

14. 重量床衝撃音レベルの実測と予測計算方法の検討

恩村 定幸 高見 錦一
杉之内 靖 山口 克彦

要 旨

近年、住生活の快適性に関する意識の向上にともない、集合住宅における床衝撃音が大きな社会問題として提起されつつある。この床衝撃音の遮断性能を予測する実用的で簡易な計算方法として、インピーダンス法がこれまで一般に用いられているが、昨今増加傾向にある大型スラブやボイドスラブなどの特殊スラブの場合には、その計算値、とりわけ重量床衝撃音レベルの計算値が実測値よりも大きくなるという実例が各方面から報告されている。このような背景の中、実際の建物で重量床衝撃音レベルの測定を相当数行い、その実測値とインピーダンス法から求まる計算値とを比較した。その結果、スラブ面積 25 m^2 未満のスラブでは従来通り $63\sim 500\text{ Hz}$ 周波数域の重量床衝撃音レベルの計算値からL数を、スラブ面積 25 m^2 以上のスラブでは $125\sim 500\text{ Hz}$ 周波数域の重量床衝撃音レベルの計算値からL数を決定することで実測値と計算値のL数がよく一致することが判明した。

キーワード

床衝撃音／重量床衝撃音レベル／測定／インピーダンス法／L数

目 次

1. はじめに
2. 測定概要と測定結果
3. 計算方法（インピーダンス法）
4. 重量床衝撃音レベルの計算値と実測値の比較
5. ま と め
6. あとがき

14. FIELD MEASUREMENT OF FLOOR IMPACT SOUND AND INVESTIGATION OF CALCULATION METHOD

Sadayuki Onmura Kin-ichi Takami
Yasushi Suginoouchi Katsuhiko Yamaguchi

Abstract

As awareness for more comfortable living space has grown in recent years, floor impact sound in apartment buildings is becoming an object of public concern. Impedance method has been commonly used as a practical and simplified method to estimate sound insulation performance of a structure against the floor impact sound. However, many sources have reported that the value of floor impact sound pressure level calculated by this method turned out to be greater than the actual measurement, for large slabs and special types of slabs such as void slab which are used more often these days. The said tendency is greater for floor impact sound pressure level by heavy-weight impact source. In such a situation, comparison was made between the measured floor impact sound pressure level and the values calculated by impedance method, after taking a large number of measurement as floor impact sound pressure level by heavy-weight impact source in an actual building. The results revealed that if L-Numbers for floor slabs with areas less than 25 m^2 are decided as before from the calculated floor impact sound pressure level by heavy-weight impact source in the frequency band of 63 to 500 Hz , and the L-Numbers for floor slabs 25 m^2 or larger are decided from the calculated floor impact sound pressure level by heavy-weight impact source in the frequency band of 125 to 500 Hz , in calculation, then the L-Numbers of measured and calculated will be equal.

1. はじめに

近年、快適性に対する人々の意識の向上にともない、居住性能の質的な水準が重要視されるようになりつつある。特に生活騒音が一番の問題であり、中でも床衝撃音に対する遮音性能の要求が高く、表－1、表－2に示す性能基準を確保するための事前検討が設計の段階で必須項目となっている。この検討を行うにあたっては、オクターブバンド中心周波数毎の床衝撃音レベルを予測することが必要となるが、これまで、簡易で実用的な予測計算方法として、インピーダンス法¹⁾が広く一般に用いられてきた。この計算方法は、床スラブの振動応答や衝撃音伝搬などの一連の実験データを用いた物理学的、統計学的解析から考案されたものであり、非常に便利な計算方法として評価されている。しかし、その基礎としたデータは、面積が25㎡以下で、かつ厚さ200mm以下のRC造、純ラーメン構造の床スラブを対象としているものが多く、したがって、昨今増加傾向にある小梁のない広面積の大型スラブやボイドスラブ、アンボンドスラブなどの特殊スラブに適用するには不十分な点があると言って過言ではない。

とりわけ、重量床衝撃音レベルについては、計算値の方が実測値よりも大きくなるという報告が各方面からなされている²⁾。工期短縮とコストダウンを期待して、大型スラブ工法や特殊スラブ工法を採用したにもかかわらず、この計算方法によることで過大なスラブ厚となる設計を行ってしまえば、前述したメリットを無為にする結果になりかねない。

この度、インピーダンス法を大型スラブ等に適用した際に得られる計算値と実測値とを比較検討することを目的に、相当数の実際の建物で重量床衝撃音レベルの測定を行った。

本報では、測定概要および実測値とインピーダンス法で算出された計算値とを比較検討した結果について報告する。

2. 測定概要と測定結果

2.1 測定概要

測定は、次のような概要で行った。

- ・測定方法 : JIS A 1418「現場における床衝撃音レベルの測定方法」に準拠

表－1 重量床衝撃音レベルに関する適用等級

建築物	室用途	適用等級			
		特級	1級	2級	3級
集合住宅	居室	L-45	L-50	L-55	L-60,65
ホテル	客室	L-45	L-50	L-55	L-60
学校	普通教室	L-50	L-55	L-60	L-60

(「建築物の遮音性能基準と設計指針」[第二版] 日本建築学会編 抜粋)

表－2 適用等級の意味

適用特級	遮音性能の水準	性能水準の説明
特級	遮音性能上特に優れている	特別に高い性能が要求された場合の性能水準
1級	遮音性能上優れている	建築学会が推奨する好ましい性能水準
2級	遮音性能上標準的である	一般的な性能水準
3級	遮音性能上やや劣る	やむを得ない場合に許容される性能水準

(「建築物の遮音性能基準と設計指針」[第二版] 日本建築学会編 抜粋)

表－3 測定データの内訳

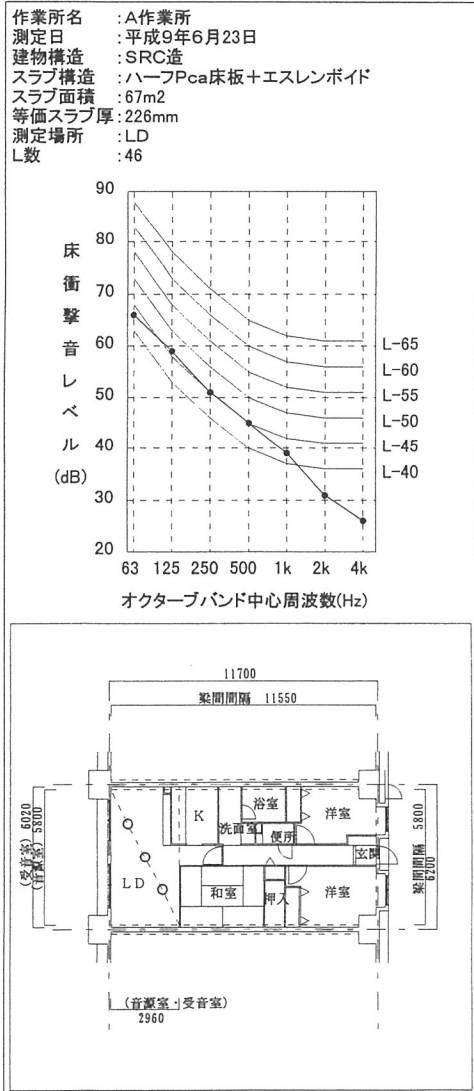
構造種別 (建物/スラブ)		スラブ面積別		特価スラブ厚さ別	
RC構造	56例	10㎡未満	1例	130mm	1例
免震RC構造	7例	10㎡以上 20㎡未満	18例	150mm ～160mm	24例
壁式 ラーメン構造	9例	20㎡以上 30㎡未満	18例	180mm	11例
SRC構造	18例	30㎡以上 40㎡未満	5例	190mm	3例
壁構造	3例	40㎡以上 50㎡未満	23例	200mm	15例
		50㎡以上 60㎡未満	9例	210mm	4例
普通RC スラブ	52例	60㎡以上 70㎡未満	14例	220mm ～230mm	7例
エスレン ボイドスラブ	13例	70㎡以上 80㎡未満	3例	240mm ～250mm	26例
ボイドスラブ	22例	80㎡以上 90㎡未満	2例	270mm ～280mm	2例
アンボンド スラブ	6例			290mm ～300mm	2例

- ・衝撃音発生源 : バングマシーン(リオン社製FI-02)
- ・計測機器 : 普通騒音計(リオン社製NA-29)
- ・期間 : 平成9年3月～平成10年3月
- ・測定作業所件数 : 25(東京が11件、大阪が12件、名古屋が2件であるが、そのうち東京の4件は過去に測定されたデータを用いた)
- ・測定数 : 93(表－3に内訳を示す)

2.2 測定結果

図－1 にA作業所における測定結果の一例を示す。

「重量床衝撃音レベルは床仕上げの影響をほとんど受けない」と各文献に記載されているが、大型スラブについても適用が可能かどうかを確認するために、床面積が45㎡をこえるスラブについて床仕上げが有る場合とない場合の重量床衝撃音レベルの実測値を比較してみた。その結果、畳敷き（8例の平均）で+1 dB、フローリング仕上げ（3例の平均）で±0 dBであった。測定数が少ないが、前述の既知の見解が大型スラブについても適用できることをこの結果より確認した。



図－1 測定結果の一例

3. 計算方法（インピーダンス法）

一般に用いられているインピーダンス法の計算式は次の通りである。

【インピーダンス法による計算式】

オクターブバンド中心周波数毎の重量衝撃音による床衝撃音レベル $L_{H,f}$ [dB] は次式で求まる。

$$L_{H,f} = 20\log_{10} F_{rms} - L_{ZT} + 10\log_{10} S_{eff} + 10\log_{10} k - 10\log_{10} A + \Delta C + 152$$

式中の f は各オクターブバンド別周波数を表す。

ここに、

・ F_{rms} (重量衝撃源の衝撃力実効値) [N]

	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz
F_{rms}	44.7	10.0	5.6	2.2

・ $L_{ZT} = L_z + \sum \Delta L_z + Z_T$ [dB]

L_z (床スラブの基本インピーダンスレベル) [dB]

$$L_z = 20\log_{10} Z_b$$

$$Z_b = 4 / \sqrt{3} \times \rho^{1/2} E^{1/2} h^2$$

h : スラブの等価厚さ [m] ,

ρ : スラブの等価密度 [kg/m³] ,

E : スラブの等価ヤング係数 [N/m²]

ΔL_z (加振点別インピーダンスレベル上昇量) [dB]

$x \leq \lambda_b / 2$ の時

大梁支持 :

$$\Delta L_z = 15.37 - 68.86(x / \lambda_b) + 98.65(x / \lambda_b)^2 - 45.36(x / \lambda_b)^3$$

小梁支持 :

$$\Delta L_z = 10.93 - 55.86(x / \lambda_b) + 92.57(x / \lambda_b)^2 - 49.72(x / \lambda_b)^3$$

$x \geq \lambda_b / 2$ の時

$$\Delta L_z = 0$$

$$\text{ただし、} \lambda_b = \left(\pi \sqrt{\frac{E}{\rho}} \frac{h}{\sqrt{3} \times 25} \right)^{1/2}$$

x : スラブ拘束端から衝撃源への距離 [m] ,

λ_b : 重量衝撃源の衝撃周波数(25Hz)での曲げ波長 [m]

Z_T (床スラブのインピーダンスレベル周波数特性) [dB]

	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz
Z_T	31.5Hz 帯域	-15		
	63Hz 帯域	-15	-12	-9
	125Hz 帯域	3.5		-6

ここで、

$$f_{0,fix} = \frac{\pi}{4\sqrt{3}} \left(\frac{2.25}{a^2} + \frac{1.4}{b^2} \right) \left(\frac{E}{\rho} \right)^{4/2} \cdot h$$

$$f_0 = 0.8f_{0,fix}$$

$$f_0 \leq 63 \Rightarrow 31.5\text{Hz 帯域}$$

$$63 \leq f_0 \leq 125 \Rightarrow 63\text{Hz 帯域}$$

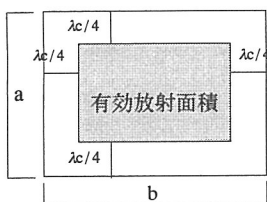
$$125 \leq f_0 \Rightarrow 125\text{Hz 帯域}$$

a : スラブ短辺長 [m] ,

b : スラブ長辺長 [m] ,

$f_{0,fix}$: 有限長平板の周辺固定条件による 1 次固有振動数 [Hz] ,

f_0 : スラブの 1 次固有振動数 [Hz]



・ S_{eff} (有効放射面積) [m²]

スラブ周辺から対象周波数の曲げ波長の 1/4 の部分を除いた範囲 (スラブスパンが曲げ波長よりも小さい場合、スパン長を曲げ波長と置き換えて面積を算定する)。

・ k (音響放射係数) [-]

$$f \leq fc \Rightarrow k = \frac{1 \cdot \lambda c}{\pi^2 S_{eff}} \cdot \sqrt{f / fc}$$

$$f = fc \Rightarrow k = 0.45 \sqrt{1 / \lambda c}$$

$$f \geq fc \Rightarrow k = 1.0$$

$$fc = \frac{c^2}{2\pi h} \sqrt{\frac{12\rho}{E}}, \quad \lambda c = \left(\pi \sqrt{\frac{E}{\rho}} \frac{h}{\sqrt{3} \times fc} \right)^{1/2}$$

fc : コインシデンス限界周波数 [Hz] ,

λc : fc での曲げ波長 [m] ,

l : 有効放射面積の周長 [m] ,

c : 音速 [341m/s]

・ A (受音室の吸音力) [m²]

$$A = \bar{\alpha} \cdot S$$

$\bar{\alpha}$: 受音室の平均吸音率 [-] ,

S : 受音室の表面積 [m²]

・ ΔC (騒音計の動特性補正值) [dB]

	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz
ΔC	9.8	8.3	6.5	5.6

この計算式より算出したオクターブバンド中心周波数毎の重量床衝撃音レベル ($L_{H,L}$) から L 数、L 値を決定する。

4. 重量床衝撃音レベルの計算値と実測値の比較

図-2 は、計算値と実測値との相関を L 数について示したものである。図-3 は、図-2 を「普通 RC スラブで面積が 30 m²未満」「普通 RC スラブで面積が 30 m²以上」「ボイドスラブ系」「アンボンドスラブ」の 4 種のスラブ構造種別に分類して表したものである。全般的に、計算値の方が実測値よりも L 数が 10 dB 程大きく、L 値でいうと計算では 1 ランクから 2 ランク性能が低い結果を示している。しかし、「RC スラブで面積が 30 m²未満」(データ数: 35 例)に限定すると、L 数の差は他のスラブ構造に比べて比較的小さい(図-3 参照)。

図-4 は図-2 を中心周波数域別 (63, 125, 250, 500 Hz) に分類して表したものである。したがって、L 数の相関ではなく平均重量床衝撃音レベルそのものの相関となる。図-5 は、図-3 と同様、図-4 を 4 種のスラブ構造種別に分類して表したものである。平均重量床衝撃音レベルの計算値と実測値との差は、スラブ構造に関係なく 63 Hz 周波数域において最も大きく (5 dB 以上)、この大きな差が L 数に影響していると考えられる。その他の中心周波数域においても若干の差は見られるが、125~250 Hz 周波数域で約 3~4 dB、500 Hz 周波数域でほぼ 0 dB と、63 Hz 周波数域での差と比較すると極めて小さい。また、63 Hz 周波数域における「ボイドスラブ系」の平均重量床衝撃音レベルの差が大きいこと (15 dB 以上)、125 Hz~500 Hz 周波数域の「RC スラブで面積が 30 m²未満」における平均重量床衝撃音レベルの差が小さいことが特徴といえよう。

スラブ面積別に検討すると、「RC スラブで面積が 30 m²未満」では L 数の差は ±5 dB 内にあるが、面積 30 m²以上の RC スラブ (ボイドスラブ、アンボンドスラブを含む) では +5 dB~+10 dB とその差は非常に大きい(図-6 参照)。中心周波数域別で表した場合、面積 30 m²以上の RC スラブで平均重量床衝撃音レベルの差が大きいという傾向は 63 Hz 周波数域で特に顕著であり、高周波数域になるにしたがってその差は小さくなっていく傾向にある(図-7 参照)。

スラブ厚さと L 数の差との関係、中心周波数域別のスラブ厚さと平均重量床衝撃音レベルの差との関係も上記のスラブ面積別検討の場合とほぼ同様の傾向が見られる(図-8、9 参照)。

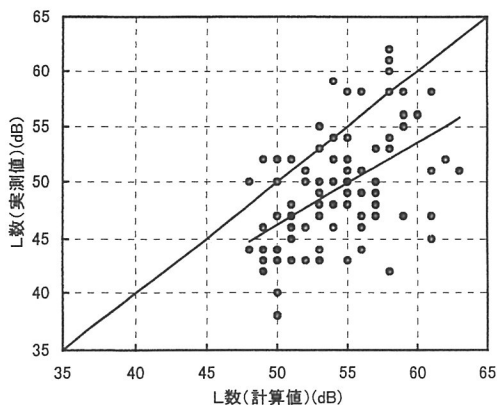


図-2 計算値と実測値のL数の比較

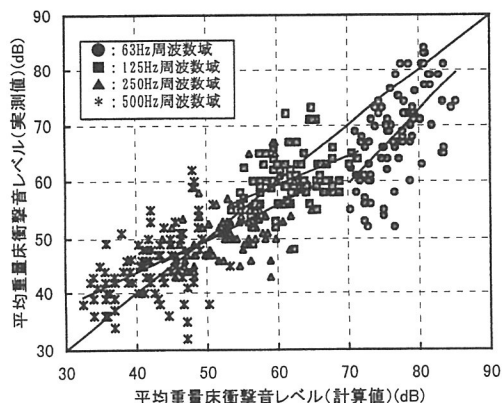


図-4 計算値と実測値の中心周波数域別平均重量床衝撃音レベルの比較

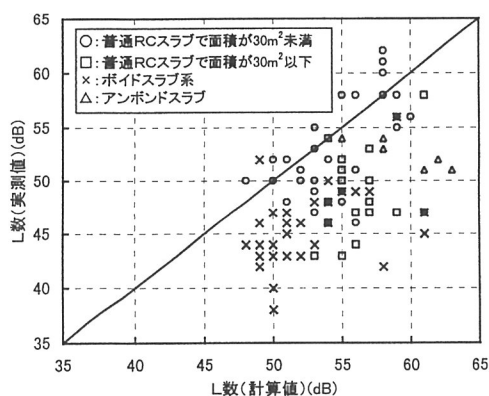


図-3 計算値と実測値のL数の比較
(スラブ構造種別)

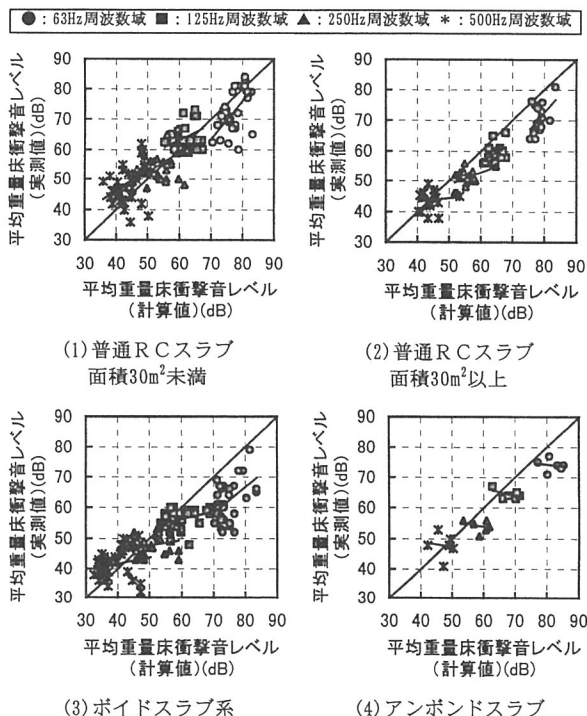
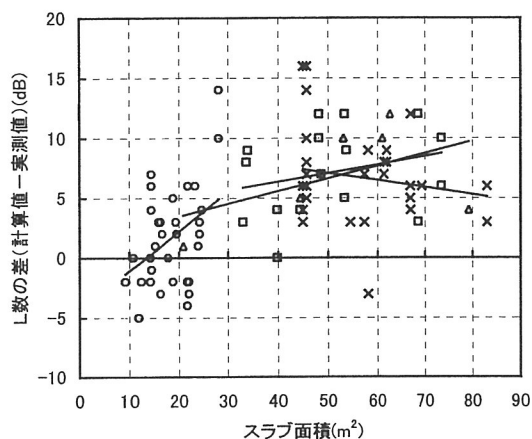


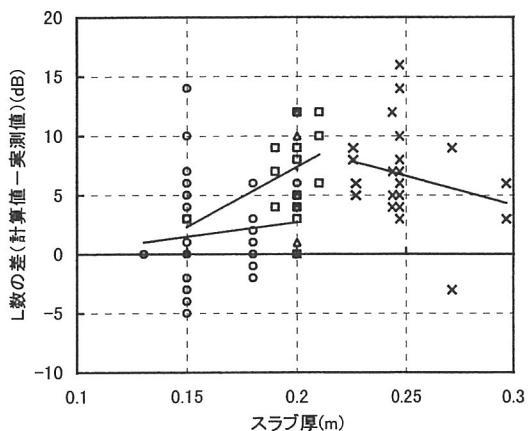
図-5 計算値と実測値の中心周波数域別平均重量床衝撃音レベルの比較 (スラブ構造種別)

○：普通RCスラブで面積が30㎡未満 □：普通RCスラブで面積が30㎡以下
 ×：ボイドスラブ系 △：アンボンドスラブ



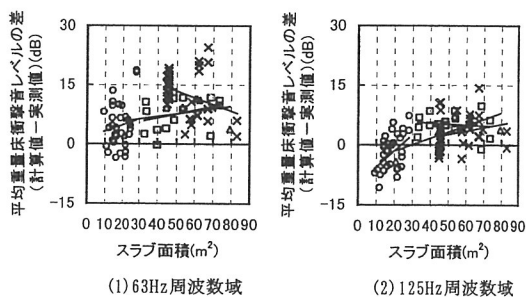
図－6 スラブ面積とL数の差（計算－実測）の比較

○：普通RCスラブで面積が30㎡未満 □：普通RCスラブで面積が30㎡以下
 ×：ボイドスラブ系 △：アンボンドスラブ



図－8 スラブ厚さとL数の差（計算－実測）の比較

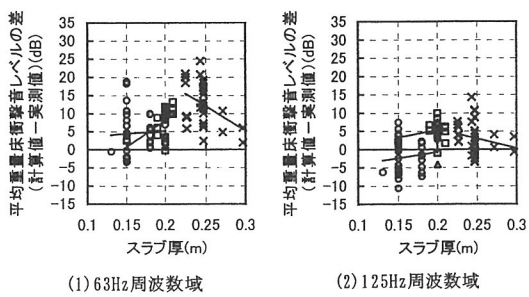
○：普通RCスラブで面積が30㎡未満 □：普通RCスラブで面積が30㎡以下
 ×：ボイドスラブ系 △：アンボンドスラブ



(1) 63Hz周波数域

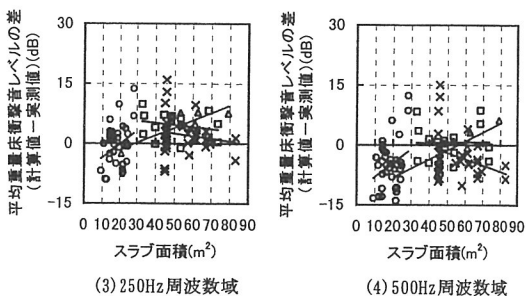
(2) 125Hz周波数域

○：普通RCスラブで面積が30㎡未満 □：普通RCスラブで面積が30㎡以下
 ×：ボイドスラブ系 △：アンボンドスラブ



(1) 63Hz周波数域

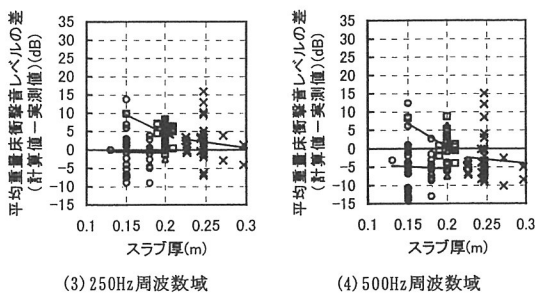
(2) 125Hz周波数域



(3) 250Hz周波数域

(4) 500Hz周波数域

図－7 スラブ面積と中心周波数域別平均重量床衝撃音レベルの差（計算－実測）の比較



(3) 250Hz周波数域

(4) 500Hz周波数域

図－9 スラブ厚さと中心周波数域別平均重量床衝撃音レベルの差（計算－実測）の比較

表－４は、実測値より得られたＬ数とインピーダンス法による計算値から得られたＬ数、およびそれらの差と各々Ｌ数を決定した中心周波数域を示したものである。Ｌ数を決定する中心周波数域は計算結果の場合、ほとんど63Hzだが（93例中92例）、実測結果の場合はそうとは限らない（63HzでＬ数が決められたのは93例中27例である）。このこととこれまでの検討結果から、Ｌ数の差は63Hz周波数域での平均重量床衝撃音レベルの計算値と実測値との差が大きく影響しているのではないかと考える。したがって、125～500Hz周波数域での計算値からＬ数を決定すればこの差は小さくなるものと推測される。従来の63～500Hz周波数域の計算値からＬ数を決定した場合と比較して、差の絶対値が大きくなったケース（同等も含む）を抽出すると、次のとおりとなった。

- ・スラブ面積 ～10㎡：2例中2例（100％）
- ・スラブ面積 10㎡～20㎡：20例中11例（55％）
- ・スラブ面積 20㎡～25㎡：13例中8例（62％）
 [～25㎡では60％]
- ・スラブ面積 25㎡～：58例中6例（10％）

この結果から、スラブ面積が小さいもの（25㎡未満）については、従来の手法（63～500Hz周波数域の重量床衝撃音レベルの計算値からＬ数を決定）を、スラブ面積が25㎡以上の大型スラブについては125～500Hz周波数域の重量床衝撃音レベルの計算値からＬ数を決定する方法を提案したい。

上記で提案した方法で定めたＬ数と実測値のＬ数とを比較したものを図－10に示す。本提案が従来の方法よりも実用的であることは、図－10と図－２とを比較してみれば明らかである。

表－４ 実測値と計算値（インピーダンス法）との比較

番号	実測値 [b]		計算値 [a]		差(dB) a－b	番号	実測値 [b]		計算値 [a]		差(dB) a－b	番号	実測値 [b]		計算値 [a]		差(dB) a－b
	Ｌ数 (dB)	周波数 (Hz)	Ｌ数 (dB)	周波数 (Hz)			Ｌ数 (dB)	周波数 (Hz)	Ｌ数 (dB)	周波数 (Hz)			Ｌ数 (dB)	周波数 (Hz)	Ｌ数 (dB)	周波数 (Hz)	
1	44	125,250	49	63	5	32	58	63,125	58	63	0	63	55	500	53	63	－2
2	43	125	50	63	7	33	59	125,250	54	63	－5	64	46	500	54	63	8
3	43	125	50	63	6	34	51	63	61	63	10	65	48	63	57	63	9
4	43	125	51	63	8	35	53	500	58	63	5	66	54	63	58	63	4
5	47	125	51	63	4	36	51	63,125	63	63	12	67	43	125	52	63	9
6	46	125	49	63	3	37	54	125	55	63	1	68	52	500	49	63	－3
7	43	125	49	63	6	38	52	125	62	63	10	69	46	63	49	63	3
8	42	125	58	63	16	39	60	250	58	63	－2	70	45	63	51	63	6
9	44	125	48	63	4	40	60	63	58	63	－2	71	56	63	59	63	3
10	45	125	51	63	6	41	61	250	58	63	－3	72	49	63	56	63	7
11	46	125	51	63	5	42	62	500	58	63	－4	73	47	125	50	63	3
12	45	125	51	63	6	43	62	500	58	63	－4	74	42	125	49	63	7
13	47	125	61	63	14	44	50	125,500	48	63	－2	75	49	63	57	63	8
14	45	125	61	63	16	45	48	250	51	63	3	76	48	125	54	63	6
15	44	250	50	63	6	46	52	125	51	63	－1	77	47	125	57	63	10
16	40	125	50	63	10	47	50	63	52	63	2	78	52	63,125	55	63	3
17	44	500	50	63	6	48	47	500	56	63	9	79	47	63	59	63	12
18	49	125,250	55	63	6	49	50	63	57	63	7	80	58	63	55	63	－3
19	48	125	55	63	7	50	51	63	55	63	4	81	58	63	61	63	3
20	47	125	53	63	6	51	46	125	52	63	6	82	51	63	52	63	1
21	49	125	53	63	4	52	49	63	55	63	6	83	50	125	50	63	0
22	47	125	61	63	14	53	48	250	54	63	6	84	48	125	54	63	6
23	46	125	56	63	10	54	48	500	53	63	5	85	52	500	54	63	2
24	43	125	53	63	10	55	56	63,500	60	63	4	86	47	500	53	63	6
25	43	125	55	63	8	56	55	250	59	63	4	87	44	63	56	63	12
26	44	500	53	63	9	57	56	63	59	63	3	88	50	250	55	63	5
27	44	500	53	63	9	58	54	63	54	63	0	89	50	125,250	52	63	2
28	46	250,500	54	63	8	59	53	63	57	63	4	90	50	125	53	63	3
29	50	500	54	63	4	60	51	500	56	63	5	91	52	125	50	63	－2
30	38	250	50	63	12	61	53	125,500	53	63	0	92	48	63	51	63	3
31	58	125	59	63	1	62	58	63	56	63	－2	93	47	125	43	125	－4

* 表中の周波数とはＬ数を決定した周波数域のことである。

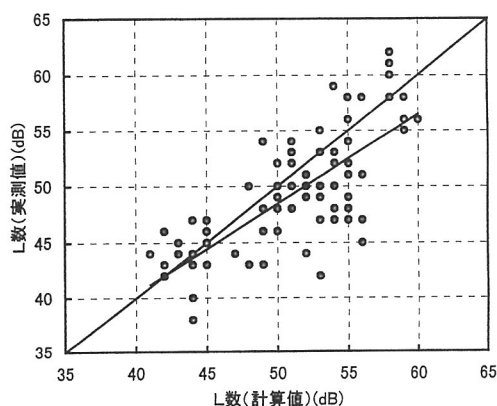


図-10 提案手法による計算値と実測値のL数の比較

5. まとめ

インピーダンス法の適用の是非を検討するために、実際の建物で93例におよぶ重量床衝撃音レベルの測定を行い、その実測値とインピーダンス法によって求めた計算値とを比較検討した結果、実用面において下記の見解が有効であることを確認した。

- ①既知の見解の通り、重量床衝撃音レベルは大型スラブであっても床仕上げの影響を受けることはない。
- ②床衝撃音レベル ($L_{H,f}$) の算出を行う場合、その計算式としてこれまで用いられているインピーダンス法を基本的に採用する。

ただし、スラブ面積が25㎡未満のものについては、63～500Hz周波数域の重量床衝撃音レベルの計算結果からL数を決定し、スラブ面積が25㎡以上のものについては、125～500Hz周波数域の重量床衝撃音レベルの計算結果からL数を決定する。

6. あとがき

最近、インピーダンス法の改良計算方法が報告されているが³⁾、筆者がこの方法を用いて計算した結果、その値は改良前のインピーダンス法を用いて計算した値よりも大きくなった。したがって本報では、実測値と計算値との差がさらに増大するこの改良インピーダンス法によらず、従来から使用されているインピーダンス法によって比較検証したことをここに付記する。

ただし、アンボンドスラブについては、改良インピーダンス法を用いた方が計算値が実測値に近くなるので、アンボンドスラブに限ってはこの改良インピーダンス法を用いた方が良いのではないかと考えている。

最後に、重量床衝撃音を測定するにあたり、協力していただいた東京、大阪、名古屋の各作業所の関係各位に深く感謝いたします。

[参考文献]

- 1) 木村、井上：「建物の遮音設計資料」日本建築学会編、技報堂
- 2) 代表的なものを以下にいくつか列記する
 田野、古賀：「各種大型スラブにおける床衝撃音予測法」、鹿島技術研究所年報、第45号、1996、pp.245～pp.250
 田野、古賀：「各種大型スラブにおける床衝撃音予測法（その2）」、鹿島技術研究所年報、第46号、1997、pp.195～pp.200
 高松、下川：「集合住宅における床衝撃音遮断性能の実体調査」、日産建設技術研究開発報告集、vol.2、1997、pp.7～pp.12
 大脇、宮崎：「集合住宅における重量床衝撃音レベルの予測」、熊谷組技術研究報告、第56号、1996、pp.37～pp.43
 布引、水取：「重量床衝撃音遮断性能の測定」、銭高組技報、No.22、1996、pp.23～pp.27
- 3) 井上：「界床の重量床衝撃音レベルの計算法」、音響技術、No.101、1998、pp.23～pp.29