

# 内装構造壁からの音の放射特性に関する研究

真藤利孝 東山克美  
平野 滋

## Study on Characteristics of Sound Radiation from Internal Structural Wall

Toshitaka Shindo Katsuyoshi Higashiyama  
Shigeru Hirano

### Abstract

This report describes measurement and experimental results on the characteristics of sound radiation from an internal structural wall to find the relation between vibration amplitudes of the wall and the energy of radiating sound as an aid to the method of designing of solid-borne sound insulation.

This radiation generally is described in terms of the so-called radiation factor of the structure, which is designated by the symbol  $K$ . That is, acoustic power related to the internal structural wall can be determined from the radiation factor of the structure.

Therefore, the radiation factor of the structure and the transmission losses of plywood and plasterboard were obtained as data for solid-borne sound insulation.

### 概 要

この報告書は、固体伝搬音遮断設計法に関する研究の一環として実施した内装構造壁の放射特性、すなわち、壁面の振動振幅と放射音のエネルギーとの関係についての測定方法及び測定結果を述べたものである。

コンクリート躯体に設置される一般の内装構造壁の放射特性を表わす量として、構造体放射係数 $K$ がある。これは、板面の振動がどれだけ有効に空気中の音になるかという一種の有効係数のようなもので、振動板の物理的性質や周波数によって変化する。すなわち、構造体放射係数を知ることにより、内装構造壁より放射される音響出力を求めることができる。このようにして、内装構造壁として下地構造を含めた種々の厚さのベニヤ壁、プラスターボード壁の構造体放射係数を求め、固体伝搬音を遮断する資料を得た。

## 1. まえがき

騒音防止設計は、大きく分けると、空気伝搬音に対する遮音設計と固体伝搬音に対する遮音設計の二つになる。空気伝搬音に対する遮音設計は、資料も整っており、設計実施上に大きな問題点はない。しかし、固体伝搬音の遮音設計については、定量的な遮音設計が全く実施できないのが現状である。

一方、最近の建物には種々な機械設備が必要となり、設置場所も地下や屋上などから中間階へと広がり、騒音振動源が増々増大している。また、地下鉄を始めとする交通機関による振動源も増大している。ここで取り上げた固体伝搬音は振動公害と異なり、音になる振動で建物の壁やスラブが振動して放射する音を問題としているものである。固体伝搬音の遮音設計には次の

ような解析が必要となる。

- (1) 振動入力に対する構造体のレスポンス
- (2) 固体内の振動の減衰
- (3) 構造体からの音の放射

このうち最も効果のあるものは振動入力制御であり、我々がタッチしうる範囲では、防振基礎の設計、防振ゴムの使用等がある。今回は、(3)の構造体からの音の放射を取り上げ、一般に、内装材として使用されるものについての放射特性を実験により求めたので、その結果を示す。

## 2. 構造体からの音の放射

建物構造体には、その起振条件によって、屈曲波縦波など、種々の固体振動が生じる。しかし、音の放射にもっとも関与するのは屈曲波である。すなわち、板

の屈曲振動によって生じる放射音のエネルギーは、板の屈曲振動の振幅のほかに屈曲波の伝搬速度と音速との比、あるいは屈曲波の波長と音の波長との比にも関係する。屈曲波の伝搬速度は周波数の平方根に関係するから、同一振幅でも周波数によって、音の放射能率が異なることになる。

板の放射特性を規定する量として、次の放射係数が定義されている。すなわち、

$$K = \frac{N}{N_0} \dots\dots\dots(1)$$

N：面積Sの板の屈曲振動によって生じる音のパワー。

N<sub>0</sub>：同じ速度振幅でピストン運動をしている無限の大きさの板で面積Sが放射するパワー (ρcV<sup>2</sup>effS)

(ρ：空気の比重，C：音速，V<sub>eff</sub>：速度振幅の実効値)

無限大の板自身の放射特性の理論値は知られているが、コンクリート壁に胴縁で支持されているような構造壁についての放射特性とは全く異なるものである。

すなわち、実用的にはコンクリート構造、木枠、内装材の全てを含んだ放射特性を知る必要がある。伝搬経路をたどるとコンクリート構造に伝搬してきた振動が木枠構造に伝わり、これに支持された内装材を振動させ、音を放射する。したがって、コンクリート構造体を基準にして、その振動振幅から内装材を仕上げた時の放射音響が求まれば、内装材による固体伝搬音の遮断設計にそのまま使用できる。

定義された放射特性と同様にコンクリート板を含んだ内装材からの放射特性 K' を定義してこれを求めた。

$$K' = \frac{N'}{N_0'} \dots\dots\dots(2)$$

N'：速度振幅が V<sub>eff</sub> の場合の構造壁面からの放射音響出力。

N<sub>0</sub>'：同じ速度振幅 v<sub>eff</sub> でピストン運動をしている構造壁の放射音響出力。

### 3. 構造体放射係数

無限の大きさの板で面積Sがピストン運動により放射する音のパワーは、N<sub>0</sub>=ρcV<sup>2</sup>effS であるから、面積Sの構造体の放射する音のパワーは、放射特性をK' とすると、N'=ρcV<sup>2</sup>effSK' で得られる。

したがって、単位面積当りのパワーレベル (PWL<sub>1</sub>) は次の式で得られる。

$$\begin{aligned} PWL_1 &= 10 \log (N'/N_0) \\ &= 10 \log (\rho c V^2 \text{eff} K' / N_0) \\ &= 10 \log (\rho c V^2 \text{eff} / N_0) + 10 \log K' \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

(1 watt=120dB とすると、N<sub>0</sub>=10<sup>-12</sup>)

α：加速度振幅 (1gal=10<sup>-2</sup>m/sec)

v：速度振幅 (v=α/2πf)

ρc：固有音響抵抗 (415kg/cm<sup>3</sup>)

一方、受音室での音圧レベル (SPL) の測定結果から構造体の単位面積当りの放射パワーレベル PWL<sub>2</sub> は次の式より得られる。

$$\begin{aligned} PWL_2 &= SPL - 10 \log_{10} (4S/A) \\ &= SPL - 10 \log_{10} (S/A) - 6 \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

A：受音室吸音力 (m<sup>2</sup>)

吸音力(A)は残響時間(T)より次の sabin の式より求めると、

$$A = 0.161 V / T \dots\dots\dots(5)$$

V：室容積 (218m<sup>3</sup>)

内装材表面の振動速度から計算される PWL<sub>1</sub> と受音室の音圧レベルから算出される PWL<sub>2</sub> を等しいとおくことによって、放射係数を求めることができる。

以上の方法によって放射係数 K' を求めたが、ここでは 10 log K' の形で整理した。

### 4. 測定装置

普通の施工で見られる図-1のような壁面構造体がコンクリート躯体の振動で起振される状態は、起振機の数及び動作特性を任意にとり得るとすれば、図-2のような機械的な駆動系でシュミレートできると考えられる。また、内装構造壁を残響室に設置すれば、その放射音響出力は、残響室の音圧レベルから求めることができる。

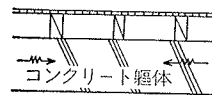


図-1

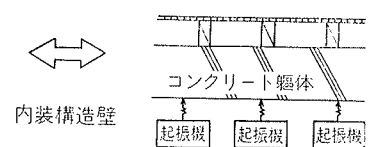


図-2

内装構造壁は、残響室の床衝撃音測定用開口部に、2350×1280の大きさのコンクリート板3枚を防振ゴムの上に載せ、その上に、木枠構造640×450の間隔の胴縁を作り、木レンガ用ボンドで接着し、周囲をコーキングして設置した。このように設置したコンクリート板の下面より起振機で起振し、上面の振動レベルと上室(第1残響室)の音圧レベルの関係を求めたものである。この場合、振動レベルの読み取り方としては、変動巾(最大値、最小値)、平均値をおのおの読み取った。起振機は、2350×1280のコンクリート板に、おのおの3個、全体で9個取り付けられた。

測定室の概要を図-3に示し、試料取付用木枠構造を図-4に示す。測定装置のブロックダイアグラムを図-5に示す。また、特殊クリップ、胴縁取付け状態を写真-1に示す。発振源は、オクターブ帯域のバンドノイズを使用し、常にレベルは一定とした(増幅器出力15V)。測定周波数は63Hz, 125Hz……4kHzのオクターブ間隔の7周波数とした。音源室(第3残響室)における起振機の配線図を図-5に示す。起振機個々の変動巾は900×1800のベニヤ板に取り付けられた時の放射音より求め、変動中の少ないもの9個を選び、表-1に示す。これによると±3.5dB程度の変動がある。起振機取り付け時の起振機側の残響室内のレベルは、コンクリートスラブのみの状態で受音側の残響室内のレベルとほとんど同じレベルを示し、空気音の透過による影響は全くない。

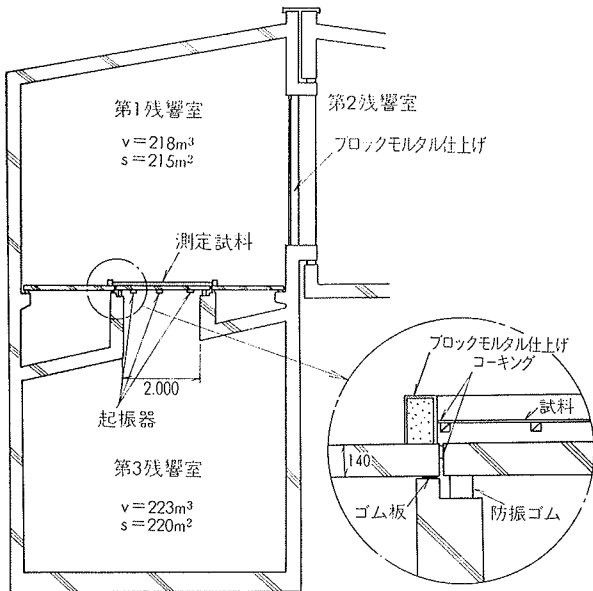


図-3 測定室の概要

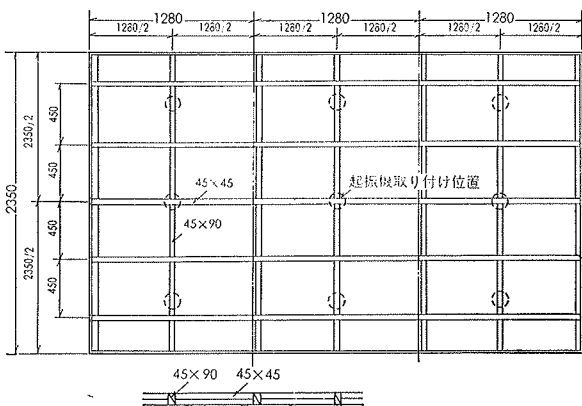


図-4 試料取付用木枠構造

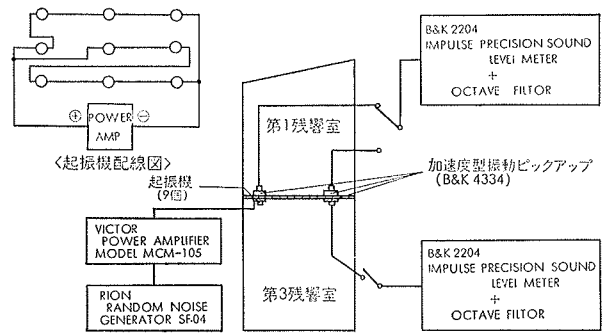


図-5 測定用ブロックダイアグラム

	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K
起振機 No.1	0	0	0	0	0	0	0	0
No.2	+1	0	+1	-1	0	0	0	0
No.3	+2	+2	+2	-2	-1	-1	-2	-1
No.4	+1	+1	0	-1	-1	-1	-2	-1
No.5	+1	-3	+3	0	0	0	0	0
No.6	+4	-3	-2	+1	+1	+1	0	+1
No.7	-2	-2	-2	0	0	0	-1	-1
No.8	-2	-4	-3	-1	0	0	-1	0
No.9	-3	-2	0	0	0	0	-1	0
変動巾	±3.0	±3.5	±3.0	±1.5	±1.0	±1.0	±1.0	±1.0

表-1 起振機9個の変動巾

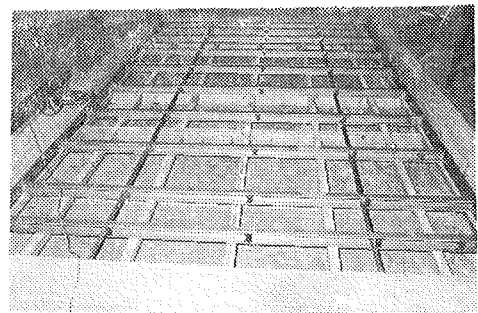


写真-1 胴縁取り付け状態

## 5. 測定結果

ベニヤ内装壁、プラスターボード内装壁の構造体放射係数(10log K)を測定結果(各試料の振動レベル、音圧レベル)から算出し、図-6、図-7に示す。また、スピーカーを使用した空気音による透過損失測定結果を図-8、図-9、受音室における起振機稼動時のパワーレベル(PWL<sub>0</sub>)を図-10、板面(胴縁間)と基準点との加速度レベル差を図-11に示す。

なお、測定結果は全て、測定日の異なる2回の測定の平均値である。放射係数については振動の測定点を基準点上(起振機直上)、胴縁上、胴縁間(胴縁で囲まれた板の中央)の3通りについて求めた。起振機に対する入力、15V一定に保ち、起振機取り付け側(音源側)のコンクリートスラブの振動をレベルチェックとして3点測定した。この3点の平均値を図-12に示すが、これを見ると一連の試料の測定において、

±3dB の範囲におさまっている。

測定結果から次のようなことが考えられる。

(1) 最も安定した受音室の音圧レベルから求めた各試料の放射パワーの比較図(図-10)より、一般の胴縁では63~250Hzまでの低中音域で内装仕上げによって放射パワーは増幅される。また、減衰している15MMプラスターボード二重貼りの特殊クリップ、タップビス等は、図-7にも示すように、一般胴縁上に軽鉄下地を組み、その上に点接触(プラスターボードと軽鉄間)の防振特殊クリップでボードを支持したものと、軽鉄にボードを直接タップビス止めしたものである。これらの結果が良いのは、空気層の増大、プラスターボードの使用等もあるが、胴縁と軽鉄下地の支持がルーズであった為に、防振効果が生じたと思われる。

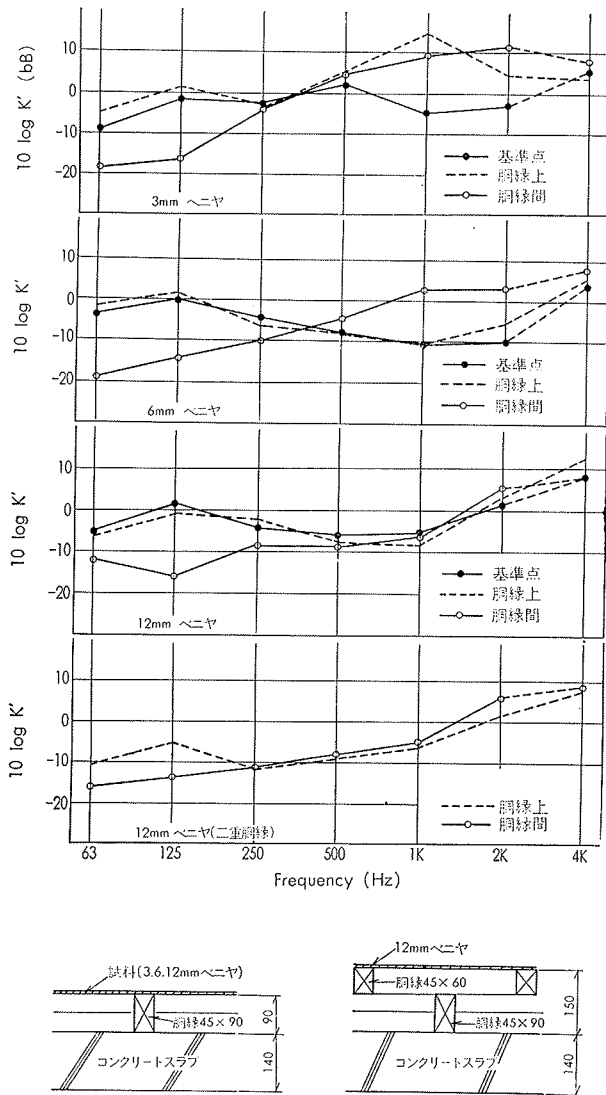


図-6 ベニヤ壁の構造体放射係数

(2) 図-6, 7に示した構造体放射係数は、低音域で板の中央の振動が大きく、高音域では、胴縁上の振動が大きい。このことから、振動の増幅、減衰も裏づけられる。但し、12MM厚のベニヤ板になると板の剛性によるものか、高音域での差はほとんど見られない。また、二重胴縁にした場合、全帯域において場所

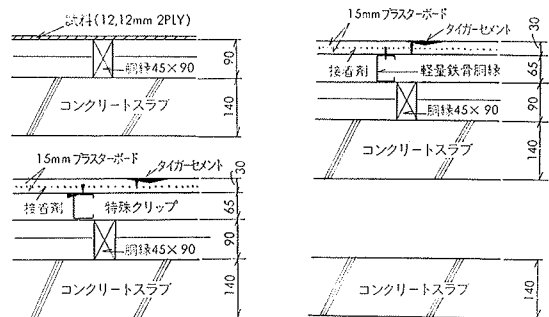
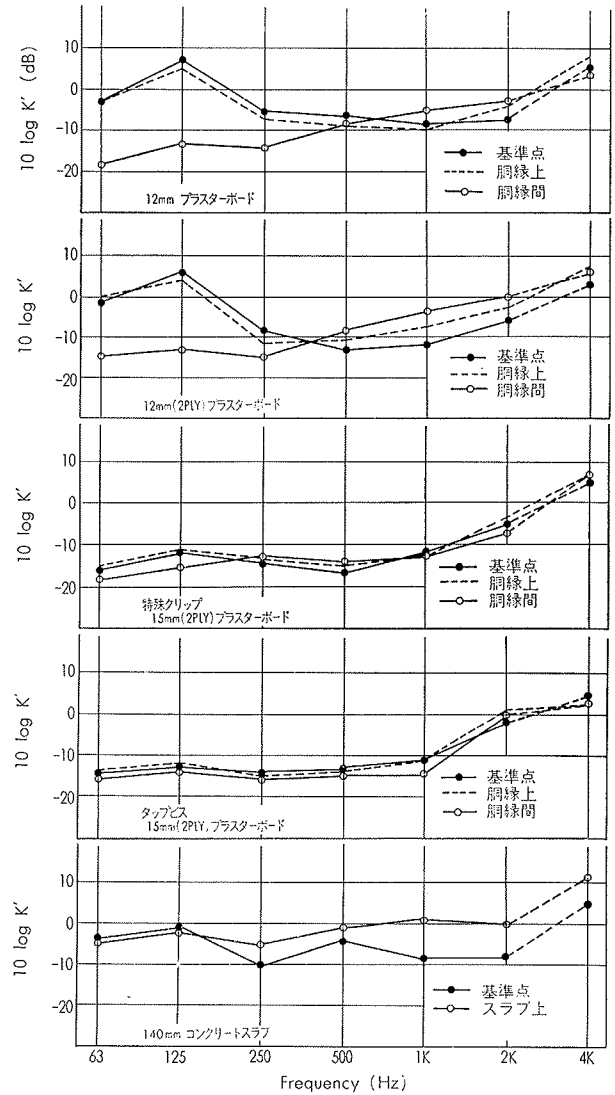


図-7 プラスターボード壁の構造体放射係数

による振動レベルの変化はほとんどみられない。

(3) 3MM・6MM・12MMベニヤの板厚の差による顕著な放射特性の変化は認められない。

(4) 140MM厚コンクリートの放射係数は、ほぼ1となっている。

以上のことから、内装材により低中音域で放射パワーが増幅されることは注目すべきことであろう。これは床衝撃音がフローリングの根太床によって、低中音域が増幅されるとの相い似た現象である。

板状材の吸音特性の現われる共鳴吸収の周波数(板の剛性と空気層厚によって定まる)を、各構造体について求めたのを表-2に示す。これを見ると、放射パワー増幅周波数と一致している。このことは、共鳴吸収の逆現象として共鳴放射の現象と考えられる。

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{m} \left( \frac{1.4 \times 10^5}{L} + K \right)} \quad \dots\dots\dots(6)$$

m : 単位面積当りの質量 (kg/m<sup>2</sup>)

L : 空気層 (m)

K : 板の剛性 (kg/m<sup>2</sup>・sec<sup>2</sup>)

参考文献

- 1) 永田 穂 : 内装構造壁からの音の放射特性の測定法とその適用結果 (1967)
- 2) Cremer : Heckl : Ungar : Structure-Borne Sound (1973)

試料	m (kg/m <sup>2</sup> )	L (m)	K (kg/m <sup>2</sup> sec <sup>2</sup> )	f <sub>r</sub> (Hz)
3MMベニヤ	0.6×10 <sup>3</sup> × 3 × 10 <sup>-3</sup>	0.09	100×10 <sup>4</sup>	190
6MMベニヤ	0.6×10 <sup>3</sup> × 6 × 10 <sup>-3</sup>	0.09	220×10 <sup>4</sup>	160
12MMベニヤ	0.6×10 <sup>3</sup> × 12 × 10 <sup>-3</sup>	0.09	400×10 <sup>4</sup>	140
12MMベニヤ (二重胴縁)	0.6×10 <sup>3</sup> × 12 × 10 <sup>-3</sup>	0.155	400×10 <sup>4</sup>	130
12MM プラスターボード	0.9×10 <sup>3</sup> × 12 × 10 <sup>-3</sup>	0.09	250×10 <sup>4</sup>	100

表-2 共鳴周波数

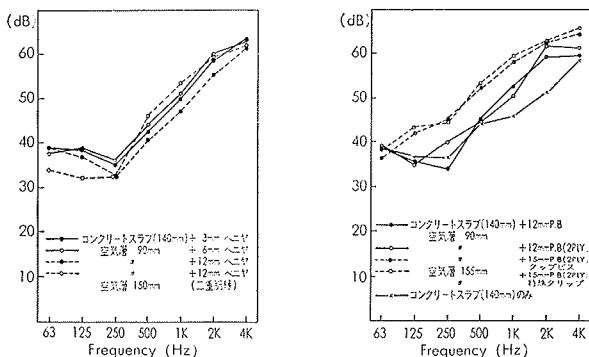


図-8 ベニヤ壁の透過損失

図-9 プラスターボード壁の透過損失

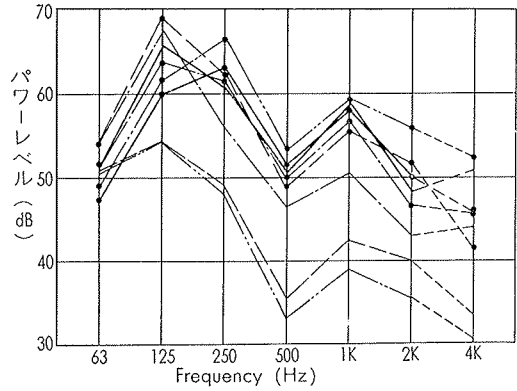
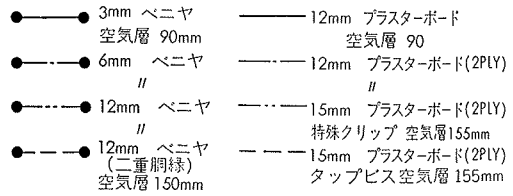


図-10 各試料のパワーレベル (受音室)

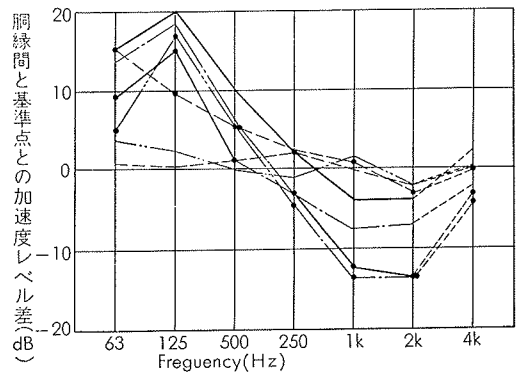


図-11 板面の胴縁間と基準点との加速度レベル差

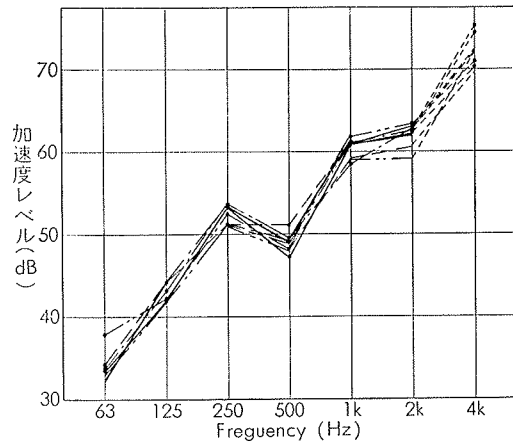


図-12 加速度レベル (音源室)