床衝撃音遮断性能評価量の相関関係に関する実態把握

ACTUAL SITUATION OF CORRELATION ABOUT FLOOR IMPACT SOUND INSULATION RATING

鹿倉潤二 ——— * 1 井上勝夫 ——— * 2
天川恭一 ——— * 3 大川周一郎 ——— * 4
大川平一郎 ——— * 5

Junji SHIKAKURA ——— * 1 Katsuo INOUE ——— * 2
Kyouichi AMAKAWA ——— * 3 Shyuichirou OHKAWA — * 4
Heiichiro OHKAWA ——— * 5

キーワード：
床衝撃音, A 特性床衝撃音レベル, 単一数值評価量

Keywords:
Floor impact sound, A-weight floor impact sound level, Single-number quantity

Impact source be used in the rating of floor impact sound are the tapping machine and the tire. L grade is generally using single-number quantity. However, the ball was introduced for standard heavy weight impact source in JIS A 1418-2:2000, and single-number quantity by the A-weight floor impact sound level has been studied. In this report, we compared each single-number quantity. As a result, there is no correlation A-weight floor impact sound level using the boll and L grade using the tire.

1. はじめに

建築物の空間性能を表す色々な評価尺度・評価規準は、実空間に居住する居住者が感じる生活実感と対応し、その変化を明確に表すことのできるものでなければならない。子供の飛び跳ねに代表される衝撃時間が比較的長い重量床衝撃系騒音の場合、その性能測定法に標準重量衝撃源として衝撃力特性(1)(タイヤ)(以下、タイヤ¹と表記)が導入され、L 等級曲線による単一数值評価法(以下、L 等級評価)が定着している。これらの、測定および評価法は日本工業規格のみならず品確法や各種協会規準等にも導入され、広く浸透している。また、最近では同評価尺度・評価基準値と居住者の長期に亘る生活実感との対応性の高いことが改めて検証^{2,3}されるなど妥当性も示されている。

一方、2000 年の JIS A 1418 の改正に伴い、標準重量衝撃源として追加導入された衝撃力特性(2)(ボール)(以下、ボールと表記)を用いた A 特性床衝撃音レベル(以下、A 特性と表記)によって重量床衝撃音遮断性能を評価する方法も検討されている⁴。ボールはタイヤに比べ衝撃力がかなり小さく、ハンドリングも良いことから測定法や評価法が整い居住者反応との対応性が検証されれば、有用な標準重量衝撃源と位置づけられる。しかし、ボール加振時の A 特性評価を導入するとしても、今までタイヤで測定した膨大なデータとの関連性を検証し確立しておく必要がある。同様にボール加振時の A 特性の床衝撃音レベル予測計算方法の検証も設計上重要な要件であり、タイヤを用いた L 等級評価を基準とした性能表示制度や、金融公庫、デベロッパーの基準等への対応も無視することはできない。

これらの状況を考慮すると、図 1 に示すように今まで蓄積されたタイヤ加振時の 63~500Hz の重量床衝撃音データとボール加振時の

A 特性床衝撃音レベルとの互換性および相互の読み替え方法などの十分な検討・検証実験が必要と考えられる。

一方、衝撃源に関する研究状況をみると、山本⁵、大脇ら⁶、漆戸ら⁷は衝撃源の違いによる床衝撃音レベルの変化について検証し、タイヤ加振時の L 等級からボール加振時の L 等級への変換は、コンクリート構造裸床の場合は衝撃力レベル差を補正することで対応し、乾式二重床施工後の床構造の場合には 31.5、63Hz 帯域のみ相関が良いという結果を示し、乾式二重床の衝撃力に対する非線形性を指摘している。

また、中澤ら⁸、稲留ら⁹、田中ら¹⁰、漆戸ら¹¹は L 等級評価と A 特性評価の相関や、帯域別床衝撃音レベルをバンド合成して A 特性を算出する方法に関する検討を行っている。その結果、タイヤおよびボールのどちらの衝撃源においても騒音計の周波数重み特性 A を通して直接測定した値(以下、A 特性 AP 値)と、周波数重み特性 A を通して測定した 31.5~500Hz 帯域のバンド合成した値の相関が良いことを示している。また、A 特性 AP 値と L 数の相関に関しては、L 等級評価を 31.5Hz 帯域まで拡張することによって A 特性 AP 値と L 数の相関が良くなることを報告しているが、文献 8 および 9 における検討は同一スラブ内の 1 打撃点 1 受音点のデータが大半であり、スラブの種類変化が少なく居室の空間性能の対応を検証しているとは言い難い。特に受音室のモードの影響を強く受ける 63Hz 帯域を評価対象とするのであれば、多数の受音室の平均床衝撃音レベルで比較する必要がある。

そこで本報では、最近 10 年以内に竣工したできるだけ多くの集合住宅を対象として、タイヤ、ボールおよびタッピングマシンを用いた場合の L 等級評価と A 特性評価を比較し、それぞれの相関関係を

¹ ㈱栗本鐵工所
(〒108-0075 東京都港区港南 2-16-2)

² 日本大学理工学部 教授・工博

³ 野村不動産㈱

⁴ ㈱周音響計測

⁵ ㈱住環境総合研究所 工博

¹ KURIMOTO, Ltd.

² Prof., Dept. of Architecture, College of Science and Technology, NIHON Univ., Dr. Eng.

³ Nomura Real Estate Development Co., Ltd.

⁴ Shyu Sound Environment Research Inc.

⁵ Housing Environment Research Institute Inc., Dr. Eng.

空間性能として検討することとし、今後の測定法、評価法の検討に供することとした。

図 1 評価値の変更に関わる必要検討項目・流れ

2. 測定対象床構造及び測定方法

測定対象居室数を表 1 に示す。測定対象の床構造は RC 及び SRC 造のスラブで、厚さ 200mm～300mm、面積は概ね 20～100 m² の範囲 (50～100 m²:80%) である。衝撃源変化に対する加振点および測定点は、各室とも同一点で行なうこととし、測定は JIS A 1418-1、2 に準拠して行なった。衝撃源にはタイヤ、ボール、タッピングマシンを用い、測定は 5 点打撃 5 点受音を基本とした。

尚、表 1 の測定状況に示す中間とは、施工途中の居室での測定であり、音源側のスラブは裸床であるが、受音側は間仕切壁まで施工が完了した状態である。天井は設置されていない場合が殆どであり、受音室の開口部は石膏ボード等の仮設部材で塞いだ状態である。また、竣工時の床仕上げ構造は、設計目標値の L_{TL}-45 を満足できるものが選定され施工されている。そのため、物件ごとに床仕上げ材の仕様が異なるため、今回の検討では直張床、二重床、裸床の 3 分類のみで比較することとした。

表 1 測定物件数

測定状況	床仕上げ構造	測定数
竣工	直張床	137
	二重床	193
中間	裸床	153
合計		483

3. 各種衝撃源別の L 等級評価と A 特性評価の対応

ここでは、A 特性評価を利用する上での問題点を検討することとした。A 特性評価と L 等級評価の相関については文献 8 および 9 の検討以前にも、「建物の遮音性能基準と設計指針¹²⁾」で検証されてお

り、重量床衝撃音レベルに関しては A 特性の値が L 数よりも 2dB 大きくなる傾向で相関が良く、軽量床衝撃音レベルの場合はほぼ等しい値になることが示されている。しかし、当時の床構造と近年の床構造では傾向が異なる可能性もあるため、最近の測定データを用いて、それぞれの衝撃源に対する L 等級評価と A 特性評価の対応を検討することとした。ここで用いた A 特性評価の値は A 特性 AP 値であり、L 等級評価は L 数を用いることとした。

タイヤ加振時の結果を図 2 に、ボール加振時の結果を図 3 に、タッピングマシン加振時の結果を図 4 に示す。ここで、グラフ中でデータが重なる場合には、図中の凡例で示すようにデータ数に応じて大きさを変えて表すこととした。

図 2 に示すタイヤ加振時の場合は、傾きが緩やかであり L 等級評価に比べ A 特性評価は性能分解能が低くなる傾向にあることが分かる。しかし、図 3 および図 4 のボール加振時およびタッピングマシン加振時には両者とも決定係数が 0.8 以上で、傾きが 0.9 程度になっていることから、L 等級評価と A 特性評価はほぼ等しい結果になり、どちらの評価量でも同程度の性能変化を表すことができると言える。

図 2 L 数と A 特性の比較（タイヤ加振時：竣工・中間）

図 3 L 数と A 特性の比較（ボール加振時：竣工・中間）

図 4 L 数と A 特性の比較
(タッピングマシン加振時：竣工)

図 5 L 数と A 特性の比較
(タイヤ加振時：中間)

図 6 L 数と A 特性の比較
(タイヤ加振時：竣工)

タイヤの場合は、L 等級評価の向上のための対策（剛性・質量の増加、拘束性の増大など）によって 63Hz 帯域以下の床衝撃音レベルは顕著に低下するが、125Hz 以上ではそれ程低下はないと考えられる。そのため、接線法で評価する L 等級評価の場合には、L 数の値は低下するが、A 特性 AP 値は L 数程は低下しない。この傾向は図 5 および図 6 をみても明らかであり、特に中高周波数の減衰要素が少ない裸床の場合に顕著である。

そこで、裸床におけるタイヤ加振時の A 特性補正後の音圧レベル周波数特性を求めてみると図 7 のようになる。尚、ここでは図 5 で用いた A 特性の値を 47dB 未満、47dB 以上 52dB 未満、52dB 以上の 3 つに分割し、それぞれの帯域別平均値として示した。

図 7 を見ると 63Hz 帯域が主成分であり L 数は 63Hz で決定されるが、A 特性の値が小さくなった場合（47dB 未満）には、63～500Hz でほぼフラットな周波数特性となるため、A 特性評価値に対する 125Hz 帯域以上の成分の影響が大きくなることと分かる。

また、周波数帯域別のレベル変化（低下）状況を見ると、63Hz 帯域では 10dB、500Hz 帯域では 5dB 程度であり周波数が高くなるにつれて低下量が低くなる傾向があり、この変化が図 5 の低レベル範囲（性能の良い範囲）に表れているものと考えられる。しかし、裸床の場合は施工途中の中間検査であるため、低レベル範囲（性能の良い範囲）の 250Hz 帯域以上においては暗騒音の影響で床衝撃音レベルが小さくならなかった可能性も考えられるが、実測時の暗騒音レベルは床衝撃音レベルに比べ 10dB 以上小さいことを確認している。

図 7 A 特性の周波数特性（タイヤ加振時 裸床）

図 8 A 特性の周波数特性（ボール加振時 裸床）

表 2 衝撃力暴露レベル周波数特性 (dB ref・1N)

	31.5	63	125	250	500
タイヤ	47.0	40.0	22.0	11.5	5.5
ボール	39.0	31.0	23.0	16.0	11.5
差	-8.0	-9.0	+1.0	+4.5	+6.0

図 9 A 特性の主成分周波数帯域（タイヤ加振時）

図 10 A 特性の主成分周波数帯域（ボール加振時）

図 11 A 特性の主成分周波数帯域（タッピングマシン加振時）

次に、裸床におけるボール加振時の A 特性補正後の音圧レベル周波数特性を図 8 に示す。ボールの物性は低周波数域の衝撃力が小さく、衝撃力特性¹³としては 125～500Hz の成分がタイヤを上回る（表 2）。その結果、250Hz 帯域が A 特性および L 数を決定する主成分となり、低レベル範囲（性能の良い範囲）においても、図 3 に示すように両者の対応が良くなっているものと考えられる。このように、ボール加振時の場合は 250Hz 帯域付近（125～500Hz）の影響が A 特性 AP 値による性能を大きく左右してくることになる。

そこで、それぞれの衝撃源における A 特性の主成分となる周波数帯域を仕上げ構造ごとに求め図 9～図 11 に示す。図 9 に示すタイヤ加振時の場合は、直張床、二重床および裸床のいずれの場合も同様の傾向であり、63Hz 帯域が主成分になるものが 70～80%であった。一方ボール加振時の場合は、裸床の場合は 250Hz 帯域が主成分になったのが 90%以上であったが、直張床の場合は 125Hz、二重床の場合は 63Hz および 125Hz が主成分となる傾向となり、仕上げ構造により主成分となる周波数帯域が変化する。

また、タッピングマシン加振時の場合は、125Hz 帯域が主成分となる傾向で、特に直張床の場合には、ボール加振時およびタッピングマシン加振時いずれも 80%以上で 125Hz 帯域が主成分となり、ボール加振時の場合と対応が良い。

以上のように、L 等級評価と A 特性評価はタイヤ加振時の低レベル範囲（性能の良い範囲）で、中高周波数帯域の成分の影響で L 数に比べ A 特性の値の方が大きくなる傾向がある。また、タイヤ加振時は床仕上げ構造に関係なく 63Hz 帯域が主成分となるような評価をしているが、ボール加振時の場合は床仕上げ構造により主成分となる周波数帯域が異なる傾向となった。

このように、衝撃源や評価量を変えることによって単一数値評価量に影響する周波数成分が変わるため、それぞれの衝撃源・評価量が床のどのような性能を求め、何を評価しようとしているのかを十分に検討しておく必要がある。

4. ボール加振時の A 特性評価とタイヤ加振時の L 等級評価の比較

本項では、床仕上げ構造別に、ボール加振時の A 特性評価とタイヤ加振時の L 等級評価を比較しボール加振時の A 特性評価の位置づけを検討する。

両者の比較結果を図 12～図 14 に示す。

図 12 の直張床および図 14 の裸床の場合、タイヤ加振時の L 数とボール加振時の A 特性は、数値的な差が±5 に入る割合がどちらの場合も 90%程度となりほぼ等しい値を示すが、決定係数はどちらも 0.1 程度であり相関が悪い。これは、前項の図 9 および図 10 に示すように主成分となる周波数帯域が異なることが原因であり、その要因の一つは、タイヤとボールの衝撃力周波数特性が異なるためである。

一方、図 13 の二重床の場合には、若干ではあるが、相関が良くなる傾向にある。これは、前項の図 9 および図 10 に示すように、二重床の場合の主成分となる周波数帯域がタイヤ加振時と同じ 63Hz 帯域になる割合が多くなったためと考えられる。しかし、数値的にはボール加振時の A 特性の方が 5～10dB 程度小さくなる傾向を示している。これは、63Hz 帯域が主成分となる場合では表 2 に示す衝撃力レベル差の影響と考えられ、125Hz 帯域以上が主成分となる場合では既往研究で指摘されているように、二重床の衝撃力に対する非線形性¹⁴の影響と考えられる。

次に、ボール加振時の A 特性評価とタイヤ加振時の L 等級評価のばらつきを比較するため、図 12～図 14 で用いた実測値を床仕上げ構造ごとに平均し、各図の下段に示すような正規分布を仮定して実測値の 90%が含まれる範囲とそれぞれの平均値を比較してみると、図 15 の様になる。いずれの床仕上げ構造でもタイヤ加振時の L 数に比べボール加振時の A 特性の 90%レンジ幅の方が狭くなっており（タイヤ：10～15dB、ボール：5～10dB）、タイヤ加振時の L 数評価の方が性能変化を広く表現していることがわかる。さらに、文献 2 および 3 で示すように、床衝撃系騒音に対する長期生活時の居住者反応（満足度や聞こえる程度）と L 値評価が非常に良く対応していることを考えると、ボールを用いた A 特性による評価の適正性が心配される。今後、実際の生活においてどちらが居住者反応と対応するか検証する必要がある。

図 12 タイヤ加振時（L 数）と
ボール加振時（A 特性）の比較（直張床）

図 14 タイヤ加振時（L 数）と
ボール加振時（A 特性）の比較（裸床）

図 13 タイヤ加振時（L 数）と
ボール加振時（A 特性）の比較（二重床）

図 15 実測値の平均と 90%レンジ幅

また、図 15 に示す平均値を比べた場合、直張床および裸床において、L 数と A 特性は数値的にはほぼ等しい値を示すが、二重床の場合は、タイヤ加振時の L 数のほうが 1 ランク (5dB) 以上大きい値を示す傾向である。そのため、ボールの A 特性評価が同等性能であったとしても、タイヤ加振時の L 等級評価は床構造ごとに異なる性能となる場合があり、評価基準が変わることによってタイヤ加振時の L 等級評価とは性能の序列が変わる場合が出てくる可能性がある。これは、衝撃力の変化に伴う床構造の非線形性が影響しているためであり、今後どの程度の衝撃力範囲で試験を行うべきなのか、実衝撃源の衝撃力を含めて検討する必要がある。

5. まとめ

実物件を対象に重量衝撃源の種類と評価量の関係について検討した結果、以下の知見を得ることができた。

- 1) タイヤ加振時における性能が高い範囲では、L 等級評価では 63Hz 帯域が決定周波数のままであるが、A 特性評価では 125Hz 帯域以上の中高周波数成分の影響が強く表れ、両者の相関が低下する。
- 2) ボール加振時とタッピングマシン加振時においては、性能の高い範囲でも L 等級評価を決定する周波数帯域と A 特性評価の主成分となる周波数帯域が同じであるため、L 等級評価と A 特性評価の対応が良い。
- 3) タイヤ加振時とボール加振時では、衝撃力レベルの周波数特性の影響で A 特性評価の主成分となる周波数帯域が異なる。
- 4) タイヤ加振時の L 等級評価とボール加振時の A 特性評価の相関は低く、特にボール加振時の A 特性評価は性能分解能が低下する傾向にあり変動幅が狭くなる。
- 5) ボール加振時の A 特性評価とタイヤ加振時の L 等級評価では、床構造に対する性能の序列が変化する場合がある。
例えば、ボール加振時の A 特性評価では、直張床・二重床共に 50dB と同じ性能だったとしても、タイヤ加振時の L 等級評価では、直張床は $L_{TH}=50$ 、二重床は $L_{TH}=55$ になる場合がある。

以上のように、タイヤ加振時の L 等級からボール加振時の A 特性へ変換するには、仕上げ構造や周波数特性を考慮する必要があるため、それぞれの単一数値評価量を単純に置き換えて使うことは難しく、むしろボール加振時の A 特性評価はタイヤ加振時の L 等級評価とは異なる性能を評価していると考えerのほうが妥当である。

しかし、タイヤが提案された 1970 年代と現在では、居住者の音に対する要求水準や、生活スタイルが変化していることを考慮すれば、どちらの性能評価方法が重量床衝撃系騒音に対する居住者反応を適切に表現しているか改めて検証する必要がある、床のどのような性能を評価すべきか議論し決定すべきである。

一方、ここでは重量床衝撃系騒音を「子供の飛び跳ねに代表される衝撃時間の比較的長い衝撃系騒音」と定義して考えたが、タイヤ加振時の L 等級評価とボール加振時の A 特性評価が異なる性能を評価していると考えるのであれば、ボール加振時の A 特性評価に関する新たな技術体系を構築することを考えなければならない。そのためには、ボール加振時の A 特性評価と居住者反応との対応を十分検証し、その結果を踏まえた評価基準値を設定し、性能表示制度や各種基準へ展開していく必要がある。

そこで、今後ボールを用いた A 特性評価が生活実感とどのように対応するのか検討していくつもりである。

参考文献

- 1) 木村翔、大川平一郎、井上勝夫：重量床衝撃源の意義と望ましい衝撃力特性について、日本建築学会技術報告集、第 1 号、pp199-202、1995.12
- 2) 井上勝夫、安岡正人：床衝撃音に関わる居住者要求と遮音性能基準のあり方、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp259-262、2013.8
- 3) 井上勝夫、阿部今日子：集合住宅の居住者反応からみた重量床衝撃音遮断

性能の生活実感による表現方法の検討、日本建築学会環境系論文集、第 701 号、pp589-596、2014.7

- 4) 平松友孝：音環境規準の AIJES 化概要と AIJES における床衝撃音の評価基準の考え方、第 70 回音シンポジウム、pp16-19、2012.3
- 5) 山本耕三：衝撃源の違いによる床衝撃音遮断特性、音響技術 No.140、pp45-52、2007.12
- 6) 大脇雅直、石丸岳史、久米智史、財満健史、近藤誠一、高倉史洋、山下恭弘：集合住宅の乾式二重床を標準重量衝撃源の衝撃力特性(1)および衝撃力特性(2)で加振したときの床衝撃音レベルの特性に関する検討、日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集、pp157-160、2006.9
- 7) 漆戸幸雄、綿谷重規：コンクリート系集合住宅における衝撃力特性(2)を持つ重量衝撃源による床衝撃音レベルについて、日本建築学会学術講演梗概集 D1、pp51-52、2003.9
- 8) 中澤真司、稲留康一：床衝撃音レベル等級と A 特性床衝撃音レベルの対応に関する検討、日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集、pp73-76、2011.4
- 9) 稲留康一、中澤真司：A 特性床衝撃音レベルのバンド合成等による算出方法に関する検討、第 70 回音シンポジウム、pp9-15、2012.3
- 10) 田中ひかり、田端淳：ゴムボールによる重量床衝撃音について-最大 A 特性床衝撃音レベルをバンドレベルから求める方法-、日本建築学会学術講演梗概集 D1、pp211-212、2009.8
- 11) 漆戸幸雄、阿部将幸：オクターブバンド測定による A 特性床衝撃音レベルの測定および算出方法に関する検討(その 2)、日本音響学会建築音響研究会資料 AA2014-22、2014.6
- 12) 日本建築学会編：建築物の遮音性能基準と設計指針(第二版)、技報堂出版、1997.12
- 13) JIS A 1418-2:2000：建物の床衝撃音遮断性能測定方法、第 2 部：標準重量衝撃源による方法、附属書 1

[2014 年 10 月 10 日原稿受理 2014 年 12 月 2 日採用決定]