

桁行き方向に梁が無いスラブの床衝撃音遮断性能に関する検討

Study of Heavy Weight Floor Impact Sound Level Insulation on Non-Beam-Slab in Ridge Direction

小林 秀彰 HIDEAKI KOBAYASHI
嶋田 泰 YASUSHI SHIMADA
赤尾 伸一 AKAO SHIN-ICHI
川島 学 MANABU KAWASHIMA
平田 裕一 YUICHI HIRATA

桁行き方向の梁の有無がスラブの重量床衝撃音遮断性能に与える影響を把握するために、実建物で測定を行った。その結果、梁が無いスラブの端部ではインピーダンスレベルが低下するが、スラブ端部から 2m 程度離れた場所では梁の有無でインピーダンスレベルに差異が無いことが分かった。また重量床衝撃音遮断性能の予測手法として有限要素法に着目し、測定結果との比較による解析精度の検証を行った結果、梁が無いスラブに対して有効な予測手法であることが分かった。
キーワード：重量床衝撃音レベル、インピーダンスレベル、有限要素法

In order to evaluate the influence of beams in ridge direction on heavy weight floor impact sound level insulation, on-site experiments were conducted in a building under construction. As a result, impedance level was observed to decrease at the edge of the slabs without beam in ridge direction, but there was no difference of impedance levels between slabs with beam and slabs without beam at the point of 2m away from the edge of slab. And it was demonstrated that FEM analysis simulates heavy weight floor impact sound level insulation for the non-beam-slab with appropriate accuracy.

Key Words: Heavy Weight Floor Impact Sound Level, Impedance Level, FEM

1. はじめに

近年の集合住宅では、構造形式の多様化により、設計自由度の高さを考慮して部分的に梁の無いスラブが設計される場合がある。集合住宅では床衝撃音遮断性能が要求されるため、梁が無いことによる床衝撃音遮断性能への影響を把握しておく必要がある。

現在、重量床衝撃音レベルの予測手法として日本建築学会によって「インピーダンス法 2009¹⁾」が策定されている。インピーダンス法 2009 は、スラブ厚さなどから算出される基本インピーダンスレベル、スラブ端部の梁や壁の拘束によるインピーダンスレベル上昇量、スラブ共振によるインピーダンスレベルの低下量などから重量床衝撃音レベルを予測する。しかし、この手法は梁を有するスラブを対象としており、梁が無いスラブについての予測手法についてはまだ十分に整備されていない。

また既往研究については、梁が無いスラブの重量床衝

撃音遮断性能の検討例が少ない状況である^{2),3)}。

そこで本稿では、桁行き方向に梁が無いスラブを対象に、梁の有無が重量床衝撃音遮断性能に与える影響について実建物で測定した結果を報告する。また重量床衝撃音遮断性能の予測手法として有限要素法（以下 FEM）に着目し、桁行き方向に梁が無いスラブにおける測定結果との比較で数値解析の精度検証を行った結果についても報告する。

2. 測定による検討

(1) 測定概要

図-1 に測定を行ったスラブを示す。梁の有無によるスラブの重量床衝撃音遮断性能を把握するために、桁行き方向に梁が有る実建物を対象とした。測定したスラブの種類は、図-1(a) の「桁行き方向の両側に梁が無いスラブ（以下、梁無しスラブ）」、図-1(b) の「桁行き方向

の片側に梁が有るスラブ（以下、片側梁有りスラブ）」、**図-1(c)**の「桁行き方向の両側に梁が有るスラブ（以下、梁有りスラブ）」の3種類とした。**図-1(a)**と**(b)**は、コンクリートを打設しないスリットを設けて作製した。スラブ面積は**図-1**に示すように、各条件で異なる。

スラブは合成床版240mmで、断面構成は175mmのハーフPC版の上に65mmのトップコンを打設した。スリット部分は、ハーフPC版のジョイント部を中心に300mm幅でトップコンを打設しない状態である。またコンクリート強度は実験日の2～3週間前で72N/mm²であった。

(2) 測定方法

測定は、駆動点インピーダンスレベルと重量床衝撃音レベルについて行った。駆動点インピーダンスレベルは、スラブ端部の拘束量を把握するために衝撃時間内インピーダンスレベルと、拘束量や共振などすべての影響を含んだ全時間応答インピーダンスレベルを測定した。

図-1中に測定点を記す。測定では、スラブ端部から2mまでをバルコニー、その奥にLDを配置するプランを想定した。

衝撃時間内インピーダンスの測定点は、梁の有無によるスラブ端部の拘束量の変化を把握するために、スラブ端部を始点として測線上に測定した。測定点は測線1～3を設定した(**図-1(a)**、**(c)**)。

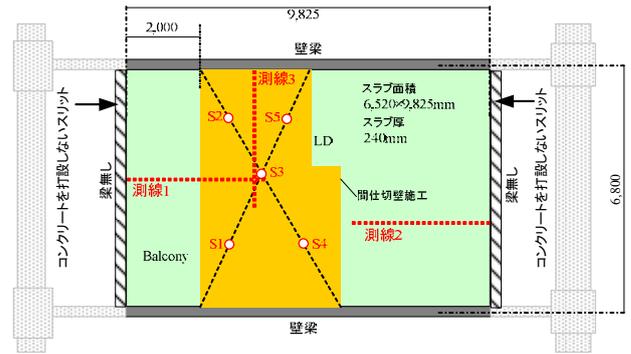
全時間応答インピーダンスと重量床衝撃音レベルの加振点は、LD内で平面的に均等になるように5点を設定した。また重量床衝撃音レベルの受音室は、LDを想定した範囲に間仕切壁を施工して、天井は直天井とした。

図-2にインピーダンスレベルの測定ブロックダイアグラムを示す。インパクトハンマーでスラブを衝撃加振した時の力と、圧電型ピックアップにより測定したスラブの速度応答から、FFT分析器によりインピーダンスレベルを算出した。サンプリング周波数は25,600Hz、計測時間は1.28秒とした。重量床衝撃音レベルの測定は、JISA1418:2000「建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法」に準拠した。床衝撃音発生器は衝撃力特性(1)をもつバングマシンとした。

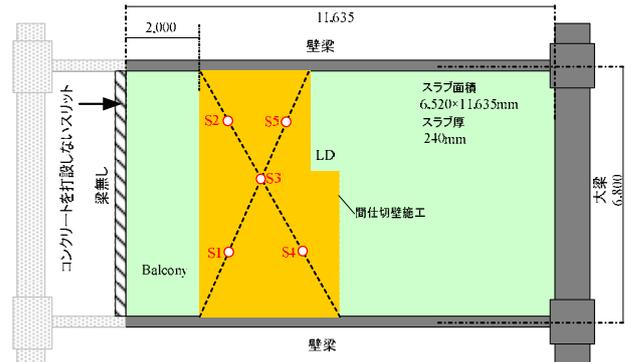
(3) 実験結果

a) 梁の有無によるスラブ端部の拘束量の変化

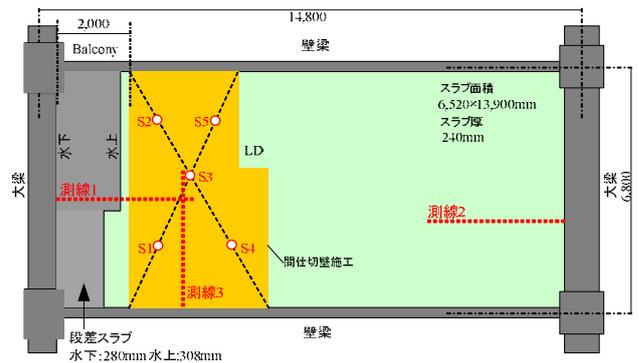
図-3に梁無しスラブ、梁有りスラブにおける測線1～3のスラブ端部からの衝撃時間内インピーダンスレベルの変化を示す。**図-3**はスラブ端部からの距離(X)と衝撃周波数(210Hz)の曲げ波の波長(λ)の比(x/λ)をパラメータとして、測線上で最もスラブ端部から



(a) 桁行き方向の両側に梁が無いスラブ



(b) 桁行き方向の片側に梁が有るスラブ



(c) 桁行き方向の両側に梁が有るスラブ

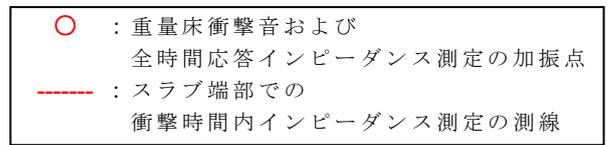


図-1 実験したスラブおよび測定点位置

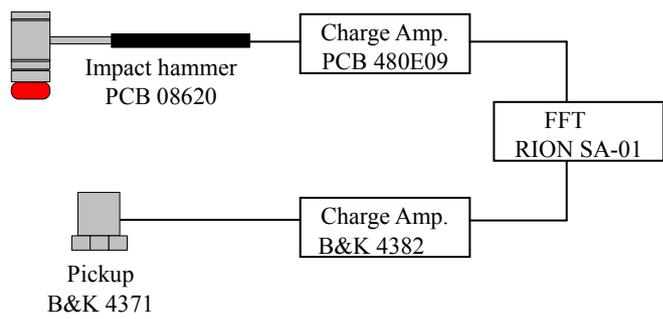


図-2 測定ブロックダイアグラム

離れた測定点からのインピーダンスレベルの上昇量である（インピーダンス法2009による「スラブ端部周辺拘束の影響補正曲線」）。梁有りスラブの測線2は、スラブ端部に近づくにつれてインピーダンスレベルは8dB程度まで上昇しており、この傾向はインピーダンス法における「床スラブの剛性が高い場合」の端部拘束量に類似した結果となった。梁無しスラブでは、測線1と測線2は梁無し端部に近づくにつれてインピーダンスレベル上昇量は-6~-8dB程度まで低下しており、梁有りスラブと逆の傾向となった。また梁有りスラブの測線1が他の測線の値より大きいのは、段差スラブの影響であると考えられる。

図-3の λb を重量床衝撃音レベルの決定周波数 63Hz から算出して、スラブ端部からの距離に換算したものと衝撃時間内インピーダンスレベルの絶対値の関係を図-4に示す。スラブ端部から1.5m程度までは梁の有無で重量床衝撃音レベルに影響があるが、スラブ端部から1.5m以上離れると梁の有無による影響はほとんど無くなる傾向が見られた。

b) 居室部分における全時間応答インピーダンス

図-5に梁無しスラブ、片側梁有りスラブ、梁有りスラブの S3 点における全時間応答インピーダンスレベルを示す。ここで1次固有振動数は、梁無しスラブと片側梁有りが23.4Hz、梁有りスラブは30.5Hzである。全スラブで共振の影響により1次固有振動数付近が低下して、高次周波数になるにつれて120dB程度に収束する傾向が見られた。120dBは実験したスラブ厚さ240mmの基本インピーダンスレベルに相当する値である。63Hz帯域内に関しては、梁無しスラブは50.8Hzでインピーダンスレベルの低下が見られたが片側梁有りスラブと梁有りスラブでは大きな低下は見られなかった。

図-6に、各打点別の全時間応答インピーダンスのオクターブバンドレベルを示す。S3は他の点と比較して1次固有振動数を含む31.5Hz帯域でインピーダンスレベルが低下しているが、梁の有無による差異は認められなかった。またS3で梁無しスラブが63Hz帯域で低下しているが、他の点では63Hz帯域に梁の有無による影響は見られなかった。このS3の梁の有無によるインピーダンスの差異については、次章のFEM解析の精度検証をする際にも確認することとする。図-7に、全5打点の全時間応答インピーダンスのオクターブバンドレベルの平均値を示す。重量床衝撃音レベルを評価する際の5点平均では、梁の有無による影響は見られなかった。

(4) 居室部分における重量床衝撃音レベル

図-8に、梁の有無による重量床衝撃音レベルの測定結

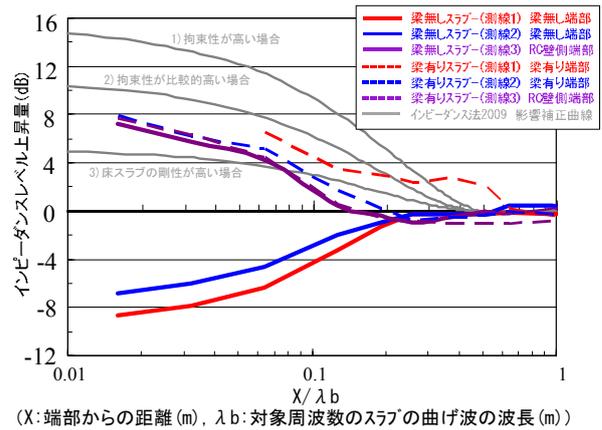


図-3 スラブ端部からの衝撃時間内インピーダンスレベルの変化

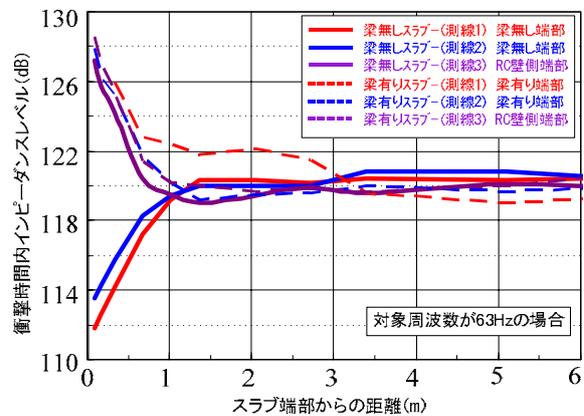


図-4 対象周波数 63Hz における端部からの距離と衝撃時間内インピーダンスレベルの絶対値

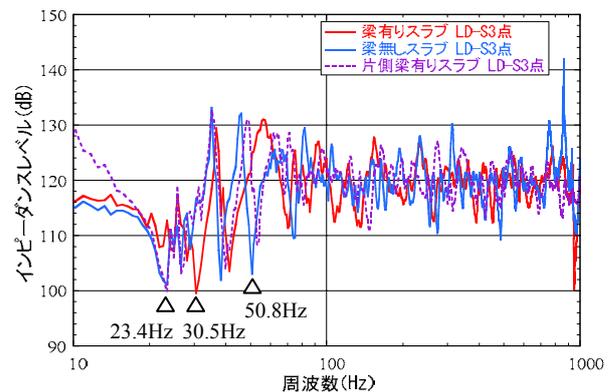
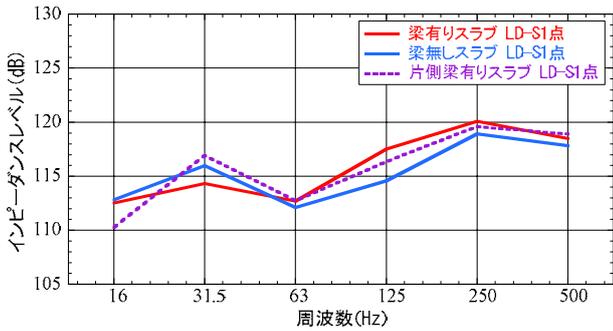
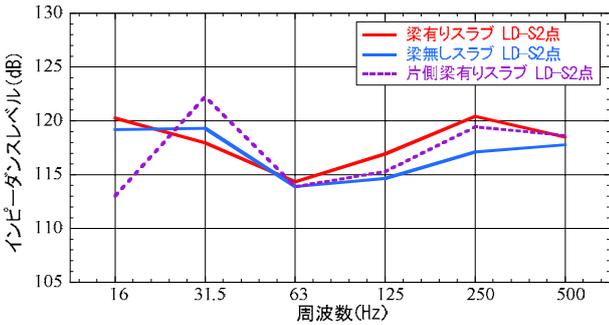


図-5 S3 点における全時間応答インピーダンスレベル

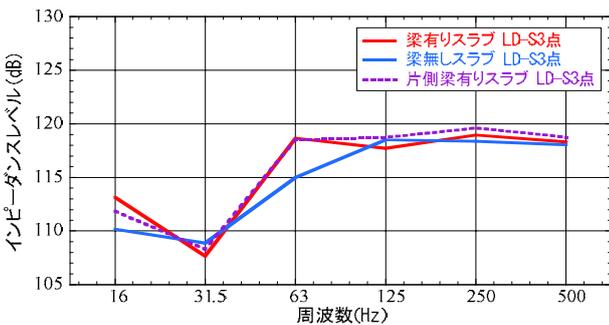
果を示す。スラブ端部から 2m 離れた LD 部（図-1）では、 $L_i, F_{max,r}, H(1)-50$ であり、梁の有無による差異は見られなかった。この傾向は、全時間応答インピーダンスの結果と同様であった。



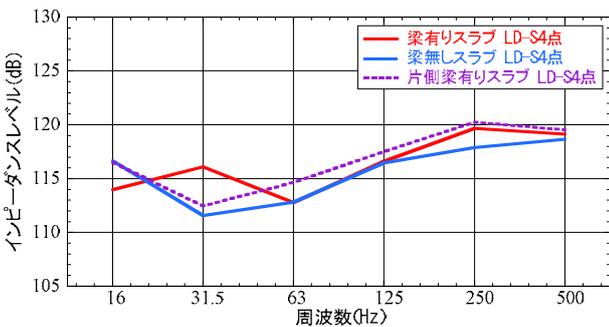
(a) 打点 S1 での全時間応答インピーダンスレベル



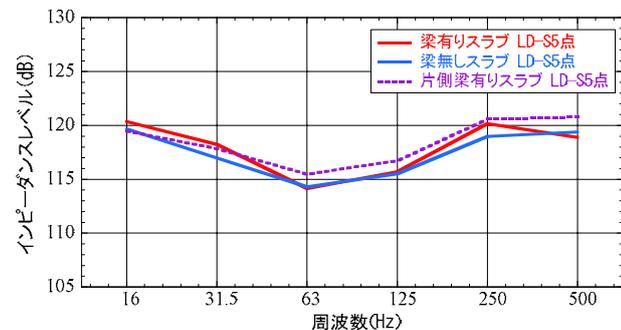
(b) 打点 S2 での全時間応答インピーダンスレベル



(c) 打点 S3 での全時間応答インピーダンスレベル



(d) 打点 S4 での全時間応答インピーダンスレベル



(e) 打点 S5 での全時間応答インピーダンスレベル

図-6 各打点別の全時間応答インピーダンスレベル

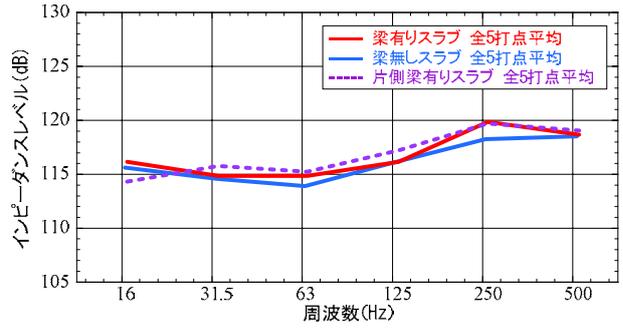


図-7 全5打点平均の全時間応答インピーダンスレベル

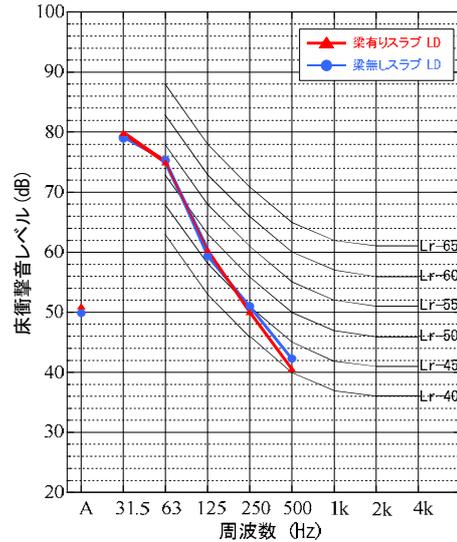


図-8 梁の有無による重量床衝撃音レベルの測定結果

3. FEMによる検討

(1) 解析概要

数値解析による桁行き方向に梁が無いスラブの重量床衝撃音遮断性能の予測精度を検証するために、FEMの汎用ソフトSAP2000を用いて測定を行った物件をモデル化して検討を行った。

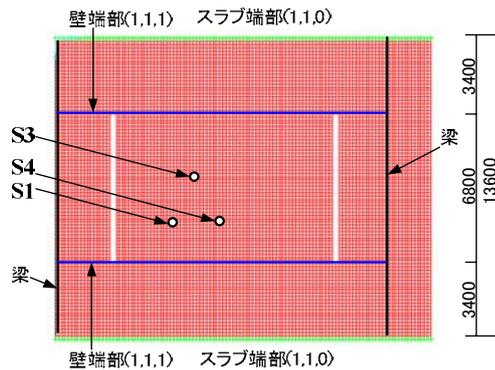
(2) 解析モデル

図-9に梁無しスラブと梁有リスラブの解析モデルを示す。前章で測定を行った実物件と同じ条件でモデルを作成した。解析モデルは、周辺のスラブと壁への振動減衰を考慮して、解析対象スラブの両側に半スパン分のスラブを設置し、壁を解析対象スラブ中心に上下へ階高半分までをモデル化した。端部の拘束条件は、スラブ端部は上下方向の拘束(縦ローラー支持)と、壁端部は上下水平方向を拘束(ピン支持)として、回転の自由度は拘束していない。

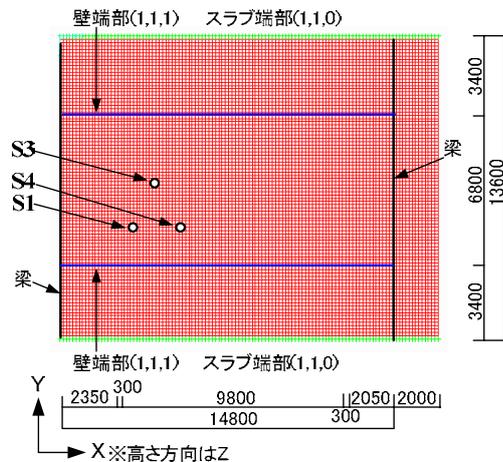
表-1に解析モデルの物性値を示す。ヤング係数は、強制的振動時の構造解析に用いられる動ヤング係数⁴⁾とし

て、通常想定される実強度の静的ヤング係数の 1.3 倍とした。減衰定数は、周波数によらず一律 0.02 とした。

メッシュの分割数は、解析対象の上限周波数を 500Hz として、500Hz の曲げ波長の 1/5 以下となるようにした。FEM による解析手法は、モーダル解析により行った。サンプリング周波数は 4000Hz、解析時間は 1.28 秒とした。解析は S3 を加振した状況で、S1、S3、S4 の振動速度の時間波形から全時間応答インピーダンスレベルを算出した。



(a) 梁無しスラブの FEM 解析モデル (平面図)



(b) 梁有りスラブの FEM 解析モデル (平面図)

・境界条件
()内は(X,Y,Z)の各方向の変位の拘束条件を示す。拘束は1、自由は0。
回転の自由度は拘束していない。

図-9 FEM解析モデル

表-1 解析モデルの物性

項目	物性値
ヤング係数 (N/m ²)	4.7×10 ¹⁰
単位体積重量 (kN/m ³)	24.5
ポアソン比	0.2
減衰定数	0.02

(3) 解析結果

図-10 と図-11 に、梁有りスラブと梁無しスラブの全時間応答インピーダンスレベルの FEM での解析結果と、併せて測定による結果を示す。梁有りスラブと梁無しスラブともに、インピーダンスレベルの低下する周波数と絶対値は FEM と測定でほぼ同様の傾向が得られた。これより本解析モデルは測定条件をほぼ再現できていると考えられる。また図-12 に、S3 における FEM 解析と測定での全時間応答インピーダンスを示す。

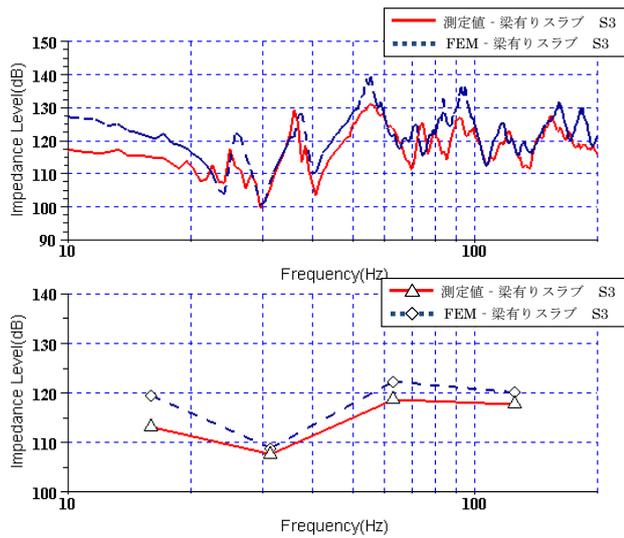
FEM 解析結果の 63Hz 帯域において、梁の有無で S3 は 5dB 程度の影響があり、前章で述べた S3 の測定結果と同様の傾向が確認された。

図-13 に、梁の有無による振動モードを比較した結果を示す。63Hz 帯域中に発生する振動モードを比較すると、梁無しスラブの端部で振幅が大きくなっている。スラブ端部から 2m 離れた場所では、梁無しスラブ 60Hz では梁有りスラブ 62Hz と比較して振幅が大きい、梁無しスラブ 64Hz ではモードの節となり梁有りスラブ 68Hz と比較して振幅が小さくなっている。

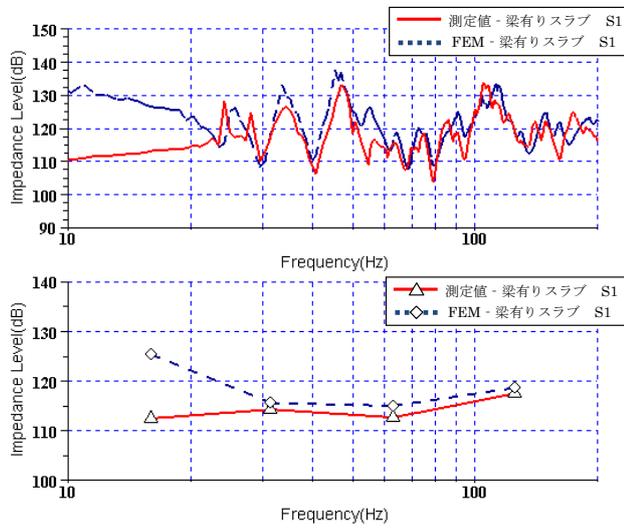
4. まとめ

桁行き方向の梁の有無による重量床衝撃音遮断性能への影響について測定した結果、梁無しスラブの端部ではスラブ中央よりもインピーダンスレベルが低下する傾向が見られ、スラブ端部では重量床衝撃音レベルが大きくなる傾向にある。しかし、梁無しスラブの端部に奥行 2m 程度のバルコニーを配置し、居室がスラブ端部から 2m 程度離れば、重量床衝撃音レベルに梁の有無による影響は見られなかった。以上より、梁無しスラブを設計する際には、スラブ端部にバルコニーを配置するプランとすれば、重量床衝撃音レベルに影響を与えないことが考えられる。

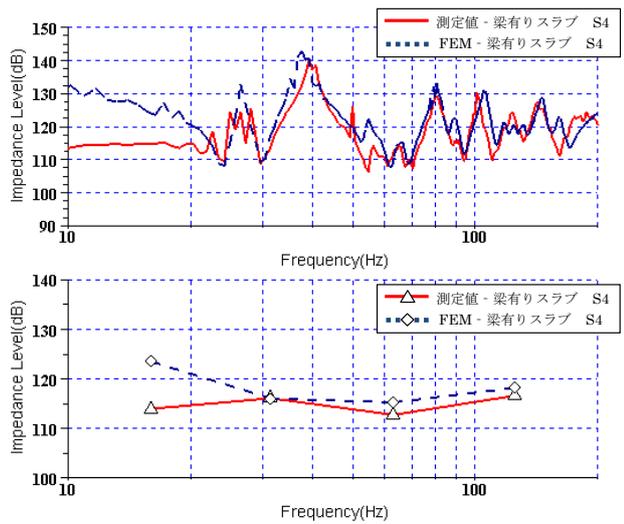
また、FEM 解析については、拘束条件や減衰定数など検討すべき点はあるが、桁行き方向に梁が無いスラブの測定結果とほぼ同様の解析結果となったことから、有効な予測手法であると考えられる。今後、多様化する構造形式に対応するために、種々のスラブで予測精度の検証を行っていききたい。



(a) 梁有りスラブ S3 の全時間応答インピーダンス

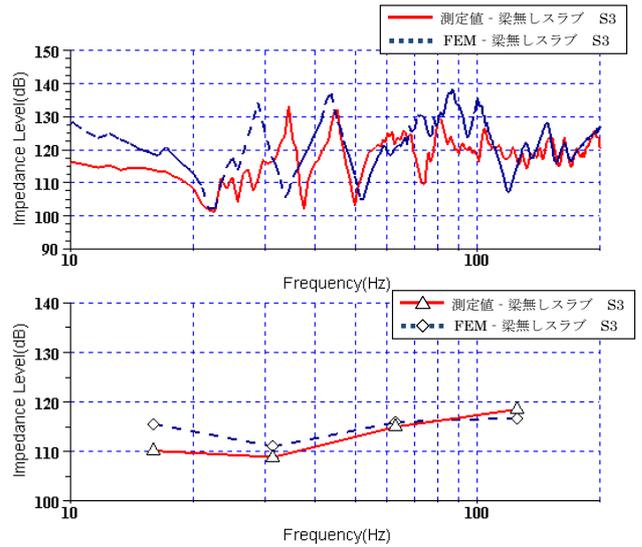


(b) 梁有りスラブ S1 の全時間応答インピーダンス

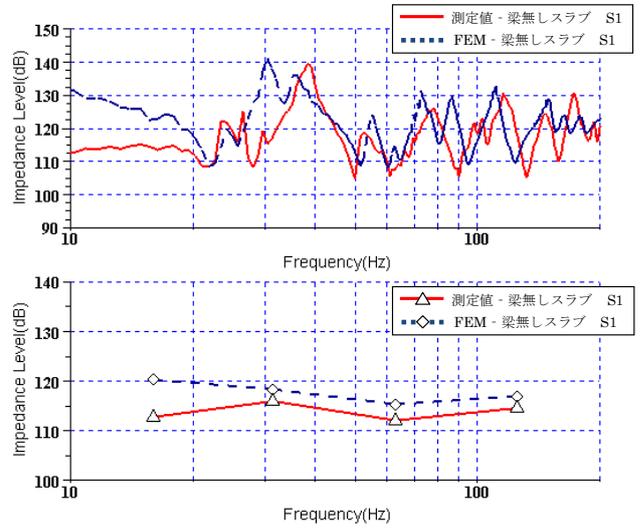


(c) 梁有りスラブ S4 の全時間応答インピーダンス

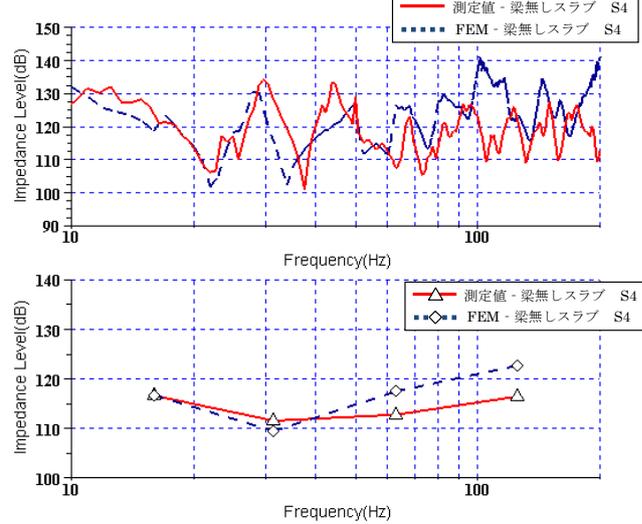
図-10 (梁有りスラブ) FEM と測定の比較



(a) 梁無しスラブ S3 の全時間応答インピーダンス

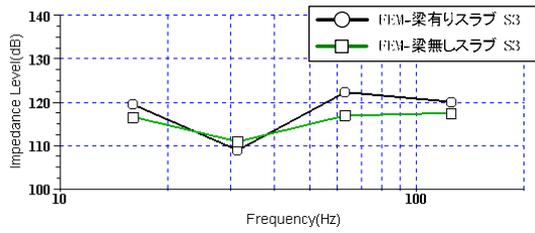


(b) 梁無しスラブ S1 の全時間応答インピーダンス

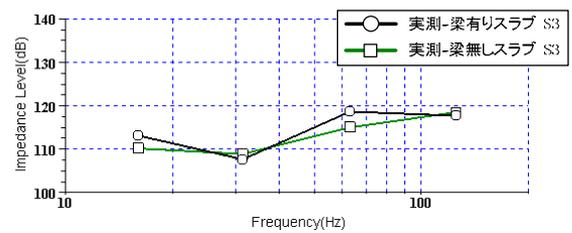


(c) 梁無しスラブ S4 の全時間応答インピーダンス

図-11 (梁無しスラブ) FEM と測定の比較

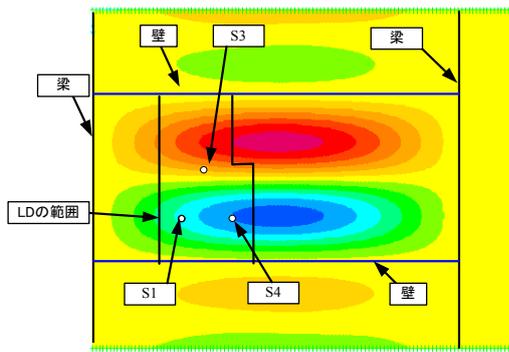


(a) FEMによる S3 での全時間応答インピーダンス

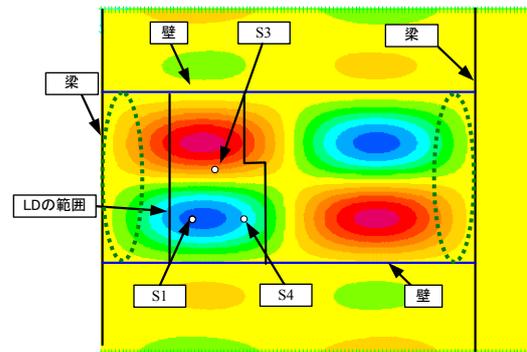


(b) 測定による S3 での全時間応答インピーダンス

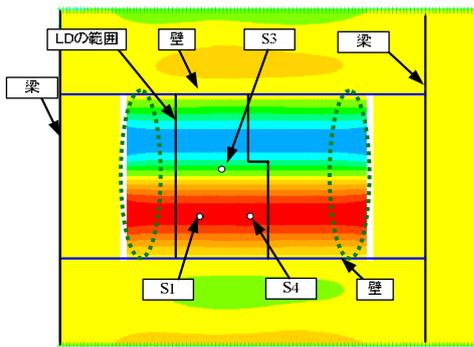
図-12 FEM と測定による梁の有無での全時間応答インピーダンス



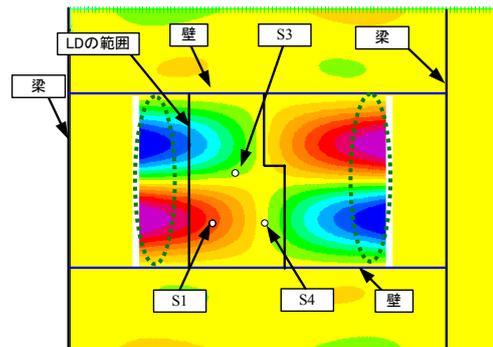
梁有リスラブ 62Hz の振動モード



梁有リスラブ 68Hz の振動モード



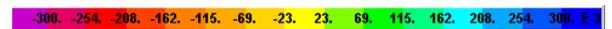
梁無しスラブ 60Hz の振動モード



梁無しスラブ 64Hz の振動モード



(a) 梁有り 62Hz と梁無し 60Hz の振動モード図



(b) 梁有り 68Hz と梁無し 64Hz の振動モード図

図-13 梁の有無による振動モード図の比較

参考文献

- 1) 日本建築学会編：「建物の床衝撃音防止設計」，2009年11月
- 2) 上田ほか：「大型無梁スラブ（壁式ラーメン構造）における重量床衝撃音レベルの実験的検討例について」，日本建築学会大会学術講演梗概集，1999年9月，pp169-170
- 3) 藤橋ほか：「大型スラブの床衝撃音に関する実験的検討 - その7 フラットスラブの重量床衝撃音特性 -」，日本建築学会大会学術講演梗概集，2002年8月，pp195-196
- 4) 構造委員会 - 鉄筋コンクリート構造分科会・鉄筋コンクリート第3小委員会：「鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料」，建築雑誌 vol.100,1985年12月，pp36-47