大型スラブの周辺拘束によるインピーダンスレベル上昇量の周波数依存性

—インピーダンス法による大型スラブの重量床衝撃音レベル予測手法に関する研究—

DEPENDENCE ON FREQUENCY OF IMPEDANCE RISEN BY SLAB EDGE
IN LARGE-SPAN SLABS

—Study for prediction of heavy weight floor impact sound in large-span slabs by impedance method—

石丸 岳史^{*1}, 大脇 雅直^{*2}, 高倉 史洋^{*1}, 財満 健史^{*3}相川 聡^{*4}, 久米 智史^{*4}, 山下 恭弘^{*5}Takeshi ISHIMARU, Masanao OWAKI, Fumihito TAKAKURA, Takefumi ZAIMA,
Satoshi AIKAWA, Satoshi KUME and Yasuhiro YAMASHITA

In this paper, we study the evaluation of the restrictions of the slab edge at the excitation point. It was shown that restrictions of the slab edge depend on the frequency by the reflected wave. As a result, Driving point impedance analyzed within impact time was regarded as the value measured by a single frequency. It was confirmed that the change of driving point impedance analyzed in impact time corresponds to that of the average vibration velocity of slab. Therefore, the heavy weight floor impact sound level is predicted by using the change in impedance depending on frequency. The prediction value corresponds to measured value at 125, 250 Hz (1/1 Oct.).

Keywords: Impedance, Heavy weight floor impact sound, Restraining by plate ends, Reflected wave

インピーダンス, 重量床衝撃音, 端部拘束, 反射波

1. はじめに

従来, スラブの遮音設計にはL値による評価が用いられてきたが, 優良住宅の確保を目的とした「住宅の品質確保の促進等に関する法律」が施行(2000年4月)されたことによって, より聴感と対応がよい予測及び評価が設計においても望まれている。2000年のJIS改定において等級曲線による評価(L値)に加えて, A特性床衝撃音レベルによる測定及び評価方法が追加されていることから, その必要性の高さが伺える。園田, 橋ら¹⁾の行った主観評価実験や筆者ら²⁾の主観評価実験において, L数はA特性床衝撃音レベルよりも主観評価(うるささ)に対するばらつきが大きいことを確認している。より聴感と対応した評価を行うためには, オクターブバンドごとの予測結果をA特性床衝撃音レベルに換算する方法が考えられる。この換算方法では, 各オクターブバンドごとの予測精度がA特性床衝撃音レベルの予測精度につながるため, L値決定周波数以外の帯域についても予測精度を高める必要がある。

インピーダンス法を用いた実務的な重量床衝撃音レベル予測手法(スラブ面積30 m²程度まで)は, 木村, 井上³⁾らにより提案された方法で, 簡便に計算することができるため広く普及している計算方法である。インピーダンス法を用いた重量床衝撃音レベルの予測計算では, スラブの駆動点インピーダンスを基本インピーダンスレベル, ス

ラブ周辺拘束によるインピーダンスレベル上昇量, 共振によるインピーダンスレベル低下量の3つで表す。筆者らは, スラブ面積50 m²を超える大型スラブへの適用を目的に, 「スラブ周辺拘束によるインピーダンスレベル上昇量」, 「共振によるインピーダンスレベル低下量」について検討を行った⁴⁾。スラブのインピーダンス特性の提案によりスラブのインピーダンス特性の予測精度を高め, その結果重量床衝撃音レベルの予測精度を高めることができる。各オクターブバンドごとのインピーダンス特性の予測精度を高め, より聴感と対応のよい予測を行うために, これまで全バンドで一律の値であった「スラブ周辺拘束によるインピーダンスレベル上昇量」(図1参照⁵⁾)の周波数依存性について検討する。

木村, 井上らは, 「スラブ周辺拘束によるインピーダンスレベル上昇量」に周波数依存性はないものとし, 面積積分エネルギーレベル及びスラブ中央点への伝達インピーダンスレベルによる検討^{6), 7)}を行っている。一方, 古賀ら⁸⁾は, インピーダンスレベル上昇量に対応するスラブ周辺拘束による補正項には, 周波数依存性があることを指摘し, 加振点ごとの重量床衝撃音レベルは周波数帯域が高くなるほど, 加振点ごとのばらつきが小さくなることを示し, スラブ面についてエネルギー平均した振動加速度レベルを用いて, 端部拘束による補正項を定量化している。この方法では, インピーダンスレベル上昇量に対

^{*1} 泰成電機工業 博士(工学)^{*2} 熊谷組技術研究所 博士(工学)^{*3} 熊谷組技術研究所 修士(工学)^{*4} 信州大学大学院 博士前期課程^{*5} 信州大学工学部社会開発工学科 教授・工博

Taisei Electronic Industries Co., Ltd., Dr. Eng.

Technical Research & Development Institute Kumagaigumi Co., Ltd., Dr. Eng.

Technical Research & Development Institute Kumagaigumi Co., Ltd., M. Eng.

Graduate Student, Graduate School, Faculty of Engineering, Shinshu Univ.

Prof., Dept. of Arch. and Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu Univ., Dr. Eng.

する補正項は、スラブ振動加速度レベル分布の実測結果から算出して
おり、端部拘束の評価に多大な時間と労力を必要とする。また、橋本
⁹⁾ も、端部の拘束の評価には、周波数を考慮する必要があることを指
摘している。

本稿では、インピーダンスレベル上昇予測式の算出のためにこれ
まで蓄積されてきた測定データを用いて、筆者らの提案する予測計算
式⁴⁾において未検討であったスラブ周辺拘束による周波数依存性を考
慮したインピーダンスレベル上昇量の予測式を提案する。まず、スラ
ブ周辺拘束が、駆動点インピーダンスレベル及びスラブ全体の面平均
振動速度レベルに及ぼす周波数依存性の影響を示す。そして、衝撃時
間内応答インピーダンスレベル測定値が周波数依存性を含んでいるこ
とを示すことで、衝撃周波数の曲げ波長で基準化されていた予測式
が、算出するオクターブバンドの中心周波数の曲げ波長で基準化さ
れるとすることの妥当性を示す。最後に、周波数依存性を考慮するこ
とによる聴感的な影響の大きい中音域 (125, 250Hz 帯域) の予測精度
の向上について述べる。インピーダンス法による予測計算方法が、す
でに実務的に用いられており、一項目の変更が予測精度に及ぼす影響
について検討することは実務的な適用に対して有用であると考え、重
量床衝撃音レベルの予測値と実測値の比較を行っている。

2. 実験及び予測計算概要

2.1 駆動点インピーダンス測定概要

4 棟の集合住宅において駆動点インピーダンス測定を行った。各集
合住宅のスラブ断面構造、スラブ厚、スラブ寸法などの条件を表1に
示す。表2に示す端部境界に対して直交する測定線を設定した。測定
及び解析系統を図2に示す。アンチエイリアイジングフィルタとして
2kHzのローパスフィルタを通し、サンプリング周波数 4096Hz でA/D変
換を行った。

衝撃時間内の振動速度応答を衝撃時間内で無条件に切り出すと、反
射波により衝撃時間内にマイナス側の応答が生じている状態 (図3)
で切り出すことになる。この場合、周期性の信号として解析される
FFT解析では、不連続部分が本来含まれない成分を生じ、誤差となる。
そこで、衝撃時間内にマイナス側の応答が生じるものについては、衝
撃時間を過ぎ、初期の1周期の応答が終了した時点で切り出すことと
した。また、衝撃時間内にプラス側の応答しか生じないものについて
は、半周期で切り出した。切り出した時刻以降の応答は、すべて0と

表1 測定対象諸元

	スラブ構造	総厚[mm]
集合住宅A	円形中空スラブ	300
集合住宅B1,B2	円形中空合成スラブ	230
集合住宅C	波形中空合成スラブ ¹⁰⁾	280

	スラブ面積[m ²]	スラブ寸法[mm]
集合住宅A	109.7	9600×11425
集合住宅B1,B2	77.6	6600×11750
集合住宅C	67.3	5900×11400

表2 測定対象の端部境界条件

	端部境界条件
集合住宅A	戸境壁、大梁
集合住宅B1	戸境壁、大梁
集合住宅B2	開口部、大梁
集合住宅C	戸境壁、大梁

図1 インピーダンス法による重量床衝撃音レベルの予測計算フロー⁵⁾

図2 駆動点インピーダンス測定系統

図3 衝撃時間内に生じるマイナス側の応答概念図

図4 スラブ振動速度レベル測定系統

し、データ個数4096個（1秒間）で、FFTを行った。FFT解析結果は、基準値を1kg/sとして、駆動点インピーダンスレベルを算出した。

2.2 重量衝撃源加振時のスラブ振動速度レベル測定概要

集合住宅C（表1参照）において、バングマシンでスラブを加振したときのスラブ振動速度を測定した。振動速度レベル（基準値： 5×10^{-8} m/s）は、1/3オクターブバンドの時定数125msの最大値を求めた。測定系統を図4に示す。測定現場において、データレコーダーで収録し、その後サンプリング周波数4096HzでA/D変換を行い、コンピュータ

に取り込んだ。1/3オクターブバンドの振動速度レベルの算出には、1/3オクターブバンドのデジタルフィルタと時定数125msの積分回路のデジタルフィルタを畳み込んだ。1/3オクターブバンドのデジタルフィルタはFIRフィルタで、カイザー窓関数を用いた窓関数法でフィルタ係数を求めている。阻止域における減衰量は、60dBとした。

図5 測定点位置（集合住宅C）

受振点は、メッシュ間隔650mmの格子点上とした。受振点数は、144点である。加振点位置は、図5に示すP1～P5までの5点である。

2.3 重量床衝撃音レベルの予測計算概要

本論文で提案するインピーダンスレベル上昇量に周波数依存性を考慮した計算方法とこれまでに筆者らが提案している方法⁴⁾で予測計算を行った。予測計算対象は、RCスラブ1棟（スラブ厚230mm）及びアンボンドスラブ2棟（スラブ厚190mm, 200mm）について行なった。すべてスラブ面積は50㎡以上の大型スラブである。スラブのインピーダンス低下量や居室の平均吸音率などインピーダンスレベル上昇量以外の項目は、どちらの計算方法においても文献⁴⁾に示す値を用いた。LD(6室)、洋室(4室)、和室(6室)の加振点ごとの重量床衝撃音レベルを予測した。重量床衝撃音レベルの実測は、竣工後の状態で行なった。LDの床仕上げ構造は、直貼りフローリングのみで、洋室は直貼りフローリング（2室）及びカーペット仕上げ（2室）である。また、予測計算では、床仕上げ構造による低減効果はないものとした。

3. 結果及び考察

3.1 スラブ周辺拘束を受ける測定点の衝撃時間内応答インピーダンスレベルの周波数依存性

ここでは、スラブ周辺拘束の影響を受ける梁近傍を加振したときの駆動点の振動速度応答に、スラブ端部からの反射波が衝撃時間内に到達することで周波数依存性が生じることを示す。

図6に振動速度応答を初期1周期で切り出して求めた駆動点インピーダンスレベル（図6凡例「1周期」）と全時間応答インピーダンス

集合住宅A

集合住宅B1

集合住宅B2

集合住宅D

図6 初期応答1周期で切り出しによる駆動点インピーダンスレベルと全時間応答インピーダンスレベルの比較
（測定位置： $x/\lambda_0=0.1$ 、衝撃周波数の曲げ波波長で基準化）

図7 衝撃周波数における衝撃時間内応答と1周期切り出しによる駆動点インピーダンスレベルの関係（データ数：57）

レベル（図6凡例「全時間」）の解析結果（集合住宅A, B1, B2, C）を示す。測定点は、スラブ端部からの距離と曲げ波波長の比 $x/\lambda_b=0.1$ の点である。振動速度応答を初期1周期で切り出した結果は、全時間応答インピーダンスレベルが、周波数に対して右肩下がりの特性に対応している。振動速度応答を1周期で切り出した場合、衝撃力によって与えられた直接波と衝撃時間内に到達する反射波を含んでいることから、全時間応答インピーダンスにおける右肩下がりの特性は、衝撃時間内に到達する反射波の影響と考えられる。右肩下がりの特性は、高い周波数ほど反射波の影響によりインピーダンスレベルの上昇が早く無くなることを示すものである。このように、駆動点毎にスラブ周辺拘束によるインピーダンスレベル上昇量は、周波数によって異なり周波数依存性を持つことが確かめられる。

また、衝撃周波数においては衝撃時間内応答インピーダンスレベルよりも初期1周期で切り出した結果が下回る結果となっている。1周期で切り出した場合には解析対象時間が衝撃時間よりも長いので振動速度成分のエネルギーが大きくなるが、インピーダンス算出における衝撃力成分は、どちらの解析結果においても同じ値であるため、インピーダンスレベルが低下したと考えられる。

集合住宅A, B1, B2, Cの衝撃時間内応答インピーダンスレベルと1周期で切り出した駆動点インピーダンスレベルの衝撃周波数における値の関係を図7に示す。1周期で切り出した場合、マイナス側の応答が生じているために振動速度成分のエネルギーが大きくなる関係上衝撃時間内応答インピーダンスレベルが1:1の直線よりも大きい値となる。しかし回帰直線の傾きは、0.97でほぼ1、Y軸切片についても1未満の値であり、両者はほぼ1:1の関係を示す。以上の結果から両者は、スラブ周辺拘束によるインピーダンスレベル上昇について同じ結果を表していると考えられる。このことから、スラブ周辺拘束の影響を受ける測定点の衝撃時間内応答インピーダンスレベルは、従来のように周波数に依存しないとするのではなく、特定の単一周波数（衝撃周波数）における駆動点インピーダンスレベルと考えられる。

3.2 加振点位置による面平均振動速度レベルの周波数依存性

前節（3.1）において、衝撃時間内応答インピーダンスレベルは特定の単一周波数における駆動点インピーダンスレベルと考えられることを示した。本節では、加振点の特性を含むスラブ全体の平均的な応答（面平均振動速度レベル）が加振点の特性変化に対応し、周波数依存性を持つことを示す。そして、衝撃時間内応答インピーダンスレベ

図8 相対面平均振動速度レベルの加振位置による変化（スラブ端部からの距離を衝撃周波数で基準化）

図9 相対面平均振動速度レベルと衝撃時間内応答インピーダンスレベルの加振位置による変化（スラブ端部からの距離を中心周波数で基準化）

ルの測定結果から求めた加振点位置に対する補正量算出において、これまで「衝撃周波数で基準化」されてきたものが、「予測する周波数で基準化」されているとすることの妥当性について検討する。

スラブ振動速度レベルを測定した全点についてエネルギー平均した相対面平均振動速度レベルを求めた。相対レベルの基準値は、スラブ中央点とした。インピーダンスレベル上昇量に対応させるため図8、9の面平均振動速度レベルは、正負逆転して表している。横軸をスラブ端部から加振点までの距離と衝撃周波数の曲げ波波長で整理した結果を図8に示す。加振点位置の移動で、周波数依存性がないとすれば、衝撃周波数で基準化された結果（図8）は、同じ加振点位置であれば同じ値になるはずであるが、最もスラブ端部に近い加振点（図5のP1点）では、周波数によって18dBの変動幅、その次の加振点（図5のP2点）では、9dBの変動幅が生じている。

前節（3.1）において、駆動点インピーダンスに対して周波数依存性が示されたことから、加振に対する出力である全体の応答についても周波数依存性を有することが考えられるため各帯域の中心周波数の曲げ波波長で整理する。スラブ端部から加振点までの距離と1/3オクターブバンドの中心周波数の曲げ波波長で整理した結果を図9に示す。基準化する曲げ波波長を中心周波数に変更したことにより、スラブ端部で15dB程度の上昇量が、スラブ端部から離れるに従い、 $x/\lambda_b=0.3$ の付近で0dBに収束していく単一の特性を示し、古賀ら⁸⁾や橋本⁹⁾の知見と同様の傾向であることが確かめられる。1/3オクターブバンドの曲げ波の中心周波数で基準化した場合、40Hz帯域までは短辺方向について両側の梁による上昇範囲が重ね合わさることになり、図9のようにスラブ中央点の値で基準化した場合、実際よりも早く0dB

図10 スラブ中央点における全時間応答インピーダンスレベル

図11 振動速度分布 63Hz 帯域

(1/3 Oct. Fast 最大値 加振源：バングマシン P3 加振)

に収束することが考えられる。そのため、図9においては、 $x/\lambda_b = 0.1 \sim 0.2$ の間で0dBに収束している結果も含まれ、測定結果のばらつきの要因のひとつになっていると考えられる。また図9において、単一の特性から外れている25～63Hz帯域、100Hz帯域(図9凡例：●)は、図10のスラブ中央点における全時間応答インピーダンスレベルの測定結果から読み取れるスラブの固有周波数が含まれる帯域になっている。また、高次の固有周波数が含まれる63Hz帯域の振動速度レベル分布(図11参照)では、スラブ全面積に対して、直接波が卓越する範囲よりも、固有モードが卓越する範囲が広いと考えられるため、面平均において固有モードの影響が卓越し、単一の特性から外れたものと考えられる。

図9において相対面平均振動速度レベル(加振源：バングマシン)とインパルスハンマー(衝撃周波数242Hz)を加振源に用いて測定した相対衝撃時間内応答インピーダンスレベル(基準値：スラブ中央点の値)を比較すると単一の特性を示す相対面平均振動速度レベルとよく対応しており、衝撃時間内応答インピーダンスレベルは単一の加振周波数を有する衝撃源による測定結果と解釈できると考える。なお、図9では相対面平均振動速度レベルに対する横軸の値はオクターブバンドの中心周波数の曲げ波長で、相対衝撃時間内応答インピーダンスレベルは衝撃周波数の曲げ波長でスラブ端部からの距離を基準化している。

以上の結果から、衝撃時間内応答インピーダンスレベルの測定結果を重量床衝撃音レベル予測計算における加振点位置変化の補正量算出に用いる場合、求めるオクターブバンドの中心周波数の曲げ波長でスラブ端部からの距離が基準化されているとして計算できることを示した。

梁下にRC壁あり(周波数依存性なし)⁴⁾

$$\Delta L_z = 17.50 \cdot 106.76 \frac{x}{\lambda_b} + 194.16 \left(\frac{x}{\lambda_b} \right)^2 - 107.00 \left(\frac{x}{\lambda_b} \right)^3 \cdots (1)$$

梁下にRC壁なし(周波数依存性なし)⁴⁾

$$\Delta L_z = 8.53 \cdot 91.78 \frac{x}{\lambda_b} + 326.04 \left(\frac{x}{\lambda_b} \right)^2 - 384.20 \left(\frac{x}{\lambda_b} \right)^3 \cdots (2)$$

梁下にRC壁あり(周波数依存性あり)

$$\Delta L_z = 17.50 \cdot 106.76 \frac{x}{\lambda_b(f)} + 194.16 \left(\frac{x}{\lambda_b(f)} \right)^2 - 107.00 \left(\frac{x}{\lambda_b(f)} \right)^3 \cdots (3)$$

梁下にRC壁なし(周波数依存性あり)

$$\Delta L_z = 8.53 \cdot 91.78 \frac{x}{\lambda_b(f)} + 326.04 \left(\frac{x}{\lambda_b(f)} \right)^2 - 384.20 \left(\frac{x}{\lambda_b(f)} \right)^3 \cdots (4)$$

ΔL_z : インピーダンスレベル上昇量[dB]
 x : スラブ端部からの距離[m]
 λ_b : 衝撃周波数の曲げ波長[m]
 $\lambda_b(f)$: 計算周波数帯域中心周波数の曲げ波長[m]

図12 実測値と予測値の関係

(スラブ周辺拘束の影響に周波数依存性を考慮しない予測、データ数：80)

図13 実測値と予測値の関係

(スラブ周辺拘束の影響に周波数依存性を考慮した予測、データ数：80)

図14 実測値と予測値の差の確率密度分布 (63 ~ 250Hz 帯域[1/1 Oct.])

3.3 加振点ごとの重量床衝撃音レベル予測計算結果

本節では筆者らが提案している予測計算式⁴⁾について加振点別のインピーダンスレベル上昇量予測式を改良したことによる重量床衝撃音レベル予測結果への影響について検討する。

式(1), (2)は、衝撃周波数の曲げ波長でスラブ端部からの距離が基準化⁴⁾され、周波数依存性なしとしたものである。式(3), (4)は、前節までの検討結果から、算出するオクターブバンドの中心周波数の曲げ波長でスラブ端部からの距離を基準化した本論文で提案する予測式である。なお、式(3), (4)の係数は既報⁴⁾における帰式(式(1), (2))の係数と同じ値である。

図12に式(1), (2) (周波数依存性なし)⁴⁾を用いて加振点ごとの重量床衝撃音レベルを予測した結果を示す。図13に式(3), (4) (周波数依存性あり)を用いて予測した結果を示す。周波数依存性を考慮しない従来の計算方法では、実測値と5dB以上の乖離が125, 250Hz帯域において見られたが、周波数依存性を考慮することにより、これらの帯域では、著しい乖離がなくなっている。実測値との差が±5dBの割合は、125Hz帯域で64%から75%に、250Hz帯域で49%から66%になり中音域における予測精度が向上していることが確かめられる。125, 250Hz帯域では、固有周波数によるインピーダンスレベルの低下が少なく、加振点位置によるインピーダンスレベル低下量に変化を生じないため、インピーダンスレベル上昇量の予測精度を高めることで、重量床衝撃音レベルの予測精度が改善されたと考えられる。しかし、63Hz帯域においては、74%から46%に低下している。加振点位置による変化量に周波数依存性を考慮しない従来の方法では、計算対象である63Hzの曲げ波長よりも長い衝撃周波数(25Hz)で予測計算を行っていたため、実際よりもインピーダンスレベル上昇量が大きく算出され、加振位置によるインピーダンスレベル低下量の変化分を補正していたと推察される。図9にみられるように固有周波数が卓越する帯域は、拡散振動場となる帯域が示す対面平均振動速度レベル上昇量の単一の特性よりも大きい値を示している。これは、スラブ端部の加振点においては、スラブ中央点よりも共振によるインピーダンスレベル低下量が少なくなったためと考えられる。この点については、加振点位置によるインピーダンスレベル低下量の変化であり、今後の検討項目とする。

図14に実測値と予測値の差の確率密度分布を示す。分布の幅も鋭くなり、周波数依存性を考慮することによってばらつきの少ない安定した予測となっていることが確かめられる。しかし、中央値がマイナスの値となり、スラブ周辺拘束の周波数依存性を考慮しない場合よりも予測値が実測値より大きく安全側の予測となった。

4. まとめ

スラブ周辺拘束によるインピーダンスレベル上昇量予測式における周波数依存性の有無について検討し得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 駆動点インピーダンス及び面平均振動速度レベルに対するスラブ周辺拘束による周波数依存性を確認した。
- 2) バングマシンを加振源とした面平均振動速度レベルの加振点変化をスラブ端部からの距離とオクターブバンドの中心周波数の曲げ波長で基準化した場合において、インパルスハンマーの衝撃周波数が含まれる帯域と衝撃時間内応答インピーダンスレベル(加振源:インパルスハンマー)を衝撃周波数で基準化した結果はよく対応し、衝撃時間内応答インピーダンスレベルを単一の正弦半波による解析結果と解釈することで、スラブ周辺拘束に周波数依存性を考慮する場合においても、基準化している周波数の読み替えを行うことで適用できることを示した。
- 3) 聴感的に影響の大きい125, 250Hz帯域の予測において、インピーダンスレベル上昇量に周波数依存性を考慮することにより、ばらつきの少ない安定した予測になることを示した。

これまで数多く蓄積してきた衝撃時間内応答インピーダンスレベルのデータを用いて周波数依存性を考慮した加振点位置による変化量を予測できることを示した。今後は、63Hz帯域における予測精度の低下原因として推察された加振点位置によるインピーダンスレベル低下量の変化の適切な補正方法について検討を進める予定である。

謝辞

学会等において種々御議論頂いた東京理科大学 安岡正人教授、日本大学 井上勝夫教授、鹿島技術研究所 安藤啓氏、独立行政法人建築研究所 福島寛和氏をはじめとする関係諸氏に心より感謝致します。

参考文献

- 1) 園田有見, 橋秀樹: シミュレーション実験による重量床衝撃音の評価方法の検討, 騒音制御, Vol. 14, No. 4, pp. 42-45, 1990
- 2) 大脇雅直, 山下恭弘, 長瀬知之: 床衝撃音の「うるささ」とA特性音圧レベルとの対応に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 537, pp. 7-12, 2000. 11
- 3) 木村翔, 井上勝夫, 中澤真司: インピーダンス法による床衝撃音レベル予測手法検証のための実験的研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 407, pp. 1-9, 1990. 1
- 4) 大脇雅直, 高倉史洋, 財満健史, 宮崎浩司, 山下恭弘: 大型スラブにおけるインピーダンス法による重量床衝撃音レベル予測手法に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 511, pp. 23-29, 1998. 9

- 5) 日本建築学会編：建物の遮音設計資料，技報堂出版，pp. 120-140，1988. 8
- 6) 中澤真司，井上勝夫，富澤秀夫：インピーダンス法による床スラブ振動特性予測手法に関する実験的検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 149-150，1997. 9
- 7) 山内崇，木村翔，井上勝夫，中澤真司，中森俊介：大型スラブを対象とした床衝撃時の振動応答特性に関する実験的検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 175-176，1999. 9
- 8) 古賀貴士，田野正典：大型スラブにおける実務的重量床衝撃音予測手法，日本建築学会計画系論文集，No. 520，pp. 25-32，1999. 6
- 9) 橋本典久：板の振動応答における端部拘束の評価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，日本建築学会計画系論文集，No. 533，9-15，2000. 7
- 10) 財満健史，大脇雅直，高倉史洋，石丸岳史，山下恭弘：波形中空床板の床衝撃音遮断性能について，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 65-66，2003. 9

(2004年5月10日原稿受理，2004年12月2日採用決定)