

床衝撃音予測手法に関する研究 —実大試験床版の概要および実験結果—

稲留康一* 山上 聡*

1. はじめに

共同住宅に求められる居住環境性能の中で、上階での歩行や物の落下に対する床衝撃音遮断性能は、エンドユーザーから重要視される性能の一つとなっている。床衝撃音遮断性能の中でも、子どもの飛び跳ねや走り回りなど重量な物の落下や移動に伴い発生する“重量床衝撃音遮断性能”は、躯体スラブ厚さがその基本的な性能を決定することから、設計段階における予測が重要となる。最近では、スラブの大型化やアウトフレーム構法等、重量床衝撃音に有効に作用する梁部材の効果を得られ難い状況にあり、スラブ厚は増大する傾向にある。

そのため、床衝撃音遮断性能の得られ難い大型スラブの床衝撃音の予測手法を検討するため、センターコア形式の共同住宅で、コア部分と外周部のみに梁を有し他の部分には梁を設けない架構の建物を参考に、その一部分を模擬した実大試験スラブを製作した。本報

では、その試験体の概要を示すとともに、床衝撃音に関連する実験結果の一部について報告する。

2. 試験体の概要

試験体の概要を写真-1、図-1に示す。スラブは矩形中空ボイドスラブ 300mm 厚（等価厚さ 271mm）で、



写真-1 実大試験体写真

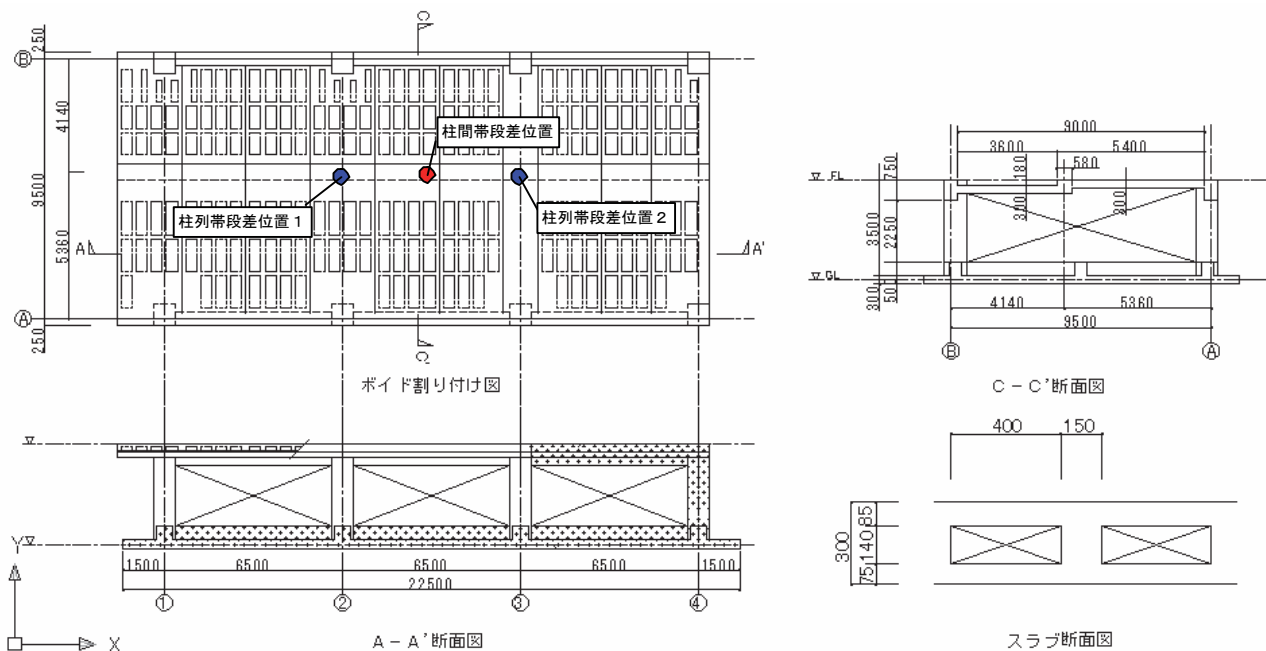


図-1 試験体の概要

*技術研究所

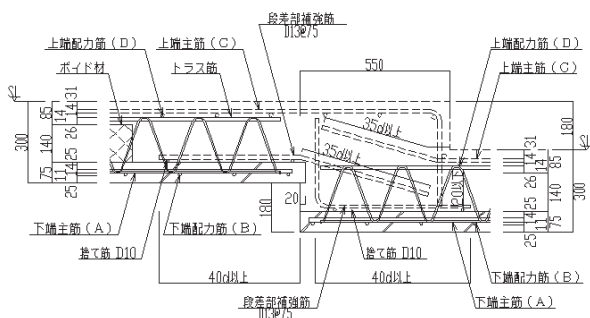


図-2 スラブ段差部分の配筋図

梁は長辺方向（AおよびB通り）にのみ配置されている一方方向版である。梁間方向の約6：4の位置には、スラブ段差（C-C'断面図参照）を設けている。図-2にスラブ段差の詳細図を示す。なお、本試験体の一部には、再生骨材を用いた再生コンクリートを採用している（図-1中のハッチ部分）。再生コンクリートに関する詳細については別報¹⁾を参照していただきたい。

3. 実験概要

3.1 クリープ測定結果

試験体の製作段階から、スラブ段差部分に変位計図-1に示した3箇所（スラブ段差部分）設置して自重

によるスラブのクリープの測定を行った。その結果を図-3に示す。

コンクリート打設時に支保工部分の馴染みで1.5mm程度沈下し、支保工撤去により柱列帯で4mm、柱間帯で7mm程度沈下した。コンクリート打設後24週（3/1時点）でクリープの進行は3mm程度で落ち着きつつある状態となっている。試験体製作前に、FEMによりクリープの予測を行っているが、その結果とほぼ同程度の値が得られている。なお、クリープの計測は現在も継続して行っている。

3.2 スラブの固有周波数測定結果

スラブを標準重量床衝撃源（バングマシン）で加振し、加振点近傍における振動を測定した。加振位置の概要を図-4、測定結果を図-5に示す。

図-5より、スラブの卓越固有周波数は約15Hzである。試験体（22.5m×9.5m）を大梁で囲まれたスラブと仮定して卓越固有周波数を算定すると7.4Hzとなり実測値との対応は取れないが、これはスラブが一方

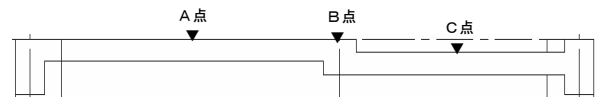


図-4 固有周波数測定位置の概要

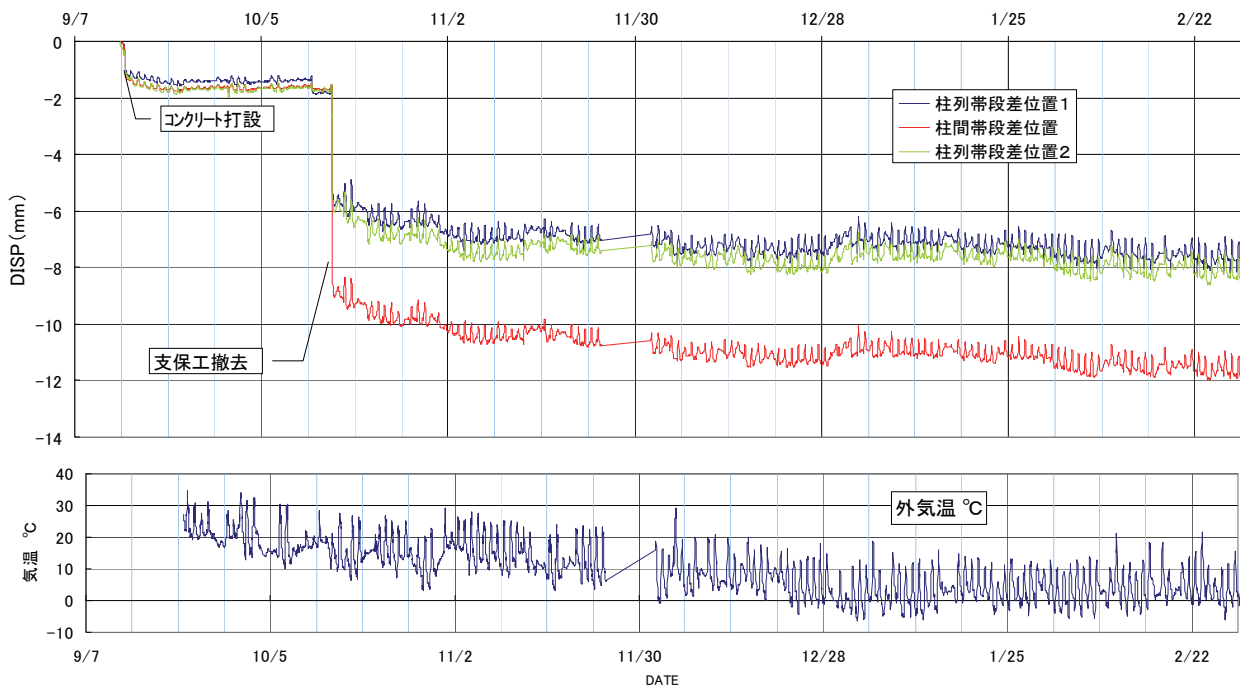


図-3 クリープ測定結果

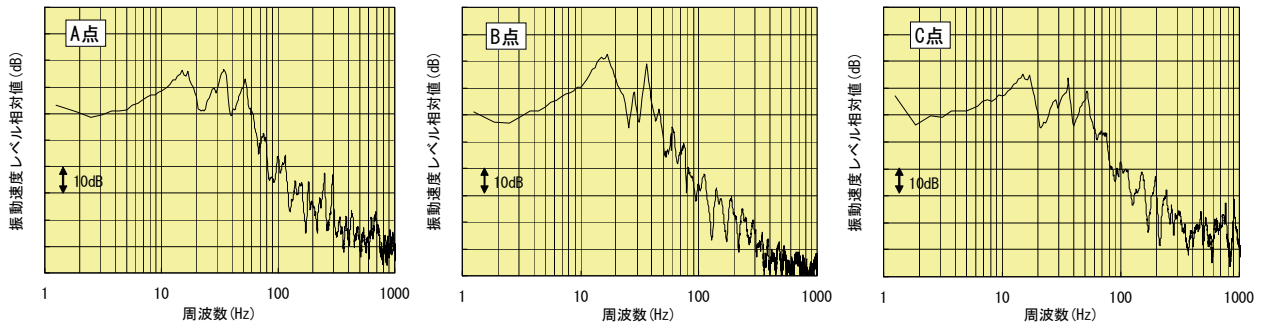


図-5 スラブ固有周波数測定結果

向版であるため、梁間方向の影響によるものと考えられる。そこで、短辺方向（梁間方向）の卓越固有周波数を算定してみると約 13Hz となり実測値とほぼ対応する。

3.2 駆動点インピーダンス測定結果

スラブ内に側線を設けて駆動点インピーダンスの測定を行った。測定ブロックダイアグラムを図-6に示す。インピーダンス測定点は、端部（梁および柱）から表-1に示すような床版の曲げ波長を基準とした位置とした。なお、表中の x は端部からの距離をしめしている。測定した測線を図-7に示す。各側線上の矢印方向に表-1に示した測定点を設けた。

a. 全時間応答インピーダンス

全時間応答インピーダンスの測定例（側線 4-1）を図-8に示す。図中にはハンマーの衝撃時間内応答から求めたインピーダンスレベル（以下、衝撃インピーダンスと称す）を併せて示している。なお、衝撃インピーダンスは、ハンマーの加振時間内を対象に、時間

領域でハンマー加振力と加振時の応答速度の二乗積分値を求め、両者の比をとることにより求めた（インピーダンス Z_b = 加振力の二乗積分値 / 振動速度の二乗積分値）。また、インピーダンスレベルの換算は、 $10\log_{10} Z_b$ として求めた。

まず、各測定点における衝撃インピーダンスをみると、端部に近い測定点ほど、レベルが大きいことがわ

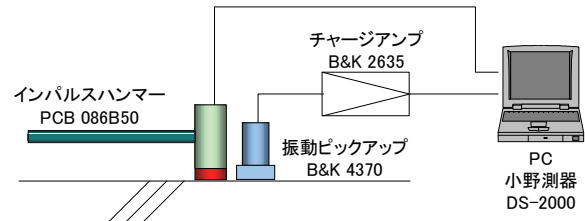


図-6 インピーダンス測定ブロックダイアグラム

表-1 インピーダンス測定点の端部からの距離

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
端部からの距離 (m)	0.027	0.136	0.273	0.545	1.363	2.727
x/λ_b	0.01	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0

λ_b とは、曲げ波の波長を示す。
 $\lambda_b = \sqrt{\frac{\pi \cdot C1 \cdot h}{\sqrt{3} \cdot f}}$ ここに、 λ_b : 曲げ波の波長 (m)、 $C1$: 縦波伝搬速度 (m/s)
 h : 等価厚さ (m)、 f : 衝撃周波数 (Hz)
 ※衝撃周波数はハンマーの場合、250Hzとした

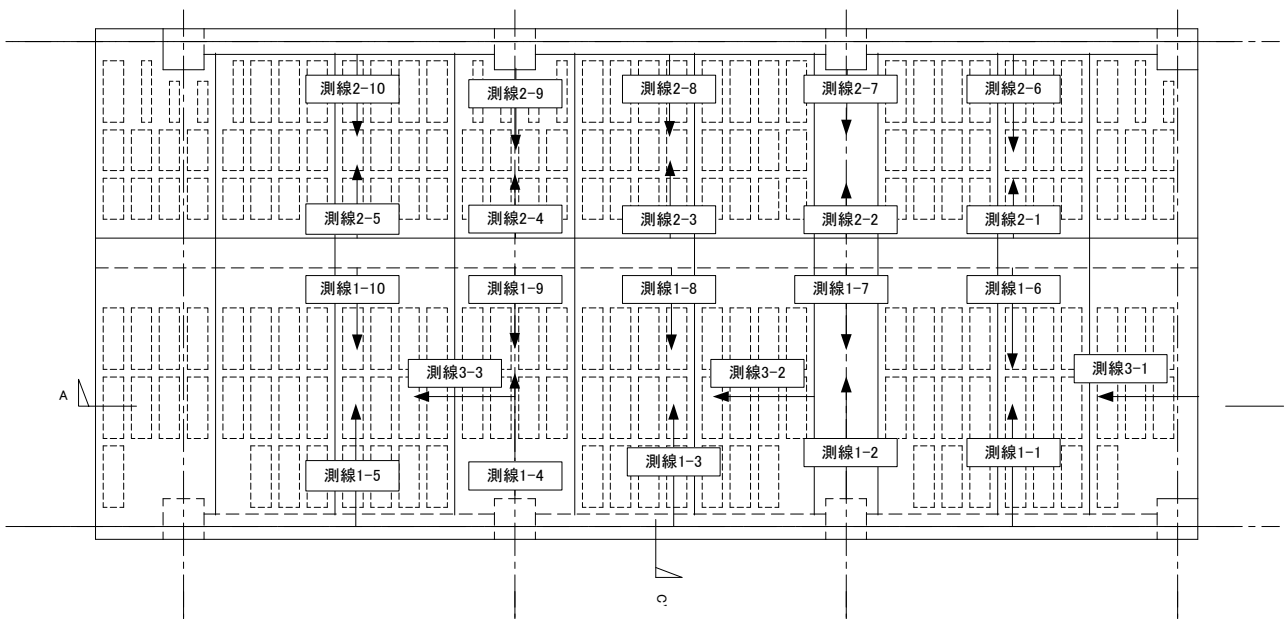


図-7 インピーダンス測定値の測線

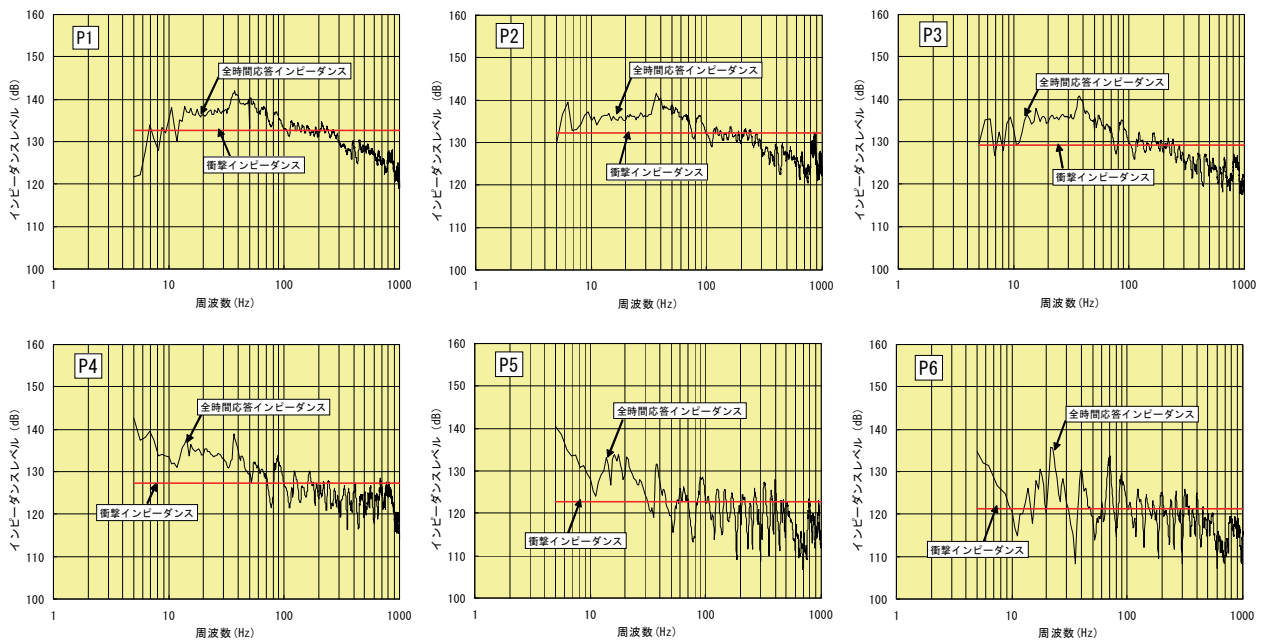


図-8 全時間応答インピーダンス測定例（側線1-4）

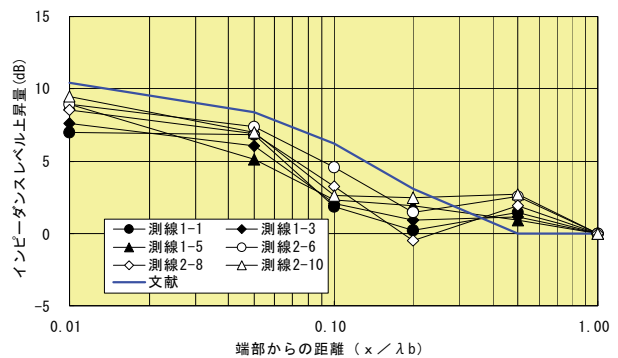
かる。これは柱、梁など端部の拘束性による影響であり、他の研究機関での結果を含め、これまでの測定例と同様の傾向を示している。

同様に、全時間応答インピーダンスについても、端部では固有周波数の影響を受け難い特性を示しており、端部（梁）の拘束性の効果が得られている。端部から離れるに従い、スラブの振動特性が明確となり、測定点 P6（端部からハンマーの衝撃周波数に対する床版曲げ波の1波長位置）では、固有周波数の影響が顕著に現れている。

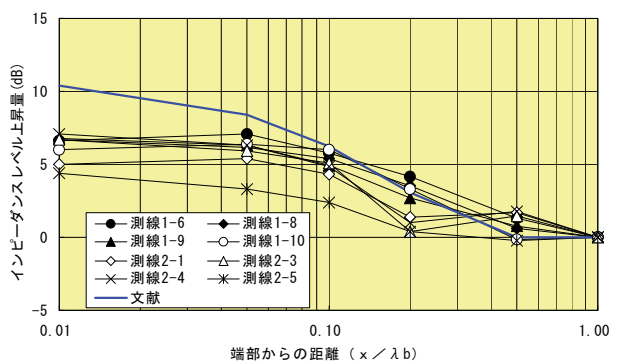
スラブの固有周波数は、図-5に示したバングマシーンによる測定結果（A点）とほぼ対応している（インピーダンスレベルは値が小さいほど振動しやすいことを示している）。ただし、ハンマーによる加振では、36Hz 付近でのインピーダンスの落ち込みが大きい。これは、梁間方向全体（スラブの一次固有周波数）よりも、段差で分割される長さ方向で決まる固有周波数が卓越するためであると考えられる。

b. 端部上昇量

端部（梁）およびスラブ段差の拘束性を把握するため、各測線における衝撃インピーダンスの測定結果を整理した。大梁と接する測線およびスラブ段差と接する側線における測定例を図-9に示す。なお、この図は、ハンマーの衝撃周波数（250Hz）における曲げ波の1波長に相当する位置（図中 $x/\lambda b=1.0$ ）での衝撃インピーダンスで基準化した相対レベルで示してい



a. 大梁と接する側線の比較例



b. スラブ段差と接する側線の比較例

図-9 端部上昇量測定例

る。曲げ波の1波長位置では、梁等の拘束性の影響を受けないため、無限大版インピーダンスレベル（122dB）と同程度の値となる。

まず、大梁の端部上昇量（図-9 a）をみると、文献²⁾に示されているポイドスラブの端部上昇量と比

べ、やや小さい値を示しているが、傾向としてはほぼ一致している。端部上昇量（梁の拘束性）は、大梁とスラブの剛性比によって大きく変わることが想定されることから、梁とスラブの剛性比も考慮した上で係数を決める必要があると思われる。

つぎにスラブ段差の端部上昇量（図-9 b）をみると、大梁での結果に比べ、段差際でのインピーダンスレベル上昇量が小さい。しかし、段差際でのインピーダンスレベルは上昇する傾向がみられる。この結果から、スラブ段差のような梁ではない部材でも、床衝撃音上は拘束端として扱うことができることを示している。なお、本試験体におけるスラブ段差の拘束性は、大梁の約2/3程度となっている。

梁間方向の衝撃インピーダンスレベルの分布例（側線 1-4、側線 1-9、側線 2-4、側線 2-9 をまとめて作図）を図-10 に示す。スラブ段差付近では大梁ほどではないが衝撃インピーダンスレベルが上昇していることがわかる。

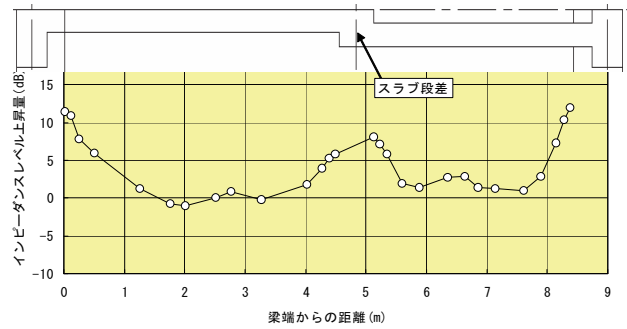


図-10 衝撃インピーダンスレベル分布

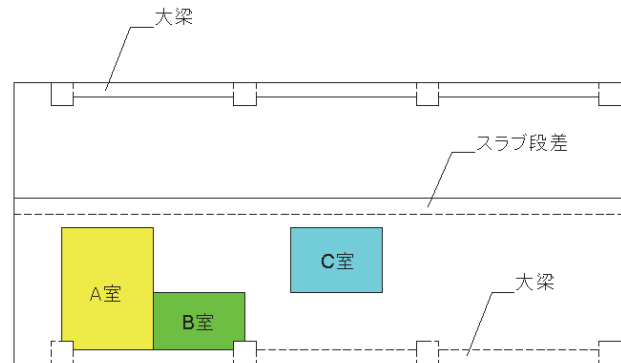


図-11 床衝撃音測定室の概要

3.3 床衝撃音レベル測定結果

床版下室を図-11 に示すように区画し、床衝撃音レベルの測定を行った。その結果を図-12、図-13 に示す。なお部屋の区画は、外壁部はALC版100mm+

ウレタン吹付け（仕上げボード未設置）、間仕切り部は石こうボード12.5mmの二重壁である。C室について

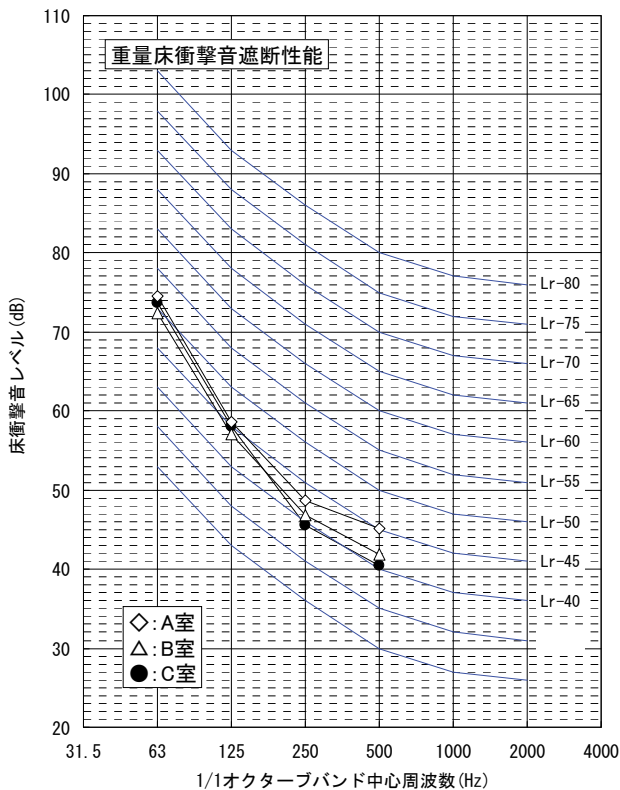


図-12 重量床衝撃音レベル測定結果

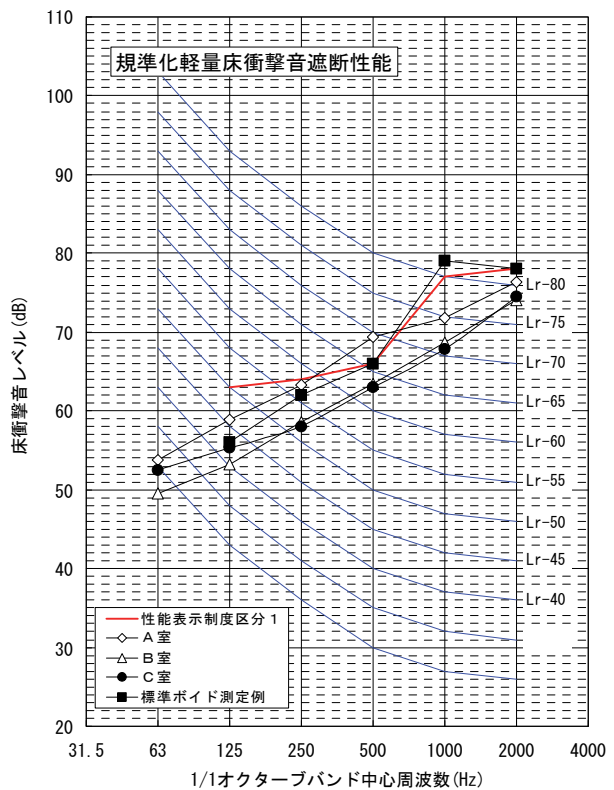


図-13 軽量床衝撃音レベル測定結果

ては、四周が石こうボード二重壁で区画されている。
B室の室内状況を写真-2に示す。

重量床衝撃音測定結果では、いずれの部屋においてもLr-50という結果になった。性能の決定周波数である63Hz帯域で細かく比較してみると、A室>C室>B室となっており、部屋の面積、梁との拘束数、拘束要素（大梁、スラブ段差）によってわずかではあるが差が生じている。

軽量床衝撃音測定結果は、室の残響時間から等価吸音面積を求め、等価吸音面積10m²で規準化した規準化軽量床衝撃音レベル³⁾として示している。図中に標準ボイド(400×1200)での測定例（他現場：規準化軽量床衝撃音レベル）を示しているが、本試験体では、1000Hz帯域～2000Hz帯域でのレベルの上昇が抑制されていることがわかる。これは、ボイド型枠の形状による効果であり、本試験体に採用したボイド型枠は図-14に示すように、標準のボイド型枠に比べ小割されているためである⁴⁾。なお、A室とその他の室では測定値に差が見られるが、A室が妻側の室であることや、外壁部分の面積が他の室に比べ大きいことなどが影響しているものと考えられる。

4. おわりに

本報では、大型スラブ試験体の概要と基本的な性能の測定結果を示した。その結果、以下のようなことがわかった。

- 1) コンクリート打設後24週でのクリープの進行は3mm程度で落ち着きつつある状態となっており、予測結果とほぼ同程度の値が得られている
- 2) スラブの卓越固有周波数の実測値は約15Hzであり、梁間方向の卓越固有周波数計算値とほぼ対応する
- 3) 大梁の端部上昇量は、文献で示されているボイドスラブの端部上昇量に比べ、やや小さい値を示しているが、傾向としてはほぼ一致している
- 4) スラブ段差でも、床衝撃音上は拘束端として扱うことができそうである。本試験体では、大梁の約2/3程度の端部上昇量となっている
- 5) 軽量床衝撃音測定結果では、他現場で測定された標準ボイド型枠での測定例に比べ、本試験体では、1000Hz帯域～2000Hz帯域でのレベルの上昇が抑



写真-2 測定室の状況

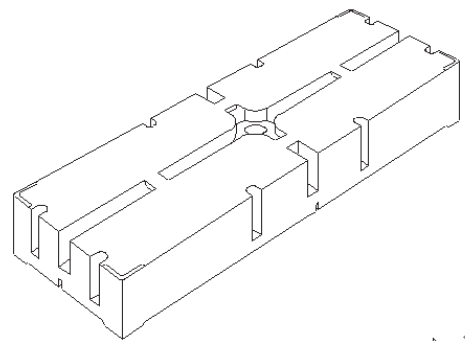


図-14 ボイド型枠概念図

制されている

今後は、本試験体を用いて、一方向版大型スラブの床衝撃音予測手法を検討するとともに、床衝撃音に対して影響を与える乾式二重床や天井仕上げ、室内内装仕上げ（外壁側の下地）などの要素に対する実験も行う予定である。

なお、本試験体を製作するに当たり、油化三昌建材株式会社、日本カイザー株式会社に協力していただいた。記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 河野ほか：再生コンクリートの実大施工実験，奥村組技術研究年報No. 31, 2005. 8
- 2) 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. 5
- 3) 日本工業規格 A 1418-1:2000：建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法—第1部：標準軽量衝撃源による方法
- 4) 藪下ほか：ハーフPCaボイドスラブの床衝撃音に関する研究(その6 種々のボイド型枠形状による薄肉部共振現象の改善(2))，日本建築学会大会講演梗概集，2001. 9