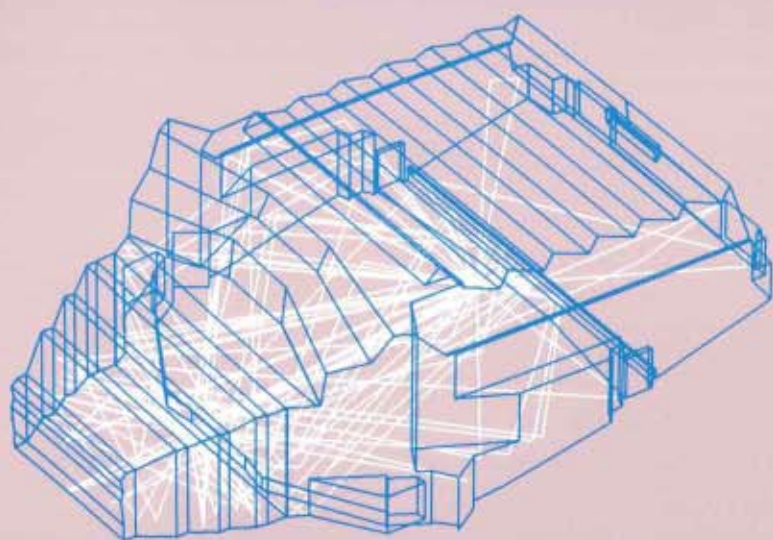


建築の音環境設計

〈新訂版〉



日本建築学会設計計画パンフレット

4

目次		2.3 障壁による音の回折減衰	52
		2.4 空気の吸収による音の減衰	53
		3 室内音場	53
		3.1 閉空間の波動音響的取扱い	53
		3.2 室内音場の幾何音響的取扱い	54
はじめに	1	4 吸音の機構	56
I 音響設計	2	4.1 吸音率	56
1 音響設計の役割	2	4.2 吸音機構の種類と特性	56
1.1 音響設計の重要性	2	5 遮音の機構	58
1.2 音響設計の目的とその内容	2	5.1 透過損失	58
1.3 音響設計の進め方	2	5.2 質量則	58
1.4 建物別音響設計の着目点	3	5.3 コインシデンス効果	58
2 室内音響設計	4	5.4 二重壁の透過損失	59
2.1 室内音響設計の進め方	4	5.5 複合材料の透過損失	59
2.2 基本計画	5	6 質点系の振動	60
2.3 室形設計	5	6.1 自由振動、減衰振動	60
2.4 内装設計	9	6.2 強制振動と共振	60
2.5 内装設計例	13	6.3 非線形振動と自励振動	61
3 騒音の伝搬防止と遮音設計	14	7 振動・固体音の伝搬	61
3.1 騒音防止計画の進め方	14	7.1 固体中の振動の種類とその性質	61
3.2 外部騒音に対する防止設計	17	7.2 曲げ振動の点加振	62
3.3 内部騒音に対する防止設計	21	7.3 振動の反射と透過	62
4 固体音の防止設計	27	7.4 伝搬経路における振動のダンピング	63
4.1 建築物における固体伝搬音	27	7.5 距離減衰	63
4.2 床衝撃音防止設計	27	7.6 固体音の放射	63
4.3 給排水騒音の防止設計	32	III 測定と評価	64
4.4 設備機械の防振設計	34	1 音響測定の基礎	64
4.5 建物における固体音の伝搬とその防止方法	37	1.1 騒音レベルの測定	64
5 ダクト系の騒音防止設計	38	1.2 振動の測定	65
5.1 騒音防止設計の考え方	38	1.3 周波数分析	65
5.2 騒音防止計算のための検討項目	40	2 音響特性の測定	66
6 電気音響設備	43	2.1 材料の音響特性の測定	66
6.1 建築と電気音響設備	43	2.2 建物の遮音性能の測定	66
6.2 電気音響設備の機能	43	2.3 室内音響特性の測定	68
6.3 構成と主要機器	44	3 騒音の影響と評価	69
6.4 性能の評価法	45	3.1 騒音とは	69
6.5 建築設計、施工との関連事項	45	3.2 騒音の心理的影響	69
6.6 電気音響設備計画上の着目点	46	3.3 各種騒音の評価法	70
II 音の性質	47	4 振動の影響と評価	73
1 基本事項	47	4.1 建物における振動	73
1.1 音波とは	47	4.2 振動の影響	73
1.2 平面波の伝搬	48	4.3 振動の評価	73
1.3 音波のエネルギー的取扱い	48	付録	75
1.4 音の種類	48	1 吸音率表	75
1.5 デシベル (dB) 尺度	49	2 透過損失表	78
2 音の伝搬	51	3 床衝撃音レベル	83
2.1 距離減衰	51		
2.2 音波の回折・屈折現象	52		

はじめに

増大しつつある各種騒音の制御、高密度居住におけるプライバシーの確保など居住性の向上に対する要求の高まりや、音楽を聴くための高度な音響空間の創造といった形で、建築空間の音響的な質が強く問われるようになり、建築の音環境性能に対する社会的要求がますます強まってきている。もちろん従来から建築設計計画における音響的配慮の重要性は一般に強く認識されており、設計計画パンフレットでも、4.「音響設計」のほかに、「騒音防止設計Ⅰ、Ⅱ」が約20年前にまとめられている。特に、昭和32年に初版が発行された「音響設計」は、技術的發展に対応して、昭和41年に音分科会の平山嵩主査、幸田彰幹事のもとで大改訂が行われ、改訂新版として出版されており、設計者の座右の書として、また学生の教科書として長年にわたりその使命を果たしてきた。しかしながら15年以上の歳月を経るに及び、その間の社会的要求の変遷や技術的革新が著しいことから、今回再び基本的な構成から練り直し、書名も「建築の音環境設計」と改題して、新訂版として刊行することになった。

今回の改訂は、旧版の趣旨を生かし、設計計画パンフレットとしての位置付けをより明確にしつつ、新しい技術的成果を組み入れることを基本方針として建築音響・振動分科会を母胎に、現在第一線で活躍されている方々を委員ならびに執筆委員にお願いして作業を進めてきた。全体的な構成としては、建築の設計計画の中における音響計画という側面を強く打ち出し、音響設計の考え方から実際までをⅠ編として前に出して、設計のフロー・配置、平面、構法、材料計画と対応させ、音響性能は付加的な手法ではなく建築設計そのものでしか実現できないことを強調して記述し、音響に関する基本的な事項や資料はⅡ編、Ⅲ編として後に送り、詳細は専門の他書に委ねる姿勢をとっている。内容項目をみると室内音響計画に比して騒音防止計画のウエイトが大きくなったほか、床衝撃音などの固体音の防止計画が大幅に取り入れられている。

このように本書は、一般の設計者が設計の手引きとして用い、通常の建築物を音響的な欠陥がないように設計できることを主眼に書かれたものであるが、ねらいは「遮音性能基準と設計指針」のようなマニュアル的な使われ方よりも、むしろ通読することによって音響的配慮の重要性を認識し、空間を設計するとき、詳細図の寸法・材料を決めるとき、音響的な「痛み」を感じ、少なくとも問題点のチェックをする素養を身につけていただきたい点にある。そのような意味においても、また技術的なレベルから見ても、一方において本書は学生のための教科書として十分使用に耐えるものであると考えている。

1983年3月

環境工学委員会 建物の音響設計分科会

主査 木村 翔
幹事 橋 秀樹
安岡 正人

委員 石井 聖光
泉 清人

大川 平一郎
久我 新一

久保田喜八郎
古宇田 潔

後藤 剛史
永田 穂

長友 宗重
前川 純一

山本 照二
板本 守正

坂田 展甫
桜井 美政

関口 克明
中村 俊一

田中 洪
藤原 恭司

古江 嘉弘
古川 宣一

(五十音順)

建物の音響設計分科会 主査・幹事

直接音が到達することは、話声・音楽の聴取にかかわらず大切であるが、大きな空間では音源からの距離の2乗に反比例して直接音が減衰するため、時間差の少ない1次反射音によってそれを補強できるように、反射面の寸法、位置、角度などを検討する。その方法は、まず舞台上等の必要な場所に音源位置を想定し、各反射面に対する音源の鏡像を求めてその鏡像からの音(反射音)が客席に様に到達するように音線図によって平面形、断面形の検討を行う。

またロングバスイエコーの防止について、音線図により直接音が到達してから1/20秒以内に反射音が到達するかどうかを検討し、反射音の時間遅れが大きくエコーの可能性がある場合には該当壁面の向きや形状を変更するか高度の吸音処理をする。

会議室や集会室などの比較的小さな室では、室内の各点が音源に近いので、1次反射音はそれほど重要ではないが、硬い平行壁面などで規則的に反射が繰り返されて、フラッターエコーが発生するおそれがあるので、仕上材料の配置を含めて室形状の検討を要する。

2) 平面形

ホールの基本形について、側壁からの反射音の検討を行った例を図2-2に示す。コンサートホールでは特に水平方向の反射音が重要であるが、客席が開角の広い扇形の場合は、壁からの反射音がこない客席が生ずる。

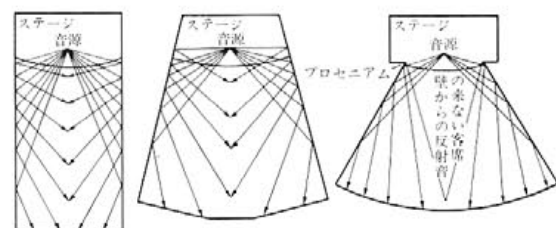


図2-2 ホールの基本形による側壁からの反射音の検討

多目的ホールの平面形について基本的な検討を行った例を図2-3に示す。

(i) 奥行に比べて室幅の広い平面形は、音響的には横方向からの反射音の寄与が少なく、面積の広い後壁からの反射音が多くなって、音楽の聴取に適した音場が得られにくい。この形は客席が舞台に近いので劇場などによく採用されるが、その場合は初期反射音を得るために天井の形を検討するとともに後壁に拡散的な形状を取り入れ、吸音材を分散配置し

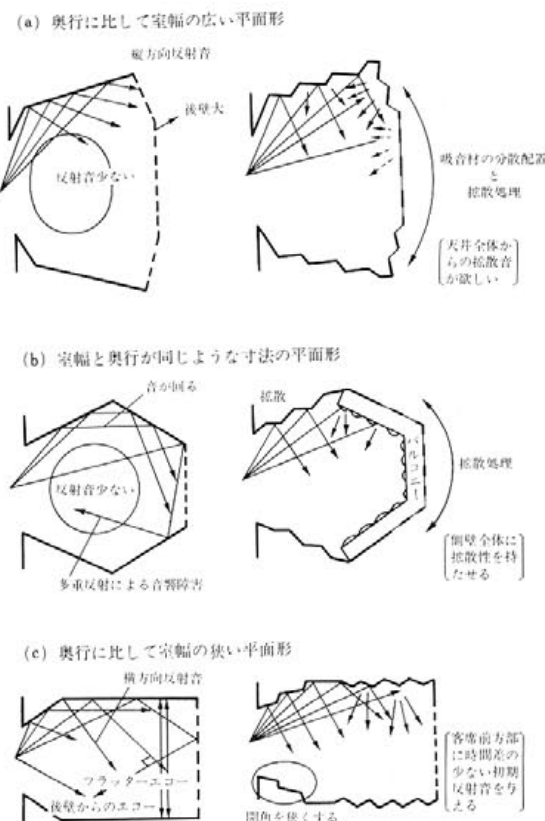


図2-3 多目的ホールの平面形の検討例

て後壁からの反射音も利用することが望ましい。また反射音が少ない部分への電気音響設備による拡声補償も検討するとよい。

(ii) 室幅と奥行が同じような寸法の多角形や円形に近い平面形では、壁面に沿って音が回りやすいので、側・後壁には凸型の拡散体や奥行の浅いバルコニーなどの突起物を設けて、音を十分に拡散させなければならない。また、舞台開口部周辺の天井反射板、前方側壁の形状を検討して、初期反射音を確実に客席に送りこむ必要がある。

(iii) 奥行に比べて室幅の狭い矩形の平面形は、互いに接近した両側壁から、水平方向の初期反射音が客席に到達し、音楽の聴取に好ましい音場が得られやすい。ただし、平行な側壁はフラッターエコーが生じやすいので、凹凸等により拡散効果を持たせるとともに、客席への初期反射音をより広い壁面から期待できるようにする。またホールの奥行が深くなると、後壁を経由する後方からの反射音が、前方客席でエコーになりやすいので注意を要する。

3) 断面形

(a) 天井 会議室や宴会場のように、床面が平坦で音源位置が定まらない室では、全体として方向性を持たない拡散性の天井とする必要がある。

体育館は、競技に支障のないように天井高を高くとるので、残響過多となりがちであり、またコート部分の平坦な床面と天井との間にフラッターエコーを生じやすいので、天井の形に十分注意するとともに天井全面が高度の吸音性の仕上げとなるように計画する。

ホールの天井面は、天井からの1次反射音が、客席内の直接音を効果的に補強できるように、反射面の位置と角度を適切にとりながら形を決定していく。

中央部から後方にかけての天井面は、十分な高さを確保するとともに、有効な反射音・拡散音が客席や側壁へ落ちるような形にする(図2-4)。なお全体の断面形状がドーム状の凹曲面にならないように注意する必要がある。

(b) 側壁 横断面に関して、側壁面から客席への1次反射音を効果的に返すためには、壁面全体を客席側に少し内傾させたり、拡散面を採用したりして反射音の一部が客席に落ちるようにする。

室幅の広いホールの場合、両側壁に沿った客席を持ち上げて中2階程度の高さにし、その腰壁からの反射音を利用してホール中央部へ反射音を送るよ

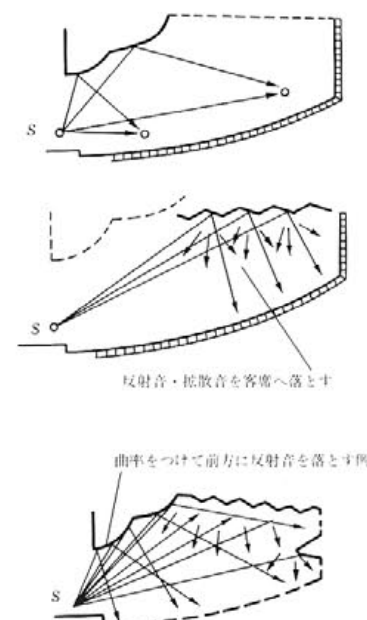


図2-4 ホールの断面形の検討例

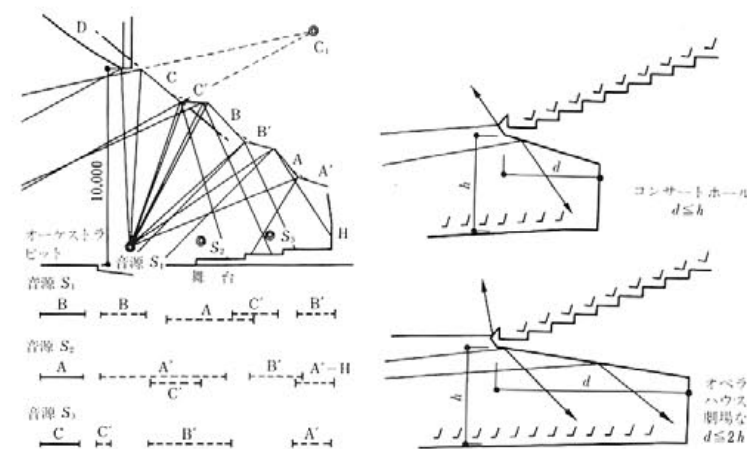


図2-6 舞台上における反射音線図の例

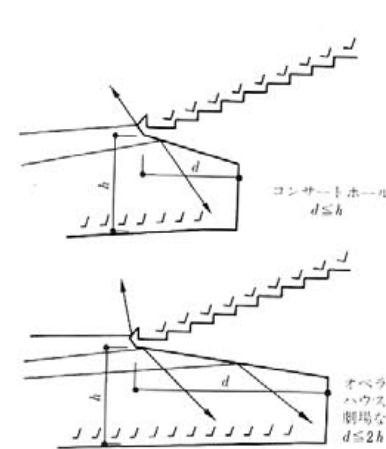


図2-7 バルコニーの高さと奥行の関係

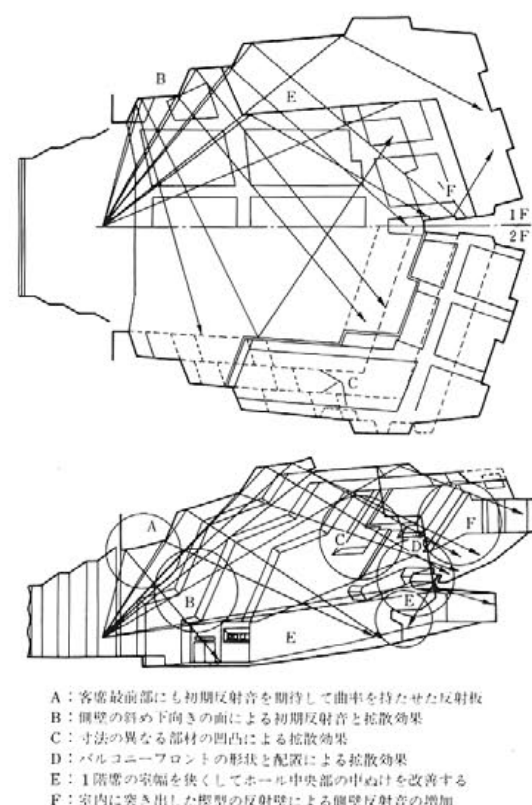


図2-5 2,000名収容の大規模ホールにおける室形設計の検討例

うにするのもよい。また室内に突き出した楔型の反射壁によって、横方向からの反射音を増すことも可能である。1,800~2,000名収容の大規模ホールにおける室形設計の検討例を図2-5に示す。

(c) 舞台反射板 ホールにおける音楽用の舞台上反射板は、舞台上の演奏音を効果的に客席に送り出すだけでなく、演奏者相互に反射音を聞かせる重

力学的変形のタイプによって、板ばね、コイルばね、トーションバーなどに分類されるが、建築ではもっぱらコイルばねが用いられる(図4-21)。

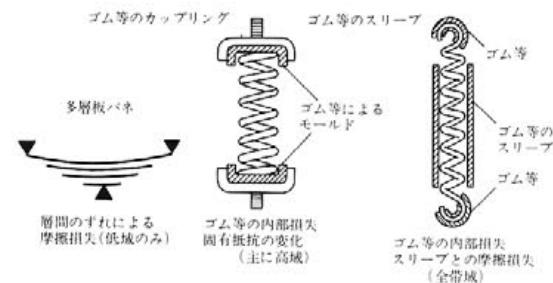


図 4-21 金属ばねとダンピング方法

c) 空気ばね

極めて低い固有振動数が得られ、高音域での防振効果の低下もない。非常にすぐれた防振材である。自由に制動抵抗とばね定数が調節できる。常時空気補給型は、コンプレッサーなどの付属装置を必要とするが、荷重条件に応じて静的な位置の調整が可能である。

種類としては、ペローズ式、ダイヤフラム式、ピストン式などの形式があり、空気については密閉型、半密閉型、常時補給型の別がある(図4-22)。



図 4-22 空気ばねの構造

d) ロックウール、グラスウールなど

昔は炭化コルクやフェルトなども用いられたが、

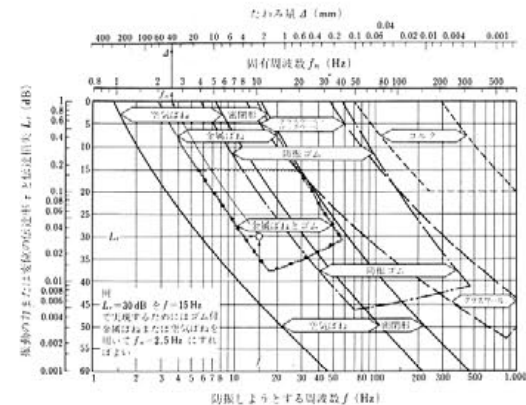


図 4-23 防振材料の選定図(安岡正人)

最近では高密度のグラスウールやロックウール、各種の連続気泡の発泡プラスチックなどが面的防振材として用いられる。浮き床用緩衝材については、4.2 節4)に述べられているので参照すること。

系の固有振動数 f_n による防振材の種類の選定図を図4-23に示す。

5) 制振材料・制振器

固有振動系の制動や板などの制振に用いられる材料を制振材といい、各種のダンパーや内部損失の大きい粘弾性材が用いられる。

単体の制振器には、オイルダンパーや共振型の吸振器があるが、適当な抵抗と容量を持つものを適切な位置に用いる必要がある(図4-24)。

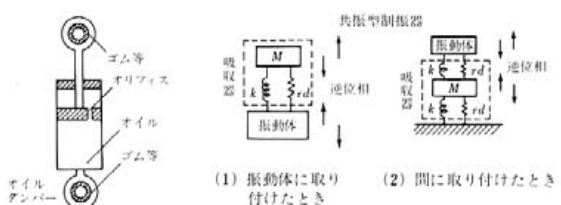


図 4-24 制振器の例

板などの制振材には、素材としてゴム系、プラスチック系、アスファルト系のコンパウンドが用いられ、力学的には伸縮型と剪断型の別がある(図4-25)。

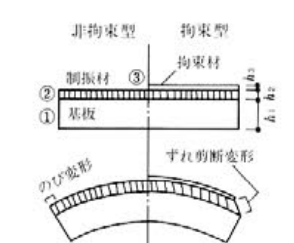


図 4-25 制振材の非拘束型(伸縮型)と拘束型(剪断型)

基板の片面に制振材をつける伸縮型の制振効果は $E_2/E_1 \ll 1$ のとき式(4.11)のようになり、厚さ比の寄与度が高いが、通常は鉄板などに対して厚さ比2~3倍で複合板としての損失係数が0.05~0.2程度になるような材料がシートや塗料として供給されている。

$$\eta \approx 14 \eta_2 \cdot \frac{E_2}{E_1} \cdot \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (4.11)$$

ここで、 η , η_2 : 複合板、制振材の損失係数
 E_1 , E_2 : 基板、制振材のヤング率(N/m²)
 h_1 , h_2 : 基板、制振材の厚さ(m)

基板と拘束層で制振材をサンドイッチにした剪断型の制振効果は、0.1mm厚程度の非常に薄い制振層で効率よく制振できるのが特徴で、制振テープやサンドイッチ板として市販されている。

4.5 建物における固体音の伝搬とその防止方法

1) 建物構造体中における振動の伝搬性状

建物は柱・梁などの棒状構造体と壁・床スラブなどの板状構造体の組合わせであるため、その中を伝わる波動の種類も多く、また無数に存在する接合部の断面変化・直角曲がりによる透過・反射の繰り返しや波動の種類の変化が生じるので、

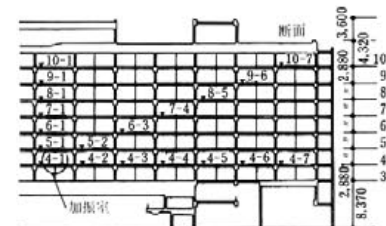


図 4-26 建物における振動伝搬の測定

均質固体中に比べて振動の伝搬性状は著しく複雑である。

図4-26, 27は実際の建物(RC造ホテル)における振動伝搬の実測例で、4階の1室の床スラブを加振したときの垂直・水平・斜め方向の各室床スラブにおける振動加速度レベルの分布を示す。この結果から、構造体中の伝搬経路が長くなるほど、周波数が高くなるほど振動の減衰が大きくなることがわかる。

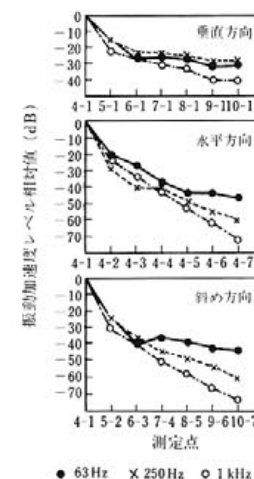


図 4-27 振動加速度レベルの分布(橋 秀樹)

建物内部の振動源としては、各種設備機器・エレベーター・配管系あるいは人の歩行、建具の開閉などに注意する必要がある。

2) 外部振動源から建物への振動の伝搬

建物に影響を与える外部振動源としては、鉄道・道路などの交通機関や工場の機械類が挙げられる。これらの振動は地盤を介して建物に伝わり、建物内部で振動・騒音障害を起こすことがある。図4-28は、地下鉄の走行振動が近接した建物に伝搬したときの建物の床スラブの振動加速度レベルと室内の騒音レベルを測定した結果の一例である。

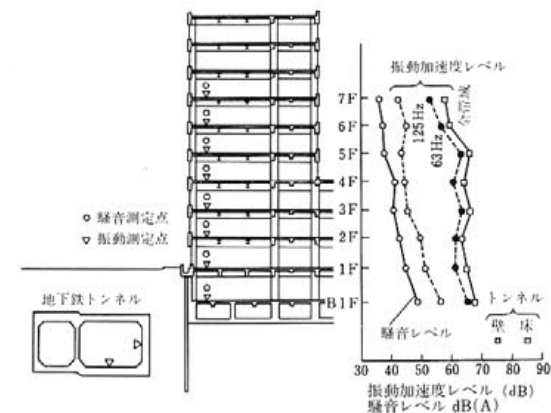


図 4-28 地下鉄から建物への振動の伝搬・実測例(橋 秀樹)

3) 対策方法

固体音の防止対策としては、内部振動源・外部振動源によらず、まず第一に振動源に有効な防振対策を施し、建物に振動が伝わらないようにすることが大切である。振動がいったん建物に入力されると、その伝搬過程(構造体)で対策を施すことは一般に極めて難しく、固体音による放射音が問題となる室内側での対策が必要となる。図4-29はそのための構造の原理図で、構造体内部にもう一つの箱を防振支持し、室内への振動・騒音の伝搬を遮断する。

図4-30は、地下鉄構築に近接したホールで振動の影響を避けるために、ホール全体を浮き構造とした実例である。

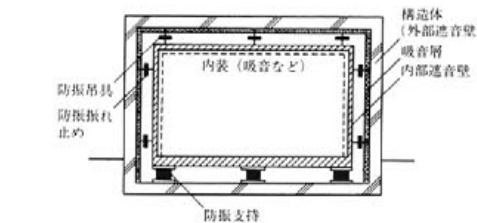


図 4-29 二重・浮き構造の原理図

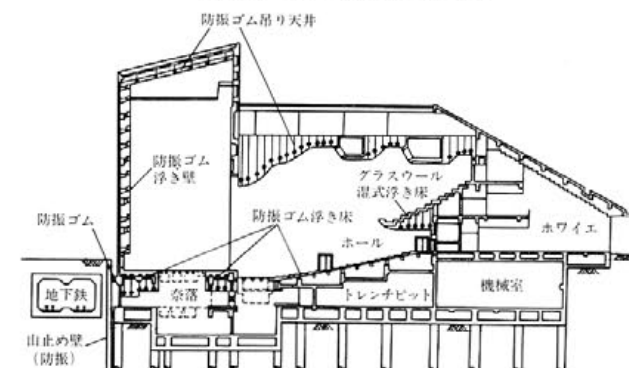


図 4-30 ホール全体を浮き構造とした例(A厚生年金会館)

(f) 催しものの記録、録音 一般の催しものの記録から音楽の録音まで、その性能のグレードの幅は広い。機器としては民生用のカセットレコーダーから、プロ用のテープレコーダーまで、使用目的によって各種のレコーダーが使用されている。

6.2 節で示した各機能に対して必要とする機器を表 6.1 に示す。

[illegible]

(a) マイクロホン 作動原理からダイナミック型、コンデンサー型、指向特性から無指向性、単一指向性、双指向性、使用目的から楽器用、歌唱用、一般用、使用場所からいって手持ち用、フロア用、演壇用、吊り用、モニター用等がある。

拡声、放送用に使用するマイクロホンは単一指向性が原則である。また、手持ちで使用するマイクロホンは、タッチノイズや息の吹込みによって、ノイズが発生しないことも必要である。使用場所によっては、その形状、大きさも問題になる。マイクロホンの選定にあたっては、その使用目的を考え、定評のある機種を選定することが望ましい。

44

The diagram illustrates a stereo system's internal signal processing. It starts with an '入力' (Input) section on the left, which includes a 'レベル・音質・位相・調整' (Level, Sound Quality, Phase Adjustment) block and two other blocks marked with an asterisk (*). These feed into a central '混合・選択' (Mixing/Selection) block. Above this central block is a 'レベル監視' (Level Monitoring) meter. To the right, the central block feeds into another 'レベル・音質・位相・調整' block, which then connects to a '混合・選択' block. This second '混合・選択' block has two output paths: one leading to 'スピーカー増幅器へ' (To Speaker Amplifier) and another leading to a '混合・選択' block that feeds into a '録音機入力へ' (To Recording Machine Input). At the bottom, there are four output sections, each with an '出力' (Output) label and a specific device: 'ワイヤレス受信機' (Wireless Receiver), 'レコーダープレーヤー' (Recorder/Player), '残響付加装置' (Reverberation Adding Device), and 'チューブレコーダー' (Tube Recorder). Each of these bottom sections also has an '入力' (Input) label. A 'モニタースピーカー' (Monitor Speaker) is shown at the top right, connected to the main signal path.

音響調整卓の規模は、一般に入力信号数、これから得られるグループ信号の数、独立して得られる出力信号の数で決まる。しかし、そのほかに、信号の受渡し方式、レベルモニターの個所、音響調整の個所など運用に関係する機能面で特色を持ったさまざまなタイプのものが製作されている。音響調整卓の選定にあたっては、必要以上に複雑で大規模な設備を選ぶべきではない。設備の使用目的とともに、運用方法やオペレーターの技能のレベルを考慮して決める必要がある。

現在、図 6-3 に示すように、単一コーン型のスピーカー、これを直線上に並べたシステム、ホーン型とホーンロードを持つコーン型スピーカーを組合せた大型のシステムの 3 種類が用いられている。

単一コーン型 スピーカー  (天井・壁掛用)	直線配列型 スピーカー  (会議室用)	ホーン型、コーン型の 組合せシステム  (劇場用)
---	--	--

図 6-4 スピーカーの集中配置と分散配置

(a) 集中配置

(b) 分散配置

スピーチに対しては、ハウリングが起りにくく、明瞭度のある拡声音が望ましい。また、音楽に対しては、十分な音量と品質の高い音が要求される。電気音響設備の性能の評価法として、まだ基準といえる段階にはないが、現在、多目的ホールで行われている評価法とその測定例を示す。

(b) 伝送周波数特性　ピンクノイズ信号を再生し、1/3 オクターブ分析器、あるいは直視型の分析器で室内代表点における伝送周波数特性を測定する。図 6-5 は測定結果の一例である。この伝送周波数特性はある程度、電氣的に調整することが可能である。特に、大きなピークはこれを抑える必要がある。

図 6-5 伝送周波数特性の測定例

(d) ハウリングに対しての安定性 図 6-6 に示した測定装置で、拡声音の利得をハウリング限界から 6 dB 下げたとき、拡声用のマイクロホンの前面での音圧レベルと室内代表点における拡声音の音圧レベルとの差を測定する。これを安全拡声利得という。

図 6-6
安全拡声利得
の測定装置

安全拡声利得が -10 dB というときは、話者とマイクロホンの距離を 30 cm としたとき、客席内では、約 1 m の点で話者が話したと同じレベルで聞こえることを表す。安全拡声利得が -6 dB ならば、話者との等価的な距離は 60 cm となる。安全拡声利得は -10 dB 以上であることが望ましい。

電気音響設備は建築設備の一つであり、その設計、施工にあたっては、建築設計、施工の一環として実施する必要がある。基本的な事項を次に示す。

44