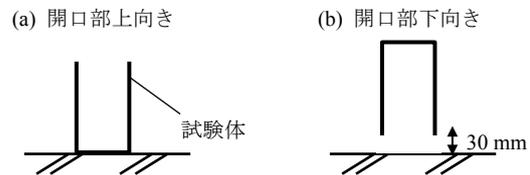


図-2 試験体の設置方法

質や配置条件にもよるが、抵抗材 a の付加による吸音力の増加量は非常に小さく $0.0 \sim 0.1 m^2$ 程度である。一方、図-5 より、抵抗材 a に比べて小さな流れ抵抗を有する抵抗材 b を用いた場合の測定結果を見ると、抵抗材 b の付加による吸音力のピークの増加量は $0.1 \sim 0.3 m^2$ 程度であり、増加量が大きくなった。従って、開口部に付加する抵抗材の流れ抵抗によって気柱共鳴を利用した吸音体の吸音力は変化し、抵抗材 a は流れ抵抗が過大であると言える。

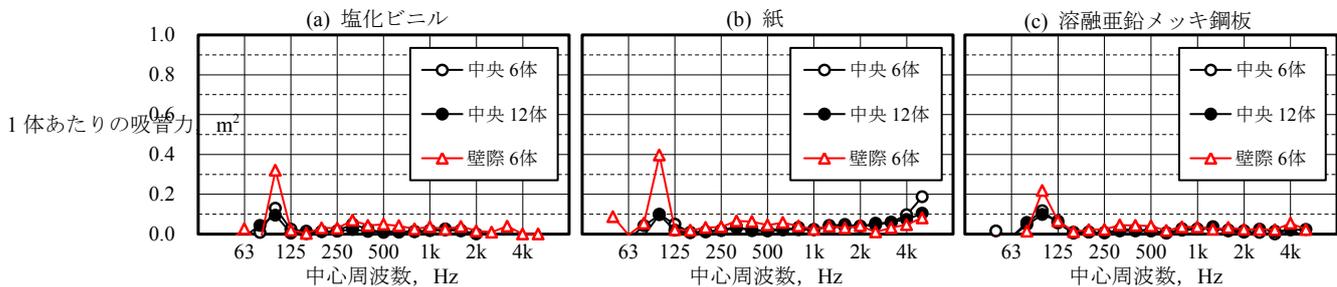


図-3 試験体 1 体あたりの吸音力（開口部上向き、抵抗材を付加しない場合）

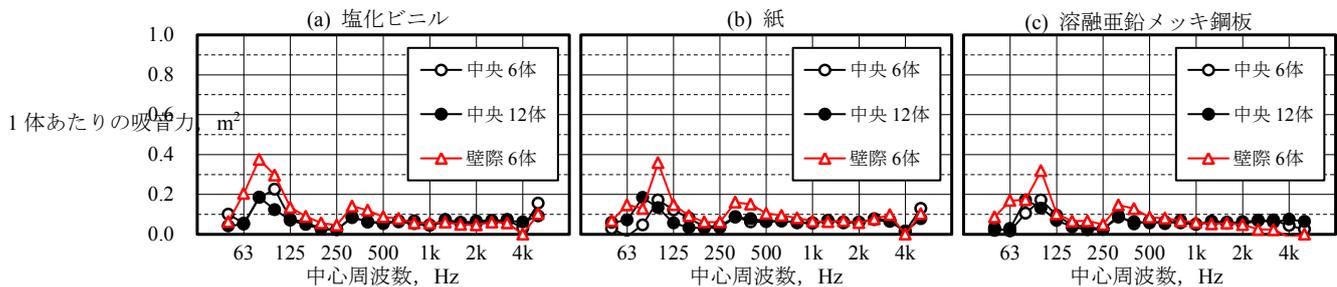


図-4 試験体 1 体あたりの吸音力（開口部上向き、抵抗材 a を付加した場合）

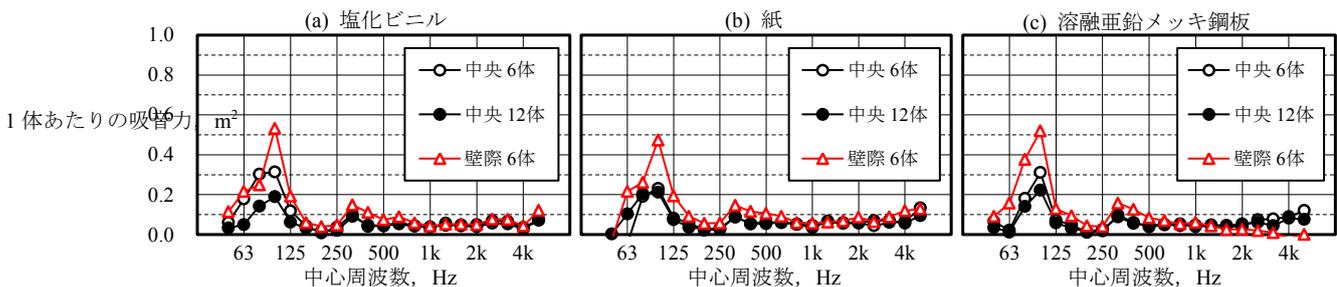


図-5 試験体 1 体あたりの吸音力（開口部上向き、抵抗材 b を付加した場合）

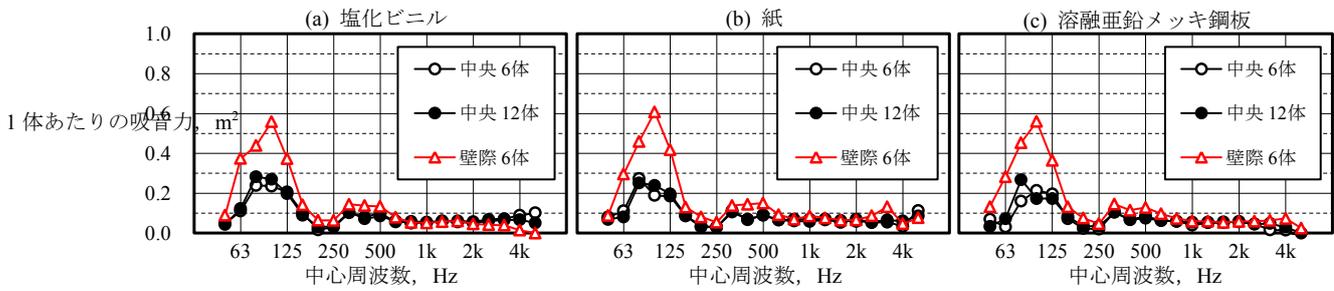


図-6 試験体 1 体あたりの吸音力（開口部下向き，抵抗材 a を付加した場合）

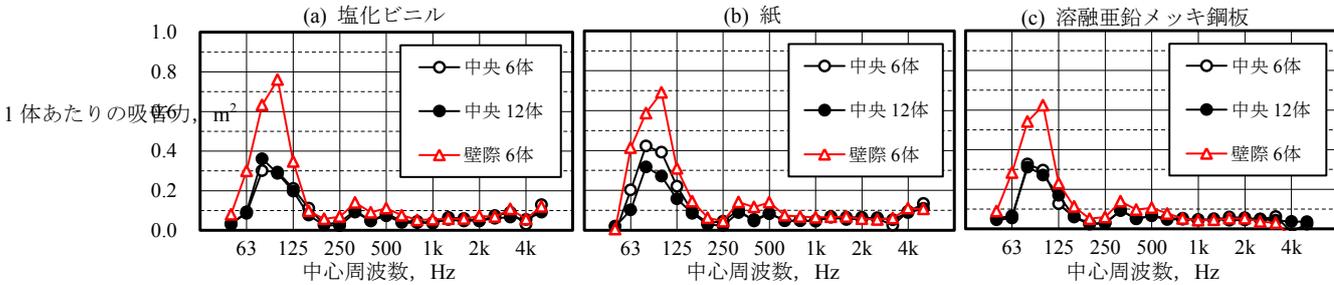


図-7 試験体 1 体あたりの吸音力（開口部下向き，抵抗材 b を付加した場合）

また図-3～5 のいずれの条件においても，試験体を中央に配置した場合に比べ，壁際に配置した場合の方が吸音力のピークは大きくなっている．この結果については，壁際配置では開口部直近に壁面があることで反射音が開口部に流入しやすくなり，より大きなエネルギーで共鳴が生じて吸音力が増加すると推測される．そこで壁面の影響をより顕著に生じさせることを意図し，図-2 (b) に示すように開口部を下向きとして床に近接させて抵抗材を付加した場合の測定結果を図-6, 7 に示す．図-4, 5 と比較すると，開口部が下向きの場合の吸音力は，上向きの場合の 1.5～2 倍程度まで増加することがわかる．

以上の結果から，気柱共鳴を利用した吸音体は，その構造的な規模を増大させずとも，配置や開口部周囲の条件，付加する抵抗材の流れ抵抗を適切に設定することで，吸音力を大きく向上させることができると言える．

3. 吸音体の開口部周辺の粒子速度分布

3.1 測定方法

吸音力の測定と同様に，残響室に試験体 1 体を設置し，スピーカからピンクノイズを定常で発生させた状態において，試験体の開口部周辺の粒子速度レベルを測定した．粒子速度レベルの測定には，粒子速度センサー⁴⁾を用いた．

(1) 試験体

試験体は吸音力の測定時に用いたものと同じであり，諸元は表-1 に示す A とした．開口部に抵抗材を付加する場合は，表-2 に示す抵抗材 b を用いた．

(2) 測定条件

試験体の設置方法は，吸音力の測定と同様に図-2 に示す 2 通りとし，開口部上向きにおいては，粒子速度レベルの水平方向成分と垂直方向成分を，開口部下向きにおいては水平方向成分を測定した．試験

体の配置は壁際とした．なお試験体の配置を中央とした場合には，後述の測定結果と同様の結果が得られることを確認している．

3.2 測定結果

前章で述べた通り，試験体の吸音力は 100 Hz 付近にピークを有していた．そこで 100 Hz (1/3 oct.) における粒子速度レベルの測定結果を図-8 に示す．図-8 を見ると，いずれの測定条件においても試験体の開口部周辺で粒子速度レベルの増大している様子が確認できるが，その特徴は条件ごとに異なる．

開口部に抵抗材を付加しない場合，図-8 (a) より，上向きの開口部周辺における粒子速度レベルの垂直方向成分は，試験体の開口部に近づくほど大きくなり，最大で 100 dB 程度まで増加している．また開口部の中心に近いほど，開口部から離れた位置においても粒子速度レベルの増大が見られる．図-8 (c) より，上向きの開口部周辺における粒子速度レベルの水平方向成分は，開口部の縁において最も大きく 100 dB 程度であり，開口部の中心位置での増大は特に見られない．また縁より外側の領域においても粒子速度レベルが増大していることから，音のエネルギーが開口部に対し，側方から回り込むように流入していることがわかる．図-8 (e) より，下向きの開口部周辺においては，粒子速度レベルの水平方向成分は開口部の縁において最大 105 dB 程度であり，上向きの開口部周辺における測定結果よりも大きくなった．従って，下向きの開口部に抵抗材を付加した方が大きな吸音力を得られると言え，吸音力の測定結果と合致する．

開口部に抵抗材を付加した場合，図-8 (b) (d) より，上向きの開口部周辺における粒子速度レベルの増大は垂直方向，水平方向ともに，抵抗材を付加しない場合に比べ 10 dB 程度低下している．一方，図-8 (f) を

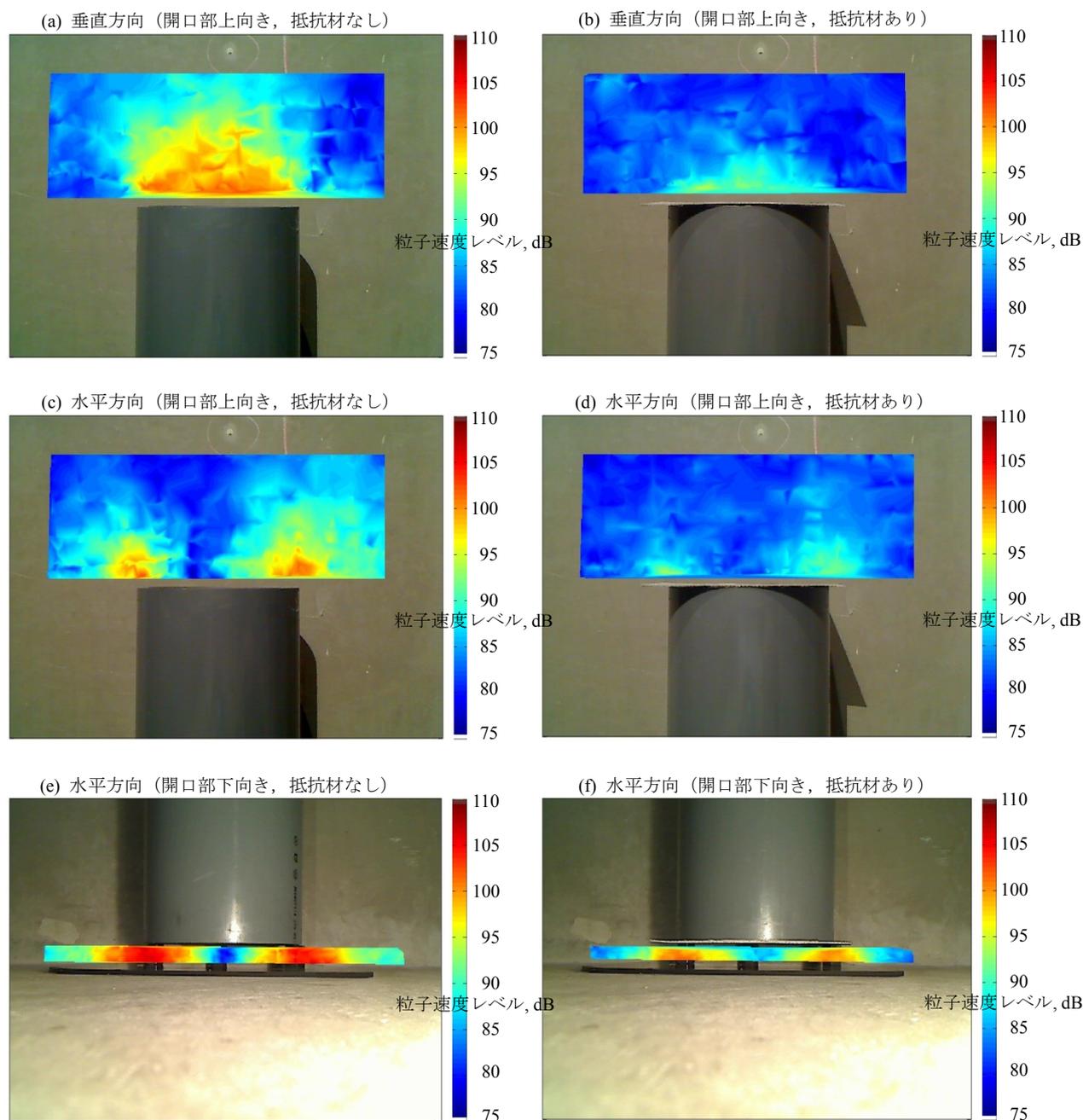


図-8 開口部周辺の粒子速度レベル分布

見ると、下向き開口部周辺においても、抵抗材の設置により粒子速度レベルは 10 dB 程度低下しているが依然として 100 dB 程度の領域が存在している。従って、開口部を下向きとして床面に近接させる場合は、抵抗材の流れ抵抗や設置方法をより適したものに改善することで、さらに吸音力を高めた吸音体の実現可能であると考えられる。

4. まとめ

気柱共鳴を利用した吸音体の吸音力、及び開口部周辺の粒子速度分布を測定し、以下のことを明らかにした。

- 1) 吸音体の材質が吸音力に及ぼす影響は小さい。
- 2) 吸音体の開口部に付加する抵抗材の流れ抵抗によって吸音力は変化する。

- 3) 吸音体を室内中央に配置した場合に比べ、壁際に配置した場合に吸音力は大きくなる。
- 4) 抵抗材を付加する開口部を上向きとして開放空間に向けた場合に比べ、下向きとして床面に近接させた場合に、吸音力および開口部周辺の粒子速度レベルは大きくなる。

参考文献

- 1) 前川純一, 森本政之, 阪上公博, “建築・環境音響学,” 共立出版, 2000
- 2) 吸音構造体 (特許権者: ヤマハ株式会社), 特許番号 2785687, 1998.5.29 (登録日)
- 3) 河井康人, 豊田政弘, “気柱共鳴を利用した吸音構造について,” 日本音響学会騒音・振動研究会資料, N-2013-35, 2013
- 4) <http://www.toyo.co.jp/microflown>