

枠組壁工法による床の振動と騒音の特性

— タッピングマシンによる衝撃の場合 —

塩田 洋三[※]・田中 千秋[※]・高橋 徹[※]

Yōzō SHIOTA, Chiaki TANAKA, Akira TAKAHASHI
The Characteristics of Vibration and Noise of a
Residential Floor built by the 2×4 Method.

—Noise and Vibration by Impact Using a Tapping Machine—

1. 緒 言

木造住宅における床は固定荷重や積載荷重に対して、十分な強さと剛性を有し床設計上の許容応力を越えてはならない。同時に住宅は人間が生活する場であるから、快適な居住性が必要である。

住宅における騒音や振動の研究は社会的に重要かつ緊急性のある集合住宅に的を絞り、主流を占めている。しかしながら、我国の住宅の約86%を占める木造住宅を対象にした研究例は少ない。これは木造住宅の大部分が戸建個人住宅で住宅内の騒音や振動の発生原因が家族等であるため、比較的辛抱出来ることによる。しかし戸建住宅と言えども、最近では音に対してもプライバシーが要求されつつある。従って木造住宅の振動・騒音の実態を把握し、その防音・防振対策を検討することは社会的に有意義であると考えられる。

この実験では枠組壁工法で床を施工し、床版を衝撃したときの振動と騒音を測定した。実験に協力いただいた木材加工学研究室の専攻生に謝意を表します。

2. 実 験

2.1. 木造根太床の施工

屋外に6帖間大の鉄筋コンクリート製の布基礎（たて3750×よこ2850×厚さ150mm）を施工し、その上に枠組壁工法の枠組材寸法型式206の土台を置き、アンカーボルトで締付けた。さらに土台上に側根太、床根太を施工した。根太寸法は土台と同じく寸法型式206を用い、根太間隔は心々450mmとした。釘および釘打ち間隔は

すべて住宅金融公庫の工事共通仕様によった。¹⁾

床枠組に使用した構造用材はスギであるが、この樹種は衝撃による撓み振幅が大きく、床版の振動挙動を観察しやすいので供試した。

床下地として、厚さ12mmの構造用ラワン合板（910×1810mm）を用いた。床下張り法は合板の短辺が床根太と直交するように千鳥張りにした（図1）。合板の突合せ部分には40×40mmの受け材を心々91cmに入れた。床版にカーペット（ニードルパンチ）を敷く場合は両面粘着テープでカーペットを床下地に固定した。なお、カーペットの面密度は0.83 kg/m²である。

基礎、土台、根太、床版等で隙間はすべて油粘土でシールし、床下内部への音の漏れを防いだ。

2.2. 測定方法

合板床およびカーペット敷き合板床にタッピングマシンで衝撃力を加え、床版の振動と騒音を測定した。

2.2.1. 振動の測定

衝撃源の位置は床版中央（図1）および端根太から数えて2番目の根太上（図4の×印）とし、床版上の振動加速度レベルを加速度型振動ピックアップで検出した。カーペット敷き床版は合板床下地の振動を検出するためカーペットに振動ピックアップの断面積大の穴を開けて振動ピックアップを合板床下地に瞬間接着剤で接着した。

2.2.2. 騒音の測定

試験法に指定されているように衝撃源を床中央におき、タッピングマシンのハンマーの列が床面の長方形の対角線と直交するように設置した。床版上で受音する場合は床面より45cmの高さ、衝撃源より2, 4, 6, 8m

※ 木材加工学研究室 Lab. of Wood Science and Engineering, Shimane University, Japan

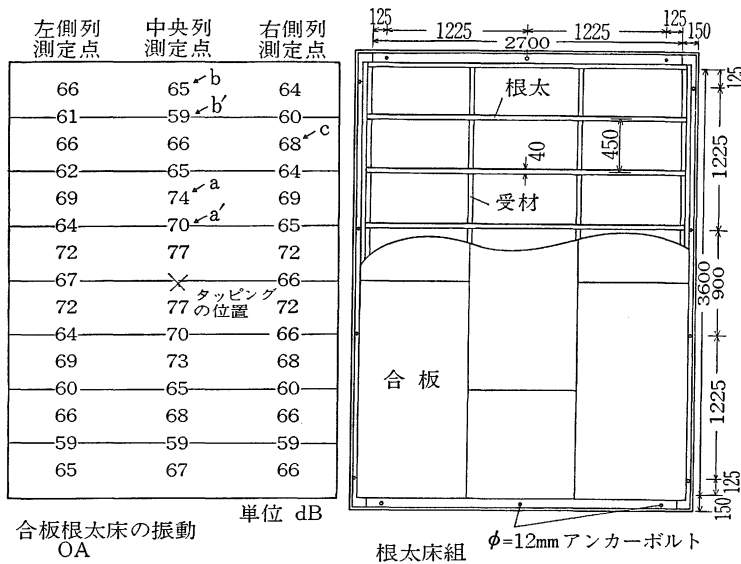


図1 根太床組構造と合板床版の振動加速度レベル (OA)

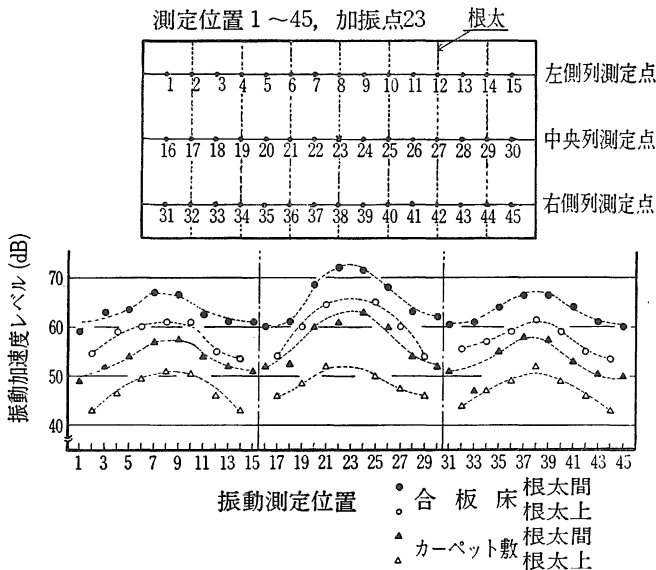


図2 根太間と根太上の振動モード (OA)

の位置にマイクロホンを設置した。床下での受音の場合には床中央と4隅で合板面より40cm下にマイクロホンを設置した。

2.2.3. 計測システム

振動および騒音は $\frac{1}{3}$ オクターブバンドで周波数分析し、レベルレコーダで記録した。振動加速度レベルは $1g=67\text{dB}$ とした。測定周波数域は振動が $3\sim 20,000\text{Hz}$ 、騒音が $20\sim 6,300\text{Hz}$ とした。

測定器はすべてブリュエル&ケア社製を用いた。その機種は、タッピングマシン：3204型、マイクロホン：

コンデンサー型4145型、振動加速度型ピックアップ：4346型、前置増幅器：2635型、周波数分析器：2120型、レベルレコーダ：2305型である。

3. 結果と考察

3. 1. 床版の振動

タッピングマシンは床衝撃音の遮音特性を検討するための標準の衝撃源として ISO および JIS の規格で定められている。この衝撃源は比較的軽くて硬い衝撃に対応しており、床表面の構造特性の測定に適している。この衝撃源を用いて中央根太 (図1×印) および端根太に近い点 (図4×印) を衝撃したときの根太間と根太上の振動特性を、合板床版面およびカーペット敷きの合板床版面について検討を加えた。

3.1.1. 根太間の振動

床面の OA (オーバーオール：全周波数帯域) での振動加速度レベルの分布を図1の左図に示した。測定位置と加速度レベルの分布をさらに図2にも示した。両図より OA 値は衝撃源近くで77 dB、離れた点の最小値が59 dB (合板床) で、その差は18 dBもある。また根太上より根太間の方が約6 dB高い振動加速度の値を示す。

図1と2に示すように床版中央位置の衝撃による振動加速度レベルは床の長辺方向で減少し、また

短辺方向ではほぼ左右対称で中央列の振動加速度がやゝ大きい。ただし、図の右上の振動レベルが他の3隅に比べて僅かに高くなっている (68 dB：図1右図中の矢印Cで示す)。これは床下への出入のため、右上方の布基礎の一部に $70\times 40\text{cm}$ の開口部 (コンクリートの扉付) を設けたことによる。

根太間の振動レベルと周波数の関係を図3に示す。衝撃点から離れると振動レベル差 $\Delta L=12\sim 13\text{dB}$ (図1より)、また図3の測定位置 (図1中の記号 a, b) でも $\Delta L=8.5\text{dB}$ である。図3において、衝撃源近くの測定

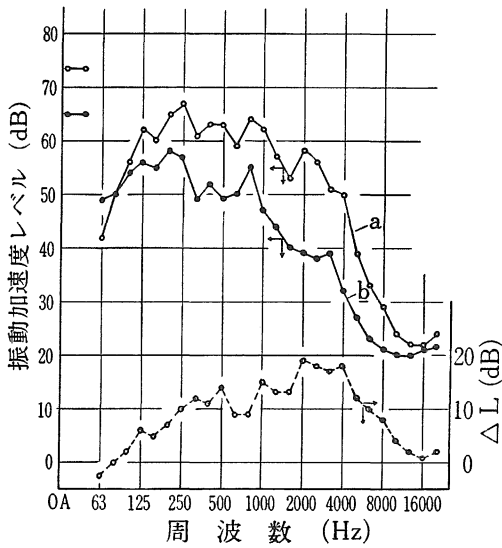


図3 根太間の振動加速度レベルの周波数分析

点（位置は図1のa）の周波数分析では、125、250、500、800、2000 Hzの周波数でピークを有し、離れた測定点（図1の図中のb）では、200、400、800、3200 Hzの周波数にピークを有している。合板床の共振周波数は250 Hzであるから、衝撃力による共振によってオクターブ毎の周期的なピークが現れている。ΔLは低い周波数から4000 Hzまで増加傾向を示し、高い周波数になる程振動の距離減衰が大きい。また周波数4000 Hz以上

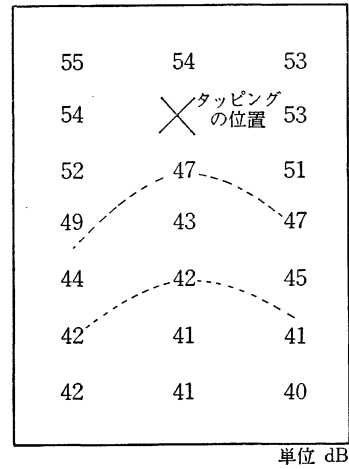


図4 根太上の振動加速度レベル
周波数 200 Hz

になると、ΔLは小さくなる。これは振動加速度レベルが初めから相対的に低いためであり、振動の距離減衰が小さいためでない。

3.1.2. 根太上の振動

図1と図2より、根太床系は床版全体が一体となって振動しているが、床を根太と釘打ちすることによって根太が節、根太間が腹となって振動する現象が明確に観察されるが、両者の差は3~6 dBである。

衝撃点に近いところの測定点では、中央列測定値が両

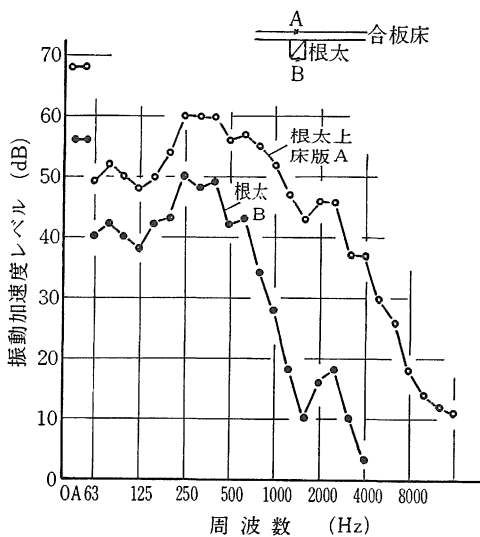


図5 根太上と根太裏の振動加速度レベル
(測定位置：a')

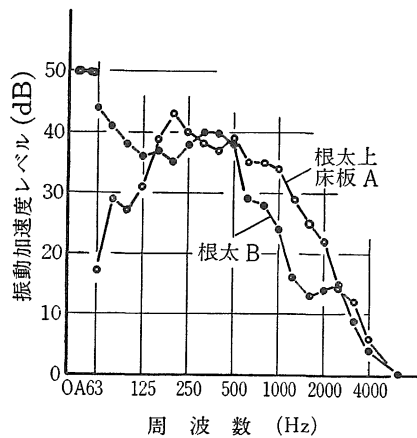


図6 根太上と根太裏の振動加速度レベル
(測定位置：b')

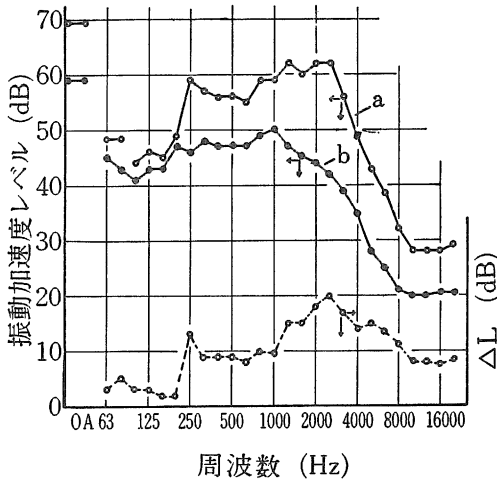


図7 合板床板の根太上の振動加速度レベルと距離減衰の周波数依存性(測定位置 a, b)

側の測定値より高い振動加速度レベルを示すが、衝撃点から離れた端根太に近いところでは固定端の影響ではほぼ同じ振動加速度レベルの分布になる。この様な現象をより詳しく調べるために、端根太近くで衝撃し、OA, 200, 400, 800, 2500 Hz の振動加速度レベルの床面の分布について測定した。その結果 200 Hz の周波数のみが図4に示すように、中央列よりも両側測定点の振動加速度レベルが高くなる特異な現象がみられる。この現象は根太がスパン長を1波長として振動することを示唆するが、これに関しより検討が必要である。

次に合板床の上にカーペットを敷いた状態であるが、合板床版の根太上Aと同時にその直下の根太に直接に(測定位置B)に振動ピックアップを取付け振動加速度レベルを測定した。その衝撃点近くの振動測定点a'(図1)の周波数分析を図5に、離れた測定点b'(図1)のそれを図6に示した。

図5において測定点AとBとは 250~400 Hz の周波数にピークをもった類似の振動スペクトルを示した。根太について言えば、高い周波数になると振動加速度レベルは急激に減少するが、合板床は板振動して根太よりはるかに大きいレベルを示した。衝撃点より離れた点bでは図6に示すように、OA は根太の上下(A, B)で同じ値を示すが、その振動加速度のスペクトルは低い周波数で全く異なり、とくに 63~125 Hz では根太の振動加速度レベルが合板床より大きい。しかもこの値は 40 dB 前後であって、図5の a-B の値と殆んど同じであるから、63~125 Hz の周波数では根太の振動の距離減衰は殆んどない。また 1000~4000 Hz の周波数域でも

根太の振動加速度レベルと周波数スペクトルは殆んど変わらず距離減衰の特徴は見られない。

図7には合板床版の根太上で衝撃点近くの a 点と離れた b 点の周波数スペクトルを示した。OA で 10dB の差が見られ、a 点では 250, 1250~2500 Hz のバンドにピークを有し、むしろ後者の周波数帯が 60 dB 以上を有し、根太間のその場合 125~1000 Hz (図3) に約 60 dB 以上を示すのと対象的である。そして衝撃点より遠くの測定点 b でも周波数 100 Hz より漸増して 1000 Hz にピークを示すが、根太間では 200 Hz にピークをもち、その後は振動加速度レベルが全体に減少する傾向(図3)を示す。以上のように根太間と根太上での振動加速度レベルは前者のオーバーオール(全振動加速度レベル)が高い(図2)だけでなく、周波数分析の結果、前者は 200~250 Hz にピークをもつが、後者は 1000~2500 Hz 付近にピークをもつ特徴を示すことがわかった。しかしながら振動加速度の距離減衰 ΔL には両者の明確な差は存在しない。

3.1.3. 床振動に与えるカーペットの効果

実際の住宅では木造根太床下地の上にフローリングやカーペットが上張りされている。ここでは床下地の上にカーペットを敷きその効果を調べた(図8)。図3で示した測定位置 a で、カーペットを敷いたときの周波数スペクトルと合板床下地のそれを示した。カーペットを敷くと OA 値も低くなるが、周波数スペクトルは 125 Hz まで振動加速度レベルが単調に増加し、125~250 Hz 帯で一定値に達し、それより大きい周波数は単調に減少する。これは床の固有振動数だけにピークが現われ、合板床のようにオクターブ毎のピークは現われない。しかも 4000 Hz をピークとする高い周波数帯の制振効果がある。この効果は ΔL で示される。低い周波数帯では質量則が作用するので、厚手のカーペットや畳等の面密度の大きい材料で床仕上げをしないとレベルは下げられない。

床中央を衝撃し、根太上の中央列測定点の振動加速度レベルMとその両側のレベルNにつき、それぞれの最大値と最小値の差を表1に示した。同表によればOAの振動加速度レベルの距離減衰に及ぼす影響は全くないといつてよく、周波数によっても特別な傾向はみられない。

3.2. 床衝撃音

3.2.1. 床版上の衝撃音

反射波や定在波の少ない床衝撃音そのものを測定するために、根太床が野外に設置された。したがって床上は自由音場に近い。衝撃源より 2, 4, 6m における OA を求めるとそれぞれ 94, 86, 81 dB であった。このと

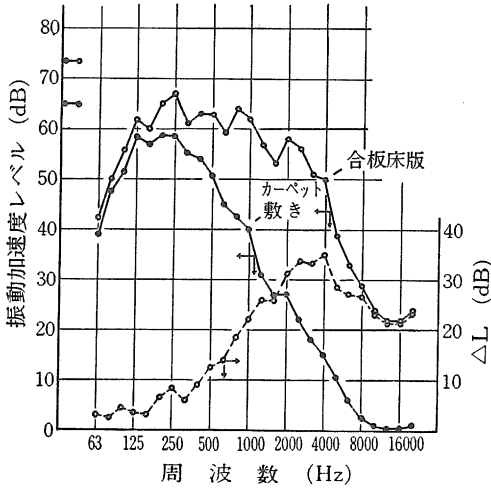


図8 根太間の床版上の振動加速度レベルの周波数分析(測定位置: a)とカーペットの減衰効果 L

表1 周波数に与えるカーペットの効果 (dB)

周波数Hz	OA		250		500		1000	
	M	N	M	N	M	N	M	N
合板床版	11	7	13	8	18	14	20	10
合板床下地+ カーペット	10	7	18	12	18	18	18	15

M: 中央列測定値の差 N: 両端列測定値の差

きの暗騒音は 63 ± 2 dB であったから測定値に影響しない。これから距離の対数と音圧レベルの勾配を求めると、約 7.5 dB/oct. であった。自由音場のときの点音源からの距離が倍になると 6 dB 低下し、線音源では 3dB 低下する。面音源でも距離が1辺の長さの1/4程度以上になると点音源の特性に移行する⁴⁾。これらのことから、この実験場は点音源に近い性質をもつといえる。

衝撃源の位置より 2m の距離における床衝撃音の周波数スペクトルを図9に示した。同図によれば 160~250 Hz の周波数で床衝撃音レベルにピークをもつ。振動加速度レベルのピーク周波数が 250 Hz であるから、床衝撃音の方がやゝ低い周波数からはじまる。振動加速度レベルと床衝撃音レベルの間には 250 Hz でピークをもつ点で、固有振動数が一致する。カーペットを敷いた場合、160~250 Hz にやはり床衝撃音レベルにピークをもつ。振動加速度レベルのピーク帯が 125~250 Hz とほぼ床衝撃音レベルのピーク帯と一致する。カーペットを敷

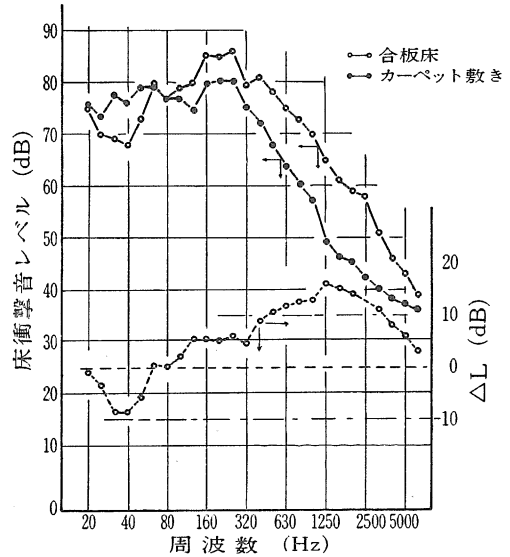


図9 合板床にカーペットを敷いた床衝撃音効果

いた場合の床衝撃音レベルは 20~64 Hz で大きいことは注目に値する。また減音量 ΔL をとればカーペットの効果は周波数 320 Hz より大きい中高音域で大きい。周波数 64 Hz より小さい場合、その効果はマイナスとなって低い周波域ではかえって大きい音圧レベルになる。

3.2.2. 床下の衝撃音レベル

施工した床下は周囲が布基礎で囲まれ、内部の地面は砂を敷いて床下の高さを一定にした。このような状態のために床下は非常に反射し易い音場である。したがって OA も 108 dB と床上の床衝撃音レベルより約 15 dB も高い。床下中央部の床衝撃音の周波数スペクトルを図10に示す。低い周波数域で高いレベルを示し、特に 80 Hz にピークを有し、それより高い周波数では漸次減少⁵⁾する。床下空間の固有振動数は次式で表わせる。

$$f_n = \frac{C}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{L_z}\right)^2}$$

ここで $C=340$, $L_x=3.6$, $L_y=2.7$, $L_z=0.54$, n_x, n_y, n_z は任意の整数。この式に $n_x=1, n_y=0, n_z=0$; $n_x=0, n_y=1, n_z=0$; $n_x=1, n_y=1, n_z=0$ をそれぞれ代入すると、47, 63, 79 Hz となり、とくに $n_x=1, n_y=1$ の固有振動が周波数スペクトルに大きな影響を与えている。この 80 Hz のピークはタッピングマシンや合板床組の固有振動数でないことがわかった。したがって、この状態の実験施設の床下の騒音は材料特性で決まるだけでなく、空間の定在波が大きな影響を与えている。

摘 要

枠組壁工法により、6帖間大の木造根太床を布基礎上に施工し、タッピングマシンで衝撃し、振動および騒音の特性を調べた。得た結果を要約すると、

1) 根太上および根太間の合板床版の振動加速度レベル差は3~6 dBで小さい。床全体は一体となって振動し、振動加速度レベルは12~13 dBの差がみられる。またレベルの距離減衰もカーペットの有無に関係なくOAはほぼ等しい。

2) 根太の振動は一般にスパン中央部で振動加速度レベルが大きい。衝撃場所が端根太近くのスパン中央に設置され、しかも周波数200 Hzのみは根太中央列よりも両側の振動加速度レベルが高いという特異な現象を示す。

3) 根太の真上の合板床部分と根太自体の振動の関係は衝撃点近くでは類似した周波数スペクトルを示すが、衝撃点より離れた端根太近くの根太では両者の周波数スペクトルは異っており、根太自体は低い周波数成分の振動が主となる。

4) 床にカーペットを敷いても合板床に伝搬した振動の距離減衰は殆んどない(図3と図7の ΔL の比較)ことから、カーペットの自重による制振作用は小さく、カーペット敷きの制振作用は衝撃源において衝撃エネルギーを吸収する効果が主であると判断した。

5) 床上での騒音レベルの周波数スペクトルと振動加速度レベルのそれとの間に明らかな関係がみられた。一方、床下の騒音の周波数スペクトルは床下の空間の固有振動数との複合したスペクトルを示した。

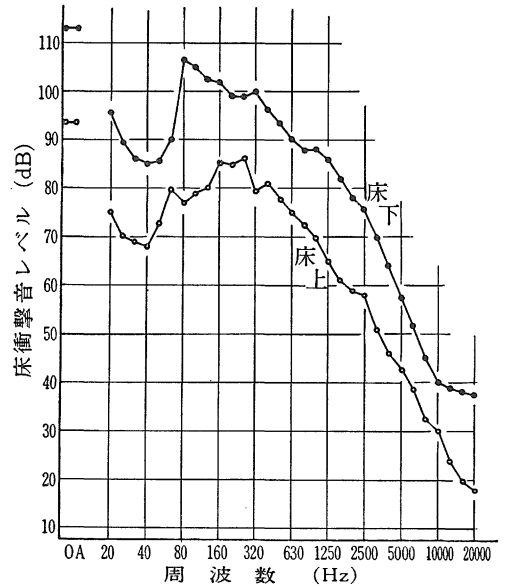


図10 床上と床下の床衝撃音レベルの周波数分析

引用文献

1. 塚本堯編：ツーバイフォーの基礎知識 日本林材新聞社 1975.
2. 大川平一郎：音響技術 5 321-334, 1976.
3. 木村翔：建築音響と騒音防止計画 彰国社 東京 1977, p. 121.
4. 安岡正人：音響技術 5 229-247, 1976.
5. 前川純一：建築音響 共立出版 東京 1968, p. 28.

Summary

A test wood joist floor was constructed with the two by four construction system. Floor size was 3700×2850 mm. Nominal 2 by 6 inch joists, spaced 18 inches, were straight-nailed. Plywood was laid with staggered joints with the longer sides perpendicular to the joist span. The floor was impacted with a tapping machine. Vibrations and noise of the plywood floor were measured before and after addition of carpeting.

The distribution of acceleration level generally showed radial decay but this decay did not show at low frequencies. The floor vibrated with nodes at the joists and antinodes at the plywood surface between joists. The difference of levels was about 6 dB. On the addition of carpet, vibration was damped above 500 Hz. The main effect of carpet on vibration was assumed to be absorption of impact energy. The impact sound level of the floor had a peak value at about 85 dB at 160-250 Hz above the floor. The spectrum was similar to the vibration spectrum near the impact source. Below the floor, impact sound level showed a different spectrum from that found above the floor. This result was attributed to room modes being excited below the floor.