

床衝撃音の衝撃源に関する一考察

床衝撃音 衝撃源 低減量  
1 質点モデル 周波数応答 衝撃時間

正会員 岩本毅<sup>\*</sup> 正会員 嶋田泰<sup>\*</sup>  
正会員 赤尾伸一<sup>\*</sup> 正会員 安岡博人<sup>\*\*</sup>  
正会員 藤井弘義<sup>\*\*\*</sup> 正会員 安岡正人<sup>\*\*\*\*</sup>

1. はじめに

多くの集合住宅では床仕上げ材としてフローリングを用いており、これは直貼床と二重床に大別できるが、この種の床材は構造上、衝撃源によって床衝撃音低減量が変化する可能性がある。

本稿では軽量衝撃音に対しては衝撃性の生活音の中から衝撃源としてゴルフボールや鋼球を利用した場合の直貼床と二重床の床衝撃音低減量に関する実験結果を示す。重量衝撃音については、単純な1質点系のばねマスモデルを用いて、加振源や質点系の質量などを変化させ、乾式二重床の床衝撃音低減量について検討を行った。

2. 軽量衝撃源に関する検討

衝撃源の一例として直貼床と二重床において衝撃力の再現性が高いゴルフボール<sup>1)2)</sup>を用いた床衝撃音レベル(Fast ピーク値,  $L_{A,Fmax}$ )とタッピングマシンによる軽量床衝撃音レベル(等価騒音レベル,  $L_{Aeq}$ )との対応を見た。結果を図1に示す。測定は床衝撃音実験施設や現場などで、スラブは160~200mmの均質スラブおよび250~260mmのポイドスラブである。測定対象はすべて木質系の防音タイプで直貼床17体、二重床9体の計26体である。軽量床衝撃音レベルが等しい場合であっても、直貼床と二重床相互では10dB以上の差が見られる。また、各床タイプごとにはタッピングマシンによる床衝撃音レベルと相関がある。タッピングマシンの床衝撃音レベル(dBA 値)がほぼ等しい床を選び、周波数特性を見たものの一例を図2に示す。二重床と比較して直貼床は中音域においてゴルフボールで床衝撃音レベルが大きい。

次に、落下物の衝撃力を変化させた場合の床衝撃音レベルに与える影響を調べた。衝撃源の内容を表1に示す。測定はコンクリート素面の床衝撃音レベル及び床衝撃音レベル低減量とし、二重床については床下の空気を拘束するようにベニヤ板で周囲を塞いでいる。各床の断面図を図3に示す。各衝撃音の  $L_{A,Fmax}$  をその床の床衝撃音レベルとし、タッピングマシンについても同様に単発の落下衝撃による  $L_{A,Fmax}$  とした。

図4にコンクリート素面における各衝撃源の床衝撃音

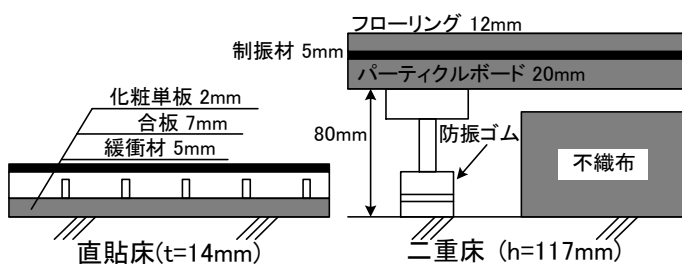


図3 床断面仕様

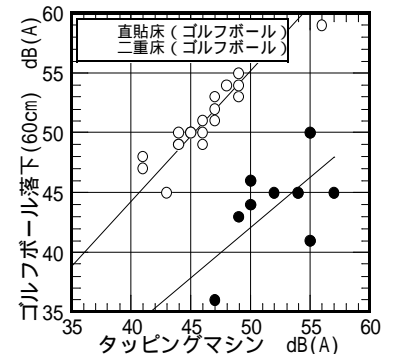


図1 ゴルフボールとタッピングマシンの比較

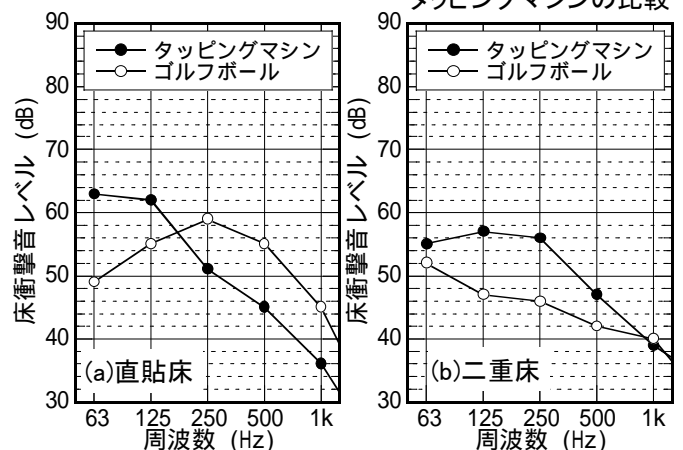


図2 直貼床と二重床の床衝撃音レベル

表1 衝撃源の諸元

衝撃源	曲率半径(mm)	質量(g)	落下高さ(cm)
タッピングマシン	500	500	4
ゴルフボール	21.4	45.2	1,2,4,8,16,32,64,128
80g 球(鋼製)	13.5	80.2	1,2,4,8,16,32,64
1kg 球(鋼製)	31.8	1076.5	1,2,4,8,16,32

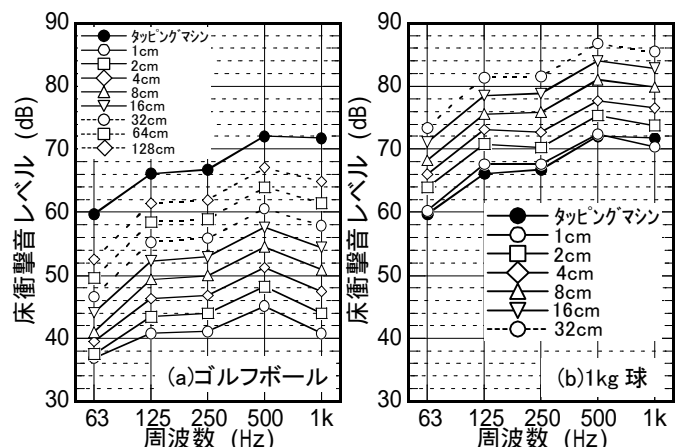


図4 コンクリート素面における床衝撃音レベル

Study on Impact Source for Floor Impact Sound

IWAMOTO Takeshi, SHIMADA Yasushi, AKAO Shinichi, YASUOKA Hirohito, FUJII Hiroyoshi and YASUOKA Masahito

レベルの一例を示す。いずれの衝撃源に対しても倍の落下高さでほぼ 3dB の上昇となっており、運動量の増加と等しい関係が得られている。また、衝撃源相互についても衝撃力レベルと床衝撃音レベルの対応は高い(1kg 球 1cm タッピングマシン)。

図 5, 6 に各床衝撃源の床衝撃音低減量を示す。ゴルフボールや 80g 球といった質量が小さい場合では直貼床は落下高さの変化によってその改善量に大きな変化がないことから床衝撃音レベルと落下高さにはある程度の線形性を有している。しかしながら 1kg 球においては、衝撃力が小さければタッピングマシンによる低減量以上の低減が得られているが、落下高さが高くなるにつれ床衝撃音低減量は大幅に低下している。これは、1kg

球の曲率半径が小さいために表面材が曲げ変形を起こし、このときに落下高さが低ければ下部の緩衝層で十分受け止められるが、高くなるにつれて衝撃力に緩衝層が耐えられなくなり底打ちしてしまっているものと考えられる。また、1kg 球の 1cm 落下とタッピングマシンとはコンクリート素面における衝撃力は計算上ほぼ等しいが、床衝撃音レベル低減量(L)が大きく異なる。このように直貼床では衝撃源の形状や質量が L に与える影響が大きい。ゴルフボールや 80g 球といった軽い衝撃源の L がタッピングマシンの L と比較して極めて小さく、この原因については今後の検討課題としたいが一つの考察として以下のことが挙げられる。落下高さをタッピングマシンと同じ 4cm とし、上部合板の密度を  $600\text{kg/m}^3$ 、ヤング率を  $6 \times 10^9\text{N/m}^2$ 、厚さをひとまず 7mm とすれば、有効質量( $m_{\text{eff}}$ )と有効質量から見た衝撃源の質量比は表 2 に示すとおりとなり、80g 球とタッピングマシンでは質量比で 6 倍以上の差が見られる。従って、タッピングマシンなどの比較的重い衝撃源は緩衝材の緩衝効果のみで扱える領域に近いが、80g 球の場合は衝撃源の質量が小さく上部合板がある程度剛性を持った板として作用し、結果的に緩衝材の空気層を含めた見かけのばね定数( $k_{\text{eff}}$ )が大きくなっているのではないかと考える。

二重床ではいずれの衝撃源についても、落下高さや床衝撃音レベルには比較的線形性がある。1kg 球について

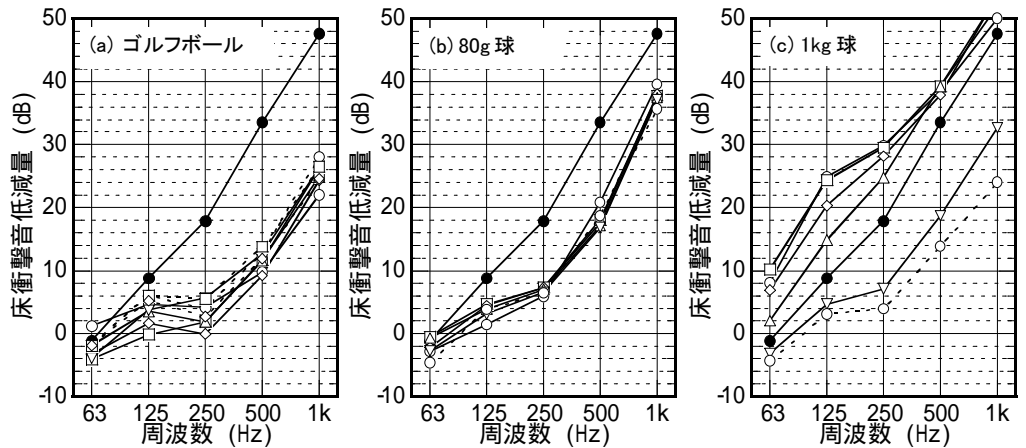


図 5 直貼床の床衝撃音低減量

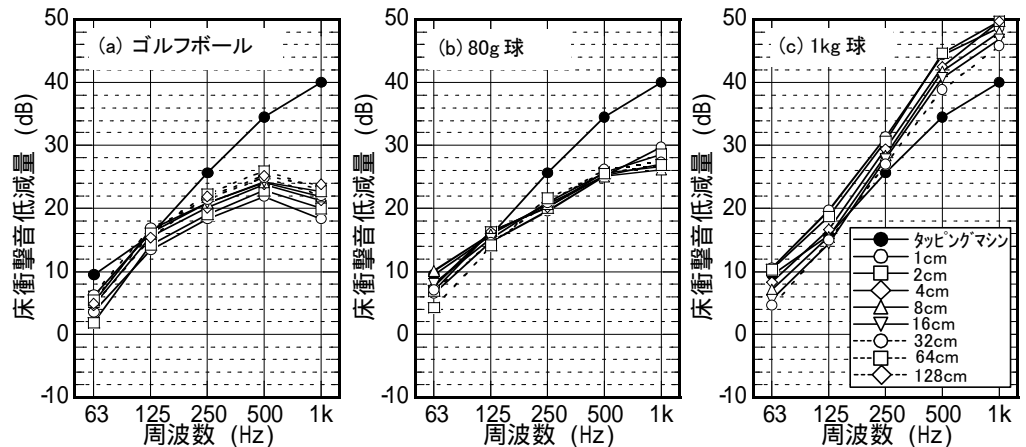


図 6 二重床の床衝撃音低減量

表 2 直貼床の上部合板の有効質量と衝撃源との質量比

衝撃源	有効質量(g)	質量比
80g 球	10.5	7.6
1kg 球	24.3	44.4
タッピングマシン	10.6	47.2

もこの衝撃力の範囲ではタッピングマシンと同等以上の遮断性能を有している。二重床の場合でも直貼床ほどではないが、衝撃源の質量が小さければタッピングマシンと比較して L は小さい。

軽量系の床衝撃音を評価する上では、音源の質量、形状での低減量が異なり、タッピングマシンによる性能のみで生活騒音、言い換えれば生活実感を評価することは困難である。実際の生活においても軽量系の床衝撃音はスプーンやペンといった 100g にも満たない衝撃音が比較的多いことから、ゴルフボールのような衝撃源を利用して評価していくことは必要であると考えている。

### 3. 重量床衝撃源に関する検討

1 質点系のばねマスモデルを用いて、加振源の衝撃周波数と力積、上部床の質量とばねひいては固有振動数を変化させ、その応答から低減量に関する検討を行った。測定のプロック図を図 7 に示す。上部の床板は 300mm 角のパーティクルボード(1.35kg)と鉄板(25kg)とした。4 本の支持脚の間隔は 200mm、ばねは 4 種類で計 8 モデルの組み合わせとして検討を行った。ゴム B 及び D はばね定数はほ

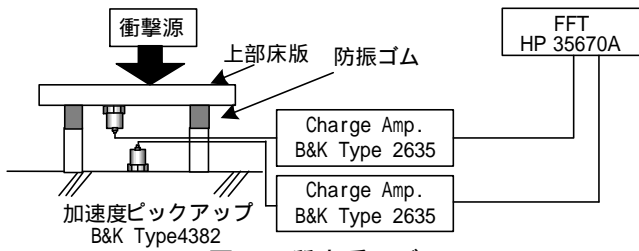


図 7 1 質点系モデル

表 3 検討した床モデル

	上部床	ゴム	fn(Hz)	ばね定数
a	パーティ(1.35kg)	A	70	2.6e5(N/m)
b	"	B	98	5.1e5
c	"	C	340	6.2e6
d	"	D	100	5.3e5
e	鉄板(25kg)	A	18	3.2e5
f	"	B	25	6.2e5
g	"	C	90	8.0e6
h	"	D	26	6.7e5

表 4 衝撃源

	衝撃源	質量	衝撃周波数	Fmax
a	バングマシン	7.3kg	24Hz	4000N
b	ゴムボール	2.5kg	25Hz	1600N
c	インパルスハンマー	1.1kg	250Hz	4000N

とんど変わらないが、ゴム D のほうが許容荷重が大きい。各部材はそれぞれボルト固定し、浮き上がりのないようにした。加振源はバングマシン（衝撃力特性( )）、ゴムボール（衝撃力特性( )）およびインパルスハンマー（PCB）とした。これらをまとめて表 3、4 に示す。動的ばね定数は上部床の固有振動数から算出した。実験は 330mm 厚のポイドスラブ上で、スラブ全体の固有振動数は 37Hz、ポイド部分における固有振動数は 1250Hz となっている。また、パーティクルボードの 1 次の曲げ周波数はおよそ 650Hz である。従って、数百 Hz までは上部床を 1 質点系とみなせ、また、スラブのインピーダンスが十分に大きいので連成振動の影響もないものとする。実験は、加速度ピックアップの出力を一旦チャージアンプで積分して取り込み、その後加速度、変位を求めた。またインパルスハンマーは同時に衝撃力を測定し、各打撃で発生する衝撃力のばらつきを補正した。

### 3.1 上部床の応答結果

図 8 にバングマシンにおける上部床の加速度応答の一例を示す。同図中にバングマシンの衝撃時間の範囲を示す。上部床の固有振動数が衝撃周波数よりも十分高いモデル（パーティクルボード全種、鉄板+ゴム C）ではタイヤやボールが接触して強制加振が生じている間にも各床の固有振動数の影響があらわれている。このことは速度波形（図 9）にも現れており、比較的初期の段階で速度の向きが逆転している。

これに対して、上部床の固有振動数が衝撃周波数に近いもの（床 f（鉄板+ばね B）など）では、衝撃時間内において上部床の加速度応答に衝撃方向とは逆向きの鋭いピークがあることから強い反力を受けていることがわかる。速度波形においても同様に衝撃時間以降の波形がほぼ自由振動に近い挙動であるのに対して、衝撃時間内では複雑に変形している。

衝撃源の加振力  $F$  から見た力の釣り合いは上部床の質量  $m_f$ 、加速度  $\ddot{x}_f$  による慣性力と、ばねの変位  $\Delta x$ 、動的ばね定数  $k_f$  による上部床に対する

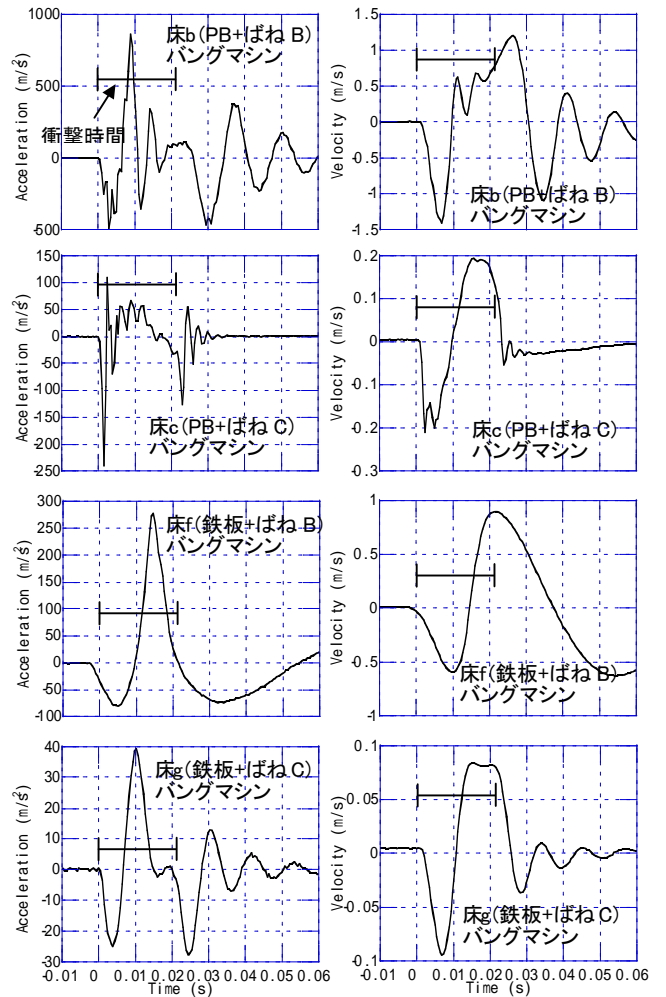


図 8 上部床加速度

図 9 上部床速度

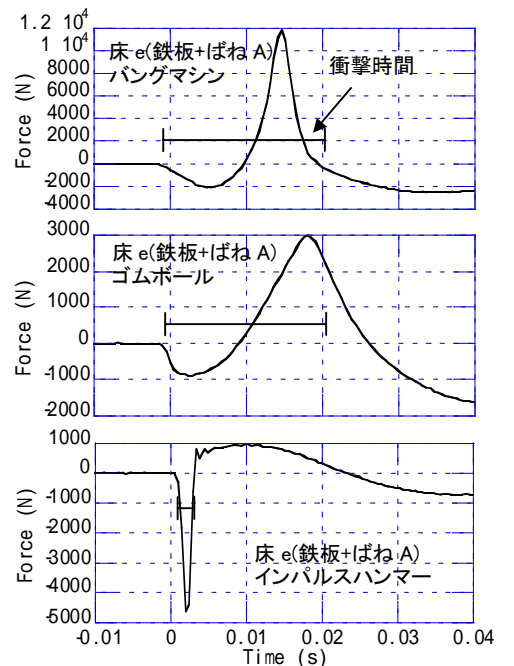


図 10 上部床の加速度と変位から求めた加振力

反力から(1)式となる。

$$F = m_f \ddot{\alpha}_f + k_f \Delta x \quad (1)$$

図 10 に(1)式から求めた床 e における力を示すが、インパルスハンマーのような衝撃周波数の高いものでは、剛体への一般的な衝撃力特性と比較的対応が良いが、バングマシンやゴムボールなどの衝撃源では上部床の加速度に逆相のピークを生じている影響が現れ一致しない。

### 3.2 衝撃源の衝撃力

各々の床モデルは衝撃源に対して十分な質量がなく、その結果上部床への衝撃力が異なると考えられる。

上部床に入力される力積は衝撃源の反発係数  $\mu$  を用いた(2)式によって推定される<sup>3)</sup>。

$$\int F dt = M \cdot v(1 + \mu) \quad (2)$$

ここで T : 衝撃時間(s)

M : 等価質量(kg)

v : 衝突時の速度(m/s)

$$F_{\max} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{M \cdot v(1 + \mu)}{T} \quad (3)$$

反発係数は各モデルにおける実際の跳ね上がりの高さから求めた。上部床に対する衝撃源の質量比と反発係数を比較して図 11 に示す。上部の床が重くなるほど反発係数が低くなる傾向にあるが高い相関はない。そこで、反発係数を床モデルの固有振動数と比較し図 12 に示す。上部床の固有振動数が低くなるほど反発係数が小さくなる傾向を示し、相関も高い。上部床と衝撃源の質量比は 0.18 ~ 10 であるが、この範囲の中では反発係数は質量比よりも固有振動数  $f_n$  に依存している傾向が強い。これは、床側の  $f_n$  が低いほど、床が持つ損失の影響が現れ反発係数に反映されているといえる。今回の床モデルの範囲では反発係数は 0.8 ~ 0.35 程度に分布し、(3)式から衝撃力の最大値を算出すれば、バングマシンの場合、およそ 4000 ~ 3000N にわたると考えられる。

### 3.3 床衝撃音低減量

図 13 に上部床の有無での実測による振動速度比と、損失係数を 0.25 とした場合の 1 質点系の理論伝達率を示す。インパルスハンマーの場合、伝達率の理論値に極めてよく一致するが、バングマシン、ゴムボールなどは大きく乖離しており、ピークディップの差も激しい。

各重量衝撃源とインパルスハンマーの違いとして最も大きいのは衝撃時間および力積である。衝撃源が上部床から離れれば上部床は自由振動をすると仮定すれば、衝撃時間内の上部床の応答の差が床衝撃音低減量の差としてあらわれていると考えることができる。

### 4. まとめ

軽量衝撃源については二重床と直貼床の低減量を衝撃源の質量、落下高さを変えて比較した。二重床では低減量に比較的線形性があるものの、直貼床では質量によっては非線形性が見られ、生活実感に差が生じる可能性を示唆した。

重量床衝撃音については 1 質点系モデルを用いて、衝撃源の衝撃力と低減量に関する基礎的な検討を行った。バングマシンのように長い衝撃時間を持つ衝撃源については、上部床に接しているときと離れたときの 2 ステージの検討が必要となり、明らかに時変系として扱う必要がある。

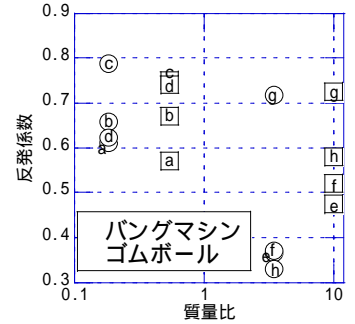


図 11 質量比と反発係数

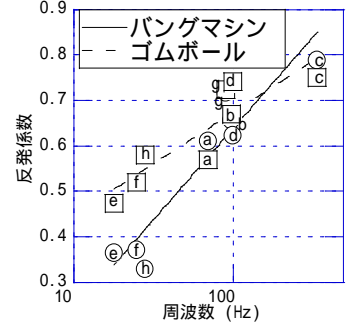


図 12 固有振動数と反発係数

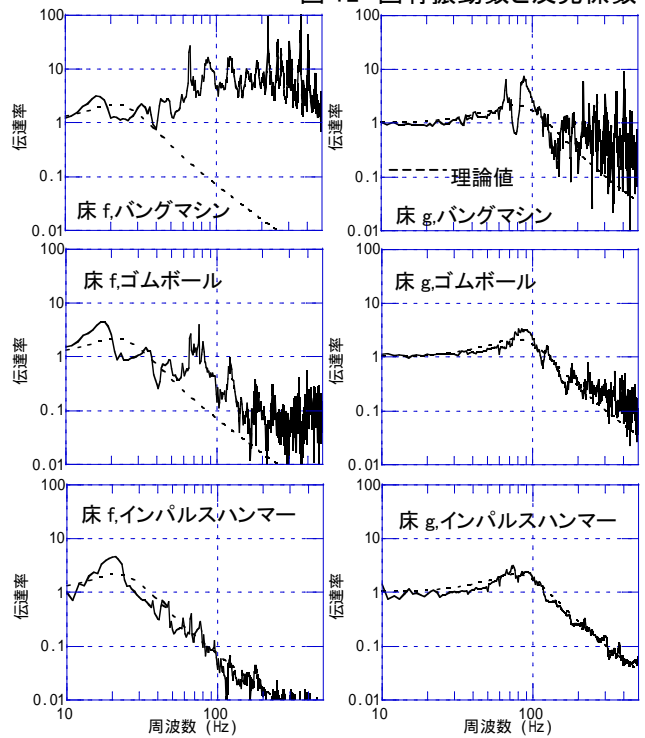


図 13 振動速度比

#### <参考文献>

- 1) 岩本ほか,「木質系防音床の軽量衝撃音と生活落下物音の対応について」,日本建築学会学術講演梗概集,1997/9,pp185-186
- 2) 岩本ほか,「木質系防音床の軽量衝撃音と生活落下物音の対応について(その2)」,日本建築学会学術講演梗概集,1998/9,pp229-230
- 3) 安岡正人,「床衝撃音防止設計法」,音響技術,Vol.6,pp267-293
- 4) 嶋田ほか,「二重床における上部床の応答に関する実験的検討 -その1 力と変位の時刻歴解析」,日本音響学会講演論文集,2004/9,pp1021-1022
- 5) 岩本ほか,「二重床における上部床の応答に関する実験的検討 -その2 周波数応答解析」,日本音響学会講演論文集,2004/9,pp1023-1024