

奈良県産スギ材を用いた直張り用無垢防音フローリング材の開発 (第1報) *1

矢杉瑠美・室垣内清明*2・岩本頼子・酒井温子・森田陽亮*3

直張り床工法向けに、県産スギ材を用いた無垢防音フローリング材の開発を試み、木材と緩衝材の条件を変え、軽量床衝撃音レベル低減量を測定した。木材については密度、節の有無、含水率、板幅、溝加工による残り厚さ、および塗装の有無を、緩衝材については厚さおよび目付を検討項目とした。最終的に選択した最適な条件は、板厚さ 10mm、幅 110mm、溝幅 1mm、溝加工による残り厚さ 1.8mm、溝間隔 15mm、緩衝材の厚さ 4.5mm、目付 258g/m² となった。JIS A 1440-1 による試験を行った結果、 ΔLL 等級では $\Delta LL-4$ を、遮音等級では LL-45 を示し、一般社団法人 日本建築学会が推奨する好ましい性能水準を満たした。

1. はじめに

日常生活では様々な生活音、例えば子供の走り回りや飛びはね時には重量床衝撃音と呼ばれる低い周波数の音、椅子やテーブルの移動や物品の落下時には軽量床衝撃音と呼ばれる高い周波数の音が発生する。これらは集合住宅等で上下階の住人の深刻なトラブルに発展する可能性があるため、床材料には高い防音性能が求められる。

内装材として県産材の利活用が広がる中、特に集合住宅等で無垢のフローリング材（以下、本報では、木質系材料からなる床板をフローリング材と表記する）が普及しない要因の一つに、防音性能の低さが考えられる。

また、床仕上げ構造は乾式二重工法と直張り工法に大別され、求められる防音性能を満たす製品がそれぞれ流通しているが、例えば図1に示すように¹⁾、現状では合板を用いたものが主流となっている。集合住宅向けの直張り工法に対応しうる無垢のフローリング材については先行研究²⁾があるが、最終的に得られた条件は、木材の厚さが 15mm で、これに 4mm の緩衝材を組み合わせることから、全体の厚さは 19mm となり、フローリング材として流通するには厚い仕様になっていた。

そこで本研究では、直張り工法向けに、県産スギ材を用いた無垢の防音フローリング材を開発するにあたり、リフォームでの使用も想定して総厚さは 15mm 以内とし、木材および緩衝材の条件を検討することにした。本報では、木材の条件として密度、節の有無、含水率、板幅、溝加工による残り厚さ、および塗装の有無を、緩衝材の条件として厚さおよび目付(単位面積あたりの重量)を変え、各条件における軽量床衝撃音レベル低減量を測

定した結果を報告する。

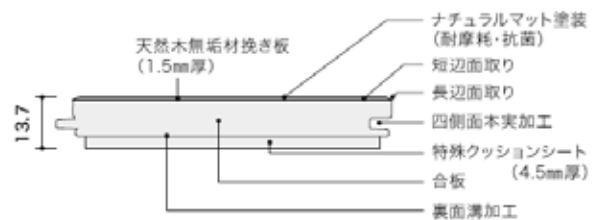


図1 市販の防音フローリング材断面図例¹⁾

2. 材料および方法

2.1 材料

市販されている一般的な防音フローリング材¹⁾(図1)や先行研究²⁾から、防音性の付与には、図2に示すように上面が木材、下面が緩衝材の2層構成で、木材の下面に溝加工を施す仕様が適するのではないかと推定された。

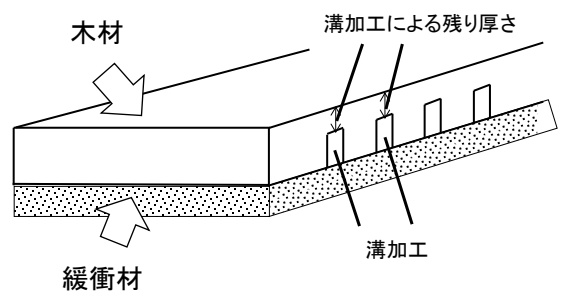


図2 試験体

*1 本研究の一部は第70回日本木材学会年次大会(鳥取2020)において発表した。

*2 現 公益財団法人 奈良県緑化推進協会

*3 奈良県産業振興総合センター

そこで、木材はフローリング材として一般的に流通している奈良県産スギ材の板目板、緩衝材はポリエステル素材とし、木材の溝加工の間隔は15mmに統一した。木材の長手方向に本実（ほんざね）加工を施し、試験時に

は木材同士を連結させた。なお、後述する簡易試験においては木材と緩衝材を接合させずに、緩衝材の上に実（さね）で連結させた木材を置いて試験を実施した。

表1に、供試した試験体を示す。

表1 試験体の詳細

検討項目	試験	木材							緩衝材			試験方法								
		枚数	幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	溝幅 (mm)	溝加工による 残り厚さ (mm)	その他	種類	厚さ (mm)	目付 (g/m ²)									
木材の 性状	(1)密度	低密度	6枚×3組	110	10	950	1	4.2	気乾密度 (g/cm ³)	0.38	H43	6.0	335	簡易試験 2						
		高密度	6枚×3組							0.46										
	(2)節の有無	節あり*1	6枚×3組							0.43										
		節なし*1	6枚×3組							0.41										
	(3)含水率	含水率 13.5%	6枚×2組							0.42										
		含水率 18.0%	6枚×2組							0.44										
(4)板幅	(4)-1	7枚	90	15	1000	2	2.0	-	H40	6.5	134	簡易試験 2								
		7枚	110																	
		5枚	150																	
	(4)-2	6枚	110	10					15	H300	4.2		379							
		6枚	150																	
	(4)-3	7枚	90	10					10	N400	4.1		434							
		7枚	110																	
		5枚	150																	
		7枚	90																	
		7枚	110																	
		5枚	150																	
		6枚	110																	
		6枚	150																	
		6枚	150																	
6枚	110	N41	3.3	209																
6枚	150																			
6枚	150	N41 2枚 重ね	6.4	447																
(5)溝加工による 残り厚さ	(5)-1	2枚	75	12	1000	1	-	H50	4.0	135	簡易試験 1									
		2枚										110								
		2枚											150							
		2枚												1.0						
		2枚													1.5					
		2枚														2.0				
		2枚															1.0			
	2枚	1.5																		
	2枚		2.0																	
	(5)-2							6枚	110	10		1000	2					1.8	N400	4.1
								6枚						2.0						
								6枚							2.2					
	(5)-3							6枚	110	10		950	1			1.8		H42	4.5	258
6枚				スリットなし																
6枚																				
(6)塗装	(6)-1	6枚	110		10	700	1	4.2	塗装	ウレタン	H42	4.5	258	簡易試験 2						
		6枚		植物系オイル																
		6枚		なし																
(7)緩衝材	(7)-1	6枚	110	10	950	1	1.8	-	H42	6.0	4.5	258								
									H43				335							
									H44					335						
									H45						270					
									H46							470				
H42	4.5	258																		
緩衝材なし																				
(7)-2			6枚	110	10	1000	スリットなし	-	-	-										
			6枚																	
(8)本試験での JIS A 1440-1 による評価			(8)-1	1760mm ×2700mm の面積分	110	10	950	1	1.8	-	H42	4.5	258	本試験						

*1: 節の様子は図3を参照。

表中(1)の密度の検討では、繊維方向約1000mm、接線方向約120mm、放射方向約15~20mmの原板65枚について、それぞれ重量と寸法を測定し気乾密度を算出したうえで、高密度の材料（気乾密度0.43~0.51g/cm³、平

均0.46g/cm³）と低密度の材料（気乾密度0.34~0.41g/cm³、平均0.38g/cm³）を選別して、試験に供した。

表中(2)の節の有無の検討では、無節の板に加え、フローリング材として一般的に流通している節を含む板を

使用した(図3)。



図3 節あり(左)、節なし(右)の試験体

表中(3)の含水率の検討では、同一の材料を各条件に順次調湿し、試験に供した。すなわち、20℃相対湿度 65% 雰囲気下にて調湿し(含水率 13.5%)、試験を行った後、25℃相対湿度 90% 雰囲気下にて調湿し(含水率 18.0%)、試験を行った。

表中(7)の緩衝材の検討では、厚さと目付(g/m²)を変えた以下の5種類の緩衝材を使用した。H42を基準として他の4種類に厚さを増加させたが、この時、H43とH44は厚さの増加に比例して目付を増加(密度を一定)、H45は目付をおおむね維持したまま厚さを増加、H46は目付と厚さの両方を増加させたものである。また、H44とH45には硬さを付与する繊維を一部混合させた。なお、表1の緩衝材の厚さは、メーカーから表示があった場合はその厚さを、表示がなかった場合はノギスにより6箇所を測定し平均値で表した。

表中(8)の本試験でのJIS A 1440-1による評価では、後述する簡易試験による検討結果をふまえ、製品としての加工性、寸法安定性、施工性等において最適と思われる条件を選択して試験体を作製した。また木材には長手

方向だけでなく短手方向にも本実加工を施した。試験時は縦1760mm、横2700mmの床面に試験体を敷き詰める必要があったため、それに合うように事前に試験体の寸法を調整した。

2.2 方法

2.2.1 簡易試験1

JIS A 1440-1:2007「実験室におけるコンクリート床上の床仕上げ構造の床衝撃音レベル低減量の測定方法—第一部:標準軽量衝撃源による方法」を参考に簡便な試験を実施した(図4左側)。すなわち、2階建て構造の2階では、スラブ厚120mmの床面に、2枚の試験体を設置した場合と設置しない場合について、標準軽量衝撃源を模した装置を作製し、450gのハンマー5本を高さ40mmから自由落下させ衝撃音を発生させた。1階では、マイクロホン(B&K社製4189-A-021)1本で衝撃音を受音し、音圧レベルをオクターブバンドで平均した(B&K社製PULSE 3050B)。以上の測定を、1条件あたり1枚の試験体に対して2回繰り返す、その平均値を各条件における床衝撃音レベルとした。その後、式(1)を用いて床衝撃音レベル低減量(以下、低減量と略す)を求めた。

$$\text{床衝撃音レベル低減量}(\Delta L) = L_{n0} - L_n \quad \dots (1)$$

L_{n0} (dB) : コンクリート製床の素面における床衝撃音レベル

L_n (dB) : 試験体設置状態の床衝撃音レベル

2.2.2 簡易試験2

JIS A 1440-1に基づく試験が可能な施設において試験を実施した(図4中央)。すなわち、2階では、スラブ厚150mmの床面に、板幅寸法の合計が600mm以上となる枚数分の試験体を設置した場合と設置しない場合につ



図4 試験時の様子
(左から簡易試験1、簡易試験2、本試験)

いて、標準軽量衝撃源（リオン(株)製 FI-01) により衝撃音を発生させた。1階ではマイクロホン（株小野測器社製 MI-3111）5本で衝撃音を受音し、音圧レベルをオクターブバンドで平均した（株小野測器社製 DS-2000）。1測定ごとに、左端に配置した試験体3または2枚を右端に置き換えることにより、1組あたり2、3回測定を繰り返した。この平均値を各条件における床衝撃音レベルとした。その後、式（1）を用いて低減量を求めた。

2.2.3 本試験

JIS A 1440-1に基づく試験を一般財団法人 日本建築総合試験所において実施した（図4右側）。ここでは、ウレタン系接着剤（コニシ(株)製 KU928RW）により試験体とコンクリートを固定し、試験体全面に合板（24kg/m²）を載せて密着を図り、3時間以上養生させてから試験を実施した。2階では、スラブ厚 150mm の床面に、1760mm×2700mm の面積を満たす枚数分の試験体を設置した場合と設置しない場合について、標準軽量衝撃源（B&K 社製 3204）により衝撃音を発生させた。1階ではマイクロホン（株小野測器社製 MI-1233）5本で衝撃音を受音し、音圧レベルをオクターブバンドで平均した（株小野測器社製 DS-2100）。標準軽量衝撃源の加振点は4点とし、平均値を求め、床衝撃音レベルとした。その後、式（1）を用いて低減量を求めた。

得られた数値について、表2³⁾のΔLL等級による評価を行うとともに、JIS A 1419-2:2012「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」付属書1のいわゆる遮音等級（図5）により評価を行った。

3. 結果および考察

3.1 軽量床衝撃音レベル低減量に及ぼす木材の影響

3.1.1 木材の性状

図6に木材の密度による低減量の比較を示す。250Hz帯域では低密度の方が低減量はやや大きかったが、その差は1.5dBと小さく、フローリング材として一般的に流通しているスギにみられる密度差であれば、防音性能に大きな影響を及ぼさないことがわかった。

図7に節の有無による低減量の比較を示す。全周波数帯域においてほぼ同じ低減量であり、節が含まれていても防音性能には影響がないことがわかった。

図8に含水率による低減量の比較を示す。ほとんどの周波数帯域において含水率 13.5%の方が低減量は大きく、特に125Hz帯域では4.8dBの差が見られた。含水率が低いほど低減量は大きくなることが推測された。

表2 等級表記指針³⁾

表記する等級	軽量床衝撃音レベル低減量の下限值(dB)				
	125Hz帯域	250Hz帯域	500Hz帯域	1kHz帯域	2kHz帯域
Δ LL - 5	15	24	30	34	36
Δ LL - 4	10	19	25	29	31
Δ LL - 3	5	14	20	24	26
Δ LL - 2	0	9	15	19	21
Δ LL - 1	-5	4	10	14	16

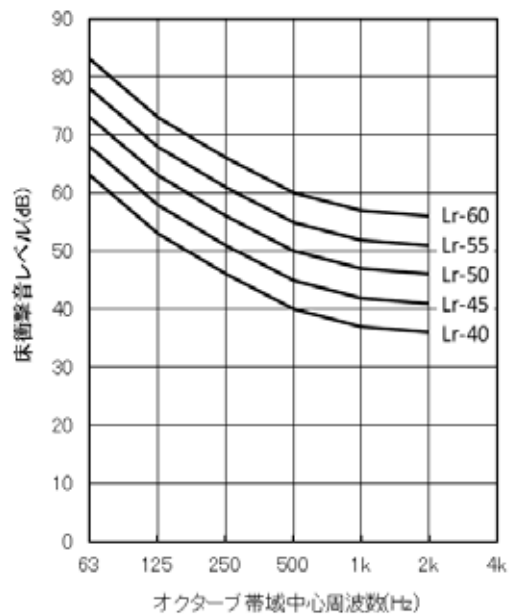


図5 床衝撃音遮断性能の周波数特性と等級（一部抜粋）

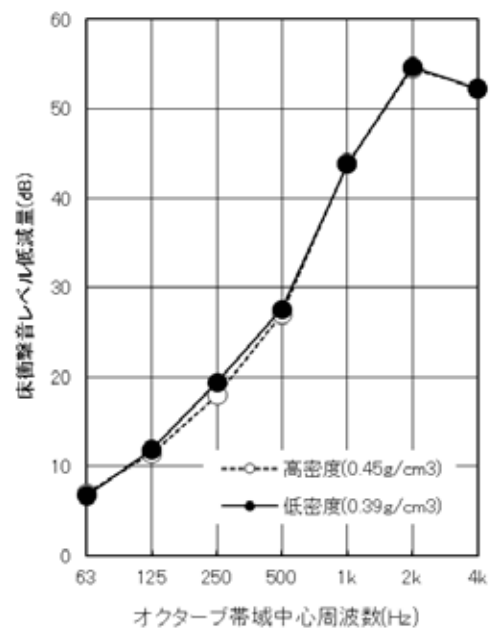


図6 密度による床衝撃音レベル低減量の比較
試験条件は表1（試験(1)-1）に記載のとおり

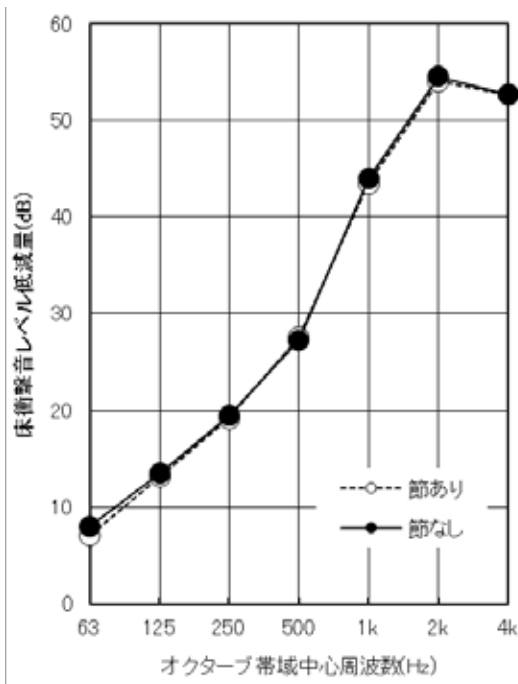


図7 節の有無による床衝撃音レベル低減量の比較
試験条件は表1 (試験(2)-1)に記載のとおり

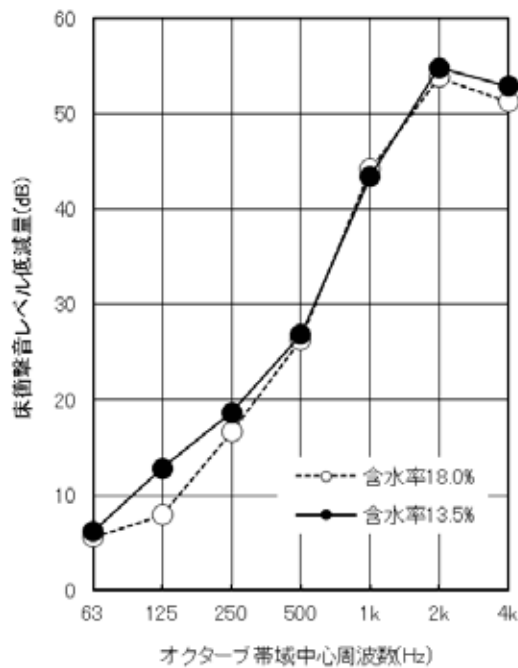


図8 含水率による床衝撃音レベル低減量の比較
試験条件は表1 (試験(3)-1)に記載のとおり

3.1.2 板幅

図9に板厚さを15mm、板幅を90、110、150mmとした試験体を用いた結果を示す。板幅90mmと110mmを比較すると125、250Hz帯域でそれぞれ1.2、2.3dBの差、110mmと150mmを比較すると125、250Hz帯域でそれ

ぞれ2.5、3.1dBの差が見られ、板幅が小さいほど低減量が大きくなる傾向が見られた。これは、木材の幅方向では、実で音の伝搬が途切れることに起因するものと考えられる。

一方、板厚さを10mm、板幅を110、150mmとした試験体では、図10に結果を示すとおり、全周波数帯域において低減量はほぼ同じであった。

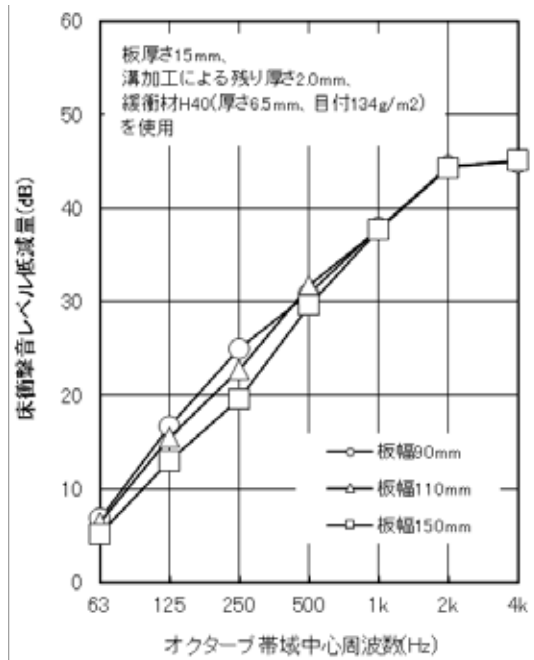


図9 板幅による低減量の比較
試験条件は表1 (試験(4)-1)に記載のとおり

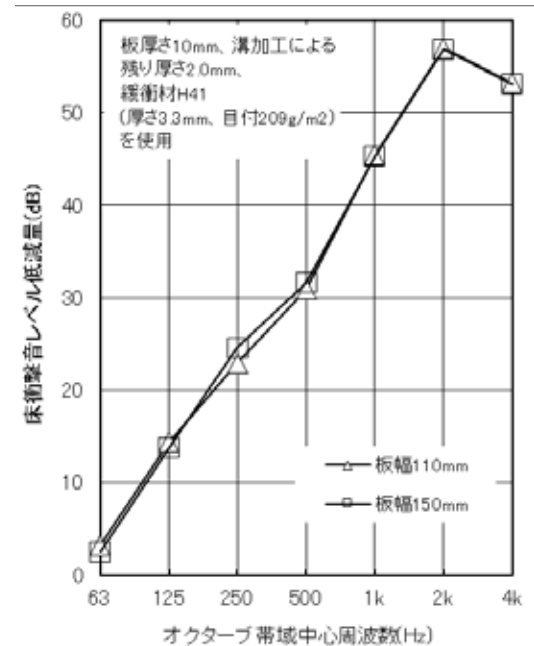


図10 板幅による低減量の比較
試験条件は表1 (試験(4)-2)に記載のとおり

この他にも、緩衝材の種類を変えて試験を行ったが、図 11 に示すように、板厚さ 15mm の試験体では、上述した結果と同様に、板幅の違いによる低減量の差がみられたが、板厚さ 10mm の試験体では、板幅の違いによる低減量の差はみられなかった。よって、木材が厚く、溝加工の効果がより発揮されやすい場合に、板幅の違いによる防音性能の差が顕著に表れるものと考えられる。最終的には、歩留まりや寸法安定性も考慮して、板厚さ 10mm において、板幅 110mm を最適な条件とした。

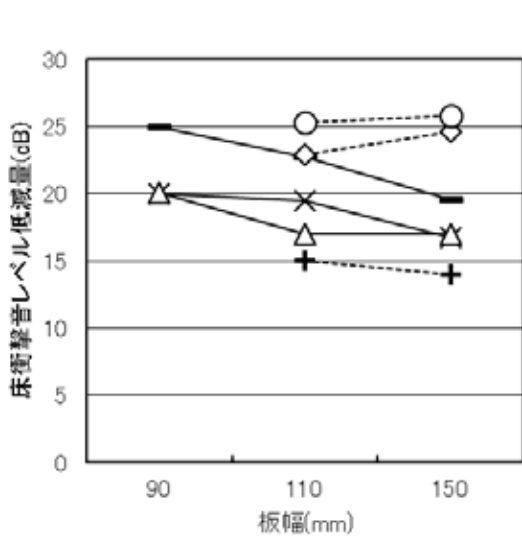


図 11 250Hz 帯域における板幅の比較

試験条件は表 1 (試験(4)-1、3) に記載のとおり

- 板厚さ10mm ——— 板厚さ15mm
- ×— H10(厚さ5.5mm、目付286g/m²)
- H40(厚さ6.5mm、目付134g/m²)
- △— N300(厚さ4.2mm、目付379g/m²)
- ◇--- H41(厚さ3.3mm、目付209g/m²)
- H41 2枚重ね(厚さ6.4mm、目付447g/m²)
- +--- N400(厚さ4.1mm、目付434g/m²)

3.1.3 溝加工による残り厚さ

図 12 に、溝加工による残り厚さが低減量に与える影響を示す。これは、目付の小さい (135g/m²) 緩衝材を用いて、板幅を 110mm、板厚さを 12mm とした場合の結果である。特に 250Hz 帯域において、残り厚さが小さいほど低減量が大きくなる傾向が見られた。また、図 13 に示すように、250Hz 帯域における低減量は、板幅を変えても同様の傾向を示した。これらは、残り厚さが小さい、すなわち溝が深いほど木材の繊維が切断され、繊維方向に伝搬する衝撃音が減少するためと考えられる。またあわせて、溝の空隙が物理的に増加することによる吸音効果

もあると考えられる。さらに、中岡ら²⁾によると、直張り床では、溝加工の間隔を狭くしたり、深さを増すことによって、床材の曲げ剛性が低くなり、低減量の増加につながるという報告されており、今回の結果は、それとも合致している。

次に、図 14 に目付の大きい (434g/m²) 緩衝材を用いて、板幅を 110mm、板厚さを 10mm とした場合の結果を示す。残り厚さ 1.8~2.2mm の範囲では低減量の差は小さく、250Hz 帯域でも 1.2dB であった。

加工、運搬、施工時の扱いやすさを考慮すると、溝加工による残り厚さは少なくとも 2mm 程度は必要であると考えられる。そこで、残り厚さを 1.8mm とし、最終的に選択した目付 258g/m² の緩衝材 H42 も併用して、溝加工を施した場合と無加工の場合を比較したところ、図 15 に示すとおり、全周波数帯域において低減量に明瞭な差がみられた。特に、ΔLL 等級および遮音等級の判定の際に重要となる 125Hz から 500Hz 帯域において、低減量が大きくなることから、溝加工と緩衝材を併用することで、防音性能が大きく向上することがわかった。また、中岡ら²⁾の検討においても、溝加工の有無で低減量の比較がなされており、同様の結果が報告されている。

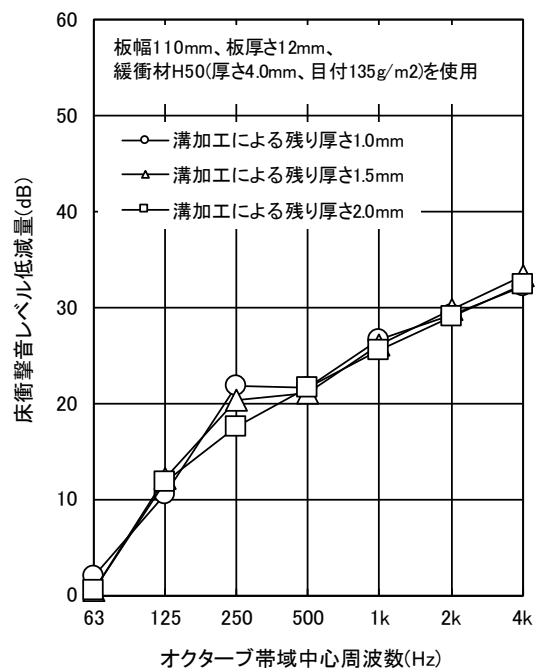


図 12 溝加工による残り厚さでの床衝撃音レベル低減量の比較

試験条件は表 1 (試験(5)-1の一部) に記載のとおり

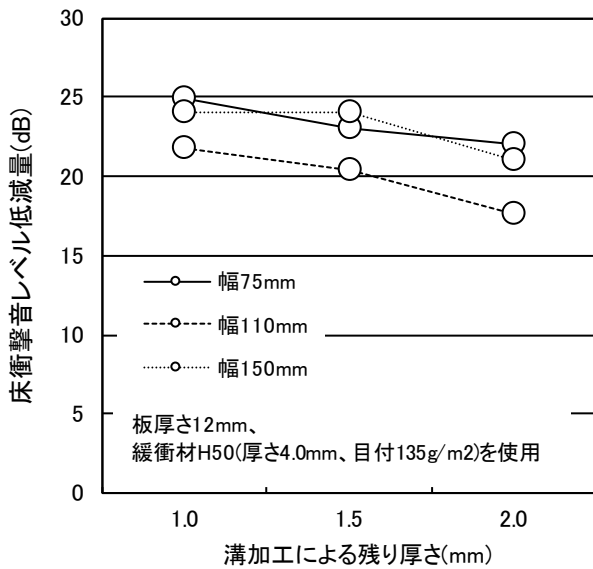


図13 溝加工による残り厚さと250Hz帯域における床衝撃音レベル低減量の関係
試験条件は表1(試験(5)-1)に記載のとおり

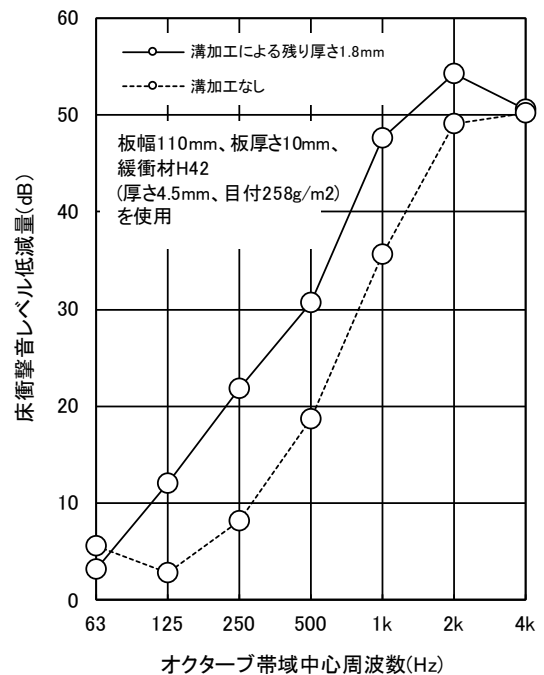


図15 溝加工の有無による床衝撃音レベル低減量の比較
試験条件は表1(試験(5)-3)に記載のとおり

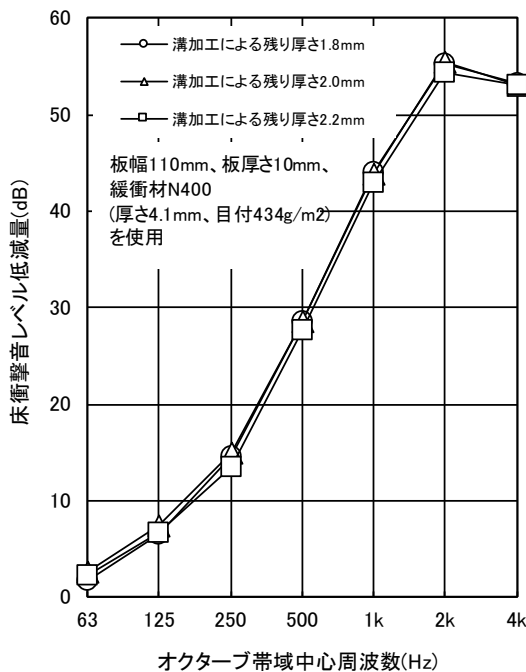


図14 溝加工による残り厚さでの床衝撃音レベル低減量の比較
試験条件は表1(試験(5)-2)に記載のとおり

3.1.4 塗装

図16に塗装による低減量の比較を示す。それぞれの低減量の差は全周波数帯域において0.6~1.2dBと小さく、3条件はほぼ同じ低減量を示した。使用したウレタン塗装は、塗膜を形成し表面硬さを向上させる特長があったが、今回の測定では木材の表層の違いによる影響はみられなかった。

3.2 軽量床衝撃音レベル低減量に及ぼす緩衝材の影響

3.1.2において、図11に示した異なる緩衝材による低減量の比較より、低減量が大きかったH40とH41の、厚さおよび目付を改良した緩衝材を用いた。図17に改良した5種類の緩衝材を用いた結果を示し、図18に125Hz帯域における緩衝材の目付と低減量の関係を示す。

まず硬さ付与の繊維の有無について、硬さ付与ありのH44と硬さ付与なしのH43を比較すると、ほぼ同じ低減量を示し、硬さ付与の繊維は防音性能に影響しないことがわかった(図17)。

H42を基準として、厚さの増加に比例して目付を増加させたH43では、125Hz帯域での低減量が4.1dB大きかった。同様に、目付を維持したまま厚さのみを増加させたH45の低減量は、125Hz帯域での低減量が4.6dB大きかった。これらより、緩衝材の厚さを増やすと防音性能が向上することが確認された(図17)。

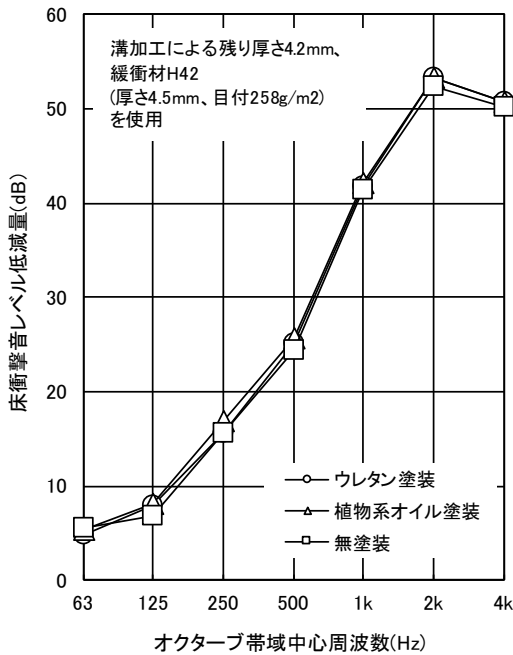


図 16 塗装による床衝撃音レベル低減量の比較
試験条件は表 1 (試験(6)-1) に記載のとおり

次に、図 18 のいずれも厚さ 6.0mm の緩衝材について、125Hz 帯域での低減量を比較すると、目付が 270~335g/m² の範囲 (H43、44、45) では同値を示すが、目付が 470g/m² (H46) ではこれらよりさらに 5.2~5.6dB 低下した。目付は一定量を超えると防音性能が低下することがわかった。

また、防音フローリング材全体の厚さを 15mm 程度とするため、緩衝材の厚さには制限があるとともに、目付が小さすぎると柔らかくなり床の歩行感が悪くなるため、適度な硬さが得られる目付が必要となる。最終的には、目付 258g/m² の H42 を選択した。H42 を使用した場合と使用しない場合で比較したところ、図 19 に示すとおり全周波数帯域、特に高音域において低減量に明瞭な差がみられた。緩衝材は、階下に伝搬する衝撃音を低減することがわかった。

3.3 本試験での JIS A 1440-1 による評価

簡易試験による検討結果をふまえ、さらに加工性、寸法安定性、施工性等が最適と思われる条件を選択して試験体を作製した (表 1)。この試験体での結果を図 20、21 に示す。表 2³⁾ の等級表記指針を参照すると、125Hz 帯域で低減量の下限値を 0.4dB 上回り、これは ΔLL 等級では ΔLL-4 を示した。さらに、図 5 の遮音等級では LL-45 であり、これは表 3⁴⁾、表 4⁴⁾ に示す適用等級 1 級に該当し、一般社団法人 日本建築学会が推奨する好ましい性能水準を満たした。

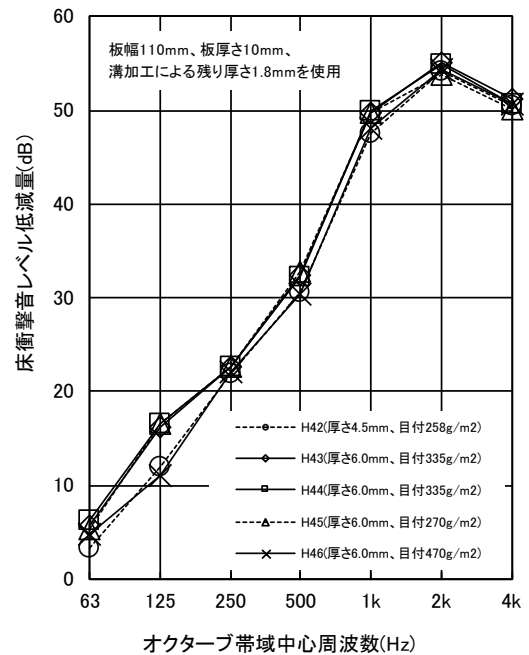


図 17 緩衝材の厚さ・目付による
床衝撃音レベル低減量の比較
試験条件は表 1 (試験(7)-1) に記載のとおり

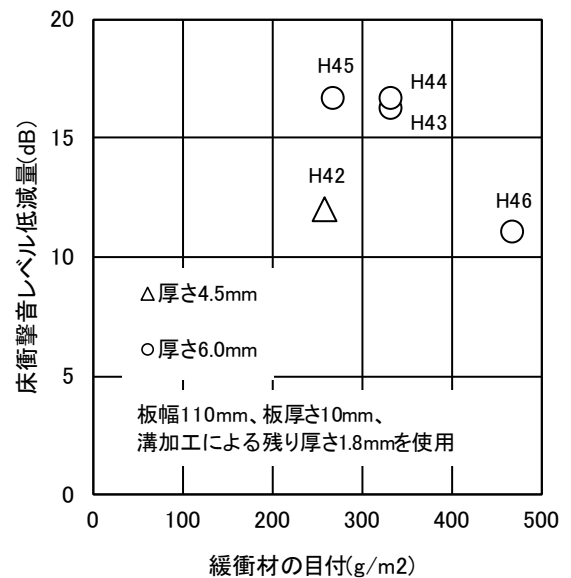


図 18 125Hz 帯域における
緩衝材の目付と床衝撃音レベル低減量の関係
試験条件は表 1 (試験(7)-1) に記載のとおり

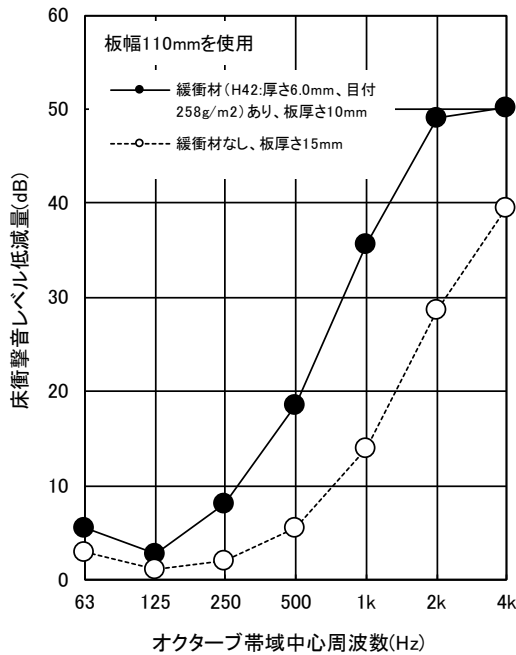


図19 緩衝材の有無による床衝撃音レベル低減量の比較
試験条件は表1(試験(7)-2)に記載のとおり

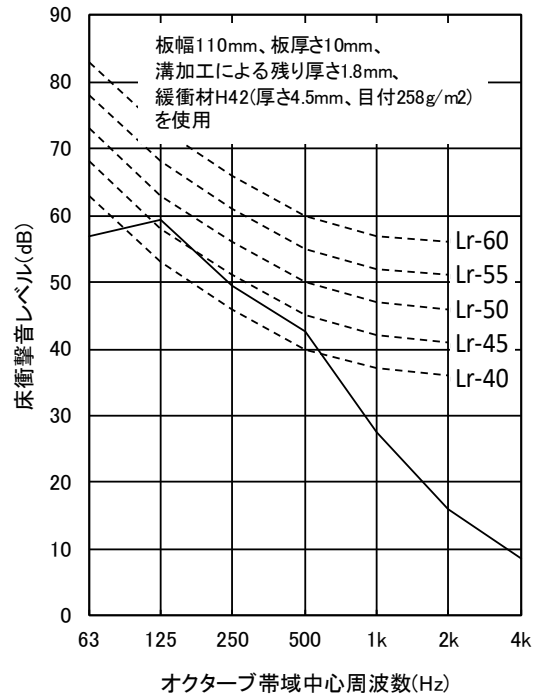


図21 JIS A 1440-1による評価(遮音等級)
試験条件は表1(試験(8)-1)に記載のとおり

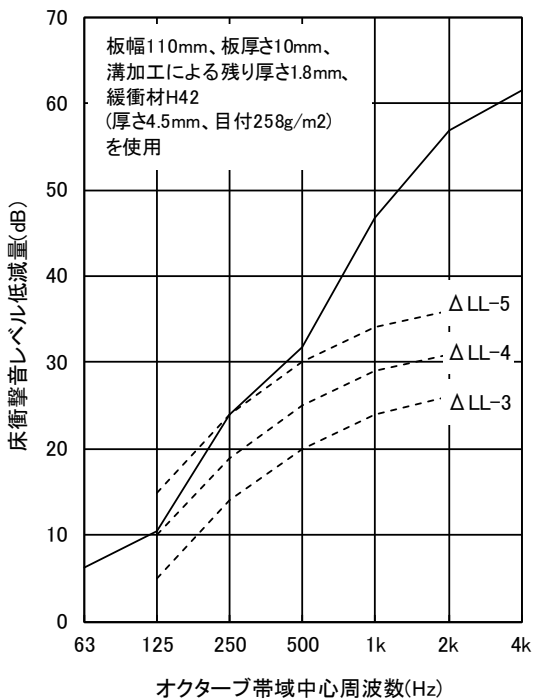


図20 JIS A 1440-1による評価(ΔL等級)
試験条件は表1(試験(8)-1)に記載のとおり

表3 床衝撃音レベルに関する適用等級⁴⁾(一部抜粋)

建築物	室用途	部位	適用等級			
			特級	1級	2級	3級
集合住宅	居室	隣戸間界床	LL-40	LL-45	LL-55	LL-60
ホテル	居室	客室間界床	LL-40	LL-45	LL-50	LL-55
学校	普通教室	教室間界床	LL-50	LL-55	LL-60	LL-65

※木造、軽量鉄骨造またはこれに類する構造の集合住宅に適用する

表4 適用等級の意味⁴⁾

適用等級	遮音性能の水準	性能水準の説明
特級	遮音性能上とくにすぐれている	特別に高い性能が要求された場合の性能水準
1級	遮音性能上すぐれている	建築学会が推奨する好ましい性能水準
2級	遮音性能上標準的である	一般的な性能水準
3級	遮音性能上やや劣る	やむを得ない場合に許容される性能水準

まとめ

直張り床工法向けに、県産スギ材を用いた無垢の防音フローリング材の開発を試み、木材および緩衝材の条件を検討した。木材の条件として木材の性状(密度、節の有無、含水率)、板幅、溝加工による残り厚さ、および塗装の有無を、緩衝材の条件として厚さおよび目付を変

え、各条件における軽量床衝撃音レベル低減量を測定した。得られた結果は以下のとおりである。

- ①県内でフローリング材として一般的に流通している木材の密度 $0.39 \sim 0.45\text{g/cm}^3$ の範囲では、防音性能に大きな差は生じなかった。
- ②節がある木材でも、節がない木材と同等の防音性能を示した。
- ③含水率 13.5%と 18.0%で比較すると、含水率が低いほど、低減量は大きくなり防音性能が向上した。
- ④板厚さが 15mm と厚く、溝加工の効果が表れやすい場合において、板幅が小さいほど防音性能が向上する傾向が見られたが、板厚さが 10mm の場合では、板幅による防音性能の差はみられなかった。
- ⑤溝加工による残り厚さは、1.0~2.0mm の範囲では、残り厚さが小さいほど防音性能が向上する傾向が見られたが、1.8~2.2mm の狭い範囲では、低減量の差は小さかった。また、溝加工と緩衝材を併用することにより、防音性能は大きく向上することがわかった。
- ⑥ウレタン塗装、植物系オイル塗装、無塗装では低減量はほぼ同じ値を示し、塗装による木材の表層の違いは、今回の測定では影響がみられなかった。
- ⑦緩衝材は、厚さが増えると防音性能が向上し、目付が一定量を超えると防音性能が低減することがわかった。
- ⑧以上の試験結果ならびに加工性や寸法安定性等より選択した最適な条件（表1 試験(8)-1）で、JIS A 1440-1 による試験を行い、 Δ LL 等級で Δ LL-4 を示した。遮音等級では LL-45 を示し、これは日本建築学会が推奨する好ましい性能水準を満たした。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、試験施設、設備等の提供および測定にご協力下さった朝日ウッドテック株の榎本豪信氏、正木将平氏、試験材のご提供を頂きました株ホーテックの堀内嘉久氏、豊永林業株の中前徳明氏に厚く感謝致します。

引用文献

- 1) 朝日ウッドテック株カタログ
<https://www.woodtec.co.jp>
- 2) 中岡正典, 吉永亨: 県産スギによる集合住宅向け防音床の開発. 徳島県立工業技術センター研究報告, 15, 19-24 (2006) .

- 3) 財団法人日本建築総合試験所: 「床材の床衝撃音低減性能の表現方法に関する検討委員会」報告書, 9-10 (2008)
- 4) 日本建築学会: “3 測定方法”. 建築物の遮音性能基準と設計指針. 第二版, 東京, 技報堂出版, 2014, 7-8.

(2020年3月25日 受理)