

S 造建物の重量床衝撃音レベル予測計算法に関する研究 -駆動点インピーダンスに関する検討-

黒木 拓 * 大脇雅直 **

S 造建物の重量床衝撃音レベルおよび梁による拘束の影響について検討し、重量床衝撃音レベル予測計算法に関する検討を行った。

大梁のスラブ端部のインピーダンスレベル上昇量は 2~8dB 程度、小梁は 1~4dB 程度であった。全時間応答インピーダンスレベルは全ての測定室で共振による大きな低下は見られなかった。インピーダンス法による重量床衝撃音レベル予測計算法を用いて、インピーダンス特性を実測値に基づいた値に変更することで、重量床衝撃音遮断性能の実測値と予測値は良く対応していた。

キーワード：S 造、重量床衝撃音、インピーダンス、予測計算法

1. はじめに

建物設計時に室内の音環境について検討する機会が増えてきている。RC 造の共同住宅などでは、床衝撃音遮断性能、空気音遮断性能、外部から入射する音に対する室内静謐性能に関する検討を行う場合が多い。一方、S 造の建物では、空気音遮断性能や室内静謐性能に関する検討を行う場合は多いが、床衝撃音遮断性能について検討する場合は非常に少ない。しかし、近年、S 造のホテルにおける音環境に関する要求性能の向上や S 造の共同住宅の増加に伴い、重量床衝撃音遮断性能の予測計算法が設計時に求められる機会が増えてきている。

重量床衝撃音遮断性能の予測計算法に関する研究は、RC 造建物に関するものが多く、S 造建物に関するものは非常に少ない。RC 造建物の重量床衝撃音遮断性能の予測計算法としては、インピーダンス法が実務上広く用いられている方法である^{1)・2)}。しかし、RC 造と S 造では構造上の条件が異なるため、RC 造を対象としたこれらの予測計算法では S 造は適用範囲外である。

S 造建物の重量床衝撃音遮断性能の予測計算法について、石丸らは S 造デッキプレートスラブのインピーダンス特性に関する検討を行っている³⁾。田中らは、S 造建物を対象とした重量床衝撃音遮断性能予測のための有限要素モデルについて検討している⁴⁾。曾田らは、S 造デッキプレートスラブの床振動に関して実測調査と連成型有限要素法による固有値解析を行った結果について報告している⁵⁾。筆者らは、S 造建物の重量床衝撃音遮断性能および駆動点インピーダンスに関する実験的検討を行った結果について報告した^{6)・7)}。

そこで、S 造建物の重量床衝撃音レベル予測計算法の検討を行うため、実現場において重量床衝撃音レベルおよ

びインピーダンスレベルの測定を行った。本報では、S 造建物の重量床衝撃音レベルおよび梁による拘束の影響について検討し、重量床衝撃音レベル予測計算法に関する検討結果について報告する。なお、本報は参考文献 6)、7) を加筆したものである。

2. 実験概要

S 造のホテル 3 棟において、インピーダンスレベルおよび重量床衝撃音レベルの測定を行った。

2.1 測定建物の概要

測定建物の平面および測定位置を Fig. 1、測定建物の梁リストを Table 1 に示す。建物 I のスラブは山型デッキスラブ 135mm (H=50mm, t=1.2mm) +増し打ち 45mm であり、デッキ上コンクリートは軽量コンクリート (I 種) である。室間の間仕切壁は乾式耐火遮音間仕切りである。SG1 側の外壁は軽量コンクリート PC 板 180mm+付加壁 130mm (せっこうボード 12.5mm, 発泡ウレタン 30mm)、SG2 側の外壁 (測定室③) は押出し成形セメント板 60mm+付加壁 110mm (せっこうボード 12.5mm, 発泡ウレタン 30mm) である。受音室の天井仕上げはせっこうボード 9.5mm, 天井高さ 2,400mm, 天井懐 380mm である。

建物 II のスラブは山型デッキスラブ 180mm (H=50mm, t=0.8mm, 1.0mm, 1.4mm) であり、デッキ上コンクリートは普通コンクリートである。室間の間仕切壁は乾式耐火遮音間仕切りである。外壁は押出し成形セメント板 60mm+付加壁 130mm (せっこうボード 12.5mm, 発泡ウレタン 25mm) である。受音室の天井仕上げはせっこうボード 9.5mm, 天井高さ 2,400mm, 天井懐 280mm である。

建物 III のスラブはフラットデッキスラブ 150mm (t=1.0mm, リブ長さ 75mm, リブ間隔 210mm) であり、デッキ上コンクリートは軽量コンクリート (I 種) である。室間の間仕切壁は乾式耐火遮音間仕切りである。外壁は

* 技術本部 技術研究所 環境工学研究室

** 技術本部

ALC100mm+付加壁 100mm (せっこうボード 12.5mm, 発泡ウレタン 25mm) である. 受音室の天井仕上げはせっこうボード 12.5mm, 天井高さ 2,650mm, 天井懐 145mm である.

2.2 インピーダンスレベル測定方法

駆動点インピーダンスレベルの測定では, 振動ピックアップの近傍をインパルスハンマー (衝撃周波数 208Hz) で加振した時の衝撃力と振動速度応答をデータレコーダーに収録した. 収録したデータを A/D 変換してコンピューターに取り込み, 計算による駆動点インピーダンスレベル (基準値: 1kg/s) を求めた.

梁によるスラブの拘束力を示すインピーダンスレベル上昇量の測定点は, Fig. 1 に示す梁と垂直なライン上 (図中の青矢印) とした. スラブの共振による影響を示す全時間応答インピーダンスレベルの測定点は, 測定室の含まれるスラブ (梁で囲われた範囲) の中央付近 (梁による拘束の影響がないと考えられる位置) とした.

Table 1 梁リスト

符号	主材	種類	建物
SG1	H-550x300x19x25	大梁	I
SG2	H-550x300x16x25	大梁	I
SG3	H-600x200x11x17	大梁	II
SG4	H-600x300x12x25	大梁	II
SG5	H-750x350x16x28	大梁	III-1
SG6	H-750x300x14x22	大梁	III-1
SG7	H-750x350x16x36	大梁	III-1
SG8	H-750x300x14x22	大梁	III-2
SG9	H-550x300x16x28	大梁	III-2
SG10	H-750x350x16x36	大梁	III-2
SG11	H-750x350x16x36	大梁	III-2
SCG1	H-600x200x11x17	大梁	II
SB1	H-500x300x12x22	小梁	I
SB2	H300x150x6.5x9	小梁	I
SB3	H-400x200x8x13	小梁	II
SB4	H-250x125x6x9	小梁	II
SB5	H-340x250x9x14	小梁	III-1
SB6	H-300x150x6.5x9	小梁	III-1
SB7	H-400x200x8x13	小梁	III-2
SB8	H-300x150x6.5x9	小梁	III-2

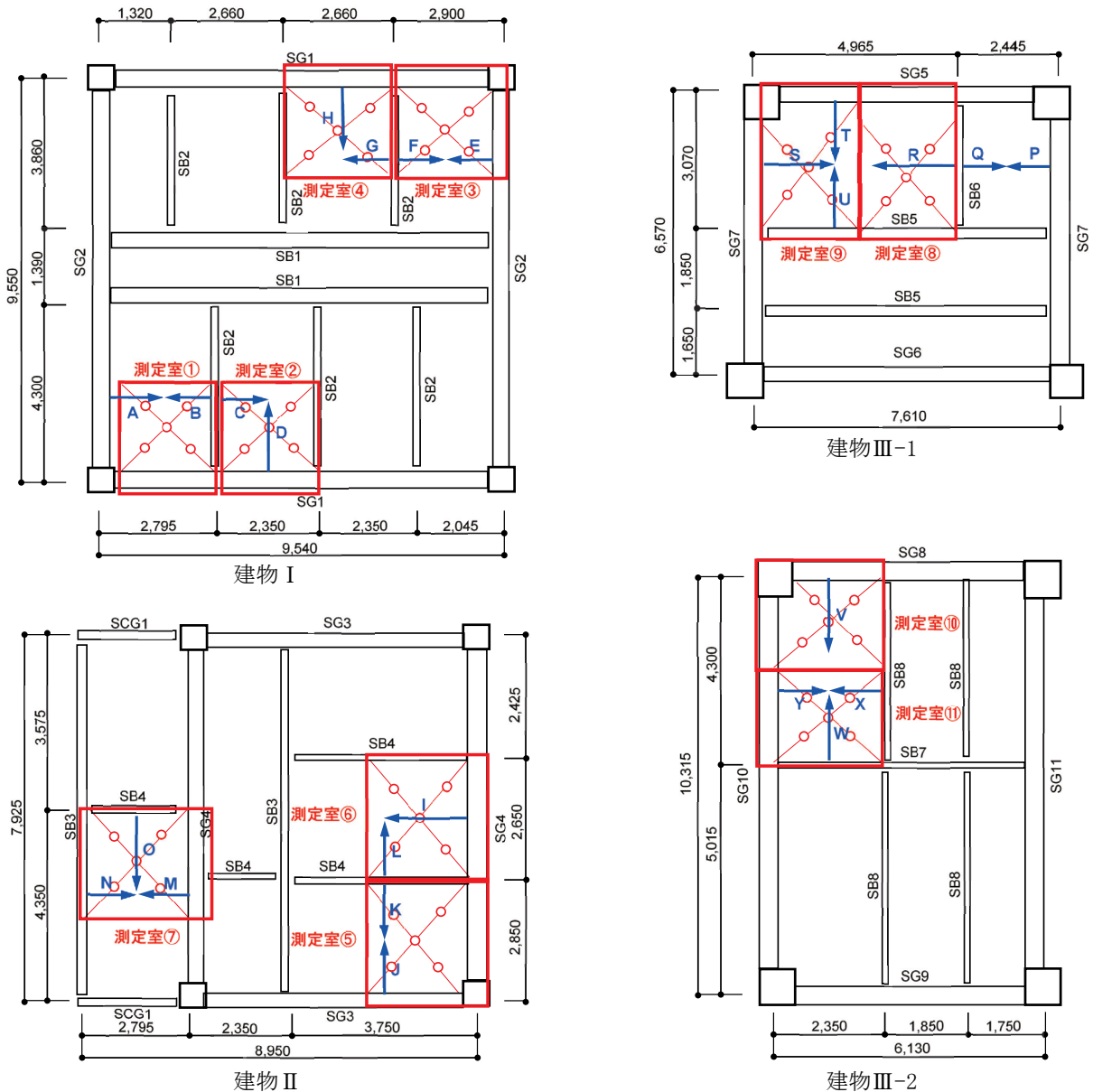


Fig. 1 測定建物の平面および測定位置 (単位: mm, 図中の赤丸は加振点および受音点位置)

2.3 重量床衝撃音レベル測定方法

重量床衝撃音レベルの測定は、JIS A 1418-2:2019「建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法—第2部：標準重量衝撃源による方法」に準拠して行った。加振点および受音点は各々5点とし、受音点の高さは空間的に均等になるように0.8~1.6mの0.2mピッチで配置した。衝撃源は、衝撃力特性(1)を持つ標準重量衝撃源(以下、タイヤ)、衝撃力特性(2)を持つ標準重量衝撃源(以下、ボール)とした。

3. 実験結果

3.1 インピーダンスレベル上昇量

S造の梁のインピーダンスレベル上昇量の測定結果をFig.2に示す。

大梁のスラブ端部のインピーダンスレベル上昇量は、山型デッキスラブの建物I, IIの場合、LineD, E, J, Mでは7~8dB程度、LineHでは5dB程度、LineA, Iでは2~3dB程度であった。フラットデッキスラブの建物IIIの場合、LineP, S, Yでは6dB程度、LineT, Vでは4dB程度であった。山型デッキスラブの場合、測定した大梁の寸法に大き

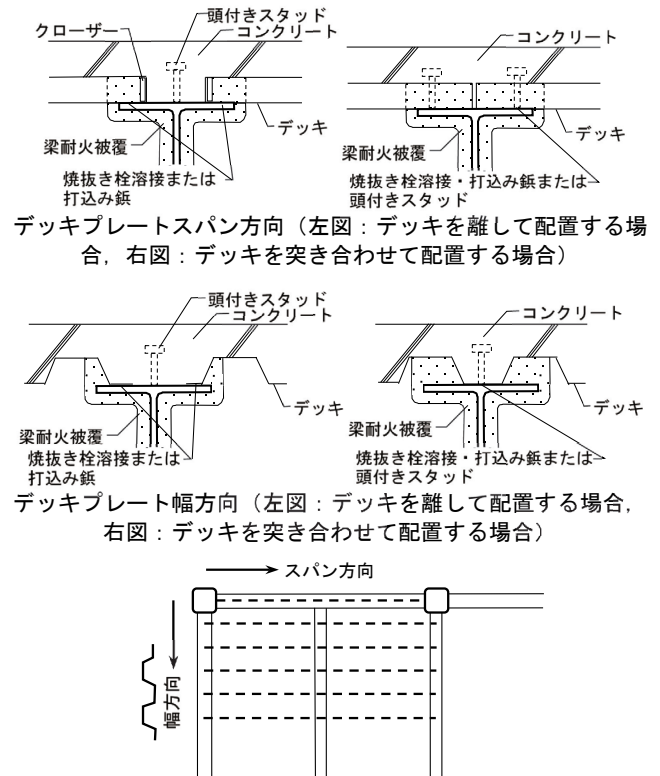


Fig.3 デッキプレートスラブと梁の納まりの例

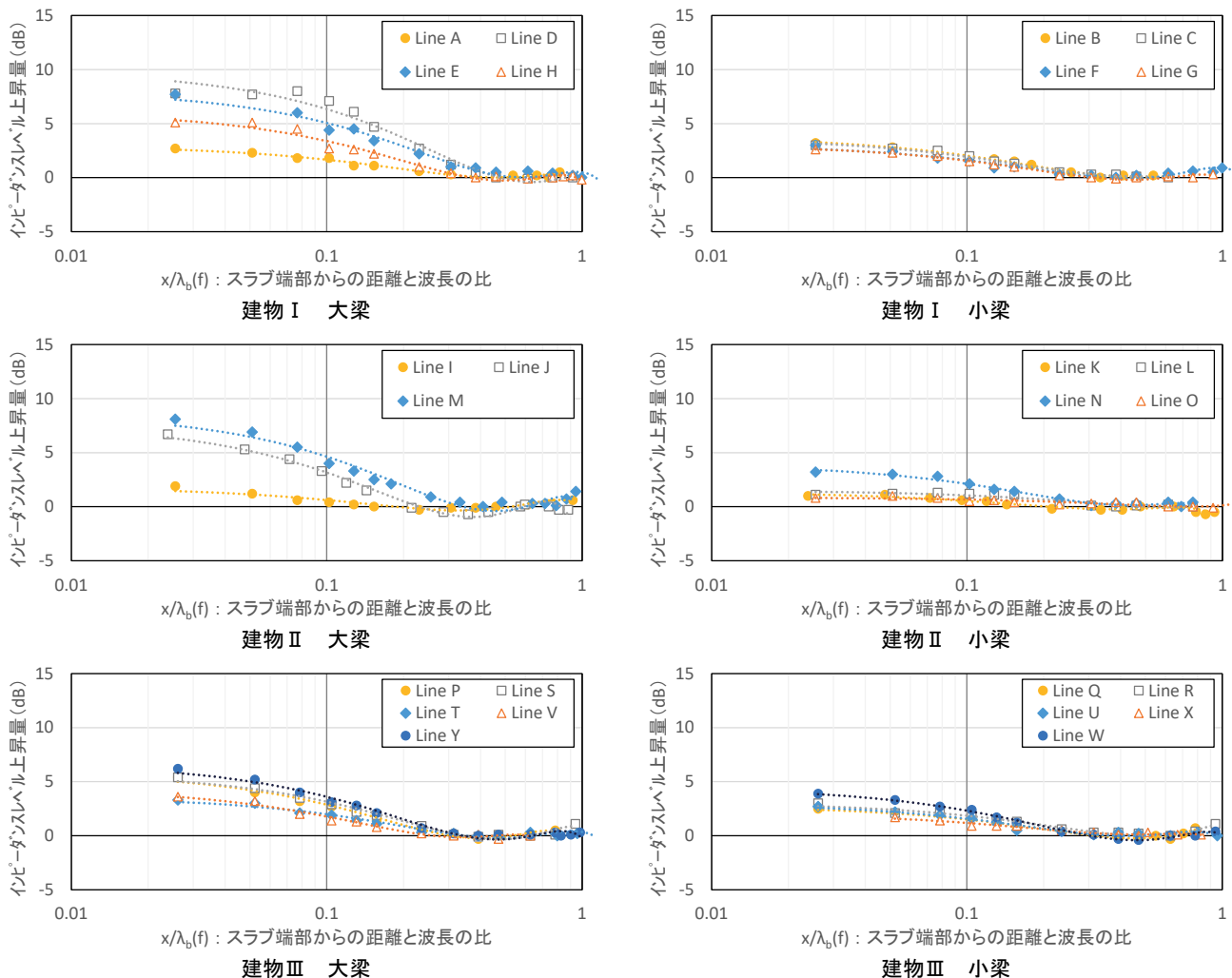


Fig.2 インピーダンスレベル上昇量測定結果

な差は見られなかったが、スラブ端部のインピーダンスレベル上昇量は異なっていた。

小梁のスラブ端部のインピーダンスレベル上昇量は、建物Ⅰ、Ⅱの場合、LineB, C, F, G, Nでは3~4dB程度、LineK, L, Oでは1dB程度であった。建物Ⅲの場合3~4dB程度であった。

Fig. 3 にデッキプレートスラブと梁の納まりの例を示す。鉄骨梁にデッキを配置する場合、デッキを離して配置する場合やデッキを突き合わせて配置する場合がある。デッキを離して配置する場合は、鉄骨梁とデッキの間にコンクリートを充填する納まりとなる。一方、デッキを突き合わせて配置する場合、デッキプレートスパン方向では鉄骨梁とデッキの間に空間（デッキプレート山部の下側）が生じる。デッキプレート幅方向ではデッキを離れた納まりに比べ突き合わせた納まりの方が充填されるコンクリートが少なくなる。大梁では、このような納まりの違いによって同程度の寸法であっても拘束力が大きい場合と小さい場合があったと考えられる。小梁では、今回の測定結果からは納まりの違いによる差は見られなかった。

3. 2 全時間応答インピーダンスレベル

Fig. 4 に全時間応答インピーダンスレベルの測定結果を示す。測定点は各測定室の室中央とした。スラブの基本インピーダンスレベルの計算値は建物Ⅰ、建物Ⅱでは113dB程度、建物Ⅲでは111dB程度であり、すべての居室で全時間応答インピーダンスレベルの共振による大きな落ち込みは見られなかった。梁によるスラブの拘束が小さいため、共振による影響が小さかったと考えられる。また、大梁で囲われた範囲（測定室⑦のスラブは大梁と小梁に囲われた片持ちスラブ）に小梁が多く配置されていることから、一次固有振動数の影響により生じると考えられる低い周波数帯域においても共振によるインピーダンスレベルの低下が生じていなかったと考えられる。

3. 3 重量床衝撃音レベル

重量床衝撃音遮断性能の測定結果をTable 2, Fig. 5に示す。音源室と受音室は同一タイプの客室であり、測定時は内装ボードまで施工済み、床はスラブ素面であった。

建物Ⅰの重量床衝撃音遮断性能は、タイヤでは $L_{i,Fmax,r,H(1)} - 45 \sim 50$ (L数45~52)、ボールでは $L_{i,Fmax,r,H(2)} - 45$ (L数43~45)であった。タイヤでは、測定室①、③が測定室②、④に比べ重量床衝撃音レベル等級が1ランク大きかったが、ボールでは差は見られなかった。L数決定周波数帯域はタイヤでは63Hz帯域、ボールでは125~250Hz帯域であった。

建物Ⅱの重量床衝撃音遮断性能は、タイヤでは $L_{i,Fmax,r,H(1)} - 55$ (L数54~55)、ボールでは $L_{i,Fmax,r,H(2)} - 50$ (L数49~51)であった。L数決定周波数帯域はタイヤでは63Hz帯域、ボールでは125~250Hz帯域であった。

建物Ⅲの重量床衝撃音遮断性能は、タイヤでは

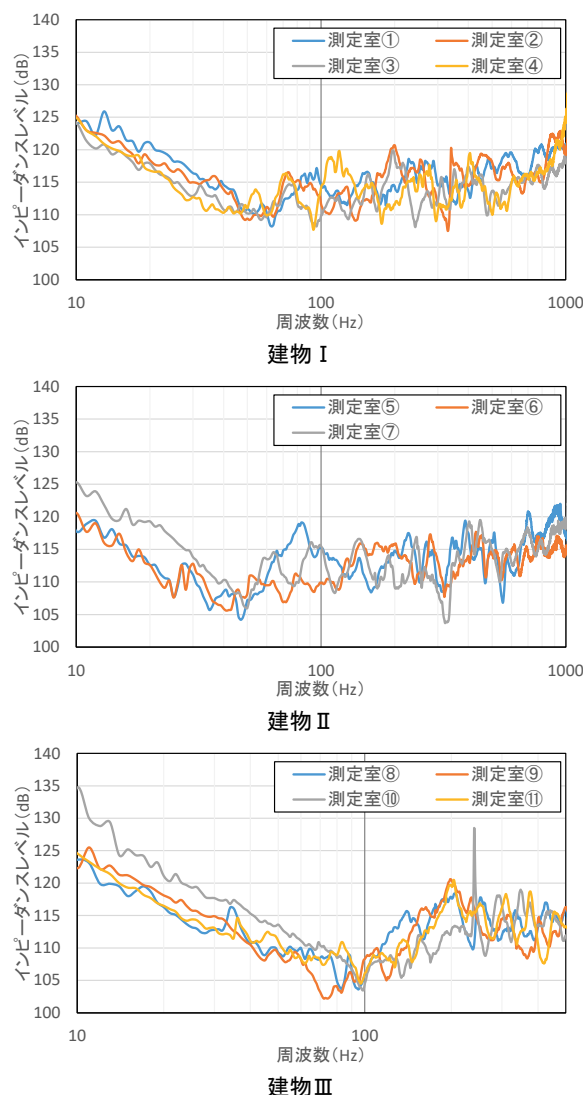


Fig. 4 全時間応答インピーダンスレベル測定結果

Table 2 重量床衝撃音遮断性能測定結果

		タイヤ	ボール
建物Ⅰ	測定室①	$L_{i,Fmax,r,H(1)} - 50$ L数 52	$L_{i,Fmax,r,H(2)} - 45$ L数 43
	測定室②	$L_{i,Fmax,r,H(1)} - 45$ L数 46	$L_{i,Fmax,r,H(2)} - 45$ L数 45
	測定室③	$L_{i,Fmax,r,H(1)} - 50$ L数 50	$L_{i,Fmax,r,H(2)} - 45$ L数 44
	測定室④	$L_{i,Fmax,r,H(1)} - 45$ L数 45	$L_{i,Fmax,r,H(2)} - 45$ L数 45
建物Ⅱ	測定室⑤	$L_{i,Fmax,r,H(1)} - 55$ L数 54	$L_{i,Fmax,r,H(2)} - 50$ L数 49
	測定室⑥	$L_{i,Fmax,r,H(1)} - 55$ L数 55	$L_{i,Fmax,r,H(2)} - 50$ L数 51
	測定室⑦	$L_{i,Fmax,r,H(1)} - 55$ L数 54	$L_{i,Fmax,r,H(2)} - 50$ L数 50
建物Ⅲ	測定室⑧	$L_{i,Fmax,r,H(1)} - 55$ L数 55	$L_{i,Fmax,r,H(2)} - 50$ L数 52
	測定室⑨	$L_{i,Fmax,r,H(1)} - 55$ L数 55	$L_{i,Fmax,r,H(2)} - 55$ L数 54
	測定室⑩	$L_{i,Fmax,r,H(1)} - 50$ L数 52	$L_{i,Fmax,r,H(2)} - 55$ L数 54
	測定室⑪	$L_{i,Fmax,r,H(1)} - 55$ L数 56	$L_{i,Fmax,r,H(2)} - 50$ L数 51

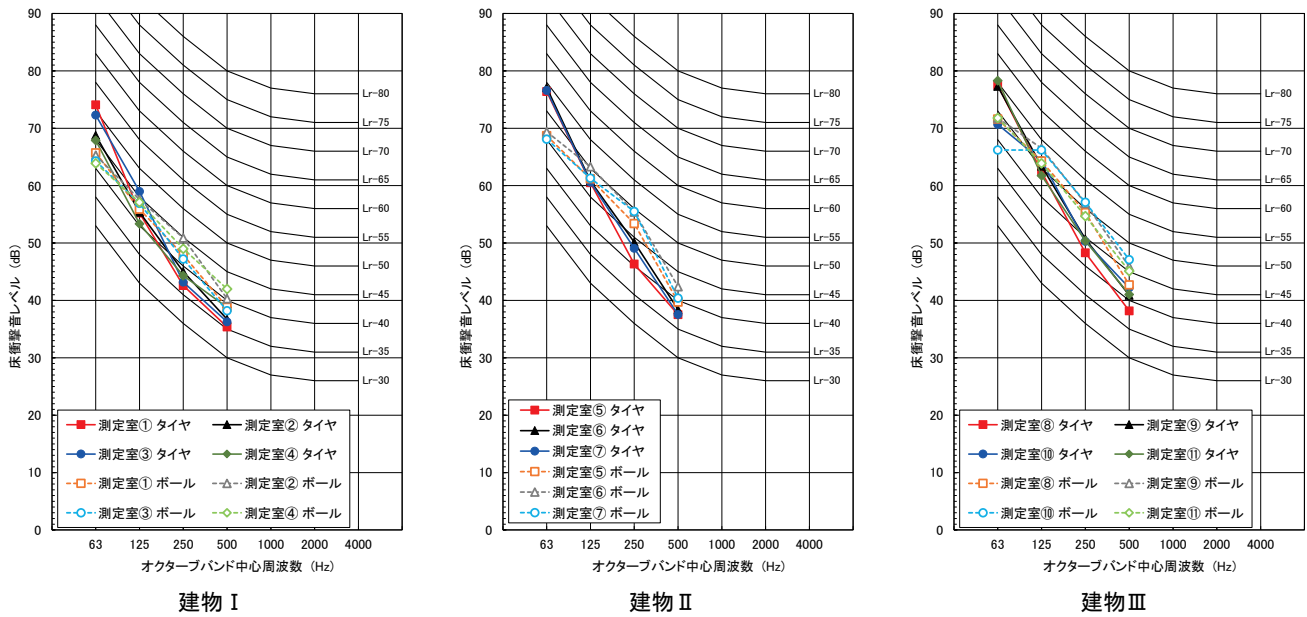


Fig. 5 重量床衝撃音レベル測定結果

$L_{i, Fmax, r, H(1)}$ - 50~55 (L 数 52~56), ボールでは $L_{i, Fmax, r, H(2)}$ - 50~55 (L 数 51~54) であった。L 数決定周波数帯域はタイヤでは 63Hz 帯域, ボールでは 125Hz 帯域であった。

今回測定を行った建物のスラブは山型デッキスラブ 180mm, フラットデッキスラブ 150mm であり, 一般的な RC 造共同住宅に比べ薄かったが, 重量床衝撃音遮断性は $L_{i, Fmax, r, H(1)}$ - 45~55 であった。

その要因として, スラブの共振によるインピーダンスレベルの低下が小さかったことが考えられる。また, それぞれの測定室が小さく, 比較的小さい小梁でもスラブ端部で 3dB 程度のインピーダンスレベルが上昇しており, 梁からの拘束の影響を受けていたと考えられる。

4. 重量床衝撃音レベル予測に関する検討

スラブ素面の重量床衝撃音レベル予測計算法として, インピーダンス法を用いた予測計算法が広く用いられている。この予測計算法は, RC 造建物を対象とした予測計算法である。そこで, 3章で示したインピーダンス特性を用いて S 造建物に適用できるか検討する。

4. 1 重量床衝撃音レベル予測計算法

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は式 (1) によって行う。

$$L_{H,f} = L_{FE} - L_{ZT} + \Delta L_D + 10 \log_{10} S_{eff} + 10 \log_{10} k - 10 \log_{10} A + \Delta L_C + 152 \quad \dots (1)$$

$L_{H,f}$: オクターブバンドごとの標準重量衝撃源による床衝撃音レベル (dB)

L_{FE} : 標準重量衝撃源の衝撃力曝露レベル (dB)

L_{ZT} : 加振点別インピーダンスレベル (dB)

$$L_{ZT} = L_Z + \Delta L_Z + Z_T$$

L_Z : 基本インピーダンスレベル (dB)

ΔL_Z : スラブの周辺拘束によるインピーダンスレベル上昇量 (dB)

Z_T : 共振によるインピーダンスレベル低下量 (dB)

ΔD : 床スラブ内の振動減衰補正量 (dB)

S_{eff} : スラブの有効放射面積 (m^2)

k : 音響放射係数

A : 受音室の吸音力 (m^2)

ΔL_C : サウンドレベルメータの動特性補正值 (dB)

152 : $\cong 10 \log_{10} 10^{12} + 10 \log_{10} 4 + 10 \log_{10} \rho_0 c_0$ (dB)

式 (1) における RC 造建物で測定したパラメーターを 3 章で示した実測に基づいた値に変更する。以下に示す条件で予測計算を行う。

- インピーダンスレベル上昇量は, Fig. 2 に示す測定結果からそれぞれの梁におけるインピーダンスレベル上昇量の回帰式を作成し, 予測計算に用いる。
- 共振によるインピーダンスレベル低下量は, Fig. 4 に示す全時間応答インピーダンスレベルに大きな低下が見られなかったため, すべての周波数帯域で 0dB とする。
- 有効放射面積は, 梁によるスラブの拘束力が小さいため, 居室面積全面からの放射と考える。

4. 2 重量床衝撃音レベル予測計算結果

タイヤで加振した時のスラブ素面の重量床衝撃音レベルの予測値と実測値の対応に関する検討を行う。

Fig. 6 に重量床衝撃音遮断性能 (L 数) の予測値と実測値の対応を示す。L 数の実測値はすべての測定室で予測値より小さい値を示していた。また, 測定室①, ③, ⑤~⑪では予測値と実測値は非常に良く対応していた。測定室

②, ④では, 他の測定室に比べ予測値と実測値の差が大きかった。

Fig. 7 に加振点ごとの 63Hz 帯域の重量床衝撃音レベルの予測値と実測値の分布を示す。予測値と実測値の差の平均値は 2.6dB, 標準偏差は 3.7 であり, $\pm 5\text{dB}$ (1 ランク) の範囲に 80%含まれていた。L 数の場合と同様に測定室②, ④で予測値に比べ実測値が小さい値を示していた。

今回行った予測計算は, スラブ素面の状態における計算である。実測値は, 天井仕上げまで施工された状況での測定結果であり, 二重天井, 付加壁などの内装材の影響, 居室のモードの影響を含んでいる。そのため, 測定室②, ④において, 予測値と実測値の差が大きくなったと考えられる。

5. まとめ

S 造建物の重量床衝撃音レベル予測計算法の検討を行うため, 実現場において重量床衝撃音レベルおよびインピーダンスレベルの測定を行った。本報では, S 造建物の重量床衝撃音レベルおよび梁による拘束の影響について検討し, 重量床衝撃音レベル予測計算法に関する検討結果について報告した。

- ・ 大梁のスラブ端部のインピーダンスレベル上昇量は 2~8dB 程度, 小梁は 1~4dB 程度であった。梁の大きさはそれぞれ同程度であったが, インピーダンスレベル上昇量は異なっていた。その要因として, 鉄骨梁とデッキの納まりの違いによる影響が考えられる。
- ・ 全時間応答インピーダンスレベルは全ての測定室で共振による大きな低下は見られなかった。梁による拘束の影響が小さかったことが要因の一つと考えられる。
- ・ 今回測定を行った建物のスラブは, 建物 I, II では山型デッキスラブ 180mm, 建物 III ではフラットデッキスラブ 150mm であり, 一般的な RC 造共同住宅に比べ薄かったが, タイヤの重量床衝撃音遮断性能は $L_{i, \text{Fmax}, r, H(1)} - 45 \sim 55$ であった。今回測定を行った建物において重量床衝撃音レベルが小さかった要因として, スラブの共振によるインピーダンスレベルの低下が小さかったことが要因の一つと考えられる。
- ・ インピーダンス法による重量床衝撃音レベル予測計算法を用いて, インピーダンス特性を実測値に基づいた値に変更することで, 重量床衝撃音遮断性能の実測値と予測値は良く対応していた。今回行った予測計算は, スラブ素面の状態における計算である。実測値は, 二重天井, 付加壁などの内装材の影響, 居室のモードの影響を含んでいる。予測値と実測値に差が表れていた測定室ではこれらの影響があったと考えられる。

今後さらに実測値のサンプル数を増やすとともに, 二重天井や内装材, 室のモードの影響に関する検討を行い, 予測精度の向上に取り組んでいく予定である。

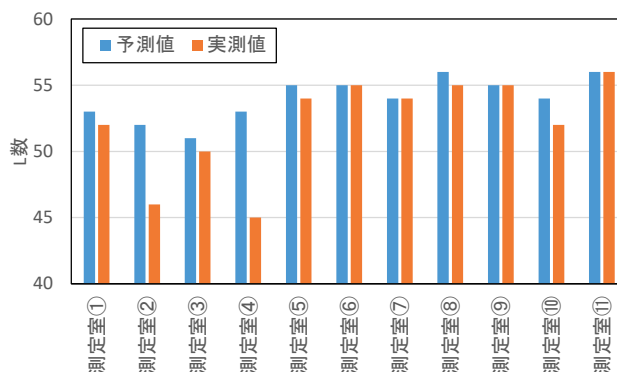


Fig. 6 重量床衝撃音遮断性能 (L 数) の予測値と実測値の対応

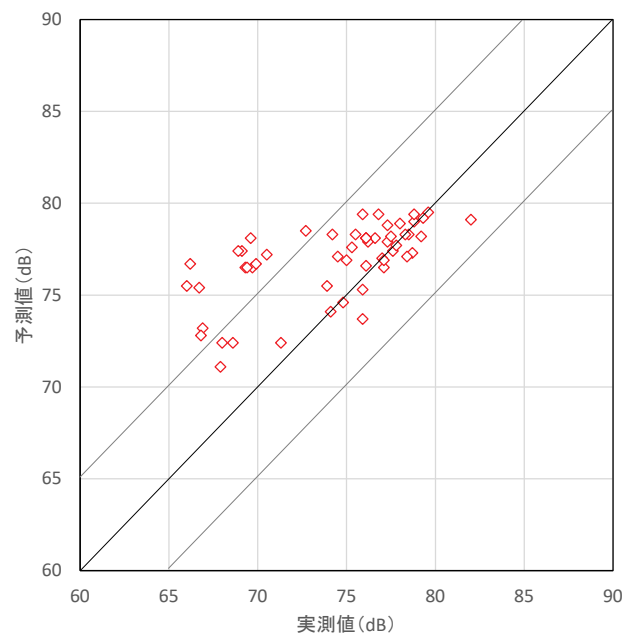


Fig. 7 加振点ごとの 63Hz 帯域の重量床衝撃音レベルの予測値と実測値の分布

参考文献

- 1) 黒木拓, 大脇雅直, 財満健史, 高木直樹, 山下恭弘: インピーダンス法による重量床衝撃音レベル予測計算法に関する実験的検討—駆動点インピーダンスに関する検討—, 日本騒音制御工学会講演論文集, pp.21-24, 2011.9
- 2) 日本音響学会編: 建物の遮音設計資料, 技法堂出版, 1988.8
- 3) 石丸岳史, 高倉史洋, 大脇雅直, 財満健史, 山下恭弘, 和田浩之: S 造デッキプレートスラブのインピーダンス特性について—S 造デッキプレートスラブにおける重量床衝撃音レベル予測手法に関する研究—, 日本音響学会建築音響研究会, 建築音響研究会資料 資料番号 AA2004-51, 2004.11
- 4) 田中ひかり, 増田潔: 鉄骨建物の重量床衝撃音遮断性能に関する検討—スラブの振動特性と FEM による予測—, 騒音制御 Vol.36, No.6, pp.425-434, 2012.12
- 5) 曾田祐, 橋本典久: デッキプレートスラブの固有振動解析と平板への換算に関する検討—鉄骨造デッキプレートスラブの振動および床衝撃音に関する数値解析的研究 その1—, 日本建築学会技術報告集第 21 巻 第 47 号, pp.171-176, 2015.2
- 6) 黒木拓, 大脇雅直: S 造建物の重量床衝撃音レベル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.383-384, 2020.9

- 7) 黒木拓, 大脇雅直: S 造建物の重量床衝撃音レベルに関する検討
- 駆動点インピーダンスに関する実験的検討 -, 日本音響学会
講演論文集, pp. 491-494, 2020. 9

A Study on Prediction Method for Heavy Weight Floor Impact Sound Level of Steel Frame Building. -A Study on Driving Point Impedance -

Taku KUROKI and Masanao OWAKI

Abstract

In this paper, we investigate the effect of the heavy weight floor impact sound level and the effect of restraints on the beams of the steel structure. We also investigated prediction method for heavy weight floor impact sound level.

The increase in impedance level for the large beam was 2 to 8 dB and for the small beam was 1 to 4 dB. In all the measurement rooms, the driving point impedance level did not show a significant decrease due to the resonance. Applying the method for predicting heavy weight floor impact sound level based on the impedance method, we replaced impedance characteristics with values based on measurements. The predicted values were well matched to the measured values of the heavy weight floor impact sound insulation performance by changing the values.

Key words: Steel Structure, Heavy Weight Floor Impact Sound, Impedance, Prediction Method
