

新建築技術叢書—9



# 建築音響と騒音防止計画

第四版

木村 翔

彰国社刊

## まえがき

建築は、それぞれの用途に応じた人間の環境を形造るものであるから、建築を設計し、計画し、施工していくにあたって、その居住環境性能に対するきめ細かい配慮が必要になることはいうまでもない。大学における建築学科の学生が、建築の環境機能的な面の基礎的な計画技術を身につけることは、その意味で非常に大切なことだと思われる。

なかでも騒音防止計画は、われわれが快適な生活を営む上で欠かすことのできない基本的要素であるプライバシーの確保に密接な関係をもち、交通機関や生産施設の発展に伴う騒音発生源の増大、都市における建築空間の高密化が、必然的にあらゆる種類の建築の設計に対するその重要性を高めてきているだけに、騒音防止に関する基礎的な知識を十分に理解することは、建築家にとって、ますます必要になってきているといえよう。

本書は、建築音響を、建築のせまい分野の特殊建築の問題としてでなく、集合住宅をはじめとする建築全般の幅広い分野にわたる身近な問題として、総合的にとらえることができるように、騒音防止計画と関連づけながら、系統的に整理し、とりまとめることを意図したものである。

すなわち1章では、音の物理的性質のうち、最少限必要な基礎事項について述べ、2章では建築家がデシベル尺度に十分慣れることができるように配慮し、3章で騒音の影響、評価、許容値について概説した後、4章から8章までに騒音防止計画の中心となる対策、手法の考え方、基礎的理論、具体的な計算方法、材料の性質、設計資料等について、順次、章別にとりまとめ、最後の9章に、実際の設計方法の要点と、オーディトリウムなど、とくに音をきくことを目的とする空間に必要な室内音響設計の概要について述べている。

このような全体の構成は、筆者のこれまでの経験に基づいて、大学の建築学科の学生が、建築家の常識として建築音響を学ぼうとする場合、できるだ

# 目 次

け取付きやすく、理解しやすいようにその内容を考慮したつもりであるが、いたらぬ点があれば筆者の未熟さによるものであり、お許しいただきたい。

なお本書は、建築音響をさらに深く学ぼうとする人達が、より高度の専門書や学術論文に取り組むための基礎としても役立つように、各所で理論的取扱いにふれているので、数式が数多くみられる箇所もあるが、できるだけ全体を通読し、要点を把握するようつとめることにより、適切な騒音防止計画を行なう実務的な力を身につけることができるものと信じている。

本書の執筆にあたり、脚注の引用文献、巻末の参考文献などから、貴重な研究成果や多くの資料を引用させて頂いた。ここに記して感謝の意を表す。また計算機による新しい図表の作成等に協力して頂いた当研究室の関口克明、井上勝夫の両君に対し深く感謝する次第である。

1977年 3月

木 村 翔

1 音の性質	1
1.1 音の発生と伝搬	1
1.2 周波数・波長	2
1.3 音 圧	4
1.4 音の強さ	7
1.5 音のエネルギー密度	8
1.6 干渉と定在波	9
2 デシベル尺度	13
2.1 ウェーバー・フェヒナーの法則	13
2.2 音の強さのレベル	14
2.3 音圧レベル	14
2.4 パワレベル	15
2.5 デシベル計算の基礎	16
2.6 デシベルの合成	17
2.7 デシベルの分解	19
3 騒音の影響・評価・許容値	21
3.1 騒 音	21
3.2 音の大小	21
3.3 等ラウドネス曲線と音の大きさのレベル	21
3.4 騒音レベル	23
3.5 騒音の周波数分析	25
3.6 dB(A) への変換と合成	28
3.7 dB(A) による騒音の評価	29
3.8 NR, NCによる評価	32
3.9 音の大きさの感覚量 sone	35
3.10 騒音のラウドネスレベルの計算	36
3.11 音のやかましさとPN-dB	38
3.12 EPNL, ECPNL, WECPNL	40
3.13 騒音の聴力に対する影響	43
4 騒音の伝搬	45
4.1 点音源からの距離減衰	45

4. 2	線音源からの距離減衰	46
4. 3	面音源からの距離減衰	48
4. 4	塀、建物などによる遮蔽	51
4. 5	道路騒音の伝搬性状	53
4. 6	鉄道騒音の伝搬性状	56
4. 7	航空機騒音の伝搬性状	58
5	室内の音場	61
5. 1	部屋の固有振動	61
	固有振動の周波数と音圧分布／固有振動の数と周波数分布	
5. 2	拡散音場	65
5. 3	拡散音場の壁面入射エネルギー	66
5. 4	室内の吸音力と平均吸音率	67
5. 5	定常状態の室内平均音圧レベル	68
5. 6	平均自由路	69
5. 7	残響時間	70
5. 8	室内における直接音レベルと反射音レベル	73
5. 9	室内吸音処理による騒音の防止	76
6	遮音と遮音構造	77
6. 1	透過率と透過損失	77
6. 2	遮音と吸音	78
6. 3	総合透過損失	79
6. 4	2室間の遮音	80
6. 5	室内と屋外との間の遮音	82
	屋外から室内への騒音の伝搬／室内から屋外への騒音の伝搬	
6. 6	側路伝搬の影響と遮音計画	87
	天井裏を通しての側路伝搬／窓からの側路伝搬	
6. 7	隙間の影響	90
6. 8	質量則	95
6. 9	コインシデンス効果	98
6.10	二重壁の遮音	104
6.11	界壁の遮音基準	109
7	固体伝搬音の遮断	113
7. 1	床衝撃音	115
	床衝撃音レベル／床衝撃音レベルの測定と評価／床衝撃音レベルの低減 対策／床スラブの設計／床仕上材の効果／浮き床の効果	
7. 2	機械の防振	125
	防振の原理／防振設計	

7. 3	振動の評価	131
7. 4	給排水設備騒音	137
8	吸音と吸音構造	141
8. 1	材料の吸音率	141
8. 2	吸音率の測定	144
	垂直入射吸音率の測定／残響室法吸音率の測定	
8. 3	吸音機構による分類	147
8. 4	多孔質材料	148
8. 5	板状材料	152
8. 6	ヘルムホルツの共鳴器	154
8. 7	孔あき板を用いた吸音構造	157
	孔あき板の吸音特性／空気層厚が大きい場合の吸音特性／屏風折壁の場 合の吸音特性／スリット構造の吸音特性	
8. 8	人間と椅子の吸音力	168
8. 9	ダクト系の減音装置	169
	吸音材内張りダクト／吸音材内張り直角エルボ／吸音チャンパ／空洞型 消音器／共鳴器型消音器／開口端反射による減音	
9	音響設計	175
9. 1	騒音防止設計	175
	基本計画／必要減音量の算出／伝搬経路対策の実施	
9. 2	室内音響設計	177
	室の形態の設計／音響障害の防止／最適残響時間と室容積／室内音響指 標／ホールの電気音響設備	
付録 I	吸音率表	211
	多孔質材料／多孔質板状材料／板状材料／孔あき板・孔あき板＋多孔質 材／一般建築材料／人間・椅子吸音力 (m <sup>2</sup> /個)	
II	透過損失表	221
索引		227

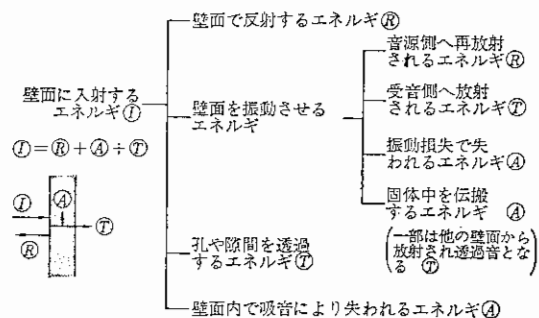
## 6.2 遮音と吸音

遮音をよくするには、透過音エネルギーをできるだけ小さくすることが必要である。壁面に入射した音のエネルギー ( $I$ ) は、6.1図に示すように、反射音エネルギー ( $R$ )、吸音

の他で失われるエネルギー ( $A$ )、透過音エネルギー ( $T$ ) に大別される。

透過音エネルギー ( $T$ ) を小さくするには、 $R$ と

$A$ を大きくすればよいのであるが、普通、壁厚は



10~30 cm 程度であるから、それだけの厚さで吸音によって減衰しうるエネルギーには限度があり、実際には、音波によって振動しにくい、重いがっしりとした壁を造り、入射音エネルギーの大部分を入射側へ反射してしまうのが、よい遮音をうる最も効果的な方法である。すなわち、壁の質量を増すことと、孔や隙間をふさぐことによって、6.1図の ( $T$ ) を小さくするのが、遮音をよくするのに必要な基本的条件であるといえよう。

たとえば20 cm 厚のコンクリート壁 ( $m=460\text{kg/m}^2$ ) は、500 Hz で約50 dB の透過損失を得ることができる。これは  $\tau=0.00001$  で、透過音エネルギーが入射音エネルギーの 1/100,000 となり、入射音エネルギーの 99.999% が遮断されることを意味する。一方、ロックウールやグラスウールのような吸音材のみで20 cm 厚の壁をつくっても、せいぜい70%から90%のエネルギーが吸音により失われる程度であり、薄い気密なベニヤ板1枚にも劣る 5~10 dB の透過損失しかえられない。すなわち吸音材は、そのみでは遮音には全く役立たないといつてよい。

これは、コンクリートのような遮音材が、そのみでは吸音に役立たないのと同じことで、遮音と吸音は異なるものであることを忘れてはならない。

しかしながら、吸音材を遮音材と組み合わせて用いれば、壁の透過損失を

増すのに効果的な場合が多く、また、遮音材の受音室側に表面仕上げ材として吸音材を用いれば、室内吸音力の増大により、2室間または屋外から室内への実効的な遮音性能を増すことができる。このように、遮音を考える場合にも、吸音材の間接的な効果を無視することはできない。要は両者の機能を混同しないようにすることが肝要であるといえよう。

## 6.3 総合透過損失

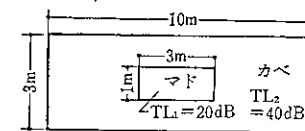
ある壁面が透過損失の異なる部分で構成されているとき、その壁面全体の総合透過損失は次のようにして求められる。

$$\overline{TL} = 10 \log_{10} \frac{1}{\bar{\tau}} = 10 \log_{10} \frac{S_w}{\sum_i \tau_i S_i} \quad (\text{dB}) \quad (6.3)$$

ここで  $\bar{\tau} = \frac{\tau_1 S_1 + \tau_2 S_2 + \tau_3 S_3 + \dots}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots} = \frac{\sum_i \tau_i S_i}{S_w}$

【例題】 6.2図のような壁面の総合透過損失を求めよ。

【解】	TL	$\tau$	S	$\tau S$
マド	20 dB	0.01	3	0.03
カベ	40 dB	0.0001	27	0.0027
			$\sum \tau S = 0.0327$	

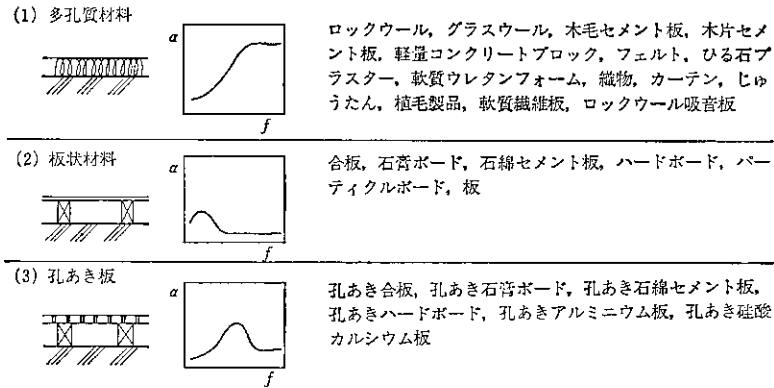


6.2 図

$$\bar{\tau} = \frac{0.0327}{30} = 0.00109$$

$$\overline{TL} = 10 \log_{10} \frac{1}{0.00109} \approx 30 \text{ dB}$$

この例題からもわかるように、総合透過損失に影響するのは各部の透過率  $\tau$  とその面積  $S$  の積であるから、全体の  $\overline{TL}$  を大きくするには、 $\tau S$  の大きいものから順次改良していくことが必要である。この例題の場合は、マドの  $\tau S$  の方がカベの  $\tau S$  より1桁大きいから、まずマドの TL を大きくするかその面積を小さくする必要がある。マドの TL をこのままにしておいてカベの TL をいくら増しても全く無意味で、総合透過損失は 30 dB 以上にはならない。一般に、二つの部分の透過損失の差が大きいほど、遮音性能の弱い部分の小さな面積により、総合透過損失は大きく低下する。



8.8 図 吸音機構による分類

のエネルギーの一部が熱エネルギーに変わり吸音される。その吸音特性は、一般に低音域よりも高音域をよく吸収する。

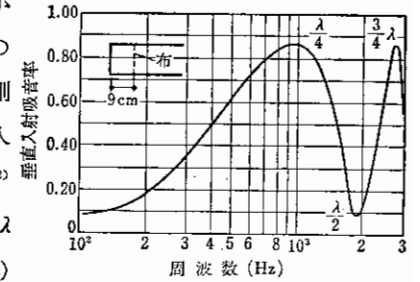
2) 板状材料 合板、石膏ボード、石綿セメント板のような薄い気密な板状の材料は、背後に空気層を設けて施工すると、入射音波によって板振動を生じ、内部摩擦によって音のエネルギーが失われ吸音する。その吸音特性は、低音域の共鳴周波数付近に吸収の山をもち、中高音域の吸音率は小さい。

3) 孔あき板 合板、石綿セメント板などの板状材料に適当な孔径の貫通孔を一定の間隔であけた孔あき板(穿孔板)は、背後に空気層を設けて施工すると、音波が入射したとき、孔の部分の空気が一体となって振動し、背後空気層の空気がばねのように作用して、ヘルムホルツの共鳴器と同様な原理の共鳴吸収を生じ、主に孔の付近の摩擦損失により音のエネルギーが失われ吸音する。その吸音特性は、共鳴周波数を中心に(2)の板状材料よりも幅広い吸収の山を生ずる。

#### 8.4 多孔質材料

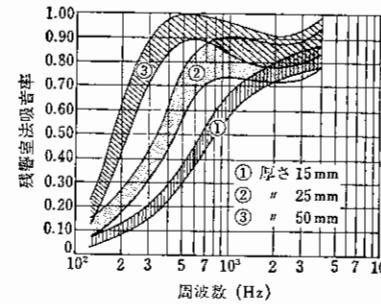
多孔質材料の吸音に対する影響が最も大きいのは、細隙、細孔内の空気の摩擦、粘性抵抗であるが、一般に運動に対する抵抗は速度に比例するので、音波の粒子速度の大きい位置に多孔質材料があるほど、吸音率は大きくな

る。垂直入射波の粒子速度は、剛壁から  $\lambda/4$  のところで最大になり、 $\lambda/2$  のところで最小になるが、管内に布を剛壁から 9 cm 離して取り付け、垂直入射吸音率を測定してみると、8.9 図<sup>2)</sup>に示すように空気層厚が  $\lambda/4$ 、 $(3/4)\lambda$  に相当する周波数 (940 Hz と 2,800 Hz) で吸音率が大きくなることが確かめられる。

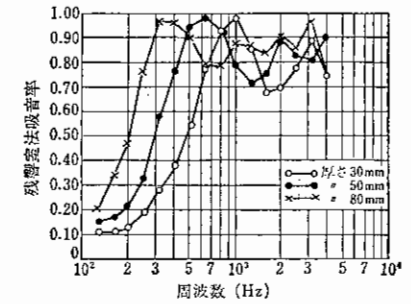


8.9 図 布の垂直入射吸音率 (Brüel)

ロックウールやグラスウールのような布よりも厚みがある多孔質材料を剛壁に密着して施工し、残響室法吸音率を測定すると、一般に低音域の吸音率は小さいが、周波数が高くなって、材料の厚さが  $\lambda/4$  (ただし多孔質材の中では波長が空気中より短くなる) に近づくほど吸音率は大きくなり、それより高い周波数域では、垂直入射のようなはっきりした山谷は表われずに、ほぼ一般的な吸音特性を示す。したがって、剛壁に密着した多孔質材料の厚さを増すと、波長の長い低音域の吸音率が次第に増大する (8.10 図, 8.11 図)。



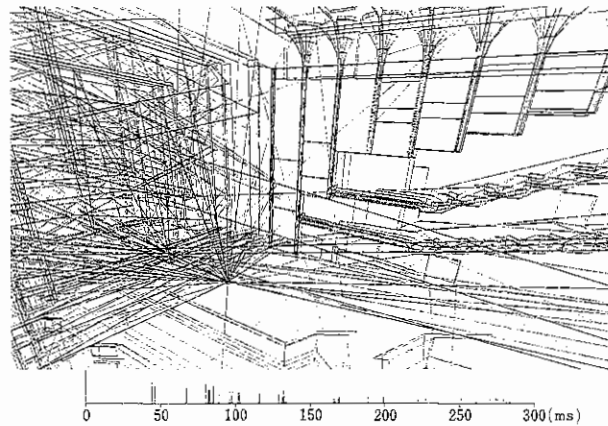
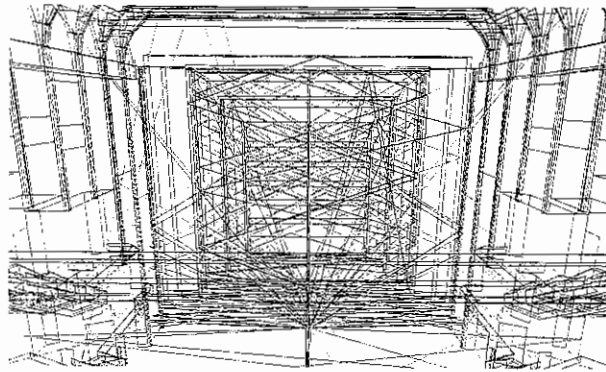
8.10 図 グラスウールボードの吸音特性の材料厚さによる変化 (剛壁密着) かさ比重 0.032~0.048 (子安勝)



8.11 図 木片セメント板の吸音特性の材料厚さによる変化 (剛壁密着) (子安勝)

また同じ材料では、剛壁から離して施工し、背後空気層の厚さを増すほど、低音域の吸音率を大きくすることができる (8.12 図)。

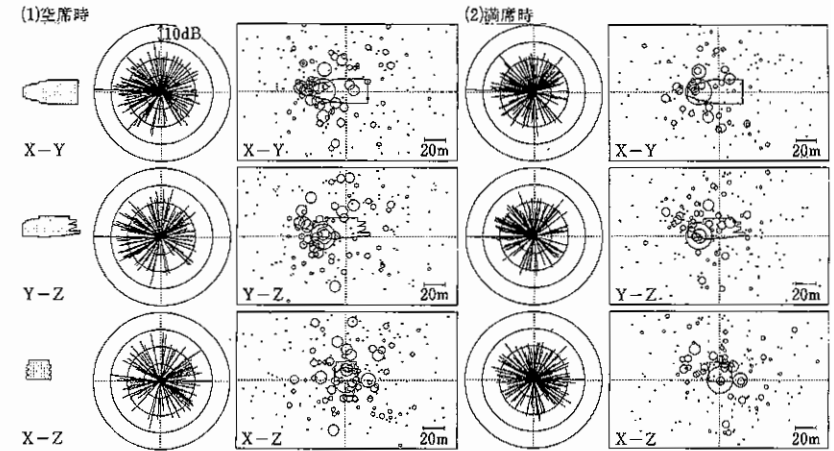
2) Brüel, P. V. : Sound Insulation and Room Acoustics (Chapman and Hall, 1951, p.102)



9.7 図 虚像法による反射音線経路の検討例

時の演奏状態でこのホールが豊かな広がり感のある音場をもつことを示唆している。このような方向情報の計測には「正四面体頂点法」を用いるとよい<sup>2)</sup>。このシステムは、4個のマイクロホンをそれぞれ17cm離れた正四面体の頂点に配置して4チャンネル分のインパルスレスポンスを計測す

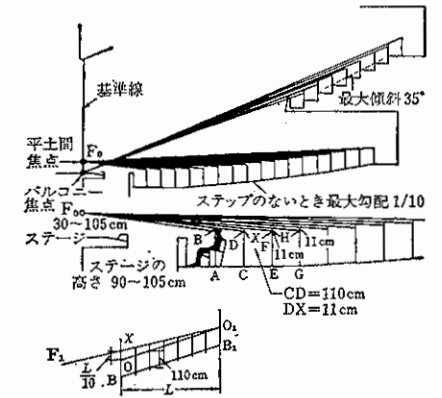
2) 関口克明, 木村翔, 羽入敏樹, 松本英一郎: 4チャンネルマイクロホンシステムを用いた正四面体頂点法による室内音場の解析 (日本建築学会計画系論文報告集第414号, 平2年8月, p. 1~11)



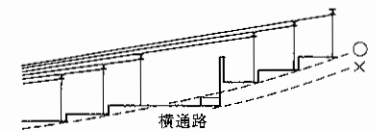
9.8 図 仮想音源位置の分布と反射音の指向性パターン例 (測定点…1階席中央)

るが、その際コンピュータ制御によって観測点における音波の到達時間を正確に把握することができ、計測した4点の時系列情報と正四面体の頂点という幾何学的情報を基に波形を解析することによって、仮想音源の位置を精度よく算出できるものである。

2) 床勾配とバルコニーの設計  
オペラハウスや劇場では舞台上の演技者がよく見えなければならない。舞台のよく見える席は、同時に直接音がよく到達する席でもあるので、客席勾配は視覚的な条件を考えて設計する必要がある。視焦点を舞台最前部に置いて、前列の頭ごしに視焦点が見えるように床勾配をとっていく方法の一例を9.9図に示す。ホール中央に横通路



9.9 図 床勾配の実用的な作図法



9.10 図 横通路がある場合の段床の取り方の例