

2.8 第一生命保険（株）・（株）東邦銀行／清水建設（株）

事業名		(仮称) 東邦銀行・第一生命共同ビル新築工事の建築実証	
実施者（担当者）		第一生命保険株式会社・株式会社東邦銀行（清水建設株式会社）	
建築物の概要	用途		事務所・銀行の支店
	建設地		栃木県宇都宮市泉町1-29
	構造・工法		鉄筋コンクリート造・木造
	階数		4
	高さ（m）		20.45
	軒高（m）		16.1
	敷地面積（㎡）		2056.91
	建築面積（㎡）		634.7
	延べ面積（㎡）		2447.73
	階別面積	1階	596.85
2階		608.35	
3階		608.35	
4階		608.35	
PH階		25.83	
CLTの仕様	CLT採用部位		天井（床版）
	CLT使用量（㎡）		加工前製品量138.52㎡、建築物使用量119.55㎡
	壁パネル	寸法	－
		ラミナ構成	－
		強度区分	－
		樹種	－
	床パネル	寸法	150mm厚
		ラミナ構成	5層5プライ
		強度区分	Sx60A相当
		樹種	スギ
屋根パネル	寸法	－	
	ラミナ構成	－	
	強度区分	－	
	樹種	－	
木材	主な使用部位（CLT以外の構造材）		柱：カラマツ集成材 梁：カラマツ集成材
	木材使用量（㎡）※構造材、羽柄材、下地材、仕上材等とし、CLT以外とする		155.1㎡
仕上	主な外部仕上	屋根	コンクリート金鍍仕上 水勾配1/50
		外壁	コンクリート打放し補修 内外装薄塗材E
		開口部	アルミサッシ＋二層複層ガラス（Low-E、断熱ガス、日射取得型、中空層幅12mm）
	主な内部仕上	界壁	LGS下地石膏ボードの上EP塗装
		間仕切り壁	LGS下地石膏ボードの上EP塗装
		床	タイルカーペット（t=6mm）
構造	天井	CLT150mm	
	構造計算ルート		ルート3（確認申請＋構造適合性判定）
	接合方法		ラクスクリュー（CLT）、HTB＋鋼板挿入型DP接合（集成材柱梁）
	最大スパン		10m(木質部分 集成材梁)
防火	問題点・課題とその解決策		木質オフィスの床振動、重量床衝撃音に対する性状に関してまだ知見は少ない。本計画では、CLT型枠を採用することで、スラブ剛性を増大し、両問題の改善を図った。
	防火上の地域区分		防火地域
	耐火建築物等の要件		有
	本建築物の防耐火仕様		1時間耐火
温熱	問題点・課題とその解決策		耐火集成材 柱・梁仕口部の処理＋乾式工法にて被覆
	建築物省エネ法の該当有無		規制対象
	温熱環境確保に関する課題と解決策		R階スラブをCLT150mm＋RCスラブ＋硬質ウレタンフォーム t=30としている。
	主な断熱仕様（断熱材の種類・厚さ）	屋根（又は天井）	硬質ウレタンフォーム 保温板 1種 ・ 30mm
外壁		発泡ウレタン吹付 1種 ・ 30mm	
床		硬質ウレタンフォーム 保温板 1種 ・ 50mm	
施工	遮音性確保に関する課題と解決策		－
	建て方における課題と解決策		CLT床版-耐火集成材取り合い部の隙間処理
	給排水・電気配線設置上の工夫		CLT掘り込み加工によるレースウェイの設置
	劣化対策		ビニル養生と高耐候塗装の併用
工程	設計期間		2020年10月～8月下旬（9ヵ月）
	施工期間		2021年9月～2022年9月（13ヵ月）
	CLT躯体施工期間		2022年1月中旬～4中旬（3ヵ月間）
竣工（予定）年月日		2022年9月30日	
体制	発注者		第一生命保険株式会社・株式会社東邦銀行
	設計者（複数の場合はそれぞれ役割を記載）		清水建設株式会社一級建築士事務所
	構造設計者		清水建設株式会社一級建築士事務所
	施工者		清水建設株式会社
	CLT供給者		株式会社サイプレス・スナダヤ
ラミナ供給者		藤寿産業株式会社（福島県産材）	

実証事業名：（仮称）東邦銀行・第一生命共同ビル新築工事の建築実証

建築主等／協議会運営者：第一生命保険株式会社・株式会社東邦銀行／清水建設株式会社

1. 実証した建築物の概要

用途		事務所・銀行の支店		
建設地		栃木県宇都宮市泉町		
構造・工法		鉄筋コンクリート造・木造		
階数		4		
高さ（m）		20.45	軒高（m）	16.1
敷地面積（㎡）		2056.91	建築面積（㎡）	634.7
階別面積	1 階	596.85	延べ面積（㎡）	2447.73
	2 階	608.35		
	3 階	608.35		
	4 階	608.35		
	PH 階	25.83		
CLT 採用部位		天井（床版）		
CLT 使用量（m³）		加工前製品量 138.52m³、加工後建築物使用量 119.55 m³		
CLT を除く木材使用量（m³）		155.1m³		
CLT の仕様	（部位）	（寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種）		
	壁	-		
	床	（150mm 厚/5 層 5 プライ/Mx60A 相当/スギ）		
	屋根	-		
設計期間		2020 年 10 月～8 月下旬（11 ヶ月）		
施工期間		2021 年 9 月～2022 年 9 月（13 ヶ月）		
CLT 躯体施工期間		2022 年 1 月中旬～4 月中旬（3 カ月間）		
竣工（予定）年月日		2022 年 9 月 30 日		

2. 実証事業の目的と設定した課題

ESG 投資や健康経営に寄与する、木架構と CLT 表しの天井による木そのものに囲まれたオフィス空間の実現を目的とする。街路空間に木架構を魅せる中規模都市型木造オフィス・商業店舗にも流用可能であり、汎用性・普及性が高い。CLT 建築物の普及の課題となるコストについては、先行検討による工種の軽減により、削減の可能性があると期待できる。

今回実証事業で設定した課題は以下である。

- （1）CLT パネル 施工時の養生・保護
- （2）耐火木質柱・梁による架構と CLT パネルの取合い、コンクリート打設時の仮設計画
- （3）CLT 床版同士の 簡便な接合

3. 協議会構成員

- (設計) 清水建設株式会社一級建築士事務所：笹崎 慎, 水落 秀木, 高村 和久
(構造設計) 清水建設株式会社一級建築士事務所：木内 佑輔
(施工) 清水建設株式会社：深谷 武志, 原 健太郎
(材料) 藤寿産業株式会社：清水 國人

4. 課題解決の方法と実施工程

清水建設株式会社一級建築士事務所が取りまとめた設計仕様の具現化・改善に向けて、設計段階でまとめた、3DCAD・BIM 等を活用する。CLT を型枠兼仕上として活用するため、建方時の留意点・打設計画については清水建設東京木工場・藤寿産業と協業しながら、課題解決の精度を高める。

<協議会の開催>

- 令和3年 9月：第1回開催、着工時 確認会議
10月：第2回開催、製作要領等確認
12月：第3回開催、木工事着手前確認（工場検査）
令和4年 1月：第4回開催、建方確認
2月：第5回開催、建方確認 実証事業の取りまとめ検討

<施工>

- 令和3年 9月：工事契約
9～11月：着工、基礎工事
令和4年 1～4月：木工事
2～5月：外装工事
5～8月：内装・設備工事

5. 得られた実証データ等の詳細

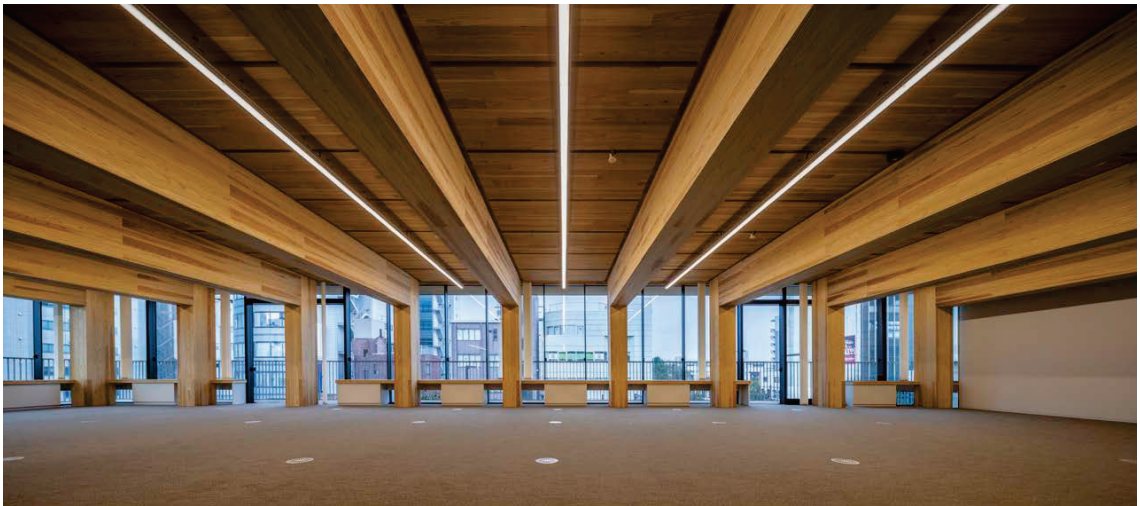
設定した課題において次の結果が得られた。

- ・型枠兼用の天井仕上として CLT パネルを使用する際の仮設対応
- ・CLT パネルと RC スラブとの一体化による歩行振動及び重量床衝撃音の軽減効果

6. 本実証により得られた成果

本計画では、耐火集成材と CLT 床版を組み合わせて木質空間を形成した。
特に事務所での歩行振動抑制・重量床衝撃音の軽減・室内環境の軽減について実証した。
木材使用による ESG 投資や SDGs への貢献が特に期待される中規模都市型木造オフィス・商業店舗 にも適用可能であり、汎用性・普及性があると考ええる。

7. 建築物の平面図・立面図・写真等





8. 成果品

目次

- 8-1. 計画概要
- 8-2. 事業コンセプト
- 8-3. 建築計画
- 8-4. 構造計画
- 8-5. 実証内容について
 - 8-5-1 耐火集成材柱・梁による架構と型枠兼用 CLT パネルの施工について
 - 8-5-2 CLT+RC合成床による歩行振動の軽減
 - 8-5-3 CLT+RC合成床による重量床衝撃音への影響
 - 8-5-4 型枠仕上兼用によるコスト圧縮効果

8-1 計画概要

宇都宮市中心市街地を横断する国道 119 号線（通称 大通り）に面する、既存第一生命栃木支社ビル建替え及び東邦銀行 旧支店敷地の一体開発である。

1 階を銀行店舗、2 階～4 階を第一生命保険の事務所とする計画である。

8-2 事業コンセプト

以下に 3 つの事業コンセプトと、対応する計画方針を示す。

① 生命保険業界・銀行業界初の中層木造オフィスの実現

→清水建設の 独自技術である 1 時間耐火認定を取得した耐火構造部材である「スリム耐火ウッド®」、RC と CLT による合成床板とである「ハイウッドスラブ®」を採用する。



図 8-2. RC・CLT 合成床板、耐火集成材概要図

② 地産木材利用による地方創生・地域活性化への貢献

→柱梁の芯材を、福島県産のカラマツ材、造作材・CLT 床版・バルコニー軒裏を、栃木県産のスギ材とする。

木材使用量は 約 306 m³（CLT パネルとして 123.50 m³使用）、二酸化炭素固定量としては 約 205 t の効果がある。

③ 施設利用者の QOL 向上・健康経営への寄与

→バルコニーと自然通風を活かした風通しのよさと木そのものに包まれた空間により、利用者の QOL（※）向上を目指す。

（※）“Quality Of Life”の略。物理的な豊かさだけでなく、精神面を含めた豊かさを意味します。

8-3 建築計画

トチノキ並木が美しい大通り沿いに、大部屋空間（1階では銀行店舗ロビー・2～4階では事務室）を配置し、耐火集成材の柱・梁による架構と CLT 床版による木そのものに包まれた空間とする。街に対しては、木のあたたかみを表出し景観形成に寄与することを意図した。



図 8-3-1 外観写真

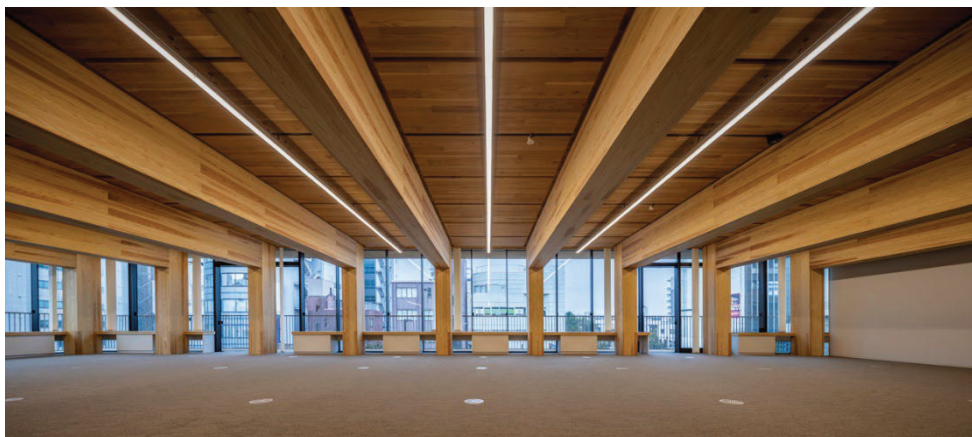


図 8-3-2 内観写真

8-4 構造計画

B通りを境界に南側を木質構造、北側を耐震壁付きラーメン架構による RC 造とする。北側の鉄筋コンクリート部分に地震力を負担させ、南側の耐火集成材柱・梁は鉛直荷重を負担する構成とする。

木質構造部を地震力から解放することで、簡易な接合部とした。L型フレームが連続する軽快な木質空間を実現するとともに、施工性を向上した。

10メートルのロングスパンの木質梁でありながら居住性を確保する課題に対して、RC スラブとの木質合成梁、CLT パネルと RC スラブとの一体化に取り組んだ。

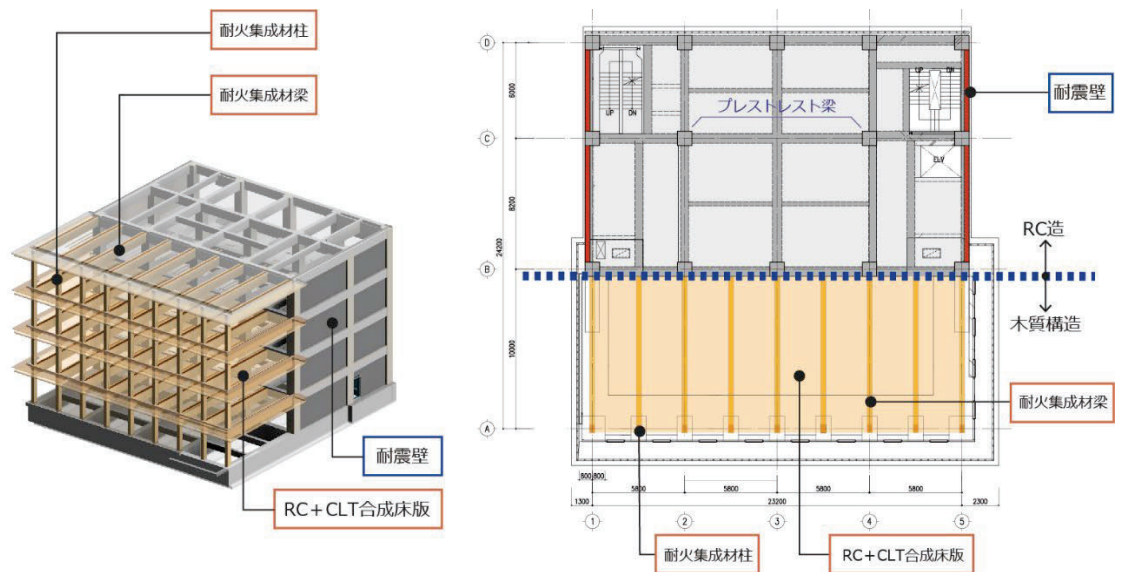


図 8- 4-1 構造架構図

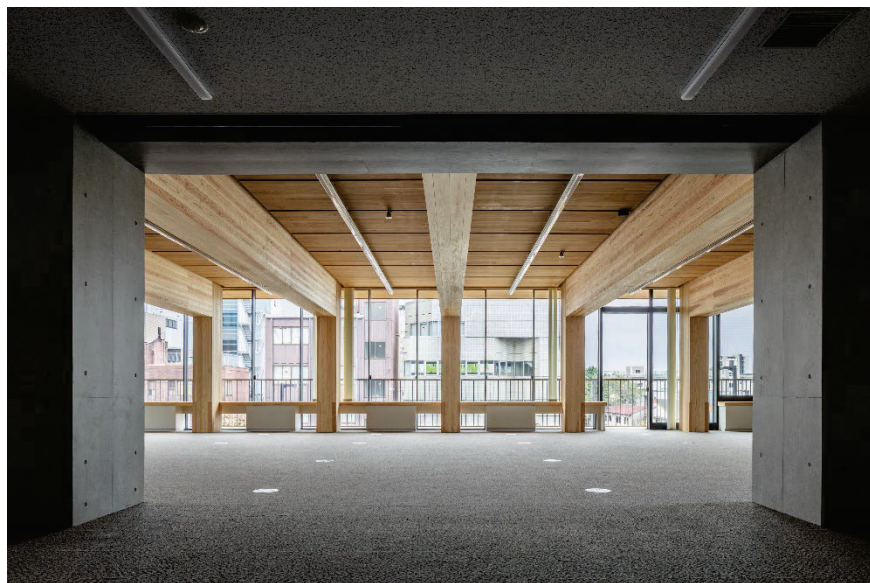


図 8- 4-2 内観写真（RC 造から木架構をみる）

(1)主な使用材料
木材

表 8-4-1 構造用集成材

材料	規格	樹種	等級	使用部位	備考
構造用集成材	JAS	カラマツ	E95-F315	柱	同一等級構成集成材
構造用集成材	JAS	カラマツ	E105-F300	梁	対称異等級構成集成材
CLT	JAS	スギ	S60A	床（型枠）	5層5プライ 厚さ 150mm

表 8-4-2 鉄筋種別および使用部材

材料	採用規格等	使用部位	備考
アンカーボルト	ABR400	柱梁接合部	
鋼板	SS400	柱梁接合部	
ラグスクリュー	Zマーク表示金物	柱梁接合部 梁スラブ接合部	
ドリフトピン	SS400	柱梁接合部	

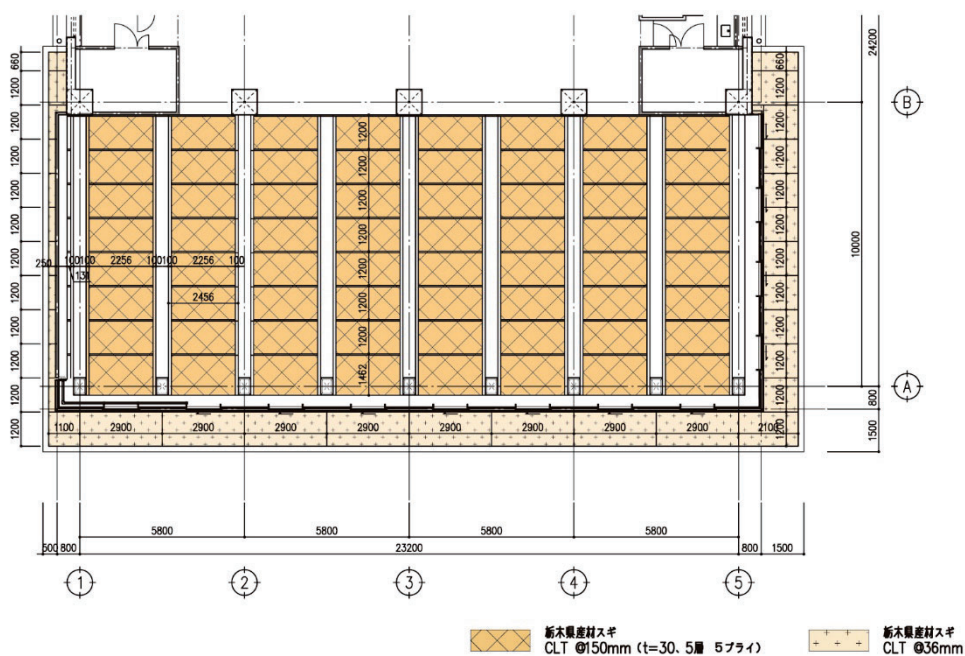
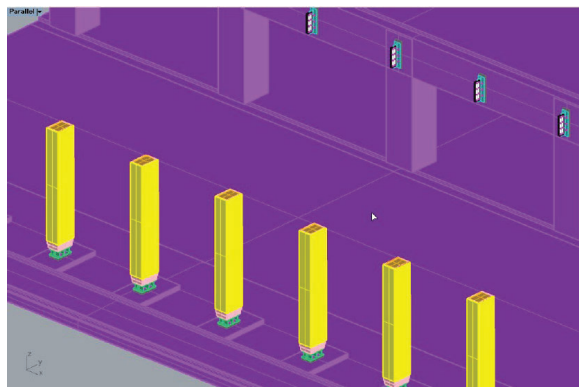


図 8-4-3.CLT 床版割付図

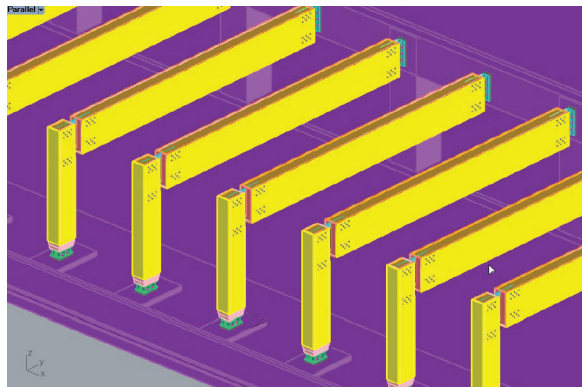
8-5 実証内容について

8-5-1 耐火集成材柱・梁による架構と型枠兼用 CLT パネルの施工について

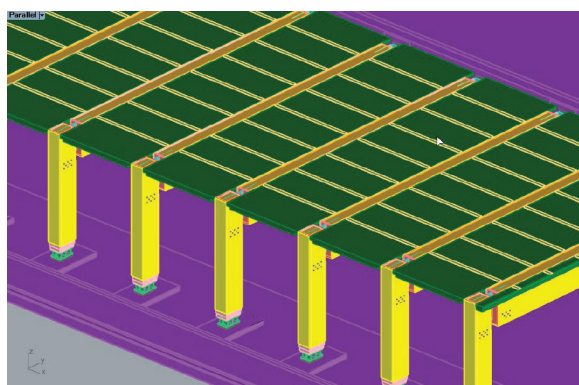
本計画の躯体施工は、北側の鉄筋コンクリート造部分を先行し、工場製作の耐火集成材柱・梁建込み後 CLT 床版を敷込み、コンクリート打設の手順で施工した。



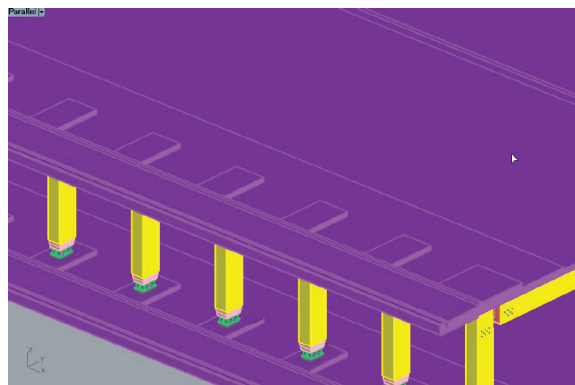
A.木柱建方



B.木梁建方



C.CLT 敷込



D.コンクリート打設

図 8-5-1-1. 木質架構部施工フロー

1) 工場製作工程について

・耐火集成材

集成材の芯材には、福島県産カラマツを採用した。製材・耐火被覆工程は福島県内の工場で行った。仕上層の下地用の養生コンパネまでを工場製作とし、施工期間中の腐食・破損に対して配慮した。現場にはビニル養生を行い、搬入した。



図 8-5-1-2. 耐火集成材 工場施工・養生状況

・CLT パネル

CLT パネルは、栃木県産スギを採用した。マザーボードはサイプレス・スナダヤ西条工場で製作し、切断・掘りこみなどの架構を福島県内の工場で行った。

CLT パネルは型枠兼天井仕上となるため、コンクリート打設時の水分・施工中の風雪を考慮して、打設面及び天井面に木材保護塗料を工場で塗布した。

ラグスクリューボルトは、打込みは、工場ではプレファブ化した。



図 8-5-1-3. CLT パネル ラグスクリューボルト打込状況

2) 現場施工工程について

- ・ 木架構建方の精度確保

木架構の全体の精度は先行で施工済の RC 床に対する耐火集成材柱の建方精度によって決定する。耐火集成材柱の柱脚・柱頭に鉄骨工場にて製作したプレートと木の芯材を組み合わせて現場に搬入をした。



図 8-5-1-4 耐火集成材柱脚取付状況

- ・ CLT パネルの敷込

耐火集成材と CLT 床版との取合いは、耐火構造形成の為 耐火集成材勝ちと
する必要があるため、CLT 下部には支保工を設置した。



図 8-5-1-5CLT パネル支保工設置状況



図 8-5-1-6CLT パネル支保工設置状況

CLT 床板の揚重はワイヤー・ナットリングで揚重する事が出来ない為
吊金物を作成し 4 点吊りのビス固定で揚重しました。

・ CLT 合成床版 コンクリート打設時のノロ対策

CLT 床版は耐火集成材の梁間に落とし込む納まりのため、CLT 床版と梁にできる
隙間・CLT 床版の版間を塞ぎ、ノロが下階にこぼさない措置が必要であった。
簡便な方法として、CLT 床版と梁にできる隙間はガムテープにて目張り・CLT 床
版同士の隙間は厚さ 10 mm のコンパネを上から重ねた。(スラブ厚さは、構造計算
上 10mm 薄く評価している)

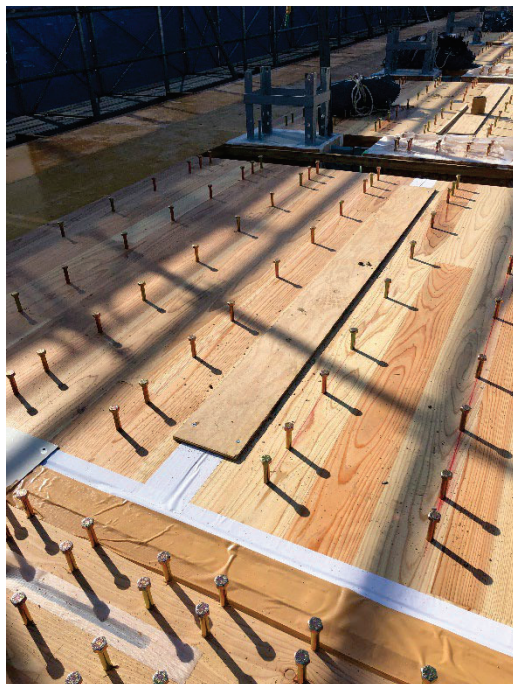


図 8-5-1-7CLT パネル養生状況・打設後の床版状況



図 8-5-1-7CLT パネル養生状況・打設後の床版状況

・仕上・設備工程について

上記の養生・ノロ対策等により、大きな補修なく次工程に移行した。

また、CLT 床版端部に彫込みを設けることで、パネル間の目違いや仕上の羽目板貼りこみ時の吸収代として機能し、電気配線ルートとしても活用した。

設計実証による事前の調整により、意匠・構造・設備の融合した CLT パネルが工場加工でき、労務改善を図ることができた。

8-5-2 CLT+RC合成床による歩行振動の軽減

耐火集成材梁は、既往の研究¹²⁾を参考に RC スラブとの木質合成梁として設計した。集成材天端にラグスクリューを設置し、RC スラブとの合成梁とすることで、剛性および耐力割増効果を見込んでいる。

CLT 型枠は天端にラグスクリュー（ $\phi 12$ L=150）を 300 ピッチ程度に設置し RC スラブと緊結した。ラグスクリューは鉛直荷重に対して CLT パネルの脱落に抵抗するとともに、RC スラブとのシアキーとして働くことを意図した。これにより、CLT パネルとの合成効果による RC スラブの剛性向上を図り、歩行振動の抑制に寄与させることとした。

次頁以降では、歩行振動について、実測結果および解析等による評価を示す。

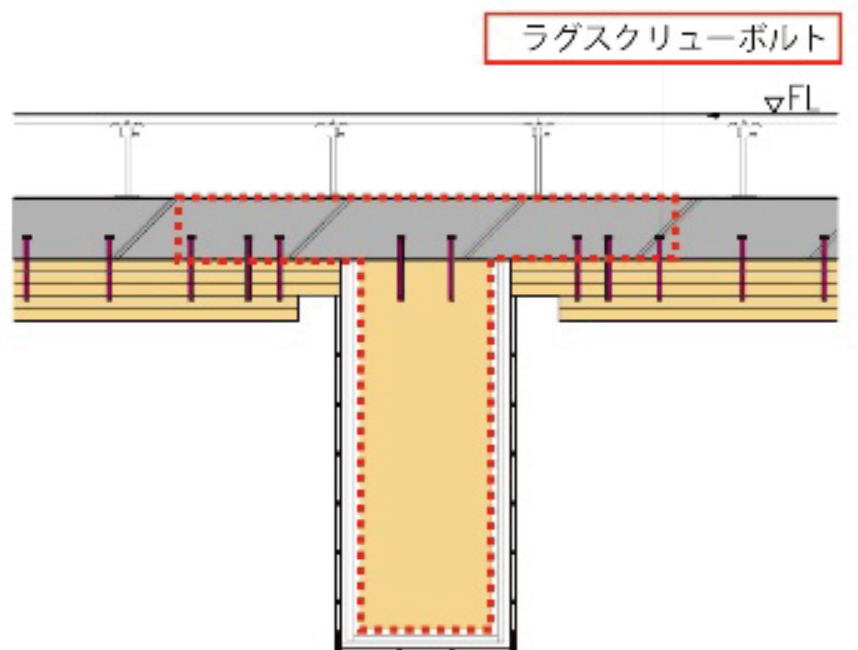


図 8-5-2-1 耐火集成材梁・CLT 概要図

■歩行振動実測について

1) はじめに

本建物はRC造と木造の平面混構造という特徴があり、木造部分はスパンが10mとロングスパンであることから振動障害の発生が懸念される。そこで、事務室部分の居住性能を確保する為、一般的な使用条件として体重70kgf相当の人が一人歩行する場合を想定し、日本建築学会「建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説（2004年）」に基づき、事務室において満足することが望ましいとされている居住性能V-70以下となるように設計性能評価を定めて設計を行った。ついては、床コンクリート打設、下階の天井や当該階のOA仕上げの施工が完了した状態での歩行時の床の振動について測定したので報告する。また、床スラブはRCスラブとCLTパネルの合成床版であり、このような木質架構に関する知見は少ないため、振動解析により床振動性状を明らかにし、今後の設計の一助とすることを目的とする。

2) 測定場所

東邦銀行・第一生命共同ビル新築工事計画 建物内 （栃木県宇都宮市泉町1-29）

3) 測定実施日

令和4年8月30日（火）17:30～20:30

4) 測定担当者

清水建設株式会社 設計本部 構造計画・開発部 平戸 達朗

清水建設株式会社 設計本部 構造設計部2部 木内 佑輔、北澤 康平

5) 測定概要

測定は3階の事務室床上で行った。各階における歩行の加振経路A～Cと振動測定点を図8-5-2-2の平面図に赤矢印で示す。同図中  マークで示す地点に速度計を設置し、各点における上下振動を測定する。

加振ケースは表8-5-2-1に示す成人一人が歩行する場合、測定点近傍に踵を落とすパルス加振した場合について、床の基本振動性能を確認するために測定を行った。

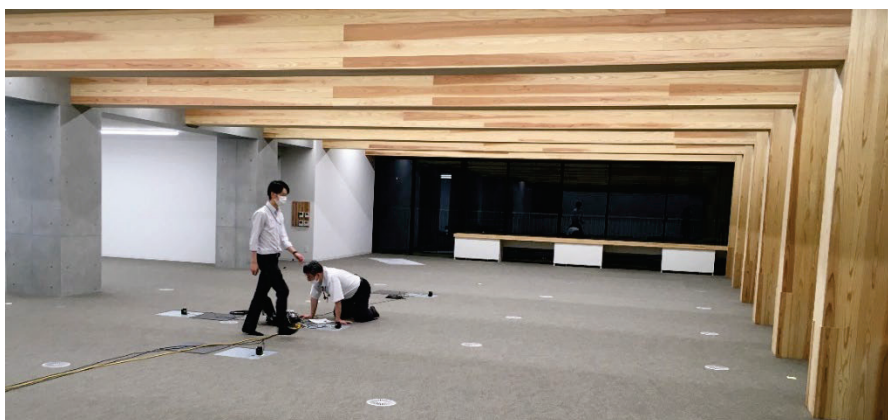


写真 8-5-2-1 歩行振動測定の様子

表 8-5-2-1 歩行・小走りの加振ケース

No	加振位置・コース	加振種類	加振条件	距離	備考
1	A (3階)	一人歩行	2.0Hz	2 往復	基本 ^{*1}
2	B (3階)	一人歩行	2.0Hz	2 往復	基本
3	C (3階)	一人歩行	2.0Hz	2 往復	基本

*1 “基本” とは、普段のあるオフィス内での歩行実測で得られた平均歩行ピッチである 2.0Hz ピッチでの歩行ケースである。被験者は歩行ピッチのみに注力しメトロノームに合わせた歩行ピッチで普段の歩き方を心がけるものとする。

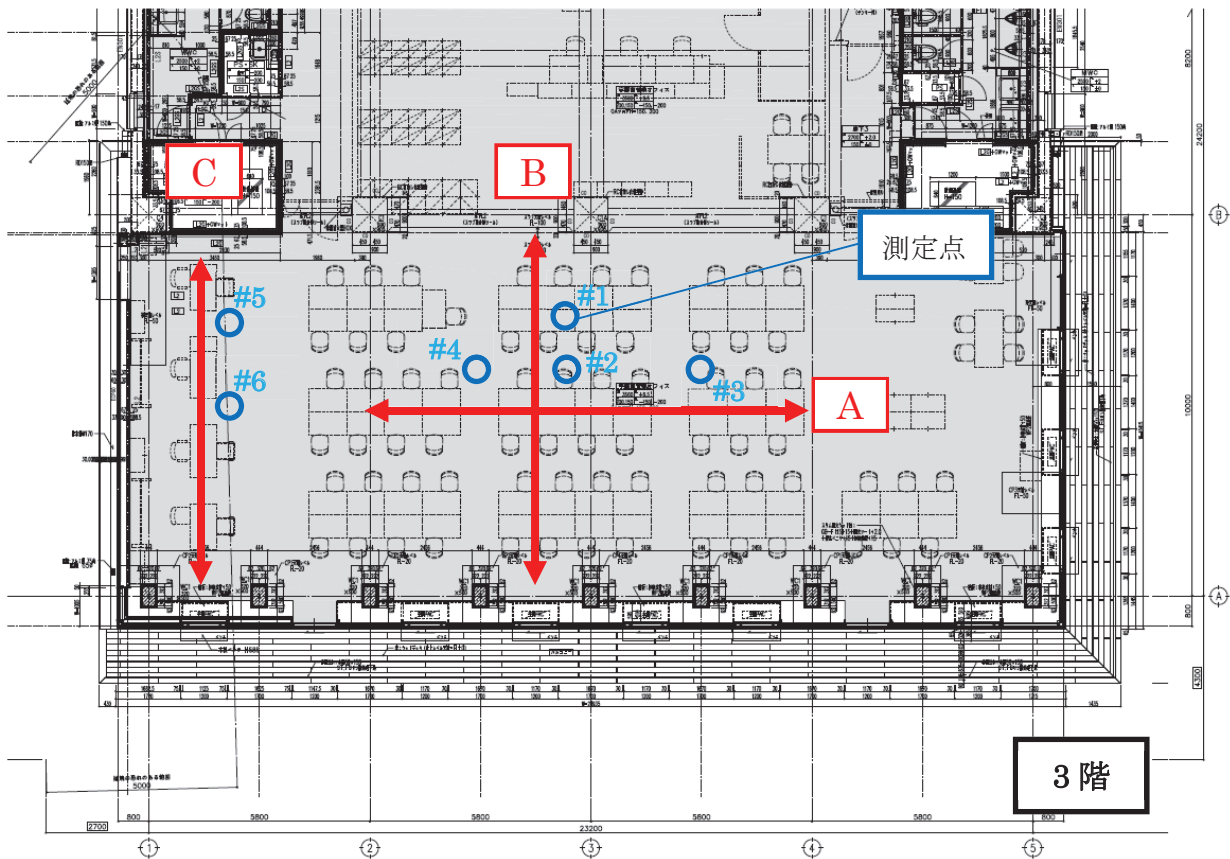


図 8-5-2-2 3 階平面図 測定位置及び加振歩行経路

6) 測定データの解析および結果の評価方法

各測定点の測定波形データについての周波数解析から求めた 1/3 オクターブバンドスペクトルをもとに日本建築学会「建築物の振動に関する居住性能評価指針（2004 年版）」の評価指標と比較して評価判断を行う。

1/3 オクターブバンドスペクトルは、JIS C 1513「オクターブ及び 1/3 オクターブバンド分析器」に準拠した方法により求める。

7) 測定機器の概要

測定には、携帯用振動測定装置を使用する。これは、測定装置からの信号を最大 7 チャンネルまで同時処理できる A/D 変換装置とパソコンを一体化したもので、搭載している専用ソフトウェアにより、リアルタイムで時々刻々の振動波形をパソコンのディスプレイ上に表示しながら、そのデータを A/D 変換器によりデジタル変換してハードディスク上に記録する。本測定では、A/D 変換時のデータサンプリングは 200Hz 以上とする。

・測定機器 サーボ型速度計（東京測振社製）VSE-15D

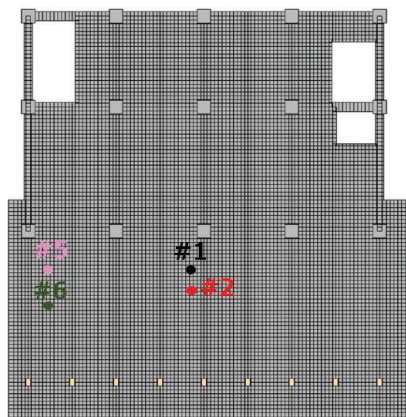
測定範囲	$\pm 0.1 \text{ cm/s}$, $\pm 10 \text{ cm/s}$
感度	0.1 (cm/s)/V , 1 (cm/s)/V
理論分解能	0.00003 cm/s , 0.0003 cm/s
周波数範囲	0.07～100 Hz
A/D 変換機	16 bit

8) 測定結果

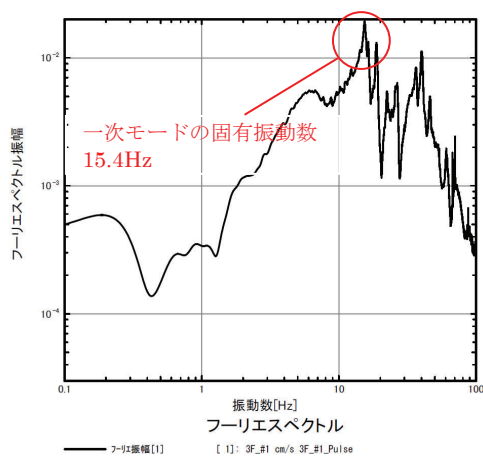
踵落としによるパルス加振測定結果を図 8-5-2-3 に示す。尚、踵落としによる加振はピックアップから 1m 程度離れた場所で 10 秒間インターバルを設け 5 回行った。図 8-5-2-3(a)および図 8-5-2-3(b)の結果より、3 階中央部スラブでの固有振動数は 15.4Hz であった。図 8-5-2-3(c)および 8-5-2-3(d)から、3 階外端部スラブの固有振動数は約 18.8Hz であり、中央部よりも剛性が大きいことが分かる。これは、西面外壁が近いこと、2 階の当該位置において間仕切り壁が設置されていたことに起因すると考えられる。

各コース歩行時の各測定点における振動測定波形データについて、1/3 オクターブバンドスペクトル分析結果を日本建築学会「建築物の振動に関する居住性能評価指針（2004 年版）」の評価指標とともに図 8-5-2-4 ～ 図 8-5-2-6 に示す。尚、歩行は靴を着用せず靴下履きの状態で行った。A コースの場合、評価値は V-30 程度となっており、V-70 を大きく下回った。B コースの場合、評価値は V-20 から V-30 程度の結果を示しており、V-70 を大きく下回る結果となった。C コースの場合、評価値は V-10 程度かそれを下回る結果であった。これは、踵落とし測定から得られたように、外端部スラブは剛性が高いことに起因すると考えられる。

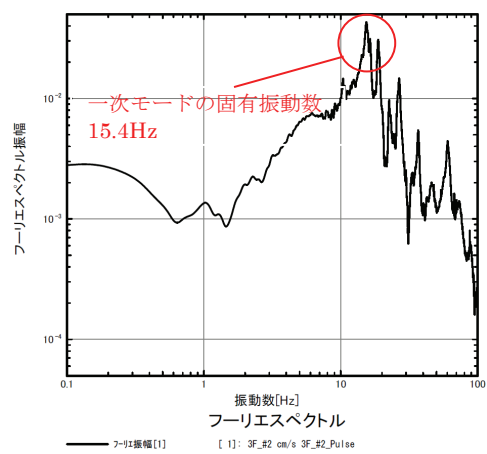
以上の結果より、本計画の木構造部は十分な鉛直剛性を有し、振動に関する居住性能としては、一人歩行に対して V-30 程度と非常に優れた性能を有することがわかった。



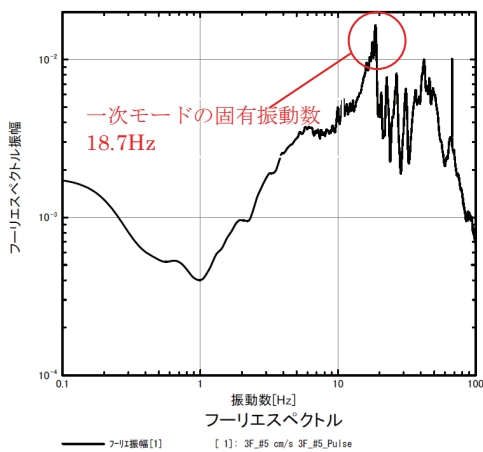
測定点位置



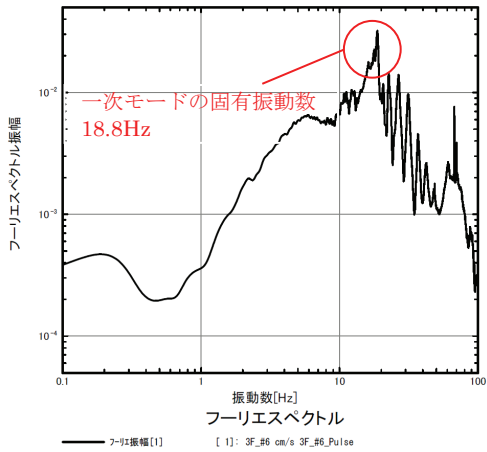
(a) #1 地点



(b) #2 地点



(c) #5 地点



(d) #6 地点

図 8-5-2-3 パルス加振 フーリエスペクトル

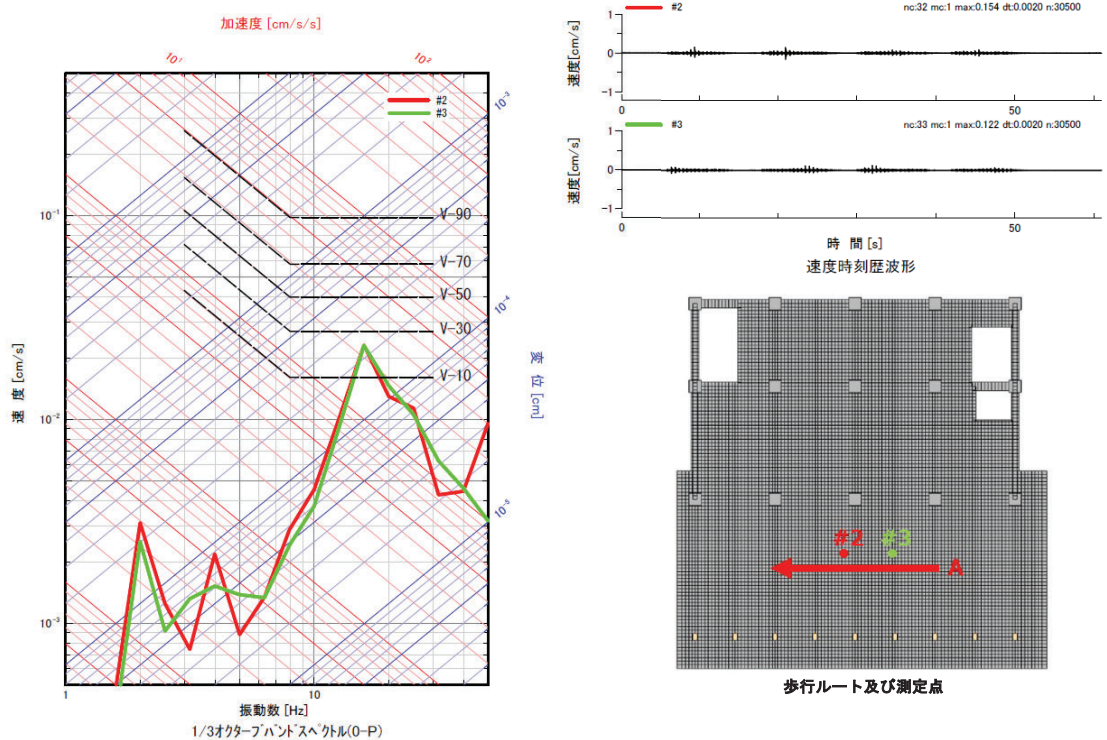


図 8-5-2-4 3 階 A コース一人歩行時（加振条件：2.0Hz）

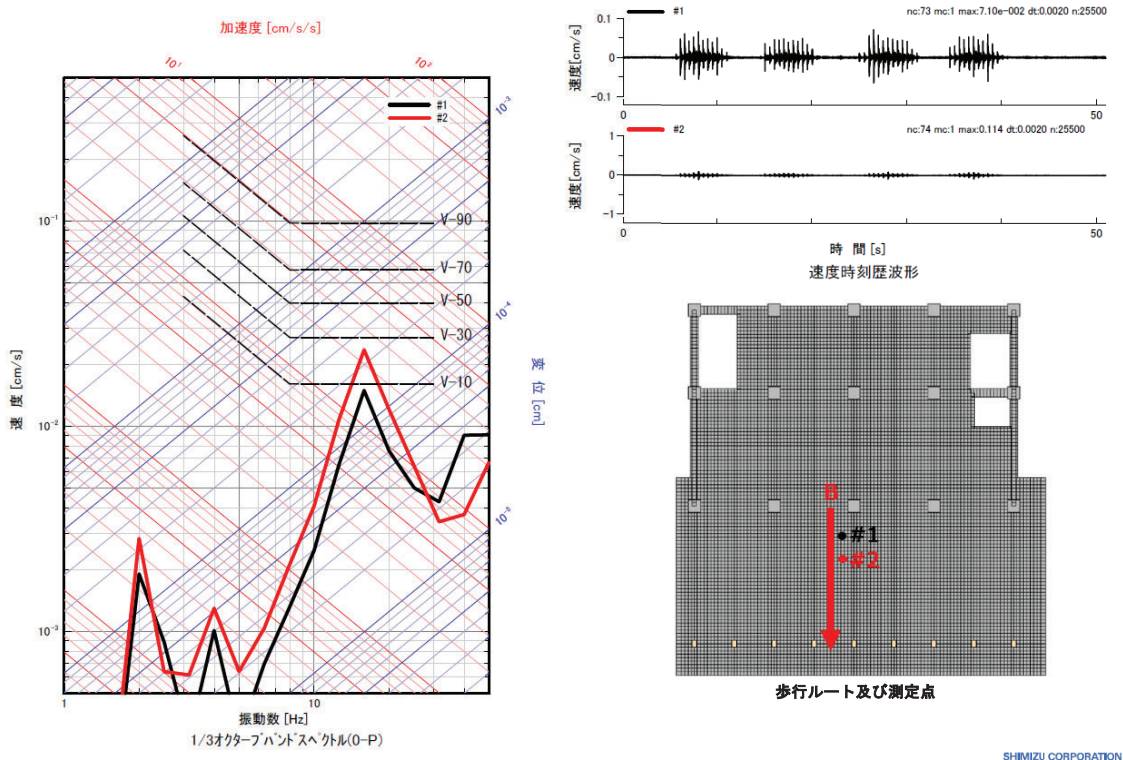


図 8-5-2-5 3 階 B コース一人歩行時（加振条件：2.0Hz）

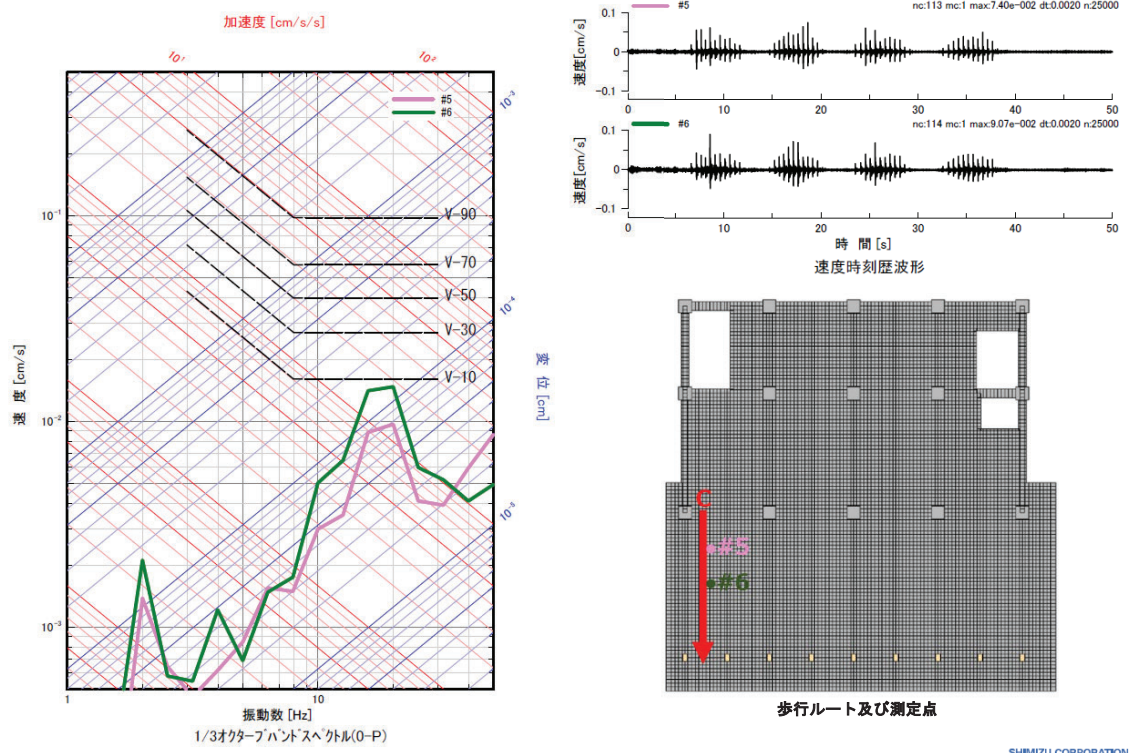


図 8-5-2-6 3 階 C コース一人歩行時（加振条件：2.0Hz）

■歩行振動の再現解析について

ここでは、有限要素法に基づいた歩行振動解析を行い、実測結果との比較を行う。また、それをもとに FEM のモデル化および解析方法の妥当性を確認した上で、CLT による歩行振動の低減効果について検証する。

1) 解析概要

・モデル概要

実測を行った 3 階全体を対象としてモデル化し、柱・耐力壁等の鉛直部材は上下階中央レベルに該当する上下 2 m の範囲でモデル化を行った。スラブ・耐力壁及び木梁は板要素とし、その他の梁部材及び柱部材は梁要素とした。木梁と RC スラブは、梁上端の節点位置でラグスクリューの剪断剛性に対応する弾性ばねで連結し、合成梁として挙動するようにモデル化した。また、CLT は板要素でモデル化し、RC スラブから 150mm オフセットした位置に配置して、RC スラブと上下対応する節点ごとに剛体連結させた。各部材の材料特性は表 8-5-2-2 のように設定した。境界条件は、柱及び耐力壁の上下端をピン支持とした。また、床荷重は固定荷重および設計用積載荷重を考慮した。

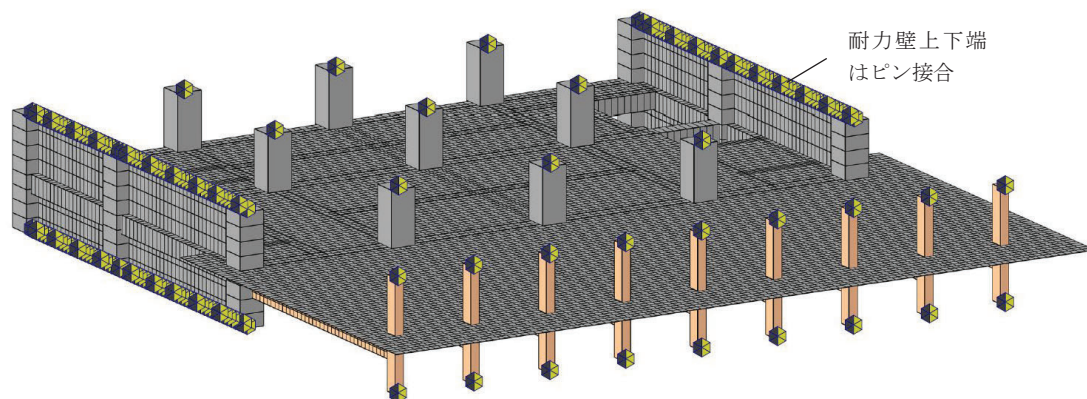


図 8-5-2-7 FEM モデル

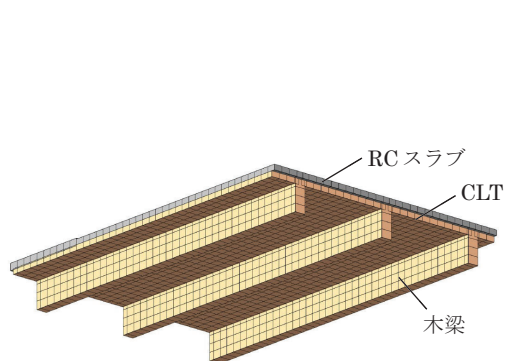


図 8-5-2-8(a) 木架構部モデル詳細

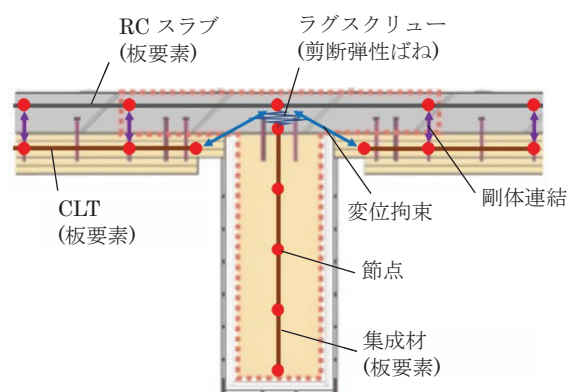


図 8-5-2-8(b) モデル化概要

表 8-5-2-2 材料特性

種別	部材	ヤング係数 (N/m^2)	ポアソン比	剪断弾性係数 (N/m^2)	単位体積重量 (N/m^3)	減衰定数
RC (Fc30)	全て	2.44×10^{10}	0.2	—	2.40×10^4	0.01
木	CLT (S60A)	4.73×10^9	—	3.15×10^8	4.41×10^3	0.01
	柱 (E95-F315) 梁 (E105-F300)	9.00×10^9	—	6.00×10^8	4.90×10^3	0.01

・歩行荷重の入力方法

歩行荷重は歩行ルート上の踏み込み位置として予想される箇所に、一回の踏み込みで生じる荷重を時系列に沿って入力することで、実状に近い移動荷重を設定した。なお、一回の踏み込みによって生じる歩行荷重は横山の研究³⁾を参考とし、70kgの男性が2.0Hzピッチで歩行することを想定した。また、実際には常に一定条件で歩行することは考えられないので、加振力振幅・歩幅・歩行ピッチについては乱数関数によって与えられる係数を用いてばらつきを考慮した。以上の条件を基に算定した歩行荷重を図8-5-2-9に示す。

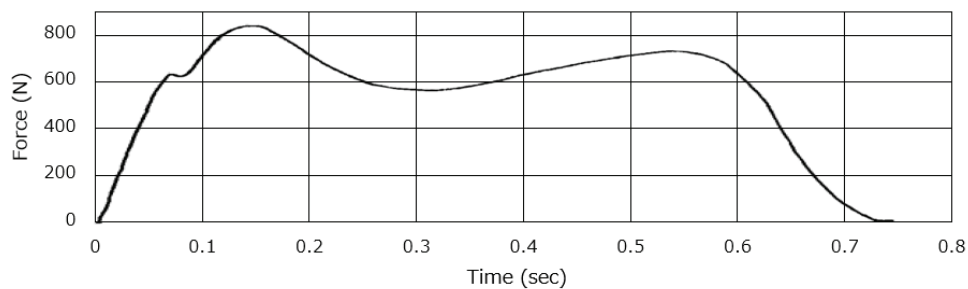


図 8-5-2-9 一回の踏み込みによる歩行荷重

例) A コース

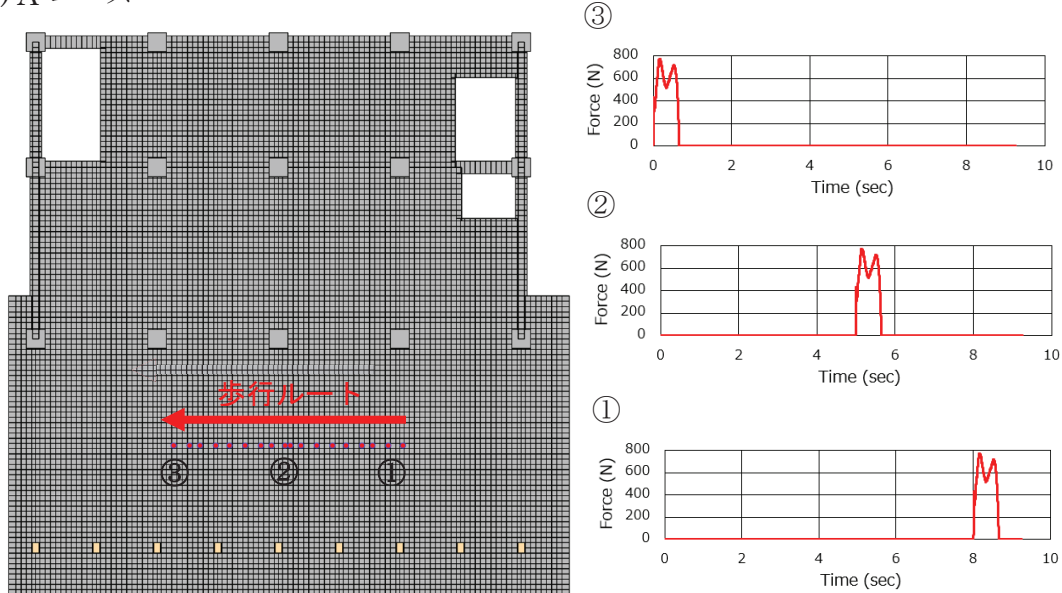


図 8-5-2-10 入力歩行荷重

2) 解析結果と実測結果の比較

・解析結果

固有値解析結果を図 8-5-2-11 に、実測と同位置における歩行振動解析結果を図 8-5-2-12 に示す。固有値解析の結果、12.04Hz で木造部床の上下方向 3 次固有モードが得られた。歩行振動解析の結果、A コースの歩行ケースでは、固有振動数である 12Hz 付近で卓越しており V-30 を下回る結果となった。B コースについても同様に 12Hz 付近で卓越し V-10 を下回った。C コースに関しては、10Hz 付近で卓越し V-30 程度の結果となった。

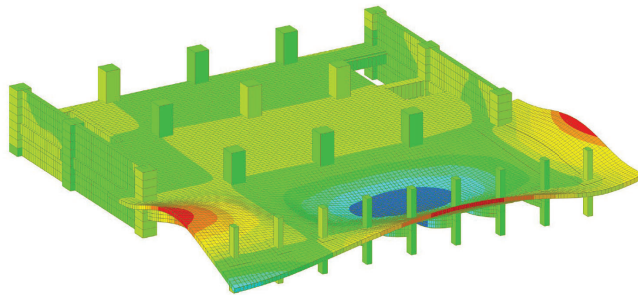


図 8-5-2-11 固有値解析結果(12.04Hz)

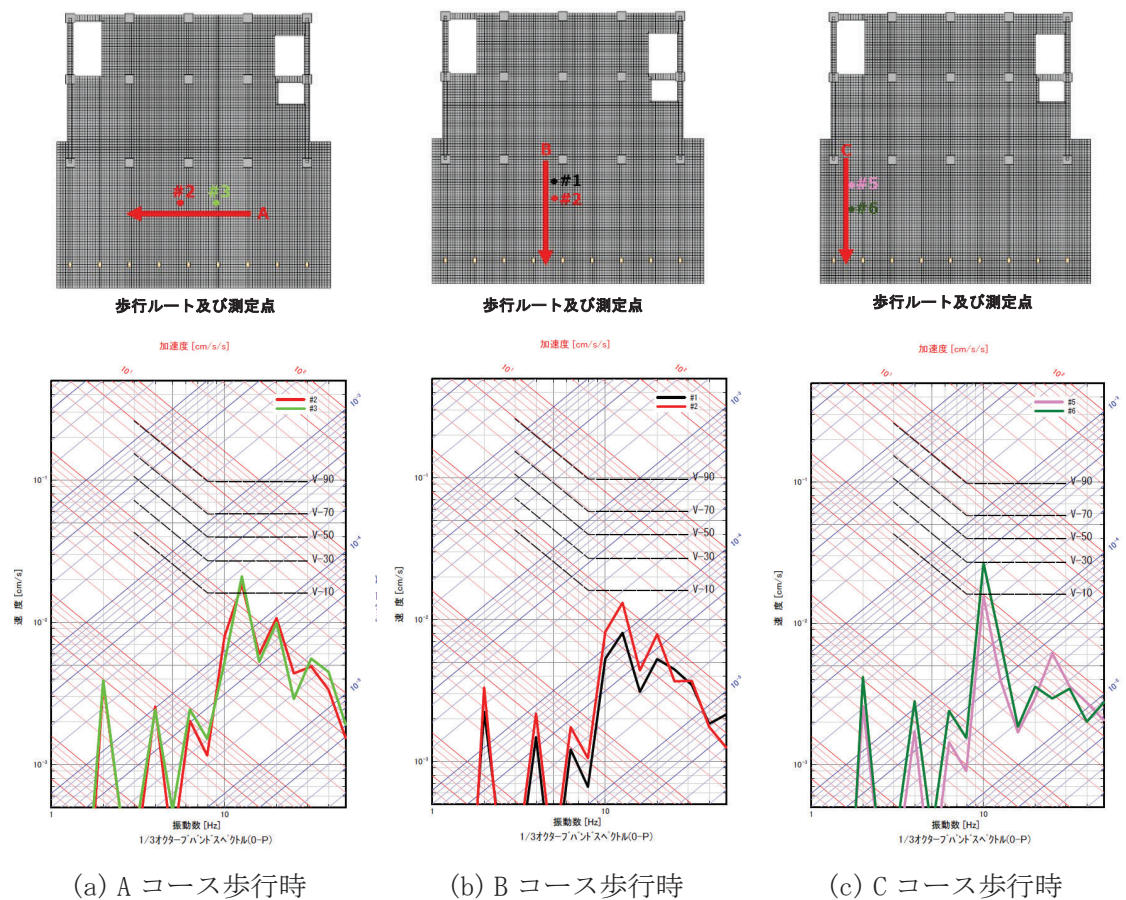
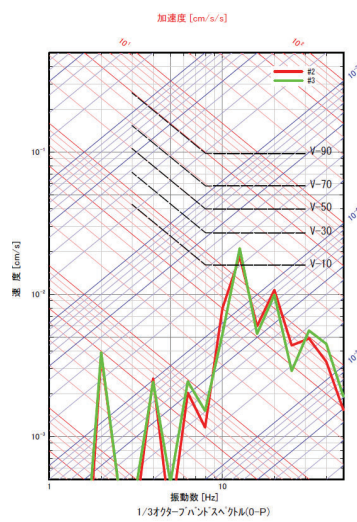


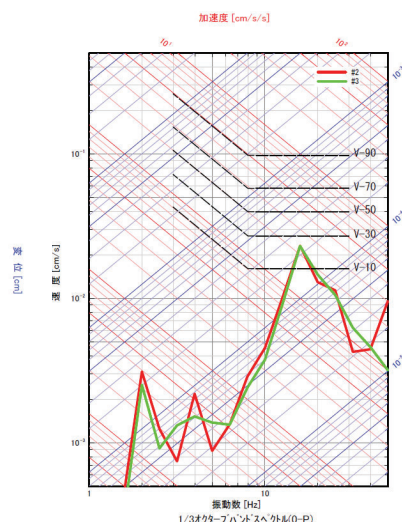
図 8-5-2-12 1/3 オクターブバンドスペクトル

・実測との比較

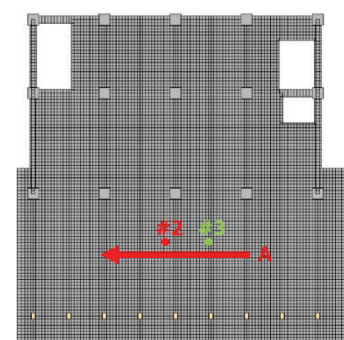
ここでは、実測結果と FEM 解析結果の比較を行う。踵落としによるパルス加振から得られた床の固有振動数は 15.4Hz であり、FEM 解析から得られた床の固有振動数である 12.04Hz に比べ大きい値であった。これは、床スラブのコンクリート強度が想定していた値よりも大きいこと、柱梁接合部パネルゾーンの変形拘束や床、柱梁、内壁等の仕上材の剛性に起因すると考えられる。A コース歩行時において、1/3 オクターブバンドスペクトルを見ると、ピーク振動数および速度の解析値は、それぞれの実測結果と概ね一致している。B コース歩行時には固有値解析結果と同様に FEM では実測に比べて小さい振動数で卓越が見られるが、概形はほぼ似たような傾向がある。C コース歩行時においては、FEM 解析値では実測値に比べ低い振動数で卓越が見られる。実測において解析モデルに考慮されていない 3 階外端部床下の間仕切り壁や 2 次部材が剛性の増大化に寄与したことで固有振動数が高めになり、結果的にそれが倍調波との共振的な挙動となって現れたと考えられる。以上から、実測結果と解析結果で固有振動数やそれに応じた振動振幅レベル傾向とその大きさが概ね一致しており、妥当なモデル化ができていると考えられる。



(a) FEM 解析値

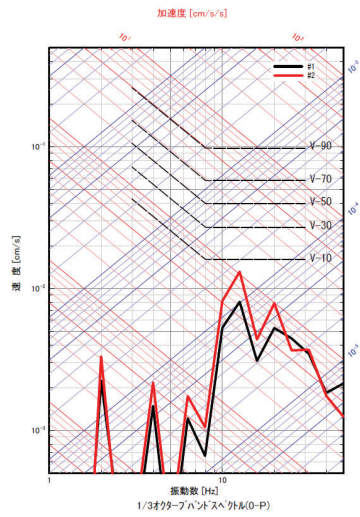


(b) 実測値

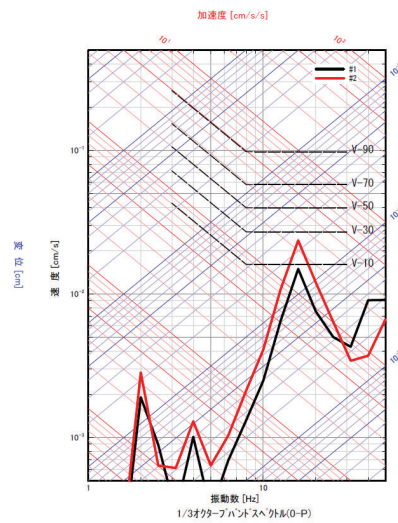


(c) 測定点

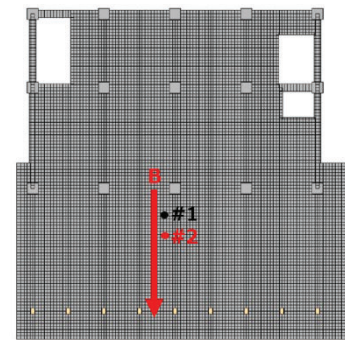
図 8-5-2-13 A コース歩行時



(a) FEM 解析値

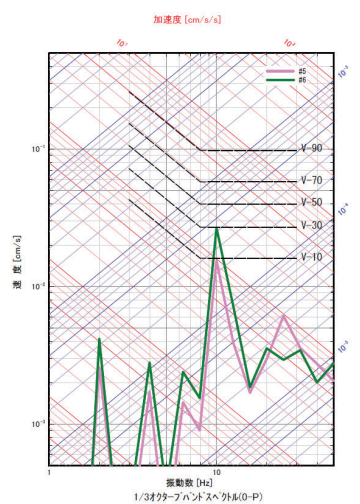


(b) 実測値

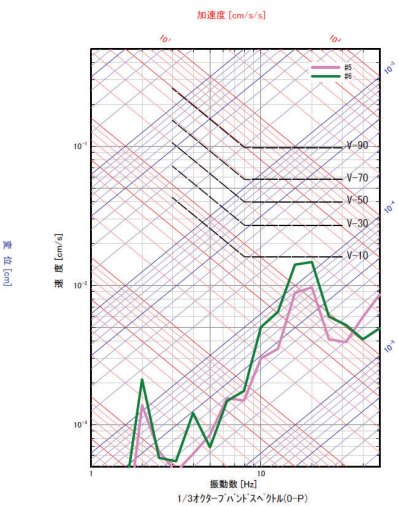


(c) 測定点

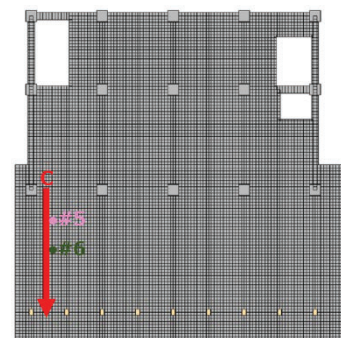
図 8-5-2-14 B コース歩行時



(a) FEM 解析値



(b) 実測値



(c) 測定点

図 8-5-2-15 C コース歩行時

3) CLT の有無による比較

本項では CLT の歩行振動制御への寄与を FEM 解析により検討する。CLT を考慮しないモデルを作成し歩行振動解析を行うことで、CLT の有無による床の振動性状の違いについて考察する。

・モデル化概要

先述のとおり、FEM モデルにおいて CLT は RC スラブから 150mm オフセットし上下に対応する節点同士を剛体連結し、板要素としてモデル化を行った。この板要素を取り除くことで CLT が無い場合の検討を行う。

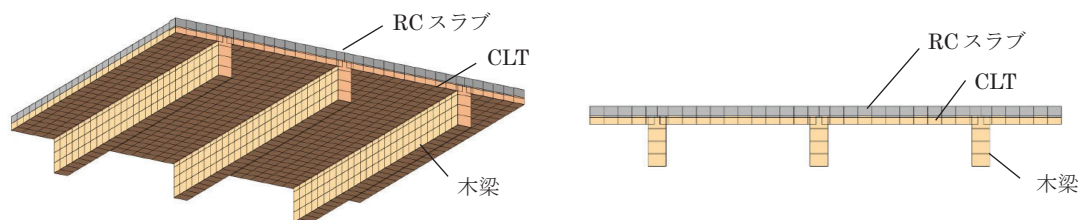


図 8-5-2-16 CLT 有モデル(部分表示)

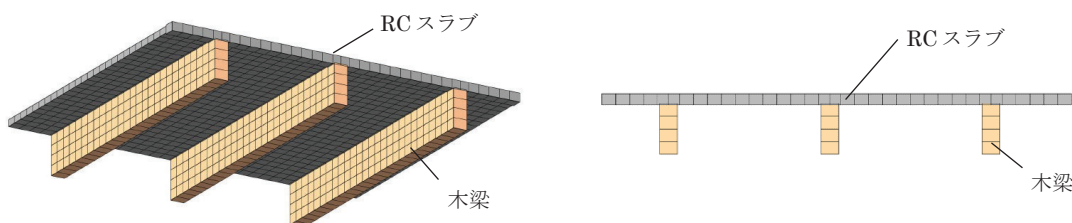
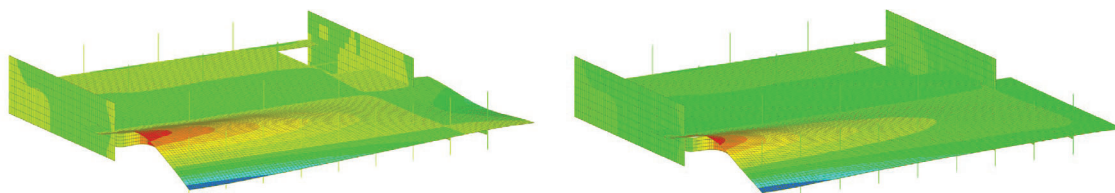


図 8-5-2-17 CLT 無モデル(部分表示)

・CLT の有無による比較

固有値解析から得られた、検討対象の歩行ルートに関連する卓越振動モードを図 8-5-2-18 および図 8-5-2-19 に、歩行振動解析による 1/3 オクターブバンドスペクトルを図 8-5-2-20 から 8-5-2-22 に示す。CLT の有無によって固有振動数は外端部卓越モードで約 10%、中央部卓越モードで 20%程度低下しており、同程度以上の剛性低下が考えられる。1/3 オクターブバンドスペクトルを比較すると、A コース及び B コース歩行時で CLT によって最大値が低下していることが分かる。特に、A コース歩行時は CLT 無しの場合の最大速度が 3.12×10^{-2} kine であったのに対して、CLT 有りの場合の最大速度が 2.11×10^{-2} kine であり 30% 程度低減されていることが分かった。一方、C コース歩行時は、CLT がある場合の 10Hz 付近における最大値が CLT 無しの場合を上回っている。図 8-5-2-19 から CLT 有の場合は 10.26Hz、CLT 無しの場合は 9.28Hz で外端部が卓越する固有振動を示し、CLT 有モデルは歩行ピッチ

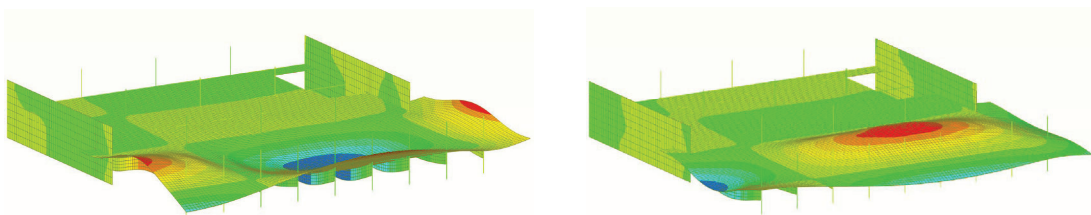
である 2.0Hz の倍調波と共振しやすい。CLT の剛性増大による振動抑制に比べ、共振による振動増大の影響が大きいため、CLT 有モデルの応答が CLT 無しモデルよりも大きい値を示していると考えられる。以上を踏まえると、本建物における CLT は床の剛性増大に寄与しており、歩行振動による居住性能の改善に一定の効果があると考えられる。



(a) CLT 有モデル(10.26Hz)

(b) CLT 無しモデル(9.28Hz)

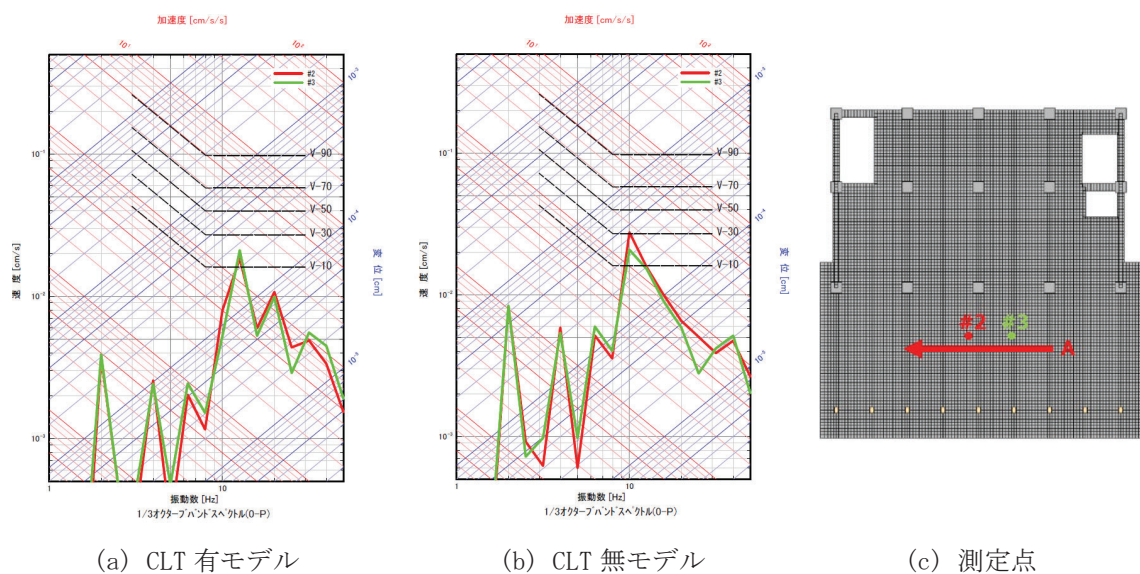
図 8-5-2-18 外端部卓越振動モード



(a) CLT 有モデル(12.04Hz)

(b) CLT 無しモデル(9.68Hz)

図 8-5-2-19 中央部卓越振動モード



(a) CLT 有モデル

(b) CLT 無しモデル

(c) 測定点

図 8-5-2-20 A コース歩行時 1/3 オクターブバンドスペクトル

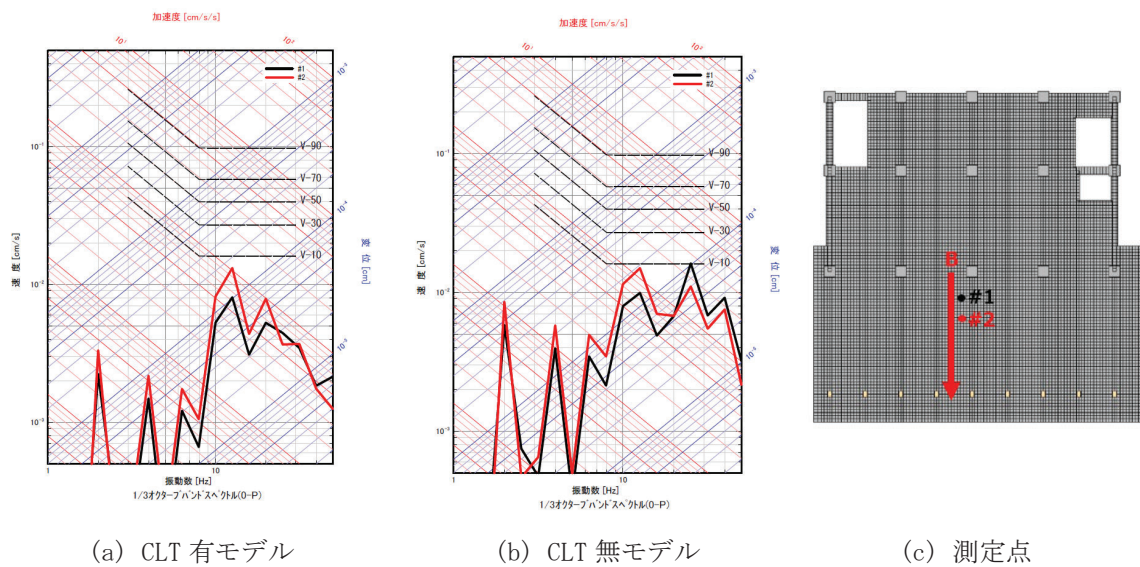


図 8-5-2-21 B コース歩行時 1/3 オクターブバンドスペクトル

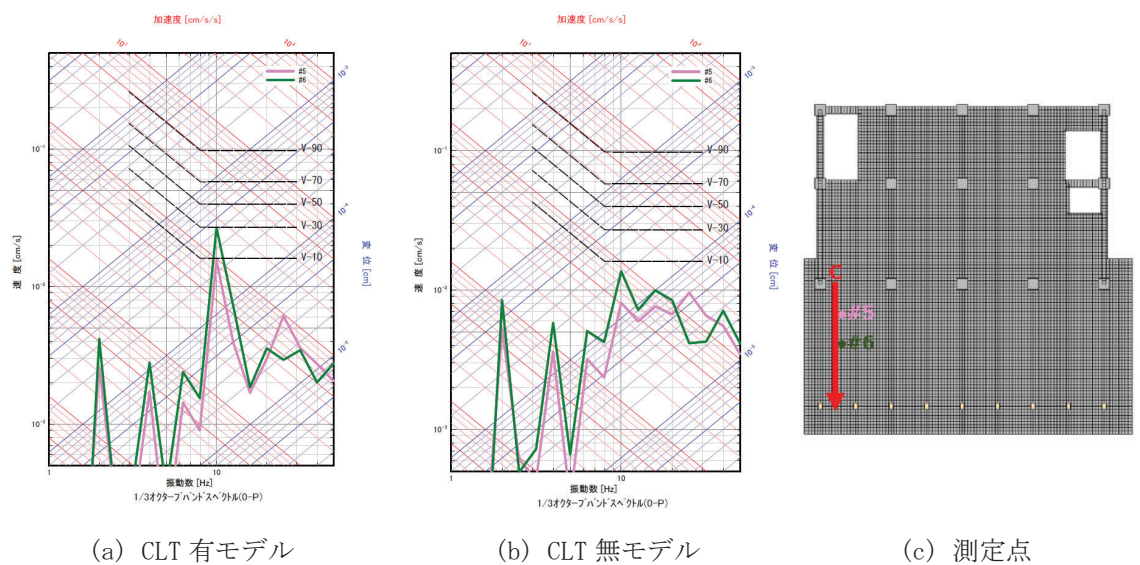


図 8-5-2-22 C コース歩行時 1/3 オクターブバンドスペクトル

■まとめ

- ・実測の結果、本計画の木架構は十分な鉛直剛性を有し、優れた居住性能を有する。
- ・CLT を考慮した再現解析モデルは、実測結果と概ね対応しており、モデル化の妥当性を確認した。
- ・解析により、CLT の有無による歩行振動性状への影響を検証し、CLT 型枠によって居住性能が改善していることを確認した。

[参考文献]

- 1) 畔柳 歩 他：鉛直荷重を受ける集成材梁-RC 床版合成梁に関する実験的研究 集成材梁と RC 床版の一体効果を考慮した合理的部材設計手法の構築 その 1、日本建築学会構造系論文集 第 79 巻 第 697 号，393-400，2014. 3
- 2) 蒲池 健 他：集成材梁-RC 床版合成梁設計法の提案と実験による検証 集成材梁と RC 床版の一体効果を考慮した合理的部材設計手法の構築 その 2、日本建築学会構造系論文集 第 79 巻 第 702 号，1147-1156，2014. 8
- 3) 横山 裕：歩行時に発生する床振動評価のための加振、受信装置に関する研究 動的加振器、受振器の設定および妥当性の検討 1、日本建築学会構造系論文集 第 60 巻 第 466 号，21-29，1994. 12

8-5-3 CLT+RC合成床による重量床衝撃音への影響

8-5-2 と同様に、本項では RC スラブに CLT パネルを付加し、合成床としたことによる重量床衝撃音への影響について検証する。

実測およびインピーダンス法による評価の検証を行った。

■重量床衝撃音実測について

1) 測定場所

(仮称) 東邦銀行・第一生命共同ビル計画新築工事作業所 (宇都宮市泉町 1-29)

2) 測定日時

2022 年 6 月 6 日 (月) 17 時～6 月 7 日 (火) 1 時

3) 測定機関

清水建設 技術研究所 環境基盤技術センター 音環境グループ (宮島, 清家)

測定立会: 清水建設 設計本部 構造設計 2 部 (木内)

測定協力: 日本音響エンジニアリング (中村)

4) 測定・分析方法 (重量床衝撃音遮断性能: タイヤ衝撃源)

JIS A1418-2:2000「建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法—第 2 部: 標準重量衝撃限による方法」に規定される方法に準拠し、衝撃力特性(1)の標準重量床衝撃源 (タイヤ衝撃源) によって測定・分析を行った。測定結果は、JIS A1419-2:2000「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」に従って評価した。測定機器系統図を図 8-5-3-1 に示す。次の手順で測定を行い、重量床衝撃音レベル及び重量床衝撃音レベル等級を求めた。

- (a) 各加振点においてタイヤ衝撃源により試験床版を加振し、下階受音室に設定した受音点に於いて加振 5 回に対し、各回の最大音圧レベル (動特性 F) を測定する。得られた 5 回の最大音圧レベルを算術平均する。
- (b) 5 か所の受音点で得られた最大音圧レベル算術平均値をエネルギー平均する。
- (c) 上記(a)(b)の手順で 5 加振点に対するエネルギー平均値をそれぞれ求めた後、それらの値を算術平均することで重量床衝撃音レベルを算出する。測定周波数は中心周波数 31.5 ～500Hz のオクターブ帯域とする。得られた重量床衝撃音レベル測定結果を、JIS A1419-2 付属書 1 の方法で評価し重量床衝撃音レベル等級 $LL_i, F_{max,r}, H(1)$ を求める。

5) 測定経路

図 8-5-3-2, 図 8-5-3-3 に示す、測定経路 (1) ～ (5) を測定対象とした。測定経路 (1), (3) ～ (5) の加振室の床構造は CLT150mm+RC150mm のハイブリッド床で、(4) の RC の厚さは建物端部側が 200mm となっている。(2) の加振室の床構造は RC 単体であり、厚さは 150mm を基本とし、建物端部側は 200mm となっている。測定経路 (2), (4) については床スラブ厚が 2 種類で構成されていることから、参考として測定を行っ

た。測定現場の内観を写真 8-5-3-1, 写真 8-5-3-2 に、音源室の床構造の施工状況を写真 3, 写真 8-5-3-4 に示す。また、各受音室における測定点位置および高さは 600mm～1,800mm で、各測定点の高さは図 8-5-3-2, 図 8-5-3-3 の図中に示す。

6) 測定状況

バンダマシンによる加振状況および受音室における測定状況を写真 8-5-3-5～写真 8-5-3-8 に示す。

7) 測定結果

各測定経路について、床衝撃音レベルおよび床衝撃音レベル等級 $LL_{i,Fmax,r,H(1)}$ を表 8-5-3-1 にまとめる。また、床衝撃音レベルの周波数特性を図 8-5-3-4～図 8-5-3-8 に、詳細データを付表 8-5-3-1～付表 8-5-3-5 に示す。

表 8-5-3-1 床衝撃音レベルおよび床衝撃音レベル等級評価結果

測定経路		A 特性	1/1オクターブバンド中心周波数[Hz]					判定
			31.5	63	125	250	500	
(1)	S1 → R1	52.5	80.2	75.7	59.5	50.7	43.2	$L_r - 55$
(2)	S2 → R2	52.9	78.7	79.4	60.3	50.1	42.3	$L_r - 55$
(3)	S3 → R3	51.3	78.8	75.5	60.1	50.7	40.9	$L_r - 55$
(4)	S4 → R4	51.6	78.4	77.1	59.5	51.2	40.9	$L_r - 55$
(5)	S5 → R5	51.2	77	75.7	60.1	50.4	41.4	$L_r - 55$

単位: dB

測定経路 (1) ～ (5) の全ての床について、床衝撃音レベル等級 $LL_{i,Fmax,r,H(1)}-55$ と評価された。

CLT+RCハイブリッド床の測定経路 (4) を、RC床の測定経路 (2) と比較すると、63Hz 帯域の床衝撃音レベルが2.3dB低下している。CLTによる改善とも考えられるが、測定誤差などのその他の要因による影響とも考えられ、この測定結果だけではその原因を明確にすることは困難である。

全体として、測定結果は一般的な RC150mm の床として標準的な数値($LL_{i,Fmax,r,H(1)}-55$ 前後)を示しており、CLT による重量床衝撃音遮断性能への明確な影響は確認されなかった。

8) 測定おわりに

CLT+RC ハイブリッド床が採用された建物における重量床衝撃音遮断性能のデータ蓄積を目的として、(仮称) 東邦銀行・第一生命共同ビル計画新築工事において測定を実施した。測定の結果、RC150mm の床と同程度の重量床衝撃音遮断性能であることが確認された。

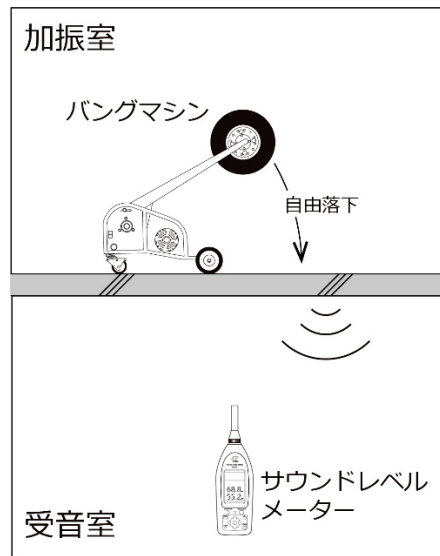


図 8-5-3-1 床衝撃音測定（タイヤ衝撃源）機器系統図

2F

RC 単体

加振 S1

S2

RC 厚
150mm

200mm

測定経路
(1)

(2)

1F

受音 R1

R2

受音点高さ
3 : 600mm
2 : 900mm
1 : 1,200mm
4 : 1,500mm
5 : 1,800mm

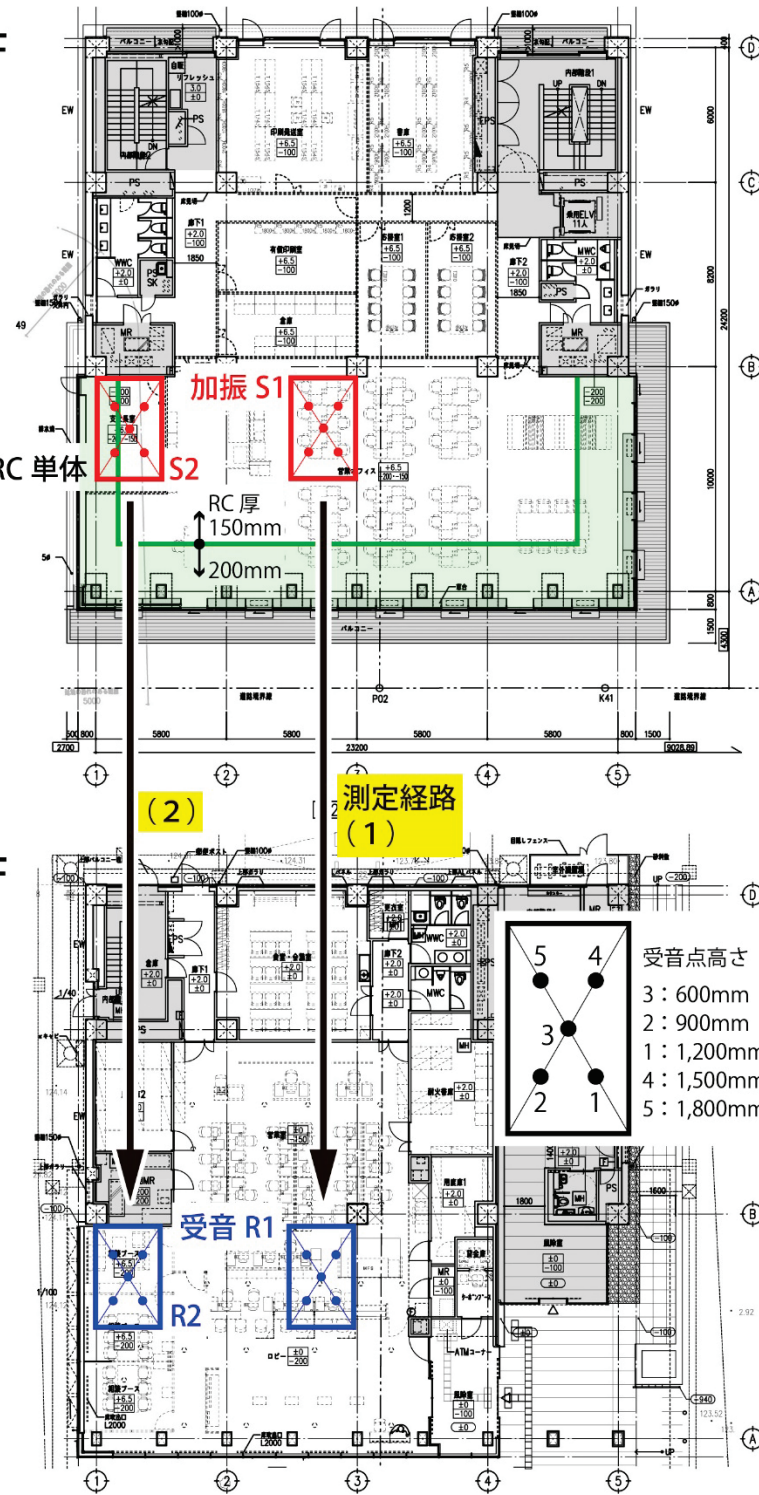
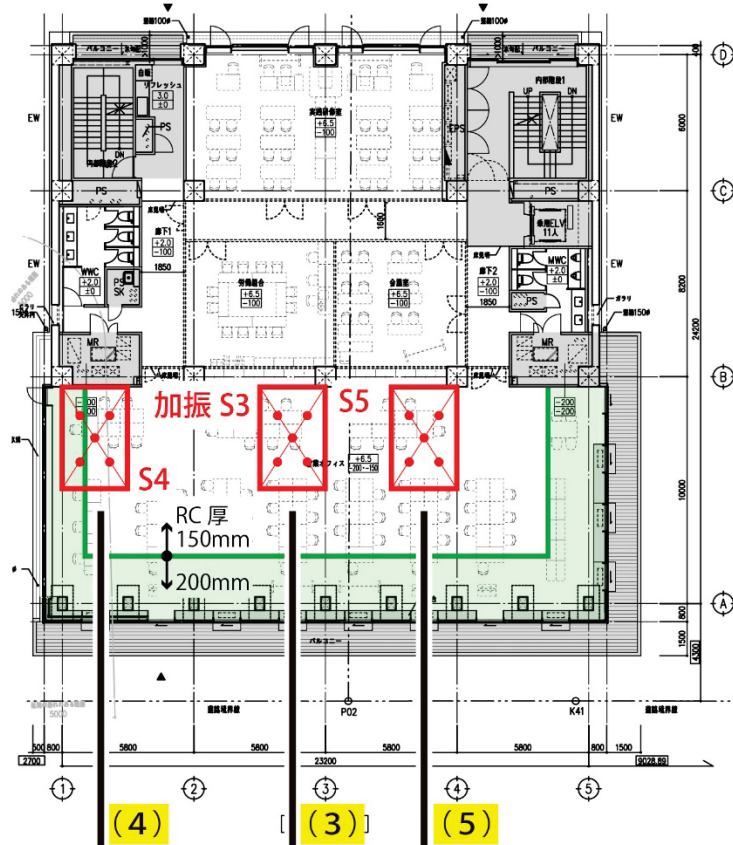


図 8-5-3-2 重量床衝撃音遮断性能測定経路：2 階→1 階

3F



2F

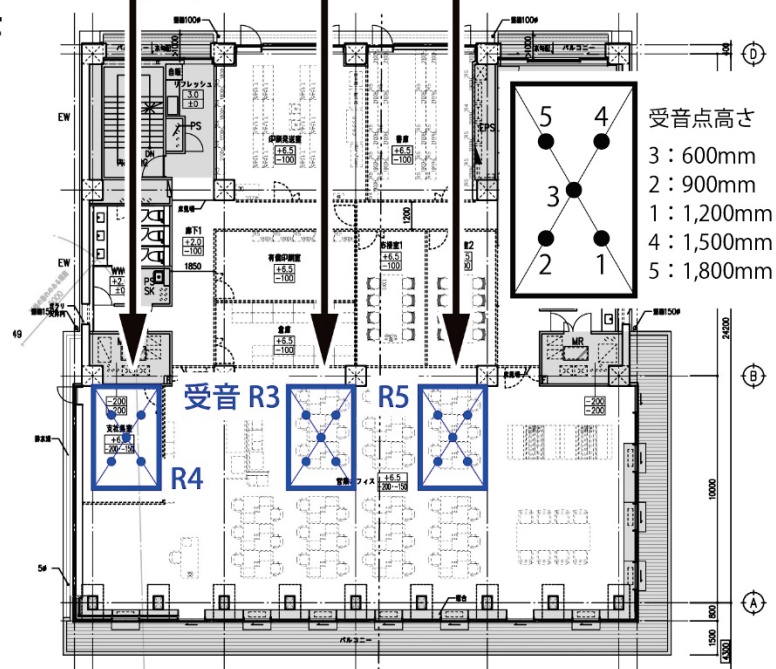


図 8-5-3-3 重量床衝撃音遮断性能測定経路：3階→2階

$L_r=L_{i,Fmax,r,H(1)}$														
番号	凡例	経路			A 特性	1/1オクターブバンド中心周波数[Hz]								判定
		加振	→	受音		31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	
①	●	S1	→	R1	52.5	80.2	75.7	59.5	50.7	43.2	---	---	---	$L_r=55$
単位: dB														

単位: dB

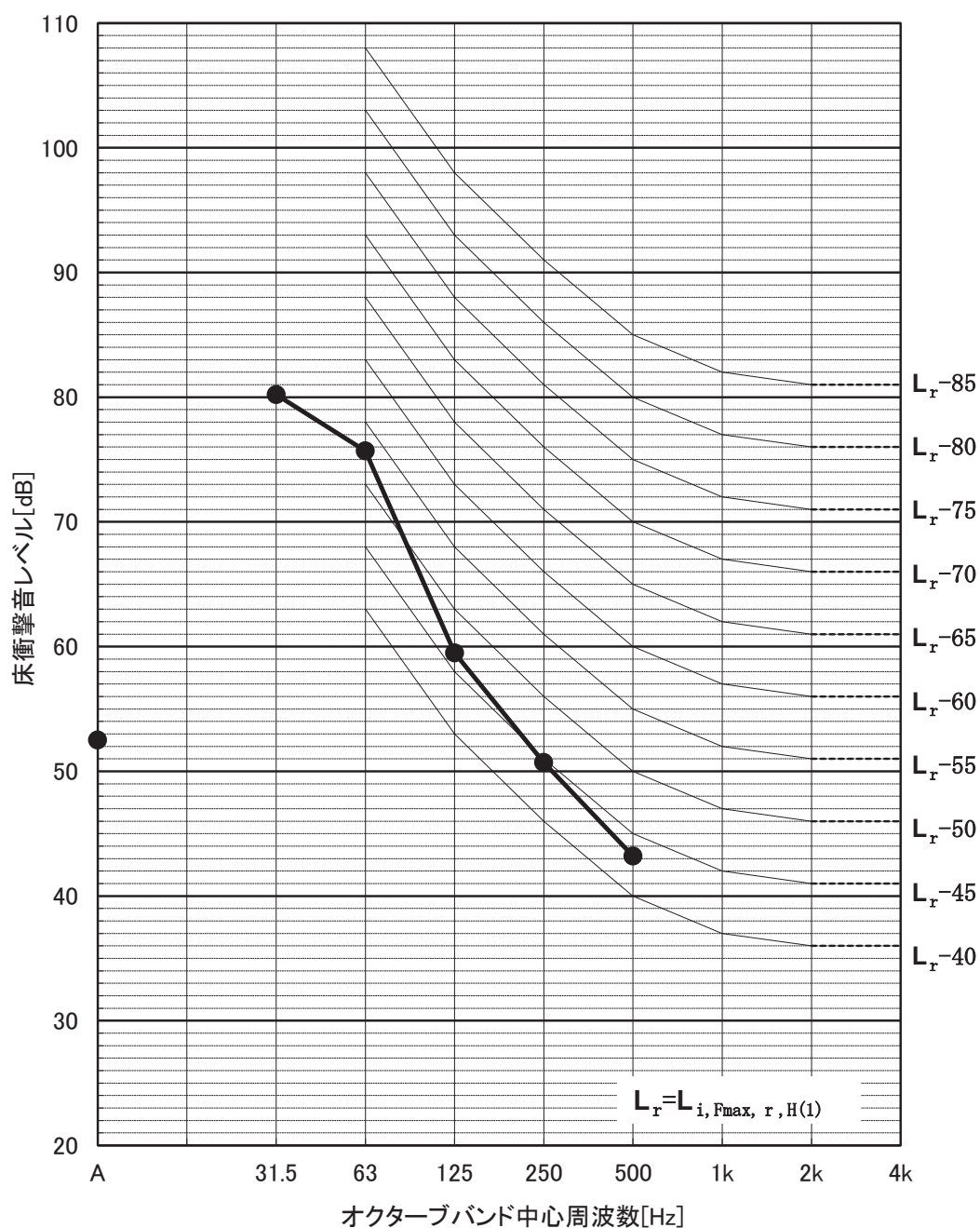


図 8-5-3-1 床衝撃音レベル測定結果(タイヤ衝撃源, 1/1 オクターブバンド) : 測定経路(1)

番号	凡例	経路			A 特性	1/1オクターブバンド中心周波数[Hz]								判定
		加振	→	受音		31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	
②	●	S2	→	R2	52.9	78.7	79.4	60.3	50.1	42.3	---	---	---	L_r-55

単位: dB

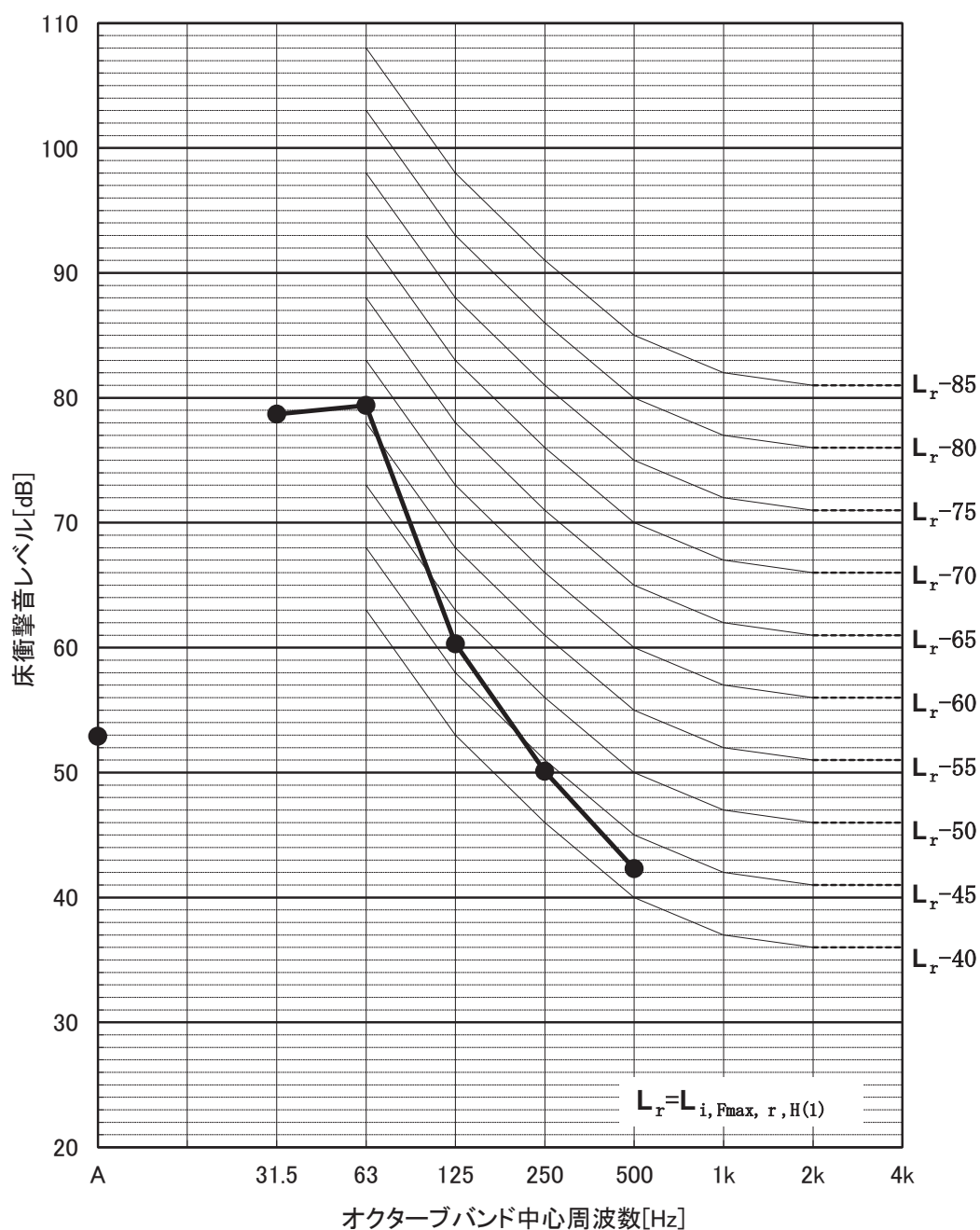


図 8-5-3-2 床衝撃音レベル測定結果(タイヤ衝撃源, 1/1 オクターブバンド) : 測定経路(2)

$$L_r = L_{i, F_{\max, r, H}(1)}$$

番号	凡例	経路			A 特性	1/1オクターブバンド中心周波数[Hz]								判定
		加振	→	受音		31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	
③	●	S3	→	R3	51.3	78.8	75.5	60.1	50.7	40.9	---	---	---	$L_r - 55$

単位: dB

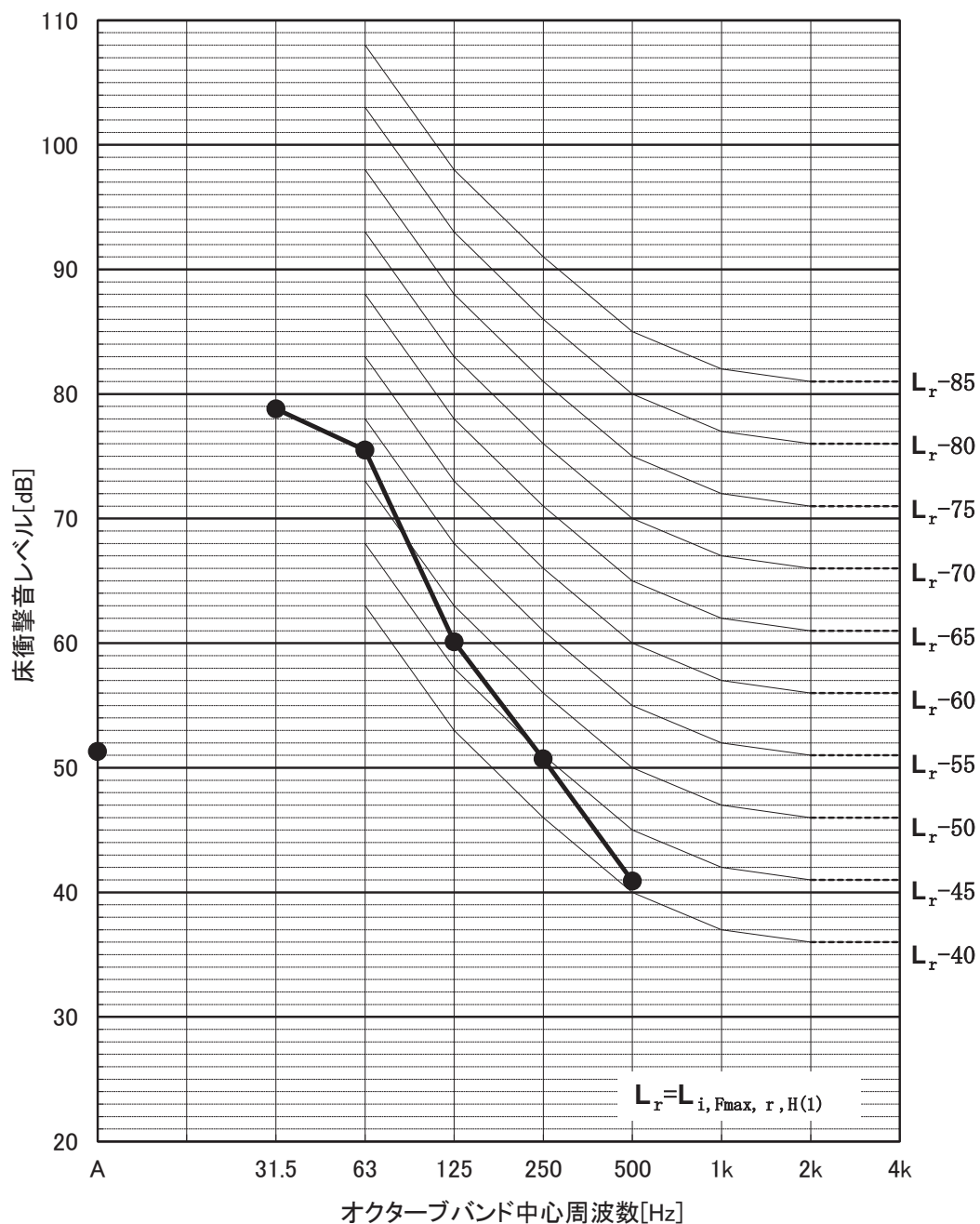


図 8-5-3-3 床衝撃音レベル測定結果(タイヤ衝撃源, 1/1 オクターブバンド) : 測定経路(3)

番号	凡例	経路			A 特性	1/1オクターブバンド中心周波数[Hz]								判定
		加振	→	受音		31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	
④	●	S4	→	R4	51.6	78.4	77.1	59.5	51.2	40.9	---	---	---	L_r-55

単位: dB

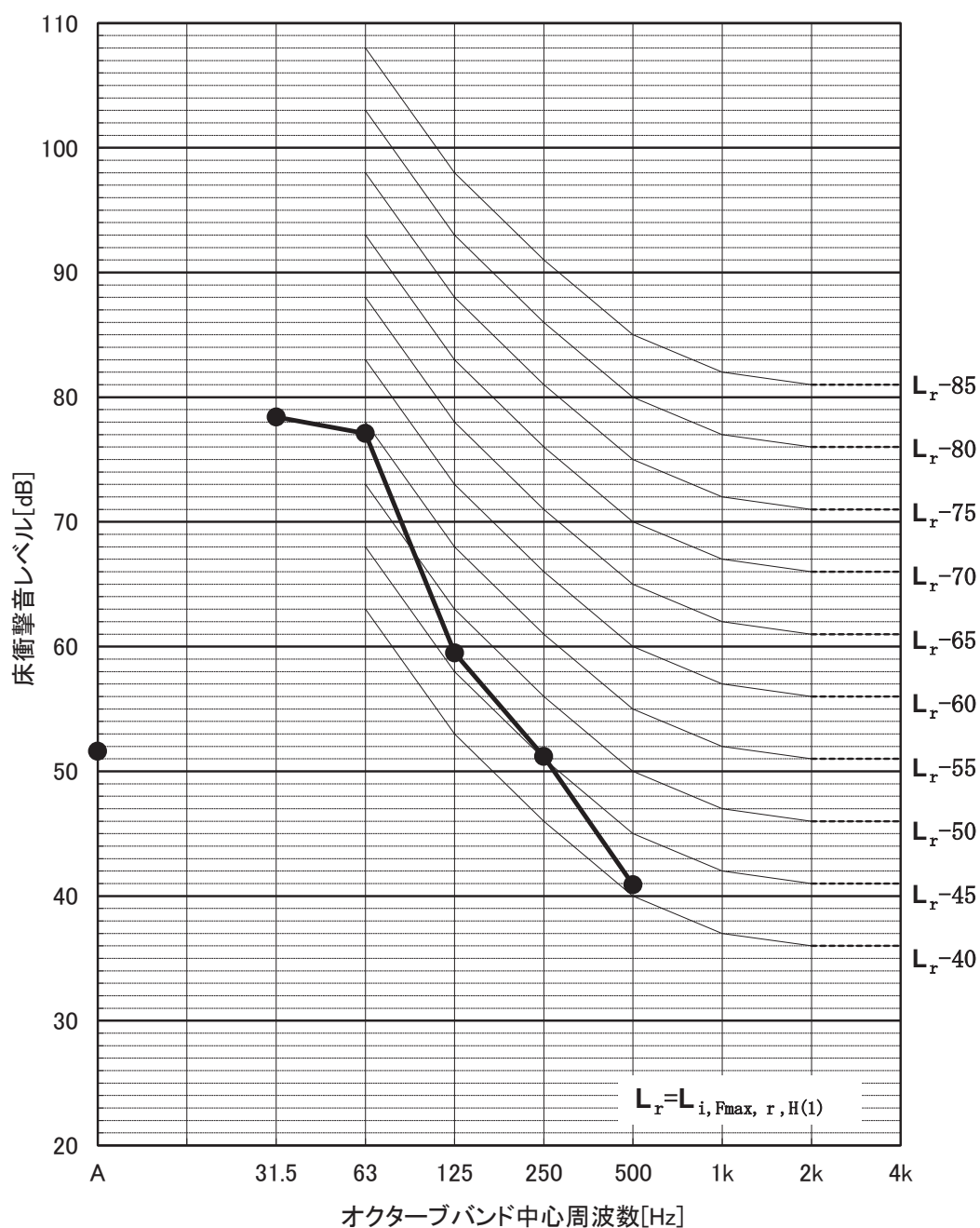


図 8-5-3-4 床衝撃音レベル測定結果(タイヤ衝撃源, 1/1 オクターブバンド) : 測定経路(4)

番号	凡例	経路			A 特性	1/1オクターブバンド中心周波数[Hz]								判定
		加振	→	受音		31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	
⑤	●	S5	→	R5	51.2	77.0	75.7	60.1	50.4	41.4	---	---	---	L_r-55

単位: dB

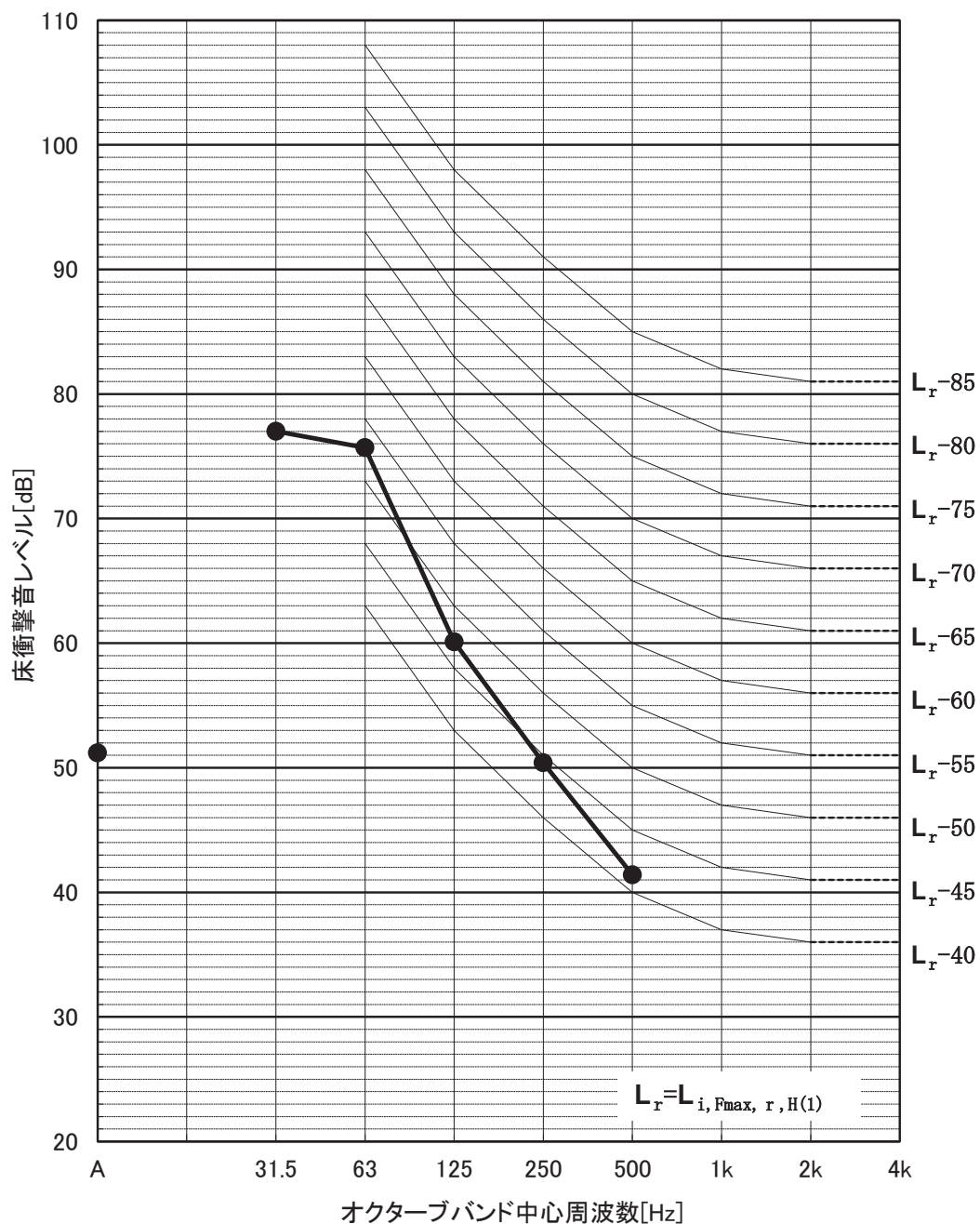


図 8-5-3-5 床衝撃音レベル測定結果(タイヤ衝撃源, 1/1 オクターブバンド) : 測定経路(5)



写真 8-5-3-1 測定現場内観：1 階



写真 8-5-3-2 測定現場内観：2 階



写真 8-5-3-3 CLT 床施工状況（測定経路(1),(3)～(5)音源室床）



写真 8-5-3-4 RC 床施工状況（測定経路(2)音源室床）



写真 8-5-3-5 バングマシン加振状況

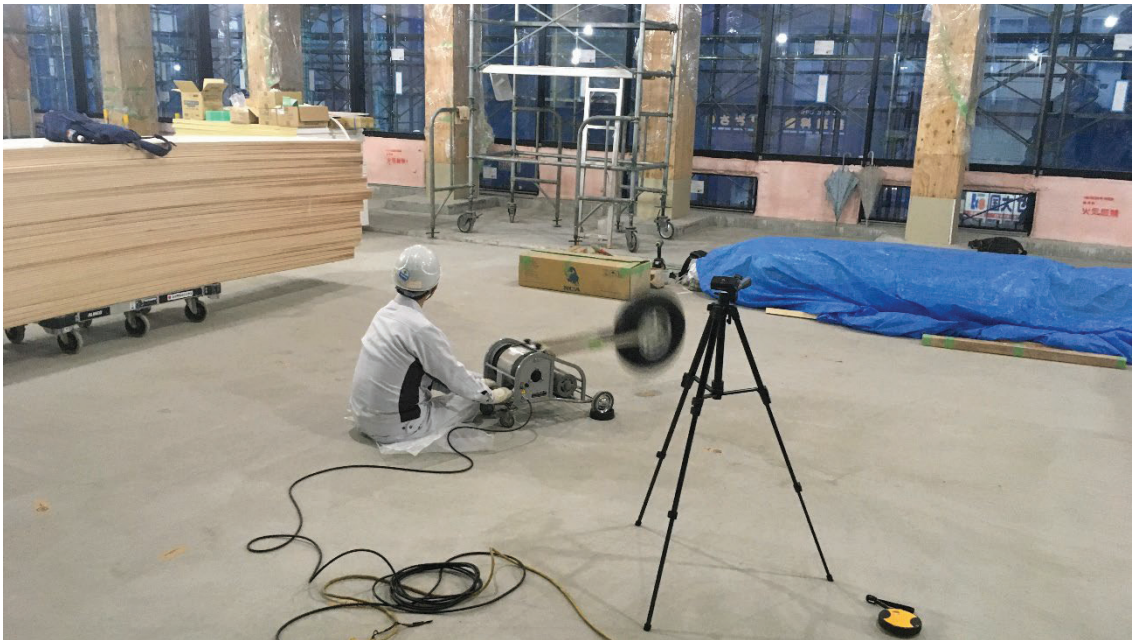


写真 8-5-3-6 バングマシン加振状況



写真 8-5-3-7 受音室測定状況



写真 8-5-3-8 受音室測定状況

付表 8-5-3-1 床衝撃音レベル測定結果詳細：測定経路（1）

加振 位置	測定 位置	A 特性	オクターブバンド中心周波数 (Hz)							
			31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k
S1	R1	51.6	81.9	73.6	60.1	53.1	41.8	41.0	44.3	40.1
	R2	51.8	77.1	75.8	56.3	52.9	44.3	43.5	42.4	39.2
	R3	51.7	80.0	76.0	56.7	48.8	40.1	40.8	41.9	39.1
	R4	51.7	80.8	74.8	57.5	49.2	41.4	39.5	42.0	40.2
	R5	50.4	79.3	70.0	57.2	49.9	41.2	40.7	41.0	39.4
平均		51.5	80.1	74.5	57.8	51.2	42.0	41.3	42.5	39.6
S2	R1	51.4	81.1	74.4	58.6	50.2	42.5	40.8	43.6	40.4
	R2	52.2	79.1	75.0	56.6	52.0	42.8	39.6	47.2	40.5
	R3	52.1	80.2	76.9	61.3	46.6	39.9	38.4	41.7	39.6
	R4	52.0	81.7	75.3	57.8	51.3	42.5	41.1	41.7	40.6
	R5	50.4	82.2	72.2	57.0	49.5	39.7	---	40.6	37.7
平均		51.7	81.0	75.0	58.6	50.3	41.7	---	43.7	39.9
S3	R1	54.2	81.9	77.6	58.7	50.9	44.7	42.9	42.6	44.5
	R2	52.8	76.9	76.6	55.7	50.8	44.7	39.3	41.6	44.6
	R3	54.9	81.9	78.2	61.9	52.1	47.0	41.3	40.7	42.3
	R4	55.1	84.4	78.4	62.0	50.3	46.0	37.9	40.9	44.2
	R5	55.1	84.0	75.7	63.1	50.2	44.6	39.5	43.8	45.9
平均		54.5	82.5	77.4	61.0	50.9	45.5	40.5	42.1	44.4
S4	R1	52.5	77.9	75.4	58.3	50.6	44.9	45.0	42.1	39.6
	R2	51.4	74.1	74.5	58.4	50.6	43.5	43.2	40.0	38.3
	R3	52.7	79.0	76.9	60.4	48.3	43.3	39.0	42.1	36.7
	R4	53.2	80.3	77.6	60.1	48.9	43.8	41.6	44.5	39.6
	R5	52.3	79.0	74.6	63.6	53.0	41.8	38.4	41.9	39.8
平均		52.5	78.5	76.0	60.6	50.6	43.6	42.1	42.4	38.9
S5	R1	52.1	75.8	74.3	58.2	53.0	44.4	44.2	41.6	40.6
	R2	51.3	74.6	76.1	54.1	49.7	43.8	38.7	38.7	39.3
	R3	51.4	78.6	74.9	58.8	49.2	42.3	38.4	39.8	37.3
	R4	53.5	81.6	77.5	61.4	51.1	43.4	39.4	42.0	39.8
	R5	52.1	80.7	73.9	61.0	49.4	42.4	39.9	44.4	40.1
平均		52.2	79.0	75.5	59.4	50.7	43.3	40.7	41.7	39.6
全体平均		52.5	80.2	75.7	59.5	50.7	43.2	---	42.5	40.5
暗騒音		36.6	56.6	41.1	34.5	32.2	29.7	32.5	30.6	25.5

※太字：暗騒音補正有り 単位：dB

付表 8-5-3-2 床衝撃音レベル測定結果詳細：測定経路（2）

加振位置	測定位置	A特性	オクターブバンド中心周波数 (Hz)							
			31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k
S1	R1	50.0	76.8	73.0	56.8	54.0	42.0	---	---	34.8
	R2	55.2	81.2	82.2	62.2	52.3	48.1	44.2	---	33.7
	R3	55.7	81.1	83.2	62.2	50.8	41.8	---	---	---
	R4	52.7	79.5	79.3	58.0	50.9	41.4	---	---	---
	R5	50.6	81.7	74.5	58.7	51.3	43.9	42.8	---	34.1
平均		53.4	80.4	80.1	60.1	52.0	44.3	---	---	---
S2	R1	54.0	77.1	82.1	58.0	49.4	39.3	---	---	---
	R2	50.0	80.6	74.5	58.9	49.0	40.6	---	---	33.4
	R3	54.5	79.2	82.8	61.7	47.4	39.5	---	---	---
	R4	53.8	77.9	81.2	59.8	48.0	40.2	---	---	33.3
	R5	48.4	81.2	74.7	57.4	46.3	39.5	---	---	---
平均		52.8	79.5	80.4	59.4	48.2	39.8	---	---	---
S3	R1	54.4	78.1	79.8	60.9	52.2	44.2	43.2	39.4	33.9
	R2	51.0	80.9	77.0	59.6	52.1	42.2	---	---	---
	R3	56.3	81.7	84.3	59.8	51.6	43.5	44.3	---	34.1
	R4	57.4	81.4	84.8	60.6	52.1	42.4	---	---	---
	R5	52.3	81.3	78.1	60.9	51.5	42.1	---	38.8	34.8
平均		54.9	80.9	81.9	60.4	51.9	43.0	---	---	---
S4	R1	54.1	74.6	80.3	58.8	51.4	42.7	---	---	---
	R2	52.6	77.8	77.7	64.1	50.6	46.4	---	---	---
	R3	53.2	77.2	78.3	62.9	49.7	44.2	44.5	---	34.7
	R4	53.3	78.9	80.5	59.6	49.6	40.0	---	---	34.4
	R5	51.4	79.0	76.5	61.2	52.4	42.2	---	39.1	35.7
平均		53.0	77.8	78.9	61.8	50.9	43.6	---	---	---
S5	R1	50.5	73.0	75.5	59.7	47.9	40.7	---	---	---
	R2	50.1	74.3	75.2	61.1	47.5	42.2	---	---	---
	R3	50.5	75.4	76.9	61.4	46.3	41.0	---	---	---
	R4	51.2	75.3	77.4	58.0	48.3	40.7	---	---	---
	R5	48.1	75.1	72.4	56.9	47.5	40.0	---	---	---
平均		50.2	74.7	75.8	59.8	47.5	41.0	---	---	---
全体平均		52.9	78.7	79.4	60.3	50.1	42.3	---	---	---
暗騒音		40.8	53.0	40.8	37.2	36.5	32.9	37.9	34.1	28.4

※太字：暗騒音補正有り 単位：dB

付表 8-5-3-3 床衝撃音レベル測定結果詳細：測定経路（3）

加振 位置	測定 位置	A 特性	オクターブバンド中心周波数(Hz)							
			31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k
S1	R1	50.7	83.1	73.4	58.0	50.6	41.0	40.5	40.2	35.1
	R2	52.2	77.7	77.9	59.3	53.3	42.8	39.8	42.2	35.6
	R3	51.4	79.7	77.1	60.1	48.6	40.3	39.9	39.6	33.1
	R4	49.3	81.2	72.1	57.6	51.1	39.5	38.0	39.9	36.5
	R5	49.4	79.3	71.1	58.4	48.6	39.3	39.0	41.4	36.6
平均		50.7	80.6	75.2	58.8	50.8	40.8	39.5	40.8	35.6
S2	R1	52.3	76.9	78.5	58.8	51.5	40.7	39.8	40.8	36.8
	R2	51.0	80.2	75.1	59.7	50.8	40.0	38.8	41.9	36.6
	R3	52.3	78.0	78.7	62.3	48.6	40.3	40.0	40.6	36.0
	R4	50.2	78.7	73.5	61.2	50.5	40.3	38.2	39.3	35.8
	R5	51.6	80.6	74.1	61.4	49.6	41.6	42.1	41.7	38.7
平均		51.6	79.1	76.5	60.9	50.3	40.6	40.0	41.0	36.9
S3	R1	50.8	77.7	74.6	57.7	53.1	40.7	43.3	43.6	35.9
	R2	51.3	78.5	75.1	58.1	51.9	41.6	42.0	43.9	35.1
	R3	52.8	77.4	78.1	60.5	51.0	41.3	42.3	41.8	36.7
	R4	51.4	81.3	75.5	60.7	51.4	40.0	39.9	41.5	35.9
	R5	52.4	83.3	75.7	62.4	47.3	41.8	39.3	42.0	36.4
平均		51.8	80.3	76.0	60.2	51.3	41.1	41.6	42.7	36.0
S4	R1	50.4	74.9	75.3	59.4	50.4	40.9	37.6	39.2	34.8
	R2	50.8	73.7	74.4	58.9	50.5	42.4	37.0	38.1	32.3
	R3	53.3	73.4	78.3	61.6	47.3	41.7	39.6	43.0	35.3
	R4	51.4	77.5	74.1	58.7	49.5	40.0	38.2	47.5	39.9
	R5	52.0	79.7	74.0	64.0	53.8	40.7	39.4	42.5	37.4
平均		51.7	76.5	75.6	61.0	50.8	41.2	38.5	43.4	36.7
S5	R1	49.5	72.2	72.1	58.9	50.8	40.0	37.3	38.2	32.8
	R2	49.5	75.7	72.1	59.8	51.2	43.4	39.7	39.1	35.8
	R3	51.7	74.4	76.7	60.3	47.9	41.3	40.3	41.7	35.2
	R4	50.8	78.9	73.7	60.4	52.2	39.4	36.7	43.7	36.3
	R5	51.0	80.6	73.7	59.3	48.7	39.6	38.7	42.0	37.8
平均		50.6	77.4	74.0	59.8	50.4	41.0	38.8	41.4	35.9
全体平均		51.3	78.8	75.5	60.1	50.7	40.9	39.7	41.9	36.2
暗騒音		34.5	43.1	42.3	34.8	33.3	29.1	28.1	28.2	25.3

※太字：暗騒音補正有り 単位：dB

付表 8-5-3-4 床衝撃音レベル測定結果詳細：測定経路（4）

加振位置	測定位置	A特性	オクターブバンド中心周波数(Hz)							
			31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k
S1	R1	52.3	79.2	77.7	60.5	55.5	40.5	---	40.9	36.6
	R2	54.6	81.7	80.5	59.7	55.9	41.6	---	40.2	37.6
	R3	54.4	79.6	81.0	60.7	48.1	41.3	39.4	41.5	38.3
	R4	51.4	79.3	77.2	58.7	50.0	38.8	---	40.0	35.6
	R5	50.2	80.1	74.3	59.1	51.4	40.8	---	40.8	37.1
平均		52.9	80.1	78.8	59.8	53.2	40.7	---	40.7	37.1
S2	R1	52.5	78.0	79.9	58.0	52.4	41.5	---	40.3	36.2
	R2	52.4	78.0	79.1	57.4	52.2	40.6	---	42.0	37.8
	R3	52.7	78.9	80.1	58.6	46.6	39.6	---	38.5	35.6
	R4	50.6	76.8	77.2	55.6	48.7	38.4	---	39.1	34.5
	R5	48.8	79.3	74.7	56.7	47.7	37.6	---	39.3	34.8
平均		51.6	78.3	78.6	57.4	50.2	39.8	---	40.0	35.9
S3	R1	53.0	80.1	77.1	60.2	54.6	41.5	40.7	44.0	39.2
	R2	52.5	80.6	78.6	61.1	53.9	41.0	---	43.6	40.5
	R3	53.2	78.7	77.8	61.9	52.0	45.0	42.0	41.4	38.3
	R4	54.8	80.7	82.1	60.3	49.7	40.6	---	42.8	37.6
	R5	52.4	82.2	77.0	62.1	50.9	41.7	---	42.9	38.3
平均		53.3	80.6	79.0	61.2	52.6	42.3	---	43.0	38.9
S4	R1	50.7	78.1	73.9	60.0	52.6	40.9	---	40.8	36.7
	R2	52.3	79.7	77.9	61.1	50.0	42.3	---	40.2	34.3
	R3	50.7	73.4	76.3	60.5	48.8	42.2	40.6	39.4	35.8
	R4	51.6	79.0	77.5	61.0	51.3	39.7	---	43.4	37.0
	R5	50.3	79.8	72.4	61.9	51.8	40.6	---	40.5	35.3
平均		51.2	78.5	76.1	60.9	51.1	41.3	---	41.1	35.9
S5	R1	48.1	73.9	69.9	57.6	49.6	42.8	---	38.0	33.4
	R2	49.6	73.3	73.4	61.1	51.2	40.6	---	38.4	36.0
	R3	49.0	72.2	73.8	57.6	45.7	40.0	39.4	38.8	34.9
	R4	49.5	75.2	75.0	56.4	47.3	40.1	---	38.3	34.9
	R5	48.2	76.9	69.3	57.4	49.2	38.4	---	42.1	35.4
平均		48.9	74.6	72.8	58.4	49.0	40.6	---	39.4	35.0
全体平均		51.6	78.4	77.1	59.5	51.2	40.9	---	40.8	36.6
暗騒音		37.6	39.5	37.1	33.1	32.2	29.6	34.4	31.0	26.5

※太字：暗騒音補正有り 単位：dB

付表 8-5-3-5 床衝撃音レベル測定結果詳細：測定経路（5）

加振位置	測定位置	A特性	オクターブバンド中心周波数(Hz)							
			31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k
S1	R1	49.2	81.7	71.1	57.8	52.5	40.5	40.0	41.1	---
	R2	53.1	79.2	80.4	59.2	51.7	41.6	37.8	41.5	---
	R3	51.9	77.8	78.2	60.3	49.6	41.8	40.8	40.8	38.3
	R4	50.2	78.1	72.8	61.1	53.2	42.2	40.5	41.6	37.8
	R5	48.9	77.1	71.5	60.5	47.8	40.7	37.6	42.3	37.5
平均		51.0	79.1	76.5	59.9	51.4	41.4	39.5	41.5	---
S2	R1	51.1	80.5	76.9	58.3	52.1	38.7	37.0	39.0	---
	R2	51.1	81.1	75.8	58.5	51.5	39.6	36.9	41.4	35.4
	R3	52.7	79.2	78.5	60.5	47.4	39.7	38.0	40.3	34.8
	R4	50.2	78.9	72.4	58.6	50.9	41.1	40.9	42.1	36.6
	R5	48.8	77.6	71.1	57.9	48.6	39.7	35.4	40.0	---
平均		51.0	79.6	75.8	58.9	50.4	39.8	38.1	40.7	---
S3	R1	50.9	79.3	74.1	59.7	50.1	42.2	39.2	40.3	35.6
	R2	51.8	79.5	76.4	60.7	52.2	42.5	42.7	42.2	35.4
	R3	53.2	75.8	78.8	58.5	50.8	43.0	43.0	41.6	---
	R4	51.3	78.1	74.6	61.3	48.7	42.3	42.2	43.5	37.6
	R5	51.7	78.2	75.9	62.2	46.8	41.0	39.2	41.5	35.8
平均		51.9	78.4	76.3	60.7	50.1	42.2	41.6	41.9	---
S4	R1	50.3	73.8	73.9	60.0	49.3	42.1	38.2	38.6	35.3
	R2	50.2	74.0	74.0	60.5	50.1	43.0	37.7	38.0	---
	R3	54.1	69.8	79.5	60.6	48.0	42.2	40.4	41.9	37.0
	R4	49.8	73.6	73.3	58.3	49.3	41.9	37.9	43.6	35.0
	R5	51.4	74.0	75.2	61.6	51.6	40.1	39.0	41.8	36.7
平均		51.5	73.3	75.9	60.3	49.8	42.0	38.8	41.3	---
S5	R1	49.0	75.3	70.7	59.8	51.1	43.0	38.2	38.2	---
	R2	49.1	76.9	71.2	61.6	49.6	41.3	37.7	37.0	34.0
	R3	52.8	72.4	77.9	58.7	48.7	43.0	40.3	42.0	38.3
	R4	50.2	74.2	72.6	61.9	52.1	40.5	37.1	41.6	35.8
	R5	49.9	74.0	72.7	60.4	49.0	40.7	41.6	42.6	36.4
平均		50.4	74.8	73.9	60.6	50.3	41.8	39.3	40.8	---
全体平均		51.2	77.0	75.7	60.1	50.4	41.4	39.5	41.2	---
暗騒音		35.5	46.9	39.9	33.3	31.9	26.3	27.9	28.7	29.0

※太字：暗騒音補正有り 単位：dB

■インピーダンス法による評価の検証

【検証内容】

CLT+RC 合成床についてインピーダンス法による重量床衝撃音の評価を実施し、実測結果と比較する。

検証概要

- ・ 検討方法 : インピーダンス法 (学会式)
- ・ 床スラブ支持 : 木梁は小梁による支持として評価
- ・ 床スラブ条件 : RC スラブと CLT パネルを等価な単板スラブとして評価
 - ・ RC スラブ $t = 150 \text{ mm}$ ($F_c = 30$)
 - ・ CLT パネル $t = 150 \text{ mm}$ (S60A-5-5)

等価単板スラブへの換算方法

等価単板スラブへの換算では、①RC スラブと CLT パネルの曲げ剛性を単純に加算すると仮定した場合、①RC スラブと CLT パネルが緊結され一体に動くと仮定した場合の 2 通りで検証した。①の方法は、文献 4) に示される均質単板スラブに増し打ちした場合に基づいて算定した。②の方法は、①の方法において RC スラブと CLT パネルが一体とした場合の断面二次モーメントを用いて算定した。

算定した等価単板スラブの諸元は以下の通りである。

①の場合、 $t = 170 \text{ mm}$ 、ヤング係数 $E = 2.30 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、密度 $\rho = 2509 \text{ kg/m}^3$

②の場合、 $t = 240 \text{ mm}$ 、ヤング係数 $E = 3.25 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、密度 $\rho = 1774 \text{ kg/m}^3$

インピーダンス法による予測結果を図 8-5-3-9 に示す。①加算による評価の場合、RC スラブ単独の場合とほぼ同一の結果となることがわかった。一方、②一体とする評価の場合、各周波数領域において床衝撃音レベルが大きく改善する評価であることがわかる。

上記のインピーダンス法による評価結果に、本件での No.3 位置における実測結果を ■印にてプロットした。実測結果は、RC スラブ単独の場合と同等か、それを上回る床衝撃音レベルであり、CLT を考慮した予測値とは対応が確認できなかった。

以上から、CLT+RC 合成床もしくは木質構造については、インピーダンス法による評価の適応範囲外であることがわかった。今後、今回のような実測結果の蓄積、インピーダンス法の評価方法の再考等により、木質構造への適応可能性を見出すことが課題となる。

[参考文献]

- 4) 建物の床衝撃音防止設計(日本建築学会)

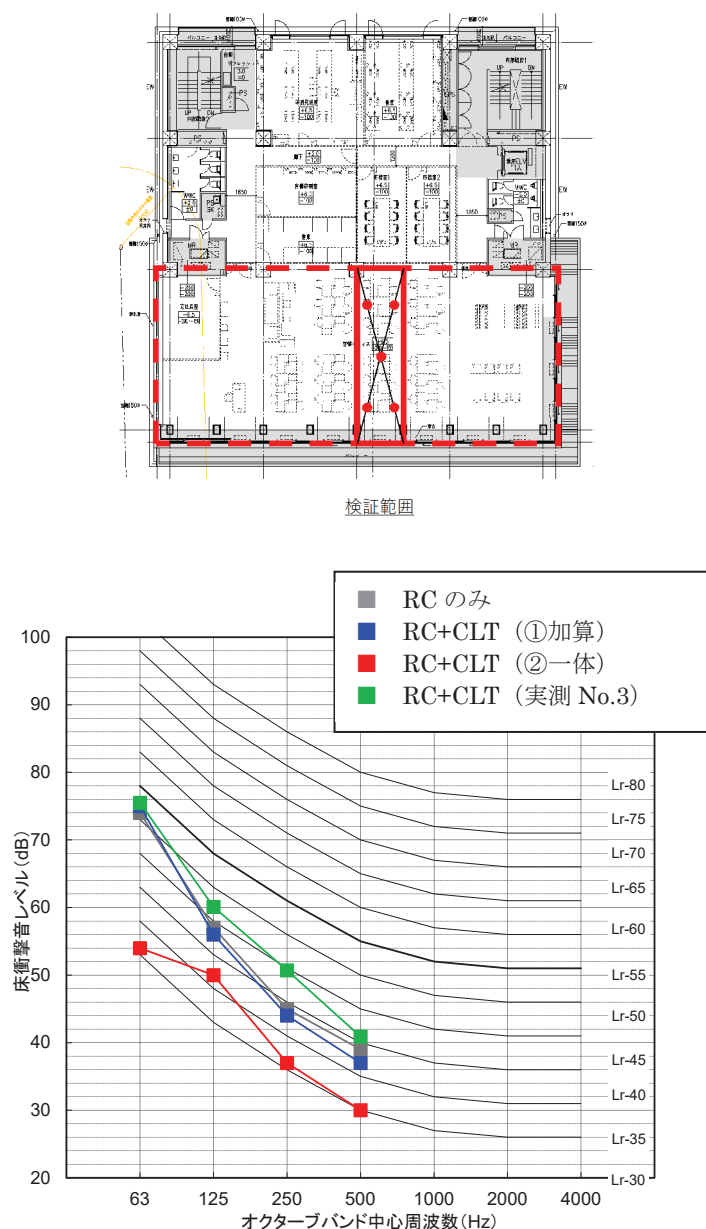


図 8-5-3-9. 重量床衝撃音遮音性能予測結果

■ まとめ

- ・ 実測の結果、本計画の CLT150mm+RC150mm の合成床は RC150mm の床と同程度の重量床衝撃音遮断性能であることが確認された。ただし、CLT の付加による改善とも取れる結果も確認されたため、今後のさらなる実測・検証により、重量床衝撃音遮断性能に対する CLT の寄与を明らかにする必要がある。
- ・ CLT+RC 合成床もしくは木質構造については、インピーダンス法による評価の適応範囲外であることがわかった。今後、今回のような実測結果の蓄積、インピーダンス法の評価方法の再考等により、木質構造への適応可能性を見出すことが課題となる。

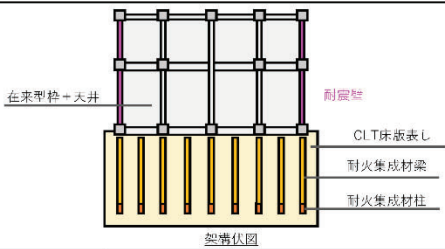
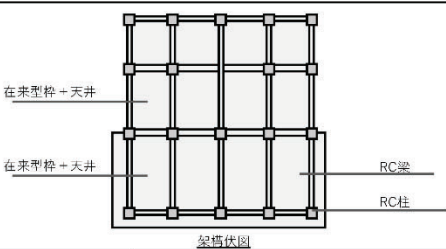
8-5-4 型枠仕上兼用によるコスト圧縮効果

下表に実証事業の建築物と CLT 及び耐火集成材を RC 造に変更した場合のコストを比較した。

仮設工事は、梁との取合い部で耐火構造形成の為、耐火集成材勝ちの納まりとする必要があり、CLT 設置のための仮設材が生じるため圧縮効果がなかった。

内装仕上は、コスト圧縮効果がある。

CLT パネルに配管スペース等を設置しているため、将来の増設等運用後の対応を容易にしている。

		RC (耐震壁付きラーメン架構) + W造		RC造 (ラーメン架構)	
概要					
躯体	RC躯体 数量比率	1	69,822千円	1.04	72,614千円
	耐火柱梁	柱・梁：36本	112,088千円	—	0千円
仕上	型枠	在来	29,656千円	在来	30,842千円
		CLT	39,948千円	CLT	0千円
	天井下地 + 仕上	在来天井	5,000千円	在来天井	10,000千円
RC造との コスト比較		+143,058千円		± 0	