

内装構造壁からの音の放射特性に関する研究 (その2)

真藤利孝 東山克美
平野 滋

Study on Characteristics of Sound Radiation from Internal Structural Wall (Part 2)

Toshitaka Shindo Katsuyoshi Higashiyama
Shigeru Hirano

Abstract

The previous report described experimental results (on plywood and plasterboard) regarding 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 in designing insulation for solid-borne sound. This report examines experimental results obtained on the characteristics of sound radiation from an internal structural wall with glass wool as the substrate for the internal finishing material, and results on a floating-floor construction with resilient material laid under the concrete slab. In particular, the vibration transmission rates of each type of resilient material under various combinations of thickness, density and applied load were measured and a theoretical examination of vibration prevention effect was made.

概 要

固体伝搬音遮断設計法に関する研究として、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、前報告²⁾では、内装材が合板とプラスターボードの場合について報告した。この報告書は、内装材の下地にグラスウール (GW) を入れた場合と、床構造となるがGWによる浮床構造の場合について検討したものである。特に、浮床構造のGWについては、その厚さ、密度、及び、それにかかる荷重のいくつかの組合せについて、振動伝達率を測定し、理論的に防振効果を検討した。

1. まえがき

この研究は、固体伝搬音遮断設計法にするもので、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が問題となる。この報告は、固体伝搬音の遮断設計で最も効果のある振動入力制御に関して、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前報の続報である。今回の場合は、内装材の下地に緩衝材としてグラスウール (GW) を入れた場合の放射特性を実験により求めた。なお、このような緩衝材による音の遮断としては、集合住宅における上下階の床衝撃音対策がある。そこで、浮床構造の場合の床衝撃音レベルも検討した。特に床衝撃音レベルは、緩衝材により大きく影響を及ぼすために、その厚さ、密度、及び、それにかかる荷重について振動伝達率を測定し、理論

的に防振効果を検討したので、その結果を示す。

2. 構造体放射係数について

内装構造壁の放射特性の測定方法及び測定装置は、前報告²⁾と全く同一であるので、詳細は省略するが、内装材表面の振動加速度から求められるパワーレベル (PWL₁) と受音室の音圧レベルから求められるパワーレベル (PWL₂) を等しくおくことによって、構造体の放射係数を求めることができる。

内装材表面の振動加速度より計算される単位面積当りのパワーレベル (PWL₁) は、次の式より得られる。

$$PWL_1 = 10 \log_{10} (\rho c v^2 / N_0) + 10 \log K' \quad \dots (1)$$

$$1 \text{ watt} = 120 \text{ dB} \text{ とすると, } N_0 = 10^{-12}$$

$$\alpha : \text{加速度振幅 (1 gal} = 10^{-2} \text{ m/sec)}$$

$$v : \text{速度振幅 (} v = \alpha / 2\pi f \text{)}$$

$$\rho c : \text{固有音響抵抗 (415 kg/cm}^3 \text{)}$$

一方、受音室における音圧レベルから、面積 S (m^2) の内装材から放射している単価面積当りのパワーレベル (PWL_2) は次の式より得られる。

$$PWL_2 = SPL - 10 \log_{10}(S/A) - 6 \quad \dots\dots(2)$$

SPL : 受音室内音圧レベル (dB)

S : 試料面積 (m^2)

A : 受音室吸音力 (m^2)

2.1. 測定結果

ベニヤ内装壁の構造体放射係数 ($10 \log_{10} K'$) を測定結果より算出し、図-1 に示す。また、各試料の放射パワーレベル (前報の試料も含む) について、コンクリート (140mm) のみの場合を基準とした相対レベルを図-2、図-3 に示す。

測定結果より、次のようなことが考えられる。

(1) 図-1 に示した構造体放射係数は、前報の試料 (合板、石膏ボード) と同様に、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。

(2) 最も安定した受音室の音圧レベルから求めた、

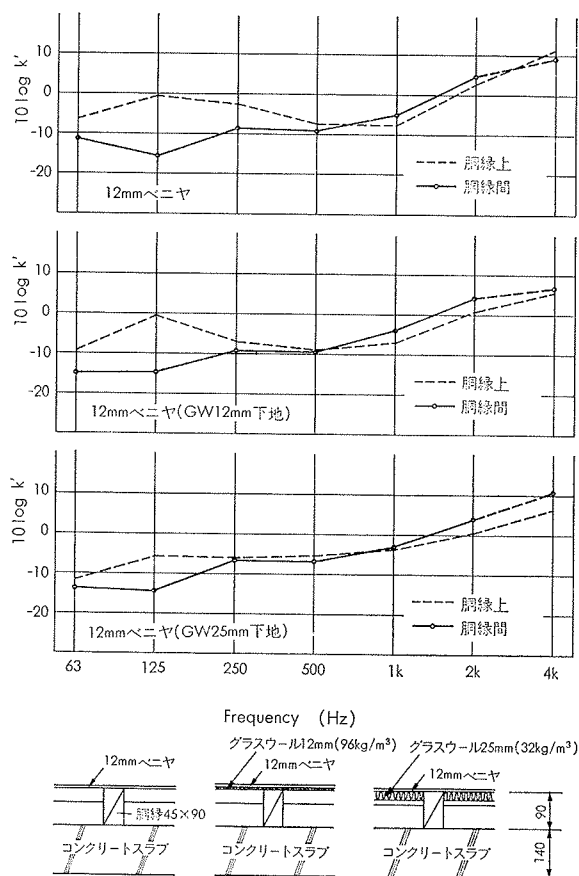


図-1 ベニヤ壁の構造体放射係数

各試料の放射パワーレベルをコンクリートスラブ (140 mm) のみの場合を基準とした相対レベルの比較図 (図-2、図-3) より、一般の胴縁では、63Hz~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、500Hz を変曲点として中高音域では減衰している。したがって、GW下地の緩衝材としての効果は、中高音域では認められるが、低音域では認められない。しかし、GWによる浮床構造でシリンダーコンクリート (100mm) を打ったものは、このような、板状材の内装と全く異なり、オクターブバンドごとに、7dB 程度の勾配で高音域ほど減衰している。63Hz においても、5dB 程度の減衰が見られる。

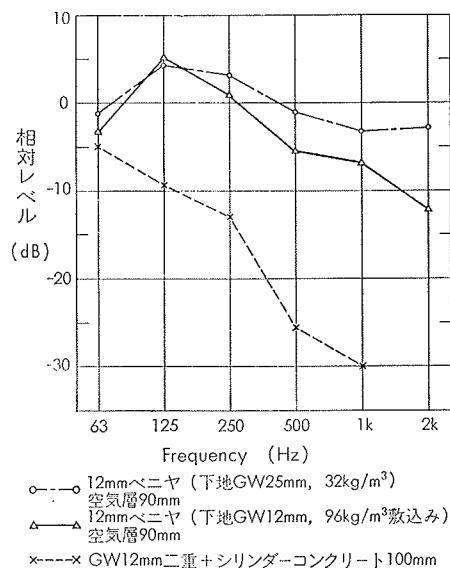


図-2 放射パワーレベル比較図

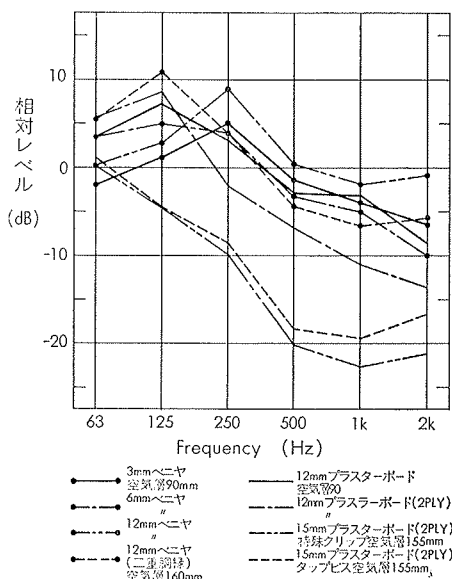


図-3 放射パワーレベル比較図

3. 床衝撃音レベルについて

3.1. 測定概要

測定装置は、放射特性を測定する場合と全く同様である。測定対象床は、普通コンクリートスラブ (140 mm) に、グラスウール12mm (2PLY) を載せ、その上にシンダーコンクリート (100mm) を載せた浮床構造とした。また、表面仕上げ材としては、一般に広く使用されている材料の中から、畳、樹脂タイル、及び木造根太床 (表面12mmベニヤフローリング) を用いた。床仕上げ材の断面詳細図を図-4 に示す。

床衝撃音の測定は、ISO 規格のタッピングマシン (スチールヘッド B & K 3204) と子供のとびはねる音を代用した衝撃源として自動車タイヤ (重量9.4kg, 空気圧 1.5 kg/cm², 落下高さ 0.8m) の両方を使用した。測定点は、音源側3点, 受音側5点とした。図-5 に測定用ブロックダイヤグラムを示す。測定周波数は、63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000Hz のオクターブ間隔の7周波数とした。このようにして求めた測定結果より、規準化床衝撃音レベルは、次の式で得られる。

$$L_N = L + 10 \log_{10}(A/A_0) \quad \dots\dots(3)$$

- L_N : 規準化床衝撃音レベル (dB)
- L : 受音室内平均音圧レベル (dB)
- A : 受音室の吸音力 ($A_0=10m^2$)

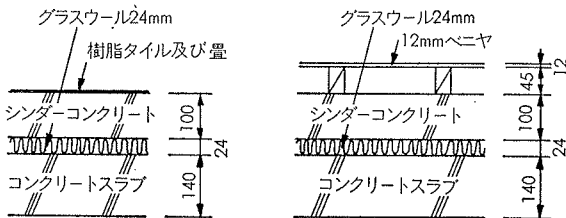


図-4 床仕上げ材の断面詳細図

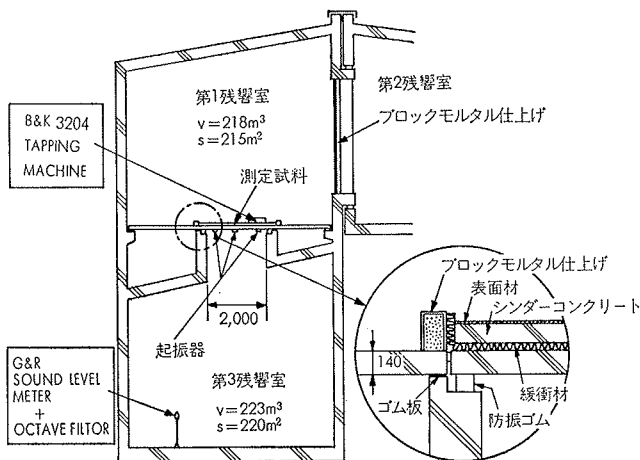


図-5 測定用ブロックダイヤグラム

3.2. 測定結果

図-6, 図-7 にタッピングマシン及びタイヤによる規準化衝撃音レベルを示す。図-8 に、コンクリートスラブ (140mm) 素面の場合の値を0とした時の各試料を取り付けた状態との相対レベル比較図を示す。

測定結果から次のようなことが考えられる。

(1) 図-8 より、シンダーコンクリート (100mm) 素面と、樹脂タイルを貼り付けた場合、ほとんど差は見られないが、畳などのような柔軟な素面材を使用すると、高音域での効果が表われている。

このように、タッピングマシンのような軽くて硬い衝撃の場合には、表面材の緩衝性が大きく表われ、厚い柔軟な表面材ほど、高音域のレベルが低下している。また、図-7 より、タイヤの場合を見ると、各表面材による差は、あまり見られない。これは、表面仕上げ材が音源により圧密され、その緩衝性が失われてしまい差が生じてないと考える。

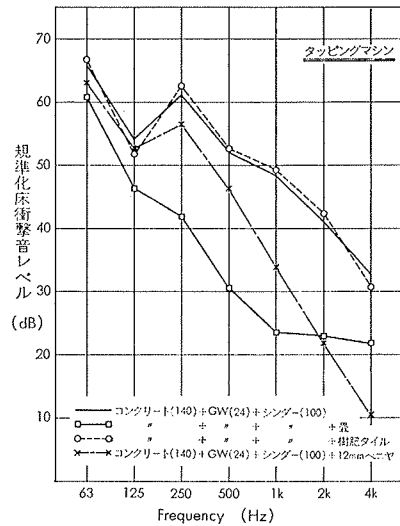


図-6 規準化床衝撃音レベル (タッピングマシン)

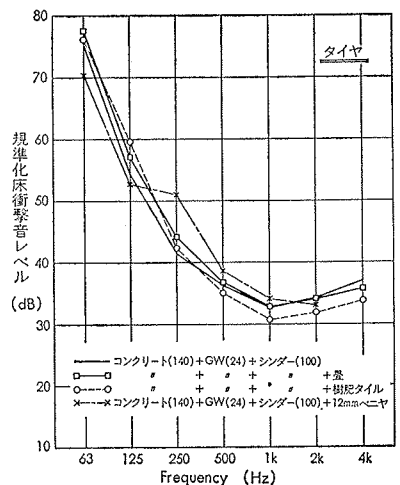


図-7 規準化床衝撃音レベル (タイヤ)

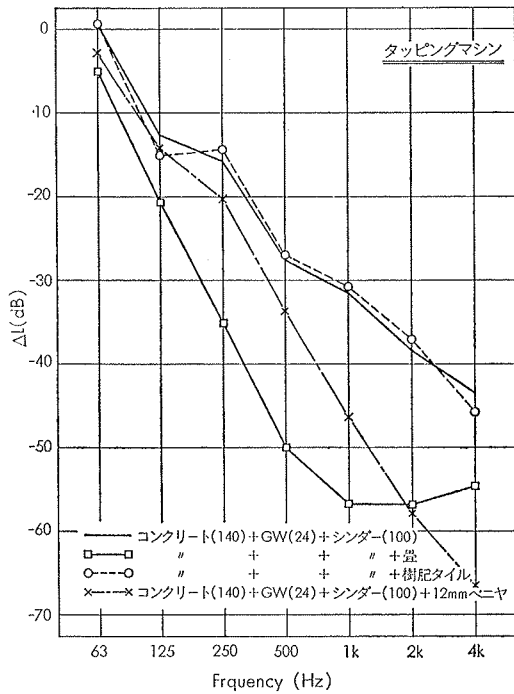


図-8 素面(コンクリートスラブ 140mm)と各試料を取り付けた場合との差(ΔL)

4. 防振の原理及び緩衝材の防振効果について

4.1. 自由度の場合

物体が空間で運動している時は、物体の重心を通る軸方向の並進運動と、各軸回りの回転運動との6個の自由度を有する運動となる。一番簡単な場合は、床上に上下方向の加振力のみが、加わるような機械が設置される場合で、振動系を簡単な1自由度とみなすことができる。1自由度の振動系を図-9に示すような、質量M、バネ定数k、抵抗Cの集中定数で表わし、加振力Fが $F_0 \cos \omega t$ で表わされる交番加振力の場合について考える。この系の運動方程式は、(4)式のようになる。

$$M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F \cos \omega t$$

いま臨界制動係数 $C_c = 2\sqrt{k \cdot M}$ 、 C_c のない場合の固有振動数 $f_N = 1/2\pi \cdot \sqrt{k/M}$ 、強制振動数 $f = \omega/2\pi$ とすれば、加振力Fに対して伝達される力は、 $c\dot{x} + kx$ で、伝達される割合[T]は、次式で示される。

$$T = \left\{ \frac{1 + \left(2 \cdot \frac{f}{f_N} \cdot \frac{C}{C_c}\right)^2}{\left[1 + \left(\frac{f}{f_N}\right)^2\right]^2 + \left(2 \cdot \frac{f}{f_N} \cdot \frac{C}{C_c}\right)^2} \right\}^{1/2} \quad (5)$$

床が $X_0 \cos \omega t$ の振幅で振動している場合のMの振動振幅Xとの比は、振幅の振動伝達率で、(5)式とまったく同様の形となる。 C/C_c の値を変数として、[T]を図-10のように示す。

振動伝達率[T]の最大を示すところはいわゆる共振の1つで、 C/C_c の値が大きくなると、いくぶん低音域に移動するが、防振設計上は、共振が f_N とみなしてもほとんど差は現われない。[T]を1より小さくするためには、 f/f_N が $\sqrt{2}$ より大きいことが絶対必要であり、また、 C/C_c のとり方が大きすぎると高音域では[T]値はかえってあまり小さくならない点に注意する必要がある。

いま m kg の質量を k kg/cm のバネ定数の支持体で支えたとする。抵抗の項を無視しても大きな差は生じないからこれを省略すると、系の固有振動数 f_N は、次の式のようになる。

$$f_N = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k \cdot g}{m}} \quad \dots\dots(6)$$

但し、g は重力加速度 ($g = 980 \text{ cm/sec}^2$)、物体の重さによる弾性体の変位を δ_{st} とすれば、

$$\delta_{st} = \frac{m}{k} \quad \dots\dots(7)$$

(6)、(7)式より

$$f_N = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{\delta_{st}}} = 4.93 \sqrt{1/\delta_{st}} \quad \dots\dots(8)$$

すなわち、この系の固有振動数は、物体の重量による弾性体の静的ひずみ δ_{st} だけで定まり、 δ_{st} の逆数の平方根に比例することがわかる。 δ_{st} と f_N の関係は図-11に示す。

4.2. 減衰定数 ($h=C/C_c$)

各緩衝材の減衰定数を求めるために、図-12に示すような測定用ブロックダイヤグラムにより、各緩衝材の減衰曲線を、コンクリート(300×300)厚さ 40mm、150mm の重量を載せた場合について、VISIGRAPH に書かせ、次に、(8)式で、 $t=t_n$ における振幅を x_n 、1周期 $T=2\pi/(\sqrt{1-h^2} \cdot \omega_0)$ 後の振幅を x_{n+1} とすると、振幅減衰比は、次の(9)式で示され、さらに、この対数をとることにより、対数減衰率が求められる。これを(10)式に示す。

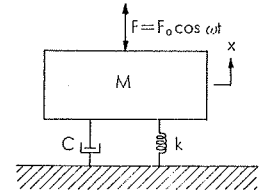


図-9 1自由度の振動系

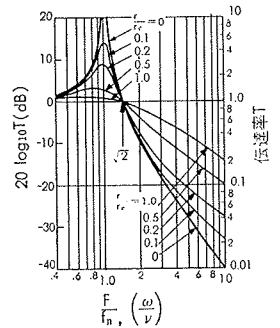


図-10 F/f_N と振動伝達率の関係

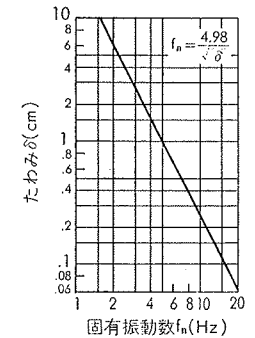


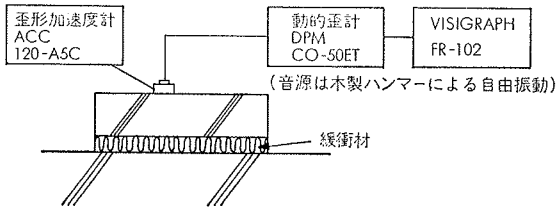
図-11 たわみと固有振動数の関係

$$x = \frac{v_0}{\sqrt{1-h^2} \cdot \omega_0} \cdot e^{-h\omega_0 t} \cdot \sin \sqrt{1-h^2} \omega_0 t \quad \dots\dots(8)$$

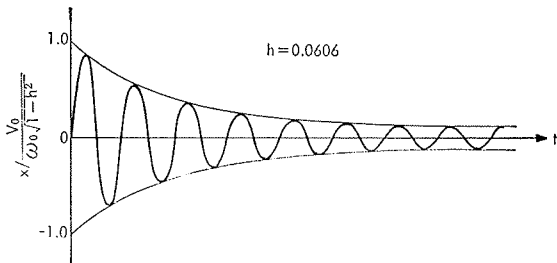
$$x_n/x_{n+1} = e^{2\pi/h \cdot \sqrt{1-h^2}} \quad \dots\dots(9)$$

$$\log_{10} x_n/x_{n+1} = 2\pi \cdot \frac{h}{\sqrt{1-h^2}} = 2\pi h \quad \dots\dots(10)$$

これより、各緩衝材の減衰定数(h)を求めると、表一に示すようになる。図一13に、コンクリートスラブ 150mm を載せた場合のグラスウール厚さ 50mm の減衰定数に対する減衰曲線を示す。



図一12 測定用ブロックダイアグラム



図一13 グラスウール50mmの減衰曲線 (コンクリート 150mm の場合)

緩衝材	グラスウール25mm (32kg/m ³)	グラスウール25×2mm (32kg/m ³)	パラポード12mm (96kg/m ³)	パラポード12×2mm (96kg/m ³)	パラポード12×4mm (96kg/m ³)
コンクリート 40mm (300×300×40)	0.1170	0.0670	0.1726	0.1030	0.1650
コンクリート 150mm (300×300×150)	0.0824	0.0606	0.1000	0.0600	0.0570

表一 各緩衝材の減衰定数(h)

4.3 測定結果

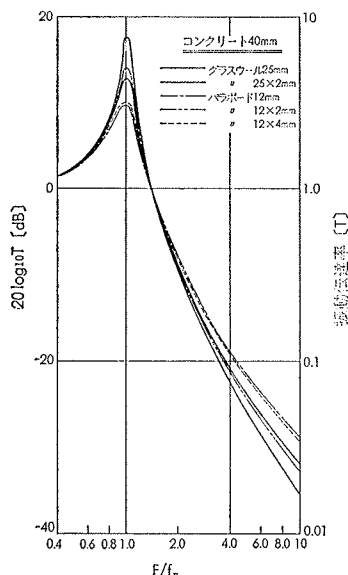
図一14、図一15に、コンクリート40mm(2.2 kg/m³)

及び150mm (2.4 kg/m³) を重量とした時の F/f_n と振動伝達率との関係を示す。

また、図一16、図一17に、F と振動伝達率との関係を示す。

測定結果より次のようなことが考えられる。

(1) F と振動伝達率との関係 (図一16、17) から、コンクリート厚さ 40mm、150mm を載せた場合、F = 63Hz で、

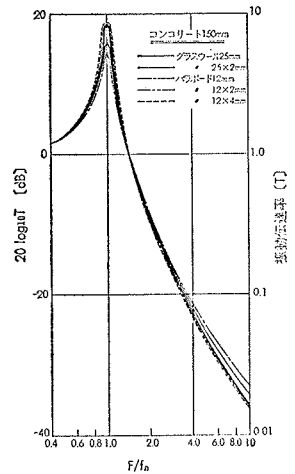


図一14 F/f_nと振動伝達率との関係 (コンクリート40mmの場合)

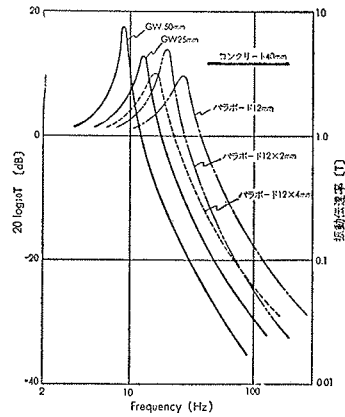
パラポード厚さ 12 mm (96 kg/m³) とグラスウール厚さ 50 mm (32 kg/m³) を比較すると、約20dB程度差が見られる。このように、緩衝材の密度及び厚さでかなりの減衰の違いが生じている。したがって、今回のような簡易測定により求めた緩衝材の振動伝達率が、実際に、設置された場合の床衝撃音レベル値とどの程度シミュレートするかが、今後の課題であると考えられる。

参考文献

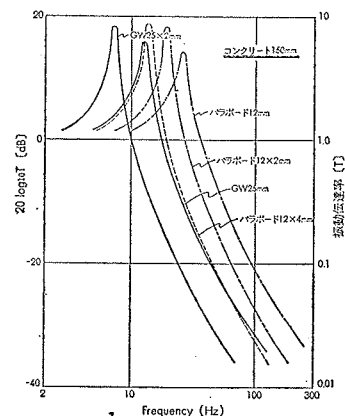
- 1) Cremer・Heckl・Ungar : Structure-Borne Sound, (1973)
- 2) 真藤, 平野, 東山 : 内装構造壁からの音の放射に関する研究, 大林組技術研究所報, No. 11, (1975)
- 3) 田治見 宏 : 建築振動学, (コロナ社), (1965)



図一15 F/f_nと振動伝達率との関係 (コンクリート150mmの場合)



図一16 Fと振動伝達率との関係 (コンクリート40mmの場合)



図一17 Fと振動伝達率との関係 (コンクリート150mmの場合)