

断続切削における被削材の固有振動に関する検討

横山 哲也

Study on Characteristic Vibration of Work Material in Intermittent Cutting

Tetsuya YOKOYAMA

あらまし フライス加工等において、切削工具と被削材の間で断続的な切削力が作用することで強制振動が生じる。特に固有振動が大きくなると加工精度を低下させることから、その対策が必要である。著者は過去、有限要素法を用いて切削加工時の被削材とジグに作用する力を計算できる切削加工シミュレーションを作成した。この有限要素法により計算で得られる固有振動数を基に断続切削周波数を選択することで、断続切削の固有振動を抑制できないかと考えている。そこで本報では、数値計算による固有振動数の算出方法と、断続切削周波数が固有振動に与える影響を調べるために行った基礎実験の内容について述べる。

キーワード 断続切削, 固有振動, びびり振動

1. はじめに

フライス加工等において、切削工具と被削材の間で断続的な切削力が働くことで強制振動が生じる。この際、工具回転数と刃先数の積から求まる断続切削の周波数（以下、断続切削周波数）の整数倍が、被削材やジグを含む機械構造物がもつ固有振動数の値に近くなると、振動が大きくなりびびり振動が生じる。びびり振動が生じると所望の加工寸法を実現することが難しくなることから、その発生を防ぐ必要がある。

断続切削による振動を抑制する手段^[1]として、①切削力を小さくする、②ジグを追加するなどして剛性を強化する、③断続切削周波数の整数倍を機械構造物の固有振動数からずらす方法がある。ただし、③に関しては予め固有振動数を把握する仕組みが必要となる。

著者は過去、ジグ設計の支援ツールとしてジグに働く力を算出できる切削加工シミュレーションを作成した^[2]。このシミュレーションは、有限要素法を用いて構造解析を行い、被削材およびジグにかかる歪みや応力等を計算できる。この有限要素法より得られた剛性行列と質量行列から機械構造物の固有振動数を計算で求め、この固有振動数と断続切削周波数の整数倍が一致しないよう断続切削周波数を選択することで、断続切削の固有振動の抑制ができないかと考えている。そこで本報では、数値計算による固有振動数の算出方法と、断続切削周波数が固有振動に与える影響を調べるために行った基礎実験の内容について述べる。

2. 数値計算による固有振動数の算出方法

切削加工シミュレーションで実装した有限要素法によ

り、被削材とジグからなる機械構造物の物性を反映した剛性行列 \mathbf{K} 、質量行列 \mathbf{M} を得ることができる。以下では \mathbf{K} と \mathbf{M} を用いて数値計算で固有振動数の算出する方法を示す。

機械系の振動は式(1)に示す一般固有値問題となる。

$$\mathbf{K}\mathbf{x} = \omega^2\mathbf{M}\mathbf{x} \quad (1)$$

ここで ω は固有値、 \mathbf{x} は固有ベクトルである。本研究では式(2)に示す標準固有値問題に変換し、Lanczos法を用いて反復計算で固有振動数を算出する。

$$(\mathbf{B}^T\mathbf{K}^{-1}\mathbf{B})\mathbf{B}^T\mathbf{x} = \frac{1}{\omega^2}\mathbf{B}^T\mathbf{x} \quad (2)$$

ここで \mathbf{B} は \mathbf{M} をコレスキー分解した下三角行列である。

なお、実加工においてはジグの位置ずれ等によって固有振動数が若干変化する。そのため、計算で求めた固有振動数に幅を持たせ、その幅の中に断続切削周波数の整数倍が存在しないよう断続切削周波数を選択することで固有振動の抑制ができないかと考える。

3. 基礎実験

断続切削周波数が固有振動に与える影響を調べるため、系の固有振動数で振動する自由振動が生じる肩削り加工において、断続切削周波数を変えて固有振動を計測し、その大きさを比較する。

3. 1 周波数スペクトルの特定

固有振動の大きさを比較するにあたり、断続切削時の周波数スペクトルを以下のとおり計測する。

図1にポリアセタールの被削材を鉄のジグで固定した機械構造物を示す。切削工具は被削材中央をy軸正方向に



図1 被削材とジグからなる機械構造物

向かって削り進む。被削材裏に歪みゲージを貼り付け、被削材のx方向の歪みを計測する。計測した歪みの時系列データを抜き出し、FFTを用いて周波数スペクトルを算出する。

3. 2 固有振動の比較

断続切削周波数の整数倍を1次固有振動数に一致・不一致させた際の、固有振動の歪みの大きさを比較する。このときの切削条件は軸方向の切込みは1[mm]、1刃当たりの送り量は0.188[mm]、径方向切込みは切削工具直径の1/2である。なお、断続切削周波数の整数倍を1次固有振動数に確実に一致させるため、予め被削材に加振を与えて1次固有振動数を特定した。図2に、加工時の周波数スペクトルを示す。固有振動数と断続切削周波数の整数倍が一致すると固有振動が励起し、一致しないと固有振動が励起しないことがわかる。

次に、1次固有振動数を励起させる複数の断続切削周波数において、固有振動の歪みの大きさを比較する。図3に断続切削周波数205[Hz],149[Hz],102[Hz]時の周波数スペクトルを示す。各々の周波数では、同一時間長にお

る刃の当たる回数が異なり、その結果、自由振動の発生回数も異なるため、図中の1次固有振動の振幅を単純比較することはできない。そこで断続切削周波数205[Hz]の1次固有振動の振幅を自由振動発生回数の割合で除し、その値を149[Hz],102[Hz]のグラフに破線で示す。破線と1次固有振動の振幅を比較すると、断続切削周波数205[Hz]時での振動は149[Hz],102[Hz]時と比べて大きいことわかる。これは、断続切削周波数が大きいと被削材に刃が当たる時間間隔が短く、自由振動が減衰しきる前に次の刃が当たり固有振動が励起され易くなったためと推測される。

4. まとめ

本報では断続切削における固有振動の抑制を目的に、数値計算による固有振動数の算出方法と、断続切削周波数が固有振動に与える影響を調べた基礎実験の内容について述べた。基礎実験の結果、固有振動数と断続切削周波数の整数倍が一致すると、固有振動が励起されることを確認した。今後は数値計算で得られる固有振動数を基に、固有振動を抑制する断続切削周波数の選択を行いたい。

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, 82(2), pp.143-155, 2011.
- [2] 横山哲也, “ジグ設計評価の構造解析に関する研究(第2報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第13号, pp.36-40, 2012.

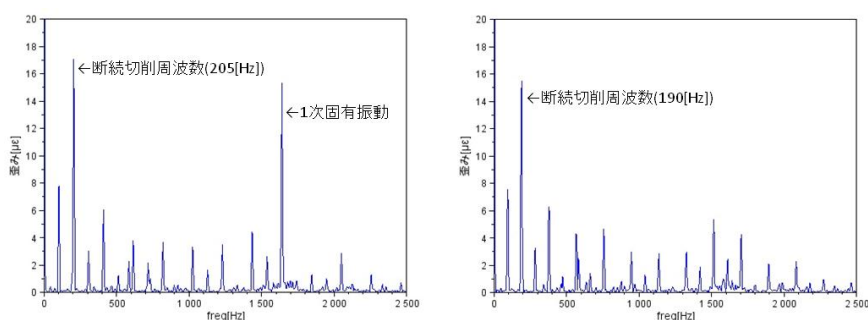


図2 断続切削周波数の整数倍と固有振動数の一致・不一致による固有振動の比較(左:一致, 右:不一致)

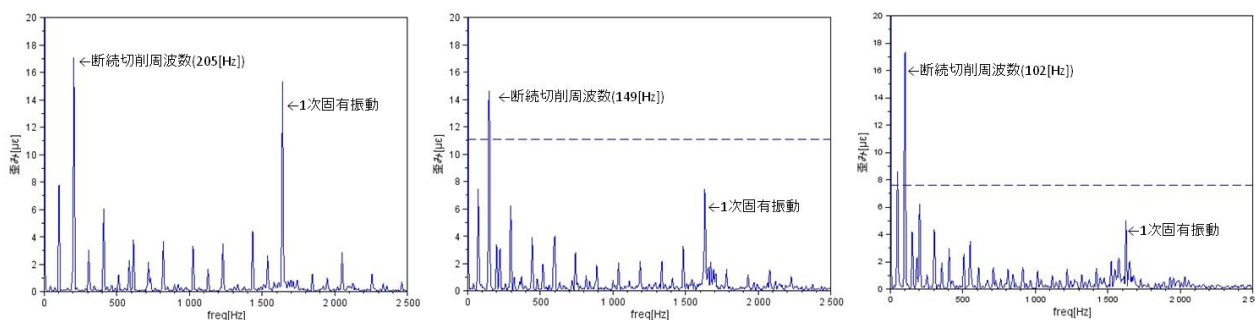


図3 断続切削周波数の違いによる1次固有振動の比較(左:205[Hz], 中:149[Hz], 右:102[Hz])