

集合住宅における床衝撃音レベルの予測

——床のインピーダンスの推定——

平野 滋 三宅 哲生

Prediction of the Floor Impact Sound at Multiple Dwelling Buildings

——Estimation of Impedance of Concrete Slab——

Shigeru Hirano Tetsuo Miyake

Abstract

The vibration speeds of concrete slabs are required to be obtained to calculate the floor impact sound at multiple dwelling buildings. To obtain vibration speed, it is necessary to determine the impedance of the slab. In case of the floor impact sound, the impact force is known.

The mean transfer impedance \bar{Z}_T of 6 slabs was first measured. Using \bar{Z}_T , the mean vibration speed of the slab was directly obtained. The \bar{Z}_T obtained was normalized with respect to thickness and area of slab. The reason for the mean value of \bar{Z}_T being measured was to obtain the general character of slabs.

When the general character of slabs is corrected with the effects of beams on the impact point, the floor impact sound of the slab can be calculated with any thickness and any area at any impact point.

概 要

床衝撃音の推定計算を試みた。床衝撃音を求めるには、衝撃が加わった時の床の振動速度が必要であり、床の振動速度を求めるには加振力と床のインピーダンスが必要である。床衝撃音の加振力は既知であるので、簡易法により、四周をはりで囲まれている床の平均伝達インピーダンス \bar{Z}_T を6例測定した。 \bar{Z}_T を測定したのは床の平均振動速度を求める為である。得られた \bar{Z}_T を床の厚さと大きさについて基準化し、その平均値を求め、床の一般的特性とした。

床の一般的特性に対して、加振位置に対するはりの影響を補正することにより、任意の厚さと大きさを持つ床の任意の加振位置での床衝撃音レベルを求めることができる様になった。

1. はじめに

近年、集合住宅の建設がますます多くなっているが、集合住宅において発生する騒音関係の苦情の多くは、固体伝搬音に関するものである。その固体伝搬音の中でも、特に、重量床衝撃音に関するものが多い。これは、上階での子供の飛びはねなどによって発生した振動が、下階へ音として放射されるものである。空気伝搬音があまり問題とならないのは、構造材のコンクリートの空気音遮音量が比較的大きいためであろう。

それ故、集合住宅の建設にあたっては、事前に重量床衝撃音を推定することが一層、重要になっている。

重量床衝撃音の推定は、次の二つの段階に分かれる。

(1) 床衝撃音発生器で加振した時の床の振動速度を求める。

(2) その振動速度を持った床から、下階へ放射される床衝撃音を求める。

この報告では、(1)段階の床の振動速度を求めるため、床のインピーダンスの推定方法を検討したものである。これまで、床のインピーダンスに関する研究は多いが、ほとんど駆動点インピーダンスに関するものである。この報告では、直接的に床の平均速度を求めるため、伝達インピーダンスで整理した。

2. 床のインピーダンス

床のある点*i*をある加振力*F*(N)で加振した時、*i*点に発生する振動速度を*V_i*(m/s)とすると、駆動点インピーダンス*Z_p*(kg/s)は次式で表わされる。

$$Z_p = F/V_i \quad \dots\dots\dots(1)$$

*Z_p*の測定例は多くあるが、*Z_p*だけで床を評価するのは難しく思われるので、今回、伝達インピーダンス*Z_T*(kg/s)も併せて測定した。*Z_T*は床のある点*i*をある加振力*F*で加振した時、床の任意の点*j*に振動速度*V_{ij}*が発生するとすると次式で表わされる。

$$Z_T = F/V_{ij} \quad \dots\dots\dots(2)$$

\bar{V}_{ij} を*V_{ij}*のエネルギー平均値とすると、次式で表わされる \bar{Z}_T を平均伝達インピーダンスと呼ぶことにする。

$$\bar{Z}_T = F/\bar{V}_{ij} \quad \dots\dots\dots(3)$$

また、*Z₀*=1 (kg/s)を基準として、20 log₁₀ (*Z/Z₀*)をインピーダンスレベルという。

3. インピーダンスの簡易測定法

いくつかの集合住宅の躯体完成時の床において、重量床衝撃音発生器を加振源として、振動加速度*α*(m/s²)の分布を図-1に示す測定ブロック図により測定した。振動加速度を振動速度に変換し、加振力としてはJIS A1418に規定されている重量床衝撃音発生器の衝撃特性(表-1に示す)を用いてインピーダンスを求めた。

簡易測定法としているのは、重量床衝撃音発生器の加振力を既知として取扱い、今回は振動加速度のみを測定したためである。

振動加速度の測定においては、リアルタイムアナライザ(RION-SA25)はピークホールドモードで1/3オクターブバンド分析を行なった。時定数は騒音計のfastに合わせ、0.2sとした。測定点は床の上に500~1,000mmのメッシュ状に設け、加振点を固定し、測定点を順次移動して測定した。加振点位置、測定点位置の例を図-2に示す。

また、同時に床の固有振動数*f₀*(Hz)も測定した。*f₀*でインピーダンスの周波数軸を基準化するためである。加振源は重量床衝撃音発生器または人間の跳躍を用いた。測定点は床の中央を原則とした。測定結果を表-2に示す。

4. 実測インピーダンスと検討

4.1. 四周をはりで囲まれた床のインピーダンス

4.1.1. 加振点が端部の影響を受けない場合 躯体完成時の四つの集合住宅の六つの床において、床中央を加振点として、床の振動加速度分布を測定した。その測定結果から、駆動点インピーダンス*Z_p*と平均伝達インピ

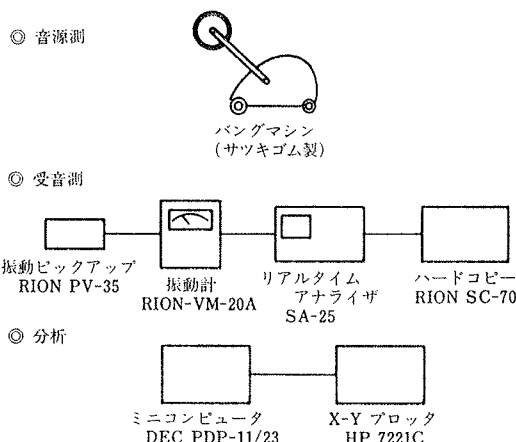


図-1 振動加速度分布測定ブロック図

周波数 (Hz)	16	31.5	63	125	250	500	1 K
Frms (N)	108	104	40	10	4.5	1.6	0.6
20log ₁₀ Frms (dB)	41	40	32	20	13	4	-5

表-1 重量床衝撃音発生器の衝撃特性

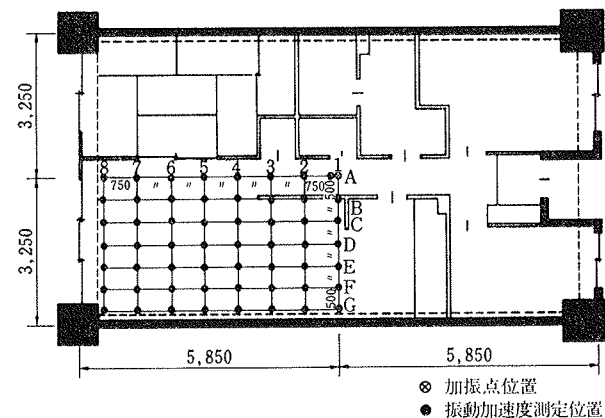


図-2 加振点位置と測定点位置

集合住宅名	床面積(m ²) (はり内法)	床厚 (mm)	固有振動数 (Hz)			備考
			実測値	計算値 周辺固定 周辺支持		
Kマンション	5.3×4.5=23.9	210	23.3	46.2	24.2	PC板壁式工法 床厚 PC板150mm +打増普通 コン 60mm
	6.7×3.2=21.4	210	37.0	71.4	35.3	
	6.7×4.5=30.2	210	21.8	39.9	20.0	
Nマンション	7.8×6.2=48.4	165	18.5~20.0	19.0	9.4	PS工法
	4.9×4.7=23.0	150	31.0~35.8	33.0	17.3	
Sマンション	7.8×5.9=46.2	180	20~21	22.5	10.8	PS工法
	6.4×4.3=27.5	165	34~36	34.7	17.3	
Iマンション	11.0×6.1=67.1	170	14.8	17.0	7.8	PS工法 打増気泡コン施工前
Rマンション	6.1×3.1=18.9	150	40.7	52.5	26.3	
	6.2×3.8=23.6	150		37.5	19.5	
Fマンション	10.9×5.1=55.6	170	18	23.0	11.1	PS工法 打増気泡コン施工前

表-2 固有振動数測定結果

ーダンス \bar{Z}_T を求めた。得られた六つの床の Z_p, \bar{Z}_T を比較する為、周波数軸は f_{0B} (固有振動数 f_0 を含むオクターブバンド中心周波数, Hz) で規準化し、インピーダンスは Z_b (同じ厚さを持つ無限大床版の駆動点 インピーダンス, kg/s) との相対レベルで表わした。

Z_b は次式で表わされる。

$$Z_b = 2.31 \rho Ch_1^2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 ρ : 床の密度 (普通コンクリートの場合 2,300 kg/m³)

C_1 : 床版内の縦波伝搬速度 (普通コンクリートの場合 約 3,230 m/s)

h : 床厚 (m)

もちろん、加振点が床の中央であっても、床の大きさによっては端部の影響を受ける場合もあるので、その場合は、端部の影響を補正し、端部の影響を受けない加振点でのインピーダンスとした。測定結果を図-3, 4 に示す。

\bar{Z}_T と Z_p を比較すると、各帯域での測定値の変動幅は同程度である。変動幅が、同程度であれば、床衝撃音を求めるには \bar{Z}_T の方が便利であるので、今後は、 \bar{Z}_T を中心に話を進めることにする。

図-3 を見ると、 \bar{Z}_T は f_{0B} が 16 Hz の場合と 31.5 Hz の場合で同じ傾向を示している。そこで、六つの床の \bar{Z}_T の平均値を床の一般的特性とした。

しかしながら、測定値の変動幅は大きく、特に、重量床衝撃音における重要な周波数 63 Hz に対応する $f/f_0 = 2, 4$ で各々 6 dB, 13 dB と大きくなっているのが問題である。測定値に大きな変動幅を生じている原因としては、次の三つが考えられる。

- (1) 各床の特性が異なる。
- (2) 測定方法
- (3) f_0 をオクターブバンドで整理している。

原因の(1), (2)については、検討出来ないので、原因(3)についてのみ検討した。1/3 オクターブバンドで検討するため、まず、 f_0 を 1/3 オクターブバンドで整理した。次に、加振力として、井上¹⁾の測定した重量床衝撃音発生器の 1/3 オクターブバンドの衝撃特性を用いて、各床の 1/3 オクターブバンドの \bar{Z}_T を求めた。その \bar{Z}_T の平均値を用いて、 f_0 を含む帯域が 1/3 オクターブずつ、1 オクターブバンド内を移動した時の影響を求めた。しかし、その影響はオクターブバンドに換算すると、 f_0 以上の周波数では小さく、63 Hz では 2 dB である。

以上の検討により、 f_0 はオクターブバンドで整理して十分であることが分かった。また、 \bar{Z}_T の平均値を床の一般的特性として用いる場合には、その変動幅が大きいことを考慮に入れておく必要がある。

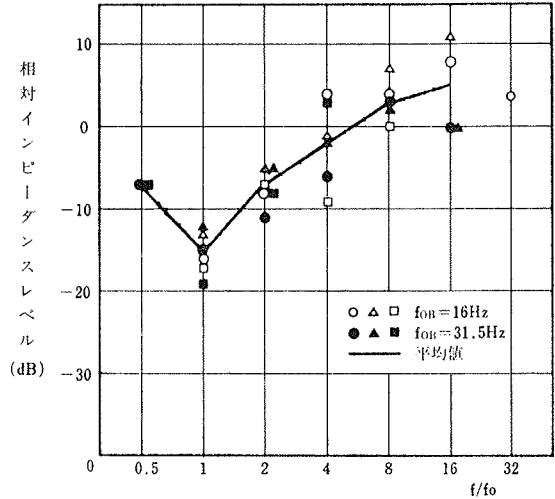


図-3 \bar{Z}_T の測定結果

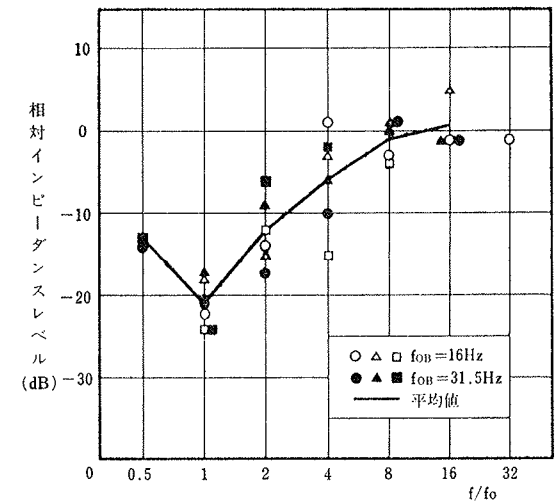


図-4 Z_p の測定結果

4.1.2. 加振点に対する端部の影響 F マンションの一つの床における三つの加振点で得られた \bar{Z}_T を図-5 に示す。加振点位置も同図に示す。床中央の加振点①は端部の影響を受けない点である。

図-5 を見ると \bar{Z}_T に対する加振点位置の影響は全周波数に一樣でなく、周波数特性を持っていることが分かる。

そこで、加振点に対する端部の影響の周波数特性として、低音域で大きく、63 Hz まで徐々に小さくなり、63 Hz 以上で一定となる特性を仮定した。

4.2. 小ばりの影響

R マンションの一つの床において、小ばりの影響調査を行なった。測定対象は四周を大ばりで囲まれ、そのほぼ中央に小ばりが入っている床である。加振は一方の小床の中央で行ない、メッシュ状の測定点で振動加速度分布を測定した。床の平面図、測定結果を図-6 に示す。

一方の小床を加振した場合、加振された床は四周をは

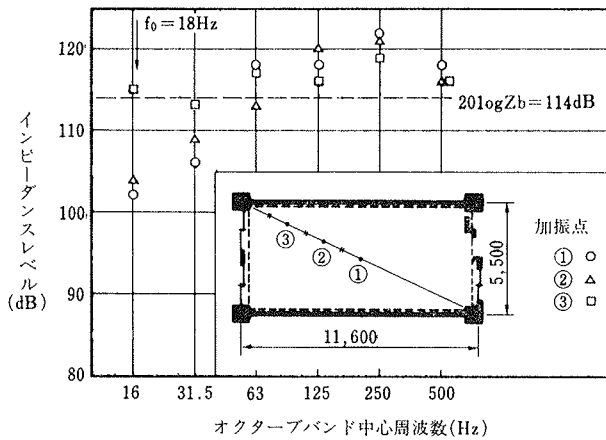


図-5 加振点に対する端部の影響

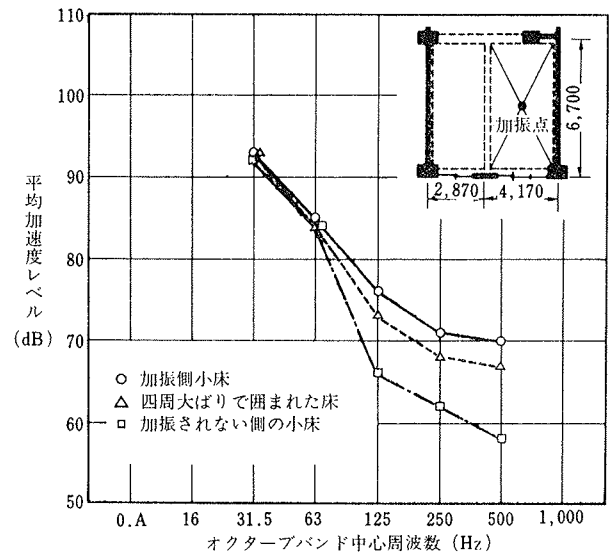


図-6 小ばりの影響

りて囲まれた床として4.1.で取扱うことができるが、もう一方の小床の取扱いが問題となる。

図-6を見ると、今回の測定においては、床衝撃音で最も重要な63 Hzで、加振されない側の小床も加振された側の小床とほぼ同じ振動加速度となっている。また125 Hz以上では、加振されない側の小床は加振された側の小床より、振動加速度が10 dB以上低くなっている。小ばりは125 Hzの振動を反射しているといえる。

詳細については、今後のデータの蓄積と検討が必要である。

4.3. 非耐力間仕切の影響

Fマンションの一つの床で、(1)躯体完成時(木造間仕切なし)、(2)木造間仕切完成時(上、下階も完成)に同じ加振点と測定点において、振動加速度分布を測定した。

測定結果を図-7, 8に示す。これを見ると木造間仕切が完成すると f_0 が移動しているのが分かる。今回測定した木造間仕切は、何らかの影響を持っている。しかしながら、Fマンションは1住戸が1床で出来ているので床面積が55.6 m²で一般の床より大きく、又、木造間仕切の位置が各階同じであるなど、木造間仕切の影響が出やすい条件下のものである。今後、床面積が比較的小さい場合、非耐力間仕切の位置が各階で異なる場合などの条件でのデータの蓄積が必要である。

4.4. 床衝撃音の計算例

図-9に示す床(床厚150 mm)の床衝撃音を推定し、実測値と比較した。まず、図-3の \bar{Z}_T の平均値に、加振位置に対する端部の影響を考慮して、床の平均振動速度(\bar{V} m/s)を求める。次に、この値を次式へ代入して、床衝撃音(SPL dB)を求める。これを加振点ごとに繰返し平均値を求める。今回の木造間仕切の影響はないとした。

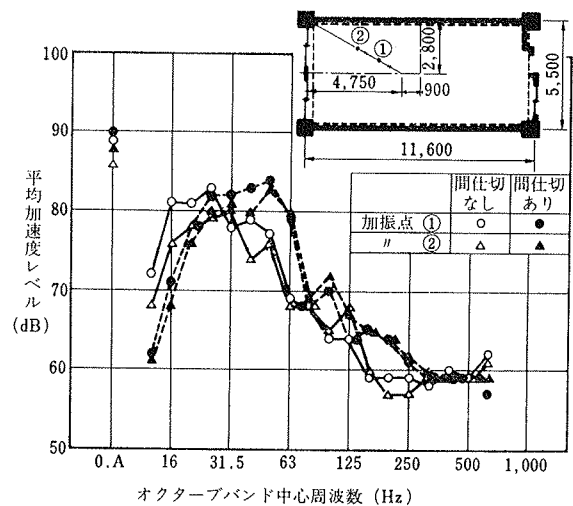


図-7 非耐力間仕切の影響-1

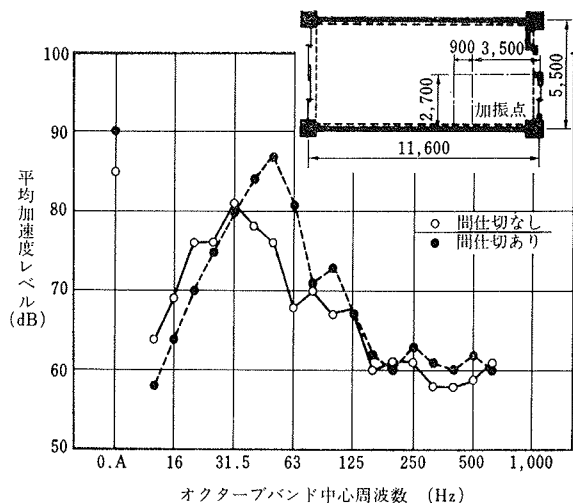


図-8 非耐力間仕切の影響-2

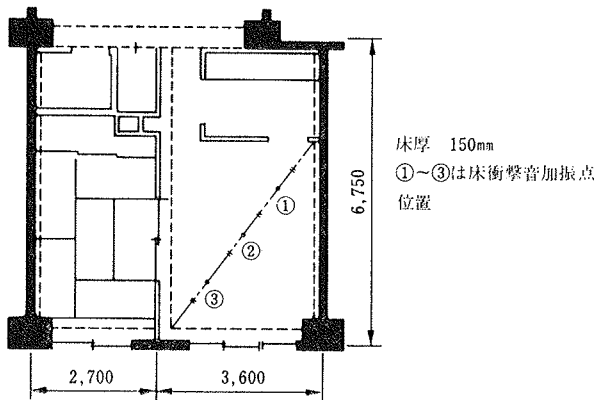


図-9 床の平面図

$$SPL = 10 \log_{10} \left(\bar{V}^2 SR \frac{4}{A} \right) + 120 \quad \dots\dots\dots(5)$$

- ここで、 S: 床面積 (13.0 m²)
 R: 放射抵抗 (kρ₀c₀)
 k: 放射係数 (63 Hz のみ 10^{-1/2}, 他は 1 と仮定した)
 ρ₀: 空気の密度 (kg/m³)
 c₀: 空気中の音速 (m/s)
 A: 室内吸音力 (他の実測データの平均吸音率を用いた)

実測値と推定値の比較を図-10に示す。よく対応していると思われる。

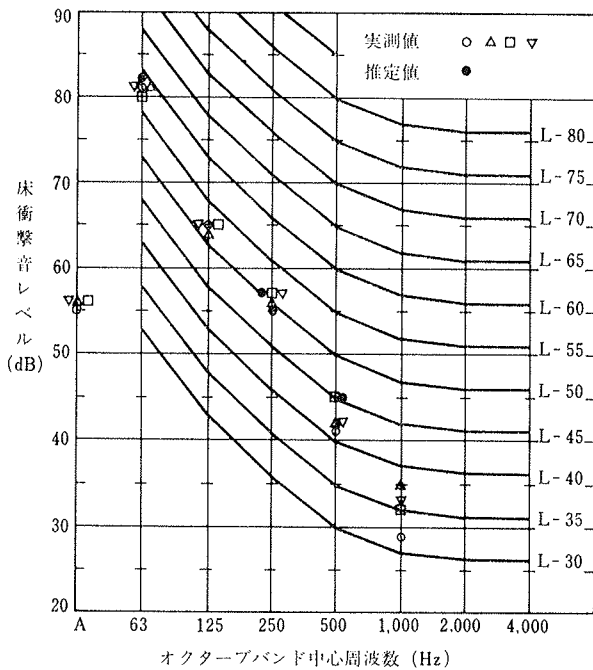


図-10 床衝撃音実測値と推定値の比較

5. まとめ

床衝撃音を推定するため、四周をはりで囲まれた六つの床(すべて RC ラーメン現場打工法で、床面積 18.9~67.1 m², 床厚 150~180 mm)の平均伝達インピーダンス \bar{Z}_T を測定した。端部の影響を受けない加振点での \bar{Z}_T を、周波数軸では f_{0B} で基準化し、Z_b に対する相対レベルで表わした。さらに、その平均値を求め、これを床の一般的特性とした。

これに加振点に対する端部の影響を加えることにより一般的な四周をはりで囲まれた床の任意の加振点での \bar{Z}_T を求めることができ、これより、床衝撃音を推定することができる。

小ばりと非耐力間仕切の影響、および加振点に対する端部の影響については今後のデータの蓄積と検討が必要である。

参考文献

- 1) 井上, 木村, 他: 重量床衝撃音発生器の加振力, 日本音響学会講演論文集, (昭和55.5), pp. 461~462