

令和7年度卒業論文

超高性能遮音床の開発に関する研究

－実験的検討－

関西大学環境都市工学部建築学科

建築環境工学第I研究室

学籍番号 建 22-0093

氏名 増田絢音

指導教員 豊田政弘

目次

第1章 序論	1
1.1 研究背景	1
1.2 既往研究	2
1.3 研究目的	5
第2章 実験	6
2.1 実験対象	6
2.2 実験手法	9
2.3 実験風景	11
第3章 結果・考察	13
3.1 スラブ素面、乾式二重床、超高性能床の比較	13
3.2 吸音材の有無による比較	16
3.3 テープ密閉の有無による比較	19
第4章 結論	22
参考文献	23

第1章 序論

1.1 研究背景

本研究のテーマは「床衝撃音の低減」である。床衝撃音とは、床に加えられた力がスラブなどの構造躯体に伝わり、それらが振動することによって他室に放射される音のことをいう。集合住宅における床衝撃音の問題は根強く、長年にわたり研究が続けられてきた。その対策として開発されたのが「二重床」である。

二重床には主に乾式工法と湿式工法がある。乾式二重床は支持脚や支持ボルトの上に床パネルを載せる工法で、湿式二重床は集合住宅の床下地工法の一つであり、コンクリートスラブ上に団子状の硬化する前のモルタルを等間隔に配置、その上に置いた厚みのある発泡ポリスチレン等のパネルで、モルタル団子を押し潰し床の高さの調整を行う工法である。

二重床によって軽量床衝撃音が伝わりにくくなるほか、配管などのメンテナンスも容易となった。この二重床をさらに改良することを目的として、周辺拘束を利用した超高性能遮音床の理論研究が行われた。

図2、図3は、周辺拘束の効果を確認するため、図1に示す加振点 A、B、C、D に関する全時間応答駆動点インピーダンスレベルと室1の床衝撃音レベル ($L_{F_{max,k}}$) の予測結果をそれぞれ示したものである。

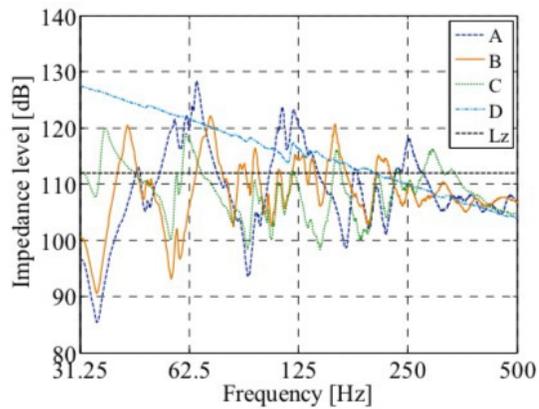


図2 加振点毎の
駆動点インピーダンスレベル

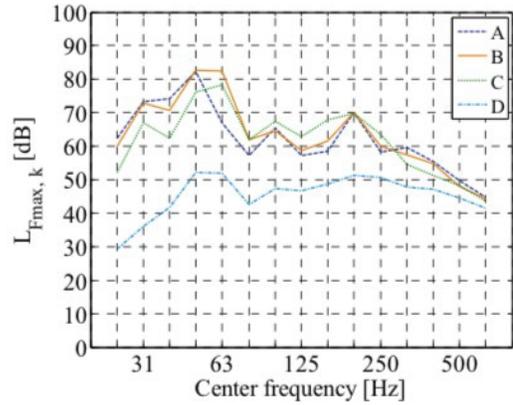


図3 加振点毎の室1の床衝撃音レベル

図2より、端部の加振点Dではあらゆる振動モードが励起されにくくなるため、周辺拘束の効果が強く現れ、インピーダンスは周波数に関して右肩下がりとなることが確認された。また、図3より、加振点Dではすべての周波数において他の加振点よりも床衝撃音レベルが減少しており、特に低域では加振点Aと比較して約30dBほどの低減が見られた。

次に、加振力を端部近傍に分散した場合の床衝撃音の変化についての検討結果について述べる。図4は想定した加振位置を示したものである。○に一点加振、●と×に八点同時加振、●のみに四点同時加振とする三つの条件に対する室1の床衝撃音レベルの比較を示したものが図5である。

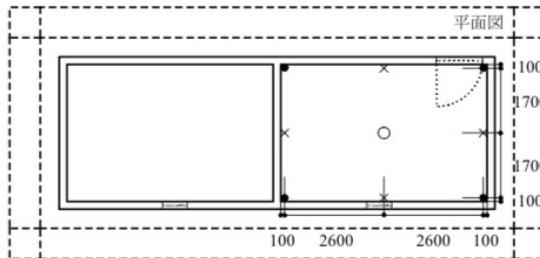


図4 分散した加振位置

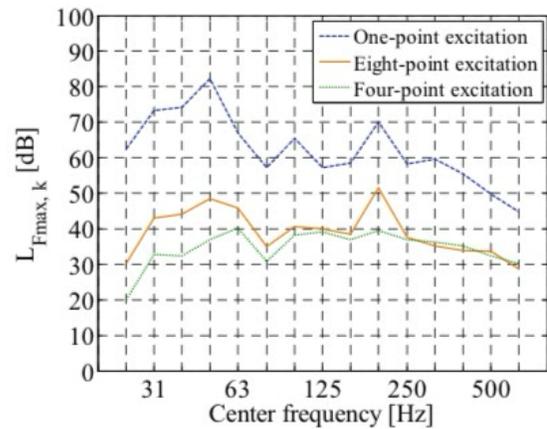


図5 加振分散による床衝撃音レベル

一点加振と比較して、八点もしくは四点加振の場合には周辺拘束の効果が強く現れ、すべての周波数帯において床衝撃音レベルが低下している。特に低域でその傾向が強く、50 Hz 以下では八点加振で 30 dB 程度、四点加振で 40 dB 程度の低減が見られる。また、63 Hz 以上でも 20 dB 程度の低減が確認され八点加振よりも四点加振のほうが床衝撃音レベルは小さくなる傾向にあり、エッジ加振よりもコーナー加振のほうが周辺拘束の影響が強く現れることが確認できた。

上記の研究結果を踏まえ、超高性能遮音床はこの性質を利用し、周囲を拘束するとともに、四隅に支持脚を配置するコーナー加振とすることで、振動を直接柱などの垂直構造躯体に伝える仕組みを採用している。

1.3 研究目的

本研究の目的は、模型実験を通じて超高性能遮音床の有効性を確認することである。従来の乾式二重床は、支持脚を一定間隔で配置して仕上げ床を支えている。一方、超高性能遮音床では支持脚の本数を減らし、端部 4 本のみで支える構造を採用する。ただし、支持脚を減らすためには、仕上げ床自体に十分な剛性が求められることに注意が必要である。

第2章 実験

2.1 実験対象

実験は、集合住宅の上下階の部屋を想定し、それを 10 mm 厚の亚克力板で作られた一辺 320 mm の立方体を用いて再現した。立方体の内部には小型マイクを設置し、床衝撃音を測定する。従来の乾式二重床は、スラブ素面にゴムやねじで再現した支柱を等間隔に 36 本配置したものとする。超高性能遮音床は、同様にスラブ素面に亚克力製の逆三角錐の支柱を四隅に配置したものとする。スラブ素面の断面図を図 6、乾式二重床の断面図と支柱配置図を図 7 と図 8、超高性能遮音床の断面図と支柱配置図を図 9 と図 10 にそれぞれ示す。

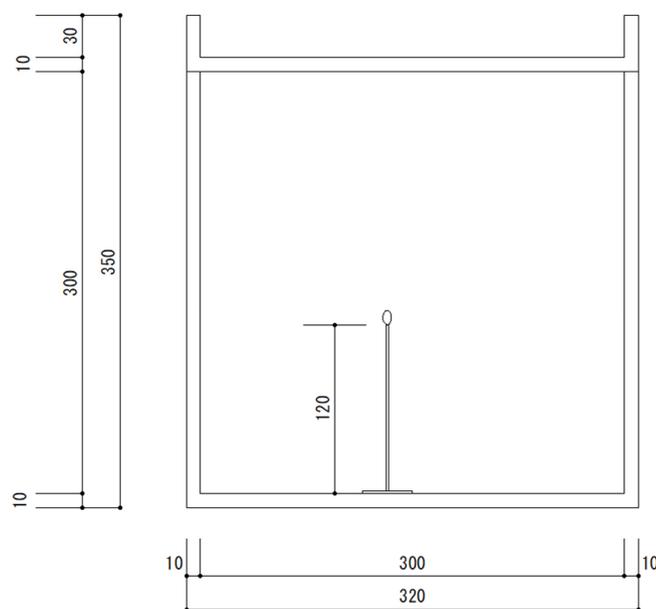


図 6 スラブ素面 断面図

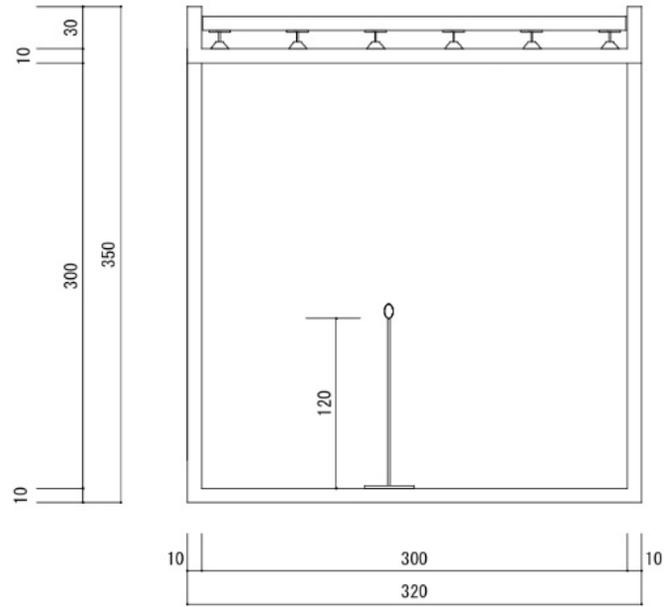


图 7 乾式二重床 断面图

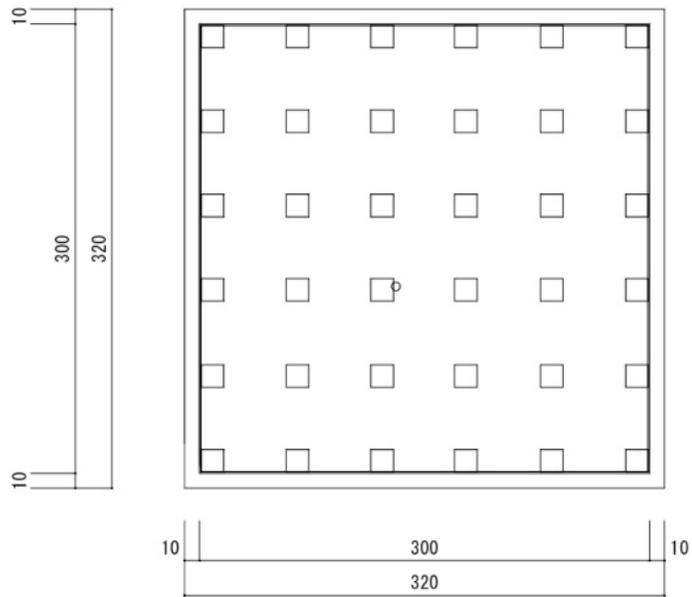


图 8 乾式二重床 支柱配置图

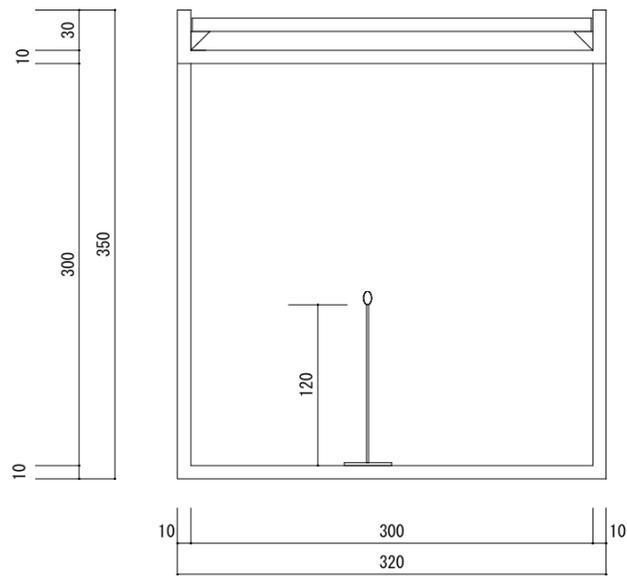


图9 超高性能遮音床 断面图

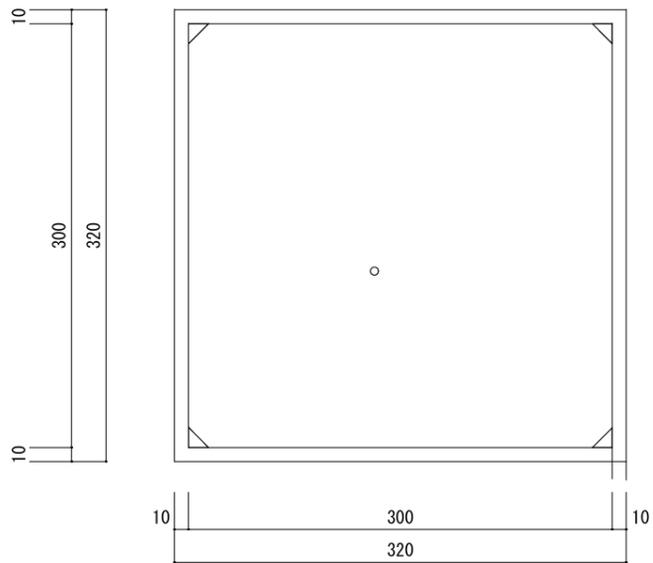


图10 超高性能遮音床 支柱配置图

2.2 実験手法

直径 10 mm の鉄球（図 11）を 25 cm の高さから落下させ、スラブ素面、従来の乾式二重床、超高性能遮音床の 3 種類の床構造で音を測定する。ここで、仕上げ床の厚さは十分な剛性が見込まれる 10 mm とする。マイクで測定した床衝撃音を、オーディオインターフェース（図 12）を用いてパソコンに取り込み、録音再生アプリケーションである Cubase 12 を用いて録音する。録音したデータの音波を読み込み、1/3 オクターブバンドごとに床衝撃音レベルを算出する。さらに、躯体と仕上げ床の間に厚さ 5 mm の吸音材を敷いた場合と、仕上げ周辺の空気抜きをテープで密閉した場合についても同様に測定し、解析と考察を行う。図 13 は Cubase 12 を用いた録音の様子である。



図 11 直径 10 mm の鉄球



図 12 オーディオインターフェース

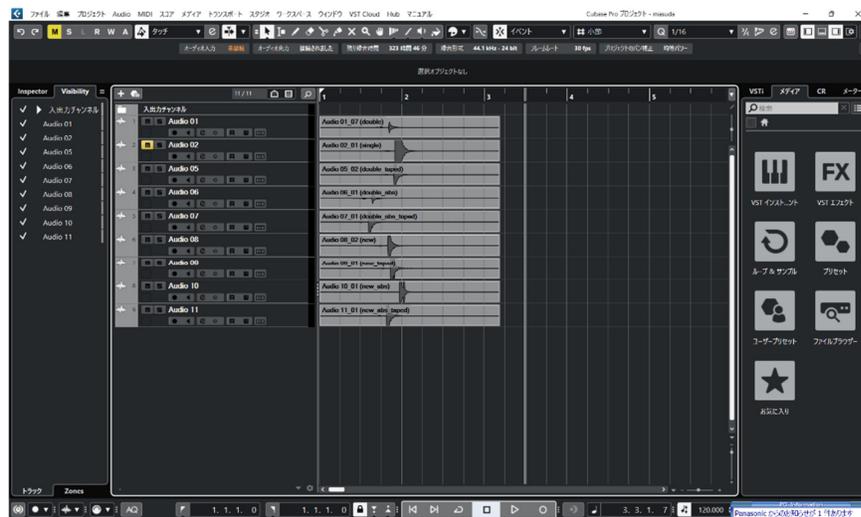


図 13 Cubase 12 録音内容

また、図 14 は乾式二重床に用いた支柱、図 15 は超高性能遮音床に用いた支柱を示している。



図 14 乾式二重床の支柱

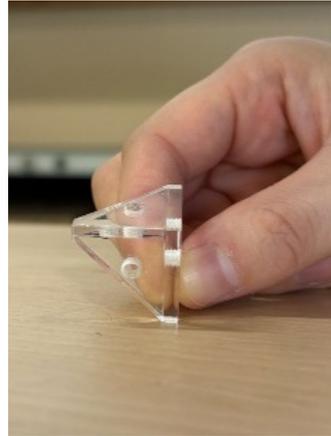


図 15 超高性能遮音床の支柱

2.3 実験風景

それぞれの実験の様子を図 16～23 に示す。



図 16 乾式二重床



図 17 乾式二重床（テープ密閉有）



図 18 乾式二重床（吸音材有）



図 19 乾式二重床(吸音材有、テープ密閉有)



図 20 超高性能遮音床



図 21 超高性能遮音床（テープ密閉有）

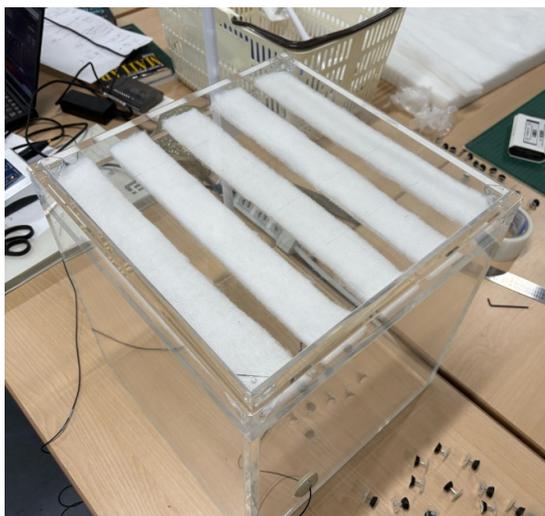


図 22 超高性能遮音床（吸音材有）

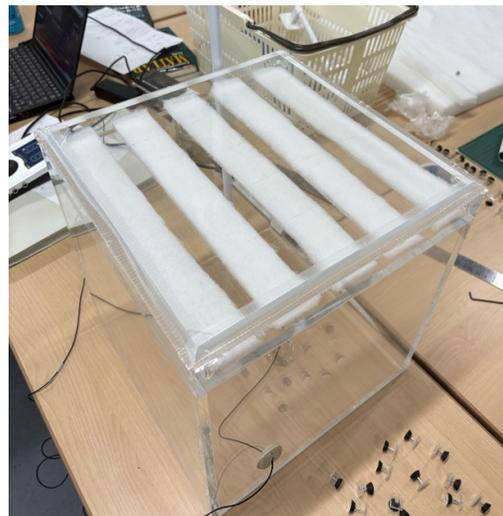


図 23 超高性能遮音床（吸音材有、テープ密閉有）

第3章 結果・考察

3.1 スラブ素面、乾式二重床、超高性能遮音床の比較

超高性能遮音床の有効性を確認するため、床構造毎の床衝撃音レベルの結果を条件ごとに図 24～27 に示す。グラフ中の「single」はスラブ素面を、「double」は従来の乾式二重床を、「new」は超高性能遮音床を表している。また、「abs」は吸音材有を、「taped」は空気抜きのテープ密閉有を表している。

図 24 を見ると、スラブ素面に比べて、乾式二重床、超高性能遮音床の方がともに床衝撃音が小さいことが読み取れる。また、乾式二重床と超高性能遮音床の床衝撃音を比べると、125 Hz 以下では超高性能遮音床の方が小さいが、250 Hz を超えると乾式二重床の方が小さいことが読み取れる。

図 25 はスラブ素面と吸音材を敷いた乾式二重床、超高性能遮音床を比べたものである。図 24 と比べると吸音材の有無によってグラフの移り変わりに大きな変化はないが、250 Hz 以上の帯域で乾式二重床と超高性能遮音床の床衝撃音の差が小さくなっている。

図 26 はスラブ素面と仕上げ床の隙間をテープで密閉した乾式二重床、超高性能遮音床を比べたものである。テープで密閉した場合は、図 24 と比べてグラフの傾向が変わっていることが読み取れる。具体的には、乾式二重床は 125 Hz 以下の帯域で床衝撃音が小さくなっているが、250 Hz 以上で床衝撃音が大きくなっている。超高性能遮音床は 250 Hz 以上の帯域を除いたすべての帯域で床衝撃音が大きくなっている。その結果、ほとんどの帯域で超高性能遮音床の方が乾式二重床に比べて床衝撃音が大きいことが読み取れる。

図 27 は、スラブ素面と吸音材を敷き、テープで密閉した乾式二重、超高性能遮音床を比べたものである。図 27 のグラフの傾向は図 26 と類似しているが、この場合は 125 Hz 以下の帯域と 250 Hz 以上の帯域で超高性能遮音床の方が乾式二重床よりわずかに床衝撃音が小さくなった。

図 24～27 の 4 つのグラフから超高性能遮音床は 125 Hz 以下の低い音に対して高い効果を発揮すると予想できる。また、吸音材を敷いた方が、また、テープで隙間を密閉しない方が、より高い遮音効果を発揮すると考えられる。

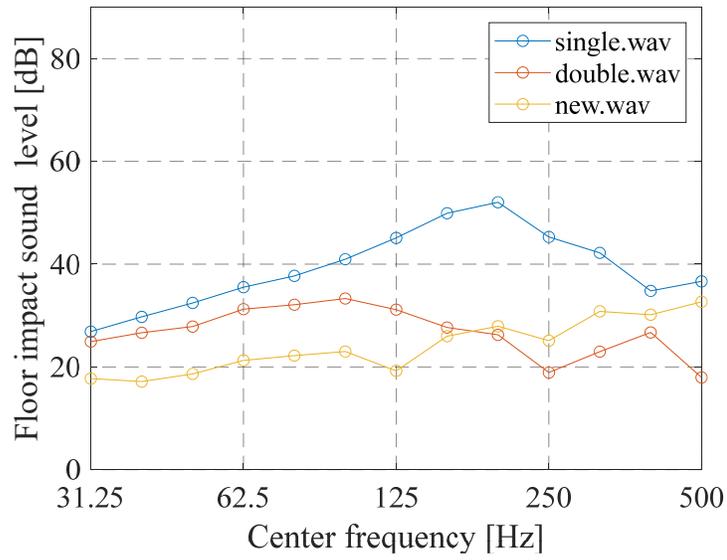


図 24 床構造毎の床衝撃音レベル

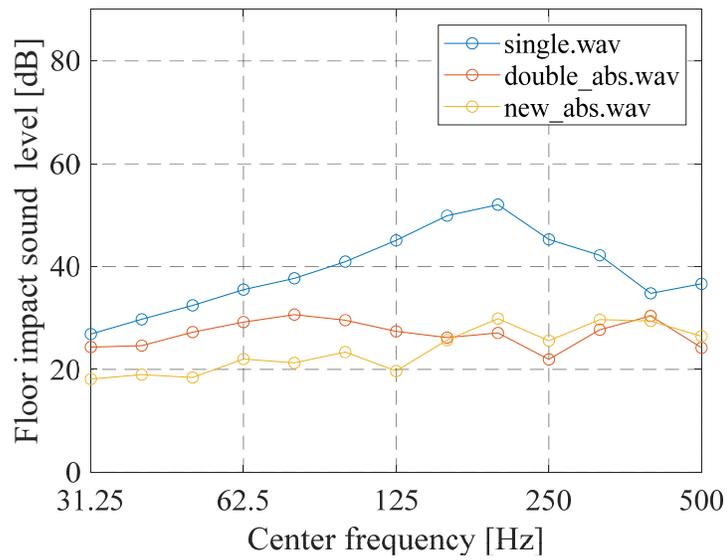


図 25 床構造毎の床衝撃音レベル (吸音材有)

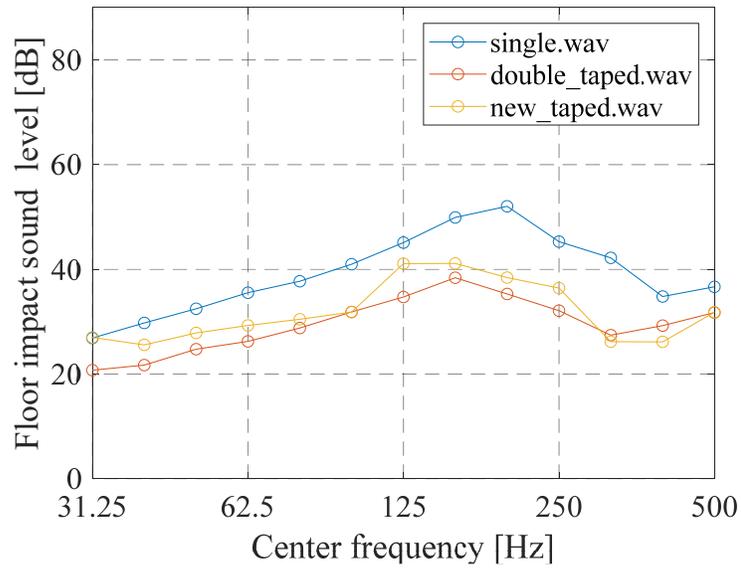


図 26 床構造毎の床衝撃音レベル（テープ密閉有）

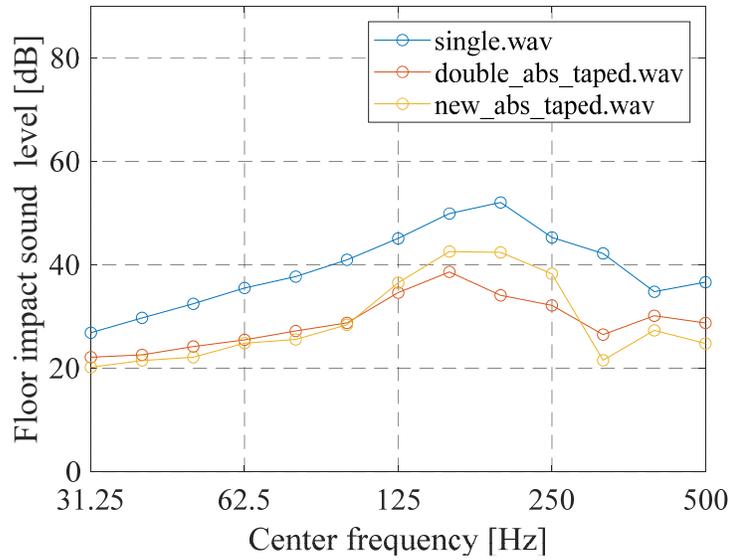


図 27 床構造毎の床衝撃音レベル（吸音材有、テープ密閉有）

3.2 吸音材の有無による比較

ここでは、吸音材の効果について比較検討する。図 28 は乾式二重床の吸音材の有無を、図 29 はテープで隙間を密閉した乾式二重床の吸音材の有無を、図 30 は超高性能遮音床の吸音材の有無を、図 31 はテープで隙間を密閉した超高性能遮音床の吸音材の有無を比較したものである。基準としてスラブ素面の床衝撃音レベルも併せてグラフに表している。

グラフを見ると、図 28～31 で一貫して、吸音材の有無によって床衝撃音に大きな差がないことが読み取れる。図 31 の場合のみ、吸音材を敷いたときの方がほとんどの周波数帯域で床衝撃音が小さくなった。すなわち、吸音材の有無は床衝撃音の低減に対して大きな効果がないように思われる。ただし、本研究では小さな箱型部屋を想定しているため、周波数の観点からは現実的な検討が実施できていない可能性があることに注意が必要である。

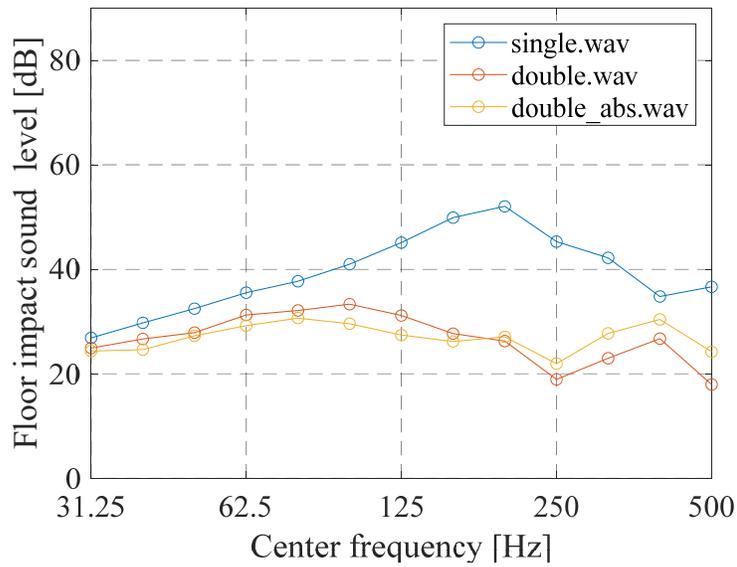


図 28 乾式二重床の吸音材の有無による比較

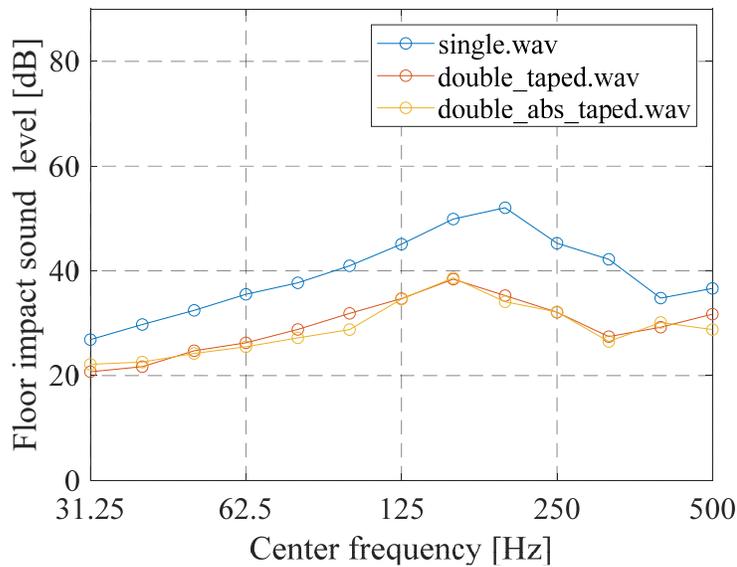


図 29 乾式二重床（テープ密閉有）の吸音材の有無による比較

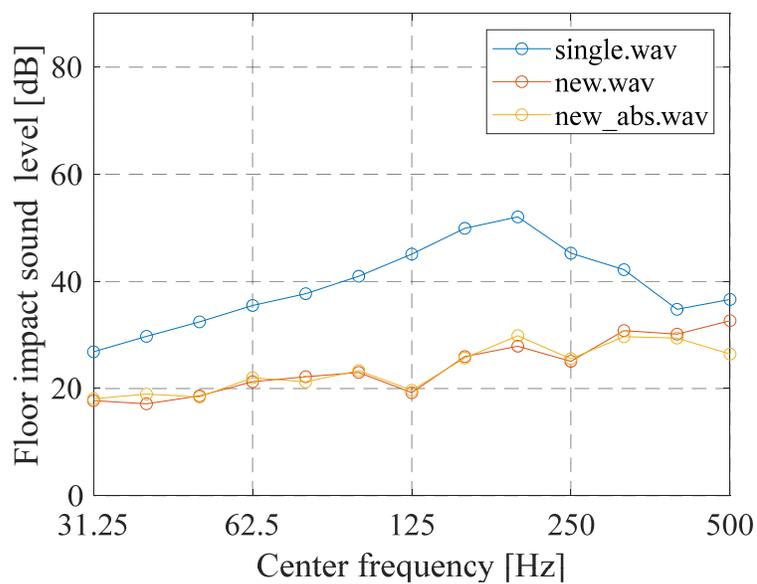


図 30 超高性能遮音床の吸音材の有無による比較

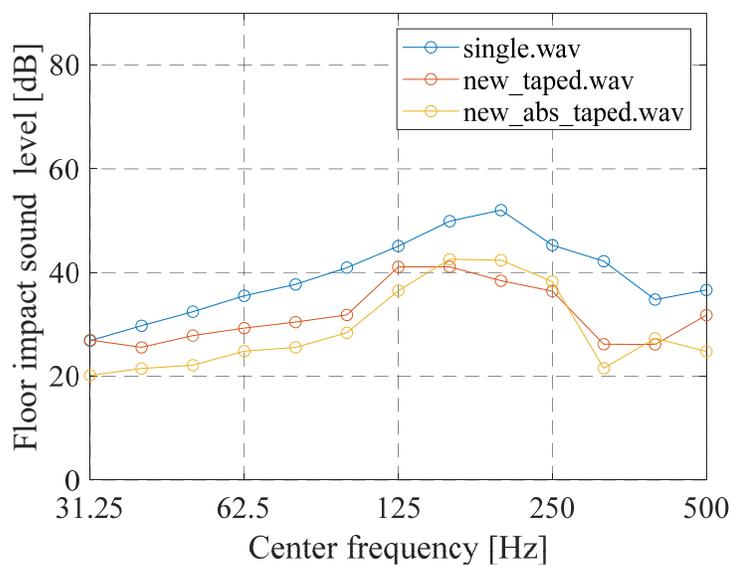


図 31 超高性能遮音床(テープ密閉有)の吸音材の有無による比較

3.3 テープ密閉の有無による比較

ここでは、テープ密閉の有無の比較検討を行う。二重床には、通常空気抜きのための隙間が設けられている。この隙間は、床と仕上げ床の間の空気を室内に逃がすことで、床下で共鳴して床衝撃音を増幅させてしまうのを防ぐ役割がある。図 32 は乾式二重床のテープ密閉の有無を、図 33 は吸音材を敷いた乾式二重床のテープ密閉の有無を、図 34 は超高性能遮音床のテープ密閉の有無を、図 35 は吸音材を敷いた超高性能床のテープ密閉の有無を比較したものである。基準としてスラブ素面の床衝撃音レベルも併せてグラフに表している。

図 32、図 33 の乾式二重床の結果を見ると、125 Hz 以下の帯域ではテープ密閉をしている方が、125 Hz 以上の帯域ではテープ密閉をしていない方が、床衝撃音が小さい。図 34、図 35 の超高性能遮音床の結果を見ると、乾式二重床と異なり、ほとんどの帯域でテープ密閉をしていない方が、床衝撃音が小さい。すなわち、空気抜きのための隙間は床衝撃音の低減に対して、効果があることが確認された。

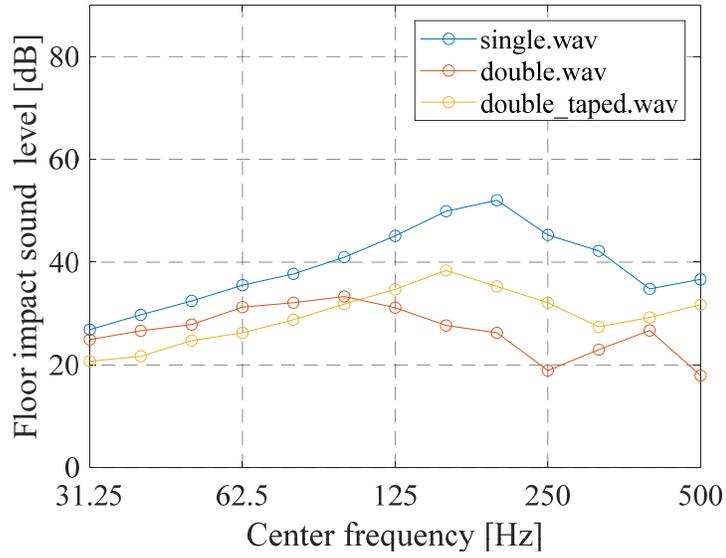


図 32 乾式二重床のテープ密閉の有無による比較

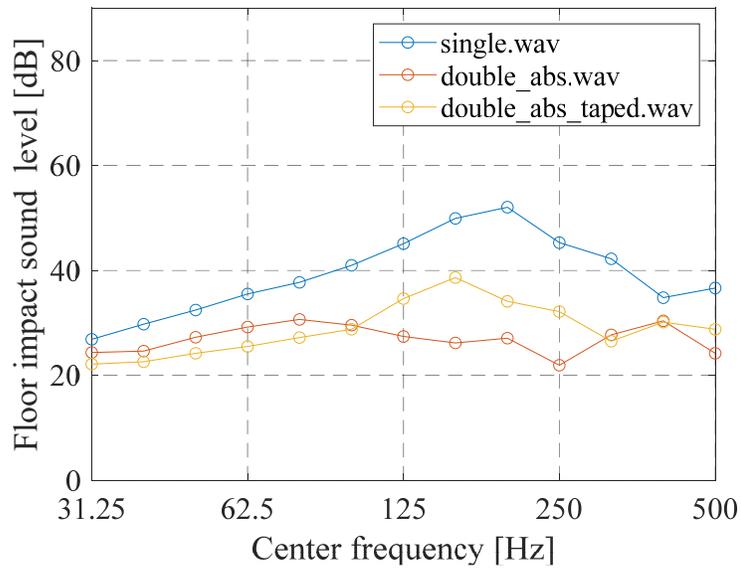


図 33 乾式二重床（吸音材有）のテープ密閉の有無による比較

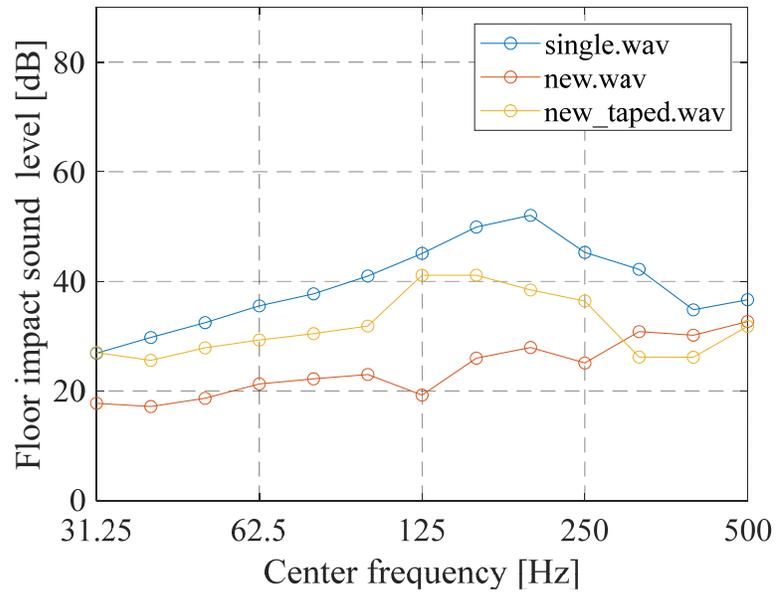


図 34 超高性能遮音床のテープ密閉の有無による比較

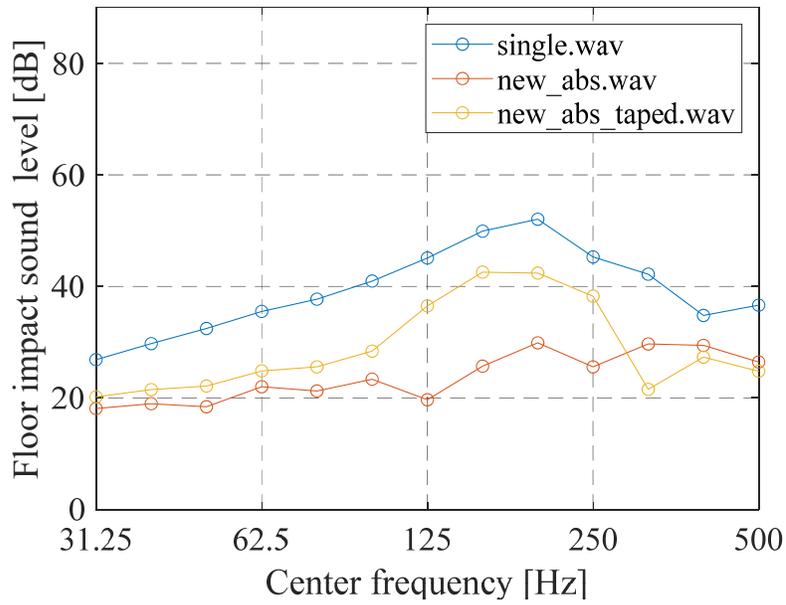


図 35 超高性能遮音床（吸音材有）のテープ密閉の有無による比較

第4章 結論

本研究では、周辺拘束を利用した超高性能遮音床の効果を確認するため、模型を用いて実験を行った。結果、超高性能遮音床は特に低い周波数帯域で乾式二重床より高い効果が発揮することが分かった。また、吸音材によって床衝撃音に大きな変化が見られないこと、空気抜きの間隙が床衝撃音の低減に効果があることも分かった。ただし、今回の実験は縮尺約 1/12 の模型で行われており、実際の大きさでは異なる結果が得られる可能性がある。また、乾式二重床と超高性能遮音床の支柱は実際の大きさや構造をもとに作られているものの、超高性能遮音床の支柱に振動を抑制するゴムがないなど、条件の違いにより正確な結果でない可能性が懸念される。

一方で、今回の結果がある程度の傾向を模擬できていると仮定すると、超高性能遮音床は空調設備や電気機器が多く置かれる部屋や工場、給湯室など低周波数騒音が発生しやすい場所で大きな効果があると考えられる。しかしながら、超高性能遮音床の有効性が確認されたとしても、仕上げ床やそれを支える床構造そのものの強度が課題となると考えられる。そのため、床の材質や構造の選定が重要となり、将来的には材質や構造をふまえた実大実証実験を行う必要があると考える。

参考文献

- [1] 豊田政弘、高橋大弐、「FDTD 法を用いた加振位置の違いによる重量衝撃音の変化についての検討」、日本建築学会大会（北陸）、40133、2010.9.