テーブルトップ上のカップのずり摩擦音と表面物性[†]

祖父江 信 夫* 加 藤 彰 夫**

Friction Sound Emitted by Sliding of a Cup on Table Top and Effect of Surface Qualities

by

Nobuo SOBUE* and Akio KATOH**

Sliding of a coffee cup and a dish on table top emits the friction sound. This paper deals with the effects of the composition of table top and physical qualities of the surface on the sound level of the friction sound and the mechanism of the friction sound emission. Japanese oak veneers (0.6 mm and 1.4 mm in thickness) and meramine sheets were overlaid, and an ethylene-propylene rubber sheet was also sandwiched as an absorbing material between surface material and base boards (plywood and particle board).

The results obtained are as follows :

- (1) The power spectrum of the friction sound is composed of tap tone and noise components.
- (2) The regression analysis shows that the sound level can be represented quantitatively by the apparent surface hardness and the interval of surface roughness.
- (3) Synthesizing of the friction sound from tap tone of a board shows that the friction sound originates from the collision of the projection at the bottom surface of a cup and that of a board. This is the reason why the power spectrum of the friction sound resembles that of the tap tone.
- (4) In order to reduce the sound level of friction sound the followings are effective : the surface is not so hard, the sandwiching of absorbing sheet reduces apparent hardness and the sound level, and the surface roughness is not so fine.

Key words : Friction sound, Sliding of a cup, Table top, Surface quality, Mechanism of sound emission

1 緒 言

最近、木製品の高級化志向にともない、従来あまり考慮されなかった木製品の発生する音がクローズアップされるようになってきた。例えば、フラッシュ構造のパネルや収納庫などに物が当たったときに発する音を不快に感じたり、家具などを購入する場合によく指でコツコツ叩いてみたりする。これらの音は木製品本来の機能とは関係ないかもしれないが、人の感覚に影響をおよぼす性能として配慮が必要となってきた。

このような性能に、本研究で取り上げる木材表面における摩擦音がある¹⁾。食卓や机の上で皿やコーヒーカップをずらしたときザラザラと大きな音が出たりすることは、我々が日常よく体験することである。

本研究では、種々の表面材料を用いたり、表面材と台板の間に緩衝材を挿入したテーブル用の天板を作製し、その上でコーヒーカップをずらせたときに発生する音（ここでは、ずり摩擦音と呼ぶ）の性質とずり摩擦音の軽減方法およびずり摩擦音の発生機構について

検討する。

2 実 験 方 法

2・1 供試材

試験体の台板には、18 mm 厚の普通合板とパーティクルボード (70 cm×70 cm) を用いた。表面材には、厚さ 0.6 mm のナラ材の突き板および厚さ 1.4 mm のナラ材ロータリー単板、厚さ 0.8 mm のメラミン化粧板を用いた。緩衝材には、厚さ 2 mm のエチレン・プロピレンゴムシートを用いた。

試験体は、構成が台板のみのもの、台板に直接表面材を接着したもの、および台板と表面材の間に緩衝材を挿入したもので、各構成について 1 枚ずつ計 14 種類とした。

接着にはゴム系接着剤を用い、家具工場のローラー圧縮ラインで通常の作業条件に従って行った。

2・2 測定方法

2・2・1 ずり摩擦音の測定 Fig. 1 に摩擦音の測定方法を示す。試験体を L 型鋼で作った一対のフレ

[†] 原稿受理 平成元年11月30日 Received Nov. 30, 1989

* 正 会 員 名古屋大学農学部 名古屋市中種区不老町, Faculty of Agriculture, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya

** 名古屋大学大学院 名古屋市中種区不老町, Graduate Student, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya

Fig. 1. Measurement of friction sound.

ームとボルトで両側からはさみ込み、板の振動に対して全辺固定条件となるようにした。この金属フレームを発泡スチロールを緩衝材として介在し、支持台の上に置いた。

コーヒーカップは、直径 7.4 cm、重さ 227 g で陶器製のものを用い、コーヒーを入れたときの重さに等しい乾燥した砂を内部に詰めた。コーヒーカップの移動は、把手を持ってできるだけ一定の速さで引張った。速度は、普通にカップを引きずる速さで、約 20 cm/sec とした。カップを引きずる位置は試験体の中央で、その方向は表板の繊維方向と繊維に直交する二方向とした。なお、方向性のないパーティクルボードの台板とメラミン化粧板の場合は、一方向のみとした。

ずり摩擦音は、試験体中央の直下 20 cm の位置に精密騒音計を置いて測定した。精密騒音計（聴感補正 A 特性）で音圧のオーバーオール値を求めると同時に、出力を FFT スペクトルアナライザにつなぎ、ずり摩擦音の周波数分析も行った。なお、測定は簡易無響室で行い、3 回繰り返した。オーバーオール値は、カップの移動をはじめて音圧がほぼ一定になった時の指針の振れの最大値を読み取った。

2・2・2 打撃音の測定 パルス状の応力刺激に対する表面材および緩衝材の衝撃吸収について検討するため打撃音の測定を行った。表面材および緩衝材の効果のみが測定できるように、一枚の台板を用い、その中央に 20 mm×20 mm の供試試験体と同じ構成の小片を固定して音圧の測定を行った。

試験体の小片に、先端に鋼球を付けた重たい（先端直径 10 mm、重さ 25.7 g）を高さ 5 mm の位置から自由落下させて衝突音を測定した。

打音の音圧測定は、精密騒音計ではメータの追従性に問題があるので、FFT アナライザで得られるパワースペクトルのオーバーオール値を用いた。測定は 4 回繰り返し、その平均値を解析に用いた。

2・2・3 表面の硬さの測定 試験体表面の硬さは、JIS Z 2117（木材の硬さ試験方法）に従って測定し

Fig. 2. Profile of surface roughness.

た。したがって、供試試験体で測定される硬さは真の表面硬さではなく、台板や緩衝材の影響を含んだ見掛けの硬さである。測定点は試験体の四隅でそれぞれ 2 箇所とし、合計 8 点の値の平均値を解析に用いた。

2・2・4 表面粗さの測定 スキッドにボールペン（極細書用）の先端を用いた簡易の粗さ測定装置によって、上記二方向にカップをずらした位置でそれぞれ 3 箇所ずつの粗さの断面曲線を求めた（Fig. 2）。掃引距離は約 10 mm とし、スキッドをモータ制御により定速度で移動させた。

粗さの間隔は、次のようにして求めた。FFT アナライザによって断面曲線の空間周波数に関するパワースペクトルを求め、その卓越周波数の最大ピーク的位置から断面曲線の変動の主たる周期として、粗さの間隔を定義した。3 箇所測定した平均値を解析に用いた。

3 結果と考察

カップを引きずる方向によるずり摩擦音の差異については繊維に直交に引きずった方が全般に 3-7 db ほど音圧が大きかったが、各種因子に対する傾向は繊維方向に平行に引張った時と同様な傾向を示した。したがって、以下では、カップを繊維方向に平行に引きずった場合の検討結果に基づいて考察を行う。

3・1 ずり摩擦音の波形

Fig. 3 に、典型的なずり摩擦音と同じ位置を鋼球で

Fig. 3. Typical time figures of tap tone and friction sound.

Fig. 4. Typical power spectra of tap tone and friction sound.

軽く打撃した打音の時間波形を示す。ずり摩擦音は、ノイズに似た連続な複雑な波形をしている。打音も高次振動を含む複雑な変動をしながら、特有な減衰振動波形を示している。

Fig. 4 に、これらの波形のパワースペクトルを示す。打音のスペクトルには板の固有振動と思われる卓越したピークが認められ、比較的単純なスペクトルを示している。一方、ずり摩擦音のスペクトルは全体的に打音のスペクトルと類似し、卓越したピークの位置もほぼ一致しているが、解析周波数全体に渡って非常に細かなスペクトルの切れ込みが認められる。この細かい切れ込みはノイズに特徴的なスペクトルであり、ずり摩擦音に特有なザラザラした感じの音に起因するものと考えられる。

ずり摩擦音スペクトルの 200～400 Hz の間で打音にはないスペクトル成分がみられる。カップに振動センサを貼り付けて測定したところ、その振動スペクトルとはほぼ一致したので、コーヒーカップから発生した振動に板が共振したのと考えられる。

このことから、ずり摩擦音は打音とノイズが重畳され、連続的に板から発生している音と解釈できる。

3・2 ずり摩擦音および打音の音圧におよぼす試験体の構成の影響

Fig. 5 に、各試験体におけるずり摩擦音のオーバーオール値を示す。

まず、台板のみの場合の比較では、パーティクルボードの方が合板より 5 dB ほど音圧が大きい。

しかし、表面材を貼ると台板の影響はなくなり、ずり摩擦音は表面材の特性によって左右される。パーティクルボードの台板にナラ単板を貼ると、台板を合板とした場合の音圧まで低下する。

メラミン化粧板を貼った場合は音圧が著しく増加し、木材表面に比べて約 10 dB の増加が認められる。このことは、我々の日常経験とよく一致している。

表面材と台板の間に挿入したゴムシートは、Fig. 5

Legend: PW; plywood, PB; particle board, NO1; overlaid with sliced nara-veneer of 0.6 mm in thickness, NO2; overlaid with peeled nara-veneer of 1.4 mm in thickness, MO; overlaid with meramine sheet of 0.8 mm in thickness. Filled marks show sandwiching of ethylene-propylene rubber sheet of 2 mm in thickness between surface veneer or sheet and base board.

Fig. 5. Effect of board composition on sound pressure level of friction sound.

Legend: see Fig. 5.

Fig. 6. Effect of board composition on power spectrum intensity of tap tone.

に示すようにずり摩擦音を低減させる効果を示し、表面材および台板の種類にかかわらず約 4～7 dB 音圧を低減させている。

Fig. 6 は、打音の結果を示す。ずり摩擦音の場合とはほぼ同様な結果を示しているが、ゴムシートの緩衝効果はずり摩擦音の場合に比べて少ない。衝突によって板に一定のインパルスが与えられても表面材や緩衝材によって衝撃吸収の度合いが異なることにより台板に伝ばされるエネルギーが変化し、衝突音の音圧に差異が生じている。

3・3 ずり摩擦音のオーバーオール値と表面の見掛けの硬さ

Fig. 7 は、ずり摩擦音のオーバーオール値と表面の見掛けの硬さとの関係を示す。表面の見掛けの硬さの増加につれてずり摩擦音のオーバーオール値が増加し、両者の間にはかなりよい相関関係（単相関で相関係数 0.79）が得られた。

Fig. 7 から、ゴムシートの挿入によって全体に見掛けの硬さが軟らかい方にシフトすると同時に、ずり摩

Legend: +; base board (PW; plywood, PB; particle board), ○; overlaid with sliced nara-veneer of 0.6 mm in thickness, △; overlaid with peeled nara-veneer of 1.4 mm in thickness, □; overlaid with meramine sheet of 0.8 mm in thickness. Filled marks show sandwiching of ethylene-propylene rubber sheet of 2 mm in thickness between surface veneer or sheet and base board.

Fig. 7. Effect of apparent hardness of boards on sound pressure level of friction sound.

擦音のオーバーオール値が低下していることがわかる。すなわち、試験体の表面硬さばかりでなく、ゴムシート挿入による見掛けの硬さの低下によってもずり摩擦音を低減できることがわかる。天板の表面は傷に対する耐摩耗性などが必要なことから、実用上ある程度硬い必要がある。この点から考えると、緩衝材の挿入は実際の対応として有効な手段と考えられる。

3・4 ずり摩擦音のオーバーオール値と表面粗さの間隔

Fig. 8 は、ずり摩擦音のオーバーオール値と表面粗さの間隔との関係を示す。表面粗さの間隔の減少につれてずり摩擦音のオーバーオール値は増加し、両者の間にはかなりよい相関関係（単相関で相関係数 0.81）が得られた。

ゴムシートを挿入すると、ずり摩擦音の値のプロット点がほぼ平行に下側にシフトしている。このことか

Legend: see Fig. 7.

Fig. 8. Effect of interval of roughness on sound pressure level of friction sound.

ら、表面粗さの間隔と見掛けの硬さの両方の因子が音圧に影響していると考えられる。そこで、表面粗さの間隔と見掛けの硬さを因子として重相関分析を行った結果、重相関係数 0.938 を得た。

すなわち、ずり摩擦音の大きさは、天板の見掛けの硬さと表面粗さの間隔の二つの説明因子で定量化できることがわかった。

しかし、天板の表面が更に細かくなって鏡面のように滑らかになると、逆に音圧は低下すると考えられる。

3・5 ずり摩擦音の発生機構

これまでの検討の結果から、ずり摩擦音の発生機構を次のように仮定できる。

カップを引きずるとまずカップ底面の突起と木質板表面の突起部分との衝突によってパルス状の刺激が天板に与えられ、板に過渡的な固有振動が励起される。つぎに、わずかにずれたカップ底面の突起と木質板表面の突起部分が衝突し、板が振動する。このとき、パルス状の刺激の間隔が固有振動の周期に一致すると板は連続的な共鳴状態となる。しかし、衝突の周期は不規則であると考えられるので、衝突のタイミングのずれのために不規則波形が発生してノイズ成分の原因となり、音圧はある一定値で平衡する。

このように考えれば、ずり摩擦音と打音の卓越したスペクトルが類似し、摩擦音にノイズ成分が重畳することが説明できる。

また、天板の見掛けの硬さと表面粗さの間隔の二つの因子の影響は、次のように説明できる。カップ底面の突起と木質板表面の突起部分が衝突した際のパルス状の刺激によって板の振動が励起されるので、天板の表面が硬いほど刺激は大きくなり、発生する音の音圧も大きくなる。このことは、3・2 節の Fig. 6 の鋼球

Fig. 9. Synthesizing of friction sound from tap tone.

Fig. 10. Comparison of power spectra between synthesized sound and measured sound.

による打音の実験結果からも明らかである。

表面粗さの間隔の減少につれてずり摩擦音のオーバーオール値が増加することは、次のように説明できる。表面の粗さの間隔が短くなると、単位時間当たりにカップ表面の突起と木質板表面の突起部分が衝突する回数が増えるので、ある時定数を持って指示される音圧のオーバーオール値は増大する。

つぎに、この仮定に基づいて天板の打音からシミュレーションによってずり摩擦音を合成し、実測の結果と比較してみた。Fig. 9 に、波形の合成過程を示す。ここで、天板表面の形状は、卓越した表面の粗さの間隔の実測値の最大値と最小値の間で変動する乱数を発生させ、粗さの間隔のモデル化を行った。

Fig. 10 は、合成した音および実測のずり摩擦音のパワースペクトルを示す。合成音はずり摩擦音の特徴をよく表現しており、仮定した摩擦音の発生機構が基本的に正しいことを示している。なお、合成音のスペクトルで 200~400 Hz のスペクトルが欠落するのは、3・1 節で示したように、コーヒーカップの共振が考

慮されていないためである。

4 結 論

本研究では、表面材料を変えたり緩衝材を挿入した種々のテーブル用の天板を用い、その上でコーヒーカップをずらせたときに発生するずり摩擦音におよぼす天板の構成と表面物性の影響およびずり摩擦音の発生機構の検討を行った。

(1) スペクトル解析の結果、ずり摩擦音は打音とノイズ音が重畳され、連続的に板から発生している音と解釈できる。

(2) 相関分析の結果、ずり摩擦音の大きさは、天板の見掛けの硬さと表面粗さの間隔の二つの説明因子で定量化できる。

(3) パワースペクトルの合成シミュレーションの結果、ずり摩擦音はカップ底面の突起と木質板表面の突起部分が不規則に衝突することによって発生するパルス状の刺激が原因となって、板全体が固有振動するために生じることが明らかとなった。

(4) ずり摩擦音を低減させるには、表面を硬くしないこと、緩衝材を挿入することによって見掛けの硬さを低下させること、表面をあまり細かくしないことが効果的である。

本研究の実施に当たり、供試材料の提供を受けたユアサ建材工業(株)名古屋工場および供試材料の提供と試験体の製造をお願いしたアイカ工業(株)の関係各位に感謝いたします。

(平成元年 4 月 2 日 日本木材学会大会にて講演)

参 考 文 献

- 1) 加藤彰夫, 祖父江信夫, 第39回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 18 (1989).