

# CLT 建築物の床衝撃音遮断性能向上のための対策工法の開発 — 防振性を高めた乾式二重床の検討 —

Development of Countermeasures against Floor Impact Sound Isolation Performance  
of CLT Structure  
(Study on Dry Double Floors with High Vibration Isolation Performance)

兵藤 伸也<sup>\*1</sup>  
Shinya Hyodo

山下 祐<sup>\*1</sup>  
Yu Yamashita

小林 真人<sup>\*1</sup>  
Masahito Kobayashi

森長 誠<sup>\*2</sup>  
Makoto Morinaga

安田 洋介<sup>\*3</sup>  
Yosuke Yasuda

## 【要旨】

近年、Cross Laminated Timber (CLT) を用いた木造建築が注目されている。CLT は鉄筋コンクリートなどと比べ軽量かつ低剛性なため、居住性能を向上させるためには床衝撃音遮断性能や界壁等の遮音性能など各種の音響性能について検討する必要がある。本研究では集合住宅において最も苦情対象となりやすい床衝撃音を対象に対策工法を検討した。軽量かつ低剛性な床スラブの床衝撃音遮断性能を向上する方法として、床スラブの衝撃に対するインピーダンスを大きくすることや、床スラブへ入力される衝撃力を低減することが考えられる。インピーダンスを大きくするにはスラブ厚を増す、CLT 以外の高剛性な材を積層する、梁を設置するなどの方法があるが大幅なコストアップにつながる。そこで、床スラブへ入力される衝撃力を低減する工法として防振性能を向上させた乾式二重床を開発した。開発した乾式二重床の床衝撃音遮断性能に関する実験を行った結果、乾式二重床の設置により床衝撃音遮断性能が 4 ランク向上すること、天井面と壁面からの音響放射が小さくなることで床衝撃音遮断性能が向上したことを明らかにした。

【キーワード】 CLT 床衝撃音 乾式二重床 防振 インピーダンス

## 1. はじめに

脱炭素社会の実現に向け建設業界においても木材利用が推進されている。2010 年には公共建築物における木材の利用の促進に関する法律が整備され建築への木材利用の取組みが加速した。そのなかで、建築の構造部材として Cross Laminated Timber (CLT) が注目されている。CLT は鉄筋コンクリートなどと比べ軽量かつ低剛性なため、居住性能を向上させるためには床衝撃音遮断性能や界壁等の遮音性能など各種の音響性能について検討する必要がある。本研究では、まず初めに集合住宅において最も苦情対象となりやすい床衝撃音を対象に対策工法を検討した。CLT のような軽量かつ低剛性な床スラブの床衝撃音遮断性能を向上する方法として、床スラブの衝撃に対するインピーダンスを大きくすることや、床スラブへ入力される衝撃力を低減することが考えられる。インピーダンスを大きくするにはスラブ厚を増す、CLT 以外の高剛性な材を積層する、梁を設置するなどの方法があるが大幅なコストアップにつながる可能性が高い。そこで、床スラブへ入力される衝撃力の低減に着目して、衝

撃入力に対して防振性能を向上させた乾式二重床を開発した。本報では開発した乾式二重床の床衝撃音遮断性能について、床衝撃音レベル、伝達インピーダンス、振動加速度レベルによる検討結果を報告する。

## 2. 箱型実験室の概要

写真-1 に実験に用いた箱型実験室の外観を示す。図-1 に箱型実験室各部の概要を示す。実験室の壁には厚



写真-1 箱型実験室の外観

さ90mmのCLT、天井部のスラブに厚さ150mmのCLT、室内の床に厚さ21mmの構造用合板を使用した。天井に木枠を置き、箱型実験室の基礎と壁、壁と床スラブと木枠をそれぞれ引きボルトを用いて70Nmの締付トルクで接合した。(f)の壁面にサッシ(ペアガラス、 $t=10\text{ mm}$ )を、(g)の壁面に木製ドアを取り付けた。また、室内音圧に対する空間モードの影響をできるだけ小さくするため、室の四隅にグラスウール(密度 $24\text{ kg/m}^3$ )を設置した。

### 3. 乾式二重床の概要

CLTスラブの固有振動数が40 Hz付近であることと衝撃源の衝撃周波数を考慮して、乾式二重床の固有振動数

は14 Hz程度となるように設定した<sup>2)</sup>。衝撃周波数25 Hzに対する振動伝達率は0.3程度である。乾式二重床の固有振動数を十分低くできるように、下地材は面密度が大きい高圧木毛セメント板とし、束材は下地材の重さに耐えうる材料としてウレタン系の防振材を選定した。防振材のばね定数は静荷重のたわみが5%になるように受圧面積を変えて調整した。

実験ケースを図-2に示す。No.1はCLTの素面で図-1に示した箱型実験室天井部の床スラブである。No.2からNo.5はNo.1にそれぞれ面密度が異なる乾式二重床を施工したものである。乾式二重床の質量と曲げ剛性は、下地材の増加によりNo.2からNo.5の順に高くなり、乾

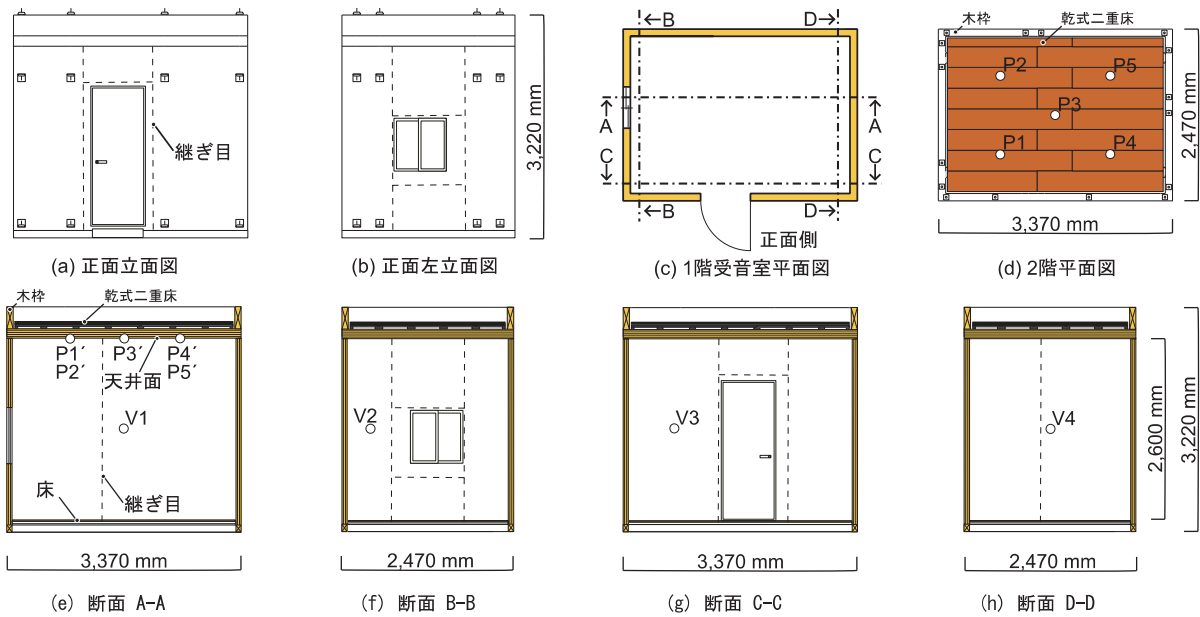


図-1 箱型実験室各部の概要 (○：振動加速度レベル測定点)

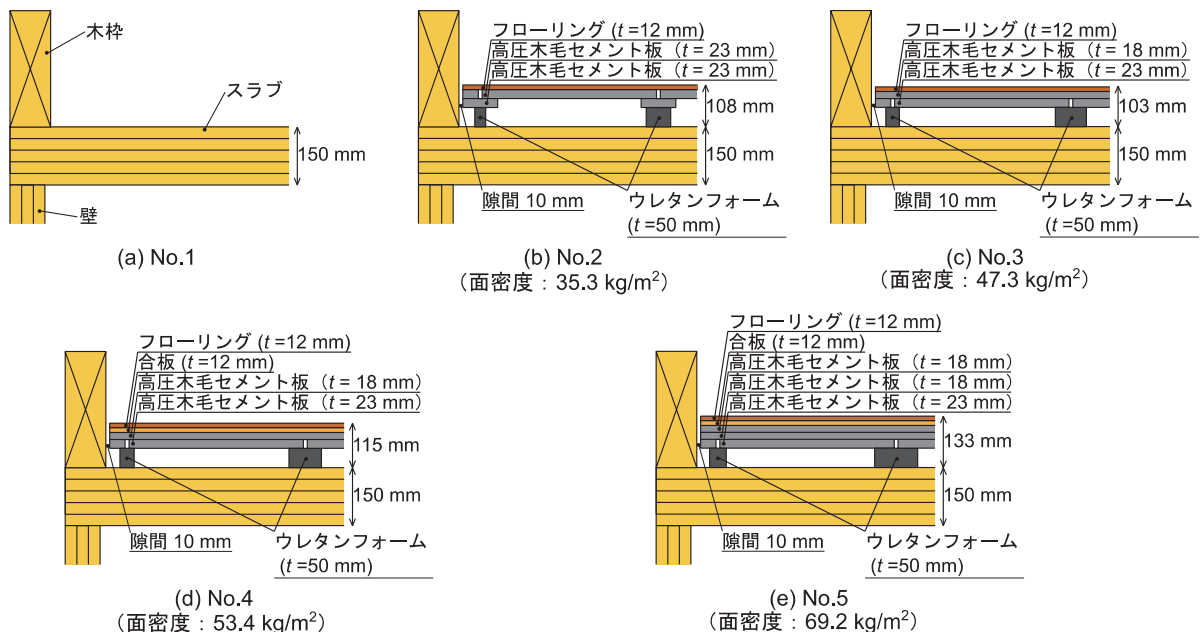


図-2 実験ケース

式二重床の面密度は No.2 から No.5 の順に 35.3 kg/m<sup>2</sup>, 47.3 kg/m<sup>2</sup>, 53.4 kg/m<sup>2</sup>, 69.2 kg/m<sup>2</sup>である。なお、乾式二重床は床スラブ上に、木枠との隙間が 10mm となるように設置した。

## 4. 測定方法

### 4.1 床衝撃音と振動加速度の測定方法

図-3 に床衝撃音と振動加速度の測定システムを示す。重量床衝撃音の測定は JIS A 1418-2 に基づいて行った。なお、重量床衝撃音の衝撃源に衝撃力特性(1)としてタイヤ、衝撃力特性(2)としてゴムボールを用いた。また、床衝撃音の評価は JIS A 1419-2 に基づいて行った。

床衝撃音測定と同時に図-1 (d)に示す P1 から P5 に近接した点、および図-1 (e)に示す天井面の P3'および壁面の V1 から V4 で振動加速度を測定した。振動加速度レベルは時間重み付け特性 10 ms, 1/3 オクターブバンド中心周波数で加振点別に算出した。

### 4.2 インピーダンスの測定方法

乾式二重床設置時の衝撃入力点から音響放射部位までの振動伝搬系の変化を評価するため、伝達インピーダンスを測定した。図-4 にインピーダンスの測定システムを示す。インピーダンス測定時の加振点は図-1 (d)の P1 から P5 として、受振点は図-1 (e)に示した加振点直下の P1'から P5'とした。

## 5. 結果と考察

### 5.1 床衝撃音レベルによる対策効果の検証

図-5 に床衝撃音レベルの測定結果を示す。床衝撃音レベルは CLT 素面 (No.1) に比べて乾式二重床を設置することで小さくなり、特に No.5 で最も小さくなった。これは、タイヤ加振、ボール加振でも同様の結果である。タイヤ加振の場合、No.1 は L-80 に対して No.5 で L-60、ボール加振の場合、No.1 は L-75 に対して No.5 で L-55 であった。このように防振性能を向上させた乾式二重床を設置することで、CLT スラブであっても、床衝撃音遮断性能を最大で 4 ランク向上させることが可能となった。

### 5.2 衝撃点から天井面への振動伝達特性の検討

スラブ素面の振動特性を確認すること、および乾式二重床の防振性能を確認するために衝撃点から天井面への伝達インピーダンスを計測した。図-6 に加振点 P1 から受振点 P1'への伝達インピーダンス、および加振点 P3 から受振点 P3'への伝達インピーダンスを示す。P1 加振に着目するとスラブ素面 (No.1) のインピーダンスは 37Hz 付近にディップがあり、P3 加振でも同様のディップが見られるが、P3 はスラブ中央のため P1 と比べてインピーダンスの落ち込みが大きい。乾式二重床を設置した No.2

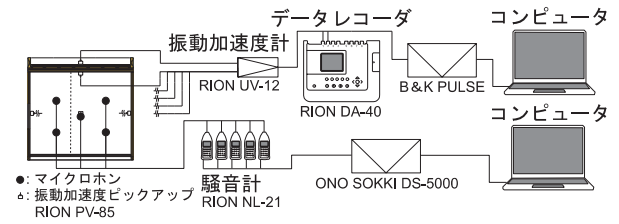


図-3 床衝撃音と振動加速度の測定システム

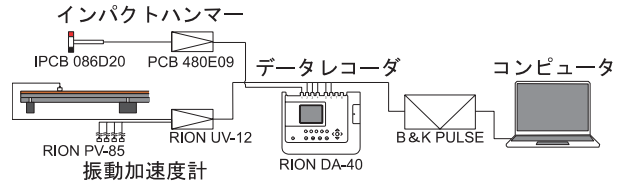


図-4 インピーダンスの測定システム

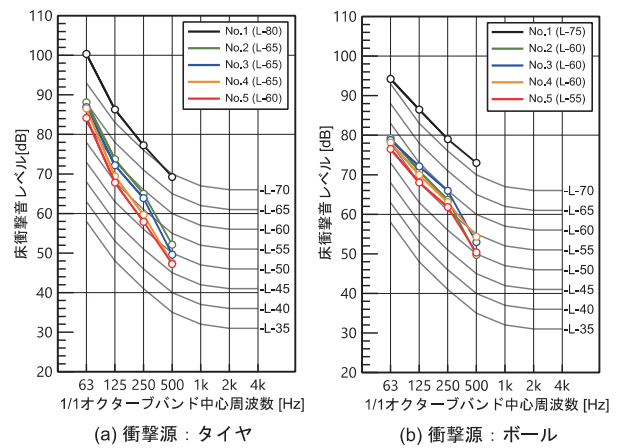


図-5 床衝撃音レベルの測定結果

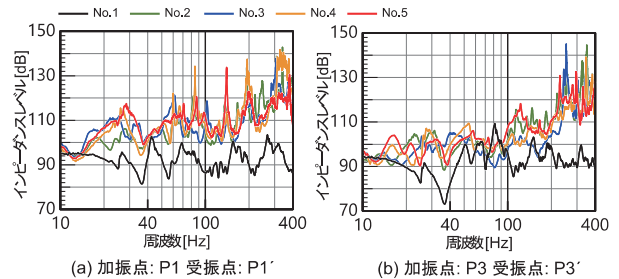


図-6 衝撃点から天井面への伝達インピーダンス

から No.5 では、No.1 で見られた 37Hz のディップが解消されるとともに、16Hz より高い周波数範囲でインピーダンスが上昇している。これらのことから乾式二重床を設置することで衝撃点から天井面への振動伝達特性が改善されていることが分かる。

### 5.3 天井面や壁面の振動応答に基づく対策効果の検討

防振性能を向上させた乾式二重床を設置することで床衝撃音遮断性能が 4 ランク程度向上することを確認した。上階スラブを衝撃加振したときに、衝撃音は天井面や壁面から放射されるが、CLT 造においては鉄筋コンクリート造に比べ壁面等からの放射が大きくなることが考えら

れる。ここでは、衝撃加振時の乾式二重床や天井および壁の加速度応答の変化から乾式二重床を設置したことの効果を検討する。

図-7に加振点近傍における振動加速度レベルの測定結果を示す。P1加振について、衝撃音レベル決定周波数である63 Hz帯域に着目すると、最も質量の小さいNo.2の応答が大きく、No.3とNo.4はNo.2に比べ小さくなり、質量が最も大きいNo.5の応答が最も小さくなることからわかる。P3についても同様の傾向が確認できる。タイヤ加振であるため、乾式二重床の仕様によらず加振力は一定であるから、質量が大きくなることで加速度応答は小さくなる。よって、乾式二重床の質量が大きくなると床スラブへ伝達される衝撃力が小さくなり、床衝撃音レベルが低減されている。

図-8にNo.1, No.3, No.5の試験体におけるP1加振時とP3加振時の天井面P3'における振動加速度レベルの測定結果を示す。P1加振に着目するとNo.1と比べて乾式二重床を設置したNo.3とNo.5で加速応答が小さくなることを確認できる。P3加振についても同様の傾向であるが、100 Hz帯域ではNo.1の応答が著しく小さくなっているためNo.3とNo.5との関係が逆転している。これは図-6で示したように100 Hz付近でのNo.1のインピーダンスが上昇していることに起因する。図-9にNo.1, No.3, No.5の試験体におけるP1加振時とP3加振時の壁面V1における振動加速度レベルの測定結果を示す。P1加振に着目するとNo.1と比べて乾式二重床を設置したNo.3とNo.5で加速応答が小さくなることを確認できる。P3加振についても同様である。これらのことから、乾式二重床を設置することで天井面と壁面の加速度応答が小さくなり、床衝撃音の低減に寄与していることが分かる。

## 6. まとめ

CLT構造の箱型実験室に防振性能を高めた乾式二重床を設置し、床衝撃音の低減効果について壁面と天井面の振動性状と共に検討した。その結果、防振性能を高めた乾式二重床の設置することでスラブ素面と比較して、重量床衝撃音遮断性能がL値で見ると4ランク向上したことを確認した。開発した乾式二重床の設置により天井面と壁面の振動加速度レベルが小さくなったことで、天井面と壁面からの音響放射が小さくなり床衝撃音遮断性能が向上した。

木造建築の音環境に関して、床衝撃音遮断性能だけではなく、外壁や界壁などの各種音響性能に関する検討とデータの蓄積が必要である。これらについては実験的な

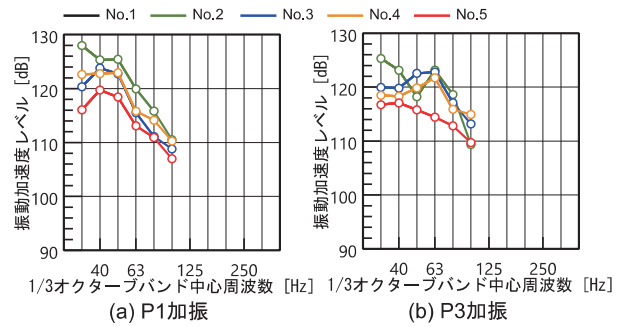


図-7 タイヤ加振時の加振点近傍の振動加速度レベル

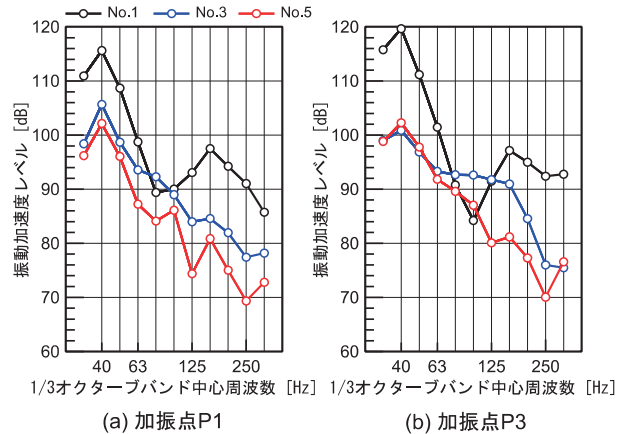


図-8 タイヤ加振時の天井面P3'における振動加速度レベル

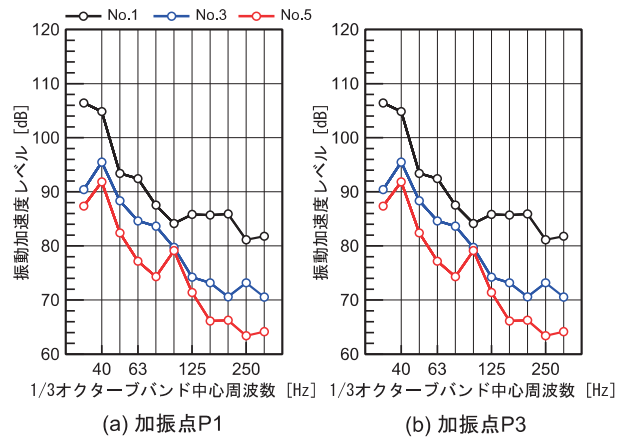


図-9 タイヤ加振時の壁面V1における振動加速度レベル

検討に着手しており、随時、その成果を公表予定である。

## 【参考文献】

- 1) 林野庁 木材利用課, 公共建築物等における木材利用の促進について, 2011.
- 2) 日本音響材料協会編, 騒音・振動対策ハンドブック, 技報堂, p. 434, 1982.



**Summary** In recent years, wooden buildings using cross laminated timber (CLT) are paid attention to. Since CLT has weight and stiffness lower than those of reinforced concrete, it is necessary to examine the various acoustic performances, such as floor impact sound isolation performance and sound isolation performance by boundary wall in order to improve residential quality. This study examined a countermeasure construction method targeting floor impact sound, which most easily becomes the object of complaints in apartment houses. The increase of impedance for the impact of floor slabs and the reduction of the impact force entered on the floor slab are considered to be methods for improving the floor impact sound isolation performance of a floor slab with lightweight and low stiffness attributes. Although the methods for increasing impedance are by increasing slab thickness, lamination of highly stiff material other than CLT, and installation of beams, they result in large cost increases. Therefore, we developed dry double floors where vibration isolation performance was improved as a construction method for reducing the impact force entered on the floor slab. As a result of conducting experiments regarding the floor impact sound isolation performance of the developed dry double floors, we clarified that the installation of dry double floors improved floor impact sound isolation performance by four ranks and the reduction of acoustic radiation from the ceiling and wall surfaces improved the floor impact sound isolation performance.

**Key Words :** *Cross Laminated Timber; Floor impact sound, Dry double floor; Vibration isolation, Impedance*