制振材料貼付コンクリートスラ ブの床衝撃音に対する心理音響 評価の適用

制振材料を用いた床衝撃音低減に関する
研究 その6

PSYCHOACOUSTICAL EVALUATION OF FLOOR IMPACT SOUNDS FROM A CONCRETE SLAB WITH DAMPING MATERIALS ATTACHED

Study for reduction of the floor impact sound
level by using of the damping materials Part 6

末吉修三 — *1 山本耕三 — *2
小林真人 — *3 山口道征 — *4

Shuzo SUEYOSHI — *1 Kozo YAMAMOTO — *2
Masahito KOBAYASHI — *3 Michiyuki YAMAGUCHI — *4

キーワード:

制振材料, 床衝撃音, 心理音響, 非定常ラウドネス, スペシフィックラウドネス

Keywords:

Damping material, Floor impact sound, Psychoacoustics, Instationary loudness, Specific loudness

We have conducted the floor impact tests in order to reduce floor impact sound pressure levels by attaching damping materials to concrete floor slabs. Using psychoacoustical analysis to evaluate the floor impact sounds, we got the results indicated that psychoacoustics quantities could be used for evaluating the effect of damping materials on the floor impact sounds and generally could be used as indexes for improving floor impact sound insulating performance of buildings and houses.

1. はじめに

制振工学研究会(会長:岡村 宏 芝浦工業大学教授)の中に属す「建築(住宅)における制振材料利用技術ワーキンググループ」では、自動車や家庭電化製品の分野において、騒音を制御するために用いられてきた制振材料を建築分野に展開するため、木質系住宅及び鉄筋コンクリート造集合住宅における床衝撃音の低減を目指した制振材料の利用方法に関する研究を行なってきた¹⁻¹⁵⁾。この中で、コンクリートスラブによる実験を行ない、貼り合せタイプの拘束型制振材料を用いることにより、制振による共振周波数における振動低減効果があること、冬季と夏季の室温変化に系の損失が依存しないこと、及びスラブの振動低減効果が下室への放射音の低減につながることを明らかにしてきた。しかしながら、騒音計を通して収録した床衝撃音について周波数分析した結果では、聴感上での音の低減感ほどのレベル差が生じていないことから、床衝撃音への心理音響評価の適用を試みてきた¹⁶⁻¹⁹⁾。

心理音響の評価指標の一つであるラウドネスについては、定常音と非定常音のそれぞれに定義付けがなされている。前者はすでにISO 532Bで規格化されているが、後者についてはISO 532Bの改訂による規格化が進められているところである。

本報では、制振材料貼付のコンクリートスラブを試験体として用い、冬季と夏季の実験で収録した床衝撃音について、非定常ラウドネス等を指標とした心理音響評価^{20,21)}を適用し、従来の物理評価と

対比した結果を報告する。

2. 実験概要

実験を行なった鉄筋コンクリート造実験室の寸法、計測位置及び使用機器を図1に、検討した床構成を表1にそれぞれ示す。制振材料貼付の試験体は、冬季(type2w)と夏季(type2s)の二度実験に供した。

図1 計測位置及び使用機器一覧

*1 独立行政法人森林総合研究所 室長・博士(農学)
(〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地)

*2 東洋建設(株)総合技術研究所 主任研究員

*3 飛鳥建設(株)技術研究所 主任研究員・博士(工学)

*4 (株)ブリヂストン 専門部員

*1 Head of Structures and Dwelling Physics Laboratory, Forestry and Forest Products Research Institute, Dr. Agric.

*2 Senior Research Engineer, Technical Research Institute, Toyo Construction

*3 Senior Research Engineer, Research Institute of Technology, Tobishima Corporation, Dr. Eng.

*4 Engineer, Bridgestone Corporation

表1 試験体構成

種類	仕様
type1 (冬季実験)	コンクリートスラブ素面 鉄筋コンクリート (L×W×t=3450×2550×150 mm; S= 8.8 m ²) 長辺4ヶ所 短辺3ヶ所 ボルト締め; 面密度: 358 kg/m ²
type2w (冬季実験)	拘束型制振材料貼付タイプ
type2s (夏季実験)	鉄筋コンクリート+粘弾性体 (ブチルシート t=3.0 mm, $\eta=1.0$, $E=1 \times 10^9$ N/m ²) + 拘束層 (銅板 t=3.2 mm) 長辺4ヶ所 短辺3ヶ所 ボルト締め; 面密度: 388 kg/m ²

加振点、受音点ともスラブ対角線上の中央及び4分点の位置に設けた。受音室は、内装仕上げのないコンクリート素面のままで実験を行った。

衝撃源には JIS A 1418-2:2000 に規定する衝撃力特性(1)を持つ標準重量衝撃源を用いた。各加振点-受音点ごとに5打撃の最大音圧レベルを測定し、これをエネルギー平均した値を各点における最大音圧レベルとした。なお、JIS の標準重量衝撃源は、歩行時の衝撃をそっくり再現するものではないが、それを模擬した衝撃源として用いた。

重量床衝撃時の音圧レベルの測定では、騒音計の時間重み特性 F を通して周波数分析されるか、単一の評価指標として、騒音計の周波数重み特性 A を通して測定される最大 A 特性音圧レベルが用いられる。このような騒音計による測定では、床衝撃音の減衰特性や、聴覚で生じるマスキングが考慮されていない。

それに対して、心理音響評価の指標である非定常ラウドネスは、聴覚で生じる経時および周波数マスキングを考慮したもので、聴感に対応した評価量と位置づけられている。

3. 結果及び考察

3.1 重量床衝撃音レベル

重量床衝撃音レベルの計測結果を図2に示す。また、type1 と type2s について、加振点と受音点ごとの下室放射音の音圧レベルを図3と図4にそれぞれ示す。これらの結果に基づく各種評価値を表2に示す。type1 と type2w は床衝撃音遮断性能の決定周波数が63Hz帯域にあり、type2s は125Hz帯域にあったので、これらの帯域の音圧レベルも合わせて表2に示した。type1 と type2w あるいは type2s との間の63Hz帯域の床衝撃音レベル差は、1.2～1.9dBであった。また、type2w と type2s の63Hz帯域のレベル差はわずかに0.7dBで、制振材料貼付の試験体の冬季と夏季での63Hz帯域の床衝撃音レベルに大きな変化がないことが認められた。

図2に示したように、床衝撃音レベルは500Hz帯域まで単調減少したが、type1 では、他の試験体と比較して250Hz帯域で音圧が相対的に上昇する傾向が認められた。図3で加振点ごとにみると、すべての加振点で250Hz帯域の相対的な音圧上昇は観測されたが、端部加振(I5)より中央部加振(I3)のほうが、音圧レベルが高い。このように、すべての加振点で認められた250Hz帯域の音圧上昇の原因としては、例えば衝撃源の動作に付随した雑音発生など、系全体に共通した現象が影響していることが考えられる。

最大 A 特性床衝撃音レベル ($L_{IA,Fmax}$) では、type2w より type2s

のほうが5dB高い値を示した。この差は、図4に示したように、type2s のI3M3 あるいは I5M3 における125Hz帯域の音圧上昇に起因するものと推察される。これらの音圧上昇の原因は不明であるが、加振点によって音圧上昇の有無が認められることから、制振材料の貼付状態のバラツキなど局所的な要因が影響しているものと考えられる。

表2 各種評価値の比較

種類	L_r 値	$L_{IA,Fmax}$	63Hz帯域(dB)	125Hz帯域 (dB)
type1	70	68	91.5	73.8
type2w	65	65	90.3	73.5
type2s	70	70	89.6	80.7

図2 重量床衝撃音

図3 下室放射音の音圧レベル (type1)

図4 下室放射音の音圧レベル (type2s)

3.2 非定常ラウドネスとスペシフィック・ラウドネス

図5に重量衝撃1打撃分の非定常ラウドネスの時間変化を示す。また、図6にこの非定常ラウドネスの各々のピークにおけるスペシフィック・ラウドネスを示す。ここで、スペシフィック・ラウドネスとは、臨界帯域番号ごとのラウドネスを示すものである。臨界帯域番号は、聴覚ではひとつの広帯域スペクトルを24個に分解して認識しているという考え方に立ったもので、その単位はBarkが用いられている。臨界帯域幅は、0-1、1-2、2-3、及び3-4Barkまでは100Hzで、次第に増加して23-24Barkは3500Hzとなる。

非定常ラウドネスは、各加振点-受音点ごとに平均すると、type1で28.1sone、type2wで22.9sone、type2sで24.9soneであった。このように、コンクリートスラブに制振材料を貼付することによって、冬季と夏季のいずれの実験においても、非定常ラウドネスは明らかに低下した。とくに、冬季実験のtype1とtype2wを比較すると、表3に示すように、type1に対してtype2wの非定常ラウドネスは、平均で18.5%低下した。さらに、端部(I1)あるいは中央部(I3)加振に比べて非定常ラウドネスの変化が著しく小さい端部(I5)加振のデータを除いた平均では、非定常ラウドネスは、26%の低下となる。既報¹⁶⁻¹⁹⁾の通り、心理音響評価での15%の違いは、バンド分析での5dB程度に相当することから、従来の物理評価より、心理音響評価のほうが、type1とtype2wの違いを定量的により明確に表すことができていると言えよう。

冬季実験のtype1の250Hzにおける相対的な音圧上昇は、図6の(a),(b)中央部加振におけるスペシフィック・ラウドネスの1-3Barkのプロフィールに表れており、非定常ラウドネスの上昇の一因になっている。

図2に示すように、夏季実験のtype2sは、125Hz帯域の音圧上昇が著しく、同帯域で冬季実験のtype1やtype2wより7dB程度高い

床衝撃音レベルを示した。この傾向は、前項で述べたように、図4の(b),(d)中央部受音で認められる。これらに対応する図6(b),(d)のスペシフィック・ラウドネスをみると、1-2Barkのスペシフィック・ラウドネスが高く、0-1Barkの周波数成分にマスキングされていない。このようなスペシフィック・ラウドネスのプロフィールから判断して、type2sの125Hz帯域の音圧上昇は、図5(b),(d)に示されるように、非定常ラウドネスの上昇に大きな影響を及ぼしていると言える。図6(a),(c)端部受音の場合、0-1Barkの周波数成分の滑らかなマスキングカーブが描かれており、125Hz帯域の周波数成分はマスキングされていることがわかる。

図5 非定常ラウドネス(sone) vs. 時間(s)

図6 スペシフィック・ラウドネス(sone/Bark) vs. 臨界帯域番号(Bark)

表3 制振材料貼付による非定常ラウドネスの変化

	type 1 (sone)	type2w (sone)	100*(type1-type2w)/type1 (%)
I1M1	24.8	18.0	27.3
I1M3	23.8	17.3	27.3
I1M5	28.6	22.3	22.1
I3M1	34.2	24.3	29.0
I3M3	31.1	22.0	29.2
I3M5	34.9	27.5	21.2
I5M1	25.0	26.4	-5.6
I5M3	22.0	21.5	2.4
I5M5	28.2	26.7	5.5
平均	28.1	22.9	18.5

4. まとめ

心理音響評価の代表的な指標である非定常ラウドネスが、従来の物理計測評価値に比べて、制振による床衝撃音低減効果を定量的により明確に表しうることがわかった。

また、スペシフィック・ラウドネスのプロフィールから、下室放射音のオクターブ帯域ごとの音圧上昇に関連したマスキング現象をとらえることができた。この結果は、周波数領域ごとに聴感に基づいた床衝撃音低減対策を実現する上で必要となる情報を心理音響評価によって得られることを示すものである。

なお、非定常ラウドネスは、定義式や時定数などが非公開で、各社から出されている心理音響評価システムごとに値が異なるのが現状である。しかしながら、前述のように、非定常ラウドネスが ISO で規格化されれば、聴感を考慮した非定常音の大きさを評価するための共通の指標として、活用されるようになるであろう。

今後は、被験者を使った実験に基づいて、重量床衝撃音に対する主観評価、最大 A 特性床衝撃音レベル、並びに非定常ラウドネスの相関関係を明らかにすることによって、聴感により近い心理音響指標を用いた重量床衝撃音遮断性能評価の利点を実証していく予定である。

本報告は、下記メンバーで構成される制振工学研究会 利用技術分科会「建築（住宅）における制振材料利用技術 WG」での活動結果である。

分科会主査：山口道征（ブリヂストン）、WG 主査：小林真人（飛鳥建設）、幹事：山本耕三（東洋建設）、委員：大石 力（環境調査設計）、桂 充宏（鴻池組）、上明戸昇（飛鳥建設）、坂場晃三（特許機器）、佐藤利和・大門静史郎（松下インターテクノ）、末吉修三（森林総合研究所）、峯村敦雄（鹿島建設）

参考文献

1) 小林真人、大野進一、塩田正純、山口道征：制振材料を用いた床衝撃音低減に関する研究 その1 制振材料の利用技術に関する実験、日本建築学会技術報告集 第5号、pp.147-151,1997.12

2) 末吉修三、大野進一、塩田正純、山口道征：制振材料を用いた床衝撃音低減に関する研究 その2 ツーバイフォー住宅における制振材料の床への貼付効果、日本建築学会技術報告集 第6号、pp.115-120,1998.10

3) 小林真人、塩田正純、山口道征、山本耕三：制振材料を用いた床衝撃音低減に関する研究 その3 コンクリートビームを用いた制振特性の検

討、日本建築学会技術報告集 第7号、pp.79-82,1999.2

4) 山本耕三、塩田正純、山口道征、小林真人：制振材料を用いた床衝撃音低減に関する研究 その4 コンクリートスラブを用いた制振特性の検討、日本建築学会技術報告集 第8号、pp.119-122,1999.6

5) 峯村敦雄、石川幸男：制振材料を用いた床衝撃音低減に関する研究 その5 コンクリートスラブの振動特性の検討、日本建築学会技術報告集 第10号、pp.139-142,2000.6

6) 山口道征、小林真人、塩田正純：住宅における標準床衝撃源による振動応答について、日本音響学会講演論文集II、pp.869-870,1995.9

7) 山口道征、小島由紀夫、塩田正純、山崎猛、井上宏夫：住宅における標準床衝撃源による振動応答(第2報) 一床・天井系での応答について、日本音響学会講演論文集II、pp.753-754,1996.3

8) 小林真人、坂場晃三、桃沢正幸、半坂征則、佐野充洋：住宅における標準床衝撃源による振動応答(第3報) 一制振材料の床への貼付効果について、日本音響学会講演論文集II、pp.755-756,1996.3

9) 山本耕三、峯村敦雄、赤石圭、末吉修三、増田雅巳、飯野和近：住宅における標準床衝撃源による振動応答(第4報) 一床衝撃音について、日本音響学会講演論文集II、pp.757-758,1996.3

10) 小島由紀夫、山口道征、塩田正純：ツーバイフォー住宅における制振材料の床への貼付効果 その1 床・天井の振動応答について、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1、pp.261-262,1996.9

11) 末吉修三、山口道征、塩田正純：ツーバイフォー住宅における制振材料の床への貼付効果 その2 床衝撃音について、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1、pp.263-264,1996.9

12) 山本耕三、塩田正純、山口道征、大門静史郎：制振材料を用いた床衝撃音低減に関する研究 (その4) -コンクリートスラブによる床振動応答の検討、日本音響学会講演論文集II、pp.773-774, 1998.9

13) 山本耕三、塩田正純、山口道征、小林真人、峯村敦雄：制振材料を用いた床衝撃音低減に関する研究 (その5) -コンクリートスラブにおける制振特性の検討、日本音響学会講演論文集II、pp.611-612, 1999.3

14) 峯村敦雄、山口道征、石川幸男：制振材料を用いた床衝撃音低減に関する研究 (その6) -コンクリートスラブの振動性状について、日本音響学会講演論文集II、pp.769-770, 1999.9-10

15) 山口道征、斉藤和吉、山本耕三、小林真人：制振材料を用いた床衝撃音低減に関する研究 (その7) -コンクリートスラブの振動応答の時間変化について、日本音響学会講演論文集II、pp.771-772, 1999.9-10

16) 山本耕三、末吉修三、山口道征、大塚荘太：制振材料を用いた床衝撃音低減に関する研究 (その8) 一床衝撃音の心理音響評価尺度を用いた評価の試み、日本音響学会講演論文集II、pp.921-922, 2001.10

17) 山口道征、大塚荘太、山本耕三、末吉修三：制振材料を用いた床衝撃音低減に関する研究 (その9) 一心理音響評価尺度による床衝撃音の評価、日本音響学会講演論文集II、pp.923-924, 2001.10

18) 末吉修三、山本耕三、小林真人、山口道征：制振材料を用いた床衝撃音低減に関する研究(その10) 一床衝撃音の非定常ラウドネス評価・第1報、日本音響学会講演論文集II、pp.895-896,2002.9

19) 山本耕三、末吉修三、小林真人、山口道征：制振材料を用いた床衝撃音低減に関する研究(その11) 一床衝撃音の非定常ラウドネス評価・第2報、日本音響学会講演論文集II、pp.897-898,2002.9

20) ツヴィッカー：心理音響学、山田由紀子訳、西村書店 1992

21) Zwicker, E. and Fastl, H: Psychoacoustics, Springer 1999

[2002年10月18日原稿受理 2003年2月25日採用決定]