

気柱共鳴を利用した吸音体に関する基礎的研究

(その 2) 円筒吸音体の直径が吸音力に及ぼす影響

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

Part 2 Correlation between sound absorption and diameter of a sound-absorber using the tubular cavity resonance

小林正明*¹, 松岡明彦*², 小泉穂高*³, 河井康人*⁴

Masaaki KOBAYASHI, Akihiko MATSUOKA, Hodaka KOIZUMI 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 was shown that the sound absorption was increased by suppressing the particle velocity at the opening or the inside of the resonator with large velocity amplitude using absorbing materials.

Previously, we measured the sound absorption of the sound absorber and particle velocity around the opening of the cavity in reverberation room and clarified the effect of several factors such as materials, placement, and flow resistance of absorbing materials on sound absorption.

In this paper, the correlation between sound absorption and diameter of a sound-absorber using the tubular cavity was investigated.

Keywords : Sound absorption, Tubular cavity resonance, Particle velocity, Flow resistance, Characteristic impedance

吸音, 気柱共鳴, 粒子速度, 流れ抵抗, 特性インピーダンス

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(膜)振動型, 共鳴器型の 3 種類に大別され¹⁾, 吸音対象とする周波数に応じて使い分けがなされている. 一般に, 低周波数帯域の吸音には共鳴器型吸音が有効とされているが, 近年は気柱共鳴を利用するとともに共鳴器の開口部や内部の粒子速度が大きな領域に抵抗を設ける等, 低周波数帯域に対する効果的な吸音についての提案がなされている^{2,3)}. しかし, 気柱共鳴を利用した吸音体の吸音力や抵抗材を設置した際の効果量に関する詳細な報告は殆ど見当たらない. そこで本研究では, 気柱共鳴を利用した吸音体について, 吸音体そのものや設置方法を多様に変化させた場合の吸音力を測定することで, 各種要因が吸音力に及ぼす影響を明らかにするとともに, より効果的な吸音構造について検討する.

既報^{4,6)}では, 円筒型共鳴器の材質, 配置, および開口部の向きと抵抗材が及ぼす影響について検討した結果, 1) 共鳴器の材質が吸音力に及ぼす影響は小さいこと, 2) 共鳴器の設置位置や開口部の向きによって吸音力が大きく異なること, 3) 抵抗材を用いて吸音力を増加させるためには開口部に適切な流れ抵抗を有する抵抗材を付加することが重要であることを明らかにした.

本報では, 直径が異なる円筒型共鳴器の吸音力, および開口部周辺のインピーダンスレベルを測定し,

気柱共鳴を利用した吸音体の吸音力向上について検討した.

2. 試験体

表 - 1 に本測定で用いた試験体(円筒型共鳴器)の諸元を示す. 試験体は長さ 700 mm の紙製の円筒とし, 直径(内径)は 100, 200, 400 mm の 3 種類を用いた. 試験体の両端は一方の開口を厚さ 9 mm のベニヤ板で常に密閉し, もう一方は開放とした. 試験体の開口部に抵抗を付加する場合は流れ抵抗と面密度が異なる表 - 2 に示す 2 種類の抵抗材を用いた.

3. 実験 1 - 試験体の吸音力

3.1 測定方法

測定は既報^{4,6)}と同様, 容積 313 m³, 表面積 273 m² の残響室で実施した. JIS A 1409 「残響室法吸音率の測定方法」は共鳴特性の鋭い共鳴器の吸音率特性の測定を意図されたものではないが, 同一吸音体の配置や向きによる吸音力の変化を比較するため, 吸音力の測定は試験体とその設置方法, および測定周波数を除いて JIS A 1409 に準拠した. 音源位置は 2 箇所とし, それぞれ 5 箇所残響時間の測定を行った.

3.2 測定条件

試験体の設置位置は既報^{4,6)}において吸音力が最も大きくなることが示された壁際とし, 面積効果を利用するため³⁾, 試験体間の距離を 1 m 以上離して 6

*1 戸田建設株式会社技術開発センター 博士(工学)

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

*2 戸田建設株式会社技術開発センター

Research and Development Center, TODA CORPORATION

*3 戸田建設株式会社技術開発センター 修士(工学)

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

*4 関西大学環境都市工学部 教授・博士(工学)

Prof., Faculty of Environmental and Urban Eng., Kansai University, Dr. Eng.

表 - 1 試験体の諸元

種類	内径, mm	厚さ, mm	重さ, kg
A	100	3.0	0.5
B	200	4.0	1.4
C	400	7.0	5.2

表 - 2 開口部に付加する抵抗材の諸元

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

体設置した。なお、試験体は開口部が上向き、または下向きとなるよう床上に置き、下向きの際は複数の鋼製ブロックで試験体を点支持し、床と開口部（試験体の開口端）の距離を 70 mm とした（図 - 1）。

3.3 測定結果

図 - 2 に試験体 B（内径 200 mm）を上向きに設置し、開口部の状況を変化させた場合の試験体 1 体あたりの吸音力を示す。ただし、抵抗材が無い場合、および抵抗材 a を設置した場合の結果は既報^{4,6)}の結果を引用したものである。図 - 2 より、試験体は開口部の抵抗材の有無によらず 100 Hz にピークを有しており、典型的な共鳴器型吸音の特性を示した。また、100 Hz のピーク値は開口部に抵抗材を付加しない場合と抵抗材 a を付加した場合が 0.4 程度であった

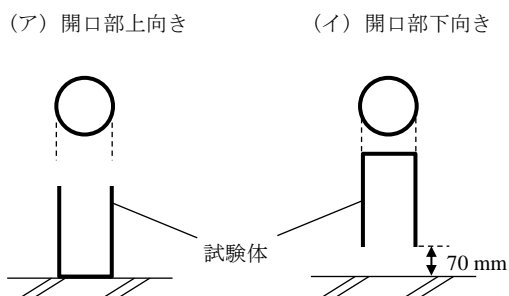


図 - 1 実験 1 の試験体の設置方法

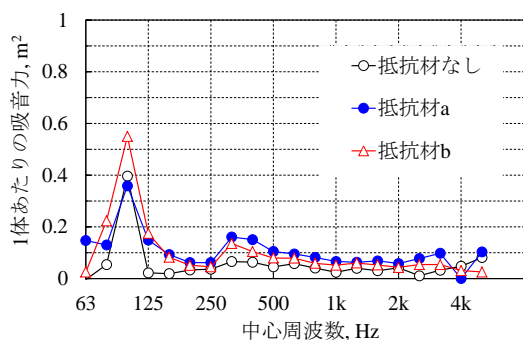


図 - 2 試験体の 1 体あたりの吸音力（直径 200 mm, 開口部上向きの場合）

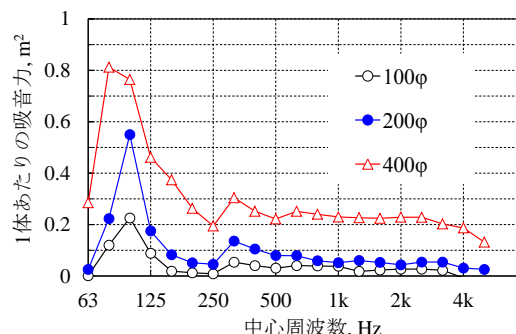
のに対し、開口部に抵抗材 b を付加した場合が 0.55 となり最大であった。

図 - 3 は試験体 A（内径 100 mm）、B（内径 200 mm）、C（内径 400 mm）をそれぞれ上向きと下向きに設置し、開口部に抵抗材 b を付加した場合の試験体 1 体あたりの吸音力を示したものである。図 - 3 より、試験体は開口部の向きや円筒の内径によらず 100 Hz 付近にピークを有する吸音特性であり、試験体 A、B、C の開口部を上向きとした場合のピーク値がそれぞれ 0.23, 0.55, 0.81, 開口部を下向きとした場合のピーク値がそれぞれ 0.39, 0.95, 1.29 であった。

図 - 3 について、同一試験体の開口部の向きに着目した場合、既報^{4,6)}で得られた知見と同様の傾向がみられた。すなわち、いずれの試験体も開口部を下向きとした場合の吸音力のピーク値が上向きとした場合よりも明らかに増加しており、本実験では、下向き時のピーク値は上向き時の約 1.6 倍であった。

一方、試験体の内径に着目した場合、開口部の向きによらず内径が大きくなるほど吸音力のピーク値も大きくなる傾向がみられた。ただし、試験体の開口部、すなわち流れ抵抗材を付加した面積は試験体 B が試験体 A より 4 倍増加し、試験体 C が試験体 B より 4 倍増加しているのに対し、吸音力のピーク値の増加は上向き、下向きによらずそれぞれ 2.4 倍と 1.5 倍であった。

(ア) 開口部上向き



(イ) 開口部下向き

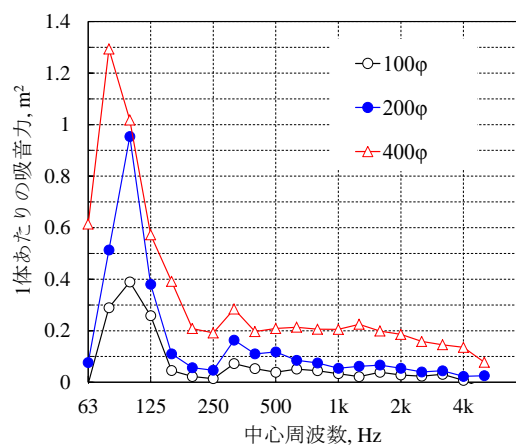


図 - 3 直径が異なる試験体の 1 体あたりの吸音力（開口部に抵抗材 b を付加した場合）

4. 実験 2 - 試験体の面密度を変化させた場合の吸音力

実験 1 では、試験体の内径を大きくし、開口部、および付加する流れ抵抗材の面積を増大させることで吸音力のピーク値が上昇するものの、その増加量は面積の増加分を下回ることが確認された。この原因の一つとして、試験体の固有振動が考えられる。そこで実験 2 では、実験 1 で用いた各試験体の面密度や剛性を変化させて吸音力を測定し、実験 1 で得られた吸音力と比較した。

4.1 測定方法

測定方法は実験 1 と同様である。

4.2 測定条件

試験体の設置位置は実験 1 と同様である。ただし、実験 2 では、表 - 1 に示す各試験体の長さを等分するよう外周部に沿って幅 40 mm、厚さ 1 mm の鉛を接着した試験体を用いた。各試験体の開口部には抵抗材 b を付加し、それぞれ開口部を上向きに設置した場合、下向きに設置した場合の両方で測定を行った (図 - 4)。

4.3 測定結果

図 - 5 は内径が 100 mm, 200 mm, 400 mm のそれぞれについて、鉛を付加する前後の試験体 1 体あたりの吸音力を比較した結果である。図 - 5 より、いずれの内径においても、開口部を上向きに設置した場合と下向きに設置した場合の両方で鉛を付加する前後の吸音力に殆ど違いはみられず、本測定で用いた試験体の固有振動が吸音力のピークに及ぼす影響は確認されなかった。

5. 実験 3 - 開口部のインピーダンスレベル

実験 1 と 2 より、円筒の内径が大きいほど単位開口面積当たりの吸音力が低下するものの、本測定で用いた試験体の固有振動の影響はみられなかった。

実験 3 では、音圧・粒子速度センサを用いて試験体の開口部近傍のインピーダンスレベル分布を測定し、その均質性の観点から円筒型共鳴器の内径と吸音力の関係について検討する。

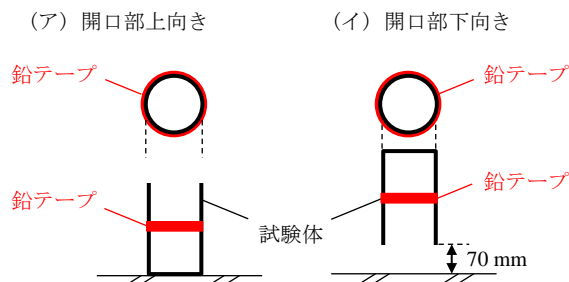
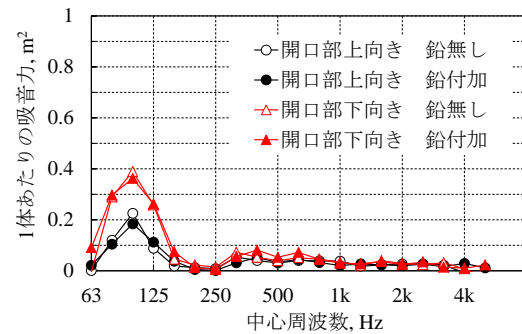


図 - 4 実験 2 の試験体の設置方法

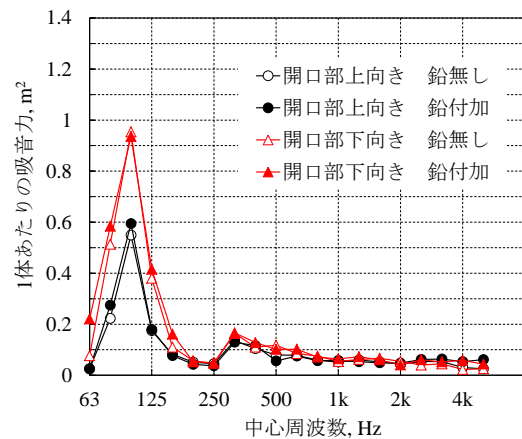
5.1 測定方法

測定は実験 1, 2 と同じ残響室において、スピーカからピンクノイズを定常で発生させた状態で実施した。本実験で扱うインピーダンスレベルは開口面の音圧と開口面に垂直な粒子速度成分の伝達関数 (0 dB は媒質の密度 ρ とその媒質中の音の伝搬速度 c の積、すなわち、媒質の固有音響抵抗 ρc と一致する場合) としてあらわされるもので、測定点は試験体の開口部から 10 mm 離れた位置とした。

(ア) 内径 100 mm



(イ) 内径 200 mm



(ウ) 内径 400 mm

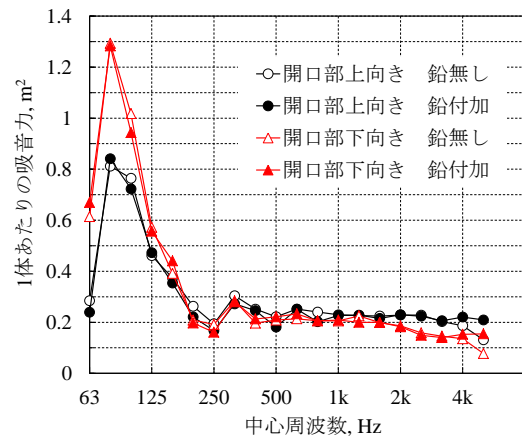


図 - 5 鉛付加前後の試験体の 1 体あたりの吸音力 (開口部に抵抗材 b を付加した場合)

5.2 測定条件

測定に用いる試験体には鉛を付加していない。試験体の設置位置は残響室の隅角部とし、試験体の開口部は上向きとした。

5.3 測定結果

図-6に試験体B（内径200mm）の開口部を上向きに設置した場合の開口部中央のインピーダンスレベルを示す。図-6より、インピーダンスレベルは抵抗材の有無によらず100Hz付近で極小となる周波数特性を示した。極小値は開口部の条件によって変化し、流れ抵抗が大きいほど増加する傾向がみられた。図-2で示した試験体の1体あたりの吸音力が開口部に抵抗材bを付加した際に最大となったことから、本実験の測定位置では、極小値が-5dB付近において吸音力が最大となり、それより大きくなると吸音力が低下すると考えられる。

図-7は試験体B（内径200mm）とC（内径400mm）のそれぞれについて、抵抗材bを付加した開口部を上向きに設置した場合のインピーダンスレベル分布を示したものである。図-7より、内径が200mmの場合は中心から100mm、すなわち、円筒の縁を除く全ての測定点においてインピーダンスレベルが100Hz付近で極小値約-5dBとなる周波数特性を示し、測定点間のバラつきは殆どみられなかった。一方、内径が400mmの場合も内径が200mmの場合と同様、いずれの測定点においてもインピーダンスレベルが100Hz付近で極小となる周波数特性を示したものの、極小値は開口部の中心に近づくほど大きくなる傾向がみられ、-1~-5dBの範囲でバラつきがみられた。

6. まとめ

直径が異なる円筒型共鳴器の吸音力を測定した結果、円筒の内径を大きくし、共鳴器の開口部、および付加する流れ抵抗材の面積を増大させることで吸音力のピーク値が上昇するものの、その増加量は面積の増加分を下回ることが確認された。これは円筒の内径が長くなり開口面積が大きくなると開口部のインピーダンスレベルが不均一となることが原因と考えられる。

円筒型共鳴器に抵抗材を付加して粒子速度を効率よく抑制させる際、単位開口面積当たりの吸音力の観点からは適切な大きさの円筒の選定が必要となる。

参考文献

- 1) 前川純一ほか、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）、特許番号第2785687、1998.5.29（登録日）
- 3) 河井康人ほか、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

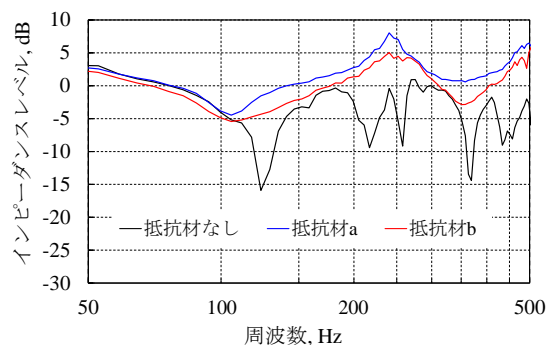
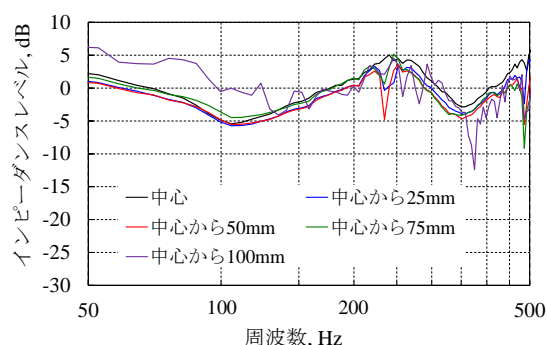


図-6 開口部中央のインピーダンスレベル
(直径200mm、開口部上向きの場合)

(ア) 内径200mm



(イ) 内径400mm

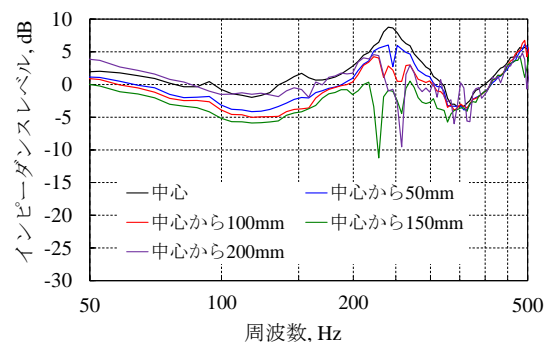


図-7 開口部のインピーダンスレベル分布
(上向きの開口部に抵抗材bを付加した場合)

- 4) 小林正明ほか、気柱共鳴を利用した吸音体に関する基礎的研究その1 気柱共鳴を利用した吸音体の吸音力、建築学会梗概集、269-270、2014
- 5) 小泉穂高ほか、気柱共鳴を利用した吸音体に関する基礎的研究その2 開口部周辺の粒子速度分布、建築学会梗概集、271-272、2014
- 6) 小泉穂高ほか、気柱共鳴を利用した吸音体に関する基礎的研究、戸田建設技術研究報告第40号、2014