

乾式二重床の床衝撃音レベル予測に関する基礎的検討

進藤 龍^{*1}・上田泰孝^{*1}・佐藤富士男^{*1}・大蘆健一郎^{*2}・中村 央^{*2}

局部集中荷重時の乾式二重床脚部の荷重分布からインピーダンス法で床衝撃音レベル予測を試みるため、複数の実験室実験により基礎的検討を行った。まず、荷重分布実験を行い各支持脚の荷重分布率を求めた。次にインピーダンス法に荷重分布率を適用し、衝撃力がスラブに多点入力するとして扱った際の床衝撃音レベル予測計算を行ったが、予測結果は実測値との乖離が大きかった。次に乖離の要因を確認するため小試験体実験を行い、衝撃力暴露レベルを求めた。この値を使用した予測計算では、荷重分布率からの予測計算よりも対応が良い結果となった。

キーワード：乾式二重床，床衝撃音，剛性変化，荷重分布，インピーダンス法，予測手法

1. はじめに

これまで、床衝撃音レベルの予測に関する多くの研究が行われている。¹⁾²⁾

スラブ素面に対する床衝撃音レベルの予測法としてはインピーダンス法³⁾が用いられることが多く、予測法として実用的である。一方で、乾式二重床に対する床衝撃音レベル予測においては、通常、コンクリート素面の場合の予測結果に対して、一般的に公的試験機関などにおける効果量の試験結果を加算することによって仕上げ床を施工した後の値として算出することが多い。ただし、乾式二重床の特性がスラブの振動特性に与える影響が大きく、スラブ素面の予測だけでなく、乾式二重床を含む床衝撃音レベルの予測が必要になってくる。

既往の研究⁴⁾では、木質系二重床の改善量が、仕上げ材とスラブおよびその間に介在する空気層や支持脚との連成系によって決定されることを示している。また、既往の研究⁵⁾では、乾式二重床の支持脚を介してスラブへ入力する支持脚加振力と床下空気層を介して伝達される空気加振力をインピーダンス法に適用し、重量床衝撃音の予測計算を行っている。

本研究では、支持脚を介してスラブの各位置に入力される支持脚衝撃力の分散を、重しとフォースセンサーを用いた荷重分布実験から想定し、その結果をインピーダンス法に適用し、衝撃力がスラブに多点入力するとして扱った際の床衝撃音レベルの予測計算を試みた結果を報告する。

2. 荷重分布実験

2.1 実験概要

既往の研究⁶⁾などでも述べられているが、床衝撃音の発生特性は、スラブの振動特性に依存することから、脚部分などの支持点からの力の伝達と、空気バネによる影響があると考えられる。本章では乾式二重床の支持脚を介してスラブの各位置に入力される力の伝達を想定するため、丸型ウェイトを使用し、二重床上1点を加重し、支持脚下とコンクリートスラブの間に設置したフォースセンサーで各支持脚が負担する荷重を求めた。

(1) 実験場所

これ以降すべての実験は、安藤ハザマ技術研究所の床衝撃音実験棟で実施した。図-1に実験室概要を示す。

実験室は、1階鉄筋コンクリート造、2階鉄骨造、スラブ厚さはRCスラブ150mm、スラブスパン（内寸）は5,000mm×4,000mmである。下階受音室の床面積は20㎡であり天井高さは2,850mmである。

(2) 試験体

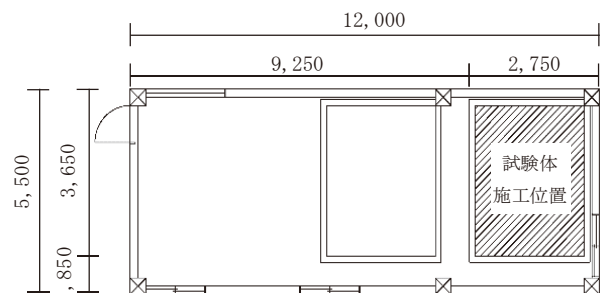


図-1 実験室概要

各試験体の断面図，床割付図および測定点位置を
 図-2に示す。荷重分布実験を行った乾式二重床は，仕
 様の異なる3タイプの試験体を用いた。試験体1の寸法
 は，3,670mm×2,700mm，試験体2の寸法は，3,000mm×
 2,700mm，試験体3の寸法は，3,400mm×2,700mmである。
 試験体1は剛性の低い一般的な住宅用乾式二重床仕様の

もの，試験体2および試験体3は剛性が高く，試験体2
 は根太部分にリップ溝形鋼を使用し，木製小根太とし
 たもの，試験体3は根太部分にリップ溝形鋼の断面を変え
 ハット型小根太としたものである。支持脚部分のゴム硬
 度は全ての試験体で同じ50°とした。

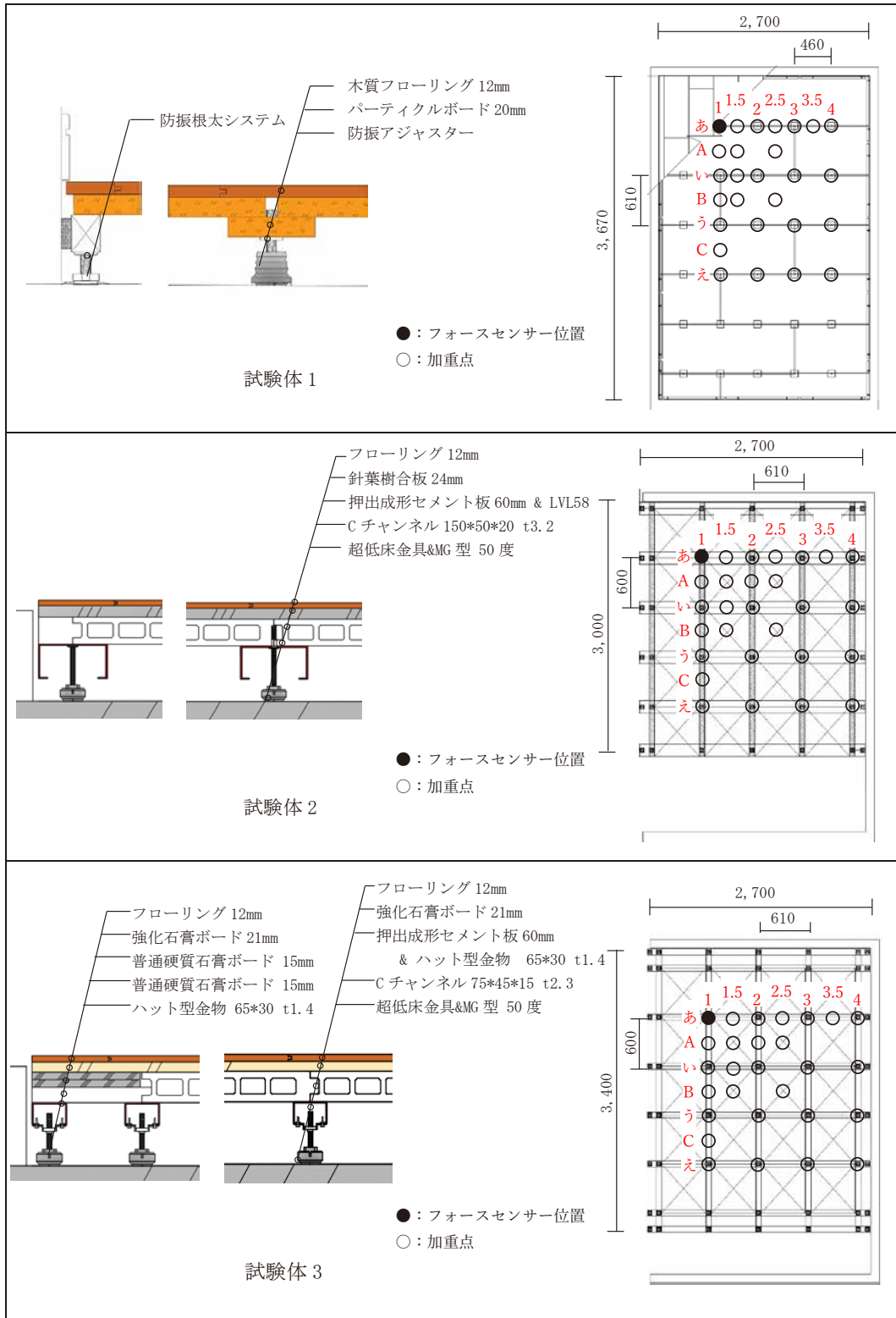


図-2 各試験体の断面図，割付図および測定点位置

(3) 測定方法

図-2に示すように各支持脚の荷重分布を測定するため、○の位置に加重点を移動させ、●の『あ1』の支持脚下部にフォースセンサーを挿入し荷重分布測定を行った。

局部集中荷重として使用した加重用の丸型ウェイトの重量は、10kg(12.41kg), 20kg(22.13kg), 30kg(31.96kg), 40kg(41.79kg), 50kg(51.77kg), 60kg(61.75kg), 70kg(71.58kg), 80kg(81.66kg), 90kg(91.74kg), 100kg(101.67kg) の10パターンで行った。かつこ内の数値は事前にフォースセンサーで測定した丸型ウェイトの実測値である。

2.2 測定結果

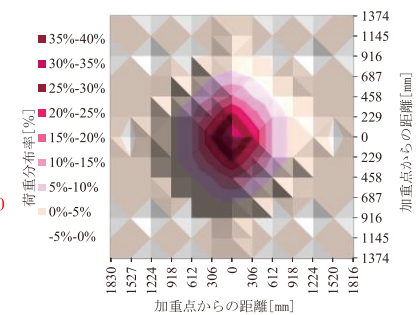
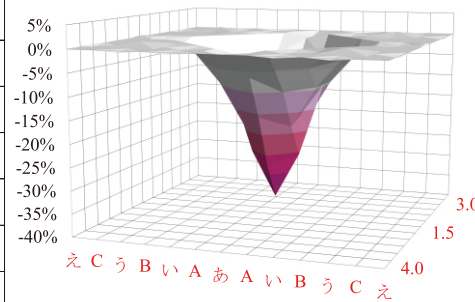
図-3に各加重点の荷重分布結果を重りの重量で除算し、百分率で表した値(以下、荷重分布率)を示す。なお等高線については、測定していない点に関しては同距離の測定点の値を代用した。測定結果から、重りの重量を変化させても荷重分布率に大きな差が見られなかったため、今回は代表値として10kg(12.41kg)の結果を示す。

剛性が低い試験体1は、加振点直下への入力が大きく、試験体2および3は、剛性が高いため床板端部付近の支持脚まで荷重が分散していることが分かる。

乾式二重床の床構成の違いにより剛性が異なれば荷重分布が異なることが分かった。

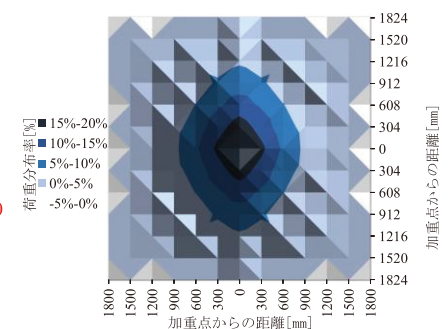
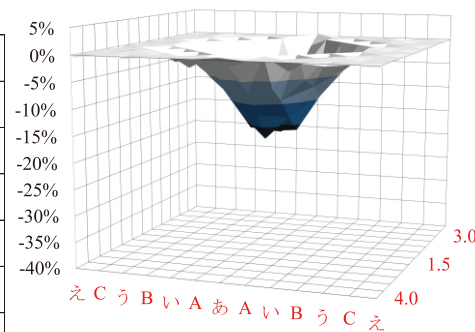
試験体1

	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
あ	-36%	-27%	-16%	-6%	-1%	-1%	0%
A	-26%	-18%	-10%	-5%			
い	-9%	-9%	-5%		0%		0%
B	-3%	-3%		0%			
う	-1%		0%		1%		0%
C	0%						
え	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%



試験体2

	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
あ	-17%	-17%	-12%	-7%	-4%	-2%	0%
A	-16%	-13%	-9%	-6%			
い	-9%	-7%	-5%		-3%		0%
B	-4%	-3%		-2%			
う	0%		-1%		0%		0%
C	0%						
え	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%



試験体3

	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
あ	-14%	-11%	-6%	-5%	-2%	0%	0%
A	-12%	-9%	-7%	-4%			
い	-7%	-6%	-5%		-2%		0%
B	-4%	-5%		-2%			
う	-2%		-2%		-1%		0%
C	-1%						
え	0%		-1%		0%		0%

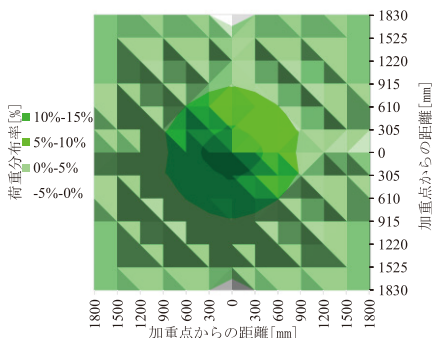
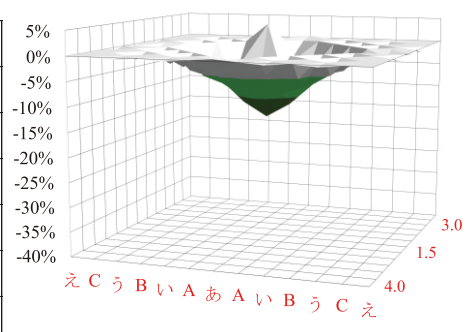


図-3 各試験体の10kg(12.41kg)の荷重分布率

3. 床衝撃音レベル低減量の測定

3.1 実験概要

インピーダンス法をベースに支持脚を介してスラブに入力される力の伝達を多点入力として求めた予測値と実測値の比較を行うため、前章の荷重分布実験と同様の試験体で床衝撃音レベル低減量を測定した。

(1) 試験体

図-4に各試験体の加振点位置と床割付図を示す。各試験体の床構成は、前章の荷重分布実験と同仕様である。ただし、試験体2については前章と異なり、床端部の納まりについては室中央部分と同仕様となっている。これは、測定時の条件から異なる仕様とせざるを得なかったためである。

(2) 測定方法

重量床衝撃音レベル低減量の測定は、JIS A 1418-2-2000に、軽量床衝撃音レベル低減量の測定はJIS A 1418-1-2000にそれぞれ準拠し、衝撃源はバングマシン、ボールおよびタッピングマシンを使用した。受音点は固定マイクロホンを用いた。加振点は5点、受音点は5点(床上1.2m)とした。受音装置には多チャンネル信号分析器、プリアンプ、マイクロホンを用いた。

3.2 測定結果

図-5~7に各衝撃源の測定結果を示す。図-5のバングマシンの測定結果では、試験体1でLr-55、試験体2でLr-40、試験体3でLr-50となっている。図-6のボールの測定結果では、試験体1でLr-45、試験体2でLr-35、試験体3でLr-45となっている。また、図-7のタッピングマシンの測定結果では試験体1でLL-55、試験体2でLL-40、試験体3でLL-45となっている。

4. インピーダンス法による床衝撃音予測

4.1 予測概要

本章では、2章で測定した乾式二重床の荷重分布率から支持脚を介してスラブへ入力する力の伝達を想定し、インピーダンス法をベースに床衝撃音レベルの予測を行った。

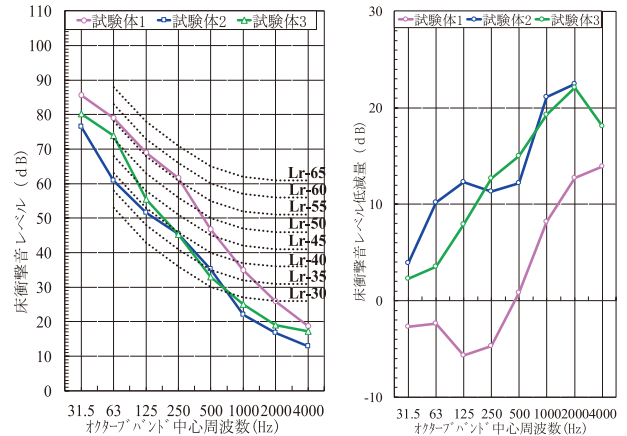


図-5 バングマシンの床衝撃音レベルと低減量

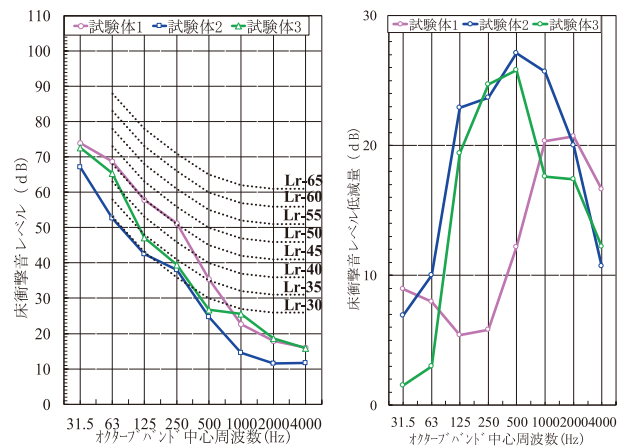


図-6 ボールの床衝撃音レベルと低減量

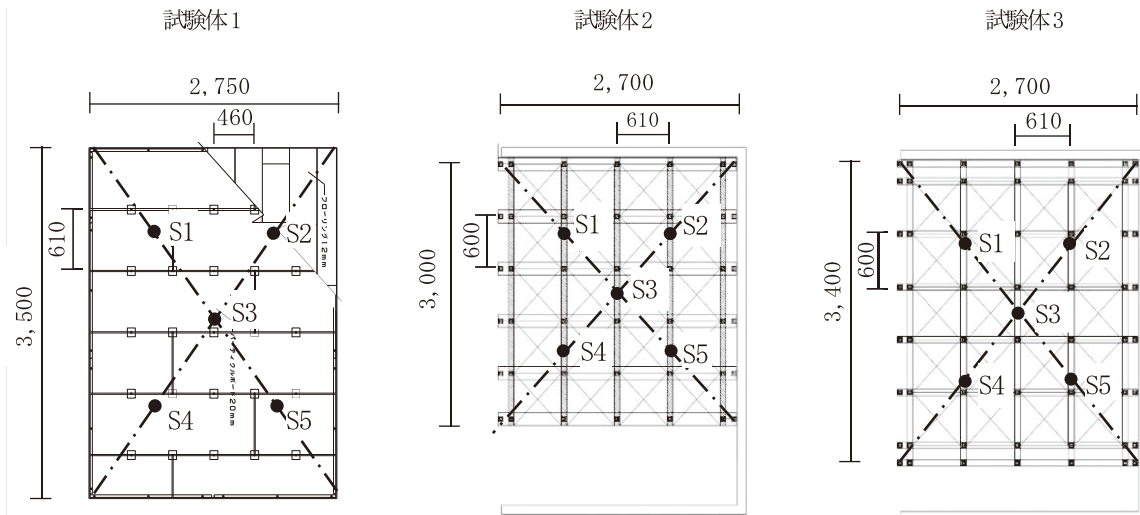


図-4 各試験体の加振点位置と床割付図

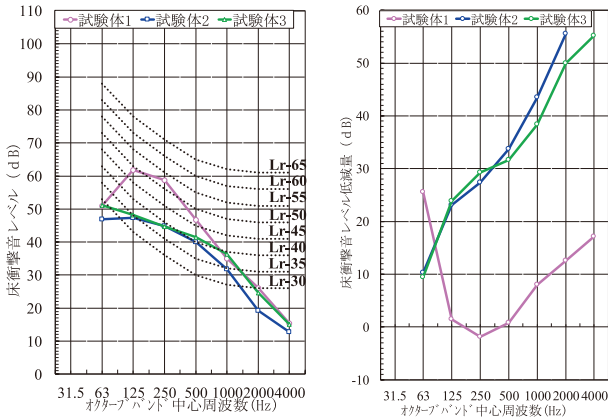


図-7 タッピングマシンの床衝撃音レベルと低減量

(1) 予測計算方法

本章では、2章で求めた荷重分布率をインピーダンス法に適用し、標準重量衝撃力特性(1)および(2)と標準軽量床衝撃源のオクターブバンド衝撃力暴露レベルを、加重点を中心に支持脚部9点に分散させ、加振力がスラブに多点入力するとして扱った際の床衝撃音レベル予測計算を試みた。本章で検討した予測方法(以下、本法と示す)のフローをインピーダンス法と比較して図-8に示す。

本法の予測手順は基本的にインピーダンス法による実用的計算法と同様だが、加振点別インピーダンス上昇量の算出は、9点それぞれで各加振点からスラブ端部までの距離を求め算出した。また、インピーダンス法では加振点別床衝撃音レベルを算術平均し床衝撃音レベルを求めるが、本法ではエネルギー合成を行った。

軽量床衝撃音レベル予測についても同様に加振点9点それぞれで周波数別軽量床衝撃音の算出を行い、エネルギー合成を行っている。

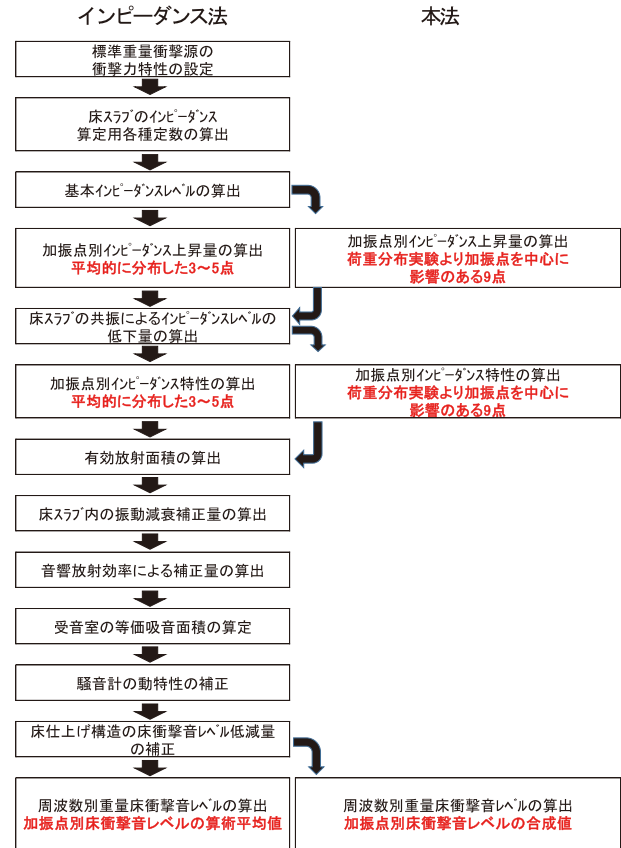


図-8 本法の予測計算フロー(重量床衝撃音)

4.2 予測結果

図-9~11に各衝撃源の重量床衝撃音レベルおよび軽量床衝撃音レベルの予測値と実測値を示す。実測値には前章の測定結果を用いた。

図-9の結果をみると、全ての試験体で高音域では予測値が大きく、低音域では実測値が大きい結果となった。高音域については、既往の研究⁶⁾で述べられているよう

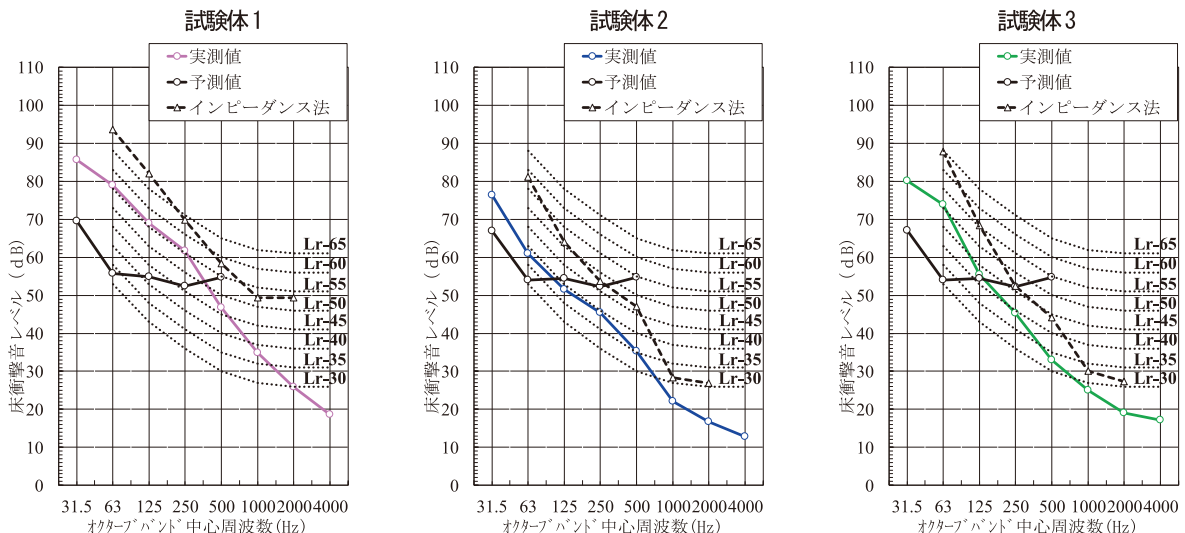


図-9 バングマシンの重量床衝撃音レベル予測値と実測値

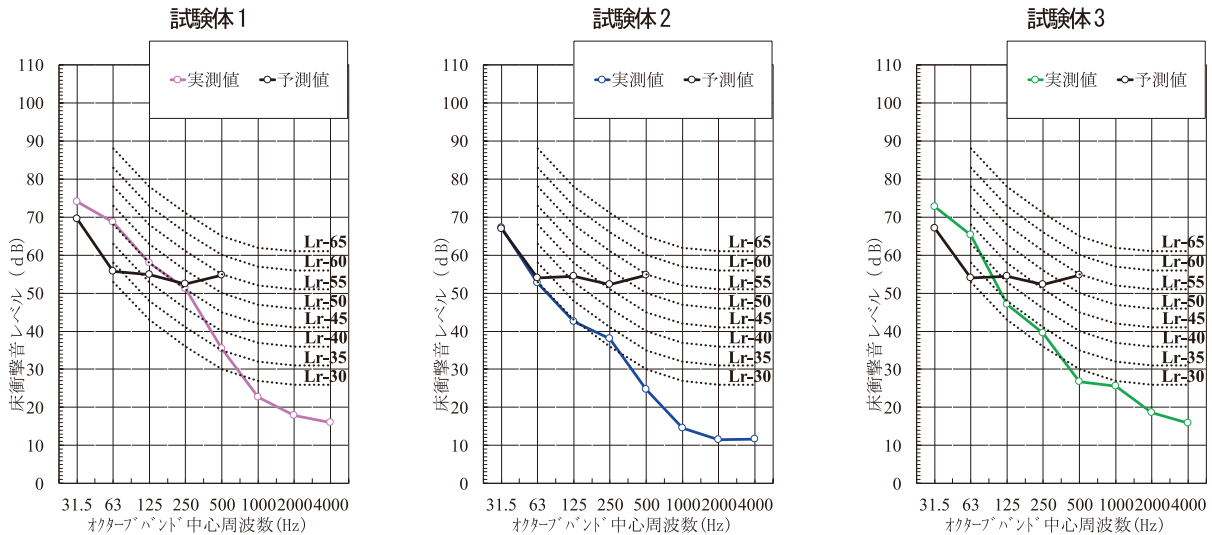


図-10 ボールの重量床衝撃音レベル予測値と実測値

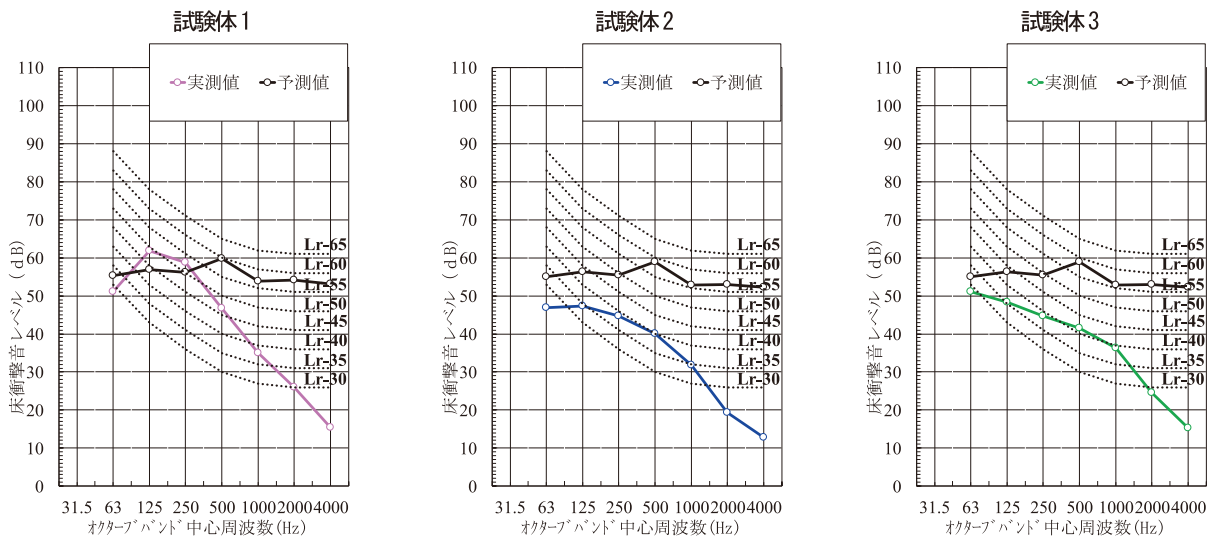


図-11 タッピングマシンの軽量床衝撃音レベル予測値と実測値

に支持脚下に設置された防振ゴムにより高周波成分が除去されると考えられるが、本法による予測値では防振ゴムの減衰率を見込んでいないため過大評価となっていると考えられる。低音域については、既往の研究⁷⁾で述べられている床下空気層を介して伝達される空気加振力の影響が大きいと考えられる。

図-10の結果をみると図-9と同様の傾向がみられるが、すべての試験体でバングマシンよりも空気加振力の影響が小さくなっており、試験体2については63Hz帯域まで実測値とよく対応している。

図-11の結果をみると予測値は実測値よりも大きくなっている。これは、予測値は床板および支持脚下の防振ゴムによる減衰を見込んでいないためと考えられる。

以上のように、衝撃源毎に比較を行ったが、床剛性の違いによる荷重分布率のみの予測では大きな差がみられ

なかった。

5. 小試験体実験

5.1 実験概要

本章では、前章で求めた予測結果と実測値の差の要因と思われる支持脚下部のゴム脚による高周波帯域の減衰と床下空気層を介して伝達される空気加振力の影響について検証するため、小試験体による実験を行った。

(1) 試験体

図-12に試験体の配置図、図-13に各試験体の割付図および断面図を示す。試験体1の寸法は1895mm×1824mm、試験体2の寸法は1895mm×1820mmである。床構成は3章で使用した試験体1および試験体3と同様である。試験体1は剛性の低い一般的な住宅用乾式二重床

仕様であり、試験体2は剛性の高い鋼製床根太システムである。試験体の床下の高さは、試験体1は268mm、試験体2は207mmである。試験体1については支持脚の高さ調整のためにパーティクルボードを5枚重ねている。また、各試験体は図-2に示すような端部仕様は行っていない。

(2) 測定方法

図-14に測定ブロックダイヤグラムを示す。衝撃源は、バングマシン、ボールおよびタッピングマシンとした。乾式二重床面上とコンクリートスラブ素面に振動ピックアップ

アップを設置し、各測定点の振動加速度を測定した。また、支持脚下部とコンクリートスラブの間にフォースセンサーを挟み、各支持脚からスラブに伝達される加振力を測定した。

測定ケースは図-13に示す①~④で行った。加振点はN4点に固定し、ケース①~③は床端部に向けて3点を同時に測定した。ケース④は、加振点N4を中心に両横の位置を測定した。また、全ケースで空気バネの影響を確認するため、木製枠を設置し床面との隙間を粘着テープで塞ぎ密閉状態とした場合と開放状態とした場合を測定した。

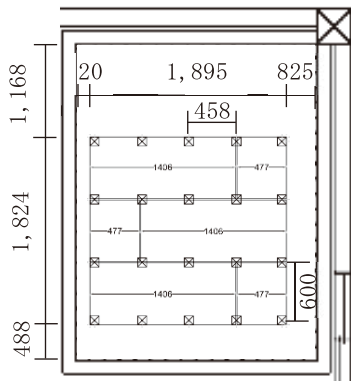


図-12 試験体 配置図

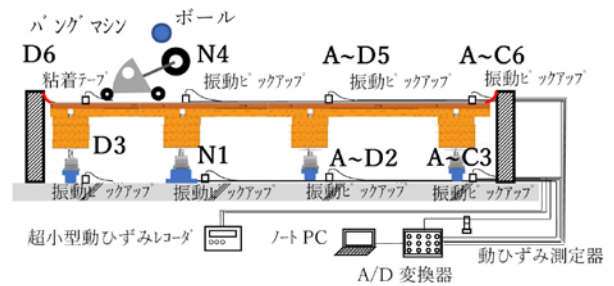


図-14 測定ブロックダイヤグラム

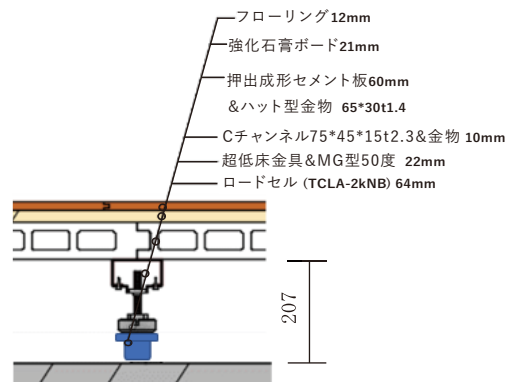
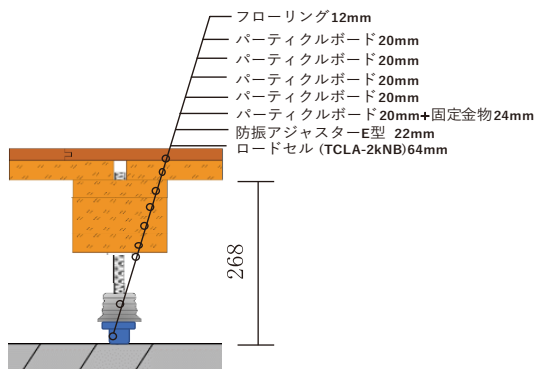
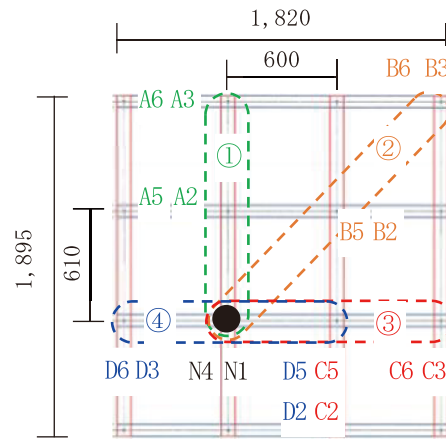
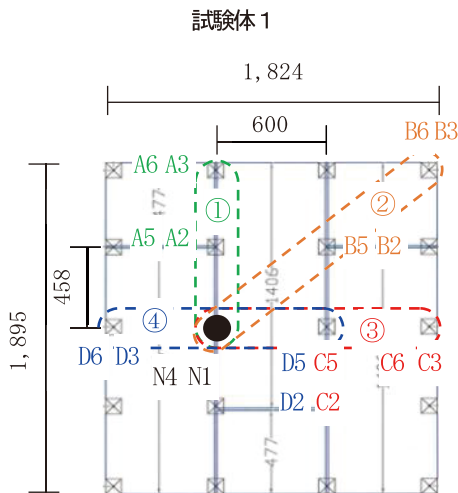


図-13 各試験体の割付図および断面図

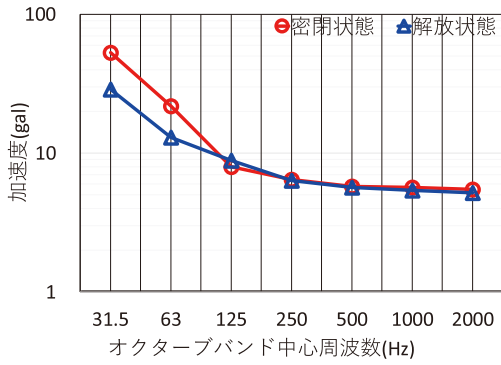


図-15 床端部を密閉・解放状態とした際のスラブ面の振動加速度平均値

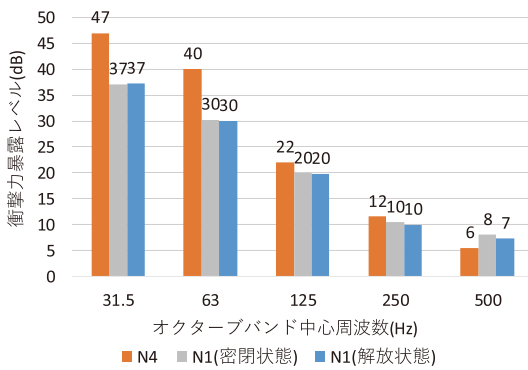


図-16 バングマシン加振点直下の衝撃力暴露レベル

5.2 測定結果

図-15に試験体1で床端部を粘着テープで塞ぎ密閉状態とした場合と開放状態とした場合のスラブ面の振動加速度平均値を示す。衝撃源はバングマシンである。結果を見ると63Hzまで空気加振力の影響があることがわかる。

図-16に試験体1におけるバングマシン加振点部分のN4とN1の衝撃力暴露レベルを算出した値を示す。乾式二重床上のN4とスラブ面N1との差は125, 250Hzでは2dB程度差があり、500HzではN1の値が大きくなっている。また、31.5, 63Hzのほうが125Hz以降よりも減衰量大きい。これは端部処理の影響と考えられる。

図-17に衝撃源をバングマシンとした実測値と測定結果から衝撃力暴露レベルを求め、本法に代入して求めた予測値を3章の実測値と合わせて示す。

予測値は、荷重分布率からの値よりも対応が良く、実測値と傾向は類似しているが5~10dB程度小さい値となっている。これは空気加振力等の他の要因があると考えられる。また、スラブへ入力される衝撃力暴露レベルが荷重分布率で分散した値よりも大きくなっている。これらについては今後の課題としたい。

本章の実測値をみると125Hz以降で、3章の実測値よ

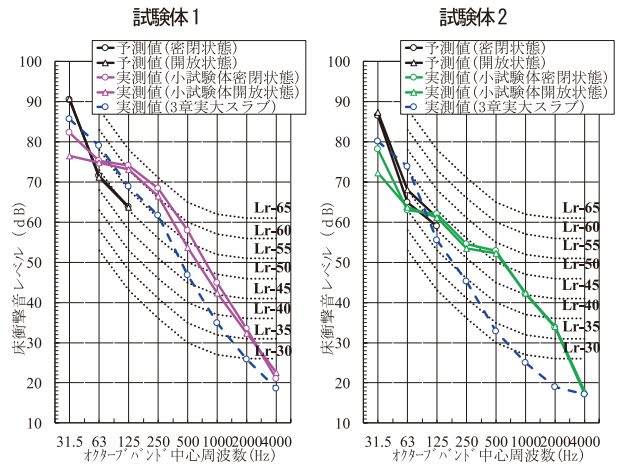


図-17 バングマシンの実測値と本法予測値の比較

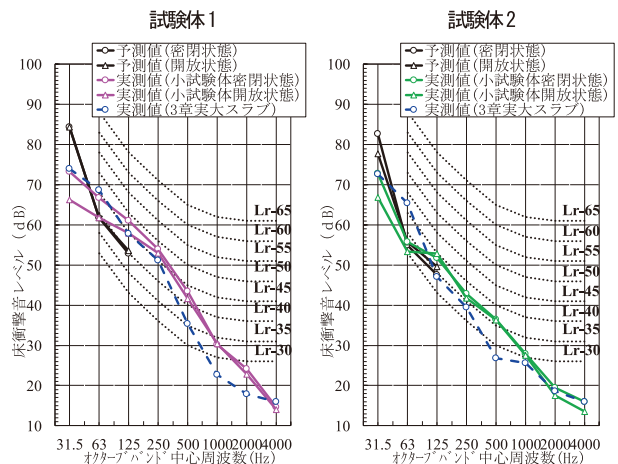


図-18 ボールの実測値と本法予測値の比較

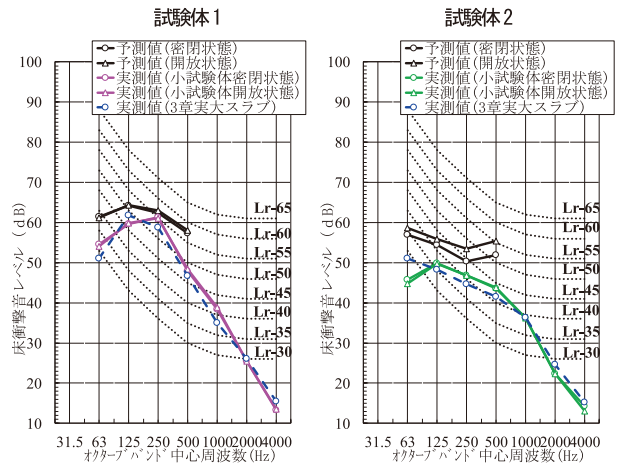


図-19 タッピングマシンの実測値と本法予測値の比較

りも値が大きくなっている。これは端部処理や衝撃源による試験体の跳ねが影響していると思われる。これを加味し予測値は250Hz以降を除外している。

また、同様に図-18に衝撃源をボールとした実測値と予測値を示す。バングマシンと同様に実測値と傾向は類似しているが5~10dB程度小さい値となっており、バングマシンよりの影響は小さくなっているが125Hz以降

で端部処理等の影響がみられる。

図-19に衝撃源をタッピングマシンとした実測値と予測値を示す。軽量床衝撃音でも荷重分布率からの予測値よりも対応が良くなっており、実測値と傾向は類似しているが5～10dB程度大きい値となっている。これは端部処理や衝撃による擦れ等の影響があると考えられる。

6. まとめ

本論文では、局部集中荷重時の乾式二重床脚部の荷重分布からインピーダンス法で床衝撃音レベル予測を試みるため、各実験で基礎的検討を行った。本法による予測では、低音および高温域で実測値と乖離がみられた。これは、高音域については支持脚下に設置された防振ゴムにより高周波成分が除去され、低音域については、床下空気層を介して伝達される空気加振力の影響が大きいと考えられる。

小試験体実験の測定結果から求めた衝撃力暴露レベルを使用した本法による予測では、重量および軽量床衝撃音で荷重分布率からの予測よりも対応が良く、実測値と傾向は類似しているが5～10dB程度乖離が見られた。これは空気加振力および端部処理等の他の要因があると考えられ、これらを加味した荷重分布率からの予測検討が必要である。

参 考 文 献

- 1) 石丸岳史, 高根裕貴, 久米智史, 黒木拓, 大脇雅直, 山下恭弘: 乾式二重床構造の軽量床衝撃音レベル低減量の実用的予測手法に関する基礎的検討 日本建築学会計画系論文集 第781号, pp.237-247, 2021-03
- 2) 浜田由記子, 増田潔, 田中ひかり: 乾式二重床の重量床衝撃音レベル低減量の予測法 その1 躯体床の振動特性の実測値を用いた方法 日本建築学会計画系論文集 pp.189-190, 2017-07
- 3) 日本建築学会編: 建物の床衝撃音防止設計, 技報堂出版 PP11, 2009.11
- 4) 古賀高士, 多野正典, 安藤啓: コンクリートスラブ上に設置された木質系二重床の重量衝撃音改善量に対する空気ばねの影響に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集 第546号, pp.9-14, 2001.9
- 5) 田中元規, 井上勝夫, 富田隆太: 床下空気層による伝達加振力の予測計算方法-床衝撃時における乾式二重床の伝達加振力の予測計算方法 その2-, 日本建築学会学術講演梗概集, 2014.9
- 6) 佐藤伸俊, 井上勝夫, 富田隆太, 池浦春華: 乾式二重床による衝撃力の分散とスラブへの伝達特性に関する実験的検討, 日本建築学会学術講演梗概集, 2003.9
- 7) 奥村晃史, 井上勝夫, 富田隆太, 稲留慶一: 床下空気加振がスラブ振動に与える影響-乾式二重床における床衝撃音発生系の検討 その2-, 日本建築学会学術講演梗概集, 2008.9

Basic study on prediction of floor impact sound level of dry double floor

Ryo SHINDO, Yasutaka UEDA, Fujio SATO, Kenichiro OOASHI and Hisashi NAKAMURA

In order to predict the floor impact sound level using the impedance method from the load distribution of the dry-type double floor support legs under localized concentrated load, a basic study was conducted by several laboratory experiments. First, the load distribution ratio of each support leg was obtained by the load distribution experiment. Next, the load distribution ratio was applied to the impedance method to calculate the prediction of the floor impact sound level, assuming that the impact force is input to the slab at multiple points. However, the prediction results deviated significantly from the measured values. In order to confirm the cause of the deviation, a small specimen experiment was conducted and the impact force exposure level was determined. The prediction calculation using this value showed a better correlation than the prediction calculation based on the load distribution rate.
