

無垢フローリングをRC構造住宅に用いる際の床衝撃音対策に関する研究

中 岡 正 典^{*}, 網 田 克 明^{**}

Masanori Nakaoka, Katsuaki Amita

抄 録

県産スギの無垢フローリングを対象として、RC構造住宅における軽量床衝撃音の低減方法について検討した。軽量床衝撃音の低減に効果があると思われる床仕上げ構造の検討や、音響材料との複合化を試みたところ、床表面の無垢木材にスギを使用し、遮音材料、吸音材料、防振材料などの音響材料を複合化した浮き床式根太工法において、軽量床衝撃音レベルの遮断性能でL45等級を満足する結果が得られた。

1 はじめに

近年、住宅内装材から有害化学物質が放散されることを原因とする室内化学汚染が問題視されている。特にホルムアルデヒドに関しては、施工面積が大きいフローリングや壁装材料の影響が大きいと言われている¹⁾。そのため、一部では無垢の木材を使用したフローリングを再認識する動きも出始めている。また、コーポラティブハウスの普及に見られるように、集合住宅のインテリアについても個人の嗜好を実現しやすい土壌が育ちつつあり、無垢フローリングの普及の追い風となっている。しかし、集合住宅では階下の住人へ騒音被害をもたらす床衝撃音への配慮が欠かせない。

床衝撃音はその特性から軽量床衝撃音と重量床衝撃音に分類されるが、特に軽量床衝撃音の低減については、床表面を衝撃緩衝性の高い材料で仕上げる方法が有効であることが確かめられており、市販の製品でも同様の対策が採られている²⁾。一方、無垢フローリングでは自然の素材感をアピールする製品の性格上、床表面に用いる無垢板には手を加えにくい。むしろ、無垢木材の下層において、振動の伝達特性を改善する支持形態の検討や、無垢材の厚みをはじめ様々な音響材料との複合化によって床衝撃音レベルの低減を図る必要がある。しかし、県産スギの無垢フローリングでは、この床衝撃音対策に対するノウハウの蓄積が少なく、課題になっていることから、本研究では無垢フローリングをRC構造の集合住宅に用いる際の床衝撃音対策について検討し

た。

尚、本研究ではコンクリートスラブに無垢フローリングを施工する際の仕上げ構造を対象とするため、スラブにその多くの性能を依存する重量床衝撃音については参考程度にとどめた。

2 実験方法

2・1 実験装置

本来、床仕上げ構造の性能を正しく評価するためには、JIS規格に基づいた50m³以上の容積を有する音響測定施設を用い、約10m²の面積に床を施工して測定を行う。しかし、大きな床の試作に伴う手間や測定施設までの搬送などを考えると、開発効率の面から不利である。そこで、多少の測定精度を犠牲にしても数多くの仕様について検証を行うために、RC構造に見立てた図1に示すようなコンクリート製の箱(以下、これを簡易音響試験装置と称する³⁾)を用意し、この上部に試作床を施工することでタッピングマシンの加振による軽量床衝撃音レベルの実験を行った。この実験装置によって得られた測定結果のグラフ化に際しては、簡易音響試験装置が測定規格を満たさないため、データを定量的に等級線と照らし合わせることは本来不適当である。しかし、いずれの周波数帯域を改善すべきなのか相対的な指針が求められる場合には、参考として等級線を併記した。

この簡易音響試験装置による実験を通して、一定の軽量床衝撃音レベルの低減が得られる仕様が選定された段階で、高知県工業技術センターに設置されているJIS準拠の音響実験施設(スラブ厚150mm)

^{*}生活科学課, ^{**}徳島県林業総合技術センター

に大型の試作床を持ち込み、最終の評価実験を行った。簡易音響試験装置と異なる測定条件は、部屋や床仕上げ面積の寸法の違いに加え、現場での施工条件を再現するために巾木を取り付けたこと、30mm厚のスギ板のタイプで600mmから666mm、15mm厚のスギ板で300mmから333mmへ根太配置のピッチを広げたこと、そしてスギ根太の断面を30mm角から40mm角に変更した点が異なっている。

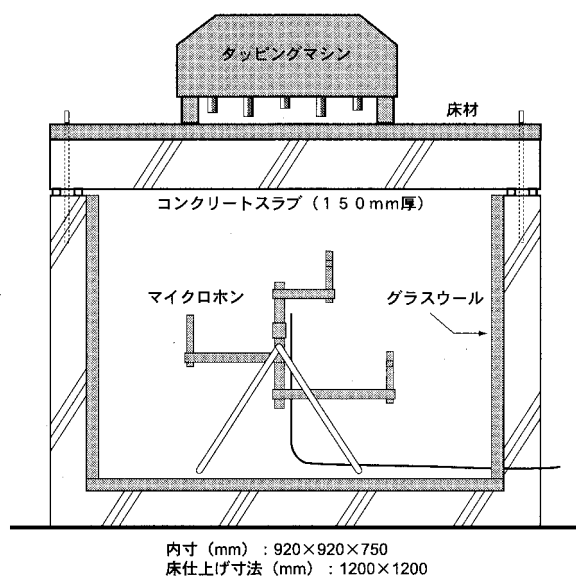


図1 簡易音響試験装置

2・2 試作床の仕様と構造

最近では、集合住宅などでも配管の容易さなどから、乾式二重床工法を積極的に採用するケースが見受けられる。しかし、リフォーム需要などにも対応しようとなると、既設の床のレベル高さや建具との収まりの関係から、総厚みを抑えた直張りタイプが理想的である。一方、本実加工を施した無垢木材を使う場合には、反り対策にも配慮する必要がある。接着剤を使わないで板を固定するには、実の部分から釘留めする必要がある。下層に捨て張り用の板を設けたり、根太を配した根太床工法の選択肢も考えられる。以上のような理由から、図2に示すような直張りを想定した仕様と、根太床工法を想定した仕様について実験を重ね、無垢フローリングにおける床衝撃音レベルの低減方法を模索した。図2では、直張り仕様の代表として面材で支持した例、根太床工法では遮音材、吸音材、点的な支持方法による防振材を複合化した事例を表している。ちなみに、ゴム系材料に限らず他の防振材においても、点的な支

持を行う際には、30mm厚のスギ板のタイプで600mmピッチ、15mm厚のスギ板で300mmピッチで防振支持している。

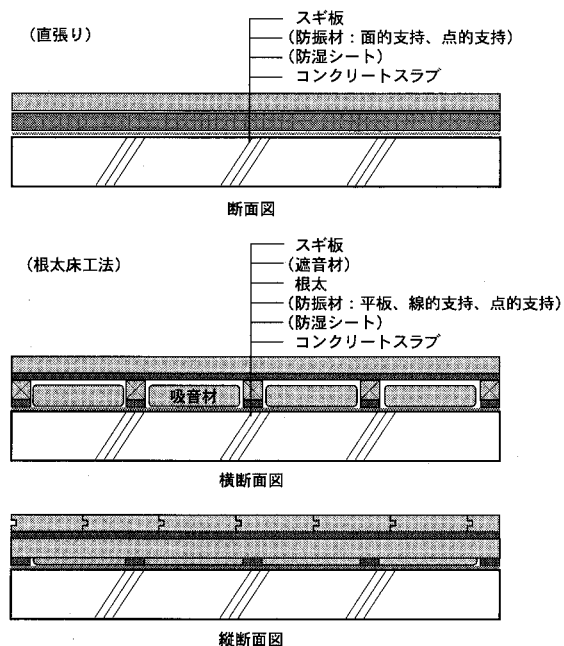


図2 試作床の仕様と構造

2・3 使用材料

無垢木材には、表面を熱圧ローラー処理によって表面硬度を増し本実加工を施したスギ板を使用した。板の厚みは15mm（幅160mm、面密度5.9kg/m²）のものと、30mm（幅190mm、面密度10.4kg/m²）の2種類を用意した。

根太は30mm角と40mm角の断面を有するスギを使用した。

遮音材料はアスファルト系と思われる4mm厚の遮音板（面密度7.3kg/m²）と8mm厚の遮音板（面密度18.9kg/m²）、9mm厚の石膏ボード（面密度6.6kg/m²）を使用した。

吸音材料は、50mm厚のグラスウール（24K）、40mm厚のポリエステル繊維マット（目付重量1.5kg/m²）、バークをほぐした繊維系材料、そして粉碎された粒径2mm程度の竹炭の使用を試みた。なお、バークと竹炭については、根太床工法において生じる空気層への充填を試みたが、その際の充填量は、それぞれ3.4kgと5.0kgであった。

防振材は、網目状の緩衝ネット、2mm厚の防湿シート（ポリエチレン系発泡体）、3mm厚のポリエステル繊維板（目付重量1kg/m²）、8mm厚のポリエステル繊維板（目付重量3kg/m²）、円柱状のク

ロクロレンゴム（直径29mm，厚さ12mm，硬度60Hs），円柱状のNBR発泡ゴム（直径29mm，厚み12mm，硬度40Hs），空気封入緩衝材，巾木の取り付けに際してはポリエチレン発泡緩衝材を使用した．なお，簡易音響試験装置で，根太床工法により30mm厚のスギ板を用いて1.2m角の広さに施工し，クロロレンゴムやNBR発泡ゴムで防振支持した事例では，600mmピッチで合計9個の円柱ゴムを使用した．その際に生じたたわみの変位は，1.2m角の床の自重に加え，人の荷重が加わった条件で，それぞれ0.8mm～2.0mm，3.6mm～4.1mm程度の大きさであった．

3 結果及び考察

3・1 簡易音響試験装置による直張り工法の評価

3・1・1 市販の直張りフローリングとの比較

スラブ素面に比較して，市販のフローリング材(L45等級)では，特に中高音域においてレベルの改善が著しい．(図3)一方，スギ板では，いずれの厚みの材でも1kHz以上の周波数帯域で若干の改善が認められるものの，250Hzから1kHz帯域では殆ど改善が見られない．市販のフローリング材とのレベル差は，周波数によっては40dB近い開きがあり，有効な対策が必要であることがわかる．

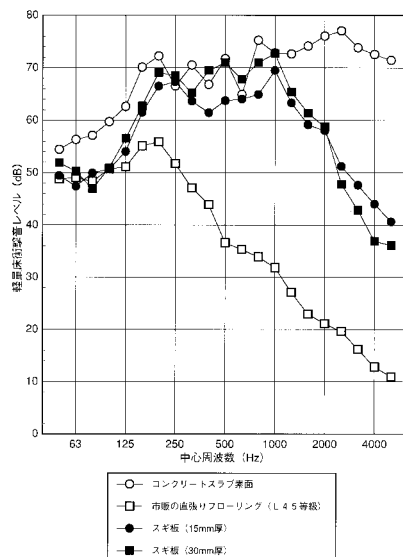


図3 直張りフローリングとの比較

3・1・2 溝切り間隔および溝切り深さの効果

30mm厚のスギ板裏面に，長手方向に対して幅3mmの溝を20mmの深さで等間隔に加工し，軽量床衝撃音レベルの比較を行った．(図4) 溝切り間隔

が狭くなるにつれて，315Hz以上の周波数帯域でレベル差が認められ，最大で10dB程度の低減量が得られている．しかし，市販の直張りフローリングとの差は大きく，溝切りだけでは対策が十分でないことがわかる．また，溝切りの深さを増した場合にも同様の傾向が見られる．(図5) 共に，溝切りによって床仕上げ断面の剛性を低下させることが，軽量床衝撃音レベルの低減に寄与することを示している．

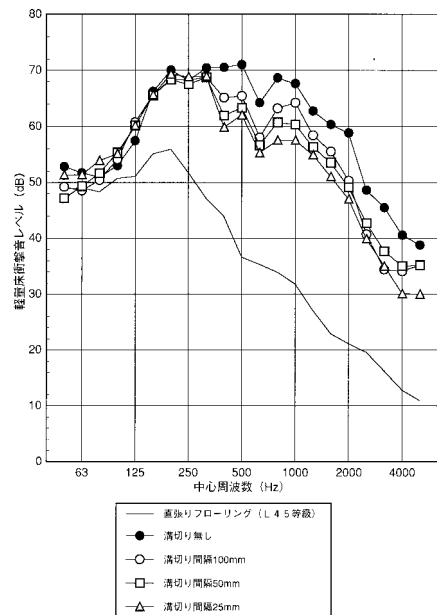


図4 溝切り間隔によるレベル差

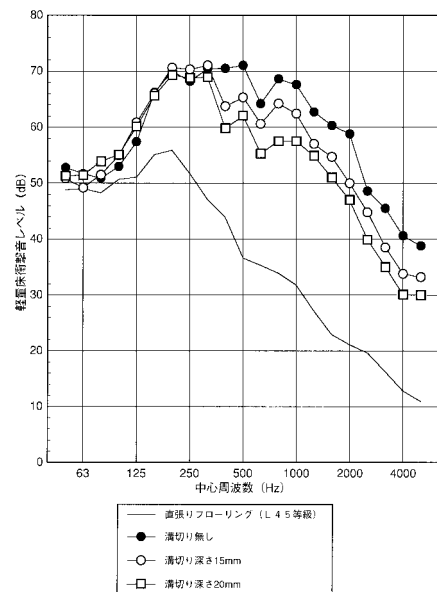


図5 溝切り深さによるレベル差

3・1・3 防振材の厚みの効果

スギ板をポリエステル繊維の成形板で支持した場

合の防振材の厚みの効果を検証した。(図6) 防振

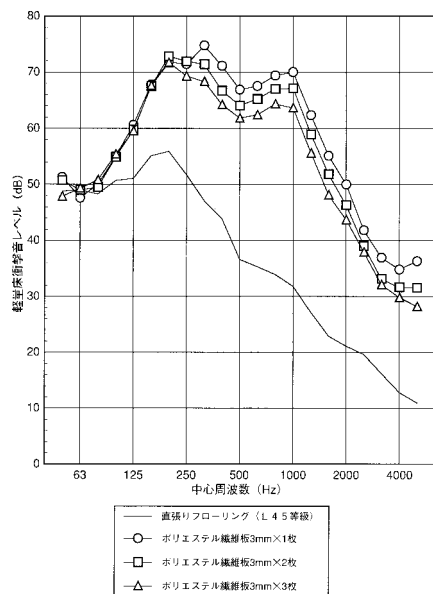


図6 防振材の厚みによるレベル差

材を重ねて厚みを3mm増すごとに、315Hz以上の帯域で約2dBずつレベル改善がなされている。防振材の厚みの増加でたわみが大きくなり、また減衰も増すことが主たる理由と考えられる。ただし、この場合も市販の直張りフローリングとのレベル差は依然として大きい。

3・1・4 防振材の種類によるレベル差

スギ板を異なる防振材で支持し、その相対的な効果を比較した。(図7) 同じゴム系防振材でも低音

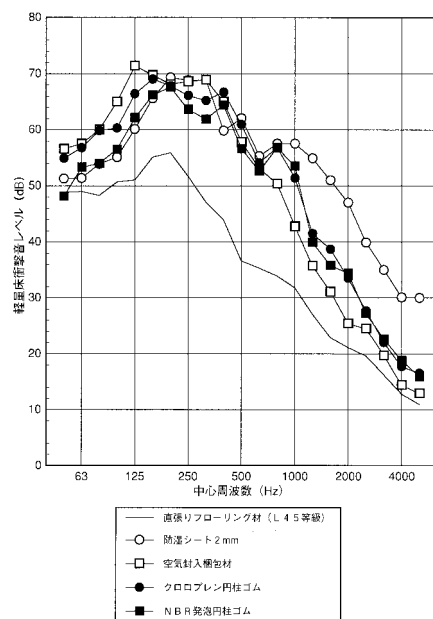


図7 防振材の種類によるレベル差

域ではNBR発泡ゴムが優り、1250Hz以上の高音域では、空気封入緩衝材を筆頭に各材料の相対的なレ

ベル差が際立つようになる。また、防振材を積層した場合には、それに応じたレベル改善がなされているが、特に単体で使用した際に400Hz帯域や800Hz帯域に生じるピークが緩和され、等級線の形状から考えて有利になることがわかる。(図8)

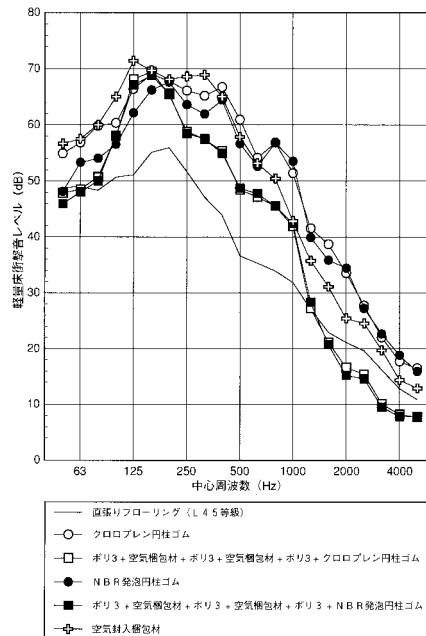


図8 防振材の積層によるレベル差

3・2 簡易音響試験装置による根太床工法の評価

3・2・1 二重床の効果

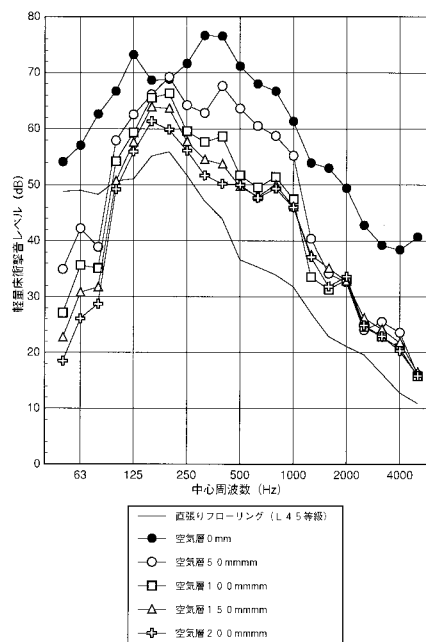


図9 二重床の効果

板材をスラブ上方にクレーンで吊り下げ、スラブから構造的に分離することで、理想的な二重床の条件を設定し、空気伝播音と個体伝播音の影響を検証

した。(図9)スラブ上にスギ板を直に設置した場合に比べ、全周波数帯域にわたって著しいレベル改善がなされている。しかし、スラブ下の閉空間の低次の固有周波数と思われる160Hz帯域から200Hz帯域にかけてはその低減量は小さく、対策が困難であることを予想させる。

また、直張りフローリングとの比較では、低音域では直張りを大幅に上回るレベル低減を示しているものの、中高音域では直張りフローリングには届かない。このように、個体伝播音のエネルギー成分を除いた条件においても直張りタイプに及ばないという結果から、同じ衝撃力が加わっても、溝切りを施した柔らかい直張りフローリングから発せられる音のレベルに比較して、剛性の高いスギ板に生じる発音のレベルが著しく高いことが推察される。

この実験から、表面に無垢木材を使用した二重床における次のような対策指針を得ることができる。つまり、床表面で生じた衝撃が空気伝播音となってスラブ方向に放射される前段階において、何らかの方法により振動エネルギーを減衰させ、発音のレベルを低下させる。また発音レベルの低下に限界がある場合には、空気伝播音の対策も平行して講じる必要がある。

3・2・2 防振材の種類によるレベル差

160Hz以上の周波数帯域では、総じて8mm厚のポリエステル繊維板の性能が勝っている。(図10)

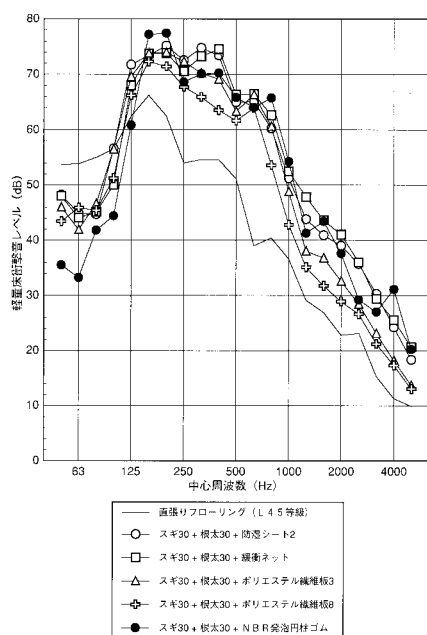


図10 防振材の種類によるレベル差

特に、他の防振材を使用した場合にピークが表れる

200Hz帯域や400Hz帯域で、その差が顕著に表れる。一方、低音域ではNBR発泡ゴムの効果が目立っている。

3・2・3 防振材の支持方法によるレベル差

8mm厚のポリエステル繊維板をスラブ全面に敷き詰める条件(平板)と、根太の下部のみに敷いた条件(線支持)、そして根太の幅の寸法を辺長とする正方形の繊維板(30mm角)で等間隔(600mm)に根太を支持した条件(点支持)の比較を行った。

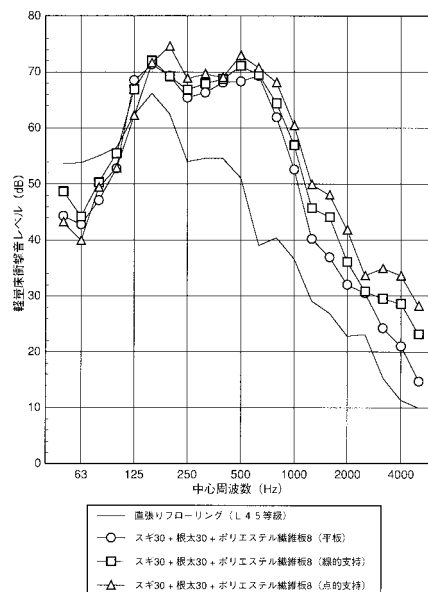


図11 支持方法によるレベル差

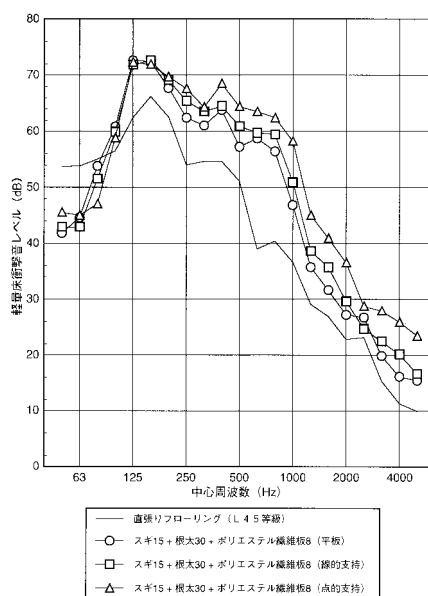


図12 支持方法によるレベル差

(図11) 200Hz以上の周波数帯域に着目すると、総じて用いられた繊維板の面積の大きい順に効果が表れていることがわかる。特に、スラブ全面に敷き詰

めた条件では、根太を防振支持する効果に加え、吸音効果による減衰が加味されることが他より優っている理由と考えられる。また、点的に支持した場合には、200Hz帯域や500Hz帯域でピークを強調するような波形を示す反面、低音域の63Hz帯域では若干有利となっており、一概に優劣を判断できない特性を持つようである。以上は共に30mm厚のスギ板を用いた場合であるが、15mm厚のスギ板の場合にも、中高音域においてはほぼ同様の傾向が見受けられる。(図12)ただし160Hz帯域以下の低音域では、差が生じにくいようである。

3・2・4 防振材の種類によるレベル差

30mm厚のスギ板で、遮音材料と吸音材料を併用した場合の防振材の種類による比較を示す(図13) 160Hz帯域 400Hz帯域、そして波形が山谷を描く80Hz帯域において、差が顕著に表れている。等級線による判定では、このようなピークが等級を左右するため、見過ごせない部分である。なお、15mm厚のスギ板を用いた場合にも同様の傾向を示すが、低音域では差が生じにくいようである。(図14)

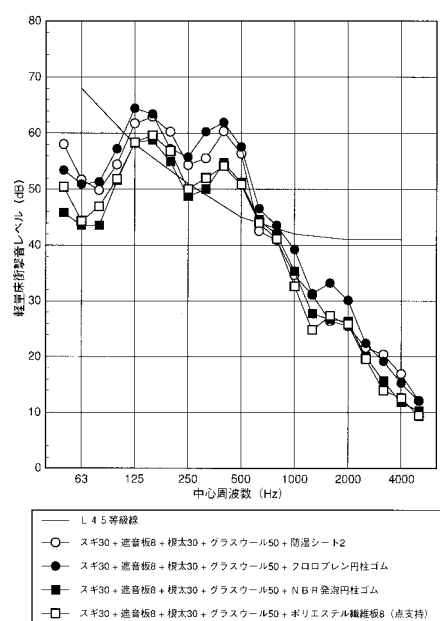


図13 防振材の種類によるレベル差

また吸音材料を併用した場合の、ポリエステル繊維板の用い方による比較を示す。(図15) 僅かではあるが、波形がピークを描く周波数において、点的な支持方法が優っており、ポリエステル繊維板を単体で使用した場合とは結果が異なる。また、これまでと同様に15mm厚のスギ板を用いた場合には低音域では差が生じにくく、且つ250Hz帯域を境にスギ

板の厚みによる優劣が逆転しており興味深い。低音域では剛性の高い30mm厚のスギ板の方が有利であると言えそうである。

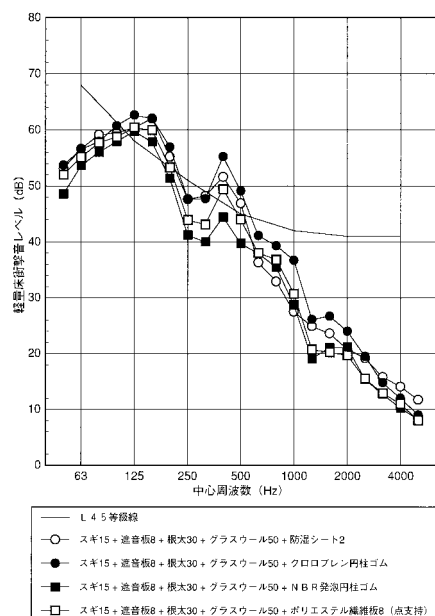


図14 防振材の種類によるレベル差

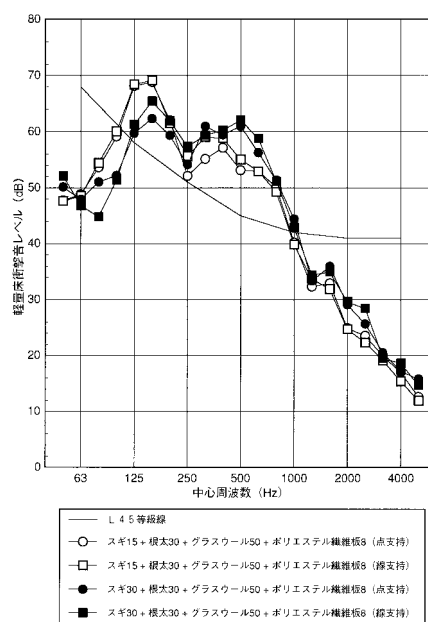


図15 支持方法によるレベル差

3・2・5 遮音材料の効果

面密度7.3kg/m²の遮音材料をスギ板の裏面に積層した場合の効果を検証した。(図16) 250Hz以上の周波数帯域で差が顕著に表れている。また、スギ板の厚みによる差も大きく、630Hz帯域で20dB程度のレベル差が認められる。

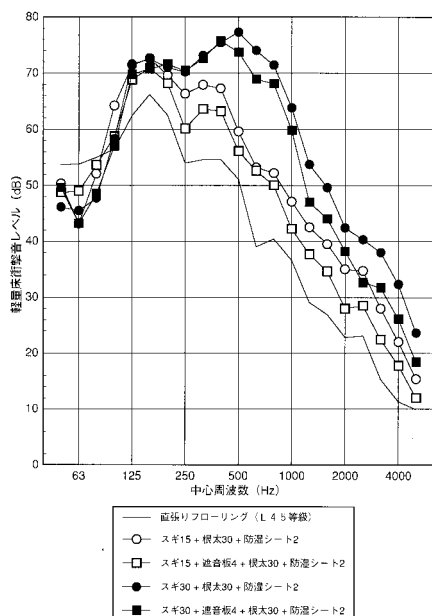


図16 遮音材の効果

次に、遮音材料の種類による比較を示す。(図17,18) 400Hz帯域におけるレベル差に着目して、遮音材を使わなかった場合との相対的な比較を行うと、30mm厚のスギ板を使用したタイプ(図18)では、最も面密度の高い遮音板(8mm厚)だけがはっきりと優位性を示しており、他の遮音材料ではさほど改善が見られない。一方、15mm厚のスギ板を使用したタイプ(図17)でも同様の比較を試みると、遮音材を併用したタイプでは、一様にレベル低減が得られている。つまり、相対的に材厚の薄い方が遮

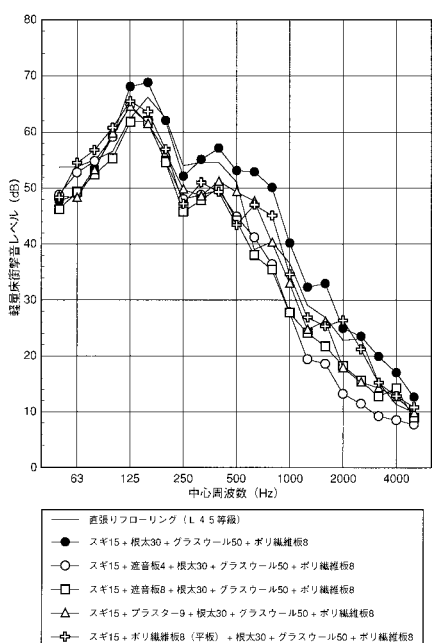


図17 遮音材の種類によるレベル差

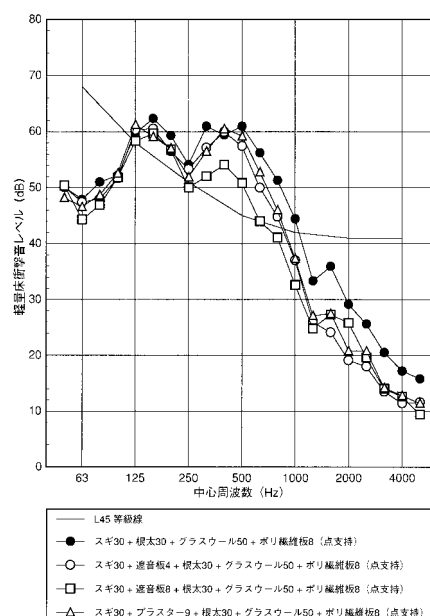


図18 遮音材の種類によるレベル差

音材料の効果が表れやすいという結果を示している。この傾向は、15mm厚のスギ板と同程度の面密度を有する遮音材の積層の有無を比較した場合(図19)でも確認できる。つまり、吸音材料や有効な防振材の併用により、一定のレベル低減が得られている条件下では、よほどの音響的な優位性がない限り、加算的なレベル低減は望めないということを表している。その証拠に、図16に示すように、遮音材単体の使用では、材厚の違いによらず一定の効果が得られている。

また、低中音域に限れば、面密度が高い材料が有

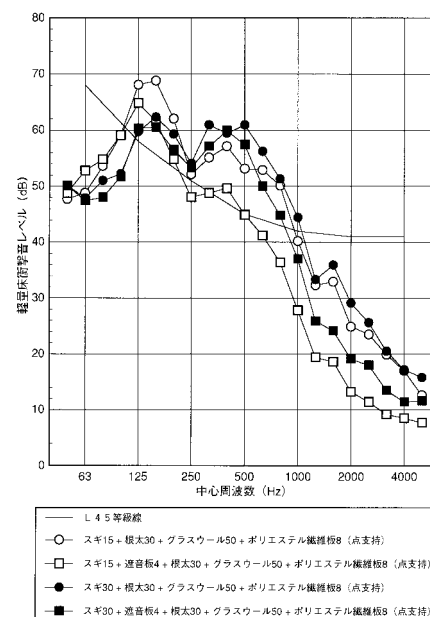


図19 遮音材の種類によるレベル差

利に見えるが、高音域においては優劣が逆転している部分もあり、それ以外の要素も影響しているようである。この実験では、スギ板と遮音材は積層するのみで面的な接着は行っていないが、いくらかスギ板の曲げ振動を拘束する要素もあると思われるので、別の機会に改めて制振効果についても検討してみたい。

3・2・6 吸音材料の効果

スギ板を根太で支持する根太床工法では、根太間に必然的に空気層が生じる。この部分にグラスウールを充填すると、160Hz以上の周波数帯域において最大で15dB程度の著しいレベル改善が認められた。ただし、100Hz帯域ではスギ板の厚みの違いに関わらず、無使用のものよりレベル値が上回る現象も見られた。(図20) また、スギ板の厚みによる差は、グラスウールを使用した場合で250Hz帯域、無使用の試験体で160Hz帯域を境に共に優劣が逆転しており、ここでも厚材が低音域で有利に作用している。

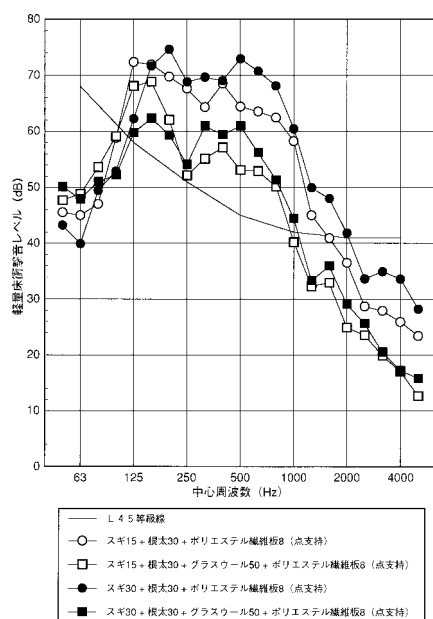


図20 吸音材料の効果

吸音材料としてパークや竹炭を用いたタイプでは、グラスウールほどの低減量は得られなかったが、最大で10dB程度の低減を示す周波数も存在し、概ね吸音性能に応じた改善がなされていると思われる。(図21)

一方、空気層の活用する方法として、根太を高くして空気層を増す選択もあるが、吸音材料による改善量に比較するとその効果は薄く、最大でも5dB程

度の改善量に留まった。(図22)

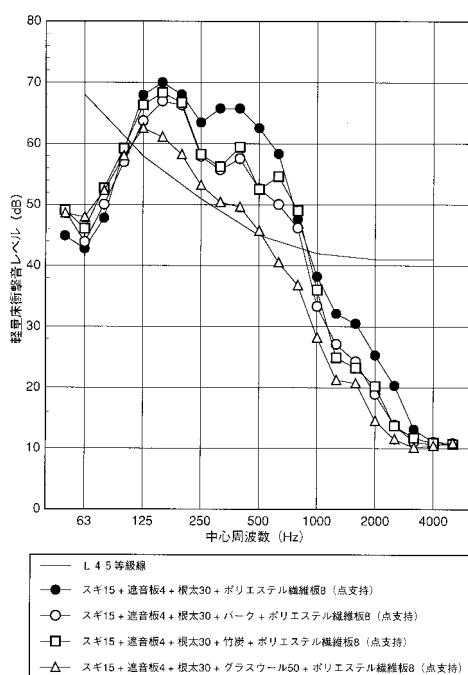


図21 吸音材の種類によるレベル差

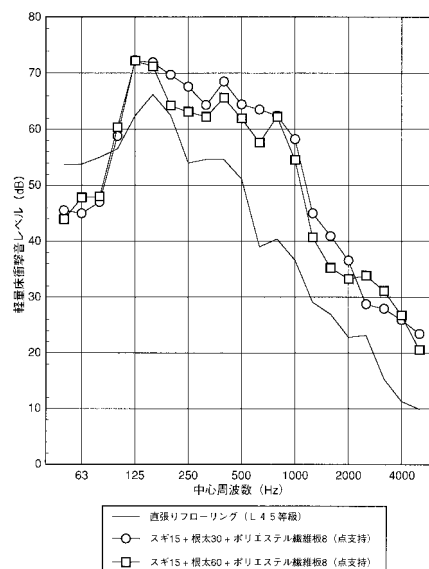


図22 空気層の増加による効果

3・2・7 無垢木材の厚みによるレベル差

スギ板の厚みによるレベル差は、遮音材料を併用している場合で160Hz帯域、無使用の場合で250Hz帯域を境に相対的に優劣が逆転しており、低音域では厚材の方が有利な結果となった。(図23) このように、根太床工法では特定の周波数において板厚によるレベル値の優劣が逆転する現象が共通している。

そもそも、この種の工法では、衝撃発生時にスラ

ブに対して多点加振となるため、板材の厚みの増減による曲げ剛性の変化や根太ピッチ等により、各点におけるスラブへの加振力に差が生じてくるものと思われる。今回は材厚によって600mmと300mmピッチに根太間隔を固定しているが、材厚一定時の根太ピッチの影響についても検証する必要がある。

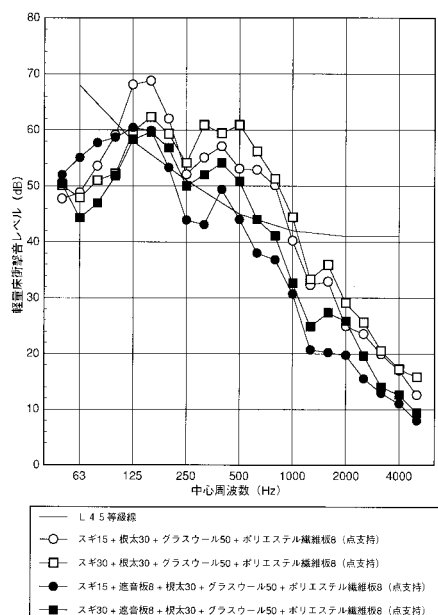


図23 無垢材の厚みによるレベル差

3・3 JIS音響測定施設における実験結果

3・3・1 無垢材の厚みによる低減量の比較

250Hz帯域で、簡易音響試験装置の実験でも生じたレベルの相対的な優劣の逆転が再現されている。(図24)特に、低音域になるほど差が大きくなる傾向が見られるため、床仕上げ構造区分の基準線の形

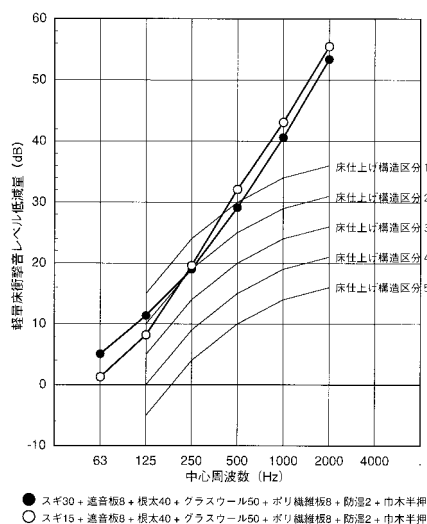


図24 無垢材の厚みによるレベル差

から判断して、根太床工法の仕様では30mm厚のスギ板を用いた方が有利であることがわかる。

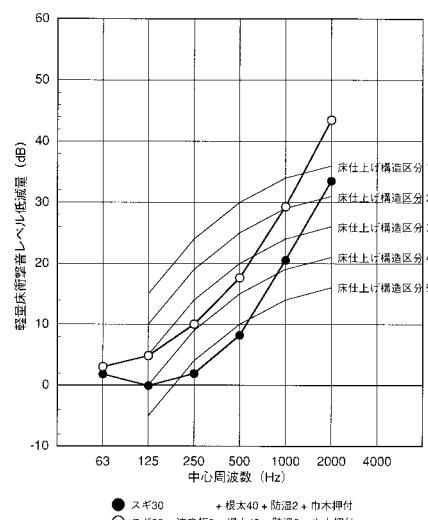


図25 無垢材料の効果

3・3・2 遮音材の使用による低減量の比較

遮音材を用いることにより、最大で約10dB程度の改善が認められる。(図25)基準線との比較では、最も低減が望まれる250Hzから500Hzの帯域において基準線で2段階分の改善が得られており、効果的に作用している。ただし、吸音材料や防振材を併用した場合には、これほどの寄与度は得られないと思われる。また、63Hz帯域では殆ど低減されておらず、異なる対策が必要である。

3・3・3 吸音材の使用による低減量の比較

吸音材料にグラスウールを採用したタイプでは、250Hzから500Hz帯域を中心に改善が見られ、最大で4 dB程度の低減量が得られている。(図26)

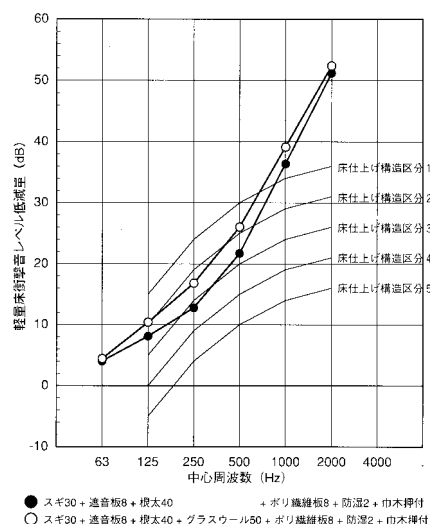


図26 吸音材料の効果

遮音材料の場合と同様に、基準線の波形との比較では望ましい周波数特性を示していることがわかる。

吸音材料にポリエステル繊維マットを使用した場合には、全般的にグラスウールに若干劣る傾向を示すものの、63Hz帯域では優劣が逆転している。また、スギ板の厚みに着目した相対的な比較では、板厚の薄い方が吸音材料の種類による差が生じにくい結果となった。(図27 28)

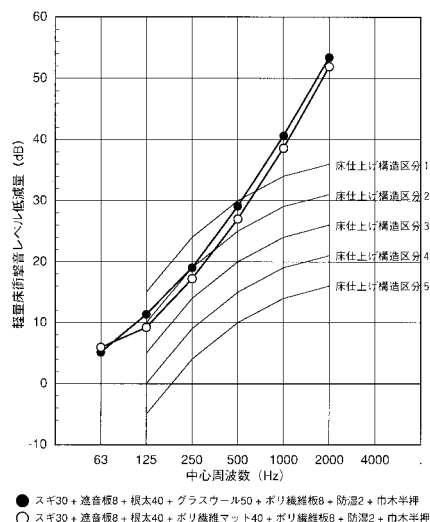


図27 吸音材の種類によるレベル差

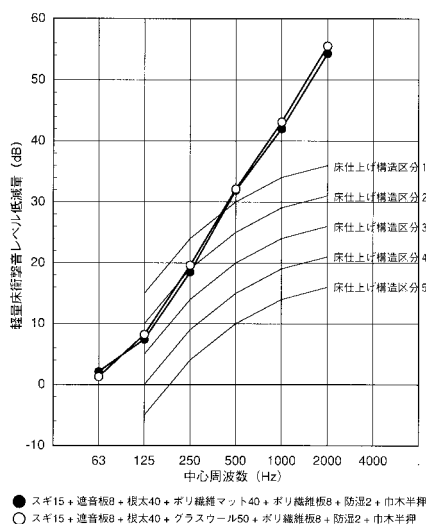


図28 吸音材の種類によるレベル差

3・3・4 防振材の使用による低減量の比較

防振材としてポリエステル繊維板を根太下部に等ピッチで支持した場合の低減量を表す。(図29) 防振材の有無による比較では、周波数帯域が高くなるにつれて相対的な差が増加する傾向が認められる。一方、防振材を2枚重ねて厚みを増した場合には、

主として低中音域においてスラブへの伝達特性が改善されたことがわかる。

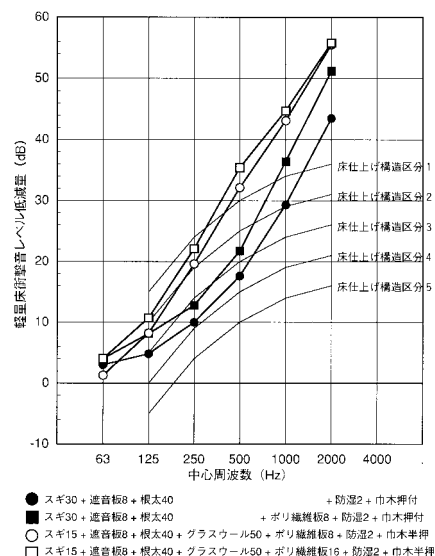


図29 防振材の効果

3・3・5 巾木の取付け方法による低減量の比較

一般的な床の施工では、床の壁際に巾木が取り付けられる。この巾木がサウンドブリッジとなり、床衝撃が個体伝播音となって下階に伝わる可能性も考えられる。また、乾式二重床では、床下の空気層を密閉せず、上部に逃がしてやることである程度のレベル低減に役立つ事例も報告されている。そこで、巾木の取り付けない場合、巾木の下に発泡系緩衝シートを付けて強く床板に押し付けた場合、そして空気の流れを損なわないよう巾木を軽く押し付けた場合の3タイプについて低減量の比較を行った。(図30) 軽く押し付けたタイプに着目すると、250Hz帯

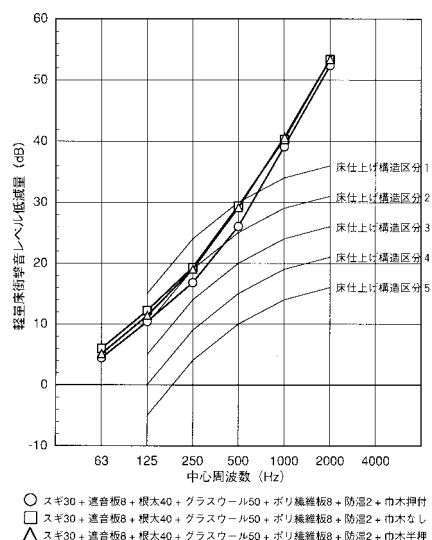


図30 巾木の取り付けによるレベル差

域以上の周波数では、巾木なしのタイプと同様の低減量が得られているが、63Hzや125Hz帯域では、ちょうど中庸に位置する性能を示している。基準線との比較では、改善が最も望まれる250Hz帯域で巾木なしのタイプと同様の結果が得られており、空気の流れを損なわない程度の押し付けならば、緩衝材を挟んで隙間を塞いでもレベル低減に悪影響を及ぼさないことが確認できた。

3・3・6 音響材料との複合化による効果

遮音材料（面密度18.9kg/m²）、吸音材料（グラスウール24K）、そして防振材（ポリエステル繊維板）を併用した場合の効果を図31に示す。30mm厚

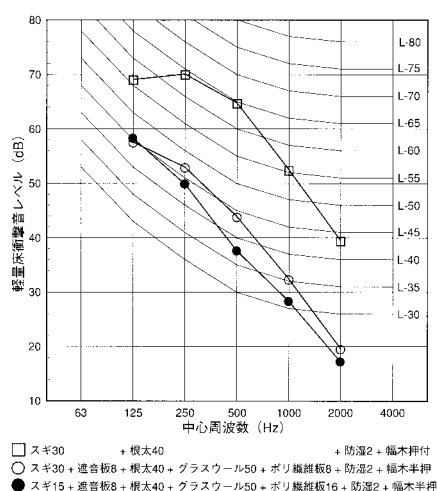


図31 音響材料の複合化による効果

のスギ板を使用したタイプで最大20dB程度の改善が得られており、軽量床衝撃音の遮断性能でL45等級の性能を示している。一方、15mm厚のスギ板を使用したタイプでは、防振材を2枚重ねることで、同様の遮断性能が得られた。

3・3・7 重量床衝撃音による評価

軽量床衝撃音でL45等級の性能を達成した床に対し、重量床衝撃音レベルを測定し、レベル低減量を求めた。（図32）基準線と比較すると63Hz帯域で7dB～9dB程度基準線を下回っている。乾式二重床構造については、低音域でスラブ素面よりレベルが悪化する事例がたびたび紹介されているが、この根太工法でも構造的に類似するため、同様の欠点が露呈したものと思われる。

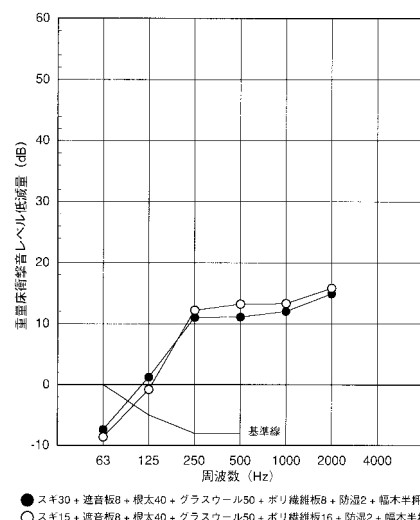


図32 重量床衝撃音レベル低減量

4 まとめ

本研究により、以下のような結果が得られた。

まず、床構造の検討であるが、直張り仕様の実験では、防振材の積層により一定の効果を得られたが、たわみ量が大きく歩行感を損ねるケースもあった。一方、ふところが深い根太床工法では、各種の音響材料との複合化が図りやすく、軽量床衝撃音に限れば直張りに比べてレベル低減が容易であった。また、無垢木材の反り対策についても、接着剤を用いず固定を容易に行えるなど有利な点が多い。このように、本実加工の無垢板を使うという条件下では、無駄のない構成で軽量床衝撃音を低減できる理想的な構造であると言える。ただし、重量床衝撃音については、63Hz帯域でスラブ素面よりレベルが悪化するという欠点も確認した。

無垢木材にはスギを用いたが、材厚によって、特定の周波数帯域でレベル値の優劣が逆転する結果が見受けられた。等級線での性能評価を前提とすると、波形の形状から判断して、低音域に有利な厚材を採用する方が望ましい。

各種の音響材料を複合的に組み合わせることで、単一の音響材料の使用だけでは困難なレベル改善が得られた。しかし、複合化の度合いが高まるにつれ、加算的な効果は得られにくくなることが確認された。

今後の課題として、63Hz帯域の重量床衝撃音の改善、床仕上の総厚みの低減、根太床工法における根太ピッチと床衝撃音レベルとの関連性の検討な

どについて取り組みたい。

謝 辞

最後になりましたが、的確なご助言を下さった徳島大学の日野順市助教授，阿南工業高等専門学校の高田博夫助教授，材料提供をはじめ開発に深く関わっていただいたTSウッドハウス協同組合の皆様，四国繊維販売株式会社の林健司氏，そして評価実験に際して惜しみない協力をして下さった徳島県林業総合技術センター（現 森林林業研究所）の皆様，施設の使用と測定に快く応じて下さった高知県工業技術センターおよび高知県立森林技術センターの野地清美氏に，深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 田辺新一：室内化学汚染，講談社現代新書，p 107 (1998)
- 2) 末吉修三ら：音の環境と制御技術第2巻応用技術，p291 (1999)
- 3) 中岡正典，網田克明，住友将洋：徳島県立工業技術センター研究報告，Vol9 p85 (2000)