

防振ゴムによる加工中に生じるびびり振動の抑制

神戸大学 ○大道壮毅, ◎佐藤隆太, 中辻秀憲, 白瀬敬一

要 旨

切削加工中に生じる自励びびり振動は、製品の品質を著しく低下させるほか、工具や工作機械の破損を招くなど大きな問題となる。本研究では、工作機械の機台支持部の下に防振ゴムを敷くことにより、びびり振動が抑制できるか実験的に検証した。実験は複数の種類の防振ゴムを用いて行った。その結果、適切な特性の防振ゴムを用いると被削材を加振したときのコンプライアンスが低下し、びびり振動の発生を抑制できたので報告する。

1. 緒 言

生産現場では、数値制御工作機械が広く用いられている。その生産効率を向上するためには、材料に対して一度に切り込む量を大きくする必要があるが、ある一定の値を超えると、工具と被削材の間にびびり振動が発生する。これによって、工具の異常な損耗や機械構造の破壊を招くことが知られている¹⁾。

びびり振動を抑制するためには、工具の回転数や切込み量を変更することが一般的であるほか、不等リードエンドミルを用いる方法²⁾や、動吸振器を用いる手法³⁾などが検討されてきた。一方で、自動車部品など様々な機械振動を、防振ゴムを用いて抑制する研究⁴⁾も行われてきたが、防振ゴムをびびり振動の抑制に用いた例は見当たらなかった。本研究では、工作機械の機台支持部の下に防振ゴムを敷くことにより、びびり振動が抑制できるか実験的に検証したので報告する。

2. 実験方法

2.1 測定対象

本研究では、4点で支持された小形立て形マシニングセンタを用いて実験を行った。図1に実験に用いた機台支持部の模式図を示す。通常は図1(a)に示すように鋳鉄製のサポートが床面に直接接した状態であり、本研究では、サポートと床面との間に図1(b)に示すように防振ゴムを敷くことでびびり振動を抑制できるか検討した。用いた防振ゴムの素材はクロロブレンゴムであり、厚さ8mmと20mmの2種類の防振ゴムを用いて実験を行った。

2.2 切削力の測定

直径50mmの正面フライスを使って+X軸方向に送り速度480mm/minで切削を行い、そのときの切削力を測定した。加工条件を表1に示す。防振ゴムを用いずにこの加工条件で加工を行うと、Y軸方向の周波数特性に起因して50Hzの自励びびり振動が発生することが確認されている。50Hzの振動モードは、主にコラムの倒れによるものであることも確認されている。刃数と主軸回転数とから、このときの切れ刃通過周波数は80Hzと計算できる。切削力は図2(a)に示すようにテーブルと被削材との間に取付けたキスラー社製の水晶圧電式動力計で測定した。

2.3 加振実験

防振ゴムが機械の周波数特性に及ぼす影響を確認するため、切削加工試験を行うのと同じ取付け状態で図2(b)に示すように被削材をY軸方向に加振し、そのときの周波数特性を測定した。加振はインパルスハンマによって行い、加振点の反対側に加速度計を取付け、加振力と加速度とからFFTアナライザによりコンプライアンスを計算した。

3. 機台支持部の防振ゴムによるびびり振動抑制効果

3.1 切削力の測定結果

切削力の測定結果を図3に、Y軸方向の切削力波形の周波数解析結果を図4に示す。図3(a)および図4(a)は防振ゴムを用いない場合の結果であり、切削力の波形が大きく乱れ、周波数解析結果をみると切れ刃通過周波数とは異なる約50Hzの大きな振動が生じていることがわかる。図3(b)および図4(b)は、厚さ8mmの防振ゴムを用いた場合の切削力およびその周波数解析結果である。図によると、厚さ8mmの防振ゴムを用いた場合には、切削力波形に乱れは生じておらず、周波数解析結果には80Hzの切れ刃通過周波数成分のみが現れていることがわかる。しかし、厚さ20mmの防振ゴムを用いた場合の結果である図3(c)および図4(c)をみると、切削力波形が大きく乱れ、その周波数解析結果には切れ刃通過周波数とは異なる約60Hzの大きな振動が生じ、この振動の振幅は防振ゴムを用いない場合よりも大きい。このように、機台支持部の下に防振ゴムを敷くことでびびり振動が抑制される場合もあるが、びびり振動が抑制

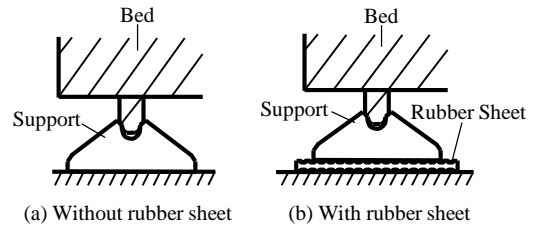


Fig.1 Schematics of machine bed support

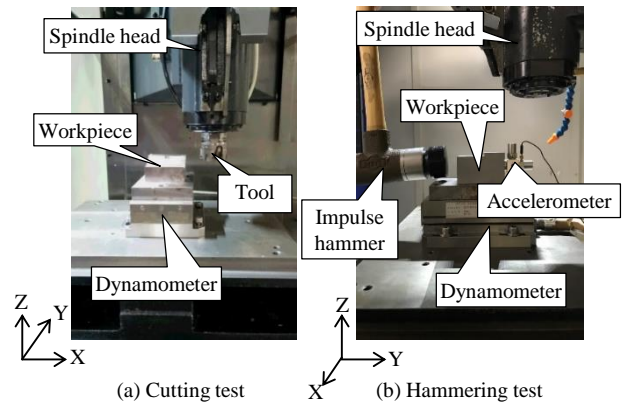


Fig.2 Experimental set-up

Table 1 Cutting condition

Workpiece material	JIS S45C
Tool type	φ50, face mill
Helix angle	14°
Number of flutes	5
Spindle speed	960 min ⁻¹
Feed rate	480 mm/min
Axial depth of cut	5 mm
Radial depth of cut	20 mm
Cutting direction	Down cut

されずにより大きなびびり振動が生じてしまう場合もあることが確認された。

3.2 周波数特性

被削材をY軸方向に加振したときのコンプライアンスの測定結果を図5に示す。図によると、防振ゴムを用いない場合には、50Hz付近に大きな共振が存在することがわかり、これが切削力波形に現れた50Hzの振動の原因であると推測される。厚さ8mmの防振ゴムを用いた場合の結果をみると、50Hzでみられた共振は消滅し、代わりに40Hz付近と70Hz付近に振動のピークが生じている。また、厚さ20mmの防振ゴムを用いた場合には、60Hz付近に振動のピークが生じていることがわかる。

なお、通常支持部を用いた場合に50Hz付近で生じる振動の振動モードは、コラムがテーブルに対してX軸周りに倒れる振動モードで、これと同じ振動モードが、厚さ8mmの防振ゴムを用いた場合には40Hz付近に、厚さ20mmの防振ゴムを用いた場合には60Hz付近に現れ、それに加えて、厚さ8mmの防振ゴムを用いた場合にみられる70Hz付近の振動は、コラム頂上付近を中心に機械全体がX軸周りに回転する振動モードであることがわかっている⁵⁾。

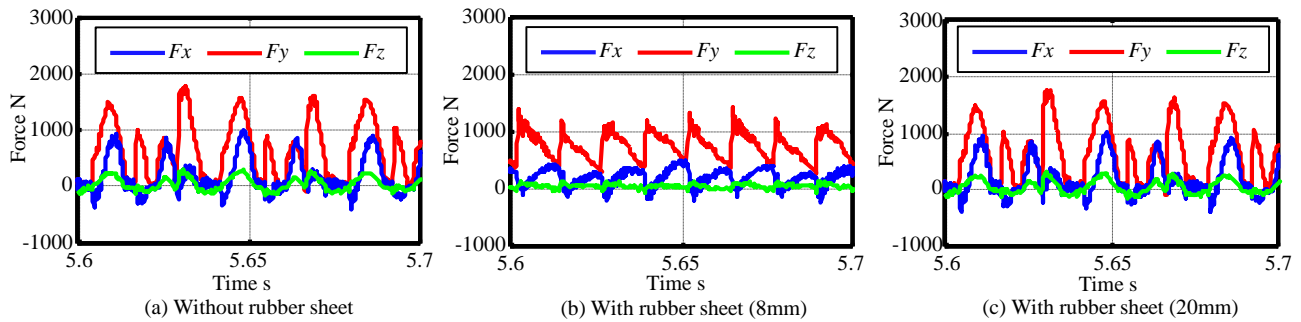


Fig.3 Comparison of measured cutting forces

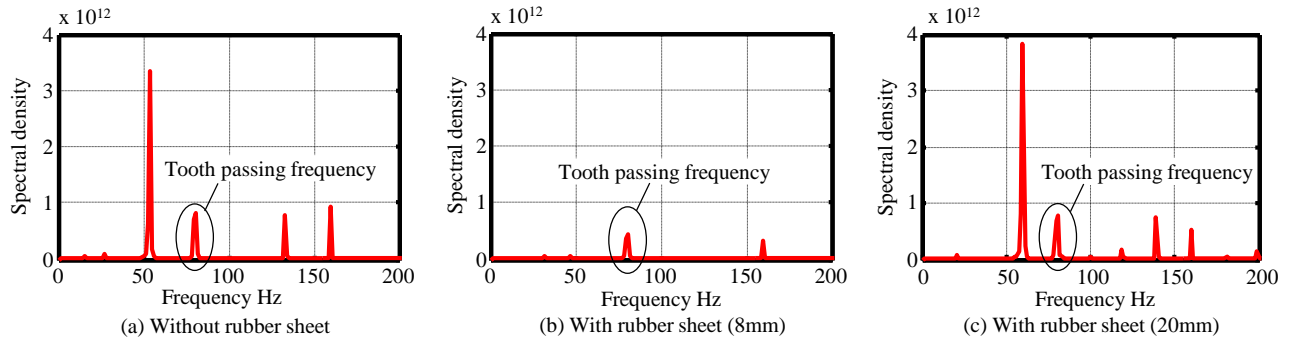


Fig.4 Comparison of frequency components of measured cutting forces

3.3 周波数特性と切削力との関係

図4の切削力の周波数解析結果と図5の周波数特性とを比較すると、びびり振動が発生している防振ゴムを用いない場合と厚さ20mmの防振ゴムを用いた場合とでは、びびり振動の周波数が固有振動数と一致していることがわかった。このことから、びびり振動はY軸方向の振動特性に起因して発生していると考えられる。一方、厚さ8mmの防振ゴムを用いた場合には、固有振動数におけるコンプライアンスが他と比べて小さいため、びびり振動が発生しなかったものと考えられる。以上のことから、適切な特性の防振ゴムを機台支持部の下に敷くことによって、コンプライアンスを低減し、びびり振動を抑制できるといえる。

3.4 支持部剛性とコンプライアンスの関係

厚さ8mmのゴムを用いた場合にコンプライアンスが最も小さくなった理由を明らかにするため、機台支持部の剛性とY軸方向のコンプライアンスとの関係の解析を試みた。解析には図6に示す回転2自由度の非減衰振動モデルを用い、ベッドおよびテーブルの回転角とヘッドおよびコラムの回転角をそれぞれ θ_1 、 θ_2 、慣性モーメントをそれぞれ J_1 、 J_2 、機台支持部の剛性を k_1 、コラム-テーブル間の剛性を k_2 とした。びびり振動が発生する周波数では、コラムが倒れこむ振動モードであるので、切削することによってテーブルに切削力によるモーメント M が加わった際のコラム-テーブル間の相対角度 $\theta_1 - \theta_2$ に着目した。角振動数を ω とすると、コンプライアンスは以下の式で表される。

$$\frac{\theta_1 - \theta_2}{M} = \frac{-\omega^2 J_2}{(-\omega^2 J_1 + k_1 + k_2)(-\omega^2 J_2 + k_2) - k_2^2} \quad (1)$$

式(1)によると、機台支持部の剛性を大きくすればコンプライアンスは小さくなることわかるが、剛性のみに着目すると防振ゴムを用いない場合が最も高剛性であり、図5の実験結果とは異なってしまう。実際には、振動減衰性についても考慮する必要があり、今後より詳細な解析を行うことで、工具-工作物間のコンプライアンスを極小にできる支持部の特性を明らかにできると考えている。

4. 結 言

本研究において、以下に示すことが明らかになった。

- (1) 機台支持部の下に防振ゴムを敷くと機械全体の周波数特性が大きく変化する。
- (2) 適切な特性の防振ゴムを機台支持部の下に敷くことで、被削材加振時のコンプライアンスが低減され、びびり振動の発生を抑制することができる。

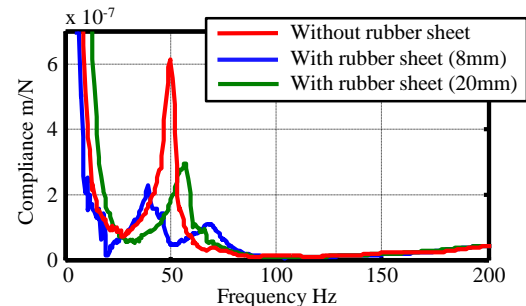


Fig.5 Comparison of frequency responses (Y-axis direction)

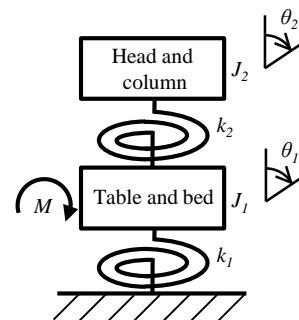


Fig.6 Simplified machine tool model

参 考 文 献

- 1) 社本英二：切削加工におけるびびり振動の発生機構と抑制，電気製鋼，第82巻2号，(2011)，pp.143-155.
- 2) 白瀬敬一，佐野雅基，平尾政利，安井武司：エンドミル加工におけるびびり振動の解析と抑制(第1報)，精密工学会誌，64巻3号，(1998)，pp.465-469.
- 3) 中野寛，高原弘樹，河合謙吾：多重動吸振器を用いたエンドミル加工時の強制びびりおよび再生びびり振動の抑制対策，日本機械学会論文集，80巻812号，(2014)，No.13-00794.
- 4) 見坐地一人，加藤英樹，柴田耕一：車両用防振ゴムの振動特性に関する研究：非線形振動応答解析，日本機械学会論文集C編，60巻578号，(1994)，pp.3274-3280.
- 5) 石田昂平，白濱優作，佐藤隆大，白瀬敬一：機台支持部の防振ゴムが工作機械の振動特性に及ぼす影響，2016年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，(2016)，pp.731-732.