

3. やさしい防音講座  
—防音の基礎知識③—  
4. 防振の仕組みと防振材料  
日本環境アメニティ(株) 齋藤 秀和  
5. 騒音・振動の防止設計  
日本音響エンジニアリング(株) 小池 宏寿

前回まで、「1. 音とは？ 防音とは？」、「2. 吸音の仕組み・吸音材料」、「3. 遮音の仕組み・遮音材料」を解説しました。今回は、引き続き、「4. 防振の仕組み・防振材料、5. 騒音・振動の防止設計」を解説します。

#### 4. 防振の仕組みと防振材料

一般的に防音対策と呼ばれるものには、吸音、遮音、防振の3つの方法があります。今回は、その中から遮音を解説しました。今回は、防振の仕組みと防振材料について掘り下げます。

##### 4.1 防振の仕組み

防振とは、振動する機械や空調機などの振動体から、建物へ伝達する振動(固体伝搬音)をできるだけ小さく制御することです。空気音の騒音の場合、壁などの遮音体を通過するたびに減衰するので、離れた部屋に大きな騒音が届くことはありません。

一方、固体伝搬音は壁や床・天井などの構造物(固体)を振動となって音が伝わっていくので、離れた部屋まで騒音が伝わることもあり注意が必要です。

固体伝搬音を抑えるためには、構造物の固有振動数(単位時間あたりに振れる回数)を考える必要があります。

固有振動数とは、ある物体が強く反応して激しく揺れる振動数のことで、どのような物体にも、固有振動数があります。一方、物体は固有振動数から大きく離れた振動数で揺すられても、ほとんど反応せず、大きく揺れることはありません。そこで物体を防振材で支持した時に形成される、振動系(防振系)の固有振動数を、対象となる騒音の振動から大きく離すことにより、振動の伝達を小さくすることができます。

防振系の固有振動数  $f_0$ (Hz)は、防振材の動的ばね定数を  $k$ (N/m)、振動系の質量を  $m$ (kg)とした場合、次式で表されます。

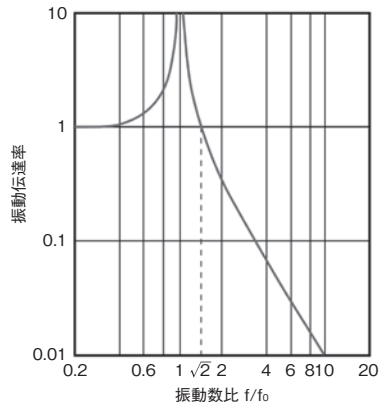


図1 振動数比と振動伝達率の関係

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

この固有振動数と振動の伝達の割合(振動伝達率)の関係を表したものが、図1です。固有振動数を1とした時、その $\sqrt{2}$ 倍の周波数が伝わってきた時に同じ大きさの振動が伝わり、それ以上の周波数の振動が伝わってきた時に、有効な防振効果が得られます。

また、人間の耳の可聴範囲が20~20,000 Hz程度であることから、音に関する問題は50 Hz程度の低音域からが対象となりやすく、対象となる周波数と固有振動数の差が4倍以上になると振動伝達率が10%以下になることから、一般的には固有振動数の目標値を15 Hz以下とすることが多いです。ホールやスタジオなど、高い遮音性能が要求される時には、10 Hz以下に設定されることもあります。

##### 4.2 防振材料の種類と特徴

防振材料とは、振動の伝達を小さくするために用いられる材料のことです。一般的によく知られている防振ゴムのほか、エラストマーや高密度の多孔質材料などを使用することもあります。

###### (1) 防振ゴム(図2)

防振ゴムは施工性がよく、ばね定数が広範囲に選べ、共振時の振幅も過大にならないため、よく使用されます。一般的な丸型や角型の防振ゴムは、圧縮方向の力を支持することを主としており、せん断力や引張力に対しては非常に弱いので、取り付け時には防振ゴムの圧縮方向に荷重がかかるように取り付ける必要があります。また同時に、水平方向の振れ止めも必要となります。防振ゴムの選定は、固定荷重+積載荷重が防振ゴムの許容荷重以下となるように、かつ積載荷重がな

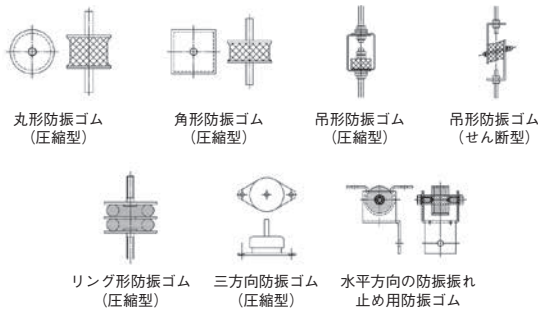


図2 さまざまなタイプの建築用防振ゴム

い状態でも固有振動数が目標値以下となるように選定します。この選定が適切に行われないと、意図した防振性能が得られないばかりか、対象周波数によってはかえって増幅してしまい、防振していない状態よりも悪い状況になることもあります。防振ゴムの選定には、細心の注意が必要です。

#### (2) エラストマー

エラストマーとは、ゴム弾性を有する材料の総称です。防振材料では、エーテル系の発泡ポリウレタンエラストマー(図3)や、ノンシリコンウレタンエラストマーなどが利用されます。卓越したエネルギー吸収特性、優れた減衰能力、低温での柔軟性などを備え、防振ゴムでは難しいとされていた耐水性や耐薬品性を併せ持つ防振材として、さまざまな分野で使われています。

#### (3) 高密度の多孔質材料

高密度の多孔質材料を、防振材料として使用する場合は、グラスウールやロックウールが使われます。

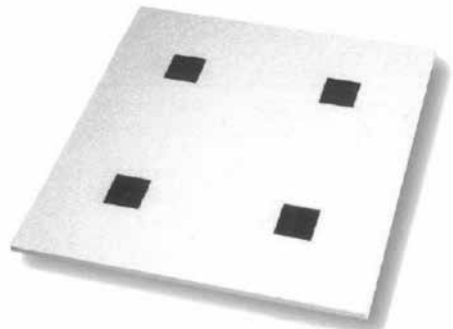
躯体床スラブの上に防振材を設置して、その上にコンクリートを打設して構成される湿式浮床の防振材などに使用されます。浮床の防振材としては安価なので、空調機械室の浮床などによく使われます。ただし、これらの浮床は経年変化でクリープが発生するので、周辺部との取り合い納まり(部材同士が接触・組み合う部分の精度)については、注意が必要です。

#### (4) その他

金属ばね(コイルばねや板ばねなど)や空気ばね(圧縮空気の弾力性を利用したばね装置)、発泡スチロール(ポリエチレンフォームやポリプロピレンフォームなど)も防振材として使用されます。また、発泡スチロールと防振ゴムやエラストマーを組み合わせた製品も、湿式浮床の防振材として使用されています(図4)。



図3 ポリウレタン防振材



950×950×25mm

図4 複合浮床防振材

### 5. 騒音・振動の防止設計

前章では、防振の仕組みと防振材料を取り上げました。本章では、騒音・振動の防止設計について解説します。音に関わる特別な室以外でも、よりよい生活空間を作るために、騒音・振動の防止設計を行う場合があります。ただしその時には、必要以上に静かな空間や、居住スペースを脅かす程の大きな遮音壁を造るのではなく、用途に応じた適切な仕様にするのが肝要です。

#### 5.1 騒音防止の設計フロー

騒音防止(遮音構造)の設計手順を、図5のフローチャートに示します。配置計画(各室のレイアウト)が決定したら、1: 検討対象室の抽出、2: 室内騒音目標値の設定、3: 騒音伝搬経路の洗い出し、4: 音源室の発生騒音の予測、5: 必要遮音量の算出を順に行います。それでは、これらの5工程を順に解説します。

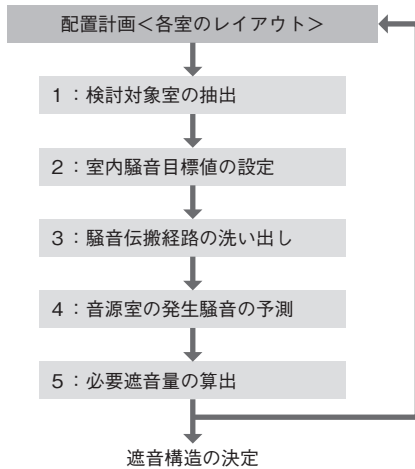


図5 騒音防止(遮音構造)の設計フローチャート

(1) 検討対象室の抽出

家屋や建物全体の配置計画(設計)が終了したら、音について考慮する室を選定します。室の用途から静けさが強く要求される室、生活する上で静けさが要求される室、騒音・振動が発生する室など、事前に予測される室を、前もって選択・把握しておきます。

(2) 室内騒音目標値の設定

室内の静けさの度合いを決める際、基本的にはその室の利用者の意見を参考にします。音に対する考え方や感じ方は、人によってさまざまな差があり、画一的に決めることが難しいからです。なお、学会の推奨値や文献などを基に目標値を設定する時には、図6のような周波数特性のグラフを利用します。

図6左のNCグラフは、アメリカの音響学者L.L. Beranekが、会議室内に外から聞こえてくる騒音など、主にオフィスにおける騒音を想定して作成した基準周波数特性です。対して図6右のNグラフは、日本建築学会が推奨する、室内の内部騒音(エアコンやエレベータ、水音など)に関する基準周波数特性です。それぞれの室の用途によって、NC値もしくはN値を設定し、騒音はその値の範囲内に収まるように設計します。

(3) 騒音伝搬経路の洗い出し

次に、騒音伝搬経路について、細かく検討していきます。大きな音が発生する室と静けさを求める室、そしてその両方の条件を必要とする室など、平面プランと断面プランを見ながら、騒音対策を検討すべき騒音伝搬経路を抽出します。

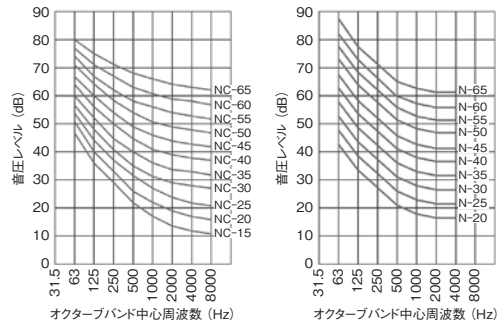


図6 室内騒音の基準周波数特性グラフ(左: NCグラフ, 右: Nグラフ)

(4) 音源室の発生騒音の設定

大きな音が出る室がある場合、音の大きさがどの程度か把握します。実際に騒音を測定できる場合には、測定して確実なデータを取得します。それができない場合には、文献、類似した案件のデータなどを参考にしますが、測定した条件などが分からない事も多いので注意が必要です。

(5) 必要遮音量の算出

空気伝搬音の必要遮音量を算出します。簡単にいうと、音源室の発生騒音から、各室内の騒音目標値を差し引くと、必要遮音量となります。

なお遮音量を設定する際には、図7のような周波数特性を利用します。

図7左のDrグラフは、室間音圧レベル差の基準、図7右のTグラフは、扉や窓の遮音性能の基準となる特定場所間音圧レベル差の基準グラフです。ここでいくつか注意しておきたいことがあります。一つ目は通常の遮音性能には、振動伝搬(固体伝搬音)による限界(Dr-60~65)があることです。この限界(Dr-60~65)は音とともに伝達する振動により放射音が発生し、その放射音のために遮音性能が頭打ちになることが原因で

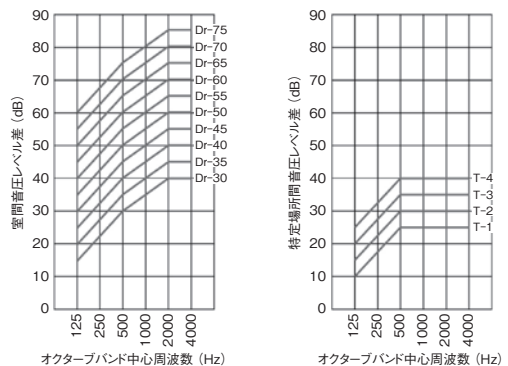


図7 遮音性能の目標値の設定(左: Drグラフ, 右: Tグラフ)

す。なお対策するためには振動絶縁などの技術が必要になります。

二つ目は実際の施工に当たっては、設備配管などの貫通部の処理の不具合により、実験データ等で得られている性能が確保されないことが多いことです。なるべく遮音性能を劣化させないためには施工段階でのチェックとともに、貫通する配管の回りの遮音補強を提案する事が重要です。

以上の5つの工程を終えたら、騒音対策にコストがかかりすぎているか、要求を満足させられる遮音構造が実現しているか、しっかり点検しましょう。これらを満たしていない場合には、再び配置計画に戻り、各フローを再検討する必要があります。

## 5.2 遮音構造、4つの落とし穴

遮音構造でクレームへとつながりやすい4つの落とし穴と、その解決方法を紹介します。盲点をつぶすことで、必要とされる遮音レベルを確実に実現しましょう。

### (1) システム天井と界壁の関係性

一般的なオフィスでは、工場生産されたパネル式のシステム天井がよく採用されています(図8)。

図8左は、界壁が仕上げ天井(システム天井)の下までしかないケースです。図8右は、界壁が仕上げ天井を超え、スラブ下まで設けられているケースです。実は前者のような施工例で、騒音クレームが多く生じています。どれほど騒音に差があるのか、具体的に見ていきましょう。

図9の左は、界壁がシステム天井下で止まっている場合の、隣室における騒音伝搬状況を可視化したものです。

音源探査の結果(図9の左下)を見ると、防災設備(スプリンクラー)の部分から音漏れが生じています。図9の右は、界壁が仕上げ天井下までの場合と、スラブ下までである場合の遮音性能を比較したグラフです。

このグラフから、界壁が仕上げ天井下までしかない場合は、スラブ下まで界壁がある場合と比較して、500

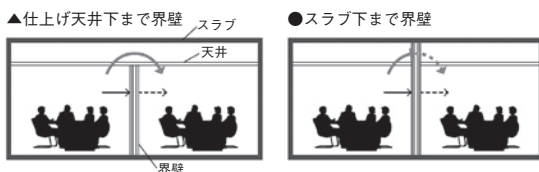


図8 界壁の納まりとスラブ下まで界壁騒音の伝搬イメージ(左: 界壁が仕上げ天井下までの場合、右: 界壁がスラブ下までの場合)

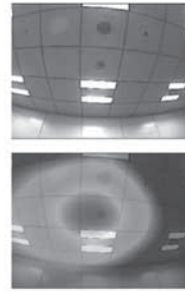
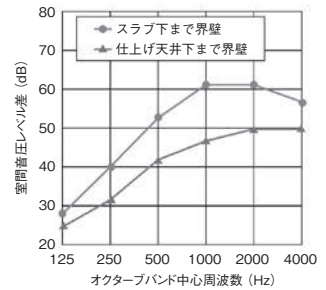


図9 音源探査によるシステム天井からの騒音伝搬状況調査結果(左)と、界壁の納まりによる遮音性能比較(右)



Hzで約10 dB程度の差が生じており、遮音性能が低くなっています。これらの結果から、界壁を仕上げ天井下まででなく、スラブ下まで設けることが、とても重要であることが分かります。

### (2) 二重床と重量床衝撃音の関係性

次に紹介するのは、二重床と重量床衝撃音の関係性です。一般の人は、「床は二重になっている方が、遮音効果が良いに決まっている」と思いがちです。しかし実は、そこに落とし穴があります。

まず、床衝撃音を説明しましょう。床衝撃音には、子どもが飛び跳ねたりした低・中音域の音を想定した重量床衝撃音と、硬質で軽量のスプーンなどの落下音や、人の歩行音など中・高音域の音を想定した軽量床衝撃音の2種類があります。床衝撃音の測定は、衝撃源が落下した室の階下で行われます。配管などを収納するために、スラブに東立した二重床を設けた室を例に検証します。図10右は、二重床を施工した場合と、床がスラブ素面のままの場合に、その階下で測定した重量床衝撃音を比較したグラフです。

比較グラフ(図10右)を見ると、スラブ素面と二重床では、二重床の方が重量床衝撃音の遮断性能が落ちていることが分かります。これは床を二重にしたことで、床とスラブの間の空間で音が共鳴し、増幅したため

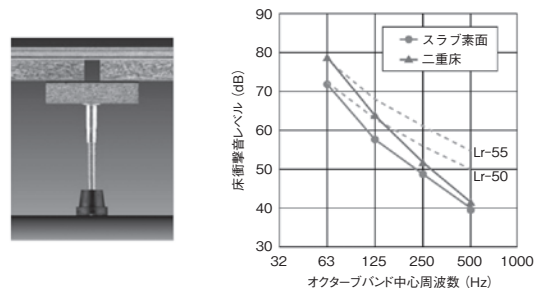


図10 スラブ素面と二重床のイメージ図(左)と、重量床衝撃音遮断性能の比較(右)



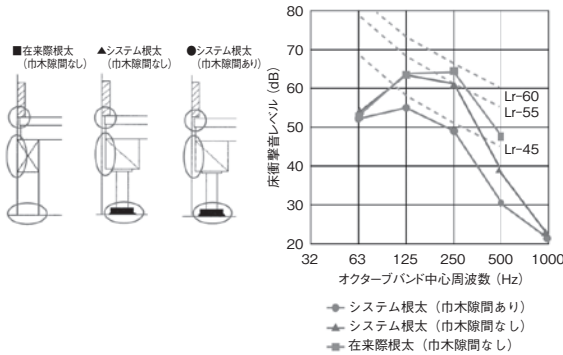


図11 二重床と壁の納まりの違いによる、軽量床衝撃音の遮断性能の比較

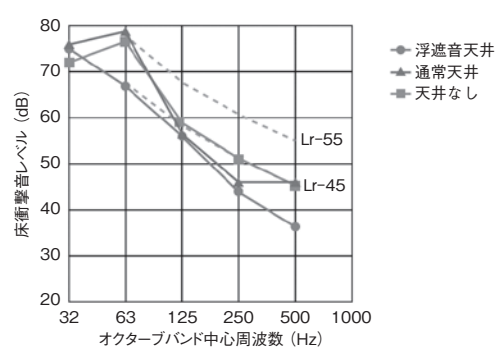


図12 天井の有無と浮遮音天井による、重量床衝撃音遮断性能の比較

す。この問題は、二重床支え部分の底部に、振動を絶縁するゴムを取り付ける(図10左)ことで、ある程度解消できます。

(3) 二重床と壁の納まりによる軽量床衝撃音への影響

次は、二重床と壁との納まり状態によって、軽量床衝撃音に与える影響を解説します。在来際根太(巾木隙間なし)、システム根太(巾木隙間なし)、システム根太(巾木隙間あり)の3つのパターンで、軽量床衝撃音の比較を行いました(図11)。

図11右のグラフから、防振ゴムを取り付けたシステム根太で、巾木との間に隙間がある場合に、格段に軽量床衝撃音が改善されていることが読み取れます。

この結果から、軽量床衝撃音は、壁と二重床が全く接触していない状態、つまり固体伝搬音が遮断された状態の時に、大幅に遮音効果が得られることがわかります。

(4) 二重天井と重量床衝撃音の関係性

二重天井にした場合の重量床衝撃音の影響を、考えてみましょう。

図12は、軽天下地などに石こうボードを貼った通常

の天井がある場合(二重天井)、天井がない場合(スラブがむき出しの状態)、浮遮音天井がある場合の3つのケースで、重量床衝撃音を比較したグラフです。

このグラフから、通常天井を設けた場合、63 Hz帯域における上階からの騒音は、天井がない場合と変わらないばかりか、むしろ若干、遮音性能が悪くなっていることがわかります。二重床の場合と同様で、上階からの衝撃音(振動)が天井により伝搬・増幅し、下階のボード面から放射されるからです。なお、きちんと防振支持された浮遮音天井を設けた場合には、上階からの衝撃音(振動)は絶縁され、下階のボード面からの放射音が軽減されるため、天井による空気音の遮断も相まって遮音性能が向上します。

以上のように、騒音・振動防止の設計は複雑な要素が絡むので、難しいですが、きちんと手順を踏んで行えば、必ず十分な性能が確保できます。正しい知識を身に付け、注意深く検討を行ってください。

次回は、最終回として、6. 室内音場とは、7. 音響測定の方法について解説します。