

木質パネル床の床衝撃音

塩田 洋三*, 高橋 徹*, 田中 千秋*

Yozo SHIOTA, Akira TAKAHASHI and Chiaki TANAKA

Impact Sound Insulation of Wooden Panel Floor

1. 緒 言

子供の跳びはねや家具の移動などによって、二階床が衝撃加振されるとき発生する騒音は、非常に大きく、やかましい。この騒音が社会問題とならないのは、木造住宅の大部分が戸建であり、騒音の発生者が主に家族であるという心理的な効果によるものであろう。

しかし、最近戸建住宅においても、工業化住宅では住宅性能評価の1因子として遮音等級が用いられていることを考えると、木造住宅においても遮音性能の系統だった研究が必要である。

本報告では木造軸組工法の改良と合理化のテーマのもとで、提案されているパネル床を参考に実寸の試験体を作り、床衝撃音に対する遮音性能の面から検討した。そして、パネルの遮音性を向上させるために床構造と材質を変えたパネル系についても検討を加えた。

実験結果は一部実用面を考慮し、JIS-1419の床衝撃音レベルに関する遮音等級の基準曲線と関連づけて論じた。

研究を行うにあたり御助言を頂きました京都大学木材研究所佐々木光教授に感謝の意を表します。

2. 実 験

2.1 試験床

床面の広さは、3,600×2,700mm、その周囲に550(高さ)×150mm(幅)の布基礎をつくり、布基礎上に120×300mmの床梁を置き、その上に60×12mmの根太を450mm間隔で渡し掛けた。これは在来工法の二階床組を想定したものである。この根太上に合板(厚さ12mm)を床下地として張りつけ、畳を敷いた。ただし、床面のほぼ中央部近くに、900×1,800mm(一畳分)の大きさは床下地の合板を張りつけずにおき、ここに試作

した900×1,800mmの床パネルをはめ込み、6点でL型金具によって根太上に取付け固定した。

床パネルの枠および棧木には、米松の角材30×70mmを用いた。棧木はFig. 1に示した3種類の構造に組んだ。

この棧構造の上面または下面に構造用合板・P(厚さ12mm、面密度6.3kg/m²)、インシュレーションボード・I(厚さ12mm、面密度3.9kg/m²)、および合板フローリング・F(厚さ12mm)などの板材料を張った。また、石コウボード(厚さ9mm、面密度9kg/m²)やグラスウールボードを組み合わせて各種のパネルを製作した。

なお、中空部に入れたグラスウール・G₁のかさ比重は32kg/m³、パネル下部に敷いたグラスウールボード・G₂のそれは96kg/m³である。これら、パネルの構成をFig. 1に示した。

2.2 測定方法

床衝撃音発生器としてJIS規格(JIS A 1418)に規定されているタッピングマシン(B&K 2304型)とタイヤを用いて、パネル中央部を衝撃した。床衝撃音は床下より45cmの位置に設置したコンデンサー型マイクロホン(B&K 4145型)によって受音された。床の振動はパネル床の上面および下面の所定の位置に瞬間接着剤で取付けた振動加速度型ピックアップ(B&K 4346型)によって検出された。

床衝撃音および振動加速度レベルは周波数分析器(B&K 2120型)を用いて1/3オクターブ分析した。分析した周波数域はタッピングマシンで20~5,000Hz、タイヤでは15~4,000Hzである。なお、振動加速度レベルの10Gを77dBとした。

3. 結果と考察

3.1 パネルの棧構造

Fig. 1に示した3種類の棧構造を有する枠の上、下面

* 木材加工学研究室

に合板を張った P-P 構造のパネル床をタッピングマシンおよびタイヤで衝撃し、床衝撃音特性を調べた (Fig. 2, 3, 4). Fig. 2 に示すようにタッピングマシンで衝撃すると、3 種類の床パネルともに 40~50Hz と 200~400Hz にピークを有する床衝撃音特性を示した。このうち、高い方の周波数域 (200~400Hz) では棧構造の違いによって、床衝撃音レベルと、そのピーク周波数に差がみられた。すなわち、パネルの棧木の組み方が、160~400Hz の周波数域の音圧レベルに影響することがわかった。

つぎに、これらパネルについて、JIS 規格の床衝撃音レベルに関する遮音等級との関係を探るために、これらパネルの床衝撃音レベルを 1 オクターブ帯域のレベルに換算し、それらの周波数特性を Fig. 3 に示した。測定値の各周波数のレベルが JIS の遮音等級曲線 (点線) を越えない限界の L 曲線の等級で遮音評価基準が決定される (ただし、2dB 以下の越えは許容される)²⁾。この図から No. 1, No. 2, No. 3 における棧構造のパネル床の床衝撃音レベルの遮音等級は、それぞれ L-105, L-100, L-100 とランク付けされる。No. 2 と No. 3 は同じ等級 (L-100) であるが、その遮音等級を決定しているのは 500Hz のピークであり、No. 2 は No. 3 よりも 4dB 低く、あと 1dB 低いと遮音等級は 1 ランク改良され、L-95 となる。したがって、3 種類の棧構造のパネル床のなかで、No. 2 が床衝撃音に対して遮音性のよい構造といえる。

タイヤで衝撃したときの、床の床衝撃音レベルを Fig. 4 に示した。低い周波数では音圧レベルが高く、63Hz 以上の周波数でレベルは漸次低下する。低い周波数でのレベルが高いのは、衝撃源 (タイヤ) の固有振動数が約 25Hz であることによる。またタッピングマシンと同様に、床衝撃音レベルは、No. 2 が他のパネルよりも概して低いので、遮音等級はすぐれている。すなわち、オクターブバンドに換算して求めた遮音等級は、No. 1 が L-95, No. 2 が L-85, No. 3 が L-90 であった。これは前述のタッピングマシンのそれぞれの遮音等級よりもよく、この構造の遮音等級を決定する衝撃源は、タッピングマシンであることがわかった。

3.2 合板両面張りのパネル (P-P 構造)

P-P 構造のパネルは、ストレススキンパネルとして通常、耐力壁用に使われている。この P-P 構造のパネルと合板をパネル片面に張った P-構造のパネル (Fig. 1, B) とをタッピングマシンで衝撃した時の床衝撃音レベルを Fig. 5 に示した。P-構造の音圧レベルのピークは 125Hz で、P-P 構造のそれは 40~50Hz, 200Hz および 500Hz にみられた。合板床板の曲げ固有振動数は次式に示される。即ち式 $f_1 = 0.368 \rho c h^2$ (ただし、 ρ : 密度、 c : 材料の縦波の伝搬速度、 h : 材料の厚さ)。この式に合板の実測値 $\rho = 600 \text{kg/m}^3$, $c = 3,800 \text{m/s}$, $h = 0.012 \text{m}$ を代入すると $f_1 = 121 \text{Hz}$ となる。したがって、P-構造における 125Hz のピークは、床板の曲げ固有周波数であることが判る。一方、パネル床下面にも合板を

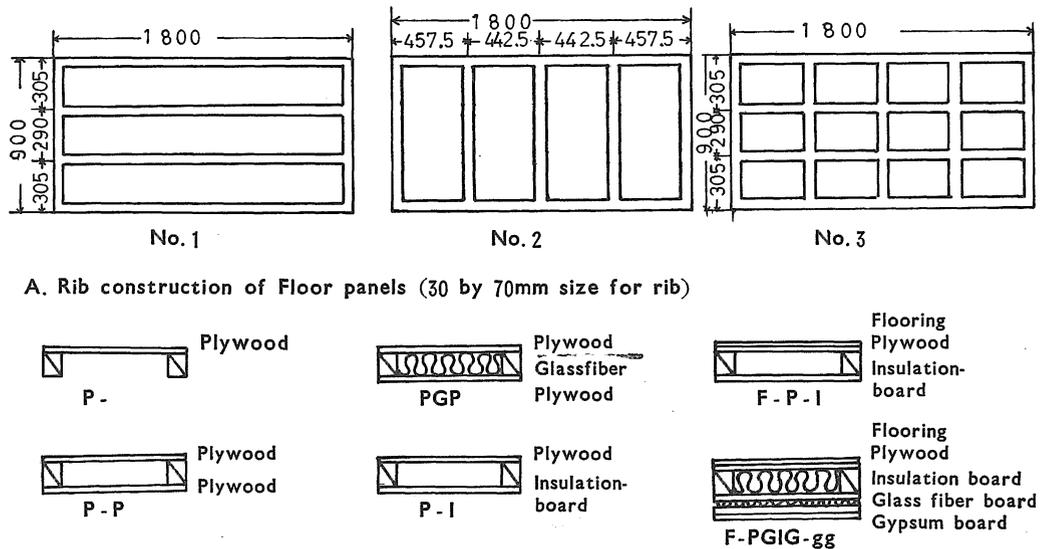


Fig. 1. Rib construction and structural details of floor panels.

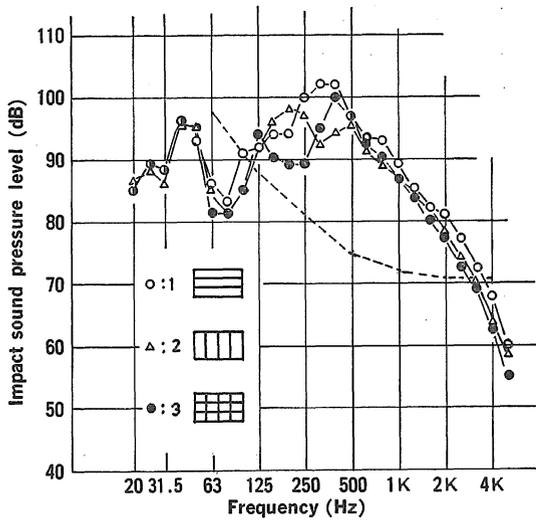


Fig. 2. Impact sound pressure levels of three ribbed floors
Panel structure: P-P type, Impactor: tapping machine.

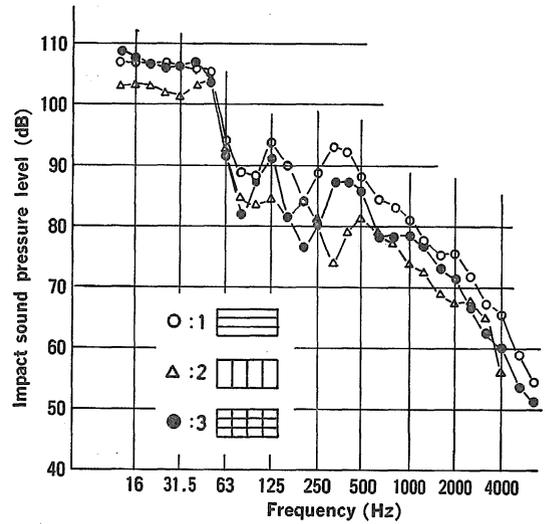


Fig. 4. Impact sound pressure levels of three ribbed floor panels
Panel structure: P-P type floor, Impactor: tire.

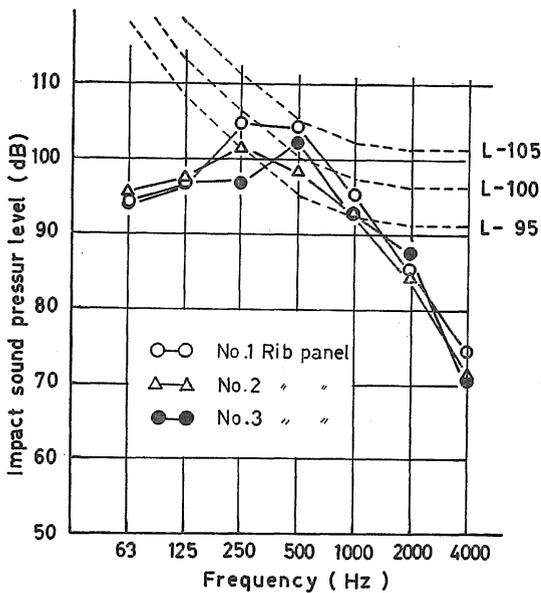


Fig. 3. Impact sound pressure levels of three ribbed floor in octave band center frequency.
Panel structure: P-P type, Impactor: tapping machine. Broken-line: noise rating curves specified by JIS.

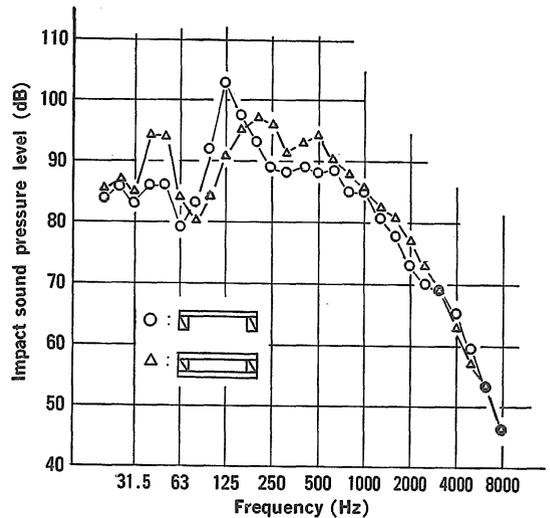


Fig. 5. Impact sound pressure levels of single and double floor panels
Impactor: tapping machine.

貼り, P-P 構造にすることによって, 125Hz の音圧レベルは低減されるが, 音圧レベルのピークが移動し, 200Hz および 500Hz においてピークを示した。なお, 40~50Hz のピークは, 床下の残響時間がこの周波数で

長く, 下部空間の特性によるものである。一方, P-P 構造においては, 床板振動により中空空気層と下部合板を共振させるので, この共振がピーク周波数を決定している重要な因子と考えられる。すなわち, 中空層をもつ板の共振周波数は, 次式で与えられる。

$$f_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1.4 \times 10^6 + \frac{K}{\rho h_0}}{\rho}}$$

ここで h_0 : 中空層の距離 0.07m, K: 合板の剛性 $400 \times$

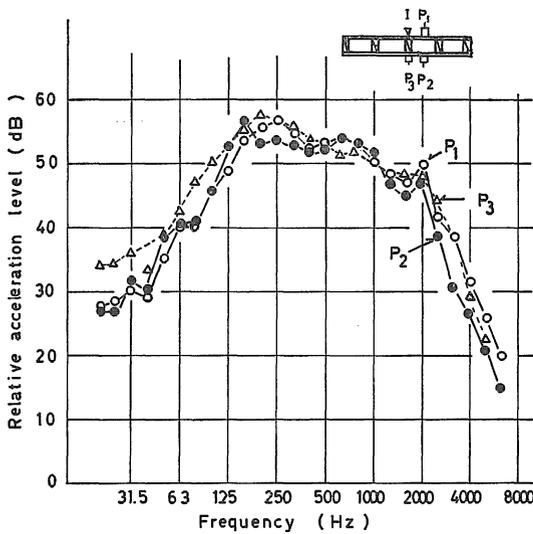


Fig. 6. Relative acceleration level of a double floor panel.

I: impact location of tapping machine, P₁, P₂, P₃: sensor location.

$10^4 \text{ kg/m}^2 \text{ sec}^2$ から $f_2=230\text{Hz}$ をえる. 1/3オクターブ分析では 200Hz を中心にピークを示している. また 2 番目のピークは $2f_2=460\text{Hz}$ に最も近い分析値 500Hz にピークがみられる.

次に P-P 構造において, 打撃面の位置による床板や下面合板の振動加速度レベルの応答を測定した (Fig. 6).

棧木間を衝撃すると 150Hz の振動加速度レベル (P₃) にピークがみられ, それよりも大きい周波数においてレベルは著しく低下する. 一方, 棧木上を衝撃すると, 棧木間の上, 下面合板の振動加速度レベル (P₁ と P₂) はほぼ等しい挙動を示した. P-P 構造の床構造の床衝撃音と振動加速度レベルを比較すると, 床衝撃音レベルが 200~250Hz と 500Hz にピークを有する周波数特性を示すので, 棧間よりも 棧上衝撃の振動加速度のそれに近い. このパネルの床衝撃音は棧木間の合板の曲げ振動による放射音よりも, パネル全体が一本となった曲げ振動による放射音がより支配的であると考えられる.

なお, データは示さないが次の 2 つの現象もあきらかになった.

1) 一般にパネルに断熱性をもたせるために, P-P 構造の中空部にグラスウールを挿入した構造 (PGP 構造) が用いられる場合があるが, このグラスウールは 800Hz 以上の比較的高い周波数では効果があるが, それよりも低い周波数では効果はなく, 音圧レベルは変化しなかつ

た. そのため遮音等級は P-P 構造と同じであった.

2) P-構造はこの合板の上面に合板フローリング (F) を張った F-P 構造に仕上げられるのが一般的である. しかし, フローリングを張っても床衝撃音の遮音等級は P-構造のそれと変わらなかった. これはフローリングに入力されたパワーがほぼそのまま下地合板に伝搬し, 下地合板から音が放射されるためである.

これらの事実から, パネル中空部にグラスウールを挿入したり, 合板下地の上に合板フローリングを重ね張りしても床衝撃音の遮音等級は改善されないことが確認された.

3.3 合板—インシュレーションボード構造 (P-I 構造)

P-P 構造のパネルは, 下面合板の共振により, 音が放射されるために遮音性がよくない. そこで, 合板の代わりに, 放射音が少ないと考えられるインシュレーションボードを下面に張った P-I 構造のパネルを作り, 実験

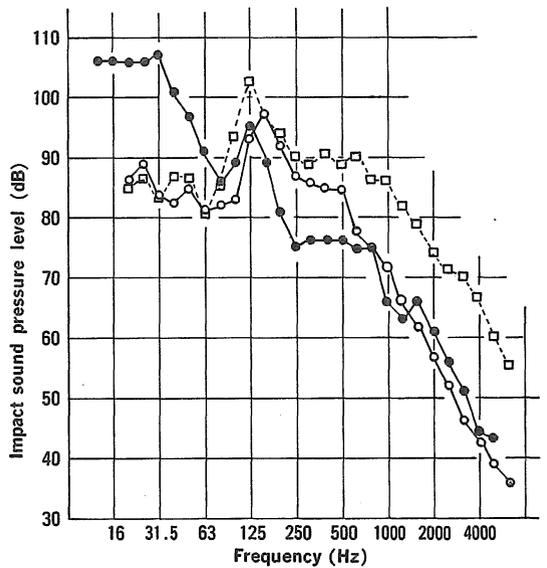


Fig. 7. Impact sound pressure level of P-I type floor panel

- : P-I type floor impacted by tapping machine,
- : P-I type floor impacted by tire,
- : P- type floor impacted by tapping machine.

に供した. タッピングマシンで上面を打撃すると, Fig. 7 のように床衝撃音レベルは, 全体として P-構造よりも低い. 160Hz に音圧レベルのピークがあるのは, P-I 構造のパネル曲げたわみによる固有振動数がこの付近に

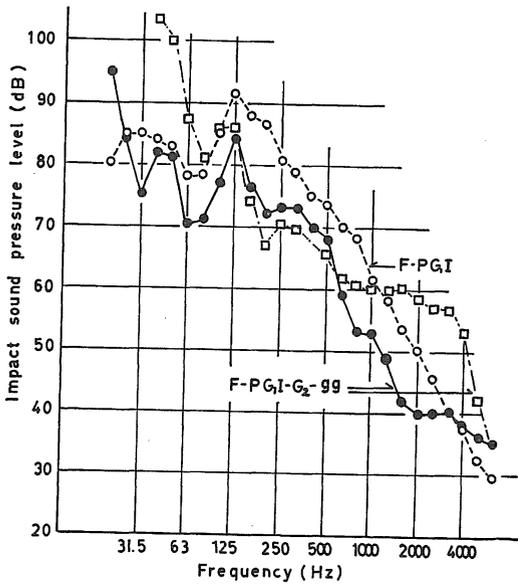


Fig. 8. Impact sound pressure level of floating floor
 ○ : floating floor impacted by tapping machine,
 ● : floating floor impacted by tire,
 □ : F-PGI type floor impacted by tapping machine.

存在するためである。しかし、P-構造の遮音等級を決定している500Hz のレベル (Fig. 3) は、P-I構造で低減しているために、遮音等級はP-構造のL-95から L-90 に改善される。勿論、P-P 構造の L-100 よりもはるかによい。

タイヤによる衝撃についても、同様の理由から P-構造の L-90 から L-85 に改善された。

以上の結果から、P-I 構造にすることによって P-や P-P 構造に比べて床衝撃音の遮音性能が改善されることが判った。

3.4 パネルの乾式浮床構造

P-I 構造の遮音等級は、160~500Hz の床衝撃音レベルによって決定されていた。この周波数域の音圧レベルが大きい原因の1つには、インシュレーションボードの面密度が小さく、透過損失が小さいため、上面の合板から放射された音が十分減衰せずに下部空間に伝搬するためである。そこで、面密度を大きくし、遮音性を増加させるためにパネル床の下面にセッコウボードを2枚重ね敷きした。このとき、パネル下面に直接セッコウボードを敷くと、P-P 構造の結果からも推測できるように、パ

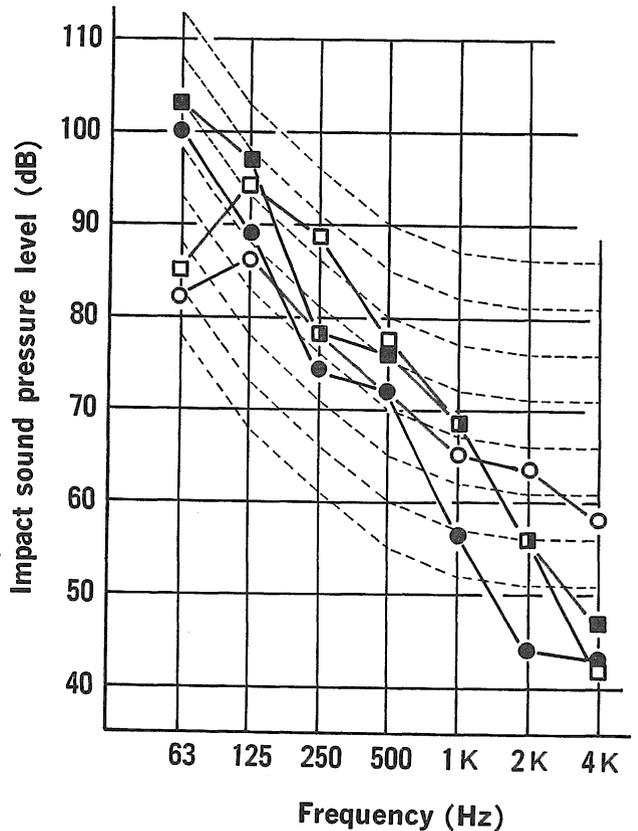


Fig. 9. Impact sound pressure levels of floating floor in octave band center frequency
 Floating floor impacted by tapping machine (○) and tire (●), F-PGI type floor impacted by tapping machine (□) and tire (■), Broken-line: noise relation curves specified by JIS.

ネルの振動がセッコウボードに伝搬し、このボードから二次的に音が放射される。そのため、本実験ではパネルとセッコウボードの間にかさ比重の大きいグラスウールボードを挿入し、乾式浮床とした (Fig. 1)。この浮床構造の床衝撃音特性を Fig. 8 に示した。グラスウールボードとセッコウボードの効果を調べるために、これらを敷いていない F-PGI 構造のパネル床の音圧レベルを比較のために同図に併せ示した。タッピングマシンで衝撃すると、F-PGI 構造に比べ乾式浮床構造では 63Hz 以上の全ての周波数で床衝撃音レベルが低下している。また、PGI 構造で指摘した 160~500Hz のレベルも約 8.5 dB 低下しており、この構造のパネルは遮音性能が優れていることが判る。

一方、タイヤで衝撃したときも 63Hz 以上の全測定周波数域でレベルの低減がみられる。Fig. 9 に中心周波数

が1オクターブ帯域の床衝撃音レベルを示した。タッピングマシンによる衝撃では、乾式浮床構造の遮音等級はL-75となり、F-PGI構造のL-85と比べて2ランク改善されている。タイヤによる衝撃でも遮音等級はL-75とタッピングマシンのそれと同じであった。しかし、63 HzのレベルはF-PGI構造のそれと比較して約3dBしか低下せず、これ以上多層の複合パネルにしても遮音性を改善することは困難であると考えられる。それは、本研究では、パネル床を設置した部分以外の周囲が合板下地に畳を敷いた床構造になっているため、周辺部の遮音性を向上させない限り実験の意味がなくなるからである。

本実験で検討したパネル床の遮音等級は、実際の住宅に施工した場合よりも悪い。その原因は、次の2つの理由による。(1)受音した床下の空間は布基礎内であり、周囲はコンクリートで地面には砂が敷かれているので拡散音場的で音が蓄積されるため。(2)一般の住宅では少なくとも受音点は2階床から約1.5m以上は離れており、かつ一階に天井がある。しかし、本実験では、床下45cmの点で受音している。

ちなみに、本学にある6畳大の2階床に合板を張ったとき、床衝撃音の遮音等級はタッピングマシンによる衝撃でL-80と測定されたが、本実験のP-構造ではL-100となっている。両者に構造的には差がないので、遮音等級は同じになるはずである。エネルギー的にみて単純計算は必ずしも成り立たないが、両者を比較すれば、本実験のL値から20を差し引いた値が現場施工時の遮音等級とするならば、乾式浮床で得られたL-75は現場施工すればL-55となることになり、非常に遮音性の良い床になっていることが判る。

4. 摘 要

床衝撃音に対するパネル床の遮音性をパネルの構造お

よび材料の面から検討した。なお、これらの床衝撃音レベルをJISの遮音等級(L値)によってランク付けした。以下、実験結果を列記する。

1) パネル床の棧構造を変えた場合、床衝撃音に対する遮音性がよいのは横棧構造(Fig. 1のNo. 2)であった。

2) P-P構造のパネルは上、下面合板が一体となって曲げ振動し、下面から音が放射されるために遮音性が悪いと考えられる。そこで、床下面に音を放射し難いインシュレーションボードを張り付けた。このP-I構造にすると、P-P構造より床衝撃音レベルは低減される。しかし、低い周波数ではその効果は小さい。

3) 低い周波数の床衝撃音を遮音する目的で乾式浮床工法のパネル床を施工した。この構造のパネルは試作したパネル中、最も良い遮音性を示した。本実験のパネル床の周辺の条件のために、これ以上の複合パネルの実験は行わなかった。しかし、床衝撃音の遮音等級の面から検討して、現場施工ではこの系のパネルで十分な遮音性能を持たしうると判断した。

4) 本実験のパネル床の床衝撃音レベルに関する遮音等級は、全てタッピングマシンによる床衝撃音レベルによって決まり、タイヤによる衝撃の遮音等級はタッピングマシンのそれと同等か、それ以上であった。つまり、衝撃音が木質材料のときは、パネル床の遮音等級を決定する衝撃源はタッピングマシンである。

引用文献

- 1) 日本住宅木材技術センター編：木造軸組工法の改良と合理化、オーム社、東京、1979、p. 10.
- 2) 日本建築学会編：建築物の遮音性能基準と設計指針、技報堂出版、東京、1979、p. 11.
- 3) 安岡正人：音響技術、6、267-293、1976.
- 4) 前川純一：建築音響、共立出版、東京、1972、p. 64.

Summary

The results of an investigation of impact sound insulation provided by wood panel floors are described. The effects of changes in floor panel design are discussed.

The sound pressure level decreased in selected panels when they were impacted by tapping machine. Floating-floor construction was especially good for sound insulation when impacted by a tapping machine, since sound pressure level decreases even at low frequencies. However this floor did not improve in rank with respect to sound insulation when the floor is impacted by a tire, because of no improvement at 63 Hz.

It should be further investigated whether the use of a tire as impactor permits correct evaluation of sound insulation of floor of wood frame houses.