

CLTユニット工法建物の遮音性能

藤澤 康 仁 高 橋 克 俊 濱 田 秀 仁
(設計本部)上 原 耕 辻 靖 彦 藤 生 直 人
(設計本部) (営業総本部) (環境経営統括室)

Sound Insulation Performance of Building Constructed by CLT Unit Method

Yasuhito Fujisawa Katsutoshi Takahashi Hidehito Hamada
Ko Uehara Yasuhiko Tsuji Naoto Fujiu

Abstract

To determine reasonable specifications for interior sound insulation in a building constructed using our newly developed CLT unit method, the sound insulation performance was measured using a full-scale test specimen for multiple sound insulation specifications. The results confirmed that the floating floor with concrete on top of the CLT floor provided significant sound insulation for heavy and lightweight floor impact sounds. In addition, because the airborne sound insulation performance is significantly affected by the flanking sound from the exposed surface of the CLT panels, it is necessary to determine the interior sound insulation specification by considering the balance between the target sound insulation performance and architectural design.

概 要

大林組が開発したCLTユニット工法の建物において、目標性能に応じた合理的な遮音対策用の内装仕様を立案することを目的として、実大試験体による遮音性能検証実験を行った。その結果、CLT床上に湿式浮床を施工することで、重量・軽量床衝撃音とも大きな遮音効果が得られることを確認した。また、隣室間と上下室間の空気音遮断性能にはCLT現し面からの側路伝搬音の影響が大きく現れるため、目標とする遮音性能と意匠面とのバランスを考慮して、遮音内装仕様を決定する必要があることを示した。今回得られた知見は、CLTユニット工法の各種用途建物への実適用時の設計に活用していく予定である。

1. はじめに

木造建物は鉄筋コンクリート造や鉄骨造の建物と比較すると躯体構造が軽量なため、集合住宅やホテル等の用途では、遮音用の内装対策が必要となる。近年、木造建物で多く用いられているCLTパネルによる床や壁の遮音性能に関しては、実験室において各種仕様の性能検証が行われている。一方、木造建物では、躯体内を振動が伝搬し受音室の各面から音が放射される側路伝搬音の影響によって、実験室で測定された床・壁単体の遮音性能が実建物では得られにくいことが予想される。しかし、側路伝搬音の影響は、躯体構造や内装仕様に左右され、また現状では数値解析等による予測が困難である。

今回、大林組が開発したCLTユニット工法は、梁・柱がないCLTパネルによる壁式構造であり、上記の側路伝搬音による遮音性能の低下が、上下・左右の室間で生じると考えられた。このため、側路伝搬音の影響を含む実建物の遮音性能を把握し、目標性能に応じた合理的な遮音対策用の内装（以下、遮音内装）仕様を立案することを目的として、CLTユニット工法建物の実大試験体を製作し、複数の遮音内装仕様を対象として遮音性能の検証測定を行った。

2. 試験体概要

2.1 CLTユニット工法建物試験体

大林組が開発したCLTユニット工法は、工場ではCLTの壁パネルと天井(床)パネルを門型形状に組立てたユニット(Photo 1)を、現場で設置して建物を構築する工法である。同一プランの室が連続するホテル客室、集合住宅、社員寮等へ適用することで、建物の高品質化、工期短縮と建設コスト低減が可能となる。Fig. 1にCLTユニット工法建物の試験体の概要、Fig. 2に各接合部の詳細、Fig. 3



Photo 1 CLTユニット
CLT Unit

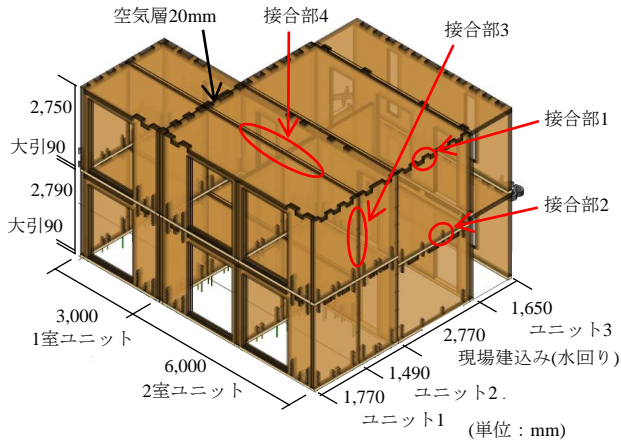


Fig. 1 CLTユニット工法建物試験体
Overview of CLT Unit Construction Building Specimen

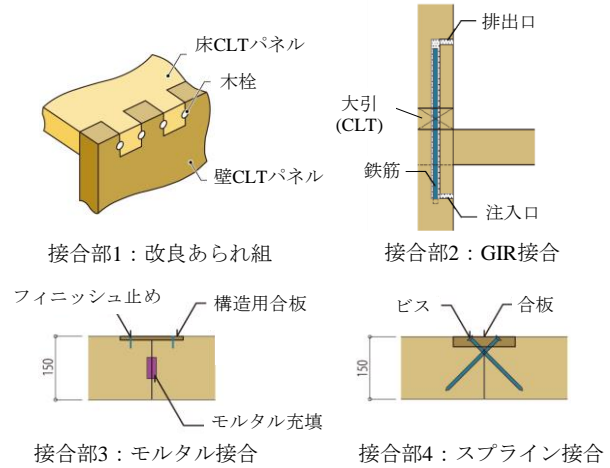


Fig. 2 CLTパネル接合部の詳細
Details of CLT Panel Joint

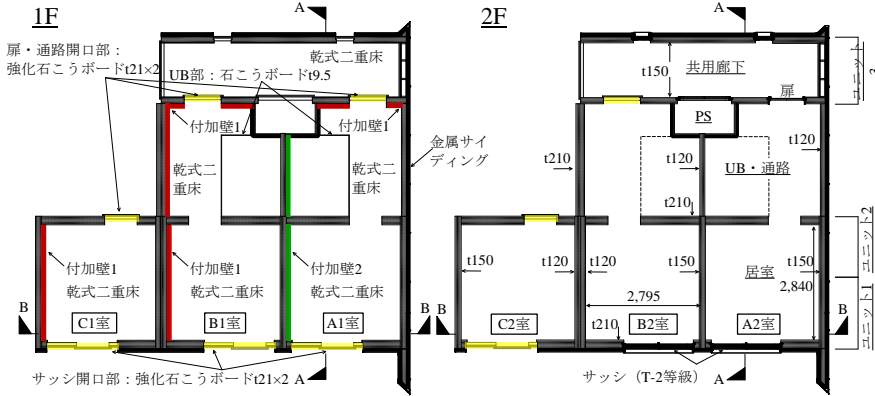


Fig. 3 試験体平面図 (CASE0)
Plans of Specimen (CASE0)

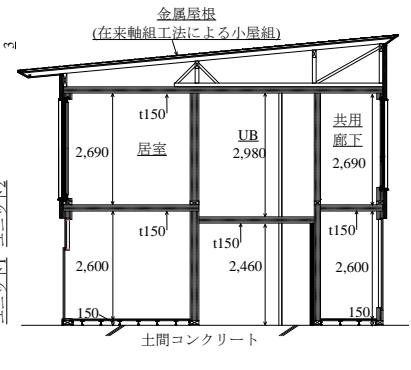


Fig. 4 A-A断面図 (CASE0)
A-A Section (CASE0)

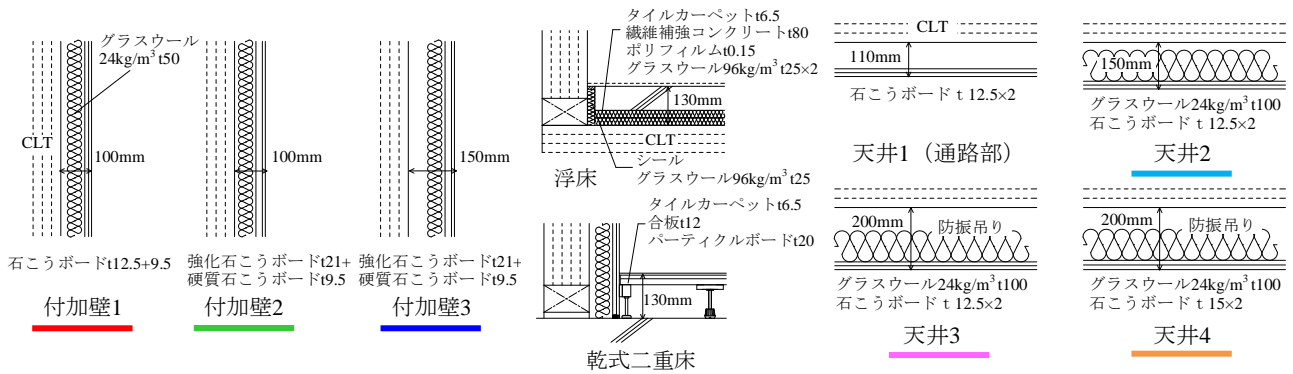


Fig. 5 遮音内装仕様

Specification of Sound Insulation Interior

に平面図, Fig. 4に断面図を示す。試験体は, 居室2室分を1単位とした2室ユニット×2フロアと, ユニット間の界壁 (以下, ジョイント壁) の遮音性能を検証するための1室ユニット×2フロアが20mmの空気層を介して隣接する, 計6室の構成とした。2室ユニット側は, 共用廊下とCLTパネルの現場建込みによる水回り・通路部を含めて製作した。ユニット高さは1Fが2,790mm, 2Fが2,750mmで, 4トントラックで運搬可能なサイズとした。壁パネルと床パネルの接合は, それぞれを欠き込み組み合わせるあら

れ組に, 木栓を追加した改良あられ組とした。壁パネル同士の鉛直方向の接合は, 充填材にモルタルを用いたGIR接合とし, 水平方向の接合は, 壁パネル小口の中央部を欠き込んでモルタルを充填するモルタル接合とした。1Fの壁パネルは, 土間コンクリートとのGIR接合とし, 床・天井パネル同士の水平方向の接合はスプライン接合とした。CLTパネルの樹種はスギ, 強度区分はS60Aで, 床・天井パネル厚さは150mm, 壁パネル厚さは120~210mmとした(Fig. 3, Fig. 4)。

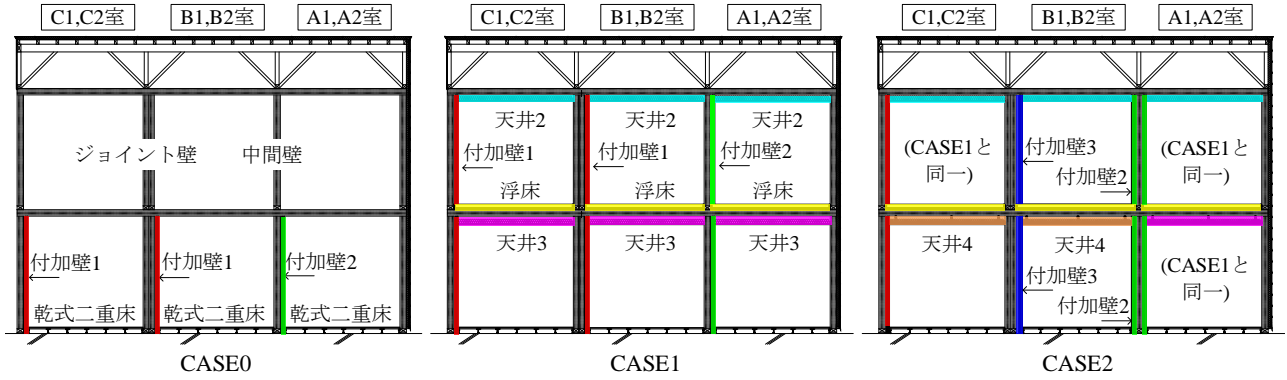


Fig. 6 遮音内装施工箇所 (Fig. 3 - B-B断面)
Construction Location of Sound Insulation Interior (Fig. 3 - B-B Section)

Table 1 遮音内装条件一覧
List of Sound Insulation Interior Condition

階	室	CASE0	CASE1			CASE2
			CASE1-1	CASE1-2	CASE1-3	
2F	A2	天井CLT素面	←	←	天井2 (居室・通路)	←
	B2	壁全面CLT素面	←	界壁片側に付加壁1・2	←	付加壁2・3 (B2居室)
	C2	床CLT素面	湿式浮床	←	←	←
1F	A1	天井CLT素面	←	←	天井1 (通路), 天井3 (居室)	天井4 (B1・C1居室)
	B1	界壁片面に付加壁1・2	←	←	←	付加壁2・3 (B1居室)
	C1	乾式二重床	←	←	←	←

2.2 遮音内装仕様

文献^{1)~2)}などを参考に選定した壁・床・天井の遮音内装仕様をFig. 5に、遮音内装施工箇所をFig. 6に、遮音内装条件の一覧をTable 1に示す。

CASE0では、CLTパネル素面の床衝撃音と空気音遮断性能を把握するため、2Fは遮音内装未施工で、壁・床・天井ともCLT現しの状態とした。1Fは室間の界壁CLTの片側に付加壁1・2を設置し、天井のみ遮音内装未施工の状態とした。CASE0の付加壁と乾式二重床の施工範囲をFig. 3に示す。

CASE1では、パイプシャフト(PS)以外の床面は、グラスウールによる湿式浮床、天井は1F居室部のみ防振吊り仕様の天井3とした。2Fのジョイント壁とユニット内の界壁(以下、中間壁)には、CASE0の1Fと同一仕様の付加壁を1Fと同一の平面位置に施工した。CASE1では、各部位の遮音内装による対策効果を把握するため、浮床施工後(CASE1-1)、付加壁施工後(CASE1-2)、天井施工後(CASE1-3)の3ケースを測定対象とした。なお、CASE1-2の段階で、A2室にユニットバスを設置した。

CASE2では、CASE1よりも高い遮音性能を得るため、B1・B2室の中間壁に付加壁2を追加し、居室内のCLT現し面を壁2面とした。また、ジョイント壁は空気層を広げた付加壁3とし、B1・C1室の天井を天井4の仕様へ変更した。

なお、1Fの付加壁は土間コンクリートから天井CLTパネルまで、2Fの付加壁は浮床上から天井CLTパネルまで設置した。

3. 遮音測定

3.1 測定内容

遮音測定は、居室部分を対象として床衝撃音レベルと上下・隣室間の室間音圧レベル差について行い、測定方法はJIS A 1417, JIS A 1418-1・2に準拠した。床衝撃音レベル測定時の衝撃源は、JIS A 1418-1・2に規定される標準重量衝撃源(タイヤ)と標準軽量衝撃源(タッピングマシン)を用いた。測定結果の評価は、JIS A 1419-1・2に準拠して床衝撃音レベルを L_r 値、室間音圧レベル差を D_r 値で行い、JISに規定されていない範囲の性能については、遮音等級曲線を5 dB間隔で移動させて評価した。測定経路は、床衝撃音レベルと上下室間音圧レベル差は2F各室を音源室とする3経路、隣室間音圧レベル差はB1・B2室を受音室としてそれぞれの両隣との室間の4経路とした。CASE1-1のタッピングマシンによる床衝撃音レベルは、2F浮床コンクリート素面の条件と、加振位置にタイルカーペットを敷いた条件の2条件で測定を行った。なお、遮音内装条件が同一で性能に変化がないと考えられる条件での測定は省略した。

3.2 床衝撃音レベル測定結果

Fig. 7~Fig. 9に各室の床衝撃音レベル測定結果を、Table 2に L_r 値の一覧を示す。なお、グラフ中の凡例には1dBピッチで評価した場合の L_r 数を示している。

遮音内装施工前のCASE0では、 L_r 値の決定周波数は、

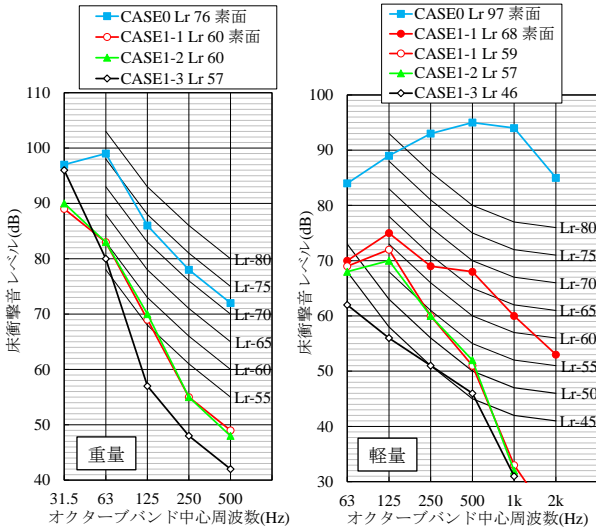


Fig. 7 床衝撃音レベル測定結果 (A2→A1)
Measured Floor Impact Sound Level (A2→A1)

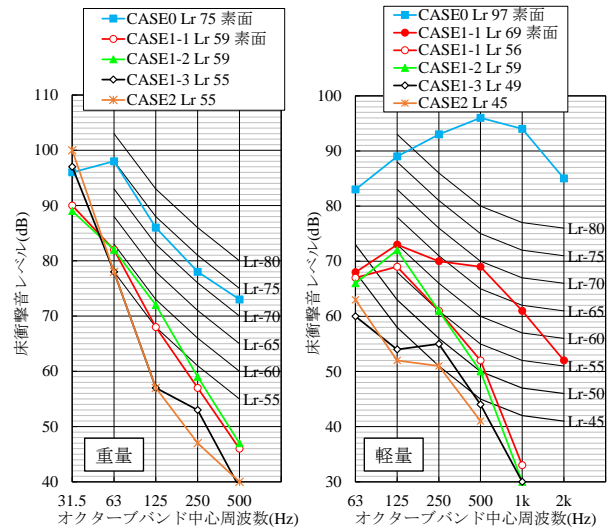


Fig. 8 床衝撃音レベル測定結果 (B2→B1)
Measured Floor Impact Sound Level (B2→B1)

Table 2 L_r 値一覧

List of L_r Grade between Upper and Lower Rooms

受音室	衝撃源	CASE0	CASE1-1	CASE1-2	CASE1-3	CASE2
A1	重量	75	60	60	55	-
	軽量	95	70	55	45	-
B1	重量	75	60	60	55	55
	軽量	95	70	60	50	45
C1	重量	80	65	60	60	60
	軽量	100	70	60	50	50

各経路とも重量が63 Hz帯域、軽量が1 kHz帯域であり、A1・B1室は重量が L_r -75、軽量が L_r -95、C1室は重量が L_r -80、軽量が L_r -100の性能である。C1室の値が各周波数帯域でA1・B1室より大きい、1室ユニットのために振動の逸散効果が小さいことや、通路部がなく受音室内の等価吸音面積が小さいことによるものと考えられる。なお、2FのCLT床の1次固有振動数実測値は、A2・B2室が43Hz、C2室が45Hzであった。

浮床施工後のCASE1-1では、重量は L_r -60~65となり各室とも3ランク性能が向上し、軽量は素面で L_r -70となり各室で5~6ランク性能が向上している。CASE0とCASE1-1の測定結果から、浮床の床衝撃音レベル低減量を算出した結果をFig. 10に示す。40Hz帯域以上では測定室・衝撃源による低減量の差は小さく、63Hz帯域付近では15dB前後の値が得られている。 L_r 値の評価対象外周波数領域である25Hz帯域以下では低減量がマイナスの値となっているが、別途確認した浮床系の1次固有振動数は各室とも22Hzであり、浮床の共振による増幅と考えられる。

2Fに付加壁1・2を施工したCASE1-2では、B1・C1室で数dBの増幅が見られる周波数がある。B1・C1室の付加壁1の空気層と壁材の共振周波数計算値は60Hzであり、A1室の付加壁2の共振周波数計算値の53Hzよりもやや高いことから、壁面経由の側路伝搬音の影響が現れたとも考えられる。

1F・2Fの天井施工後（CASE1の遮音内装完了後）の

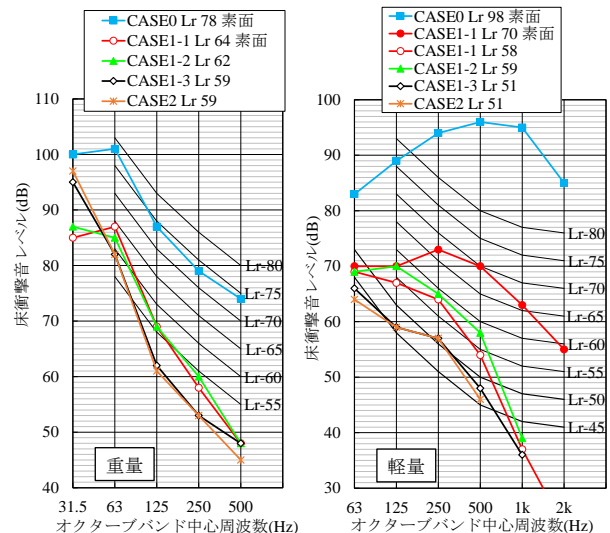


Fig. 9 床衝撃音レベル測定結果 (C2→C1)
Measured Floor Impact Sound Level (C2→C1)

CASE1-3では、重量はA1・B1室で L_r -55、C1室で L_r -60、軽量はA1室で L_r -45、B1室・C1室で L_r -50であり、日本建築学会による床衝撃音レベルに関する適用等級³⁾では、集合住宅居室・ホテル客室として、重量は2級~3級、軽量は1級~2級に相当する性能である。CASE1-2とCASE1-3から、天井3の床衝撃音レベル低減量を算出した結果をFig. 11に示す。125Hz帯域以上の周波数ではややばらつきが大きくなるが、各測定室・衝撃源で同様の低減量が得られている。31.5Hz帯域付近で低減量が最も小さくなる周波数特性であるが、2F床-天井懐空気層-天井材による共振周波数計算値は34Hzであることから、空気層の共振による増幅の影響が現れたものと考えられる。

CASE2では、B1室の軽量で125Hz~500Hz帯域で床衝撃音レベルが小さくなり、1ランク性能が改善して L_r -45となっている。このB1室における性能の改善は、C1室の軽量では値にほぼ変化がないことから、天井仕様を変更

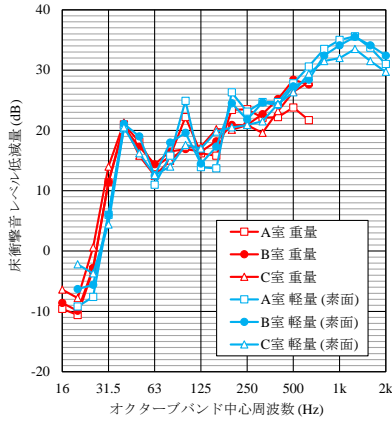


Fig. 10 浮床の床衝撃音レベル低減量

Floor Impact Sound Reduction of Floating Slab

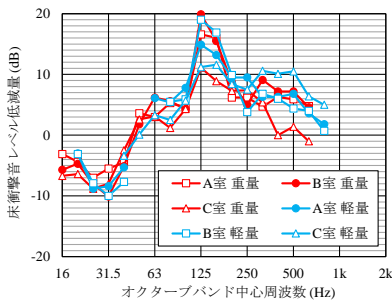


Fig. 11 天井3の床衝撃音レベル低減量

Floor Impact Sound Reduction of Ceiling3

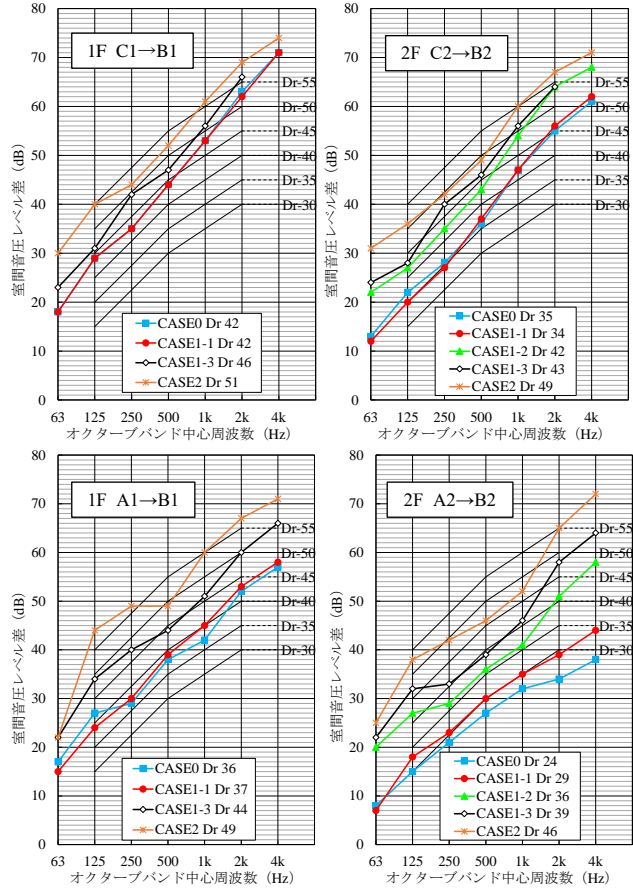


Fig. 12 隣室間音圧レベル差測定結果

Measured Sound Pressure Level Difference between Adjacent Rooms

Table 3 隣室間のDr値一覧

List of Dr Grade between Adjacent Rooms

経路		CASE0	CASE1-1	CASE1-2	CASE1-3	CASE2
1F	A1→B1	35	35	-	45	50
	C1→B1	40	40	-	45	50
2F	A2→B2	25	30	35	40	45
	C2→B2	35	35	40	45	50

した影響ではなく、CLT現しの中間壁に付加壁2を追加したことで壁面からの側路伝搬音が低減した影響と推察される。一方で、B1室の重量では変化は小さく、重量に対しては壁面からの側路伝搬音の影響が小さい、又は石こうボードによる付加壁の影響が小さいことが考えられる。

3.3 室間音圧レベル差測定結果

Fig. 12に同一階の隣室間音圧レベル差測定結果を、Table 3にDr値の一覧を示す。示す。なお、グラフ中の凡例には1dBピッチで評価した場合のDr数を示している。

CASE0の2Fでは、CLTt150の中間壁を介したA2-B2室間がDr-25、CLTt120が2層あるジョイント壁を介したC2-B2室間がDr-35である。界壁の片側に付加壁1を施工した1Fでは、A1-B1室間がDr-35、C1-B1室間がDr-40であり、2F隣室間より1~2ランク高い性能である。

浮き床施工後のCASE1-1では、C1-B1室間とC2-B2室間ではCASE0との変化はほぼないが、A1-B1、A2-B2室間では音圧レベル差が大きくなる傾向が見られる。2Fに付加壁1・2を施工したCASE1-2では、A2-B2室間でDr-35、C2-B2室間でDr-40となり、2経路ともCASE1-1よりも全周波数で5dB以上性能が向上している。1F・2Fに天井を施工したCASE1-3では各経路ともCASE1-2から1~2ランク性能が向上しDr-40~45、CASE2では更に1ランク性能が向上し、Dr-45~50となっている。室間音圧レベル差に関する適用等級³⁾では、集合住宅居室・ホテル客室として、

CASE1-3では2級~3級、CASE2では1級~2級に相当する性能である。

隣室間音圧レベル差測定結果は、各ケースとも中間壁を介した経路よりジョイント壁を介した経路の方が、また、2Fより1Fの経路の方が高い性能が得られている。これらの性能の違いは、界壁を透過する音以外の、側路伝搬音の影響度合いの違いに起因すると推察される。A1・B1室、A2・B2室は同一ユニット内に位置しており、隣室間で躯体床・壁・天井のCLTパネル内を振動が伝搬し易く、受音室内でCLT現し面からの側路伝搬音の影響が現れ易い条件と考えられる。一方、CASE1-3で天井を施工した際にC1-B1、C2-B2室間で性能が向上していることから、Dr-40以上の性能では、別ユニット間でも側路伝搬音の影響が現れることがわかる。1Fと2Fでの性能の違いについては、1Fのユニットは土間コンクリート上に設置されており、CLT床の上にユニットを設置する2Fよりもユ

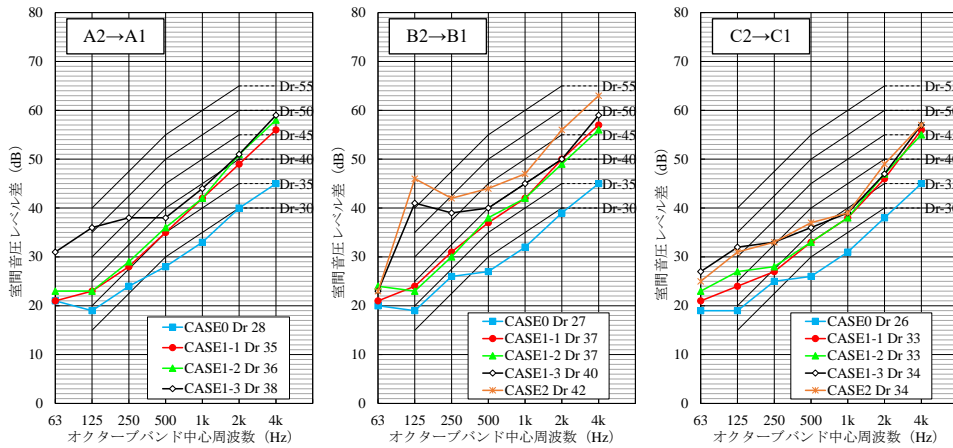


Fig. 13 上下室間音圧レベル差測定結果

Measured Sound Pressure Level Difference between Upper and Lower Rooms

Table 4 上下室間のDr値一覧

List of Dr Grade between Upper and Lower Rooms

受音室	CASE0	CASE1-1	CASE1-2	CASE1-3	CASE2
A1	30	35	35	40	-
B1	25	35	35	40	40
C1	25	35	35	35	35

ユニットが振動し難いことが一因と考えられる。

Fig. 13に上下室間音圧レベル差測定結果を、Table 4にDr値の一覧を示す。

CASE0ではDr-25～30であり、床衝撃音レベル同様、1室ユニットの経路がやや低い性能である。

浮床施工後のCASE1-1では1～2ランク性能が向上しDr-35である。各周波数における浮床による遮音効果は、Fig. 11に示した床衝撃音レベル低減量と比較すると小さい。付加壁施工後のCASE1-2では、若干音圧レベル差が大きくなる周波数はあるが、Dr値に変化はない。天井施工後のCASE1-3では、A1・B1室は1ランク性能が向上しDr-40、C1室ではDr-35であり、1室ユニットのC1室は周波数特性が異なっている。Dr値の決定周波数は500Hz～2kHz帯域であり、この周波数領域では天井の遮音効果は小さく、最大でも3dBである。

CASE2では、B1・C1室ともDr値に変化はないが、B1室では125Hz帯域以上の各周波数で音圧レベル差が2dB～6dB大きくなっている。室間音圧レベル差に関する適用等級では、集合住宅居室・ホテル客室として、A1・B1室ではCASE1-3・CASE2とも3級、C1室は等級外の性能に相当する。各ケースの測定結果を比較すると、隣室間の音圧レベル差と同様、遮音内装の効果が十分に得られにくい周波数があり、CLT現し面からの側路伝搬音による影響と考えられる。

隣室間・上下室間音圧レベル差の測定結果から、CLTパネル現し面からの側路伝搬音は、主に250Hz～2kHz帯域の周波数範囲で現れやすいことがわかる。CLT現し面に内装を付加していくことで側路伝搬音の影響を低減し、より高い遮音性能を得られると予想されるが、目標とする遮音性能と意匠面とのバランスを考慮して、遮音内装仕様を決定する必要があると考える。

4. まとめ

CLTユニット工法建物の実大試験体を製作し、遮音内装の施工段階毎に床衝撃音レベルと室間音圧レベル差の測定を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) CLT床上に浮床を施工することで、重量・軽量床衝撃音に対して遮音効果が大きく得られ、防振天井との併用で2室ユニットでは重量はLr-55、軽量はLr-45～50の性能が得られた。
- 2) 遮音内装を付加して居室内のCLT現し面を壁2面とした場合の室間音圧レベル差は、隣室間ではDr-45～50、上下室間ではDr-40の性能が得られた。
- 3) CLT現し面からの側路伝搬音の影響は、軽量床衝撃音と隣室間・上下の室間音圧レベル差において、主に250Hz～2kHz帯域の周波数範囲で現れやすく、目標性能と意匠面とのバランスを考慮した遮音内装仕様が必要である。

今回得られた知見は、CLTユニット工法の各種用途建物への実適用時の設計に活用していく予定である。

謝辞

本実験は、木構造振興（株）・（公財）日本住宅・木材技術センターによる令和3年度CLT活用建築物等実証事業の補助を受け実施した。

参考文献

- 1) (一財)日本CLT協会：2019年版 実務者のためのCLT建築物設計の手引き，2019.6
- 2) 笠井祐輔，他：CLT遮音実験棟の設計概要と遮音性能 その2. 乾式二重床および二重天井の効果，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学，pp. 403-404，2020
- 3) 日本建築学会編：建築物の遮音性能基準と設計指針 [第二版]，技法堂出版，1997