

タイトル	枠組壁工法床の重量床衝撃音遮断性能の向上と評価に関する研究
著者	廣田，誠一； HIROTA, Tomohito
引用	
発行日	2016-03-20

枠組壁工法床の重量床衝撃音遮断性能の
向上と評価に関する研究

北海学園大学大学院工学研究科博士（後期）課程建設工学専攻

廣田 誠一

枠組壁工法床の重量床衝撃音遮断性能の向上と評価に関する研究

目 次

第1章 序論	… 1
1.1 研究の背景	… 1
1.1.1 研究の対象	… 1
1.1.2 床衝撃音に関する規定や評価の現状	… 2
1.1.3 床衝撃音の評価に関する新たな研究の展開	… 3
1.1.4 乾式二重床構造による重量床衝撃音遮断性能の向上	… 4
1.2 研究の目的	… 5
第2章 枠組壁工法床の音環境に関する諸課題	… 9
2.1 評価の課題	… 9
2.1.1 単一数値評価量と主観評価の関係	… 9
2.1.2 床衝撃源の衝撃力と床衝撃音レベルの関係	… 14
2.2 技術の課題	… 17
2.2.1 床構造の高インピーダンス化の限界	… 17
2.2.2 浮き床工法	… 17
2.3 施工者の課題	… 20
2.3.1 実際に施工されている床構造	… 20
2.3.2 建物を計画・受注する際の施主からの部位別質問割合	… 20
2.3.3 竣工後・入居後の施主の満足度	… 21
2.3.4 課題	… 22
2.4 入居者の課題	… 24
2.4.1 入居している住宅の遮音対策の認知度	… 24
2.4.2 上下階からの騒音の気になる程度	… 24
2.4.3 自ら行っている騒音発生対策	… 26
2.4.4 遮音性能に関する性能の表示	… 27
2.4.5 課題	… 27
第3章 枠組壁工法床の遮音工法とその特徴	… 31
3.1 遮音工法の変遷	… 31
3.2 遮音工法の分類と特徴	… 33
3.2.1 直張天井と省令準耐火構造	… 33
3.2.2 吸音材の厚さと単一数値評価量の関係	… 34

3.2.3	Resilient channel	…	35
3.2.4	質量付加	…	36
3.2.5	乾式二重床構造	…	36
3.2.6	各工法の性能	…	37
3.2.7	カナダ国立研究機構の研究	…	42
第4章	乾式二重床構造の端部納まりと支持脚位置の検討	…	47
4.1	はじめに	…	47
4.2	測定概要	…	47
4.2.1	実験室及び試験体	…	47
4.2.2	枠組壁工法床の構成	…	47
4.2.3	乾式二重床構造の構成	…	49
4.2.4	測定方法	…	49
4.3	測定結果	…	52
4.3.1	床衝撃音レベル及び床衝撃音レベル差	…	52
4.3.2	際根太の比較	…	54
4.3.3	空気抜きの有無	…	55
4.3.4	根太と支持脚の位置関係	…	56
4.4	まとめ	…	61
第5章	乾式二重床構造の面材部分の検討	…	65
5.1	はじめに	…	65
5.2	実験方法について	…	66
5.2.1	実験室概要	…	66
5.2.2	試験体概要	…	66
5.2.3	測定概要	…	67
5.3	床衝撃音レベルの測定結果	…	69
5.3.1	床衝撃音レベル差	…	69
5.3.2	タイヤ衝撃源とゴムボール衝撃源の比較	…	70
5.4	乾式二重床構造の構成と床衝撃音レベルの関係	…	72
5.4.1	乾式二重床構造面材部分の断面性能の算出	…	73
5.4.2	乾式二重床構造の床衝撃音レベル差と曲げ剛性の算出方法の関係	…	74
5.4.3	乾式二重床構造の面材部分の構成と特性	…	76
5.5	考察	…	80
5.5.1	衝撃源の違いによる床衝撃音レベルについて	…	80
5.5.2	断面性能について	…	80
5.6	まとめ	…	81

第6章 枠組壁工法床とRC造床の主観評価による床衝撃音の比較	… 83
6.1 はじめに	… 83
6.2 主観評価	… 84
6.2.1 床衝撃音のサンプリング	… 84
6.2.2 ラウドネスの算出方法	… 87
6.2.3 試験室及び装置	… 88
6.2.4 実験方法	… 88
6.2.5 実験結果	… 89
6.3 考察	… 95
6.3.1 床衝撃音の単一数値評価量と主観評価の比較	… 95
6.3.2 RC造床と枠組壁工法床の比較	… 95
6.4 まとめ	… 96
 第7章 枠組壁工法床の重量床衝撃音遮断性能の向上方法	… 97
7.1 評価の課題への対応	… 97
7.1.1 主観評価に近い評価方法の活用	… 97
7.1.2 実住宅で生じる衝撃力に合わせた測定	… 97
7.2 技術的課題への対応	… 98
7.2.1 乾式二重床の有効性	… 98
7.2.2 遮音工法	… 100
7.3 施工者の課題への対応	… 102
7.3.1 設計施工者の遮音工法の習得	… 102
7.3.2 民間賃貸共同住宅の性能表示の促進	… 102
7.3.3 簡易な自社性能評価方法の検討	… 103
7.4 入居者の課題への対応	… 107
7.4.1 入居者の遮音性能への理解	… 107
7.4.2 性能表示の促進	… 107
 第8章 結論	… 108
8.1 本論のまとめ	… 108
8.2 結論	… 109
8.3 残された課題	… 109
8.4 本成果を実現するために	… 110
 付表1 木造住宅の床衝撃音に関する論文・梗概等一覧	… 115

用語解説

本論文で用いる主要な用語を以下に示す。

・駆動点インピーダンス Z_b

衝撃力に対する床の振動速度の比で、床の振動のしにくさを表す値である。

スラブを無限板と仮定したときの曲げ波のインピーダンスは式 A と良く一致する^{1),2)}。

また、均質個体中の縦波の伝搬速度 c_l は、幅の充分広い板の場合に式 B で一般的に表される³⁾。式 A に式 B を代入し、ポアソン比 σ を 0.4, $b=1$ として式 C, 式 D 及び式 E を用いて変形すると式 F となる。

$$\frac{4}{\sqrt{3}} \cdot \rho \cdot c_l \cdot h^2 \quad \dots \text{式 A} \quad c_l = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\sigma^2)}} \quad \dots \text{式 B}$$

$$\rho \cdot h = m \quad \dots \text{式 C} \quad I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad \dots \text{式 D} \quad B = I \cdot E \quad \dots \text{式 E}$$

$$\frac{4}{\sqrt{3}} \cdot \rho \cdot c_l \cdot h^2 \div \frac{4}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{\rho \cdot E \cdot h^4}{1-\sigma^2}} = 8\sqrt{B \cdot m} = Z_b \quad \dots \text{式 F}$$

ここで,	Z_b : 駆動点インピーダンス (kg/s)	h : 床構造の厚さ (m)
	B : 床断面の曲げ剛性 (N・m ²)	b : 床構造の幅 (m)
	m : 床構造の面密度 (kg/m ²)	σ : ポアソン比
	ρ : 床材料の密度 (kg/m ³)	E : ヤング率 (N/m ²)
	c_l : 床材料の縦波伝搬速度 (m/s)	I : 断面二次モーメント (m ⁴)

- 1) L.Cremer, M.Heckl, E.Ungar: Structure-Borne Sound, Springer-Verlag, pp.264, 1973
- 2) 木村翔, 井上勝夫: 床衝撃音と床スラブの振動特性に関する実験的研究, 日本建築学会論文報告集, 第 332 号, pp.83 ~ 93, 1983.10
- 3) 日本音響材料協会編 技報堂出版: 騒音・振動対策ハンドブック, pp.345, 1982

- ・ ラウドネス (Zwicker)

音の大きさの指標であり、ISO 532B に規定されているチャートを用いて算出する。臨界帯域幅に基づく周波数間のマスキング効果を考慮している。また、ラウドネスの最大値を基準値 (1.0dB) を用いて対数化した値をラウドネス最大値レベルと定義する。

- ・ 標準重量床衝撃源

JIS A 1418-2 に規定されている衝撃源で、タイヤ衝撃源とゴムボール衝撃源がある。ゴムボール衝撃源は主に木造等の軽量な構造の建物に用いるために開発されたものである。タイヤ衝撃源は衝撃力特性 (1)、ゴムボール衝撃源は衝撃力特性 (2) と表記する。

- ・ 衝撃力暴露レベル

JIS A 1418-2 附属書に規定されている、衝撃力のオクターブバンド毎のレベル値である。

- ・ 最大 A 特性床衝撃音レベル

標準重量衝撃源によって床を加振したときの受音点における A 特性音圧レベルの時間重み特性 F による最大値。単位はデシベル (dB) で、 $L_{iA,Fmax}$ と表記する。

- ・ L 等級

JIS A 1419-2 「建築物及び建築部材の遮音性能の評価方法 - 第 2 部 - : 床衝撃音遮断性能」の「附属書 1 (規定) 建築物の床衝撃音遮断性能の等級曲線による評価」に示されている評価方法で、その結果の表示は衝撃力特性 (1) であるタイヤ衝撃源を用いた場合は $L_{i,Fmax,r,(H1)}$ ○○、衝撃力特性 (2) であるゴムボール衝撃源を用いた場合は $L_{i,Fmax,r,(H2)}$ ○○となる。

- ・ L 数

床衝撃音レベルの測定値を上記の規格に示されている L 曲線にあてはめ、その値が全ての周波数帯域において、L 曲線に平行に 1dB 間隔に設定したある曲線を下回るとき、その最小の曲線の 500Hz 帯域における床衝撃音レベルの数値である。一般社団法人日本建築学会規準として示されている。

- ・ 単一数値評価量

JIS A1419 等に示されている L 等級，最大 A 特性床衝撃音レベルなどを示す。本論では，ラウドネス最大値レベルや L 数，床衝撃音レベルの算術平均値などの一つの数値で表される評価量をいう。

第1章 序論

1.1 研究の背景

1.1.1 研究の対象

近年、「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が施行されるなど、木材利用促進の取り組みが地方自治体などで行われ始めている。北海道では、RC造による建設が中心だった公営住宅の木造化を進める自治体も見られるようになった。公営住宅では、住宅性能表示制度を利用し重量床衝撃音遮断性能を表示することが、ほとんどの自治体の条例により定められている。これらに採用されている床構造は、「住宅の品質確保の促進等に関する法律」に基づく「評価方法基準」に規定されている相当スラブ厚（重量床衝撃音）11 cm以上の仕様である。この仕様の重量床衝撃音遮断性能を実測すると、RC造の民間分譲マンションと比べてその性能差は歴然としており、RC造公営住宅にも及ばない。

全国で平成26年度に着工された木造共同住宅約5万戸のうち97%が賃貸^{注1.1)}（このうち、公営住宅は10%程度）である。賃貸共同住宅は公営住宅に比べて上記法律に基づく住宅性能表示制度を利用する割合が低いこともあり、重量床衝撃音遮断性能を把握することが困難であるが、恐らくほとんどの住宅で、木造公営住宅よりも性能が劣ると考えられる。

これらの木造共同住宅の重量床衝撃音遮断性能を向上することは重要な課題である。少なくともRC造公営住宅並み、望ましくはRC造民間分譲マンションに匹敵する性能を確保すべきである。

床衝撃音には「重量床衝撃音」と「軽量床衝撃音」がある。軽量床衝撃音は、海外などの室内で靴を履く生活を対象としたもので、重量床衝撃音は、日本のような室内で靴を脱いだ生活を対象としたものである。軽量床衝撃音の対策は、床の表面を柔らかくして衝撃時間を長くし、ピークの衝撃力を低下させることにより比較的容易に行える。一方、重量床衝撃音は、木造のように軽量の床構造での対策は難しく、研究は行われているが、普及は進んでいないのが現状である。このため、本論では、重量床衝撃音を研究の対象とする。

また、木造は主に軸組構法と桝組壁工法に分けられる。両者の重量床衝撃音の特性

を比較すると、軸組構法は、高さ方向の設計の自由度が高いため、天井懐を高くとることが可能で、根太せいや梁せいを大きくして剛性を確保しやすいこと、根太と梁で構成されているため、床全体が一体的な振動モードではなく、比較的高めの固有周波数となり、床振動の収束も速い。一方、桝組壁工法は、高さ方向の自由度が低いこと、床根太で構成された床面が一体として振動するため、比較的低い周波数帯域に固有周波数があること、床振動の収束が遅いことなどがあげられる。

両者を比較すると、桝組壁工法の方が、重量床衝撃音遮断性能対策には若干不利であると考えられる。よって、桝組壁工法を研究の対象とする。

1.1.2 重量床衝撃音に関する規定や評価の現状

現在、実務的に用いられている床衝撃音遮断性能の評価方法は、「JIS A 1419-2:2000 建築物及び建築部材の遮音性能の評価方法 - 第 2 部 - 床衝撃音遮断性能」の「附属書 1(規定) 建築物の床衝撃音遮断性能の等級曲線による評価」である。1979 年に制定された「JIS A 1419 建築物のしゃ音等級」から評価等級曲線は変わっていない。この方法は、標準重量床衝撃源及び標準軽量床衝撃源を用いて床衝撃音レベルを測定し、逆 A 特性を基に作成されている L 等級の評価曲線で評価する。日本建築学会規準、日本住宅性能表示基準などに適用されており、多くの測定データが蓄積されている。

後述するが、JIS 制定後の研究では、この評価方法に対する課題として、重量床衝撃音を音源に主観評価実験を行った結果、心理尺度構成値は L 数^{注 1.2)}よりも他の単一評価指標であるラウドネスや最大 A 特性床衝撃音レベル（以下、 $L_{iA,Fmax}$ と表す）、オクターブバンド毎の算術平均値等との相関が高いという報告が多数公表されている。

また、床構造がほぼ均質一枚版とみなせる RC 造床などでは、床構造をタイヤ衝撃源及びゴムボール衝撃源で加振した場合の両衝撃源の衝撃力暴露レベル差と両衝撃源で加振した場合の床衝撃音レベル差の関係は、同様に相関が高い。しかし、乾式二重床構造等のように緩衝材や空気層を有する場合には、ばねが非線形性を持つことなどのため、相関が低くなるという報告がある^{1.1)}。

これらの課題は、日本建築学会環境工学委員会音環境運営委員会固体音小委員会での、今後の規準作成の課題を整理するための「床衝撃音遮断性能の日本建築学会遮音性能規準策定に向けた諸課題に関する文献調査結果」にも掲載^{1.2)}されており、現在も継続して検討中である。

評価方法は、床衝撃音遮断性能の高い床構造の開発にも用いられるため、今後、うるささを生じにくい床構造を開発するために適切な評価方法の構築が望まれる。

1.1.3 床衝撃音の評価に関する新たな研究の展開

木造床の床衝撃音遮断性能を向上するためには、高剛性化し面密度を高めることが効果的である。しかし、タイヤ衝撃源による床衝撃音遮断性能の等級（以下、 $L_{i,Fmax,r,(H1)}$ ・〇〇と表す）が 60 となる性能を得るためには、面密度で 200 kg/m^2 以上を要するなど、木造床としては現実的ではない領域に入るため、「木造床での性能向上には限界がある」ことにつながる。そこで、筆者を含む他の研究者が実施した既往の論文等から、RC 造床と木造床は、床衝撃音レベルの周波数特性が違うことに着目し、枠組壁工法の実建物で録音した床衝撃音を基に、L 数を一定として周波数特性の異なる音源を用いて、評定尺度法により主観評価実験を行った。この結果、L 数が同じでも心理尺度構成値に違いが生じること、心理尺度構成値は、L 数よりもラウドネスや $L_{iA,Fmax}$ 、63 Hz 帯域から 500 Hz 帯域までの算術平均値との相関が高いことを示した^{1.3),1.4)}。この結果は、必ずしも 63 Hz 帯域の床衝撃音レベルを低減しなくてもうるさく感じにくい床構造の開発が可能であることを示唆している。

他にも、村尾ら^{1.5)}は、評定尺度法により床衝撃音に対する主観評価実験を行い、L 数は高音域が低減された周波数特性の場合に心理尺度構成値と対応の良い評価が難しいこと、 $L_{iA,Fmax}$ およびオクターブバンド最大音圧レベルの 63 Hz 帯域から 4 kHz 帯域の算術平均値が「うるささ」と対応がよいことなどを示している。濱田ら^{1.6)~1.10)}は、木造床を含む各種床構造の床衝撃音等を音源として評定尺度法により主観評価実験を行い、心理尺度構成値と $L_{iA,Fmax}$ の間には高い相関がみられると報告している。

更に主観評価と最も対応が良いと考えられるラウドネスと重量床衝撃音との関係についてもいくつかの報告がある。Preis ら^{1.11)}は様々な床構造に対し重量床衝撃音のラウドネスの最大値が $L_{iA,Fmax}$ よりも心理尺度構成値と相関が高いこと、Jeon ら^{1.12)}も心理尺度構成値とラウドネスとの相関が高いことを示している。

この様に、床衝撃音遮断等級及び L 数の決定周波数となることの多い 63 Hz 帯域のみを評価や開発の対象とするのではなく、 $L_{iA,Fmax}$ などの値を参考にすることで適切な床構造の評価・開発を行うための方向が見えてくる。

1.1.4 乾式二重床構造による重量床衝撃音遮断性能の向上

木造床の重量床衝撃音遮断性能を向上するためには、駆動点インピーダンス、つまり面密度と曲げ剛性を高めて、振動しにくくすることが基本である。しかし、RC造床スラブ並みの床衝撃音遮断性能を得るためには、RC造床スラブと同等の駆動点インピーダンスを必要とする。この事実は、多くの実務者に木造床の重量床衝撃音遮断性能の向上が難しいとの判断を与えたといえる。しかし、かつて、RC造床スラブ厚が薄かった時代に普及した湿式浮床工法などのように、緩衝層をもった浮床工法は、軽量な木造に用いる工法として有効であると考ええる。

海外の事例をみると、特にヨーロッパでは、ベースとなる木造床にロックウールを敷き、その上にモルタル層を設けて厚手のじゅうたんで仕上げる工法がみられる。総厚さは、ベースとなる床面より上の部分でも200 mm以上となるものも多く、日本のRC造床スラブに用いられていた湿式浮き床工法を思わせる。軽量床衝撃音については聞こえないくらい静かであり、重量床衝撃音についても高い性能が期待できる。

日本では、東北地方などで、現在も湿式工法を多く採用されているが、工期の長さや職人不足など様々な理由により、RC造共同住宅に用いられた遮音工法は、湿式から乾式へ変わってきたことに鑑み、本論では、乾式二重床構造に着目する。

木造床に乾式二重床構造を施工した場合の重量床衝撃音遮断性能の向上に関しては、1990年前後にグラスウールを緩衝層とした乾式浮き床に関する研究^{1.13)}などが報告されている。その後は、しばらく研究は実施されていなかったが、最近になって再び研究成果が報告されている^{1.14),1.15)}。これらは、木造床に乾式二重床構造を施工することにより重量床衝撃音遮断性能が向上することを報告している。つまり、RC造床に施工した場合に性能向上が難しい乾式二重床構造^{1.17)}は、ベースとなる床構造が軽量である木造床に対して有効な工法であることを示唆している。

1.2 研究の目的

本研究は、図 1-1 に示す流れに沿って構成されており、次に示す二つの課題の究明と提案を通じて、桝組壁工法床の重量床衝撃音遮断性能の向上と評価方法の確立に資することを目的としている。

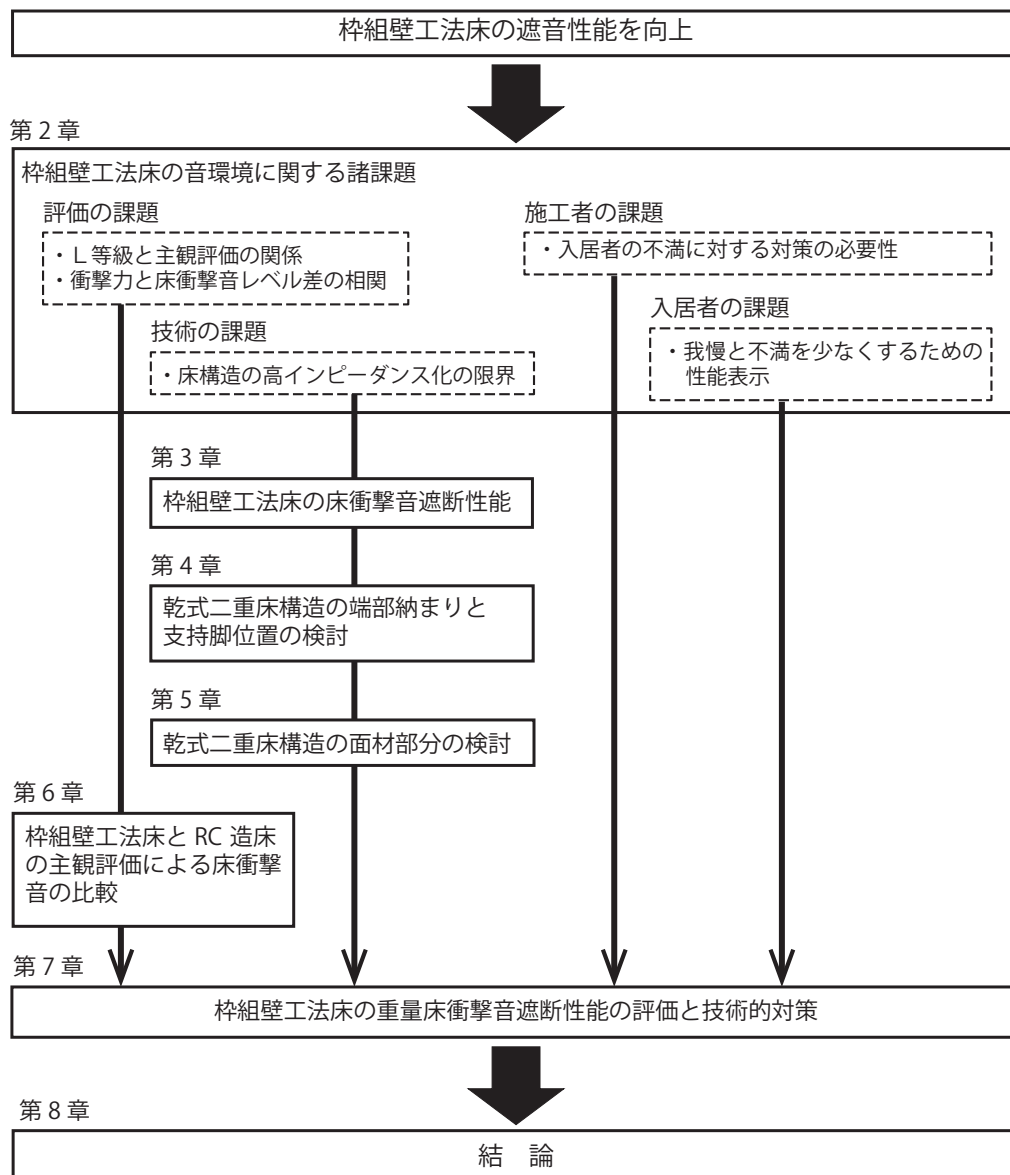


図 1.1 研究のフロー

-
- ・技術的課題の解明と具体的な工法の提案
 - ・主観評価に基づく適切な評価方法の提案

注釈

注 1.1) 平成 26 年度の住宅着工統計

注 1.2) L 等級を 1dB 単位とした単一数値評価指標

参考文献

- 1.1) 田中学, 漆戸幸雄, 羽染武則: ゴムボールによる重量床衝撃音遮断性能の測定方法の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.13 ~ 16, 2005.7
- 1.2) 日本建築学会環境工学委員会音環境運営委員会固体音小委員会: 床衝撃音遮断性能の日本建築学会遮音性能規準策定に向けた諸課題に関する文献調査結果, 2013.12
- 1.3) Jongkwan Ryu, Hiroshi Sato, Kenji Kurakata, Atsuo Hiramitsu, Manabu Tanaka and Tomohito Hirota: Subjective ratings of heavy-weight floor impact sounds in wood frame construction, Acoust. Sci. & Tech. 31,5, pp.371 ~ 375, 2010
- 1.4) Jongkwan Ryu, Hiroshi Sato, Kenji Kurakata, Atsuo Hiramitsu, Manabu Tanaka and Tomohito Hirota: Relation between annoyance and single-number quantities for rating heavy-weight floor impact sound insulation in wooden houses, J. Acoust. Soc. Am. 129(4), 2011
- 1.5) 村尾一義, 石丸岳史, 大脇雅直, 山下恭弘: 床衝撃音レベルの評価指標及び主観評価との対応に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 597 号, pp.1~6, 2005
- 1.6) 濱田幸雄, 井上勝夫, 平光厚雄, 漆戸幸雄: 最大 A 特性床衝撃音レベルと各種主観評価量の対応, 第 64 回音シンポジウム, 2009.3.19
- 1.7) 濱田幸雄, 井上勝夫, 平光厚雄, 漆戸幸雄: 重量床衝撃音の最大 A 特性音圧レベルと各種心理量の対応に関する主観評価実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.191 ~ 194, 2009.7
- 1.8) 濱田幸雄, 中澤真司, 稲留康一, 平松友孝: 建築音響関係者を対象とした床衝撃音聴感評価実験の検討 - 最大 A 特性床衝撃音レベル並びに L 数と各種主観評価量の対応 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.177 ~ 178, 2010.7
- 1.9) 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 D-1, pp.253 ~ 256, 2011.7
- 1.10) Y. Hamada, T. Hiramatsu, S. Nakazawa and K. Inoue: Evaluation of A-weighted floor impact sounds with maximum A-weighted sound pressure level, Proceedings of Inter-noise 2011, 2011.9.
- 1.11) A. Preis, M. Ishibashi, H. Tachibana: Psychoacoustic studies on assessment of floor impact sounds, J. Acoust. Soc. Jpn (E), 21, pp.69 ~ 77, 2000
- 1.12) J. Y. Jeon, J. K. Ryu, J. H. Jeong, H. Tachibana: Review of the impact ball in evaluating floor impact sound, Acustica, 92, pp.777 ~ 786, 2006
- 1.13) 木村翔, 井上勝夫, 藤本敬彦, 池田和洋: 乾式浮き床方式を用いた木質系床構造の床衝撃音低減方法に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.389 ~ 390, 1988.9
- 1.14) 平光厚雄, 辻村行雄, 芳野祐次, 村上知徳: 枠組み壁工法実大建物における床衝撃音に関する実験的検討, 社団法人日本音響学会建築音響研究会資料, AA2007-16, 2007.4

-
- 1.15) 平光厚雄，廣田誠一，田中学，佐藤洋：木造枠組壁工法の床衝撃音遮断性能に関する実験的検討 - 実験室測定における Resilient Channel と乾式二重床構造の影響 -，日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集 2009, pp.145 ～ 148, 2009.9
- 1.16) 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

第2章 枠組壁工法床の音環境に関する諸課題

本章では、枠組壁工法の音環境に関する諸課題としてあげた、「評価の課題」「技術の課題」「施工者の課題」「入居者の課題」について示す。このうち、「評価の課題」と「技術的課題」については、第4章から第6章において具体的に検討しその対策を示す。「施工者の課題」と「入居者の課題」については、他の二つの課題とともに第7章で枠組壁工法床の重量床衝撃音遮断性能の向上に資するための今後の方向性を示す。

2.1 評価の課題

評価の課題は大きく分けて2つある。一つは単一数値評価量と主観評価の関係、もう一つは、床衝撃源の衝撃力と床衝撃音レベルの関係である。

2.1.1 単一数値評価量と主観評価の関係

床衝撃音レベルの測定に用いる標準重量床衝撃源の衝撃周波数は、タイヤ衝撃源もゴムボール衝撃源も同じ25 Hzであり、衝撃力暴露レベルは図2.1に示す周波数特性を有している。床衝撃音レベルの周波数特性は、床構造がそれぞれの周波数帯域にお

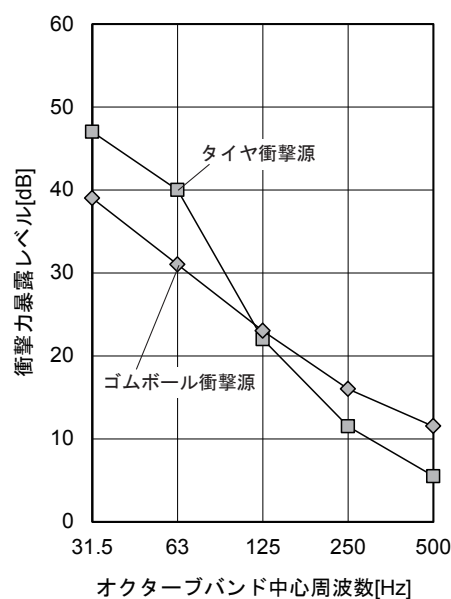


図 2.1 標準重量床衝撃源の衝撃力暴露レベル^{2.2)}

いてどの程度振動しにくいかによって変わるが、基本的には JIS A 1419-2 で示されている測定対象周波数帯域の最下限の周波数帯域である 63 Hz 帯域で最も大きくなり、周波数が高くなるに従って低下する。

枠組壁工法の床衝撃音に関する既往の実験報告^{2.1)}から、遮音工法の種類と床衝撃音レベルの周波数特性をまとめた結果を図 2.2 に示す。工法の種類は、面密度を増すためのせっこうボードの追加やモルタル付加、浮床工法などである。基準床と各工法の床衝撃音レベルを比較すると、63 Hz 帯域の測定値は 10 dB 程度の範囲に納まっているが、250 Hz 帯域や 500 Hz 帯域では 20 dB の範囲に広がっている。

63 Hz 帯域の測定値の範囲が狭くなる要因は、標準的な床構成の枠組壁工法床では、根太せいが 235 mm、長さが 3.6 m の場合に、床中央部の固有周波数は 30 Hz から 40 Hz、長さが 2.7 m の場合は 40 Hz から 50 Hz 付近となる。また、標準重量床衝撃源の衝撃周波数が 25 Hz であるため、遮音等級の決定周波数となることの多い 63 Hz 帯域の床衝撃音レベルが下がりにくくなる。

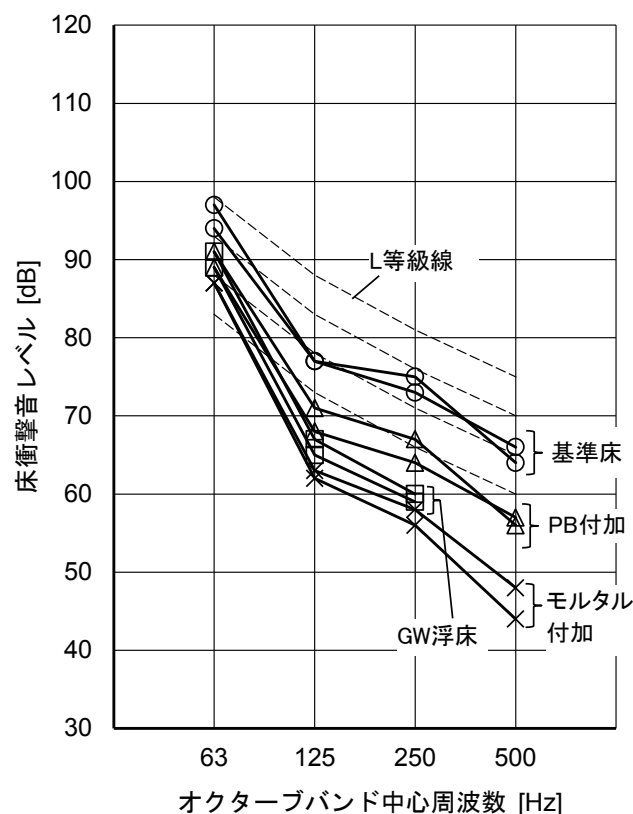


図 2.2 遮音工法と周波数特性（タイヤ衝撃源相当）

床構成の違いにより床衝撃音レベルの周波数特性は異なっても、63Hz 帯域が同程度であれば遮音等級は同程度となるが、このような音を実際に聞くと、気になる程度に差があると感じることがある。

そこで筆者らは、以前、実大実験室で録音した床衝撃音を基に図 2.3 に示すように周波数特性を変化させた音源を作成し、主観評価実験を行った^{2,2)}。この結果、遮音等級は同じであるが、元の音源に対し 63 Hz 帯域のレベルは変えずに 125 Hz 帯域より

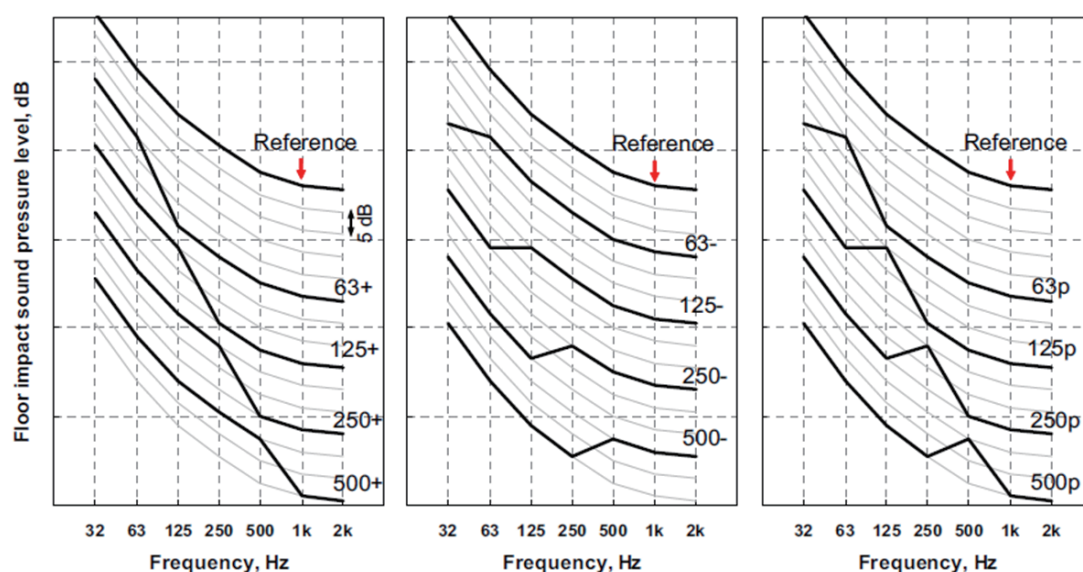


図 2.3 L 等級線に合わせた主観評価用音源の周波数特性

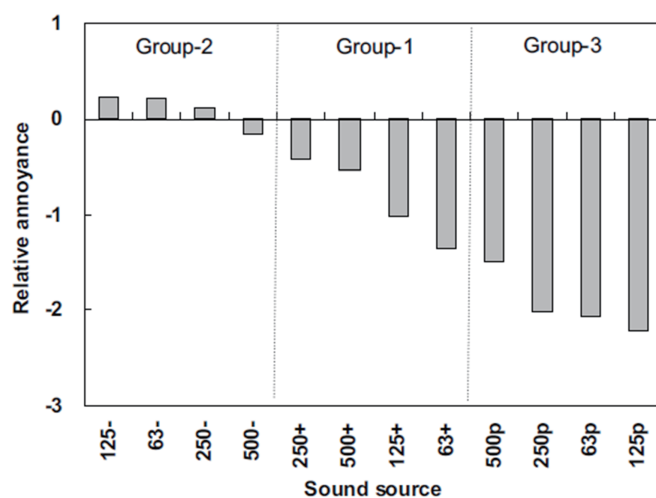


図 2.4 主観評価の反応

上の周波数帯域のレベルを 10 dB 下げた周波数特性を持つ音源を被験者に提示した場合（図 2.4 の 63+）に、うるさく感じにくくなるなどの傾向がみられた（図 2.4）。

また、床衝撃音と単一数値評価量の関係を主観評価実験により検討した結果、ラウドネスの相関が最も高いことが明らかになった^{2.3), 2.4)}。しかし、ラウドネス算出は手間がかかることから、比較的うるささの主観量との相関が高い最大 A 特性床衝撃音レベルが、現場などでも簡単に使用できる単一数値評価量として有効と考える。最大 A 特性床衝撃音レベルは図 2.5 に示すように L 数よりも相関が高い結果が得られてい

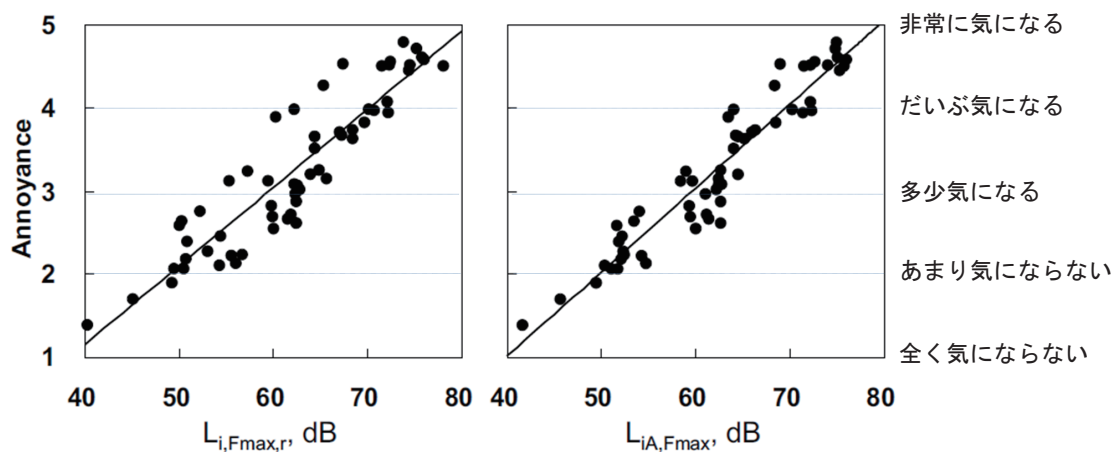


図 2.5 うるささの主観量と L 数，A 特性床衝撃音レベルの関係

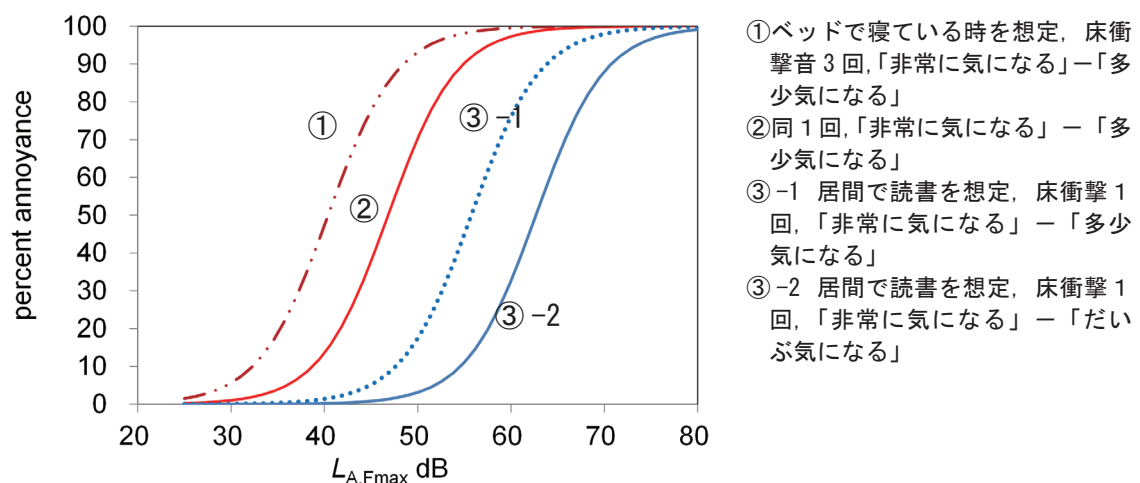


図 2.6 うるさく感じる割合と A 特性床衝撃音レベルの関係

る^{2.2)}。この関係は、他の既往の研究^{2.5), 2.6)}においても示されている。

次に、これらの主観評価実験の成果を設計にフィードバックするための検討として、佐藤らの研究^{2.7)}があげられる。この研究から得られた、床衝撃音をうるさく感じる割合と最大 A 特性床衝撃音レベルの関係を図 2.6 に示す。これは、①ベッドで寝ている時を想定した場合に床衝撃音が 3 回連続で聞えた場合、②同 1 回の場合、③居間で読書をしている時に 1 回聞こえた場合の 3 つの想定で行っている。①と②は「非常に気になる」－「多少気になる」の割合で、③は「非常に気になる」－「多少気になる」と「非常に気になる」－「だいぶ気になる」の二つの線を示している。

ベッドで寝ている時を想定し、床衝撃音が 1 回聞こえた音を「非常に気になる」－「多少気になる」と答えた人の割合を 10 % 以下にすることを目標値に定めると、その床には、最大 A 特性床衝撃音レベルが 40 dB 以下となる性能が必要となる。

これまでは、L 等級と住宅における生活実感との対応例^{2.8)}を参考に設計をしてきたが、より主観評価との相関が高い設計資料を普及することが重要である。



(1) タイヤ衝撃源



(2) ゴムボール衝撃源

写真 2.1 規格化されている標準重量床衝撃源

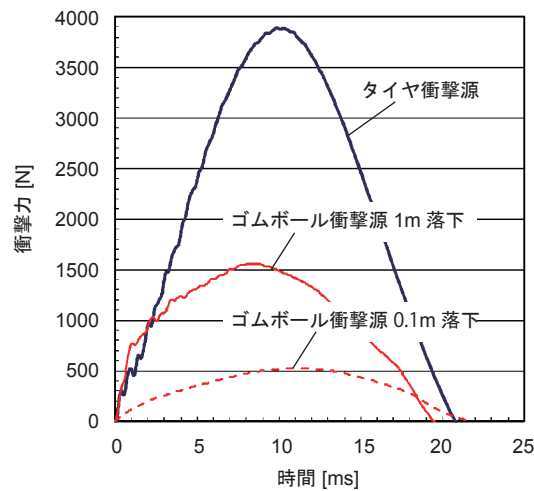


図 2.7 タイヤ衝撃源及びゴムボール衝撃源の衝撃力

2.1.2 床衝撃源の衝撃力と床衝撃音レベルの関係

床衝撃音レベルの測定は、遮音性能の高い床構造においても S/N 比を確保できるように、強い衝撃力が必要である。現在、重量床衝撃源として規格化されているものは、写真 2.1 に示す 2 種類である。タイヤ衝撃源は質量 7.3 kg のタイヤを 0.85 m から落下させる。ゴムボール衝撃源は質量 2.5 kg のゴムボールを 1 m の高さから落下させる。タイヤ衝撃源及びゴムボール衝撃源の 1 m 落下と 0.1 m 落下の衝撃力波形^{2.9)}を図 2.7 に示す。衝撃力のピーク値は、タイヤ衝撃源では 3900 N、ゴムボール衝撃源の 1 m 落下では 1600 N、ゴムボール衝撃源 0.1 m 落下では 500 N となっている。人の歩行時の衝撃力^{2.10)}は大学生の男子の普通歩行時のピークが 700 N、同じく女子で 500 N、小学生男女で 400 N であると示されている。

人の歩行とゴムボール衝撃源の衝撃力はその波形が同じではないため、ピークの衝撃力だけを合わせても疑似衝撃源とは言えないが、タイヤ衝撃源のような衝撃力が住宅内で発生することは稀であると考ええると、より日常的に発生しやすい人の歩行と同程度の衝撃力をもつ衝撃源で床衝撃音遮断性能の評価を行うことは「うるさく感じない床」を検討するために重要なことといえる。つまり、ゴムボール衝撃源 0.1 m 落下を評価として使用することが効果的といえる。しかし、佐藤の研究^{2.18)}に示されている枠組壁工法住宅で行われた、ゴムボール衝撃源の 1 m 落下時の最大 A 特性床衝撃音レベルと 0.1 m、0.5 m、1.2 m の各落下高さの同レベルの相関(図 2.8)をみると、最大

A 特性床衝撃音レベルの大きさの変化に対しては各落下高さとも傾きが同じであるが、0.1 m 落下は他の高さに比べるとばらつきが大きいことがわかる。よって、0.1 m 落下については慎重に扱う必要がある。なお、佐藤の結果は、ゴムボール衝撃源 1 m 落下による最大 A 特性床衝撃音レベルから各落下高さの同レベルを予測することが可能であることを示している。

タイヤ衝撃源については、ゴムボール衝撃源 1 m 落下よりも 2 倍以上大きい衝撃力であり、床構成によっては衝撃力の違いにより床衝撃音レベル差の測定結果が異なる場合がある（図 2.9）。このため、衝撃力の違いと適切な評価については検討すべき課題である。

なお、JIS A 1418-2 にはゴムボール衝撃源を 0.1 m の高さから落下させる測定方法は記載されていない。

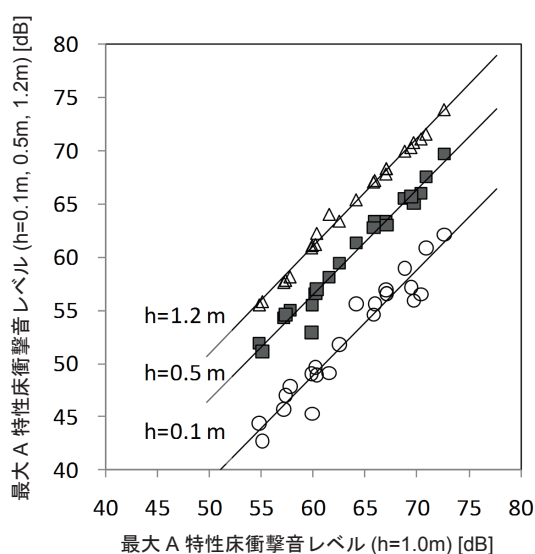


図 2.8 ゴムボール衝撃源の落下高さ 1 m の最大 A 特性床衝撃音レベルと他の高さの場合の関係

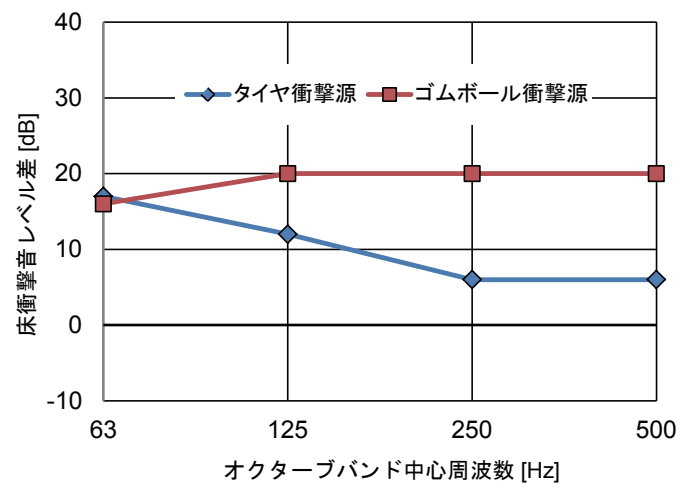


図 2.9 ゴムボール衝撃源とタイヤ衝撃源の床衝撃音レベル低減量の差が大きい例

2.2 技術的課題

2.2.1 床構造の高インピーダンス化の限界

重量床衝撃音遮断性能向上の基本は、床構造の「面密度 m の増加」と「曲げ剛性 B の増加」を行い、床構造全体を一体化し、駆動点インピーダンス Z_b を増加させることである。

床構造の駆動点インピーダンスは式 2.1 で表され、面密度 m と曲げ剛性 B で決まることわかる。

$$Z_b = 8\sqrt{B \cdot m} \quad \cdots \quad \text{式 2.1} \qquad B = I \cdot E \quad \cdots \quad \text{式 2.2}$$

ここで、
 B : 床断面の曲げ剛性 [$\text{N} \cdot \text{m}^2$]
 m : 床構造の面密度 [kg/m^2]
 I : 断面二次モーメント [cm^4]
 E : ヤング率 [N/m^2]

この駆動点インピーダンスは、「建築物の遮音性能基準と設計指針」^{2.8)}によると、タイヤ衝撃源を用いた場合の重量床衝撃音レベル等級（以下、 $L_{i,Fmax,r,H(1)}$ とする）が 65 を達成するために必要な Z_b は 150000 kg/sec、60 を達成するためには 250000 kg/sec を必要とする。いずれの値も天井を遮音天井とした場合である。この $Z_b = 150000 \text{ kg/sec}$ を RC 造床の厚さに換算すると普通コンクリートスラブで 0.1 m、250000 kg/sec は 0.12 m となる。つまり、 $L_{i,Fmax,r,H(1)}-60$ を確保するためには、床構造を普通コンクリートスラブ 0.12 m と同等の面密度と曲げ剛性を確保し、遮音天井を設けなければならないということである。

木造床で $L_{i,Fmax,r,H(1)}-60$ を達成した例を図 2.10 に示す。遮音材などで面密度を稼ぎ、床根太の上下に合板を留めつけて曲げ剛性を確保し、床からの振動が伝わりにくい独立した天井を構成している。実際の現場でこの仕様を施工するには、多くの手間とコストがかかるため普及するのは難しいと考えられる。

2.2.2 浮き床工法

前項の課題を解決するためには、衝撃による振動が直接床に入力しないように、緩

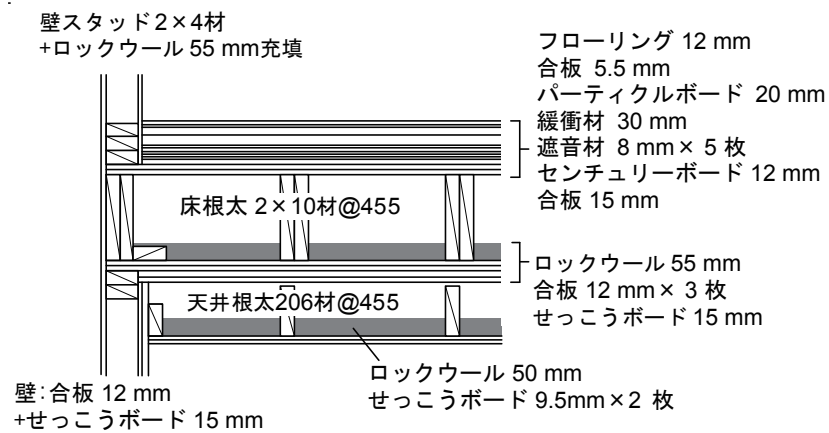


図 2.10 $L_{i,Fmax,r,H(1)}-60$ を達成した例

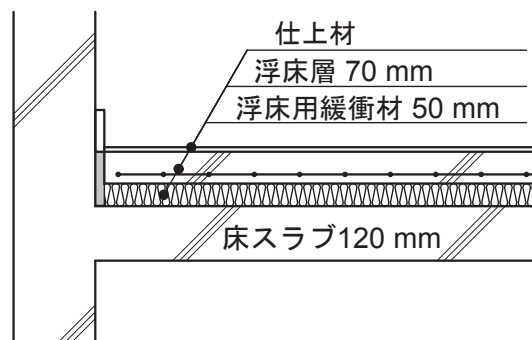


図 2.11 湿式浮き床工法の例

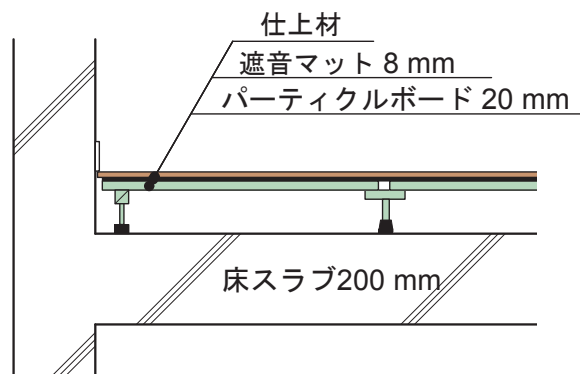


図 2.12 乾式二重床構造の例

衝層を設けて損失させる浮き床工法の採用が考えられる。かつては、スラブ厚の薄い RC 造マンションで湿式の浮き床工法（図 2.11）が普及しており、ベースとなる床スラブが薄くても、高い重量床衝撃音遮断性能を確保していた。しかし、湿式のため工期が長くかかること、建物の重量増を招きコストがかかる等のことから、時代が進むにつれ姿を消した。このため現在は、乾式二重床構造が普及している。

乾式二重床構造は、首都圏を中心とした RC 造民間分譲マンションで普及している。特徴としては、スラブ面の不陸調整が不要であること、スラブ上に設備配管などが可能であること、重量床衝撃音遮断性能はスラブ素面の性能より低下せず、軽量床衝撃音遮断性能は向上する（図 2.12）ことがあげられる。重量床衝撃音遮断性能は、普及する当初の頃は、スラブ素面よりも性能低下する場合が多く（例えば 2.11）、これを高めるために多くの研究が行われた。高倉ら^{2.11)}は、RC 造の現場における測定から、支持脚の接着方法、床高さ、防振ゴムの形状や硬度、床端部支持方法（際根太の有無等）、床端部隙間、吸音体の効果、施工方法（床先行工法、壁先行工法）などの要素と重量床衝撃音レベルの関係を報告している。

また、豊田ら^{2.12)}は、乾式二重床構造の支持脚及び空気層のばねによる振動伝搬に関して数値シミュレーションを行い、支持脚のばね定数によって影響の度合いが変化することや空気抜きがないことによる重量床衝撃音遮断性能低下の要因を明らかにしている。

RC 造床に乾式二重床構造を施工した場合の報告は多くあり、その蓄積が進んでいるが、枠組壁工法床に乾式二重床構造を施工した場合については、近年、いくつかの報告^{2.13) ~ 2.16)}がある程度である。これらの報告は、枠組壁工法床に乾式二重床構造を施工した場合に重量床衝撃音遮断性能が向上することを報告している。これは木造である枠組壁工法床に対して有効な工法であることを示唆している。

枠組壁工法床の重量床衝撃音遮断性能を高めるためには、乾式二重床構造が有効であると考えられるが、その研究報告がまだ少なく、実績がほとんどないため、今後の活発な活動が望まれる。

2.3 施工者の課題

施工者の課題を明らかにするために、一般社団法人日本ツーバイフォー建築協会加盟約 500 社に対しアンケート調査を実施した。このうち回答は 121 社から得た。

各社の営業地域は関東，中部，近畿圏で 65 % を占めており，北海道は 9 % であった。共同住宅と戸建住宅の施工実績は，共同住宅の実績がある企業が 39 社，戸建住宅が 115 社であった。

2.3.1 実際に施工されている床構造

回答結果から，標準的に施工されている床構造は，2 階床根太の種類は 210 材が多く，根太の間隔は 455 mm を採用していた。床仕上げ材はフローリングが 87 %，根太上の床合板の厚さは 83 % が 15 mm であった。

天井懐の吸音材の有無は約半数がロックウール（RW）かグラスウール（GW）を入れていた。厚さは 55 mm 以下が 65 %，100 mm 以下が 24 % となっていた。天井の構造形式は，直張天井が 27 %，天井根太を使用した独立天井が 29 %，防振吊木が 21 %，吊木が 17 % などとなっており，床衝撃音遮断性能の劣る直張天井の割合は少なかった。

根太と仕上げ材間へはせっこうボードや遮音マットを挿入することが多かった。

遮音対策としてオプションで行う工法は，「建築物の遮音性能基準と設計指針」^{2.8)}に掲載されている仕様のほか，床根太上へのせっこうボードの追加，天井懐への吸音材の挿入，天井の独立化，天井へのせっこうボードの増張りといった比較的容易に行える工法が多かった。

2.3.2 建物を計画・受注する際の施主からの部位別質問割合

図 2.13 に建物を計画・受注する際の施主からの質問割合を示す。

戸建住宅を見ると，「2 階床の歩行音」と「外部騒音への遮音性」に対して「質問されることが多い」，「約半数で質問される」の割合が他より若干高かった。全体的に「時々質問される」と「あまり質問されない」の合計は 7 ～ 8 割以上であり，質問されることが少ないといえる。

共同住宅は「界床の歩行音」，「界壁の遮音性」，「住戸間の話声，生活音への遮音性」

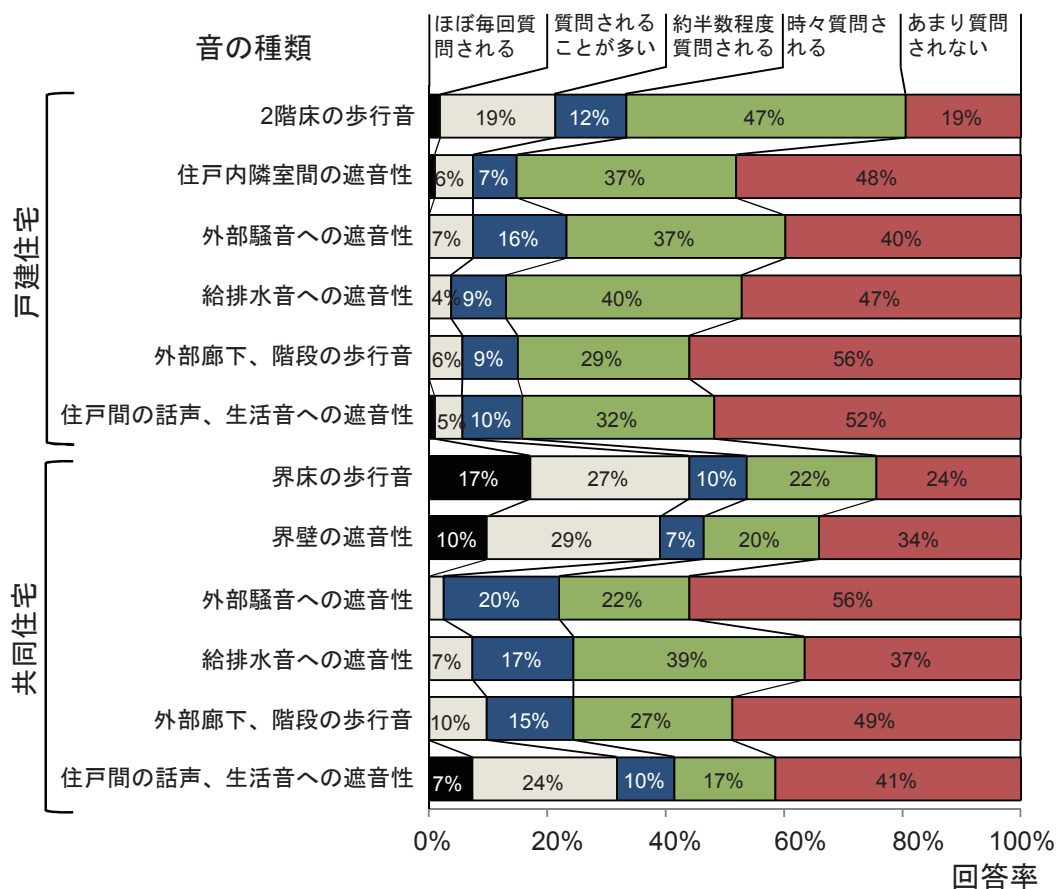


図 2.13 建物を計画・受注時の施主からの質問割合

の3つの項目の「ほぼ毎回質問される」と「質問されることが多い」の割合が高かった。これに対して、「外部騒音への遮音性」は同割合が低かった。

2.3.3 竣工後・入居後の施主の満足度

竣工後・入居後の施主の満足度を図 2.14 に示す。

戸建住宅では「2階床の歩行音」、「給排水音への遮音性」の2項目で「不満を言われたことがない」の割合が低く、「外部騒音への遮音性」は、「不満を言われたことはない」と「たまに不満を言われる」を合わせると9割になった。枠組壁工法のみならず気密性能が高い木造住宅では同様の傾向を示すと思われるが、2階床の歩行音への不満が若干あり、外部騒音に対しては不満が少なかった。「2階床の歩行音」について天井工法、天井懐への吸音材の有無、坪単価などとクロス集計を行ったが、いずれも有

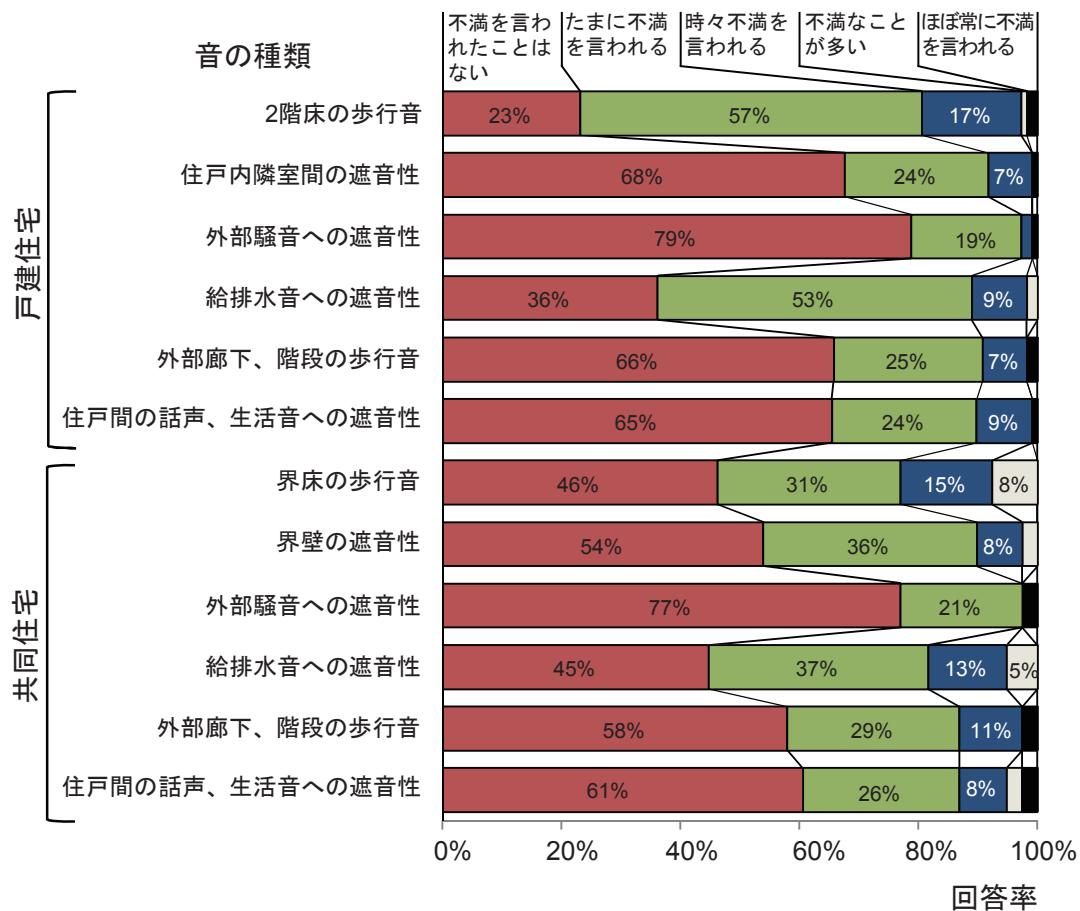


図 2.14 竣工後・入居後の施主からの質問割合

意な結果は得られなかった。

共同住宅では、「界床の歩行音」の「不満を言われたことはない」の割合が戸建住宅と比較すると高かった。対して「不満なことが多い」が8%あり、不満の内容が「不満なことが多い」と「不満を言われたことはない」の両方に分かれる傾向があった。その他の項目は戸建住宅とほぼ同様の割合になっていた。

2.3.4 課題

標準的に行われている工法の天井の構造形式を見ると、床根太と天井が振動的に切り離されていない直張天井が3割弱に上っていた。これらの床衝撃音遮断性能は既往の研究^{2.17)}から、独立天井よりも低い結果がでており満足が得られない要因の一つと考えられる。

また、共同住宅は界床や界壁についての施工前の質問は多いが、入居後は不満を言われにくい傾向があった。これに対し戸建住宅は施工前の質問は少なかったが、入居後に不満を漏らす人の多い傾向がみられた。自由記述から、共同住宅の界床及び界壁の標準仕様は床へのモルタル 38 mm やせっこうボード 15 mm × 2 の追加、天井懷に吸音材、独立天井+せっこうボード増張りといった工法が見られたのに対し、戸建住宅は戸建ゆえに遮音対策を標準では行っていない場合のあることが影響していると考えられる。

施工者の課題を以下に示す。

- ・重量床衝撃音遮断性能を向上する工法は、床に面材を追加する、天井懷に吸音材を挿入する程度しか行われていないことが多く、高性能な工法を施工している例は少ない。
- ・共同住宅の場合に、施主からの床衝撃音が気になるという意見はあるが、それに充分応えきれていない可能性が考えられる。
- ・これらの結果から予測すると、高性能な工法の技術的な情報が不足していると考えられる。

2.4 入居者の課題

木造民間賃貸共同住宅入居者の音に関する課題を明らかにするために、インターネット調査会社に委託してアンケート調査を実施した。回答が得られたサンプル数は 515 件、スクリーニング条件は次のとおりとした。

- ・ 木造の賃貸共同住宅に入居していて、上下階の住戸や隣戸に他の入居者がいること（長屋建て、平屋を除く）
- ・ 北海道内に居住していること
- ・ 現住居の契約者もしくは契約者の意向がわかる方が回答すること

2.4.1 入居している住宅の遮音対策の認知度

居住している住宅の遮音対策についての認知度を確認するために、「あなたが住んでいる住宅には、住戸間などに音を伝えにくくする対策が行われていますか」という質問を行った結果、「わからない」との回答が最も多かった。次点は「何も行われていない」であった。この二つの回答を合わせると、合計は 456 件で、回答者数の 9 割を占めていた。賃貸のため契約時に事業者側からの説明が無ければわからないが、遮音性能が問題となりやすい木造共同住宅に入居する際に、その性能について事業者と入居者間での確認が行われていない可能性が示唆される。

2.4.2 上下階からの騒音の気になる程度

最上階居住者を除く 227 回答を対象に、夜間に上下階から聞こえる各騒音に対して、どの程度気になるかを質問した。各騒音の気になる程度は「非常に気になる」「だいぶ気になる」「多少気になる」「あまり気にならない」「全く気にならない」の 5 段階とした。

集計結果を図 2.15 に示す。最も「非常に気になる」が多いのは「足音」で 20.3 % が回答した。「非常に気になる」「だいぶ気になる」「多少気になる」を合計すると 63.9 % になり、多くの居住者が「足音」を気にしていることがわかる。同じく「トイレの給排水音」「掃除機の音」「イス・家具などを引きずる音」がこれに続いており、重量床衝撃音、軽量床衝撃音、設備騒音といった固体伝搬音が上位を占めていた。

図 2.16 に「非常に気になる」「だいぶ気になる」「多少気になる」と回答した結果の合計の日中と夜間の比較を示す。「足音」や「掃除機の音」「イス・家具などを引きず

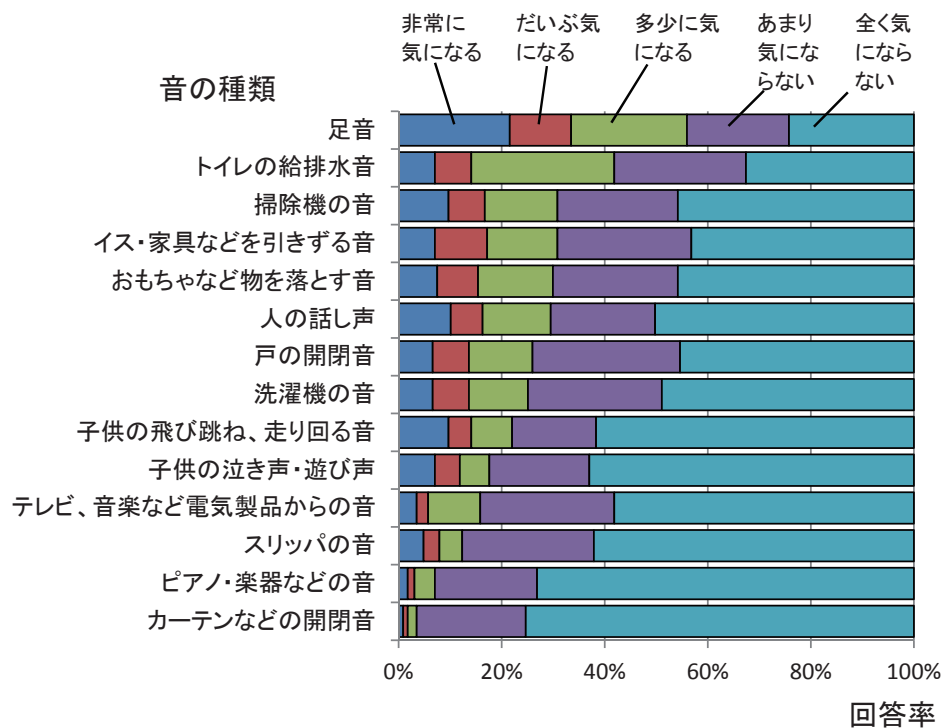


図 2.15 上階または下階からの音に対する気になる程度（夜間）

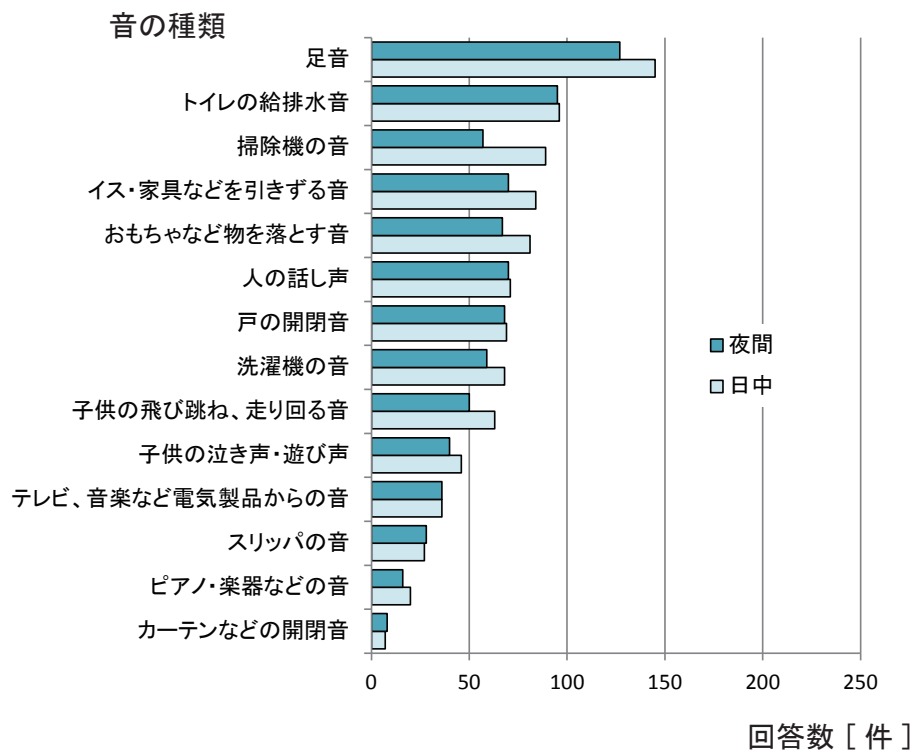


図 2.16 上階または下階からの音に対する気になる程度の日中と夜間の比較

る音」「おもちゃなど物を落とす音」「子供の飛び跳ね、走り回る音」といった、日中に活動する子供や家事に関する項目は夜間よりも日中の方の回答数が多かった。また、推測ではあるが、入居者の意識として日中よりも夜間に気を使っている可能性も考えられる。

以上のことから、重量床衝撃音に分類される騒音の中では「子供の飛び跳ね、走り回る音」のような衝撃力の大きい音よりも、比較的衝撃力の小さい「足音」の方の気になる程度が大きかった。

2.4.3 自ら行っている騒音発生対策

入居者が室内において、自ら行う生活行為から発生する騒音に対して気を使っている内容を把握するため、「自分が生活する際に発生する騒音に対して、日常、自宅で気を使っていることはあるか」という質問を行った。この結果、「夜間に洗濯や掃除を行わない」が333件（65%）で最も多く、次いで232件（45%）の「静かに歩く」、「大きな声を上げない」「戸を静かに閉める」「テレビの音を小さくする」などが200件程度の回答となった（図2.17）。

洗濯や掃除機の音は、図2.15でも上位になっており、夜間にこれらの音が他の室から聞こえて気になるために、自らはなるべく騒音を発生しないように気を付けていると考えられる。「静かに歩く」についても、同様と考えられる。

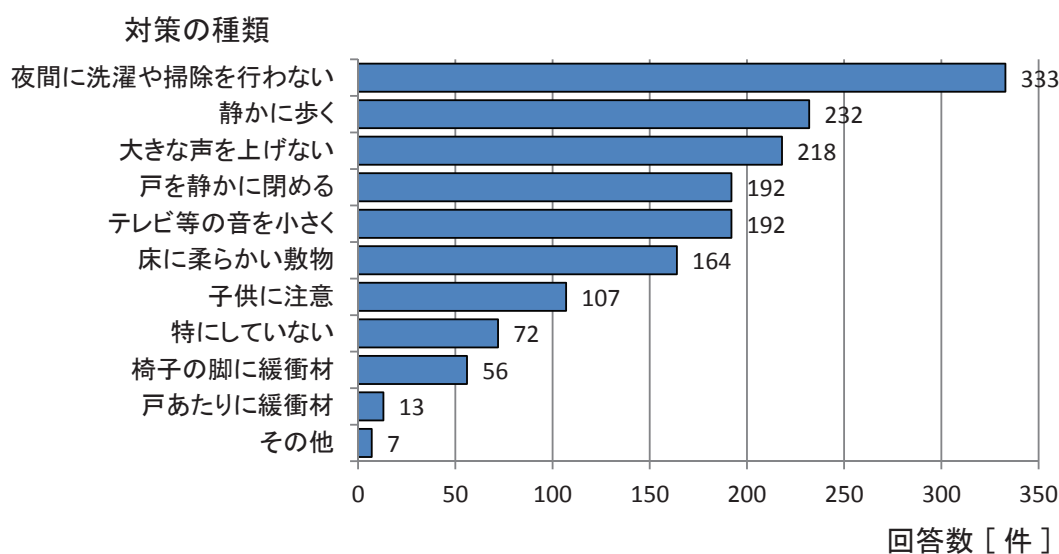


図 2.17 居住者が行っている騒音発生への対策

2.4.4 遮音性能に関する性能の表示

住宅性能表示制度が始まっているが、民間賃貸住宅ではまだ普及が進んでいない。そこで、「賃貸住宅に防音性能に関する性能を表示することは必要と思うか」との質問を行った。結果を図 2.18 に示す。最も多かった回答は 73 % の「床の防音性能の表示が必要」であった。「隣戸の防音性能」についても 64% と高く、この二つの項目について表示が望まれていると言える。「必要ない」との回答は 15 % であった。

2.4.2 では割愛したが「隣室からの音に対する気になる程度」では「人の話し声」が 109 件でトップになっており、「足音」「人の話し声」という、気になる程度の大きい項目について性能表示を望んでいると考えられる。

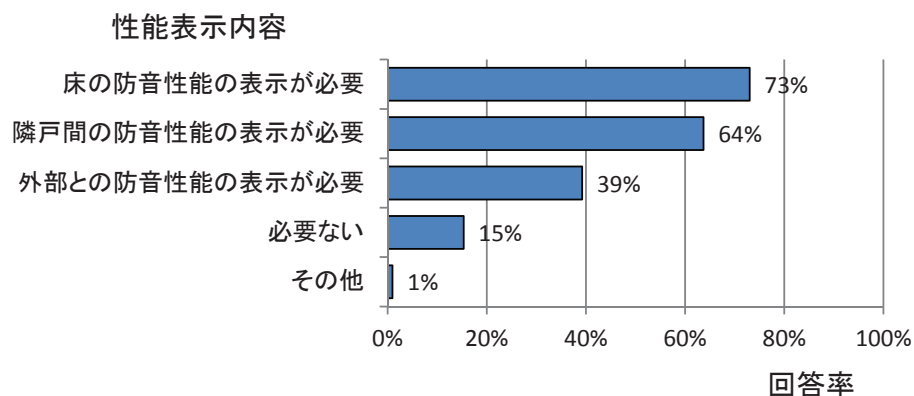


図 2.18 賃貸住宅への防音性能に関する性能表示の必要性

2.4.5 課題

入居者の課題を以下に示す。

- ・自分が発生する騒音に対して、多くの回答者が気を使っており、特に上階に居住した場合は床衝撃の発生や掃除・洗濯を行う際に騒音が生じないように使っている。
- ・騒音の気になる程度については「足音」が特に指摘が多かったため、子供の飛び跳ねといった大きな衝撃力よりも、小さな衝撃力に対して対策が必要といえる
- ・遮音性能の表示については、多くの回答者が必要と回答した。

これらの結果から推測すると、

-
- ・多くの入居者は、住宅の重量床衝撃音遮断性能に不満を持ちながら、自らの音を発生させないよう気を付けて入居していると考えられる。
 - ・遮音性能の表示のニーズが高いが、その声が事業者へ届いていないと考えられる。

参考文献

- 2.1) 日本ツーバイフォー建築協会・建設省建築研究所：ツーバイフォー木造共同住宅の床衝撃音模型実験研究，1994.3
 - 2.2) Jongkwan Ryu et.al , Subjective ratings of floor impact sounds in wood frame construction, Inter-noise2009, Ottawa, Canada
 - 2.3) 佐藤 洋，廣田 誠一，田中 学，平光 厚雄，辻村 行雄，泉 潤一：ラウドネスによる床衝撃音の評価：木造枠組壁工法住宅の床遮音工法に関する研究 (5)，日本建築学会学術講演梗概集・D-1, 環境工学 I, P187 ～ 188, 2010.7
 - 2.4) 佐藤 洋，廣田 誠一，田中 学，平光 厚雄，泉 潤一，村上 剛志：ラウドネスによる床衝撃音の評価とその応用：木造枠組壁工法住宅の床遮音工法に関する研究 (7)，日本建築学会学術講演梗概集・D-1, 環境工学 I, P189 ～ 190, 2011.7
 - 2.5) 浜田幸雄，中澤真司，稲留康一，平松友孝：建築音響関係者を対象とした床衝撃音長官評価実験結果の検討ー最大A特性床衝撃音レベル並びにL数と各種主観量の対応ー，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-1, 環境工学 I, P177 ～ P178, 2010.7
 - 2.6) 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，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-1, 環境工学 I, P249 ～ P252, 2011.7
 - 2.7) 佐藤洋：「うるささ」感覚評価に基づいた床衝撃音遮断性能の計測及び評価方法の開発，日本ツーバイフォー建築協会 第7回坪井記念助成研究報告書，2011.4
 - 2.8) 日本建築学会：建築物の遮音性能基準と設計指針，技報堂出版
 - 2.9) 廣田 誠一，佐藤 洋，田中 学，平光 厚雄，辻村 行雄，泉 潤一，村上 剛志：木造枠組壁工法住宅の重量床衝撃音の評価に関する研究：床衝撃源の違いと単一数値評価量について，日本建築学会北海道支部研究報告集 83 号，P293 ～ 296, 2010.7
 - 2.10) 井上勝夫，木村翔，前原暁洋，渡辺秀夫，松岡明彦：床歩行時の足裏各部の衝撃力特性，日本建築学会計画系論文集 第 477 号，P1 ～ 10, 1995.11
 - 2.11) 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
 - 2.12) 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
 - 2.13) 平光厚雄，辻村行雄，芳野祐次，村上知徳：枠組み壁工法実大建物における床衝撃音に関する実験的検討，社団法人日本音響学会建築音響研究会資料，AA2007-16, 2007.4
 - 2.14) 平光厚雄，廣田誠一，田中学，佐藤洋：木造枠組壁工法の床衝撃音遮断性能に関する実験的検討 - 実験室測定における Resilient Channel と乾式二重床構造の影響 -，日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集 2009，pp.145 ～ 148, 2009.9
 - 2.15) 廣田誠一，佐藤洋，田中学，清野明，村上剛志，辻村行雄，平光厚雄：試験室における乾式遮音二重床の床衝撃音レベル改善効果，木造枠組壁工法住宅の床遮音に関する研究 8，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1，pp.191 ～ 192, 2011.7
-

-
- 2.16) 廣田誠一，田中学，平光厚雄，佐藤哲身：枠組壁工法床に乾式二重床構造を施工した場合の床衝撃音レベルと乾式二重床構造面材部分の駆動点インピーダンスの関係，日本建築学会環境系論文集，第 712 号，pp.501 ～ 508, 2015.6
- 2.17) 廣田ほか，第 2,3,4 回坪井記念研究助成 枠組壁工法の天井懐に着目した上下階間遮音性能に関する研究，2005 ～ 7 年度
- 2.18) 佐藤洋：第 7 回（2010 年度）坪井記念研究助成「「うるささ」感覚評価に基づいた床衝撃音遮断性能の計測及び評価方法の開発」報告書，2011

第3章 枠組壁工法床の遮音工法とその特徴

本章では、国内で発表された論文や梗概を年代毎にまとめた変遷を示すとともに、これまで実施してきた枠組壁工法に関する研究で得られた成果^{3.1),3.2),3.3)}を基に遮音工法の分類と特徴をまとめる。また、カナダ国立研究機構が日本及び韓国と共同で実施した研究の成果の一部を示す。

3.1 遮音工法の変遷

木造建物における床衝撃音対策関連の研究を時系列毎に図 3.1 に示す。

論文・梗概等の本数は 1990 年代が最も多く、その後、10 年程少なくなり、近年になってやや増加傾向にある。1980 年代後半からは、井上ら^{3.4)}が、高剛性床パネル、遮音天井、下階壁の高剛性化などに取り組み、 $L_{i,Fmax,r,H(1)}$ -55 を達成している。同時期に根田ら^{3.5)}は、ALC 板（厚さ 37 mm）を床に敷設し防振天井と組み合わせることによって $L_{i,Fmax,r,H(1)}$ -65 を達成している。この様に木造床構造における床衝撃音低減方法として、木造建築物の床衝撃音遮断性能が、特に重量衝撃源で低下する原因として、①床の質量不足、②木構造部材の接合点で固定度が低いこと、③釘接合などにより床断面の剛性が低いこと、④乾式工法のため音響的な隙間が生じやすいことが課題であり、これを改善するには、床断面及び壁断面の高剛性化や質量増 = 駆動点インピーダンスの増加、天井での遮音、下室壁面の高剛性化等が必要であるとしている。インピーダンス法に関しては、井上ら^{3.6)}が床衝撃音レベルの予測手法としてまとめ報告している。

1995 年頃には、床衝撃音をアクティブに制御するための試みが行われている。これは、渡部ら^{3.7)}により、重量床衝撃音の遮音等級決定周波数となることが多い 63 Hz 帯域に共振周波数をもつダンパーを天井面に取り付けるもので、4 dB 程度の効果が得られている。また、橋本ら^{3.8)}は、電氣的に逆位相の音をスピーカから発生し 63 Hz 帯域の床衝撃音の低減を試みたが実用化には課題が多い。

この後、信州や北海道における高性能住宅における床衝撃音遮断性能向上に関する研究がいくつか行われたが、2000 年代は研究論文等はほとんど発表されていない。近年になって、乾式二重床構造に関する研究が見られるようになってきた。

2013 年からは、平成 22 年度施行の「公共建築物等における木材の利用の促進に関

する法律」に連動し大規模木造建築物に関する床衝撃音遮断性能に関する研究が行われ始めた。

一方、床衝撃音を用いた主観評価については、1992年に井上ら^{3.9)}が木造住宅の床衝撃音を録音して提示し評価を行いL数との関係を示した。1998年には森川ら^{3.10)}が、床衝撃音の主観評価と血圧や血流などの生理評価との関係を示した。その後、2009年から、第2章で示したが、佐藤ら^{2.2)～2.4)}が枠組壁工法住宅の床衝撃音を音源に主観評価を行い、心理尺度構成値と単一数値評価量との関係などを示した。なお、図3.1の作成に使用した論文・梗概等の一覧を本論末の付表1に示す。

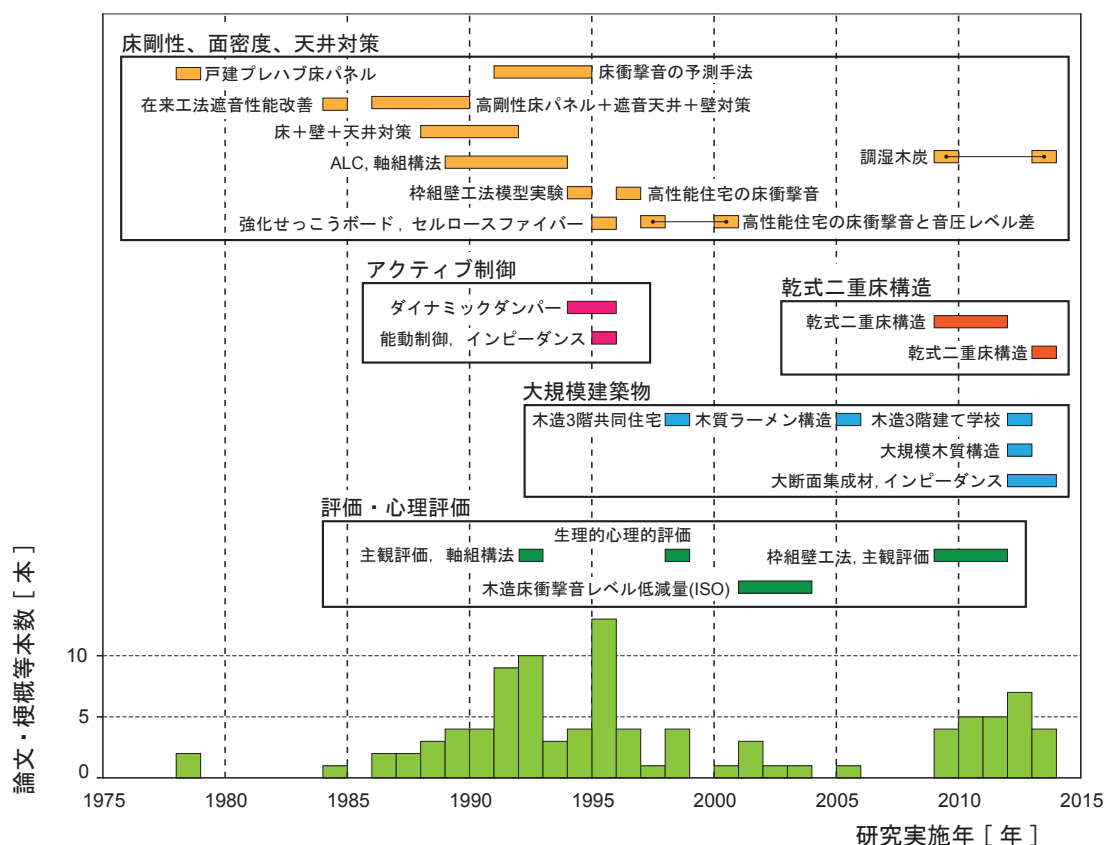


図 3.1 木造建物に関する床衝撃音対策に関する論文・梗概等の変遷

出典：日本建築学会データベースによる検索結果

3.2 遮音工法の分類と特徴

3.2.1 直張天井と省令準耐火構造

桝組壁工法は、天井の納め方として、床根太の下に天井面材としてせっこうボードを直張りする、図 3.2 に示す「直張天井」がある。床根太が床材の下地と天井材の下地を兼用するため、非常に合理的であるが、床の振動が直接下階天井に伝わり、下室内に音として放射されるため、遮音の観点からは課題のある納め方である。

これに対し、天井根太を床根太と別に設ける「独立天井」がある。スタッドの高さを増さなければならないなどコスト的なデメリットはあるが、遮音上は有利である。この独立天井をベースとした省令準耐火構造適合工法（図 3.3）がある。近年の桝組壁工法住宅はこの工法を用いることが多く、スタンダードと考えてよい。あくまで参考であるが、これまでの実住宅における測定結果では、直張天井の場合はおおよそ

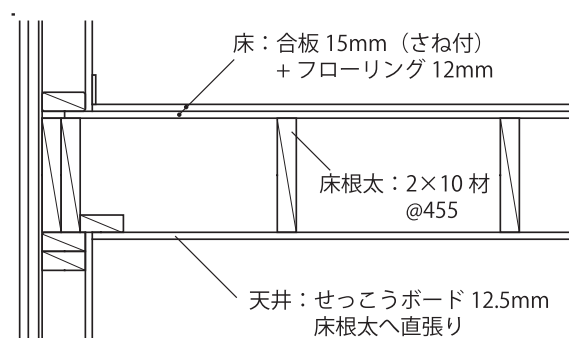


図 3.2 直張天井工法

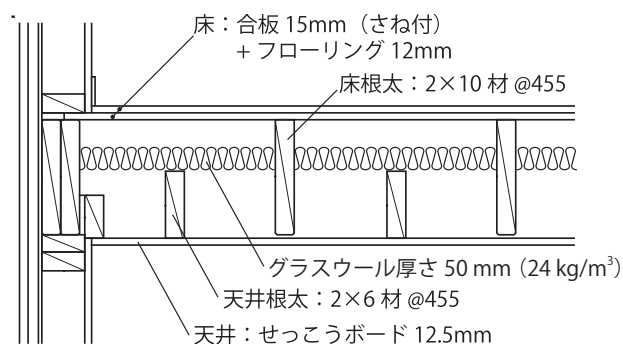


図 3.3 省令準耐火構造適合工法

$L_{i,Fmax,r,(H1)} - 80$, 省令準耐火構造適合工法の場合はおよそ $L_{i,Fmax,r,(H1)} - 70$ であった。

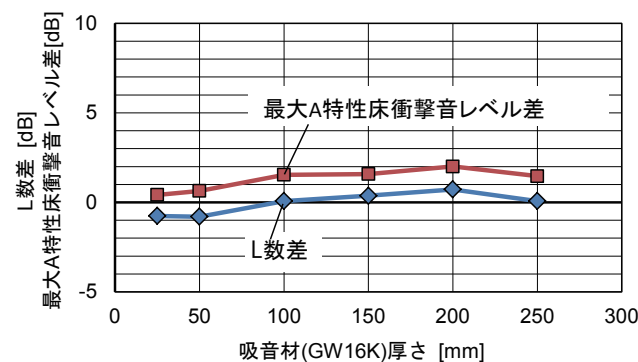
3.2.2 吸音材の厚さと単一数値評価量の関係

既往の研究成果^{3.1)}で得られた、ゴムボール衝撃源を用いた場合の直張天井及び独立天井の吸音材の厚さと単一数値評価量の関係を図 3.4 に、同タイヤ衝撃源の場合を図 3.5 に示す。

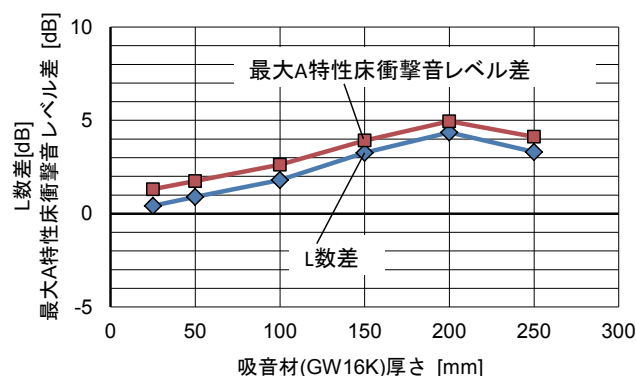
両衝撃源ともに、独立天井の場合に吸音材を厚くすることにより単一数値評価量が大きくなるのに対し、直張天井では、吸音材を増しても性能向上につながっていない。

天井による違いについては、直張天井において、 $L_{iA,Fmax}$ と L 数の差は、独立天井における差よりも大きくなっている。

衝撃源による違いについては、タイヤ衝撃源の場合に差が小さかった。これは、床衝撃音レベルに A 特性の補正をしても L 数の決定周波数である 63 Hz 帯域が最も大き

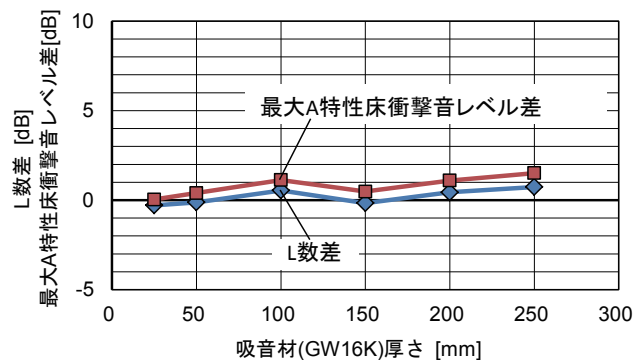


(1) 直張天井

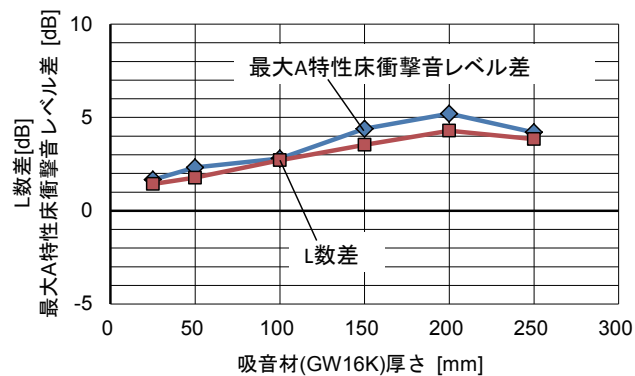


(2) 独立天井

図 3.4 天井懐の吸音材厚さと単一数値評価量の関係（ゴムボール衝撃源）



(1) 直張天井



(2) 独立天井

図 3.5 天井懐の吸音材厚さと単一数値評価量の関係（タイヤ衝撃源）

い値となるためである。

なお、ここで吸音材に用いたグラスウールの密度は 16 kg/m^3 （以下、密度表示は 16 K、32 K とする。）で繊維径の細い高性能品とした。同じく高性能品の密度が 32 K の製品についても実験を行ったが 16K 品とほとんど差が見られなかった。また、天井懐内のグラスウールの位置による性能差を確認するために 32 K-45 mm × 2 のグラスウールを天井懐内で上部中部下部に移動して測定を行ったが、ほとんど差が生じなかった。

3.2.3 Resilient channel

Resilient channel は、ボードをスタッドや天井根太に止めつけるための金属製の下地材で、板状のばねが振動伝達を低減する効果を示す。断面及び写真を図 3.6 及び写真 3.1 に示す。北米ではかなり普及しているが、日本ではあまり普及していない。

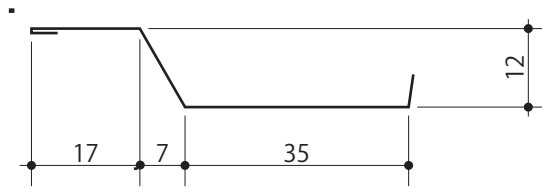


図 3.6 Resilient channel の断面例（材質：スチール 厚さ 0.5mm）



写真 3.1 Resilient channel

直張天井の場合に、天井に留めつけるせっこうボードの枚数が 1 枚の場合は重量床衝撃音レベルの低減効果は得られなかったが、2 枚、3 枚と増し張りすることで表れた。独立天井に Resilient channel を用いた場合は、直張天井に Resilient channel を用いた場合の性能と同程度の効果が得られた。

3.2.4 質量付加

床上に質量を付加する工法は床を振動しにくくするため、特に重量床衝撃音に対しての効果が得られる。剛性を高める工法よりも施工が簡単で効果を得やすい。しかし、単に質量のみを付加すると低い周波数の揺れが収束しにくくなるため、面材同士を接着して一体化したり、根太をダブルにするなど、より剛性を高める工夫が同時に必要である。

3.2.5 乾式二重床構造

乾式遮音二重床構造は、RC 造マンションで普及している工法で、床上に空間ができるため、配管・配線ができるとともに、木質フローリングを使用しても、軽量床衝撃

音の遮断性能を確保できるメリットがある。重量床衝撃音の遮断に対しても効果があり、特にタイヤ衝撃源よりも衝撃力の小さいゴムボール衝撃源の場合に効果が高くなる傾向を持っている。

一般的な構成は、上から木質フローリング、パーティクルボード 20 mm、脚（プラスチックもしくは鋼製で高さのバリエーションが豊富）、ゴムである。パーティクルボードの寸法は 600 mm × 1820 mm を用いる仕様が多数。

床衝撃音遮断性能を確保するために納まりの注意点がいくつかある。幅木とフローリング間に隙間を設ける、壁際の根太は防振根太を用いるなどである。詳しくは第 4 章及び第 5 章に示す。

3.2.6 各工法の性能

3.2.1 から 3.2.5 に示した各工法について、直張天井及び省令準耐火構造適合仕様との L 数及び $L_{iA,Fmax}$ 差を図 3.7 から図 3.15 に示す。

なお、表に示す数値は単位は dB で "+" の数字は性能が向上すること "-" の数字は性能が劣ることを示す。

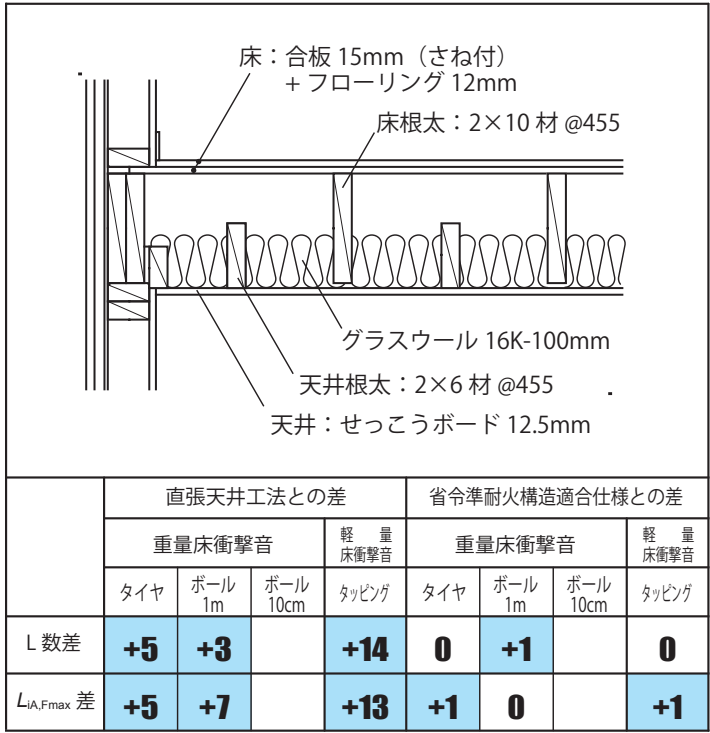


図 3.7 独立天井にグラスウール 16K-100mm

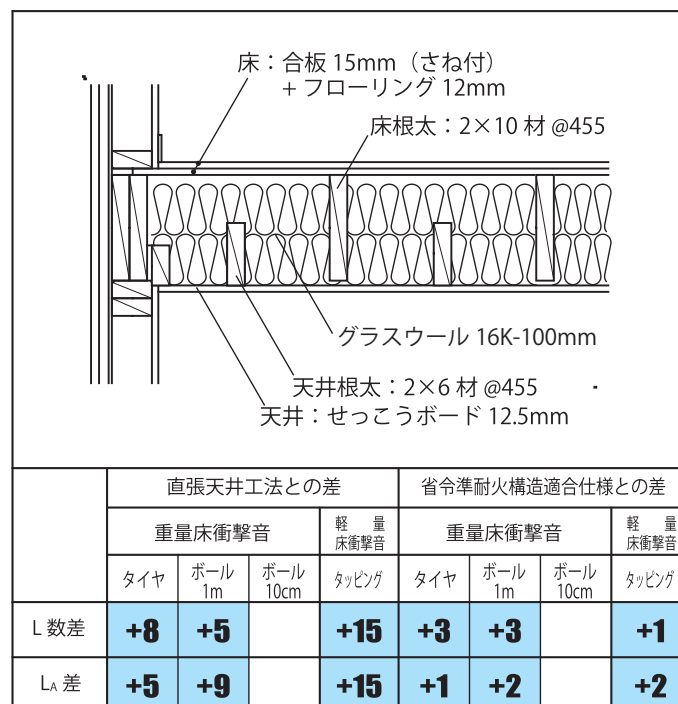


図 3.8 独立天井にグラスウール 16K-200mm

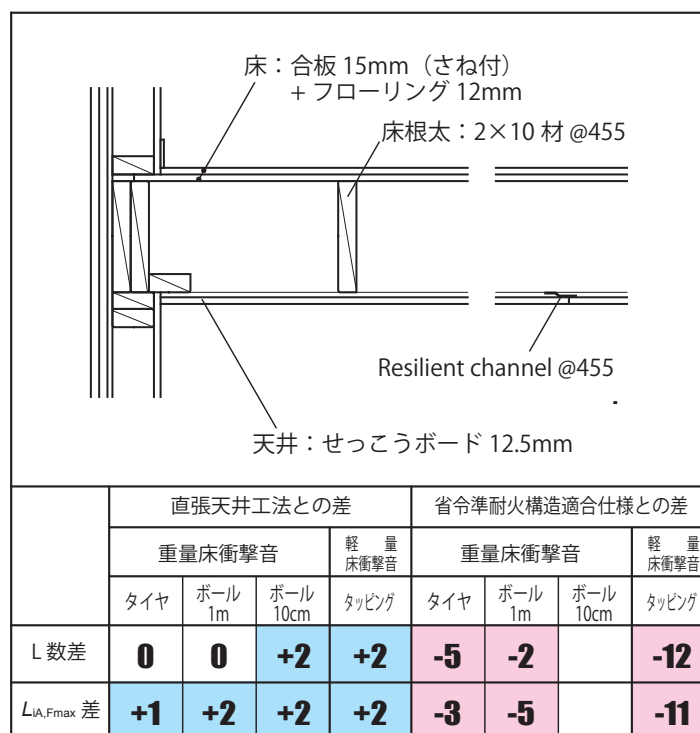


図 3.9 直張天井に Resilient channel+ せっこうボード 12.5mm 1 枚

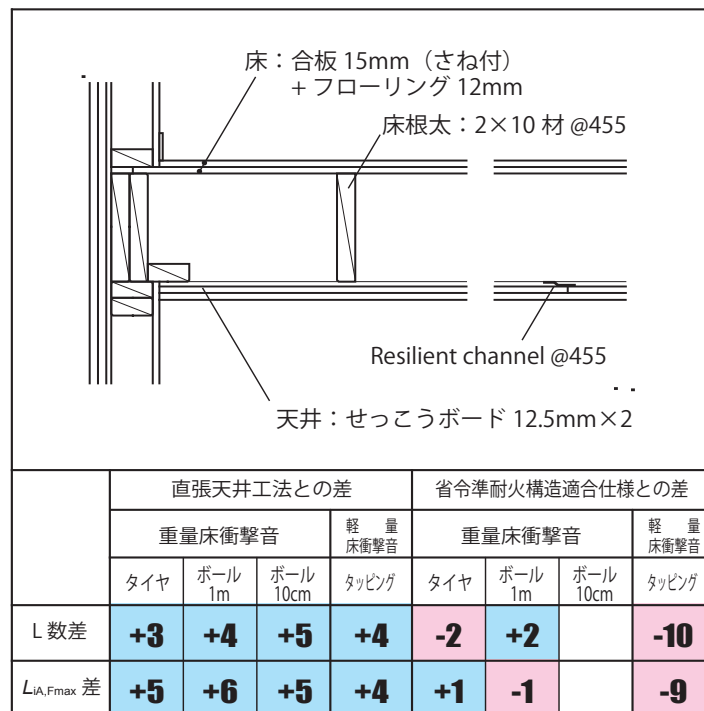


図 3.10 直張天井に Resilient channel + せっこうボード 12.5mm 2 枚

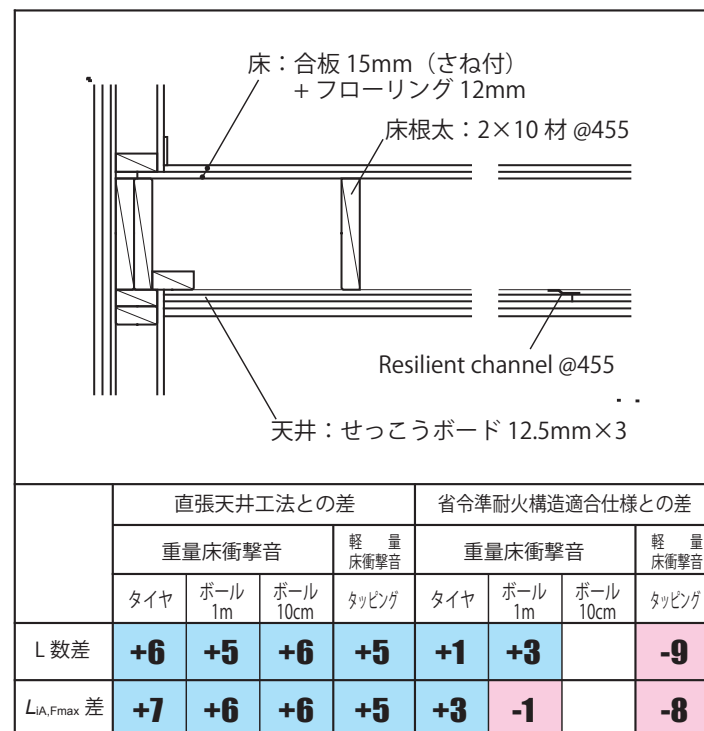


図 3.11 直張天井に Resilient channel + せっこうボード 12.5mm 3 枚

	直張天井工法との差				省令準耐火構造適合仕様との差			
	重量床衝撃音			軽量床衝撃音	重量床衝撃音			軽量床衝撃音
	タイヤ	ボール 1m	ボール 10cm	タッピング	タイヤ	ボール 1m	ボール 10cm	タッピング
L 数差	+10	+6		+12	+5	+4		+2
$L_{A,Fmax}$ 差	+12	+10		+12	+8	+3		+1

図 3.12 独立天井に ALC 板 50mm

	直張天井工法との差				省令準耐火構造適合仕様との差			
	重量床衝撃音			軽量床衝撃音	重量床衝撃音			軽量床衝撃音
	タイヤ	ボール 1m	ボール 10cm	タッピング	タイヤ	ボール 1m	ボール 10cm	タッピング
L 数差	+13	+9		+14	+8	+7		0
$L_{A,Fmax}$ 差	+14	+12		+13	+10	+5		0

図 3.13 独立天井に硬質木片セメント板 50mm

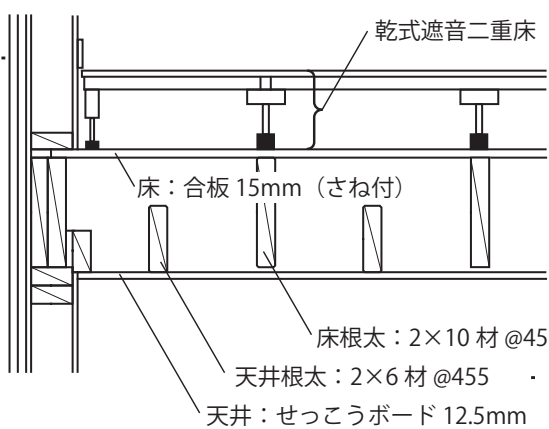
								
	直張天井工法との差				省令準耐火構造適合仕様との差			
	重量床衝撃音			軽量床衝撃音	重量床衝撃音			軽量床衝撃音
	タイヤ	ボール 1m	ボール 10cm	タッピング	タイヤ	ボール 1m	ボール 10cm	タッピング
L 数差	+6	+10		+24	+1	+8	+8	+10
$L_{IA,Fmax}$ 差	+5	+11			+1	+4	+4	

図 3.14 独立天井に乾式二重床構造

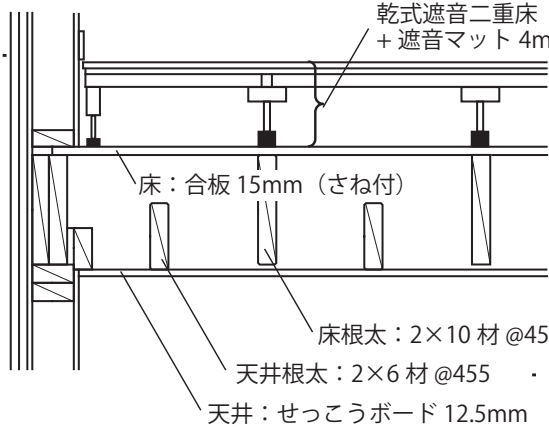
								
	直張天井工法との差				省令準耐火構造適合仕様との差			
	重量床衝撃音			軽量床衝撃音	重量床衝撃音			軽量床衝撃音
	タイヤ	ボール 1m	ボール 10cm	タッピング	タイヤ	ボール 1m	ボール 10cm	タッピング
L 数差	+7	+12		+25	+2	+10	+11	+11
$L_{IA,Fmax}$ 差	+8	+14			+4	+7	+6	

図 3.15 独立天井に乾式二重床構造 + 遮音マット 4mm

3.2.7 カナダ国立研究機構の研究

カナダ国立研究機構 (National Research Council Canada) では、日本の枠組壁工法住宅の上下階間の、特に重量床衝撃音に対する遮音性能を向上するための研究を 2007 年から 2009 年までの 3 年間に渡り実施した。この研究は日本だけではなく韓国も参加し 3 か国で情報交換を行いながら実施された。

カナダ国立研究機構には、RC 造の上下室間に床及び天井を取り付けて測定を行う試験室 (M59 : 図 3.16 参照)、側路伝搬音を含めた測定を行うため壁床天井を備えた 2 階建の試験室 (TH7 : 写真 3.2, 図 3.17 参照) の二つがある。これらの試験室を用いてカナダ国立研究機構が行った研究結果の概要を紹介する。

3.2.7.1 床及び天井の構成と重量床衝撃音 (タイヤ衝撃源) の L 数

本研究で実施した工法検討の建設パラメータは次のとおりである。

- ・フロアトッピング (合板 16 mm とせっこうボード 21 mm + 15 mm, 合板 16 mm の積層を床上に付加)
- ・独立天井 (2 × 6 材による天井根太)
- ・天井のせっこうボード (せっこうボード 13 mm, 13 mm + 13 mm, 15 mm + 21 mm)
- ・根太 (2 × 10 材シングルとダブル)
- ・床合板 (16 mm, 16 mm + 16 mm)

なお、これらの仕様は全て天井懐内にグラスウール厚さ 100 mm が挿入されている。

表 3.2 に測定結果 (緑色部分) と測定結果から予測した値を示す。これらの結果は、周壁がコンクリートである 170 m³ の M59 試験室で測定した結果を、壁床天井が枠組壁工法である 40 m³ の TH7 試験室の室状態 (容積及び吸音力) に補正した値である。赤枠部分は TH7 試験室での測定結果である。

※この値は $L_{i,Fmax,r,H(1)}$ の性能を保証するものではない。

3.2.7.2 側路伝搬の影響について

重量床衝撃源で上階床を加振した場合に、下室壁面から放射する音などを側路伝搬音というが、これらの影響を明らかにするため TH7 試験室で実験を行った。

側路伝搬音は、上階 1 室を音源室とし、この室及び直下室の内側壁面をシールドし天井からの放射音を測定する。次に、下室の壁のシールドを外した場合の下室の天井

及び壁面からの放射音を測定し、天井からの放射音を差し引くことで求められる。

この壁面からの放射音は、床及び天井の床衝撃音遮断性能が向上するほど大きくなる。言い換えれば、床及び天井からの直接伝搬音が小さくなることにより壁面からの側路伝搬音の影響が相対的に大きくなる。下室壁の仕様が 2×6 スタッドに直接13 mmのせっこうボードを取り付けた構成の場合、L数が67よりも性能が高くなるとその影響が顕在化する。

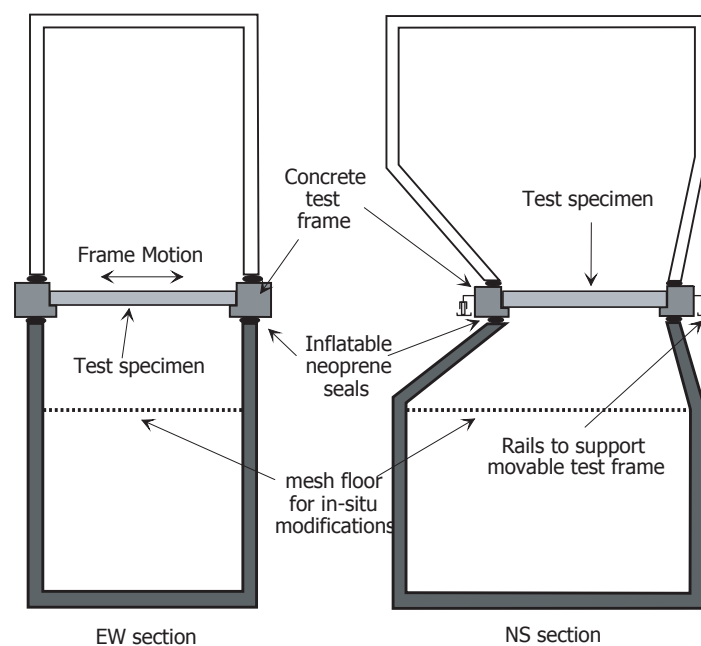


図 3.16 試験室 M59 の断面図



写真 3.2 試験室 TH7 の室内

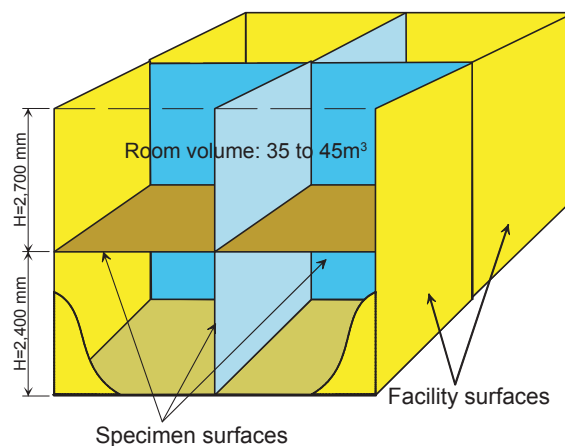


図 3.17 試験室 TH7 の構成

側路伝搬音は根太方向の壁下部への伝達が比較的大きく、これを抑制するためには床土へのトッピング（表 3.2 に示す「付加層」）が効果的である。

また、L 数が 67 以上の性能を得るためには、下室の壁面にせっこうボードを追加するか、Resilient channel を使用するか、あるいは両方を使用するなどが必要である。

表 3.2 NRC における測定結果（タイヤ衝撃源）^{3.11)}

		天井せつこうボード厚さ[mm]	根太2×10 Single Joist				根太 2-2×10 Scabbled Joists			
			床上に付加層※1なし		床上に付加層※1あり		床上に付加層※1なし		床上に付加層※1あり	
床土合板厚さ[mm]			16	16+16	16	16+16	16	16+16	16	16+16
床根太 (2×10)	せつこうボード直張	13	79※2 NRC-14	79 NRC-14dSL	74 NRC-14dT2	72 NRC-14dT1	77 NRC-14dSJ			
		13+13	78※2 NRC-15	78 NRC-15dSL	73 NRC-15dT2	70※2 NRC-15AT	76 NRC-15dSJ			
		15+21								
	せつこうボードを Resilient channelを用 いて施工	13	81※2 NRC-16	81 NRC-16dSL	76 NRC-16dT2	74 NRC-16dT1	79 NRC-16dSJ			
		13+13	78 NRC-16dCL							
		15+21					73※2 NRC-07A	73※2 NRC-05		67※2 NRC-05T
天井根太 (2×6)	せつこうボード直張	13	78※2 NRC-21	78 NRC-21dSL	73 NRC-21dT2	72 NRC-21dT1	75※2 NRC-24	76※2 NRC-23	71 NRC-24dT2	71 NRC-23dT2
		13+13	75※2 NRC-18	75 NRC-18dSL	70 NRC-18dT2	69 NRC-18dT1				
		15+21						69 TH7-C2		66 TH7-C2T
	せつこうボードを Resilient channelを用 いて施工	13	80※2 NRC-22	79 NRC-22dSL	74 NRC-22dT2	73 NRC-22dT1				
		13+13	77 NRC-22dCL							
		15+21					70 NRC-07dCJ	67※2 NRC-06		64 NRC-06dT2
床根太 (2×10)+ブロッ キング材(@455)+貫材 (1×4)	せつこうボードを Resilient channelを用 いて施工	13								
		13+13								
		15+21	75※2 NRC-01A	73※2 NRC-01	70※2 NRC-01AdT2	68※2 NRC-01T	73※2 NRC-02A	73※2 NRC-02	68 NRC-02AdT2	68※2 NRC-02T

※1 付加層：合板 16 mm + せっこうボード 15 mm + 21 mm + 合板 16 mm

※2 カナダ国立研究機構での実測値で他の数値は推測値

参考文献

- 3.1) 第2回(2005年)坪井記念研究助成「枠組壁工法の天井懐に着目した上下階間遮音性能に関する研究」報告書, 2005
- 3.2) 第3回(2006年)坪井記念研究助成「枠組壁工法の天井懐に着目した上下階間遮音性能に関する研究」報告書, 2006
- 3.3) 実需型高性能床遮音工法研究開発委員会報告書: 社団法人日本ツーバイフォー建築協会, 2009-2010
- 3.4) 井上勝夫, 木村翔, 宮崎浩司: 木質系床構造の重量衝撃源に対する床衝撃音低減方法に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第382号, pp.1~9, 1987.12
- 3.5) 根田金重, 及川右, 山下恭弘: 木造床+ALCの床衝撃音遮断性能 (その2) 木造戸建て住宅床衝撃音測定について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.293~294, 1989.10
- 3.6) 井上勝夫, 木村翔, 矢島浩之: 高剛性方式の木質系床構造における床衝撃音の予測手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第425号, pp.21~29, 1991.7
- 3.7) 渡部和良, 木村翔, 井上勝夫, 土屋順二, 前原暁洋, 尾崎充男: 木造住宅の床構造, 壁工法の対策と床衝撃音レベル, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.1579~1580, 1994.9
- 3.8) 橋本洋, 財満健史, 由田哲夫, 山下恭弘: 木造 1/2 縮尺模型における重量床衝撃音の能動制御の試み, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.143~144, 1995.7
- 3.9) 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: 主観評価による考察, 日本建築学会学術講演梗概集 D, 85~86, 1992.8
- 3.10) 森川岳, 末吉修三, 宮崎良文: 木造住宅の床衝撃音に対する生理的および心理的評価 その2 重量床衝撃音について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.707~708, 1998.7
- 3.11) Design Details and Electronic Best Practice Guide for Sound Insulation Japanese 2x4 Multi-Unit Buildings Phase2-Design Details National Research Council Canada, 2010

第4章 乾式二重床構造の端部納まりと支持脚位置の検討

4.1 はじめに

乾式二重床構造を桝組壁工法床に施工した場合と RC 造床に施工した場合を比較して異なる部分は、桝組壁工法床は軽量であり乾式二重床構造と面密度が近いこと、乾式二重床構造の端部と取り合う壁部分が軽量であること、桝組壁工法床の端部拘束による駆動点インピーダンスの上昇量が小さいと考えられること、桝組壁工法床の根太上と根太間で駆動点インピーダンスが異なることなどがあげられる。このため、RC 造床上での実験でこれまで得られている、乾式二重床構造の仕様と重量床衝撃音遮断性能向上に関する知見をそのまま適用することはできないと考えられる。

以上のことから、本論では、桝組壁工法床に乾式二重床構造を施工した場合のデータ蓄積を図り、木造共同住宅の重量床衝撃音遮断性能を向上させるために、影響が大きいと考えられる乾式二重床構造の「際根太の仕様の違い」、「幅木の空気抜きの有無」、「桝組壁工法床の根太と乾式二重床構造の支持脚の位置関係」に着目し、実験的検討によりその影響を明らかにする。

4.2 測定概要

4.2.1 実験室及び試験体

実験室は、一般財団法人日本建築総合試験所の図 4.1 に示す上下 2 室の残響室を使用した。残響室間には 2500 mm × 4000 mm の床開口部があり、そこに試験体を設置した。受音室内の残響時間は吸音材などを用いて 1 ～ 2 秒に調整した。

試験体は、図 4.2 及び図 4.3 に示す桝組壁工法床、その上に施工された乾式二重床構造で構成されている。

4.2.2 桝組壁工法床の構成

桝組壁工法床は、床、天井、壁で構成されており、床の構成は 210 材 (38 mm × 235 mm) の床根太を 455 mm 間隔で設け、その上にさね付の床合板 15 mm を敷設した。天井の構成は、側根太から支持された天井根太 (206 材 : 38 mm × 140 mm)

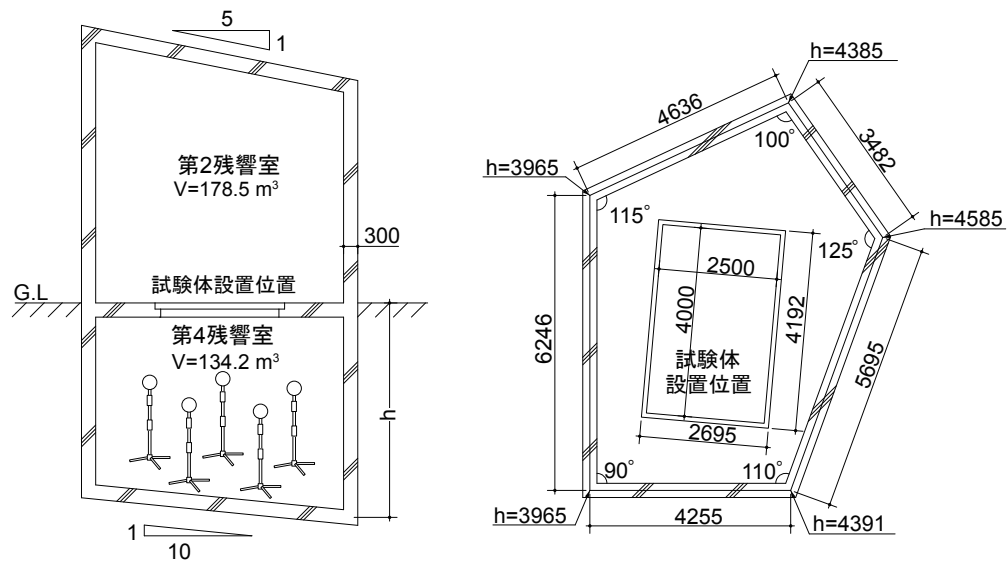


図 4.1 実験室 (角度と勾配以外の単位 :mm)

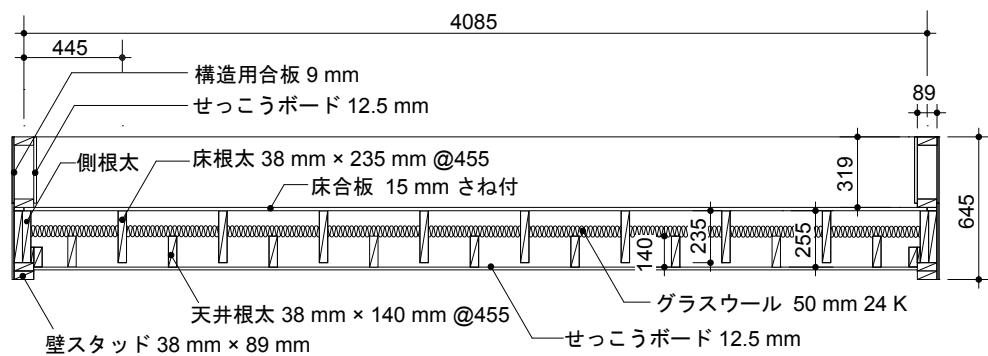


図 4.2 枠組壁工法床の長手方向断面 (単位 :mm)

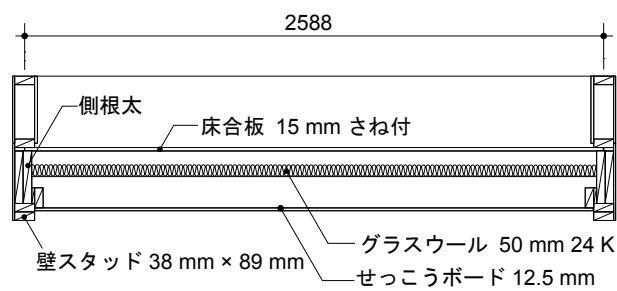


図 4.3 枠組壁工法床の短手方向断面 (単位 :mm)

にせっこうボード 12.5 mm を取り付けた独立天井とし、天井懐にはグラスウール 50 mm(24 K) を挿入した。壁の構成は、側根太の上に 204 材 (38 mm × 89 mm) を下地として室内側にせっこうボード 12.5 mm、外側に構造用合板 9 mm を張付けた。

4.2.3 乾式二重床構造の構成

本論で着目する「際根太の仕様の違い」、「幅木の空気抜きの有無」、「枠組壁工法床の根太と乾式二重床構造の支持脚の位置関係」について、次のとおり仕様を設定した。

際根太は、乾式二重床構造が普及し始めた頃の納まりで安価な在来固定際根太と、RC 造床に施工した場合に在来固定際根太よりも重量床衝撃音遮断性能が向上すると報告^{4.1), 4.2)}のある防振際根太の 2 種類とした。

幅木の空気抜きは、RC 造床において乾式二重床構造部分の空気層と室内との間の空気の連通がない場合に、63 Hz 帯域において低下する重量床衝撃音遮断性能^{例えば 4.3)}を向上させるために設けるものである。本論では一般的に用いられている幅木の下部に隙間を設ける方法を選択した。

枠組壁工法床の根太と乾式二重床構造の支持脚の位置関係は、乾式二重床構造の支持脚から枠組壁工法床への振動伝搬が、根太上と根太間で差が生じると考えられるため、この差が現れる仕様とした。

以上のことから、試験体は次に示す A1 から A4 の合計 4 仕様とした(表 4.1)。

A1 は、図 4.4(1) に示すように際根太が在来固定際根太^{注 1)}である。

A2 は、図 4.4(2) に示す防振際根太^{注 2)}で、乾式二重床構造空気層の空気抜きのために幅木の下端部とフローリング間に 2 mm の隙間を設けている(図 4.4(2) 右図)。

A3 は、A2 の幅木を木質フローリングに付着させて空気抜きをなくした場合である。

A4 は、パーティクルボードの配置を根太と直交方向として乾式二重床構造の支持脚が根太上に一致するように配置した場合(図 4.5(2))である。

なお、この 4 仕様に用いた支持脚及び防振ゴムは同一メーカーのものを使用した。

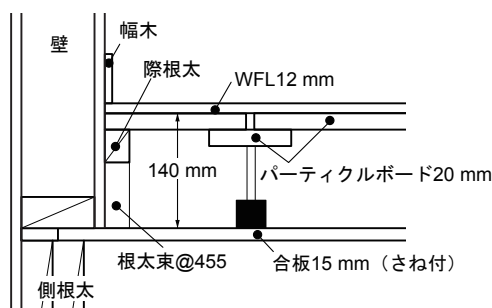
4.2.4 測定方法

4.2.4.1 床衝撃音レベル

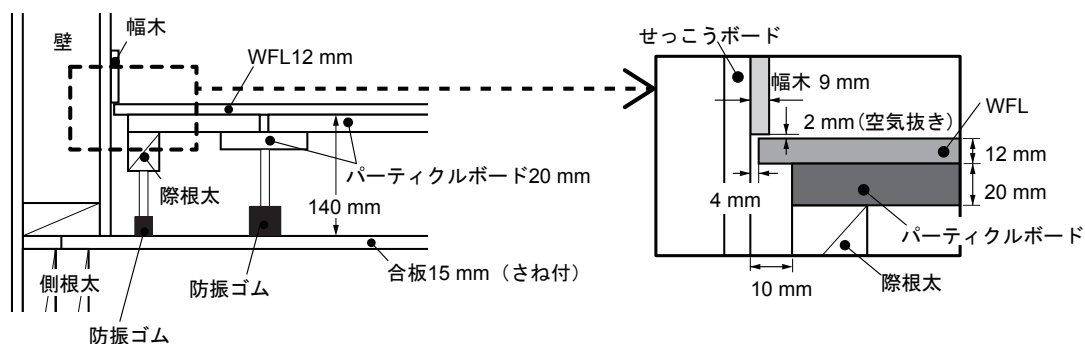
衝撃源は、JIS A 1418-2：2000 に規定されている標準重量衝撃源の 2 種類（以下、タイヤ衝撃源、ゴムボール衝撃源と呼ぶ）を使用し、加振点は図 4.5 に示す 5 点とした。受音室である下部の残響室内には、床衝撃音レベル測定用のマイクロホンの高さはランダム（床面から $H = 1500 \text{ mm} \sim 1900 \text{ mm}$ ）に 5 本設置した。受音室の

表 4.1 乾式二重床構造試験体の仕様

仕様名	パーティクル ボード配置	際根太			支持脚		幅木の 空気抜き	表面 仕上げ材	二重床構 造面材の 面密度 (kg/m^2)
		種類	支持脚材質 (ゴム硬度)	ゴムと床の 固定方法	材質 (ゴム硬度)	ゴムと床の固 定方法			
A1	根太方向配置	在来固定 際根太	木材		ナイロン (70)	固定なし	なし	木質フロー リング 12 mm	21.5
A2	根太方向配置	防振 際根太	鋼材 (70)	両面 テープ	ナイロン (70)	固定なし	あり	木質フロー リング 12 mm	21.5
A3	根太方向配置	防振 際根太	鋼材 (70)	両面 テープ	ナイロン (70)	固定なし	なし	木質フロー リング 12 mm	21.5
A4	根太直交配置 (支持脚根太上)	防振 際根太	鋼材 (70)	両面 テープ	ナイロン (70)	固定なし	あり	木質フロー リング 12 mm	21.5



(1) 在来固定際根太の納まり



(2) 防振際根太の納まり

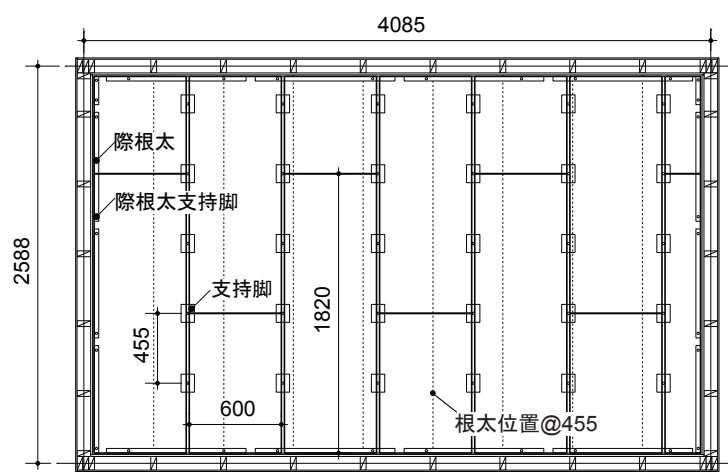
図 4.4 乾式二重床構造端部詳細図

マイクロホンは多チャンネル分析器（小野測器 DS-2000）に接続して測定を行い、床衝撃音レベルは各測定点の時間重み特性 F の最大値を求め、5 点の測定点の結果をエネルギー平均し、加振点 5 点の結果を算術平均して求めた。

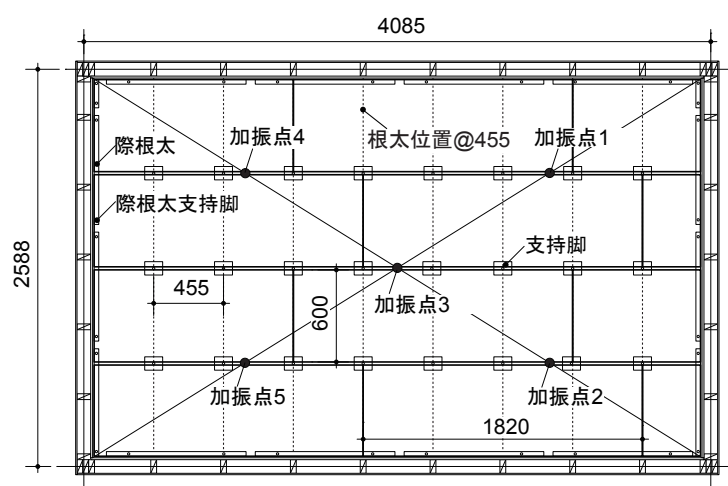
床衝撃音レベルの測定対象周波数は 63 Hz 帯域から 500 Hz 帯域とし、床衝撃音レベル差^{注3)}は、JIS A 1440-2：2007 に示されている床衝撃音レベル低減量に準じて算出した。

4.2.4.2 駆動点インピーダンス

駆動点インピーダンス Z は、床合板上の加振点に加速度検出器を取り付け、その



(1) 根太方向割付け



(2) 根太直交方向割付け（支持脚根太上）

図 4.5 パーティクルボードの割り付け及び加振点（単位：mm）

近傍をインパクトハンマ（PCB086D20）で打撃し振動速度及び衝撃力を測定した。加振点への打撃は1点につき3回とし、振動速度及び衝撃力はそれぞれ3回のエネルギー平均値とした。加速度検出器及びインパクトハンマはそれぞれアンプを介してPC制御の前述の多チャンネル分析器に接続し、PCのプログラムでデータを取り込み（サンプリング数16384点、1.28秒間、サンプリング周波数12.8 kHz）、振動速度 v 及び衝撃力 F の時間応答データをFFTにより周波数分析し、1/3 オクターブバンド毎の値を算出した。後述する分析では、この値をオクターブバンド毎に合成した値を用いた。

駆動点インピーダンス Z は、1/3 オクターブバンド毎の振動速度及び衝撃力の値を用いて、式4.1により算出した。また、駆動点インピーダンスレベル L_Z は式4.2を用いて算出した。

$$Z = \sqrt{\frac{F^2}{v^2}} \quad \cdots \text{式 4.1} \qquad L_Z = 10\log_{10} \frac{Z^2}{Z_0^2} \quad \cdots \text{式 4.2}$$

ただし、 Z : 駆動点インピーダンス [kg/s]
 F : ハンマの衝撃力 [N]
 v : 振動速度 [m/s]
 L_Z : 駆動点インピーダンスレベル [dB]
 Z_0 : 駆動点インピーダンス基準値 [1 kg/s]

4.3 測定結果

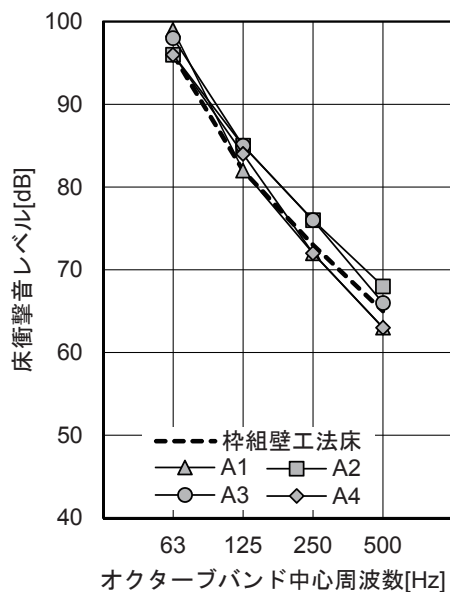
4.3.1 床衝撃音レベル及び床衝撃音レベル差

各仕様の床衝撃音レベルを図4.6に、枠組壁工法床の床衝撃音レベルから各仕様の床衝撃音レベルを差し引いた床衝撃音レベル差 ΔL を図4.7に示す。

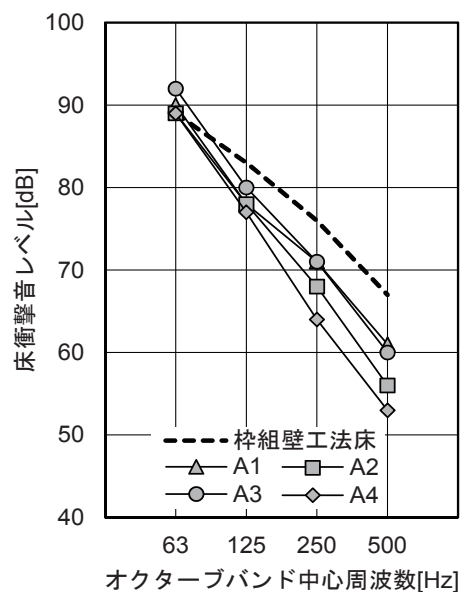
床衝撃音レベルをみると、タイヤ衝撃源よりもゴムボール衝撃源において各仕様の差が大きくなっている。これを床衝撃音レベル差 ΔL で比較すると、タイヤ衝撃源では各周波数帯域とも0 dBを中心に ± 3 dBの範囲に収まっているのに対し、ゴムボール衝撃源の場合は63 Hz帯域を除く周波数帯域において+3 ～ +14 dBの範囲にあり、その値はタイヤ衝撃源よりも大きかった。このことは、RC造床に施工した場

合の多くの結果^{例えば 4.4)} と一致した。

床衝撃音レベル差は、タイヤ衝撃源の 125 Hz 帯域を除くと両衝撃源とも A4 が最も大きな値であった。

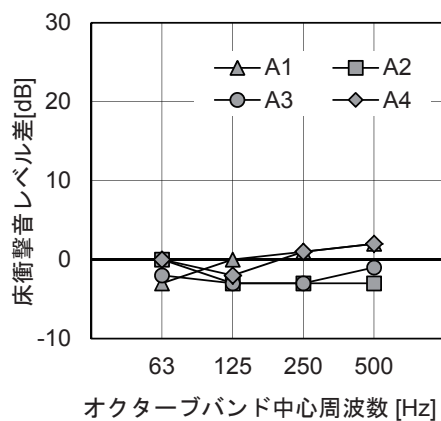


(1) タイヤ衝撃源

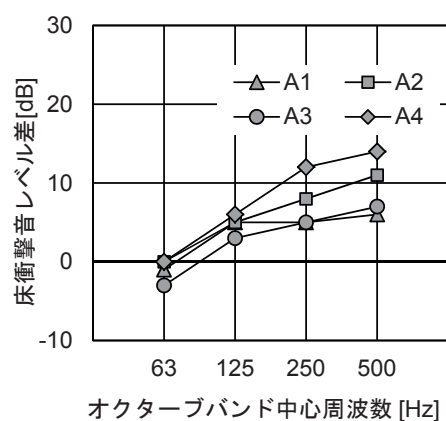


(2) ゴムボール衝撃源

図 4.6 床衝撃音レベル

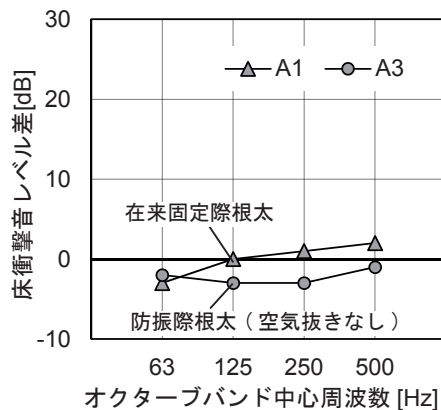


(1) タイヤ衝撃源

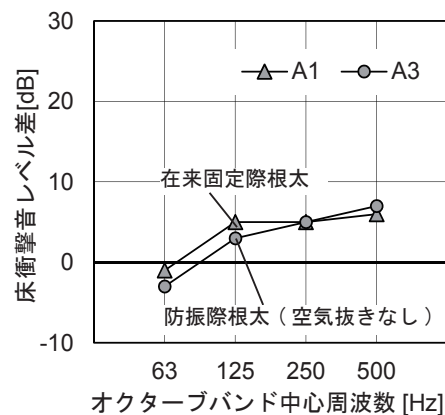


(2) ゴムボール衝撃源

図 4.7 床衝撃音レベル差



(1) タイヤ衝撃源



(2) ゴムボール衝撃源

図 4.8 固定際根太と防振際根太（幅木の空気抜きなし）の床衝撃音レベル差

4.3.2 際根太の比較

在来固定際根太である A1 と防振際根太で幅木に空気抜きのない A3 の床衝撃音レベル差を図 4.8 に示す。両方とも空気抜きのない仕様である。タイヤ衝撃源の結果をみると、63 Hz 帯域の値は 1 dB だけ A3 の方が大きいですが、125 Hz 帯域以上では在来固定際根太の A1 の方が大きい値となった。ゴムボール衝撃源では、63 Hz 帯域と 125 Hz 帯域で A1 の方が 2 dB 大きい値であった。

在来固定際根太である A1 の床衝撃音レベル差が A3 より大きくなった周波数帯域があることは、壁に固定された際根太に乾式二重床構造端部を固定することによる乾式二重床構造床面のインピーダンス向上の効果と考えられる。また、タイヤ衝撃源の場合に 63 Hz 帯域で A1 が A3 より床衝撃音レベル差が小さいのは空気層のばねによる振動伝搬の影響と考えられる。

RC 造床についての既往論文^{4.1), 4.2)}と比較すると、在来固定際根太を使用した場合のタイヤ衝撃源による床衝撃音レベル差は、すべての周波数帯域で本論の値よりも小さくなっている。特に 63 Hz 帯域ではその差が大きい。このことから、枠組壁工法床に乾式二重床構造を施工する場合に在来固定際根太を使用すると床衝撃音レベル差が大きくなるといえる。なお、ゴムボール衝撃源を使用した場合の既往の測定結果は見つからなかった。

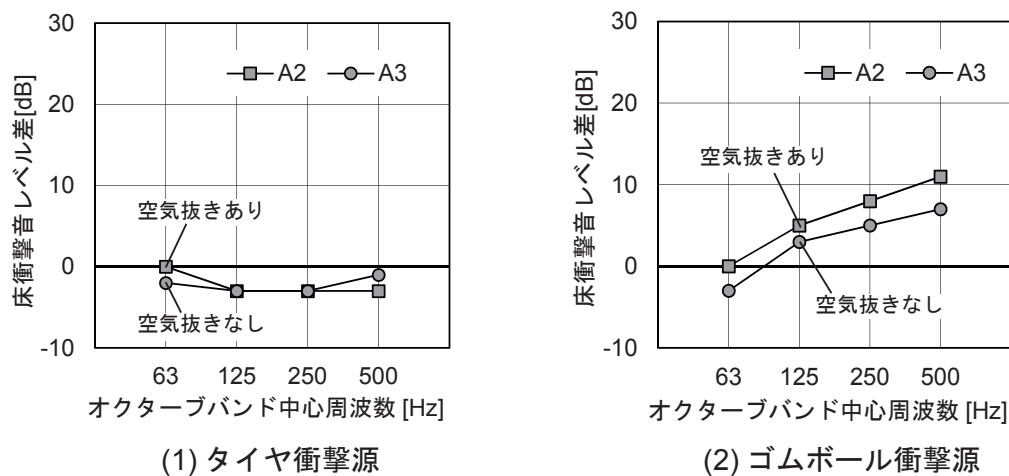


図 4.9 防振際根太で幅木の空気抜きの有無による床衝撃音レベル差

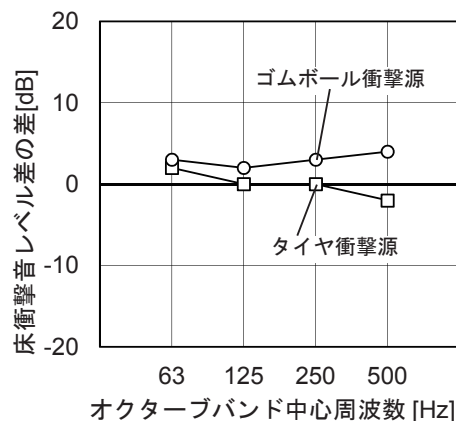
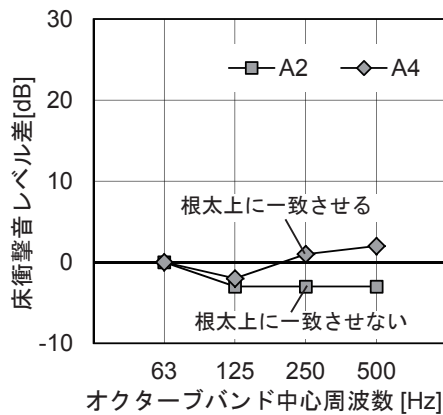


図 4.10 幅木の空気抜きの有無による床衝撃音レベル差の差

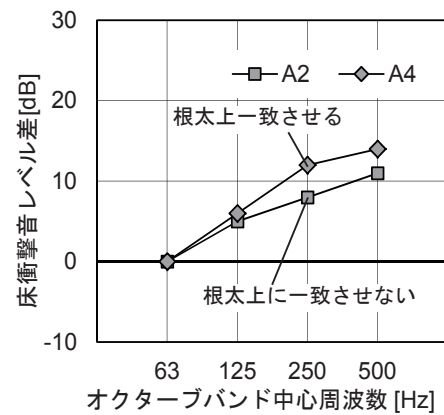
4.3.3 空気抜きの有無

防振際根太で幅木に空気抜きのある A2 と、ない A3 の床衝撃音レベル差を図 4.9 に示す。タイヤ衝撃源は空気抜きの有無での差は小さいが、ゴムボール衝撃源ではその差が大きくなった。

各衝撃源の幅木の空気抜きの有無による床衝撃音レベル差の差を図 4.10 に示す。RC 造床の既往論文^{4.5)}と比較するとタイヤ衝撃源の場合には本論の方が 250 Hz 帯域及び 500 Hz 帯域で小さく、ゴムボール衝撃源の場合には全ての帯域で本論の方が大きい結果であった。つまり、ゴムボール衝撃源の場合に幅木の空気抜きの有無により床衝撃音レベル差の差が大きくなった。これは幅木を木質フローリングに付着



(1) タイヤ衝撃源



(2) ゴムボール衝撃源

図 4.11 乾式二重床構造支持脚の位置の違いによる床衝撃音レベル差

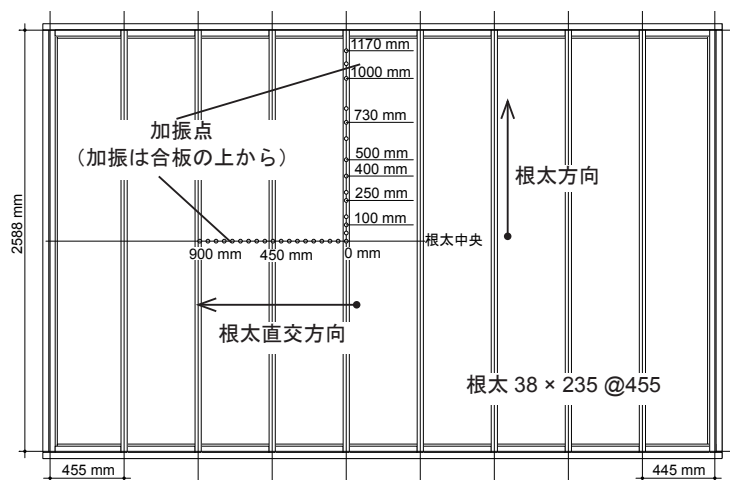


図 4.12 駆動点インピーダンス及び床衝撃音レベル測定点

させた場合にタイヤ衝撃源とゴムボール衝撃源で乾式二重床構造空気層のばね定数が変化していることを意味しており、この原因は、幅木はテープなどで密閉していないため衝撃力の大小で隙間量が変わったためと考えられる。現場では幅木の空気抜きを適切に確保することが重要といえる。

4.3.4 根太と支持脚の位置関係

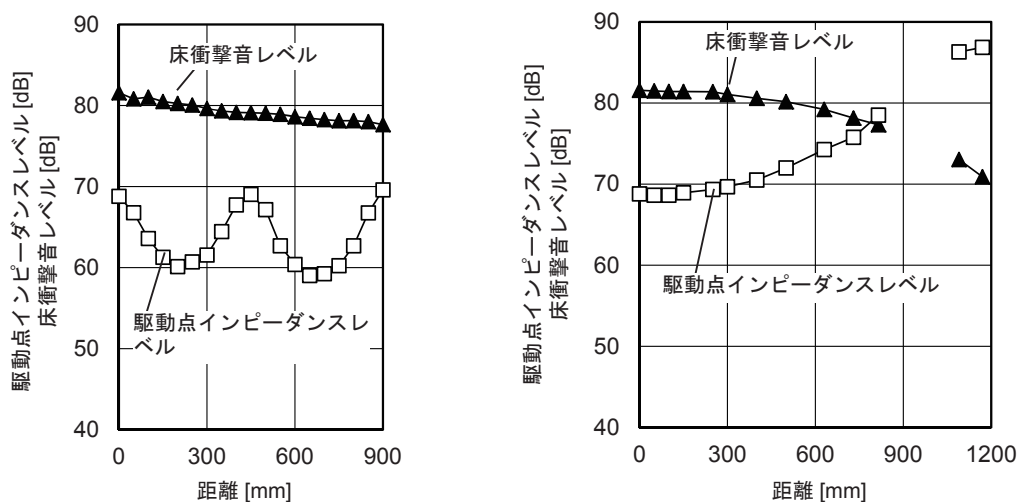
4.3.4.1 床衝撃音レベル差

枠組壁工法床は、根太上と根太間の駆動点インピーダンスが大きく異なることが

特徴といえる。図 4.11 は支持脚の位置の違いによる床衝撃音レベル差の比較である。A2 は支持脚を根太上に一致させない場合で、A4 は支持脚を全て根太上に一致させた場合である。両衝撃源とも A4 の方が 250 Hz 以上の周波数帯域で最大 5 dB 大きくなった。

4.3.4.2 枠組壁工法床の駆動点インピーダンスレベルと床衝撃音レベルの関係

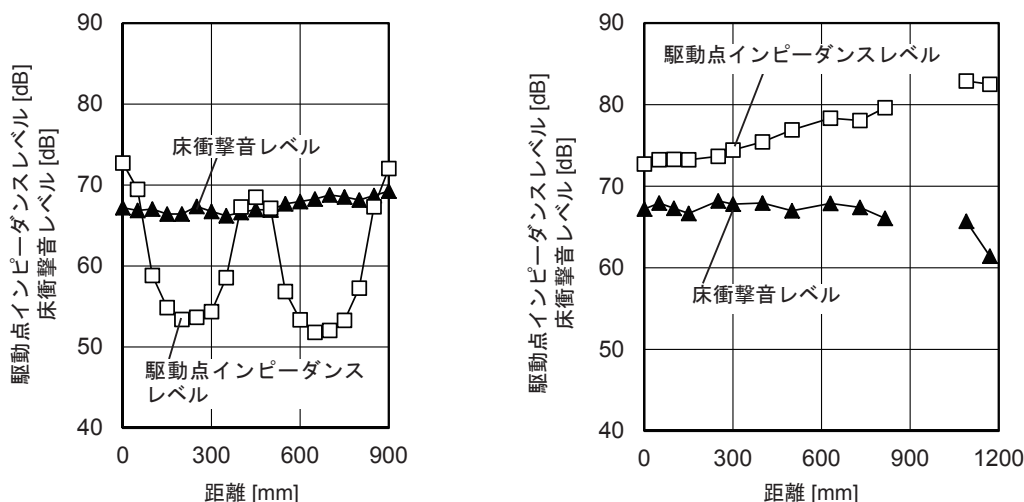
図 4.11 の結果を分析するために、枠組壁工法床の駆動点インピーダンスと床衝撃



(a) 根太直交方向 63 Hz 帯域

(b) 根太方向 63 Hz 帯域

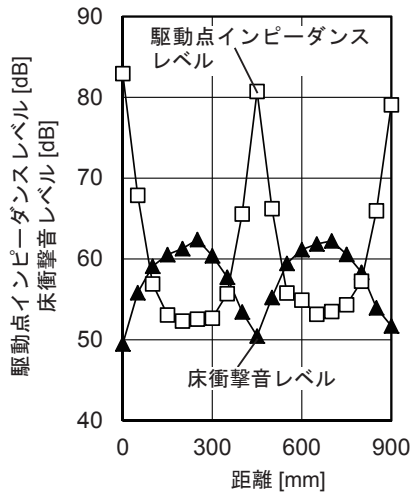
図 4.13 基本床の床衝撃音レベルと駆動点インピーダンスレベル



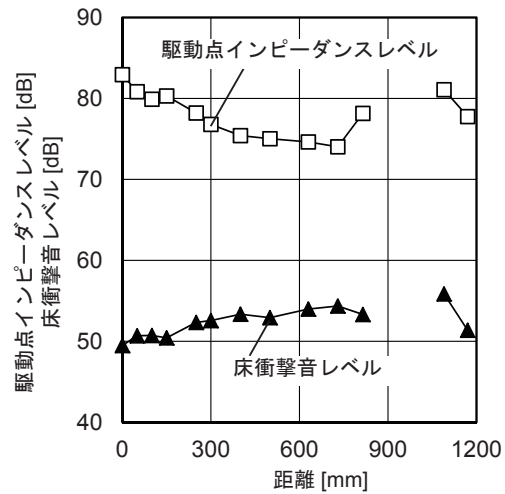
(a) 根太直交方向 125 Hz 帯域

(b) 根太方向 125 Hz 帯域

図 4.14 基本床の床衝撃音レベルと駆動点インピーダンスレベル

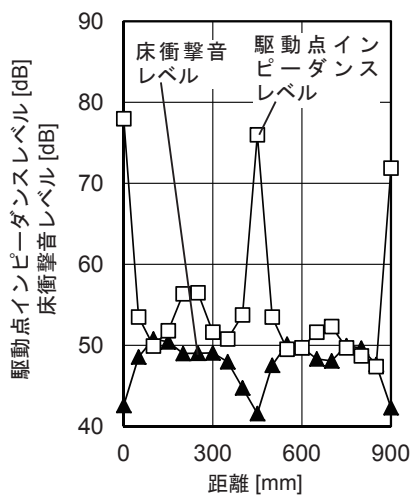


(a) 根太直交方向 250 Hz 帯域

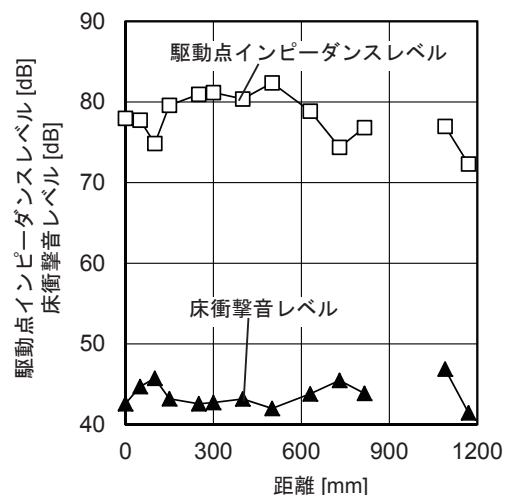


(b) 根太方向 250 Hz 帯域

図 4.15 基本床の床衝撃音レベルと駆動点インピーダンスレベル



(a) 根太直交方向 500 Hz 帯域



(b) 根太方向 500 Hz 帯域

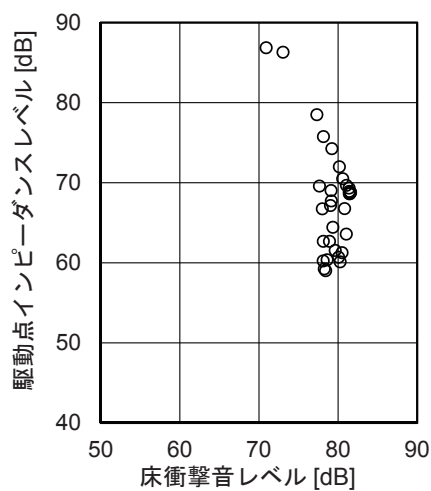
図 4.16 基本床の床衝撃音レベルと駆動点インピーダンスレベル

音レベルを測定した。測定点は図 4.12 に示すように根太直交方向と根太方向の計 32 点である。また、同点でゴムボール衝撃源を用いて床衝撃音レベルを測定した。ゴムボール衝撃源の落下高さは、JIS に規定されている 1 m では正確に測定ポイントへ落下させることが難しいため 10 cm の高さとした。

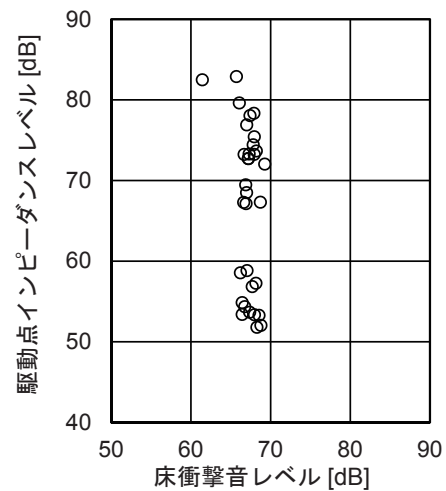
図 4.13 ～図 4.16 に駆動点インピーダンスの算出結果を示す。なお、根太方向の 1000 mm の測定点については、インピーダンスが極端に小さな値であったことか

ら、事後に確認したところ床合板のビスによる留め付けが不十分で浮いていたためと分り欠測とした。

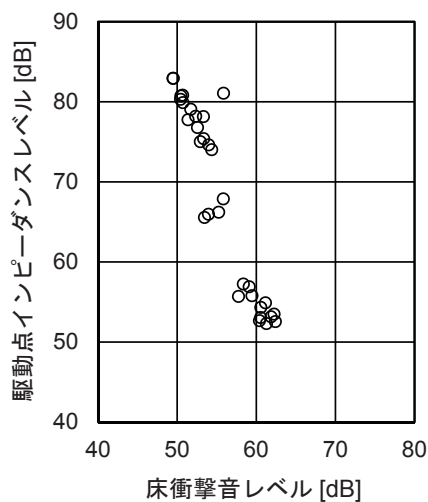
63 Hz 帯域に着目すると、根太直交方向（図 4.13(a)）については、駆動点インピーダンスの差が根太上と根太間で 10 dB 生じたが、0 mm と 900 mm の根太上の値はほとんど差がみられなかった。しかし、床衝撃音レベルの結果をみると、床端部方向に向かって緩やかに低下しているおり、駆動点インピーダンスと床衝撃音レベルではやや異なる傾向が見られた。



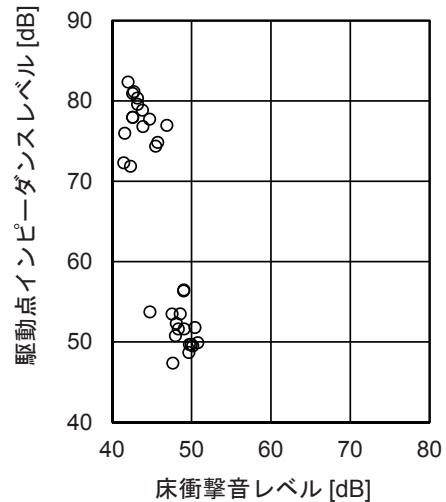
(1) 63 Hz 帯域



(2) 125 Hz 帯域

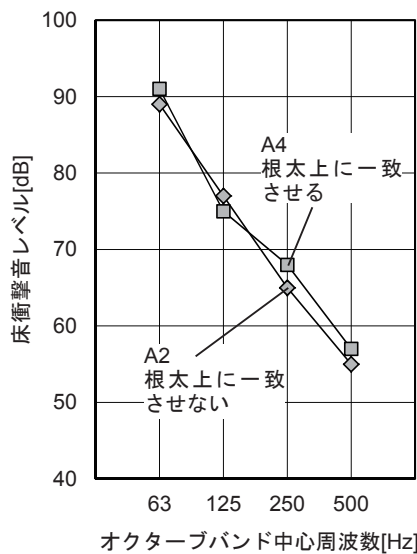


(3) 250 Hz 帯域

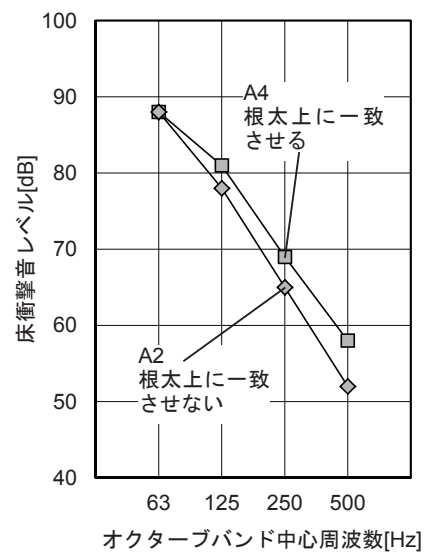


(4) 500 Hz 帯域

図 4.17 駆動点インピーダンスレベルと床衝撃音レベルの関係



(1) 加振点 1



(2) 加振点 5

図 4.18 加振点の違いによる床衝撃音レベル（ゴムボール衝撃源）

表 4.2 加振点毎の最大 A 特性床衝撃音レベル

仕 様	A2					A4				
加振点	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
最大 A 特性床衝撃音レベル [dB]	65	65	64	65	66	64	64	64	63	63

根太方向（図 4.13(b)）については、根太中央部と端部で駆動点インピーダンスに 18 dB の差がみられた。床衝撃音レベルについても床端部で 10 dB 程度低下しており、RC 造床に近い駆動点インピーダンスの端部上昇^{4.6)}がみられた。

周波数帯域別にみると、根太直交方向では、高い周波数帯域になるに従って床衝撃音レベル及び駆動点インピーダンスレベルの変化量が大きくなった。63 Hz 帯域及び 125 Hz 帯域に着目すると、床衝撃音レベルは局所的なインピーダンス変化の影響をほとんど受けずにほぼ一定の値となっている。これは、同帯域ではゴムボール衝撃源による加振時の影響範囲が広く、狭い範囲での変動は平均化されてしまうためと考えられる。

根太方向をみると、63 Hz 帯域及び 125 Hz 帯域では端部 (1170 mm) になるほど駆動点インピーダンスレベルの上昇がみられた。また、63 Hz 帯域については、この上昇に従って床衝撃音レベルも低下していた。他の周波数帯域では、駆動点インピーダ

ンスと床衝撃音レベルに加振位置による特徴は見られないが両者にレベルの増減が逆転する傾向が見られた。

図 4.17 に、図 4.13 ～図 4.16 で示した駆動点インピーダンスレベルと床衝撃音レベルの関係についての全データの相関を示す。63 Hz 帯域及び 125 Hz 帯域については、駆動点インピーダンスレベルの変化量に対して床衝撃音レベルが一定の値にまともまっている。これに対して 250 Hz 帯域及び 500 Hz 帯域では駆動点インピーダンスレベルが高いほど床衝撃音レベルが小さくなる傾向がみられた。

4.3.4.3 加振点と床衝撃音レベルの関係

図 4.18 に A2 及び A4 の加振点 1 と 5 の床衝撃音レベル測定結果を示す。図 4.5 に示したように、加振点 1 では加振点近傍の支持脚が A2 も A4 もほぼ同じく根太上に一致している。これに対して、加振点 5 では、A2 は支持脚が根太上から離れているが、A4 は根太上に一致している。図 4.18 の結果をみると、加振点 5 の 250 Hz 帯域及び 500 Hz 帯域で A2 と A4 の床衝撃音レベルの差が大きくなっており、この結果が図 4.11 の床衝撃音レベル差をもたらしたといえる。

加振点毎に、50 Hz 帯域から 630 Hz 帯域までの 1/3 オクターブバンド毎の床衝撃音レベルから最大 A 特性床衝撃音レベルを算出した結果を表 4.2 に示す。A2 と A4 の加振点 5 では 3 dB の差となった。

4.4 まとめ

乾式二重床構造を枠組壁工法床に施工した場合の「際根太の仕様の違い」や「幅木の空気抜きの有無」、「枠組壁工法床の根太と乾式二重床構造の支持脚の位置関係」について実験的検討を行い以下の点が明らかになった。

- ・ 在来固定際根太及び防振際根太を用いた場合の床衝撃音レベル差を比較した結果、どちらも空気抜きがない場合に、在来固定際根太の方が床衝撃音レベル差が大きくなった。この結果は RC 造床に比べてもより大きい差であった。
- ・ 幅木の空気抜きの有無による床衝撃音レベル差の比較を行い、タイヤ衝撃源では空気抜きの有無での差は小さいが、ゴムボール衝撃源ではその差が大きくなった。この結果は RC 造床の場合よりも大きい傾向であった。

-
- ・ 乾式二重床構造の支持脚位置は枠組壁工法床の根太上に一致させることにより 250 Hz 帯域以上において床衝撃音レベル差が大きくなった。これは、枠組壁工法床の駆動点インピーダンスレベルと床衝撃音レベルの関係から、125 Hz 帯域以下については、駆動点インピーダンスレベルが変化しても床衝撃音レベルが一定であるが、250 Hz 帯域以上では駆動点インピーダンスレベルが高いほど床衝撃音レベルが小さくなる傾向のためである。

これらのことから、乾式二重床構造の際根太は防振際根太を使用して、幅木に空気抜きを設け、支持脚は根太上に一致させることで床衝撃音レベル低減に効果があることが明らかになった。

なお、以上の結果は、枠組壁工法床の仕様にも依存するものと考えられる。従って、様々な仕様の枠組壁工法床への適用を図るためには、今後、更に実験を重ね、データを蓄積する必要がある。また、枠組壁工法床のみならず木造在来構法床へ乾式二重床構造を施工した場合に性能を確保する方法、室形状が変化した場合の床や天井の固有周波数の影響などについて検討していく必要がある。

注釈

- 注 4.1) 在来固定際根太は、床端部の根太を壁にビスなどで直接留めつける納まりである。
- 注 4.2) 防振際根太は、床端部の根太を壁との隙間を空けて留めつけず、支持脚に防振ゴムを取り付けた納まりである。
- 注 4.3) JIS A 1440-2 : 2007 では「床衝撃音レベル低減量」を定義しているが、枠組壁工法床やゴムボール衝撃源を使用する場合を含んでいないため、本論では「床衝撃音レベル差」と表現する。

参考文献

- 4.1) 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
- 4.2) 上田泰孝，田中靖彦，日比雄一朗，脇田幸二：乾式二重床の周辺施工法の違いによる床衝撃音レベルの実験について，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.265 ~ 266, 2000.9
- 4.3) 豊田政弘，高橋大弐：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
- 4.4) 平光厚雄，井上勝夫：乾式二重床構造における断面仕様の違いによる床衝撃音レベル低減量に関する実験的検討，日本建築学会技術報告集 第 19 巻 第 42 号，pp.619~pp.623, 2013.6

-
- 4.5) 平光厚雄, 井上勝夫: 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, 日本建築学会環境系論文集, 第 684 号, pp.97 ~ 102, 2013.2
- 4.6) 木村翔, 井上勝夫, 新井昭義: 床衝撃時における床スラブインピーダンス特性の予測手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 363 号, pp.1 ~ 8, 1986.5

第5章 乾式二重床構造の面材部分の検討

5.1 はじめに

木造床に二重床構造を施工した場合の床衝撃音レベルの低減に関しては、1990年前後にグラスウールを緩衝層とした乾式浮き床に関する研究^{5.1),5.2)}などが報告されている。その後は一時的に研究は実施されていなかったが、最近になって再び報告されている^{5.3),5.4)}。これらは、木造床に乾式二重床構造を施工することにより重量床衝撃音レベルが低減することを報告している。つまり、RC造床に施工した場合に重量床衝撃音レベルを低減することが難しい乾式二重床構造^{5.5)}は、ベースとなる床構造が軽量である木造床に対して有効な工法であることを示唆している。

木造床における床衝撃音遮断性能の等級は、相当スラブ厚（重量床衝撃音）11cm以上の仕様とすることで $L_{i,Fmax,r,H(1)} - 65$ 程度が得られると考えられるが、これを超える性能を一般化するためには、乾式二重床構造の仕様と性能の関係を把握し性能を予測できるようにすることが重要である。乾式二重床構造の性能を決定づける指標としては、ベースとなる木造床構造の駆動点インピーダンス、乾式二重床構造部分の空気ばねや脚部の防振ゴムのばね定数、面材部分の駆動点インピーダンスなどが考えられる。このうち、床衝撃音レベルに与える効果の大きい指標としては、乾式二重床構造面材部分の面密度や剛性、すなわち駆動点インピーダンスが筆頭として挙げられる。

RC造床に乾式二重床構造を施工した場合の研究は数多く行われてきており^{たとえば5.5)}、衝撃源の加振力と床衝撃音レベル低減量の関係、端部の納まり、床先行工法など床衝撃音レベルを低減するための多くの課題が解明されてきたが、木造床についても同様の検討が必要である。

本論では、このような背景から、木造床の床衝撃音レベルの低減を目的とした性能予測に向け、試験室において木造床に乾式二重床構造を施工した場合の床衝撃音レベルと乾式二重床構造面材部分の駆動点インピーダンスの関係を実験的検討により明らかにする。

5.2 実験方法について

5.2.1 実験室概要

実験室は，図 4.1 に示す上下 2 室の残響室を使用した。残響室間には 2500 mm × 4000 mm の開口部があり，そこに試験体を設置した。受音室内の残響時間は吸音材などを用いて 1 ～ 2 秒（63 Hz 帯域～ 500 Hz 帯域）に調整した。

5.2.2 試験体概要

試験体は，図 4.2 及び図 4.3 に示す枠組壁工法による基本床と，その上に施工された乾式二重床構造，側根太から支持された天井根太（206 材：38 mm × 140 mm）にせっこうボードを取り付けた独立天井で構成されている。なお，天井懐にはグラスウール 50 mm（24 kg/m³）を挿入した。

実験に用いた仕様の一覧を表 5.1 及び図 5.1 に，乾式二重床構造のパーティクルボードの割り付けを図 5.2 に示す。

乾式二重床構造は端部の納め方により床衝撃音レベル低減量が異なるとの報告^{5,6)}があるため，図 5.3 に示すように際根太とパーティクルボードは壁からの隙間を 10 mm（図では表示されていないが，合板，強化せっこうボード及び遮音マットについても 10 mm とした），木質フローリングは壁からの隙間を 4 mm とした。また，幅木については厚さ 9 mm のものを使用し，木質フローリングと幅木の間は上下に 2 mm の隙間を設けた。これらの隙間の寸法は全ての仕様に適用した。

表 5.1 試験体の仕様

	乾式二重床構造の構成	表面仕上げ材
基本床	なし	なし
A0	なし	WFL 12 mm
A1	二重床	WFL 12 mm
A2	二重床 + 合板 15 mm ×1	WFL 12 mm
A3	二重床 + 合板 15 mm ×2	WFL 12 mm
A4	二重床 + 合板 15 mm ×3	WFL 12 mm
A5	二重床 +HPB 21 mm +HPB 15 mm + 合板 15 mm	WFL 12 mm
A6	二重床 +HPB 21 mm +HPB 15 mm + 遮音マット 8 mm + 合板 15 mm	WFL 12 mm

二重床：パーティクルボード，支持脚，防振ゴム，際根太 WFL: 木質フローリング HPB: 強化せっこうボード

5.2.3 測定概要

衝撃源は、JIS A 1418-2 に規定されている標準重量衝撃源の 2 種類（以下、タイヤ衝撃源、ゴムボール衝撃源と呼ぶ）を使用し、加振位置は図 5.2 に示す 5 点とした。なお、本論では加振力の違いについても検討するため、ゴムボール衝撃源を 0.1 m の高さから落下させた場合を加えることとした。

受音室である下部の残響室内には、床衝撃音レベル測定用のマイクロホンを高さを

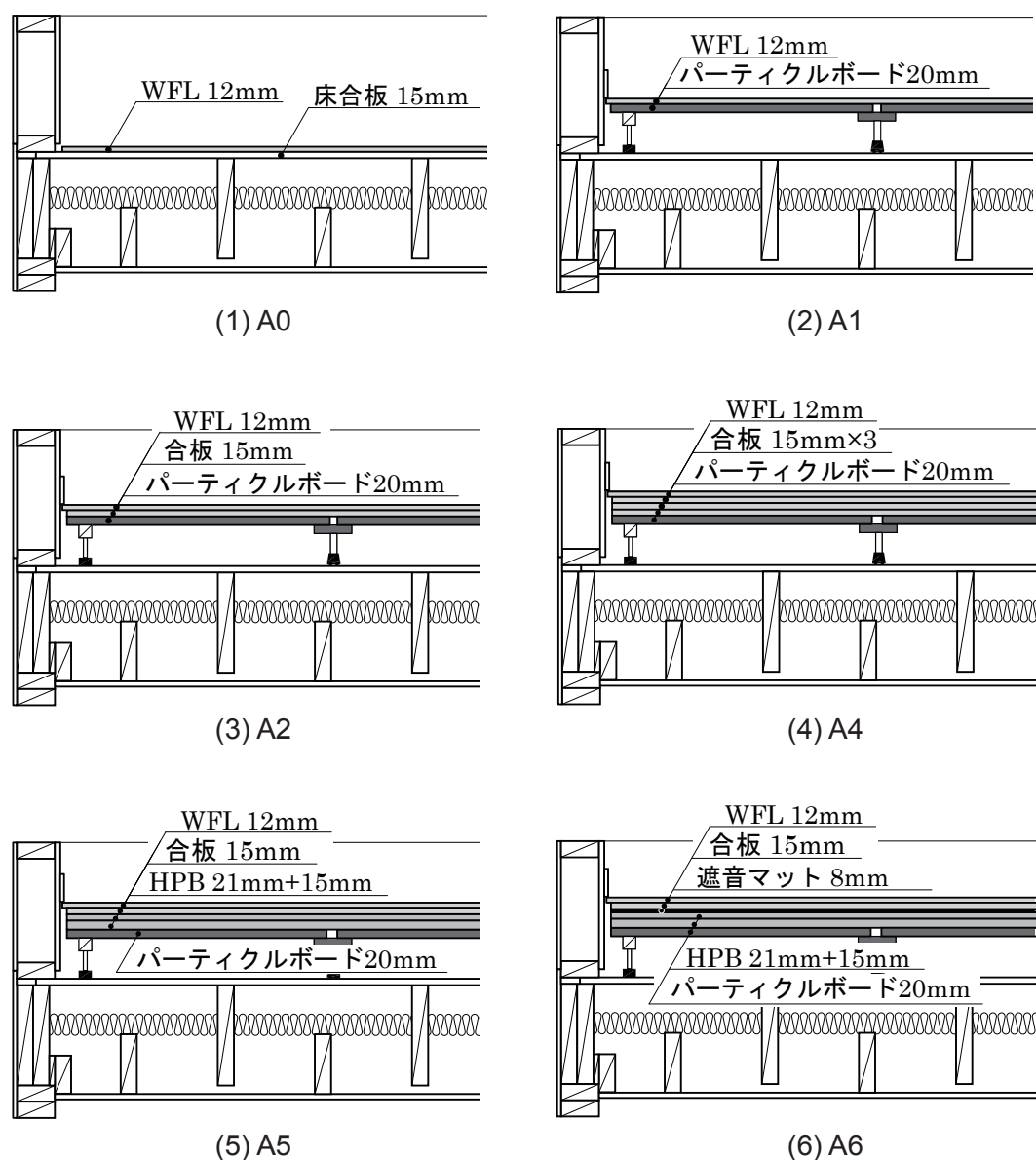


図 5.1 試験体の仕様

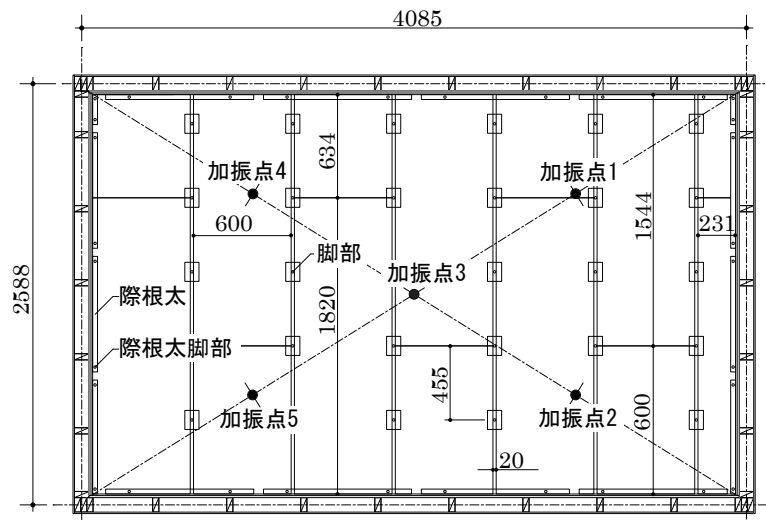


図 5.2 パーティクルボードの割り付け及び加振点

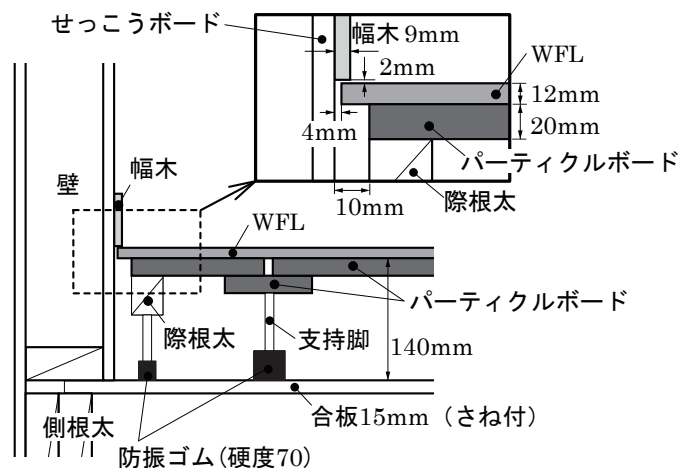


図 5.3 乾式二重床構造端部詳細図

※隙根太の防振ゴムは床面に両面テープを張った上にウレタン系接着材で固定した。また、隙根太部以外の防振ゴムは接着及び固定はしていない。

ランダムに 5 本(床面から $H=1.5\text{ m} \sim 1.9\text{ m}$)設置した。受音室のマイクロホンは多チャンネル分析器（小野測器 DS-2000）に接続して測定を行い，床衝撃音レベルは各測定点の時間重み特性 F の最大音圧レベルを求め，5 点の測定点の結果をエネルギー平均し，加振点 5 点の結果を算術平均して求めた。

床衝撃音レベル差は，JIS A 1440-2 に示されている床衝撃音レベル低減量に準じて算出し，床衝撃音レベルの測定対象周波数は，63 Hz から 500 Hz 帯域とした。

また、音源室側の床衝撃音の発生音が、床構造を透過して受音室の床衝撃音レベルに与える影響を確認するために、標準軽量衝撃源による音源室の床衝撃音の発生音測定、音源室と受音室の室間音圧レベル差測定を行った。この結果、音源室の床衝撃音の発生音から室間音圧レベル差を差し引いた値が、床衝撃音レベル測定値に比べて全ての周波数帯域で 10 dB 以上小さい値であった。よって、影響は無いと判断した。

5.3 床衝撃音レベルの測定結果

5.3.1 床衝撃音レベル差

図 5.4、図 5.5 に衝撃源別の床衝撃音レベル測定結果及び基本床の床衝撃音レベルから各仕様の床衝撃音レベルを差し引いた床衝撃音レベル差 ΔL を示す。いずれの結果も A0 を除けば、床衝撃音レベル差 ΔL が乾式二重床構造の面材部分を変更すること

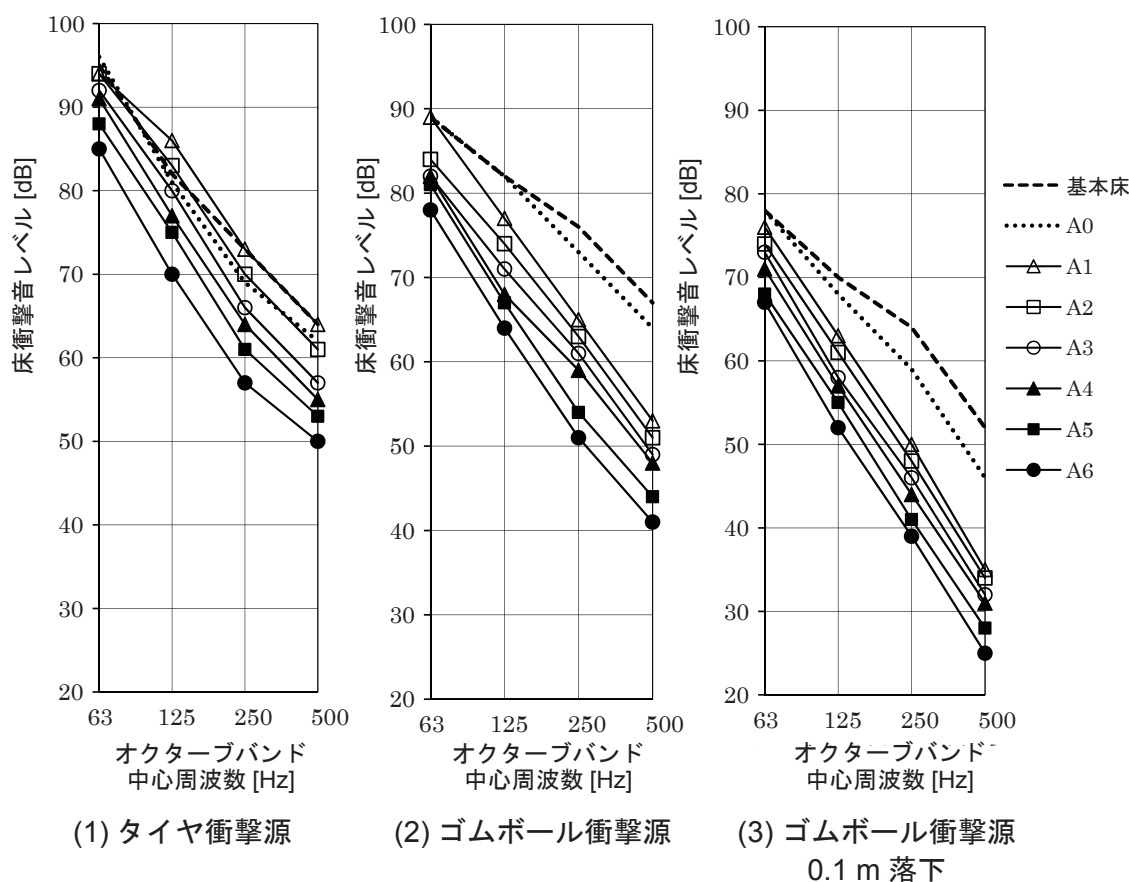


図 5.4 床衝撃音レベルの測定結果

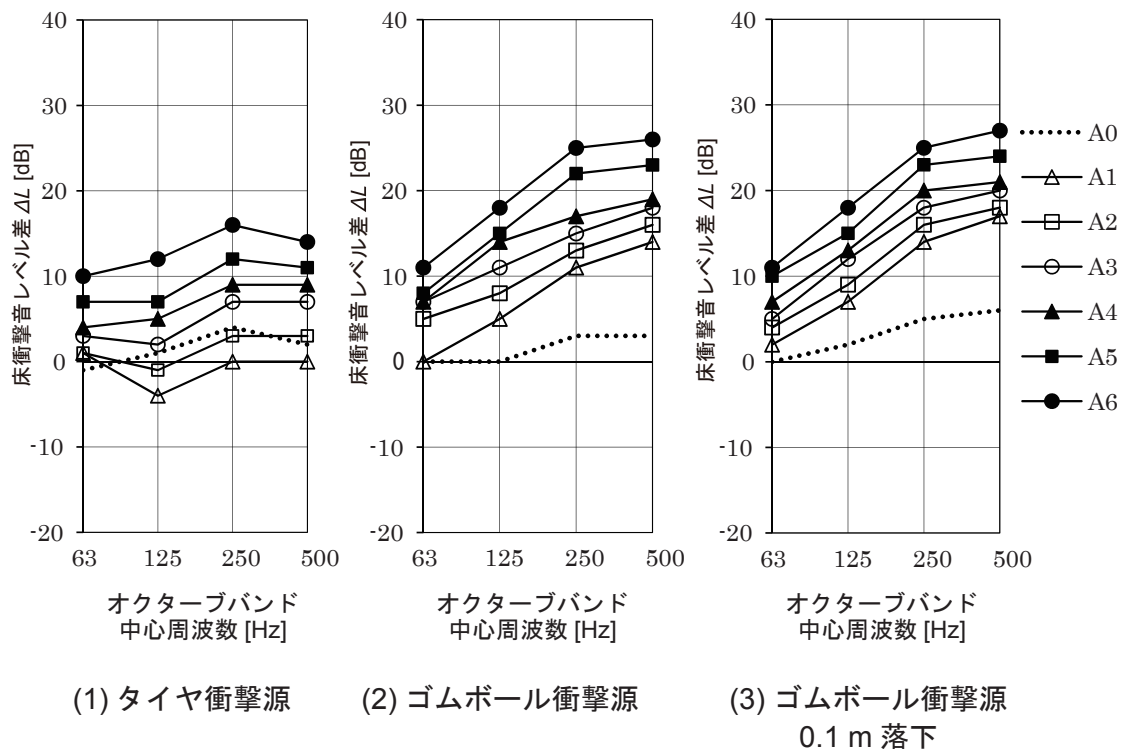


図 5.5 床衝撃音レベル差

より段階的に大きくなった。

タイヤ衝撃源における床衝撃音レベル差 ΔL をみると、63 Hz 帯域では最大で +10 dB、125 Hz 帯域では +12 dB などとなっている。既往の論文によると、RC 造床に乾式二重床を施工した場合の床衝撃音レベル低減量は、ここで得られた床衝撃音レベル差 ΔL よりも小さい傾向が報告されている（たとえば 5.7）。これは、RC 造床に比べてベースとなる基本床の駆動点インピーダンスが小さく、加振された基本床がたわむことにより、乾式二重床構造部分の空気層の空気ばねによる床衝撃音の増幅がみられなかったためと考えられる。

5.3.2 タイヤ衝撃源とゴムボール衝撃源の比較

タイヤ衝撃源とゴムボール衝撃源の床衝撃音レベル差 ΔL （図 5.5(1) と図 5.5(2)）を比較すると、125 Hz 帯域以上において明らかにゴムボール衝撃源の ΔL の方が大きいことがわかる。

図 5.6 に各仕様のタイヤ衝撃源の床衝撃音レベルからゴムボール衝撃源の床衝撃音

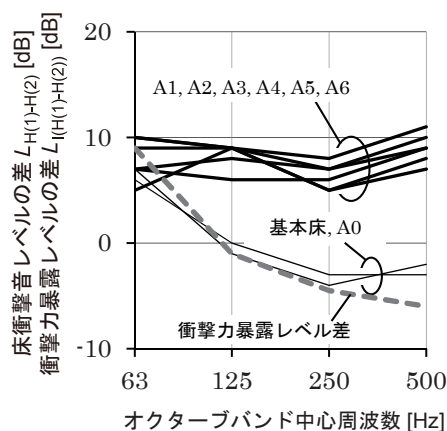


図 5.6 床衝撃音レベルの差 $L_{H(1)-H(2)}$ と
衝撃力暴露レベルの差 $L_{I(H(1)-H(2))}$

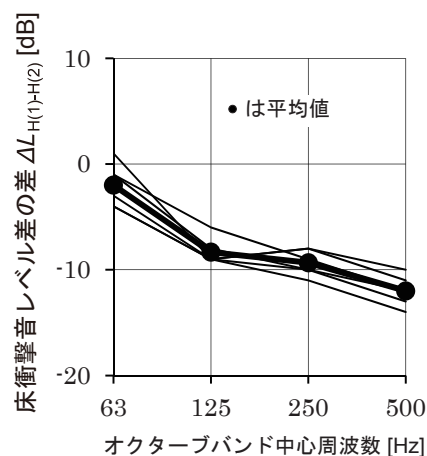


図 5.7 床衝撃音レベル差の差
 $\Delta L_{H(1)-H(2)}$

レベルを差し引いた値 $L_{H(1)-H(2)}$ と、タイヤ衝撃源の衝撃力暴露レベルからゴムボール衝撃源の衝撃力暴露レベルを差し引いた値 $L_{I(H(1)-H(2))}$ を示す。乾式二重床構造を施工していない基本床と A0 の $L_{H(1)-H(2)}$ は、 $L_{I(H(1)-H(2))}$ に近い値になっているが、乾式二重床構造である A1 から A6 の $L_{H(1)-H(2)}$ は、 $L_{I(H(1)-H(2))}$ との差があり、ほぼ一定の値となっている。これは RC 造床に対する既往の論文^{5.7)}と比較すると近い結果になっており、この差がタイヤ衝撃源とゴムボール衝撃源の床衝撃音レベル差 ΔL の違いに表れていると言える。

また、タイヤ衝撃源における床衝撃音レベル差からゴムボール衝撃源の同レベル差を差し引いた床衝撃音レベル差の差 $\Delta L_{H(1)-H(2)}$ を図 5.7 に示す。RC 造床に対する乾式二重床構造の床衝撃音レベル低減量について検討した既往の論文^{5.8)}に示されているタイヤ衝撃音とゴムボール衝撃源を用いた場合の差と比較すると、ほぼ同様の結果になっていることがわかる。つまり、木造床に乾式二重床構造を施工した場合のタイヤ衝撃源とゴムボール衝撃源の床衝撃音レベルの関係は RC 造床に施工した場合の結果と一致する傾向がみられた。

これらの結果はいずれも、乾式二重床構造の場合に、タイヤ衝撃源よりもゴムボール衝撃源の床衝撃音レベル差が大きくなることを示しているが、この要因については他の論文においてもいまだに解明されていない部分であり、今後の課題としたい。

5.4 乾式二重床構造の構成と床衝撃音レベルの関係

床構造について算出した式 5.1 に示す駆動点インピーダンスレベルは，床衝撃音レベルに対して反比例の関係となる^{5.9)}が，乾式二重床構造面材部分に対してもこの関係が成り立つか，つまり，駆動点インピーダンスレベル差と床衝撃音レベル差が一致するかについての検討を行った。また，駆動点インピーダンスは，曲げ剛性と面密度の関数（式 2.1，式 2.2）であるため，これらについても同様に式 5.2 及び式 5.3 のとおり，それぞれ曲げ剛性レベル，面密度レベルとして比較した。なお，図 5.4，図 5.5 では基本床に対する床衝撃音レベル差で表していたが，本項では，乾式二重床面材部分の構成と床衝撃音レベルの関係を明らかにすることを目的とするため，乾式二重床の最も簡単な仕様である A1 を基準とした。

$$L_{Z_b} = 10 \log_{10} \left(\frac{Z_b^2}{Z_{b0}^2} \right) \quad \text{式 5.1}$$

ただし， L_{Z_b} ：駆動点インピーダンスレベル [dB]

Z_b ：駆動点インピーダンス [kg/s]

Z_{b0} ：基準値 [1 kg/s]

$$L_B = 10 \log_{10} \left(\frac{B^2}{B_0^2} \right) \quad \text{式 5.2}$$

ただし， L_B ：曲げ剛性レベル [dB]

B_0 ：基準値 [1 N・m²]

$$L_m = 10 \log_{10} \left(\frac{m^2}{m_0^2} \right) \quad \text{式 5.3}$$

ただし， L_m ：面密度レベル [dB]

m_0 ：基準値 [1 kg/m²]

5.4.1 乾式二重床構造面材部分の断面性能の算出

式 2.1 及び式 2.2 を用いて乾式二重床構造面材部分の曲げ剛性 B 、面密度 m 、駆動点インピーダンス Z_b を算出した。

床を施工する際は、一般的にフローリング材のみを接着するが、本論では、各面材の留めつけは接着材を使わずビス留めとした。よって、曲げ剛性は面材毎の加算値（以下、「加算値」とする）に近いと考えられるが、比較のために各面材が一体化していると仮定した場合の値（以下、「一体化値」とする）についても算出した。

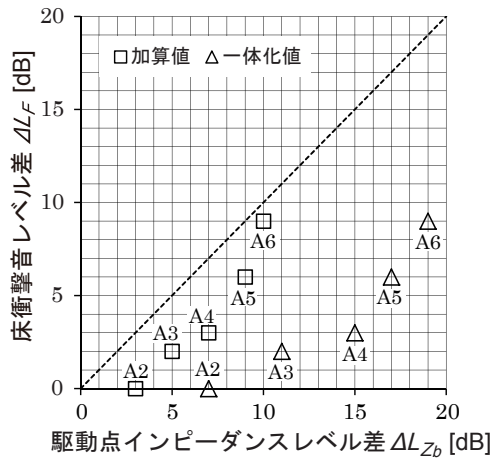
各部材の物性値を表 5.2 に、各仕様の曲げ剛性 B 、面密度 m 、駆動点インピーダンス Z_b とそれぞれのレベルの算出結果を表 5.3 に示す。なお、面密度については全て実測値を用いた。

表 5.2 各部材の物性値

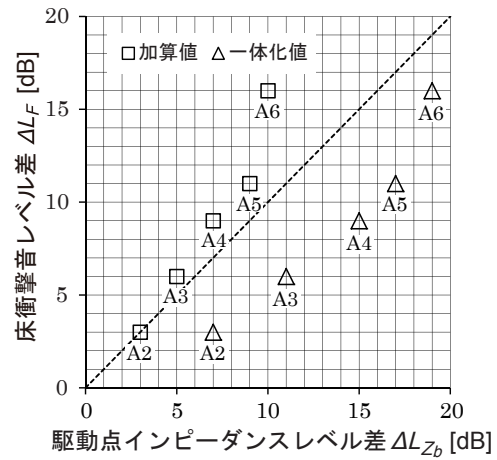
面材名称	ヤング率 E [N/m ²]	面密度 m [kg/m ²]
パーティクルボード 20 mm	4.0E +09	14.5
合板 15 mm	5.0E +09	7.6
WFL 12 mm	5.0E +09	5.9
HPB 21 mm	4.0E +09	16.4
HPB 15 mm	3.0E +09	11.8
遮音マット 8 mm	1.7E +08	22.5

表 5.3 乾式二重床構造面材部分の駆動点インピーダンスなどの計算結果

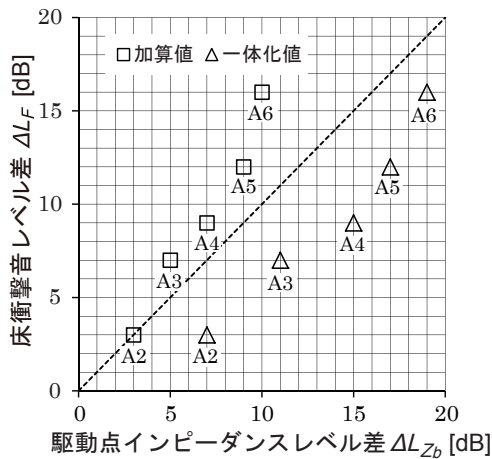
試験 体名	曲げ剛性 B [N・m ²]		曲げ剛性レベル L_B [dB]		面密度 m [kg/m ²]	面密度 レベル L_m [dB]	駆動点 インピーダンス Z_b [kg/s]		駆動点 インピーダンス レベル L_{Zb} [dB]	
	加算値	一体化値	加算値	一体化値			加算値	一体化値	加算値	一体化値
A1	3.4E+03	1.2E+04	71	82	20.4	26	2.1E+03	4.0E+03	66	72
A2	4.8E+03	4.0E+04	74	92	28.0	29	2.9E+03	8.5E+03	69	79
A3	6.2E+03	9.4E+04	76	99	35.6	31	3.8E+03	1.5E+04	71	83
A4	7.6E+03	1.8E+05	78	105	43.1	33	4.6E+03	2.2E+04	73	87
A5	8.7E+03	2.0E+05	79	106	56.2	35	5.6E+03	2.7E+04	75	89
A6	8.7E+03	2.5E+05	79	108	78.6	38	6.7E+03	3.5E+04	76	91



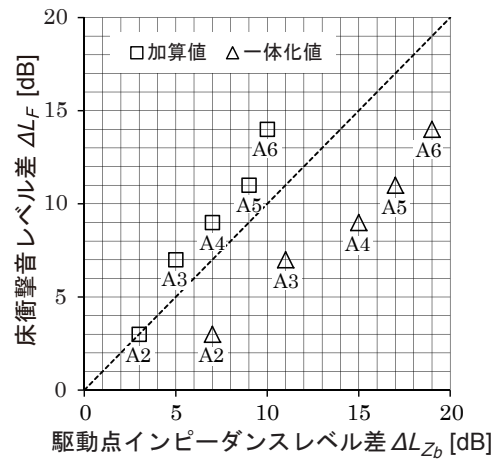
(1) 63 Hz 帯域



(2) 125 Hz 帯域



(3) 250 Hz 帯域



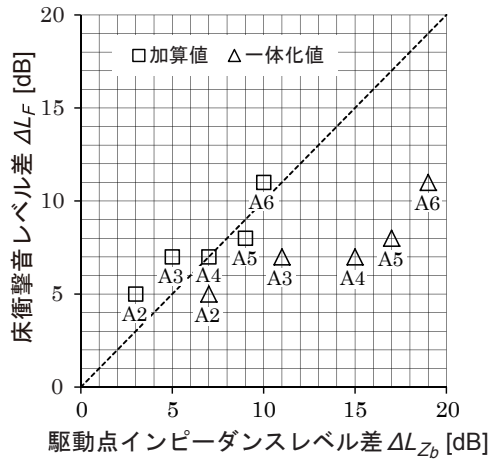
(4) 500 Hz 帯域

図 5.8 乾式二重床構造の床衝撃音レベル差 ΔL_F と駆動点インピーダンスレベル差 ΔL_{Z_b} の関係（タイヤ衝撃源）

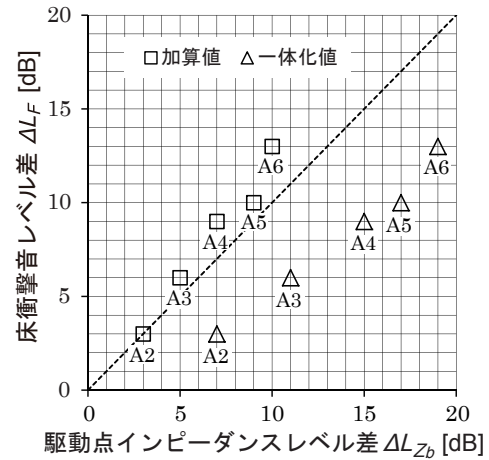
5.4.2 乾式二重床構造の床衝撃音レベル差と曲げ剛性の算出方法の関係

図 5.8 及び図 5.9 に乾式二重床構造を施工した仕様（A1 から A6）の床衝撃音レベル差（A1 の床衝撃音レベルー各仕様の床衝撃音レベル，以下， ΔL_F とする）と駆動点インピーダンスレベル差（A1 の駆動点インピーダンスレベルー各仕様の駆動点インピーダンスレベル，以下， ΔL_{Z_b} とする）の関係を示す。

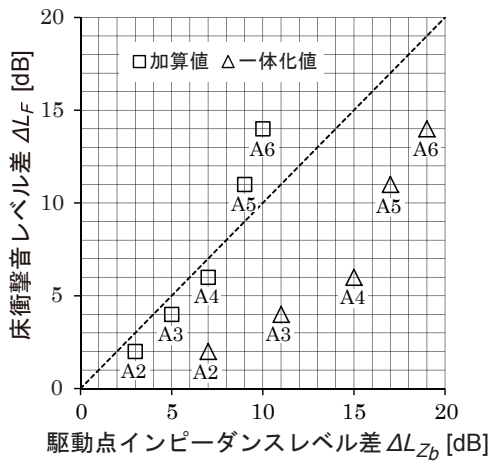
タイヤ衝撃源の 125 Hz 帯域から 500 Hz 帯域をみると，加算値における ΔL_F と ΔL_{Z_b} の関係は A6 の値を除くと ΔL_F の方が 3 dB 以内で大きい値になった。63 Hz 帯



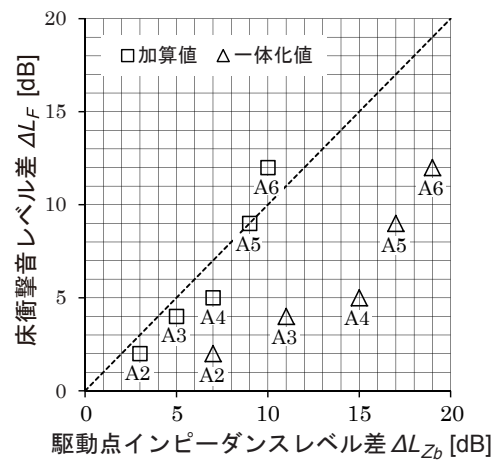
(1) 63 Hz 帯域



(2) 125 Hz 帯域



(3) 250 Hz 帯域



(4) 500 Hz 帯域

図 5.9 乾式二重床構造の床衝撃音レベル差 ΔL_F と駆動点インピーダンスレベル差 ΔL_{Z_b} の関係（ゴムボール衝撃源）

域については、 ΔL_{Z_b} に比べて ΔL_F の方が 1 ～ 4dB 小さく、他の周波数帯域と傾向が異なった。一体化値については、 ΔL_F よりも ΔL_{Z_b} の方が 63Hz 帯域で 7 ～ 12 dB, 125 Hz 帯域から 500 Hz 帯域では 3 ～ 6 dB 大きい値であり、加算値における差よりも大きい値であった。

ゴムボール衝撃源の結果をみると、加算値における ΔL_F と ΔL_{Z_b} の差の絶対値は A6 の値を除くと 0 ～ 2 dB 以内であり、タイヤ衝撃源の場合よりもその差は小さい値となった。一体化値における ΔL_F と ΔL_{Z_b} の差の絶対値は 2 ～ 10 dB と加算値よりもその差

は大きい値であった。

いずれの衝撃源の場合も、A5 及び A6 の値は他の仕様に比べて ΔL_F に対する ΔL_{Z_b} が小さくなっている。これは強化せつこうボードと遮音マットが、合板に比べて床衝撃音レベル低減に寄与する特性を有しているためと考えられる。

以上の結果より、面材の留めつけにビスを用いた場合には、曲げ剛性の算出方法を加算値とすることで ΔL_F と ΔL_{Z_b} は近い値となることが明らかになった。

また、 ΔL_F と ΔL_{Z_b} がリニアに上昇していることから、更に乾式二重床構造の面材部分の駆動点インピーダンスの値を大きくすることにより、 ΔL_F の増加が可能であると考えられる。

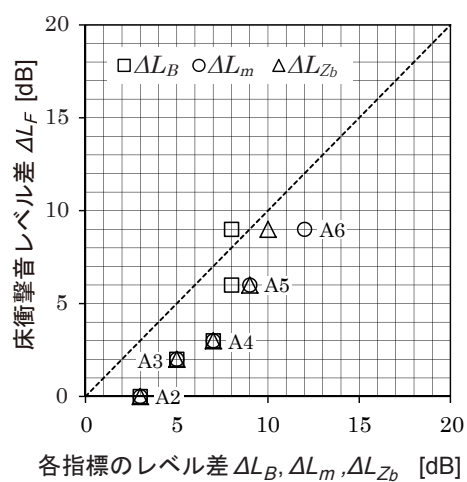
5.4.3 乾式二重床構造の面材部分の構成と特性

乾式二重床構造の面材部分の特性を表すために、図 5.10 ～図 5.12 に ΔL_F と、曲げ剛性の算出値を加算値とした場合の、曲げ剛性レベル差 (A1 の曲げ剛性レベル・各仕様の曲げ剛性レベル、以下、 ΔL_B とする)、面密度レベル差 (A1 の面密度レベル・各仕様の面密度レベル、以下、 ΔL_m とする)、 ΔL_{Z_b} の各指標との関係を示す。曲げ剛性が加算値の場合にこれらの関係は、同じ面材が追加される場合など曲げ剛性と面密度が整数倍に増加する場合は $\Delta L_F = \Delta L_{Z_b} = \Delta L_m = \Delta L_B$ で傾きが 1 となる。更に ΔL_F の増加に寄与する程度が、曲げ剛性より面密度の方が大きい場合は、 $\Delta L_B < \Delta L_{Z_b} < \Delta L_m$ 、剛性の方が大きい場合はこの逆の関係となる。

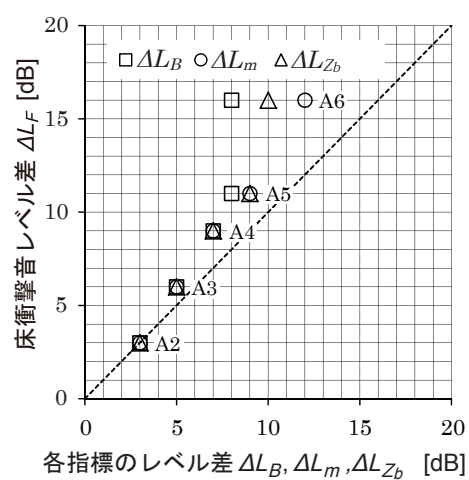
全ての衝撃源の場合に当てはまるが、A5 及び A6 については、 ΔL_{Z_b} よりも ΔL_m の値が大きいため、曲げ剛性よりも面密度の方が ΔL_F に与える影響が大きい仕様といえる。A2 から A4 の仕様では、 ΔL_B と ΔL_m 、 ΔL_{Z_b} の値は傾きが 1 で一致した。

衝撃源別にみると、例えば 125 Hz 帯域と 250 Hz 帯域の ΔL_m に着目すると、タイヤ衝撃源の ΔL_F と ΔL_m の差は 0 ～ 4 dB、ゴムボール衝撃源で 0 ～ 2 dB、ゴムボール衝撃源 0.1 m 落下では 0 ～ 1 dB となり衝撃力が小さいほど差は減少する傾向がみられた。他の周波数帯域では違う傾向もみられるが、タイヤ衝撃源よりもゴムボール衝撃源の方が ΔL_F との差は小さい傾向がみられた。

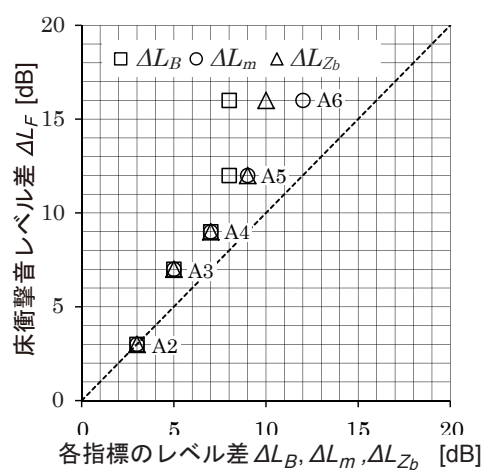
63 Hz 帯域についても、各指標のレベル差と ΔL_F の関係をみると、ゴムボール衝撃源よりタイヤ衝撃源の方が ΔL_F は小さい値であり、衝撃力が小さい方が ΔL_F との差が小さくなった。



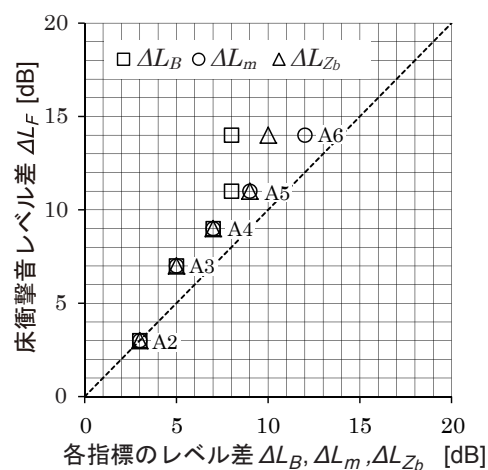
(1) 63 Hz 帯域



(2) 125 Hz 帯域

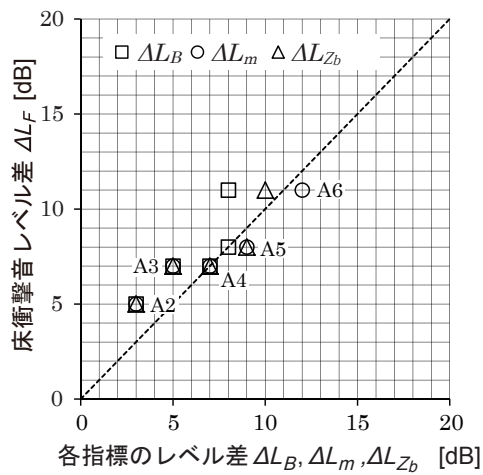


(3) 250 Hz 帯域

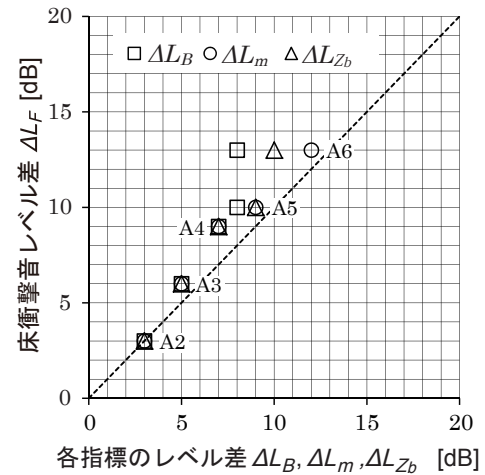


(4) 500 Hz 帯域

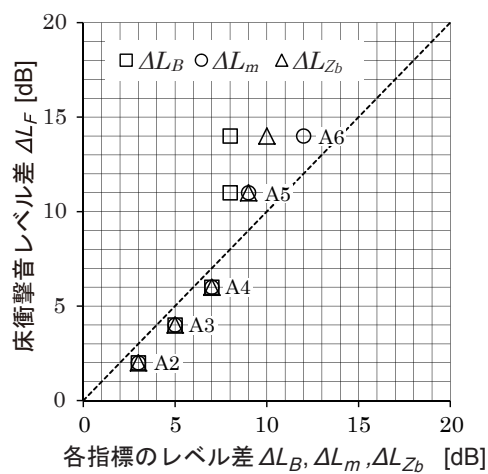
図 5.10 乾式二重床の床衝撃音レベル差 ΔL_F と各指標のレベル差の関係
(タイヤ衝撃源)



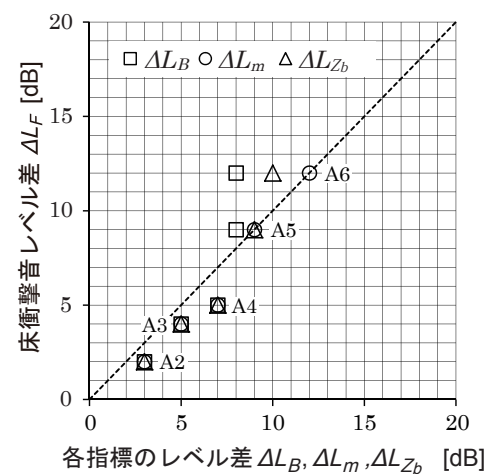
(1) 63 Hz 帯域



(2) 125 Hz 帯域

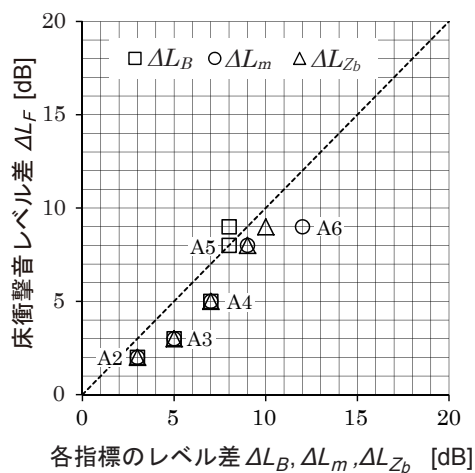


(3) 250 Hz 帯域

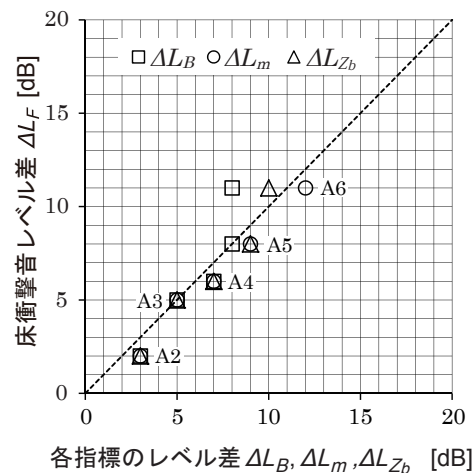


(4) 500 Hz 帯域

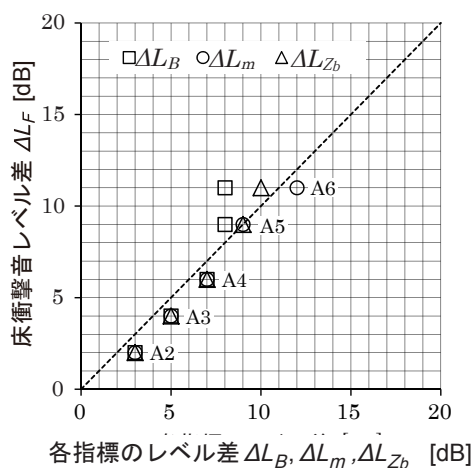
図 5.11 乾式二重床の床衝撃音レベル差 ΔL_F と各指標のレベル差の関係
(ゴムボール衝撃源)



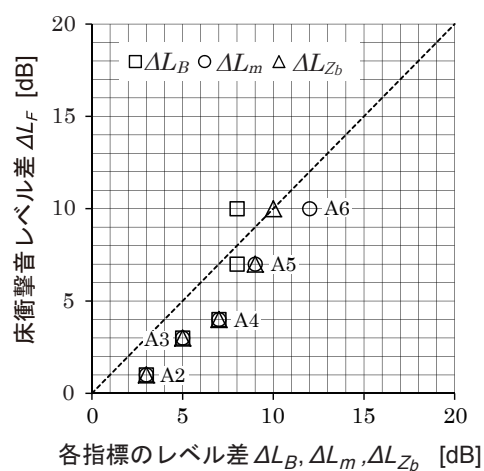
(1) 63 Hz 帯域



(2) 125 Hz 帯域



(3) 250 Hz 帯域



(4) 500 Hz 帯域

図 5.12 乾式二重床の床衝撃音レベル差 ΔL_F と各指標のレベル差の関係
(ゴムボール衝撃源 0.1 m 落下)

5.5 考察

床衝撃音レベルと駆動点インピーダンスの関係について検討してきた。以下、この関係を床衝撃源の違いと断面性能の二つの視点から考察する。

5.5.1 衝撃源の違いによる床衝撃音レベルについて

床衝撃音レベル差 ΔL は、タイヤ衝撃源に比べてゴムボール衝撃源の方が大きくなる傾向がみられた。これは、乾式二重床構造を施工しない床（基本床，A0）の床衝撃音レベルのタイヤ衝撃源とゴムボール衝撃源における差（ $L_{(H(1)-H(2))}$ ）は小さく、乾式二重床構造を施工した床（A1～A6）における差が大きくなっているためである。また、乾式二重床構造を施工していない基本床の床衝撃音レベルの差 $L_{(H(1)-H(2))}$ は、衝撃力暴露レベルの差 $L_{I(H(1)-H(2))}$ とほぼ一致していることから、この傾向は乾式二重床構造特有の現象であるといえる。

最も単純な乾式二重床構造の仕様である A1 のタイヤ衝撃源の床衝撃音レベル差 ΔL の各帯域の値は、63 Hz 帯域から順に +1 dB, -4 dB, 0 dB, 0 dB で基本床と同等以下であるのに対し、ゴムボール衝撃源を用いた場合は、0 dB, +5 dB, +11 dB, +14 dB であった。63 Hz 帯域の ΔL はほぼ同じであるため、L 等級評価の場合は基本床と同程度となるが、125 Hz 帯域以上で大きな差が生じる傾向がみられた。

衝撃源の違いと床衝撃音レベルの関係については、今後も検討すべき重要な課題といえる。

5.5.2 断面性能について

乾式二重床構造は、面材部分が加振され、その振動が支持脚と防振ゴムから木造床へ伝達し、下室天井などから音が放射される。乾式二重床構造面材部分の断面性能を向上することは、支持脚と防振ゴムへの伝達加振力を小さくすることにつながる^{5.8)}。駆動点インピーダンスを 2.1×10^3 kg/s から 6.7×10^3 kg/s (=10 dB 差) まで大きくすることにより、支持脚と防振ゴムから木造床への伝達加振力が低下し、各周波数帯域において 10 dB 以上の乾式二重床構造の床衝撃音レベル差 ΔL_F が得られた。この結果は防振ゴムや構成する材料により変化すると考えられるが、床衝撃音レベルを低減する上で非常に大きな差であると言える。

また、 ΔL_{Z_b} に対する ΔL_m 及び ΔL_B の大小で、乾式二重床構造面材部分の面密度と曲げ剛性のどちらが床衝撃音レベルの低減に有効に作用しているかがわかったが、更なる床衝撃音レベル低減のために、今後は木造床に対する面密度や曲げ剛性の最適化や限界値について検討していきたい。

5.6 まとめ

試験室において木造床に乾式二重床構造を施工した場合の乾式二重床構造面材部分の駆動点インピーダンスと床衝撃音レベルの関係について実験的検討を行い、以下の点が明らかになった。

- ・ ゴムボール衝撃源を用いた場合の基本床の床衝撃音レベルから各仕様の床衝撃音レベルを差し引いた値（＝床衝撃音レベル差 ΔL ）は、タイヤ衝撃源を用いた場合に比べて大きくなる傾向がみられた。この傾向は RC 造床に施工した場合と同様である。
- ・ ゴムボール衝撃源を用いた場合に、乾式二重床構造面材部分の各試験体の駆動点インピーダンスレベル差 ΔL_{Z_b} は、乾式二重床構造の床衝撃音レベル差 ΔL_F とほぼ一致する。
- ・ 駆動点インピーダンスレベル差 ΔL_{Z_b} と曲げ剛性レベル差 ΔL_B 、面密度レベル差 ΔL_m を定義し、床衝撃音レベル差 ΔL_F との関係を示した。
- ・ 乾式二重床構造の面材部分の駆動点インピーダンスを算出するための曲げ剛性の計算方法は、各部材の加算値とすることで、駆動点インピーダンスレベル差 ΔL_{Z_b} と乾式二重床構造の床衝撃音レベル差 ΔL_F は近い値となった。
- ・ 本論で施工した乾式二重床構成の場合、タイヤ衝撃源とゴムボール衝撃源のどちらを用いた場合においても、基本床の駆動点インピーダンスが $4.4 \times 10^4 \text{ kg/s}$ （計算値）程度の床構造に対し、乾式二重床構造面材部分の駆動点インピーダンスを $2.1 \times 10^3 \text{ kg/s}$ から $6.7 \times 10^3 \text{ kg/s}$ とすることで 63 Hz 帯域において 10 dB 以上の床衝撃音レベル差 ΔL_F が得られた。

木造床では $L_{i,Fmax,r,H(1)}$ -65 程度の性能は比較的容易に確保できるが、乾式二重床構造を用いることによって、更に高い性能を確保することができると考える。また、乾

式二重床構造の面材部分の駆動点インピーダンスを更に高めることにより，また，木造床に適した乾式二重床を開発することにより，一層の性能向上が期待できる。

参考文献

- 5.1) 木村翔，井上勝夫，藤本敬彦，池田和洋：乾式浮き床方式を用いた木質系床構造の床衝撃音低減方法に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 D，pp.389～390, 1988.9
- 5.2) 根田金重，角張勲，西川嘉雄，井上貴美子，佐藤寿子，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3：木造軸組 ALC 床＋浮き床の効果，日本建築学会大会学術講演梗概集 D，pp.81～82, 1992.8
- 5.3) 平光厚雄，辻村行雄，芳野祐次，村上知徳：枠組み壁工法実大建物における床衝撃音に関する実験的検討，社団法人日本音響学会建築音響研究会資料，AA2007-16, 2007.4
- 5.4) 平光厚雄，廣田誠一，田中学，佐藤洋：木造枠組壁工法の床衝撃音遮断性能に関する実験的検討 - 実験室測定における Resilient Channel と乾式二重床構造の影響 -，日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集 2009, pp.145～148, 2009.9
- 5.5) 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
- 5.6) 石川雅一，田中学，村上剛士，和木孝男：幅木および際根太が乾式二重床の床衝撃音レベル低減量に与える影響について，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.175～176, 2008.7
- 5.7) 田中学，漆戸幸雄，羽染武則：ゴムボールによる重量床衝撃音遮断性能の測定方法の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.13～16, 2005.9
- 5.8) 平光厚雄，井上勝夫：乾式二重床構造における断面仕様の違いによる床衝撃音レベル低減量に関する実験的検討，日本建築学会技術報告集，第 19 巻 第 42 号，pp.619～621, 2013.6
- 5.9) 井上勝夫，木村翔，宮崎浩司：木質系床構造の重量床衝撃源に対する床衝撃音低減方法に関する研究，日本建築学会計画系論文報告集，第 382 号，pp.1～9, 1987.12

第6章 枠組壁工法床とRC造床の主観評価による床衝撃音の比較

6.1 はじめに

木造床は、軽量であるため、低い周波数帯域における床衝撃音の低減が難しい。特に枠組壁工法床は、根太と面材で構成された床構造のため、固有周波数が低くなる傾向があり、L数による評価を向上するのは難しい現状がある。

筆者らは、このような枠組壁工法床に着目し、現場で録音した床衝撃音を基にL数を一定として周波数特性を変更した音源を用いて評定尺度法により主観評価を行い、L数が同じでも心理尺度構成値が違う場合のあること、心理尺度構成値とラウドネスや $L_{iA,Fmax}$ 、63 Hz 帯域から 500 Hz 帯域までの算術平均値との対応が良いことを示した^{6.1),6.2)}。これは必ずしも 63Hz 帯域の床衝撃音レベルを低減しなくてももうるさく感じにくい床構造を開発できることを示唆している。

他にも、村尾ら^{6.3)}は、評定尺度法により床衝撃音に対する主観評価を行い、L数は高音域が低減された周波数特性の場合に心理尺度構成値と対応の良い評価が難しいこと、最大A特性音圧レベルおよびオクターブバンド最大音圧レベルの63 Hz 帯域から 4 kHz 帯域の算術平均値が「うるささ」と対応がよいことを示している。濱田ら^{6.4)}は、木造床を含む各種床構造の床衝撃音等を音源として評定尺度法により主観評価を行い、心理尺度構成値と最大A特性床衝撃音レベル（以下、 $L_{iA,Fmax}$ と表す）の間には高い相関がみられると報告している。

更に主観評価と最も対応が良いと考えられるラウドネスと重量床衝撃音との関係についてもいくつかの報告がある。Preisら^{6.5)}は様々な床構造に対し重量床衝撃音のラウドネスの最大値が $L_{iA,Fmax}$ よりも心理尺度構成値と相関が高いこと、Jeonら^{6.6)}も心理尺度構成値とラウドネスとの相関が高いことを示している。

床衝撃音の評価方法は、床構成や構造の違いにより異なる床衝撃音レベルの周波数特性に対し適切に対応できることが望まれる。また、評価方法は遮音性能が高くしずかに感じる床構造の開発にも用いられるため、可能な限り入居者の心理に近い評価が望まれる。

このため、本研究では、床構成の違う枠組壁工法床の床衝撃音を主観的評価に基

づき評価し、床構造の設計に資するデータを得ること、床衝撃音の周波数特性が異なる桝組壁工法床と RC 造床を主観評価により比較し、RC 造床と同等以上の桝組壁工法床を開発することを目的に、次に示す項目を明らかにする。

- ・ ゴムボール衝撃源による床衝撃音の物理量と心理量の比較
- ・ RC 造床と桝組壁工法床の主観評価による比較
- ・ 主観評価による桝組壁工法床の仕様別の比較

6.2 主観評価

6.2.1 床衝撃音のサンプリング

本研究に使用した床衝撃音サンプルは、日本建築総合試験所の箱型試験室（受音室容積 70 m^3 ）の鉄筋コンクリート床（ 150 mm 厚、 $2.7 \text{ m} \times 3.7 \text{ m}$ ）および建築研究所残響室（受音室容積 208 m^3 ）に施工した 4 種類の木造桝組壁工法の床（ $3.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m}$ ）である。いずれの受音室も残響時間は $1 \sim 2$ 秒に調整した。RC 造床は、床仕上げ材として筆者が居住する北海道の RC 造公営住宅で用いられている木質フローリングを置き敷きした。なお、この木質フローリングの裏面には厚さ 3 mm のエチレン酢酸ビニル樹脂が取り付けられている。桝組壁工法床は、ベースとなる桝組壁工法床に乾式二重床構造を施工した仕様である。断面を図 6.1 ～ 6.3 に、仕様の詳細を表 6.1 に示す。B02 及び B03 の天井に使用した Resilient channel は図 6.4 に示す形状でばね定数は TypeA が $2.23 \times 10^6 \text{ N/m}$ 、Type B が $0.19 \times 10^6 \text{ N/m}$ である。

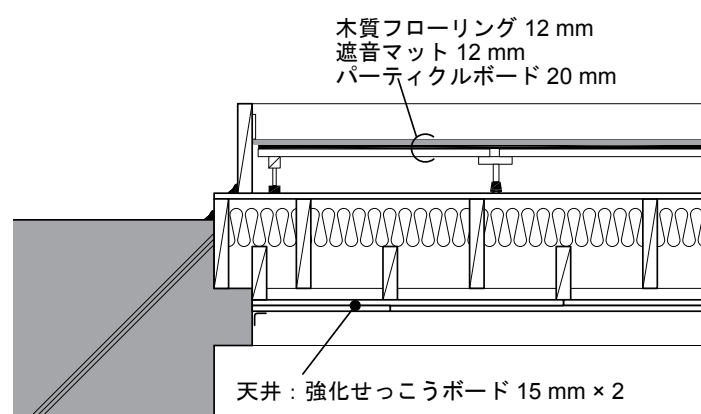


図 6.1 木造床 A2 の断面仕様

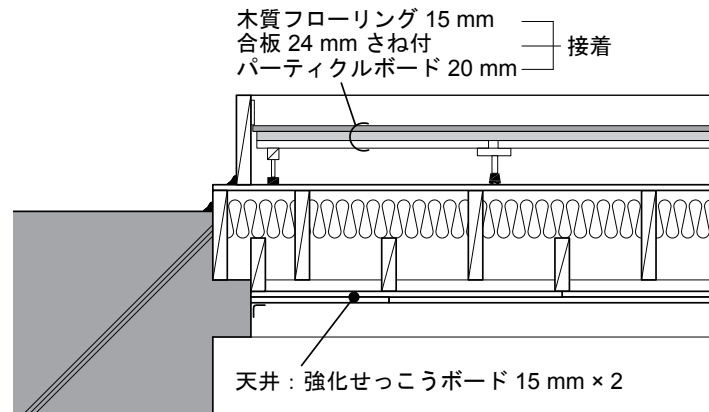


図 6.2 枠組壁構法床 B01 の断面仕様

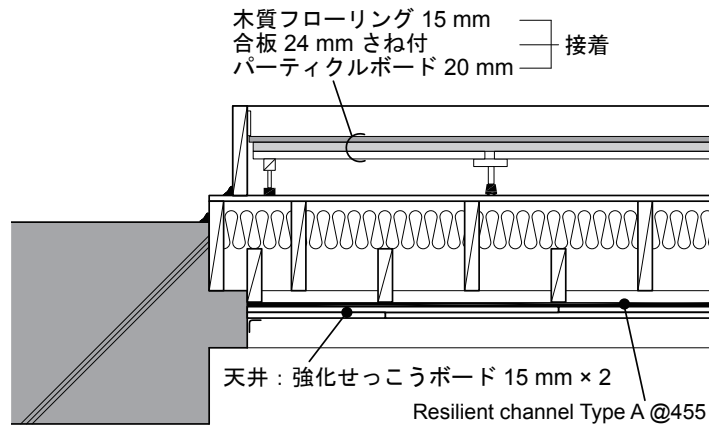


図 6.3 枠組壁構法床 B02 の断面仕様

表 6.1 乾式二重床構造試験体の仕様

		A02	B01	B02	B03
表面仕上げ材		木質フローリング 12 mm	木質フローリング 15 mm	木質フローリング 15 mm (接着)	木質フローリング 15 mm(接着)
二重 床部分	下地材	遮音マット 12 mm	カラマツ合板 28 mm	カラマツ合板 28 mm (接着)	カラマツ合板 28 mm (接着)
	基部	パーティクルボード 20 mm	パーティクルボード 20 mm	パーティクルボード 20mm	パーティクルボード 20 mm
ベース 床部分	床材	合板 15 mm	合板 15 mm	合板 15mm	合板 15 mm
	床根太	210 材 235 mm @ 455	210 材 235 mm @ 455	210 材 235 mm @ 455	210 材 235 mm @ 455
	吸音材	GW 24 K- 100 mm	GW 24 K- 100 mm	GW 24 K- 100 mm	GW 24 K- 100 mm
	天井 根太	206 材 140 mm @ 455	206 材 140 mm @ 455	206 材 140 mm @ 455	206 材 140 mm @ 455
	天井 下地	なし	なし	Resilient channel Atype	Resilient channel Btype
	天井材	強化せっこうボード 15 mm × 2	強化せっこうボード 15 mm × 2	強化せっこうボード 15 mm × 2	強化せっこうボード 15 mm × 2

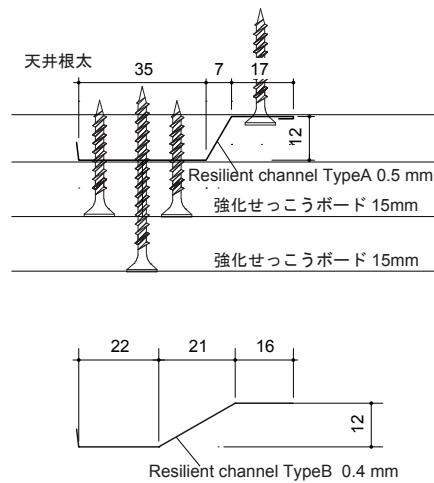


図 6.4 Resilient channel の断面

床衝撃音の発生にはゴムボール衝撃源を用い、落下高さは 1 m および 0.1 m の 2 種類とした。また、落下地点を床中心と隅部の 2 か所とした。衝撃音の録音は、受音室内の天井中央部下 1.5 m の位置に騒音計 (B&K 2250) を設置して計 20 種の音源をモノラル録音した。それぞれの床構造における床衝撃音レベルの測定結果を図 6.5、図 6.6 に示す。また、衝撃源ごとのラウドネスのデシベル値、 $L_{iA, Fmax}$ 及び L 数を表

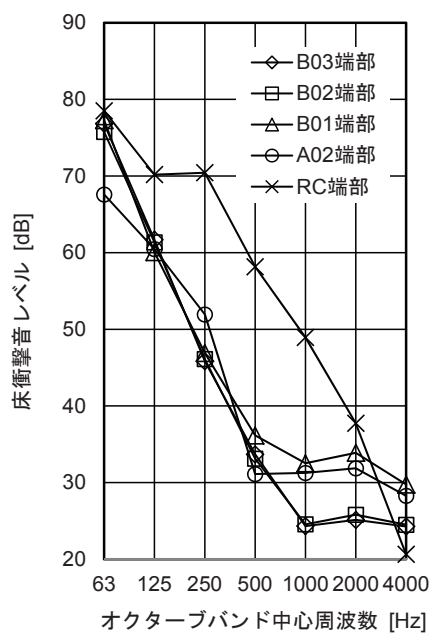


図 6.5 実測値の床衝撃音レベル (端部)

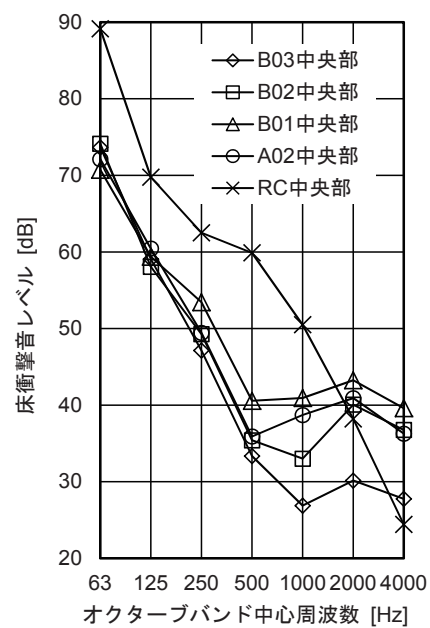


図 6.6 実測値の床衝撃音レベル (中央部)

6.2 に示す。

本論では RC 造床と枠組壁工法床の床衝撃音レベルの比較は違う試験室でのサンプリングデータを使用することとした。試験室間の差を確認するために、それぞれ試験室で、天井下 1.5 m に加え中央部天井直下 0.1 m の 2 点でサンプリングを行いその結果の $L_{iA,Fmax}$ を比較した。図 6.7 に比較結果を示す。枠組壁工法床では 0.1 m と 1.5 m で 7 dB 程度、RC 造床で 5 dB の差が見られた。よって、それぞれの試験室間の差は 2 dB 程度であった。

6.2.2 ラウドネスの算出方法

音圧レベルや周波数スペクトルからラウドネスを推定する方法は国際規格

表 6.2 各床の衝撃源の単一数値評価量

衝撃源 落下位置	単一数値評価量	RC 造床	木造床 A02	木造床 B01	木造床 B02	木造床 B03
ゴムボール衝撃源 1 m 落下 (中央部)	L 数 [dB]	67	65	55	52	54
	$L_{iA,Fmax}$ [dB]	61.4	54.0	57.4	54.9	55.0
	ラウドネス最大値 [dB]	17.4	9.0	13.0	9.8	9.9
ゴムボール衝撃源 1 m 落下 (端部)	L 数 [dB]	57	55	54	55	56
	$L_{iA,Fmax}$ [dB]	62.0	52.2	51.9	50.6	52.2
	ラウドネス最大値 [dB]	13.7	7.0	7.7	6.2	6.6
ゴムボール衝撃源 0.1 m 落下 (中央部)	L 数 [dB]	54	47	37	48	47
	$L_{iA,Fmax}$ [dB]	47.1	47.1	47.5	44.9	45.9
	ラウドネス最大値 [dB]	5.2	4.5	4.7	4.0	4.1
ゴムボール衝撃源 0.1 m 落下 (端部)	L 数 [dB]	45	47	45	48	47
	$L_{iA,Fmax}$ [dB]	44.7	38.6	40.3	41.4	42.9
	ラウドネス最大値 [dB]	4.2	1.7	2.7	3.0	3.2

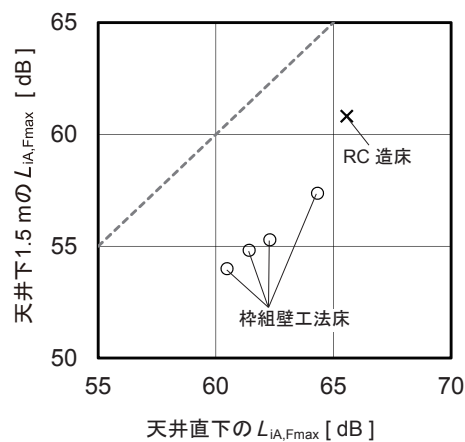


図 6.7 天井直下と天井下 1.5 m の $L_{iA,Fmax}$ 比較

ISO532(Acoustics-Method for Calculating Loudness Level, 1975) がある。衝撃音のラウドネスの計算には時々刻々変化する 1/3 オクターブバンドごとの音圧レベル値が必要である。本研究では 2 ms の時定数で指数平均された 1/3 オクターブバンドレベルから, 聴覚がもつフィルターに対応した臨界帯域と呼ばれるバンドに変換し, 周波数軸及び時間軸上で起こるマスキング現象を考慮して 2 ms ごとのラウドネスを算出した。なお, 時間軸上のマスキングは ISO532 では考慮されないため, DIN 45631/A (Procedure for calculating loudness level and loudness, Deutsches Institut Fur Normung E.V. (German National Standard) / 01-Mar-1991) に則って計算した。

6.2.3 試験室及び装置

録音した衝撃音を簡易無響室内で収録時と同等の音圧レベル (32 Hz ~ 1 kHz, 1/3 オクターブバンド) で再生した。実験室は, 防振性能が必要なため 6 畳間程度の防音室を用いて行った。用いたスピーカは, ジェネレック社製 7071A(< 60 Hz) およびジェネレック社製 8050A($\geq$ 60 Hz) であった。衝撃音は, 60 Hz 以上の周波数帯域を被験者の頭上 0.7 m の位置に設置した前者のスピーカで, 60 Hz 以下の低音は被験者の後方 0.5 m に配した後者のスピーカより提示した。実験室の暗騒音の騒音レベルは 30 dB であった。暗騒音の変動を小さくするために 40 dB の空調騒音のような音を暗騒音として付加した。なお, 実測値と本実験時の再現値のラウドネスレベル, $L_{iA,Fmax}$ の関係は図 6. 8 及び図 6. 9 のとおりであった。回帰直線からは平均的にラウドネスレベルは 2.0 dB, $L_{iA,Fmax}$ は 0.6 dB 再現値の方が大きい結果となった。

6.2.4 実験方法

実験はシェッフェの一対比較法とした。被験者への情報提示は液晶パネル画面を使用して行った。画面の上部には, 現在の提示音の回数, 画面中央部には「前」と「後」の表示があり, その下に, 左から, 前の方が後ろに比べて「非常に気になる」「気になる」「同じ」, 後ろの方が前に比べて「気になる」「非常に気になる」の 5 段階のボタンを設けた。各指標に割り当てたスコアは -2, -1, 0, 1, 2 とした。1 刺激目が提示されるときに「前」のボックスが緑色に, 2 秒後に 2 刺激目が提示されるときには「後」のボックスが赤色に光るようにした。回答時には回答ボタンの周辺がオレンジ

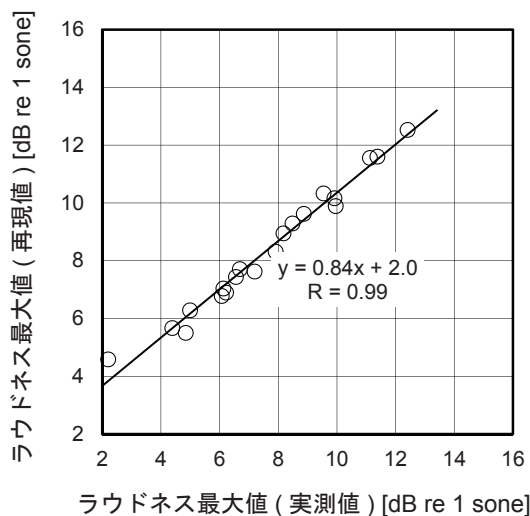


図 6.8 ラウドネス最大値レベルの実測値と再現値の比較

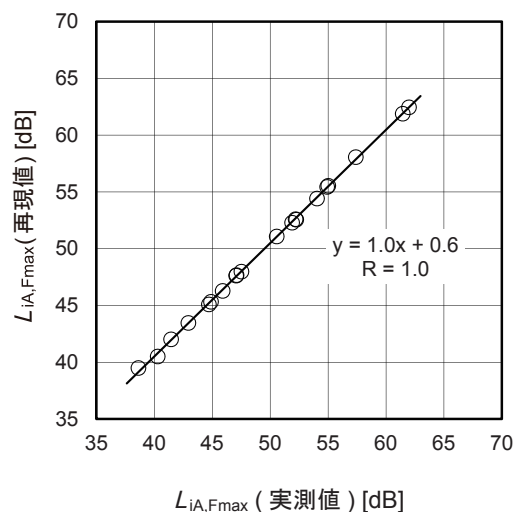


図 6.9 $L_{iA,Fmax}$ の実測値と再現値の比較

色に光るようにし、光っている間（回答しなければ光りつづける）に回答するように求めた。被験者は 1 度の実験で同時に 1 名参加した。被験者には 2 刺激が提示された後に画面に示された言葉の書いてあるボタンを押させた。被験者として、日常生活において聴力に異常を感じていない若年者（大学生）20 名、高齢者（60 歳以上）20 名が参加した。内訳を表 6.3 に示す。なお、実験はボールについては衝撃源落下地点を 2 つと 5 種類の床、落下高さ 2 種類の組み合わせで 20 刺激を用い、前後入れ替えと同一刺激も含めて 400 対の聴取を行った。被験者 1 名につき 1 種類の実験につき 1 試行の実験を行った。

6.2.5 実験結果

6.2.5.1 結果の有意性確認

図 6.10 に若年者と高齢者の「気になる程度」の評価結果を示す。両グループの結果は良く一致している。若年者と高齢者の実験結果の間にはほとんど差がないこと

表 6.3 被験者の内訳

	男性	女性	計
若年者（大学生）	16 人	4 人	20 人
高齢者（60 歳以上）	10 人	10 人	20 人

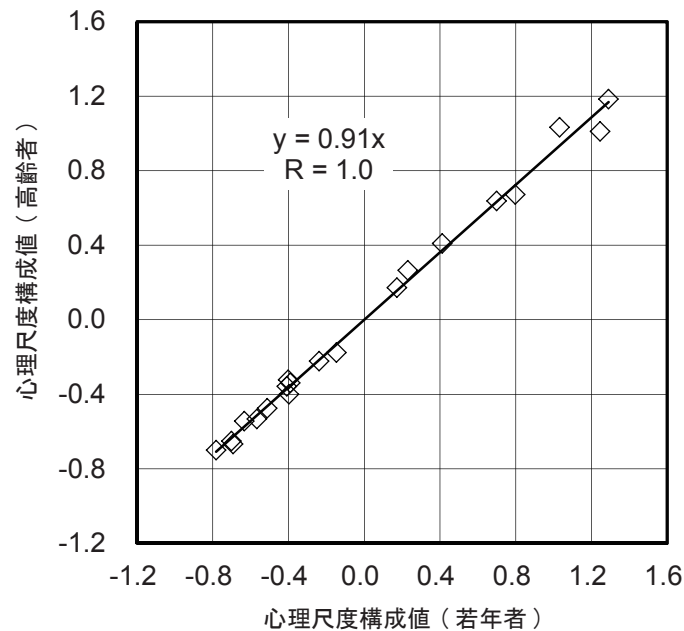


図 6.10 高齢者と若年者の心理尺度構成値の関係

表 6.4 分散分析の結果

要素	平方和	自由度	平均平方	F 値	有意確率
刺激	13005.2	19	684.5	2429.7	0.000
刺激 × 個別値	962.2	741	1.3	4.6	0.000
組み合わせ	325.8	171	1.9	6.8	0.000
順序	16.6	1	16.6	59.1	0.000
順序 × 個別値	124.6	39	3.2	11.3	0.000
誤差	4008.6	14229	0.3		
合計	18443	15200			

から両データを一体にして分析を行う。床衝撃音の「気になる程度」についての心理尺度構成値の分散分析結果を表 6.4 に示す。この結果、全ての要素で統計的には有意性が見られたが、その中でも「刺激」は特に高い有意性がみられた。ヤードスティックは 0.075 ($p < 0.01$) であった。有意確率データ間の差がヤードスティックより大きければ、ヤードスティックが示された有意確率でデータ間の差が優位ということを示す。

6.2.5.2 単一評価指標と心理尺度構成値の関係

図 6.11 に再現値のラウドネス最大値レベルと $L_{iA, Fmax}$ の関係を示す。相関係数は

0.99 で、それぞれの関係は非常に良く一致している。ラウドネス最大値レベルと L 数との関係を図 6.12 に示す。 $L_{iA, Fmax}$ と比較すると相関係数は 0.86 でやや低くなっ

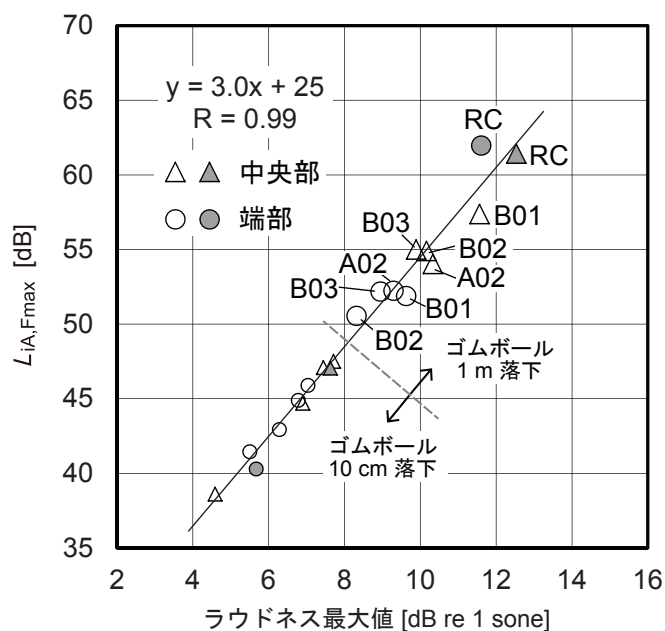


図 6.11 ラウドネスと $L_{iA, Fmax}$ の比較

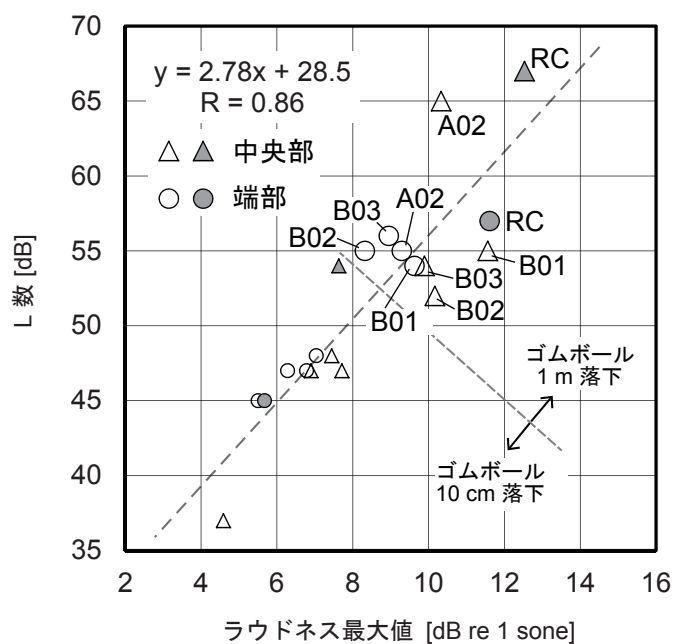


図 6.12 ラウドネスと L 数の比較

ておりばらつきが大きい。例えば，A02 中央部と B02 中央部を比較するとラウドネス最大値レベルは 0.8 dB の差であるが L 数は 13 dB の差になっており，他の物理指標と比べるとその差は大きい。

図 6.13 から図 6.15 に各物理量と心理尺度構成値の関係を示す。図 6.13 はラウドネス最大値レベル，図 6.14 は $L_{iA,Fmax}$ ，図 6.15 は L 数である。ラウドネス最大値レベルと $L_{iA,Fmax}$ の心理尺度構成値との関係は直線的であるが，L 数はやや相関係数が低くなった。床構造仕様の違いによる物理量及び心理尺度構成値の幅を比較すると，ゴムボール衝撃源 1 m 落下では広いが，ゴムボール 衝撃源 0.1 m 落下では狭くなっている。よって，以下の考察はゴムボール衝撃源 1 m 落下について行う。

6.2.5.3 枠組壁工法床と RC 造床の比較

枠組壁工法床と RC 造床を比較すると，前者の方が「気になる程度」は小さくなっていることがわかる。枠組壁工法床に乾式二重床などを施工することにより，RC 造床スラブ厚さ 15 cm 程度の床構成と比較して「気になる程度」が小さい床を示すことができた。

この結果は，物理量においても前者の方が値は小さくなっているため，この影響

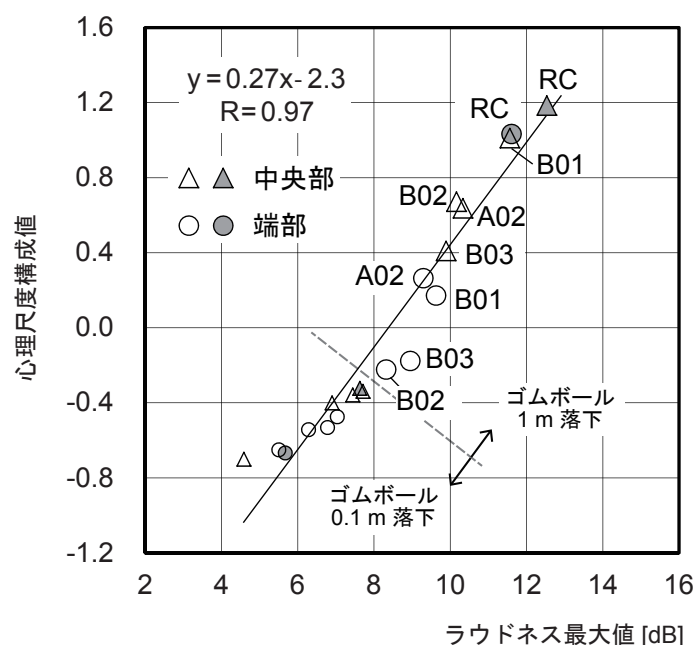


図 6.13 心理尺度構成値とラウドネス最大値レベルの関係

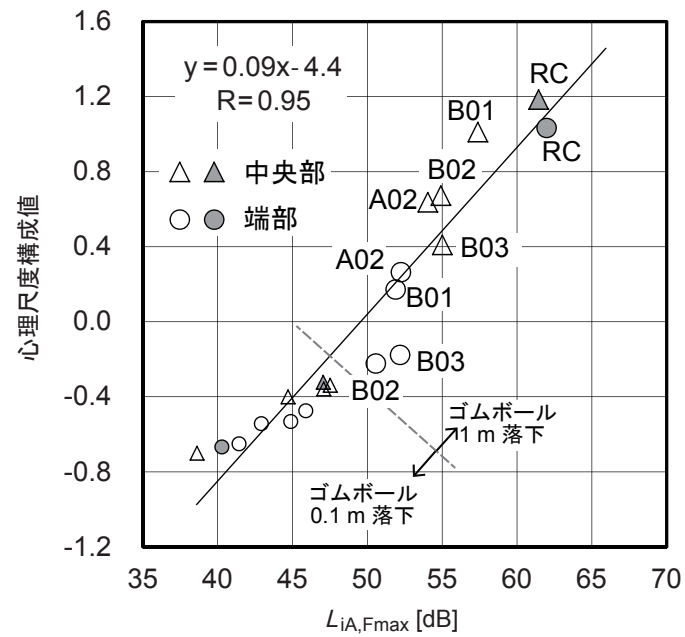


図 6.14 心理尺度構成値と $L_{iA,Fmax}$

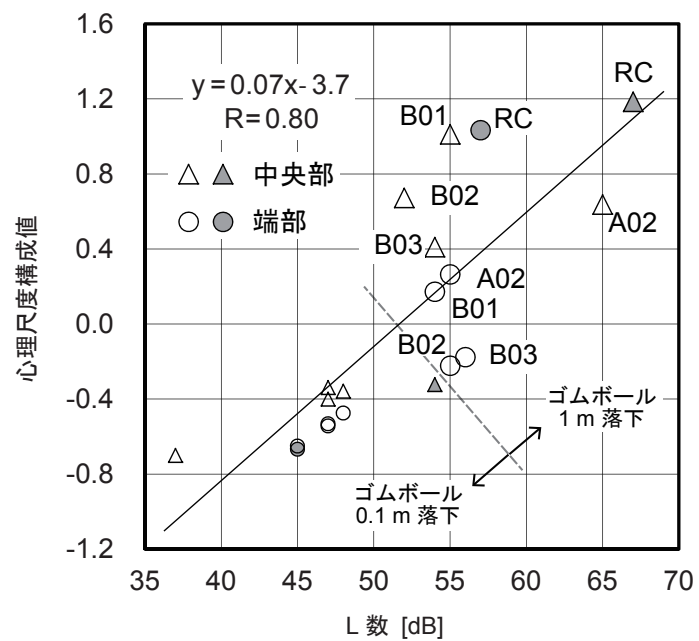


図 6.15 心理尺度構成値と L 数の関係

も受けているが、L 数との関係をみると、両者の差は大きくなっている。つまり、本論で扱った音源に関しては枠組壁工法床と RC 造床の差は $L \text{ 数} > L_{iA,Fmax} > \text{ラウドネス} > \text{心理尺度構成値}$ の順になった。

この関係は床構成、つまり床衝撃音の周波数特性などにより違いが現れると考えられるため、更にデータの蓄積を行い分析が必要である。

6.2.5.4 加振位置

図 6.13 のラウドネス最大値レベルと心理尺度構成値の関係をみると床中央部加振の方が、端部加振よりも「気になる程度」が大きくなっており、この結果は RC 造床で小さく枠組壁工法床で大きい。図 6.5 及び図 6.6 に示した床衝撃音レベルの測定結果をみると、RC 造床では低い周波数帯域において端部と中央部における周波数特性の差が木造床に比べると大きいことがわかる。これは RC 造床の端部のインピーダンス上昇によるものと考えられる。木造床は逆に高い周波数帯域で差が大きくなる傾向になっており、この差が現れたと言える。

6.2.5.5 床構成

枠組壁工法床のうち、中央部加振で「気になる程度」が小さかった順は $B03 < A02 < B02 < B01$ となった。物理量であるラウドネスが小さい順は $B03 < B02 < A02 < B01$ ，同じく $L_{iA,Fmax}$ は $A02 < B02 < B03 < B01$ ，同じく L 数は $B01 < A02 < B03 < B02$ であった。

このようにこれまで L 数で評価が良くない仕様であっても心理量では高く評価される可能性が示唆される。

6.2.5.6 天井下地

次に、天井下地材として使用した Resilient channel の効果を比較する。Resilient channel は B 仕様のうち、B02 と B03 に使用しており、B03 は B02 よりもばね定数を小さくしたタイプである。端部加振の結果を比較すると Resilient channel を使用しない B1 と使用している B2 及び B3 との差は、心理尺度構成値では 0.4 ポイントである。この差はヤードスティック 0.075 ($p < 0.01$) よりもかなり大きな差である。ラウドネス最大値での差と $L_{iA,Fmax}$ での差を比較するとラウドネス最大値の差の方が大きくなっている。この意味は、Resilient channel は「気になる程度」を効果的に低下させることができることを示している。また、ばね定数を変化させた B02 と B03 の差はほとんどみられなかった。

中央部加振の結果を比較すると、B03はB02に比べて心理尺度構成値が0.25小さい結果が得られており、「気になる程度」が小さくなったと評価された。更にResilient channelを使用したB02及びB03は使用しないB01に比べてラウドネス最大値及び $L_{iA,Fmax}$ の両指標とも大きく低下した。よって、Resilient channelを使用することで両指標が低減でき、気になる程度も小さくなるということである。端部加振では効果は見られなかったが、中央部に近い場所を加振する場合には効果が見られた。

これらの結果により、ディテールの違いの影響は一対比較実験により差が検証できることがわかった。そして、統計的に有意な違いについてはRC造床に対して枠組壁工法床の方が気になる程度が小さいということが明確に示された。

6.3 考察

6.3.1 床衝撃音の単一数値評価量と主観評価の比較

ゴムボール衝撃源を用いた場合の単一数値評価量と主観評価の関係は、ラウドネス最大値、 $L_{iA,Fmax}$ 、L数の順に相関が高かった。この結果から実用的に計測・算出が容易な $L_{iA,Fmax}$ を評価として用いることが最も適切であると考ええる。

衝撃源の衝撃力については、床衝撃音の評価は、人の歩行に相当する衝撃力に近い衝撃源で評価することが最も実際に近いと考えられるが、図6.13から図6.15に示したように、ゴムボール衝撃源0.1 m落下の音源は単一数値評価量と心理尺度構成値のいずれも差が小さく、有意な差が得られなかった。床衝撃音遮断性能が高くなるに従い、暗騒音との差が小さくなり適切な評価が難しくなる。よって、ゴムボール衝撃源1 m落下による評価が最も適切と考える。

6.3.2 RC造床と枠組壁工法床の主観評価による比較

北海道のRC造公営住宅で使用されている緩衝材付フローリングを施工した15 cmスラブによる床衝撃音と乾式二重床構造を施工した枠組壁工法床について一対比較を行った結果、枠組壁工法床の方が気になる程度が小さく評価された。これは、枠組壁工法床の床衝撃音遮断性能が高いことを示している。

6.4 まとめ

本章の検討により，以下の点について明らかになった。

- ・仕様の異なる床構造をゴムボール衝撃源で加振し，一対比較実験によりその差異を検証することができた。
- ・実験に用いた床衝撃音については，いずれの枠組壁工法床もコンクリート造床より気になる程度が小さかった。
- ・心理尺度構成値との相関は，ラウドネス最大値レベルが最も高く，次に最大 A 特性床衝撃音レベル，L 数が最も低くなった。
- ・Resilient channel を用いた工法は，二重床のみの工法に比べて，気になる程度が小さくなった。
- ・隅部の打撃音はラウドネスを小さな値にするが，気になる程度は低減しなかった。

参考文献

- 6.1) Jongkwan Ryu, Hiroshi Sato, Kenji Kurakata, Atsuo Hiramitsu, Manabu Tanaka and Tomohito Hirota: Subjective ratings of heavy-weight floor impact sounds in wood frame construction, *Acoust. Sci. & Tech.* 31,5, pp.371 ~ 375, 2010
- 6.2) J. Y. Jeon, J. K. Ryu, J. H. Jeong, H. Tachibana : Review of the impact ball in evaluating floor impact sound, *Acustica*, 92, pp.777 ~ 786, 2006
- 6.3) 村尾一義，石丸岳史，大脇雅直，山下恭弘：床衝撃音レベルの評価指標及び主観評価との対応に関する研究，*日本建築学会環境系論文集*，第 597 号，pp.1~6, 2005
- 6.4) 濱田幸雄，井上勝夫，平光厚雄，漆戸幸雄：重量床衝撃音の最大 A 特性音圧レベルと各種心理量の対応に関する主観評価実験，*日本建築学会大会学術講演梗概集*，pp.191 ~ pp.194, 2009.7
- 6.5) A. Preis, M. Ishibashi, H. Tachibana : Psychoacoustic studies on assessment of floor impact sounds, *J. Acoust. Soc. Jpn (E)*, 21, pp.69 ~ 77, 2000
- 6.6) Jongkwan Ryu, Hiroshi Sato, Kenji Kurakata, Atsuo Hiramitsu, Manabu Tanaka and Tomohito Hirota: Relation between annoyance and single-number quantities for rating heavy-weight floor impact sound insulation in wooden houses, *J. Acoust. Soc. Am.* 129(4), 2011

第7章 枠組壁工法床の重量床衝撃音遮断性能の向上方法

7.1 評価の課題への対応

7.1.1 主観評価に近い評価方法の活用

構造、工法が異なる床構造の評価に全て主観評価を行うことは現実的ではない。主観評価の成果を蓄積するとともに、より主観評価に近い評価方法を普及していくことが望まれる。

最も主観評価に近い結果が得られる単一数値評価量はラウドネス最大値レベルである。しかし、現場における利便性を考慮すると最大A特性床衝撃音レベルが有効である。

7.1.2 実住宅で生じる衝撃力に合わせた測定

乾式二重床構造は、ゴムボール衝撃源を用いることで、より実際に生じる床衝撃音に近い評価が可能である。

7.2 技術的課題への対応

7.2.1 乾式二重床の有効性

第5章で示した、乾式二重床構造は、ベースの枠組壁工法床の重量床衝撃音遮断性を一定程度確保し、その上に施工することで更に性能向上を図ることができることを示した。これを具体的に設計資料としてまとめる。

7.2.1.1 乾式二重床構造の面材部分の仕様と最大 A 特性床衝撃音レベルの関係

図7.1及び図7.2に駆動点インピーダンスと $L_{iA,Fmax}$ の関係を示す。両者の関係は相関が高い。駆動点インピーダンスで設計をするこれも面密度と同様に相関が高い。

駆動点インピーダンスを2000 kg/s（乾式二重床構造の基本であるパーティクルボード20 mm + 木質フローリング12 mm）に駆動点インピーダンス2000 kg/sを加えて

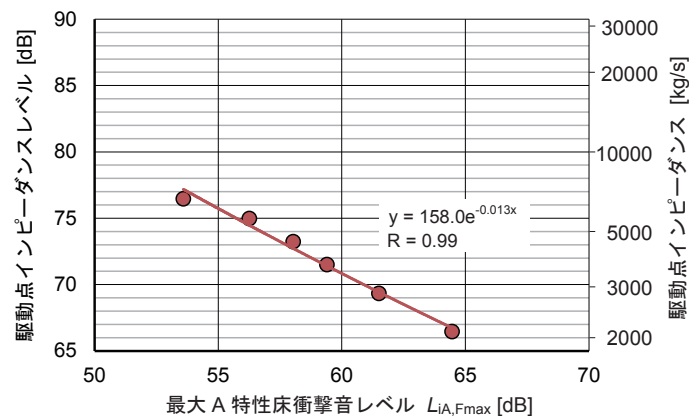


図 7.1 駆動点インピーダンスと $L_{iA,Fmax}$ の関係（ゴムボール衝撃源）

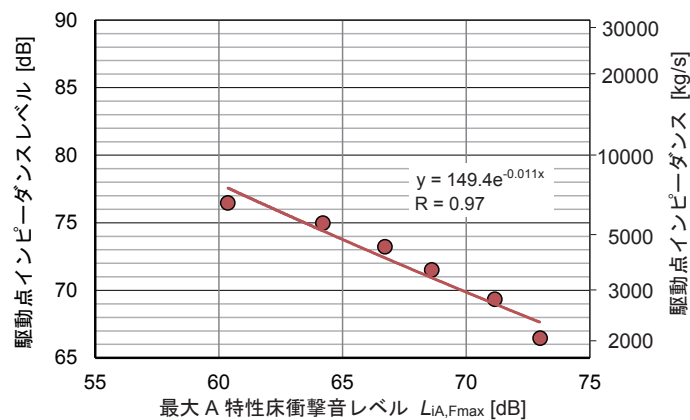


図 7.2 駆動点インピーダンスと $L_{iA,Fmax}$ の関係（タイヤ衝撃源）

4000 kg/s とすることで、ゴムボール衝撃源の場合に $L_{iA,Fmax}$ を 5 dB 程度低減できる。また、更に駆動点インピーダンスを増加し 7000 kg/s とすると計 11 dB 低減となった。タイヤ衝撃源の場合は計 13 dB の低減となった。

駆動点インピーダンスは設計上、わかりづらいので、曲げ剛性と面密度の関数で表される（式 2.1, 式 2.2）ため分解して示す。曲げ剛性及び曲げ剛性レベル、面密度及び面密度レベルの値と $L_{iA,Fmax}$ との関係を図 7.3 及び図 7.4 に示す。面密度と $L_{iA,Fmax}$ の関係はゴムボール衝撃源もタイヤ衝撃源も非常に相関が高い。

ここで選択した合板、遮音マット、せっこうボードを使用する場合は、この関係が成り立つと考えられる。よって、面密度を 20 kg/m^2 （乾式二重床構造の基本であるパーティクルボード 20 mm + 木質フローリング 12 mm）に面密度 10 kg/m^2 を加えた 30 kg/m^2 とすることで、ゴムボール衝撃源の場合に $L_{iA,Fmax}$ を 5 dB 程度低減すること

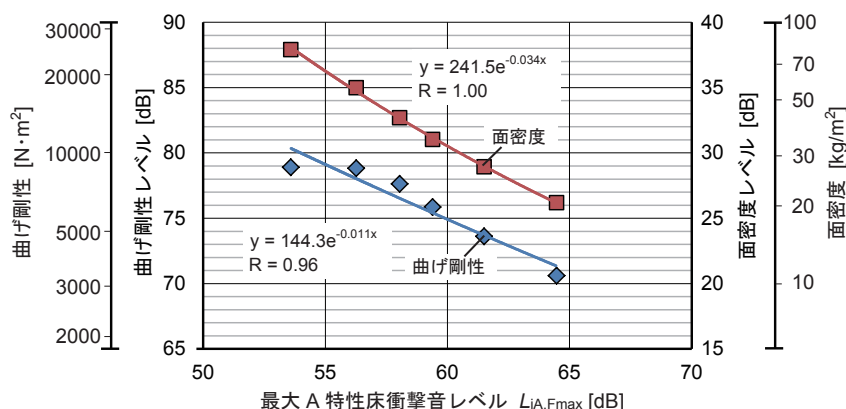


図 7.3 曲げ剛性及び面密度と $L_{iA,Fmax}$ の関係（ゴムボール衝撃源）

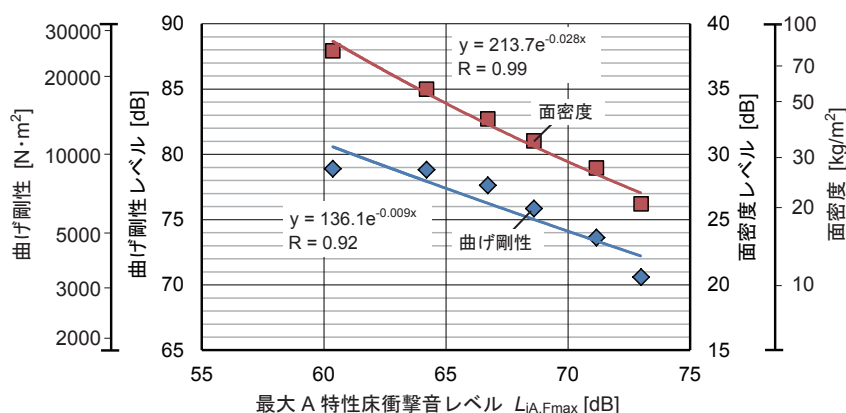


図 7.4 曲げ剛性及び面密度と $L_{iA,Fmax}$ の関係（タイヤ衝撃源）

ができる。また、更に面密度を増加し 50 kg/m^2 とすると計 9 dB 低減、 80 kg/m^2 で計 11 dB 低減となった。タイヤ衝撃源の場合は計 14 dB の低減となった。

設計する際には、要求性能に対しての低減量を乾式二重床構造面材部分の面密度で表すことが最もわかりやすい方法と考える。

7.2.2 遮音工法

枠組壁工法床の重量床衝撃音遮断性能を向上するためには、第 3 章に示した工法に加え、乾式二重床構造面材部分の駆動点インピーダンスレベルを調整することにより、想定した性能を確保することが可能である。

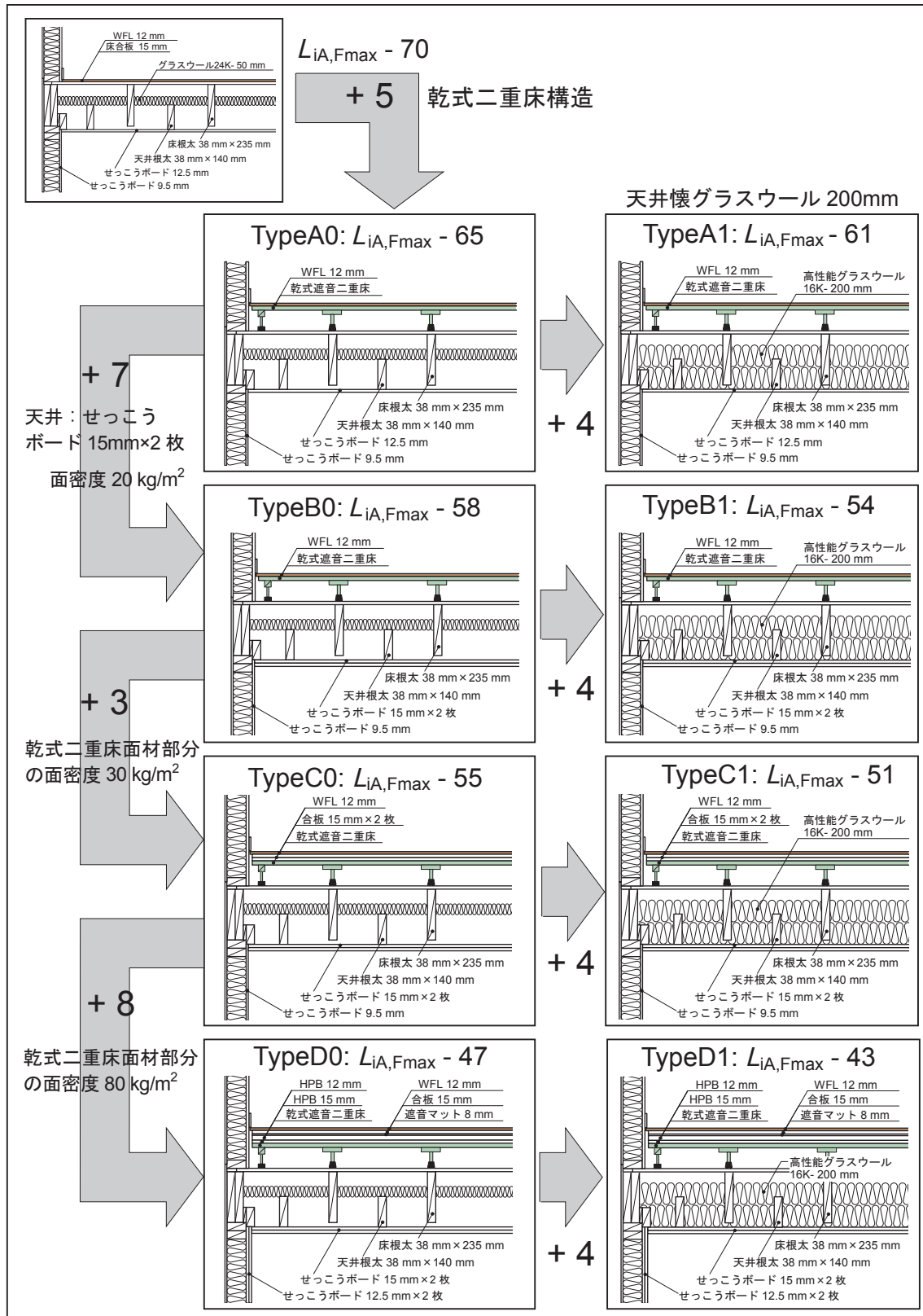
表 7.1 に成果として得られたデータをまとめて、ゴムボール衝撃源を用いた場合の床構造の仕様と $L_{iA,Fmax}$ の改善効果を示す。省令準耐火構造適合仕様は試験室における実測から $L_{iA,Fmax}$ は 70 dB となった。試験室は下室の壁と床が RC 造であるため、実際の建物とは、異なるが、既往の論文^{3,4)}から、下室壁からの放射音が床衝撃音の測定値に与える影響は $L_{i,Fmax,r,(H1)} - 65$ 以上の性能から生じるとの報告がある。つまり、これよりも性能が悪い場合は下室壁面からの放射音の影響が小さいため、試験室と実際の建物による差は少ないと考えられる。

$L_{i,Fmax,r,(H1)} - 65$ は、ゴムボール衝撃源に換算するとタイヤ衝撃源との 63 Hz 帯域の衝撃力暴露レベル差が 9 dB であるから、L 数で 56 dB と仮定し、これまでの現場における実測結果から $L_{iA,Fmax} = \text{L 数} - 2 \text{ dB}$ とすると、ゴムボール衝撃源では $L_{iA,Fmax} - 54$ 以上の性能の場合に下室壁面からの放射音の低減を図る必要がある。

表 7.1 では TypeD から下室壁面の補強を加えているが TypeC においても補強することが望ましいと考える。

第 6 章に示したとおり、枠組壁工法床に乾式遮音二重床構造を施工した場合に普通コンクリート 150mm 厚に北海道の公営住宅で使用されている木質フローリングを施工した場合よりも主観評価の結果、気になる程度が小さかったこと、これまでの現場における実測から RC 造公営住宅（床スラブ厚 150mm）は $L_{iA,Fmax,(H2)} - 54$ であったことから、表 7.1 に示した TypeB1 及び TypeC0, C1 はこれと同程度、TypeD0 と D1 は床スラブ厚 180mm に近い性能が得られると考えられる。以上から乾式二重床構造により、RC 造床に見合った性能を確保することが可能である。

表 7.1 床構造の仕様と $L_{iA,Fmax}$ の改善効果（ゴムボール衝撃源）



7.3 施工者の課題への対応

7.3.1 設計施工者の遮音工法の習得

設計施工者は、遮音工法を選択する場合に建材メーカー等が開発した商品とするか、自社で開発するかのどちらかのケースとすることが多いと考える。前者については、大手建材メーカー数社から $L_{i,Fmax,r,(H1)}-60$ を満足する仕様が販売されているが、実際の現場での測定結果の情報や、工法の種類が少ないなど、必要な性能を確保し設計するための情報が不足している。後者については、木造床の遮音工法は研究開発には試行錯誤を伴うため、時間とコストが非常に多く必要である。このため、大手メーカーのみしか開発できず、その工法は一般化していない。

第3章に示したが、カナダのNRCでは、壁・床・天井の仕様の性能を一般に公開している。本論でも限られた仕様であるが、具体的な仕様と性能を示した。このような設計資料を構築することが今後の遮音工法の普及のカギであるといえる。

また、木造住宅に関する遮音工法の講習会は、一般社団法人日本ツーバイフォー建築協会で実施した例はあるが、ほとんど行われていないのが実情である。今後は、このような講習会を開催し、現在不足している遮音工法に関する設計情報を提供する必要がある。

7.3.2 民間賃貸共同住宅の性能表示の促進

民間賃貸共同住宅の床衝撃音遮断性能は、その実態を把握することは難しい。しかし、第2章に示したが、入居者は、現在入居している住宅の遮音性能に満足しておらず、性能向上と性能表示を望んでいる。現在、北海道庁では、北海道立総合研究機構建築研究本部北方建築総合研究所と共同で、民間賃貸共同住宅の簡易な性能表示に関する社会実験等を行っている。また、夕張市のように、民間賃貸住宅建設の補助金交付要件として性能を確保させる事業も行われている。

積雪寒冷地において、住宅に必要な性能の一つである省エネ性能については、省エネルギー基準が法律化されることに伴い、建築物のエネルギー消費性能の向上のために建築主が講ずべき措置に関する基本的な事項として、建築物の賃借をする消費者に対する省エネ性能の表示等があげられている。もう一つの必要な性能である遮音性能については、非常に遅れているのが現状である。

官民一体となり、性能表示を促進するための更なる検討を進める必要がある。

7.3.3 簡易な自社性能評価方法の検討

7.3.3.1 性能表示の現状

木造民間賃貸共同住宅で床衝撃音遮断性能を表示するには、日本住宅性能表示制度を利用することが最も簡単な方法である。これは同制度の表示すべき住宅の性能に関する評価方法の基準に定められている、相当スラブ厚 11 cm の仕様に合致するかを判断するものである。これ以外の仕様の場合は、特別認定評価を受けなければ表示できない。

同制度で新たな遮音工法を設計段階で判定するためには、RC 造床のように多くの測定実績や理論構築が必要で、木造床については、まだデータが不足しているのが現状である。

データ蓄積や理論構築は、今後も進めていかなければならないが、当面の対策としては、自社評価による表示が行えると良いと考える。

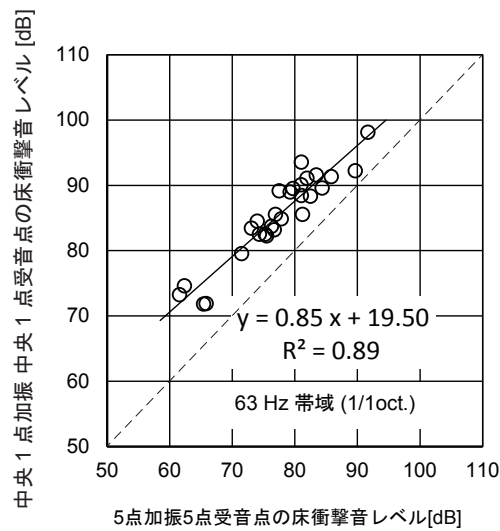
重量床衝撃音レベルの実測機器は、最低限とした場合にタイヤ衝撃源、ゴムボール衝撃源、騒音計 2 台という構成になる。合計コストは約 200 万円で中小の事業者では対応できないと考えられる。また、1 室測定に 1 日かかるため負担も大きい。そこで、より低コストで時間のかからない簡易測定方法を検討した。

本論の結論でもある、ゴムボール衝撃源を衝撃源として、評価は最大 A 特性床衝撃音レベルとする。これにより、1 室最短で 2 分、コストはゴムボール衝撃源、騒音計 1 台で合計 40 万円程度である。

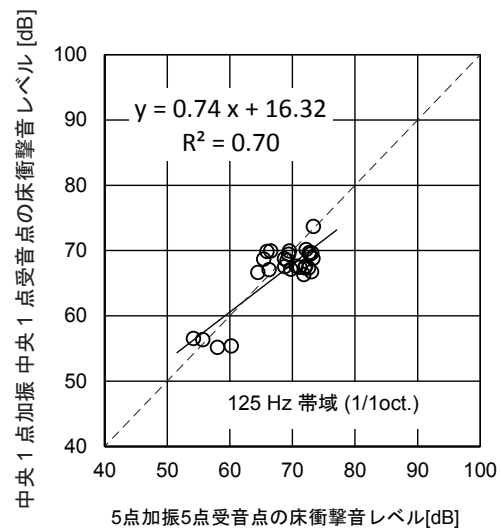
7.3.3.2 簡易評価方法の検討

これまで、木造共同住宅において測定した重量床衝撃音レベルの結果 28 件について、JIS A 1418-2 に従って、加振点を室対角 5 点、受音点を室対角 5 点（マイクロホン高さはランダム）で測定した場合と、簡易評価方法 1 として、加振点を室中央 1 点、受音点を室中央 1 点の場合、簡易評価方法 2 として受音点を室対角 5 点の場合の測定結果を比較した。

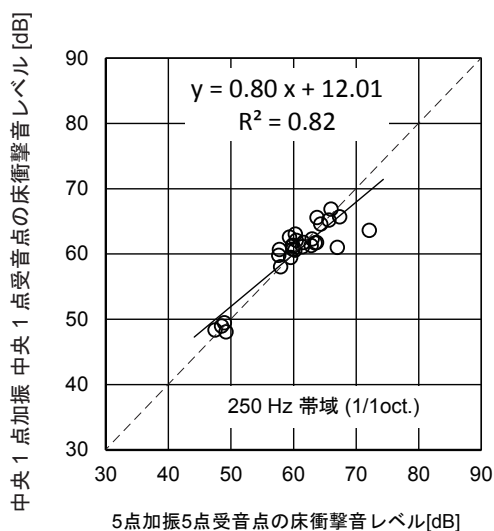
図 7.5 に JIS の測定と簡易評価方法 1 の各周波数帯域の床衝撃音レベルの関係を示す。衝撃源はゴムボールである。簡易評価方法 1 の受音点の高さは 1800 mm である。63 Hz 帯域のみ両者の差が大きくなっていることがわかる。これは、天井から放射さ



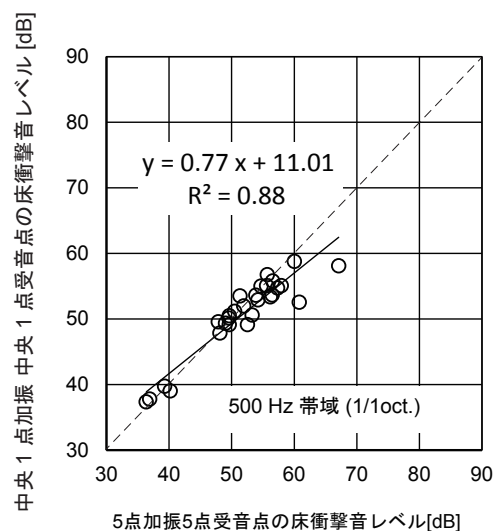
(1) 63Hz 帯域



(2) 125Hz 帯域



(3) 250Hz 帯域



(4) 500Hz 帯域

図 7.5 JIS の測定方法と簡易測定の床衝撃音レベル比較

れた音は床面との反射を繰り返すが、天井高さは 2400 mm であるため、63 Hz 帯域の音の半波長と一致し、上下中央部で最も音圧が高くなるためである。マイクロホン高さは 1800mm のため少しずれているが平均値よりも高い音圧を測定することになる。他の周波数帯域では波長が短いため中央部でも平均値に近い結果が得られた。

次に、単一数値評価量である L 数と $L_{iA, Fmax}$ の比較を行った。図 7.6 に JIS の測定

結果と簡易評価方法 1 の測定結果の L 数の関係を、図 7.7 に $L_{iA,Fmax}$ の関係を示す。L 数はその決定周波数が 63 Hz となることが多いため相関の寄与率は低めになった。 $L_{iA,Fmax}$ は L 数よりも寄与率が高くなっており、簡易評価としては使用できそうである。

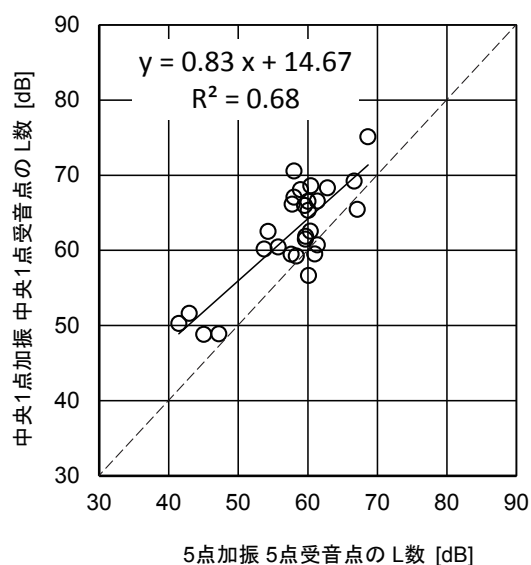


図 7.6 JIS 測定と簡易評価 1 の関係 (L 数)

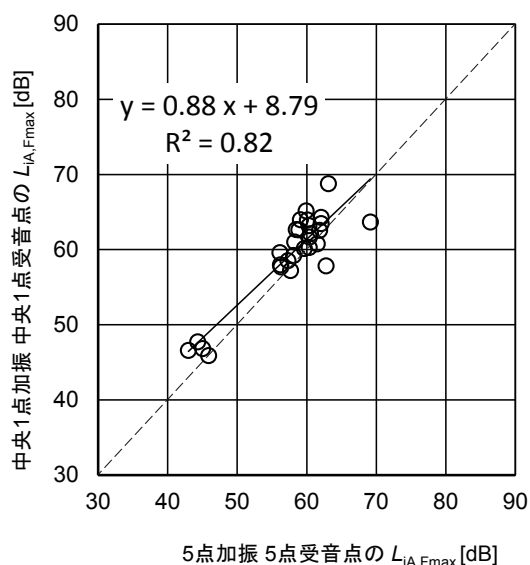


図 7.7 JIS 測定と簡易評価 1 の関係 ($L_{iA,Fmax}$)

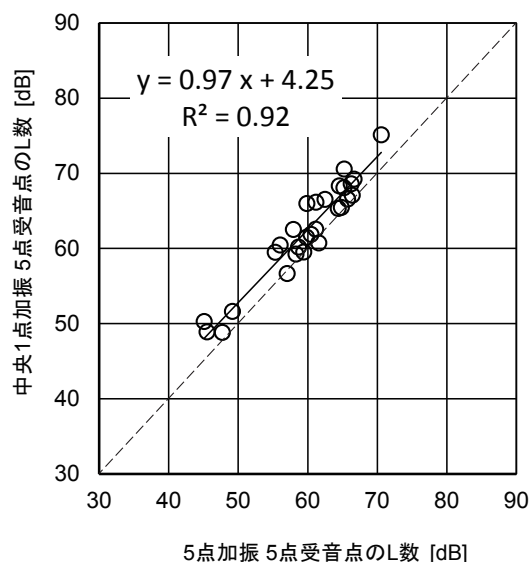


図 7.8 JIS 測定と簡易評価 2 の関係 (L 数)

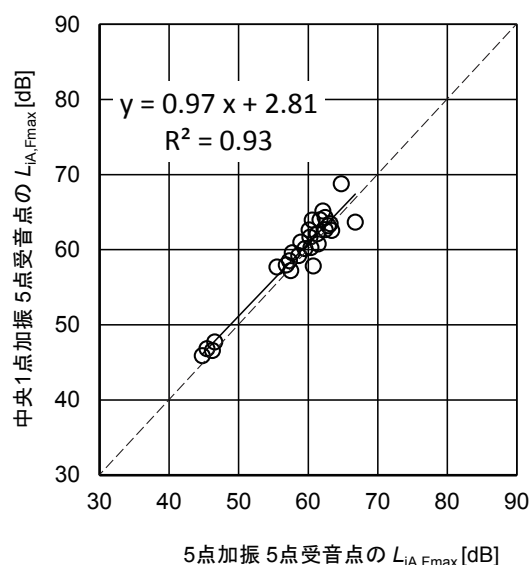


図 7.9 JIS 測定と簡易評価 2 の関係 ($L_{iA,Fmax}$)

簡易測定方法 2 と JIS 測定の関係を図 7.8 及び図 7.9 に示す。簡易評価方法 1 に比べて明らかに寄与率が高くなっている。周波数特性を収集せずに $L_{iA,Fmax}$ のみで測定を行うのであれば、受音点を 5 点としても所要時間は差ほど長くはならないだろう。望ましくは、騒音計に周波数分析機能のついているものを使用して、各受音点の周波数帯域毎の結果も記録しておく と JIS 測定との比較を行いやすいだろう。

いずれにしても受音点を少なくした場合は、測定点の高さを明記すべきである。

7.4 入居者の課題への対応

7.4.1 入居者の遮音性能への理解

第2章に示したが、木造賃貸共同住宅の入居者は、建物の性能についての理解度が低いと考えられる。これは、持家では無いため設計に関与していないこと、賃貸であるため不都合があれば転居できること、家賃が安いことなど様々な理由が考えられる。しかし、これでは性能向上は期待できない。入居者自ら契約時に床構造の仕様を聞いたり、実際に床衝撃音などを確認したりすることが必要である。

また、入居者に遮音に関する知識を得てもらえるように講習会やセミナーを実施すべきと考える。これにより、入居者の理解を高め、木造民間賃貸住宅の床衝撃音遮断性能の向上につなげたい。

7.4.2 性能表示の促進

施工者の課題にも示したが、入居者からも住宅の性能表示制度などの必要性を不動産事業者などへ訴えていくべきである。

第8章 結論

8.1 本論のまとめ

本論文では、枠組壁工法床の重量床衝撃音遮断性能の向上と評価方法の確立に資するため、「技術的課題の解明と具体的な工法の提案」および「主観評価に基づく適切な評価方法の提案」を課題として検討を行った。以下に、各章の要点をまとめる。

第1章では、木造共同住宅の床衝撃音遮断性能がRC造共同住宅に比べて劣っている現状を解決することが重要な課題であること、研究の対象を、技術的に性能向上が難しい「重量床衝撃音」と構造的に対策が難しい「枠組壁工法」としたこと、現在実務的に用いられている評価方法は、必ずしも主観的評価との相関が高くなく、主観的評価と相関の高い単一数値評価量で評価することにより、適切な工法開発が期待できること、木造床に適した工法と考えられる乾式二重床構造に着目することを示した。

また、本論の目的を「技術的課題の解明と具体的な工法の提案」と「主観評価に基づく適切な評価方法の提案」の究明と提案を通して、枠組壁工法床の重量床衝撃音遮断性能の向上と評価方法の確立に資することとした。

第2章では、枠組壁工法床の音環境の諸課題として、本論の目的を達成するためには「評価の課題」「技術の課題」「施工者の課題」「入居者の課題」という4つの課題があることを示した。

評価の課題では、枠組壁工法床の重量床衝撃音の周波数特性が様々であること、筆者を含む既往の研究から、床衝撃音を基に作成した音源を用いて主観評価実験を行い、実用的に用いられている評価指標であるL数よりも、ラウドネスや最大A特性床衝撃音レベルなどが心理尺度構成値と相関が高いことを示した。また、床衝撃音レベル差は衝撃源の衝撃力により差が生じるなどの課題を示した。

第3章では、枠組壁工法床の床衝撃音遮断性能向上方法として、木造床及び主観評価に関する研究の変遷を示し近年のトレンドを示した。また、これまで筆者を含めた研究者が実施した既往論文などから枠組壁工法床の遮音工法を分類し、特徴を示した。

第4章では、枠組壁工法床に乾式二重床構造を施工した場合に、重量床衝撃音遮断性能を確保するために有効な端部の納まりとして幅木に空気抜きを設けること、防振際根太が有効であることを示した。また、床根太の位置と乾式二重床構造脚部の位置

を合わせることで最大 A 特性床衝撃音レベルを低減できることなどを示した。

第 5 章では、枠組壁工法床の床衝撃音レベルの低減を目的とした性能予測に向け、試験室において木造床に乾式二重床構造を施工した場合の床衝撃音レベルと乾式二重床構造面材部分の駆動点インピーダンスの関係を実験的検討により明らかにした。この結果、床衝撃音レベル差は、タイヤ衝撃源よりもゴムボール衝撃源を用いた場合に大きくなる傾向がみられたこと、駆動点インピーダンスレベル差と曲げ剛性レベル差、面密度レベル差を定義し、床衝撃音レベル差との関係を示したこと、ゴムボール衝撃源を用いた場合に、乾式二重床構造面材部分の各試験体の駆動点インピーダンスレベル差は、乾式二重床構造の床衝撃音レベル差とほぼ一致したこと、乾式二重床構造面材部分の駆動点インピーダンスを高めることで、63 Hz 帯域の床衝撃音レベル差を 10 dB 以上とすることができたことを示した。

第 6 章では、床構成の違う枠組壁工法床の床衝撃音を対象として実施した主観的評価実験に基づき「主観評価による枠組壁工法床の仕様別の比較」「RC 造床と枠組壁工法床の主観評価による比較」「評価方法の検討」を行った。その結果、仕様の異なる床構造をゴムボール衝撃源で加振し、一対比較実験によりその差を検証することができたこと、実験に用いたいずれの床構造もコンクリート床よりうるさがさが小さかったこと、心理尺度構成値との相関は、ラウドネス最大値レベルが最も高く、次に最大 A 特性床衝撃音レベルが続き、L 数が最も低い値となることを示した。

8.2 結論

本研究で得られた成果を総括し、次の 2 点を本論文の結論としたい。

- ・乾式二重床構造を用いることで、RC 造の床に見合った重量床衝撃音遮断性能を確保することが可能である。
- ・ゴムボール衝撃源によるラウドネスレベル最大値あるいは最大 A 特性床衝撃音レベルを用いることで、重量床衝撃音遮断性能の適切な評価が可能である。

8.3 残された課題

評価及び技術の課題について残された課題を以下に示す。

- ・面密度 30 kg/m² までの仕様についてはコストシミュレーションを行い実用化・普及が可能な範囲であると考えられるが、これ以上の面密度の場合はコスト増が懸

念される。

- ・ 乾式二重床構造は、床衝撃音遮断性能の確保に有効であるが、それ以上に、木造共同住宅の耐久性が伸びている現状を考え、住戸内配管等による住戸内改善に対応したシステムの開発が望まれる。
- ・ 乾式二重床構造脚部のゴムは硬度 70 のものを使用して検討を行ったが、本論の範疇では面密度と最大 A 特性床衝撃音レベルとの関係はリニアであった。しかし、更に面密度を向上させた場合には、線形性を失う可能性があるため、面密度の範囲に応じたゴムの選択が必要である。
- ・ 本論で検討した独立天井は 206 材を 455 mm 間隔に施工する方法であるが、天井の重量や根太せい、間隔、スパンによっては固有周波数の床衝撃音レベルが大きくなる可能性がある。これを防止するための天井根太と天井寸法、面材の質量の関係を検討する必要がある。
- ・ 本論では枠組壁工法床を対象としたが、木造在来軸組構法についての検討が必要である。
- ・ 枠組壁工法床、木造在来軸組工法床、RC 造床はそれぞれ床衝撃音の継続時間が異なるが、継続時間が気になる程度に与える影響は未解明である。

8.4 本成果を実現するために

枠組壁工法住宅の重量床衝撃音遮断性能を向上させるためには、多くの課題があり、本論では、それを解決するための方法の一部を示した。今後、本成果を実現するためには次に示す事項の推進が必要と考える。

- ・ 本成果は現在考えられる最良の工法の一つである。他の工法でも実現できる可能性がある。一つの工法にこだわるのではなく様々な視点から工法開発し情報を蓄積し発信することが重要である。(カナダ国立研究機構等の例)。
- ・ 枠組壁工法床に乾式二重床工法を用いた実績を増やし、国の性能表示制度に仕様が示されることが重要である。または、特別評価方法認定を行う必要がある。
- ・ 木造公営住宅の建設が今後多くになると予想されるなか、公営住宅で先行して普及することにより地場の工務店などの技術力向上、自治体からの情報発信などが期待できるため、効率的な普及が可能となる。しかし、各自治体で定めている公

営住宅建設基準では、性能表示制度の重量床衝撃音対策の相当スラブ厚（重量床衝撃音）11cm 以上に適合すれば良いことになっている。このため、基準の改正を働きかける必要がある。

- 現場の性能が表示されることで入居者の意識が高まり、普及に拍車がかかると考えられる。ゴムボール衝撃源、最大 A 特性床衝撃音レベルを用いた迅速簡易な評価方法の普及が望まれる。
- 日本の住宅の建て替えサイクルは長くなってきてはいるが、まだ欧米に比べると短い。良い建物は価値が高いという評価が浸透することで、イニシャルの性能向上、維持管理が継続され、良質な社会ストックが形成されていく。多くの場合は、評価は市場が判断するものであるが、市場を動かすためには良質なストックを増やさなければならない。断熱性能については、良質なストック形成が進みつつある。次は遮音性能について進める必要がある。

謝辞

本論文は、地方独立行政法人北海道立総合研究機構建築研究本部北方建築総合研究所における研究を基に、2012年から北海学園大学大学院工学研究科に在籍しながらまとめたものです。

本論文の指導教官である佐藤哲身教授には、主観評価実験現場に参加して頂くなど論文全般に渡りご指導いただき感謝致します。

在学中に講義を行って頂いた小野恭平教授、堂柿栄輔教授に感謝致します。

本論文の審査を行って頂いた主査の佐藤哲身教授、副査の小野恭平教授、元木邦俊教授、福島明教授に感謝致します。

本論文のベースは、一般社団法人日本ツーバイフォー建築協会が行った第2回坪井記念研究助成（平成17年）、第3回坪井記念研究助成（平成18年）、第4回坪井記念研究助成（平成19年）、平成20年から21年に実施した同協会主催の「実需型高性能床遮音工法研究開発委員会」及び「高性能床遮音工法研究開発作業部会」、同協会との共同研究です。委員会及び作業部会の際にご助言、ご指導頂いた、委員長の鈴木大隆博士に感謝致します。委員の Trevor Nightingale 氏（カナダ国立研究機構建築研究所）には日加住宅会議についてもお世話になりました。平光厚雄博士（独立行政法人建築研究所（現、国土交通省国土技術政策総合研究所）、佐藤洋博士（独立行政法人産業技術総合研究所）及び Jongkwan Ryu 氏、田中学氏（一般財団法人日本建築総合試験所）、Shawn Lawlor 氏及び麓英彦氏（カナダ林産業審議会）、池田富士郎氏（一般社団法人日本ツーバイフォー建築協会、当時）、河合誠氏（同）、清野明氏（同）には委員会及び共同研究の実施及びご助言、ご指導いただきまして誠に感謝致します。また、同協会（当時）の芳野裕次氏、辻村行雄氏に感謝致します。

乾式二重床構造を木造住宅に適用することは、平光厚雄氏が同協会との共同研究で実施した成果を基に同委員会で具体化し始めたものです。その後、日本乾式遮音二重床工業会のご協力を得て、数多くの実験を実施させて頂きました。その際にご協力頂いた川地健司氏（フクビ化学工業（当時））を始め同工業会の方々に感謝致します。乾式二重床構造と共に Resilient channel を加えて北海道立総合研究機構の重点研究を実施した際には林産試験場の秋津裕志氏、朝倉靖弘博士、工業試験場の飯田憲一氏、

戸羽篤也氏に大変お世話になりました。また、実験の際にご協力頂きました株式会社吉野石膏の島崎潤悦氏及び同社の方々に感謝致します。公営住宅などの測定に際しては道庁及び各自治体の方々にご協力いただきました。ありがとうございました。

床衝撃音に関する研究は、北海道立寒地住宅都市研究所に在籍中の平成5年頃からスタートし、旭川に新築移転し防音試験室を新設した後に、更に注力して行わせて頂きました。この際に多大なるご助言、ご指導をいただいた当所の鈴木大隆博士、福島明教授に感謝致します。遮音の研究を行うにあたり、硝子繊維協会、旭ファイバーグラスの方々に多大なるご協力を頂きました。ありがとうございました。

また、防音試験室運用のために研修をさせて頂いた、一般財団法人日本建築総合試験所の田中学氏を始め小南和也博士、和木孝男氏、村上剛士氏、中山健一氏に感謝いたします。この研修の実施とその後のご指導がなければ本論の完成はなかったと思っています。心から感謝致します。

本論文をまとめるにあたり、北方建築総合研究所の皆様にご迷惑をおかけしたと思います。皆様のご協力が無ければまとめることができなかったと思います。本当にありがとうございました。

これまで、北方建築総合研究所では、遮音のみならず温熱環境、断熱気密、北方型住宅やきた住まいるなどの施策推進や制度の構築などの研究を行わせていただきました。また、研究成果を普及するための部署にも配属していただき、多くのことを学びました。今後は、これまで得たスキルや知識、ネットワークを力に北海道の建築物・技術力を道内や国内外に広く発信し普及できるように頑張る所存です。

平成28年3月 廣田誠一

付表 1 木造住宅の床衝撃音に関する論文・梗概等一覧

1978 年	藪下満, 菅原仁, 下村一, 瀬田忠之, 塩田正純: 木質系一戸建プレハブ住宅における床パネルの床衝撃音に関する基礎的実験, 日本建築学会北陸支部研究報告集, pp.153-156, 1978.7 瀬田恵之, 藪下満, 菅原仁, 下村一, 塩田正純: 木質系一戸建プレハブ住宅における床パネルの床衝撃音実験, 研究報告集・計画系, pp.137-138, 1978.8
1984 年	安岡正人, 橘秀樹, 田中洪, 田村明弘: 在来工法木造家屋の遮音性能改善に関する実験的研究, 日本建築学会論文報告集 NO.345, pp.218-225, 1984.11
1986 年	井上勝夫, 木村翔, 宮崎浩司: 木造床構造における床衝撃音低減方法の研究: その 1: 開発要点と床衝撃音の改善効果, 学術講演梗概集・計画系, pp.47-48, 1986.7 木村翔, 井上勝夫, 宮崎浩司: 木造床構造における床衝撃音低減方法の研究: その 2. 建物各部における振動測定結果による検討, 学術講演梗概集, pp.49-50, 1986.7
1987 年	木村翔, 井上勝夫, 宮崎浩司: 木造床構造における床衝撃音低減方法の研究: その 3. パネル床の振動特性と下室空間の音響特性, 学術講演梗概集, pp.115-116, 1987.8 井上勝夫, 木村翔, 宮崎浩司: 木質系床構造の重量衝撃源に対する床衝撃音低減方法に関する研究, 学術講演梗概集, pp.1-9, 1987.12
1988 年	木村翔, 井上勝夫, 藤本敬彦, 池田和洋: 乾式浮き床方式を用いた木質系床構造の床衝撃音低減方法に関する研究, 学術講演梗概集, pp.389-390, 1988.9 福島寛和, 安岡正人: 木質系床構造の床衝撃音の低減工法に関する模型実験解析, 学術講演梗概集, pp.393-394, 1988.9 小林康彦, 高橋壮夫, 藤井弘義, 安岡正人: 高度な床衝撃音遮断性能をもつ木質系床構造の現場実験結果, 学術講演梗概集, pp.395-396, 1988.9
1989 年	矢島浩之, 木村翔, 井上勝夫, 藤本敬彦, 河原塚透: 木質系床構造の床衝撃音低減対策と壁面振動について, 学術講演梗概集, pp.285-286, 1989.9 福島寛和, 安岡正人: 木質系床構造の床衝撃音の低減工法に関する模型実験解析: その 2 天井構造と床板の細分化に関する検討, 学術講演梗概集, pp.287-288, 1989.9 及川右, 根田金重, 山田恭弘: 木造床 +ALC の床衝撃音遮断性能: その 1 実験棟床衝撃音測定について, 学術講演梗概集, pp.291-292, 1989.9 根田金重, 及川右, 山下恭弘: 木造床 +ALC の床衝撃音遮断性能: (その 2) 木造戸建て住宅床衝撃音測定について, 学術講演梗概集, pp.293-294, 1989.9
1990 年	及川右, 根田金重, 山下恭弘: 木造床 +ALC の床衝撃音寄与率について, 学術講演梗概集, pp.367-368, 1990.9 根田金重, 及川右, 山下恭弘: 木造床 +ALC の床衝撃音による加速度振動レベルの測定例, 学術講演梗概集, pp.369-370, 1990.9 矢島浩之, 木村翔, 井上勝夫, 渡部和良: 木質系床構造における床衝撃音予測のための床版・壁面のインピーダンス特性の検討, 学術講演梗概集, pp.381-382, 1990.9 渡部和良, 木村翔, 井上勝夫, 矢島浩之: 木質系床構造における床衝撃音予測のための天井効果量の検討, 学術講演梗概集, pp.383-384, 1990.9
1991 年	福島寛和, 安岡正人, 小林康彦, 藤井弘義: 木質系構造の床衝撃音低減工法に関する実験的研究: 縮尺模型実験と実大建屋実験における検討, 日本建築学会計画系論文報告集, pp.11-20, 1991.1

角張勲, 井上貴美子, 西川嘉雄, 山下恭弘: 木造軸組 ALC 床の床衝撃音レベル低減についての検討: 振動コヒーレント出力パワースペクトルからの一考察, 日本建築学会研究報告. 九州支部, pp.157-160, 1991.7

井上貴美子, 西川嘉雄, 角張勲, 山下恭弘: 縮尺模型実験による木造床 +ALC の床構造における床衝撃音対策, 日本建築学会北陸支部研究報告集, pp.161-164, 1991.7

井上勝夫, 木村翔, 矢島浩之: 高剛性方式の木質系床構造における床衝撃音の予測手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, pp.21-29, 1991.7

井上貴美子, 西川嘉雄, 長谷川克己, 山下恭弘, 角張勲: 縮尺模型実験による木造軸組 ALC 床の床衝撃音低減に関する研究: その 1 床衝撃音発生装置の特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.247-248, 1991.8

及川右, 長谷川克己, 根田金重, 井上貴美子, 角張勲, 山下恭子, 西川嘉雄: 縮尺模型実験による木造軸組 ALC 床の床衝撃音低減に関する研究: その 2 床衝撃音レベルによる評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.249-250, 1991.8

西川嘉雄, 井上貴美子, 角張勲, 山下恭弘, 長谷川克己: 縮尺模型実験による木造軸組 ALC 床の床衝撃音低減に関する研究: その 3 振動コヒーレント出力パワースペクトルによる各対策の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.251-252, 1991.8

角張勲, 井上貴美子, 長谷川克己, 山下恭弘, 西川嘉雄: 縮尺模型実験による木造軸組 ALC 床の衝撃音低減に関する研究: その 4 振動コヒーレント出力パワースペクトルによる寄与率の算, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.253-254, 1991.8

根田金重, 長谷川克己, 及川右, 井上貴美子, 角張勲, 山下恭弘, 西川嘉雄: 縮尺模型実験による木造軸組 ALC 床の床衝撃音低減に関する研究: その 5 実際の建物への適用例, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.255-256, 1991.8

1992 年

西川嘉雄, 角張勲, 井上貴美子, 佐藤寿子, 山下恭弘: 縮尺模型実験による木造軸組 ALC 床の床衝撃音に関する研究 その 1: 多次元スペクトル解析の床衝撃音への適応, 日本建築学会北陸支部研究報告集, pp.165-168, 1992.7

角張勲, 西川嘉雄, 井上貴美子, 佐藤寿子, 山下恭弘: 縮尺模型実験による木造軸組 ALC 床の床衝撃音に関する研究 その 2: 多次元スペクトル解析による床衝撃音レベル低減対策の評価, 日本建築学会北陸支部研究報告集, pp.169-172, 1992.7

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の主観評価実験 その 1: システムの検討, 日本建築学会北陸支部研究報告集, pp.173-176, 1992.7

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の主観評価実験 その 2: 主観評価による考察, 日本建築学会北陸支部研究報告集, pp.177-180, 1992.7

西川嘉雄, 角張勲, 井上貴美子, 佐藤寿子, 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 1: 多次元スペクトル解析の床衝撃音への適応, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.77-78, 1992.8

角張勲, 西川嘉雄, 井上貴美子, 佐藤寿子, 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 2: 多次元スペクトル解析による低減対策の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.79-80, 1992.8

-
- 根田金重, 角張勲, 西川嘉雄, 井上貴美子, 佐藤寿子, 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3: 木造軸組 ALC 床 + 浮き床の効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.81-82, 1992.8
- 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: 主観評価実験のためのシステム, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.83-84, 1992.8
- 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: 主観評価による考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.85-8, 1992.8
- 1993 年 堀江秀夫, 大宮康則: 木造住宅の床衝撃音遮断性能の調査, 日本建築学会北海道支部研究報告集, pp.181-184, 1993.3
- 井上勝夫, 木村翔, 渡部和良: 木質系床構造の床衝撃音に関するインピーダンス特性に対する梁の影響について, 日本建築学会計画系論文報告集, pp.19-26, 1993.3
- 西川嘉雄, 向井達郎, 山下恭弘: 木造軸組 ALC 床の床衝撃音実測例について, 日本建築学会北陸支部研究報告集, pp.271-274, 1993.7
- 1994 年 福本雅嗣, 石崎功雄, 井上勝夫, 福島寛和: 木造3階建軸組構法住宅の重量床衝撃音低減方法の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.1569-1570, 1994.7
- 前原暁洋, 木村翔, 井上勝夫, 土屋順二, 尾崎充男, 渡部和良: 木造住宅の床衝撃音に対する壁工法の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.1577-1578, 1994.7
- 渡部和良, 木村翔, 井上勝夫, 土屋順二, 前原暁洋, 尾崎充男: 木造住宅の床構造、壁工法の対策と床衝撃音レベル, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.1579-1580, 1994.7
- 福島寛和, 井上勝夫: 木造住宅の遮音性能に関する研究者・技術者へのアンケート調査 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.1593-1594, 1994.7
- 1995 年 井上勝夫, 木村翔, 土屋順二, 前原暁洋: 木質系建築物における床および壁構造の床衝撃音遮断性能の向上に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, pp.23-30, 1995.1
- 槌本敬大, 佐久間博文: 木質床衝撃音の振動モード形状からの考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.73-74, 1995.7
- 橋本洋, 財満健史, 由田哲夫, 山下恭弘: 木造 1/2 縮尺模型における重量床衝撃音の能動制御の試み, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.143-144, 1995.7
- 高倉史洋, 向井達郎, 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6: 縮尺模型実験によるインピーダンスの適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.159-160, 1995.7
- 向井達郎, 高倉史洋, 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7: 実際の建物への検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.161-162, 1995.7
- 石井健太郎, 木村翔, 井上勝夫, 高田清太郎: 梁の追加による木造住宅の重量床衝撃音改善例, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.163-164, 1995.7
- 相庭博, 佐藤哲身, 廣田誠一, 鈴木大隆: 木造戸建住宅の重量床衝撃音レベルの向上に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.165-166, 1995.7
-

-
- 前原暁洋, 木村翔, 井上勝夫, 渡辺秀夫, 松岡明彦, 平光厚雄, 石井健太郎: 木造古建築の床構造を対象とした動的弾性の測定: 歩行感からみた居住床の適正弾性と床衝撃音遮断性能に関する研究: その 4, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.171-172, 1995.7
- 井上勝夫, 木村翔, 前原暁洋, 渡辺秀夫, 松岡明彦, 平光厚雄, 石井健太郎: 木造古建築の床構造と直貼り木質フローリング床の動的弾性の比較: 歩行感からみた居住床の適正弾性と床衝撃音遮断性能に関する研究: その 5, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.173-174, 1995.7
- 高倉史洋, 向井達郎, 山下恭弘: 木造床の床衝撃音低減に関する研究 (その 1), 日本建築学会北陸支部研究報告集, pp.185-188, 1995.8
- 向井達郎, 高倉史洋, 山下恭弘: 木造床の床衝撃音低減に関する研究, 日本建築学会北陸支部研究報告集, pp.189-192, 1995.8
- 橋本洋, 財満健史, 由田哲夫, 山下恭弘: 木造 1/2 縮尺模型における重量床衝撃音の能動制御の試み, 日本建築学会北陸支部研究報告集, pp.197-200, 1995.8
- 1996 年 高倉史洋, 向井達郎, 西川嘉雄, 角張勲, 山下恭弘: 木質系構造床の重量床衝撃音低減に関する研究: 多次元スペクトル解析の適用と評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.129-133, 1996.3
- 山下恭弘, 佐藤勝泰, 高倉史洋: 木造戸建て高性能住宅の床衝撃音について: その 1 実測調査, 日本建築学会北海道支部研究報告集, pp.341-344, 1996.3
- 佐藤勝泰, 山下恭弘, 高倉史洋: 木造戸建て高性能住宅の床衝撃音について: その 2 意識調査, 日本建築学会北海道支部研究報告集, pp.345-348, 1996.3
- 清水則夫, 福島寛和, 北沢芳彦: 木造床の床衝撃音レベルの測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.77-78, 1996.7
- 1997 年 青木陽介, 鎌田紀彦, 藤澤道郎: 木造戸建住宅における床遮音工法の研究, 日本建築学会北海道支部研究報告集, pp.365-368, 1997.3
- 1998 年 野地清美, 木村翔, 井上勝夫: 木造 3 階共同住宅の重量床衝撃音対策例, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.225-226, 1998.7
- 末吉修三, 森川岳, 宮崎良文: 木造住宅の床衝撃音に対する生理的および心理的評価: その 1 軽量床衝撃音について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.705-706, 1998.7
- 森川岳, 末吉修三, 宮崎良文: 木造住宅の床衝撃音に対する生理的および心理的評価: その 2 重量床衝撃音について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.707-708, 1998.7
- 横山裕, 守時秀明, 石崎功雄: 歩行による床衝撃音測定用加振器としての衝撃的加振器の適用性に関する研究: 歩行と衝撃的加振器の加振力の検討および木造軸組構法住宅における床衝撃音の比較, 日本建築学会構造系論文集, pp.25-32, 1998.6
- 2000 年 鎌田紀彦, 廣田誠一, 鈴木大隆: 在来木造戸建住宅の軽量床衝撃音と空間音圧レベル差に着目した床遮音構法の選択に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, pp.1-6, 2000.6
- 2001 年 阿部恭子, 片寄昇, 米澤房雄, 井上勝夫, 橘秀樹, 安岡正人: 木造床構造による床仕上げ材の床衝撃音レベル低減量の実験室測定方法の検討: その 1: 実験対象及び実験方法, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.201-202, 2001.7
-

-
- 片寄昇, 阿部恭子, 米澤房雄, 井上勝夫, 橋秀樹, 安岡正人: 木造床構造による床仕上げ材の床衝撃音レベル低減量の実験室測定方法の検討: その2: 結果の考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.203-204, 2001.7
- 福島寛和, 井上勝夫: 木造集合住宅の遮音性能に関する研究者・技術者へのアンケート調査結果, 日本建築学会技術報告集, pp.149-154, 2001.12
- 2002 年 井上勝夫, 片寄昇, 橋秀樹, 安岡正人: 標準木造床構造による床仕上げ構造の床衝撃音レベル低減量の測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.235-236, 2002.6
- 2003 年 阿部恭子, 片寄昇, 米澤房雄, 井上勝夫, 安岡正人: 標準木造床構造による床仕上げ構造の床衝撃音レベル低減量の実験室測定方法の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.57-58, 2003.7
- 2005 年 上森弘恵, 末永義明, 藤野栄一, 本岡淳一: 木質ラーメン構造 (SPC 工法) の床衝撃音特性について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.39-40, 2005.7
- 2009 年 中森俊介, 杉江聡, 豊田恵美, 吉村純一: 床衝撃音に対する調湿用木炭敷設天井の吸音の影響について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.173-174, 2009.7
- 辻村行雄, 平光厚雄, 廣田誠一, 佐藤洋, 田中学: 木造住宅の遮音性能に関するビルダーへのアンケート調査結果: 木造枠組壁工法住宅の床遮音工法に関する研究 (1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.177-178, 2009.7
- 村上剛志, 平光厚雄, 田中学, 佐藤洋, 廣田誠一: 実住宅における床衝撃音遮断性能の実測結果: 木造枠組壁工法住宅の床遮音工法に関する研究 (2), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.179-180, 2009.7
- 泉潤一, 田中学, 平光厚雄, 佐藤洋, 廣田誠一: 試験室実験による Resilient Channel と乾式二重床の効果の検討: 木造枠組壁工法住宅の床遮音工法に関する研究 (3), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.181-182, 2009.7
- 2010 年 廣田誠一, 佐藤洋, 田中学, 平光厚雄, 辻村行雄, 泉潤一, 村上剛志: 木造枠組壁工法住宅の重量床衝撃音の評価に関する研究: 床衝撃源の違いと単一数値評価量について, 日本建築学会北海道支部研究報告集, pp.293-296, 2010.7
- 川口實, 橋本典久: 木造および軽量鉄骨造の床衝撃音予測に対する拡散度法の適用に関する検討 (床衝撃音 (1)), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.155-156, 2010.7
- 廣田誠一, 辻村行雄, 佐藤洋, 泉潤一, 田中学, 村上剛志, 平光厚雄: 床衝撃源の違いと単一数値評価量による評価: 木造枠組壁工法住宅の床遮音工法に関する研究 (4), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.185-186, 2010.7
- 佐藤洋, 廣田誠一, 田中学, 平光厚雄, 辻村行雄, 泉潤一: ラウドネスによる床衝撃音の評価: 木造枠組壁工法住宅の床遮音工法に関する研究 (5) (床衝撃音 (3)), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.187-188, 2010.7
- 田中学, 佐藤洋, 廣田誠一, 辻村行雄, 平光厚雄, 泉潤一, 村上剛志: 木造住宅の上下居室間音圧レベル差に関する検討: 木造枠組壁工法住宅の床遮音工法に関する研究 (6), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.189-190, 2010.7
- 2011 年 片山雅喜, 村上聖, 武田浩二, 矢野隆, 中村哲男, 田中剛: エアミルク充填木質3層構造床パネルの遮音性能と曲げ性能, (学術講演梗概集, pp.121-124, 2011.3
-

片山雅喜, 村上聖, 武田浩二, 矢野隆, 田中剛: エアミルク充填木質 3 層構造床パネルの遮音性能と曲げ性能, 日本建築学会北海道支部研究報告集, pp.1167-1168, 2011.7

佐藤洋, 廣田誠一, 田中学, 平光厚雄, 泉潤一, 村上剛志: ラウドネスによる床衝撃音の評価とその応用: 木造枠組壁工法住宅の床遮音工法に関する研究 (7), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.189-190, 2011.7

廣田誠一, 佐藤洋, 田中学, 清野明, 村上剛志, 辻村行雄, 平光厚雄: 試験室における乾式遮音二重床の床衝撃音レベル改善効果: 木造枠組壁工法住宅の床遮音工法に関する研究 (8), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.191-192, 2011.7

田中学, 平光厚雄, 村上剛志, 佐藤洋, 廣田誠一, 清野明, 辻村行雄: 枠組壁工法による長スパン木造建築の床衝撃音遮断性能 (床衝撃音 (2)), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.203-204, 2011.7

2012 年

丸谷周平, 落合徹, 塩手博道: 大規模木質構建造物を対象とした木質構造床の歩行振動応答および重量衝撃音特性: その 1 歩行振動測定概要および結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.331-332, 2012.9

落合徹, 丸谷周平, 塩手博道: 大規模木質構建造物を対象とした木質構造床の歩行振動応答および重量衝撃音特性: その 2 エレベーター振動、重量衝撃音測定結果とアンケート結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.333-334, 2012.9

平光厚雄, 小松弘昭, 長谷見雄二, 加来照彦: 木造 3 階建て学校の実大建物における床衝撃音遮断性能: (その 1) 軸組工法の測定結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.315-316, 2012.9

小松弘昭, 平光厚雄, 長谷見雄二, 加来照彦: 木造 3 階建て学校の実大建物における床衝撃音遮断性能: (その 2) 枠組壁工法の測定結果 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.317-318, 2012.9

井上勝夫, 大倉靖彦, 靱井玲, 阪本一生, 平光厚雄, 富田隆太, 安岡正人: 実験概要と重量床衝撃音測定結果: 大断面集成材を用いた木造建築物の床衝撃音に関する研究: その 1, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.319-320, 2012.9

阪本一生, 大倉靖彦, 靱井玲, 平光厚雄, 富田隆太, 井上勝夫, 安岡正人: 天井と壁面の振動応答測定結果: 大断面集成材を用いた木造建築物の床衝撃音に関する研究: その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.321-322, 2012.9

2013 年

廣田誠一, 平光厚雄, 秋津裕志, 朝倉靖弘, 戸羽篤也, 飯田憲一, 田中学: 木造共同住宅における床衝撃音遮断性能向上に向けた基礎実験, 日本建築学会北海道支部研究報告集, pp.259-262, 2013.6

渡辺大助, 井上勝夫: 木造床の衝撃時間内応答インピーダンス算定方法について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.313-314, 2013.8

依田拓也, 井上勝夫, 富田隆太, 大倉靖彦: 大断面集成材を用いた木造建築物の床のインピーダンス特性に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.315-316, 2013.8

平光厚雄: 天井用調湿木炭を用いた枠組壁工法の床衝撃音遮断性能に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.331-332, 2013.8
