

表面仕上げ材による床衝撃音の低減効果

中村俊一・落合博明・吉村純一・子安 勝
 ((財)小林理学研究所)
 (昭和54年 1月24日受理)

Measurements were made with test hammers of four different specifications-the combination of the *Mass* and the *Radius*-and of the *Fall Height* being changed at intervals within the range 1 ~ 32 cm. First the usual frequency characteristics of ΔL were obtained by a 1/3-octave-band frequency analysis for a single impact with a multichannel analyzer operating in fast and peak-level-hold modes. Since the shape of ΔL curves are, as is well-known, very simple and resemble to each other, it is enough to take f_0 , the frequency where the curve rises up from the horizontal axis. our In addition, our results show a noticeable close relationship between f_0 and such level difference as $L_c - L_A$, measured with a test covering. Finally, it was found reasonable to illustrate the experimental results on a diagram of $M \cdot H \cdot R^{-\frac{1}{2}}$ vs $f_0 \cdot H^{-\frac{1}{2}}$, that is, the properties of a sample are shown as a single curve indicating clearly the individual characteristics. For instance, the slope of the curve for carpet has a sudden change at a certain impact condition, and so-called needle-punch carpet is quite different from a usual elastic plate. A calculation diagram was introduced to estimate the impact noise reduction of floor coverings under optional conditions of free-drop hammers.

1. はじめに

じゅうたんや軟質のビニールシートなどの敷物や床張りの仕上げ材料は、床衝撃音防止に効果のあることがよく知られている。

この種の材料の性能試験方法は ISO 140 part として規格がつけられており、床衝撃音改善量 ΔL が定義されて、その結果を表わす量として用いられている。

しかし、試験に試用する標準衝撃源の規格を含め、床衝撃音に関する試験や評価の方法について、基本的な問題が残されているところである¹⁾。

すなわち、この種の測定が吸音率や音響透過損失とは異なり、振動や騒音の発生問題自体を扱っているために、試験に用いた衝撃条件によって測定結果の値が変わるなどの問題が生じる²⁾。

したがってこの種の試験方法では、実際問題の解決と

いう見地から、実際の建物において最も問題となる床衝撃音発生源に対象をしばって衝撃源をモデル化する、という方向から試験条件の測定が検討されてきた³⁾⁻⁵⁾。わが国の場合でも、子供のとびはねが苦情の指摘率の上位を占めていることと、日常生活では室内で靴を履かないことなどを考慮して、重量(軟質)衝撃源による試験方法が JIS 規格に加えられた⁶⁾。

確かに、欧米の生活様式のもとでは、靴歩行による床衝撃が大きな問題であり、床仕上げ材料の効果もその見地から評価されるのが適切であるかもしれない。しかしわが国では、住宅内での歩行者の低減に対しては、床仕上げ材料の効果はきわめて小さいのが実情である。ただ洋間やダイニングキッチンでの椅子の移動や、その他にも、床に物を落すなど日常生活の中で発生する床衝撃は、直下室にかなりの問題を生じており⁷⁾、敷物などの効果に期待されるところは決して小さくない。

このようなわが国の実情においては、床仕上げ材料の効果を測定する場合に、試験条件を設定するための床衝撃の原因として対象をしばることは容易ではない。

この種の材料が持つ床衝撃音改善効果が試験衝撃条件

* Impact Noise Reduction by Floor Coverings.

** Shunichi Nakamura, Hiroaki Ochiai, Junichi Yoshimura, Masaru Koyasu.
 (Kobayashi Institute of Physical Research)

表面仕上げ材による床衝撃音の低減効果

Table 1 Specification of test hammers.

No.	Mass (g)	Radius (cm)
1	50	50
2	200	50
3	500	50
4	500	2.5

Fall height (cm) 1 ~ 32
Impact condition : $M - R - H$
exp.: ISO - hammer (500 - 50 - 4)

によって変化することが明らかである以上、条件を変えた一連の試験の行ない、対象を一般的に考慮した資料の蓄積を計ればよいが、これには実際問題として多くの難点がある。

そのためには、測定方法の簡素化とともに、材料の床衝撃音改善効果を表す方法も、より単純で使い易く、また体系的なものとなるように検討されることが必要である。我々はこのような観点から、代表的な市販の床仕上げ材料について床衝撃音改善量と衝撃条件との関係を求める実験を行ない、さらに、この目的に合った測定結果の表示方法について検討した。また、各種の材料について実測される基礎資料から、任意の衝撃条件における材料の効果を推定する計算図表を作成した。

2. 実験方法

2.1 衝撃条件

Table 1 に示すように、4種の衝撃体を用い、その自由落下によって衝撃を発生させた。衝撃体 No. 1 ~ 3 は ISO - タッピングマシンの先端部を利用したもので、衝突面の曲率半径の小さい No. 4 は鋼球である。衝撃体の質量と曲率半径の値をこのように組み合わせたのは、測定結果の考察を容易にするためである。

衝撃体の落下高さは試料表面から 1 ~ 32 cm の範囲で適宜に段階的な値をとった。

ここでは、衝撃条件を次のように衝撃体に関する三つの数値の組み合わせで表わすことにする。すなわち、

質量 (g) - 曲率半径 (cm) - 落下高さ (cm)

たとえば ISO - ハンマ - の場合は 500 - 50 - 4 と表わすことができる。

タッピングマシンのような衝撃の与え方は、試料の同一場所に何度も衝撃が加わるために、試料によっては不自然な変形を生じ、そのために測定結果が影響を受けることがある。我々の目的に対しては、この種の効果が結果に含まれるのは好ましくないと考えられるので、この実験では一発の衝撃を用いている。

2.2 測定装置と方法

試験床として研究所内建物を利用し、床面ほぼ中央の衝撃一に試料がある場合とない場合とについて、衝撃による床振動の測定を行った。

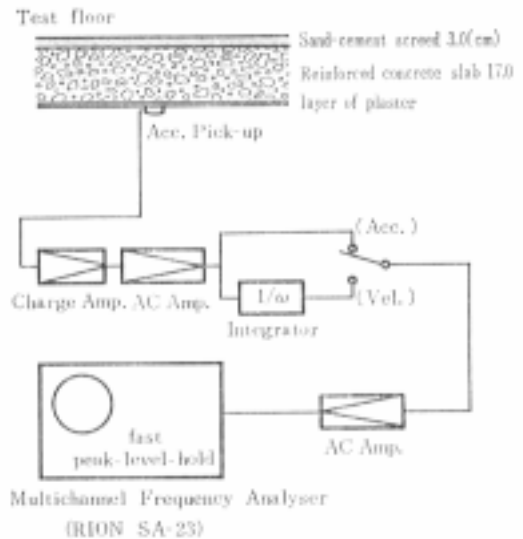


Fig. 1 Block diagram of measuring apparatus
The area of the test floor : 6.0 × 3.5 (m²).

Fig. 1 に床と測定装置のブロック図を示した。予備実験の結果、床衝撃音改善量 (ΔL) をとる限りでは振動ピックアップの取り付け位置の違いはあまり問題でないことが明らかになったので、図に示すように試験床の裏面に加速度型振動ピックアップを取り付け、打点に近い任意の一点の振動を検出した。通常行われるような下階室内での音響測定に代わり、床面の振動測定を採用したことによって、弱い衝撃を測定する場合の S/N 比の確保など、実験技法についての利点が得られた。

加速度型振動ピックアップの出力を多チャンネルのアナログ型周波数分析器に導き、1/3 オクターブバンドスペクトルを求めた。この時、分析器は指示動作特性を騒音計の規格に準じる [fast] とし、単発衝撃を測定対象とするところから [Max-hold] の表示条件で使用した。

床衝撃音改善量は音響測定でも振動測定でも同じ結果が得られることが予備実験で確かめられたが、これは試料のあるなしによっては床面の音響放射効率や減衰が変化せず、試料の弾性的な性質が改善効果の主要因となっていたためである。

なお、ここで使用した測定器では、全帯域レベルとして L_c と周波数補正回路を通した L_A の読み値も得られたが、後でのべるように、床衝撃音改善量を推定する計測として、これらが利用できることがわかった。

2.3 測定試料

市販の材料から、それぞれ特徴のある代表例をとりあげる、という考えで Table 2 に示すものを選んだ。

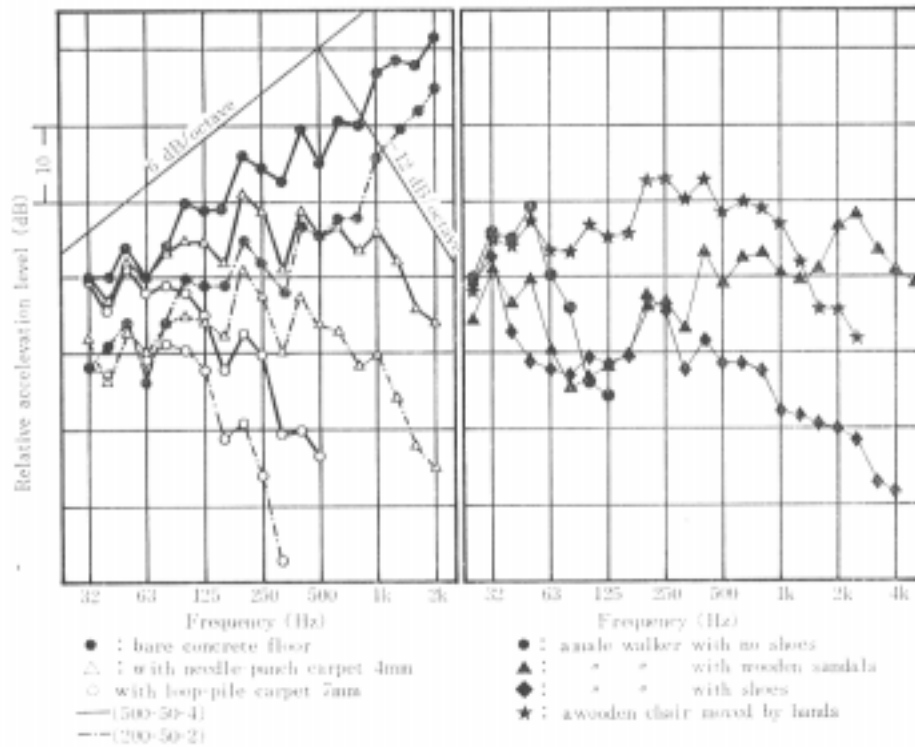


Fig. 2(a) 1/3 octave band level spectra of the vibration of the test floor by test hammers.

Fig. 2(b) 1/3 octave band level spectra of the vibration of the test floor by some real floor impacts.

Table 2 Samples used in the tests.

Sample	Thickness (mm)
semi - hard plastic tile 2 (plastic floor tile)	
cushion floor 1.8 (asbestos sheet backed foamed rubber)	
needle - punch carpet 4	
needle - punch carpet 5 (2 layers)	
foamed rubber backed	
needle - punch carpet 7 (thickness of rubber 4)	
velet - pile carpet 6 (length of pile 4.5)	
loop - pile carpet 7 (length of pile 6)	

3. 実験結果と考察

3.1 床の振動

種々の条件で測定した床衝撃音の周波数特性は、相互に似た形をしていることが知られている。Fig. 2 (a) の例にもみられるように、床振動の場合にも同様なことがいえる。床の振動加速度の周波数特性曲線は、i), ii) の二つの部分に分けられ、それぞれ次のように近似できる傾向をもっている。

- i) : 周波数の低い側は 6 dB/oct の傾斜の直線
- ii) : 周波数の高い側は -12 dB/oct の傾斜の直線

また、衝撃条件が異なった場合に、i) に相当する周波数帯域ではレベル差が次式で与えられることが知られている⁸⁾。実測値はこの関係を満足する傾向を示してい

る。

$$\text{Relative level in the part i)} = 10 \log \left(\frac{M_2}{M_1} \right) \frac{H_2}{H_1} \quad (1)$$

$$(V \sqrt{H})$$

$$\cong 20 \log \frac{M_2 V_2}{M_1 V_1} \quad (2)$$

M : 衝撃体質量(g), V : 衝撃体衝突速度(cm/s)
 H : 衝撃体落下高さ(cm) .

それぞれの測定結果において、曲線の傾向が i) から ii) 移行する周波数があり、材料の性質と衝撃条件とによってきまる。すなわち、軟質の材料では比較的低い周波数で ii) の傾向が現れるが、コンクリート床に直接衝撃を加えた場合は i) の傾向を示す部分が 2000 Hz 以上にまで達する。一般に、衝撃条件が変われば曲線の i) の部分が(2)式の傾向でレベルが変わるとともに、折れ曲りの生じる周波数も変化するが、Fig. 2 (a) に例を示したように 材料によって衝撃条件の変化と折れ曲り周波数の変化との対応は異なっている。

Fig. 2 (b) には、同じ試験床上を歩行した場合など、現実の衝撃の例を参考として示した。これらは床上に敷物がない場合に測定された結果であるが、現実の衝撃源

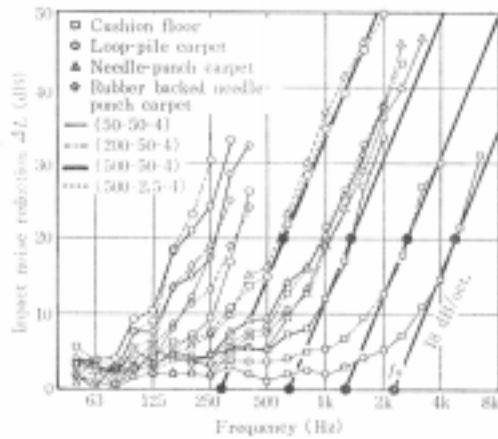


Fig. 3 Experimental results of ΔL curves and examples of the deducing procedure of f_0 .

はそれ自身で衝撃緩和の効果を持っていることがわかる。また、履物による歩行では、履物と床との衝突による衝撃と、足が床について生じる衝撃との複合的な構成がみられる。

靴やサンダルによって生じる床衝撃についてみると、周波数特性の i) に相当する部分のレベルは ISO-ハンマーによる場合 (500-50-4) よりも明らかに小さい。ASTM 提案の衝撃条件は、このような実際の敷物の衝撃を模擬的に実現させようとしたものである。そのため、ハンマー質量と衝突速度とを小さく変え、弾性的な表面のハンマーを用いることになっている⁴⁾。その衝撃条件をここでの表示方法で書けば (200-50-1.5) となる。

木製椅子を手で移動した例の結果には、衝突現象として、ハンマーや歩行の場合と共通した特徴がみられた。

3.2 床衝撃音改善量 (ΔL)

試料と衝撃条件との種々な組み合わせについて、床衝撃音改善量を求めた。その結果の例を Fig. 3 に示す。Fig. 2(a) の傾向から予想されるように、試料の種類や衝撃条件の多様さにもかかわらず、 ΔL の周波数特性は相互にきわめて似た傾向を示している。

ΔL 曲線の高周波数側は 1/3 オクターブ周波数分析結果から求めた多くの実例についてみると、18 dB/oct の傾斜の直線で近似できることがわかる。しかしこれは、衝撃力波形として正弦半波を仮定した理論による 12 dB/oct の傾向とは異なっている。報告されている実測値の例にもさまざまな傾向がみられるところから^{2), 9), 10)} 今後の検討に残された問題がある。

3.3 床衝撃音改善特性周波数 (f_0) の導出

Fig. 3 にみられるように、 ΔL 曲線は相互に似た傾向を持っているので、それぞれの測定結果は、周波数軸上における曲線の位置によって特徴づけられる。

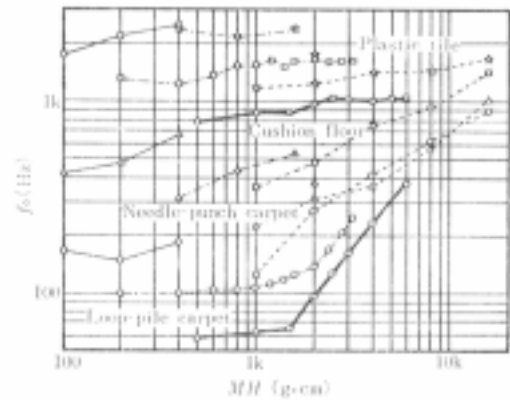


Fig. 4 Relationship between the impact condition and the impact noise reduction of test materials.
 — (50-50-H) — (500-50-H)
 - - - (200-50-H) ··· (500-2.5-H)

このことから、床衝撃音改善特性周波数 (f_0) を曲線の傾向をもとに次のように定義する。すなわち、 ΔL 曲線の立ち上がり部分の近似直線が $\Delta L = 0$ dB の横軸と交わる点を求め、その周波数軸の値をとるものとする。

このような考え方は、床衝撃音改善量に関する理論における共振周波数 (f_R)¹¹⁾、衝撃体で検出した衝撃力波形の持続時間¹²⁾、などに着目して整理するのと共通の意味を持っており、このような量をとれば、試料の床衝撃音改善効果を単一数値で代表させることができ、衝撃条件との関係を考察することが容易になる。

ここでは、 ΔL 曲線の実測結果から f_0 値を求めるために便宜的な簡略化した方法を用いた。すなわち、Fig. 3 に例を示したように、 ΔL 曲線上で $\Delta L = 20$ dB の点を求め、これを通る 18 dB/oct の直線を引くことによって f_0 を求めた。

3.4 f_0 と衝撃条件との関係

Fig. 4 に測定結果を示した。ここでは、衝撃条件として衝撃体の質量と落下高さの積をとっているが、これは衝撃エネルギー比例した量である。

このような図表による結果の表示方法では、試料が同じであっても、衝撃体の質量や曲率半径が異なった場合には別の曲線が描かれることになる。それぞれの曲線の傾向をみれば、 f_0 の値は衝撃体の落下高さの変化にもなって連続的に変わるものであること、そしてその変化の傾向に試料による特徴があることがわかる。

すなわち、半硬質タイルやクッションフロアなど、比較的 f_0 の値が大きい、硬い性質を持った試料では、落下高さが増すにつれて f_0 は徐々に増加する。

これに対し、ニードルパンチカーペットではその変化の傾向はさらに大きく、また、ループパイルカーペットでは、ある衝撃条件から曲線の勾配が変化し、強い衝撃

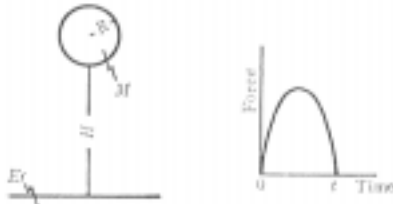


Fig. 5 Notations of the equation (3), (4) and (5).

に対して材料の性質が変化することがわかる。

また、外力による材料の性質の変化に関して、たとえば繊維集合体で 屈曲効果のために圧力をつよくと一度軟らかくなることも知られている。このような場合には、衝撃に対する特性曲線は局所的な屈曲を持つと考えられる。

これらのことは、実験条件の設定や測定結果を資料として提示する方法について、材料の効果を推定する実用的見地から十分な検討が必要であることを示している。

3.5 測定結果の図表化の改善

Fig. 4 に示したような測定結果の表示方法では、一つの資料に対する衝撃音改善効果と衝撃条件との関係を一本の曲線で表わすことができない。表示方法を単純化するために、弾性球の衝撃に関する理論¹³⁾を基礎に検討をおこなった。

すなわち、すでに考察されているように¹⁴⁾、衝撃体と床面との衝突による衝撃時間を弾性球の衝突理論を拡張して導くことができる。Fig. 5 に示す条件についてこれを書けば(3)式となる。

$$t \left(\frac{M}{R^{1/2} H^{1/4} E_f} \right)^{2/3} \quad (3)$$

$$f_0 \frac{1}{2t}$$

とすれば(4)式となり、 f_0 と衝撃条件との関係式となる。

$$f_0 \left(\frac{R^{1/2} H^{1/4} E}{M} \right)^{2/5} \quad (4)$$

(4)式は $E_f = \text{constant}$ であれば、衝撃条件に対するの変化が1本の曲線となることを示している。

しかし、ここでFig. 4 のカーペットの例をみると、異なったハンマーを用いてえられた曲線であっても、およそ同じ $M \cdot H$ の値から右側で曲線の傾斜が変化する。このような衝撃領域でえられる ΔL の周波数特性にも、他の条件下での結果と区別されるべき特徴はみられない。これらのことから、この衝撃領域では、みかけ上が衝撃条件にともなって変化する、とみることができよう。

カーペットのような例は(4)式による整理では1本の曲線として表わすことができない。

E_f の編かが材料の圧縮の程度によって決まるとする

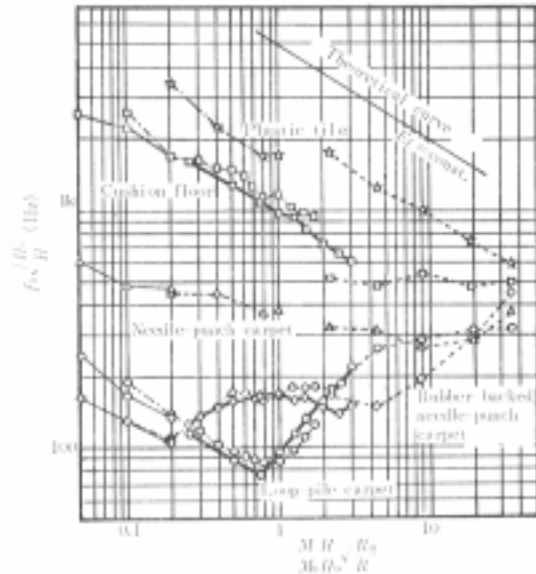


Fig. 6 Relationship between the impact condition and the impact noise reduction of test materials by a modified graphic method based on the equation (5). $M_0 = 500$ g, $H_0 = 4$ cm, $R_0 = 50$ cm.

ならば、 f_0 あるいは t に代わって、衝突時の接近距離¹³⁾について、衝撃条件を決める要因との関係を求めることがよい、と考えられる。接近距離 α は(5)式で与えられる。

$$\alpha \frac{t \cdot V}{\left(\frac{M \cdot H}{R^{1/2} E_f(\alpha)} \right)^{2/5}} \quad (5)$$

また、 α と f_0 との間には次の関係がある。

$$\alpha \frac{H^{1/2}}{f_0} \quad (6)$$

Fig. 6は(5),(6)両式における関係を利用し、Fig. 4の測定結果を書きなおした図表である。ただし、材料の衝撃に対する応答に対応する縦軸は、上に進むほど硬さが増すことを表わすために、 α の逆数に相当するようにとり、また、ISO - ハンマーの条件(500-50-4)で標準化した。

図表の右上の傾斜は、(5)式において E_f が一定値であるとした場合の傾向を示すものである。これは、衝撃の強さによって材料の性質が変化しないような、理想的弾性材料の場合に相当する。

測定結果についてみると、同じ試料で得られた曲線がかなりよく重なり合っており、大きな曲がりを示すような場合でも一本の曲線にまとまることわかる。

たとえば、ループパイルカーペットや他の複層構造を持つ試料の場合には、衝撃がある強さに達すると軟らか

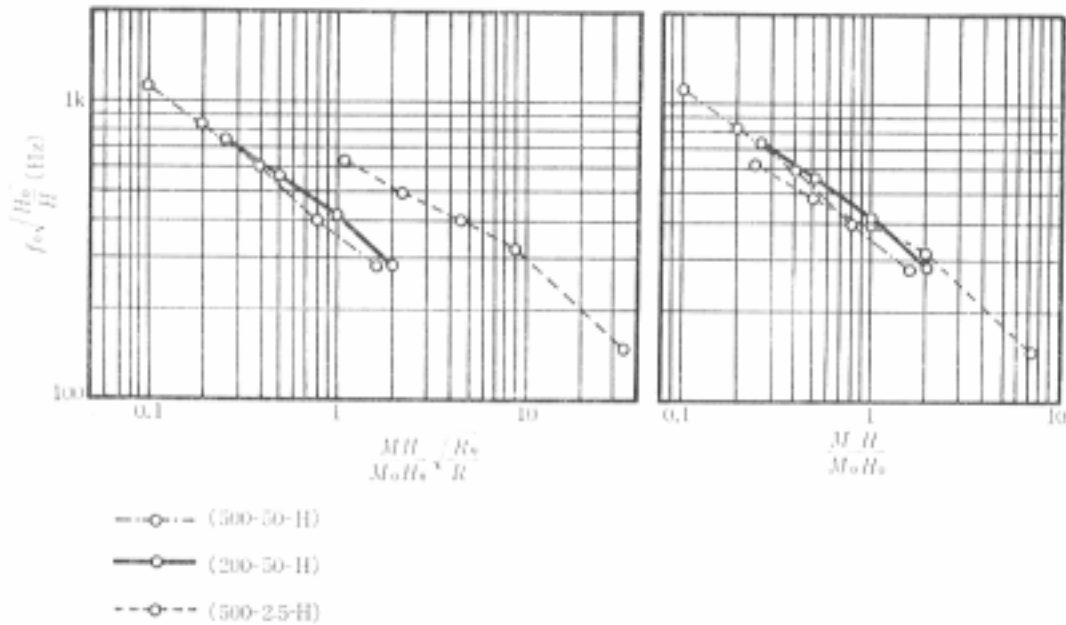


Fig. 8(a) Relationship between the impact condition and the impact noise reduction of a wood - joist floor without a soft covering.

Fig. 8(b) Modification of the graphic method for the case of wood - joist floor.

によって、この種の材料の効果を一般的な特性曲線に表わせることがわかった。しかし、 f_0 値を求める実験と解析の手続きは手間がかかり、また、材料の特性を示す図表も、直接 f_0 値や ΔL 周波数特性を表わすものではない。そこで、この種の手法を実際問題に適用し易くするために検討を行った。

4.1 f_0 と L_Δ との関係

床衝撃音改善特性周波数 (f_0) は騒音計を用いて測定した床衝撃音のレベル値から推定できることがわかった。また、このような推定方法を床の振動加速度測定に

も適用できることがわかった。

すなわち、

$$L_\Delta = L_C - L_A \tag{7}$$

と定義すると、 f_0 と L_Δ との間には Fig. 9 に示すように、よい対応関係があることが実測された。ただし、ここで L_C と L_A とは、床面に試料がある場合に周波数補正回路を切り替えて測定した値である。また、床衝撃音は試験床の下側 30 cm の位置にマイクロホン置いて測定した。

このように、両者の間により数値的な対応がみられるのは、衝撃によって発生する床の振動や音響のスペクトルが、それぞれ比較的単純で相似していることと、通常の場合に f_0 の周波数が 2 kHz 以下であること、さらに、これらの材料の損失によるレベル低下量が比較的小さかったことによるものである。

経験的に得られたこのような関係を利用すれば、 f_0 値を求める測定は大幅に簡素化できる。また、試料の床衝撃音改善効果を表わす指標として、 L_Δ 値自身を f_0 値にかわって用いることもできる。

なお、材料による損失の効果が大きい場合には、床衝撃音改善効果を表わす指標にレベル低下を示す項をさらに付け加えることによって、騒音防止設計の基礎資料として役立つものとなる。

4.2 計算図表

これまでに述べた実験と考察の結果をまとめた計算図表の例を Fig. 10 に示した。図表の右上の部分には、各種の資料の実測結果が Fig. 6 の方法で書き込まれる。

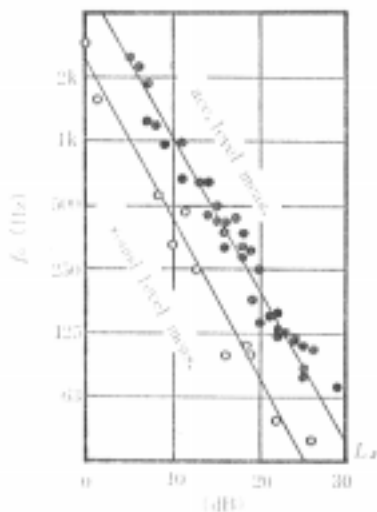


Fig. 9 Relationship between f_0 and L_Δ given by floor vibration measurements and sound level measurements respectively. $L_\Delta = L_C - L_A$

表面仕上げ材による床衝撃音の低減効果

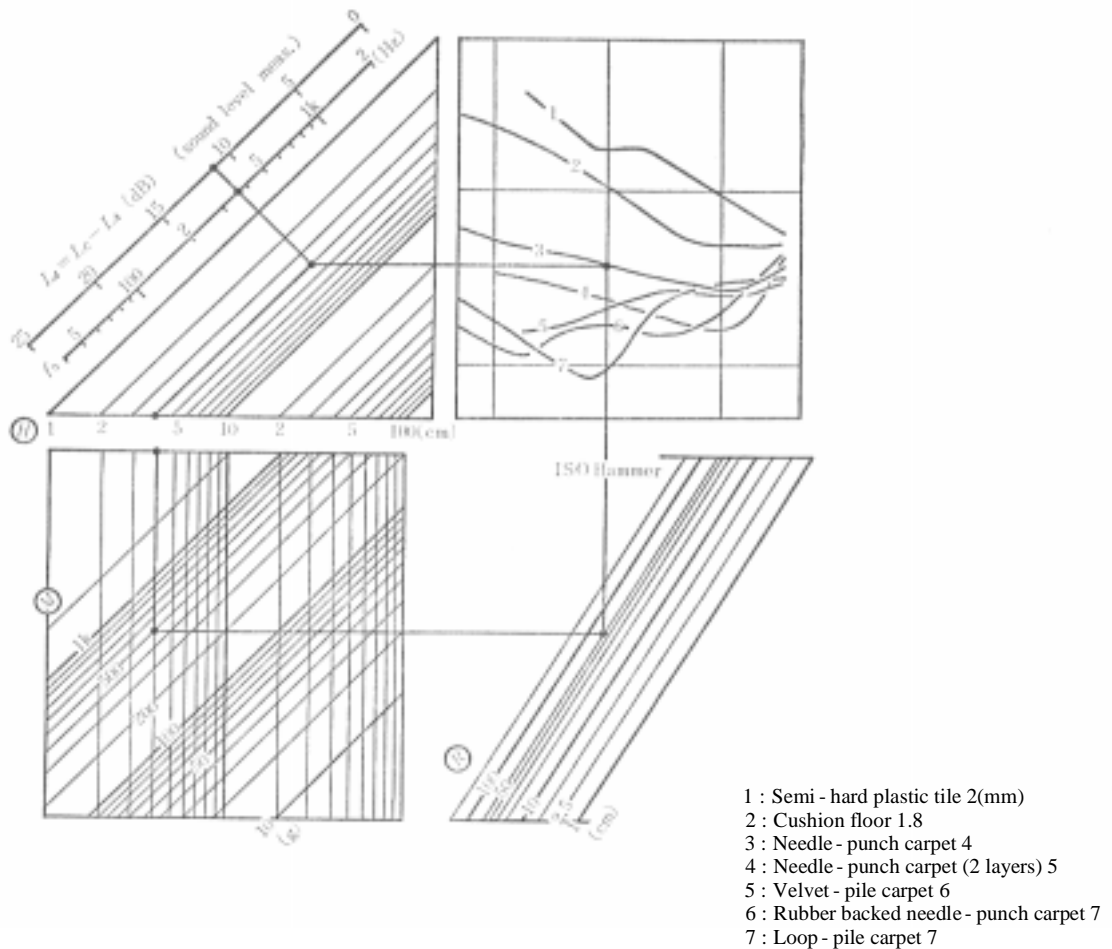


Fig. 10 Calculation diagram to estimate the impact noise reduction of floor coverings under optional impact conditions of free-drop hammers.

Fig. 10には、計算図表の使用例としてISO-ハンマーに対するニードルパンチカーペットの効果を求める場合を示しているが、このように、衝撃条件として衝撃体の落下高さ (H)、質量 (M)、曲率半径 (R) 等の任意の値を順次与えれば、ある材料について f_0 あるいは L_{Δ} の値を求めることができる。

すなわち、まず、落下高さとして 4 cm を与え、図上の線に沿って進み、ハンマー質量 500 g、ハンマー曲率半径 50 cm を逐次与えれば、材料のと癖曲線を記した象限に達する。ここで着目する材料に対応する曲線との交点を求め、最後の象限に入る。床衝撃音改善量に関係づけられる材料の性質は α ではなく f_0 の値なので、ここで再び落下高さ 4 cm を与えて $f_0 = \sqrt{H} / \alpha$ の計算に相当する手続きを実行する必要がある。このようにして、ある材料について任意の衝撃条件における f_0 あるいは L_{Δ} の値を実測結果の基礎資料を利用して推定することができる。

さらに、 f_0 あるいは L_{Δ} の値から ΔL の周波数特性を求める必要があれば、多数の実測結果を基礎に経験的に作成した ΔL の標準特性を利用する。Fig. 11にその

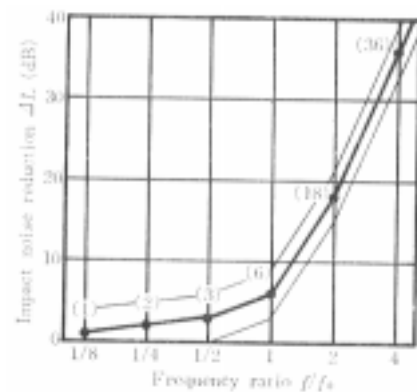


Fig. 11 Standardized frequency characteristics deduced from experimental results for estimating L_{Δ} values using f_0 in Fig.10.

特性を示したが、これは、我々の測定結果を巨視的にまとめたものであり、単純化したこのような取り扱いの適用範囲については、なお今後の検討課題を残している。

5. おわりに

以上、じゅうたんなどの市販床仕上げ材料について、衝撃条件と試料の床衝撃音改善効果との関係を実験によって求め、その結果の考察や実際問題への利用に適した評価量の抽出や図表の作成方法も検討した。

衝撃条件による床衝撃音改善効果の変化には試料の特徴が現れる。軟質の材料では、強い衝撃に対して改善効果の低下が著しいものがあり、単一の衝撃条件で材料の性能を一元的に評価することに問題があることがわかった。

床衝撃音の発生に関するわが国の実情を考慮すれば、床仕上げ材料について、衝撃条件と改善効果との関係のある範囲の条件にわたって明らかにしておくことが必要となる。

そのような目的に対して、ここにのべた図表化手法の試みが役立つものである、との見通しをうることができた。

終わりに、種々の面から検討いただき御助言を賜った当研究所五十嵐寿一理事長に厚く感謝する。

文 献

- 1) 永田：建築音響研究委員会資料 AA71-17 (1971)
- 2) K.Gosele: *Acustica*, 6, 67 (1956)
- 3) H.Reiher: *Beih. Ges.-Ing.*, 2, 2 (1932)
- 4) Th.J.Schultz: *Inter-noise* 75
- 5) 落合, 中村, 上口: 音講論集 (1977, 10) p.377
- 6) JIS A1418 (1978)
- 7) 日本住宅公団建築部調査研究課: 公団住宅の内部騒音基準に関する研究(昭.47.3)
- 8) L.Cremer, M.Heckl: *Korperschall* (Springer, 1967) p.292 ~ 297
- 9) R.D.Ford et al.: *J.S.V.*, 33, 103 (1974)
- 10) 木村他: 建築学会学術講演梗概集 (1976, 10)
- 11) L.Cremer et al.: *Frequenz*, 2, 61 (1948)
- 12) V.I.Zaborov et al.: *Soviet Physics-Acoustics*, 12, 263 (1967)
- 13) ティモシェンコ, グーディア, (監訳): 弾性論(コロナ社, 1973) p.434 ~ 436
- 14) 折笠, 久保田: 音講論集 (1976, 10) p.229
- 15) L.Cremer et al.: *Acustica*, 23, 53 (1970)