

球状中空部を有するボイドスラブの床衝撃音遮断性能に関する検討 — 軽量床衝撃音遮断性能について —

星野 昭雄 * 寺坂 美紀 *
村田 義行 * 小田 康弘 *

要 旨

ボイドスラブは軽量化のために中空部を設けたスラブであり、中空部のない同じ厚さのスラブと比較すると、軽量床衝撃音の遮断性能において500Hzから4000Hzの中高音域で床衝撃音レベルが高くなる傾向を有する。床衝撃音遮断性能に関するこれまでの報告事例は中空部を円筒形や矩形としたスラブに対するものであり、筆者の知る限り、球状中空部を有するスラブに対する報告例はない。

本論では、球状中空部を有するボイドスラブの床衝撃音遮断性能に関して、実物大サイズの部分模型に対して行なった音響放射特性の測定結果を報告する。試験体は中空部の有無および中空部形状の影響を検討するために、球状中空部を設けたボイドスラブの他に、中空部のない中実スラブと箱型中空部を設けた箱型ボイドスラブとした。結果として、球状中空部を有するボイドスラブは、中空率を大きくした場合にも良好な床衝撃音遮断性能を確保することができることを知見として得た。

1. はじめに

近年、「建築基準法：住宅の品質確保の促進等に関する法律」に基づく住宅性能表示制度の施行など、室内空間の音環境性能はより重要視され、中でも床衝撃音に関して、その遮断性能や予測精度、測定方法などに対する様々な検討が行なわれている。そのような中、集合住宅を中心にスラブの軽量化や大型化を目的に中空部を有するボイドスラブが広く適用されている。在来スラブと比較しボイドスラブは中高音域で軽量床衝撃音遮断性能が低下することが指摘されているが、これらはボイドが矩形状や円筒状のものに対して得られた知見である。また、遮断性能の向上を目的に、矩形状のボイドを小割化するというボイド形状による特性改善の検討¹⁾²⁾もなされているが、小割化に伴う施工手間の増加や中空率の減少が推測される。本研究の目的は、球状中空部を有するボイドスラブの床衝撃音遮断性能を実験的検討から明らかにし、予測・設計手法などの技術整備を図ることにある。本論では、基礎的な検討として実物大サイズの部分模型に対して行なった音響放射特性の測定結果を報告する。なお、本実験の特徴として、橋本らが開発した離散的数値計算法による測定法³⁾を適用している。本方法は、対象物の振動測定結果と放射インピーダンスの理論値を併用するハイブリッドな音響放射量測定法で、従来の方法と異なり、音の測定を行わず振動の測定だけで音響放射特性を求めるため、音響測定環境とは無関係に精度の良い結果が得られる。また、本方法は現場測定や実験研究における測定の自由度の向上や試験体、試験装置の簡易化にも有効である。

2. B.V.S. の概要

球状中空部を有するボイドスラブ（以下B.V.S. と呼称）は、欧州で開発されたものであり、主に次のような特徴がある。概念図を図-1に、ボイド設置状況を写真-1に示す。

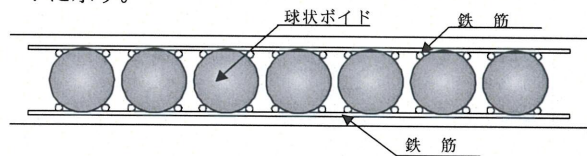


図-1 B.V.S. の概念図

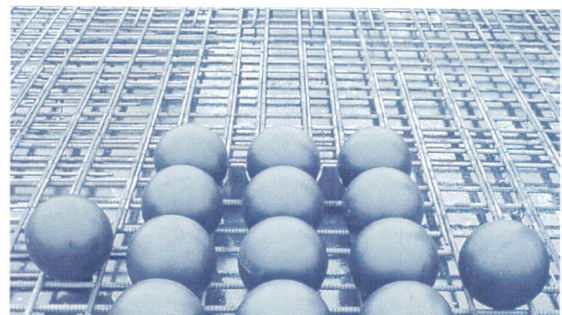


写真-1 B.V.S. のボイド設置状況

B.V.S. の主な特徴

- 1) 球状ボイドを上下の鉄筋で拘束し、ボイドを所定の位置に確保するため、水平方向拘束材などの施工手間が不要である。
- 2) ボイドが球状であるため、高剛性、かつ異方性の極めて小さなスラブが構築でき、設計上の取扱いが容易である。

* 技術研究所

3. 実験概要

3.1 試験体概要

試験体の各諸元を表-1、概要を図-2に示す。いずれも、試験体の大きさは平面寸法1600mm×1600mm、厚さ250mmである。S1試験体は中空部なしの中実スラブである。S2は190×190×150mmの箱型中空部（発泡スチロール製）を有する箱型ポイドスラブであり、ポイド間隔は300mm、ポイドのかぶり厚さは50mmである。

また、S3、S4は直径180mmの球状中空部（中空の高密度ポリエチレン製）を有するB.V.S.であり、ポイドのかぶり厚さは35mm、ポイド間隔はそれぞれ240mmと200mmである。中実スラブに対する中空率に着目すると、S3の中空率は21.2%であり、S2の中空率21.5%とほぼ同程度、S4のそれは30.5%とS2、S3の約1.5倍となっている。なお、表中上段は設計値、下段の括弧つき数値は実測値である。

表-1 試験体の各諸元

		中実スラブ S1	箱型ポイドスラブ S2	B.V.S. @240 S3	B.V.S. @200 S4
設計値	1) 中空率	—	21.5%	21.2%	30.5%
	2) スラブ厚さ (mm)	250	250	250	250
	3) 等価剛性スラブ厚 (mm)	—	242.9	244.4	241.8
	4) 重量 (kN)	14.77	12.16	12.42	11.70
	5) ポイドかぶり厚 (mm) 上 ポイドかぶり厚 (mm) 下	— —	50 50	35 35	35 35
実測値	2) スラブ厚さ (mm)	(248.9)	(248.8)	(248.5)	(249.7)
	3) 等価剛性スラブ厚 (mm)	—	241.5	242.2	239
	4) 重量 (kN)	(14.71)	(12.17)	(12.50)	(11.73)
	5) ポイドかぶり厚 (mm) 上 ポイドかぶり厚 (mm) 下	— —	(53.0) (45.8)	(23.5) (45.0)	(18.4) (51.3)

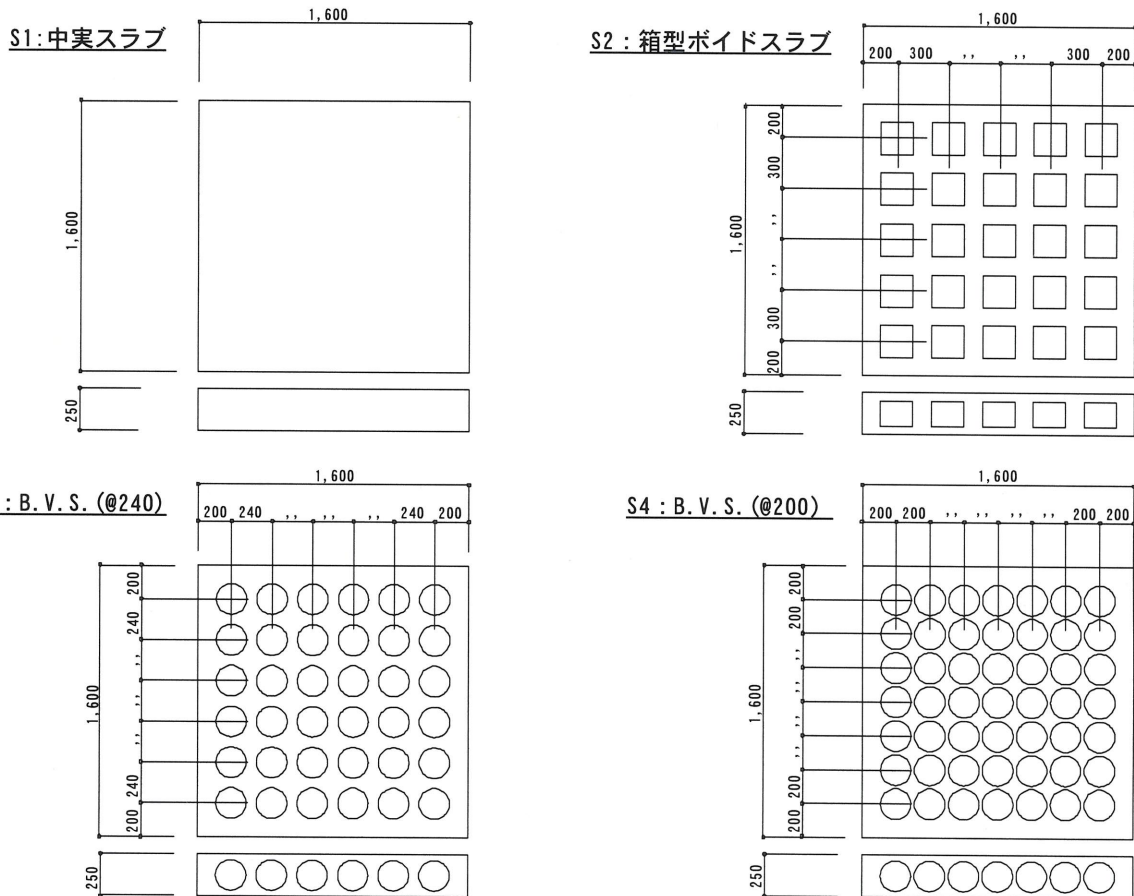


図-2 試験体の概要図

3. 2 試験装置概要

試験体は写真-2に示すように、鉄骨支柱上に防振ゴムを介して4点支持とした。防振ゴムは外部振動伝播の低減を意図して設置したものである。なお、各試験体の1方向の両端部には補強用のアングルを設置している。詳細図を図-3に示す。

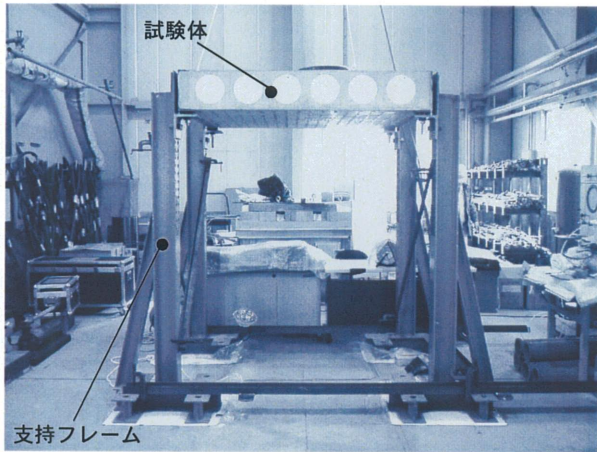


写真-2 試験体支持状況

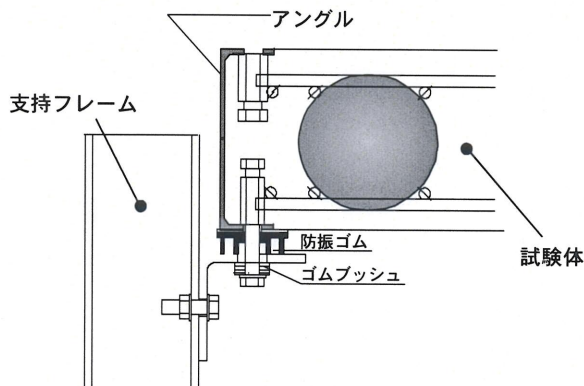
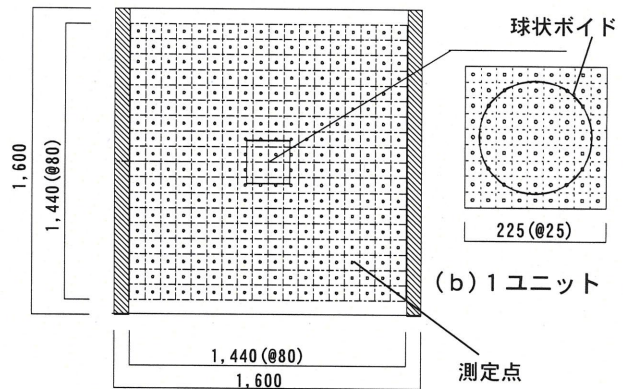


図-3 支持点部詳細図

また、試験体の加振は軽量衝撃源（タッピングマシン：リオンFI-01）にて行なった。加振条件としては、仕上げによる影響を検討する目的で、スラブ素面上とカーペット敷上の2通りとした。カーペットは4.2mm厚のニードルパンチカーペット（ホリパレ100%）を用いた。

3. 3 測定内容および測定方法

本実験では、離散的数値計算法による測定法を適用しており、音の測定を行わず振動の測定だけで音響放射特性（音響放射率、音響放射パワー）を求める方法を用いた。軽量床衝撃音測定に先立ち、バングマシンのタイヤ部分を用いた衝撃加振により固有振動数の測定を行った。軽量床衝撃音測定では、スラブ中央部をタッピングマシンで加振し、振動加速度を測定した。



(a) 試験体全体

図-4 試験体の振動測定点

本試験体における振動測定点を図-4に示す。(a)に示す試験体全体における測定間隔は80mmとし、測定点数は $18 \times 18 = 324$ 点とした。振動測定間隔を80mmとしたのは、B.V.S.のポイド部のかぶり厚さ35mmに関する離散的数値計算法の必要分割間隔309mm（コインシデンス周波数の半波長⁴⁾）と、2KHzの曲げ振動波長の1/4波長80mmの小さいほうを採用したことによる。また、(b)に示すポイド部1ユニットにおける測定間隔は25mmとし、測定点数は $9 \times 9 = 81$ 点とした。測定系統図を図-5に示す。

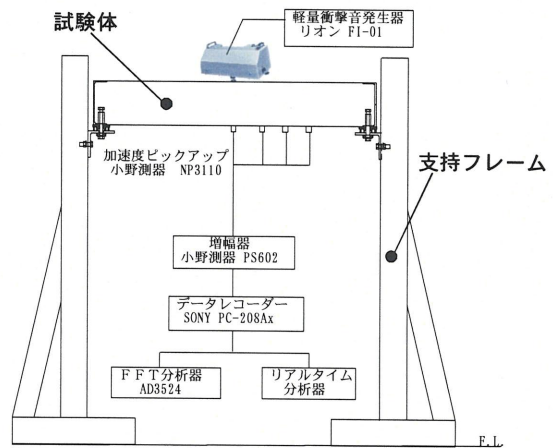


図-5 測定機器および測定系統図

振動の測定は、1回の計測につき7chの加速度ピックアップ（1chは測定面中央固定点、他は移動点）により行なった。音響放射率はFFT分析器により固定点を基準とした各移動点の伝達関数を算出し、その結果から離散的数値計算法を用いて算出した。また、リアルタイム分析器による1/3オクターブバンド分析から、試験体の板面平均振動加速度レベルを算出し、これらの結果より音響放射パワーレベルを算出した。これらの方法に関しては、音響放射測定法としての有用性、および従来に比較してより高い精度で測定が可能であることが確認されている^{5), 6)}。

4. 測定結果

4. 1 固有振動数測定結果

固有振動数測定結果は、4試験体とも340~345Hz程度の値を示した。これらの値は、4点単純支持板における計算上の固有振動数(約145Hz)より高い値を示しているが、これは、試験体の一方向の両端部に設けた補強用アングルの影響で、図-6に示すように(1, 3)モードの固有モード形が出現しているためである。これは、すべての試験体で同じであるため相対的な剛性の比較は可能である。

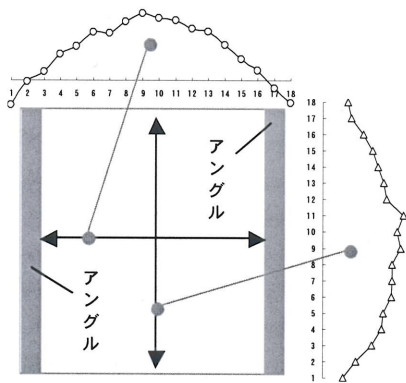


図-6 試験体のモーダル分析結果 (S1:345.6Hz)

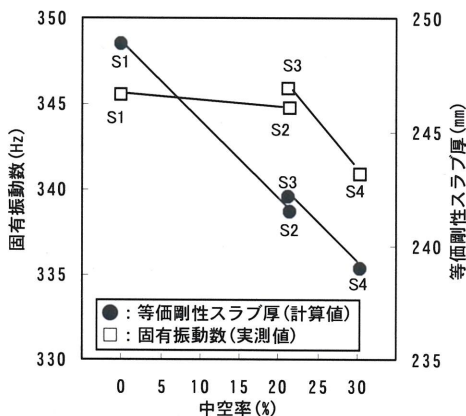


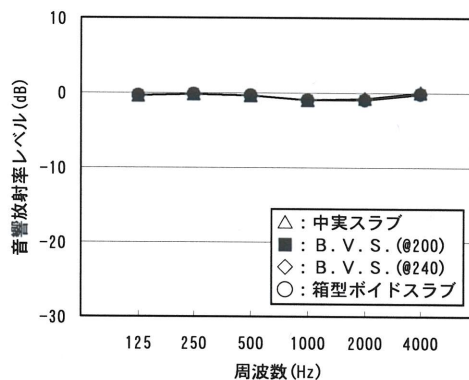
図-7 中空率からみた固有振動数と等価剛性スラブ厚

固有振動数の測定結果について、横軸に中空率をとり比較したものを図-7に示す。図には計算上の等価剛性スラブ厚の比較も併せて示している。S4: B.V.S. (@200)では、中空率は30.5%であるが、S1: 中実スラブに対する等価剛性スラブ厚の減少量は4.0%、固有振動数での減少量は1.3%であり、重量床衝撃音などに関して有利な構造であることが分かる。

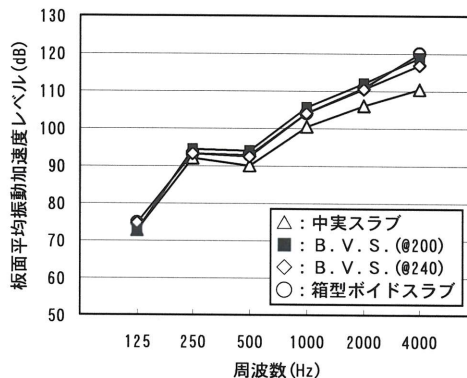
4. 2 音響放射パワーレベル測定結果

スラブ素面加振での軽量床衝撃音に関する測定結果を図-8 (a) ~ (c) に示す。なお1/3オクターブバンドレベル分析結果を1/1オクターブバンドレベルに変換し

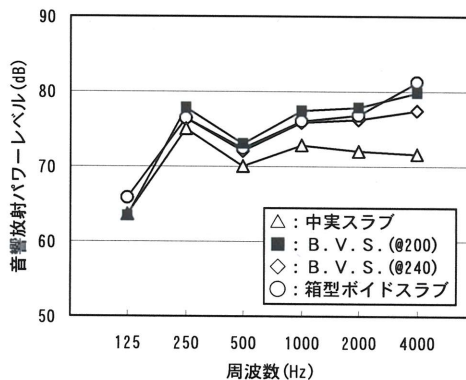
ている。4試験体とも音響放射率レベルの値に殆ど差がなく、125Hz以上の周波数でほぼ0 dBとなっている。そのため、板面平均振動加速度レベルの差が音響放射パワーレベルの差となり、中実スラブとポイドスラブ3体の間に、中高音域で遮音等級として1ランク程度の差が出ている。各ポイドスラブの比較では、S2: 箱形ポイドスラブとS3: B.V.S. (@240)とがほぼ同等の結果となっており、S4: B.V.S. (@200)はそれらより平均で2~3 dB大きな値となっている。S4: B.V.S. (@200)は、他と較べて中空率が1.5倍近く大きいスラブであるが、軽量床衝撃音性能の低下量は1ランク未満にとどまっている。



(a) 音響放射率レベル

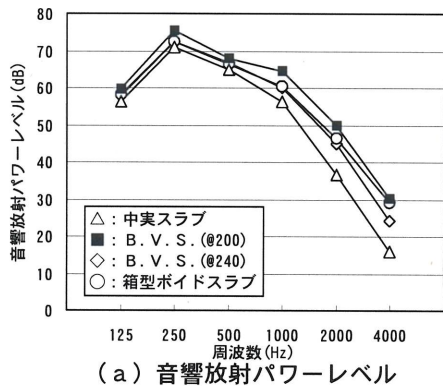


(b) 板面平均振動加速度レベル

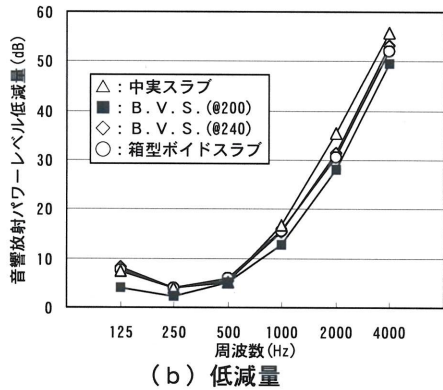


(c) 音響放射パワーレベル

図-8 軽量衝撃源による測定結果 (試験体全体)



(a) 音響放射パワーレベル

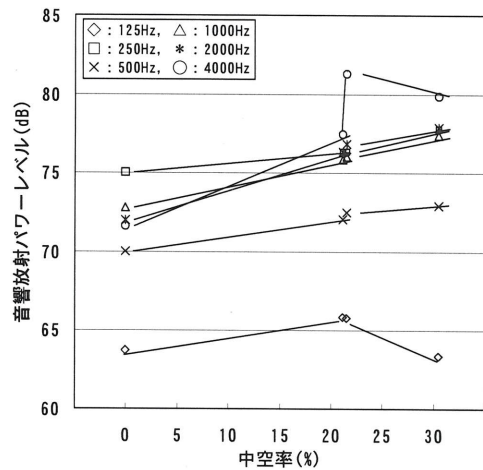


(b) 低減量

(カーペット敷上加振, 試験体全体)

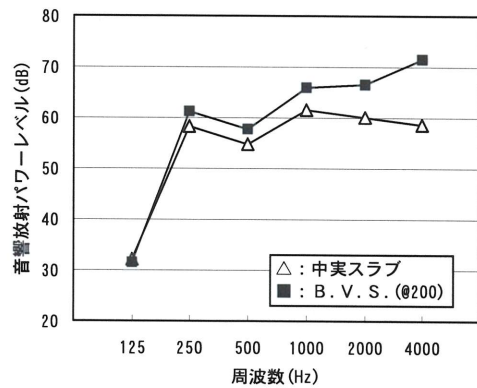
図-9 音響放射パワーレベル測定結果

図-9(a)は、カーペット敷上加振での音響放射パワーレベルの比較結果、(b)はスラブ素面上に対する低減量の比較結果である。各試験体の音響放射パワーレベルの大小関係はスラブ素面上の場合の大小関係と変わらない。しかし、中実スラブとS2、S3との差、およびS2、S3とS4との差は、図(b)の低減量の差からも判読できるように、それぞれスラブ素面上の場合より若干大きくなっている。その差異の理由は不明であり、今後の検討課題とする。図-10は中空率を横軸にとり、各試験体の音響放射パワーレベルの比較結果を表したものであり、周波数帯域ごとに示している。125Hzと4kHzを除き、中空率と音響放射パワーレベルの関係は、ほぼ直線的な傾向を示しており、軽量床衝撃音レベルは概ね中空率に比例していることが分かる。図-11は、S4:B.V.S.(@200)のポイド部の1ユニット(225mm×225mm)と、同条件のS1:中実スラブの音響放射パワーレベルの比較結果である。また、図-12は、この結果を中実スラブを基準とした相対レベル差で表したものであり、試験体全体での相対レベル差も併記した。ポイド部1ユニットの相対レベル差と試験体全体の相対レベル差はほぼ一致しており、軽量床衝撃音の性能は、この1ユニットでほぼ決定されていることが分かる。したがって、曲げ剛性や等価剛性スラブ



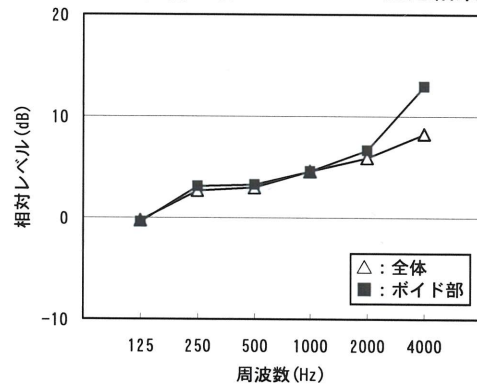
(スラブ素面上加振, 試験体全体)

図-10 中空率に対する音響放射パワーレベルの変化



(スラブ素面上加振, ポイド部1ユニット)

図-11 音響放射パワーレベル測定結果



(S4:B.V.S.とS1:中実スラブとの相対レベル差)

図-12 ポイド部と試験体全体の比較

厚などをこのユニットについて検討すれば、十分に全体の性能を推定することが可能であることを示している。なお、ポイド部1ユニットにおける4kHzの音響放射パワーレベルの増加はポイド局所の増幅特性が反映されたものと推測されるが、仕上げを施すことでこの影響は相殺されるものと考えられる。

5. まとめ

球状中空部を有するポイドスラブの床衝撃音遮音性能について、実大寸法の部分模型により実験検討し、以下の知見を得た。

1) スラブ素面加振において、同厚の中実スラブに対するB.V.S.の性能低下は、250Hz～4000Hzを対象とした場合ポイド設置間隔240mm(中空率20.2%)で平均3dB、200mm(中空率30.5%)で約5dB程度であり、遮音等級として約1ランク程度である。

2) スラブ厚250mmのB.V.S.(ポイド間隔200mm)は同重量の中実スラブに換算すると約175mm厚である。中実スラブ250mm厚と175mm厚の軽量床衝撃音レベルの差も約1ランク程度と考えられ、軽量床衝撃音遮断性能に関しては同重量の中実スラブとほぼ同程度である。

上記1)2)から、特に設置間隔200mmとしたものは、中空率の大きさに較べて床衝撃音遮断性能としては有利な性能が得られることが分かった。

3) ポイド部の1ユニットの評価により全体の性能を推定する妥当性を確認できた。

本論で報告した実験検討はあくまで予備的な実験であるため、今後は実物大での床衝撃音遮断性能等を実験検証して行く予定である。

謝 辞

本研究に際し、ご指導頂きました八戸工業大学建築工学科 橋本典久教授に深く感謝いたします。また、実験、分析に多大なるご協力を頂きました橋本研究室 大学院生の塩越智之氏、下村喜俊氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 呉在應、藪下満、堀内秀樹、金永植：ハーフP C aポイドスラブの床衝撃音に検する研究(その4 種々のポイド型枠形状による薄肉部共振現象の改善)、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1、pp.247-248、2000.
- 2) 安岡博人、赤尾伸一、岩本毅：中空スラブの遮音性状について(矩形ポイドスラブにおけるポイド寸法や仕上げの床衝撃音に関する特性)、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1、pp.245-246、2000.
- 3) 橋本典久、他：離散的数値計算法による各種振動板の音響放射特性の検討、日本建築学会計画系論文報告集、第502号、pp.9-14、1997.
- 4) 橋本典久、他：離散的数値計算法による音響放射率測定法の実験検討、日本建築学会計画系論文報告集、第516号、pp.9-13、1999.
- 5) 佐藤亮二、橋本典久：音響放射率測定法の実験検討 日本音響学会講演論文集、pp.645-646、2000.3.
- 6) 橋本典久、佐藤亮二：ピアノ演奏時のステージ床の振動・音響放射特性の測定、コンサートホール・ステージ床の音響特性に関する研究その1 日本建築学会計画系論文報告集、第537号、pp.1-6、2000.