

第 13 回 室内の音響 (教科書 pp.127~130)

◎ 音環境の全体像

- └【1】音が出るとき(音源)———音をどのように捉えるか? **基本**
 - | 物理的に数字で捉える
 - | ⇨人間の感覚との対応⇒レベル表示(桁で考える)
- └【2】音が出た後———音をどのようにコントロールするか?
 - | └音を受け止める(音を遮る, 止める)
 - | →マイナスの評価, 遮音と吸音の違いを理解!
 - | └音を響かせる(音は止めない)
 - | →プラスの評価
 - | └ヒトがどのように評価するか?(好みの問題,
騒音の問題)
- └振動

0 今日の内容

- 1** 室内音響のポイント(注目したい音, その音と時間の関係, その音の伝わり方)
- 2** 残響時間
- 3** 反響

I 室内音響のポイント(注目したい音, その音と時間の関係, その音の伝わり方)

重要 空間の中で, 音のエネルギーの分布が, 時間の経過と共に, どのように変化するか? を考える

(参考) 空気質の濃度の分布が時間的にどのように変わるか? についてを思い出したい

⇒室内音響に関して, 考えたいポイントは, 以下の(1)~(3)の3つ

(1) 反射する音に注目!!

遮音

吸音

遮音を考える際には

反射音のことはあまり考えない

(透過音もあまり考えない)

吸音を考える際, 吸音性能を高めるためには, 反射音

の音のエネルギーを減らしたい

⇨しかし, 室内音響を考える上では, 「吸音」性能を上

手く使って, 音をコントロールしたい

→室内音響を考える上では, 反射音を活かすことも大いにあり得る

(2) 反射音は反射した後すぐに到着するか? 遅れて到着するか?

注 時間との関係

直接音と反射音

①すぐ到達: **残響**

「響き方」でプラスにも

マイナスにも

②遅れて到達: **反響**

室内音響を考える上では,

基本的には障がい→ない方がよい

残響では, (反射音だが) 直接音と同じ音がずっと聞こえる

残響時間が短い

残響時間が長い

・どのくらいの時間で音のエネルギーが減少していくか? (現象: 響く? 響かない?)

⇒つまり, 『残響時間』のコントロールが大切←吸音を使ってコントロールすることが多い

(3) 音の伝わり方は直線的 (反射音だけではないけど)

※空気質の濃度分布を考える時と違う点はここ!!

※※光の動きも直線的

空気 (熱エネルギーを運ぶときも)

音 (光もよく似た動き)

3次元の動き (複雑)

発展 空気が運ぶ熱エネルギーは
複雑な動きをする (対流熱伝達)

直線的な動き (比較的簡単)

発展 熱エネルギーの移動でも放射熱伝達は
こちらに近い

2 残響時間

(1) 室内音響を考える上での (室内でよりよい音響を実現したい時の) 目標: ①から⑤の5つ

① **必要な音/不必要な音**: いらぬ音は少なくしたい

② **言葉**: 言葉を伝えるときは, はっきり伝わるようにしたい

残響時間: 0.1 秒~0.8 秒ぐらいで (教科書 p.128 参照), 短め

③ **音楽**: 音楽を聴くときは, 豊かに響かせたい (ただし, 長すぎるのは困る)

残響時間: 1.0 秒~1.5 秒ぐらいで (教科書 p.128 参照), 長め

⇒ ②と③は音の響き方の問題 (残響時間を考える)

④ **分布**: 室内の音のエネルギーの分布の偏りを少なくしたい

よく聴こえるところ/聴こえにくいところ をつくらぬ

教科書 p.130 の模式図を参照: 音響設計

⑤ **障がい**: 反響などの障がいは少なくしたい

(2) 残響時間についてもう少し詳しく考えてみよう (残響時間の定義と意味)

◎残響時間の定義: 音のエネルギーが 60 [dB] 低下するまでにかかる時間

※残響時間は音の響きと関係する

つまり, 音のエネルギーが 10^{-6} の大きさになる (小さくなる) までの時間

参考) $60[\text{dB}] = 10 \cdot \log_{10} 10^6 = 10 \times 6$

⇒代表的な計算式が「セービン」の式 (セービンさん: アメリカの人 (1868-1919))

室の容積: 部屋が大きくなると, 音が空気中を伝わる時間が長くなる

室の表面積: 室の表面積が大きくなると, 音が壁などに当たることが多い→響かない

凹凸が多いと響かない (吸音される), (注) 人が多いときも同じ

室の平均吸音率: 吸音性能がよいと音のエネルギーは減りやすい (反射音が少なくなる)

→響かない

※残響時間に影響を与える要因

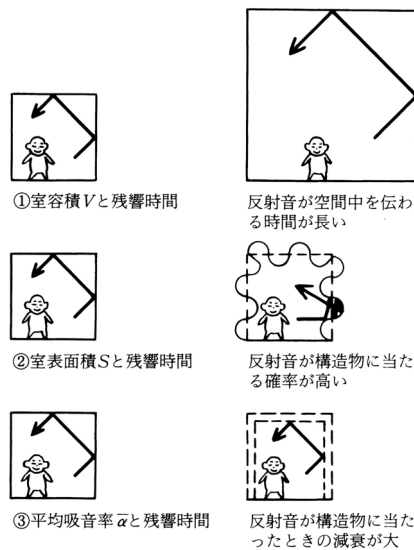


図 残響予測式の定性的理解 (出典: 参考文献 [1], p.116)

注) セービンの式には、**仮定**が入っている→理想的な場合を考えている

セービンの式では、拡散音場を仮定

→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樣

なお、セービンの式で、0.161 という定数が入ってくるのは、以下の理由による。

$$\text{音のエネルギーの減衰率 } D = 10 \cdot \log_{10} e^{\left(\frac{CA}{4V}\right)} \quad (V: \text{室の容積} [\text{m}^3], A: \text{吸音面積} [\text{m}^2])$$

と、残響時間 T は 60dB 減衰する時間である ($T = \frac{60}{D}$) ことから

$$\frac{6 \times 4}{c \cdot \log_{10} e} = \frac{55.26}{c} (= K) \quad \langle 1 \rangle$$

ここで、 c : 音速 [m/s] (=331.5+0.61t + t: 温度 [°C])

→常温の時は、0.161 となる

そこで、もう少し正確な式にしたい(より現実に近づけたい)と考えた場合は、

「Eyring (アイリング) の式」を使う。

※セービンの式は吸音力が大きい室では成り立たない。そこで、音が段階的に減衰すると考えた。

※※アイリングも人の名前

$$T = \frac{K \cdot V}{S \cdot \{-\log_e(1 - \bar{\alpha})\}} \quad \langle 2 \rangle$$

ここで、 K : 音速に反比例する係数 [単位なし, N.D.] (→ $\langle 1 \rangle$ を参照)

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、

$$-\log_e(1 - \bar{\alpha}) \cong \bar{\alpha} \quad \langle 3 \rangle$$

であり、セービンの式と一致する。

3 反響

反響は室内の音響を考えるときには、基本的には障がい

ただし、時にはあえて反響を利用することもあり

・フラッターエコー (フラッターエコー)

「鳴き竜」とも。

・ささやきの回廊 など

反射面が大きな凹曲面を作っていると、音はその面に沿って滑るように何回も反射し、ささやき声が非常に遠くまで明瞭に聞き取れる現象。ロンドンの St. Paul 寺院の大ドームにある回廊が有名。

YouTube で探して、実際に訊いてみよう。いろいろと面白い「おと」がある。例えば、以下のようなキーワードを入れれば、検索できる。

「フラッターエコー」

「フラッターエコー (鳴き竜)」

「ロングパスエコー」←あまり出てこないかも

「音響障害を聴いてみる」(「ブーミング」)

「無響室」

「残響室 最新研究施設」

「インド ビジャープル」もしくは「ささやきの回廊」 など

【参考文献】(順に、タイトル、編著者名、出版社、発行年月、価格、ISBN。[]内は熊本県立大学図書館所蔵情報。)

[1] 『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) [和書(2F), 525.1||Ka 86, 0000310578]

→第二版もあり(2008年11月, ISBN:978-4-395-22128-8) [和書(2F), 525.1||Ka 86, 0000320417] [電子ブック, 5000001442]

復習プリント

学年: _____ 学籍番号: _____ 名前: _____

今日の講義の内容を, 自分なりに, 整理してください。まとめてください。

学年: _____ 学籍番号: _____ 名前: _____

【演習問題】

20m×30mの床,天井高さ6mの室の平均吸音率が0.3の時の残響時間はいくらか。セービンの式(教科書 p.128)とアイリングの式(配布プリント p.133)の両方で求めよ。