

木質ハイブリッド遮音床の開発

ー木造実大試験体を用いた床衝撃音対策の効果検証ー

Development of Wooden-Based Hybrid Floor for Sound Insulation

- Study of Floor Impact Sound Reduction Measures in a Full-Scale Timber Structure Building Specimen -

阪本一生* 稲留康一**

要 旨

木質系床構造の重量床衝撃音遮断性能の向上を目的として、CFRP（炭素繊維強化プラスチック）と木質材を組み合わせたハイブリッド高剛性パネルを開発した。本パネルの適用イメージとして乾式二重床の上部面材へパネルを挿入した仕様を想定した。実験用の木造実大試験体を用いた床衝撃音の測定結果より、開発したハイブリッド高剛性パネルを用いることで、重量床衝撃音遮断性能が対策前から 4 ランク向上した。加えて、床への衝撃力加振による影響を測定した結果、乾式二重床上部面材の剛性を高めることにより、衝撃力の分散性向上効果を確認した。

キーワード：木質構造、乾式二重床、床衝撃音、衝撃力

1. まえがき

2010 年に施行された「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が、2021 年に「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の推進に関する法律」へと改正された。これにより、対象が公共建築物から建築物一般に拡大されたことや、環境に配慮した建築物として、建物の構造や外装、内装への木材利用が促進されていることから、民間建築物でも中高層建物の木造化が注目されている。木造の民間建築物が広まることで、集合住宅や小規模オフィスをはじめ、様々な建物用途へも木材利用が普及することになる。そのため、用途によっては RC 造と同等の性能を要求されることがある。

木造建築物は、基本的に低剛性かつ軽量であるため、床衝撃音遮断性能の確保が課題である。さらに近年の木造建築物は在来軸組工法をはじめ、2×4 や CLT といった様々な工法により計画されている。

一方で、CLT 工法では仕様と性能の関係について、対策の方向性がまとめられつつある¹⁾²⁾など。在来軸組工法については、工法が多様であり、音源側での対策³⁾や、受音室天井側での対策⁴⁾などが報告され、継続的に各社において対策技術の研究が進められている。

今回、筆者らは木造在来軸組工法の重量床衝撃音対策として、乾式二重床下地の高剛性化に着目して、CFRP（炭素繊維強化プラスチック）と木材によるハイブリッ

ド高剛性パネルを開発し、それらを用いた木造実大試験体において床衝撃音対策への効果を確認した。

2. 高剛性パネルの開発概要

2.1 木質系床構造を対象とした床衝撃音対策の基本的な考え方

一般的な RC 造では、重量床衝撃音対策として床スラブの剛性向上が基本となる。一方、在来軸組工法のように複数の構造部材で構成される工法では、RC スラブのように床を厚くして剛性を高める単純な対策は適用しにくい。加えて、在来軸組工法では、構造上の荷重制約や居室空間への圧迫感などの理由から、床上へのコンクリート打設や、梁・根太・面材の断面拡大による対策には限界がある。また、過度な対策により、本来の木造らしさが損なわれることも懸念される。

例えば、厚さ 200 mm の RC スラブと単位面積当たりの質量を同等とするために必要となる木造床の厚さは、RC の密度が $2,400\text{kg/m}^3$ に対し木材（スギ）は 380kg/m^3 で約 1/6 の密度比となることから、約 1,260 mm となり、現実的な対策にはなり得ない。

また、RC スラブと木造床の曲げ剛性に着目し、曲げ剛性を E （曲げヤング係数） $\times I$ （断面二次モーメント）により算出した場合、RC スラブ厚さを 200 mm として、曲げ剛性は $1.7 \times 10^7 \text{N} \cdot \text{m}^2$ となる。一方、一般的な木造床に用いられる厚さ 24 mm の構造用合板では 1.1×10^4

* 技術本部技術研究所新領域研究グループ ** 技術本部技術戦略部

$\text{N} \cdot \text{m}^2$ となり、RC スラブの約 1/1500 の曲げ剛性にとどまる。

ただし、実際の在来軸組工法の床では、床合板は等間隔の小梁で支持されており、例えば小梁断面 $120 \times 240 \text{ mm}$ を 910 mm ピッチに設置した際の、床構造の曲げ剛性（合板と小梁の EI の和）を計算すると、 $1.5 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ と算出され、合板のみに比べ大幅に剛性が改善する。このことから、在来軸組工法の床構造では、それを支持する梁の剛性が支配的であると考えられる。そこで、図-1に示すように、床加振時の衝撃力を床構造へ局所的に入力するのではなく、高剛性の小梁が受け持つ広い範囲で一体的に変位することで衝撃力を分散させる対策が有効であると考えた。

2.2 高剛性パネルの仕様

床加振時の衝撃力を分散させるため、乾式二重床の下地の高剛性化を検討した。

参考文献5)では、乾式二重床上面の剛性を向上させることで、衝撃力が分散され、床衝撃音の低減効果が得られたと報告されている。このことから、在来軸組工法の床でも、衝撃力を小梁単体に集中させず、複数の小梁が受け持つ範囲へ分散して入力させることが、木質系床構造の重量床衝撃音対策に有効と考えられる。そこで、乾式二重床の下地に適用可能な高剛性パネルの検討を行った。

まず、木質系床構造へ設置することを考慮し、パネルの質量をなるべく増やさずに剛性を高められるよう、軽量で曲げ強度が高い材料を用いることとした。

参考文献6)では、CFRPで補強した集成材（AFRW）を開発している。H形鋼をスギ集成材で置き換えた場合、約2.3倍の梁せいが必要で、単位当たり1.04倍の重量となるのに対し、AFRWで置き換えた場合、約1.11～1.31倍の梁せい、0.47～0.72倍の重量で、H形鋼と同等の曲げ剛性を確保できる点に着目した。この技術を参考に、軽量かつ高剛性を有するパネルの開発を進めた。

開発パネルを写真-1に示す。高剛性パネルは、高い曲げ強度の特性を持つCFRPをシート状に成型したものを芯材に用いて、上下に合板を張り合わせた高剛性ラミナ2枚を、さらに合板の上下に張り合わせ、プレス接着して製作した。

開発の過程では、軽量で断面二次モーメントを高めることを目的として、図-2に示す開発パネル②のように、CFRPを中空角パイプ状に成型したものを、心材に用いてパネル化した仕様でも検討した。

開発パネル①（CFRPシート状）と開発パネル②（CFRP中空角パイプ状）の2仕様により、曲げ試験を実施し、得られた曲げヤング係数実測値を用いて、曲げ剛性を計算すると、それぞれ $7.7 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ 、 $6.7 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ となり、同パネルを木質材のみに置き換えた際の曲げ剛性予測値 $2.0 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ に対して約3倍、一般乾

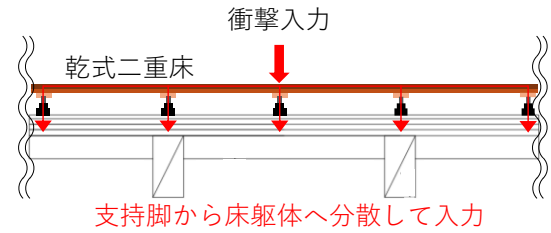


図-1 乾式二重床による床躯体への分散入力イメージ

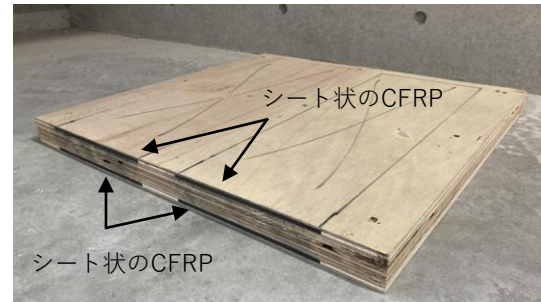


写真-1 ハイブリッド高剛性パネル

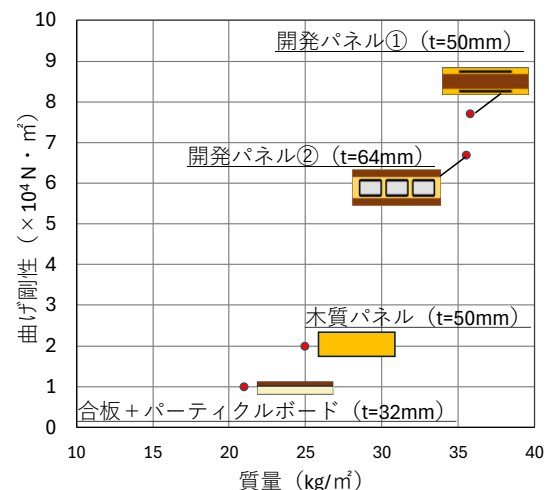


図-2 ハイブリッド高剛性パネル断面構成

式二重床の面材に用いられる合板 12 mm 厚+パーティクルボード 20 mm 厚の曲げ剛性計算値 $1.0 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ に対して約7～8倍の剛性向上が得られる結果となった。また、開発パネル①と開発パネル②を比較すると、パネル①の方が曲げ剛性が高く、実際に試験体の製作を通して、木材の加工手間が少なかったことや、床パネルの仕上げ精度が高かったことから、パネル①を採用して検討することとした。

開発パネルの形状及び質量は、本パネルを用いた作業時の施工性や実現場での小運搬を考慮し、開発パネル寸法は $600 \times 600 \text{ mm}$ 厚さ 50 mm 、質量は1パネル約 12 kg とした。

3. 乾式二重床における衝撃力測定

3.1 実験概要

開発パネルを用いた乾式二重床の支持脚から床構造躯体への衝撃力の入力特性の影響に着目した測定を行った。

試験体の平面図を図-3に、3種の乾式二重床断面を図-4に示す。仕様①は、標準的な乾式二重床仕様とし、支持脚上の上部面材の構成を、20 mm 厚のパーティクルボード+12 mm 厚の合板とし、接続方法はビス止めとした。仕様②は、仕様①の上面に 12 mm 厚の合板をさらに増張りした。仕様③は、仕様①のパーティクルボード上に 50 mm 厚の開発パネル+12 mm 厚の合板×2 枚をビス止めした仕様の3種とした。各二重床の支持脚ゴムは硬度 65° とし、支持脚は一般的な配置である 625×455 mm 間隔とした。

図-3に示す測定点10点（F1～F10）に対し、防振支持脚ゴムと RC スラブの間に設置したロードセルにより、床加振時に二重床から床躯体へ入力する衝撃力を測定した。また、測定点以外の脚下には高さ調整用としてロードセルと同サイズの鋼製スペーサを設置した。測定断面、測定状況を写真-2に示す。

加振点は図-3に示す床中央の脚上と脚間の計2点とし、加振源は JIS A 1418-2 の衝撃力特性 (2) を有するボールを用いて高さ 1m から自由落下させて加振した。測定結果は3回分の加振により得られた衝撃力の平均値を用いた。

3.2 実験結果

各仕様について、試験体脚下のロードセルで測定した衝撃力波形を図-5に示す。仕様①の結果から、加振点直下の測定点 F1 では、ピークが 585N の衝撃力を受けているのに対し、仕様②では合板を増張りしたことによりピークが 525N となり、仕様①と比較して 60N (約 10%) の低減効果が得られた。仕様③では開発パネル+合板により、ピークが 202N と仕様①から 383N (約 65%) 低減した結果が得られた。

また、衝撃力の入力時間を見ると、仕様①および仕様②では端部側の測定点（F4、8～10）が加振点周囲の測定点より遅れて応答したのに対し、仕様③では同位相ではないものの応答に連続性があり、試験体の一体性向上による効果が表れたものと考えられる。

したがって、仕様③に比べて乾式二重床上部面材の剛性が小さい仕様①および②では、加振により変形が生じ、加振点直下の支持脚に衝撃力が集中したが、仕様③では面材の一体性向上による衝撃力の分散効果を確認できた。

図-6に、脚間を加振した際の各測定点における衝撃力測定結果を示す。各仕様とも脚上加振に比べて衝撃力のピーク値は低いものの、仕様①および仕様②では、脚間を加振したことにより、加振点近傍の測定点2点（F1、

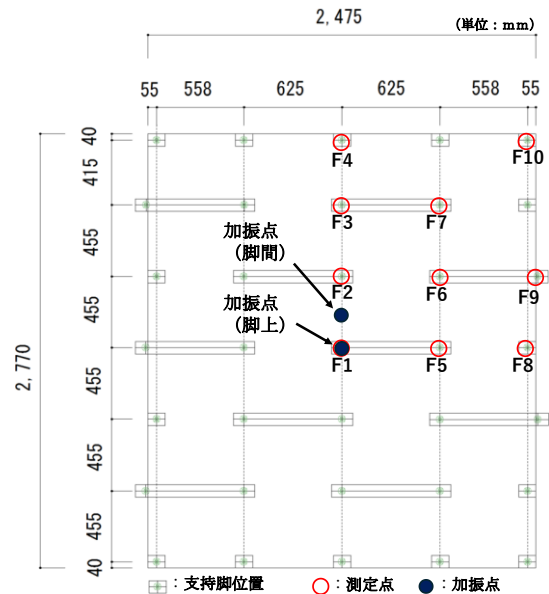


図-3 乾式二重床の試験体平面図および測定点

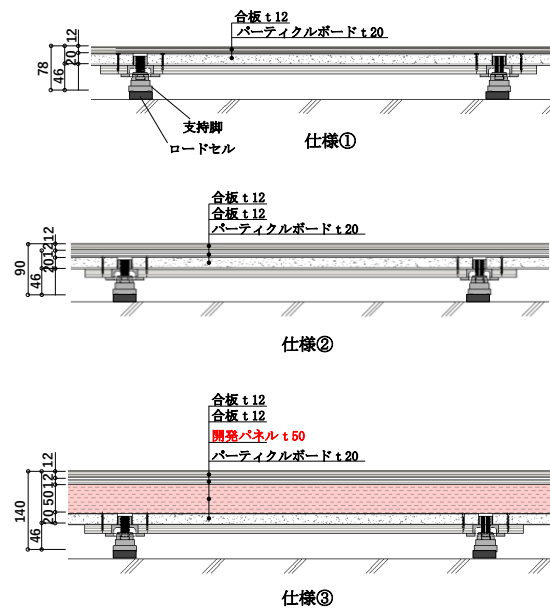


図-4 乾式二重床の試験体断面

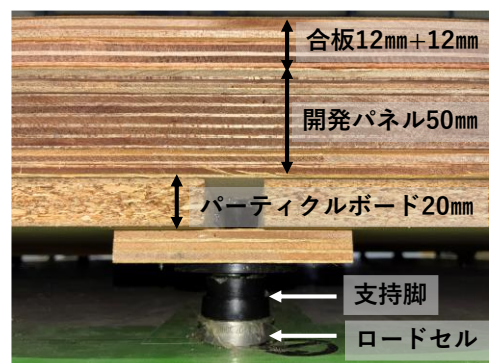
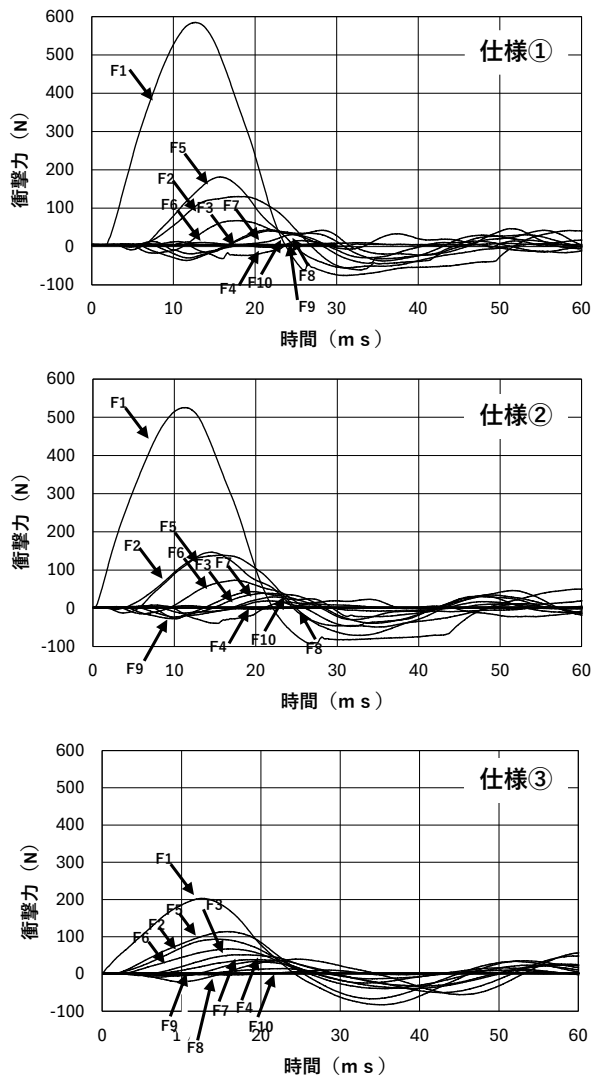


写真-2 測定断面



図－5 衝撃力測定結果（脚上加振）

F2) の衝撃力合計値がそれぞれ 578N、453N となり、図－5 に示した測定点 F1 の衝撃力ピーク値 585N、525N と同程度であった。これは、脚上加振時と同様に、加振点近傍へ衝撃力が集中したことを示している。

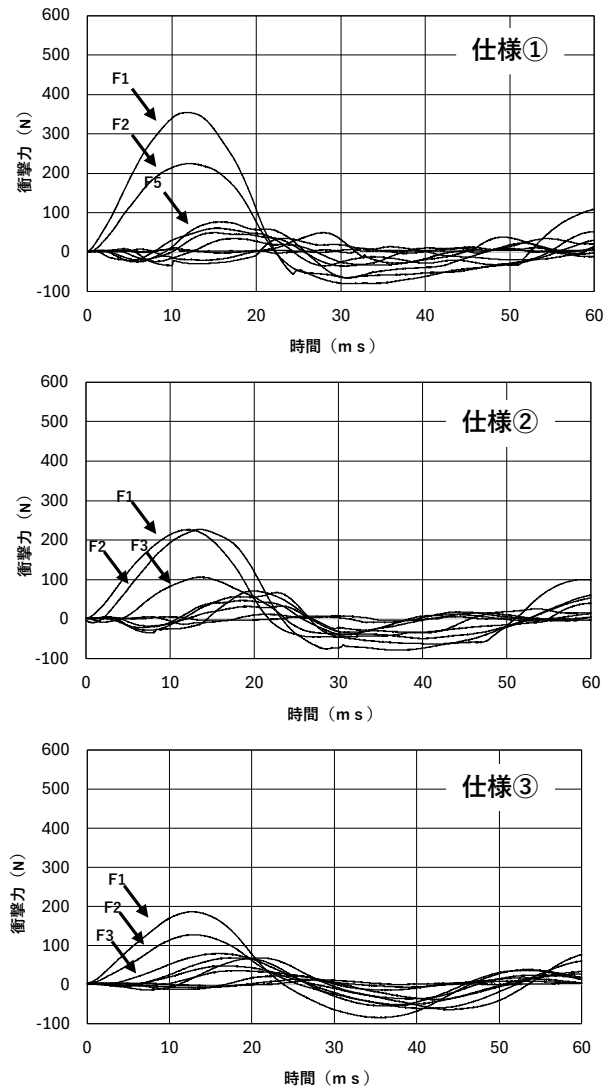
以上より、乾式二重床の下地に開発パネルを用いることで面材の一体性が向上し、加振時には面材の一定範囲が同位相で振動して、衝撃力が各支持脚へ分散したと推測できる。また、一般乾式二重床（仕様①、仕様②）と比較して、加振点直下の応答衝撃力応答値が大きく低減した。

4. 木造実大試験体を用いた重量床衝撃音測定

4.1 木造実大試験体の概要

実験対象建物の構造は木造在来軸組工法とし、建物用途は共同住宅（寮）を想定して平面・断面形状を計画した。

図－7 に実験建物の梁伏せ図、図－8 に床断面詳細を示す。測定対象室の壁内寸法は 3400×2900 mm で床面積



図－6 衝撃力測定結果（脚間加振）

約 10 m² とした。2 階部分の基本床構造は、実建物を想定し、大梁（180×240@364mm、L=3460mm）間に 3 本の小梁（120×240@910mm、L=3005mm）を配した在来床とした。床仕様は構造用合板 24mm+強化せつこうボード 21 mm×2 枚+構造用合板 15mm の 1 時間耐火を想定した仕様とした。

天井の詳細について図－8 に併せて示す。天井は、大梁間の天井吊木（45×150@303mm、L=3005mm）を介して設置し、床からの振動伝搬をなるべく抑えた構造とした。天井ボードは強化せつこうボード 21mm+25mm の 2 枚張りの 1 時間耐火仕様とした。施工時の天井構造見上げ状況を写真－3 に示す。

4.2 重量床衝撃音測定方法

床衝撃音レベルの測定は、JIS A 1418-2 に準じて、表－1 に示す仕様 A～C の 3 仕様に対して実施した。加振源には標準重量衝撃源の 2 種類（タイヤ、ボール）を用いた。加振点は、図－7 に示す 5 点（P1～P5）とし、その直下に位置する 5 点（S1～S5）を受音点として騒音計により測定した。

表－１ 床試験体仕様一覧

仕様	床下地	床構造	小梁	天井吊木	天井構造
A	なし	合板15+強化せこうボード 21+21+合板24mm	120×240 @910mm、 L=3005mm	45×150@303mm、 L=3005mm (大梁間)	強化せこうボード 25+21mm
B	フローリング+合板12+ パーティクルボード20mm				
C (開発 仕様)	フローリング+合板12+開発パネル50+ パーティクルボード20mm				

4.3 測定結果

床衝撃音の測定結果として、仕様 A～C の相対比較を図－9 に示す。タイヤ加振時の測定結果より、一般乾式二重床を設置した仕様 B では、対策前の仕様 A の結果と比較すると、63Hz 帯域で約 8dB の低減効果が得られたことから、木質系床構造への乾式二重床設置による対策は有効であることが分かった。

また、開発パネルを用いた乾式二重床を設置した仕様 C では、仕様 A の結果と比較すると 63Hz 帯域で 22dB の低減効果が得られた。

ボール加振時の結果を見ると、63Hz 帯域の低減効果はタイヤ加振による効果と同程度となり、加振源による影響は見られなかった。

今後は、乾式二重床支持脚から床構造へ伝搬される衝撃力の伝搬メカニズムについて検討し、支持脚と床小梁等の配置関係による影響を整理したい。

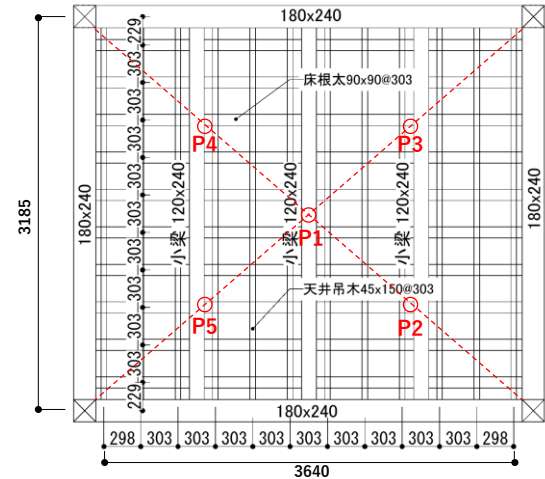
4.4 重量床衝撃音測定点の高さの影響検討

参考文献 7) では、筆者らが室空間の高さ方向における床衝撃音レベルのばらつきに着目して、受音点の設定方法を検討し、適切な受音位置の配置例を示している。また、木造を対象に、受音点高さが床衝撃音へ及ぼす影響に関する報告 8) も見られるが、実建物での測定検証事例はまだ少ない。そこで、本報で用いた木造実大実験建物の測定データを用いて、室空間内の高さ方向における床衝撃音レベルのばらつきについて検討した。

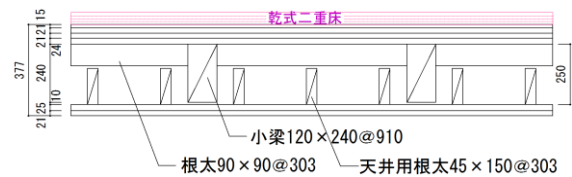
測定方法は、受音点高さによる測定値のばらつきを確認するため、床仕様 A をタイヤで加振した際の受音点 5 点に対して、床面から高さ 600mm～2100mm の 300mm ピッチに測定点を取り、高さ方向を計 6 点とし、合計 30 点で測定した。各加振点を加振した際の周波数帯域別に全受音点の測定値をエネルギー平均した値を基準値として、それより各測定値を減じた値を相対音圧レベルとして算出した。

各測定高さにおける相対音圧レベルを図－10 に示す。測定結果を見ると、63Hz 帯域や 125Hz 帯域でばらつきが大きく、高さ別にみると、1.2m、1.5m 付近でマイナス側に大きくなる傾向が見られた。特に、赤枠で示す S1 の室中央の 63Hz 帯域の測定値においては、測定高さ 1.2m、1.5m では-10dB 程度、それ以外の測定高さでも-5dB 以上となった。

以上の結果より、参考文献 7) の検討結果と同様に、居



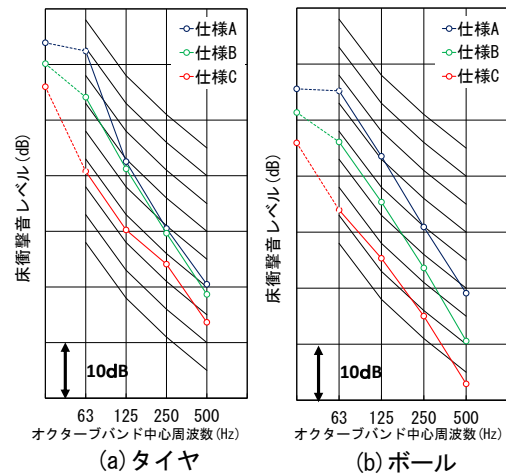
図－7 梁伏せ図および測定点



図－8 床断面図（天井詳細図）



写真－3 天井見上げ



図－9 床衝撃音測定結果

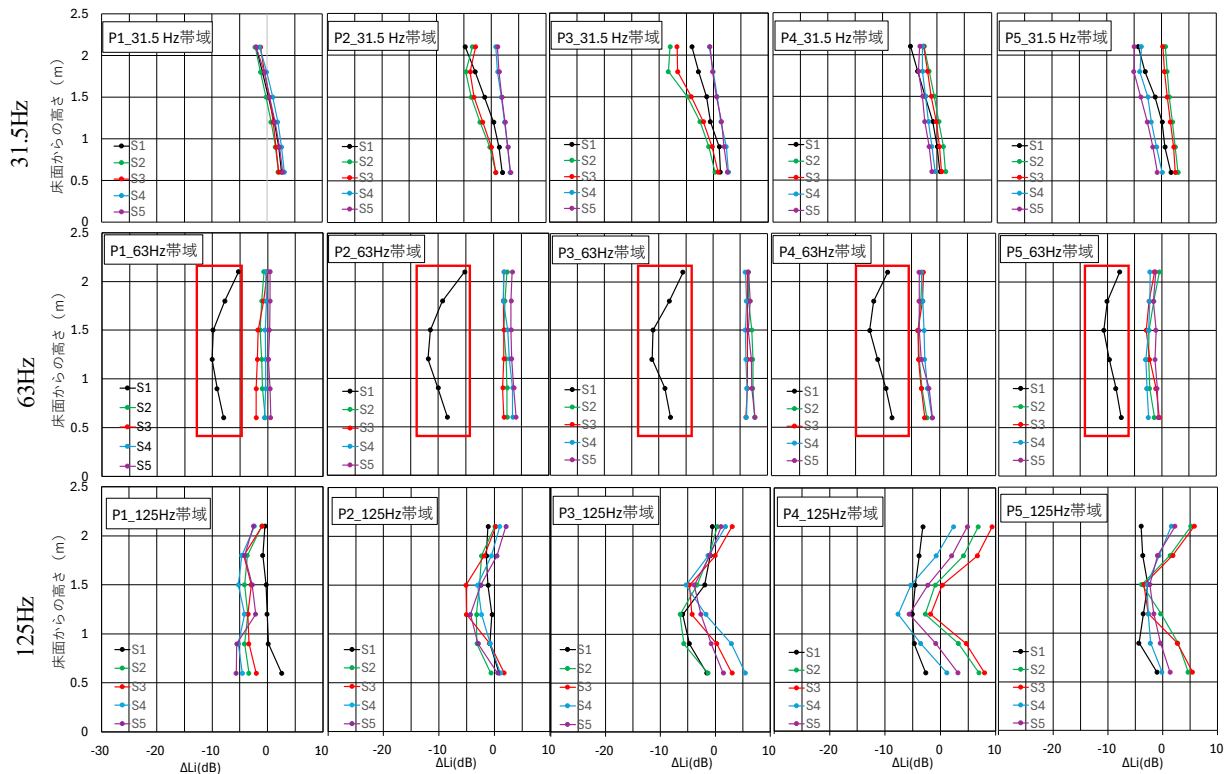


図-10 各測定高さによる相対音圧レベル

室で特異点となりやすい室中央位置については、モードによりレベルが低下する高さを外して室空間にランダムに測定点を配置することで、受音室の特性によるばらつきを含まない測定値が得られた。

今後は、乾式二重床の設置の有無による下室の固有モードへの影響の検討を行いたい。

5. まとめ

開発したハイブリッド高剛性パネルを乾式二重床の下地に使用して重量床衝撃音遮断性能を実験的に検証した。

乾式二重床を加振した際の支持脚への衝撃力分布特性の測定や、木造実大試験体へ開発パネルを用いた乾式二重床を適用し、重量床衝撃音レベルの低減効果について測定を実施した。その結果、以下のことが確認できた。

- i. 開発パネルを用いて面材の剛性を高めることで、床躯体への衝撃力の分散効果が向上する
- ii. 木質系床構造に対する重量床衝撃音対策として乾式二重床は有効であるが、標準仕様では対策前から 8dB (1~2 ランク) の性能向上にとどまる
- iii. 乾式二重床へ開発パネルを用いることで、木造実大試験体を対象に重量床衝撃音遮断性能が対策前から 22dB (4 ランク) 向上した

今後は、木造実建物に対して、本開発パネルを用いた乾式二重床を適用し、効果を確認する予定である。なお、本研究は帝人(株)との共同研究の成果の一部である。

【参考文献】

- 1) 国土交通省、「CLT 床の重量床衝撃音対策に関する基準整備に関する検討」、令和 6 年度 建築基準整備促進事業(調査事項 M12) 成果報告、2025.5
- 2) 廣田誠一、「枠組壁工法床の重量床衝撃音遮断性能の向上と評価に関する研究」、北海学園大学 博士論文、2016.3
- 3) 林 幸輝、富高 隆、河原塚透、田中ひかり、「木造軸組床構造を対象とした床衝撃音に関する研究(その 1 低床型二重床適用による性能の向上)」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.285-286、2024.8
- 4) 小堺裕司、平松友孝、富高 隆、田中ひかり、増田 潔、「木造建物の床衝撃音対策に関する実験的検討」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.349-350、2022.9
- 5) 柳沼勝夫、井上勝夫、富田隆太、中澤真司、佐藤伸俊、「乾式二重床の剛性変化及び設置場所の変化が床衝撃音に与える影響」日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.53-54、2005.9
- 6) 長瀬論司、野口昌宏、「CFRP で強化した集成材の力学特性に関する実験的研究」、日本建築学会構造工學論文集、Vol.65B、2019.3
- 7) 稲留康一、田野正典、山本耕三、中澤真司、漆戸幸雄、「受音室内における床衝撃音レベル分布と測定位置の検討例」、日本騒音制御工学会論文集、pp.35-38、2002.4
- 8) 堀尾貞治、滝川宇志、「木造実験棟における重量床衝撃音遮断性能の受音点高さの違いによる影響」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.229-230、2025.7