

気柱共鳴を利用した吸音体に関する基礎的研究

その 3 角筒吸音体の断面形状が吸音力に及ぼす影響

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

Part 3 Correlation between sound absorption and the shape of a section of a rectangular absorber

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. We have researched a cylindrical absorber using the tubular cavity resonance, and discuss sound absorption characteristics of a rectangular absorber in this paper. It was investigated sound absorption and particle velocity distribution of rectangular absorbers whose aspect ratio is several. As a result, it was indicated that a rectangular absorber whose aspect is plane provides same absorption characteristics as a cylindrical absorber by controlling vibration of the sides.

Keywords : Rectangular absorber, Tubular cavity resonance, Sound absorption, Particle velocity, 角筒吸音体, 気柱共鳴, 吸音力, 粒子速度

1. はじめに

室内の騒音低減や残響調整を目的として、建築には様々な吸音機構が利用される。しかし低周波数を吸音しようとする場合、一般に吸音機構が大規模化し、しばしば建築計画上の妨げとなる。近年、この問題を解決する手法として、気柱共鳴を利用した吸音構造^{1, 2)}が提案されている。これは気柱共鳴を生じる共鳴器の開口部や内部等、粒子速度が大きい領域に抵抗材を付加することで効率良くエネルギーを消費し、小さな所要スペースにて低周波数の吸音効果を高めようとする構造である。筆者らもこれまで気柱共鳴を利用した筒型吸音体について検討している。既報では、気柱共鳴を生じている円筒型共鳴器の開口部を床面に近接させることで、開口部の粒子速度レベルが上昇し、ここに適切な抵抗材を設置することで大きな吸音力が得られることを示した³⁾。また、円筒の内径を大きくすることで吸音力は上昇するが、その上昇量は円筒断面積の増加割合に比べると小さく、開口部インピーダンスの不均一が原因と考えられることを示した⁴⁾。

以上のように、気柱共鳴を生じる一般的な共鳴器形状として円筒型による検討を行ってきたが、実際に吸音体を建築物内に設置する際の納まりを考慮すると、角筒型の利便性が高いと言える。その際、角筒の断面形状に自由度が高いほど有用である。そこで本報では、異なる辺長比の角筒吸音体を用いて、その吸音特性について検討した結果を報告する。

2. 実験 1 角筒吸音体の吸音力

2.1 試験体

試験体の概要を図 - 1 に示す。断面積が共通で辺長比が 1:1 (177×177 mm), 1:2 (125×251 mm), 1:4

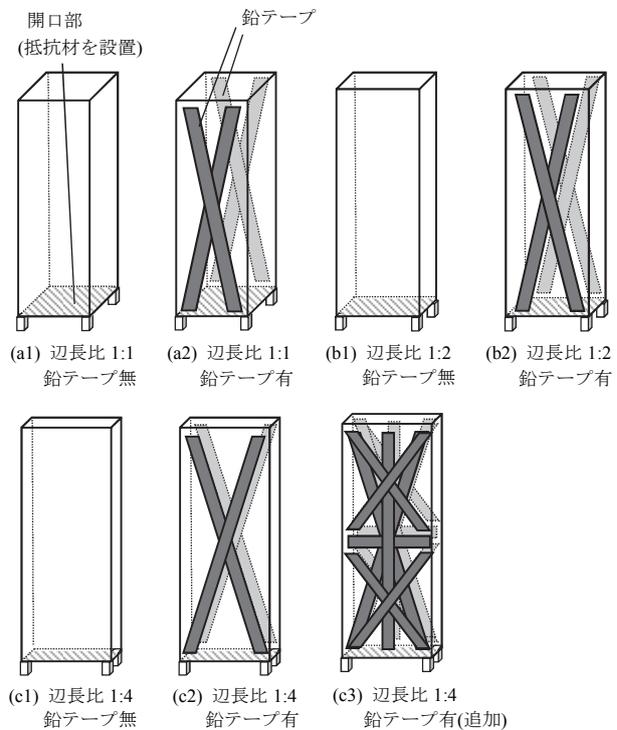


図 - 1 試験体

*1 戸田建設株式会社技術開発センター 修士 (工学)

*2 戸田建設株式会社技術開発センター

*3 戸田建設株式会社技術開発センター 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.

(89×352 mm) の3種類の角筒を用い、さらにそれらの側面に、制振を意図して幅 40 mm、厚さ 1 mm の鉛テープを図 - 1 のように貼付けた場合の計 7 条件とした。鉛テープは角筒の対向した 2 側面に同様に貼付けるものとし、辺長比 1:2 および 1:4 においては長辺側の側面に貼付けた。

角筒の長さは 700 mm、厚さは 6 mm、材質はアクリルで共通である。角筒の一端は厚さ 9 mm のベニヤで密閉した。もう一端は開口とし、共鳴時の粒子速度を大きくするため床面に向け 70 mm 浮かせた状態で設置した³⁾。開口部には厚さ 1.4 mm、流れ抵抗 100 Ns/m³、面密度 1.9 kg/m² の抵抗材を設置した。

2.2 測定方法

既報³⁾と同様、図 - 2 のように不整形残響室（容積 313 m³）の壁際に試験体 6 体を設置し、試験体 1 体あたりの吸音力を測定した。試験体の配置方法や吸音特性を除き、JIS A 1409 に準拠して測定した。

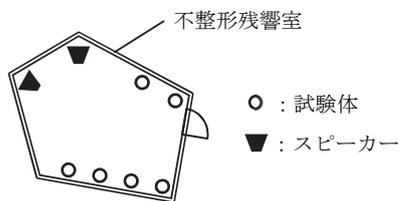


図 - 2 試験体の配置

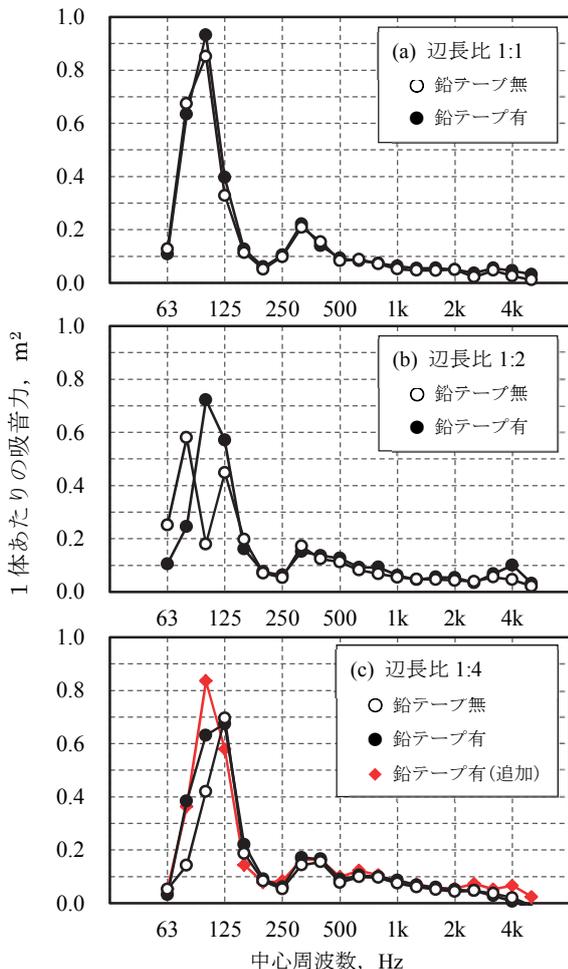


図 - 3 角筒吸音体の吸音力

2.3 測定結果

試験体 1 体あたりの吸音力を図 - 3 に示す。(a)辺長比 1:1 は、鉛テープの有無によらず 100 Hz をピークとする吸音特性であり、長さ、断面積が同じである直径 200 mm の円筒吸音体³⁾と同様の特性である。

(b)辺長比 1:2 は、鉛テープ無の場合、80 Hz と 125 Hz をピークとする吸音特性である。鉛テープを付加することで、80 Hz の吸音力は 0.3 程度低下、100 Hz は 0.5 程度上昇し、辺長比 1:1 と同様の 100 Hz をピークとする特性に変化した。

(c)辺長比 1:4 は、鉛テープ無の場合、125 Hz をピークとする吸音特性である。鉛テープを図 - 1 (c2) のように付加する場合、80 Hz、100 Hz の吸音力が 0.2 程度上昇したが、依然ピークは 125 Hz である。図 - 1 (c3) のように鉛テープを追加することで、100 Hz の吸音力はさらに上昇、125 Hz は低下し、100 Hz をピークとする特性に変化した。

以上の結果から、同じ長さ、断面積の角筒吸音体であっても、辺長比が異なる場合、吸音力の周波数特性に変化が生じることが明らかとなった。また、辺長比 1:2 および 1:4 では、鉛テープの有無によっても結果が異なることから、吸音体側面の振動の影響が示唆される。そこで次の実験 2 では、辺長比の違いや、鉛テープの有無による吸音特性の差異について検証するため、共鳴時の試験体近傍における粒子速度分布を測定した。

3. 実験 2 角筒吸音体近傍の粒子速度分布

3.1 試験体

図 - 1 に示す 7 条件と同一である。ただし、共鳴時の角筒開口部における粒子速度レベルの上昇について確認するため³⁾、いずれも抵抗材は設置せずに開放状態で測定した。

3.2 測定方法

残響室内に設置したスピーカーからピンクノイズを定常で発生させ、壁際に設置した試験体 1 体の側面及び開口部近傍の粒子速度レベルを PU プロブで測定した。図 - 4 に粒子速度レベルの測定範囲および方向を示す。斜線で示す範囲をスキャニング測定し、試験体側面に対する面外方向の粒子速度レベルの分布を求めた。測定範囲と試験体側面の距離は約 10 mm である。

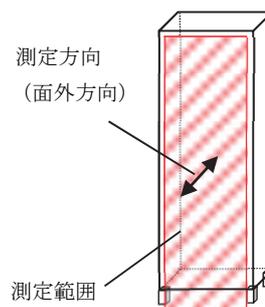


図 - 4 粒子速度レベルの測定範囲と方向

3.2 測定結果

辺長比 1:1 における粒子速度レベル(oct. 1/3)の相対分布を図 - 5 に示す。既報³⁾と同様、粒子速度レベルは鉛テープの有無によらず床面付近の角筒開口部で高くなり、内部の気柱共鳴によって音波が激しく出入りしていることが確認できる。125 Hz に比べ、80 Hz、100 Hz の方が開口部の粒子速度レベルは高くなっており、図 - 3 (a) に示した吸音力の測定結果と対応する。角筒側面部では、粒子速度レベルが顕著に上昇する様子は見られず比較的一様な分布をしており、これらの周波数帯における特異な振動は側面に生じていないことがわかる。

辺長比 1:2 における粒子速度レベル(oct. 1/3)の相対分布を図 - 6 に示す。(b1)鉛テープ無の場合、開口部の粒子速度レベルは 80 Hz、125 Hz では高くなるが、100 Hz での上昇は見られず、図 - 3 (b) の吸音力の測定結果と対応する。また 80 Hz と 125 Hz では、側面中央の粒子速度レベルも高くなっており、角筒側面に大きな振動が生じていることが分かる。鉛テープを付加した場合の結果(b2)を見ると、80 Hz と 125 Hz の側面の粒子速度レベルは低減されており、振動が抑制されたと言える。同時に開口部の粒子速度レベルも変化しており、80 Hz では 10 dB 程度低下、100 Hz では 15 dB 程度上昇し、吸音力の測定結果と同様の傾向を示した。

辺長比 1:4 における粒子速度レベル(oct. 1/3)の相対分布を図 - 7 に示す。(c1)鉛テープ無の場合、125 Hz において開口部の粒子速度レベルは顕著に上昇し、側面中央にも振動が生じている。鉛テープを図 - 1 (c2) のように付加することで、125 Hz における側面中央の振動は抑制され、80 Hz、100 Hz の開口部の粒子速度レベルは 5 dB 程度上昇した。鉛テープを図 - 1 (c3) のように追加することで、側面の振動はさらに抑制され、100 Hz における開口部の粒子速度レベルは 5 dB 程度高くなった。

以上述べた、辺長比の違いや鉛テープの有無によって変化する開口部の粒子速度レベル特性は、図 - 3 に示す吸音力の結果と良く対応している。すなわち、開口部の粒子速度レベルが高い周波数では、抵抗材を設置した際に大きな吸音力を得ることができる。また実験 1、2 の結果の対応から、鉛テープ無における吸音特性が辺長比によって変化したのは、側面に生じた振動が原因であると言える。側面の振動を十分に抑制することで、いずれの辺長比においても 100 Hz をピークとする吸音特性が得られたことから、断面の形状は吸音特性に直接は影響しないことが明らかとなった。なお振動を抑制した際は、いずれの辺長比においても 100 Hz の吸音力は近い値となっており、角筒の断面積が共通であれば同等の吸音力になることが考えられる。

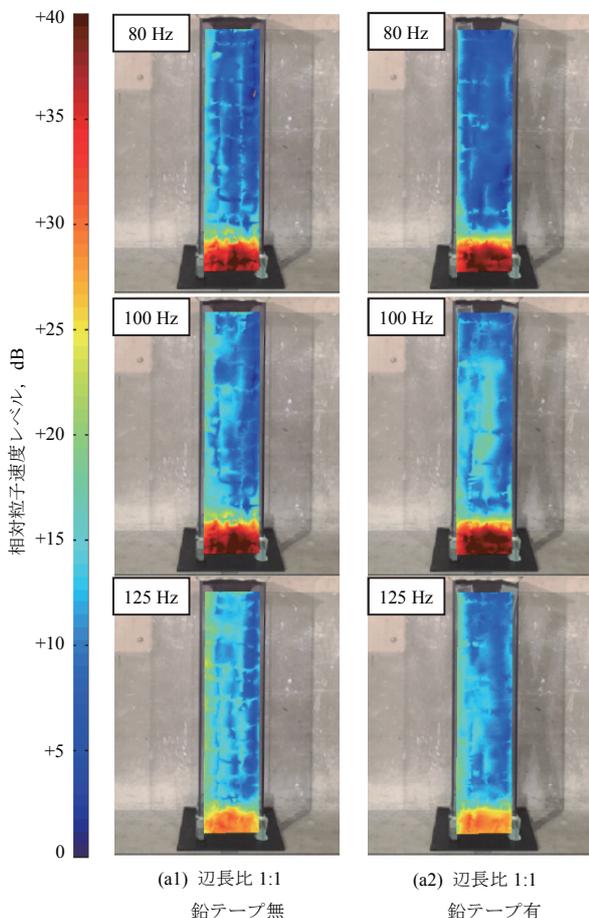


図 - 5 角筒吸音体近傍の粒子速度分布 (辺長比 1:1)

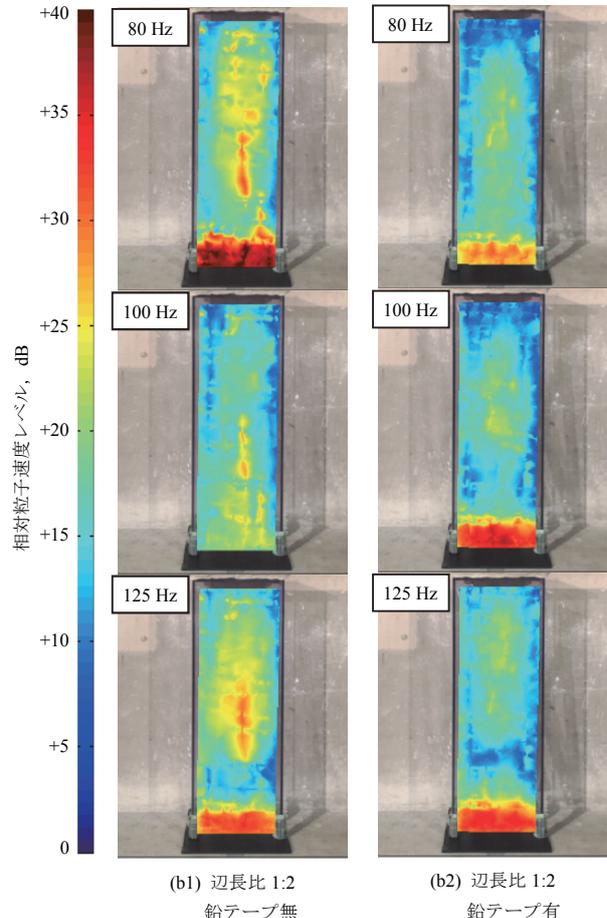


図 - 6 角筒吸音体近傍の粒子速度分布 (辺長比 1:2)

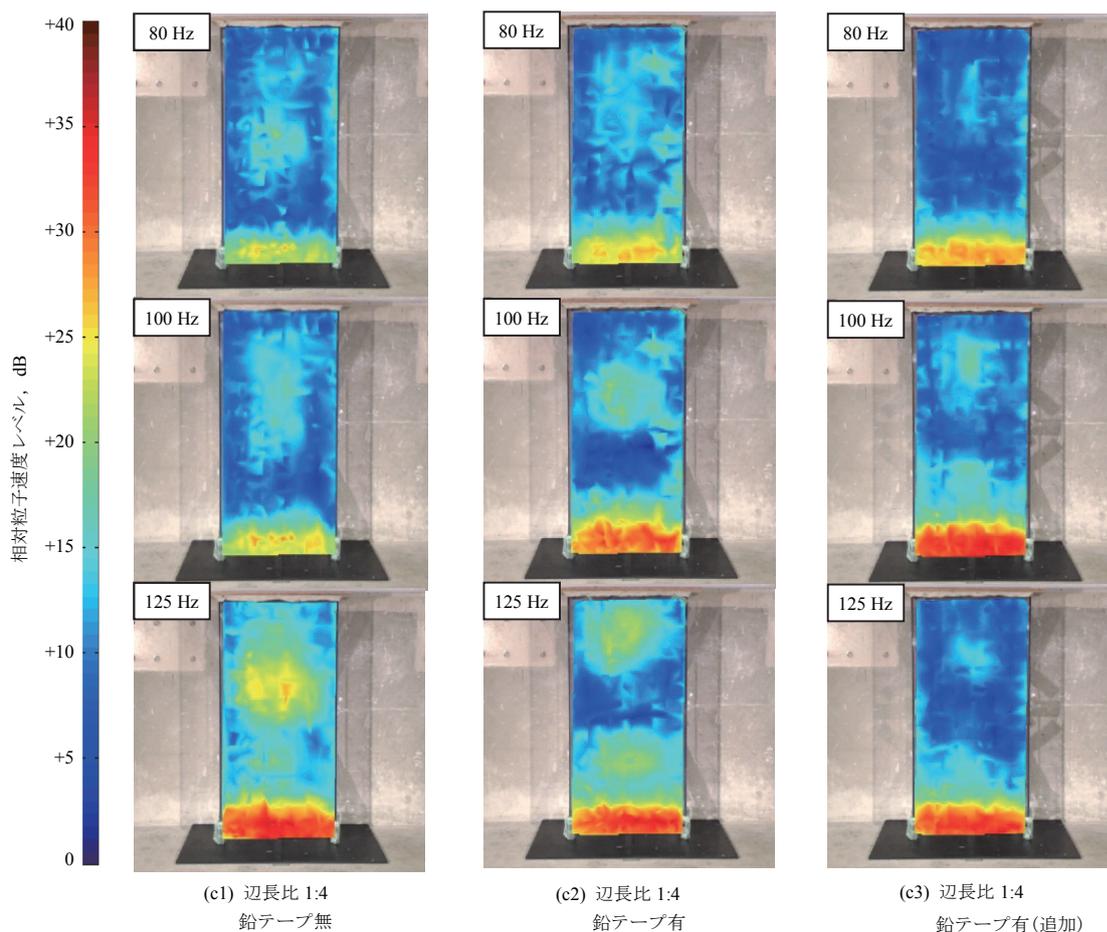


図 - 7 角筒吸音体近傍の粒子速度分布 (辺長比 1:4)

側面が振動する際、開口部の粒子速度レベルの特性が変化する要因について推察すると、振動により角筒内のエネルギーが消費されることや、角筒内壁と空気の粘性による摩擦が変化して角筒長さ方向の音波の往復がスムーズに行われなくなり、気柱共鳴の性状に影響を及ぼしたことが考えられる。

以上得られた知見により、気柱共鳴を利用した角筒吸音体は扁平な断面形状であっても、側面を十分に剛性の高い素材で構成することや、制振処置を施すことで、意図した周波数における吸音効果を期待できることが明らかとなった。

4. まとめ

気柱共鳴を利用した角筒吸音体の断面形状と、側面の制振の有無を条件として、その吸音力および共鳴時の角筒近傍における粒子速度分布を測定することで、以下の知見を得た。

- i) 角筒断面の辺長比が 1:1 であれば、同じ長さ、断面積の円筒型吸音体と同様の吸音力特性が得られるが、辺長比が大きくなると、吸音力がピークとなる周波数は変化する。
- ii) 角筒断面の辺長比が大きくなると、長辺側の側面において、気柱の共鳴周波数付近の振動が生じるようになる。また、角筒開口部の粒子速度レベルの周波数特性が変化する。

iii) 角筒吸音体の吸音力特性は、開口部の粒子速度レベルの周波数特性とよく対応する。

iv) 角筒側面の振動を十分に抑制することで、開口部の粒子速度レベルおよび吸音力の周波数特性が変化し、辺長比 1:1 における角筒吸音体と同様の特性になる。すなわち、気柱共鳴を利用した角筒吸音体は扁平な断面形状であっても、側面を十分に剛性の高い素材で構成することや、制振処置を施すことで、意図した周波数における吸音効果を期待できる。

参考文献

- 1) 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)
- 2) 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
- 3) 小泉穂高, “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
- 4) 小林正明, “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,” 戸田建設技術研究報告第 41 号, 2015