

E. 音環境分野

目次

1	はじめに	E-3
1.1	建築基準法における音環境に関する基準	E-3
1.2	本報告で対象とする研究課題	E-4
1.3	日本建築学会遮音性能基準	E-4
1.4	集合住宅における音環境性能の満足度のアンケート調査例	E-6
2	木造建築物の床衝撃音対策と本研究の位置付け	E-7
2.1	木造建築物の音環境性能の目標値	E-7
2.2	木造建築物の床衝撃音対策の基本	E-7
3	コンクリートを打設した CLT 床の振動特性	E-10
3.1	湿式浮き床	E-10
3.2	合成床	E-11
4	実験棟（ツーバイフォー 6 階建て実大実験棟）における床衝撃音遮断性能測定	E-14
4.1	ツーバイフォー6階建て実大実験棟および試験床断面仕様	E-14
4.2	ツーバイフォー6階建て実大実験棟における床衝撃音遮断性能	E-17
5	実験棟（つくば CLT 実験棟）における床衝撃音遮断性能測定	E-21
5.1	つくば CLT 実験棟および試験床断面仕様	E-21
5.2	つくば CLT 実験棟における床衝撃音遮断性能	E-21
6	おわりに	E-23

1 はじめに

1.1 建築基準法における音環境に関する基準

建築物の計画・設計時において、音環境性能に関する基準を参照し目標値等を設定する必要がある。さらには、竣工後に性能測定や評価を行うことも多くみられる。これらの場面において、拠り所となる基準類については様々なものがある。

建築基準法第30条では、「長屋又は共同住宅の各戸の界壁」の遮音性能が規定されている。第1項第一号では、長屋又は共同住宅（集合住宅）の界壁の構造は一定の遮音性能（隣接する住戸からの日常生活に伴い生ずる音を衛生上支障がない性能）をもち、その性能については政令で定められる技術的基準に適合するもので、その構造は告示（国土交通大臣が定めた構造方法）の仕様を用いたもの、または国土交通大臣の認定を受けたものであることとされている。第1項第二号において、界壁は小屋裏又は天井裏に達するものであることが規定されている。

技術的基準は、建築基準法施行令第22条の3に規定されている。表1.1.1に示すように、3つの振動数（周波数）における（音響）透過損失の数値が規定されている。これは、JISA 1419-1:2000「建築物及び建築部材の遮音性能の評価方法—第1部：空気音遮断性能」の「附属書1（規定）建築物及び建築部材の空気音遮断性能の等級曲線」に当てはめると、音響透過損失等級 R_t-40 相当以上の性能が必要であることがわかる。

表 1.1.1 長屋又は共同住宅の界壁の遮音性能に関する技術的基準（建築基準法施行令第22条の3）

振動数（単位 ヘルツ）	透過損失（単位 デシベル）
一二五	二五
五〇〇	四十
二、〇〇〇	五十

また、建築基準法第30条第2項に「前項第二号の規定は、長屋又は共同住宅の天井の構造が、隣接する住戸からの日常生活に伴い生ずる音を衛生上支障がないように低減するために天井に必要とされる性能に関して政令で定める技術的基準に適合するもので、国土交通大臣が定めた構造方法を用いるもの又は国土交通大臣の認定を受けたものである場合においては、適用しない。」との規定が新たに令和元年に追加されている。これは、界壁ではなく天井を経路する側路伝搬音についても、一定の遮音性能（音響透過損失等級 R_t-40 相当以上の性能）をもつ天井構造を採用することにより、界壁が小屋裏又は天井裏に達しなくてもよい要件が追加されていることを示している。さらには、昭和45年建設省告示第1827号「遮音性能を有する長屋又は共同住宅の界壁及び天井の構造方法を定める件」についても改正が行われ、第3項に遮音性能を有する「天井の構造方法」の仕様が追加されている。

なお、床衝撃音遮断性能などの他の音環境性能や長屋又は共同住宅以外の用途の建築物の界壁の遮音性能に関する規定はない。

1.2 住宅性能表示制度における音環境に関する基準

2000年に「住宅の品質確保の促進等に関する法律」が施行された。本法律により、瑕疵担保責任の義務付け、住宅性能表示制度の開始、紛争処理体制の整備等が行われている。

住宅性能表示制度は、住宅の性能に関する表示の適正化を図るための共通ルールを設け、消費者による住宅の性能の相互比較を可能にする制度である。住宅の性能に関し表示すべき事項と表示方法については日本住宅性能表示基準により定められ、新築住宅では構造の安定、火災時の安全、劣化の軽減、維持管理への配慮、温熱環境、空気環境、光・視環境、音環境、高齢者等への配慮、防犯に関することの10項目の性能が表示項目となっている。

音環境に関する性能表示事項は以下の4項目である。

- ① 重量床衝撃音対策：居室の界床における重量床衝撃音の下階への伝わりにくさ（重量床衝撃音対策等級）、または構成材料及び断面形状によって発揮される界床の振動しにくさ（相当スラブ厚（重量床衝撃音））
- ② 軽量床衝撃音対策：居室の界床における軽量床衝撃音の下階への伝わりにくさ（軽量床衝撃音対策等級）または界床の仕上げ構造によって発揮される軽量床衝撃音の低減の効果の大きさ（床衝撃音レベル低減量（床仕上げ構造））
- ③ 透過損失等級（界壁）：界壁の構造に係る空気伝播音の透過のしにくさ
- ④ 透過損失等級（外壁開口部）：居室の外壁開口部に使用されるサッシ及びドアセットの空気伝播音の透過のしにくさ

①～③は共同住宅等のみが評価対象となり、④については一戸建ての住宅も評価対象となっている。床衝撃音対策等級は等級5から等級1までの5段階、透過損失等級（界壁）は等級4から等級1までの4段階、透過損失等級（外壁開口部）は等級3から等級1までの3段階の評価となっている。

1.3 日本建築学会遮音性能基準

「建築物の遮音性能基準と設計指針[第二版]¹⁾」では、建築物の遮音性能基準が示されている。建物・室用途別に室間音圧レベル差、床衝撃音レベルおよび室内騒音の適用等級が示されている。適用等級は特級から3級までの4段階（室内騒音は1級から3級までの3段階）に分けられている。表1.3.1に適用等級の意味を示す。

表 1.3.1 日本建築学会遮音性能基準の適用等級の意味

適用等級	遮音性能の水準	性能水準の説明
特級	遮音性能上とくにすぐれている	特別に高い性能が要求された場合の性能水準
1級	遮音性能上すぐれている	建築学会が推奨する好ましい性能水準
2級	遮音性能上標準的である	一般的な性能水準
3級	遮音性能上やや劣る	やむを得ない場合に許容される性能水準

なお、室間平均音圧レベル差はD値、床衝撃音レベルはL値、室内騒音については騒音レベルまたは騒音等級（N値）により評価を行っている。表1.3.2～表1.3.4にそれぞれの適用等級の値を示す。

E.音環境分野

表 1.3.2 室間平均音圧レベル差に関する適用等級（日本建築学会遮音性能基準）

建築物	室用途	部位	適用等級			
			特級	1級	2級	3級
集合住宅	居室	隣戸間界壁	D-55	D-50	D-45	D-40
		〃 界床				
ホテル	客室	客室間界壁	D-55	D-50	D-45	D-40
		〃 界床				
事務所	業務プライバシーを要求される室	室間仕切壁 テナント間界壁	D-50	D-45	D-40	D-35
学校	普通教室	室間仕切壁	D-45	D-40	D-35	D-30
病院	病室（個室）	〃	D-50	D-45	D-40	D-35

表 1.3.3 床衝撃音レベルに関する適用等級（日本建築学会遮音性能基準）

建築物	室用途	部位	衝撃源*	適用等級			
				特級	1級	2級	3級
集合住宅	居室	隣戸間界床	重量衝撃源	L-45	L-50	L-55	L-60, L-65**
			軽量衝撃源	L-40	L-45	L-55	L-60
ホテル	客室	客室間界床	重量衝撃源	L-45	L-50	L-55	L-60
			軽量衝撃源	L-40	L-45	L-50	L-55
学校	普通教室	教室間界床	重量衝撃源 軽量衝撃源	L-50	L-55	L-60	L-65

* 重量衝撃源はタイヤ衝撃源。

** 木造、軽量鉄骨造またはこれに類する構造の集合住宅に適用する。

表 1.3.4 室内騒音に関する適用等級（日本建築学会遮音性能基準）

建築物	室用途	騒音レベル (dBA)			騒音等級		
		1級	2級	3級	1級	2級	3級
集合住宅	居室	35	40	45	N-35	N-40	N-45
ホテル	客室	35	40	45	N-35	N-40	N-45
事務所	オープン事務室	40	45	50	N-40	N-45	N-50
	会議・応接室	35	40	45	N-35	N-40	N-45
学校	普通教室	35	40	45	N-35	N-40	N-45
病院	病室（個室）	35	40	45	N-35	N-40	N-45
コンサートホール・オペラハウス		25	30	—	N-25	N-30	—
劇場・多目的ホール		30	35	—	N-30	N-35	—
録音スタジオ		20	25	—	N-20	N-25	—

E.音環境分野

1.4 集合住宅における音環境性能の満足度のアンケート調査例

集合住宅におけるクレームやトラブル等の現状をアンケート調査²⁾からみると、図 1.4.1 に示すように遮音性能に関連する事項の満足度が低いことがわかる。また、図 1.4.2 に示すように、その中でも特に重量床衝撃音（上階から聞こえる歩行音や子供の飛び跳ねなどが下階に聞こえる音）に関する不満率が多くなっている。このことより、重量床衝撃音に関する検討が必要であることがわかる。

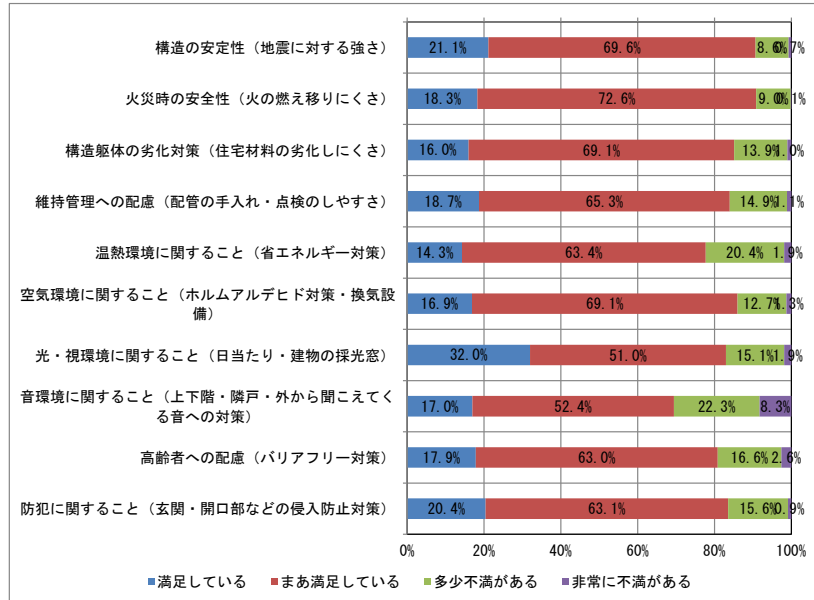


図 1.4.1 居住者に対する集合住宅の満足度のアンケート調査結果例

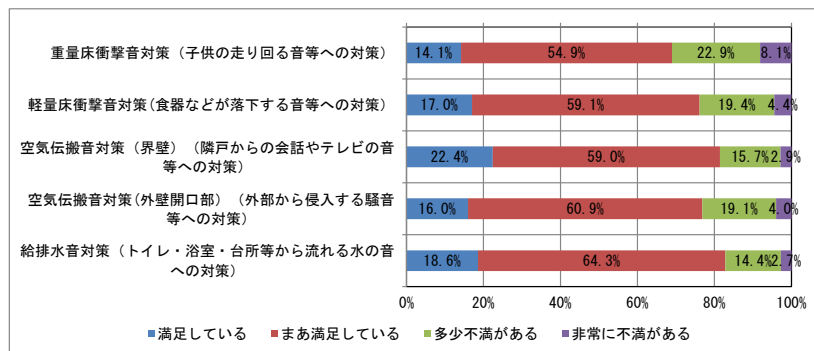


図 1.4.2 居住者に対する集合住宅の音環境性能に関する満足度のアンケート調査結果例

2 木造建築物の床衝撃音対策と本研究の位置付け

2.1 木造建築物の音環境性能の目標値

1章で示したように、中高層木造建築物の普及のためには、床衝撃音の対策が必要であるといえる。床衝撃音に関する法的基準はないものの、その目安の一つとして「日本建築学会遮音性能基準」を参考とすることとする。

表 1.3.3 より、木造の集合住宅の基準値は重量床衝撃音で L_{r65} (タイヤ衝撃源)、 L_{r60} (軽量床衝撃音) となっており、この性能が目標値のひとつといえる。なお、集合住宅ではクレーム等を生じやすいため、可能であれば鉄筋コンクリート造の3級の L_{r60} (タイヤ衝撃源) の以上の性能を目標としたほうが良い。

2.2 木造建築物の床衝撃音対策の基本

騒音については、騒音源から受音点までの音の伝搬経路を考慮すると、「空気伝搬音」と「固体伝搬音」に分けられる。それぞれの特徴は以下の様になる。

- ・ 固体伝搬音：床衝撃音などの固体中を伝搬して居室に放射される音
- ・ 空気伝搬音：界壁や外壁開口部などから空気中を伝搬して居室の放射される音

壁などの空気音遮断性能は部材の面密度に性能は依存し、床衝撃音遮断性能については床構造の面密度と剛性に性能が依存するため、コンクリート構造と比べて軽量の木造の建物の音環境性能は一般的に低い傾向となる。そのため木造建築物に対する音環境については、特に事前の検討が重要となる。

木造建築物における床衝撃音対策の基本は、発生側から受音側にわたって表 2.2.1 のように纏められる^{2),3)}。表中の「①音源室と受音室の配置計画を考慮」は設計段階の配置計画による対策であり、比較的成本を掛けずに対策可能である。①から④までは、床断面仕様等を考慮した対策であるが、設計段階から検討する必要がある。

表 2.2.1 木造建築物における床衝撃音対策の基本

	対策の基本	対策の例
①	音源室と受音室の配置計画を考慮	静かな状態が必要な室の隣室あるいは上階には、床衝撃が大きい室を配置しない など
②	床への衝撃入力低減	乾式二重床構造の採用、室での人の移動の制限、物の落下の防止 など
③	床躯体構造による低減	床構造の重量増加、梁せいを大きくすることによる床剛性の増加など
④	天井での遮音	床構造から振動的に絶縁した天井の設置、防振吊木の採用、天井ボードの増し張り、天井ふところ内への吸音材の挿入 など
⑤	受音室内での制御	床から壁への伝達振動の低減対策、受音室内の吸音 など

床衝撃音対策の基本を踏まえ、 L_{r65} (タイヤ衝撃源)、 L_{r60} (軽量床衝撃音) を満足する床断面仕様のイメージを図 2.2.1 に示す。それぞれ、「(a) 210mm 厚 CLT パネル使用、天井なし」は「②床構造躯体による低減」、「(b) 210mm 厚 CLT パネル使用、天井あり」は「①床への衝撃入力低減」および「③天井での遮音」、「(c) 150mm 厚 CLT パネル使用、梁あり、天井あり」は「①床への衝撃入力低減」、

E.音環境分野

「②床構造躯体による低減」および「③天井での遮音」の対策を行ったものである。

本研究では、天井面を木材（CLT パネル）現しとするプロトタイプ設計例の仕様に対する検討を行った。「③天井での遮音」が出来ないため、「②床躯体構造による低減」の更なる対策を行った。床衝撃音遮断性能の変化は、式(2.2.1)および式(2.2.2)に示す床断面の駆動点インピーダンス（床板の振動しにくさ）変化によって推定できる。そこで、床構造の重量や剛性を増加させる方法として、CLT 床の上にコンクリートを打設する方法を検討した。これまで、CLT 床に対して乾式二重床構造や天井構造を変更した検討^{4),5)}については行われているが、コンクリートを打設した場合の床衝撃音遮断性能の検討は殆ど行われていない。

さらには、多く採用されてる標準的な床断面仕様である、「(b) 210mm 厚 CLT パネル使用、天井あり」についても検討を行っている。

$$Z_b = 8\sqrt{Bm} \quad (2.2.1)$$

$$B = \sum(EI) \quad (2.2.2)$$

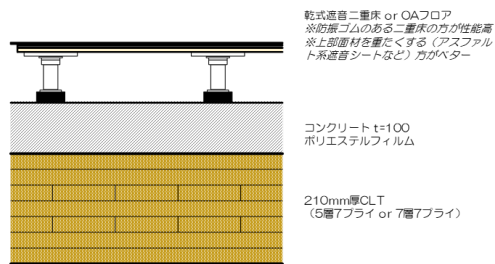
ただし、 Z_b ：駆動点インピーダンス（kg/s）

B ：床断面の曲げ剛性（N/m²）

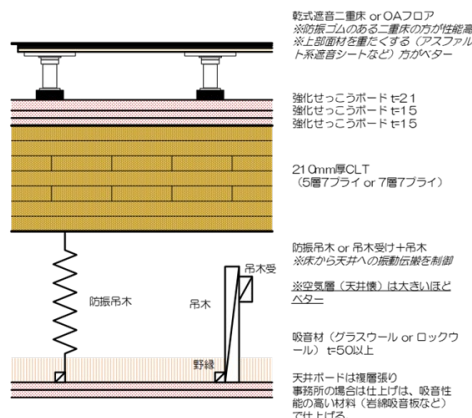
m ：床構造の面密度（kg/m²）

E ：部材のヤング率（N/m²）

I ：部材の断面二次モーメント（m⁴）



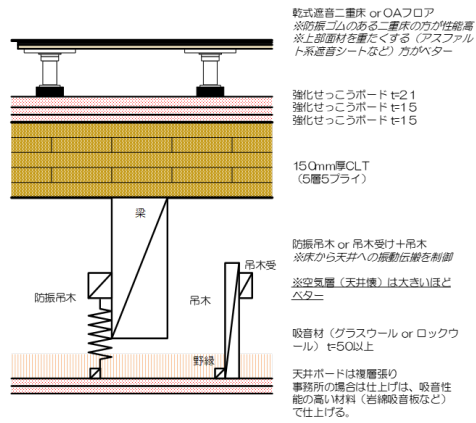
(a) 210mm 厚 CLT パネル使用、天井なし



(b) 210mm 厚 CLT パネル使用、天井あり

図 2.2.1 L_r-65 （タイヤ衝撃源）、 L_r-60 （軽量床衝撃音）を満足する床断面仕様のイメージ(その1)

E.音環境分野



(c) 150mm 厚 CLT パネル使用、梁あり、天井あり

図 2.2.1 L_r-65 (タイヤ衝撃源)、 L_r-60 (軽量床衝撃音) を満足する床断面仕様のイメージ(その2)

3 コンクリートを打設した CLT 床の振動特性

コンクリートを打設した CLT 床の振動特性を把握するために、防耐火試験を実施する CLT パネルの試験体を活用し、CLT 上のコンクリートを打設した試験体について、湿式浮き床と合成床の2つの駆動点インピーダンスの測定を行った。

3.1 湿式浮き床

210 mm 厚 CLT パネル (7 層 7 プライ、2,000×2,000 mm) に用いて、表 3.1.1 に示す試験体を対象とした駆動点インピーダンスの測定を行った。試験体 A0 は CLT パネル素面、試験体 A1、A2 は CLT パネル上にコンクリートを直接打設し、試験体 A3～A6 は 96K のグラスウールを防振層とした浮き床とし、グラスウールとコンクリートの厚さを変更させた。なお、浮き床については、コンクリート下にポリエチレンフィルムを施工している。測定は試験体をクレーンで吊り上げた状態で設置し、試験体中央をインパクトハンマーで上面を衝撃加振し、測定点は加振点近傍 (上面) とその直下 (下面) の点の2点で測定を行った。図 3.1.1 に湿式浮き床の駆動点インピーダンスの測定状況を示す。

表 3.1.1 湿式浮き床の試験体一覧と衝撃時間内応答インピーダンス測定結果

	CLT	GW	コンクリート	衝撃時間内応答インピーダンスレベル (dB)	
				上面	下面
A0	210mm 厚 (7層7プライ)	—	—	95.8	98.5
A1		—	t=50	102.9	104.5
A2		—	t=100	110.9	111.1
A3		96K, t=25	t=50	95.9	121.4
A4		96K, t=25×2枚		96.1	125.5
A5		96K, t=25	t=100	108.0	128.3
A6		96K, t=25×2枚		107.8	135.9

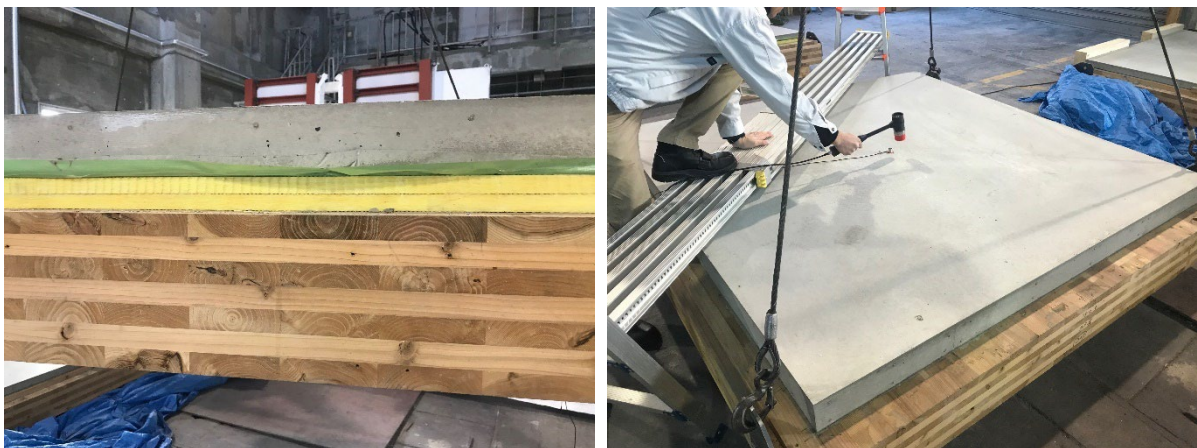


図 3.1.1 湿式浮き床の駆動点インピーダンスの測定状況

衝撃時間内応答インピーダンス算出結果一覧を表 3.1.1 に、上面の測定点における全時間応答インピーダンス測定結果を図 3.1.2 に示す。CLT パネル素面の試験体 A0 は 9 Hz 付近に、コンクリート

を 50 mm 打設した試験体は 7 Hz 付近に、コンクリートを 100 mm 打設した試験体は 6 Hz 付近に 1 次固有振動数があり、吊りによる共振の影響が考えられる。また、グラスウール 50 mm 厚の試験体 A3、A4 では 70 Hz 付近に共振がみられた。下面（床衝撃音の放射面）の測定点での衝撃時間内応答インピーダンスの結果をみると試験体 A6 の値が大きくなっている。以上の結果から、グラスウールは 50 mm 厚で、コンクリート厚は 100 mm が有効であることがわかった。

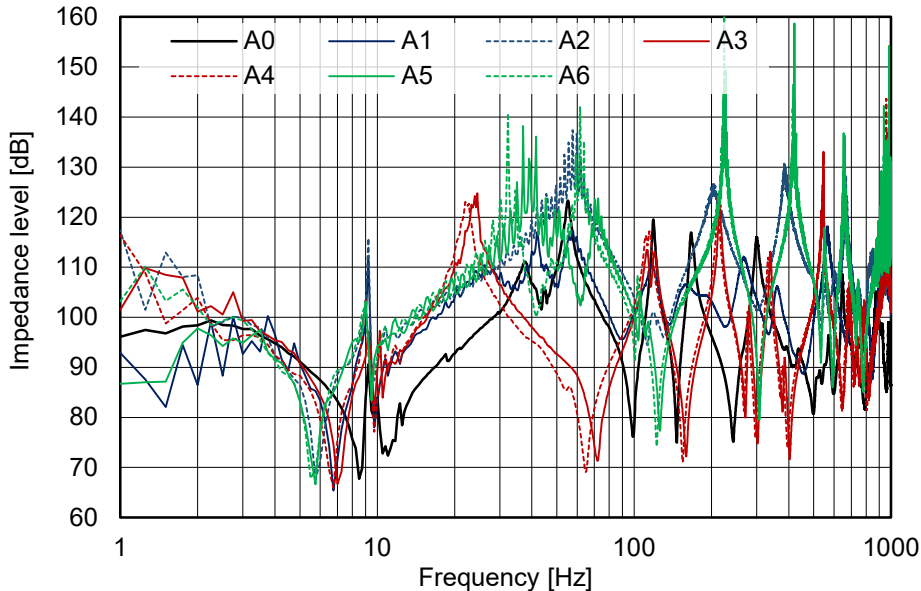


図 3.1.2 湿式浮き床の駆動点インピーダンス測定結果

3.2 合成床

3.1 章の結果から浮き床が床衝撃音対策に有効であることがわかった。しかしながら、構造の面からみると保有水平耐力を確保するために、CLT とコンクリートからなる合成床の方が有効であるため、合成床の振動特性の測定を行った。なお、合成床については参考文献⁶⁾と同様の鉄板・鉄筋で作成された接合具を用いて、CLT とコンクリートを合成させた。

150 mm 厚 CLT パネル（5 層 5 プライ、1,000×3,000 mm）を用いて、表 3.2.1 に示す試験体を対象とした駆動点インピーダンスの測定を行った。接合具が無い試験体 B1 と接合具を試験体の中央部を除く対角四等分点の 4 か所に接合具を施工した試験体 B2 の 2 種類を対象に駆動点インピーダンスの測定を行った。測定は試験体をクレーンで吊り上げた状態で設置し、試験体中央および対角四等分点（1/4 点）をインパクトハンマで上面を衝撃加振し、測定点は加振点近傍（上面）とその直下（下面）の点の 2 点で測定を行った。図 3.2.1 に合成床の施工状況を、図 3.2.2 に合成床の駆動点インピーダンスの測定状況を示す。

衝撃時間内応答インピーダンス算出結果を表 3.2.1 に、上面の測定点における全時間応答インピーダンス測定結果を図 3.2.3 に示す。接合具上（1/4 点）を衝撃加振した時に 1 dB 程度、衝撃時間内応答インピーダンスの上昇がみられた。また、接合具有無によらず、周波数特性は大きく変化しなかったものの、40 Hz～70 Hz 付近では CLT とコンクリートの合成によるインピーダンスの上昇がみられた。

表 3.2.1 合成床の試験体一覧と衝撃時間内応答インピーダンス測定結果

	加振点	衝撃時間内応答インピーダンスレベル (dB)	
		上面	下面
B1	中央点	109.2	109.4
	1/4 点 (接合具無)	104.0	104.3
B2	中央点	109.6	109.8
	1/4 点 (接合具有)	105.4	105.4



図 3.2.1 合成床の施工状況

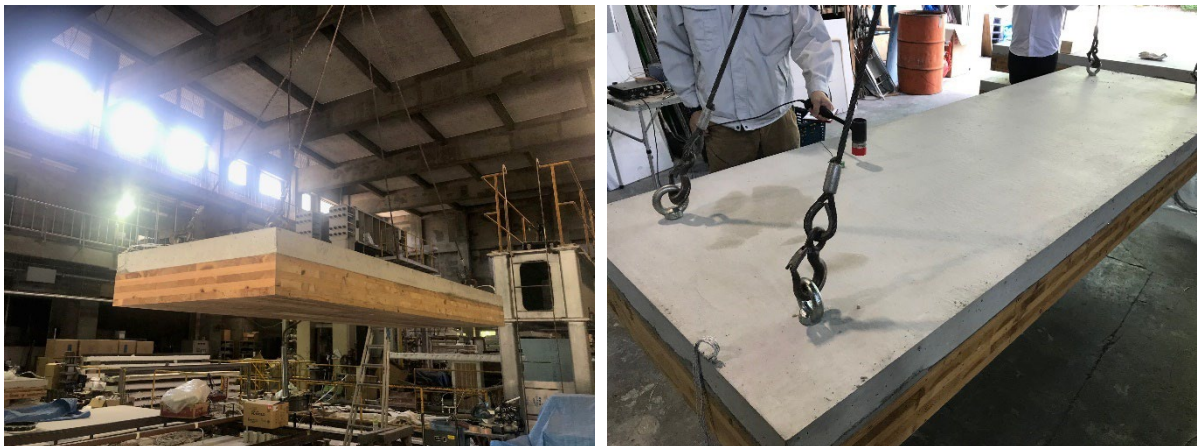


図 3.2.2 合成床の駆動点インピーダンスの測定状況

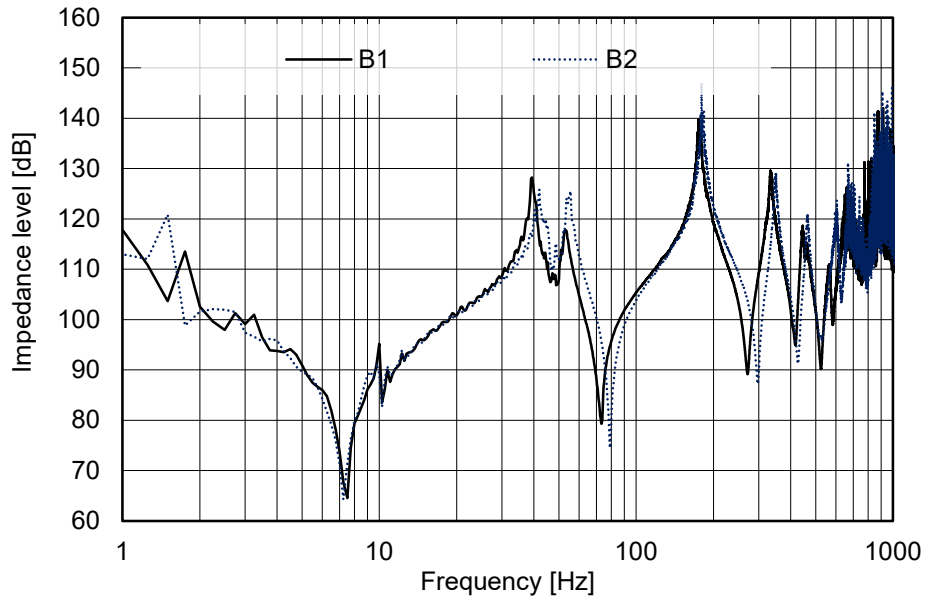


図 3. 2. 3 合成床の駆動点インピーダンス測定結果

4 実験棟（ツーバイフォー 6 階建て実大実験棟）における床衝撃音遮断性能測定

4.1 ツーバイフォー6 階建て実大実験棟および試験床断面仕様

国立研究開発法人建築研究所内に建設されているツーバイフォー6階建て実大実験棟（図 4.1.1）において、湿式浮き床と合成床を施工し床衝撃音遮断性能の測定を行った。本実験棟では、国立研究開発法人建築研究所と一般社団法人日本ツーバイフォー協会との共同研究により、耐震、耐火、施工性、耐久性、居住性等の検証を行っている。

本実験棟の1～5階は2部屋、6階は1部屋で、界床は階により異なった構造をもっている。2階床は210mm厚 CLT（5層7プライ）となっており、2階床の2部屋を対象として床衝撃音遮断性能の測定を実施した。



図 4.1.1 ツーバイフォー6 階建て実大実験棟

表 4.1.1、図 4.1.2 に1室（B 室）の CLT 床上下面の仕様を示す。建設当初の試験床 C1 は2時間耐火構造を想定し、床上下面に21mm厚の強化せっこうボードが3枚施工されていた。試験床 C2、C3 は発泡ポリウレタン防振材の上にコンクリート（100mm厚）を打設した湿式浮き床を施工したもの（試験床 C3 は天井の耐火層を撤去）、試験床 C4 は浮き床層を撤去したもの、試験床 C5 は CLT 素面状態のもの、試験床 C6 は合成床を施工したもの、その上に乾式二重床構造を施工した試験床 C7 となっている。また、乾式二重床構造の上部面材は仕上げ面からフローリング（12mm厚）、アスファルト系遮音シート（8mm厚）、パーティクルボード（20mm厚）である。合成床については、接合具は6か所に施工されている。なお、打設したコンクリートと壁の間には緩衝材を設置することにより縁を切っ

て施工されている。

表 4.1.2、図 4.1.3 に他の1室（A 室）の CLT 床上下面の仕様を示す。建設当初の試験床 D1 についても2時間耐火構造を想定し、床上下面に21mm厚の強化せっこうボードが3枚施工されており、防振材（グラスウール）の上にコンクリート（100mm厚）を打設した湿式浮き床を施工したものである。試験床 D2 は試験床 D2 上に乾式二重床構造を施工したものである。なお、乾式二重床構造の仕様については、試験床 C7 と同じ仕様となっている。

表 4.1.1 ツーバイフォー 6 階建て実大実験棟における試験床一覧 (B 室)

	床上	床下
C1	構造用合板 (t=12) 強化せっこうボード (t=21) × 3 枚	強化せっこうボード (t=21) × 3 枚
C2	コンクリート (t=100)	
C3	ポリエチレンフィルム 発泡ポリウレタン防振材 (t=25) 構造用合板 (t=12) 強化せっこうボード (t=21) × 3 枚	
C4	構造用合板 (t=12) 強化せっこうボード (t=21) × 3 枚	
C5	—	
C6	コンクリート (t=100) 合成床 ポリエチレンフィルム	
C7	乾式二重床構造 コンクリート (t=100) 合成床 ポリエチレンフィルム	

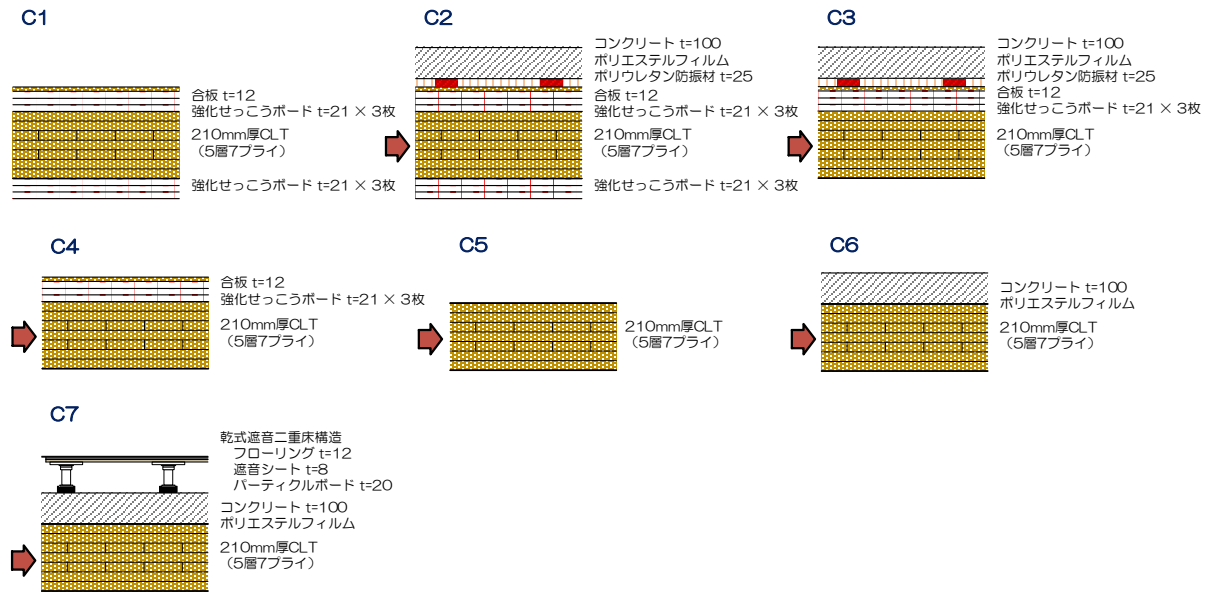


図 4.1.2 ツーバイフォー6 階建て実大実験棟における試験床断面図 (B 室)

表 4.1.2 ツーバイフォー6階建て実大実験棟における試験床一覧 (A室)

	床上	床下
D1	コンクリート (t=100) ポリエチレンフィルム グラスウール (96K、t=25) ×2 枚 構造用合板 (t=12) 強化せっこうボード (t=12) ×3 枚	強化せっこうボード (t=21) ×3 枚
D2	乾式二重床構造 コンクリート (t=100) ポリエチレンフィルム グラスウール (96K、t=25) ×2 枚 構造用合板 (t=12) 強化せっこうボード (t=12) ×3 枚	

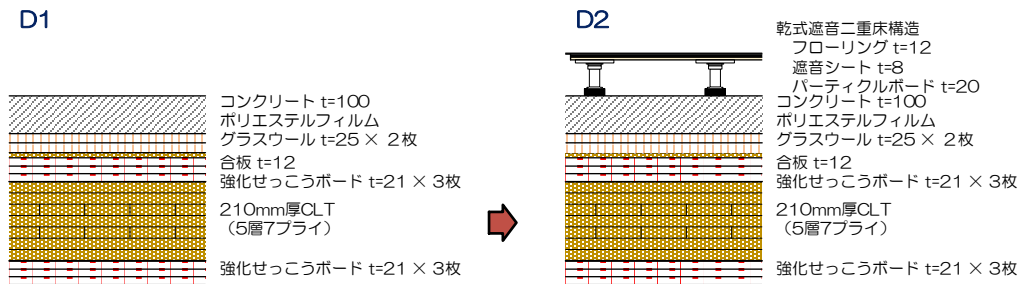


図 4.1.3 ツーバイフォー6階建て実大実験棟における試験床断面図 (A室)

4.2 ツーバイフォー6階建て実大実験棟における床衝撃音遮断性能

床衝撃音遮断性能の測定は JIS A 1418-2 および JIS A 1418-1 に準拠して行い、衝撃源はタイヤ衝撃音、ゴムボール衝撃音およびタッピングマシンの3種類を用いた。評価は JIS A 1419-2 に準拠して行い、オクターブバンド毎の床衝撃音レベルから A 特性床衝撃音レベルを算出した。

A 室の床衝撃音遮断性能の測定結果を図 4.2.1 に、CLT 素面の試験床 C5 との床衝撃音レベル差を算出した結果を図 4.2.2 に示す。なお図 4.2.2 の正の値は、素面の試験床 C5 より性能が高いことを示している。コンクリートを打設していない試験床 C1、C4 および C5 の性能は低く、 L_r -70~75 (タイヤ衝撃源)、 L_r -90~95 (タッピングマシン) の性能となった。湿式浮き床を施工した試験床 C2、C3 の性能が高く、 L_r -60 (タイヤ衝撃源)、 L_r -70 (タッピングマシン) の性能となり、浮き床層の効果量はコンクリートスラブの場合と同様の傾向を示したり。天井面に施工された 21 mm 厚の強化せっこうボードの効果は、駆動点インピーダンスの変化量が小さいため殆どなく、試験床 C2 では 125 Hz および 500 Hz 帯域に強化せっこうボードの共振とみられる落ち込みがみられた。合成床の試験床 C6 の性能は浮き床の試験床より性能が低く、 L_r -65 (タイヤ衝撃源)、 L_r -95 (タッピングマシン) の性能となり、概ね、打設したコンクリートの性能であることがわかった。また、床仕上げ構造により軽量床衝撃音の性能の向上が必要であることがわかった。合成床の乾式二重床構造施工後では、重量床衝撃音 (タイヤ衝撃源) は L_r -70、軽量床衝撃音は L_r -60 となり、軽量床衝撃音遮断性能は向上したものの、重量床衝撃音遮断性能は低下する結果となった。

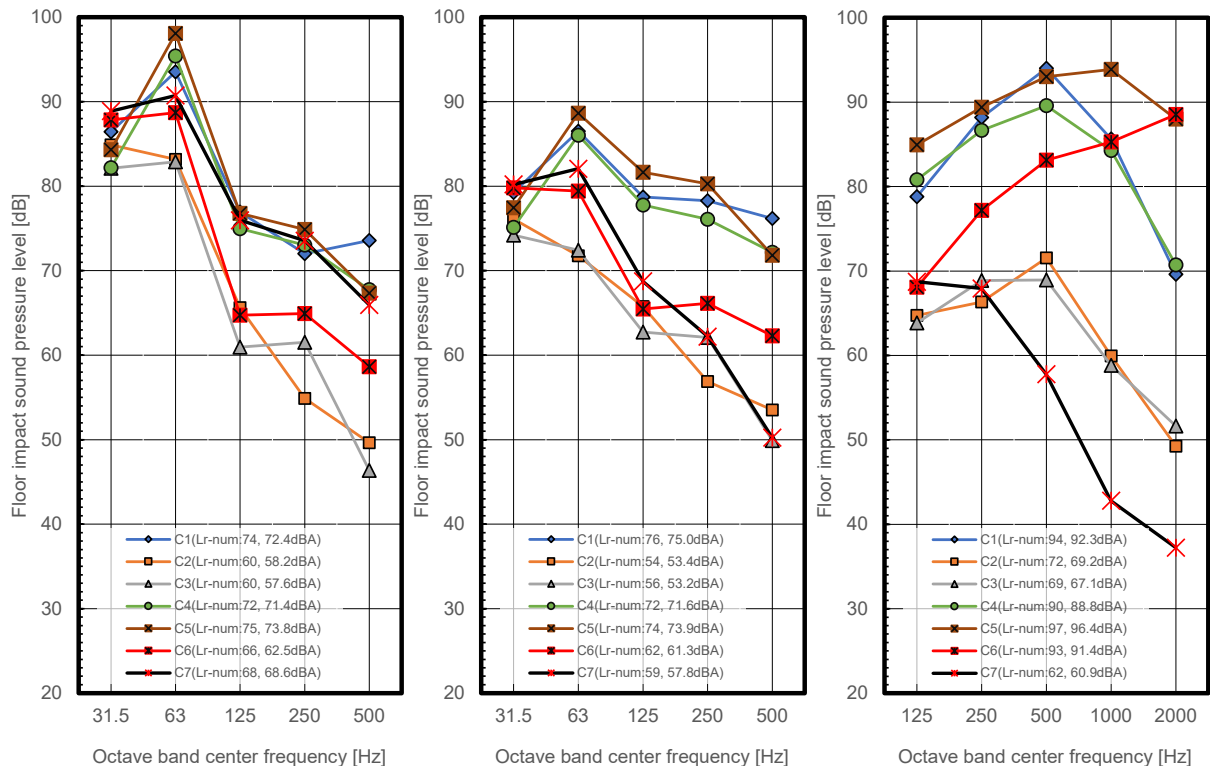


図 4.2.1 床衝撃音遮断性能測定結果 (A 室)

(左: タイヤ衝撃源、中: ゴムボール衝撃源、右: タッピングマシン)

E. 音環境分野

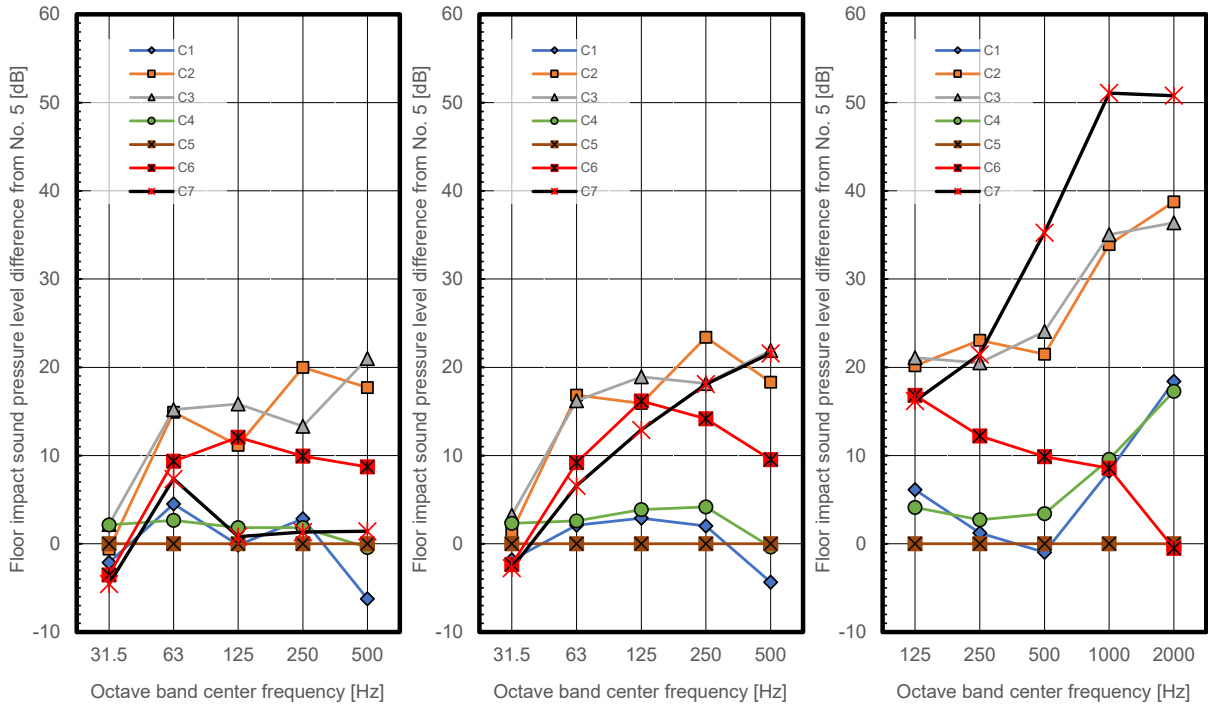


図 4.2.2 CLT 素面 (試験体 C5) との床衝撃音レベル差算出結果 (A 室)
(左: タイヤ衝撃源、中: ゴムボール衝撃源、右: タッピングマシン)

B 室の床衝撃音遮断性能の測定結果を図 4.2.3 に示す。湿式浮き床を施工した試験床 D1 の重量床衝撃音 (タイヤ衝撃源) は L_r-60 、軽量床衝撃音は L_r-70 となり、防振層の材料が異なる試験床 C2 とほぼ同様の結果となった。また乾式二重床構造施工後の試験床 D2 では、重量床衝撃音 (タイヤ衝撃源) は L_r-65 、軽量床衝撃音は L_r-50 となり、軽量床衝撃音遮断性能は向上したものの、重量床衝撃音遮断性能は低下する結果となった。

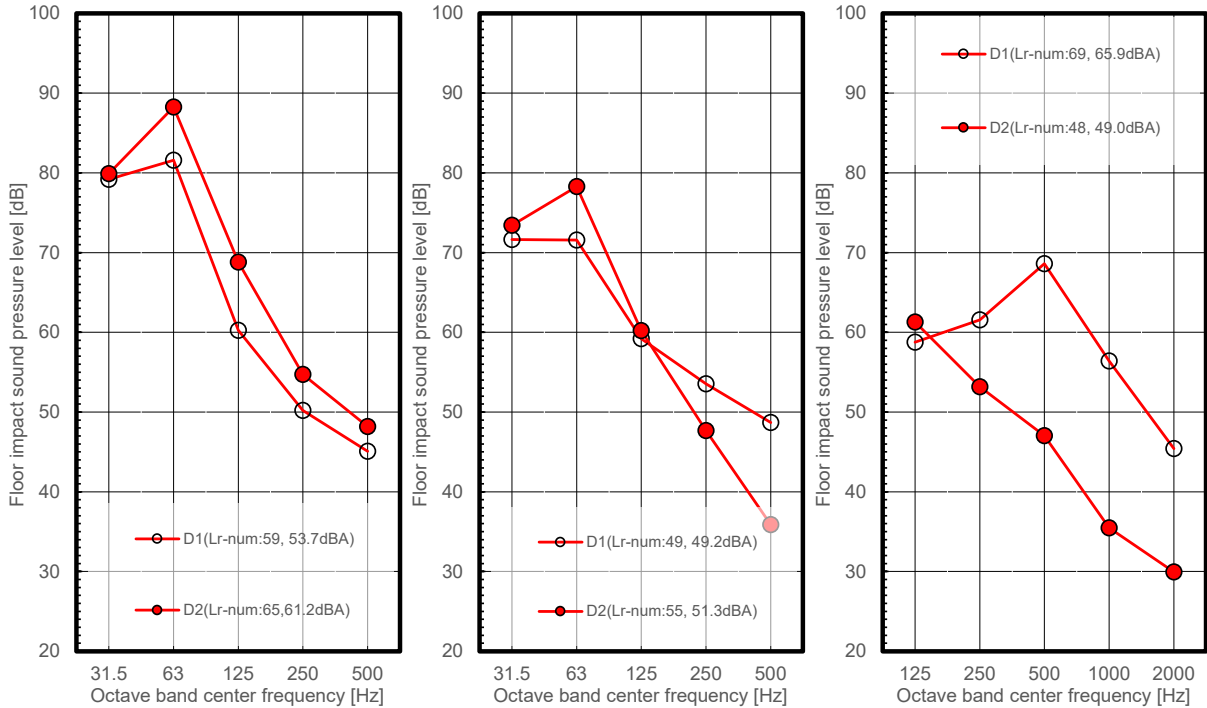


図 4.2.3 床衝撃音遮断性能測定結果 (B室)

(左：タイヤ衝撃源、中：ゴムボール衝撃源、右：タッピングマシン)

コンクリートを打設した CLT 床上の乾式二重床構造が床衝撃音遮断性能に与える影響をみるために、乾式二重床構造施工前後の床衝撃音レベル差（試験床 C6－試験床 C7、試験床 D1-D2）を算出した結果を図 4.2.4 に示す。グラフ中の正の値は、乾式二重床構造の施工により性能が向上したことを示す。

CLT 床上に乾式二重床構造は施工した既報^{4), 5)}等では重量床衝撃音遮断性能向上に寄与していたものの、CLT 床上に 100 mm 厚コンクリートを打設した本報の検討ではタイヤ衝撃源、ゴムボール衝撃源ともに性能が低下する結果となった。また、図 4.2.4 中の 31.5 Hz および 63 Hz 帯域の 2 つの標準重量衝撃源の値はほぼ同じで、125 Hz 帯域以上ではゴムボール衝撃源の方が大きい傾向を示した。これらの結果は、均質単板スラブなどのコンクリート床と同様の傾向となっている。また、軽量床衝撃音遮断性能については、乾式二重床構造の施工により性能が向上した。

E.音環境分野

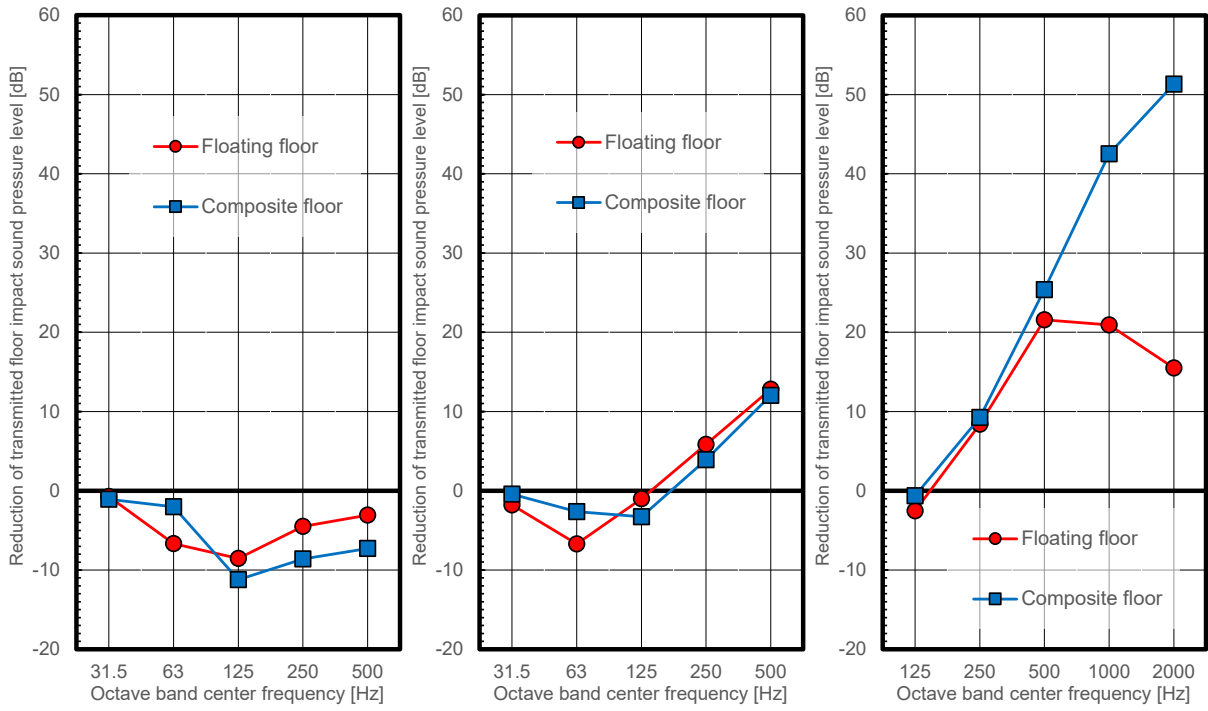


図 4.2.4 乾式二重床施工による床衝撃音レベル差算出結果 (B 室)
 (左: タイヤ衝撃源、中: ゴムボール衝撃源、右: タッピングマシン)

5 実験棟（つくば CLT 実験棟）における床衝撃音遮断性能測定

5.1 つくば CLT 実験棟および試験床断面仕様

国立研究開発法人建築研究所内に建設されているつくば CLT 実験棟（図 5.1.1）において、湿式浮き床と合成床を施工し床衝撃音遮断性能の測定を行った。本実験棟では、国立研究開発法人建築研究所と一般社団法人日本 CLT 協会との共同研究により、耐久性、居住性等の検証を行っている。

本実験棟は2階建ての戸建て住宅を模擬している。2階床は210mm厚 CLT（5層7プライ）となっており、1部屋を対象として床衝撃音遮断性能の測定を実施した。



図 5.1.1 つくば CLT 実験棟

図 5.1.2 に CLT 床上下面の仕様を示す。乾式二重床構造（8mm厚アスファルトシート使用）に天井根太を防振支持した独立天井を採用した試験床 E1、試験床 E1 の天井構造を独立天井（SQ 工法）とし天井懐に粒状体を挿入したものに変更した試験床 E2、試験床 E2 の乾式二重床構造の上部面材を重たくした試験床 E3（計 16mm厚アスファルトシート使用）の3種類である。

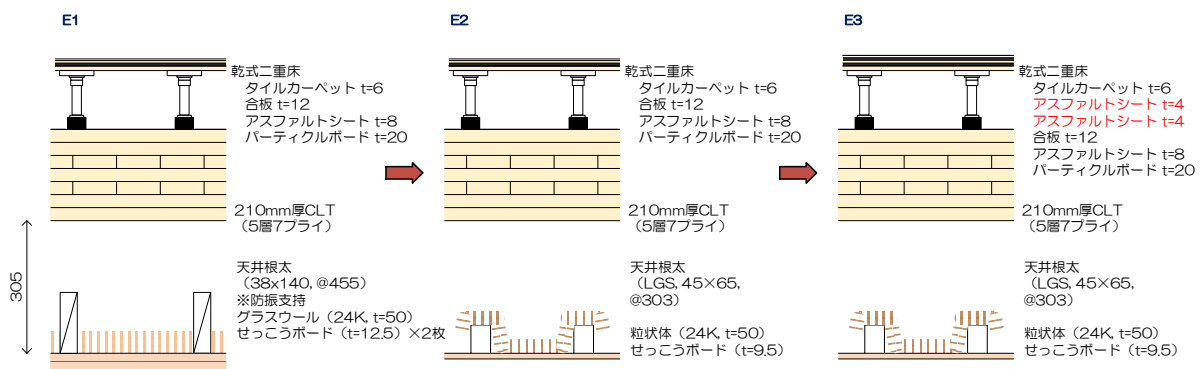


図 5.1.2 つくば CLT 実験棟における試験床断面図 (A 室)

5.2 つくば CLT 実験棟における床衝撃音遮断性能

床衝撃音遮断性能の測定は JISA 1418-2 および JISA 1418-1 に準拠して行い、衝撃源はタイヤ衝撃音およびタッピングマシンの2種類を用いた。評価は JIS A 1419-2 に準拠して行い、オクターブバンド

E.音環境分野

毎の床衝撃音レベルから A 特性床衝撃音レベルを算出した。

床衝撃音遮断性能の測定結果を図 5.2.1 に示す。乾式二重床構造の仕様が同じ試験床 E1、E2 の重量床衝撃音は L_r -70 (タイヤ衝撃源) となったが、乾式二重床構造上部面材にアスファルトシートを追加した試験床 E3 では L_r -65 (タイヤ衝撃源) となり、乾式二重床構造の上部面材の重量を増すことが性能向上に有効であることを示している。また、試験床 E3 の軽量床衝撃音は L_r -50 と高い性能を示している。

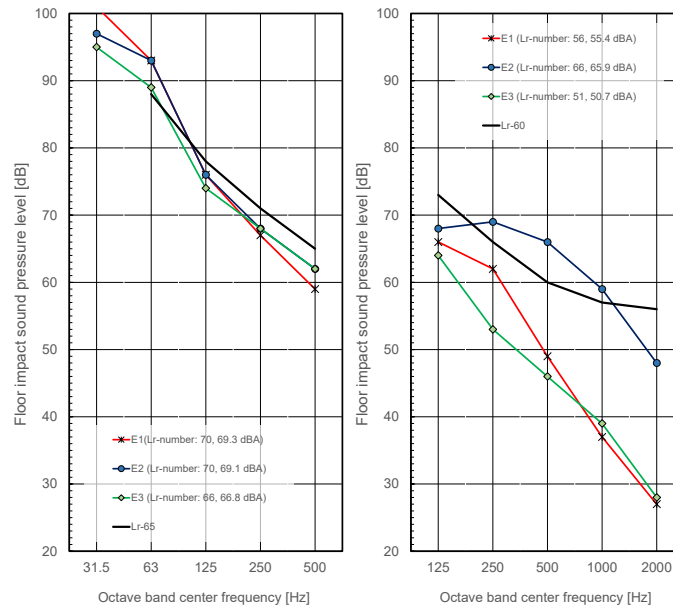


図 5.2/1 床衝撃音遮断性能測定結果
(左：タイヤ衝撃源、右：タッピングマシン)

6 おわりに

本研究では、天井面を木材（CLT パネル）現しとするプロトタイプ設計例の仕様に対して、床衝撃音遮断性能に関する実験的検討を実施した。天井面を木材の場合は天井構造による遮音効果が期待できないため、床躯体構造の面密度や剛性を上げる方法として、CLT 床にコンクリートを打設した仕様の場合、CLT 床上に湿式浮き床や合成床（ともに 100 mm 厚コンクリートを打設）を施工すると、重量床衝撃音は $L_r-60\sim 65$ と高い性能を発揮することができた。また、合成床に床仕上げ材として乾式二重床構造を施工すると重量床衝撃音は L_r-70 （L 数 68）、軽量床衝撃音は L_r-60 （L 数 62）となり、湿式浮き床に床仕上げ材として乾式二重床構造を施工すると重量床衝撃音は L_r-65 （L 数 65）、軽量床衝撃音は L_r-60 （L 数 58）となり、概ね日本建築学会遮音性能基準における集合住宅の適用等級 3 級の評価となった。さらには、コンクリートを用いない一般的な床断面仕様についても検討を行い、重量床衝撃音は L_r-70 （L 数 66）、軽量床衝撃音は L_r-50 （L 数 51）の性能となった。これらの床断面仕様例を纏めると図 6.1 となる。

今後の課題としては、施工性やコスト面なども考慮した床断面仕様の検討などが考えられる。

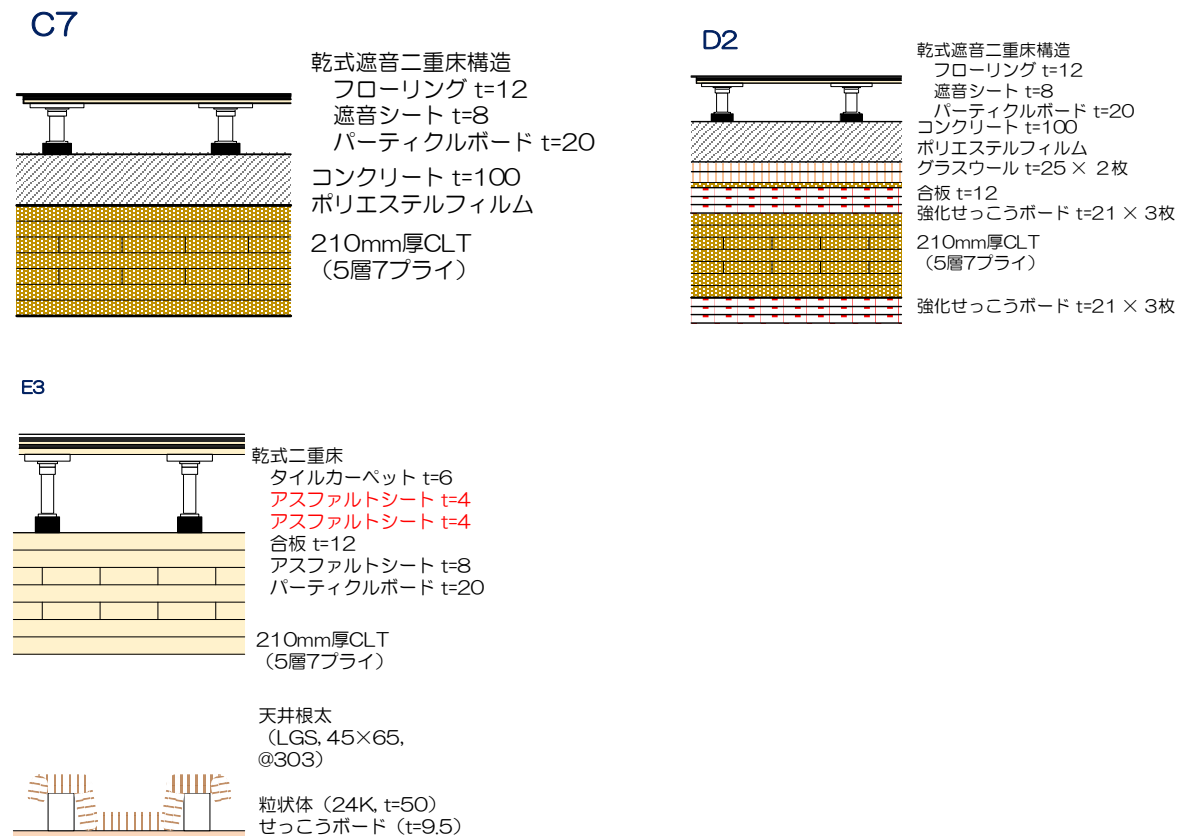


図 6.1 一定の性能をもつ床断面仕様例

【参考文献】

- 1) 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]、技報堂出版、1997
- 2) 平光厚雄：床衝撃音遮断性能の評価基準と性能向上に関する研究、日本大学大学院理工学研究科博士後期課程建築学専攻、2013.1
- 3) 日本建築学会編：日本建築学会環境基準 AIJES-S0001-2020 学校施設の音環境保全規準・設計指

E.音環境分野

針、丸善出版、2020

- 4) Atsuo Hiramitsu, Toru Otsuru, Reiji Tomiku, Koji Harada: Improvement of Floor Impact Sound Insulation in Cross Laminated Timber Model Building for Experiment, Proc. Inter-Noise 2016, 3792-3797, 2016
- 5) Atsuo Hiramitsu, Takahiro Tsuchimoto, Shinsuke Kurumada: Influence of floor finish structure on floor impact sound insulation in CLT model building Proc. Inter-Noise 2019, 2019
- 6) 森田洋介、早崎洋一、北守顕久、森拓郎、五十田博：RC 床版と CLT の合成床システムの開発
その 1 鋼板接着接合具を用いた RC-CLT 合成床の実大曲げ試験、日本建築学会学術講演梗概集、
構造Ⅲ、pp.107-108、2018