

# 仕上げ壁に内蔵した共鳴器の吸音特性に関する 実験的検討

財満健史 \* 大脇雅直 \*\*

工場や設備機器の伝搬音対策では、遮音と併せて、より大きな低減効果を得るために室内を吸音して、音源側の音圧レベルの上昇を抑制する場合が多い。室内を吸音することで喧騒感が軽減し、安全性や作業環境の向上も期待できる。グラスウールなどの吸音材は、水を扱う場所や粉塵が多い場所などでは吸音性能の低下が懸念される。そこで、水や粉塵の影響を比較的受けにくいと考えられる建物の仕上げ壁の空気層内に、共鳴器を設置した場合の吸音特性について、1/5 縮尺の音響模型を用いて実験的に検討を行った。仕上げ壁を想定した壁（模擬壁）による実験から、共鳴器の開孔が室内に面していなくても、模擬壁の端部に隙間を設けると共鳴器の共鳴周波数付近で吸音率が大きくなった。また、模擬壁と共鳴器を組み合わせることで、共鳴器の共鳴周波数とは異なる周波数帯域でも吸音率が大きくなることを示した。

キーワード：共鳴器，仕上げ壁，吸音特性，縮尺模型実験

## 1. はじめに

工場や設備機器の伝搬音対策では、遮音と併せて、より大きな低減効果を得るために室内を吸音して、音源側の音圧レベルの上昇を抑制する場合が多い。工場などでは、室内を吸音することで喧騒感が軽減し、意思疎通のための会話の明瞭度を上げる効果が期待できる。これは安全性や作業環境の向上にも寄与するため、吸音対策によるメリットは大きいと考える。しかし、水を扱う場所や粉塵が多い場所などでは、材料の含水や粉塵による目詰まりなどに起因する吸音性能の低下が懸念される。

吸音対策を行うための吸音材料にはいくつか種類がある<sup>1)</sup>。グラスウールに代表される多孔質材料は、中～高周波数帯域で吸音が可能であり、広く利用されている。一方で低い周波数帯域で吸音性能を高くするためには、背後空気層を大きくする必要があり、十分なスペースを確保しなければならない。設備機器などは低い周波数帯域で吸音対策を行いたい事例も多く、多孔質材だけでは不十分な場合も想定される。共鳴器型吸音体は、共鳴器の共鳴周波数付近の狭帯域で高い吸音性能をもつ吸音機構であり、共鳴周波数を低周波数帯域へ調整することも可能である。瓶や壺のような形をしたヘルムホルツ型共鳴器が有名である。

共鳴器型吸音体は、卓越する周波数が予め想定できる場合は有効な吸音材料のひとつである。一般的には室内に接する面に共鳴器の開孔を設けるが、仕上げ壁の空気

層内に共鳴器を設置して高い吸音性能が得られるのであれば、水や粉塵を考慮する必要がある場所でも適用できる吸音対策になると考える。

既往の研究においては、二重壁の中空層内にレゾネータ（共鳴器）を設置した例<sup>2)</sup>や二重窓の内部にヘルムホルツレゾネータを挿入した例<sup>3)</sup>等があるが、いずれも遮音性能に着目しており、吸音性能には言及していない。井上ら<sup>4)</sup>は、背後空気層をもつ背面穿孔ハニカム板の吸音特性について検討しており、共鳴器の開孔が室内に面していなくても共鳴器による吸音が可能であることを示している。

本報では、仕上げ壁に内蔵した共鳴器の吸音特性について、1/5 縮尺の音響模型を用いて実験的に検討を行ったので報告する。なお、本論文の内容は参考文献 5), 6) を加筆修正したものである。

## 2. 実験概要

1/5 縮尺の残響箱において、音響模型を用いて実験を行った。残響箱はアクリル製の不成形 7 面体であり、室容積 1.41m<sup>3</sup>、表面積 7.49m<sup>2</sup>である。測定システムの概要を Fig.1 に示す。インパルス応答の測定は、swept-sine 法<sup>7)</sup>を用いて残響箱内 3 点で行った。測定点ごとにインパルス応答からシュレーダー法を用いて残響時間を求め、3 点の値を平均した。各試験体の吸音率は以下の式で算出した。

$$\alpha_s = A/S \quad \dots (1)$$

$$A = 55.3 \frac{V}{c} \left[ \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] \quad \dots (2)$$

$\alpha_s$  : 試験体の吸音率

$A$  : 試験体の等価吸音面積 (m<sup>2</sup>)

\* 財満健史 技術本部 技術研究所 環境工学研究室  
\*\* 大脇雅直 技術本部

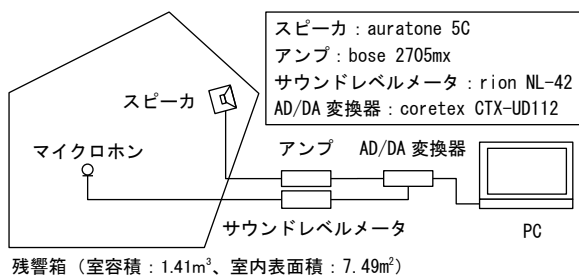


Fig.1 測定システム

- S: 試験体の面積 (m<sup>2</sup>)
- V: 空室状態における残響箱の容積 (m<sup>3</sup>)
- c: 空気中の音速 (m/s)
- T<sub>1</sub>: 空室状態における残響時間 (s)
- T<sub>2</sub>: 試験体を設置した状態における残響時間 (s)

相似則により、1/n 縮尺の模型実験では周波数が n 倍となる<sup>8)</sup>。本報では、実周波数でオクターブ 63~500Hz 帯域 (1/9 オクターブ 46~681Hz 帯域) を対象とした。したがって、縮尺模型実験における解析範囲は 1/9 オクターブ 233~3,415Hz 帯域とした。

### 3. 予備実験

#### 3. 1 共鳴器の設置面積に関する実験<sup>5)</sup>

試験体の設置面積は、小さい方が実験を効率的に行うことができる。しかし、試験体の設置面積は実験精度に影響するため、予め確認しておく必要がある。そこで、共鳴器の設置面積について実験的に検討を行った。実験に用いた共鳴器を Fig. 2 に示す。共鳴器は開孔が φ12mm、内部空気層は 55×55×26mm とした。岩瀬ら<sup>9)</sup>によれば、共鳴器のネック部を内部空気層側に延長することで共鳴周波数を低くすることができる。そこで、この実験に用いる共鳴器は、ネック長を内部空気層側に延長して 18mm とした。共鳴器の共鳴周波数<sup>1)</sup>設計値 f<sub>0</sub> は 405Hz (実周波数で 80Hz 相当) である。実験に用いる共鳴器は、Fig. 3 に示すように共鳴器 16 個を 1 ユニット (外寸 230×230×30mm、面積 0.053m<sup>2</sup>) とした。

JIS A 1409<sup>10)</sup>に規定されている試験体寸法は 10~12m<sup>2</sup> であり、1/5 縮尺では 8 ユニット (0.424m<sup>2</sup>) に相当する。そこで本実験では、ユニット数を 8, 4, 2, 1 ユニットの 4 パターンで行った。

吸音率の算出結果を Fig. 4 に示す。横軸は周波数で、括弧書きで示すのは実周波数のオクターブバンド中心周波数である。いずれのユニット数でも、共鳴周波数の設計値よりも若干低い 369Hz 帯域の吸音率が大きくなった。共鳴周波数付近における吸音率は、8 ユニットと 4 ユニットの概ね同じであるが、2 ユニット、1 ユニットでは 8 ユニットよりも大きくなっていった。従って、4 ユニット以上であれば、相対的な吸音率の比較は可能と判断し、以降で共鳴器を扱う場合は 4 ユニットで実験を行った。

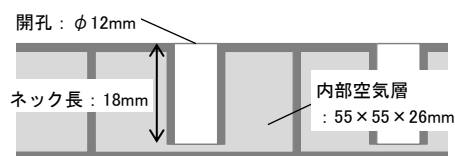


Fig. 2 共鳴器 模式図 (ネック長 18mm の例)



Fig. 3 共鳴器 1 ユニット: 共鳴器 16 個 (ネック長 18mm の例)

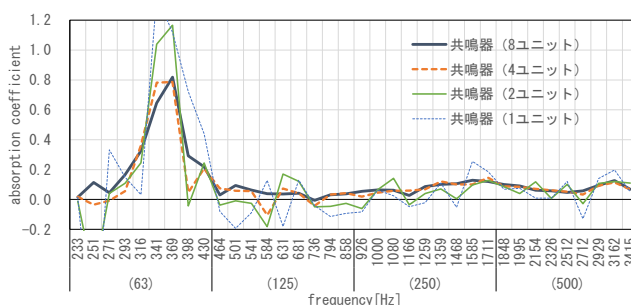


Fig. 4 共鳴器の設置面積の違い  
(共鳴器: ネック長 18mm, f<sub>0</sub>=405Hz)

#### 3. 2 模擬壁の隙間に関する実験<sup>5)</sup>

仕上げ壁に内蔵した共鳴器の吸音特性を検討するために、仕上げ壁を想定した壁 (以下、模擬壁) の空気層に共鳴器を設置して実験を行った。模擬壁の空気層を密閉すると、内部に設置した共鳴器の吸音特性に影響する可能性がある。そこで模擬壁の端部に隙間を設けて、その影響について検討した。模擬壁および共鳴器の設置状況の例を Fig. 5 に示す。実験に用いる共鳴器は、ネック長 2mm (f<sub>0</sub>=609Hz) とした。模擬壁は、床に設置するものとした。大きさは 863×600mm、空気層厚さは 40mm である。面材は、面密度 6.2~9.0kg/m<sup>2</sup> の石こうボード 9.5mm を参考に、面密度 1.4kg/m<sup>2</sup> のポリ塩化ビニル板 (以下、塩ビ板) 1mm とした。間柱は断面寸法 5×5mm の木材を 61mm 間隔で設置した。

##### 1) 隙間の幅について

模擬壁の短辺方向は、端部に隙間を設けた上で、アクリル板で側壁を設置した。実験は、隙間の幅を 4mm, 2mm, 1mm, 密閉 (隙間なし) の 4 パターンで行った。模擬壁の長辺方向は、壁として施工した場合の床・天井を想定し、アクリル板で隙間なく塞いだ。

吸音率の算出結果を Fig. 6 に示す。共鳴器のみ (模擬壁なし) の場合も併せて示す。吸音率が大きくなった周波数帯域は、共鳴器の共鳴周波数の設計値よりも若干低く、541Hz 帯域であった。この周波数帯域付近では、模擬壁端部の隙間が大きいほど吸音率も大きかった。隙間 1mm

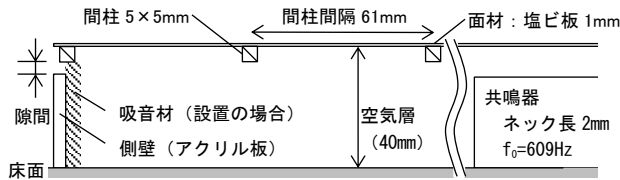


Fig. 5 予備実験における模擬壁および共鳴器の模式図



Fig. 8 模擬壁と共鳴器の設置例

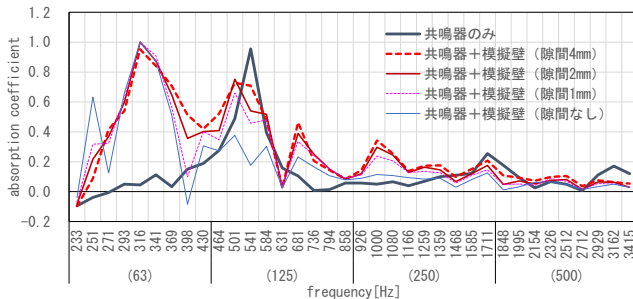


Fig. 6 模擬壁の隙間の幅の違い  
(共鳴器：ネック長 2mm,  $f_0=609\text{Hz}$ )

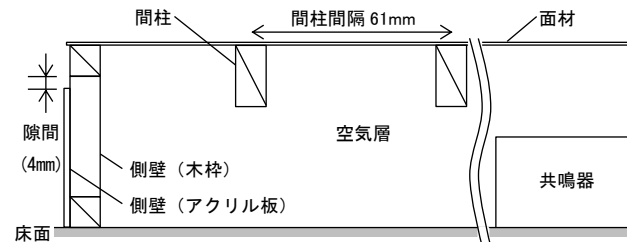


Fig. 9 模擬壁および共鳴器の模式図

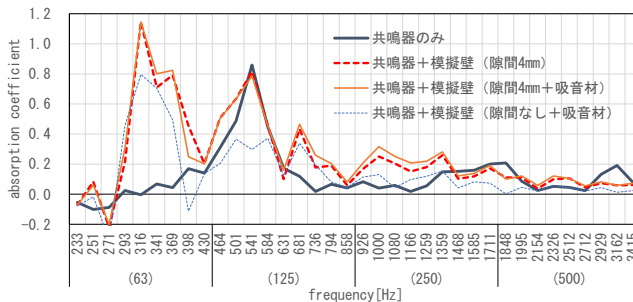


Fig. 7 模擬壁の隙間に吸音材を付加した場合の影響  
(共鳴器：ネック長 2mm,  $f_0=609\text{Hz}$ )

Table 1 実験に用いた模擬壁の実験条件一覧

実験条件	
空気層厚さ (mm)	40, 50, 60
間柱の断面寸法 (mm)	5×5, 10×10, 10×20
面材 (面密度)	塩ビ板 1mm (1.4kg/m <sup>2</sup> ), 合板 2.3mm (1.38kg/m <sup>2</sup> ), アクリル板 2mm (2.4kg/m <sup>2</sup> )

※共通 間柱の間隔：61mm  
内蔵する共鳴器はネック長 2mm ( $f_0=609\text{Hz}$ )

## 4. 模擬壁に内蔵した共鳴器の実験

模擬壁に内蔵した共鳴器の吸音特性を検討するために、模擬壁および模擬壁に内蔵する共鳴器の各種仕様を変えた場合について実験を行った。実験に用いた模擬壁の例を Fig. 8~Fig. 9 に示す。模擬壁の大きさは、前節の予備実験と同様に 863×600mm とした。模擬壁の天井・床に相当する部分および側面は木枠とアクリル板 2mm で塞いだ。ただし側面については、3.2 節の実験結果から、Fig. 9 に示すように幅 4mm の隙間を設けた。実験方法は予備実験と同様である。

### 4. 1 模擬壁の仕様に関する実験<sup>5)</sup>

模擬壁に内蔵する共鳴器はネック長 2mm ( $f_0=609\text{Hz}$ ) として、模擬壁の各種仕様を変更して実験を行った。模擬壁の実験条件の一覧を Table 1 に示す。模擬壁の空気層厚さは 40mm, 50mm, 60mm, 間柱の断面寸法は 5×5mm, 10×10mm, 10×20mm とした。間柱の設置間隔はいずれも 61mm である。面材は、石こうボード 9.5mm の面密度 6.2~9.0kg/m<sup>2</sup> を参考として選定した塩ビ板 1mm (面密度 1.4kg/m<sup>2</sup>) と合板 2.3mm (面密度 1.38kg/m<sup>2</sup>) に加えて、面密度の大きいアクリル板 2mm (面密度 2.4kg/m<sup>2</sup>) の 3 パターンとした。

であっても 0.5~0.7 程度であった。一方、側壁を密閉すると吸音率は 0.2~0.4 程度まで小さくなった。従って、本実験では、模擬壁の端部に隙間を設けるものとする。隙間の有無によらず、316Hz 帯域付近で吸音率が大きくなっていった。なお、模擬壁に内蔵した共鳴器の吸音率は、共鳴器の設置面積を用いて算出しているため、模擬壁自体による吸音率の変化は実際よりも大きな値となっている。

### 2) 隙間における音響抵抗の影響について

仕上げ壁の端部に隙間を確保する場合、壁内部へのほこり対策として吸音材や不織布を設置することが想定される。しかし、この隙間に音響上の抵抗となる材料を設置すると、共鳴器の吸音特性に影響を与える可能性がある。そこで模擬壁の端部隙間 4mm に吸音材を設置して実験を行った。吸音材は、グラスウール (密度 24kg/m<sup>3</sup>, 厚さ 25mm, 面密度で 600g/m<sup>2</sup>) を想定して、手芸用の芯材 (片面不織布付きのポリエステル綿, 厚さ 5mm, 面密度 120g/m<sup>2</sup>) を用い、隙間を含む側壁全体に設置した (Fig. 5)。

吸音率の算出結果を Fig. 7 に示す。側壁の隙間に吸音材があっても、共鳴器の共鳴周波数付近の吸音率はほとんど変化しなかった。



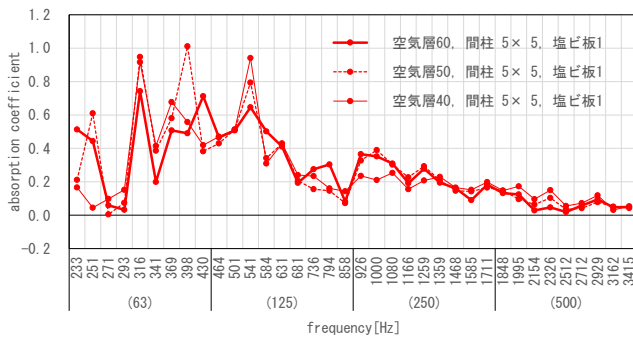


Fig. 10 空気層厚さの違い(間柱:5×5mm, 面材:塩ビ板1mm)

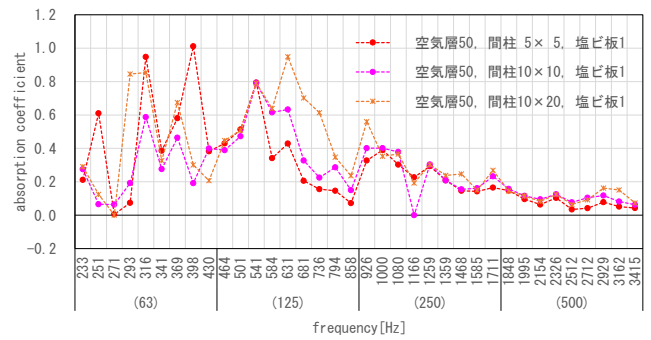


Fig. 13 間柱の断面寸法の違い  
(空気層:50mm, 面材:塩ビ板1mm)

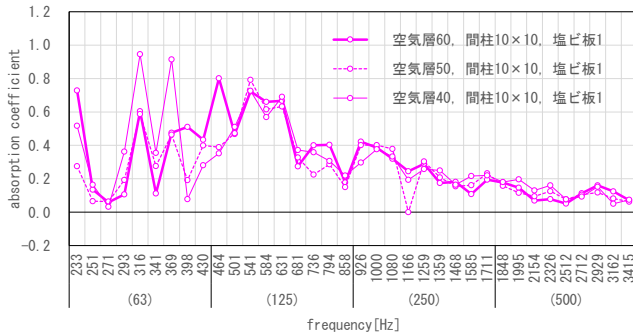


Fig. 11 空気層厚さの違い(間柱:10×10mm, 面材:塩ビ板1mm)

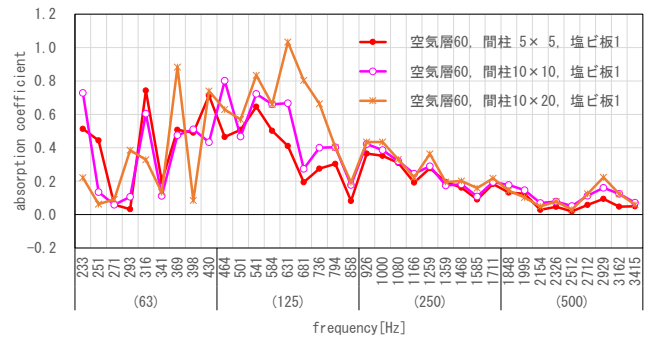


Fig. 14 間柱の断面寸法の違い  
(空気層:60mm, 面材:塩ビ板1mm)

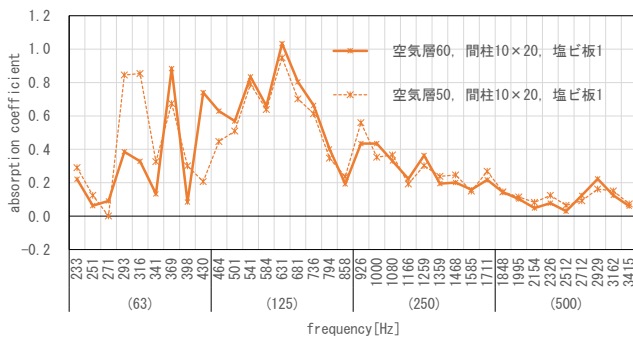


Fig. 12 空気層厚さの違い(間柱:10×20mm, 面材:塩ビ板1mm)

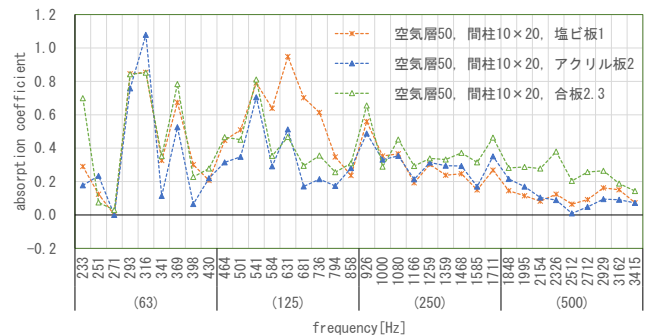


Fig. 15 模擬壁の面材の違い  
(空気層:50mm, 間柱:10×20mm)

吸音率の算出結果を Fig. 10～Fig. 16 に示す。共鳴器の共鳴周波数（設計値より若干低い 541Hz 帯域）付近の吸音率は 0.6～0.9 であった。

Fig. 10～Fig. 12 において空気層厚さの違いについてみると、共鳴器の共鳴周波数付近の吸音率は、間柱寸法 5×5mm では、空気層厚さが大きくなると吸音率も大きくなった。

Fig. 13～Fig. 14 において模擬壁間柱の断面寸法の違いについてみると、共鳴器の共鳴周波数付近の吸音率は、空気層厚さ 50mm では概ね同じだが、60mm では間柱寸法が小さいほど吸音率も小さかった。共鳴周波数より低い周波数帯域では、吸音率に差異がみられた。631Hz 帯域付近は、間柱寸法が大きいほど吸音率も大きかった。

Fig. 15～Fig. 16 において模擬壁面材の違いについてみると、共鳴器の共鳴周波数より低い周波数帯域は、概ね 293～316, 369Hz 帯域の吸音率が大きかった。空気層厚さ 60mm では 430Hz 帯域で吸音率が大きかった。塩ビ板 1mm

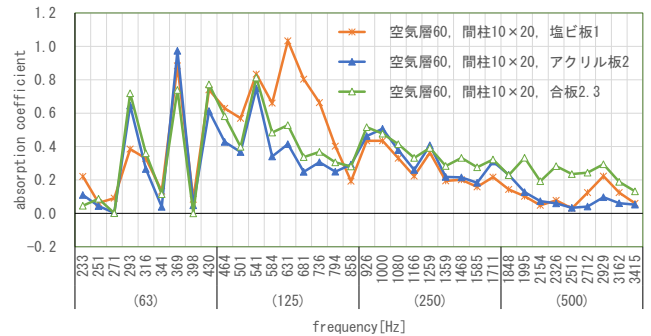


Fig. 16 模擬壁の面材の違い  
(空気層:60mm, 間柱:10×20mm)

では 631Hz 帯域の吸音率が大きかった。アクリル板 2mm および合板 2.3mm においては、そのような傾向はみられ

Table 2 吸音材と模擬壁の実験条件一覧

実験条件	
吸音材の組合せ	吸音材なし、上面に吸音材、内部に吸音材
模擬壁面材 (面密度)	塩ビ板 1mm (1.4kg/m <sup>2</sup> ), 合板 2.3mm (1.38kg/m <sup>2</sup> )
※共通	
	空気層厚さ: 60mm
	間柱の断面寸法: 10×20mm, 間柱の間隔: 61mm
	内蔵する共鳴器はネック長 2mm ( $f_0=609\text{Hz}$ )

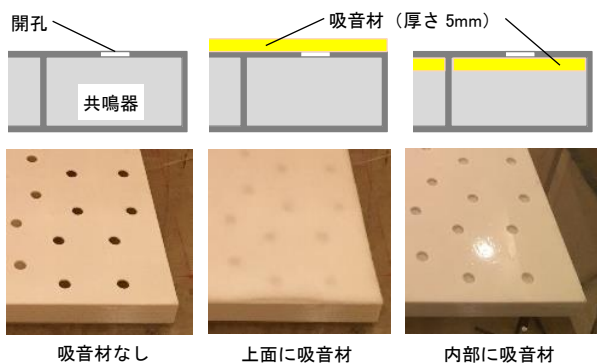


Fig. 17 共鳴器と吸音材の組合せ

なかった。

#### 4. 2 共鳴器と吸音材の組合せに関する実験<sup>5)</sup>

共鳴器を用いて広い周波数帯域で大きな吸音率を得るためには、吸音材を組み合わせることが一般的である。そこで共鳴器に吸音材を組み合わせた場合について実験を行った。模擬壁に内蔵する共鳴器はネック長 2mm ( $f_0=609\text{Hz}$ ) とした。

実験における吸音材と模擬壁の実験条件一覧を Table 2 に示す。吸音材は、予備実験と同様に手芸用の芯材 (片面不織布付きのポリエステル綿) を用いた。共鳴器の設置方法は、Fig. 17 に示すように、吸音材なし、共鳴器上面に吸音材 5mm、共鳴器内部に吸音材 5mm の 3 パターンとした。模擬壁の面材は、面密度が概ね同じで厚さや材料が異なる塩ビ板 1mm と合板 2.3mm の 2 パターンとした。

吸音率の算出結果を Fig. 18~Fig. 20 に示す。模擬壁なしで共鳴器を設置した場合 (Fig. 18) は、共鳴器に吸音材を組合せると、吸音材の取り付け位置に関わらず 430~631Hz 帯域で吸音率が 0.6 以上となっていた。

面材が塩ビ板の模擬壁に共鳴器を内蔵した場合 (Fig. 19) は、吸音材の有無に関わらず 430~584Hz 帯域で吸音率が大きく、概ね 0.6 以上であった。吸音材の有無による吸音率の変化は、模擬壁なしに比べると小さかった。さらに 293~341Hz 帯域付近および 681~736Hz 帯域付近で吸音率が大きくなっており、0.6 以上となっていた。比較として示した共鳴器を内蔵しない模擬壁の吸音率は、いずれの周波数帯域においても 0.5 以下であった。

面材が合板の模擬壁に共鳴器を内蔵した場合 (Fig. 20) は、吸音材の有無に関わらず 430~541Hz 帯域付近で吸音率が大きく、おおむね 0.6 以上であった。吸音率が大きくなる周波数帯域は、共鳴器の共鳴周波数の設計値よりも低くなる傾向がみられるが、面材が塩ビ板の場合より

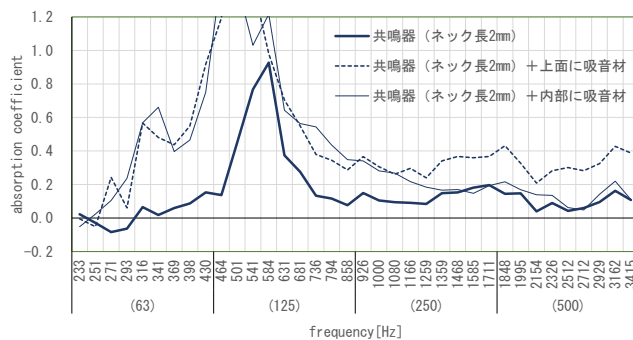


Fig. 18 共鳴器と吸音材の組合せ (模擬壁なし)

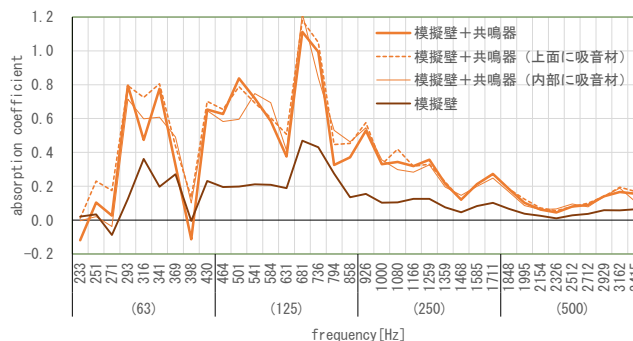


Fig. 19 共鳴器と吸音材の組合せ (模擬壁の面材: 塩ビ板 1mm)

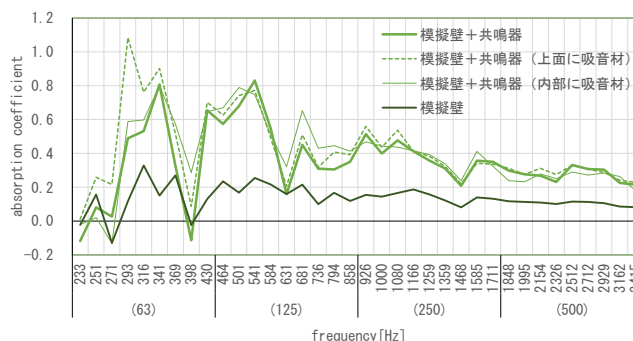


Fig. 20 共鳴器と吸音材の組合せ (模擬壁の面材: 合板 2.3mm)

もその差は小さかった。293~341Hz 帯域付近で吸音率が大きく、共鳴器上面に吸音材を設置した場合は、特に 293Hz 帯域で吸音率が大きくなる傾向がみられた。面材が塩ビ板の場合と比較すると、681~736Hz 帯域の吸音率は大きくなっていない。なお、共鳴器を内蔵しない模擬壁の吸音率は、いずれの周波数帯域においても 0.5 以下であった。

#### 4. 3 共鳴周波数の異なる共鳴器に関する実験<sup>5)</sup>

模擬壁に内蔵する共鳴器の共鳴周波数設計値  $f_0$  を変えた場合について実験を行った。実験における共鳴器と模擬壁の実験条件一覧を Table 3 に示す。内蔵する共鳴器は、ネック長 18mm ( $f_0=405\text{Hz}$ )、ネック長 7mm ( $f_0=513\text{Hz}$ )、ネック長 2mm ( $f_0=609\text{Hz}$ ) とした。模擬壁の面材は、前節と同様に塩ビ板 1mm と合板 2.3mm の 2 パターンとした。

吸音率の算出結果を Fig. 21~Fig. 23 に示す。模擬壁なしで共鳴器のみの場合 (Fig. 21) は、吸音率が大きくな

Table 3 共鳴器と模擬壁の実験条件一覧

	実験条件
内蔵する共鳴器	ネック長 18mm ( $f_0=405\text{Hz}$ ), ネック長 7mm ( $f_0=513\text{Hz}$ ), ネック長 2mm ( $f_0=609\text{Hz}$ )
模擬壁面材 (面密度)	塩ビ板 1mm (1.4kg/m <sup>2</sup> ), 合板 2.3mm (1.38kg/m <sup>2</sup> )

※共通 空気層厚さ: 60mm  
間柱の断面寸法: 10×20mm, 間柱の間隔: 61mm

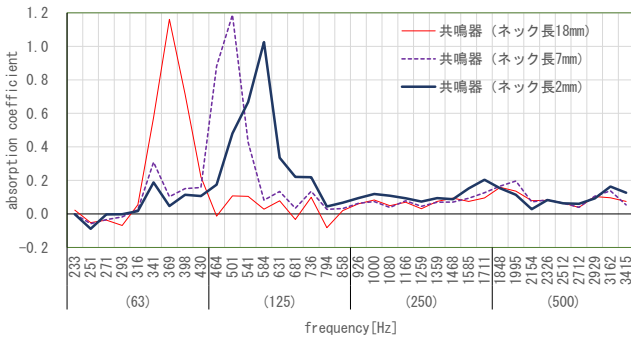


Fig. 21 共鳴周波数の異なる共鳴器 (模擬壁なし)

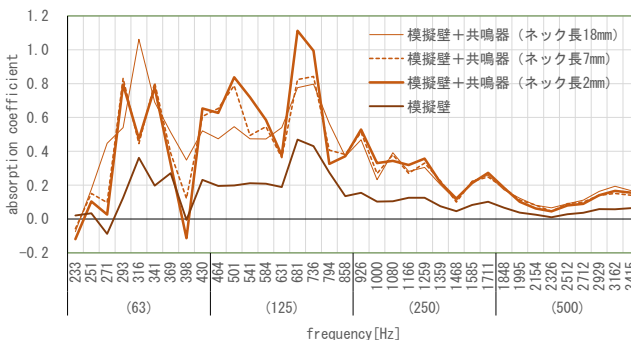


Fig. 22 共鳴周波数の異なる共鳴器 (模擬壁の面材:塩ビ板 1mm)

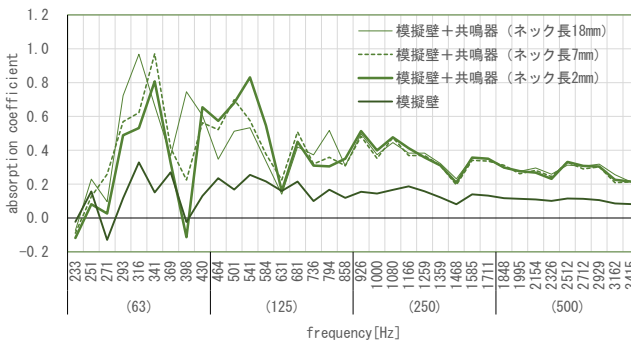


Fig. 23 共鳴周波数の異なる共鳴器 (模擬壁の面材:合板 2.3mm)

った周波数帯域はいずれの共鳴器においても共鳴周波数の設計値よりも若干低くなった。

面材が塩ビ板の模擬壁に共鳴器を内蔵した場合 (Fig. 22) は, 共鳴器の共鳴周波数の設計値に近い 398~584Hz 帯域では, 内蔵する共鳴器によって吸音率に変化がみられた。293~341Hz 帯域付近および 681~736Hz 帯域付近で吸音率が大きくなるのは, 3.1 節の実験結果と類似していた。ただし, 共鳴器のネック長が 18mm の場合は 316Hz 帯域の吸音率が大きくなるなど, 内蔵する共鳴器による違いもみられた。

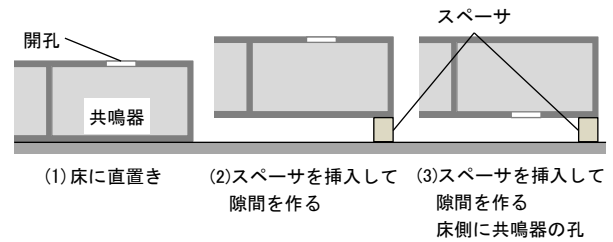


Fig. 24 共鳴器の設置方法

Table 4 共鳴器の設置方法の実験条件一覧

	実験条件
共鳴器と床の隙間	床に直置き (隙間なし), 隙間 2mm, 5mm, 10mm, 20mm
共鳴器の向き	孔が室内側, 孔が床側

※共通 共鳴器のネック長 2mm ( $f_0=609\text{Hz}$ )

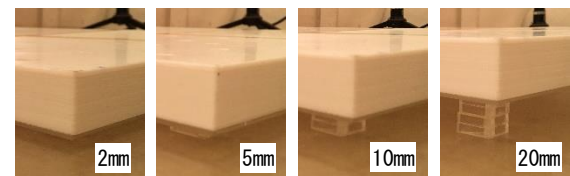


Fig. 25 共鳴器の設置方法 (床面との隙間の幅)

面材が合板の模擬壁に共鳴器を内蔵した場合 (Fig. 23) は, 共鳴器の共鳴周波数に近い 398~584Hz 帯域付近では, 内蔵する共鳴器によって吸音率に変化がみられるが, 面材が塩ビ板の場合とは周波数帯域が若干異なる。293~341Hz 帯域付近の吸音率が大きくなるのは, 3.1 節の実験結果と類似していた。

## 5. 共鳴器の設置方法に関する実験

模擬壁に内蔵する共鳴器の設置方法によって, 吸音特性は変化する可能性がある。そこで模擬壁なしで実験的に実験を行った。共鳴器の設置方法を Fig. 24 に示す。設置方法は, (1) 共鳴器を床に直置きにした場合, (2) 共鳴器と床面の間にスペーサを挿入して隙間を作った場合, (3) 共鳴器と床面の間に隙間を作ったうえで, 共鳴器を反転させて床側に孔を向けた場合を実験対象とした。

### 5. 1 共鳴器と床の隙間の幅について<sup>6)</sup>

共鳴器と床面の間の隙間について, 隙間の幅による影響を確認するためにネック長 2mm ( $f_0=609\text{Hz}$ ) の共鳴器を対象に実験を行った。共鳴器の設置方法の実験条件一覧を Table 4 に示す。隙間の幅の例を Fig. 25 に示す。隙間の幅は, 床に直置き (隙間なし) および隙間 2mm, 5mm, 10mm, 20mm とした。共鳴器は, 孔が室内側を向いている場合と床側に向いている場合の 2 パターンとした。

吸音率の算出結果を Fig. 26~Fig. 27 に示す。共鳴器の孔が室内側の場合 (Fig. 26) は, 共鳴器と床面の間に隙間を設けても, 共鳴器の共鳴周波数設計値付近の吸音率はほとんど変化しなかった。800Hz 帯域以上の周波数帯域

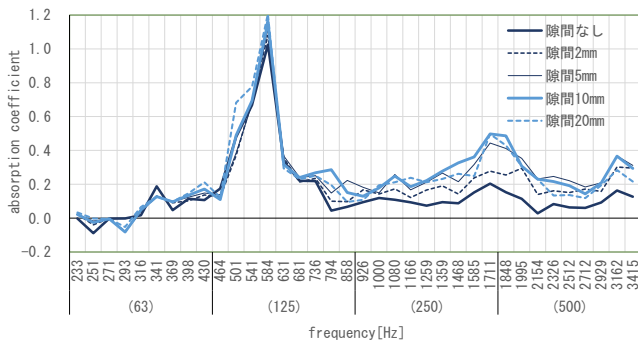


Fig. 26 共鳴器と床の隙間の幅の違い (共鳴器の孔が室内側)

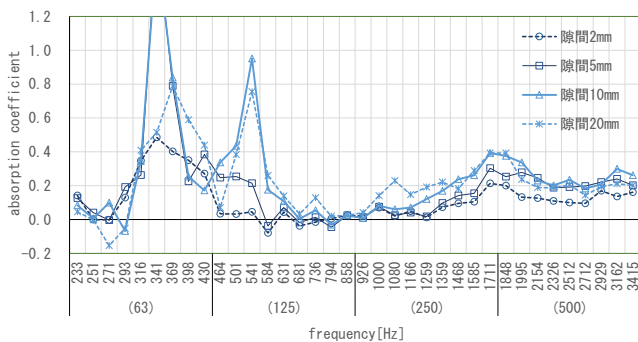


Fig. 27 共鳴器と床の隙間の幅の違い (共鳴器の孔が床側)

では隙間を設けた方が吸音率は大きくなる傾向がみられたが、0.5以下であった。隙間 5mm 以上は概ね同じ傾向であった。

共鳴器の孔の向きが床側の場合 (Fig. 27) は、共鳴器と床の隙間が 5mm, 10mm において 341Hz 帯域をピークとして吸音率が大きかった。隙間が 2mm の場合も 341Hz 帯域に吸音率のピークがみられるものの、吸音率は 0.5 以下であった。また、隙間が 10mm, 20mm の場合は 541Hz 帯域でも吸音率が大きくなり、0.6 以上であった。

### 5. 2 共鳴器の共鳴周波数と設置方法について<sup>6)</sup>

共鳴周波数設計値  $f_0$  が異なる共鳴器について、設置方法を変化させて実験を行った。共鳴器とその設置方法の一覧を Table 5 に示す。使用する共鳴器は、ネック長 18mm ( $f_0=405\text{Hz}$ )、ネック長 7mm ( $f_0=513\text{Hz}$ )、ネック長 2mm ( $f_0=609\text{Hz}$ ) とした。共鳴器の向きは、孔が室内側の場合と床側の場合の 2 パターンである。共鳴器の設置方法は、床に直置きした場合と共鳴器と床の隙間が 10mm の場合とした。

吸音率の算出結果を Fig. 28~Fig. 30 に示す。前節と同様に、共鳴器の孔が室内側の場合は、共鳴器と床の隙間による影響はほとんど見られないが、孔の向きが床側の場合には、共鳴器の共鳴周波数設計値に関わらず 341Hz 帯域において吸音率が大きくなっていった。ただしネック長が 2mm の場合のみ、541Hz 帯域においても吸音率が大きくなっていった。

Table 5 共鳴器とその設置方法の実験条件一覧

	実験条件
使用する共鳴器	ネック長 18mm ( $f_0=405\text{Hz}$ )、ネック長 7mm ( $f_0=513\text{Hz}$ )、ネック長 2mm ( $f_0=609\text{Hz}$ )
共鳴器の向き	孔が室内側、孔が床側
共鳴器に設置方法	床に直置き、共鳴器と床の隙間：10mm

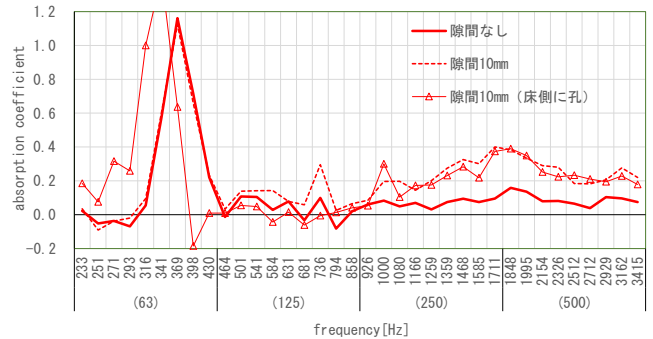


Fig. 28 共鳴器の設置方法の違い (共鳴器：ネック長 18mm,  $f_0=405\text{Hz}$ )

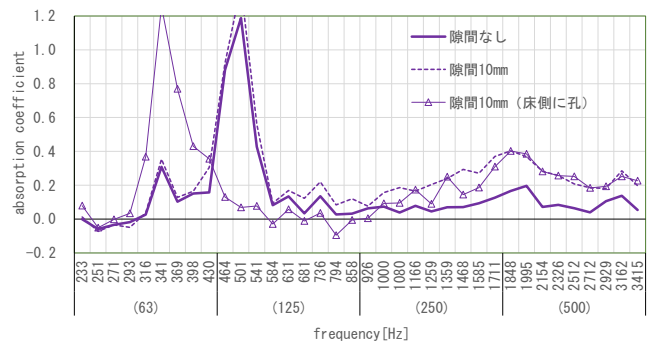


Fig. 29 共鳴器の設置方法の違い (共鳴器：ネック長 7mm,  $f_0=513\text{Hz}$ )

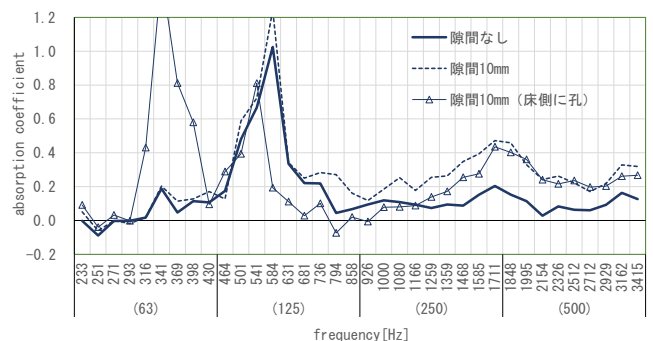


Fig. 30 共鳴器の設置方法の違い (共鳴器：ネック長 2mm,  $f_0=609\text{Hz}$ )

## 6. まとめ

内装壁に内蔵した共鳴器の吸音特性について、縮尺模型実験により検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 共鳴器の開孔部が室内に面していなくても、模擬壁の端部に隙間を設けることで共鳴器の共鳴周波数付近で吸音率が大きくなることを示した。模擬



壁の仕様を変化させた場合においても共鳴周波数付近の吸音率は概ね0.6以上であった。

- 2) 模擬壁と共鳴器を組み合わせることで、共鳴器の共鳴周波数とは異なる周波数帯域でも吸音率が大きくなった。模擬壁の板振動による吸音が考えられる。ただし、模擬壁間柱の断面寸法や面材の種類、内蔵する共鳴器によって吸音率の大きさや周波数に違いがみられる場合があった。引き続き検討が必要であるが、これらを適切に組み合わせ、より広い帯域で吸音性能を高くできる可能性が示唆された。
- 3) 模擬壁の端部の隙間に吸音材を設置しても共鳴器の共鳴周波数付近の吸音率はほとんど変化しなかった。実際の建物では、内装壁の空気層にほこりなどが入らないようにする目的で隙間部へ吸音材や不織布などを設置することも想定されるが、今回の実験で用いたような吸音材では吸音特性に大きく影響しないと考えられる。
- 4) 模擬壁に内蔵する共鳴器に吸音材を組合せた場合、今回実験した233~3,415Hz帯域（実周波数でオクターブ63~500Hz帯域）の範囲においては吸音率の大きさへの影響は小さかった。一方で、周波数帯域が変化する場合があった。吸音材がネック部の質量を増加させる要因として作用したなどの理由が想定され、さらなる検討が必要であると考えられる。
- 5) 模擬壁の面材の違いによって、特定の周波数帯域で吸音率が大きくなった。模擬壁に内蔵した共鳴器の吸音率は、模擬壁面材の板振動の影響も想定されることから、面密度だけでなく厚さなども考慮が必要と考える。
- 6) 共鳴器の設置方法に関する実験では、孔の向きに

よって吸音率が大きくなる周波数帯域が変化していた。模擬壁の面材や共鳴器だけでなく、共鳴器孔側の前面にある空気層が相互に影響を与えて、吸音率の大きくなる周波数帯域が変化している可能性が示唆される。

今後はさらに模型実験で詳細を確認するとともに、実大の実験を行い、実建物への適用について検討を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 例えば、阪上公博編著：建築音響，p.102，コロナ社，2019.12
- 2) 杉江聡，吉村純一，岩瀬昭雄：二重壁の中空層内に設置されたレゾネータの遮音性能に与える影響—実験的検討—，日本音響学会建築音響研究会資料 AA2007-30，2007.7
- 3) 橋秀樹，坂本慎一，丁千，大脇雅直：沿道建物のファザードの遮音性能向上について，日本建築学会大会学術講演梗概集，40080，pp.173-176，2001.9
- 4) 井上尚久，孔敬受，佐久間哲哉：背後空気層を有する背面穿孔ハニカム板の吸音特性—2 自由度モデルに基づく考察—，騒音制御 Vol.44 No.6，pp.326-333，2020.12
- 5) 財満健史，大脇雅直：内装壁に内蔵した共鳴器の吸音性能に関する縮尺模型を用いた実験的検討，日本音響学会建築音響研究会資料，AA2022-06，2022.3
- 6) 財満健史，大脇雅直：仕上げ壁に内蔵した共鳴器の吸音性能に関する検討，日本音響学会講演論文集，1-12-10，2022.9
- 7) 例えば，横山栄：残響時間の測定における注意点，日本音響学会誌 68巻8号，pp.403-408，2012.8
- 8) 橋秀樹，日高新人，今西由利，石井聖光：建築音響における模型実験法に関する研究，東京大学生産技術研究所報告，Vol.35 No.4 (Serial No.225)，1990.3
- 9) 岩瀬昭雄，白幡桂子，五十嵐暁子：共鳴器型吸音の共鳴周波数のより低周波数化について，日本音響学会講演論文集，1-9-12，pp.1203-1206，2012.3
- 10) JIS A 1409:1998 残響室法吸音率の測定方法

## Experimental study on the sound absorption characteristics of resonators built into interior walls

ZAIMA, Takefumi and OWAKI, Masanao

#### Abstract

When reducing sound propagated from factories and equipment, sound insulation measures are often taken as well as sound absorption measures in the room to suppress the increase in sound pressure level on the sound source side. Sound absorption in a room attenuates noisiness and is expected to improve worker safety and the work environment. However, in places where water is handled or where there is a lot of dust, there is concern that the sound absorbing performance may deteriorate due to the water content of the sound absorbing material or clogging by dust. The interior walls of a building are relatively unaffected by water and dust within the air layer of the interior walls. Therefore, the sound absorption characteristics of a resonator installed within the air layer of an interior wall were experimentally investigated using a 1/5-scale acoustic model. The results showed that when a gap is provided at the edge of the wall simulating an interior wall, the sound absorption coefficient increases near the resonant frequency of the resonator, even if the apertures of the resonator do not face the room interior. It was also shown that the combination of the simulated wall and the resonator increases the sound absorption coefficient, even in a frequency band different from the resonant frequency of the resonator.

Key words: Resonator, Interior wall, Sound absorption characteristics, Scale model experiments