

県産材を活用した乾式遮音二重床の開発

Development of Dry Sound Insulating Double Floor Utilizing Woody Building Material Produced in the Prefecture

中岡 正典*¹, 坂田 和則*¹, 笹山 鉄也*²

Masanori Nakaoka, Kazunori Sakata and Tetsuya Sasayama

抄 録

乾式二重床について、既存製品の支持脚と際根太を用い、床仕上げ材に材厚 15mm のエンドマッチ仕様の本実スギ板を用いた条件で、床衝撃音レベル低減量の ΔL 等級が $\Delta LL(II)-3$ および $\Delta LH(II)-2$ を満たす仕様を検討した。床パネルに県産のスギ合板や MDF を使用し、また音響材料として遮音マットや支持脚間にグラスウールを施工するなど、仕様の異なる 9 種類の床を試作し、床衝撃音レベル低減量を測定した。その結果、床パネルに材厚 12mm のスギ合板と材厚 21mm の MDF で積層した床や、床パネルに材厚 28mm のスギ合板を用いつつ支持脚間にグラスウールを施工した床など、合計 5 種類の床で目標値を達成することができた。

1 はじめに

県産木材を多用した民家型木造住宅は、一定の顧客層に支持されているものの、今後さらに需要を拡大するには、集合住宅向けの製品開発と販路拡大が急務である。しかし、集合住宅では階下への騒音被害を防止するため、床材には一定の遮音性能が求められる。

RC 構造の集合住宅でコンクリートスラブの上に施工する床仕上げ構造は、直張り工法と乾式二重床工法に大別されるが、床仕上げ材に単層の無垢板を用いる場合、前者の工法では要求される床衝撃音レベル低減量を満たすことは困難で、必然的に後者の工法が対象となる。また一般的に、集合住宅の床仕上げ材に針葉樹の無垢板を採用した実施例は稀で、床衝撃音レベル低減量の実測例も少ない。

そこで本研究では、際根太と支持脚に既存の製品を使用して乾式二重床工法を踏襲しつつ、床表面に県産スギの本実スギ板、そして下層の床パネルに県産の針葉樹合板や MDF を使用した条件で、一般的な集合住宅で採用されている床衝撃音の低減性能（軽量床衝撃音レベル低減量で ΔL 等級¹⁾ の $\Delta LL(II)-3$ 、重量床衝撃音レベル低減量で $\Delta LH(II)-2$ ）を満たす仕様を検討した。

2 方法

2・1 音響測定室の仕様

床衝撃音レベル低減量の測定に際しては、徳島県立農林水産総合技術支援センターの木材利用創造セ



図1 木材利用創造センターの音響測定施設



図2 2階の床に乾式二重床を施工した様子

*1 生活科学担当、*2 東部農林水産局林業振興担当

ンター内に設けられた床衝撃音測定用音響測定室
 (壁式鉄筋コンクリート造, 1階受音室の内寸: 縦
 3620mm×横 2700mm×高さ 3000mm, 容積: 29.3m³,
 2階床のスラブ厚 150mm) (図 1) を用い, 2階のコン
 クリートスラブ (縦 3600mm×横 2700mm) の上
 に, 3辺が壁に隣接するよう約 4.5 畳の面積に乾式二
 重床を施工した (図 2).

ここで, 1階の受音室の容積や 2階床における施
 工面積は, JIS に規定されている条件を満たしてい
 ない. そこで, 目標とする等級 ($\Delta LL(\text{II})-3$ および
 $\Delta LH(\text{II})-2$) を満たす既存製品 (試験体 1) につい
 て, 床衝撃音レベル低減量を同施設で測定し, その
 測定値との比較により, 試作した床の測定値が目標
 等級を満足しているか判断することにした.

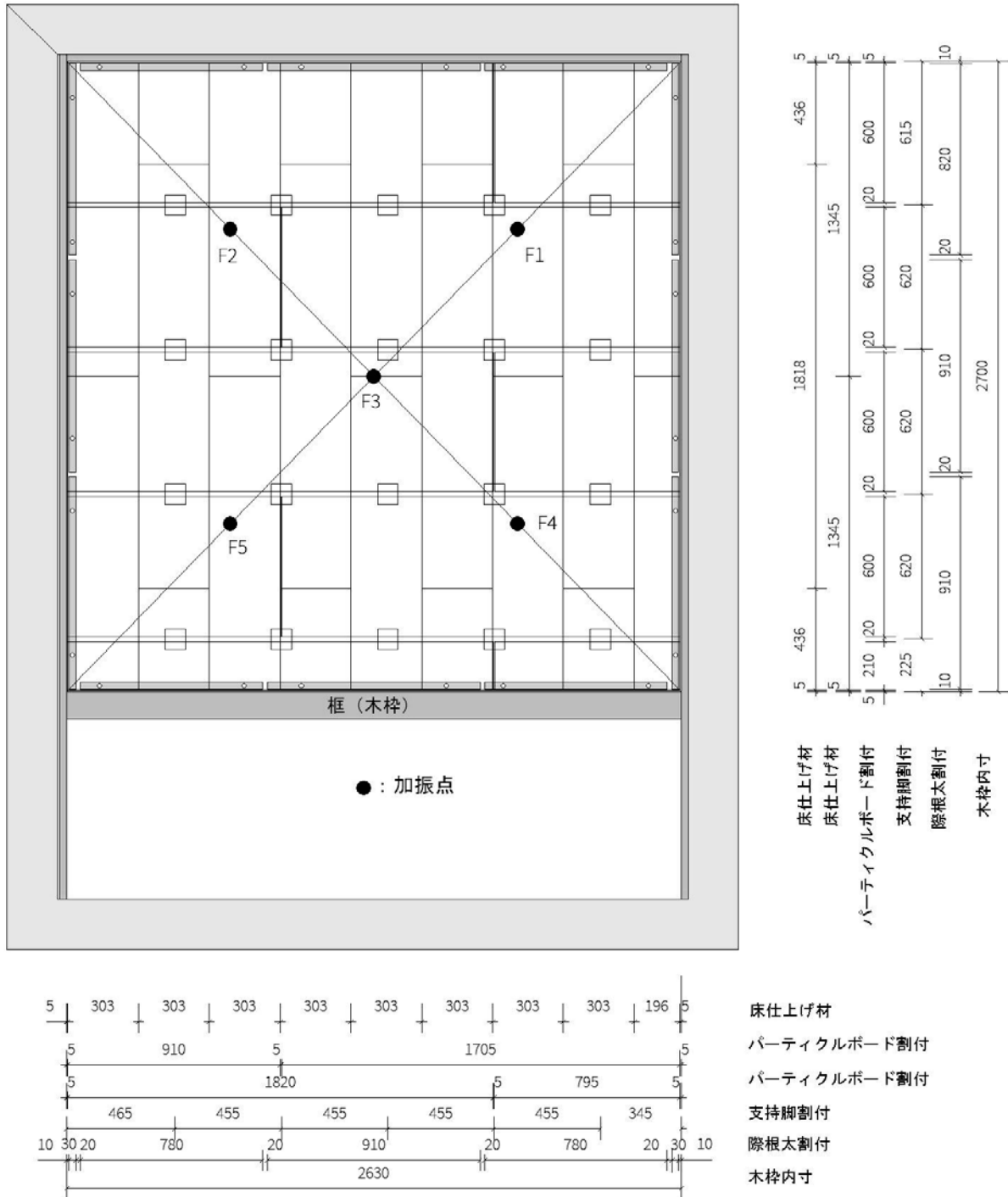


図 3 試験体 1 の平面図

2・2 乾式二重床の共通仕様

比較の対象とした試験体1の床の図面を図3と図4に示す。際根太と支持脚で支えられた床パネルや床仕上げ材は壁面から5mm（際根太は10mm）離して施工され、また幅木と床仕上げ材の間も2mm離

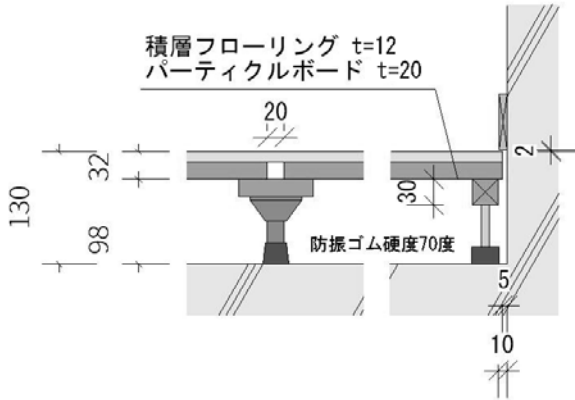


図4 試験体1の断面図

されている。これにより、床仕上げ構造が躯体と接しているのは、際根太と支持脚のそれぞれの底部の防振ゴムのみで、床衝撃音の固体伝搬音が壁から下階に伝わらないよう配慮されている。これらの仕様は、後述のその他の試作した床についても同様とした。

なお、試験体1の床仕上げ材の下に遮音マットが施工され、目標より1ランク上の等級（ $\Delta LL(II)-4$ および $\Delta LH(II)-3$ ）を満たす既存の製品（試験体6）も、参考までに比較対象として追加した。

2・3 各試験体の仕様

図5に試作した床の断面図の一覧を示す。いずれも、際根太（断面は30mm角）や支持脚（いずれも底部に硬度70度の防振ゴム）は試験体1と共通である。試験体1と6は、前述のとおり ΔL 等級が既知の床で、いずれも床仕上げ材に材厚12mmの積層フ

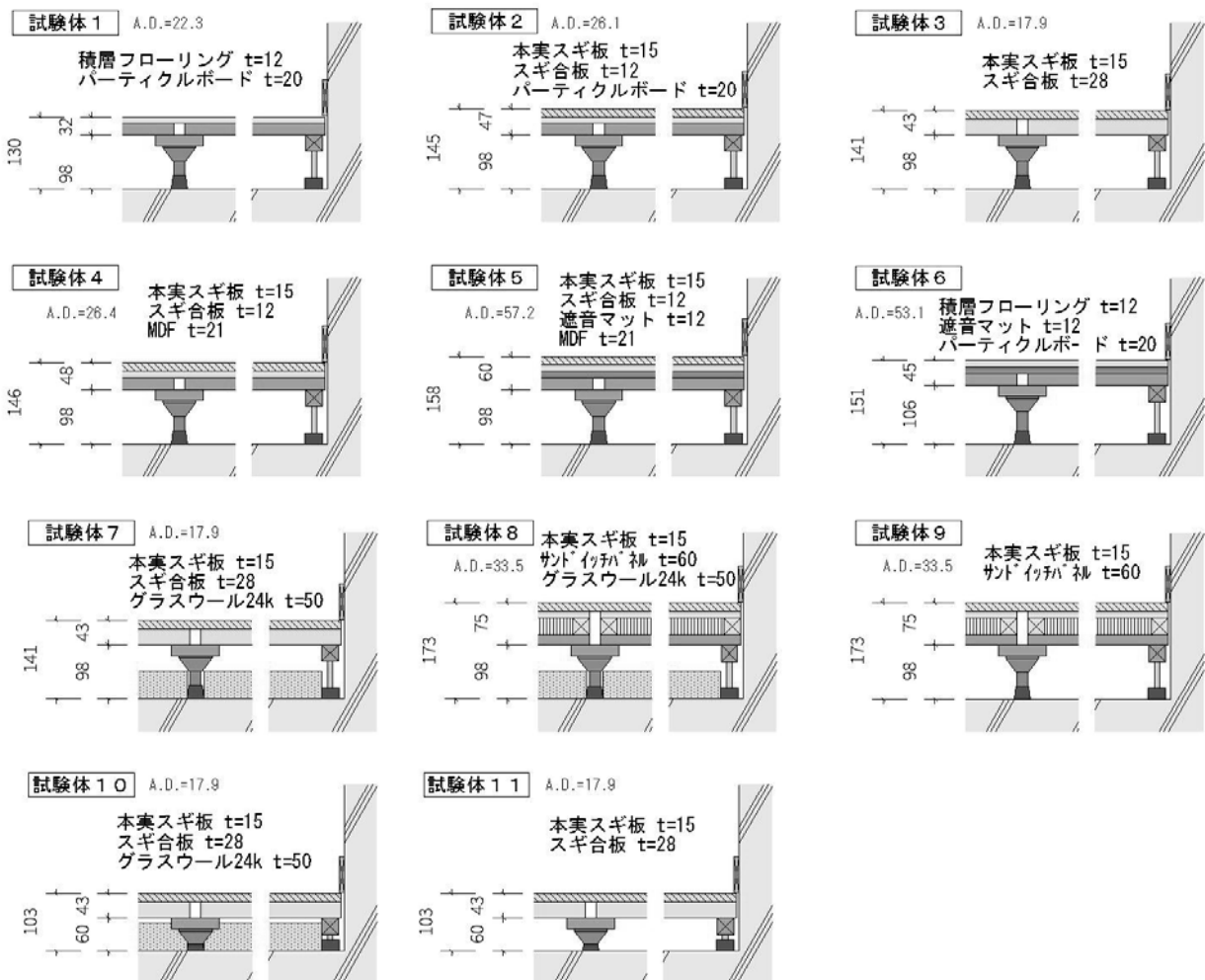


図5 試験体の断面図の一覧

ローリングが用いられている。その他の試作した床は全て床仕上げ材にエンドマッチ仕様で本実加工が施された材厚 15mm の県産スギ板を用いた。

床パネルには、県産の下地材として(株)日新のスギ合板(全層スギで4プライの材厚 12mm あるいは9プライの材厚 28mm) (試験体 2・3・4・5・7・10・11) や、エヌ・アンド・イー(株)の材厚 21mm のMDF (試験体 4・5) を使用した。

その他に、床衝撃音の低減性能をさらに高める手段として、試験体 5 では遮音マット(面密度: 30.8kg/m²) (試験体 6 で用いた製品と同じ) や、支持脚間にグラスウール(密度 24kg/m³ で材厚 50mm) を敷き詰めた仕様(試験体 7・8・10) も用意した。

試験体 8 と 9 には、質量と曲げ剛性が大きいサンドイッチパネルの使用を試みた(図 6)。このパネルは、表裏に材厚 12mm のスギ合板と材厚 18mm のMDF を有し、間に材厚 30mm のペーパーハニカムコア(新日本フェザーコア製フェザーコア F-R, セルサイズ 10.5mm, 中芯原紙) を挟んで、酢酸ビニル樹脂系エマルジョン接着剤(コニシ製 CH18) を塗布して圧縮接着したサンドイッチ構造となっている。

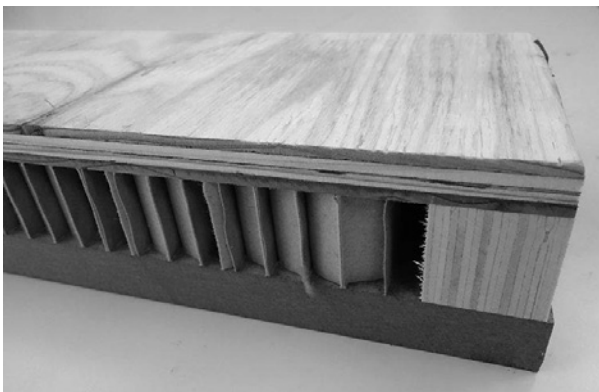


図 6 サンドイッチパネルの断面

表 1 各板材の寸法と面密度

板材の種類	材厚 [mm]	幅 [mm]	長さ [mm]	面密度 [kg/m ²]
積層フローリング	12	300	1820	7.4
パーティクルボード	20	600	1820	14.9
県産の本実スギ板	15	145	1820	6.1
県産のスギ合板	12	910	1820	5.2
県産のスギ合板	28	600	1820	11.9
県産のMDF	21	600	1820	15.2
遮音マット	12	455	910	30.8
サンドイッチパネル	60	600	1820	22.3

ハニカムコア層には、外周 4 辺とパネルの長手方向を 3 等分する位置に、断面が 30mm 角の LVL (ポプラ製) を芯材として配置した。

試験体 10 と 11 は、試験体 7 と 3 の床懐を低くして低床化した仕様である。

床の試作に使用した各種板材の寸法と面密度の実測値を表 1 に示す。また図 5 の各断面図には、試験体の板材部分の面密度 (A.D.) の合計値を、参考までに併記した。

2・4 床仕上げ材と床パネルの固定方法

床仕上げ材の固定方法は、実部分から床パネルに釘打ちで固定するのが本来の方法であるが、本研究では資材を使い回して使用したため、解体し易いように実に近い部分の床仕上げ材の表面から、約 450mm ピッチで木ネジにより固定した。床パネルは、支持脚のある部分の全て(約 455mm~600mm ピッチ)と、床パネルが 2 層の場合は上側のパネルを約 450mm ピッチで木ネジにより固定した。

2・5 床衝撃音レベル低減量の測定方法

床衝撃音レベル低減量の測定方法は、1 階の受音

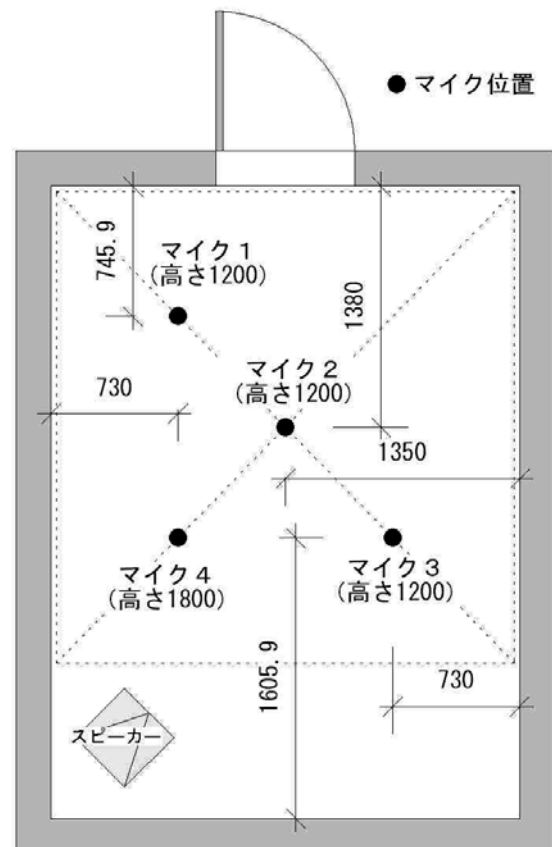


図 7 受音室のマイク及びスピーカ配置

室の容積や 2 階床の施工面積などの違いを除いて、
「JIS A 1440-1 (および 1440-2) :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」に従った。衝撃源は、軽量床衝撃源はタッピングマシン FI-01 (リオン株式会社), そして重量床衝撃源には衝撃力特性(1)の BANG MACHINE-T 型(サツキ機材株式会社)を使用した。加振点は図 3 に示すとおり, 床中央と対角線を 4 等分した 4 点の合計 5 点とした。マイクロホンは図 7 に示すとおり受音室に 4 点配置した。測定室の断面図は図 8 のとおりである。

軽量床衝撃音レベル低減量の測定に際しては, 基準化床衝撃音レベル低減量を求めるため, 受音室の残響時間を測定した。このとき, 1 階受音室内に吸音体を設置し, 各測定周波数帯域で残響時間が約 2 秒以内に収まるよう配慮した。

3 結果および考察

3・1 レベル低減量の目標値の決定

2・1 項で述べたとおり, 本研究では目標の ΔL 等級を満足する既存の床について, 木材利用創造センターで床衝撃音レベル低減量を測定し, 試作した床のレベル低減量はその測定値を上回った場合に, 目標の ΔL 等級を満足すると判断した。

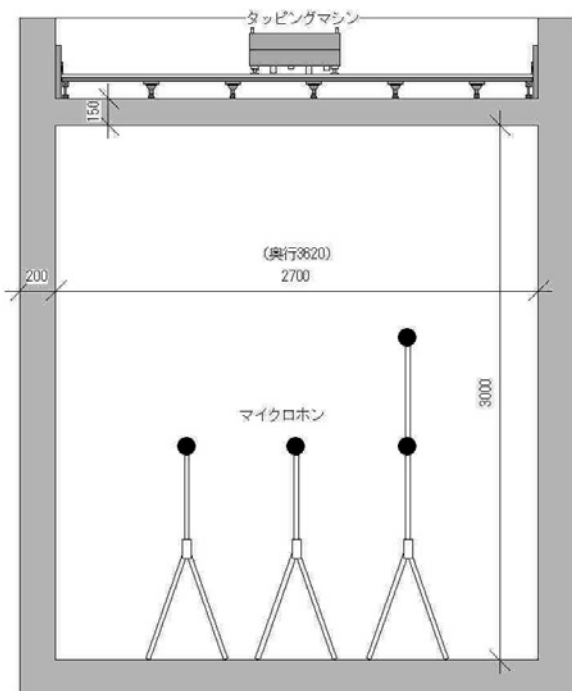


図 8 測定室の断面図

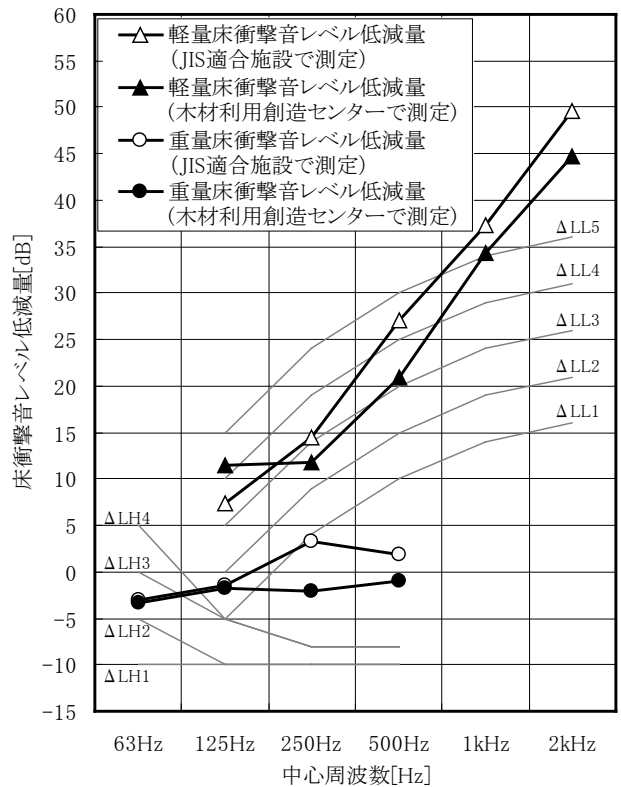


図 9 試験室の違いによるレベル低減量の比較
(試験体 1 : $\Delta LL(\text{II})-3 \cdot \Delta LH(\text{II})-2$ 等級の場合)

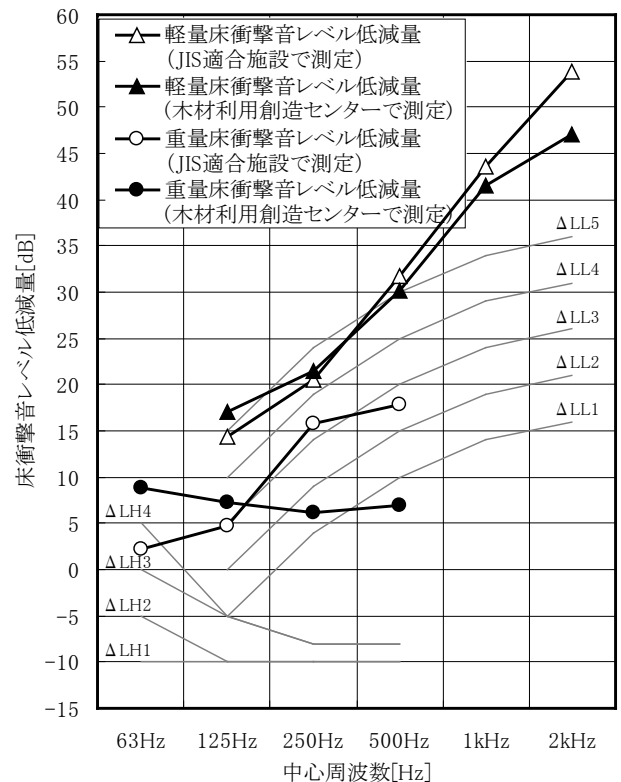


図 10 試験室の違いによるレベル低減量の比較
(試験体 6 : $\Delta LL(\text{II})-4 \cdot \Delta LH(\text{II})-3$ 等級の場合)

そこで、まず目標となる低減量を明確にするため、試験体1(ΔLL(Ⅱ)-3 およびΔLH(Ⅱ)-2 等級を満たす既存製品の床)と、参考までに1ランク上の等級を満たす試験体6(ΔLL(Ⅱ)-4 およびΔLH(Ⅱ)-3 等級を満たす既存製品の床)について、床衝撃音レベル低減量を測定した。その結果を図9と図10に示す。図中には、比較のためJIS 適合施設で測定されたレベル低減量の測定値も併記した。図からわかるとおり、重量および軽量床衝撃音レベル低減量のいずれにおいても両者の測定値に差が生じ、受音室の容積や施工面積の影響が生じていることがわかる。

よって、試作した床の床衝撃音レベル低減量が目

表2 床衝撃音レベル低減量の測定結果

中心周波数[Hz]		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
試験体1(既製品) (ΔLL3・ΔLH2)	軽量	13.0	11.5	11.8	20.9	34.3	44.8	53.2
	重量	-3.4	-1.8	-2.1	-1.0	5.2	8.4	11.4
試験体2	軽量	14.3	11.6	14.1	24.5	38.5	47.5	55.2
	重量	-2.8	-1.4	-5.3	0.7	6.1	9.2	13.4
試験体3	軽量	9.8	13.5	13.5	24.0	36.8	45.4	53.3
	重量	-3.8	-2.1	-3.9	-1.2	6.5	9.9	13.0
試験体4	軽量	13.3	12.9	13.8	24.8	40.1	47.5	54.7
	重量	-1.2	0.9	1.3	0.9	7.8	10.8	14.4
試験体5	軽量	16.4	18.3	20.7	31.2	43.1	49.2	55.8
	重量	7.4	5.4	6.3	6.4	14.2	16.8	19.3
試験体6(既製品) (ΔLL4・ΔLH3)	軽量	16.1	17.0	21.6	30.1	41.5	47.1	52.6
	重量	8.9	7.2	6.2	6.9	13.5	14.9	15.3
試験体7	軽量	12.3	14.5	16.5	23.5	37.6	48.1	54.7
	重量	1.1	4.0	2.3	6.0	12.8	15.3	17.8
試験体8	軽量	6.1	16.0	17.4	25.8	37.2	46.5	52.9
	重量	5.1	8.5	10.1	10.5	13.9	13.8	16.7
試験体9	軽量	6.5	13.7	15.1	24.9	34.8	38.5	43.8
	重量	3.9	6.6	7.0	7.9	11.5	7.0	7.0
試験体10	軽量	10.8	11.5	13.8	23.5	36.6	47.6	53.8
	重量	1.7	7.6	7.1	5.8	10.4	15.3	17.3
試験体11	軽量	11.6	8.4	10.7	22.7	35.8	46.9	53.0
	重量	4.3	1.2	2.4	2.6	8.5	12.8	15.8

表3 比較対象とした試験体1に対する試作した床の床衝撃音レベル低減量の差および目標達成の判定

中心周波数[Hz]		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	平均値	判定
試験体2	軽量	0.0	2.2	3.6	4.1	2.7	2.5	2.5	○
	重量	0.6	0.4	-3.2	1.8			-0.1	×
試験体3	軽量	2.0	1.7	3.1	2.4	0.6	2.0	2.0	○
	重量	-0.4	-0.3	-1.8	-0.2			-0.7	×
試験体4	軽量	1.4	2.0	3.9	5.8	2.8	3.2	3.2	○
	重量	2.2	2.7	3.4	1.9			2.5	○
試験体5	軽量	6.8	8.9	10.3	8.8	4.4	7.8	7.8	○
	重量	10.8	7.3	8.4	7.4			8.5	○
試験体7	軽量	3.0	4.7	2.6	3.3	3.4	3.4	3.4	○
	重量	4.5	5.8	4.4	7.0			5.4	○
試験体8	軽量	4.5	5.6	4.9	2.9	1.7	3.9	3.9	○
	重量	8.5	10.3	12.2	11.5			10.6	○
試験体9	軽量	2.1	3.3	4.0	0.5	-6.2	0.7	0.7	×
	重量	7.3	8.4	9.1	9.0			8.4	○
試験体10	軽量	0.0	2.0	2.6	2.2	2.9	1.9	1.9	○
	重量	5.1	9.4	9.2	6.8			7.6	○
試験体11	軽量		-3.2	-1.2	1.8	1.5	2.1	0.2	×
	重量	7.8	3.0	4.5	3.6			4.7	○

○:各測定周波数において、試験体1のレベル低減量を上回り、目標を達成したことが推察される。
 ×:各測定周波数において、試験体1のレベル低減量を下回り、目標を達成していないことが推察される

標の性能を満足しているかどうかは、図9の▲印の低減量(軽量床衝撃音レベル低減量)と●印の低減量(重量床衝撃音レベル低減量)を判断基準とし、それらの値を各測定周波数で上回った場合に、目標を達成したと判定することにした。

3・2 床衝撃音レベル低減量の測定結果

比較対象とした既存の乾式二重床(試験体1・6)と、その他の試作した床について、床衝撃音レベル低減量を測定した結果を表2に示す。

また、試作した床(試験体1・6以外)について、等級の判定対象となる周波数範囲、すなわち軽量床衝撃音の125Hz~2kHz、そして重量床衝撃音の63Hz~500Hzの範囲で、判定基準とした試験体1のレベル低減量と比較した結果を表3に示す。この結果から、試作した床のうち軽量および重量床衝撃音レベル低減量のいずれの目標値も上回ったのは、試験体4・5・7・8・10の5タイプであったことがわかる。

以降は、様々な視点で試験体をピックアップし、比較して考察を深める。

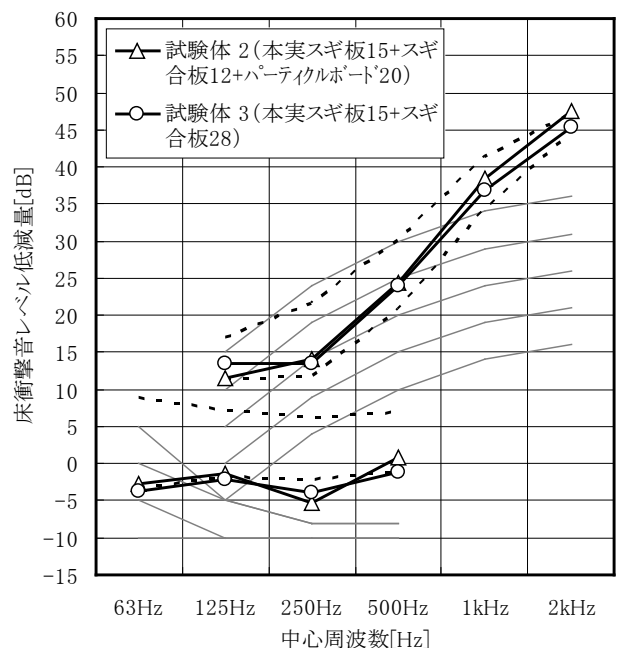
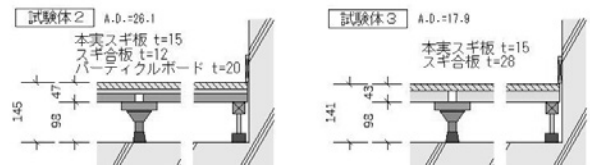


図11 床仕上げ材と床パネルに本実スギ板とスギ合板を使用した場合の比較

3・3 床パネルを県産材に変更した場合の比較

目標の判定基準とした試験体1では、床仕上げ材に材厚12mmの積層フローリング、そして下層の床パネルに材厚20mmのパーティクルボードが用いられている。ここで、床仕上げ材を本実スギ板に変更する場合、反り対策が必要になるため、スギ板を釘で固定する対象となる床パネルは、合板などの釘の保持力が高い材料を用いる必要がある。そこで、試験体2では床仕上げ材の本実スギ板とパーティクルボードの間に材厚12mmの県産スギ合板を使用した。

次に試験体3では、試験体1と同様に床パネルを1枚にして簡素化するため、試験体2のパーティクルボードを除き、代わりにスギ合板の材厚を28mmに増して一定の質量と曲げ剛性を確保した。

これらについて、試験体1の床衝撃音レベル低減量と比較した結果を図11に示す。ここで、図中の破線は、軽量(125Hz~2000Hz)および重量床衝撃音レベル低減量(63Hz~500Hz)のそれぞれについて、下側の破線が目標となる試験体1の測定値、そして上側の破線が目標より1ランク上の試験体6の測定値を示している。

結果は、いずれの試験体とも軽量床衝撃音では目標を上回ったが、重量床衝撃音では目標を下回った。ただし、特に試験体2については、250Hz帯域で3.2dB目標を下回っただけで(表3を参照)、また図9の同周波数帯域における○印の値と△LH(II)-2の等級線との間には13.2dBの隔たりがあり余裕があるため、実際にJIS適合施設で測定を実施した場合、目標等級を達成できる可能性は高いと思われる。

3・4 床パネルをパーティクルボードからMDFに変更した場合の比較

試験体2で使用した材厚20mmのパーティクルボード(面密度14.9kg/m²)を材厚21mmの県産MDF(面密度15.2kg/m²)に変更し(試験体4)、両者のレベル低減量を比較した(図12)。結果は、MDFを使用した試験体4は、重量床衝撃音で250Hz帯域の落ち込みが改善され、目標を上回ることができた。

3・5 遮音マットを加えた場合の効果

目標を満足した試験体4について、さらに低減量を増加させる手段として、床パネルのスギ合板とMDFの間に遮音マット(面密度30.8kg/m²)を加えた場合(試験体5)の効果を検証した(図13)。

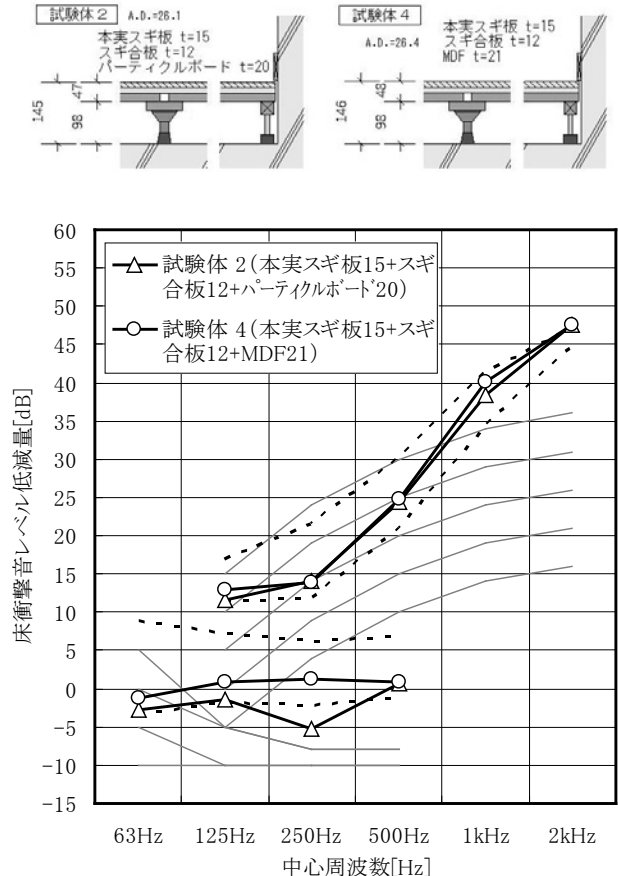


図12 床パネルのパーティクルボードとMDFの比較

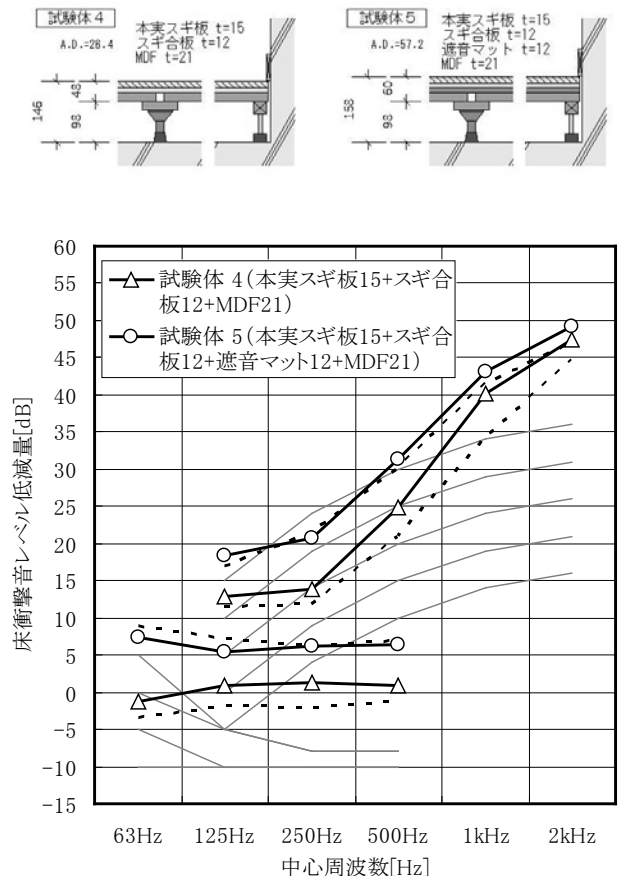


図13 遮音マットの効果

結果は、軽量および重量床衝撃音で、それぞれ 4.7dB と 5.9dB の大幅な低減量の増加が認められ、バランスの良い対策方法であることが確認できた。

一方、目標より 1 ランク上の試験体 6 の測定値(図中の上側の破線)との比較では、軽量床衝撃音の 250Hz で 0.9dB, そして重量床衝撃音の 63Hz・125Hz・500Hz の各帯域で 1.5dB・1.8dB・0.5dB 下回った。しかし、極端な落ち込みが生じた周波数帯域が無く、また試験体 6 の測定値との差も僅かであるため、JIS 適合施設における測定では、 $\Delta LL(II)-4$ と $\Delta LH(II)-3$ を満たす可能性が高いと思われる。

3・6 グラスウールを加えた場合の効果

乾式二重床では、レベル低減量を向上させる手段として、しばしば支持脚間にグラスウールを敷き詰める方法が用いられる。そこで、本研究でも試験体 3・9・11 について、支持脚間にグラスウールの施工した試験体を用意し(試験体 7・8・10)、その効果を検証した(図 14・15・16)。

まず試験体 3 については、重量床衝撃音で目標値に到達していなかったが、グラスウールの追加により、レベル低減量が平均で 6.1dB 改善し、目標値を

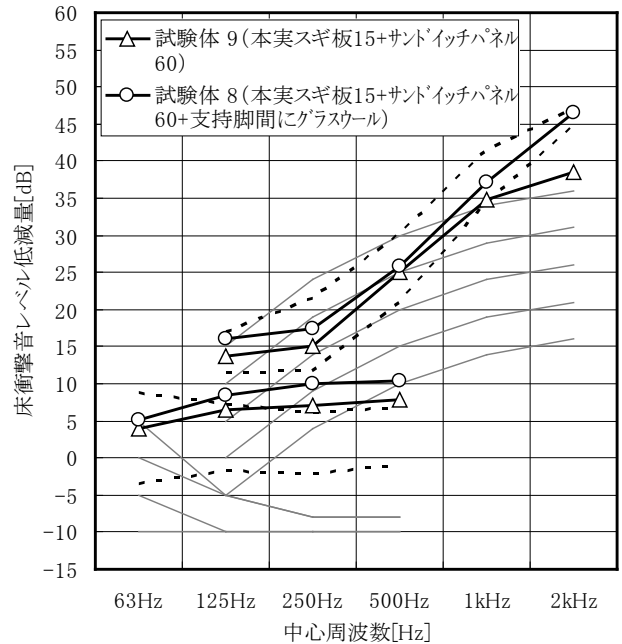
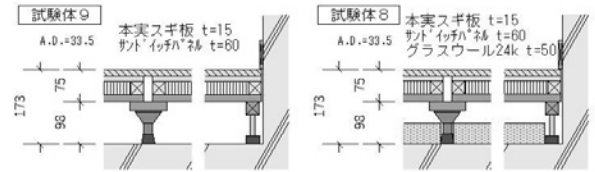


図 15 グラスウールの追加による効果(その 2)

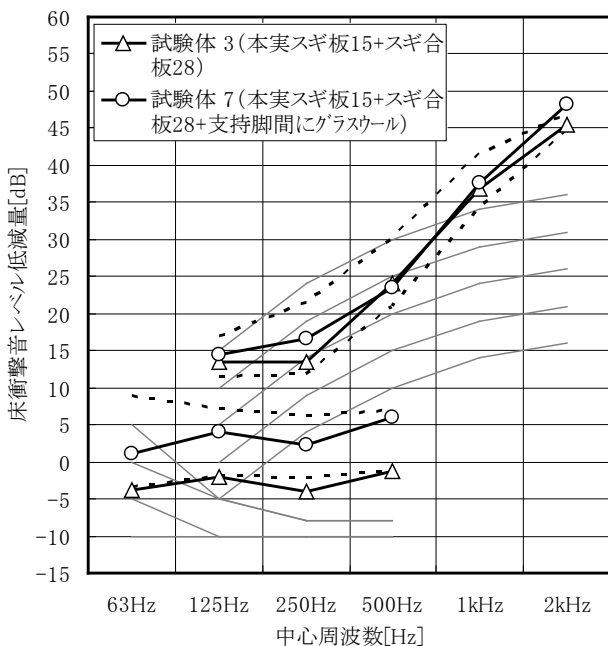
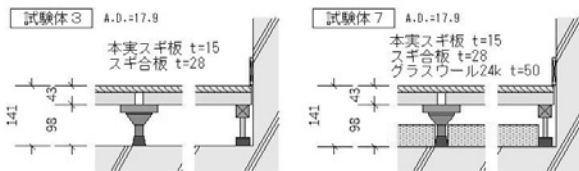


図 14 グラスウールの追加による効果(その 1)

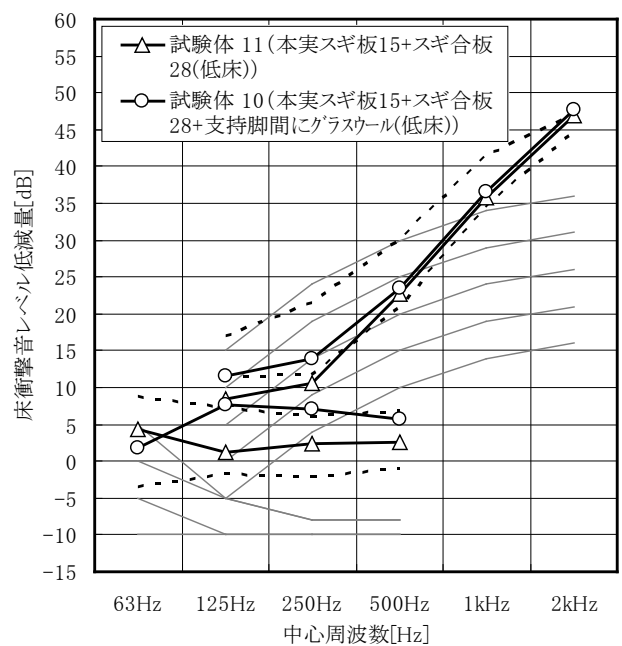
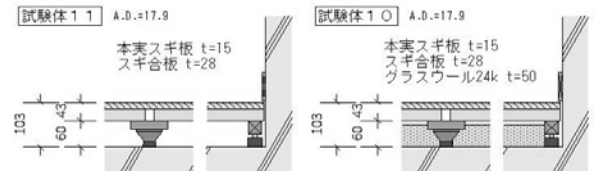


図 16 グラスウールの追加による効果(その 3)

大きく上回った (図 14)。

次に、サンドイッチパネルを使用した試験体 9 では、軽量床衝撃音の 2kHz 帯域で目標値に達しなかったが、グラスウールの施工により目標値を上回った (図 15)。ただし、軽量および重量床衝撃音でそれぞれ平均して 3.2dB と 2.2dB の改善で、試験体 3 の重量床衝撃音ほどの改善量は得られなかった。

床懐の低い低床タイプの試験体 11 については、軽量床衝撃音で目標値に達していなかったが、グラスウールの施工により、特に 125Hz と 250Hz の周波数帯域で低減量が改善し目標値を上回った (図 16)。

以上の 3 つのグラフ (図 14・15・16) から総合的に考察すると、本研究の条件下では軽量床衝撃音はグラスウールの施工による改善量が小さく、重量床衝撃音では床の質量が小さく曲げ剛性の低い床で改善量が大きくなる傾向があることがわかった。

3・7 サンドイッチパネルの効果

試験体 4 の 2 層の床パネル (材厚 12mm のスギ合板と材厚 21mm の MDF) の間に、材厚 30mm の LVL の芯材とペーパーハニカムコアを挟んで一体化したのが試験体 9 で (ただし MDF は材厚を 21mm から

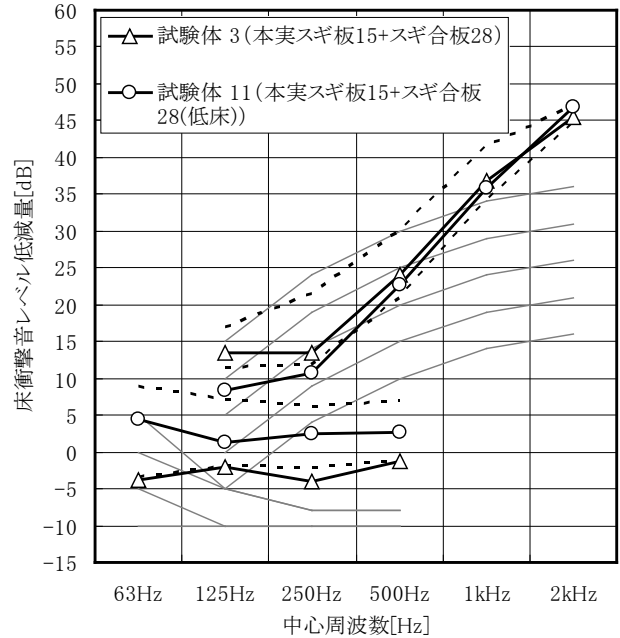
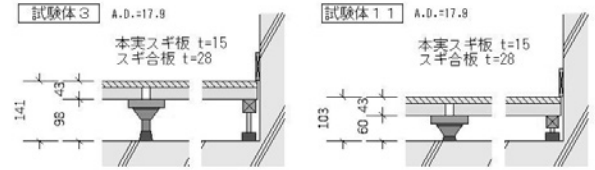


図 18 低床化した場合の効果 (その 1)

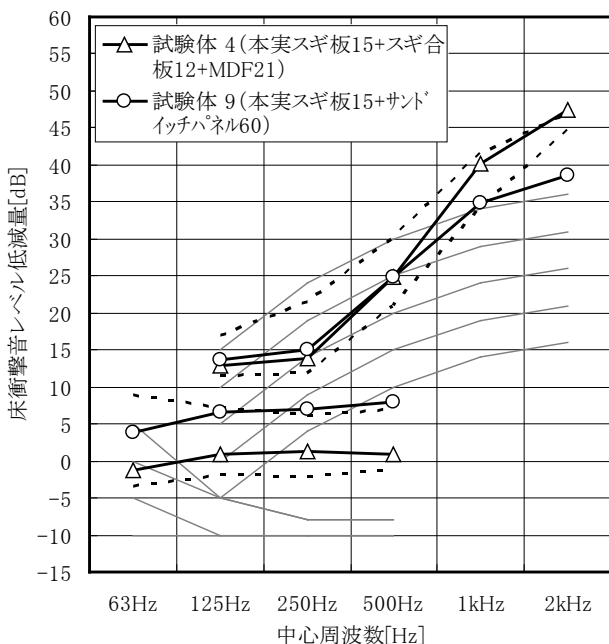
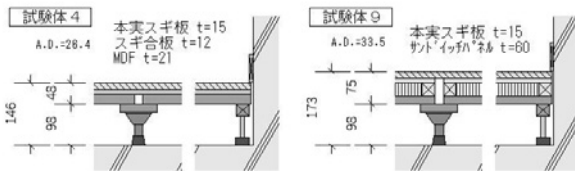


図 17 サンドイッチパネルを使用した場合の効果

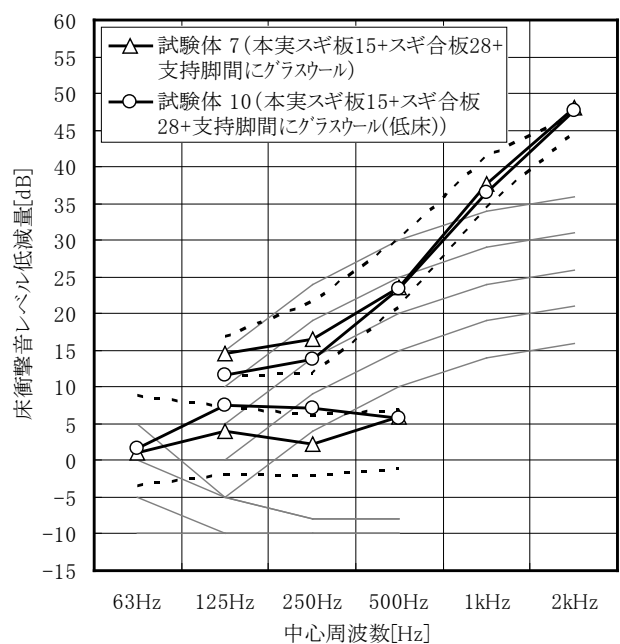
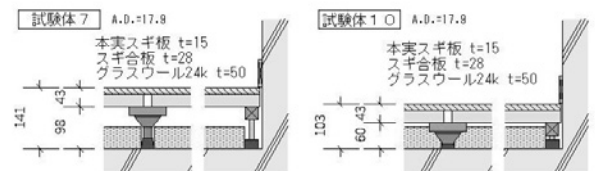


図 19 低床化した場合の効果 (その 2)

18mmに変更),床パネルの曲げ剛性を増した際の効果を検証した(図17).

結果は,重量床衝撃音はレベル低減量が平均で5.9dB改善したが,軽量床衝撃音では特に1kHzと2kHzの高周波帯域で悪化し,目標値を下回った.等級が決まる決定周波数はさらに低い周波数帯域なので,JIS適合施設で測定した場合の影響はほぼ無いと思われるが,サンドイッチパネルはペーパーハニカムコアやLVLなどの材料費の追加に加え,事前にプレスを使った圧縮など,余分なコストがかかるため,費用対効果の面で現実的な方法でないと思われる.

軽量床衝撃音でレベル低減量が悪化したしたのは,パネル全面にペーパーハニカムコアを挟んだことで,サウンドブリッジが生じたことが原因と思われる.以前に実施したハニカムサンドイッチ構造の研究²⁾では,木製フラッシュパネルの内部にペーパーハニカムコアを内蔵することで,中高音域で音響透過損失が著しく低下したが,これと同様の現象が起きていると思われる.

3・8 床懐を低くし低床化した場合の影響

乾式二重床では,開口部や天井高との関係から床の高さを低く抑えざるをえないケースがある.そこで簡素な構成の試験体3と支持脚間にグラスウールを施工した試験体7について,それぞれ床懐を30mm低くした試験体11と10を用意し,低床化の影響を検証した(図18・19).

結果は,いずれのケースでも軽量床衝撃音の低周波域(125Hz~250Hz)で低減量が悪化した.一方,重量床衝撃音では,それぞれ平均して5.4dBと2.2dBの低減量の改善が認められ,特に質量と曲げ剛性の低い試験体11で改善量が大きかった.

4. まとめ

材厚15mmの県産スギ板を床仕上げ材として用い,また床パネルで県産のスギ合板やMDFを用いる条

件で,軽量床衝撃音で ΔL 等級の $\Delta LL(II)$ -3,そして重量床衝撃音で $\Delta LH(II)$ -2のレベル低減量を満足する乾式二重床の仕様を検討した.

仕様の異なる9種類の床を試作し,床衝撃音レベル低減量を測定した結果,床パネルに材厚12mmのスギ合板と材厚21mmのMDFで積層した床や,床パネルに材厚28mmのスギ合板を用いつつ支持脚間にグラスウールを施工した床など,合計5種類の床で目標値の達成を推察できることがわかった.

また,レベル低減量をさらに改善する手段として,音響材料を追加した場合の効果を検証した.その結果,遮音マットについては,軽量および重量床衝撃音のいずれにおいても約5dBの低減量の改善が認められ,バランスの良い材料であることが確かめられた.また,支持脚間にグラスウールを追加する方法は,特に質量が小さく曲げ剛性が低い試験体で,重量床衝撃音の改善量が大きくなる傾向を示した.

床懐を低くして低床化した場合の影響は,本研究の条件下では,低周波帯域で軽量床衝撃音のレベル低減量が若干悪化し,重量床衝撃音では質量と曲げ剛性の低い試験体で約5dBの改善が得られた.

謝辞

試験体の乾式二重床を試作するにあたり,多大な御協力を賜りました那賀川すぎ共販協同組合に対し,この場を借りてお礼申し上げます.

参考文献

1) (一財)日本建築総合試験所.音響試験—床材の床衝撃音低減性能の等級表記方法(ΔL 等級)について

http://www.gbrc.or.jp/contents/test_research/acoustic/sound03.html

2) 中岡正典.ハニカムフラッシュ構造の音響特性について.徳島県立工業技術センター研究報告.2013, vol.22, p.17-22.