

# 床 衝 撃 音 に 関 す る 基 礎 研 究

—衝撃源と床振動の関係—

塩田 洋三\*・田中 千秋\*・高橋 徹\*

Yozo SHIOTA, Chiaki TANAKA and Akira TAKAHASHI  
A Fundamental Study of the Impact Sound on a Wood Frame Floor  
—the Vibration Response of the Impact Sources and Floor—

## 1. 緒 言

木造住宅において、従来は一般に荒板を床下地材に用い、その上に畳を敷いて居住していた。しかし、住生活が次第に洋式化し、住宅の2階に洋間を設けることが一般的となった。また、床下地材も荒板から合板に変わり、その上にフローリングやカーペットが張られている。このような住まい方や床材料の変遷は、床性能にも影響を与えている。床衝撃音についても、在来の畳敷では軽い物体で衝撃しても、畳がある程度衝撃力を吸収するので、下階の床衝撃音レベルは低く、許容できるレベルであった。しかし、洋間に施工されたフローリングや薄いカーペットでは衝撃力を吸収できず、下階の床衝撃音レベルは高くなる。このため床の遮音性能に対して改善を求める要求が高まっている。

本実験では床衝撃音改善のための基礎研究として、床振動と床衝撃音の実体を把握することを目的とした。まず、衝撃源と床の振動加速度の波形と周波数特性を調べ、振動に対する衝撃源と床の関係について検討した。この方法を用いて、緩衝材効果についても検討を加えた。最後に、構造体への振動の伝搬特性について調べ、床衝撃音に与える天井や壁体の放射音の影響について考

察を試みた。

研究を行うにあたり御助言を頂きました東京大学工学部安岡正人教授に感謝の意を表します。また実験を補助してくれた専攻生の沖田圭司・野田浩君に感謝します。

## 2. 実 験

### 2.1 実験施設

実験施設は上・下階6畳の在来工法によって施工された木造住宅である。この住宅の2階床の床組の伏図をFig. 1に示した。床組を構成する床梁、根太、間柱は全てソ連産のカラマツであり、柱材にはスギが用いられている。床は構造用合板(12mm)を千鳥張りとした。床組に関係のあるソ連産カラマツおよび構造用合板の動的特性をTable. 1に示した。

### 2.2 実験方法

タッピングマシンとタイヤの2つの衝撃源で根太間の合板面と根太上の合板面を衝撃し、衝撃源と合板面および根太の振動加速度レベル、および床衝撃音レベルを測定した。また衝撃源と床の振動速度についても若干の測定を行った。測定系の概略図をFig. 2に示した。なお、タッピングマシンのハンマーは5個あるが、本実験では、根太上、根太間の局所性を検討するため、中央の

Table. 1 Dynamic Properties of Wood Materials

| Wood materials           | Specific gravity | Moisture content % | Dynamic modulus $10^9 \times N/m^2$ | Logarithmic decrement $\times 10^{-2}$ |
|--------------------------|------------------|--------------------|-------------------------------------|--|
| Larch (USSR)             | 0.63             | 14.8               | 14.2                                | 1.46                                   |
| Structural plywood } (⊥) | 0.52             | 15.0               | 3.8                                 | 1.89                                   |
| } (//)                   | 0.51             | 13.8               | 5.0                                 | 1.91                                   |

\* 木材加工学研究室

1 個のハンマーのみで衝撃した。また、床仕上材効果を調べるために、床面に 90cm 四方のカーペットを敷き、その上を衝撃した。ただし、畳は 1 帖の大きさである。

構造体への振動の伝搬を調べるために、2 階床を衝撃し、2 階の床梁、1 階天井、壁の振動加速度を測定した。

### 2.3 分析方法

受振点に取付けた振動加速度型ピックアップから前置増幅器を通し、データレコーダで記録した。つぎに、データレコーダを FFT に接続し、衝撃波形、パワースペクトルおよび 1/3 オクターブバンドレベルを求めた。床衝撃音は 1 階のマイクロホンで受音し、振動と同様 FFT で分析した。ただし、振動加速度の 10G を 57dB とした。

## 3. 実験結果

### 3.1 合板床面への衝撃

#### 3.1.1 タッピングマシンによる衝撃

タッピングマシン (TM) のハンマーの振動加速度の波形を Fig. 3 に示した。これは振動加速度波形であるので、これにハンマーの質量 500g を積算すると、衝撃力波形となる。したがって、加速度波形を検討することは、衝撃力波形を検討することと同じ意味をもつ。

TM のハンマーの波形は根太上と根太間で全く異なり、根太上は単一ピークであり、正弦半波で近似できるのに対し、根太間衝撃では床面を 2 度打ちしたようなダブルピークを有する左右非対称な波形を示す。衝撃時間は根太上よりも根太間のほうが長い。これらのことは、根太上衝撃については線形理論が応用できるが、根太間

では非線形となり、理論化は難しいことを示す。つぎに、ハンマーのパワースペクトルを Fig. 4 に示した。前述のような衝撃波形のために、根太上ではピンクノイズ的なパワースペクトルを示すが、根太間では低い周波数成分のレベルが卓越している。また、両者ともに 1230 Hz にピークを有するが、これは衝撃源と床の相互作用による固有振動数である。この固有振動数は次の式で計算される。

$$f_n = 0.2 \times E^{2/5}$$

この式に動的ヤング率  $E = 4.4 \times 10^9 \text{ N/m}^2$  を代入すると、1440Hz となり、若干高い周波数をとるが、ほぼ近似した値といえる。つぎに根太間衝撃と根太上衝撃で直下にピックアップをとりつけた根太間及び根太上の

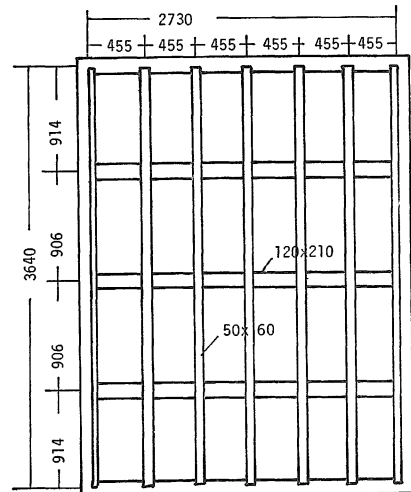


Fig. 1 Floor framing plan

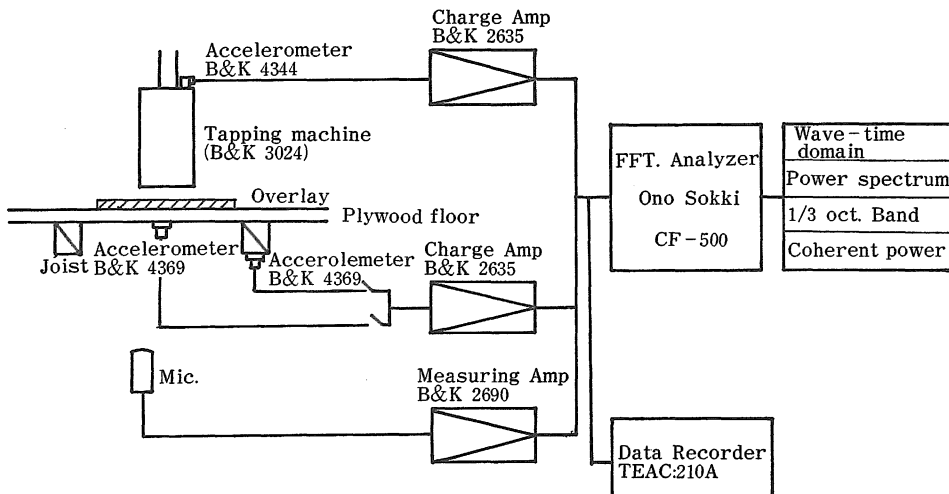


Fig. 2 Block diagram of measuring system

振動加速度レベルを示した (Fig. 5)。図のように、根太上衝撃と根太間衝撃を比較すると、木造住宅の床衝撃音レベルが高い 125Hz~500Hz の周波数域では、根太間のレベルが高く、100Hz では根太上のレベルが根太間のレベルに近づいている。このことから、根太間衝撃のレベルが高いので、まず、根太間の衝撃の低減をはかり、つぎに根太上衝撃のレベルの低減を考えるべきである。しかし、根太間衝撃では前述のように線型理論が適用できないところに問題が残る。

根太間を衝撃したときの TM と床の振動加速度および床衝撃音の波形を Fig. 6 に示した。振動加速度波形は床衝撃音と比較して減衰時間が短く、各々 60dB 減衰に要する時間は、加速度が 128m sec、床衝撃音が 628

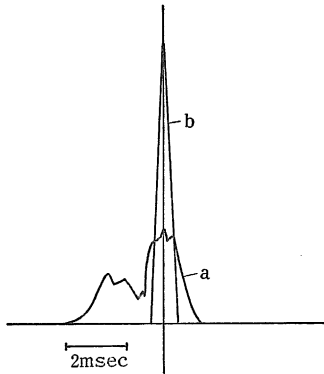


Fig. 3 Time-domain signals of the vibration acceleration of a tapping machine hammer  
a : impacted on floor between joists  
b : impacted on floor on joist

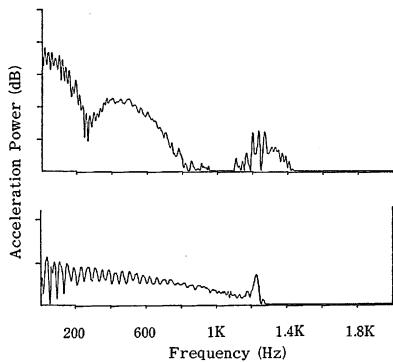


Fig. 4 Power spectra of the vibration acceleration of a tapping machine hammer  
a : impacted on the floor between joists  
b : impacted on the floor on joist

msec と音の減衰時間は約 5 倍長い。これは両者の減衰機構が全く異なるためで、前者が内部摩擦や音響放射による減衰であるのに対し、後者は残響によるためである。

### 3.1.2 タイヤによる衝撃

タイヤで床を衝撃したときの衝撃源と床の振動加速度

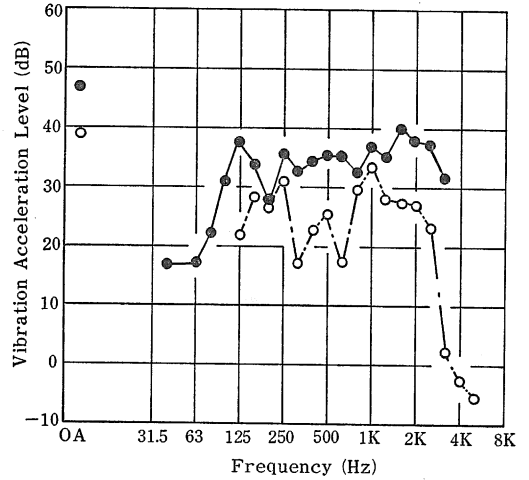


Fig. 5 Vibration acceleration levels of the plywood floor excited by a tapping machine  
● : floor between joists  
○ : floor on joist

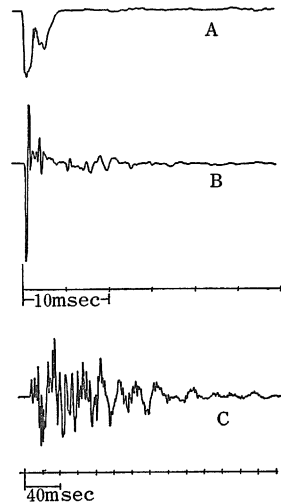


Fig. 6 Time-domain signals of the vibration acceleration of a tapping machine hammer and floor, and the impact sound  
A : vibration acceleration of hammer  
B : vibration acceleration of floor  
C : impact sound

波形および床衝撃音波形を Fig. 7 に示した。タイヤは、重量が 8.5kg と重く、90cm の高さから落下させるため衝撃エネルギーが大きい。このため衝撃波形は根太間、根太上とも変わらず、衝撃源の波形は正弦半波で近似できる。衝撃時間は TM による根太上衝撃の 0.94m sec や根太間衝撃の 4.22m sec よりも 1 オーダー大きく約 35m sec であった。このため、衝撃源と床の相互作用による固有振動数は 30Hz 以下となる。したがって、低い周波数のレベルが高くなるのは当然であるが、同時に、100Hz 付近のレベルも床の固有振動のために高くなっている。また、床衝撃音の波形は TM による衝撃と異なり、比較的単純な波形を示した。図は省略するが振動加速度レベルと床衝撃音レベルを比べると、床衝撃音レベルは低い周波数で高くなるのに対して、振動加速度レベルは低い周波数で高くない。一方、床の振動速度レベルは、低い周波数で比較的床衝撃音レベルに類似した周波数特性を示した。このことは、低い周波数の床衝撃音は床の振動速度から予測できることを示唆する。

3.2 緩衝材効果

TM のように軽い衝撃源に対しては柔らかいカーペットを敷き、衝撃源を受けとめることによって、床衝撃音を低減させる方法が一般に用いられている。そこで、この緩衝材効果を TM のハンマーと床の振動加速度の波形や周波数特性から検討した。本実験で用いた緩衝材はニ

ードルパンチ、ループパイル、およびカットパイルの 3 種類のカーペットと畳である。これらを衝撃したときの TM のハンマーの振動加速度の波形を Fig. 8 に示した。この図より緩衝効果が優れている材料は、振動加速度のピークが低くなり、かつ衝撃時間が長くなっている。また、そのときの床の振動加速度レベルと床衝撃音レベルを Fig. 9 と 10 に示した。床の振動加速度の周波数特性から、緩衝効果が増すにつれて、レベルは低下し、かつピーク値は低い周波数に移行しているのが判る。ただし、カットパイルカーペットと畳の TM のハンマーの加速度波形を比べると、畳の振幅が大きく、緩衝効果は小さい。しかし、床の振動加速度レベルは、逆に畳のほうが低い値を示した。これは、畳の表面がカット

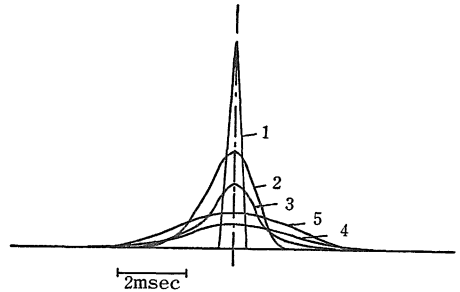


Fig. 8 Effect of overlies on time-domain signals of acceleration of a tapping machine hammer

1 : plywood floor, 2 : needle-punch carpet, 3 : loop-pile carpet, 4 : cut-pile carpet, 5 : tatami

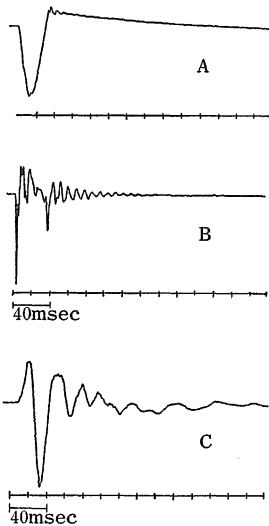


Fig. 7 Time-domain signals of accelerations of a tire and floor, and impact noise

A : vibration acceleration of tire  
 B : vibration acceleration of floor  
 C : impact sound

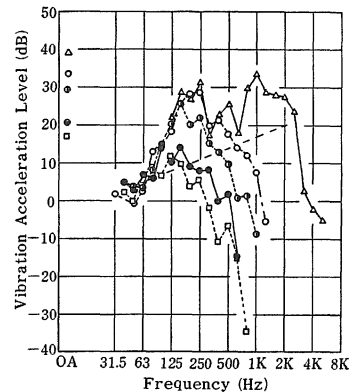


Fig. 9 Effect of overlies on the acceleration level of the subfloor excited by a tapping machine

△ : plywood floor, ○ : needle-punch carpet, ◐ : loop-pile carpet, ● : cut-pile carpet, □ : tatami

パイルカーペットと比べ、衝撃に対し緩衝作用が少なくても、畳の厚みのために衝撃力は遮断され、床への入力が小さくなるためである。中村ら<sup>2)</sup>は、衝撃力波形によって緩衝材効果のモデル化を行っているが、緩衝材の系が異なれば上記のような矛盾が生ずるので、TMのハンマーの衝撃力波形のみでは議論はできないことを示す。したがって、木造住宅の床振動に対する緩衝効果の検討には床の振動加速度レベルを用いるのが妥当であると考えられる。

ハンマーの振動加速度が均一なパワーをもつ場合には、このパワーを $\frac{1}{2}$ オクターブ分析すると 3dB/oct の勾配で上昇する直線となり、コンクリート造ではこの直線を基準にしている。しかし、木造床では、80-500Hz が床板や根太の固有振動数の領域であるため、基準曲線をひきにくい。いま、経験的に 63Hz の振動加速度を 5dB とすると、3dB/oct の直線は図の点線ようになる。これに、床の固有振動によるレベルを加算すれば床の振動加速度レベルが予測できる可能性もあるが、今後、詳しく検討する必要がある。

### 3.3 構造体への振動の伝搬

構造体への振動の伝搬については、ほとんど検討されていない。そのような状況下で、1階の天井からの音の放射が大きいとか、1階壁体からの音の放射があるとかいわれている。現在のところ、壁体や板の振動に基づいて、放射音を予測できる方程式はないが、振動によって音が放射されるので、まずこの振動特性を調べた。

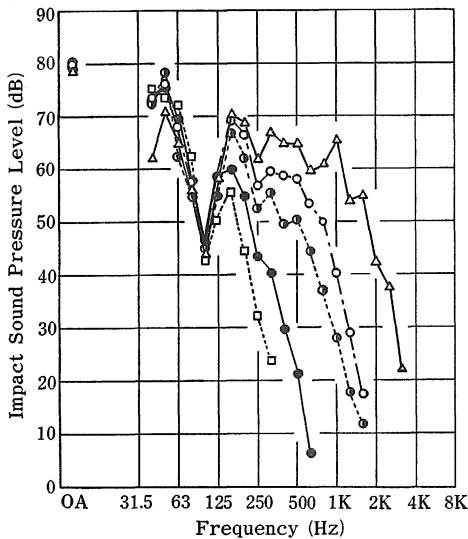


Fig. 10 Improvement of the impact sound pressure level in receiving room by a tapping machine  
Symbols are same as fig. 9

2階床をタイヤで衝撃したときの2階床と床梁、および1階天井と壁の振動加速度レベルを Fig. 11 に示した。床梁は 31.5~40Hz と 80Hz にピークを有する周波数特性を示すが、レベルは 10dB 以下となり、床面の平均約 30dB と比較して、約 20dB 低い値を示した。1階の天井のレベルは、10~20dB を示し、周波数が高くなってもレベルは低下しない。この事実は天井からの音の放射を示唆する。一方、1階の壁のレベルは 0dB 以下となっているので、床衝撃音に与える影響は極く僅かで、無視できると考えられる。

## 4. 摘要

床振動から床衝撃音を予測するための床振動や床衝撃音の基礎的な現象について検討を加え、理論化への問題点を指摘した。

得られた結果の主なものを列記する。

1. タッピングマシンで根太上と根太間を衝撃した場合、根太上衝撃では衝撃源の振動加速度波形は正弦半波で近似できるが、根太間衝撃では複雑な波形を示し、非線型を示した。根太間の振動加速度レベルが大きいため、根太間衝撃をどのようなモデルで近似するかが今後の課題となる。
2. タッピングマシンのように軽くて、硬い衝撃源に対してはカーペットを敷くことが有効である。この緩衝効果の解析法として、衝撃力波形からモデル化する方法があるが、カーペットのような同種の材料の比較で

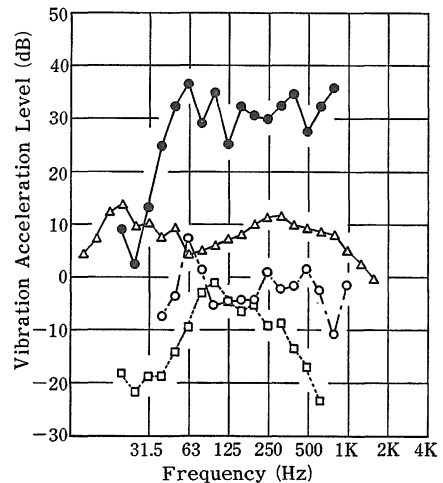


Fig. 11 Vibration acceleration levels of the elements of wood-frame construction  
● : plywood floor, ○ : floor-beam, △ : ceiling of the first floor, □ : wall of the first floor.

は有効である。しかし、カットパイルカーペットと畳のように異なった材料の間では衝撃力波形のピークが高くても、低い振動加速度レベルを示す場合がある。したがって、木造床の緩衝材効果の検討には床の振動加速度レベルを基準としたモデル化が有効であると考

3. 2階床を衝撃すると、床は加振され、その振動は住宅の各構造要素に伝搬する。このため各要素から音が放射される可能性がある。本実験の結果から、天井か

らの音の放射が床衝撃音に影響を与える可能性を有するが、壁体の振動加速度レベルは低いので、壁体からの音響放射は無視できると判断した。

#### 引用文献

1. 安岡正人：音響技術，6：267—293，1977.
2. 中村俊一：建築音響研究委員会資料，AA81—03，1—8，1981.

#### Summary

This report discussed about the relation between the vibrations of impact sources and of floor, and the impact sound. It pointed out the matters to be attended to predict the impact sound level from the floor vibration.

The main result was as follows.

1) When the plywood floor was impacted with a tapping machine, the signal of vibration acceleration of the joist was approximated with half sine wave, but that of the floor between joists could not. This suggested that the linear theory did not be used for the vibration power level of the floor between joists, though the higher acceleration level was showed on the floor between joists than that on a joist. The important unsolved subject was left on the prediction of impact sound level.

2) It was known that the carpet was effective in impact sound for a light weight impact source. One of methods for analysis on the effectiveness of overlay was induced from the wave of the impact force. But the decrease of the peak level of signal did not coincide with the decrease of the vibration acceleration level at tatami, compared with that of cut-pile carpet. Therefore the effect of overlay on the floor should be considered on the stand-point of the vibration acceleration level of the subfloor.

3) When the second floor was impacted, the vibration transmitted to the elements of construction. The possibility of the sound generated with these elements is present. But this report shows that the sound which effects on the impact sound might be only the sound of the ceiling on the first floor.