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

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE FLOOR IMPACT SOUND INSULATION PERFORMANCE OF BALL-VOID SLAB

星野昭雄 — *1 寺坂美紀 — *1
橋本典久 — *2 塩越智之 — *3
下村喜俊 — *3

Akio HOSHINO — *1 Miki TERASAKA — *1
Norihsa HASHIMOTO — *2 Tomoyuki SHIOKOSHI — *3
Nobutoshi SHIMOMURA — *3

キーワード：
ボイドスラブ, 床衝撃音, 離散的数値計算法

Keywords:
Void slab, Floor impact sound, Discrete calculation method

The ball-void slab (B.V.S.) is a slab with the spherical void. Vibration measurements with the discrete calculation method on the floor impact sound insulation performance of ball-void slab were carried out. Four specimens of the full-scale section model were measured. One specimen was the ordinary solid slab and the other three specimens were void slab. The void was used rectangular type (one specimen) and sphere type (two specimens of 200mm and 240mm in void pitch). Through this study, it has been revealed that the ball-void slab has advantageous features on the floor impact sound insulation performance with increased void ratio of the slab.

1. はじめに

近年、品確法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、床衝撃音に関する遮断性能や予測精度、測定方法などに対して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。ボイドスラブにおいても床衝撃音遮断性能の向上を目的に、ボイド形状による改善検討などがなされているが、既往の検討の多くはボイド形状が矩形、円筒状のものに対してであり、球状のボイドに対する検討報告は希少であると思われる。本研究は、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ついて実験的検討を行なったものであり、本論では、実大スラブ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離散的数値計算法による測定法を適用している。本法は、測定値と計算値を併用するハイブリッドな音響放射量（音響放射率、音響放射パワー）測定法¹⁾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、音響測定環境に無関係に精度の良い結果が得られる。また、本手法は現場測定や実験研究における測定の自由度や試験体、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。

*1 五洋建設技術研究所
(〒329-2746 栃木県那須郡那須野町四区町1534-1)

*2 八戸工業大学建築工学科 教授・工博

*3 八戸工業大学大学院 大学院生

*1 Institute of Technology, Penta-Ocean Construction Co., Ltd.

*2 Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Hachinohe Institute of Technology, Dr. Eng.

*3 Graduate Student, Hachinohe Institute of Technology

表1 試験体の各諸元

	中実スラブ S1	箱型ボイドスラブ S2	B. V. S. Ø240 S3	B. V. S. Ø200 S4
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) ボイドかぶり厚 (mm) 上	—	50	35	35
ボイドかぶり厚 (mm) 下	—	50	35	35
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)' ボイドかぶり厚 (mm) 上	—	(53.0)	(23.5)	(18.4)
ボイドかぶり厚 (mm) 下	—	(45.8)	(45.0)	(51.3)

図2 試験体の概要図

3. 実験概要

3.1 試験体概要

試験体の各諸元を表1、概要図を図2に示す。S1は中空部なしの中実スラブである。S2は190×190×150mmの矩形ボイドを有する箱型ボイドスラブであり、ボイドピッチはØ300mmである。S3、S4は直径180mmの球状ボイドを有するB. V. S. であり、ボイドピッチは、それぞれ240mmと200mmである。いずれも、試験体の大きさは平面寸法1600mm×1600mm、厚さ250mm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。

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。

試験体の加振は軽量衝撃源（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（ホリブレン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。

写真2 試験体支持状況

図3 支持点部詳細図

軽量床衝撃音測定に先立ち、バングマシー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。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。振動測定間隔は、B. V. S. のボ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)²⁾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。また、(b)に示す、ボイド部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。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)により試験体の振動の同時測定した。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音響放射率を算出した。また、リアルタイム分析器で1/1オクターブバンド分析を行い、試験体の振動加速度レベルを算出した。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^{3), 4)}。

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。4点単純支持板における計算上の固有振動数より高い値を示しているが、これは、図3に示した試験体の一方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。固有振動数の測定結果について、中空率を基準に比較したものを図7に示す。図には計算上の等価板厚の比較も併せて示している。S4: B. V. S. (Ø200)では、中空率は30.5%であるが、S1: 中実スラブに対する等価板厚の減少量は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。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0dB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っている。音響放射パワーレベルの結果として、中実スラブとボイドスラブ3体の間に、中高音域で1ランク程度の差が出ている。各ボイドスラブの比較では、S2: 箱形ボイドスラブとS3: B. V. S. (Ø240)とがほぼ同等の結果となっており、S4: B. V. S. (Ø200)はそれらより平均で2~3dB大きな値となっている。S4: B. V. S. (Ø200)は、他と較べて中空率が10%近く大きくなっているが、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。

図9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である。各試験体における大小関係は上記の傾向と変わらないが、中実スラブとS2、S3との差、およびS2、S3とS4との差は、それぞれスラブ素面の場合より若干大きくなっている。その差異の理由は

図4 試験体の振動測定点

図5 測定機器および測定系統図

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板厚

(a) 板面平均振動加速度レベル

(b) 音響放射率レベル

(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(スラブ素面上加振, 試験体全体)

(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

(スラブ素面上加振, 試験体全体)

図10 中空率からみた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

不明であり、今後の検討課題とする。図10は、中空率を基準に各試験体の比較結果を表したものであり、周波数ごとに示している。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が概ね中空率の値に対応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、既に示した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が、この1ユニットでほぼ決定されていることが分かる。同時に本測定法の精度が高さが分かる。したがって、曲げ剛性や等価板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、4KHzはポイド局所の増幅特性が反映されたものであるが、仕上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を、実寸法の部分模型により実験検討した。その結果、ポイド部の影響による性能低下は中実スラブに対して1ランク程度であり、特にB.V.S.のポイド設置間隔200mmとしたものは、中空率の大きさに較べて有利な性能が得られることが分かった。また、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も確認できた。

(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

本研究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討して行く予定である。

参考文献

- 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、pp9-14、1997
- 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、pp9-13、1999
- 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、pp645-646、2000.3
- 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、pp1-6、2000

[2001年4月20日原稿受理 2001年7月27日採用決定]