摩擦音の周波数シフトに及ぼす表面あらしの影響

The effect of surface roughness on frequency shift of frictional sound

○ 丸山 卓 (東北・院) Boyko STOIMENOV (東北大)
正 加藤 康司 (東北大) 正 足立 幸志 (東北大)

Suguru MARUYAMA, Boyko STOIMENOV, Koji KATO and Koshi ADACHI
Tohoku University, Aramaki-Aza-Aoba 01, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8597

Keywords : Frictional sound generation, Surface roughness, Flat-on-flat contact, Eigenfrequency

1. 緒言

表面あらしは、摩擦音に非常に大きく影響する因子であると考えられている。ヘルツ接触における摩擦音と表面あらしの関係についての研究は過去になされてきた⁽¹⁾⁻⁽³⁾。しかし、基礎的な平面同士の接触における表面あらしと摩擦音の関係に関する研究論文は見当たらない。

本研究は、様々な表面あらしを持つ2平面の接触の影響を、試験片の重ね合わせた状態での打撃音と、すべり接触によって発生する摩擦音の周波数解析を行い、接触面の表面あらしによる周波数の変化を明らかにした。

2. 実験装置及び方法

2.1 実験装置

実験装置の概略図を Fig. 1 に示す。音源からの音はマイクロフォン (ブリュエル・ケア社製ファルコンレンジマイクロフォン 4190) で収集され、マイクロフォンプリアンプ (ブリュエル・ケア社製 2669L)、アンプ (ブリュエル・ケア社製 NEXUS) により増幅され、データ収集システム (National Instruments 社製) を用い、解析用ノートパソコン (NEC 製) に取り込まれる。データ収集用ソフトウェアは、National Instruments 社の Labview6 を用い、解析用のソフトウェアには、Mathworks 社の Matlab を用いた。音源からマイクロフォンまでの距離は 300 mm とした。また、評価する音の周波数帯を 400 Hz ~ 20 kHz、測定時間を 3.06 秒 (データ点数 153600 点) と決定した。

2.2 実験方法

#40, #100, #400 の研磨紙により、表面あらしの異なる3種類の SUS304 平板 (3×20×80 mm) を試験片として使用した。

試験片の固有周波数は、各々の試験片をテグス糸で吊りし、鋼球による打撃音のパワースペクトル密度より求めた。さらに固有周波数に及ぼす接触表面の影響は、同様の表面あらしを有する研磨面が合わさるように重ねた試験片打撃音より解析した。次に、試験片間の摩擦は、実験装置自体のシステムノイズの発生を避け

るために、ノイズの発生しにくい人間の手により行った。摩擦音の大きさにすべり速度、荷重の影響が出ることは報告されている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。そこで、本研究では、摩擦音の周波数に特に着目する。今回の実験のすべり速度 (平均速度 0.078 m/s ~ 0.1700 m/s)、荷重 (平均荷重 0.613 N ~ 24.5 N) の範囲では、摩擦音の周波数のピークの位置が変化しないことを確かめた。また、試験片の接触面が傾き離れないように細心の注意を払い擦り合わせた。今回は、同じエメリ紙で作り出した表面あらしを持つ試験片同士を摩擦した。

3. 実験結果

3.1 表面あらしによる打撃音の変化

Fig. 2 に厚さ 3 mm の試験片を単独で打撃したものと、表面あらしを付けた試験片 2 枚を重ね合わせて、打撃したときの時間毎の周波数の分布を示す。それぞれ (a) は試験片 1 枚、(b) は #40 で研磨した試験片同士を重ねたもの、(c) は #100 で研磨した試験片同士を重ねたもの、(d) は #400 で研磨した試験片同士を重ねたものの打撃音の解析結果である。ここで、表面が滑らかになるほど (#40 から #400 に向かう方向)、2 枚の試験片を重ねたものの周波数のスペクトルが、強くなっていく周波数成分があることがわかる。

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

Fig. 2 The Effect of surface roughness combination on impact sound

Fig. 3 Power spectrum density of impact sounds and frictional sounds from specimens polished by three kinds of emery papers

Fig. 5 Peak frequency shift of P_1 influenced by surface roughness

この周波数成分の1つ4754Hzは、試験片の厚さを6mmにした場合の横振動の第1次の固有振動数である。その他の、強度が強くなっていく周波数ピーク(4500Hz, 7000Hz)は、ねじれモードの固有周波数と考えられる。接触界面の表面あらさが減少するにつれ、接触面の剛性が増加し、それぞれが個別に振動していた試験片が、一体になっていくことを示している。

3.2 表面あらさによる摩擦音の変化

3種類のエメリ紙で研磨した試験片の摩擦音の周波数スペクトラムと、それぞれの表面あらさの試験片一枚の打撃音の周波数スペクトラムを重ねてFig. 3に示す。ここで摩擦音における、5つのピーク周波数を $P_1 \sim P_5$ と定義する。グラフより、10kHz以上の周波数帯では、摩擦音は打撃音が示す固有周波数のピークと同じ周波数ピークを示すことがわかる一方、10kHz以下の領域では、打撃音の固有周波数からシフトしたピーク周波数が存在することがわかる。表面あらさ(最大高さあらさ)の平均値とピーク $P_1 \sim P_5$ の関係をFig. 4に示す。Fig. 3に示したように、摩擦音の最も低いピーク周波数 P_1 において表面あらさの影響が最も顕著に現れていることがわかる。本研究で得られた全ての実験の P_1 と表面あらさの関係をFig. 5に示す。この結果から、摩擦面が滑らかになるほど、 P_1 は、高周波側にシフトし、収束することがわかる。

4. 考察

この周波数のシフトの原因として、次のことが考えられる。摩擦音の第1ピーク P_1 は、Fig. 3より試験片の第1次の横振動の固有周波数(2377Hz)が高周波側にずれてきたものである。この P_1

Fig. 4 Peak frequency shift influenced by surface roughness

が変動する原因として、接触表面間の接触面剛性の増加が考えられる。表面あらさが大きくなるにつれ、接触面の剛性が低くなる。摩擦による自励振動が起こった場合、接触点が常に接触を保てず、それぞれ2枚の試験片が自由振動する状態に近い状態になる。故に、Fig. 5で試験片があらくなっていくと、試験片の第1次の横振動の固有周波数(2377Hz)に向かい収束していくことが説明できる。逆に、接触面が滑らかになるにつれ、3.1節のFig. 2で示したように、2枚の試験片が一枚の厚い試験片に近づいていく。この際、接触面の剛性は増加し、あらい試験片の場合のような振動は不可能になり、接触面で振動の節を作るようになる。この節の影響で、摩擦中に第1のピークがシフトを起こす。このシフトの周波数の中で最も支配的な値が、測定時間全体の、摩擦音のパワースペクトル密度にピークとして現れる。このように様々な周波数が含まれるために、摩擦音のピークは広がりを持つといえる。この接触面による節の生成は、より滑らかな試験片ほどはつきり起こり、その影響で振動波長が短くなり、高周波数側にシフトが起こると考えられる。最もあらい表面での摩擦音の P_1 の周波数の振動を起こす板の長さを計算すると約8cm、最も滑らかな表面での摩擦音の P_1 の周波数から得られる計算上の板の長さは、約5cmとなる。これは、最もあらい表面での試験片全体の振動から、滑らかな表面による試験片の幅2cmの拘束を受けた状態での振動に変わっていくことを示している。

5. 結言

#40, #100, #400のエメリ紙で研磨した表面あらさを持つSUS304の2平面の接触の影響を、試験片の重ね合わせた状態での打撃音と、すべり接触によって発生する摩擦音の周波数解析を行い、接触面の表面あらさによる固有周波数の変化を明らかにした。

重ね合わせた試験片での打撃試験結果において、固有周波数の変化を示し、接触面剛性の概念を導入することにより、試験片が一体化していくことを明らかにした。

摩擦試験と打撃試験の結果から、試験片の表面あらさによるピークシフトを確認できた。このシフトは、摩擦面が滑らかになるほど、高周波側にシフトする。この理由として、摩擦音に及ぼす、摩擦表面間の接触面剛性による試験片固有周波数のシフトの考え方を提案した。

参考文献

- (1) 高橋浩一, 中央大学理工学部紀要, 16, (1973) 53-69.
- (2) 横井雅之, 中井幹雄, 日本機械学会論文 C, 47, 421 (1981) 1169-1176.
- (3) M. O. Othman, T. W. Abou-Arab, M. C. Mirzaa, A. H. Elkholy, Tribology International, 28, 5 (1995) 293-300.