

110 床衝撃音の聴感的印象と物理量との対応に関する研究

A Study on Correspondence of Hearing Impression
and Physical Parameter of Floor Impact Sound

○正 大脇 雅直 (熊谷組) 正 財満 健史 (熊谷組)
石井 基寛 (信州大) 正 山下 恭弘 (信州大)

Masanao Owaki, Kumagaigumi Co., Ltd., 1043 Onigakubo Tsukuba-shi Ibaraki Pref.
Takefumi Zaima, Kumagaigumi Co., Ltd.
Motohiro Ishii, Shinshu University
Yasuhiro Yamashita, Shinshu University

We have been made the construction of sound field simulators for hearing impression examination, and studied that correspondence between the sense of hearing and floor impact sound. According to the comparison of psychological scaling values between the multi-channel sound field and monaural sound field in hearing impression examination, in spite of some difference in evaluation depending on the sound field, the same trend is observed for two sound fields. We can show that the noisiness in auditory sensation is able to rate with A-weighted sound pressure level L_{Aeq} about heavy weight and light weight floor impact sound.

Key Word: Floor impact sound, Hearing impression examination, A-weighted sound pressure level L_{Aeq}

1. はじめに

床衝撃音レベルの評価は、一般的に遮音等級L値によって行われてきている¹⁾。「住宅の品質確保の促進等に関する法律」の日本住宅性能表示基準のポイント²⁾においても、例えば、重量床衝撃音対策等級の等級5は、「 $L_{1,1,1} - 50$ 等級相当を確保するため、必要な対策が講じられている」としている。しかし、遮音等級Lは、本来設計用の指標であり、聴感との対応が必ずしも充分ではない。この遮音等級Lと集合住宅の居住者による聴感上の評価が、一致しない場合も出てくる。そこで、筆者等は、集合住宅の床衝撃音レベルを実際に体感することができる音場再生システム（以下音創シミュレーターと記す）を構築した³⁾。音創シミュレーターで再生する床衝撃音レベルの聴感評価と無響室での聴感評価との対応について充分検討しておく必要がある。

筆者等は、聴感評価実験に用いる再生音場の構築を行い、再生音場の違いによる聴感評価実験の比較検討を行ってきている⁴⁾。聴感評価実験で、聴感上の評価を表現する指標としてA特性音圧レベル L_{Apeak} 、 L_{Aeq} を取り上げ、聴感的印象との対応について検討する。特に重量床衝撃音で31.5Hz又は63Hz帯域に周波数スペクトルのピークがある場合、1/1オクターブバンド毎に計算した結果と、A特性フィルタを通した結果で、Fig.1に示すようにA特性音圧レベルに差が生じる場合がある。この点についても検討を行った。

2. 再生音場の構築

床衝撃音の聴感評価実験を、実音場において行うことは現実的でないので、床衝撃音のシミュレーション実験を行うこととなる。本稿では、床衝撃音の音源として、加振室の中央でバングマシンおよびタッピングマシンを用いて打振し、下室中央、高さ1.2m地点で録音したものをを用いた。録音システムは、1チャンネルの無指向性マイクロホンを用いる収録

システムと、横山等の行っている音場シミュレーション手法⁵⁾を参考に、17cm間隔で各壁面方向に設置した6チャンネルの指向性マイクロホンを用いて収録するシステムの2系統とした。床衝撃音の再生は、Fig.2に示す音創シミュレーターを用いる方法³⁾と、無響室内で受聴点から等間隔に各壁面方向にスピーカを6個設置し再生する方法（Fig.3）の2系統を用いた。音創シミュレーターは、天井面に床衝撃音再生用スピーカ、壁前面に環境騒音再生用平面スピーカを設置している。

床衝撃音をそれぞれの音場の受聴点において忠実に再現するため、MSL法を用いて再生系統の伝達関数の測定を行い、ピークレベルから20dBの範囲で逆フィルタを計算し、原波形に逆畳み込みを行った。

なお無響室で再生する方法において、逆フィルタにより補正しきれない31.5Hz帯域、63Hz帯域の音については、天井方向からの信号にローパスフィルタを畳み込み、位相を同期させて被験者の斜め後ろに配置した低周波音用スピーカから出力した。環境騒音の再生は、無響室では被験者の斜め後ろに設置したスピーカから、音創シミュレーターでは前面に設置したスピーカから出力した。

3. 実験概要

3.1 評価語の選定について

主観評価実験の手法については、SD法、被験者調整法、一対比較法などが用いられている。園田、橘らは、RC床の重量床衝撃音の聴感評価実験を行い、様々な物理指標との対応を検討した結果、L値で評価した場合に聴感との評価が最もばらつきが大きいとしている⁶⁾。本稿ではシェッフェの1対比較法を用いることとし、因子、評価語は、太田、桑野らの文献⁷⁾、既往の研究^{8),9)}で用いてきた評価語から選定した。各評価語は、7段階の評価尺度で評価するものとした。

3. 2 実験方法

被験者に対する試験音の提示は、2つの試験音を対として行った。2つの試験音の間は1秒間の無音状態とした。試験音の長さについて、3秒間の場合と6秒間の場合について聴感評価実験を行った結果をFig.4に示す。試験音が3秒間の場合と6秒間の場合の相関は0.99と非常に高く、評価に違いは見られなかった。従って試験音は、軽量床衝撃音については、3秒間連続して再生し、重量床衝撃音については、実際の人間の歩行も考慮して1秒の重量床衝撃音を3回連続して再生し3秒間とした。道路交通騒音は3秒間連続して再生した。重量床衝撃音におけるスペクトルの値は、被験者の受聴位置で単発音1秒間における最大音圧レベル L_{peak} の3回平均値とした。軽量床衝撃音及び道路交通騒音におけるスペクトルの値は3秒間における音圧レベルのエネルギー平均値 L_{eq} を用いた。A特性音圧レベルは、被験者の受聴位置でA特性フィルタを使用して実測した値とした。この試験音の対を繰り返し提示し、被験者の手元のノートパソコン上にある評価語の評点を選んでキーボード入力したら、つぎの試験音の対を再生する方式で実験を行った。なお、1回の実験時間は、被験者の集中度、疲労度などを考えて、20分前後を目安として設定した。

4. 再生音場の違いと聴感的印象について

音創シミュレーターは、実験の準備が比較的容易であり、室内も実際の住宅の仕様と同様にしているため被験者が実験を行いやすい利点がある。しかし、音場的に聴感評価実験に適切であるか確認する必要がある。無響室での実験は、実験が大がかりとなり、被験者に心理的圧迫感を与える可能性もある。そこで両音場において、提示レベル $L=50$ 、 $L=65$ とした重量床衝撃音の試験音4タイプについて聴感評価実験を行い、音場の違いによる評価の差について検討を行う。被験者は20歳代～50歳代の男女16人である。各音場において

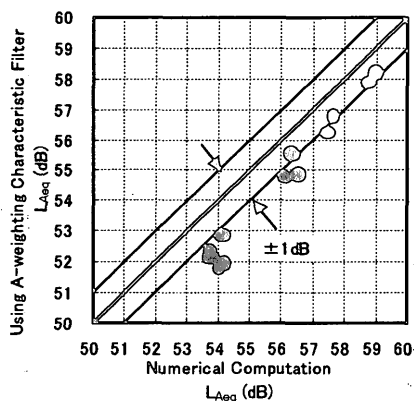


Fig.1 Comparison of A-weighted sound pressure level (numerical computation and using A-weighting characteristic filter)

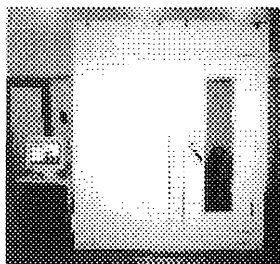


Fig.2 ONSO Simulator

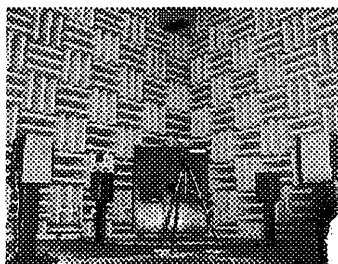


Fig.3 Anechoic room

床衝撃音を再生した場合の周波数特性の例を Fig.5 に示す。音場の違いによる周波数特性の差はほとんどなかった。

両音場の心理尺度評価値を比較した結果を Fig.6 に示す。全体の近似直線の傾きは0.81で相関係数は0.93となり、両音場において同じ傾向の実験結果が得られた。本稿における以下の検討では、特に記述のない限り無響室における実験について考察する。

5. A特性音圧レベルと聴感的印象の対応について

5. 1 重量床衝撃音

これまでの重量床衝撃音に関する聴感評価実験の結果から、同じ L 値においても、スペクトルの違いによって聴感的印象は必ずしも一致しないことを確認している¹⁰⁾。また、聴感上の評価は、中・高音域のエネルギーの大きさによって影響を受けやすいが、 L 値の評価外となる低音域のエネルギーの大きさは、聴感上の評価への影響は小さい傾向にある¹⁰⁾。

ここでは、重量床衝撃音においてA特性音圧レベル L_{Apeak} をとりあげ、「うるささ」との対応について検討を行った。試験音の周波数スペクトルは、Fig.7 に示す木造床を想定した A1(木造)TYPE、木造 ALC 床を想定した B1(木造 ALC)

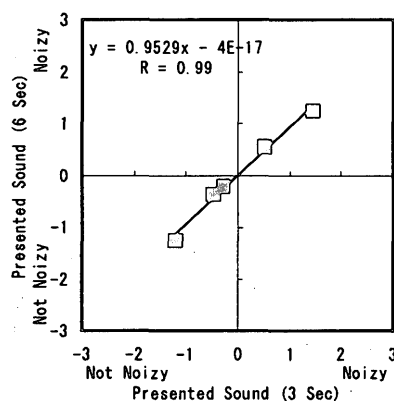


Fig.4 Relation between noisiness rating and time length of presented sound

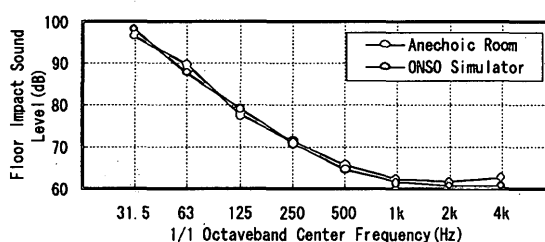


Fig.5 Illustration of floor impact sound spectrum

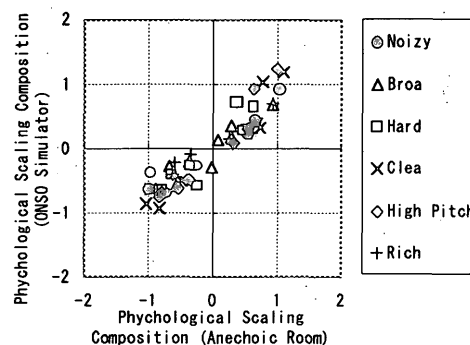


Fig.6 Comparison between sound fields

TYPE, RC床を想定した B1(RC)TYPE である。試験音の提示レベルは、現状の集合住宅あるいは戸建て住宅において標準的と考えられる L 値とした。Table 1 に試験音の L 値と A 特性音圧レベル L_{Apeak} 値を示す。被験者は 20 歳代～50 歳代の男女 20 名である。

評価語「うるささ」における実験結果を Fig.8 に示す。横軸は試験音の A 特性音圧レベル L_{Apeak} を表し、縦軸は「うるささ」の評価値を表す。A 特性音圧レベル L_{Apeak} と「うるささ」の評価値の相関は 0.94 と高い値を示している。

5. 2 軽量床衝撃音

軽量床衝撃音に関する聴感評価実験の結果、L 値を変化させない範囲で中・高音域のエネルギーを変化させると、聴感的印象が大きく異なり、中・高音域が低減されている場合には、床構造の系統が異なっても、「うるささ」の評価にほとんど差が現れなかった¹¹⁾。

そこで、これまでの実験結果をもとにし、A 特性音圧レベル L_{Aeq} 値による物理量と、L 値との対応がよかった「うるささ」の評価の対応について聴感評価実験を行う。試験音の周波数スペクトルは、Fig.9 に示す木造床を想定した A1(木造)TYPE, 木造 ALC 床を想定した B1(木造 ALC)TYPE, RC 床を想定した B1(RC) TYPE である。Table 2 に試験音の L 値と A 特性音圧レベル L_{Aeq} 値を示す。実験は 20 歳代～50 歳代の男女 20 名で行った。

実験結果を Fig.10 に示す。A 特性音圧レベル L_{Aeq} と「うるささ」の相関は 0.88 と高い値を示し、良く対応していること

がわかる。

5. 3 重量及び軽量床衝撃音の聴感的印象と A 特性音圧レベル L_{Aeq}

遮音等級 L が重量及び軽量床衝撃音の統一評価であるように、聴感と対応のよい物理量としての評価も統一された評価であることが望ましい。そこで重量および軽量床衝撃音の聴感的印象がどの程度対応しているかを検討した。

これまでの聴感評価実験における A 特性音圧レベルは、重量床衝撃音では A 特性音圧レベル L_{Apeak} であり、軽量床衝撃音では L_{Aeq} であった。そこで、重量床衝撃音についても、単発音を 3 回繰り返した場合の 3 秒間の A 特性音圧レベル L_{Aeq} 値とした。このときの A 特性音圧レベル L_{Aeq} 値と「うるささ」の関係を Fig.11 示す。「うるささ」の評価が 0 となる場合の A 特性音圧レベルは、重量床衝撃音の方が軽量床衝撃音より約 5dB 小さい値となった。

さらに、重量床衝撃音及び軽量床衝撃音を同一グループとして実験を行い、検討を行った。重量床衝撃音、軽量床衝撃音を同一グループで実験を行う場合、全ての試験音について実験を行うと、1 回の実験に膨大な時間を要する。また被験者の負担が大きく、集中度の面からも問題が生じる。そこで、まず合計 14 タイプの試験音からランダムに 7 タイプを選び、実験を行った。被験者は 20 代～50 代の男女 24 名である。実験結果を Fig.12 に示す。A 特性音圧レベル L_{Aeq} と評価語「うるささ」に関する対応は、近似曲線の相関係数が 0.88 であり、高い相関が見られた。「うるささ」の評価が 0 とな

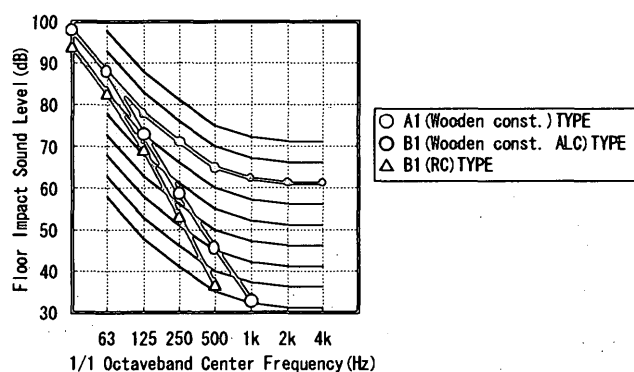


Fig.7 Illustration of presented sound (heavy-weight floor impact sound)

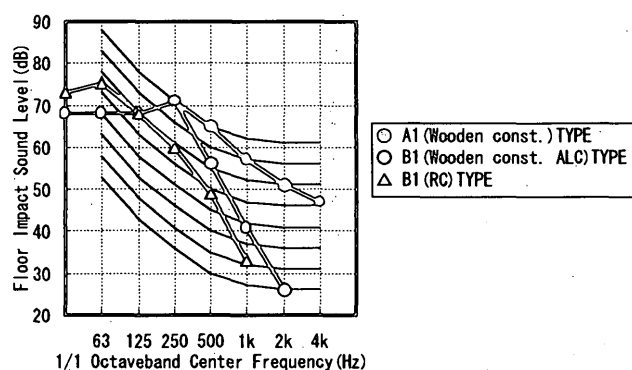


Fig.9 Illustration of presented sound (light-weight floor impact sound)

Table 1 L value and A-weighted sound pressure level L_{Apeak} (heavy-weight floor impact sound)

Presented Sound	A1 (Wooden Const.) TYPE		B1 (Wooden Const. ALC) TYPE		B1 (RC) TYPE	
L Value	L60	L65	L60	L65	L50	L55
A-weighted Sound Pressure Level L_{Apeak} (dB)	66	71	60	66	45	53

Table 2 L value and A-weighted sound pressure level L_{Aeq} (light-weight floor impact sound)

Presented Sound	A1 (Wooden Const.) TYPE			B1 (Wooden Const. ALC) TYPE		B1 (RC) TYPE
L Value	L55	L60	L70	L60	L70	L45
A-weighted Sound Pressure Level L_{Aeq} (dB)	56	61	70	59	69	46

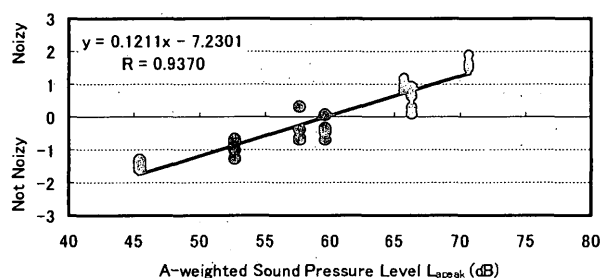


Fig.8 L_{Apeak} and rating of auditory sensation

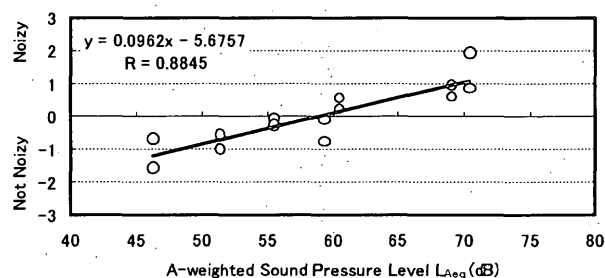


Fig.10 L_{Aeq} and rating of auditory sensation

る場合の A 特性音圧レベル L_{Aeq} は 56.0dB であった。

6. 床衝撃音と道路交通騒音の聴感的印象と A 特性音圧レベル L_{Aeq}

住宅の環境に伴う騒音の 1 例として、道路交通騒音を取り上げ、床衝撃音に加えて、「うるささ」と L_{Aeq} の関係について検討した。道路交通騒音は、6ch 指向性マイクロホンを用いて道路に面した位置で録音し、その音に窓の遮音性能 T-1 (25 等級) の実測値の平均値を畳み込んでいる。聴感評価実験は、道路交通騒音において床衝撃音の提示レベルに大きく乖離しない程度にレベルを $L_{Aeq}55\sim70\text{dB}$ とした 4 種類を加え、合計 14 種類の試験音から 7 つの組み合わせをランダムにピックアップした。被験者は 20 代～50 代の男女 10 名である。実験結果を Fig.13 に示す。図中の○は道路交通騒音である。相関は 0.90 と高く、道路交通騒音を含めても、床衝撃音のみの場合とほぼ同じく $L_{Aeq}56.5\text{dB}$ で「うるささ」の評価が 0 になっていることがわかる。

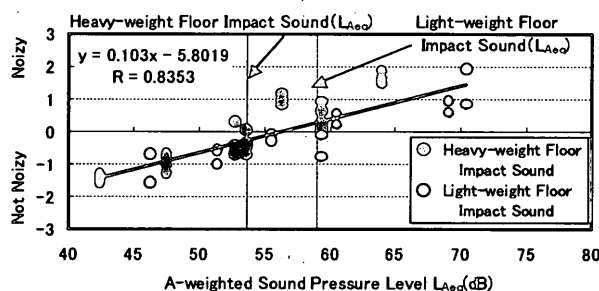


Fig.11 L_{Aeq} and rating of auditory sensation about heavy-weight and light-weight floor impact sound

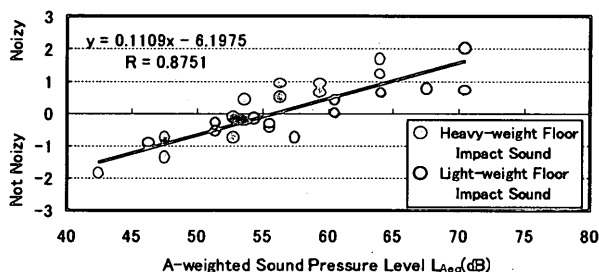


Fig.12 L_{Aeq} and rating of auditory sensation on examination grouped heavy-weight and light-weight floor impact sound

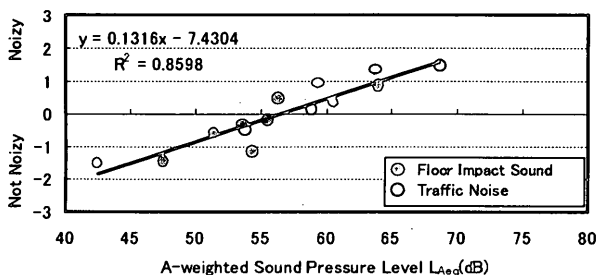


Fig.13 L_{Aeq} and rating of auditory sensation on examination grouped floor impact sound and traffic noise

7. まとめ

本稿では、以下に示す知見が得られた。

2 つの再生音場について比較を行った。音創シミュレーターと無響室において聴感評価実験を行った結果、2 つの再生音場による床衝撃音の評価結果は相関が高く、音場の違いによる評価の違いは見られなかった。音創シミュレーターの様な比較的単純な再生音場であっても、聴感評価実験は可能であるといえる。

音源の異なる床衝撃音の聴感的印象を同一尺度で評価することは有効であると考え、重量床衝撃音と軽量床衝撃音について検討を行った。次に、重量床衝撃音及び軽量床衝撃音を同一グループとして聴感実験を行い、「うるささ」についての評価は A 特性音圧レベル L_{Aeq} 値と相関が高く、実験的にも同一尺度で扱えることを確認した。

また、住宅の環境に伴う騒音として道路交通騒音を取り上げても、十分に適用しうる評価であることを示した。

今後、さらに各種の騒音の評価指標について検討を行っていく予定である。

謝辞

共同研究者として御協力を頂いた信州大学工学部大学院修士 長瀬知之氏、大学院生 上明戸昇氏、石丸岳史氏に感謝の意を表します。

聴感評価実験に御協力を頂いた熊谷組技術研究所所員に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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
- 2) 建設省住宅局住宅生産課：日本住宅性能表示基準のポイント 性能表示基準を理解するための手引き，ビルディングレター，pp149，2000.11
- 3) 宮崎浩司，財満健史，上明戸昇，大脇雅直，山下恭弘：集合住宅の音環境体感システムに関する研究 その 1，日本建築学会学術講演梗概集，pp187-188，1997.9
- 4) 大脇雅直，山下恭弘，長瀬知之，財満健史：床衝撃音の「うるささ」と A 特性音圧レベルとの対応に関する研究，日本建築学会計画系論文報告集，No.537，pp.7-12，2000.11
- 5) 横山栄，上野佳奈子，坂本慎一，橋秀樹，向井ひかり：6 チャンネルの指向性マイクロホンを用いた収音・再生法による音場シミュレーション，日本音響学会講演論文集，pp833-834，1998.3
- 6) 園田有児，橋秀樹：シミュレーション実験による重量床衝撃音の評価方法の検討，騒音制御，Vol.14，No.4，pp42-45，1990
- 7) 太田公子，桑野園子，難波精一郎：種々の衝撃音の音色の分類と物理量の関係，日本音響学会講演論文集，pp691-692，1998.9
- 8) 佐藤寿子，井上貴美子，角張勲，西川嘉雄，山下恭弘：木造軸組構造における床衝撃音に関する研究 その 4，日本建築学会大会学術講演論文集，pp83-84，1992.8
- 9) 井上貴美子，佐藤寿子，角張勲，西川嘉雄，山下恭弘：木造軸組構造における床衝撃音に関する研究 その 5，日本建築学会大会学術講演論文集，pp85-86，1992.8
- 10) 財満健史，長瀬知之，大脇雅直，山下恭弘：床衝撃音の聴感実験に関する研究 その 3，日本建築学会学術講演梗概集，pp127-128，1999.9
- 11) 大脇雅直，長瀬知之，財満健史，山下恭弘：床衝撃音の聴感実験に関する研究 その 4，日本建築学会学術講演梗概集，pp129-130，1999.9