乾式二重床構造の断面仕様と端部空気抜きが 床衝撃音レベル低減量に与える影響

INFLUENCE OF SECTION SPECIFICATIONS AND VENTILATOR OF FLOATING FLOOR ON REDUCTION OF TRANSMITTED FLOOR IMPACT SOUND LEVEL

平 光 厚 雄*, 井 上 勝 夫**
Atsuo HIRAMITSU and Katsuo INOUE

The purpose of this study is to clarify the influence of section specifications and ventilator on the reduction of transmitted heavy-weight floor impact sound of the floating floor. As results, the floor impact sound pressure level decrease might become large in the case with not installing the ventilator. The frequency characteristics of the sound pressure level in the air layer are changed by the presence of the ventilator. Moreover, it was clarified to have to consider both the impact force from supporting legs and a sound pressure from the air layer.

Keywords : *Reduction of Transmitted Floor impact Sound, Heavy-weighted Floor Impact Sound, Floating floor, Ventilator*

床衝撃音レベル低減量, 重量床衝撃音, 乾式二重床構造, 空気抜き

1. はじめに

集合住宅におけるクレームやトラブル等の相談事例あるいは消費者が要求する性能は、遮音性能に関連する事項が多く、その内、重量床衝撃音に関する内容が大半となっている^{1),2)}。集合住宅の床仕上げ構造として、乾式二重床構造が採用される例が多くなってきているが、コンクリートスラブに乾式二重床構造を設置すると、標準重量衝撃源による床衝撃音遮断性能（以下、重量床衝撃音遮断性能）はコンクリート素面時と比較すると、同等あるいは低下してしまうのが一般的である。乾式二重床構造の床衝撃音レベル低減量に関する研究は、高倉ら³⁾は性能を変化させる要因について検討を行い、床端部の隙間を密閉状態にして、空気抜きを無くした場合には、63Hz帯域のL数で1ランク以上の性能低下があることを示している。さらには、古賀ら⁴⁾は空気抜きを設けることで、空気パネの効果が減少することを確認している。また豊田ら⁵⁾は空気抜きの効果について、数値計算により理論的検討を行っている。これらの研究では、乾式二重床構造の端部に空気抜きを設けることで、重量床衝撃音遮断性能が向上できることを示している。

平成12年に施行された住宅の品質確保の促進等に関する法律における住宅性能表示制度では、住宅の性能を表示する共通のルール

として、日本住宅性能表示基準⁶⁾が制定されている。本基準の評価項目として「音環境に関すること」があるが、表示は必須項目でなく選択項目となっており、実際に性能評価を受ける集合住宅では、ほとんど選択されていない⁷⁾。これは、居室の室面積の増加や床仕上げ構造として乾式二重床構造を採用する例が多くなるなど、床構造や仕様が制定当時から大きく変化し、現在の評価方法基準では、建築設計時の評価が難しくなっていることも普及を妨げている理由の一つと考えられる。そこで我々は、平成22年度建築基準整備促進事業において、評価方法基準の拡充に関する検討として、乾式二重床構造の床衝撃音レベル低減量に関する仕様と性能の対応性について実験的検証を実施した。既報⁸⁾では、乾式二重床構造の上部面材や防振ゴムなどの床断面仕様を変更した時の床衝撃音レベル低減量変化等の検討を行った。その結果、重量床衝撃音遮断性能を低下させない乾式二重床構造の断面仕様例を示したが、乾式二重床構造の端部の空気抜きが無い方が、ある場合に比べて性能が向上する仕様があることが分かった。

本報では、既報⁸⁾で検討を行った試験体に対し、重量床衝撃音の発生系の観点から、標準重量衝撃源による衝撃加振時の上部面材の振動、支持脚からの伝達加振力、空気層内部の音圧、コンクリート

* 独立行政法人建築研究所 主任研究員・修士(工学)

** 日本大学理工学部建築学科 教授・工博

Senior Research Manager, Building Research Institute, M. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

スラブの振動等の物理量を測定し、各物理量変化が床衝撃音レベル低減量に与える影響について検討を行った結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 実験室

測定は、JIS A 1440-2:2007 附属書 C に規定されている、壁式構造の鉄筋コンクリート造の実験室にて実施した。図 1 に実験室の平面図を示す。測定はスラブ厚 200mm の音源室 (2F) の試験体施工範囲の部分に試験体の乾式二重床構造を施工した。また受音室 (1F) 内は、ベッド、木製の吸音箱、ロックウールなどで JIS A 1440-2 に規定される範囲内に吸音処理を行った。

図 1 実験室平面図

2.2 試験体概要

試験体は、空気層 108mm、床仕上げ材としてフローリングを想定した合板 (12mm 厚) を共通とし、支持脚からの加振力の入力条件を同様にするために、支持脚の本数と設置位置についても同一とした。重量床衝撃音遮断性能に影響を与える要因を考慮して、上部面材の面密度、防振ゴムの種類、空気層内の吸音材の有無等を変化させた。試験体の一覧を表 1 に示す。なお、端部の空気抜きの状態の変化として、枠や壁との隙間 (5mm) を開放状態としたものと全周粘着テープによる密閉状態の 2 つのパターンをそれぞれの試験体で実施し、試験体は計 42 種類の床衝撃音レベル低減量の測定を実施した。また、施工誤差を少なくするために、試験体の施工者は同一人とした。

上部面材は、床仕上げ材の合板とベースパネルであるパーティクルボードとの間に、アスファルト系の制振シート、フレキシブルボ

ード、合板 (24mm 厚) などを挿入し、面密度を 21.0~82.5kg/m² まで変化させた。吸音材にはグラスウール (密度 16kg/m³, 50mm 厚, 袋入り) を使用した。支持脚下の防振ゴムについては、厚さ 21mm でゴム硬度 72.6 度 (設計硬度 70 度), 厚さ 33mm でゴム硬度 71.0~74.4 度 (設計硬度 70 度) および、厚さ 33mm でゴム硬度 52.4 度 (設計硬度 50 度) の 3 種類とした。なお、それぞれのゴム硬度は、試験体施工時に防振ゴム 5 個を抽出し、計測したゴム硬度の平均値を求めた。試験体端部の際根太については、防振した際根太 (防振際根太) を設置したもの (試験体 1~12) と乾式二重床構造の中央部で通常使用されている通常の支持脚を設置したもの (試験体 13~21) の 2 通りとした。

表 1 試験体一覧

試験体No.	上部面材の断面構成	上部面材の面密度	吸音材	防振ゴムのゴム硬度と形状
1	合板+パーティクルボード	21.0kg/m ²	無	72.6 (厚さ21mm)
2	↑	↑	GW	
3	合板+フレキシブルボード+制振シート+パーティクルボード	68.2kg/m ²	無	
4	↑	↑	無	
5	合板+制振シート+パーティクルボード	51.2kg/m ²	無	73.6 (厚さ33mm)
6	合板+フレキシブルボード+制振シート+パーティクルボード	68.2kg/m ²	無	
7	↑	↑	GW	
8	合板+制振シート+パーティクルボード	51.2kg/m ²	GW	
9	↑	↑	無	74.4 (厚さ33mm)
10	↑	↑	無	
11	合板+パーティクルボード	21.0kg/m ²	無	
12	↑	↑	GW	
13	合板+フレキシブルボード+制振シート+パーティクルボード	68.2kg/m ²	無	71.0(厚さ33mm) ※際根太なし
14	↑	↑	無	71.0(厚さ33mm) + (緩衝材) ※際根太なし
15	合板+制振シート+パーティクルボード	51.2kg/m ²	無	52.4(厚さ33mm) ※際根太なし
16	合板+パーティクルボード	21.0kg/m ²	無	
17	合板+フレキシブルボード+制振シート+パーティクルボード	68.2kg/m ²	無	
18	合板+制振シート+パーティクルボード	51.2kg/m ²	無	
19	合板+パーティクルボード	21.0kg/m ²	無	
20	合板+制振シート+合板24mm×2枚+パーティクルボード	82.5kg/m ²	無	
21	合板+合板24mm×2枚+パーティクルボード	51.2kg/m ²	無	

2.3 測定概要

施工範囲の対角線を四等分した 5 点 (S1~S5) を標準重量衝撃源により衝撃加振し、受音室の床衝撃音レベル、上部面材 (パーティクルボードから床表面までの面材) の振動速度レベル、支持脚からの伝達加振力、空気層内部の音圧レベル、コンクリートスラブの振動速度レベルの各物理量について測定を行った。図 2 に各物理量の測定点を示す。なお本報では、標準重量衝撃源については、JIS A 1418-2:2000 に規定されているタイヤ衝撃源 (RION(株)製 FI-02) の結果について述べる。

受音室内に高さをランダム (0.7~2.0m) に設置し、多チャンネル分析器 (RION(株)製 SA-01) を用い床衝撃音レベルの測定を行った。床衝撃音レベル低減量の算出は、素面時の床衝撃音レベルから試験体施工時の床衝撃音レベルを差し引いて求めた。

上部面材の振動速度応答は、上部面材下面の 4 点に振動加速度ピックアップを設置して測定を行った。振動速度レベルは式(1)により算出し、各測定点の時間重み特性 F の peak 値を求め、4 点の測定点の結果をエネルギー平均して求めた。

$$L_{vel} = 10 \log_{10} \frac{Vel^2(t)}{Vel_0^2} \tag{1}$$

ただし、 L_{vel} : 振動速度レベル (dB)
 $Vel(t)$: 振動速度測定値 (m/s)

Vel_0 : 基準値 ($2 \times 10^{-8} \text{m/s}$)

支持脚からの伝達加振力は、支持脚下 12 点にフォースセンサを設置し、加振力を測定した。各測定点で測定された加振力を時系列上で加算し、式(2)により支持脚からの伝達加振力レベルを算出した。

$$L_F = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T_0} \int_1^2 \frac{F^2(t)}{F_0^2} dt \right] \quad (2)$$

ただし、 L_F : 支持脚からの伝達加振力レベル (dB)

$F(t)$: 時系列上で加算した加振力 (N)

$t_2 \sim t_1$: 加振力の発生から収束するまでの時間 (s)

F_0 : 基準値 (1N)

T_0 : 基準時間 (1s)

空気層内部の音圧レベルは、乾式二重床構造下部の空気層内にサウンドレベルメータ (騒音計) のマイクロホンを設置し、騒音計によって時間重み特性 F の peak 値の音圧レベルを求め、9 点の測定点の結果をエネルギー平均して求めた。マイクロホンは、スラブ面や試験体に接しないよう様、ウインドスクリーンを取り付けた上で、軸を水平方向に向けて設置した。

コンクリートスラブ面の振動速度応答は、受音室の天井部分のスラブ下面 5 点に振動加速度ピックアップを設置して測定を行った。振動速度レベルは、上部面材の振動速度応答と同様に、式(1)により算出し、各測定点の時間重み特性 F の peak 値を求め、5 点の測定点の結果をエネルギー平均して求めた。

なお、各物理量は標準重量衝撃源により 10 回程度衝撃加振し、測定値の差が十分小さいことを確認した上で、各物理量はそこから加振 3 回分を平均して求めた。

図 2 各物理量の測定点位置図

3. 測定結果

3.1 床衝撃音レベル低減量

試験体端部の空気抜きの影響を検討するため、表 1 の試験体 21 体について、開放時の床衝撃音レベル低減量から密閉時の床衝撃音

レベル低減量を差し引いたもの (ΔL の差) を図 3 に示す。全周波帯域のレベル差が 0dB を上回る試験体が多く、端部を開放状態にして、空気抜きを設けた方が性能は高い傾向を示している。これは、端部を開放状態にすることにより、乾式二重床構造下部の空気層内の空気による音圧加振力が小さくなるためである。既往^{3),5)}等の結果と同様の傾向が示されているものの、今回測定を行った試験体では、空気抜きによる効果は、63Hz 帯域で約 5dB 程度と小さくなっていた。さらには、63Hz 帯域のレベル差が負の値、すなわち空気抜きを設けない方が性能の高い試験体があることがわかる。そこで、断面仕様を考慮し、試験体 No.1, 4, 17, 20 の 4 体を抽出し、加振点 5 点平均の床衝撃音レベル低減量と試験体中央の S3 加振時の床衝撃音レベル低減量の差が小さいことから、床衝撃音遮断性能を左右する代表点として、S3 をタイヤ衝撃源で衝撃加振した時の各物理量の検討を行った。検討対象とした試験体 4 体の断面図を図 4 に示す。

図 3 空気抜きの違いによる ΔL の差 (開放時-密閉時)

図 4 試験体断面図

図 5 に S3 加振時における床衝撃音レベル低減量 (ΔL_{S3}) の測定結果を示す。端部を開放状態とし、空気抜きを設けた時の結果をみると、試験体 No.1, 4, 17 と上部面材の面密度が大きくなるほど、性能が向上している。これは、乾式二重床構造をマスーバネ系と捉えれば、伝達損失が増加し、共振周波数が低下しているためと考えられる。しかしながら、上部面材の面密度が一番大きい試験体 No.20 については、63Hz 帯域での ΔL_{S3} は負の値を示している。試験体 No.20 については、マスーバネ系の伝達損失の増加以外に、性能低

下となる要因があると考えられる。

端部を密閉状態とし、空気抜きを設けない場合の結果をみると、試験体 No.1, 4, 17 の傾向は大きく変化していない。試験体 No.20 については、63Hz 帯域での ΔL_{S3} の値が一番大きくなり、乾式二重床構造を施工することによりコンクリート素面時より性能が向上していることがわかる。

そこで、空気抜きの影響をみるために、図 3 と同様に、開放時の床衝撃音レベル低減量から密閉時の床衝撃音レベル低減量を差し引いたもの (ΔL_{S3} の差) を図 6 に示す。63Hz 帯域に着目すると、試験体 No.1 では、空気抜きによる 3~4dB の性能向上の効果が確認でき、試験体 No.4 の試験体では、空気抜きによる性能向上が殆どないことがわかる。防振ゴムのゴム硬度が低い、試験体 No.17, 20 では、空気抜きを設けることで、それぞれ約 5dB、約 12dB の性能低下が認められる。

図 5 S3 加振時の床衝撃音レベル低減量 (ΔL_{S3}) の測定結果
(左：端部開放，右：端部密閉)

図 6 空気抜きの違いによる ΔL_{S3} の差 (開放時－密閉時)

3.2 上部面材の振動速度レベル

上部面材の振動速度レベル測定結果を図 7 に示す。この結果をみると、上部面材の面密度が大きい程、振動速度レベルは小さい値を示していることが分かる。また、端部の空気抜きの有無による影響は殆どみられないことが伺える。なお、試験体 No.20 の振動速度レベルは、空気抜きを無くした密閉状態の方が、16Hz, 31.5Hz 帯域において 2dB 程度増加し、63Hz 帯域において 1dB 程度低下している。このことから、試験体 No.20 の密閉状態では上部面材の共振周波数が低域にシフトしていると考えられる。

3.3 支持脚からの伝達加振力

支持脚からの伝達加振力測定結果を図 8 に示す。力の伝達系からみて、空気抜きの影響は殆ど無いことが考えられたが、確認のため、

図 7 上部面材の振動速度レベル測定結果
(左：端部開放，右：端部密閉)

図 8 支持脚からの伝達加振力測定結果

図 9 空気層内部の音圧レベル測定結果
(左：端部開放，右：端部密閉)

図 10 スラブ面の振動速度レベル測定結果
(左：端部開放，右：端部密閉)

試験体 No.17 について空気抜きの有無の差について測定を行った結果を左のグラフに示す。これをみると、空気抜きによる性能変化は殆どみられないことから、支持脚からの伝達加振力については、空気抜きの影響を受けないことが考えられる。右のグラフは、端部を開放状態としたときの結果について示している。上部面材の面密度が大きい程、伝達加振力は小さくなる傾向を示すものの、試験体 No.1 と 4 あるいは No.17 と 20 の差が小さくなっている。これは、防振ゴムのゴム硬度や形状の違いにより共振系が変化するため、支持脚からの伝達加振力に変化が生じたためである。

3.4 空気層内部の音圧レベル

空気層内部の音圧レベル測定結果を図 9 に示す。これらをみると、空気層内部の音圧レベルと上部面材の面密度の大きさの関係は少ないことが分かる。また、空気抜きの有無によって、特に低周波数領域で周波数特性が変化している。3.1 における、 ΔL_{S3} の差が 0dB 以下の値を示す試験体 No.4, 17, 20 では、端部を密閉状態とし、空気抜きを設けない方が、音圧レベルの周波数上のピークが低域にシフトしていることが伺える。 ΔL_{S3} の差が正の値を示す、すなわち空気抜きにより性能が向上している試験体 No.1 では、端部を密閉状態にすることにより、音圧レベルの周波数上のピークが 63Hz 帯域に現れていることが確認できる。また、スペクトル上においても試験体 No.1 では 50~60Hz 付近に、試験体 No.4, 17, 20 では 20~30Hz 付近に共振が確認されたことから、空気層の空気ばねの共振により、試験体 No.1 の性能低下を確認することができた。

3.5 スラブ面の振動速度レベル

スラブ面の振動速度レベル測定結果を図 10 に示す。空気抜きの有無により、周波数特性が変化していることが分かり、支持脚からの伝達加振力と空気層内部の音圧レベルの周波数特性を足し合わせたような傾向を示している。このことから、スラブ面の振動は、重量床衝撃音の発生系の伝達加振力や空気層による空気加振による影響があることが考えられる。

4. 考察

重量床衝撃音遮断性能に大きく影響を与える 63Hz 帯域の ΔL_{S3} ($\Delta L_{S3,63Hz}$) と 3.2~3.5 で得られた各物理量との関係を図 11~14 に示す。これらをみると、図 11 の上部面材の振動速度レベルと $\Delta L_{S3,63Hz}$ の関係では、端部が開放状態のときは関連性が殆ど無く、密閉状態の時は負の相関関係がある。支持脚からの伝達加振力と $\Delta L_{S3,63Hz}$ の関係では、負の相関関係が伺える。空気層内部の音圧レベルと $\Delta L_{S3,63Hz}$ の関係では、負の相関関係があるものの、相関性は低くなっている。また、図 14 のスラブ面の振動速度レベルと $\Delta L_{S3,63Hz}$ の関係では、負の高い相関関係がみられた。これは、床衝撃音レベ

図 11 $\Delta L_{S3,63Hz}$ と上部面材の振動速度レベルの関係

図 12 $\Delta L_{S3,63Hz}$ と支持脚からの伝達加振力の関係

図 13 $\Delta L_{S3,63Hz}$ と空気層内部の音圧レベルの関係

図 14 $\Delta L_{S3,63Hz}$ とスラブ面の振動速度レベルの関係

表 2 各物理量間の相関係数 (63Hz 帯域, 端部: 開放状態)

	$\Delta L_{S3,63Hz}$	面材振動	伝達加振力	内部音圧	スラブ振動
$\Delta L_{S3,63Hz}$	1				
面材振動	-0.411	1			
伝達加振力	-0.958	0.626	1		
内部音圧	-0.359	0.099	0.209	1	
スラブ振動	-0.983	0.483	0.943	0.498	1

表 3 各物理量間の相関係数 (63Hz 帯域, 端部: 密閉状態)

	$\Delta L_{S3,63Hz}$	面材振動	伝達加振力	内部音圧	スラブ振動
$\Delta L_{S3,63Hz}$	1				
面材振動	-0.820	1			
伝達加振力	-0.987	0.720	1		
内部音圧	-0.568	0.638	0.549	1	
スラブ振動	-0.946	0.867	0.921	0.802	1

ルは、天井面からの放射音の影響が大きいためである。スラブ面の振動速度レベルを小さくすると、天井面からの放射音が小さくなることから、重量床衝撃音遮断性能が向上できると考えられる。

それぞれの物理量の関係をみるために、63Hz 帯域における各物理量間の相関係数を算出した。端部が開放状態の時を表 2 に、端部が密閉状態の時を表 3 に示す。スラブ振動と相関が高い物理量は、支持脚からの伝達加振力であった（開放： $r=0.94$ ，密閉： $r=0.92$ ）。また、上部面材の振動と伝達加振力の相関も比較的高くなっている（開放： $r=0.63$ ，密閉： $r=0.72$ ）。これより、防振ゴムのゴム硬度などを小さくすることにより、支持脚からの伝達加振力を小さくする方法が重量床衝撃音遮断性能の向上に有効であるといえる。さらに、支持脚からの伝達加振力を小さくするためには、上部面材を制振するなどにより、上部面材の振動を小さくすることが有効であると考えられる。また端部が密閉状態の場合、スラブ振動と空気層内部音圧の相関は開放状態と比べ高い（ $r=0.80$ ）。よって、空気層内部の音圧を小さくすれば、空気層内の空気による音圧加振力が小さくなり、重量床衝撃音遮断性能が向上できると考えられる。

5. まとめ

乾式二重床構造の断面仕様の違いによる、標準重量衝撃源であるタイヤ衝撃源による床衝撃音レベル低減量の変化について系統的に測定を実施した。その結果、床衝撃音の発生系の観点から、空気層厚、支持脚位置、上部面材の材料等の条件を統一することにより、床衝撃音の発生系を詳細に検討し、以下の点を明らかにすることができた。

- ・上部面材の面密度の大きい乾式二重床構造では、空気抜きを設けない方が、床衝撃音レベル低減量が大きくなる場合がある。
- ・上部面材の振動速度レベルや支持脚からの伝達加振力は、空気抜きの有無によっても、殆ど差がみられない。
- ・空気層内部の音圧レベルは、空気抜きの有無により、特に低周波数領域の周波数特性が変化する。
- ・乾式二重床構造における床衝撃音の発生系として、支持脚からの伝達加振力と空気層の内部音圧による加振力の両方を考慮した検討が必要である。

謝辞

本研究は、平成 22 年度の建築基準整備促進事業による共同研究の補助を受けて実施した測定データを解析したものです。ここに記して、関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) (財)住宅リフォーム・紛争処理支援センター：相談統計年報 2008，2008
- 2) 阿部今日子，井上勝夫：音環境に関する集合住宅購入時の消費者要求と住宅供給者の説明，日本建築学会環境系論文集，第 59 号，pp. 9～16，2005. 9
- 3) 高倉史洋，大脇雅直，財満健史，宮崎浩司，山下恭弘：集合住宅における乾式二重床の重量床衝撃音レベル低減量に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第 524 号，pp. 1～8，1999. 10
- 4) 古賀貴士，田野正典，安藤啓：コンクリートスラブ上に設置された木質系二重床の重量床衝撃音改善量に対する空気ばねの影響に関する実験的研究，日本建築学会計画系論文集，第 546 号，pp. 9～14，2001. 8
- 5) 豊田政弘，高橋大次：防振支持脚と周辺空気抜きが二重床の遮音効果に及ぼす影響についての理論的考察，日本建築学会環境系論文集，第 600 号，pp. 7～12，2006. 2
- 6) 平成 18 年国土交通省告示第 1129 号，日本住宅性能表示基準，2006. 9. 25

- 7) 平光厚雄：基準規格関係の動向 住宅性能表示制度の動向，建築技術，第 613 号，pp. 161～164，2006. 3
- 8) 狩野桂佑，井上勝夫，富田隆太，平光厚雄，稲留康一，中澤真司：乾式二重床における重量床衝撃音の改善方法の検討 乾式二重床構造の床衝撃音遮断性能に関する実験的検討 その 3，日本建築学会大会学術講演梗概集 D1，pp. 215～216，2011

(2012 年 7 月 10 日原稿受理，2012 年 10 月 26 日採用決定)