534.83/.84

木造建物における高剛性床版を用いた二重床の床衝撃音遮断性能に関する研究

堀尾　貞治*　　滝川　宇志*　　井上　　諭**

要　約：　近年，国産木材の利用促進のため，中・大規模建築物の木造・木質化が数多く提案されている。しかし，RC造の床構造に比べ，木質の床構造は質量が小さく，特に重量床衝撃音遮断性能が劣るため，その対策が課題となっている。本論文は，木造建物における重量床衝撃音遮断性能の向上を意図した高剛性床版を用いた乾式二重床の遮音対策としての有効性について論ずるものである。この乾式二重床の床衝撃音遮断性能について，第一に，残響室において実験室実験を行うことにより床部の単体性能を評価し，次に，木造建物において実棟性能を測定した事例を紹介する。さらに，複数の木造建物における床衝撃音遮断性能の実測データを統計処理することで，木造建物における対策二重床の床衝撃音遮断性能の向上効果について定量的な評価を試みた。

ｷｰﾜｰﾄﾞ：　床衝撃音遮断性能，遮音，防振，剛性，木造，木質床，乾式二重床

目　次：

1. はじめに
2. 対策木質床の概要
3. 床衝撃音遮断性能の測定および評価方法
4. 実験室実験
5. 実棟実験
6. 一般木質床と対策木質床の床衝撃音遮断性能
7. まとめ

1. はじめに

近年，国産木材の利用促進のため，中・大規模建築物の木造・木質化が数多く提案されている。木造・木質化した建築物においては，特に重量床衝撃音遮断性能の向上が課題となっており，有効な対策手法の一つとしては，乾式二重床の設置が報告されている[1)]。一方，筆者らは，乾式二重床の床面材を従来よりも小さな平面形状とする（床面を高剛性化した小面材とする）ことで床版の共振周波数を上昇させ，それにより重量床衝撃音遮断性能の評価の決定周波数となる 63 Hz 帯域における防振性能が向上する可能性を報告している[2)]。その特徴として，図 1 の規格寸法材と，それを三分割にした小面材の，ユニットについての防振性能を比較し，図 2 に示す防振特性を有することを確認しており，この高剛性床版を用いた乾式二重床は，木造・木質床の床衝撃音対策にも有効であると考えられる。

そこで本稿では，この二重床を木造建物に適用した場合（以下，対策木質床と呼称）の床衝撃音遮断性能の実験室および実棟における評価事例を紹介する。

2. 対策木質床の概要

実験に用いた対策木質床の断面仕様を図 3 に示す。床根太と天井梁が互いに独立している木造床の上部に高剛性床版を用いた乾式二重床を設置した。木造床は，1 時間準耐火を想定して合板上および天井材に石こうボードを配した。二重床床面のパーティクルボードは床版の剛性を高めるために長辺を 700 mm 以下とした長方形版を 12 mm 以上の隙間を設けて割付けた。支持脚は下端に防振ゴムを付

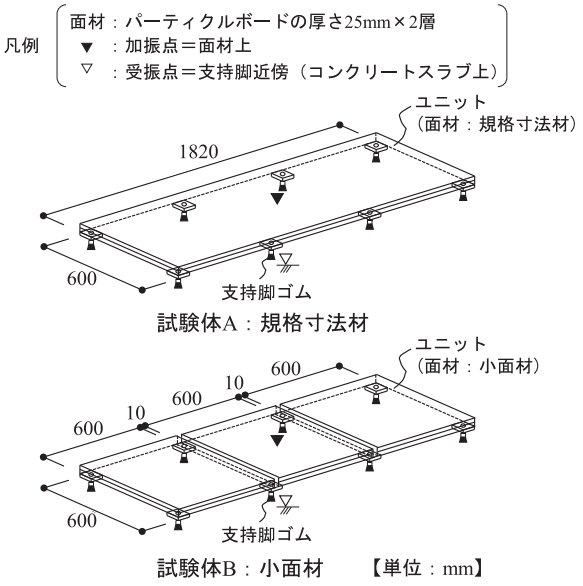

図 1　モジュール寸法の試験体概要

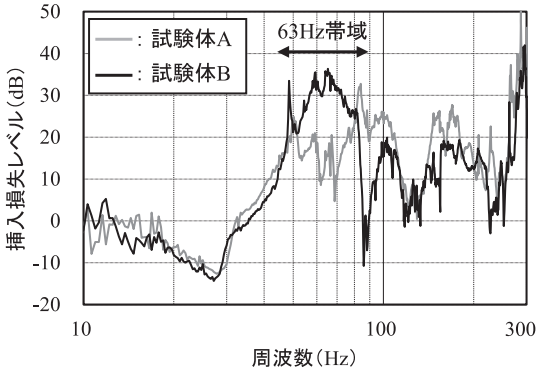

図 2　支持脚ゴムの有無による加振力に対する振動加速度比の挿入損失の比較

＊技術研究所　振動・音響グループ　　＊＊技術研究所

け，各パーティクルボードの隅角部のみに設置した。防振ゴムは，中央部は硬度 65°，周端部は硬度 70° とし，それぞれ概ね 600 mm ピッチとなるように配置した。支持脚の台座，パーティクルボード，および捨張合板はそれぞれビスで固定した。

3. 床衝撃音遮断性能の測定および評価方法

床衝撃音遮断性能の測定は，JIS A 1418-1 : 2000 に規定される標準軽量衝撃源（タッピングマシン）による軽量床衝撃音レベルの測定，および，JIS A 1418-2 : 2000 に規定される衝撃力特性(1)および(2)の標準重量衝撃源（バングマシンおよびインパクトボール）による重量床衝撃音レベルの測定を行った。実験は，第一に残響室において床単体の性能を評価し，次に純木造の実棟において受音室の空間的な影響や壁からの放射などを含んだ性能を評価した。測定結果に対する評価は，実験室と実棟の結果を比較するため，本稿においては，実験室および実棟共に，JIS A 1419-2 : 2000 の Lr 等級を準用した評価値を遮音性能の結果として算定し，それぞれ LL，LH(1)，LH(2)と表記し，L 数も付記した。なお，実棟における評価は，重量衝撃源では 250 Hz 以上，軽量衝撃源では 500 Hz 以上にて，回り込みにより SN 比が十分ではないことが懸念されたため，それぞれ 125 Hz 帯域以下および 250 Hz 帯域以下とした。

4. 実験室実験

4.1 実験室および試験体概要

実験室実験は図 4 に示すように，(一財)建材試験センターにおける上下階型の残響室の床開口に合わせ，試験体を設置して行った。試験体は，いずれも対策木質床とし，表 1 に示す 2 条件とした。

4.2 実験結果

図 5 に実験結果を示す。これより，重量床衝撃音遮断性能は，試験体 1 で LH(1)-55，試験体 2 で LH(1)-50 となり，いずれも比較的軽量な木質床であっても高い性能が得られることを確認した。試験体 1 に対する試験体 2 の重量床衝撃音遮断性能は L 数で 1～2 dB 向上した。これは，天井材の質量増加による効果だと推察される。また，軽量床衝撃音遮断性能は L 数で 9 dB 向上しており，これは遮音フローリングの緩衝効果によるところが大きいと考えられる。

5. 実棟実験

5.1 建物および試験体概要

実験は，図 6 に示す在来軸組工法の 2 階建て木造建物の 1 室を用いて行った。試験体は，表 2 に示す 2 条件とした。試験体 3 は，二重床を設置していない木造床素面の石こうボード面を加振した。これに対し，対策木質床とした試験体 4 は，写真 1 のように小面材としたパーティクルボードを用いて乾式二重床を設置した。

また，二重床の有無による防振効果を把握するため，インパクトハンマー（PCB Model086D20）を用いてハンマ

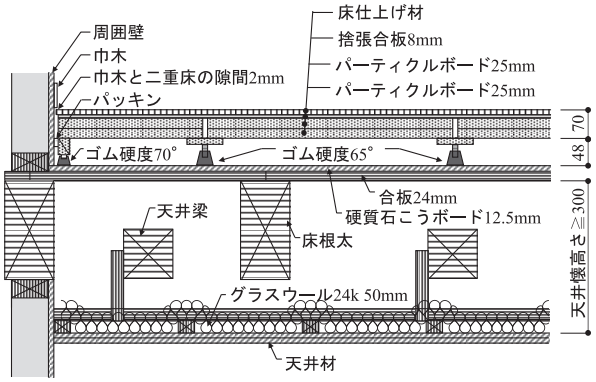

図 3　対策木質床の試験体概要（断面図）

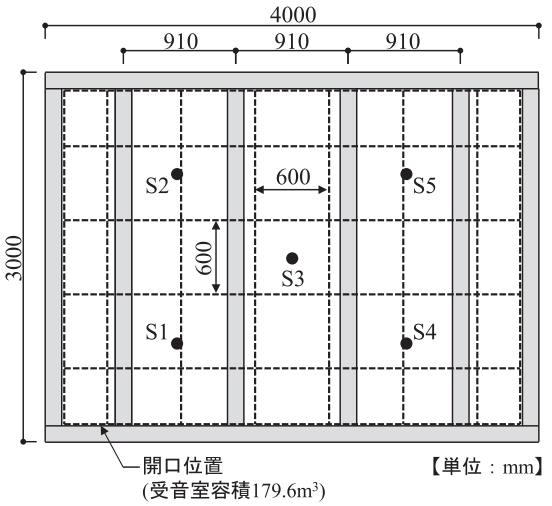

図 4　実験室実験の測定点と試験体概要（平面図）

表 1　実験室実験の試験体仕様

	場所	乾式二重床	床仕上げ材	天井材
試験体1	残響室	有り	ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ 12mm	石こうﾎﾞｰﾄﾞ 12.5mm ×2層
試験体2	残響室	有り	遮音ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ 12.3mm (合板9.3mm+発泡体3mm)	硬質石こうﾎﾞｰﾄﾞ 12.5mm ×2層

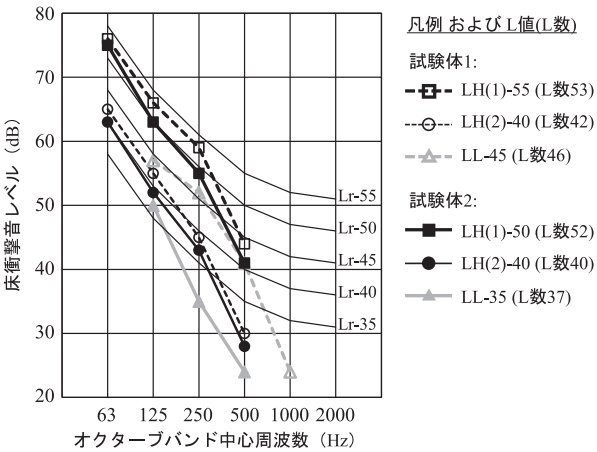

図 5　実験室実験の床衝撃音レベル測定結果

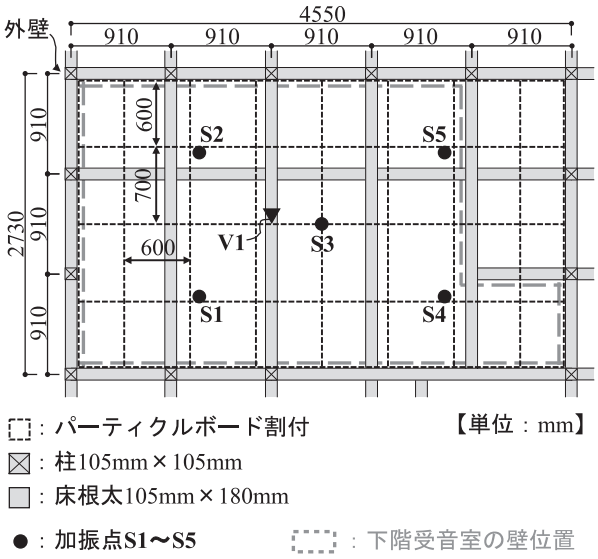

図 6　実棟実験の測定点と試験体概要（平面図）

表 2　実棟実験の試験体仕様

	場所	乾式二重床	床仕上げ材	天井材
試験体3	木造実棟	無し	—	硬質石こうﾎﾞｰﾄﾞ 12.5mm ×2層
試験体4	木造実棟	有り	遮音ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ 12.3mm (合板9.3mm+発泡体3mm)	硬質石こうﾎﾞｰﾄﾞ 12.5mm ×2層

写真 1　乾式二重床パーティクルボードの施工風景

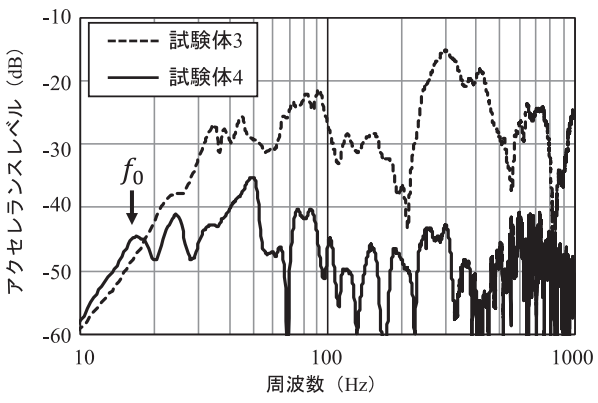

図 7　木造床根太（点 V1）における
アクセレランスレベルの比較

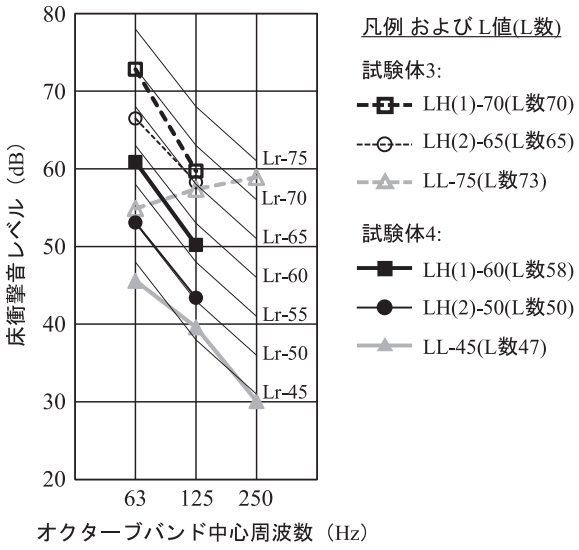

図 8　実棟実験の床衝撃音レベル測定結果

リング試験を行った。加振位置は点 S3 とし，受振点は床根太底の点 V1 に圧電式加速度ピックアップを設置した。図 7 に，FFT アナライザ（小野測器 DS-2000）を用いてアクセレランスレベルを算出した結果を示す。なお，二重床中央部の支持脚ゴムの固有振動数を式（1）より算出すると，13.6 Hz であり，試験体 4 のアクセレランスレベルの最低周波数のピークと合致する。さらに，木造躯体に入力する振動加速度レベルは，二重床により 63 Hz 帯域で 5～15 dB 低減していることから，防振機構として機能していることを確認した。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{M}} \qquad (1)$$

f_0：支持脚ゴムの固有振動数（Hz）
K：支持脚ゴムの動的ばね定数（N/m）
M：支持脚ゴムにかかる二重床の質量（kg/箇所）
ここに，$K = 141 \times 10^3$，$M = 19.3$

5.2　実験結果

図 8 に床衝撃音遮断性能の実験結果を示す。二重床を設置すること（試験体 3 に対する試験体 4）で，重量床衝撃音レベルは，63 Hz 帯域において LH(1)で 12 dB，LH(2)で 13 dB 低減しており，二重床による防振効果の範囲内であることがわかる。また，試験体 4 と実験室実験の試験体 2 の結果と比較すると，LH(1)，LH(2)はそれぞれ，63 Hz 帯域で 6 dB，10 dB，125 Hz 帯域で 7 dB，11 dB 増加した。同様に LL は 125 Hz 帯域で 10 dB，250 Hz 帯域で 15 dB 増加した。これより，木造建物における実棟性能は，床（天井）以外の下階壁面等からの音響放射による側路伝搬の影響が少なからず存在するものと推測される。ただし，受音室の規模として室容積を比較すると，4 章で扱った実験室は 179.6 m^3 であるのに対して，本章の実棟は 24.6 m^3 であり大きく異なる。そのため，音響エネルギー密度や吸音力等の受音室の空間特性も影響を及ぼしている

表 3　実測データサンプル諸元

調査名	図15 図17 記号	群名	建物 棟名	建物 構造概要	床 仕様	床 概要図	受音室 床面積 (m^2)	受音室 天井高 (mm)	受音室 室容積 V (m^3)	受音室 表面積 S (m^2)
W01	●	Ⅰ	A	木造軸組	一般木質床	図9	41	2700	110	150
W02	●						81	2700	219	266
W03	●						81	2700	219	266
W04	●						162	2700	438	462
W05	●						243	2700	657	659
W06	●						17	2700	45	77
W07	▲		B			図10	26	2500	65	104
W08	▲						50	2500	124	172
W09	■		C			図11	11	2440	26	53
W10	◆		D			(試験体3)	10	2477	25	51
W11	×	Ⅱ	E	RC造残響室	対策木質床	(試験体1)	-	-	180	195
W12	×					(試験体2)	-	-	180	195
W13	■		C	木造軸組			11	2300	24	51
W14	◆		D			(試験体4)	10	2477	25	51
W15	▲	Ⅲ	F			図3	9	2290	21	46
W16	▲						9	2290	21	46
W17	▲						10	2290	23	49
W18	▲						10	2290	23	49
W19	▲						14	2290	31	61
W20	▲						23	2290	54	91
W21	●		G				11	2400	26	54
W22	●						17	2400	40	72
W23	○	Ⅱ	H				10	2400	24	50
W24	○						10	2400	24	50
W25	○						17	2400	40	74
W26	○						17	2400	40	74
S01	○	Ⅳ	I	鉄骨造	コンクリート床版	図12	125	3000	375	384
S02	○						238	3000	713	662
S03	○						293	3000	879	798
S04	△		J			図13	10	2550	26	53
S05	△						10	2550	26	53
S06	△						14	2550	36	66
S07	□		K			図14	29	3200	94	129
S08	□						33	3200	106	140

ただし，対策木質床の床仕上げ材は，群Ⅱ：ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ12mm，
群Ⅲ：遮音ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ12.3mm(合板9.3mm+発砲体3mm).

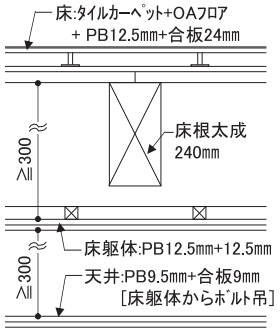

図 9　床断面図（W01～W06）

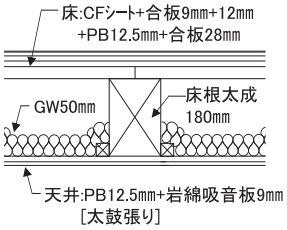

図 10　床断面図（W07～W08）

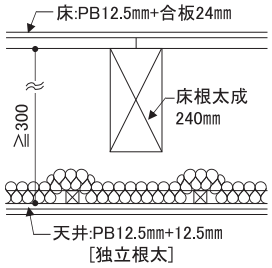

図 11　床断面図（W09～W10）

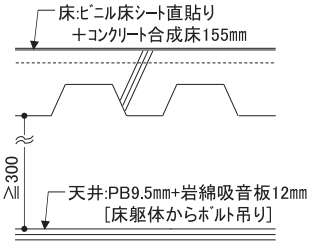

図 12　床断面図（S01～S03）

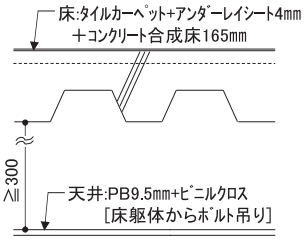

図 13　床断面図（S04～S06）

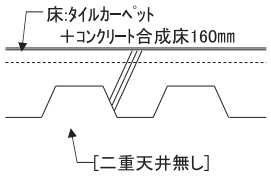

図 14　床断面図（S07～S08）

と考えられる。

6.　一般木質床と対策木質床の床衝撃音遮断性能

前章では，対策木質床の実験室および実棟における床衝撃音遮断性能を示した。本章では，表 3 に示す複数の実棟における実測データサンプルを用いて，遮音対策を講じていない一般的な木質床（以下，一般木質床と呼称）と対策木質床を比較し，対策木質床による床衝撃音遮断性能の向上効果の抽出を試みた。

本サンプルは受音室の規模等がそれぞれ異なるため，床衝撃音遮断性能が受音室の空間特性の影響を受けることを考慮し，一例として，受音室の表面積 S に対する床衝撃音遮断性能の変化の傾向に着目して，サンプル群毎にカーブフィッティングにより近似曲線を算出した。床衝撃音遮断性能は代表値として，L 数を対象とした。なお，筆者らは同様にして，一般木質床に対しては，L 数と受音室の規模との関係性について検討を行っている[3)]。

6.1　実測データサンプル

本サンプルは，一般木質床の木造軸組 4 棟 10 室（W01～W10），対策木質床の木造軸組および実験室（残響室）6

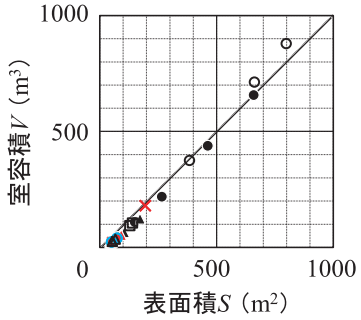

図 15　実測データサンプルの受音室形状比

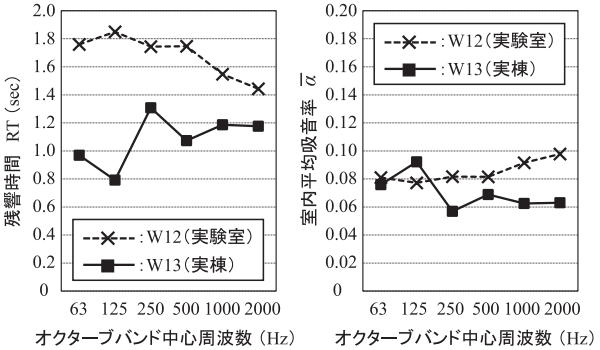

図 16　実験室（W12）と実棟（W13）の受音室内音響特性

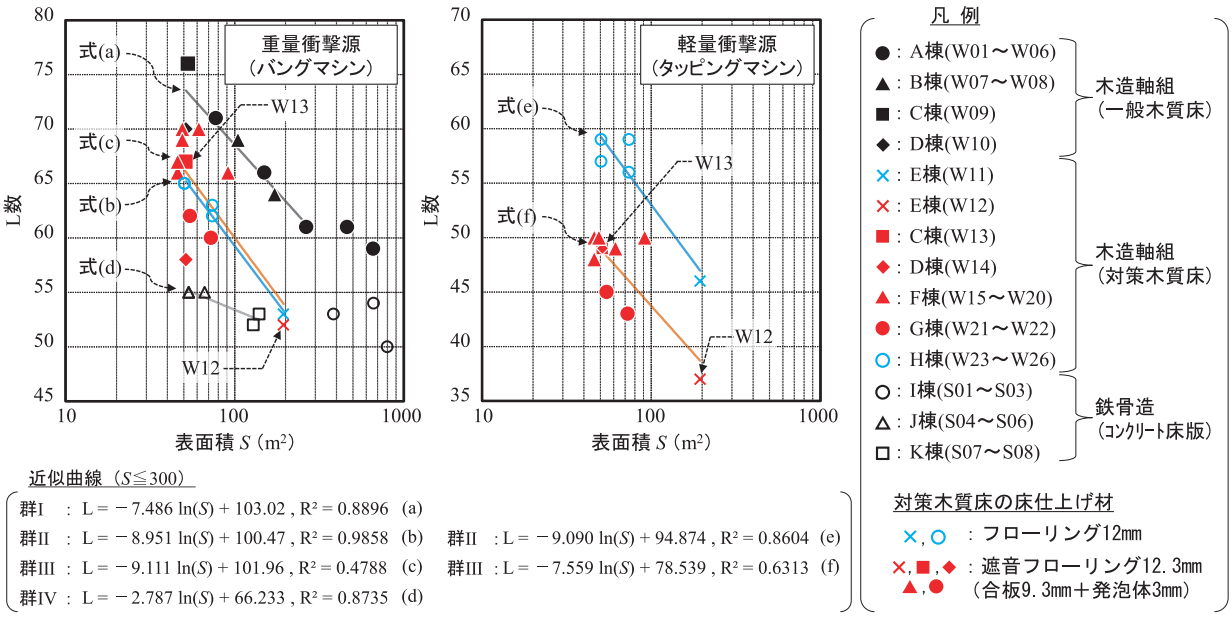

図 17　一般木質床と対策木質床の床衝撃音レベル L 数の比較

棟 16 室（W11～W26）および，対照条件の鉄骨造 3 棟 8 室（S01～S08）で構成され，以下のサンプル群ごとに比較を行った。一般木質床のサンプルは極力，床自体の単体性能に大きな差が生じないように，床や天井の高剛性化や防振処理による遮音対策および低音域に対する吸音処理等が施されていない箇所とした。

サンプル群Ⅰ：一般木質床

サンプル群Ⅱ：対策木質床（フローリング 12 mm）

サンプル群Ⅲ：対策木質床（遮音フローリング 12.3 mm）

サンプル群Ⅳ：コンクリート床版

なお，図 15 に示すように本サンプルの S と V は比例関係にある。また，受音室の空間特性として吸音力を考慮する場合，吸音力（等価吸音面積）は式（2）より算出されるため，室内平均吸音率 $\bar{\alpha}$ の影響も受ける。本サンプルは実験室（残響室）における測定データを含むため，実験室（W12）と実棟（W13）について，Eyring の式（3）より $\bar{\alpha}$ を算定した結果を図 16 に示す。これより，L 数の決定周波数である 63 Hz 帯域および 125 Hz 帯域における $\bar{\alpha}$ は，共に 0.08 前後で近似するため，本稿においては，すべてのサンプルについて $\bar{\alpha}$ の値は等しいものとする。

$$A = S\bar{\alpha} \qquad (2)$$

A：受音室の吸音力（m²）

$\bar{\alpha}$：受音室の室内平均吸音率

$$RT = \frac{0.161V}{S\{-\log_e(1-\bar{\alpha})\}} \qquad (3)$$

ここに，RT：図 15 の残響時間測定値（sec）

6.2　床衝撃音遮断性能 L 数の比較

図 17 に，サンプル群ごとの表面積 S に対する L 数の変化の傾向に示す。重量衝撃源（バングマシン）および軽量衝撃源（タッピングマシン）それぞれに対する L 数について，各サンプル群に対する近似曲線式(a)～(f)を求めた。近似曲線の回帰範囲は，一般木質床および対策木質床に合わせて，S が 300 m² 以下となるサンプルを対象とし，対策木質床については床仕上げ材の違いに分けて示した。なお，データの取得状況により，軽量衝撃源のサンプルは対策木質床のみを対象とした。

まず，重量衝撃源（バングマシン）に対する L 数について見ると，群Ⅲ（床仕上げ材を遮音フローリングとした対策木質床）は近似曲線に対するばらつきが比較的大きいが，いずれの床仕様についても S の対数に比例して L 数が減少（床衝撃音遮断性能が向上）する様子がわかる。それぞれの傾きを比較すると，木質床の式(a)～(c)はコンクリート床版の式(d)に比べて傾きが急であることから，木質床はコンクリート床版に比べて受音室の空間特性の影響を受けやすいと考えられる。また，式(a)と式(b)，(c)の傾きは同程度であることから，S に依らず一般木質床に対する対策木質床による床衝撃音遮断性能の向上効果が 5～10 dB 得られると推察される。一方，式(b)と式(c)はほぼ一致することから，重量衝撃源に対する床仕上げ材による影響は極めて小さいと言える。さらに，S が 300 m² を超える受音室空間においては，S に対する L 数の変化量が小さくなる傾向が見られるため，S が一定値以上になると，床自体の単体性能に収束する可能性が考えられる。

次に，軽量衝撃源（タッピングマシン）対する L 数について見ると，重量衝撃源の場合とは異なり，床仕上げ材の違いによる影響が大きく，フローリングに対する遮音フローリングによる床衝撃音遮断性能の向上効果が S に依らず約 10 dB 得られることがわかる。

7. まとめ

本稿では，実験室および実棟において，高剛性床版を用いた二重床の床衝撃音遮断性能を評価した結果，木造建物における有効な遮音対策手法の一つとなりうることを示した。

複数の実建物における実測データについて，本稿では一例として表面積をパラメータとして統計処理することで，木質床の床衝撃音遮断性能は，受音室の空間特性（表面積，室容積，吸音力等）の影響を受ける可能性を示した。また，その結果について，一般木質床（遮音対策を講じていない一般的な木質床）と対策木質床（高剛性床版を用いた二重床）の床衝撃音遮断性能を比較することで，対策木質床による性能の向上効果は，受音室の空間特性に依らず，重量衝撃源（バングマシン）に対しては 5〜10 dB（遮音等級 1〜2 ランク），軽量衝撃源に対しては約 10 dB（2 ランク）得られる可能性を示した。

今後は，対策木質床の実測データにおいてサンプル数の少ない比較的規模の大きい受音空間におけるデータも蓄積していきたい。

謝　辞

本研究は，ナイス株式会社および淡路技建株式会社に多大なご協力をいただき実施いたしました。末筆ながら，関係者各位に御礼申し上げます。

参考文献

1）久原裕・他 5 名：在来床組工法と乾式遮音二重床を用いた 3 階建て木造集合住宅の床衝撃音実測結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，2016.8
2）堀尾貞治・他 4 名：乾式二重床の床面剛性が防振効果に与える影響に関する基礎的検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，2019.7
3）堀尾貞治・他 4 名：木質系建築物における重量床衝撃音と受音空間の大きさの関係，日本建築学会大会学術講演梗概集，2021.7

STUDY ON FLOOR IMPACT SOUND INSULATION IN WOODEN STRUCTURE BUILDINGS USING A HIGH RIGIDITY DOUBLE FLOOR

S. Horio, T. Takikawa, and S. Inoue

This report discusses the performance of floor impact sound insulation in wooden structure buildings using a high rigidity double floor. To evaluate floor impact sound insulating property of this double floor, firstly, we measured it in reverberation chamber, then in wooden structure buildings.

Following that, we attempted to quantify the improvement effect of floor impact sound insulation with the use of the measurement data obtained in multiple wooden structure buildings by statistical processing.