

模型根太床を用いた床衝撃音の低減に関する研究

塩田 洋三 ・ 高橋 徹
(住居学研究室) (島根大学農学部)

The Study of Impact Sound Insulation on the Miniaturize Wood Joist Floor Systems.

Yozo SHIOTA ・ Akira TAKAHASHI

1. 緒 言

床振動と床衝撃音の関係や床組の部材の振動を調べる場合、実物の住宅では色々な因子があり、それらが複雑に相互に作用するので実体を把握することは困難である。因子の中で最も重要な因子は、床面を衝撃することによって発生する放射音である。他の因子は、共振による音の増大、遮音や吸音の効果や固体音のような2次音に関与する。そこで本実験では木造根太を単純化し、そのモデルとして実物の1/4縮尺床組をつくった。これをグラスウールを貼ったコンクリートボックスの受音室に設置し、床野振動加速度および衝撃音を測定した。模型を使用すれば次のような利点がある。すなわち、(1)床衝撃音を構成する各因子を抽出したり、それらの因子の影響を容易に検証できる。(2)床衝撃音防止工法についても実験的にきめ細かく検討できる。

一方、模型実験(シュミレーション)は縮尺比と模型に用いる材料の物性が波長に大きな影響を与えるため、これについての検討を十分に行わなければ実験の有意性が無くなるので注意が必要である。

本実験では、まず実物と縮尺模型の関係について調べ、次に床構成として根太の本数や根太のセイの床衝撃音に与える影響について調べた。そして最後に模型床を用いて床衝撃音低減のための2、3の防止工法について検討を行った。

2. 実験材料および方法

2.1 模型実験用ボックスおよび床組

実験は内のり80×80×80cm、厚さ14cmのコンクリートボックスにグラスウールを貼って、その上に模型根太床(島根大学本庄農場内実験住宅の2階床の縮尺比1/4)を置き、端根太をトルクレンチ(130kg・m)で固定した。

模型根太は実物の1/4縮尺の他に、(1)根太セイを倍にした床、(2)根太間隔を1/2にし、根太数を約2倍にした床、(3)根太本数を倍にし、かつ根太セイを倍にした床、の3種類の模型床について実験を行なった。なお、根太および床梁には、Hem-Firを用いた。床面には、普通合板(厚さ2.5mm)を用いた。

2.2 衝撃源

衝撃源には、軽量床撃音源のタッピングマシンの代りとしてミニタッピングマシン(直径15mm、重さ114.7g)を用いて3cmの高さから自由落下させた。また重量衝撃音源(タイヤ)の代替として軟式野球のボール(直径7.1cm、重さ137.4g)、およびミニバイク用のタイヤを用い、20cmの高さから自由落下させ床を衝撃した。衝撃源の物理的性質を第1表に示した。なお、衝撃点は、衝撃位置の局所性を避けるために4点以上選定した。

2.3 測定・分析装置

模型床の根太上および根太間の合板床面を衝撃し、

床面, 根太の振動加速度レベルを測定した。また衝撃源に振動加速度ピックアップをとりつけ測定した。またボックス内にコンデンサー型マイクロホンを床梁下10cmに設置し, 床衝撃音を受音した。これらの振動および床衝撃音は, FFTを用いて1/3オクターブバンドで分析した (第1図)。

3. 実験結果および考察

3. 1 周波数特性に関する模型床と実物床との整合性

模型の根太床実験によって, 床衝撃音や床振動を考える場合, 基本的には幾何学的縮尺比が1/nの模型中を1/n波長の波が伝搬する条件をつくり出せばよい。

床衝撃音は縦波よりも屈曲波によって放射される

ので屈曲波についての検討の結果¹⁾を述べる。

媒体が棒の場合 $B = EI$ (I : 断面2次モーメント)であるので, 模型 (添字M) と実物 (添字R) が, 幾何学的相似模型であれば,

$$\frac{C_{BM}/f_M}{C_{BR}/f_R} = (E_M/E_R)^{1/4} (\rho_R/\rho_M)^{1/4} (1/n)^{1/2} \cdot (f_R/f_M)^{1/2} = 1/n$$

したがって, 模型材料の物性値 E, ρ より次の値が算出できる。

$$(E_M/E_R)^{1/2} (\rho_R/\rho_M)^{1/2} = K$$

$$f_M = n - K f_R$$

すなわち, 実物の周波数 f_R と模型の周波数 f_M とが対応することになる。この値は合板の物性値の比較によって

$$f_M = 1.7 f_R$$

となった。

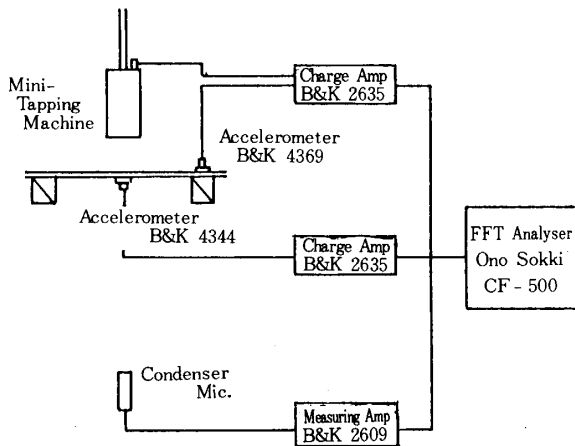
つぎに実測したパワースペクトルの結果の一例を第2図に示した。

第1のピークは, 実物で120Hz, 模型で200Hzと1.7倍に近い周波数にピークがあらわれているが160Hzに対応する260Hzのピークは大きくない。

しかし, 次のピークの415Hzに対応する735Hzのピークもみられ, 床衝撃音レベルの大きい100-500Hzの周波数では比較的よい対応を示した。しかしそれ以上の周波数のパワーが実物では大きい, 模型では小さくなっている。このように細部では実物と異なるが, 1/3オクターブバンドと比較的広い帯域での分析においては, 模型は十分実用に耐えるものといえよう。

また, 模型では第1ピークのレベルが実物に比べて非常に大きく出ている。これは床面とした, 2.5mm厚の合板の剛性が低いため, 1つの周波数のレベルが大きくなる。また, この剛性の低さは模型での高い周波数のパワーが生じていないことの原因になっている。

今回は, 報告しないが, この合板の剛性の低さを改善するため, 模型床面に塩化ビニルの板を用いた実験を行なっているが, この方がより実物と類似した傾向



第1図 測定装置のブロックダイアグラム

第1表 衝撃源の物質的性質

	重さ (kg)	$m\alpha$ (N)	接触時間 $\times 10^{-3}$ (sec)	力積 $\times 10^{-3}$
T. M.	0.114	1.12	2.9 (根太上)	3.24 (根太上)
			6.8 (根太間)	7.06 (根太間)
ボール	0.137	1.34	5.1 (根太上)	6.83 (根太上)
			6.8 (根太間)	9.11 (根太間)
タイヤ	2.75	26.95	18.9 (根太上)	509 (根太上)
			19.1 (根太間)	514 (根太間)

を示していた。

3. 2 床衝撃音に与える根太構造の影響

根太セイを実物(60mm)の1/4である15mmとその倍の30mmの2種類について実験を行なった。

タッピングマシンで根太間の床面を衝撃すると、第3図のように普通の根太間隔(根太本数7本)では根太セイを高くしても、周波数スペクトルの特性はあまり変わらないが、レベル自体は根太セイを倍にすると高くなる。根太間隔を通常の1/2にすると、根太セイの影響が大きく現われる。すなわち、160Hzのピークレベルはあまり変わらないが、315Hzのピークレベルは減少しており、根太セイを倍にすることが有効であることが裏付けられた。

根太上衝撃については、315~500Hz付近の床衝撃音のレベルが高くなる。根太間隔が1/2になるとピーク周波数が315Hzから500Hzへとシフトしているのが判る。また、根太セイが倍になると、250~315Hzのピークがなくなっているのが特徴的であった(第4図)。

ボールを根太上に落下させたときの床衝撃音レベルを第5図に示した。100~125Hzにピークを有し、周波数が高くなるにつれて、レベルは次第に小さくなっていく。しかし、根太セイが倍になると、125

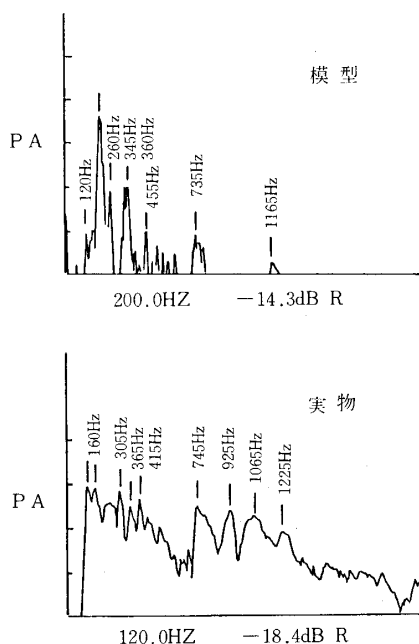
Hzの床衝撃音レベルは高くなり、根太間隔が狭く、根太セイが普通の床組のレベルが低かった。高い周波数の床衝撃レベルは、根太間隔が狭くなると大きくなり、かつ根太セイが高くなると大きくなる。

3. 3 各種床組と床衝撃音の関係

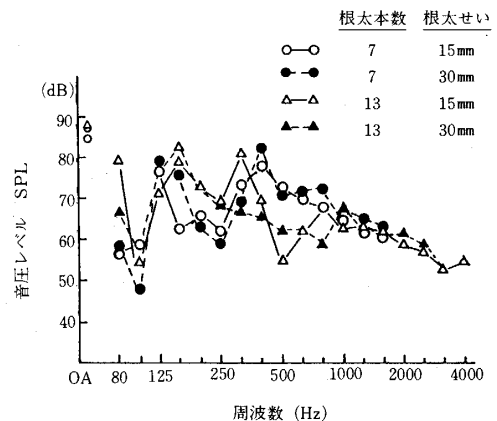
床衝撃音を低減する方法として床面上にカーペット等を敷き衝撃力を緩和する方法もあるが、ここでは、床面はあくまで木質床とした。したがって、低減法として床組や天井の工法を改良する方法を用いた。まず上部床組は、1/4縮尺で根太は、実物45cm間隔に対応させ、セイは実物6cmに対応させた。床面材料は、3mm合板よりも実大12mm合板と振動加速度のパワースペクトルで対応のよいアクリル樹脂板(厚さ3mm)を用いた。

3. 3. 1 グラスウールおよびゴム敷き床

浮床およびゴム敷き床の場合、その下部にもう一つ床を敷く必要がある。その理由は、下面床で上部の放射音を遮音する効果をもたせるためである。ゴムおよびグラスウールの軽量衝撃源に対する効果を第6図に示した。グラスウールよりもゴムのほうが全体に床衝撃音レベルは低かった。これは、グラスウールを根太下に敷いても、根太に入力された衝撃力がその下の床面に直に入り、グラスウールの緩衝効果が少ないためと考えられる。それに対し、ゴムは、巾が約50mmであり、剛性もあり、緩衝効果とともに応力集中を緩和する作用をするためといえる。なお、このゴムは模型床の縮尺比に合わせて試作されたものでないため、実大への住宅へ適用するには



第2図 実物と模型根太床の振動加速度のパワースペクトルの比較

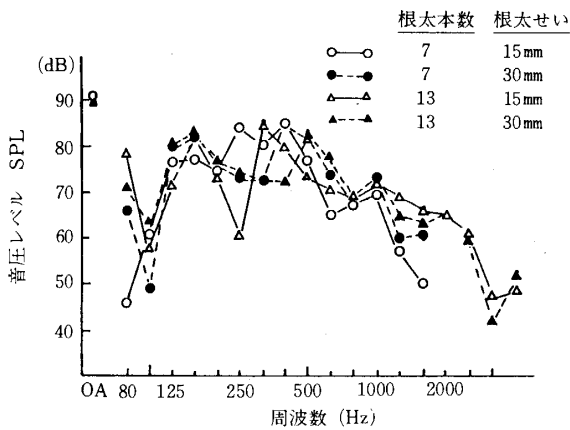


第3図 根太本数・根太せい(高さ)と周波数スペクトル(ミニタッピングマシン,根太間打撃)

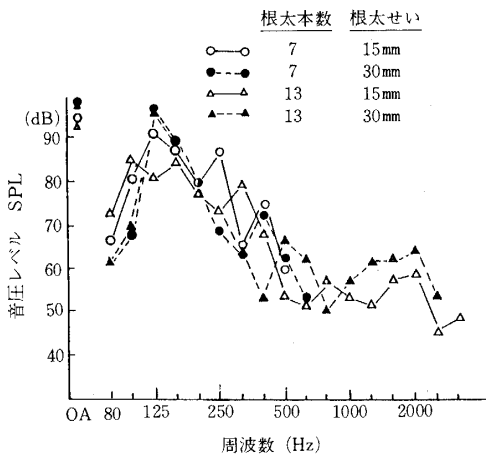
ゴムを厚くかつ巾広にしなければならず慎重な検討が必要である。しかし、ここで得られた応力集中を緩和する効果に対するアイデアは3.4.1のT型根太に生かされている。

3.3.2 天井効果

遮音は質量則が作用する。したがって、天井の面密度を高くすることによって遮音効果を増すことは重要である。それとともに、現在一般的に使用されている吊天井よりも吊木による床振動の天井への伝搬のない独立天井が有効であると考えた。そこで天井について、独立天井と吊天井の比較を行った(第6図)。



第4図 根太本数・根太せいと周波数スペクトル (ミニタッピングマシン, 根太上打撃)



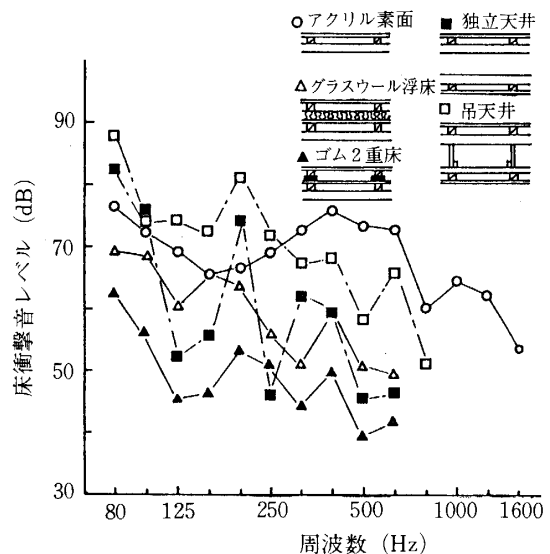
第5図 床中央打撃による音圧レベルの周波数ベクトル (軟式ボールの自由落下距離20cm)

天井のない状態では床衝撃音レベルは、400~630 Hzにピークを有する特性を示すが、吊り天井を取付けることによって、低い周波数にピークレベルはシフトしている。天井を独立天井に変えるとレベル低下は大きい。200Hzと316~400Hzのピークレベルは大きいですがそれ以外の周波数域で、レベルは低く、吊天井よりも独立天井が優れていることが実証された。しかし、独立天井における周波数特性が比較的鋭いピークを示しており、これが気になるところである。このピークは、天井ふところや天井材の共振によるものと考えられる。今後このピークレベルを低減する改良を行なうことによって遮音効果を増加させ得るであろう。いずれにしても、現在、問題になっている2階で子供がとびはねたときに生ずる1階天井に取り付けた照明器具からの2次的な騒音の発生は独立天井にすることによって避けられるので有効な工法といえる。

3.4 床衝撃音低減のための床組の工法開発

床衝撃音を低減する方法として、従来から述べられている主なものは、次のようなものである。

- 1) 床仕上材にカーペット等の緩衝材を用い、衝撃力を緩和する。
- 2) 床材の面密度を大きくする。
- 3) 浮床にする。
- 4) 天井の質量を増加し、遮音性をよくする。



第6図 模型床における各種構造の床衝撃音レベル 衝撃源：ミニタッピングマシン

これらの方法はコンクリート造について十分論議されている。今後は、これらの方法と同時に木造住宅の特性を生かした工法がでてくることが望まれる。このような観点から今考えられる方法として次の3つがある。

a. 木造住宅のやかましさは中音域のレベルが高いためである。すなわち、この周波数域に根太、合板およびその複合化した固有周波数が集中しているため、これらを分散させる。

b. 木造住宅は天井ふところを有する。この空間部を利用して共振を抑制し、遮音性を増す。

c. 遮音シートや2重床のように、上面床から放射された音を遮音する面材がある場合、上面床からの放射音が、今のように中音域にピークを有せず、より高い周波数にピークをもたせる。すなわち、高い周波数の音は、遮音しやすいという減少を有効に利用する。

ここでは、これらを考慮しつつ以下の実験を行なった。

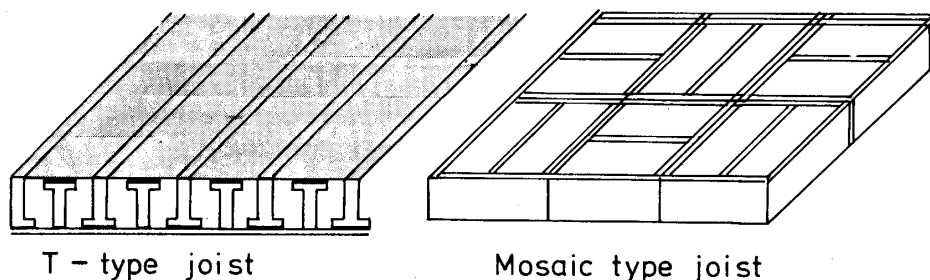
3. 4. 1 T型根太工法

木造住宅の在来工法や2/4住宅において、根太は、同一方向に等間隔に並んでいる。このため床面の振動を測定すると共振周波数近傍では、合板面の振動はあまり減衰せず床全面へと伝搬していく。また、床材や根太材が木質系であるため固有周波数域が集中する。木質床のうるささの原因の最も大きなものは、根太間の合板面が両端支持の振動姿態をとるためといえる。したがって、根太間振動を何らかの方法で制振することが床衝撃音の低域に大きな効果を有する。この考えに基づき、新しい2重床を試作した。根太間隔は上・下材とも普通の間隔とし、下面の根太の上に板を張り、その上にグラスウールを貼っ

た(第7図)。根太上面に板を張るのは、根太間の合板面を支持するのになるべく広い面積で支持し、制振効果を大きくすることと、根太が下部面上に直接振動を伝搬させる応力集中を緩和することを目的とした。グラスウールは、緩衝効果と合板面を効果的にダンピングするためである。第8, 9図にタイヤとタッピングマシンによって衝撃したときの結果を示した。タッピングマシンでは、問題となる中音域のレベルは低減しており、非常によい結果を示した。また、タイヤについても低い周波数のレベルは高くなっているが、JIS規格での遮音等級を決定する周波数域のレベルは低減されており、この工法の有効性が示された。

3. 4. 2 モザイク根太

木造住宅において、タイヤのような重量衝撃による床衝撃音を低減することは困難とされてきた。従来からの根太床の観念にとらわれている限り、根太という弦を有するピアノの響板のような構造の根太床になるためである。本実験では施工の容易なボックスタイプの枠を作り、根太が平行に並ばず、かつ各ボックスを独立させる方法によって、タイヤ音を低減しようと試みた(第7図)。その結果を第8図に示した。T型根太では低い周波数に大きなピークを有したのに対し、この構造の根太では低い周波数においてもレベルは高くなり、タイヤ衝撃にとって非常によい床組であることが判る。しかし、タッピングマシンについては、中音域のレベルは低いが、高い周波数のレベルは逆に高くなっている(第9図)。これはやかましさの原因になる。近年遮音シートが盛んに研究され、使用されている。このモザイク根太も下部に遮音シートを敷くことによって十分実用可能となる。すなわち、高い周波数の音は比較的容



第7図 T型根太とモザイク根太の形状

易に遮音できるという現象を利用したものである。この遮音シート併用によって、タイヤ衝撃に有効で軽量衝撃にもよい性能の床となりうることが示唆される。

以上のように、木造住宅でも発想の転換によって今迄不可能とされたタイヤによる床衝撃音レベルの低減も模型実験で行った限り十分可能であることを確認した。

また、天井ふところについても、現在、改良の余地を残している。それは、この空間が圧力箱となり、天井を振動させ、低い周波数の音を増巾している可能性を有するためである。

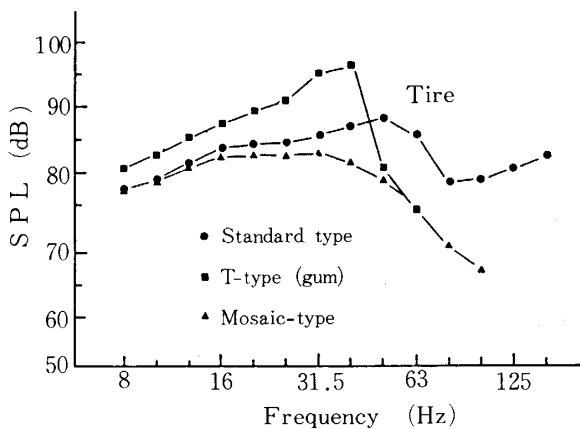
2階床と1階天井に対する床衝撃音を低減するポイントを第10図に示した。

4. 結論

実大実験の代替として、模型根太床を用いると、床衝撃音発生の原因となる因子を抽出したり、床衝撃音防止工法について詳細な実験が容易にできる利点がある。しかし、実大と模型の間に相似則が成立しないと実験の意味がなくなるので、模型実験の妥当性について検討し、正当性を理論式と床振動のパワースペクトルから確認した。

以下、得られた結果を要約する。

1. 軽量衝撃源で衝撃したときの床衝撃音に与える根太の寸法や間隔の影響について検討した。根太本数や根太セイを2倍にすると中音域のレベルが低下し、周波数特性は、良好な結果をもたらした。



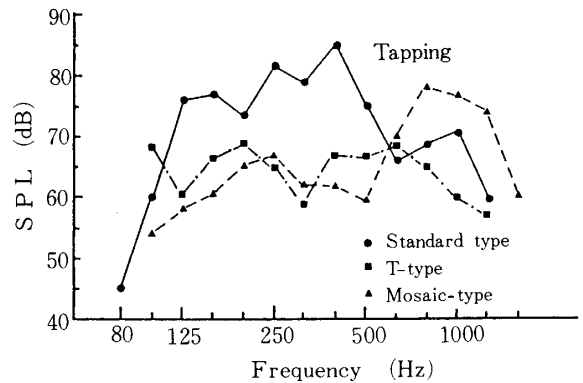
第8図 T型根太とモザイク根太における床衝撃音特性 衝撃源：タイヤ

2. 天井は、吊天井より独立天井にすると床衝撃音は低減し、かつ、現在問題となっている2階での子供のとびはねによる、1階天井に取付けた照明器具からの2次騒音の発生が避けられるので有効な手段であると判断した。

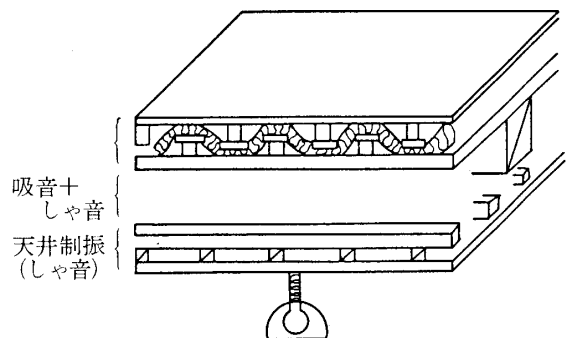
3. 2重床にして、浮床にする場合、グラスウールを緩衝材にするよりも、制振ゴムを緩衝材に用いた場合の方が床衝撃音の低減が大きかった。これは上部根太の下部床への応力集中を緩和するためと考えた。

4. T型根太工法によって、放射音を大きくしている原因となっている根太間の合板面の振動を制限し、これによって床衝撃音を低温域から高音域まで低減できた。

5. モザイク根太工法は根太を分離し、ボックスタイプにすることにより低い周波数域の放射音を抑



第9図 T型根太とモザイク根太における床衝撃音特性 衝撃源：タッピングマシン



第10図 床衝撃音改善工法の概念図

制することを目的とした。実験結果もタイヤ衝撃に対し床衝撃音レベルは低く有効な手段であることが確認できた。しかし、軽量衝撃源に対して高い周波数域のレベルが高くなるため、床仕上材を敷くか、遮音シートを床下に敷くことによって実用化が可能であると判断した。

引用文献

- 1) 松田由利：“建築構造中における固体音の伝搬性状に関する研究”，p.35(1979)