拡散度法による重量床衝撃音の予測計算

板振動の拡散度評価指数の構成とその利用に関する研究 その4

STUDY ON A DIFFUSE INDEX OF PLATE VIBRATION IN AUDIO-FREQUENCY RANGE AND ITS UTILIZATION

—Part 4 Calculation of heavy-weight floor impact sound by diffuse index method—

橋本典久*

Norihisa HASHIMOTO

Point impedance of a finite plate makes up with two factors, namely a resonance of the plate vibration and a restraining effect by plate ends. In previous papers of the works, it is revealed that the point impedance can be easily evaluated by the diffuse index of plate vibration. In the present paper, a calculation method of the heavy-weight floor impact sound level based on the diffuse index is shown and the accuracy of this method is confirmed via comparisons with measured values. In addition, this method includes the evaluation of the difference in vibrational velocity levels between the value at the excitation point and mean value on the slab, and sound radiation coefficient for the corresponding room area. These values are calculated based on the diffuse index, too. This method applies to the floor slabs of various conditions (the large span slabs and the ordinary slabs) without any restrictions and can be simply calculated. Thus, this method newly developed in this work is very useful for the evaluation of floor impact sound.

Keywords : Diffuse index, Heavy-weight floor impact sound, Point impedance, Sound radiation coefficient, Plate vibration

拡散度指数、重量床衝撃音、駆動点インピーダンス、音響放射率、板振動

1. はじめに

本研究では、板振動の拡散度指数を用いた振動性状の評価について検討を行っている。板振動の拡散度指数(D)とは、単一モード振動状態の時に $D=0$ 、完全拡散振動の時に $D=1$ となるように定義されたものであり¹⁾、この拡散度指数利用の代表的な例として、既報^{2), 3)}において拡散度指数をパラメータとして有限板の駆動点インピーダンスを計算する方法を示した。有限板の振動応答は、無限大板に対する駆動点インピーダンスに、有限板であるために発生する共振の影響と端部拘束の影響が付加されて決定される。これらのうちの共振の影響については、拡散度指数をパラメータとして評価を行えば、板の面積、形状、板厚、境界条件、減衰定数、周波数領域などの要因をすべて吸収した単純な一つの特性として表される事が明らかとなった。また、端部拘束の影響も、共振の影響分を取り除いて評価すれば、板振動の種々の要因を吸収して単一の簡単な特性で表されることが示された。すなわち、周波数に替わる評価軸として拡散度指数を用いれば、共振の影響と端部拘束の影響を分離して評価でき、簡易な形で種々の条件下の駆動点インピーダンスを計算できる。

本報告では、RC構造床スラブを対象として、拡散度指数に基づく駆動点インピーダンスの計算法をもとに、重量床衝撃音を予測計算する方法を示す。床衝撃音の計算には、駆動点インピーダンス以外に多

くの要因が含まれるが、これらにも拡散度指数の考え方を導入して評価を行っている。これまでの床衝撃音の予測計算法には、実用的インピーダンス法⁴⁾や、コンピューターによる数値計算法^{5), 6)}があるが、何れも一長一短があり必ずしも十分ではない。特に、実用的インピーダンス法では、床面積の大きなスラブ、いわゆる大型スラブに関して予測誤差が大きくなることが指摘されており^{7), 8)}、適用範囲の限定されない精度の良い方法が望まれている。本研究の拡散度法による床衝撃音の計算法では、板の面積、板厚、辺長比、境界条件、減衰、周波数領域、加振点位置、部屋の大きさ、などの関連する要因の殆どが考慮されており、かつ、その影響が定量的に評価されている。したがって、条件による場合分けが必要なく、種々のRC造床スラブに統一的に適用できる。ここで示す拡散度法による新しい床衝撃音の計算方法は、適用範囲と精度に優れた実用的予測方法として利用が期待できる。

2. 拡散度法による重量床衝撃音の計算フロー

図-1に拡散度法による重量床衝撃音の計算の流れを示した。この図にしたがい計算の概要を説明し、次章以下で各項目の詳細について述べる。

床衝撃音計算でメインとなるのは、図中の点線で囲まれた床スラブに関する項目である。これらは、板の振動性状に関係する項目であり、

* 八戸工業大学建築工学科 教授・工博

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Hachinohe Institute of Technology, Dr. Eng.

拡散度指数により評価される。既報²⁾で示したように、拡散度指数を求めるため、まず最初にオクターブバンド内の固有振動モードの数を計算し、固有モード数と拡散度指数の関係式により、オクターブバンド毎の拡散度指数を計算する。この拡散度指数を基に、床スラブの駆動点インピーダンスを計算する。既に述べたように、駆動点インピーダンスは無限大板の駆動点インピーダンスに共振と端部拘束の影響を考慮して算出される。次に、加振時の駆動点における振動速度と板面平均振動速度とのレベル差を算出する。駆動点での振動を多点で計算して平均しても板面の平均振動とはならず、あくまで駆動点での平均でしかない。音響放射を計算するのに必要なのは板面の2乗平均速度であり、駆動点インピーダンスの結果をもとに、これを算出する必要がある。この値は、モード振動と拡散振動によって異なるため、拡散度指数をパラメータとして決定される。

音響放射率の算定は、床スラブの室部分を対象に計算される。音響放射率には、周波数領域によってモード振動音響放射率と拡散振動音響放射率があり、床スラブ全体に関して計算される各々の放射率に対して、室の面積を考慮して室音響放射率を計算する。この方法は、特に床衝撃音だけに限定されたものではなく、一般的な振動体にも適用できる方法である。

以上の、床スラブに関わる3つの項目と、加振力レベルおよび室内吸音力を併せて重量床衝撃音レベルを計算する。ここでの結果は、下室の音場を拡散音場と仮定した場合の1秒間の2乗平均値(単発暴露レベル)として与えられる。したがって、以下の2つの補正、音場補正とFast Peak補正が必要になる。音場補正とは、計算値として得られる拡散音場を仮定した結果と、実際の波動音場との差の補正である。高音域では拡散音場が成立するが、重量床衝撃音のような低音域現象の場合には拡散音場は成立しないため、補正が必要となる。Fast Peak補正は、JIS測定法で規定されている騒音計の動特性との整合をとるための補正である。

以上の計算手順により、重量床衝撃音を計算することが出来る。本研究には、かなり複雑な計算が必要となるものも含まれるが、それらについては精度を落とさない程度に近似を行い、基本的に手計算が可能な形に簡易化を図っている。

3. 床衝撃音計算各部の詳細

図-1の計算フローで示した各項目について、以下に順次説明を行う。一部、既報告^{1)~3)}の関係式や内容も含まれるが、ここでは計算の流れをトータルに示すことが目的であるため、それらも再掲し簡単に説明を行う。また、必要に応じて実用的インピーダンス法との対比を行い、本方法の特徴をより明確にしている。

3.1 オクターブバンド拡散度指数の推定

拡散度指数は、オクターブバンド内の固有モードの数によって推定する。既報²⁾で詳述したように、オクターブバンド内の固有モード数はモード格子から求めることができ、境界条件が単純支持の矩形板に關しては、

$$N_s(f_m) = 0.354\sqrt{m/B}l_x l_y f_m - 0.139\sqrt{m/B \cdot f_m^2}(l_x + l_y) \quad (1)$$

$N_s(f_m)$: オクターブバンド内の固有モード数(単純支持の場合)、 f_m : 中心周波数(Hz)

m : 板の面密度(kg/m²)、 B : 板の曲げ剛性(N・m)

図-1 拡散度法による重量床衝撃音の計算フロー

l_x, l_y : 板の辺長(m)

となる。この式(1)は、ほぼ厳密な値を与える式であるが、境界条件が周辺固定の場合には、モード格子の間隔が均等ではないため、単純支持の場合のように求めることはできない。したがって、単純支持の結果をもとに推定を行うと、

$$N_c(f_m) = N_s(f_m) / R^2 \quad (2)$$

$N_c(f_m)$: オクターブバンド内の固有モード数(周辺固定の場合)

$$R = (f_m / f_{1,c})^{-1.3} + 1 \quad (3)$$

$f_{1,c}$: 周辺固定時の1次固有振動数(Hz)

となる。これらの詳細は、既報²⁾を参照のこと。

オクターブバンド内の固有モード数より、拡散度指数(D)は、

$$D = 1.0 - 0.743N^{-0.439} \quad (4)$$

として与えられる。この式は、単純支持、周辺固定の場合とも共

通である。

3.2 駆動点インピーダンスの推定

コンクリート床スラブの駆動点インピーダンスは、無限大板の駆動点インピーダンスに共振の影響と端部拘束の影響を考慮して決定される。すなわち、

$$20\log z = 20\log z_0 + \delta(D) + \Delta\delta \quad (\text{dB}) \quad (5)$$

z : 振動応答解析結果の駆動点インピーダンス (kg/sec)

z_0 : 無限大板の駆動点インピーダンス (kg/sec)

$$z_0 = \frac{F}{v} = 8\sqrt{mB} \quad (6)$$

F : 加振力(N)、 v : 振動応答速度(m/sec)

$\delta(D)$: 共振によるインピーダンスの低下量 (dB)

$\Delta\delta$: 端部拘束によるインピーダンスの増加量 (dB)

となる。共振によるインピーダンス低下量は、拡散度指数をパラメーターとすれば、床スラブの面積や板厚などの条件に拘わらず、式(7)の簡単な関係式で与えられる。

$$\delta(D) = 18.5D - \delta_0 \quad (7)$$

[ただし、 $\delta(D)$ は0以下の値とし、式(7)が0以上となる場合は0とする]

$$\delta_0 = 7.7\log h - 4.2 \quad (8)$$

h : 減衰定数

なお、式(8)は減衰定数による共振への影響を表している。

次に、端部拘束によるインピーダンスの増加量についても、板の条件に関係なく式(9)、(10)で与えられる³⁾。

$$\Delta\delta_s = -30.6\log(x/\lambda_b) - 23.1 \quad (9)$$

$$\Delta\delta_c = -40.0\log(x/\lambda_b) - 23.3 \quad (10)$$

$\Delta\delta_s, \Delta\delta_c$: 単純支持、周辺固定時の端部拘束によるインピーダンス増加量 (dB)

[ただし、 $\Delta\delta_s, \Delta\delta_c$ は0以上の値とし、式(9)、式(10)が0以下となる場合は0とする]

λ_b : オクターブバンド中心周波数の曲げ波の波長 (m)

x : 加振点から端部までの垂直距離 (m)

単純支持および周辺固定の場合とも、2辺拘束によるインピーダンス増加量は、各々の1辺拘束の値から、次の式で与えられる。

$$\Delta\delta_{1+2} = \sqrt{\Delta\delta_1^2 + \Delta\delta_2^2} \quad (11)$$

駆動点インピーダンスの推定は、重量床衝撃音予測の中で最も重要な項目となるが、これを拡散度指数を導入して評価することにより、板の各種の条件に拘わらず簡易な式で計算できることが本方法の最も大きな特長である。

3.3 駆動点と板面平均のレベル差の算出

加振点における振動速度は、式(6)に示されるように、加振点の駆動点インピーダンスと加振力によって求めることができる。しかし、振動板からの音響放射パワーは、板面の2乗平均振動速度によって決定されるため、床衝撃音計算では、室の床面積部分を対象にこれを算出する必要がある。本研究では、これを加振点と室の板面平均のレベル差として算出した。加振点と板面平均の振動速度のレベル差は、板の

振動状態によって変化する。まず、拡散状態でのレベル差を求めると以下ようになる。図-2に示すように、有限板加振時の拡散状態で振動速度分布は、式(12)で与えられる¹⁾。これは、加振点での振幅を1として標準化したものである。なお、拡散振動の場合には、加振点の位置に拘わらず図-2の分布となるから、加振点での振動速度を板面にわたって平均しても、加振時の板面平均振動速度は求まらない。

$$a(r) = \sqrt{\left(1 + 2\pi^2 \cdot r/P\right) \left\{ J_0^2(kr) + (N_0(kr) + 2/\pi \cdot K_0(kr))^2 \right\}} \quad (12)$$

$a(r)$: 加振点から距離 r の点での振幅

k : 曲げ波の波長定数 ($= 2\pi/\lambda_b$)

P : 板定数

$$P = L\alpha/(1-\alpha) \quad (13)$$

$$\alpha = 1 - \exp\left(-\frac{12.5\pi S f_m h}{c_b L}\right) \quad (14)$$

L : 板の周長 (m)、 S : 板の面積 (m²)

c_b : 曲げ波の伝搬速度 (m/s)

J_0, N_0, K_0 : 0 次のベッセル関数、ノイマン関数、変形

ベッセル関数

したがって、加振点から半径 r の範囲の板面平均は、式(12)を積分して面積平均することにより求めることができ、加振点の振幅は1に設定されているので、この値をレベル化すればよい。この計算結果を、 kr と r/P をパラメータとして数値計算した結果が図-3である。

図-2 拡散振動時の振幅分布計算例 (既報 1)より)

図-3 加振点と板面平均のレベル差の計算結果 (点線は式(15)による近似値を表す)

本研究では、この結果を簡易に利用するため、図-3を式(15)に示す簡易な近似式で表した。

$$a_d = \{-10.3 \log(kr) + 1.3\} \times 10^{-1.753 \left(\frac{r}{P}\right) + 0.001753} \quad (15)$$

計算対象室となる床面積を、図-2に示すような等価半径として表し、式(15)を計算すれば、拡散振動時の加振点と板面平均の振動レベル差を求めることができる。

単一モード振動時の加振点と板面平均の振動レベル差 (a_m) は、モード形をもとに算出することができるが、室に関する板面平均では、計算対象室の面積、スラブ上の位置、モード形などによって値が変化する。これを式で表現するのは困難であり、本研究では、数値解析により数種条件を検討した。一例を示すと、周辺固定モードで床スラブの中央に室がある場合 (スラブ寸法 8m×6m、室寸法 3.2m×2.4m) では-2.2dB であり、端部に室がある場合は-5~-6dB となる。これらの検討結果より、本報では簡略的にこれを一律-3dB と設定した。

各オクターブバンドでの加振点と板面平均の振動レベル差 (Δa) は、拡散度指数によって決定している。すなわち、拡散状態と単一モード振動時の値を、式 (16) に示すように拡散度指数により内分して求める。

$$\Delta a = (a_d - a_m) \times D + a_m \quad (16)$$

図-4 1次モード振動時の部分音響放射率の計算モデル

表-1 数値計算結果と式(18)による計算結果の比較

内 容	全体との面積比			
	1/16	4/16	9/16	1/1
離散的数値計算法による計算結果 (dB)	-13.2	-7.0	-3.4	-1.9
$\sigma_0 = 10 \log \left(\frac{\lambda_c^2}{s_p} \cdot \frac{s_R}{s_p} \right)$ (dB)	-13.5	-7.5	-4.0	-1.5

図-5 室音響放射率の周波数特性

3.4 室音響放射率の算出

音響放射率は室を対象に算出する必要がある。既往研究の音響放射率の殆どは、振動板全体 (この場合には床スラブ全体) を対象としたものであるが、床衝撃音に関しては、床スラブの一部となる室部分に関する部分音響放射率を評価する必要がある。また周波数領域に関しては、単一モード振動時のモード振動音響放射率から拡散振動音響放射率へ、周波数とともに変化することになる。これらを考慮して、本研究では以下のような方法により室音響放射率を算出している。

(a) 1次モード振動時の部分音響放射率

基本となる板全体に関する1次モード振動の音響放射率 σ は、

$$\sigma = \lambda_c^2 / s_p \quad (17)$$

λ_c : コインシデンス周波数での曲げ波の波長 (m)

s_p : 床スラブ全体の面積 (m²)

となる。音響放射率は一般的に面積に対応するため、この時の部分音響放射率のレベル値 (σ_L) を、板全体の面積に対する室部分の床面積の比を用いて次のように推定した、

$$\sigma_L = 10 \log \left(\frac{\lambda_c^2}{s_p} \cdot \frac{s_R}{s_p} \right) \quad (18)$$

s_R : 室部分の床面積 (m²)

この式の精度を確認するため、単一モード振動分布をもとに、筆者が開発した音響放射率の数値計算法 (離散的数値計算法^{10)~12)} を用いて、結果を比較検討した。図-4、表-1がその結果であり、式(18)の簡単な式で、1次モード振動時の部分音響放射率を十分に表されることが示されている。実際には、床スラブ上の部屋の位置で多少の違いが生じると考えられるが、本研究では、この値を単一モード振動時の部分音響放射率として統一的に用いることとした。

(b) 音響放射率の周波数特性

拡散振動の場合には、部分放射率も板全体の放射率も基本的に同じであり、コインシデンス周波数 (f_c) 以上で音響放射率が1となる。また、1次固有振動数以下の周波数では、モード振動の音響放射率は周波数の2乗に比例することから、採用した音響放射率は図-5、式(19)~(21)のように設定した。1次固有振動数とコインシデンス周波数の間の周波数では、簡便のため、各々の周波数の音響放射率の値を対数軸上で内分して求めている。

$$f < f_{1,s} \quad 10 \log \sigma = \sigma_L + 20 \log (f / f_{1,s}) \quad (19)$$

$$f_{1,s} < f < f_c \quad 10 \log \sigma = \sigma_L \cdot \frac{\log(f_c / f)}{\log(f_c / f_{1,s})} \quad (20)$$

$$f_c < f \quad 10 \log \sigma = 0 \quad (21)$$

ここで、 $f_{1,s}$: 単純支持板の1次固有振動数 (Hz)

なお、実用的インピーダンス法では、室の大きさに対する考慮はなされていない。

3.5 重量床衝撃音の計算 (拡散音場仮定時)

下室を拡散音場と仮定したときの重量床衝撃音は、以下のように求められる。まず式(22)に示すように、駆動点インピーダンスと加振力実効値 (F_{rms}) により加振点の振動速度を求め、板面平均とのレベル差を考慮すれば板面の2乗平均振動速度が求まる。

$$10 \log < v^2 > = 20 \log F_{rms} - 20 \log z + \Delta a \quad (22)$$

図-6 音場補正検討用の解析モデル
(境界条件は単純支持)

下室を拡散音場と仮定すると、床スラブからの放射パワー (W)、および室内平均の音の強さ (I) は、

$$W = \sigma \rho c < v^2 > S_R \quad (23)$$

$$I = \frac{4W}{A} \quad (24)$$

ここで、 ρc : 空気特性インピーダンス ($\text{kg/m}^2\text{sec}$)

A : 下室の吸音力 (m^2)

となる。音の強さのレベルと音圧レベルは近似的に等しくなることから、これらを併せて室内平均音圧レベルを dB 表示すると、

$$\text{SPL} = 10 \log \sigma + 10 \log < v^2 > + 10 \log (S_R / A) + 152.1 \quad (25)$$

となる。ここで、式(23)は問題なく成立するが、式(24)は拡散音場でのみ成立する関係式であることに留意が必要である。

3.6 音場補正

式(24)の関係は、重量床衝撃音に関しては実際には成立せず、低音域では音の波動性を考慮しなければならない。このための補正量を数値解析により検討した。図-6に示す2つの大きさの床スラブと大きさの異なる室を対象として、同じ床スラブの振動速度分布に関して波動計算と拡散音場計算の差を検討した。波動計算は、FEMによる振動応答解析¹³⁾によって得られた床スラブの振動速度をもとに、波動関数法¹⁴⁾により計算した。拡散音場法は、同じ床スラブの振動速度分布を用い、音響放射率を離散的数値計算法¹¹⁾により算出し、式(25)で平均音圧レベルを計算したものである。これらの波動音場計算結果から拡散音場計算結果を差し引いたレベル差をまとめて図-7に示した。まず、31.5Hzでは、レベル差は大変大きく基本的に拡散音場計算にはなじまない。ただし、部屋の大きさがかなり大きくなった場合には、拡散音場計算による近似も可能である。63Hz以上の周波数では、条件により差は生じるものの平均で-5dB、250Hzで-2dBとなる。500Hz以上では0とした。以上の結果より、本研究における音場補正值として表-2の値を採用した。

3.7 Fast Peak 補正

騒音計の動特性 Fast と音の1秒間の2乗平均値として得られる計

図-7 波動音場計算(L_c)と拡散音場計算(L_d)のレベル差 ($L_c - L_d$)

表-2 音場補正の設定値

内 容	中心周波数(Hz)				
	31.5	63	125	250	500以上
音場補正值(dB)	-20(-5)*	-5.0	-5.0	-2.0	0.0

*31.5Hzは、室面積 15m^2 未満は-20dB、 15m^2 以上は-5dBとした。

算結果との補正量は、全周波数とも+4dBとした。これは、実際の種々の重量床衝撃音波形に関して上記の両者の差を算出した結果⁷⁾である。ちなみに、実用的インピーダンス法では正弦半波状の加振力波形を対象に同様の分析を行っているが、これは実際の条件と異なることは明らかであり、その結果の数値もかなり異なったものとなっている。

4. 計算値と実測値の比較検討

本研究で示した計算方法の検証のため、幾つかの床スラブに関して実測値との比較検討を行った。検討例は少ないが、大型スラブおよび普通スラブに関する検討、実用的インピーダンス法による計算結果との比較を行った。なお、計算に用いた加振力および室内平均吸音率は表-3内に示す通りであり、加振力は測定に用いた衝撃源の実測値⁷⁾を採用した。

図-8は、計算対象の大型スラブ、図-9はその計算結果である。床厚200mmのアンボンドスラブであるが、比較的室面積の大きな居間、および室面積の小さな洋室とも、実測値と良く一致している。この計算段階における各要因の計算値を居間に関して表-3に示した。

図-8 計算対象床スラブ (大型スラブ、床厚 200mm)

図-9 大型スラブの計算結果 [○: 実測値, ○: 計算値]

図-10 計算対象床スラブ (普通スラブ、床厚 150mm)

図-11 普通スラブの計算結果 [○: 実測値, ○: 計算値]

大型スラブの場合には、普通スラブより1次の固有振動数かなり低くなるため、その分、同じ周波数域で普通スラブより拡散度指数が高くなる。したがって、共振の影響も比較的小さく、端部拘束の影響もあまり大きくない結果となる。その代わり、拡散度が相対的に高くなるため、加振点と板面平均の差はかなり大きくなり、この評価が重要であることがわかる。なお、図-9は境界条件を単純支持としているが、

内 容		中心周波数(Hz)				
		31.5	63	125	250	500
固有モード数	s	3.8	8.3	17.3	35.9	73.5
	c	2.0	6.2	15.3	34.1	72.0
拡散度指数	s	0.59	0.71	0.79	0.85	0.89
	c	0.45	0.67	0.78	0.84	0.89
共振によるインピーダンス低下(dB)	s	-4.9	-2.7	-1.2	-0.2	0.0
	c	-7.5	-3.5	-1.4	-0.2	0.0
端部拘束によるインピーダンス増加(dB)	1	s	2.2	0.0	0.0	0.0
		c	12.3	0.0	0.0	0.0
	2	s	0.0	0.0	0.0	0.0
		c	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	s	0.0	0.0	0.0	0.0
		c	0.0	0.0	0.0	0.0
駆動点インピーダンス(dB)	1	s	114.3	114.3	115.9	117.0
		c	122.0	117.6	115.7	116.9
	2	s	112.2	113.4	115.9	117.0
		c	109.6	113.6	115.7	117.1
	3	s	112.2	114.4	115.9	117.0
		c	109.6	113.6	115.7	117.1
駆動点と板面平均のレベル差(dB)	s	-3.0	-3.1	-4.5	-6.1	-7.9
	c	-3.0	-3.1	-4.5	-6.1	-7.9
室音放射率(dB)		-6.4	-2.4	0.0	0.0	0.0
加振力(dB)		47.0	36.0	25.0	16.0	10.0
室内平均吸音率		0.10	0.10	0.10	0.10	0.15
10log(S/A)		3.8	3.8	3.8	3.8	2.0
騒音床衝撃音(拡散振動仮定時)(dB)	1	s	79.1	72.0	60.5	48.8
		c	71.5	68.8	60.8	48.9
	2	s	81.3	72.0	60.5	48.8
		c	83.8	72.8	60.8	48.9
	3	s	81.3	72.0	60.5	48.9
		c	83.8	72.8	60.8	48.9
音場、FastPeak補正後	平均	s	80.6	72.0	60.5	48.8
	c	79.7	71.4	60.8	48.9	39.1
実測値(dB)	s	79.6	71.0	59.5	50.8	43.1
	c	78.7	70.4	59.8	50.9	43.1

*1~3は加振点、s、cは単純支持と周辺固定

表-3 大型スラブ(居間)の重畳床衝撃音計算各部の値

図-12 実用的インピーダンス法との比較

[○: 実用的インピーダンス計算値⁴⁾,
○: 拡散度法による計算値]

表-3から分かるように、この例では周辺固定でも大きな差は生じない。図-10、図-11は普通スラブ(床厚 150mm)に関する比較であるが、これも極めてよく一致した結果となっている。大型スラブも普通スラブも全く同じ手順で計算されており、特に条件分けはなされていない。また、図-12は文献4)にある実用的インピーダンス法の計算法との比較である。これも極めてよく一致している。ただし、これ

表-4 計算各部での実用的インピーダンス法との比較

内 容	中心周波数(Hz)				
	31.5	63	125	250	500
固有モード数	1.0	2.4	5.3	11.4	23.8
拡散度指数	0.27	0.50	0.64	0.74	0.82
共振によるインピーダンス低下量(dB)	-10.8	-6.6	-3.9	-2.0	-0.7
端部拘束によるインピーダンス増加量(dB)	1	0.0	0.0	0.0	0.0
	2	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0	0.0
駆動点インピーダンス(dB)	1	102.5 —	106.7 (109)	109.3 (112)	111.2 (115)
	2	102.5 —	106.7 (102)	109.3 (105)	111.2 (108)
	3	102.5 —	106.7 (109)	109.3 (112)	111.2 (115)
駆動点と板面平均のレベル差(dB)	-3.0	-3.0	-3.0	-4.4	-6.4
室音響放射率(dB)	-3.4 —	-1.6 (-5.5)	0.0 (-0.4)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
加振力(dB)	47.0 —	36.0 (33)	25.0 (20)	16.0 (15)	10.0 (7)
室内平均吸音率	0.10 —	0.10 (0.20)	0.10 (0.20)	0.10 (0.20)	0.15 (0.20)
10log(S/A)	4.0 —	4.0 (1.0)	4.0 (1.0)	4.0 (1.0)	2.2 (1.0)
拡散音場仮定時の重量床衝撃音 (dB)	平均 94.2 —	80.8 (69.3)	68.7 (60.0)	56.5 (53.4)	45.4 (43.0)
音場、FastPeak補正後 (Fastpeak 補正後)	93.2 —	79.8 (79.1)	67.7 (68.3)	58.5 (59.9)	49.4 (48.6)

* () 内は、実用的インピーダンス法による計算値。拡散度法は単純支持計算

は最終結果が一致しているだけであり、途中結果の比較を行えば、表-4に示すように大きく異なっている。すなわち、本研究の方法と実用的インピーダンス法では、Fast Peak 補正前の拡散音場仮定時の重量床衝撃音レベル値で、63Hz、125Hzにおいて10dB程度も差が生じている。

以上の結果より、検討例は少ないものの本研究の方法が、重量床衝撃音の予測計算法として十分に成立する可能性があることが示されたと考える。予測計算法としての最終的な評価は、数多くの条件の床スラブを対象とした実測結果との比較検討により、精度、特徴、問題点を明らかとした後に決定されるべきものといえる。現在、このための検討が進められていることを付記する。

5. まとめ

板振動の拡散度に基づいた新たな重量床衝撃音の予測計算法を提案し、実測結果との比較により、その有用性を検討した。住宅の性能表示制度の実施とともに、重量床衝撃音に関する簡易で精度の良い予測計算法の必要性は益々高くなっていくものと考えられ、本研究の方法が種々の条件の床スラブに制限なく適用できることが明らかとなれば、この技術分野の大きな進展となるであろう。

今回は平板スラブのみを対象としているが、小梁付きのスラブなどに対しても、固有モード数の算定を基にした拡散度の評価により予測が可能と考えられ、現在これらの検討も行っている。また、本

報告では基本的にRC造床スラブを想定した検討となっているが、拡散度指数と振動応答の関係が床構造に拘わらず一義的に成立することが確認されれば、本法は汎用的な振動応答評価法として利用でき、木造や鉄骨造、種々の合成床版などへの適用の可能性も生まれてくる。今後、これらも視野に入れて検討を進めたいと考えている。

<参考文献>

- 1) 橋本典久、桂 充宏、西川嘉雄：拡散度指数構成のための基礎的検討、一板振動の拡散度評価指標の構成とその利用に関する研究・その1一、日本建築学会計画系論文集、第492号、pp9-14、1997
- 2) 橋本典久：拡散度指数による板の振動応答の評価、一板振動の拡散度評価指標の構成とその利用に関する研究・その2一、日本建築学会計画系論文集、第523号、pp1-9、1999
- 3) 橋本典久：拡散度指数による端部拘束の評価、一板振動の拡散度評価指標の構成とその利用に関する研究・その3一、日本建築学会計画系論文集、第533号、2000(掲載予定)
- 4) 日本建築学会編：建物の遮音設計資料、pp115-155、技報堂出版、1996
- 5) N.Hashimoto, M.Yasuoka：The development of a numerical analysis method for structure borne sound of building floor slabs, and its application to the evaluation of heavy weight floor impact sounds, J.Acoust.Soc.Japan, Vol.16, No.2, pp85-95, 1995
- 6) 橋本典久、西川嘉雄、他：パソコンを用いた数値計算法による重量床衝撃音予測計算、一大型スラブ、普通スラブに関する有限要素法計算値と実測値の比較一、日本音響学会建築音響研究会資料AA98-44、pp1-8(1998)
- 7) 橋本典久：建築物床版の振動と音響放射に関する研究、学位論文(東京大学)、1994
- 8) 田野正典、古賀貴士：大型スラブの床衝撃音と床振動測定例、建築学会大会学術講演梗概集、pp179-182、1998.9
- 9) L.L. Beranek：Noise and Vibration Control, (McGraw-Hill, New York, 1971)
- 10) 橋本典久、桂 充宏、西川嘉雄：離散的数値計算法による各種振動板の音響放射特性の検討、日本建築学会計画系論文集、第502号、pp9-14、1997
- 11) 橋本典久、澤田紘次：離散的数値計算法による音響放射率測定法の実験検討、日本建築学会計画系論文集、第516号、pp9-13、1999
- 12) 橋本典久、澤田紘次：各種振動板の音響放射特性に関する実験検討、日本建築学会計画系論文集、第525号、pp9-14、1999
- 13) 橋本典久：小梁付床版の音響域振動へのFEMの適用とその振動性状について、一建築物床版の振動と音響放射に関する研究・その1一、日本建築学会計画系論文集、第372号、pp1-9、1987
- 14) 橋本典久：直方体空間の波動関数を用いた固体音放射計算に関する検討、一建築物床版の振動と音響放射に関する研究・その2一、日本建築学会計画系論文集、第428号、pp1-10、1991

(2000年3月7日原稿受理、2000年6月29日採用決定)