

CLT遮音実験棟の遮音性能 その3：湿式工法床や二重天井材・ 乾式二重床などの付加材による効果

Sound insulation performance of CLT sound insulation test laboratory. – Part 3. Effects of wet construction floors, double ceilings and dry double floors.

笠井 祐輔*1、田中 学*2、河野 友弘*3、河合 誠*4

1. はじめに

CLT遮音実験棟（以下、実験棟と記す）は、（一社）日本CLT協会／遮音WG〔主査：田中学（日本建築総合試験所）、幹事：河野友弘（大和ハウス工業）〕で建設が企画され、「令和元年度国土交通省サステナブル建築物等支援事業（木造先導型）木造実験棟」に採択された。その後、2020年2月末に日本建築総合試験所の敷地内に竣工した実験棟^{1),2)}で、2020年から7年間、遮音性能における検証実験を行う予定である。実験棟は集合住宅の居室を模した実大サイズで、CLTパネル工法による2階建て（延床面積：80m²）である。

CLTパネルはRCと比較すると、比重が小さく、質量に対する剛性が高いことなどから構造上有利と考えられる特徴がある。一方で、躯体における遮音性能は充分ではなく、共同住宅等で利用するために対策が必要である。実験棟の竣工後、同WGでは「令和2年度林野庁補助事業 木材産業・木造建築活性化対策のうち中高層建築物を中心としたCLT等の木質建築部材の利用促進事業のうちCLT等の利用促進及び低コスト化の推進に係る技術開発・検証等」および「令和3年度木材製品の消費拡大対策のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業」として、遮音性能への対策の検討を行い、その効果を明らかにしてきた^{3)~5)}など。

本稿では、実験棟（図-1参照）の2階床パネルにせっこう系セルフレベルング材やコンクリートなどの湿式工法を施工した仕様および、湿式工法に二重天井や乾式二重床を組み合わせた場合における遮音性能を測定したの

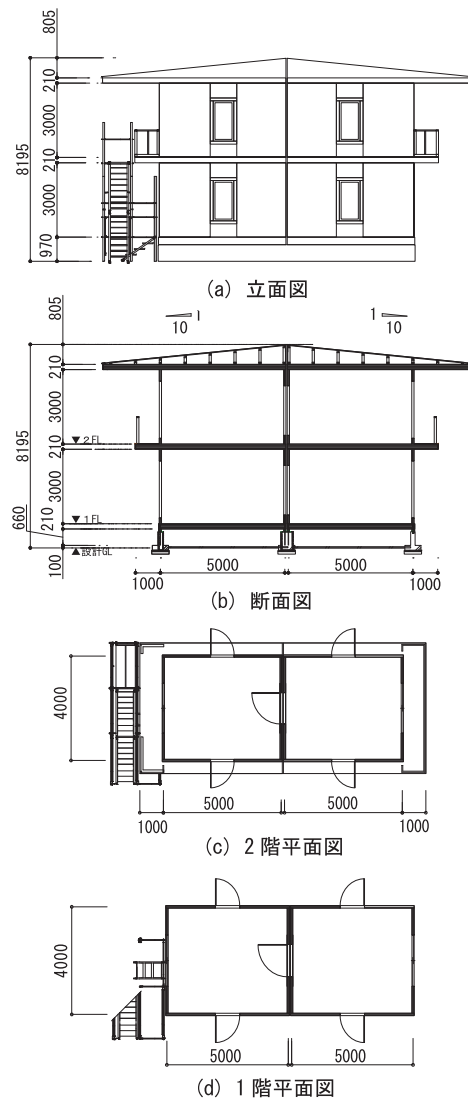


図-1 CLT遮音実験棟の立面・断面・平面図（単位：mm）

*1 KASAI Yusuke : (一財)日本建築総合試験所 試験研究センター 環境部 環境試験室
 *2 TANAKA Manabu : (一財)日本建築総合試験所 試験研究センター 環境部 部長 博士(工学)
 *3 KONO Tomohiro : 大和ハウス工業(株)本店 木造住宅事業部 次長
 *4 KAWAI Makoto : (一社)日本CLT協会 顧問

で、その結果の一部を紹介する。なお、本稿の内容は(一社)日本CLT協会/遮音WGにおいて検討・議論された実験計画に基づき実施したものである。これら同実験棟の躯体性能として音響特性の詳細については既報⁶⁾を参照されたい。

2. 測定対象とした界床断面

実験棟の2階床 (CLT素版、CLTパネル躯体床) の上面側に図-2に示す4仕様の湿式工法床を施工し、その内の1仕様 (図-2(d)) の床上に図-3に示す乾式二重床を施工した。2階床の下面側には、図-4に示す2仕様の二重天井を施工した。これらの湿式工法床、乾式二重床および二重天井を組み合わせてCLTパネル躯体床に付加した仕様 (No.1~No.7) を測定対象とした。各仕様の付加材の一覧を表-1に、床断面概要図を図-5に、各種付加材の施工時の様子を写真-1にそれぞれ示す。

湿式工法床はせっこう系のセルフレベリング材 (厚さ60mm) とコンクリート (厚さ100mm~200mm) である。せっこう系セルフレベリング材の施工時には、CLTパネル躯体床上にポリエチレン系フィルムを敷いた。コ

ンクリートについては100mmを施工後、50mmずつ増し打ちし、200mmまでを施工した。なお、コンクリートの施工時にはメッシュ筋および厚さ36mmのCLTパネルから切り出したシアキーを100mmピッチで設置し、コンクリートを施工した仕様に対しては、受音室の中央部に105mm×300mmの梁材を付加した。乾式二重床は、支持脚・パーティクルボード・アスファルト系制振シート・合板・フローリングで構成されており、図-2(d)に示すコンクリート200mmの湿式床上に施工した。

二重天井はいずれも12.5mmのせっこうボードを2枚張りした独立根太天井であり、天井空気層の懐厚は二重天井Aでは150mm、二重天井Bでは495mmとした。また、天井空気層内部には密度24kg/m³、厚さ50mmのグラスウールを挿入し、二重天井Bにはさらに粒状系制振材を追加で設置し、1階壁パネルと2階床パネル間の緊結ボルト付近に厚さ30mmの鉄板を挟み込んで空気抜きを確保した。

なお、実験棟は図-1に示すように横に2室が配置されているが、両室の遮音性能はほぼ同等であることを確認しており⁶⁾、本稿で紹介する測定結果は2室のうち1室で実施したものである。

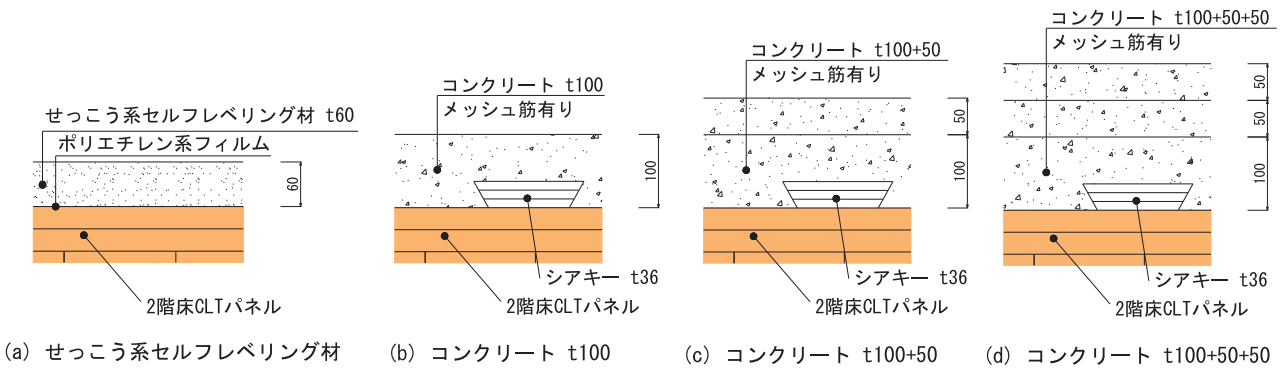


図-2 湿式工法床の断面概要図 (単位: mm)

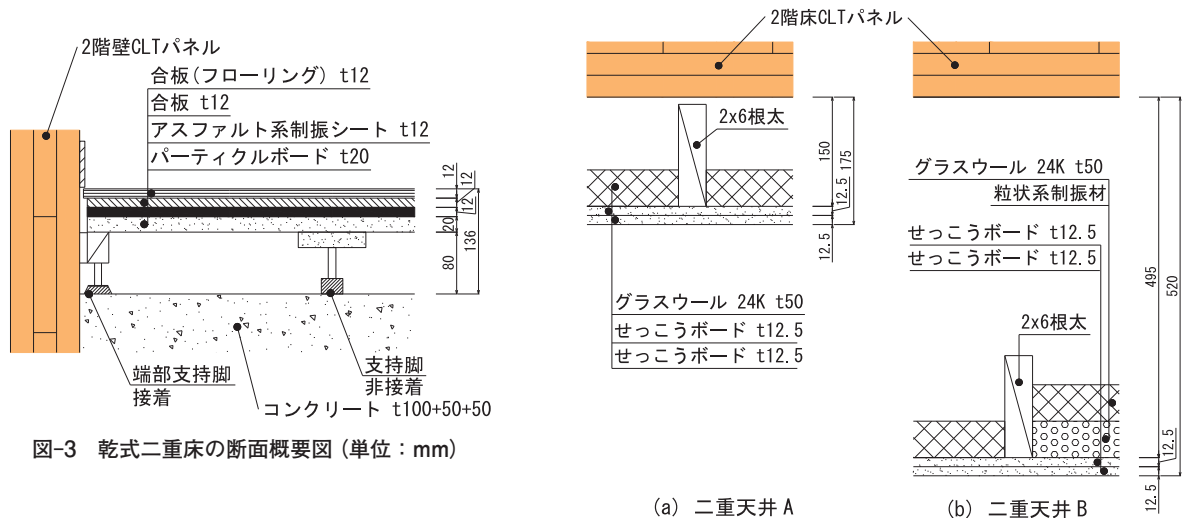


図-4 独立根太二重天井の断面概要図 (単位: mm)

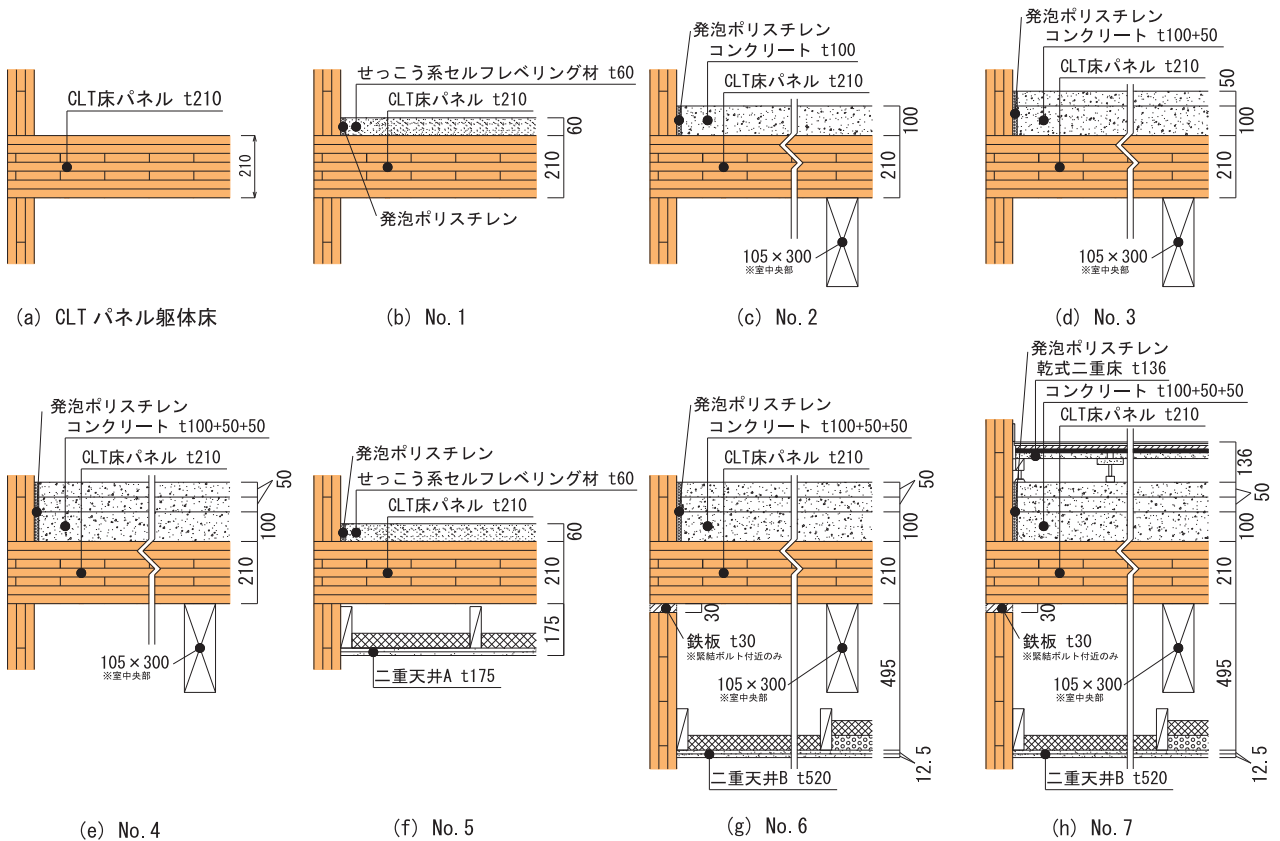


図-5 各仕様の床断面概要図 (単位：mm)

表-1 各仕様の付加材の一覧

仕様	床上	床下	
CLTパネル躯体床 (CLT t210mm)	—	—	
No. 1	せっこう系セルフレベリング材 t60		
No. 2	コンクリート t100 ※メッシュ筋有り		
No. 3	コンクリート t100+50 ※メッシュ筋有り		
No. 4	コンクリート t100+50+50 ※メッシュ筋有り		
No. 5	せっこう系セルフレベリング材 t60		二重天井A
No. 6	コンクリート t100+50+50 ※メッシュ筋有り		二重天井B
No. 7	コンクリート t100+50+50 ※メッシュ筋有り +乾式二重床 t136		

表-2 床衝撃音遮断性能の評価値一覧

仕様	重量床衝撃音		軽量床衝撃音
	タイヤ	ゴムボール	タッピングマシン
CLTパネル躯体床	Lr-76	Lr-71	Lr-91
No. 1	Lr-71	Lr-63	Lr-88
No. 2	Lr-61	Lr-56	Lr-85
No. 3	Lr-54	Lr-56	Lr-83
No. 4	Lr-51	Lr-52	Lr-81
No. 5	Lr-67	Lr-58	Lr-78
No. 6	Lr-41	Lr-47	Lr-64
No. 7	Lr-45	Lr-41	Lr-42

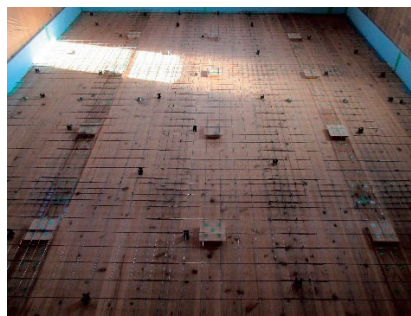
3. 床衝撃音遮断性能の測定方法

JIS A 1418-2「建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法-第2部：標準重量衝撃源による方法」⁷⁾に規定される衝撃力特性(1)および(2)の標準重量衝撃源(タイヤ衝撃源およびゴムボール衝撃源)による重量床衝撃音レベ

ルの測定を行った。また、JIS A 1418-1「建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法-第1部：標準軽量衝撃源による方法」⁸⁾に規定される標準軽量衝撃源(タッピングマシン)による規準化軽量床衝撃音レベルの測定を行った。測定周波数範囲は、重量衝撃については25~630Hz帯域の15帯域1/3オクターブバンド、軽量衝撃については50~5000Hzの21帯域オクターブバンドとし、その測定結果からオクターブバンド換算値を算出した。なお、受音室側には吸音材を設置して、吸音調整を行った条件²⁾で測定を行った。



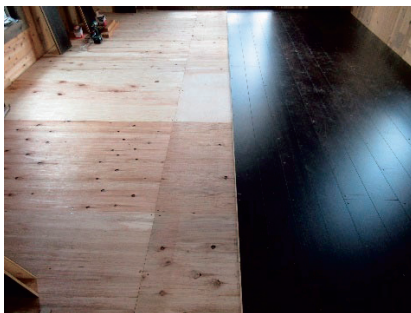
(a) せっこう系セルフレベリング材



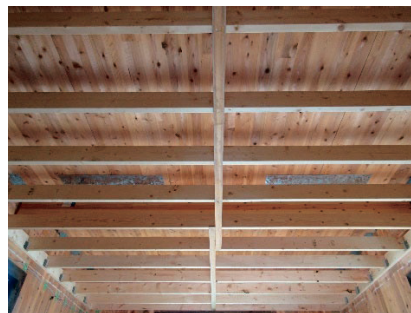
(b) メッシュ筋およびシアキー



(c) コンクリート



(d) 乾式二重床



(e) 二重天井：2x6 根太



(f) 二重天井

写真-1 各種付加材の施工時の様子

4. 床衝撃音遮断性能の測定結果

床衝撃音遮断性能の評価値一覧を表-2に示す。なお、試験体間の比較を詳細に行うため、測定結果に対して、JIS A 1419-2:2000「建築物及び建築部材の遮音性能の評価方法－第2部：床衝撃音遮断性能」⁹⁾のL等級を1dB単位で求めた。

4.1 湿式工法床による効果

CLTパネル躯体床にせっこう系セルフレベリング材またはコンクリートなどの湿式工法床を付加した場合(表-2のNo.1～No.4)の効果を確認するため、床衝撃音レベルの比較を行った。測定結果の比較を図-6～図-7に示す。なお、図-7においては、JIS A 1419-2:2000 附属書1に規定される床衝撃音遮断性能のLr等級曲線を点線で示した。

4.1.1 タイヤ衝撃源による重量床衝撃音レベル

図-6(a)より、CLTパネル躯体床およびせっこう系のセルフレベリング材を施工したNo.1は40Hz帯域にピークを持つ周波数特性を有しており、コンクリートを施工したNo.2～No.4では25Hz帯域にピークを持つ周波数特性となっている。図-7(a)を見ると、オクターブバンドではいずれも似た周波数特性を示しており、性能決定周波数は63Hz帯域であった。床衝撃音遮断性能の評価値は、CLTパネル躯体床でLr-76であったのに対し、No.1～No.4で

はそれぞれLr-71、Lr-61、Lr-54、Lr-51となり、床版の質量が増加するほど評価値が小さくなる傾向にあった。

4.1.2 ゴムボール衝撃源による重量床衝撃音レベル

図-6(b)より、タイヤ衝撃源と同様の周波数帯域にピークを持つ周波数特性を示し、床版の質量が増加するほど床衝撃音レベルが小さくなる傾向にある。図-7(b)を見ると、No.1～No.4の評価値はLr-63～Lr-52であり、性能決定周波数は250～500Hz帯域となっていた。タイヤ衝撃源と同様に、床版の質量が増加するほど評価値が小さくなる傾向は見られたが、50mmのコンクリートを増し打ちしたNo.3では、性能決定周波数帯域付近である250～500Hz帯域の床衝撃音レベルの変化が小さく、評価値はLr-56であり、増し打ち前のNo.2と同じであった。

4.1.3 タッピングマシンによる軽量床衝撃音レベル

図-6(c)および図-7(c)より、CLTパネル躯体床は1000Hz帯域以上で、湿式床を施工したNo.1～No.4では2000Hz帯域以上で、規準化軽量床衝撃音レベルが小さくなる特性を示し、評価値はCLTパネル躯体床のLr-91に対し、No.1～No.4はそれぞれLr-88、Lr-85、Lr-83、Lr-81であった。せっこう系セルフレベリング材やコンクリートを施工することで、全体に遮音性能は向上していることが判るが、加振表面がCLTパネル躯体床よりも硬くなり、2000～4000Hz帯域における規準化軽量床衝撃音レベルは横ばいとなるような周波数特

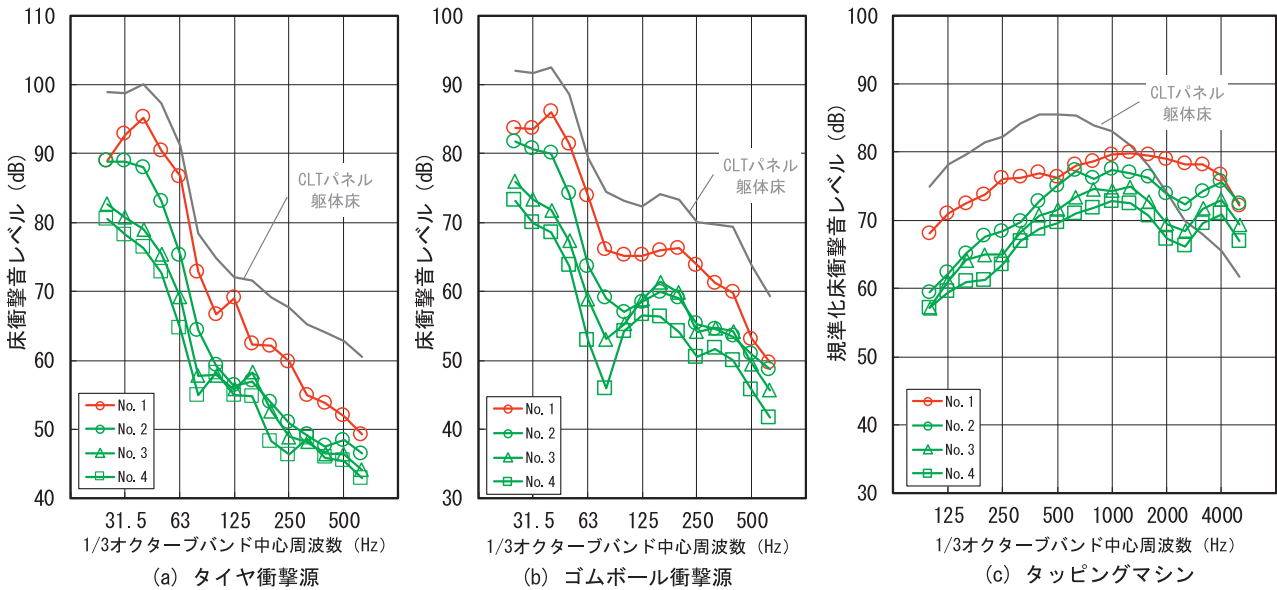


図-6 湿式工法による効果の比較 (1/3オクターブバンド)

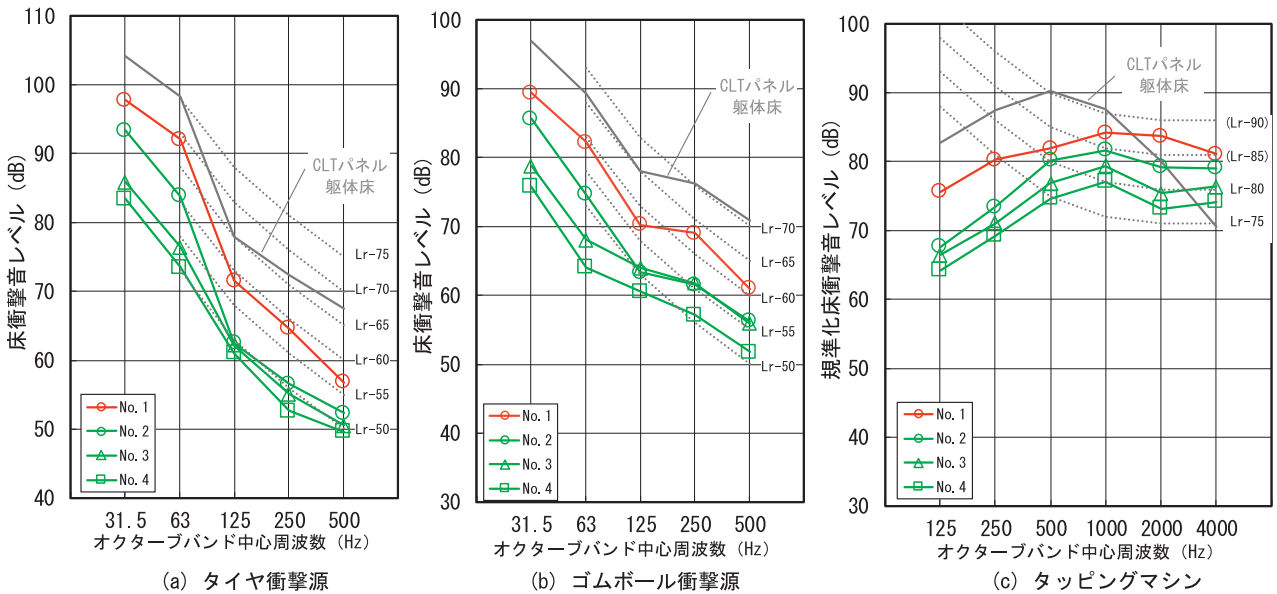


図-7 湿式工法による効果の比較 (オクターブバンド)

性を示した。

4.2 二重天井材および乾式二重床による効果

湿式工法床を施工した仕様 (No.1およびNo.4) に対して、二重天井材を施工した場合 (No.5およびNo.6) と、No.6の仕様に乾式二重床を施工した場合 (No.7) の床衝撃音遮断性能への効果を確認するため、床衝撃音レベルの比較を行った。測定結果の比較を図-8～図-9に示す。なお、図-9には図-7と同様に、JIS A 1419-2に規定されるLr等級曲線を点線で示した。

4.2.1 タイヤ衝撃源による重量床衝撃音レベル

図-8(a)および図-9(a)より、二重天井材を施工することで、概ね測定周波数全帯域で重量床衝撃音レベルが小さくなった。床衝撃音遮断性能の評価値は、No.1に二重天井Aを施工したNo.5ではLr-71からLr-67に、No.4に二重天井Bを施工したNo.6ではLr-51からLr-41となり、二重天井材による重量床衝撃音レベルの低減効果が確認された。一方で、No.6に乾式二重床を施工したNo.7では床衝撃音レベルが上昇し、評価値はLr-45となった。これは、コンクリートを施工していないCLTパネル上での乾式二重床の低減効果^{3),4)}とは異なる

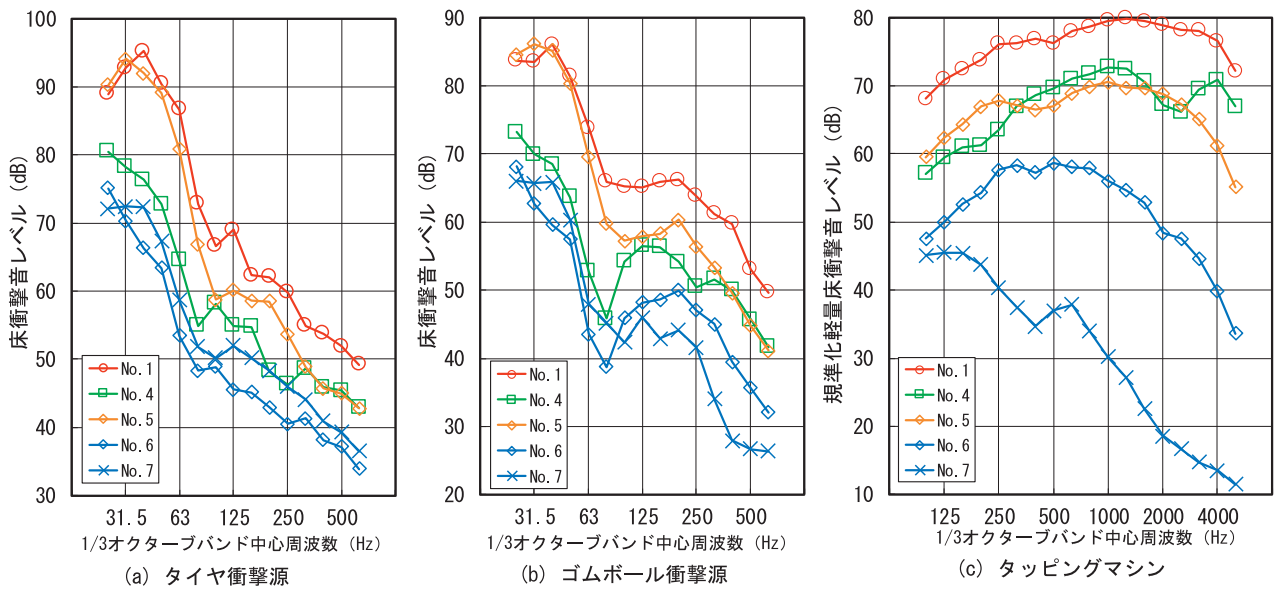


図-8 二重天井材および乾式二重床による効果の比較 (1/3オクターブバンド)

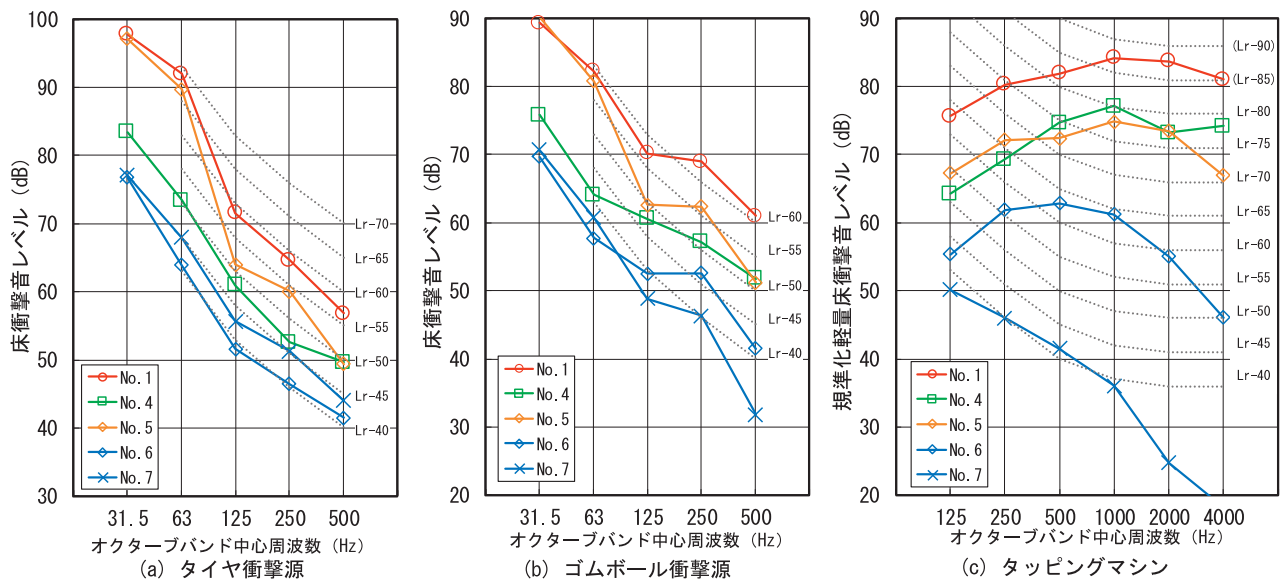


図-9 二重天井材および乾式二重床による効果の比較 (オクターブバンド)

傾向を示し、RC造に乾式二重床を施工した場合に重量床衝撃音レベルが上昇する傾向と同様に、床下空気層の共振現象による音の増幅が生じていると推測される。

4.2.2 ゴムボール衝撃源による重量床衝撃音レベル

図-8(b)および図-9(b)より、二重天井材や乾式二重床の効果はタイヤ衝撃源とはほぼ同様の低減効果を示した。乾式二重床を施工したNo.7の重量床衝撃音レベルは31.5~63Hz帯域付近では増幅していたが、性能決定周波数となっている250Hz帯域付近では重量床衝撃音レベルは小さくなり、評価値はLr-47からLr-41に変化した。

4.2.3 タッピングマシンによる軽量床衝撃音レベル

図-8(c)および図-9(c)より、二重天井を施工することで、測定周波数全帯域で規準化軽量床衝撃音レベルは小さくなっており、床衝撃音遮断性能の評価値は、No.1に二重天井Aを施工したNo.5ではLr-88からLr-78に、No.4に二重天井Bを施工したNo.6ではLr-81からLr-64となり、二重天井材による軽量床衝撃音レベルの低減効果が確認された。また、No.6に乾式二重床を施工したNo.7でも大きな低減効果が得られ、測定周波数全帯域で規準化軽量床衝撃音レベルは小さくなり、Lr-64からLr-42へと変化した。

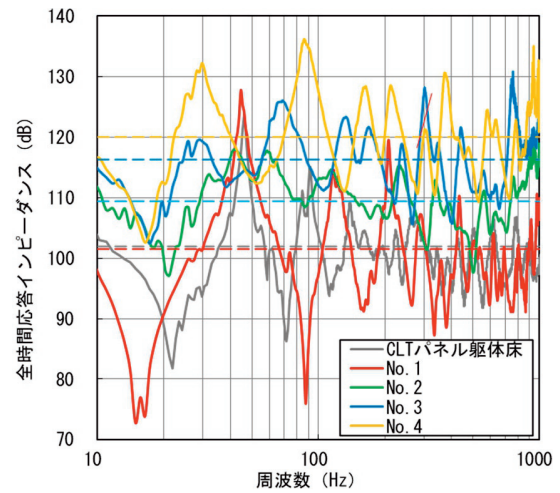
5. 湿式工法床による衝撃インピーダンスの変化

CLTパネル躯体床に湿式工法床を施工したことによる衝撃インピーダンスへの影響を確認するために、2階床の室寸法中央位置で衝撃インピーダンスの測定を行った。なお、加振点および振動の受振点は2階床上面とした。測定した全時間応答インピーダンスの狭帯域分析結果と、1/3オクターブバンド分析およびオクターブバンド分析の結果の比較を図-10に示す。なお、図-10(a)内には各仕様における衝撃時間内応答インピーダンスの測定結果を破線で示した。各仕様における一次共振振動数および衝撃時間内応答インピーダンスの測定結果を表-3に示す。

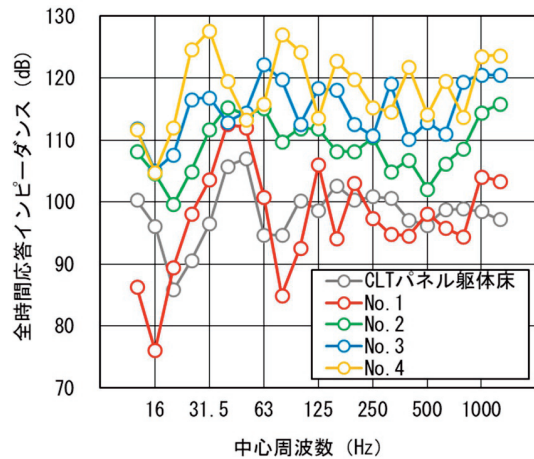
図-10(a)および表-3より、CLTパネル躯体床の一次共振振動数は22Hzであるのに対し、せっこう系セルフレベリング材を施工したNo.1は15Hz、コンクリートを施工したNo.2~No.4は21~16Hzの低い振動数へとシフトしていた。衝撃時間内応答インピーダンスは、CLTパネル躯体床が102.0dBであるのに対して、No.1は101.5dBであり、低下していた。一方で、コンクリートを施工したNo.2~No.4は109.4dB~120.0dBとなり、CLTパネル躯体床と比較して約7~18dB上昇していた。

図-10(b)および図-10(c)より、No.1では31.5Hz帯域付近以外でCLTパネル躯体床よりインピーダンスが低下していた。また、コンクリートを施工したNo.2~No.4では、CLTパネル躯体床より全般にインピーダンスが上昇しており、No.2とNo.3はよく似た周波数特性を示していた。No.4では、No.3より全般にインピーダンスが上昇しているが、低下している周波数帯域も見られた。

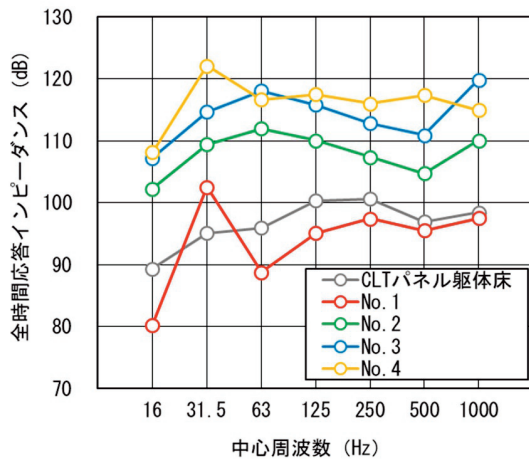
図-6(a)および図-7(a)のタイヤによる重量床衝撃音レベルとの対応を見ると、せっこう系セルフレベリング材を施工したNo.1では、重量床衝撃音レベルは全般に小さくなったのに対して、衝撃インピーダンスは31.5Hz帯域以外では低下している。これは、CLTパネル躯体床上に敷いたポリエチレン系フィルムにより、せっこう系セルフレベリング材とCLTパネル躯体床が一体化されておらず、せっこう系セルフレベリング材上を加振して測定した衝撃インピーダンスが見かけ上、低下してしまっているものと推察される。一方で、コンクリートを施工したNo.2~No.4では、重量床衝撃音レベルが全般に小さくなっていることと対応して、衝撃インピーダンスは全般に上昇している。これは、コンクリートの施工時に設置したシアキーにより、コンクリートとCLTパネル躯体床が一体化され、質量付加の効果および床版全体としての剛性向上の効果が衝撃インピーダンスの測定結果にも現れていると思われる。



(a) 狭帯域による分析



(b) 1/3 オクターブバンド分析



(c) オクターブバンド分析

図-10 全時間応答インピーダンスの測定結果

表-3 一次共振振動数および衝撃時間内応答インピーダンス

仕様	躯体床	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
一次共振振動数	22Hz	15Hz	21Hz	17Hz	16Hz
衝撃時間内応答インピーダンス	102.0dB	101.5dB	109.4dB	116.3dB	120.0dB

6. おわりに

CLTパネル工法による2階建てのCLT遮音実験棟での床衝撃音対策の一例として、せっこう系セルフレベリング材やコンクリートなどの湿式工法床、乾式二重床や二重天井を組み合わせた場合における床衝撃音遮断性能への効果についての実験を行い、次のことが明らかとなった。

せっこう系セルフレベリング材やコンクリートなどの湿式工法床を施工することで、重量および軽量床衝撃音レベルが小さくなることが確認された。重量床衝撃音遮断性能では、特に厚さ200mmのコンクリートを施工した場合において大きな低減効果が見られ、タイヤ衝撃源でLr-51、ゴムボール衝撃源でLr-52の性能が得られた。軽量床衝撃音遮断性能では、湿式工法床を施工することで全体に遮音性能は向上するが、加振表面がCLT床パネルよりも硬くなることで、2000~4000Hz帯域付近で規準化軽量床衝撃音レベルが大きくなる傾向が見られた。

上記の湿式工法床を施工した仕様に対して、二重天井材を施工すると、重量および軽量床衝撃音遮断性能のどちらにおいても低減効果が確認され、最大でタイヤ衝撃源でLr-41、ゴムボール衝撃源でLr-47、軽量床衝撃源でLr-64の性能が得られた。コンクリートを施工した仕様に対して、乾式二重床を施工すると、軽量床衝撃音遮断性能では大きな低減効果が確認され、Lr-42の性能が得られた。一方で、重量床衝撃音遮断性能については床衝撃音レベルが上昇する傾向が見られ、RC造に乾式二重床を施工した場合と同様に、乾式二重床内の床下空気層の共振現象による音の増幅が生じていると推測される。

湿式工法床による衝撃インピーダンスへの影響について、全体にインピーダンスは上昇する傾向が見られたものの、湿式工法床とCLTパネル躯体床が一体化されない場合は、インピーダンスが上昇せず床衝撃音遮断性能が想定よりも向上しない可能性があるため注意が必要である。

今後は、CLT床パネルに耐火被覆を施した際の影響や、受音室側のCLT壁パネルからの放射音の影響についても検証していく予定である。本稿およびCLT遮音実験棟での取り組みが今後のCLT建築物のさらなる普及の一助となれば幸いである。

【謝辞】

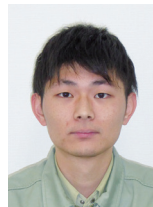
本稿で紹介したCLT遮音実験棟での実験は「令和元年度国土交通省サステナブル建築物等支援事業（木造先導型）木造実験棟」、「令和2年度林野庁補助事業 木材産業・木造建築活性化対策のうち中高層建築物を中心と

したCLT等の木質建築部材の利用促進事業のうちCLT等の利用促進及び低コスト化の推進に係る技術開発・検証等」および「令和3年度木材製品の消費拡大対策のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業」として実施されたものの一部です。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 川中彰平, 田中学, 河野友弘, 河合誠: CLT遮音実験棟の設計概要と実験計画, GBRC, Vol.45 No.2, pp.1-13, 2020.4
- 2) 田中学, 川中彰平, 河合誠: CLT遮音実験棟の設計概要と遮音性能-その1.設計概要と躯体状態での音響性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学I, pp.401-402, 2020.9
- 3) 笠井祐輔, 田中学, 河合誠: 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I, pp.403-404, 2020.9
- 4) 笠井祐輔, 田中学, 河合誠: CLT遮音実験棟の床衝撃音遮断性能-乾式二重床による効果の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学I, pp.319-320, 2021.9
- 5) 笠井祐輔, 田中学, 河野友弘, 河合誠: CLT遮音実験棟における床衝撃音対策の検討 その1: 乾式二重床および二重天井による効果, 日本音響学会, 建築音響研究会, 2021.10
- 6) 笠井祐輔, 田中学, 河野友弘, 河合誠: CLT遮音実験棟の遮音性能 その1: 躯体性能としての音響・振動特性, GBRC, Vol.46 No.2, pp.39-46, 2021.4
- 7) JIS A 1418-2:2019「建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法-第2部: 標準重量衝撃源による方法」
- 8) JIS A 1418-1:2000「建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法-第1部: 標準軽量衝撃源による方法」
- 9) JIS A 1419-2:2000「建築物及び建築部材の遮音性能の評価方法-第2部: 床衝撃音遮断性能」

【執筆者】



*1 笠井 祐輔
(KASAI Yusuke)



*2 田中学
(TANAKA Manabu)



*3 河野友弘
(KONO Tomohiro)



*4 河合 誠
(KAWAI Makoto)