

木質床板の軽量衝撃音 第1報

木質床板の緩衝性と軽量衝撃音との関係

末吉修三⁽¹⁾・斎藤寿義⁽²⁾・星 通⁽³⁾

Shuzo SUBYOSHI, Hisayoshi SAITO, and Tohru HOSHI :

The Light Impact Sound of Wooden Floorboards I.

The relationship between the shock-absorbability
and the light impact sound of wooden floorboards

要 旨：高層集合住宅など住宅の集積度が高くなるほど、遮音性の高い床、壁、天井が求められる。とくに、コンクリートスラブに直張りされた木質床板は、他の床材に比べ床衝撃音が発生しやすく、その遮音性を高めることが求められている。このため、軽量衝撃によって発生する床衝撃音の低減を図ることを主目的に、ブナ挽板と緩衝材からなる四層構造の木質床板を作製し、タッピングマシンによって測定した床衝撃音レベルと軽量ハンマーの自由落下から求めた最大衝撃力 F_{max} あるいは衝撃周波数 f_n との関係、およびこれらの物理量と床板の積層構成との関係を検討した。これらから、次のことが明らかになった：1) 第一層の挽板を薄くすると、 F_{max} と f_n は低い値を示し、床衝撃音レベルも低下した。しかし、第一層を薄くする限度は実用的見地からは約 2 mm であった。2) 第一層の挽板の厚さを 1.5~2 mm、第二層の緩衝材の厚さを 2.5~3 mm で組み合わせると、それぞれ最低レベルの F_{max} と f_n 、および直下室の床衝撃音が得られた。3) F_{max} で約 300 N (f_n で約 130 Hz) 以下で床衝撃音レベルの低下が著しくなるのは、木質床板表層部の衝撃振動エネルギーの吸収特性が変化するためと考えられた。

木質床板表層部の緩衝性を生かして軽量床衝撃音を効率的に低減するためには、表層部の衝撃振動エネルギー吸収特性をさらに検討する必要がある。

1. ま え が き

コンクリート系、鉄骨系の集合住宅の高層化が進み、また木質系住宅の集合化や三階化が現実化した今日、住宅の基本性能として、床、天井、壁の遮音性向上が一層求められるようになってきている。とくに近年、床部材として使われることが多くなった木質床板は、美観とともに衛生的観点からその“良さ”を再認識されているが、こと住宅の床衝撃音による騒音に関しては、他の床材に比べてあまり良い評価を得ていない。

床衝撃音の低減を図る場合、衝撃源の種類によって対策を考えなければならない。まず、子供の飛び跳ねなどで発生する重量衝撃音については、床構造の曲げ剛性と質量を高めて床の振動を抑えることが基本的に重要とされる。また、スリッパ歩行や椅子の引きずりなどによって発生する軽量衝撃音に対しては、床表面の弾性を高めて衝撃力を弱める、すなわち床表面の動的変形によって衝撃振動エネルギーを吸収する方法が考えられる¹⁾²⁾。

このような床衝撃音特性を考慮して、コンクリートスラブに直張りした木質床板の軽量床衝撃音の低減に照準を合わせた実験が積み重ねられてきた^{3)~6)}。

本研究では、木質床板を複層化し表層部の弾性を高めることが、直下室の軽量床衝撃音レベルにどのように影響するかを明らかにし、さらに、その緩衝のメカニズムと軽量床衝撃音レベルとの関係などについて検討を加えた。

2. 軽量衝撃力低減のための基本的メカニズム²⁾

質量 M (kg) の軽量衝撃源が、速度 V (m/s)、反発係数 μ で床に衝突するとき、衝突後の床の速度を無視するならば、力積 Y (N·s) は次式で表される。

$$Y = MV(1 + \mu) \quad \dots\dots\dots(1)$$

一方、この衝突によって得られる衝撃力波形を、Fig. 1 に示すように衝突時間 Δt (s)、最大衝撃力 F_{max} (N) の正弦半波と仮定すると、力積 Y は網目部分の面積で表されるので、

$$Y = \int_0^{\Delta t} \{F_{max} \sin(\pi t / \Delta t)\} dt = F_{max} (2\Delta t / \pi) \quad \dots\dots\dots(2)$$

となる。したがって最大衝撃力は次式で表される。

$$F_{max} = Y (\pi / 2\Delta t) \quad \dots\dots\dots(3)$$

(1) 式を (3) 式に代入すると、次式が得られる。

$$F_{max} = MV(1 + \mu) \pi / 2\Delta t \quad \dots\dots\dots(4)$$

衝撃力波形を正弦半波と仮定していることから、衝撃周波数 f_n を $1/2\Delta t$ とすると、

$$F_{max} = MV(1 + \mu) \pi f_n \quad \dots\dots\dots(5)$$

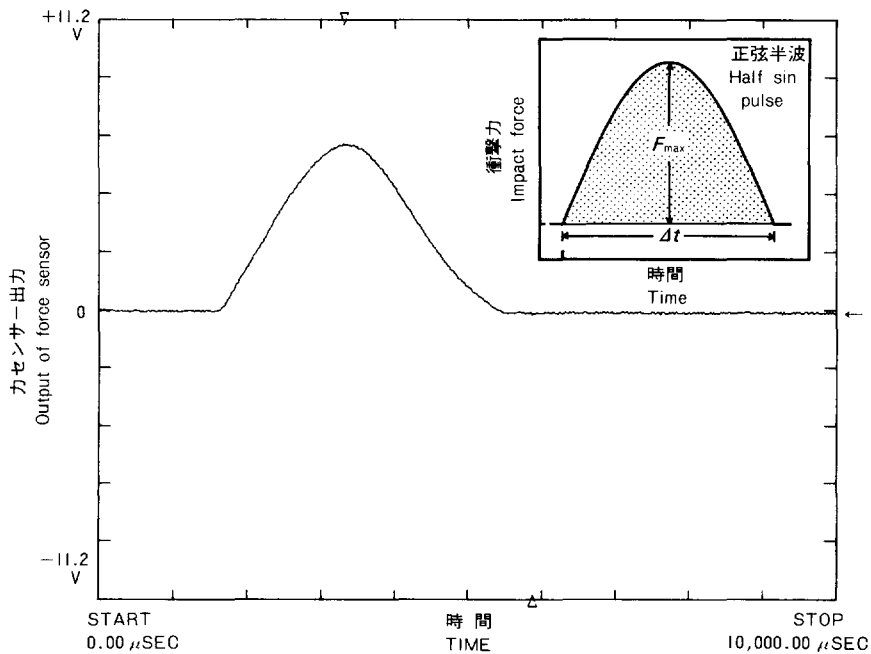


Fig. 1. 衝撃力波形の測定例
Illustration of impact force wave.

となる。

(5) 式に示されるように、一定の力積を有する衝撃に対して最大衝撃力 F_{max} を抑えるためには、床板表層部の弾性を高めて軽量衝撃源との衝突時間 Δt を延ばす、すなわち衝撃周波数 f_n を小さくするという結論に至る。ここでは、木質床板表層部の緩衝性を高めることによって、どの程度軽量床衝撃音を抑えることができるかを実験的に検討した結果を以下で述べる。

3. 実 験

供試した木質床板の構成を Table 1 に示す。各構成要素をエポキシ樹脂系接着剤（塗布量 200 g/m^2 ）を用い、冷圧約 2 kg/cm^2 、12 時間の圧縮条件で接着した後、縦、横の長さを 30 cm に仕上げた。なお、第一層と第三層には、幅 7.5 cm 、長さ 30 cm で Table 1 に示すそれぞれの厚みを持つ柾目あるいは追柾木取りのブナ挽板（気乾比重 0.59 ）4 枚を平行に並べて用いた。また、第二層と第四層の緩衝材と防湿材（不陸調整機能を持つ）として、ポリオレフィン樹脂系特殊発泡体シートを用いた。

軽量床衝撃音の測定は、JIS A 1418 におおむね準拠して行った。試料は林業試験場本館の小室（ $3.1 \times 2.6 \text{ m}$ ）の厚さ 150 mm のコンクリートスラブ上に、9 枚並べて 90 cm 四方に両面接着テープ（日東電気工業製、No. 503）で固定した。その中央でタッピングマシン（ノード製）を作動させ、直下室の天井から 1.2 m 離れた位置に固定したコンデンサマイクロホン（ノード製、Type 2523）および騒音計（ノード製、Type 2003）によって受音すると同時に、オクターブ分析計（ノード製、Type 8003）のレベルメーターを直読して各オクターブバンドの床衝撃音レベルを測定した。

最大衝撃力と衝撃周波数の測定はおおむね次のように行った⁷⁾。JIS A 1418 に規定されている軽量床衝撃源と同じ重量および形状、すなわち重量 500 g 、直径 3 cm 、先端のつ球面の曲率半径が 50 cm の円筒形の鋼製ハンマーを 4 cm の高さから床板に自由落下させ、ハンマーの先端部に取り付けた力センサー（リオン製、PF-31）によって求めた衝撃力波形をスペクトラムアナライザ（ADVANTEST 製、TR 9404）に記録した。この衝撃力波形から、最大衝撃力と衝撃周波数を算出した。

4. 結果と考察

Fig. 2 に、すでに報告されているコンクリートスラブの素面およびその上に厚さ 11 mm のブナ挽板を直張りした床面で求めた直下室の軽量床衝撃音レベルの測定結果⁴⁾を示す。横軸は各オクターブの周波数帯域（オクターブバンド）の中心周波数を示す。縦軸は各オクターブバンドごとに測定した床衝撃音の音圧レベルを dB 単位で示したものである。また、図中に点線で示した曲線は JIS A 1419 に規定されている軽量床衝撃音の遮音等級の基準線である。この基準線の特性は、いわゆる逆 A 特性といわれるもので、騒音計の聴感補正回路の A 特性を上下に反転させたものに基づいている。

Fig. 2 に示すように、コンクリートスラブ素面の軽量衝撃音レベルは、 125 Hz 以上のオクターブバンドで 70 dB 以上の高い水準にある。コンクリートスラブ上にブナ挽板を張ると、 1 kHz 以上のオクターブバンドレベルは下がるが、 250 Hz と 500 Hz のオクターブバンドの軽量床衝撃音レベルはあまり低下しない。このような傾向は木質床板の特性と考えられることから、この二つのオクターブバンドの軽量床衝撃音レベルの低減を図ることが、木質床板については課題となる。

Table 1. 試作木質床板の構成
Types of tested wooden floorboards.

番 号 No.	第一層 (ブナ挽板) First layer (Buna ^{b)} board)	第二層 (緩衝材 ^{a)}) Second layer (Shock-absorbable polymer sheet ^{a)})		第三層 (ブナ挽板) Third layer (Buna ^{b)} board)
	厚 さ (mm) Thickness	厚 さ (mm) Thickness	種 類 Type	厚 さ (mm) Thickness
1	1.5	2.0	A	8.5
2	2.0	2.0	A	8.0
3	2.5	2.0	A	7.5
4	3.0	2.0	A	7.0
5	2.0	1.5	A	8.0
6	2.0	2.5	A	8.0
7	2.0	3.0	A	8.0
8	1.5	3.0	A	8.5
9	2.5	3.0	A	7.5
10	3.0	3.0	A	7.0
11	1.5	2.0	B	8.5
12	2.0	2.0	B	8.0
13	2.5	2.0	B	7.5
14	3.0	2.0	B	7.0
15	2.0	1.5	B	8.0
16	2.0	2.5	B	8.0
17	2.0	3.0	B	8.0
18	1.5	3.0	B	8.5
19	2.5	3.0	B	7.5
20	3.0	3.0	B	7.0
21	1.5	2.0	C	8.5
22	2.0	2.0	C	8.0
23	2.5	2.0	C	7.5
24	3.0	2.0	C	7.0
25	2.0	1.5	C	8.0
26	2.0	2.5	C	8.0
27	2.0	3.0	C	8.0
28	1.5	3.0	C	8.5
29	2.5	3.0	C	7.5
30	3.0	3.0	C	7.0
31	1.5	2.0	D	8.5
32	2.0	2.0	D	8.0
33	2.5	2.0	D	7.5
34	3.0	2.0	D	7.0
35	2.0	1.5	D	8.0
36	2.0	2.5	D	8.0
37	2.0	3.0	D	8.0

Note) 各試作木質床板は、厚さ 150mm のコンクリートスラブに直張りした

Each tested wooden floorboard was stuck onto concrete floor slab (150 mm thick).

a) 緩衝材 Shock-absorbable polymer sheet

A : 密度 Density (g/cm ³)	0.11	硬さ (度) Hardness (degree)	JIS A 6301	40
B : "	0.08	"		55
C : "	0.10	"		55~60
D : "	0.38	"		48~53

なお、第四層の防湿材にはすべて厚さ 2mm の緩衝材 A を用いた。

Shock-absorbable polymer sheet (type A, 2mm thick) was used for each fourth layer as a humidity-proof sheet.

b) Buna (*Fagus crenata* Bl.)

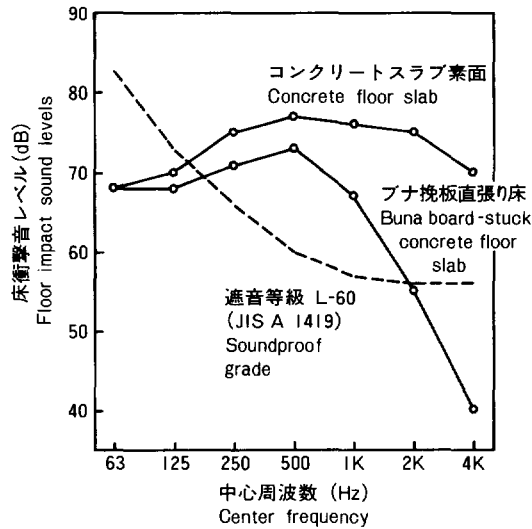


Fig. 2. コンクリートスラブ素面およびブナ挽板直張り床の床衝撃音レベルの周波数スペクトル

Frequency spectra for floor impact sound levels of concrete floor slab (150 mm thick) and Buna board (11 mm thick)-stuck concrete floor slab.

4.1 木質床板の第一層および第二層の厚さの違いによる軽量床衝撃音レベルの変化

直下室の軽量床衝撃音のオクターブバンドレベルのうち、木質床板の軽量衝撃音の低減に問題となる中心周波数 250 Hz と 500 Hz の値 L_{250} と L_{500} が、木質床板の第一層の挽板の厚さの違いによってどのように変化するかを示したのが Fig. 3 (a) と Fig. 3 (b) である。第二層の厚さが 3 mm の場合 (Fig. 3 (a)), 第一層の挽板が薄いほど、 L_{250} と L_{500} はいずれも低下している。第二層の緩衝材の厚さが 2 mm の場合 (Fig. 3 (b)), 第一層の挽板が薄くなるほど、 L_{250} は漸減あるいは横ばいの傾向にある。 L_{500} については、測定値のバラツキが大きく明確な傾向を見いだしがたいが、 L_{250} と同様の傾向と見てよいであろう。

ただし、第一層の厚さが 2 mm 以下では、 L_{250} 、 L_{500} とともに横ばいか逆に上昇する場合がある。とくに、第二層の緩衝材が B タイプの場合、第一層の厚さが 1.5 mm で L_{500} は最も高い値を示している。このように、木質床板表層部の軽量衝撃に対する緩衝性を高めるために第一層の挽板を 2 mm 以下に薄くすることは、第二層の緩衝材によっては効果的ではない場合が認められた。

Fig. 4 に、木質床板の第二層の緩衝材の厚さの違いによる L_{250} と L_{500} の変化を示す。第一層の挽板の厚さが一定 (2 mm) の場合、第二層が厚くなると L_{250} と L_{500} はおおむね低下する傾向にある。

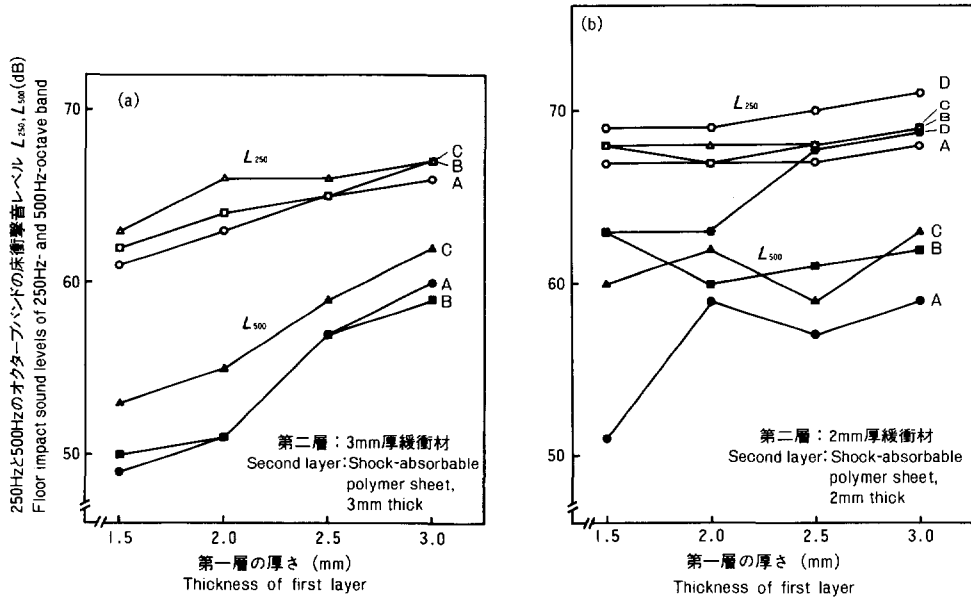


Fig. 3. 床衝撃音レベルに及ぼす木質床板の第一層の厚さの影響
(第一層：ブナ挽板)

Effect of first-layer thickness of wooden floorboard on floor impact sound levels.
(First layer: Buna board).

Note) A, B, C, D: Table 1 参照, See Table 1.

4.2 木質床板の第一層および第二層の厚さの違いによる最大衝撃力と衝撃周波数の変化

軽量衝撃時の最大衝撃力 F_{max} と衝撃周波数 f_n の関係を Fig. 5 に示す。 F_{max} と f_n が (5) 式に示したような正比例関係にあることがこの図から確認できる。したがって、(5) 式を誘導するにあたって仮定したように、軽量のハンマーを高さ 4 cm から木質床板に自由落下させたときの力センサーの出力を正弦半波とみなしてよいであろう。

Fig. 6 (a)~(d) に、おのおの第二層に材質の異なる緩衝材を用いた木質床板について、その緩衝材の厚さが 2 mm あるいは 3 mm であった場合に、第一層の挽板の厚さを薄くしたときの F_{max} と f_n の変化を示す。いずれも第一層が 2 mm になるまでは、それが薄くなると F_{max} と f_n は低下する。つまり、第一層の挽板が薄くなると、同一の衝撃力が加わっても床板表層部のたわみ量は大きく、衝突時間が長くなることから衝撃周波数は低くなり、したがって最大衝撃力も低下する。しかし、第一層の厚さが 1.5 mm では、2 mm に比べて F_{max} と f_n が、逆に大きくなる場合がある。このことは、第一層の挽板の厚さが 2 mm 以下になると、ハンマーが衝突する床板の表面において局部変形が顕著になり、弾性的にハンマーを受け止められない場合があるためと推察される。前節の Fig. 3 (b) に示したように、第二層の緩衝材の厚さが 2 mm で、第一層の挽板の厚さが 2 mm 以下になると、直下室の床衝撃音レベルが横ばいあるいは逆に高くなる場合が多いのは、このような床板表層部の動的変形や振動モードの変化に起因すると考えられる。

Fig. 7 (a)~(d) に、木質床板の第一層の挽板の厚さを 2 mm とし、第二層の緩衝材の厚さを変えた

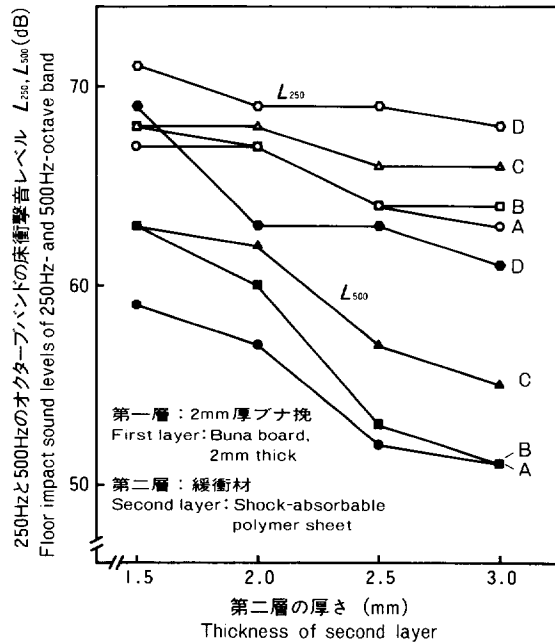


Fig. 4. 床衝撃音レベルに及ぼす木質床板の第二層の厚さの影響
Effect of second-layer thickness of wooden floorboard on floor impact sound levels.

Note) A, B, C, D: Table 1 参照, See Table 1.

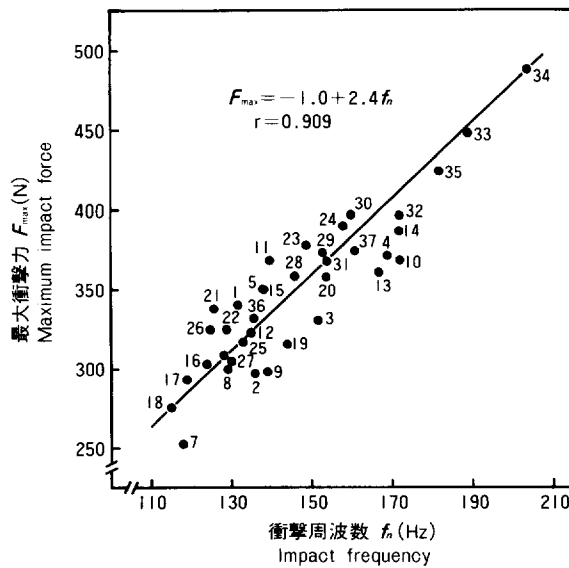


Fig. 5. 最大衝撃力と衝撃周波数との相関
Correlation between maximum impact force and impact frequency.

Note) 数値は Table 1 に示した木質床板の番号である
Numbers are No. of wooden floorboards shown in Table 1.

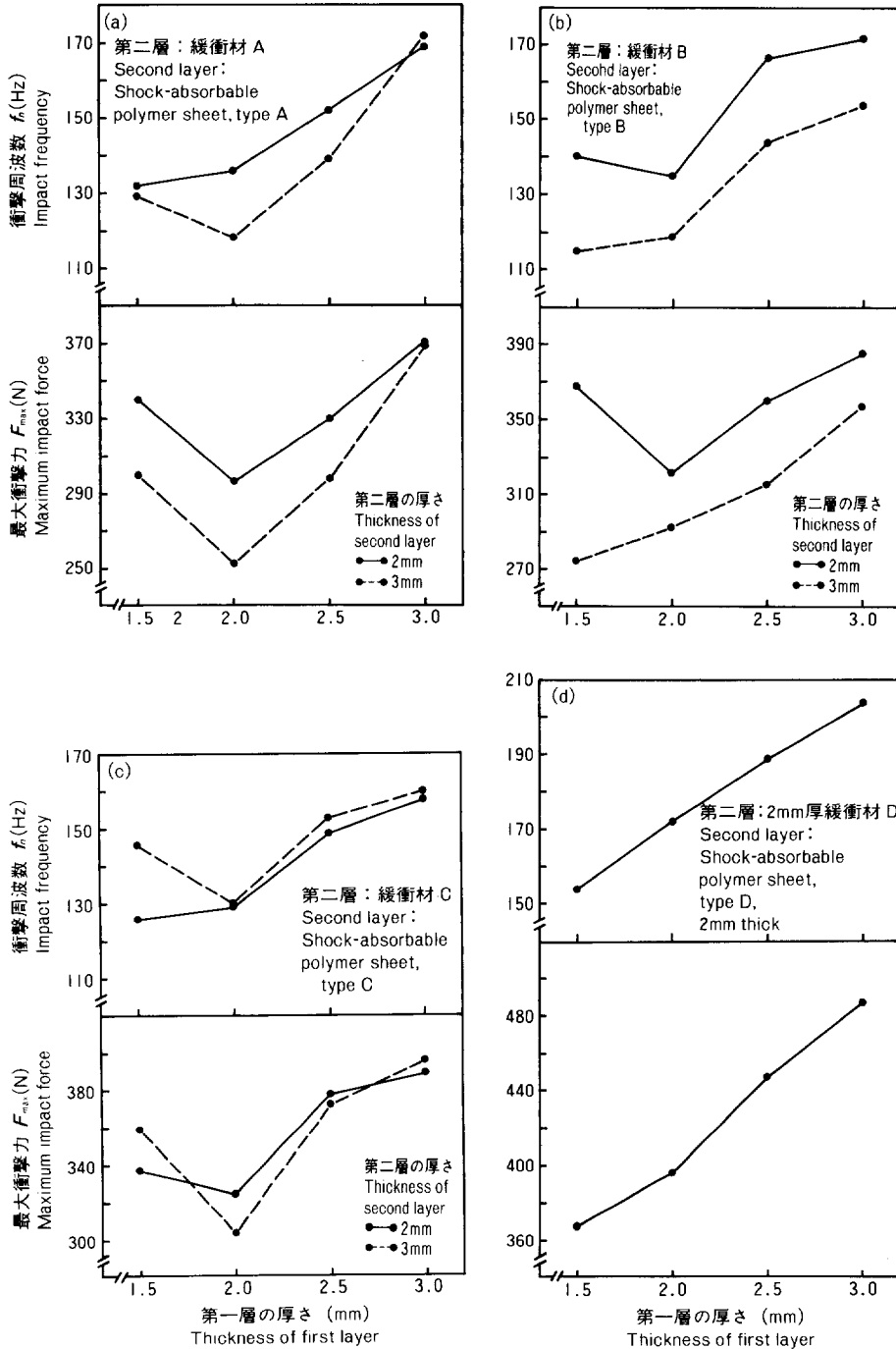


Fig. 6. 最大衝撃力と衝撃周波数に及ぼす木質床板の第一層の厚さの影響

(第一層：ブナ挽板)

Effect of first-layer thickness of wooden floorboard on maximum impact force and impact frequency.

(First layer : Buna board)

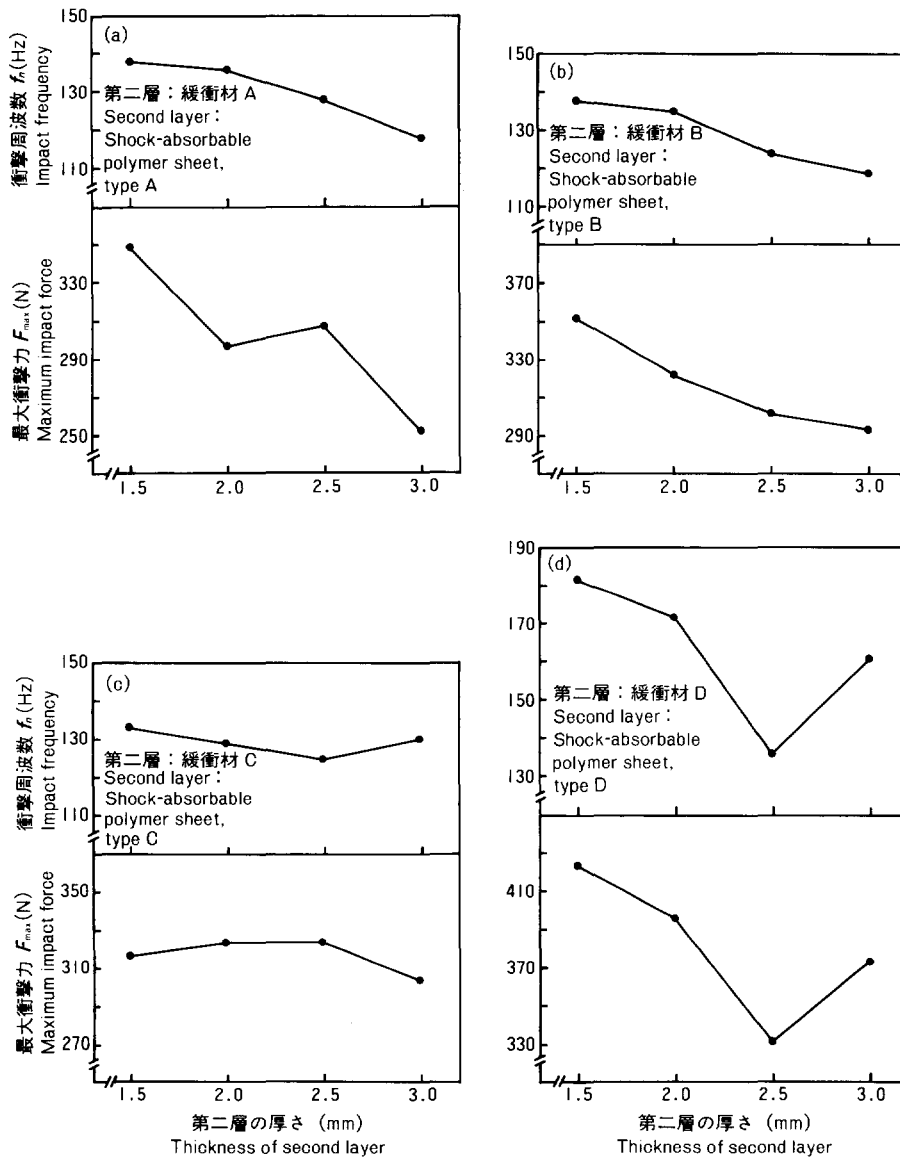


Fig. 7. 最大衝撃力と衝撃周波数に及ぼす木質床板の第二層の厚さの影響

(第一層: 2 mm 厚 Buna 挽板)

Effect of second-layer thickness of wooden floorboard on maximum impact force and impact frequency.

(First layer : Buna board, 2 mm thick)

ときの F_{max} と f_n の変化を示す。第二層の緩衝材が厚くなると、同一の衝撃力が加わっても床板表層部のたわみ量が大きくなるため、 f_n が低下し、また同時に F_{max} も小さくなる。このような傾向は、前節の Fig. 4 に示したように、第二層の緩衝材が厚くなると直下室の床衝撃音レベルが低下することを裏付けるものである。ただし、緩衝材の材質によっては、Fig. 7 (c) に見られるように、緩衝材を厚くしても緩衝効果の少ないものがある。また、Fig. 7 (d) に示したデータのバラツキの原因は明らかではないが、この場合の木質床板の第二層の緩衝材がフレック状のポリオレフィン発泡体を接着剤と混合して圧縮成形した不均質なタイプであることが原因の一つとして考えられる。

4.3 最大衝撃力および衝撃周波数と軽量床衝撃音レベルとの関係

Fig. 8 に L_{250} および L_{500} と F_{max} との関係、ならびに Fig. 9 に L_{250} および L_{500} と f_n との関係を示す。図中に示した実線は、二次回帰曲線である。Fig. 5 に示したように F_{max} と f_n は正比例関係にあることから、Fig. 8 と Fig. 9 は同様の傾向を示すので、両図を並行して検討する。この両図から分かるように、 F_{max} あるいは f_n の減少とともに L_{250} と L_{500} はほぼ二次曲線に沿って低下した。とくに、 F_{max} で約 300 N 以下、 f_n で約 130 Hz 以下の値を示した No. 6, 7, 8, 16, 17 および 18 の木質

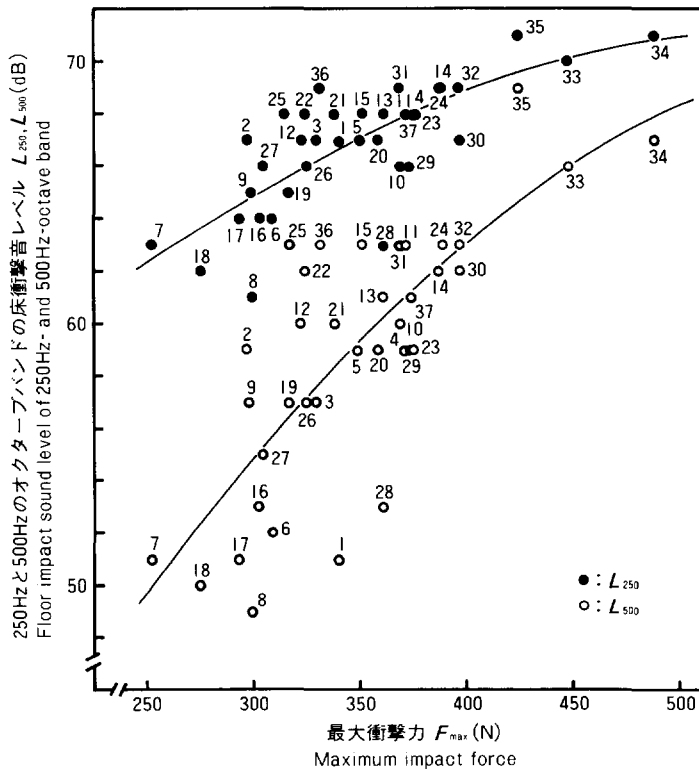


Fig. 8. 木質床板の床衝撃音レベルと最大衝撃力との関係
Relationship between floor impact sound level and maximum impact force of wooden floorboard.

Note) 数値は Table 1 に示した木質床板の番号である
Numbers are No. of wooden floorboards shown in Table 1.

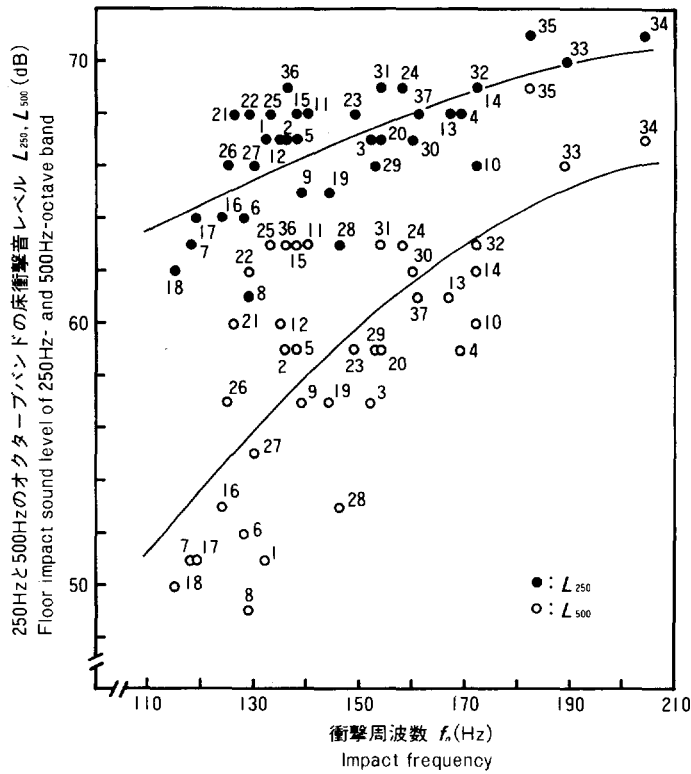


Fig. 9. 木質床板の床衝撃音レベルと衝撃周波数との関係
Relationship between floor impact sound level and impact frequency of wooden floorboard.

Note) 数値は Table 1 に示した木質床板の番号である
Numbers are No. of wooden floorboards shown in Table 1.

床板は、 L_{250} では 61~64 dB、 L_{500} では 49~53 dB の低い水準を示した。これらの木質床板については、表層部における衝撃振動エネルギーの吸収性能が向上したことから下方へ伝わる振動エネルギーが減少し、 L_{250} と L_{500} が著しく低下したと推察される。これらの木質床板の中で、一例として No. 17 の木質床板の床衝撃音レベルの周波数スペクトルを Fig. 10 に示す。Fig. 2 に示した 11 mm 厚のブナ挽板をコンクリートスラブに直張りした場合と比較して、この木質床板は L_{250} で 5 dB、 L_{500} で 11 dB の改善量を示しており、JIS A 1419 に規定されている建築物の遮音等級区分によれば、L-60 を凌ぐ等級となる。これら六種類の木質床板を日本建築学会の床衝撃音レベルの適用等級に基づいて評価するならば、集合住宅では遮音性能上ほぼ満足しうる 2 級におおむね位置づけられる。生活実感に対応させれば、集合住宅では注意すれば問題ないレベルに相当することから、これらの木質床板は、直張り遮音床板として実用に供しうる性能を有する。これらの遮音性の高い木質床板の積層構成は、第一層の挽板の厚さが 1.5~2.0 mm、第二層の緩衝材の種類が A あるいは B で、厚さが 2.5~3.0 mm の組合せのものである。

なお、 F_{max} で 400 N 以上、 f_n で 180 Hz 以上の値を示した No. 33, 34 および 35 の木質床板は、いずれも第二層の緩衝材が D タイプでしかもその厚さが 2 mm 以下である。緩衝材 D は、他の緩衝材と

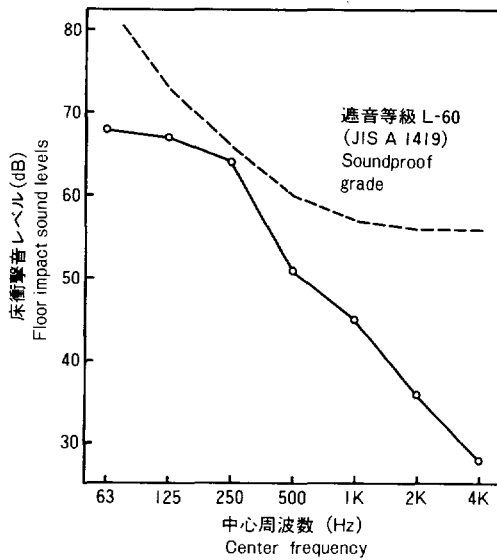


Fig. 10. 木質床板 (No. 17) の床衝撃音レベルの周波数スペクトル
Frequency spectra for floor impact sound levels of wooden floorboard (No. 17).

最大衝撃力 F_{max} および衝撃周波数 f_n の変化を検討した結果、次のことが明らかとなった。

1) 第一層の挽板の厚さが 3 mm から 1.5 mm で、第二層の緩衝材の厚さが 3 mm あるいは 2 mm のとき、第一層が薄くなるほど F_{max} , f_n および直下室の床衝撃音の 250 Hz と 500 Hz のオクターブバンドレベル L_{250} と L_{500} は低下する傾向にある。しかし、第一層の厚さが 2 mm より薄くなると、 F_{max} と f_n が逆に大きくなる場合があり (Fig. 6 (a)~(c)), とくに第二層の厚さが 2 mm では、 L_{250} と L_{500} も上昇する場合があった (Fig. 3 (b))。この現象については、ハンマーが衝突する際の床板表面の局部変形が顕著になり、弾性的にハンマーを受け止められないことから、表層部における衝撃振動エネルギーの吸収が十分に行われず、衝撃音が下方に伝わりやすくなるためと推察された。

2) 第一層の挽板の厚さを一定 (2 mm) にして、第二層の緩衝材の厚さを 1.5 mm から 3 mm まで変化させたとき、第二層が厚いほど木質床板表層部の緩衝性が高くなり (Fig. 7 (a)~(d)), L_{250} と L_{500} はいずれも低下した (Fig. 4)。

3) L_{250} と L_{500} は、 F_{max} あるいは f_n の減少とともに低下した (Fig. 8 と Fig. 9)。 F_{max} で約 300 N 以下 (f_n で約 130 Hz 以下) の値を示した No. 6, 7, 8, 16, 17 および 18 の木質床板の L_{250} と L_{500} は、他の木質床板のそれらより際だって低い水準を示した。これら六種類の木質床板は、JIS A 1419 の遮音等級で L-60 をしのぐ値を示し、それらの積層構成は、第一層の挽板が 1.5~2 mm 厚で、第二層の緩衝材が A あるいは B タイプで 2.5~3 mm 厚の組み合わせのものであった。

今後、さらに遮音性の高い木質床板を開発するためには、床板表層部を構成する第一層と第二層の軽量衝撃時の動的変形特性や振動モードに基づいて木質床板の振動特性を検討する必要がある。

異なり高密度で弾力性を抑えたタイプであることから、 L_{250} , L_{500} ともに高い水準を示したのであろう。

また、No. 28 の木質床板は比較的高い F_{max} と f_n を示しているにもかかわらず、 L_{250} , L_{500} ともに低い水準にある。さらに、No. 1 と 27 の木質床板についてみると、 L_{250} は他の大多数の木質床板と同様に高い水準を示しているが、 L_{500} は逆に低い水準にある。このように、No. 1, 27 および 28 の木質床板が他と異なる傾向を示す点を明らかにするためには、とくにこれら木質床板の表層部の動的変形や振動モードの特異性をさらに検討する必要がある。

5. 要 約

軽量床衝撃音の低減を目的に作製された四層構造の木質床板について、その積層構成の違いによる直下室の床衝撃音レベル、

文 献

- 1) 木村 翔：建築音響と騒音防止計画，彰国社（1977）
- 2) 安岡正人：床衝撃音防止設計法，音響技術，**6**，267～293，（1977）
- 3) 斎藤寿義・星 通：木材工業，**38**，429～432，（1983）
- 4) 斎藤寿義・星 通：木材工業，**41**，381～384，（1986）
- 5) 星 通・斎藤寿義・末吉修三：木材工業，**42**，273～276，（1987）
- 6) 星 通・斎藤寿義・末吉修三：木材工業，**43**，19～21，（1988）
- 7) 末吉修三・斎藤寿義・星 通：木材工業，**43**，112～116，（1988）

The Light Impact Sound of Wooden Floorboards I
The relationship between the shock-absorbability
and the light impact sound of wooden floorboards

Shuzo SUEYOSHI⁽¹⁾, Hisayoshi SAITO⁽²⁾ and Tohru HOSHI⁽³⁾

Summary

The demand for floors, walls, and ceilings that are soundproof has been growing markedly in multistory housing buildings. However, the wooden floorboards used in those buildings in place of a carpet or polymer sheet unfortunately have been a source of floor impact sound.

As is well-known, heavy impact sound decreases with the stiffness and weight of the floor structure. Moreover, light impact sound is reduced with the softness of the floor surface. In order to reduce the impact sound of floors, therefore, two different approaches should be made.

In this study, investigations on the relationship between the shock-absorbability and the light impact sound of wooden floorboards were conducted for the development of soundproof wooden floorboards.

1. Fundamental mechanism for reducing light impact force

When a light load (M kg) is applied to a floor with a certain velocity (V m/s) and restitution coefficient (μ), and the floor is not supposed to move after impact, the impulse, Y , is defined as

$$Y = MV(1 + \mu) \dots\dots\dots(1)$$

On the other hand, if an impact force wave is assumed to be a half sin pulse with the maximum impact force, F_{max} (N), and the impact time, Δt (s), as shown in Fig. 1, then Y is written as

$$Y = F_{max} (2\Delta t/\pi) \dots\dots\dots(2)$$

Using Equations (1) and (2), F_{max} is expressed as follows

$$F_{max} = MV (1 + \mu) \pi/2\Delta t \dots\dots\dots(3)$$

If the impact frequency, f_n , is defined as $1/2\Delta t$, then F_{max} is rewritten as

$$F_{max} = MV (1 + \mu) \pi f_n \dots\dots\dots(4)$$

It is shown in Equation (4) that if the impulse, Y , is constant, then F_{max} is reduced by decreasing f_n , that is, extending Δt .

2. Experimental

The types of tested wooden floorboards are given in Table 1. Each floorboard (30 cm square) consisted of four layers—thin Buna (*Fagus crenata* B1.) board, shock-absorbable polymer sheet, thick Buna board, and humidity-proof polymer sheet. Both the shock-absorbable and humidity-proof polymer sheets were a similar type of foamed polyolefin. These four layers were glued together with epoxy resin adhesive.

The measurement of light floor impact sound was made by JIS A 1418. A tapping

Received December 24, 1987
 (1) (2) (3) Wood Technology Division

machine was placed at the center of nine floorboards (90 cm square) which were stuck onto the concrete floor slab (150 mm thick) with double-faced adhesive tape. The floor impact sound was measured by a condenser microphone, a sound level meter, and an octave analyzer that were fixed in a room underneath.

The maximum impact force and impact frequency were measured as follows: A light-weight hammer (500 g) with a force sensor was dropped freely onto the specimen from a height of 4 cm. The maximum impact force and impact frequency were calculated from the output of the force sensor (Fig. 1).

3. Results and Discussion

Fig. 2 shows the levels of light impact sound of concrete floor slab (150 mm thick) and Buna board (11 mm thick)-stuck concrete floor slab. The impact sound levels of the concrete floor slab were higher than 70 dB at a 125 Hz octave band or above. When the Buna board was glued onto this concrete floor slab, the impact sound levels of the 1K Hz octave band or above decreased relatively, whereas the impact sound levels of the 250 Hz and 500 Hz octave band, L_{250} and L_{500} , still remained more than 70 dB. Thus the reduction of these impact sound levels, L_{250} and L_{500} , is a key point in decreasing the noise of wooden floors.

As shown in Figs. 3 (a), (b) and Figs. 6 (a)-(d), when the thickness of the first layer (thin Buna board) was more than 2 mm and that of the second layer (shock-absorbable polymer sheet) was 2 or 3 mm, then the maximum impact force, F_{\max} , the impact frequency, f_n , and the floor impact sound levels, L_{250} and L_{500} , decreased by decreasing the thickness of the first layer. In some cases when the thickness of the first layer was less than 2 mm, F_{\max} and f_n tended to increase conversely and both L_{250} and L_{500} also did not decrease.

In cases when the thickness of the first layer was 2 mm (Fig. 4 and Figs. 7 (a)-(d)), then F_{\max} , f_n , L_{250} , and L_{500} decreased by increasing the thickness of the second layer. However, as shown in Fig. 7 (c), there was an exception which did not follow a similar type of variation.

As shown in Fig. 8 and Fig. 9 where the solid lines are quadratic regression curves, the impact sound levels, L_{250} and L_{500} , had a tendency to decrease by decreasing F_{\max} and f_n . Wooden floorboards No. 6, 7, 8, 16, 17 and 18, of which the first layer was Buna board (1.5-2.0 mm thick) and the second layer was shock-absorbable polymer sheet (type A or B, 2.5-3.0 mm thick), indicated a low L_{250} and L_{500} . The soundproofing capacity of these six types of wooden floorboards was higher than the value specified for the soundproof grade, L-60, defined by JIS A 1419 (See Fig. 10). Such a change of floor impact sound levels was supposed to result from the variation in absorbability of the first and second layers of wooden floorboards for impact vibration energy.

Therefore in order to develop higher soundproof wooden floorboards, it is necessary to make clear the vibrational characteristics of wooden floorboards on the basis of their dynamic deflection and vibration mode caused by a light impact load.