

V 音環境	5	室内音響学の基礎（教科書 pp. 180～181）
V 音環境	6	吸音と吸音材料（教科書 pp. 182～184）
V 音環境	7	遮音と遮音材料（教科書 pp. 185～187）
V 音環境	9	騒音の計測と評価（教科書 pp. 192～194）
V 音環境	11	建築音響計測と評価（教科書 pp. 198～200）
V 音環境	12	振動の影響と計測評価（教科書 pp. 201～203）
V 音環境	13	振動と固体音の防止技術（教科書 pp. 204～206）

### 1. 今日の目標

- 1) 音の反射, 吸収, 透過について知ろう。
- 2) 残響時間について知ろう。
- 3) 音環境の測定方法について知ろう。
- 4) 壁や床の遮音性能の測定方法について知ろう。
- 5) 振動について知ろう。

### 2. 音のエネルギーの反射, 吸収, 透過（教科書 pp. 180～181）

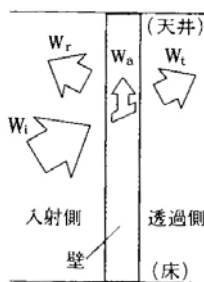


図 壁面による音の反射, 吸収, 透過（出典：教科書 p. 180）

#### (1) 吸音特性

壁の吸音特性を表す指標としては、\_\_\_\_\_があり、以下のように計算される。

$$\begin{aligned} & \{ \quad \quad \quad \} \\ & = \{ \{ \quad \quad \quad \} - \{ \quad \quad \quad \} \} / \{ \quad \quad \quad \} \\ & = \{ \{ \quad \quad \quad \} + \{ \quad \quad \quad \} \} \\ & \quad / \{ \quad \quad \quad \} \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{W_i - W_r}{W_i} = \frac{W_a + W_t}{W_i} \quad (1) \text{ (教科書 p. 180 の (5.1) 式)}$$

ここで,

$\alpha$  : 吸音率 [N.D.]

$W_i$  : 入射音の音響パワー [W]

$W_r$  : 反射音の音響パワー [W]

$W_a$  : 壁面の内部で吸収される音響パワー [W]

$W_t$  : 壁面の反対側に透過する音響パワー [W]

→ \_\_\_\_\_ の数値が大きいほど、吸音される割合が大きい。→→反射される割合が少ない。

→ \_\_\_\_\_ は壁に入射する音の周波数によって値が異なる。

注) 音響パワー : 音源が 1 秒間に放射する音のエネルギーのこと。単位は [W]。配付資料 p. 104 (第 11 回目で配布) も参照。

## (2) 遮音特性

壁の遮音特性を表す指標としては、\_\_\_\_\_と\_\_\_\_\_があり、以下のように計算される。

・透過率 [N.D.]

$$\{ \quad \quad \quad \} = \{ \quad \quad \quad \} / \{ \quad \quad \quad \}$$

$$\tau = \frac{W_t}{W_i} \quad (2) \text{ (教科書 p. 180 の (5.2) 式)}$$

ここで,

$\tau$  : 透過率 [N.D.] ( $\tau$  : タウ)

$W_i$  : 入射音の音響パワー [W]

$W_t$  : 壁面の反対側に透過する音響パワー [W]

・透過損失 [dB]

透過率  $\tau$  の逆数をレベル表示したもの。通常の建築材料では、透過率  $\tau$  は非常に小さくなるので、レベル表示にする。

$$R = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{\tau} \right) \quad (3) \text{ (教科書 p. 180 の (5.3) 式)}$$

ここで、

$R$  : 透過率 [dB]

→例えば、透過率 0.1 であれば、単位面積当たりの透過損失は 10dB である。

→透過損失の数値が \_\_\_\_\_ ほど、遮音性能が \_\_\_\_\_ なる。

注 1) レベル表示については、配付資料 pp. 104～105 (第 11 回目で配布) を参照。

注 2) 吸音材料 : \_\_\_\_\_ に注目。吸音率が高い材料。

遮音材料 : \_\_\_\_\_ に注目。透過損失が大きい材料。

3. 吸音 (教科書 pp. 182～184)

室の残響時間 (後述) の調整や騒音の低減のために、内装材として種々の吸音材料や吸音構造が用いられる。

→教科書 p. 183 の 図 6-2 を参照。

1) \_\_\_\_\_ 吸音

\_\_\_\_\_ と繊維との \_\_\_\_\_ や粘性抵抗, 材料の小繊維の振動によって、音のエネルギーの一部が熱エネルギーの一部として消費されることを利用。\_\_\_\_\_ 音域の吸音に非常に優れるが、\_\_\_\_\_ 音域ではそれよりも劣る。ロックウールやグラスウールなどの鉱物・植物繊維類のように毛細管を持つ材料や、ウレタンフォームなど連続気泡を持つ材料。

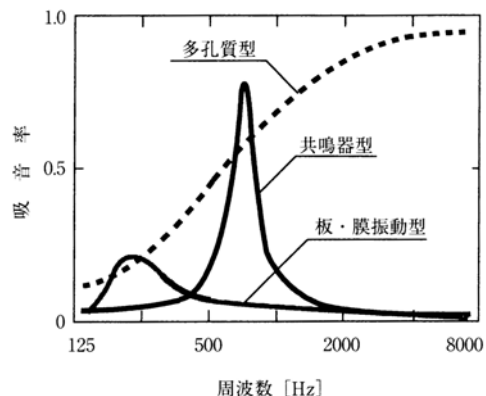


図 吸音特性の概要

(出典 : 参考文献 [ 4 ], p. 129)

2) \_\_\_\_\_吸音

空気が激しく振動し、摩擦により音エネルギーが熱エネルギーに変わることを利用。背後に \_\_\_\_\_が必ず必要。 \_\_\_\_\_域の吸音に優れる。単体として使用されることはあまりない。

3) \_\_\_\_\_吸音

板状の材料が激しく振動し、板の内部摩擦や取り付け部の摩擦などにより、音のエネルギーの一部が熱エネルギーに変わることを利用。背後に \_\_\_\_\_が必ず必要。 \_\_\_\_\_音域より \_\_\_\_\_音域での吸音性能が良い。

4. 遮音（教科書 pp. 185～187）

- ・一般に、 \_\_\_\_\_（密度の \_\_\_\_\_）材料ほど、また同じ材料でも厚さが \_\_\_\_\_ほど、透過損失は \_\_\_\_\_なる（=遮音性能が \_\_\_\_\_）。これを遮音に関する \_\_\_\_\_という。  
例えば、壁厚を2倍にすると、透過損失は \_\_\_\_\_dB大きくなる。
- ・ただし、特定の周波数で遮音性能が落ちることがあり、これを \_\_\_\_\_効果という。  
→主に中高音域で生じることが多い。音によって壁体が曲げ振動を生じ、その波と入射音の波が一致すると、そこで音が抜けやすくなるためである。
- ・壁の遮音性能を上げるためには、二重壁や二重窓が有効である。構造的に独立した同じ壁が2重になると、理論上は、透過損失も2倍になる（実際は、なかなかそうはいかないが）。  
ただし、複層ガラスは、200～400Hz で遮音性が単板ガラスよりも劣るため、遮音の目的には適さない。
- ・色々な材料でできている建物の壁面全体の透過損失を、 \_\_\_\_\_と言う。ドアや窓サッシ周囲の隙間は、遮音上の弱点であり、遮音対策では隙間を作らないようにする。

\*\*\*\*\*メ\*\*\*\*\*

5. 残響（教科書 p.181）

室内の音源から音を出し、定常状態に達した後、音源を止めても室内の音が\_\_\_\_\_現象を\_\_\_\_\_という。

残響を量的に表すには\_\_\_\_\_を用いる。室の響きを表す指標である。残響時間の定義は、以下の通りである。

室内の音源から一定のパワーの音を放射し、定常状態に達してから音源を停止した場合に、次第に減衰していく室内のエネルギー密度（単位体積に含まれる音のエネルギー）が定常状態の時の\_\_\_\_\_分の1（\_\_\_\_\_）になる（\_\_\_\_\_dB低下する）までに要する時間、

残響時間が\_\_\_\_\_ほど、言葉が明瞭に伝わる。逆に、音楽のための室の場合は、豊かな響きを得るために、残響時間がある程度\_\_\_\_\_方がよい。下の2つの図を参照。

また一般に、人がたくさんいるほど、残響時間は\_\_\_\_\_なる。

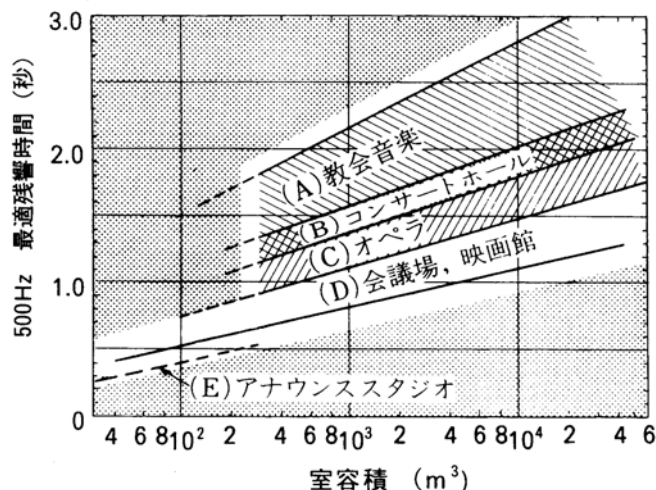


図 各種用途における 500Hz の最適残響時間の範囲（出典：参考文献 [5]，P. 62）

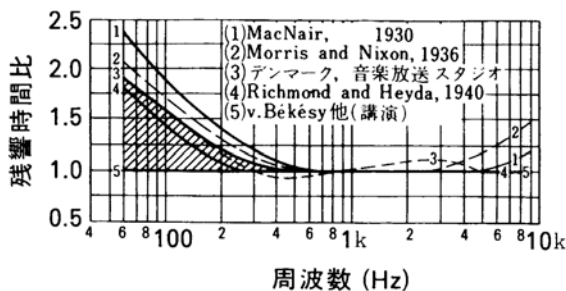


図 周波数全域における残響特性の推奨曲線（出典：参考文献 [5]，P. 62）

音楽は(4)，講演は(5)の曲線にするのが最も一般的で、斜線部分は多目的の場合の許容範囲

残響時間の計算には、次の3つの式が用いられる。

1) Sabine (セイビン) の式

拡散音場を仮定した残響理論から、残響時間は以下のように計算される。

→拡散音場の仮定：1) 音響エネルギーが室内全体に均一に分布，2) どの点においても音の進行方向はあらゆる方向に一様。

$$\begin{aligned} & \left[ \frac{K \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}} \right] \\ & = \left\{ \frac{K \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}} \right\} / \left\{ \frac{c}{4 \log_{10} e} \right\} \\ & = \left\{ \frac{K \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}} \right\} / \left\{ \frac{55.26}{c} \right\} \end{aligned}$$

$$T = \frac{K \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}} = \frac{K \cdot V}{A} \quad (4) \text{ (教科書 p.181 の (5.10) 式)}$$

$$\text{ただし, } K = \frac{6 \times 4}{c \cdot \log_{10} e} = \frac{55.26}{c} \quad (5) \text{ (教科書 p.181 の (5.11) 式)}$$

ここで、

$T$  : 残響時間 [s]

$V$  : 室の容積 [ $\text{m}^3$ ]

$S$  : 室の表面積 [ $\text{m}^2$ ]

$\bar{\alpha}$  : 室の平均吸音率 [N. D.]

$A$  : 室の等価吸音面積 [ $\text{m}^2$ ]

$c$  : 音速 [m/s]

式中の定数  $K = 0.161$  (常温)。

→残響時間は、                    に比例し、                     (教科書 p.180 右側の (2) を参照。) に反比例する。

2) Eyring (アイリング) の式

1) の式は, \_\_\_\_\_ が大きい室では成り立たない。音が段階的に減衰すると考えた。

$$T = \frac{K \cdot V}{S \cdot \{-\log_e(1 - \bar{\alpha})\}} \quad (6) \text{ (教科書 p. 181 の (5.12) 式)}$$

ここで,

$T$  : 残響時間 [s]

$V$  : 室の容積 [ $m^3$ ]

$S$  : 室の表面積 [ $m^2$ ]

$\bar{\alpha}$  : 室の平均吸音率 [N. D.]

なお,  $\bar{\alpha}$  が十分小さいときは,

$$-\log_e(1 - \bar{\alpha}) \cong \bar{\alpha} \quad (7) \text{ (教科書 p. 181 の (5.13) 式)}$$

であり, 1) の式と一致する。

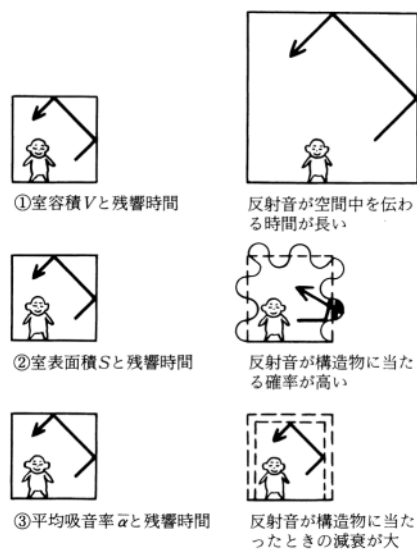


図 残響予測式の定性的理解 (出典: 参考文献 [7], p. 116)

3) Eyring-Knudsen の式

→教科書 p. 181 参照。

6. 騒音の測定（教科書 pp.192～194）

(1) 音圧レベルや騒音レベルの測定

音圧レベルや騒音レベルは、\_\_\_\_\_（教科書 p.192 の図 9-1 と図 9-3 を参照）で測定する。  
なお、騒音計で、音圧レベルや騒音レベルを測定する際に、次のように周波数補正を行うことがある。

- \_\_\_\_\_： \_\_\_\_\_の聴覚にあわせて、\_\_\_\_\_周波数を受け入れる能力が低くなるよう補正。  
\_\_\_\_\_もしくは、\_\_\_\_\_などと書き、単位も [\_\_\_\_\_] と書くことがある。
- \_\_\_\_\_： 各周波数が物理的にほぼ等しい感度で受音されるように補正。\_\_\_\_\_もしくは、  
\_\_\_\_\_などと書き、単位も [\_\_\_\_\_] と書くことがある。
- \_\_\_\_\_： 周波数特性が\_\_\_\_\_。  $L_p$  と書き、単位は [dB] のままである。

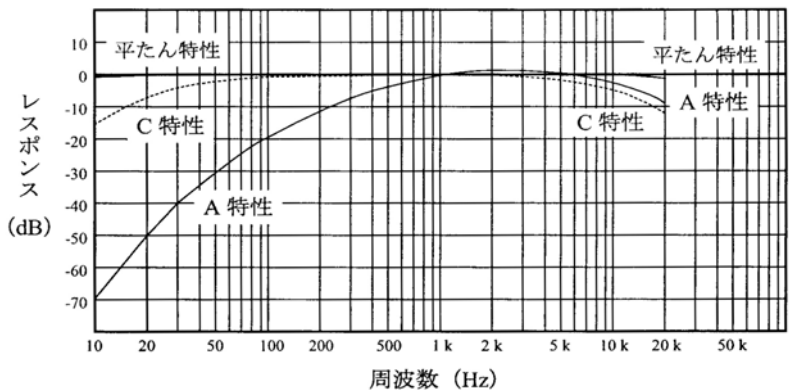


図 騒音計の周波数補正特性（出典：参考文献 [6]，p.9）

(2) 室内騒音の許容値

- 室内騒音の許容値→教科書 p.194 の表 9-2 を参照。
- 騒音レベル \_\_\_\_\_ [\_\_\_\_\_]，もしくは NC 値（教科書 p.194 の図 9-5 を参照）で評価される。



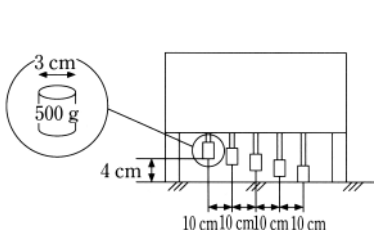
7. 壁や床の遮音性能の測定方法（教科書 pp. 199～200）

(1) 壁の遮音性能の測定

- ・壁の遮音性能の測定方法→教科書 p. 200 の図 11-6 を参照。
- ・測定した2つの部屋の室内音圧レベル差から、教科書 p. 200 の図 11-7 を使って空気音遮断性能の等級  $D_r$  を求める。
- ・空気音遮断性能の等級  $D_r$  は、値が \_\_\_\_\_ ほど、性能がよい。

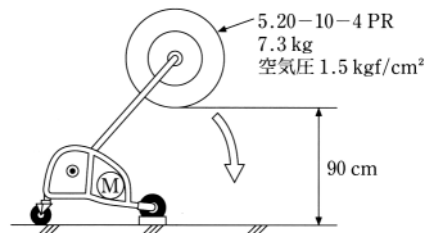
(2) 床の遮音性能の測定

- ・床の遮音性能の測定方法→教科書 p. 200 の図 11-8 を参照。
- ・下階で測定した床衝撃音レベルから、教科書 p. 200 の図 11-9 を使って床衝撃音遮断性能の等級  $L_r$  を求める。
- ・床衝撃音遮断性能の等級  $L_r$  は、値が \_\_\_\_\_ ほど、性能がよい。



モーターによってハンマーを連続して自由落下させる。  
 1回の落下で1度しか床を叩かないようになっている。

図 タッピングマシン（標準軽量衝撃源）  
 （出典：参考文献 [7], p. 112）



モーターによってタイヤを円弧状に自由落下させる。  
 1回の落下で1度しか床を叩かないようになっている。

図 バングマシン（標準重量衝撃源）  
 （出典：参考文献 [7], p. 112）

(3) 床衝撃音の対策

- ・床衝撃音は、床上を歩くときのなどに生じる軽衝撃音と子どもの飛び下りなどによって生じる重衝撃音に分かれる。
- ・軽衝撃音の対策：衝撃力が小さいため、\_\_\_\_\_ の処理（厚手のカーペットなどの柔軟な弾性材料を用いる）などで対応できる。フローリングなどの場合も、フローリングと床の間に弾性材料を入れるとよい。
- ・重衝撃音の対策：衝撃が大きいため、表面のみの対策では難しい。そのため、\_\_\_\_\_ を厚くする（20cm 以上であればほとんどの場合問題ない。）などの対策が必要になる。また、ガラスウールなどを中間に挿入したコンクリート二重床（浮床）なども有効である。

8. 振動（教科書 pp. 201～206）

物体が強く振動するとき、地盤などの固体中を伝わり遠くまで影響を及ぼす。発生源は、工場機械、土木建設工事、公共交通のほか、冷蔵庫やポンプなど家庭内にもある。

振動によって、不眠や集中力の欠如、頭痛、めまいなどの身体的影響や、建築物のひび割れなどを生じる。

振動の測定には、下図のような\_\_\_\_\_が使われる。



図 振動レベル計と振動ピックアップ（出典：参考文献 [2], p.152）

機械などからの振動が建物の躯体に伝わり、部屋の壁や床を振動させて音を放射し、騒音となる場合を、\_\_\_\_\_と言う（教科書 p.171 の図 1-2 を参照）。\_\_\_\_\_は空気音とは異なった遮断方法を必要とすることが多い。

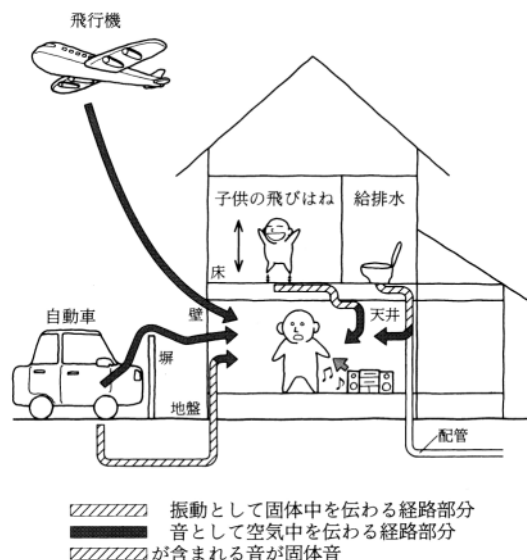


図 空気音と固体音（出典：参考文献 [7], p.99）

振動を防ぐための防振材料には、バネ・マス系のものと粘性系のものに分けられる（教科書 p. 205 の図 13-5 を参照）。防振ゴムや金属ばね、空気ばねなどが代表的である。

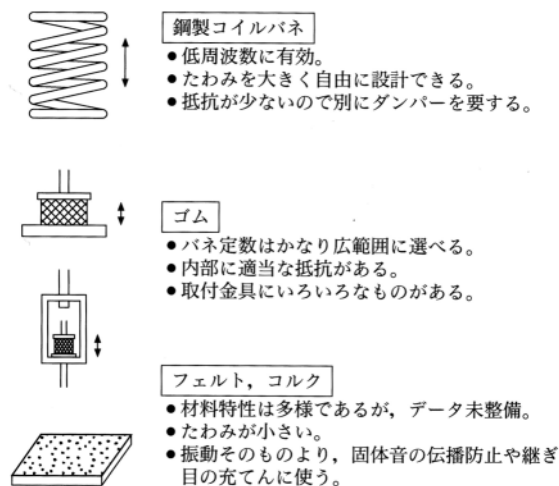


図 空気音と固体音（出典：参考文献 [7]，p. 99）

\*\*\*\*\* ヌ ㄇ \*\*\*\*\*

9. 参考文献（〔〕内は、熊本県立大学附属図書館所蔵情報）

- [1] 『図解住居学5 住まいの環境』（図解住居学編集委員会編，彰国社，1998年10月，¥2,800＋税，ISBN：4-395-28035-8）〔開架2，527||Z 6||5，0000251026，0000251400〕
- [2] 『初めての建築環境』（〈建築のテキスト〉編集員会編，学芸出版社，1996年11月，¥2,800＋税，ISBN：4-7615-2162-7）〔開架2，525.1||Ke 41，0000216584，0000216585，0000216586〕
- [3] 『建築環境工学用教材 環境編』（日本建築学会編，日本建築学会（丸善），1995年2月，¥1,845＋税，ISBN：4-8189-0442-2）〔開架2，525.1||N 77，0000236338〕
- [4] 『エース建築工学シリーズ エース建築環境工学I－日照・光・音－』（松浦邦男・高橋大式，朝倉書店，2001年4月，¥3,200＋税，ISBN：4-254-26862-9）〔開架2，525.1||Ma 89，0000255993〕
- [5] 『建築・環境音響学（第2版）』（前川純一・森本正之・阪上公博，共立出版社，2000年9月，¥3,500＋税，ISBN：4-320-07655-9）〔開架2，524.96||Ma 27，0000248125〕
- [6] 『NL-21 普通騒音計 取扱説明書 技術編』（リオン株式会社，リオン株式会社，2001年4月，非売品，ISBN：なし）〔所蔵なし〕
- [7] 『図説テキスト 建築環境工学』（加藤信介・土田義郎・大岡龍三，彰国社，2002年11月，¥2,400＋税，ISBN：4-395-22127-0）〔開架2，525.1||Ka 86，0000274786〕

10. 参考 URL

- [1] 講義資料のダウンロード

<http://www.pu-kumamoto.ac.jp/~m-tsuji/kougi.html/genron.html/setubigen.html>

（注）

「V 音環境」の中の以下の項目は，時間の都合上，省略せざるを得ないので，各自で勉強しておくこと。

「IV 音環境 8 室内の音響の計画と設計（教科書 pp.188～191）」

「IV 音環境 10 騒音対策（教科書 pp.195～197）」

「IV 音環境 14 音環境の制御（教科書 pp.207～208）」