

木造建築物の重量床衝撃音遮断性能向上技術に関する検討

環境研究グループ
上席研究員

平光 厚雄

建築物の計画から施工の流れに対する音環境性能に関する技術的課題

「**公共建築物等**における木材の利用の促進に関する法律」

「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促進に関する法律」

建築物の計画から
竣工まで

- 計画
- ↓
- ↓
- 設計
- ↓
- 施工
- ↓
- 竣工

⇔ ⇔ ⇔ ⇔

音環境性能に
関連する事項

- 性能目標値の設定
- 性能予測
- ↓
- 設計
- ↓
- 工事監理・工事管理
- ↓
- 性能測定（測定方法）
- 性能評価（評価方法）
- ↓
- （クレーム対応）

法基準
学会基準

特に、
重量床衝撃音

性能向上

← ← ← ← ←

内容

1. 床衝撃音遮断性能の**測定・評価**
2. 音環境に関する**法律、基準類**
3. 床衝撃音遮断性能の**対策の基本**
4. 木造建築物の床衝撃音遮断性能の**実測例**

床衝撃音遮断性能の測定・評価

床衝撃音の測定方法と評価値

○床衝撃音

- 床面に物がぶつかった時などの衝撃に伴い、直下の室内などで聞こえる音。
- 床の遮音性能（床衝撃音遮断性能）の評価では、**軽量床衝撃音**と**重量床衝撃音**に分けて、測定と評価を行う。

測定項目	音の性質	生活音での例
軽量床衝撃音	軽くて硬いもの落下等により生じる音	スプーンの落下 スリッパ歩行 椅子の引きずり 等
重量床衝撃音	重くて柔らかいもの落下等により生じる音	飛び跳ね 走り回り 素足歩行 等

床衝撃音の測定方法と評価値

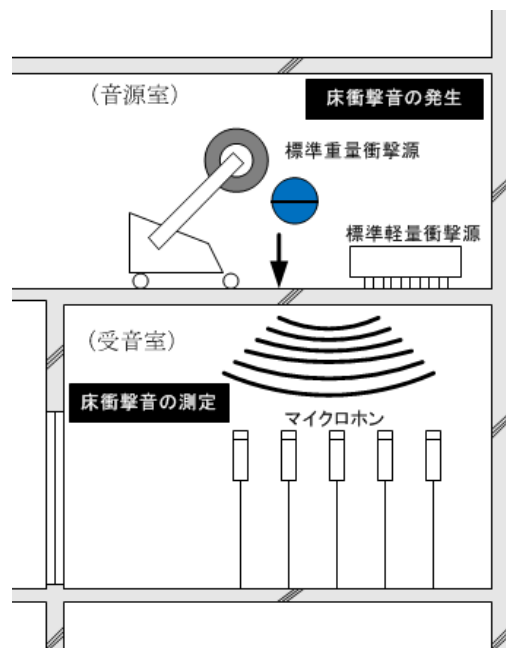
タッピングマシン



タイヤ衝撃源 (バングマシン)



ゴムボール衝撃源



○床衝撃音の測定

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

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

○床衝撃音の評価 (L_r 等級、 L 値)**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

音環境に関する法律、基準類

音環境に関する法律－建築基準法（令和元年6月改正）

建築基準法

（長屋又は共同住宅の各戸の界壁）

第三十条 長屋又は共同住宅の各戸の界壁は、次に掲げる規準に適合するものとしなければならない。

一 その構造が、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界壁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こと。

二 小屋裏又は天井裏に達するものであること。

2 前項二号の規定は、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じ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は、適合しない。

音環境に関する法律－品確法

日本住宅性能評価基準

「住宅の品質確保の促進等に関する法律（住宅品確法）」における**住宅性能表示制度**では、日本住宅性能表示基準により表示すべき事項と表示方法が定められている。

音環境については、

- **重量床衝撃音対策**
- 軽量床衝撃音対策
- 透過損失等級（界壁）
- 透過損失等級（外壁開口部）

の4種類が表示すべき事項として定められている。

音環境に関する法律－品確法

日本住宅性能評価基準

重量床衝撃音対策は、「**重量床衝撃音対策等級**」または「**相当スラブ厚（重量床衝撃音）**」のいずれかで評価する。

○重量床衝撃音対策等級：

居室に係る上下階との界床の重量床衝撃音(重量のあるものの落下や足音の衝撃音)を遮断するため必要な対策の程度

※木造床の評価方法基準はない

等級5	特に優れた重量床衝撃音の遮断性能(特定の条件下でおおむね日本産業規格の $L_{i,r,H}$ -50等級相当以上)を確保するため必要な対策が講じられている
等級4	優れた重量床衝撃音の遮断性能(特定の条件下でおおむね日本産業規格の $L_{i,r,H}$ -55等級相当以上)を確保するため必要な対策が講じられている
等級3	基本的な重量床衝撃音の遮断性能(特定の条件下でおおむね日本産業規格の $L_{i,r,H}$ -60等級相当以上)を確保するため必要な対策が講じられている
等級2	やや低い重量床衝撃音の遮断性能(特定の条件下でおおむね日本産業規格の $L_{i,r,H}$ -65等級相当以上)を確保するため必要な対策が講じられている
等級1	その他

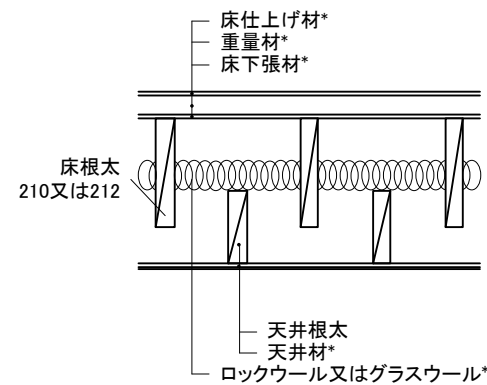
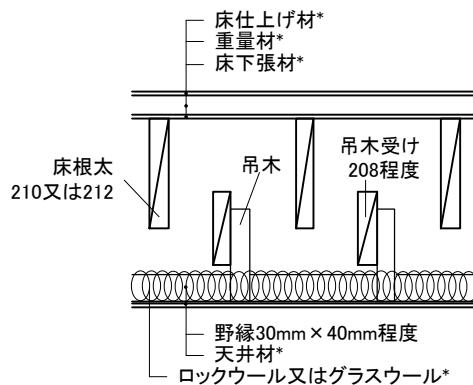
音環境に関する法律－品確法

日本住宅性能評価基準

○相当スラブ厚(重量床衝撃音)：

居室に係る上下階との界床の重量床衝撃音(重量のあるものの落下や足音の衝撃音)の遮断の程度をコンクリート単板スラブの厚さに換算した場合のその厚さ

相当スラブ厚 (重量床衝撃音)	a 27cm以上
	b 20cm以上
	c 15cm以上
	d 11cm以上
	e その他



※軸組工法と枠組壁工法のみ規定

音環境に関する基準－日本建築学会遮音性能基準

日本建築学会遮音性能基準

- 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]**」示されている。
- 室間音圧レベル差、床衝撃音レベル、室内騒音について、建物、室用途別に適用等級が規定されている。

適用等級	遮音性能の水準	遮音性能の説明
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	やむ得ない場合に許容される性能水準

集合住宅の音環境に関する基準－日本建築学会遮音性能基準

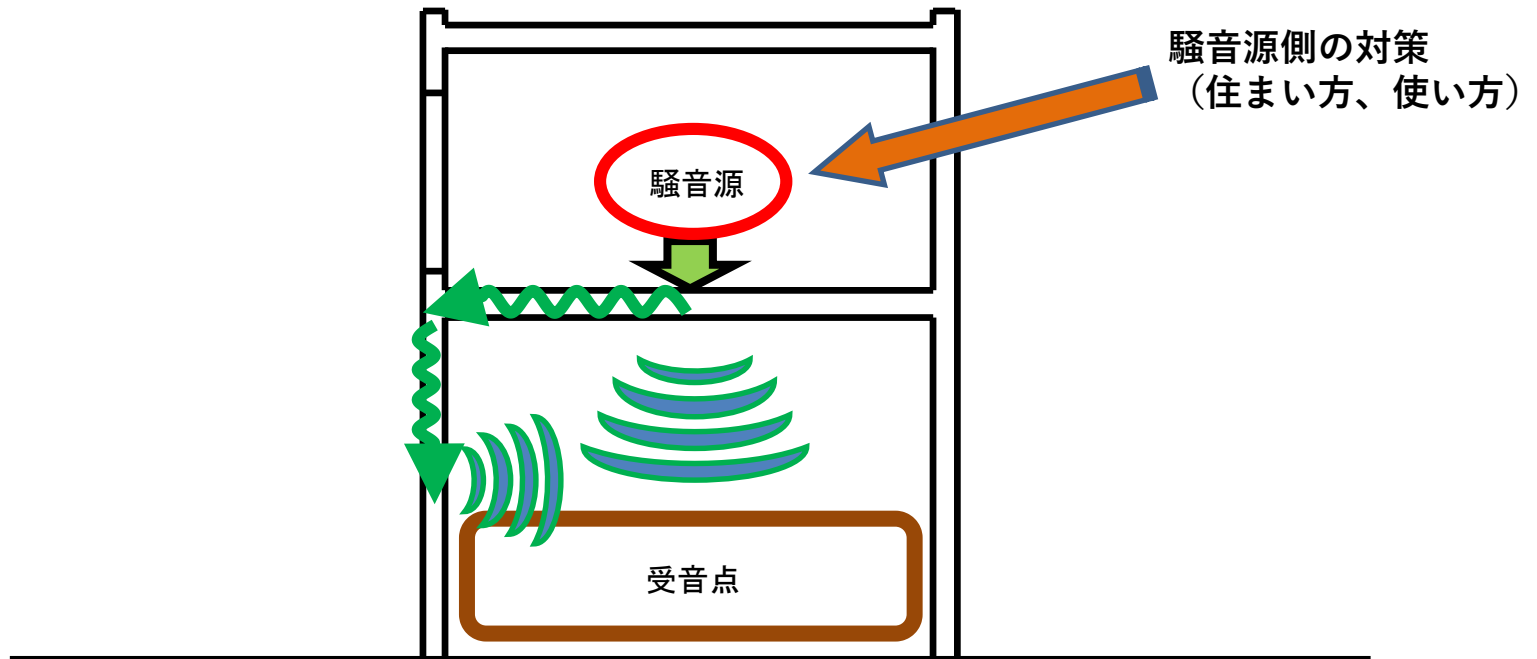
日本建築学会遮音性能基準 (集合住宅の居室)

衝撃源	適用等級			
	特級	1級	2級	3級
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

*木造、軽量鉄骨造またはこれに類する集合住宅に適用する。

床衝撃音遮断性能の対策の基本

騒音対策（床衝撃音）

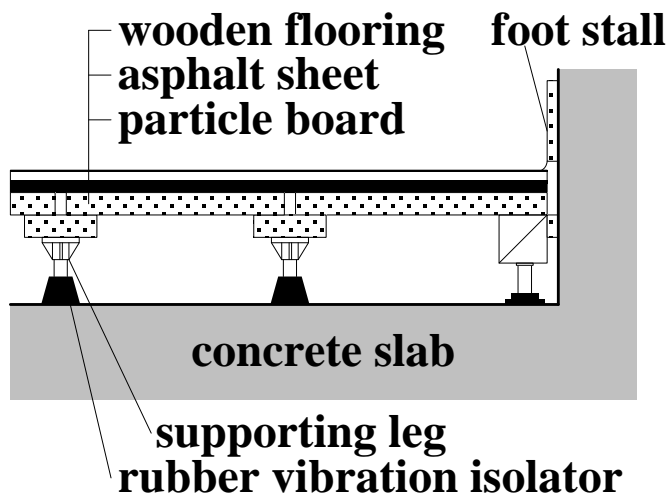


木造建築物における床衝撃音対策の基本

	対策の基本	対策の例
⑥	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等
①	床への衝撃入力への低減	乾式二重床構造の採用、室での人の移動の制限、物の落下の防止等
②	床構造による低減	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等
③	天井での遮音	床構造から振動的に独立させた天井の設置、防振吊木の採用、天井ボードの増し張り、天井懐内への吸音材の挿入等
④	受音室内での制御	床から壁への伝達振動の低減対策、受音室内の吸音等

※対策は構造や防耐火性能などとも関係し、計画時に考慮する必要がある。

① 乾式二重床構造



乾式二重床構造の断面例

- RC造のマンションで多く用いられている床仕上げ構造（特に東日本）
- 防振ゴム付き支持脚により空気層をもつ（空気層に配管を設置）
- 段差を無くすことが容易
- コンクリート床上に施工すると、重量床衝撃音遮断性能は低下
- 木造建築物に用いられることは殆どなかった

② 床構造

○ (重量) 床衝撃音の低減手法

床衝撃音遮断性能の変化は、床断面の**駆動点インピーダンス**（床の振動しにくさ）の変化によって推定できる。

$$Z_b = 8\sqrt{Bm}$$

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)

曲げ剛性 B は、次式で計算することができる。

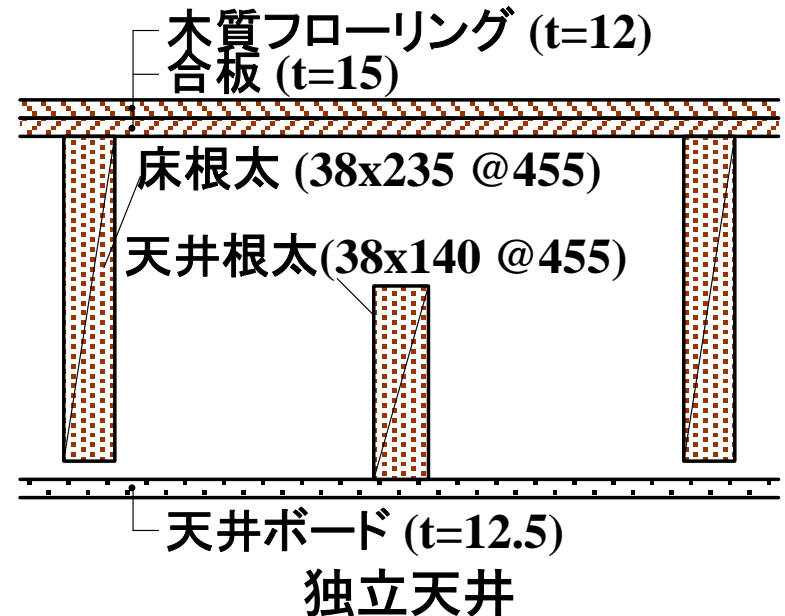
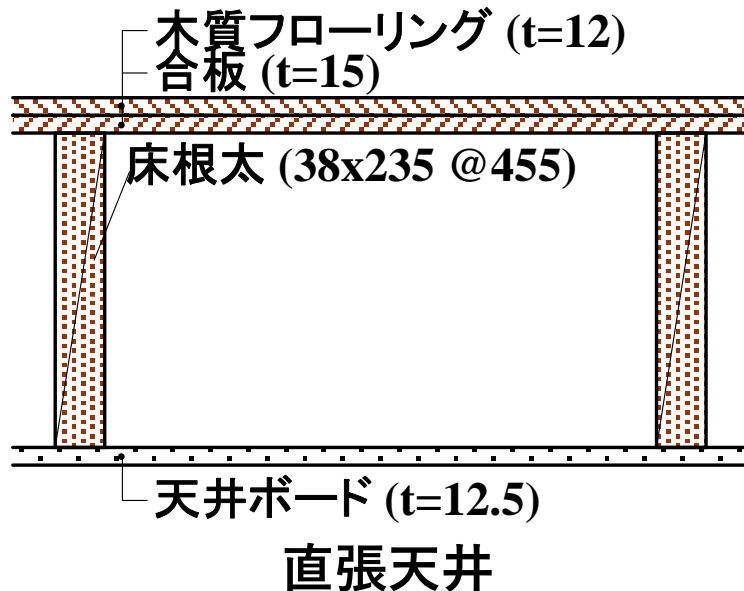
$$B = \sum (EI)$$

E ：部材のヤング率 (N/m²)

I ：部材の断面二次モーメント (m⁴)

③ 天井構造

- 床衝撃音が放射される天井の対策としては、天井ボードを床根太に取り付けるいわゆる「**直張天井**」よりも天井受け（天井根太）を新たに取り付け床根太から離して設置するいわゆる「**独立天井**」の方が有効（床構造と天井構造とは振動的に縁を切る）
- 天井ボードを増し張りにより複層化することは床衝撃音対策に有効

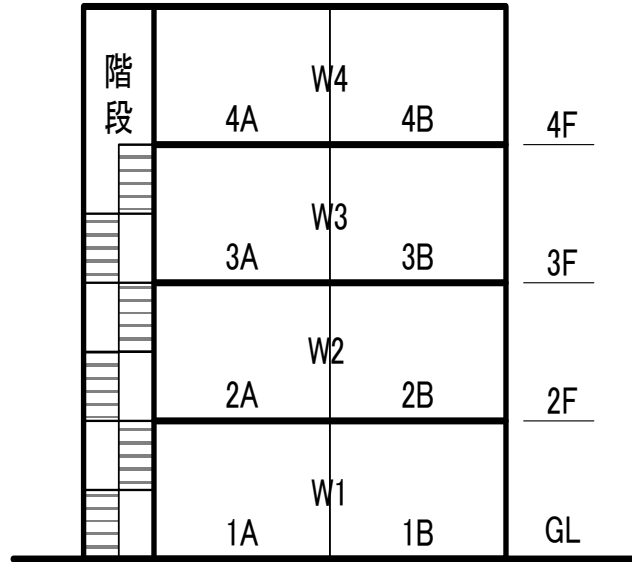


木造建築物の床衝撃音遮断性能の実測例

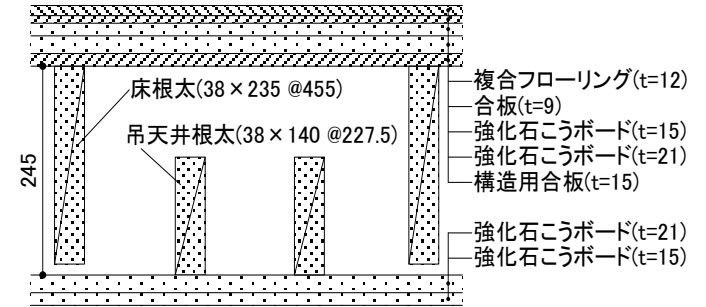
4階建て耐火構造の枠組壁工法実大モデル住宅



外観

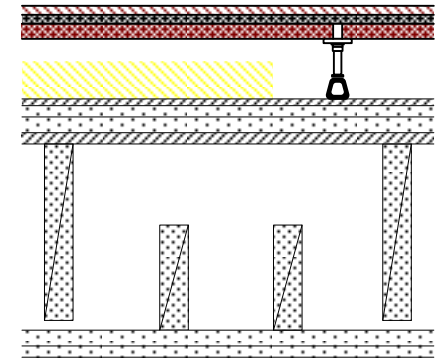


断面外略図



界床4A (耐火認定)

乾式二重床構造



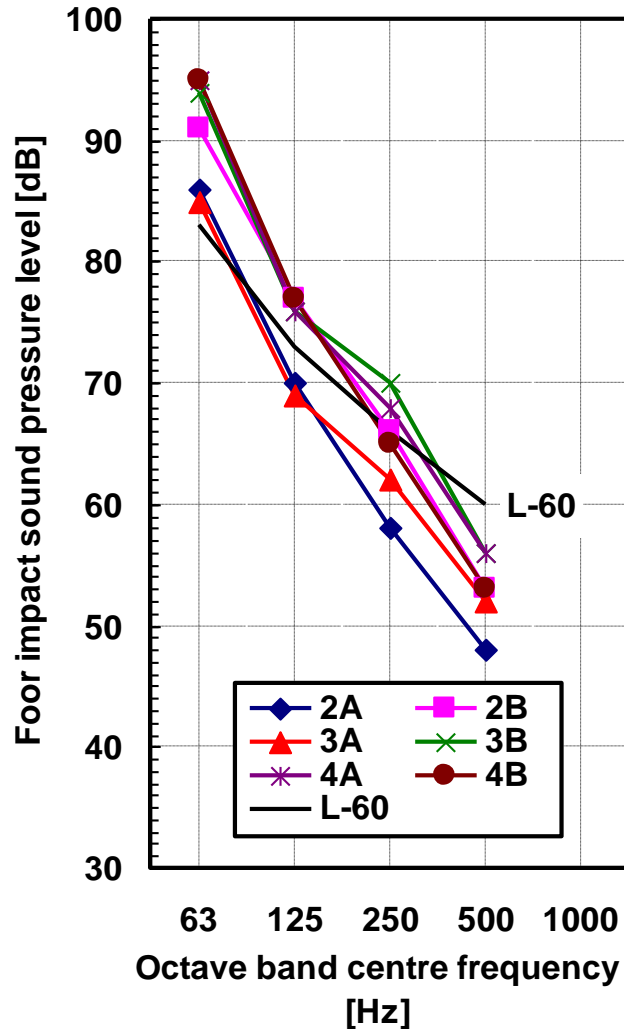
界床3A

界床	仕様
4A(基本)	耐火構造仕様+複合フローリング(12)
4B	耐火構造仕様+アスファルト系遮音シート(8)+複合フローリング(12)
3A	耐火構造仕様+乾式二重床A
3B	耐火構造仕様+乾式二重床B
2A	耐火構造仕様+乾式二重床C [※]
2B	耐火構造仕様+遮音用制振ダンパ [※] 組込

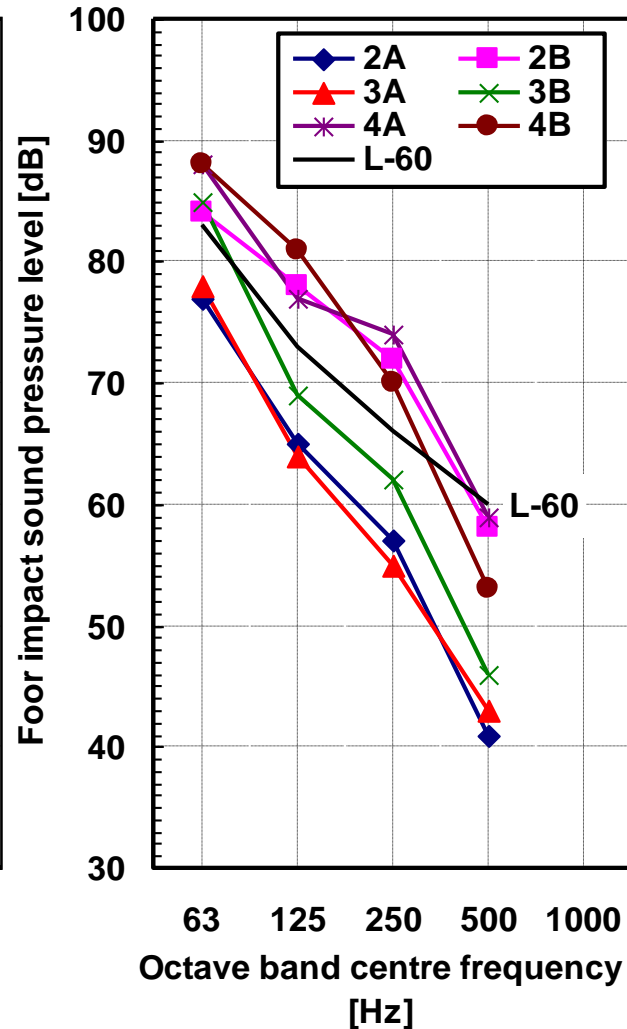
ただし、※印は試作品、括弧内の数値は厚さを表す。

4階建て耐火構造の枠組壁工法実大モデル住宅－床衝撃音レベル測定結果

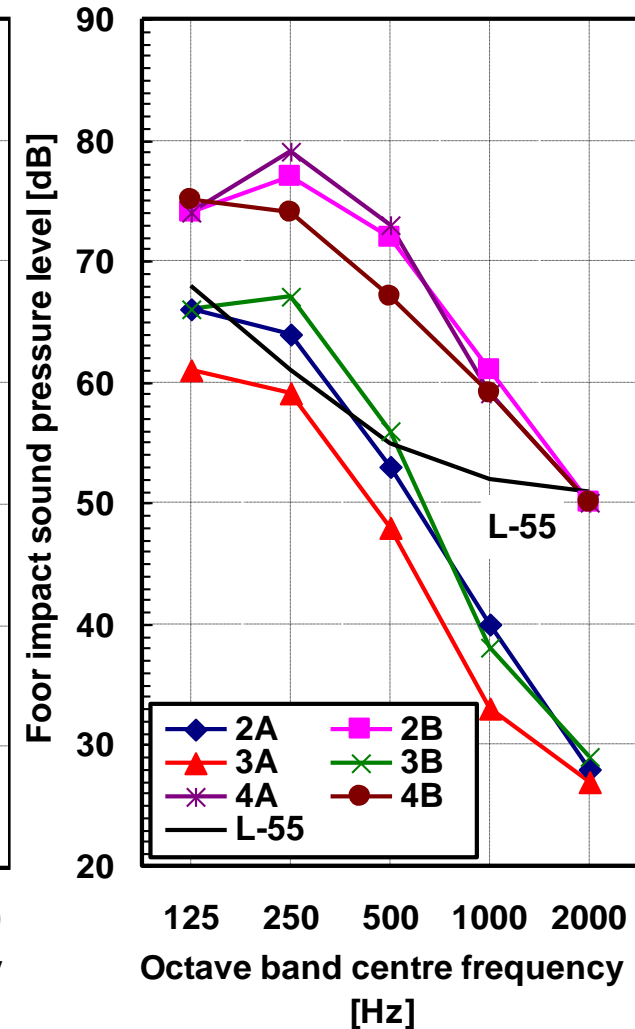
タイヤ衝撃源



ゴムボール衝撃源

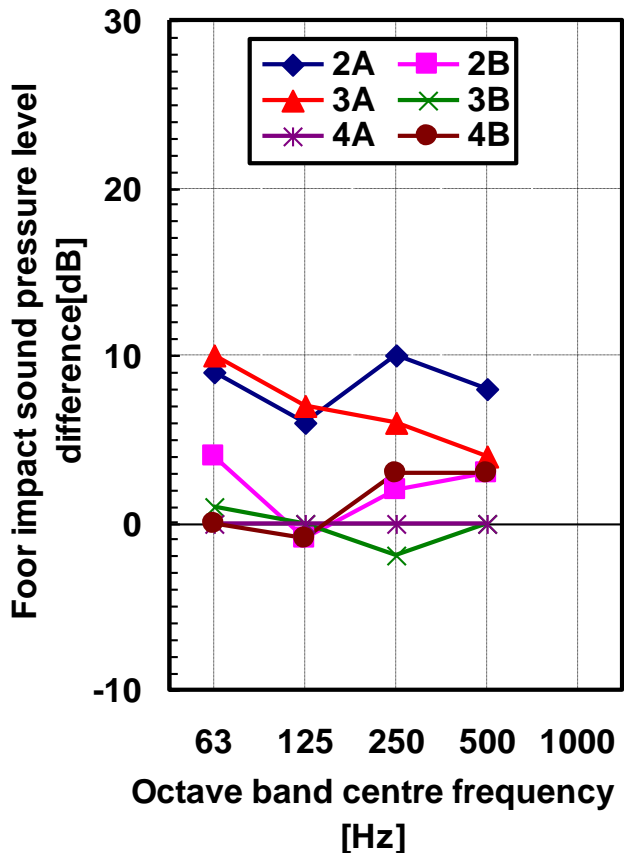


タッピングマシン

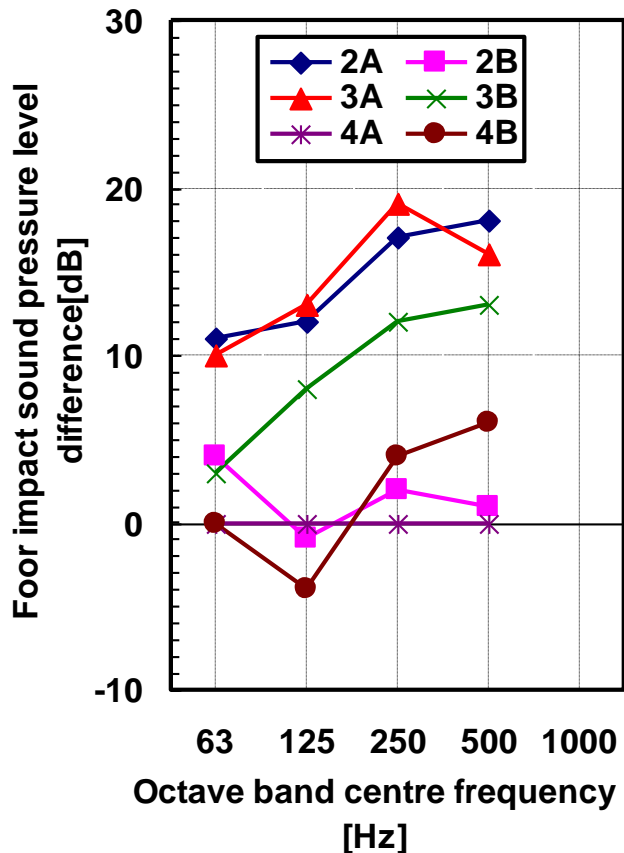


4階建て耐火構造の枠組壁工法実大モデル住宅－床衝撃音レベル測定結果（基本仕様4Aとの差）

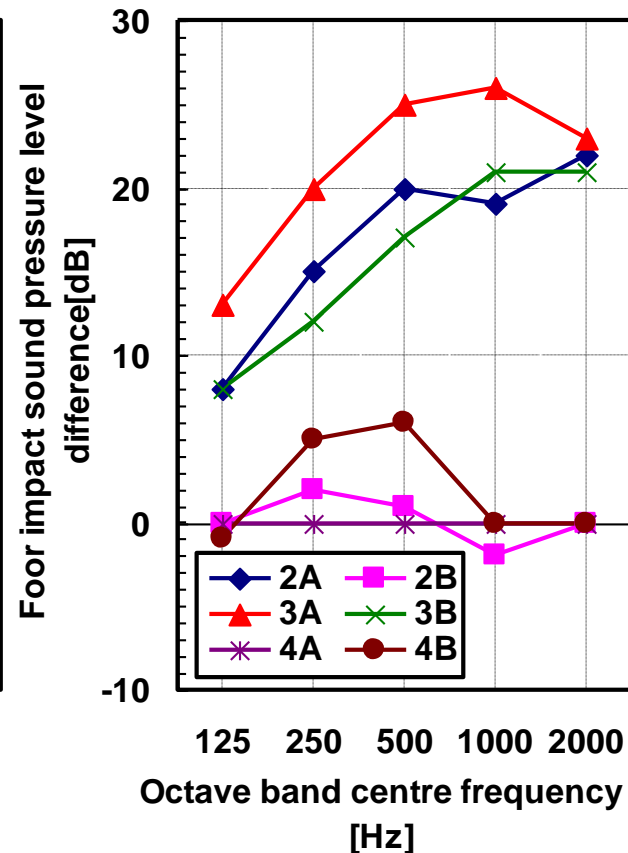
タイヤ衝撃源



ゴムボール衝撃源



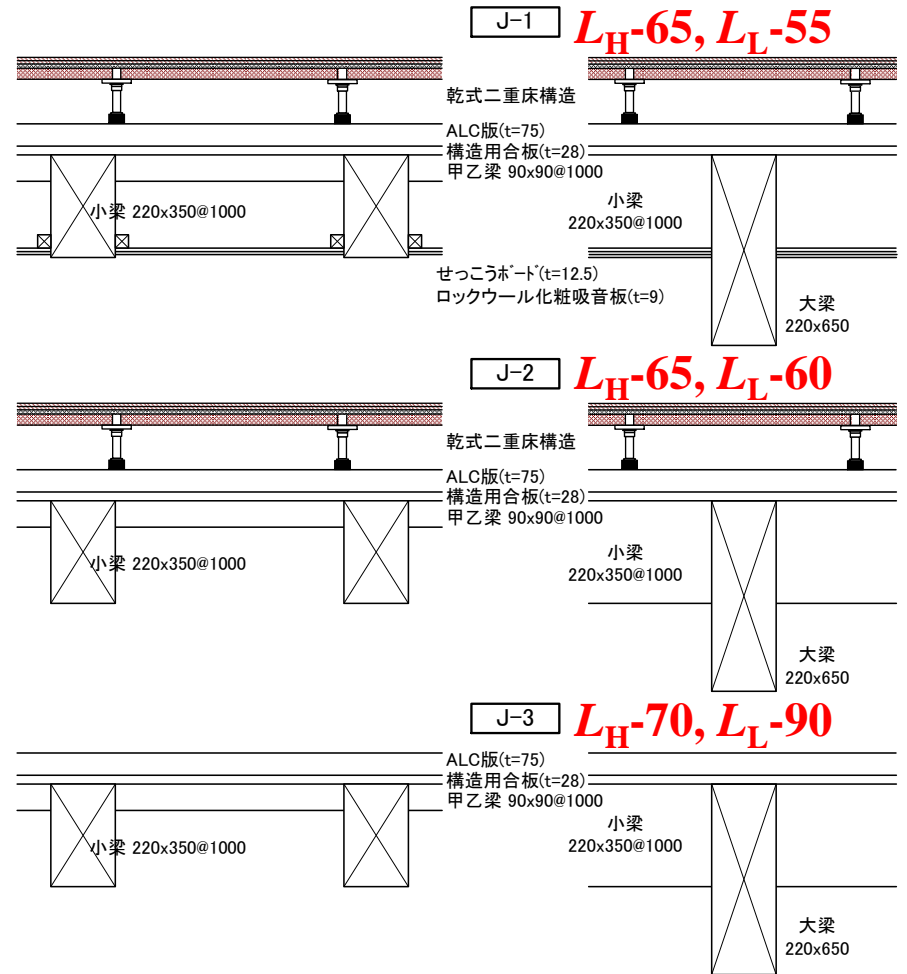
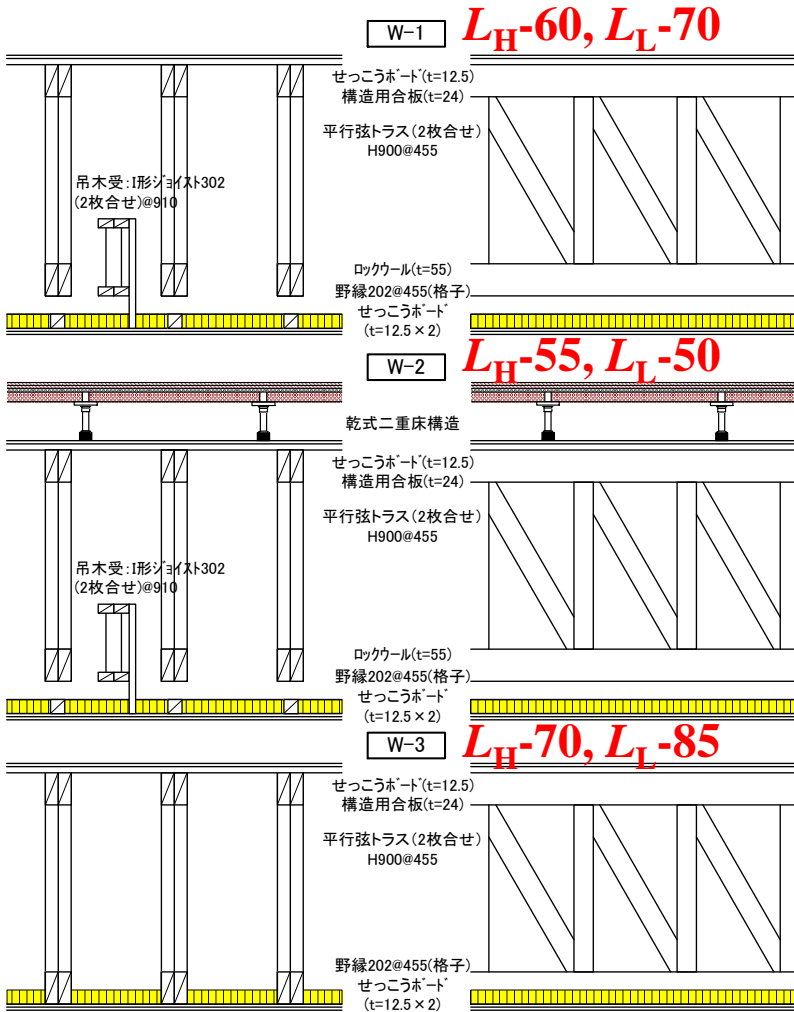
タッピングマシン



木三学予備実験（2012年2月火災実験）



木三学（予備実験）－断面図



木三学（予備実験）－評価（日本建築学会適用等級）

床衝撃音レベルに関する適用等級（普通教室）

衝撃源	適用等級			
	特級	1級	2級	3級
重量衝撃源	L-50	L-55	L-60	L-65
軽量衝撃源				

適用等級の意味

適用等級	遮音性能の水準	遮音性能の説明
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	やむ得ない場合に許容される性能水準

W-2は重量床衝撃音は**1級**、軽量床衝撃音は**特級**の評価

「星の杜小学校」での検討



床断面仕様

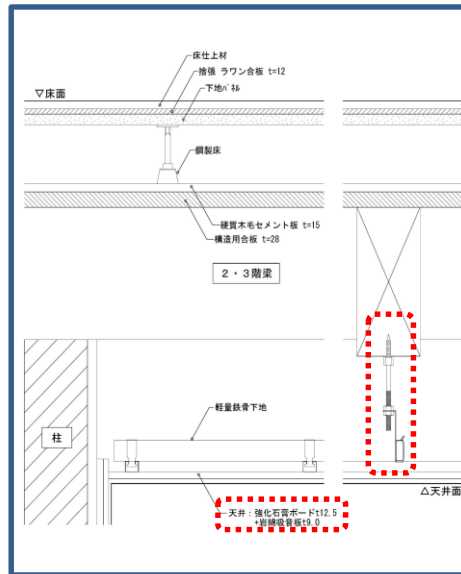
測定室	普通教室 3A→2A	普通教室 3B→2B	普通教室 2A→1A	普通教室 2B→1B	WS 3b→2b [※]	WS 3e→2e [※]	家庭科室 →会議室 [※]	音楽室 →職員室	図工室 →保健室
床仕上げ材	合板12+フローリング12						合板12+ビ ニル床シー ト2	遮音マット（非加硫ゴ ム）6+合板12+フロー リング12	
床下地	構造用合板28+硬質木毛セメント板15+乾式二重床構造（空気層110）+パーティクルボード20								
天井下地	鋼製下地	鋼製下地 ※防振支持	鋼製下地	鋼製下地 ※防振支持	鋼製下地	LGS下地	LGS下地	鋼製下地	鋼製下地
天井ボード	GB-R9.5+GB-F12.5+DR9						GB-F12.5+ DR9	GB-R9.5+GB-F12.5+ DR9	

- できるだけコストを掛けずに計画し、室用途に応じて詳細を変更することとした。
- 梁（120×450×2（束ね梁））および梁上の構造用合板+硬質木毛セメント板+乾式二重床構造+パーティクルボードは共通。
- 床仕上げ材は合板+フローリング、合板+ビニル床シート、遮音マット+合板+フローリングの3通りとした。

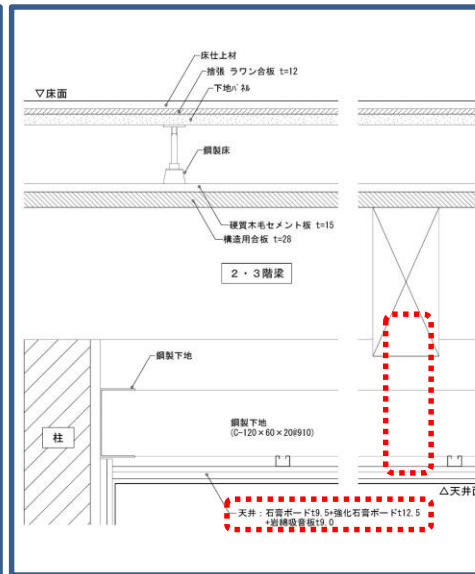
床断面仕様

- 天井は、梁下から吊りボルトにより支持した**LGS下地（直張天井）**、壁から支持した**鋼製下地（独立天井）**、さらには鋼製下地を壁から防振支持（試作品）したもの3通りとした。
- 天井ボードはGB-R t=9.5 + GB-F t=12.5 + DR（岩綿吸音板） t=9.0とGB-F t=12.5 + DR t=9.0の2通り。

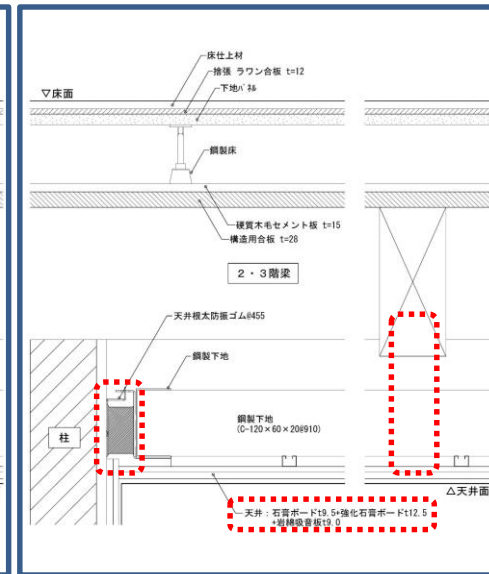
一般仕様
：LGS下地（直張天井）



床衝撃音に配慮した床仕様
：鋼製下地（独立天井）



特に床衝撃音を配慮した床仕様
：鋼製下地（独立天井）防振支持



床衝撃音遮断性能

測定室		普通教室 3A→2A	普通教室 3B→2B	普通教室 2A→1A	普通教室 2B→1B	WS 3b→2b [※]	WS 3e→2e [※]	家庭科室 →会議室 [※]	音楽室 →職員室	図工室 →保健室	
床仕上げ材		合板12+フローリング12							合板12+ビ ニル床シー ト2	遮音マット（非加硫ゴ ム）6+合板12+フロー リング12	
床下地		構造用合板28+硬質木毛セメント板15+乾式二重床構造（空気層110）+パーテ ィクルボード20									
天井下地		鋼製下地	鋼製下地 ※防振支持	鋼製下地	鋼製下地 ※防振支持	鋼製下地	LGS下地	LGS下地	鋼製下地	鋼製下地	
天井ボード		GB-R9.5+GB-F12.5+DR9						GB-F12.5+ DR9	GB-R9.5+GB-F12.5+ DR9		
L _r 数	タイヤ衝撃源	62 (63,125)	61 (500)	63 (125)	61 (250)	61	67	70 (63)	59	60	
	ゴムボール衝撃源	54	54	54	54	57	59	64 (63)	52	50	
		(125)						(63)			
	タッピングマシン	58	58	58	59	60 (250)	62	62	55	47	

- L_r数で床衝撃音遮断性能が高い床断面仕様は、鋼製下地の天井（独立天井）で乾式二重床構造の上部面材に遮音マット採用した仕様。
- 天井下地の違いによる大きな性能差がみられ、重量床衝撃音遮断性能（タイヤ衝撃源）では、鋼製下地でL_r-60、LGS下地でL_r-65またはL_r-70となり、**独立天井の効果を確認**することができた。

星の杜小学校－評価（日本建築学会適用等級）

床衝撃音レベルに関する適用等級（普通教室）

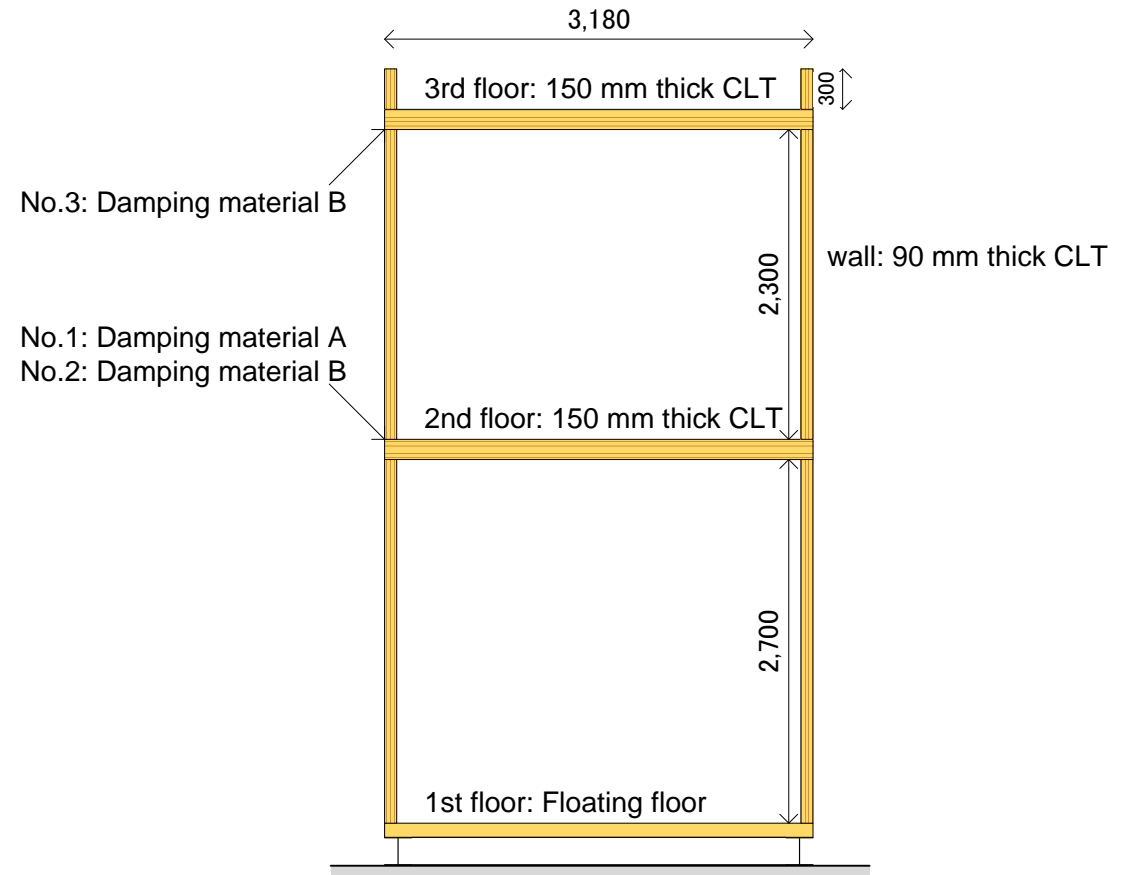
衝撃源	適用等級			
	特級	1級	2級	3級
重量衝撃源 軽量衝撃源	L-50	L-55	L-60	L-65

適用等級の意味

適用等級	遮音性能の水準	遮音性能の説明
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	やむ得ない場合に許容される性能水準

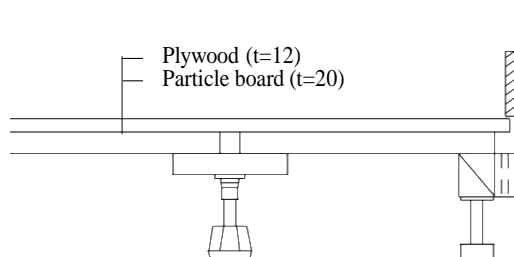
- コストを掛けずに木造でありながら高い性能を発揮できた。
- 天井懐に吸音材を入れることにより、軽量床衝撃音遮断性能の向上が可能。

試験体（断面）

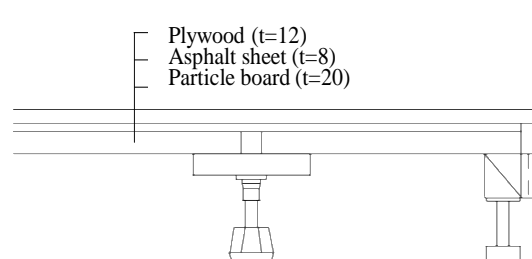


試験体一覧

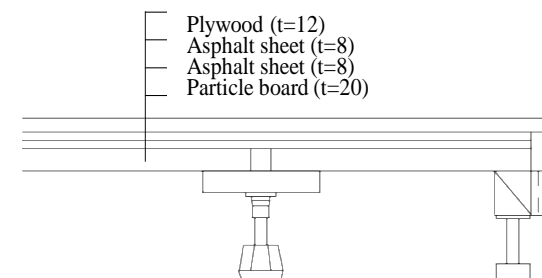
No.	緩衝材 Damping material	天井 Ceiling	床仕上げ構造 Floor topping
0	None	None	None
1	Damping material A (between 2 nd floor wall and 2 nd floor)		
2	Damping material B (between 2 nd floor wall and 3 rd floor)		
3	Damping material B 2 nd (between 3 rd floor and 2 nd floor wall)		
4	None	Gypsum board, t=9.5 mm	Floating floor A
5		None	Floating floor B
6			Floating floor C
7			Floating floor A
8		Gypsum board, t=9.5 mm	Floating floor B
9			Floating floor C
10	Floating floor C		



Floating floor A



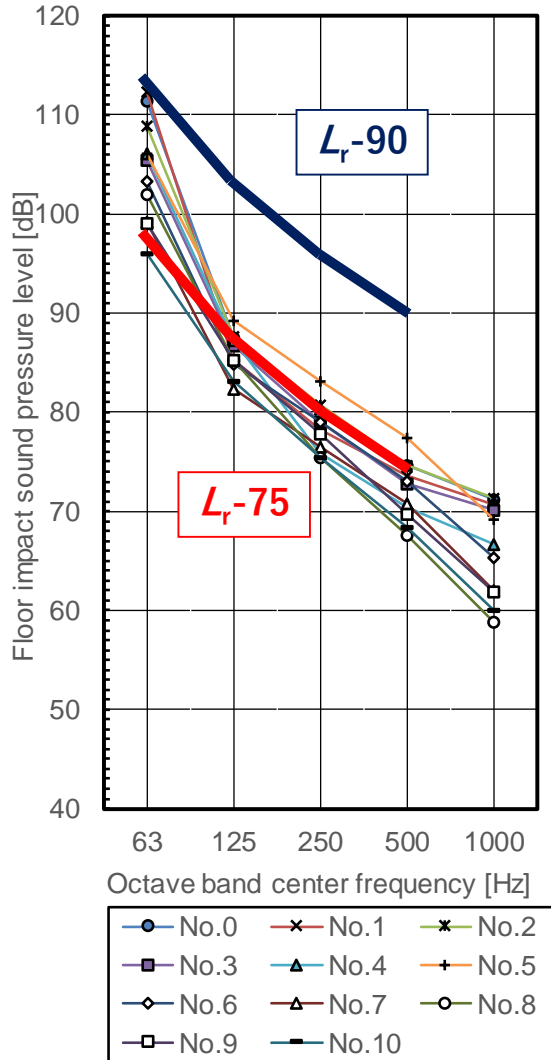
Floating floor B



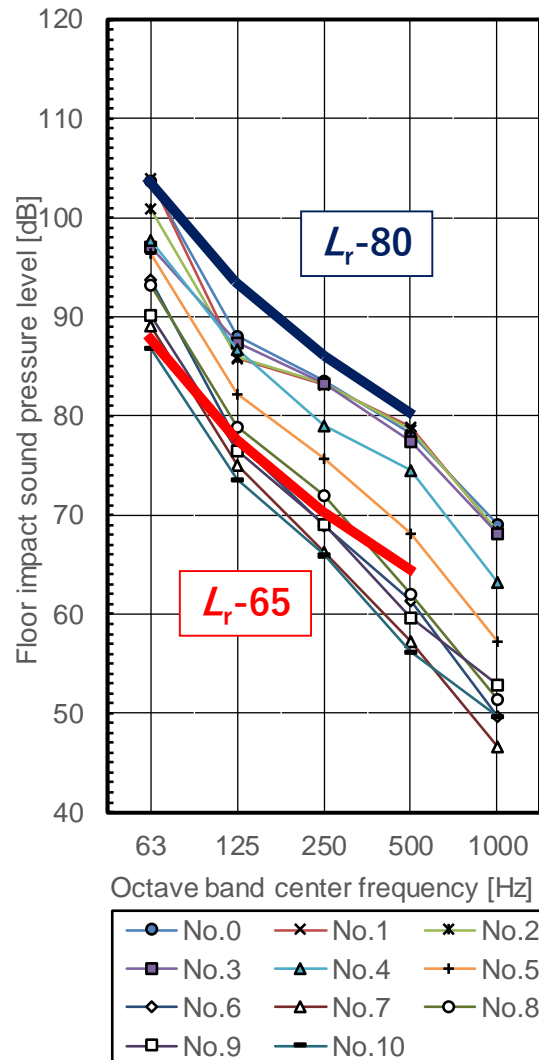
Floating floor C

床衝撃音遮断性能測定結果

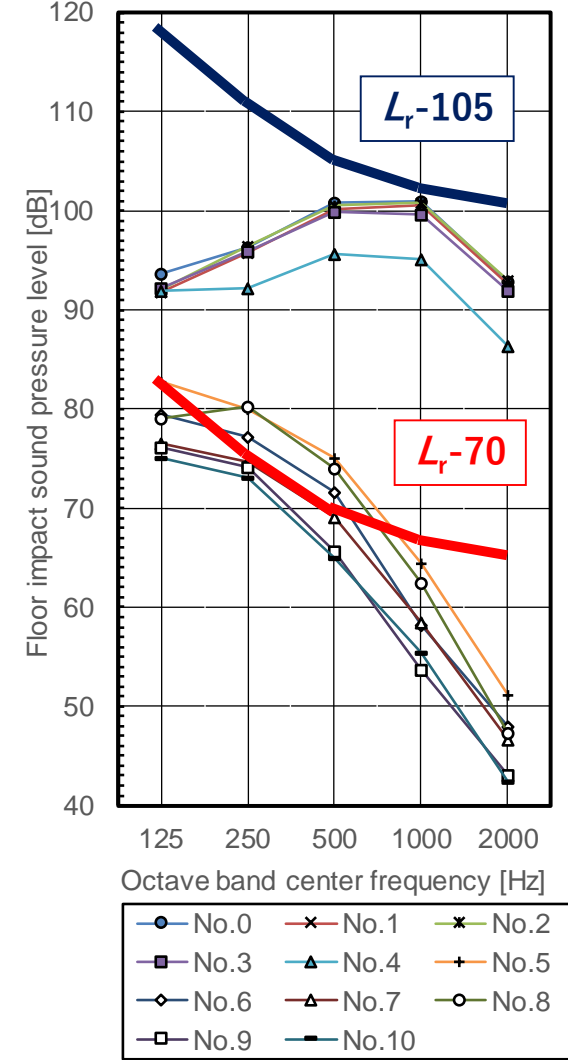
タイヤ衝撃源



ゴムボール衝撃源

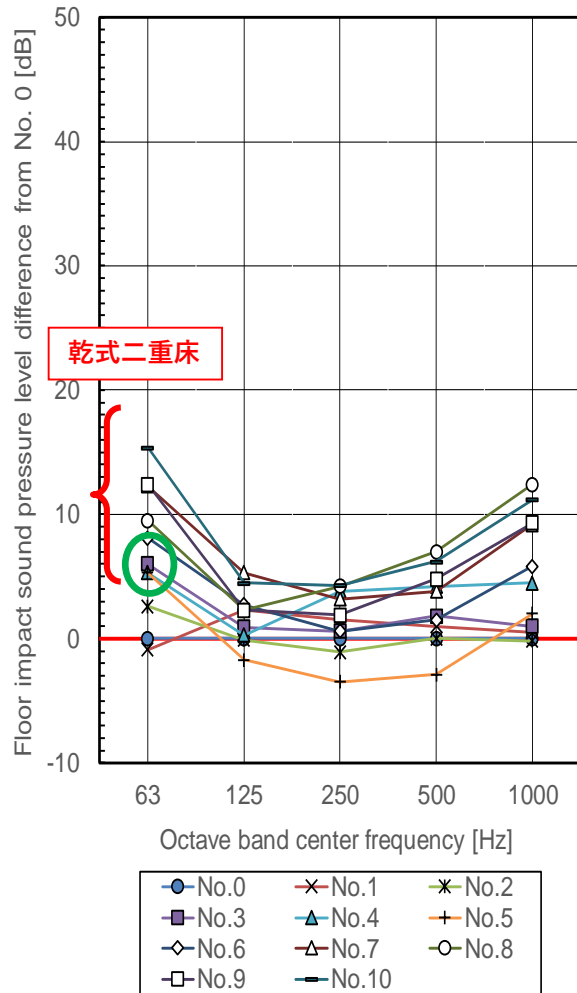


タッピングマシン

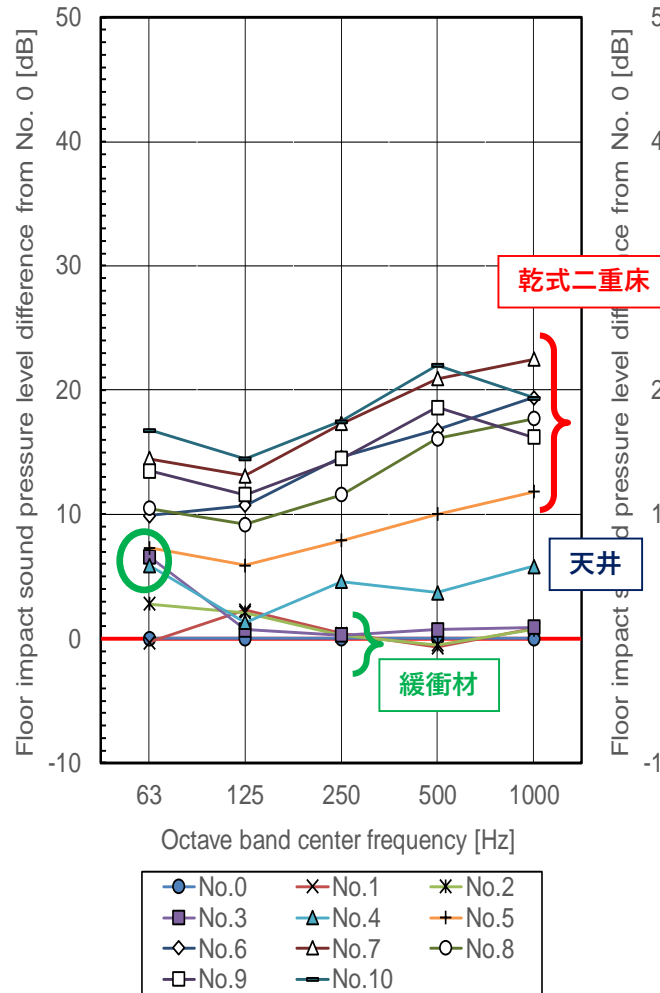


試験体No.0との床衝撃音レベル差

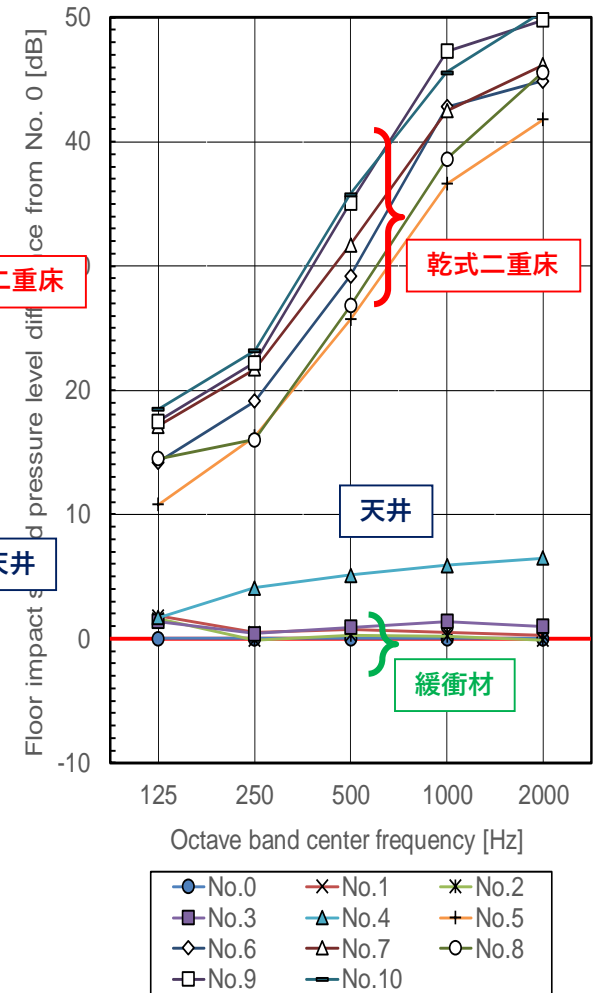
タイヤ衝撃源



ゴムボール衝撃源



タッピングマシン



測定結果まとめ

- 試験体No.0（躯体のみ）
タイヤ衝撃源： L_r-90 ゴムボール衝撃源： L_r-80
タッピングマシン： L_r-105
- 試験体No.10（躯体＋天井＋乾式二重床構造）
タイヤ衝撃源： L_r-75 ゴムボール衝撃源： L_r-65
タッピングマシン： L_r-70
- **緩衝材**は、床下と壁上に挟むことで、**63Hz帯域**で床衝撃音遮断性能が向上（下室壁面の振動が減衰）
- **天井**は、全帯域で**5dB程度**、床衝撃音遮断性能が向上
- **乾式二重床構造**は、重量、軽量床衝撃音遮断性能が向上

おわりに

木造建築物の音環境性能の現状と課題

- 音環境で褒められることは少ないが、クレームを受けることは多い！
- 音環境性能（特に、床衝撃音遮断性能）についてはコンクリート構造と比較すると低い。コンクリート構造と同等の性能を達成するには過剰な仕様となる。
- 木造建築物の床衝撃音遮断性能向上に関する検討が必要
⇒仕様は、構造、防耐火性能など、他の性能が基本
（音環境性能で仕様が決まることは少ない）
⇒他の分野との連携が重要
- 中大規模木造建築物の音環境性能の現状把握（要求性能、現状の性能）が必要。 ※ただし、（公開される）データは少ない。
- 木造建築物の音環境性能の向上（新たな工法）、予測精度の向上

ご清聴ありがとうございました