重量衝撃源の変化による床衝撃音レベルの互換性に関する検討

COMPATIBILITY OF FLOOR IMPACT SOUND LEVEL BY CHANGE OF HEAVY IMPACT SOURCE

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, 単一数値評価量, 衝撃力暴露レベル

Keywords:
Floor impact sound, Single-number quantity, Impact force exposure level

The car tire and the rubber ball are standard impact sources to measuring floor impact sound. Both impact sources have same impact time, but different frequency characteristics.

Purpose of this paper is to examine the correlation of two impact sources by comparing with frequencies in each floor impact sounds, and clarify the compatibility of two impact sources.

We found that both floor impact sounds are correlated with octave frequency of 63Hz and under, uncorrelated with 125Hz and over. Therefore, we can make equivalent evaluation of heavy weight floor impact sound at 63Hz band.

1. はじめに

重量床衝撃音遮断性能は、子供の飛び跳ねに代表される衝撃時間が比較的長い衝撃系騒音に対する床構造の遮断性能とされており、その評価方法として、標準重量衝撃源の衝撃力特性(1)(タイヤ)(以下、タイヤ¹⁾と表記)を用いたL曲線による単一数値評価(以下、L値評価)が定着している。このタイヤを用いたL値評価はJIS A 1418制定当初より数十年に亘り利用されており、今日までこの評価方法を基本とした遮音設計法が用いられているが、性能設計の目標値という点では特に問題は生じていない。むしろ、筆者の一部が既報において報告しているように、タイヤを用いたL値評価と長期生活に亘る居住者反応がリニアな対応を示す^{2), 3)}ことから妥当な方法であることが検証されている。

ただし、当初よりタイヤの衝撃力が大きすぎるため性能測定時に床材を破損する可能性があるという指摘はあった。これに関しては、木村⁴⁾によりタイヤの落下高さを減らすことで、衝撃力暴露レベルの周波数特性を変えることなく衝撃力を小さくできることが示されている。

一方、2000年のJIS A 1418の改正に伴い導入された衝撃力特性(2)(ボール)(以下、ボール⁵⁾と表記)は、全体の衝撃時間はタイヤと同様に設定されているが、衝撃力波形を変化させ、63Hz帯域内の急峻な衝撃力特性を緩やかにしたため、相対的に衝撃力暴露レベルの63Hz帯域が低減し、125Hz帯域以上が増大している。この様に、タイヤに比べ緩やかな周波数特性となったのは、あくまでも標準重量衝撃源としての測定法上の安定性を狙った結果であり、実生活での衝撃力特性を考慮したものではないことには注意が必要である。

また、ボールを用いた評価方法に関しては、JIS A 1418-2に示されているボール加振時のA特性床衝撃音レベル(以下、A特性と表記)を用いた評価方法を主とすることが検討されている^{6) 7)}。これ

に関して我々は既報⁸⁾において、ボール加振時のA特性評価とタイヤ加振時のL値評価の相関関係を示し、これらの単一数値評価量は単純に置き換えができないことを報告し、その原因として衝撃力暴露レベルの大きさの違いと周波数特性の変化を指摘した。

さらに、ボールは力積の大きさがタイヤの半分以下であるため、衝撃力に対して非線形性を生じやすい床仕上げ構造を施工した床に対しては、タイヤ加振時の場合との互換性が悪くなる。このような、仕上げ構造の非線形性の影響に関して山本⁹⁾、大脇¹⁰⁾、漆戸¹¹⁾は、タイヤ加振時とボール加振時の床衝撃音レベルが、コンクリート構造素面時の場合、衝撃力レベル差を補正することで対応し、乾式二重床のように非線形性のある床仕上げ構造の場合には31.5、63Hz帯域で相関が良いが125Hz帯域以上の周波数領域では相関が悪いという結果を示している。また、両者の互換性に関する最近の研究としては、岡野¹²⁾、漆戸¹³⁾により、衝撃力暴露レベル差を考慮した方法の検討が行われており、ボール加振時の周波数帯別測定値からタイヤ加振時のL数へ変換が可能であることが示されている。

このように、タイヤ加振時のL値評価とボール加振時のA特性評価は、いずれもJIS A 1418-2に示された衝撃源、評価値ではあるが、同じ床を測定した場合には異なる評価結果になる。そのため、現状の評価方法をボール加振時のA特性評価へと変えて行く場合には、タイヤ加振時のL値評価を基準とした住宅性能表示制度や、住宅金融支援機構、デベロッパーなどの各種基準との関連性を明確にしておかなければ、ユーザー側に大きな混乱をもたらすことになる。

一方、現時点で、タイヤ加振時のL値評価に関しては長期生活における居住者反応に対応することが確認されているが、ボール加振時のA特性評価に関しては、濱田¹⁴⁾により実験室実験において聴感との対応が良いという報告がある程度で、長期生活に亘る居住者反応との対応は全く検証できていない。

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.

そこで本報では、ボール使用の普及を想定すると、衝撃源の違いによる床衝撃音レベルの変化に関して、より多くのデータで幅広く検証しておくことが必要であると考え、床仕上げ構造別・周波数帯域別に両者の互換性を検討し、ボール加振時の実測値からタイヤ加振時のL値を推定する方法を検討した。さらに、タイヤ加振時とボール加振時の実測値を用いて、重量床衝撃音遮断性能が表す意味合いについても検討した。

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受音点は、各室とも同一点で行なうこととし、測定は JIS A 1418-2 に準拠して行なった。衝撃源にはタイヤ、ボールを用い、測定は 5 点打撃 5 点受音を基本とした。

尚、表 1 に示す中間とは、施工途中の居室での測定であり、音源室側のスラブはコンクリート素面の状態（以下、素面と表記）であるが、受音室は間仕切壁まで施工が完了した状態である。受音室の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（軽量床衝撃音遮断性能）を満足できる床仕上げ構造が施工されている。そのため、物件ごとに床仕上げ材の仕様が異なるため、本報では直張床、二重床に分け、中間時の素面を含めて 3 分類で結果を比較することとした。

表 1 測定物件数

建物状況	床仕上げ構造	測定数
竣工	直張床	137
	二重床	193
中間	素面	153
合計		483

3. 周波数別床衝撃音レベルの相関関係

ここでは、周波数帯域別に床衝撃音レベルの相関を確認することとした。比較結果を図 1～図 11 に示す。なお、図中に示す破線は、タイヤとボールの衝撃力暴露レベル差を示したものである。

図 1 および図 2 に示す、31.5 および 63Hz 帯域は両者の相関が良く、衝撃力暴露レベル差との対応も非常に良いため、性能変化を同等に評価でき、衝撃力変化に対して床構造の線形性があることも分かる。

一方、図 3～図 11 に示す 125Hz 帯域以上では床仕上げ構造により異なる傾向となった。

図 3～図 5 に示す直張床においては 125Hz 帯域ではボール加振時の方が衝撃力暴露レベル差よりも大きくなる傾向ではあるが傾きが 0.91、決定係数が 0.86 であり性能変化を同等に評価できている。しかし、250 および 500Hz 帯域ではタイヤ加振時の方が衝撃力暴露レベル差よりも大きくなる傾向を示し、さらに傾きが 0.6 程度となりボール加振時の方が性能変化の幅が小さくなる傾向となった。

図 6～図 8 に示す二重床の場合は、いずれの周波数帯域でもボール加振時の方が衝撃力暴露レベル差よりも小さくなる傾向を示した。この結果は、タイヤ加振時において床が非線形性を示すことを表しているものであるが、その影響はかなり安定していると見ることが

できる。125 および 250Hz 帯域においては傾きが 0.8～0.9 であり同等に性能変化を評価できる傾向であり、特に 125Hz 帯域では決定係数が 0.71 と相関も良い。

図 9～図 11 に示す素面の場合は、いずれの周波数帯域も相関が良く衝撃力暴露レベル差との対応も良いため、125～500Hz 帯域においても性能変化を同等に評価でき、当然のことながら衝撃力に対する床構造の線形性が確認できる。

以上の結果より、31.5～125Hz 帯域では、タイヤとボールで性能変化を同等に評価することができることが示された。しかし、125Hz 帯域は直張床および二重床で仕上げ構造の非線形性の影響を受け、衝撃力暴露レベル差と同等の差にはならないことは注意が必要である。特に、一般的に同性能として取り扱われている、直張床と素面においても 250Hz 帯域以上では異なる傾向になるため、250Hz 帯域以上の影響が大きい場合には、直張床と素面が同性能として評価できない場合があると考えられる。

図 1 タイヤ加振時とボール加振時の比較
(31.5Hz 帯域・全データ)

図 2 タイヤ加振時とボール加振時の比較
(63Hz 帯域・全データ)

図 3 タイヤ加振時とボール加振時の比較
(125Hz 帯域・直張床)

図 6 タイヤ加振時とボール加振時の比較
(125Hz 帯域・二重床)

図 4 タイヤ加振時とボール加振時の比較
(250Hz 帯域・直張床)

図 7 タイヤ加振時とボール加振時の比較
(250Hz 帯域・二重床)

図 5 タイヤ加振時とボール加振時の比較
(500Hz 帯域・直張床)

図 8 タイヤ加振時とボール加振時の比較
(500Hz 帯域・二重床)

図 9 タイヤ加振時とボール加振時の比較
(125Hz 帯域・素面)

図 10 タイヤ加振時とボール加振時の比較
(250Hz 帯域・素面)

図 11 タイヤ加振時とボール加振時の比較
(500Hz 帯域・素面)

4. 評価値を決定する要因の検討

次に、タイヤ加振時の L 値を決定する周波数帯域（63Hz～500Hz 帯域で最大の L 数になる周波数帯域）の割合を図 12 に示す。ここでのデータは、より幅広い条件で検討するため、表 1 に加えてボールの測定を実施していない 2000 年以前に建設された建物のデータも含めて検討することとした。ただし、分類は竣工（直張床と二重床を合算）と中間（素面）の 2 つとした。物件数を表 2 に示す。

タイヤ加振時の L 値評価では、床仕上げ構造に関係なく約 80% が 63Hz 帯域の床衝撃音レベル（L 数）が最大となり、63 および 125Hz 帯域を合算すると 90% 以上になった。このように、タイヤの場合 63Hz 帯域で L 値が決定される傾向にあるため、図 2 の関係からボール加振時の 63Hz 帯域のみの床衝撃音レベルに対して、衝撃力暴露レベル差を考慮した変換を行うだけでも、タイヤ加振時の L 値と約 80% で同等に評価ができる。

次に、63Hz 帯域の L 数と他の周波数帯域が決定周波数になった周波数帯域の L 数の差を図 13 に示す。差が 0 になる場合の殆どは 63Hz 帯域が決定周波数になった場合であり、竣工・中間共に約 80% が該当した。決定周波数に比べ、63Hz 帯域の L 数が 1 小さい場合が竣工・中間共に 6%、2 小さい場合が竣工 5%・中間 4% であり、ここまです合計すると竣工・中間共に 95% 程度となる。

また、重量床衝撃音遮断性能と居住者の長期生活時における生活実感の対応（文献 2、3）では、タイヤ加振時の L 値評価と対応が良いことが既往のアンケートにより検証されている。これらを考慮すると、重量床衝撃音遮断性能に関する居住者の生活実感は、63Hz 帯域の床衝撃音遮断性能と相関が良いと考えることができる。そのため、63Hz 帯域のみで L 値を評価したとしても、居住者の生活実感に対応した評価ができると考えられる。

次に、63Hz 帯域の L 数と全体の L 数評価値の対応を示した図 14 を見ると、63Hz 帯域の L 数が小さい（性能が良い）場合に、全体の L 数との差が大きくなる傾向がある。これは、63Hz 帯域の床衝撃音遮断性能が極端に上昇したときに、125Hz～500Hz 帯域の性能があまり上昇していない場合である。このような状況は端部拘束の影響などの構造的な要因で床衝撃音遮断性能が上昇する場合に生じる傾向である。

表 2 測定物件数

建物状況	床仕上げ構造	測定数
竣工	直張および二重床	618
中間	素面	925
合計		1543

図 12 タイヤ加振時の L 値の決定周波数

図 13 63Hz 帯域 L 数と全体の L 数の差

図 14 63Hz 帯域 L 数と全体の L 数の差

図 15 打撃点別床衝撃音レベル（実測例）

そこで、63Hz 帯域の床衝撃音遮断性能に顕著に影響する要因について検討するため、同一居室内で打撃位置が変わった場合の床衝撃音レベル実測値を確認してみるとした。1 例ではあるが図 15 に示す居室条件においては、端部の影響を受けやすい打撃点（S1）とスラブ中央付近の打撃点（S5）で 63Hz 帯域では約 10dB の差が出るが、125Hz 帯域以上では 3dB 程度となった。この様に、63Hz 帯域の性能変化は、端部拘束の影響が顕著に表れるが、125Hz 帯域以上ではそれ程影響しないことが分かる。また、この特性はインピーダンス法 2009¹⁵⁾ でも考慮されており、端部拘束によるインピーダン

スレベル上昇量を周波数帯域ごとに算出する方法が妥当であることを示すものである。この様に、タイヤ加振時の L 値は低周波数帯域（63Hz 帯域）の性能を評価するものであり、それが居住者反応と対応すると考えることができる。

次に一つの試みとして、タイヤ加振時の L 値評価とボール加振時の A 特性評価に関して、重量床衝撃音遮断性能を決定する主要因の 1 つである等価厚さとの対応性を検討し、それぞれの評価値に対する影響の程度を比較した。なお、ここで用いた等価厚さは、インピーダンス法 2009 で用いている方法で算出し、近似曲線はインピーダンスレベルの計算方法を考慮して対数近似を用いることとした。タイヤ加振時の L 数と等価厚さの関係を図 16 に、ボール加振時の A 特性と等価厚さの関係を図 17 に示す。

図 16 タイヤ加振時の L 数と等価厚さの比較

図 17 ボール加振時の A 特性と等価厚さの比較

図 16 に示すタイヤ加振時の L 数と等価厚さの関係をみると、決定係数が 0.07 であり、タイヤ加振時の L 数は等価厚さ以外の要因の影響が大きい評価値であることが分かる。

一方、図 17 に示すボール加振時の A 特性と等価厚さの関係をみると、決定係数が 0.36 と比較的相関が良く、ボール加振時の A 特性は等価厚さで評価値が決まる傾向があり、それ以外の要因の影響は比較的小さいと考えられる。

この様に、タイヤ加振時のL値評価とボール加振時のA特性評価は評価値の変化に影響する要因がかなり異なり、床の同じ性能を評価することができていないと考えられる。そのため、特にボール加振時のA特性評価はどのような居住者反応と対応するのか十分な検証が必要である。

5. まとめ

実物件で測定した結果を用いて重量床衝撃音遮断性能の評価方法について検討し、下記の知見を得た。

- 1) タイヤ加振時のL値決定周波数は、約80%が63Hz帯域になる。さらに、タイヤ加振時のL値評価と居住者の生活実感の対応が良いということを考慮すると、63Hz帯域の床衝撃音レベルが居住者の生活実感に対応すると考えられる。
- 2) 31.5および63Hz帯域のみであれば、ボール加振時とタイヤ加振時で床衝撃音レベルの相関が良く、仕上げ構造に関係なく床を同等に評価することができる。
- 3) ボール加振時の測定結果からタイヤ加振時のL値を推定する場合、63Hz帯域のみに限定すれば、決定係数が0.92と非常に相関が良くかなりの精度で対応する。
- 4) タイヤ加振時のL値は、63Hz帯域の性能変化を表現することができており、端部拘束性などの構造的な要因の影響を含めて評価できる。
- 5) ボール加振時のA特性と等価厚さは、決定係数が0.36と比較的相関は良く、端部拘束性などの構造的な要因の影響は評価し難い傾向がある。
- 6) 4)および5)より、ボール加振時のA特性評価はタイヤ加振時のL値評価とは床の異なる性能を評価していると考えるのが妥当である。

これらを考慮すると、図18に示すように重量衝撃系騒音を対象とした評価を行うための加振源としてボールを用いる場合、周波数帯域別に床衝撃音レベルを測定すれば、その結果の一部から現状の技術体系と同等の評価を行うことができる。

また、タイヤ加振時のL値評価は、低周波数域での床の構造振動を主とした性能を評価することを目的としており、この低周波数域での性能が居住者反応とリニアな対応を示すことが十分に検証されている。また、ボールを導入したとしても、低周波数域(63Hz帯域)のみに限定する方法であれば、ボールとタイヤで同等の評価ができることが本報において確認できた。

一方、ボール加振時のA特性評価に関しては、タイヤ加振時のL値評価と床衝撃音遮断性能に影響する異なる要因を評価していると考えられるため、どのような居住者実感と対応するのか十分に検討し、新たな技術体系を構築していく必要がある。

このような新たな評価方法の技術体系を構築する上では、評価値と居住者反応がリニアな対応を示すことが大前提である。そのため、建物において居住者のどのような生活実感を評価する必要があるのかを明確にし、それとリニアに対応する評価値を選択できるように、今後も継続して検討していくつもりである。

図 18 評価方法の技術体系

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) 木村翔、井上勝夫、中澤真司：重量衝撃源の衝撃力特性に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第398号、pp1-8、1989.4
- 5) 井上勝夫、安岡正人、橋秀樹：床衝撃音測定用標準重量衝撃源の開発、日本建築学会技術報告集、第14号、pp143-148、2001.12
- 6) 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
- 7) 日本建築学会編：集合住宅の遮音性能・遮音設計の考え方、九善出版、2016.1
- 8) 鹿倉潤二、井上勝夫、天川恭一、大川周一郎、大川平一郎：床衝撃音遮断性能評価量の相関関係に関する実態把握、日本建築学会技術報告集、第21巻 第48号、pp677-682、2015.6
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 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
- 12) 岡野利行：重量床衝撃音遮断性能の評価値の対応について—乾式二重床仕上げの場合の検討例—、日本音響学会講演論文集、pp877-878、2015.9
- 13) 漆戸幸雄：タイヤ衝撃源とゴムボール衝撃源による重量床衝撃音遮断性能の評価値および序列の対応について、日本音響学会講演論文集、pp879-880、2015.9
- 14) 濱田幸雄、中澤真司：床衝撃音遮断性能の最大A特性音圧レベルによる評価に関する聴感実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp253-256、2011.8
- 15) 日本建築学会編：建築物の床衝撃音防止設計、技報堂出版、2009.11

[2016年2月3日原稿受理 2016年6月17日採用決定]