

5. やさしい防音講座
—防音の基礎知識②—
2. 吸音の仕組みと吸音材料
3. 遮音の仕組みと遮音材料

日本環境アメニティ(株) 齋藤 秀和

今回は、「1. 音とは？ 防音とは？」として、音が聞こえる仕組みや、音の性質を決める3要素などを解説しました。今回は、引き続き、「2. 吸音の仕組み・吸音材料、3. 遮音の仕組み・遮音材料」を解説します。

2. 吸音の仕組みと吸音材料

2.1 吸音とは

吸音とは、吸音材が音を吸収して、音の反響を小さくすることです。吸音対策とは、その部屋内で発生した音の反射を小さくするために、天井や壁に吸音材を設置し、室内の響きの低減・反射の抑制・室内騒音レベルを低減させることです。どのような場合に、吸音対策が必要となるのでしょうか？

吸音対策は、主にホールや音楽スタジオ、映画館や試写室、音楽室、練習室など、音を楽しむことに特化した場所に、音の不必要な反響を抑えるために施されます。なお、部屋の外に音が漏れないようにする遮音効果はありません。遮音や防振対策と違い、一般的な住宅には基本的に必要ありません。しかしピアノ室やオーディオルームなど、音が重要視される部屋がある場合には、響き(残響時間)を調整するために必要になります。意外な場所としては、空調設備などが設置されている機械室に施工する場合があります。機械室では、室内で発生する機械音が床・壁・天井で反射を繰り返し、エネルギーが増大してしまうことがあります。そうすると当然、外へ漏れる騒音・固体伝搬音も、大きくなります。吸音対策を施すことで、こうしたエネルギーの増幅を防ぐ効果が期待できます。

2.2 吸音の仕組み

吸音対策は、吸音材料に音が入射した時に、その音の反射の度合いが相対的に小さくなるようにすることです。具体的には、吸音材料内において音のエネルギーを熱エネルギー(摩擦熱)に変えて吸収したり、背面に逃したりしています(図1)。

音のエネルギー E_i が材料に入射したとき、その一部

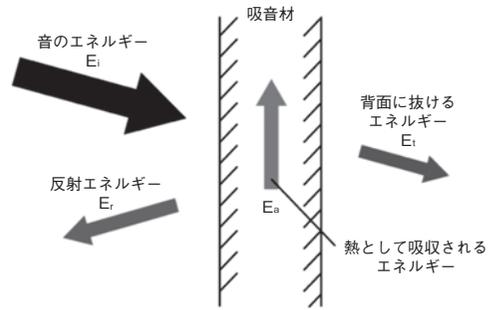


図1 吸音の仕組み

は反射されるエネルギー E_r となります。また、その一部は内部で熱となって吸収されるエネルギー E_a となり、残りが背面に抜けていくエネルギー E_t となります。このとき、入射エネルギー E_i に対して、反射されなかったエネルギー($E_i - E_r$)の割合を吸音率 α といいます。吸音率は、 $\alpha = E_i - E_r / E_i$ で表すことができます。吸音率は、吸音の程度を0~1の数値で表したものです。吸音率1とは、音の反射が一切ない(音が全部吸収されている)ことを意味します。吸音材料のカタログには、吸音率が必ず記載されています。この値を見れば、その材料でどれくらい吸音できるのかが分かります。

2.3 吸音材料の種類と特徴

吸音材料はその吸音機構(吸音の原理)から、多孔質材料、板(膜)状材料、有孔板の3種類に分類されます。外観上の特徴が吸音機構にも関係しており、それによって吸音の周波数特性も異なっています。

(1) 多孔質材料

多孔質材料とは、材料中に多数の空隙や連続した気泡がある材料です。これに音が当たると、材料中の空気が振動する際に抵抗が働き、音のエネルギーが繊維間の摩擦によって熱エネルギーに変換され、吸音効果が生じます。具体的な材料は、グラスウール、ロックウール(岩綿吸音板)、木毛(もくもう)セメント板、ウレタンフォームなどです。なおグラスウールは、ガラス繊維を綿状に加工したもので、吸音材の他に断熱材、防火性を高める不燃材料としても使用されます。ロックウールは、人造の鉱物繊維です。これを板状に加工したものが、岩綿(がめん)吸音板です。木毛セメント板は、木材を薄いひも状に削ったものをセメントペーストで圧縮成型したものです。

多孔質材料の吸音周波数特性は、中・高音域の音に対して吸音性能が高い特徴があります(図2)。低音域側の吸音率を高めるには、材料を厚くするか、背後に

空気層を設けます。図2のグラフから、背面の空気層を大きくする(a)と、小さい場合(b)にくらべ、低音域の吸収率が高くなる半面、ある一定の音域以上になると、逆に吸収率が低下することが読み取れます。また多孔質材料の厚さ・密度の値を大きくした場合(c)、同値が小さい場合(d)よりも全音域で吸収率が向上しています。

多孔質材料は柔軟で耐候性の低いものが多いので、内装仕上げとして使用する際には、表面に通気性の良いクロスやフィルム、有孔板やリブ材などが保護材として表面材に用いられます。この表面材の選択によっても、吸収率は変動します(図2グラフ)。

また、天井仕上げとして使用されることが多い岩綿吸音板は、現場で着色する際にローラ塗りやはけ塗りにすると、虫食い状の表面を埋めることとなり、高音域の吸収率が低下してしまいます。水溶性塗料の吹付塗装にするなど、注意が必要です。

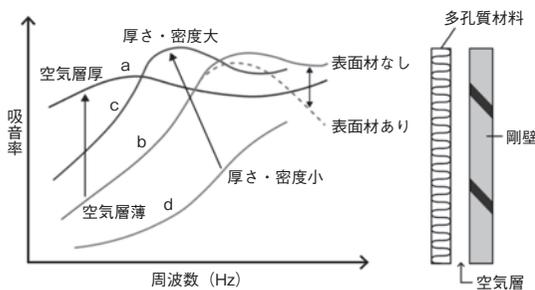


図2 多孔質材料の吸音特性

(2) 板(膜)状材料

板(膜)状材料は、剛壁の前に枠を設けて取り付けることで、背面に空気層を作って使用します(図3右、断面図)。このような状態で、板が振動しやすい周波数(共振する周波数)の音が板に入射すると、板の内部摩擦によって音のエネルギーが熱エネルギーに変換され、吸音効果が生じる機構となっています。材料としては、合板、石膏ボード、ビニルシート、帆布カンパスなどが該当します。

板(膜)状材料の吸音の周波数特性は、低音域の共鳴周波数でピークを持つ山形で、中・高音域の吸音性能が小さいのが特徴です(図3グラフ)。膜状材料の場合は、膜状材料へ与える張力も吸音性能に関係してきます。板(膜)状材料は、単体での使用ではなく、背面に多孔質材料を組み合わせるケースが多いです。同

時に、背後の空気層の厚さを調整することにより、吸収率を高めることができます。なお図3グラフの数値は、板(膜)状材料の背面に多孔質材料を組み合わせた場合に、背後の空気層の厚さの大小によって生じる吸収率の変化を示したものです。

表面塗装は、材料の振動にほとんど影響しないので、吸音特性も変わりません。板(膜)状材料は、吸音材料として製品化されているものは、それほど多くありません。しかし一般的な内装材として用いたボード類が、意図せずに低音域のみを吸音してしまうことがあります。一般家庭では特に問題ありませんが、音の響きの調整が必要な部屋の場合には、音のバランスが崩れる原因となりえますので注意が必要です。

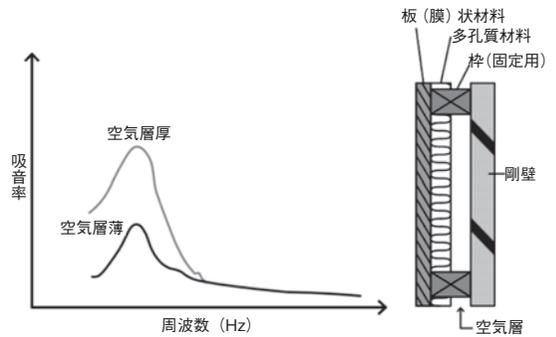


図3 板(膜)状材料の吸音特性

(3) 有孔板

有孔板とは、空洞と孔による吸音機構を持った板です。図4左を見てください。このような空洞に孔が開いた形の共鳴器に音が当たると、ある特定の周波数でワーンと響いて聞こえる共鳴現象が生じます。

有孔板は、この共鳴器が孔の数だけ並んだものだと考えてください。共鳴する周波数付近の音が当たると、孔部分の空気が激しく振動し、孔部分の摩擦で音のエネルギーが熱エネルギーに変換されて吸音効果が生じる機構となっています(図4右)。具体的には、有孔ケイ酸カルシウム板、有孔合板などが該当します。

有孔板の吸音周波数特性は、任意の周波数(共鳴する周波数)にピークを持った山形に調整できることが特徴です(図5)。これは、吸音の周波数特性が板の厚さ、孔径、孔ピッチ、背後空気層の条件によって、大きく変化するためです。また、有孔板のすぐ背後にグラスウールなどの多孔質材料を置くことで、より抵抗が増え、共鳴周波数を中心としてより広帯域で吸音させる

ことが可能になります。

図5aの線が、有孔板を使用した場合の標準的な吸音率を示しています。なお、 f_0 は吸音率が最大となる共鳴周波数のことです。背面の空気層の厚さが厚い場合、 a の共鳴周波数は低い値(グラフ左)に移動します。反対に、空気層の厚さが薄い場合、共鳴周波数は高い値(グラフ右)に移動します。有孔板の場合、開口率も重要な要素です。開口率とは、板に孔の開いていない状態を100として、そのうちの何%の面積が孔になっているのかを示したものです。開口率は、孔の大きさと間隔(ピッチ)によって決まります。孔の間隔(ピッチ)が狭くなる(共鳴器の数が増える)ことにより、開口率が大きくなる場合、一般的に吸音率が向上します。一方、孔の大きさが大きくなることで開口率が大きくなる場合は、共鳴周波数が高い帯域へ移動します。

有孔板も単体での使用より、背後に多孔質材料を設置して使用することが多いです。背面に多孔質材料を置いた場合、図5グラフのaの吸音率が、上の大きな山のラインまで引き上げられます。ただ、多孔質材料の設置位置を有孔板から大きく離しすぎると、本来その組み合わせで得られるはずの吸音率よりも低下することがあります。有孔板背後の多孔質材料の設置位置については、注意が必要です。

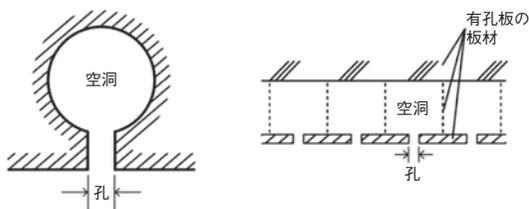


図4 共鳴器(左)と有孔板の吸音機構(右)

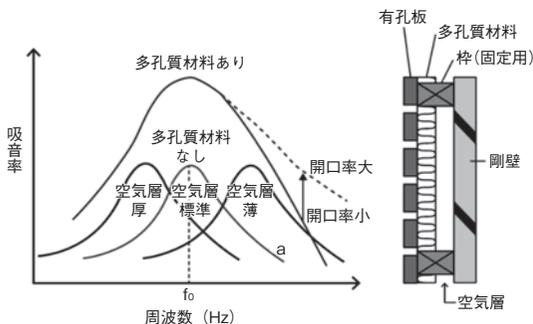


図5 有孔板の吸音特性

本章では、吸音の仕組みとさまざまな吸音材料の特性を説明しました。吸音材料の種類によって、吸音率の高い周波数域が異なることを把握し、要望に応じた吸音設計を実現できるようにしましょう。

3. 遮音の仕組みと遮音材料

一般的な防音対策には、吸音、遮音、防振の3つがあります。前章では、その中から吸音を解説しました。本章では、遮音の仕組みと遮音材料について掘り下げます。

3.1 遮音の仕組み

遮音とは、遮音材料で音を遮ることです(図6)。ある材料に音が入射した時(E_i)に、その音のエネルギーは反射されたり(E_r)、材料内において熱エネルギー(摩擦熱)となって吸収されたり(E_a)、元のエネルギーよりも小さくなって背面に抜けたりします(E_t)。

入射する音のエネルギー E_i に対し、背面に透過するエネルギー E_t の比を透過率 τ といいます。つまり透過率 τ は、 E_t/E_i で表されますが、透過損失TLとは、この透過率 τ の逆数をdB表示したもので、 $TL=10\log_{10}(1/\tau)$ の式で表します。この透過損失は、遮音の程度を表したもので、数値が大きいほど遮音性能は高くなります。

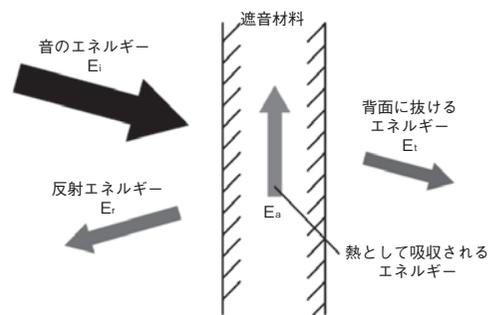


図6 遮音の仕組み

遮音を考える上で最も大切な法則に、質量則があります。

質量則とは、ガラスやコンクリートのような単一の材料で構成された材料は、基本的には単位面積当たりの質量(面密度)が大きいほど、また同じ面密度(厚さ)であれば周波数が高いほど、透過損失(遮音性能)が大きくなる、という法則です。

透過損失(垂直入射の場合)を TL_0 (dB)、周波数を

f(Hz), 面密度を $m(\text{kg}/\text{m}^2)$ で示すと, 透過損失は, $TL_0 = 20\log_{10}(f \cdot m) - 42.5(\text{dB})$ の式で求めることができます。この質量則からは, 面密度(厚さ)を倍にしても, 遮音性能は約5~6 dB程度しか増えないことがわかります(ランダム入射の場合には,

$$TL = TL_0 - 10\log_{10}(0.23 TL_0).$$

そしてもう一つ, 均質単板の透過損失を左右する, コインシデンス効果という現象も重要です。これは透過損失(遮音性能)が特定の周波数において, 質量則で算出される値に比べて著しく低下する現象のことです(図7)。材料が硬いほど, 同一の材料では厚みが厚いほど, 低い周波数で効果が生じます。

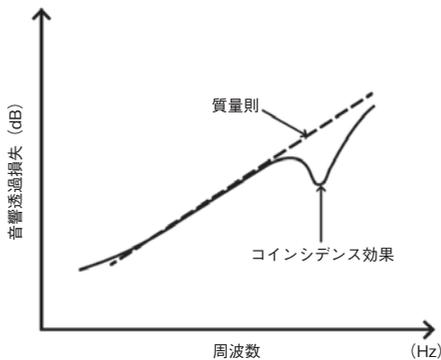


図7 質量則とコインシデンス効果

3.2 遮音材料の種類と特徴

遮音材料とは, 材料に音が入射した時に, 音のエネルギーを透過させにくい材料です。しかし, 遮音目的に特化した遮音材料と呼ばれる材料群が, 数多く製造・販売されているわけではありません。通常, 石こうボードや合板, コンクリートブロックなどの身近な建築材料が, 遮音材料として用いられています。

遮音材料は, 構造から4種類に分類されます。一重壁, 二重壁, 複合材料, 窓・扉の4つです。一般的な遮音材料としては, 軽量・施工時の省力化といったメリットから, ボード系の乾式壁が多く用いられます。また, 遮音特性だけでなく, 耐火性能, 強度, 耐水性などが必要とされる場合もあるので, 使用の際には併せて考慮しましょう。近年ではボード構成や下地の組み方を工夫することで, より高い遮音性能を有する遮音壁構造も開発されており, 材料単体だけでなく, 下地や構造まで含めた点から比較・選定していくことが大切です。それでは, 遮音材料を4つの種別ごとに見ていき

みましょう。

(1) 一重壁

一重壁の遮音材料には, コンクリート壁やガラスのように, 単一の材料で構成されたものが該当します。これらは, 中高音域では, 質量則やコインシデンス効果で性能が近似されます。

例えば単板ガラスの場合, 厚さによってコインシデンス効果が生じる周波数が変わります。周波数によっては, 薄いガラスの方が, 厚いガラスより遮音性能が高くなる場合があります(例: 図8で2,500 Hzにおける3 mm厚と5 mm厚)。

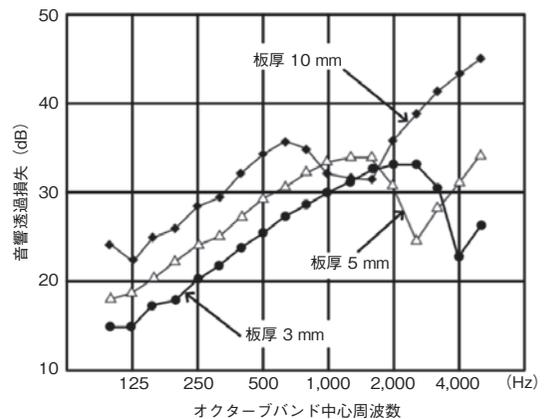


図8 単板ガラスの音響透過損失

(2) 二重壁

二重壁の遮音材料には, ボード系の中空壁や, 間仕切り壁などが該当します。図9を見てください。

中高音域では, 一重壁の質量則から想定される値(図

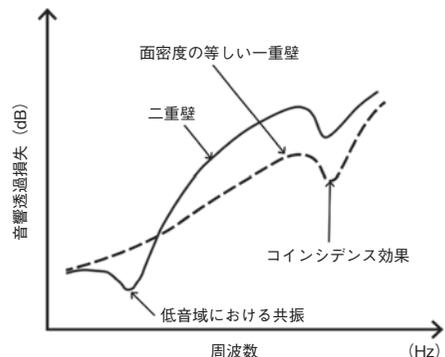


図9 二重壁の透過損失の周波数特性

9の点線)以上の性能が得られますが、低音域においては板が振動しやすい周波数(共振する周波数)を中心に性能が低下します。また高音域でも、一重壁同様に表面材のコインシデンス効果によって性能が落ち込みます。

図10は、ボード間仕切り壁の遮断性能グラフです。同じ厚さの石こうボードを鋼製下地の両側に貼る場合、1枚だけ貼るより2枚ずつ重ねて貼った方が、厚さが増えるため、全帯域で遮音性能が高くなります(図10のAとB)。また、中空層にロックウールやグラスウールなどの多孔質吸音材を挿入すると、さらに遮音性能が向上します(図10のBとD)。

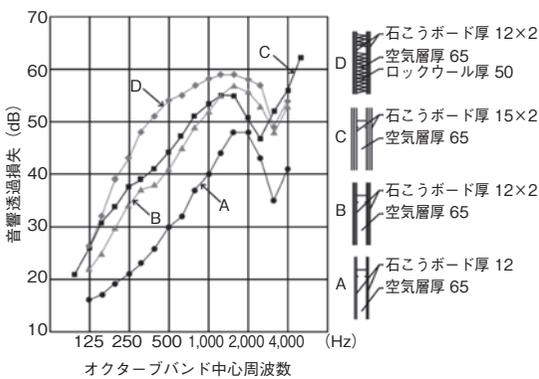


図10 ボード間仕切り壁の音響透過損失

(3) 複合材料

複合材料の遮音材料には、遮音パーティションなどが該当します。複合材料は、材料の種類や構成によって遮音特性が変化するので、注意が必要です。サンドイッチパネル状(2枚の表面材の間に、発泡材や断熱材を挟んだもの)で、中間層を構成する材料が下地構成材料の機能も兼ねている場合が多いようです。中間層の材料の剛性が比較的小さい時には二重壁に、剛性が大きい時には質量則に近い透過損失特性となります。

オフィスのパーティションに使われることが多いサンドイッチパネルでは、中空壁内に多孔質吸音材や発泡材、ハニカムなどを入れて遮音性能を上げているものがあります。

(4) 窓と扉

開口部の遮音材料には、防音サッシや防音扉などが使われます。普通の扉との違いは、扉本体の遮音性能の高さに加え、戸当たり部分からの音漏れを防ぐ工夫

がされている点です。この場合の戸当たり部分とは、戸が閉まった時に当たるドア枠の部材のことです。窓の場合は、隙間からの音漏れを防ぐために、はめ殺しにすることもあります。はめ殺しとは、ガラスを一度取り付けてしまったら、開閉したり、取り除くことができない固定方法のことです。

特に床や壁・天井を遮音構造とした場合、窓や扉の開口部の遮音性能が、最終的に建築物の総合的な遮音性能を決める要因となることが多いので、より高い遮音性能が必要な場合には、壁と同様、扉や窓を二重にすることもあります(図11)。

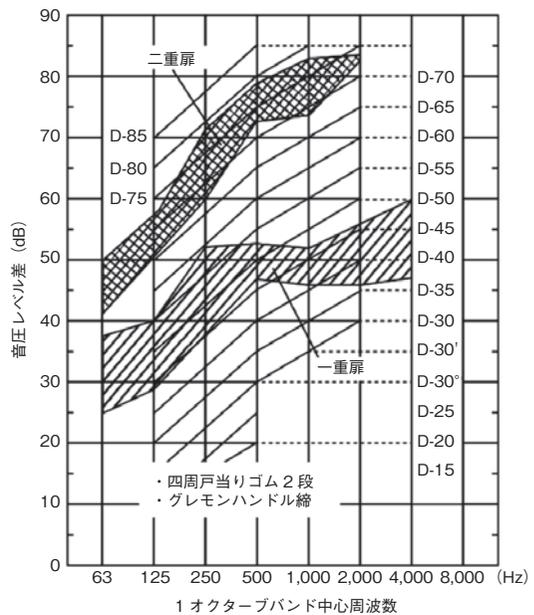


図11 防音扉の音響透過損失

本章では、遮音の仕組みと遮音材料について解説しました。次回は、「4. 防振の仕組みと防振材料、5. 騒音・振動の防止設計」を予定しています。

【参考文献】

- 1) 日本音響材料協会；特集：音響材料の使い方と技術資料集，音響技術 No.159, 2012
- 2) 前川純一，森本政之，阪上公博；建築・環境音響学，共立出版，1990
- 3) 日本騒音制御工学会；特集：建築音響の基礎知識，騒音制御 Vol.32, No.5, 2008
- 4) 日本音響材料協会；特集：高性能遮音構造，音響技術No.120, 2002.