

びびり振動の抑制するための砥石選定指針  
Control Method of Chatter Vibration by the Grinding Wheel Selection

○田中慶弘<sup>1</sup>, 山田高三<sup>2</sup>, 李和樹<sup>2</sup>, 三浦浩一<sup>2</sup>

\*Yoshihiro Tanaka<sup>1</sup>, Takazo Yamada<sup>2</sup>, Hwa-Soo Lee<sup>2</sup>, Kohichi Miura<sup>2</sup>

In grinding operation, chatter vibrations are occurred by improper combination of grinding machine, workpieces and grinding wheels, and they induce a lot of bad effects on machines and workpieces. Therefore, the occurrence of chatter vibrations should be avoided as much as possible. When the grinding machine and workpieces cannot be changed, it is considered that chatter vibration can be controlled by the grinding wheel taking into account appropriate condition. In this study, the control method of chatter vibration is investigated experimentally and the effect of the contact stiffness of grinding wheel and machining condition is especially discussed.

1. 緒言

研削加工では、任意の加工条件に対して、砥石や工作物、研削盤の組み合わせが悪いとびびり振動が発生する。びびり振動は、形状精度や面粗さの低下、研削盤の故障、工具の破損の原因となる。そのため、工作物や研削盤を変更できない場合に、砥石と加工条件をびびり振動の発生しない組み合わせに選定することができれば、びびり振動を抑制できると考えられる。

そこで本研究では、砥石の接触剛性と加工条件の組み合わせにより、びびり振動を抑制する方法を実験的に明らかにすることを目的としている。

2. 基礎原理

びびり振動時のうねりが減衰するかを評価することでびびり振動を抑制できる<sup>[1]-[3]</sup>。その際の安定判別式を式(1)に示す。

$$\left\{ \frac{1}{G_{res}(j\omega) + j\omega C_g} \right\} = -\frac{1}{2K_g} \quad (1)$$

ここで  $C_g$  は減衰効果、 $K_g$  は切れ味のパラメータである。また、 $G_{res}(j\omega)$  は研削加工システムの総合剛性であり、式(2)で表すことができる。

$$G_{res}(j\omega) = \frac{1}{\frac{1}{G_w(j\omega)} + \frac{1}{G_s(j\omega)} + \frac{1}{K_{con}}} \quad (2)$$

$$= -\omega^2 M_{res} + j\omega C_{res} + K_{res}$$

このとき、 $G_w(j\omega)$ 、 $G_s(j\omega)$  は工作物系と砥石系の総合剛性で、 $K_{con}$  は砥石と工作物の間の接触剛性である。また、 $M_{res}$  は研削システムの等価質量、 $C_{res}$  は等価減衰係数、 $K_{res}$  は等価静剛性である。

そこで式(2)を式(1)に代入すると式(3)となる。

$$\frac{K_{res} - \omega^2 M_{res} + j\omega(C_{res} + C_g)}{(K_{res} - \omega^2 M_{res})^2 + \omega^2(C_{res} + C_g)^2} = -\frac{1}{2K_g} \quad (3)$$

式(3)において、実部と虚部に着目すると図1のナイキスト線図が描ける。式(3)の左辺は動リセパタンスと呼ばれるもので、加工システムの動剛性と接触剛性によって構成されている。また、式(3)の右辺は虚軸に対して平行な直線に相当する。

図1の実線は、周波数の関数になっており、原点から周波数が増加するにしたがって円弧を描き、最下点で固有振動数  $\omega_n$  となる。そして、図1の破線と交わる  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  の2点のどちらかで、びびり振動が発生する。

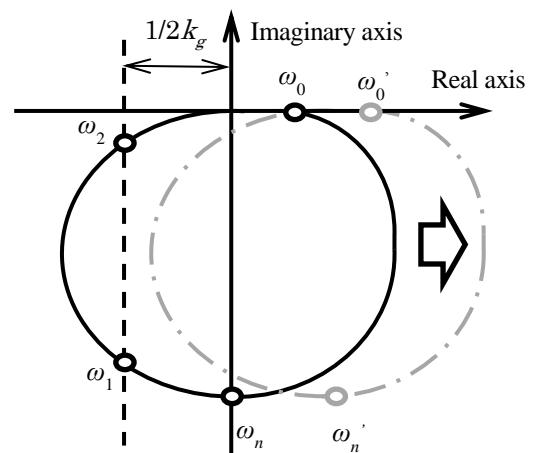


Figure 1. Control method of chatter vibration

3. びびり振動の抑制方法

びびり振動を抑制するためには、加工条件か砥石を変える必要がある。今回は砥石に着目し、砥石の接触剛性を変えることでびびり振動を抑制する。接触剛性  $K_{con}$  を小さくすると、式(2)の総合剛性  $G_{res}(j\omega)$  が小さくなる。これは、式(1)の左辺の実部が大きくなること

1: 日大理工・院 (前)・機械 2: 日大理工・教員・機械

を示し、図 1 の 1 点鎖線の曲線が実軸の正の方向に移動する。そのため、びびり振動が発生しなくなる。

#### 4. 実験方法

実験条件は、砥石、工作物の回転数をそれぞれ  $2400\text{min}^{-1}$ 、 $500\text{min}^{-1}$  に固定し、砥石には WA60J6B を用いた。そして、ドレッシングリードを  $0.1\text{mm/rev}$  と  $0.05\text{mm/rev}$ 、切り込み量を  $0.2\text{ }\mu\text{m/rev}$  と  $0.4\text{ }\mu\text{m/rev}$  の 4 つの条件で研削を行った。また、工作物には S55C を使用した。

びびり振動が起きたかの判別には、目視によりびびりマークを確認し判別した。その後、工作物の表面形状を電気マイクロメータで計測した。得られた表面形状を周波数分析することで、波形のピークを読み取り、びびり振動時のうねりの周波数を求めた。

#### 5. 実験結果および考察

表面形状の周波数分析により得られた周波数を、表 1 に示す。びびり振動の有無はびびり振動が発生したものが○、びびり振動が発生しなかったものが×である。ドレッシングリード  $0.05\text{mm/rev}$  と  $0.1\text{mm/rev}$ 、切込量を  $0.4\text{ }\mu\text{m/rev}$  で研削したときの周波数分析波形を図 2 と図 3 に示す。

Table 1. Frequency peak of WA60J6B

Experiment number	Dressing lead mm/rev	Depth of cut $\mu\text{m/rev}$	Chatter mark	Frequency Hz
1	0.1	0.4	×	850
2		0.2	×	543, 871
3	0.05	0.4	○	701
4		0.2	○	687, 830

ここで、びびり振動の生じた図 2 では  $701\text{Hz}$  にピークがあることがわかった。びびり振動の周波数は固有振動数よりも大きい。そのため、工作物系の固有振動数が  $670\text{Hz}$  であるため、 $701\text{Hz}$  はびびり振動であると考えられる。また、図 3 では  $850\text{Hz}$  にピークがあり、同様に考えるとびびり振動ではあるが、この振動数は研削盤の振動数であるためびびり振動の振動数ではないと考えられる。

この結果より、WA60J6B において、ドレッシングリード  $0.1\text{mm/rev}$  でびびり振動が発生しなかった。これは、過去の研究<sup>[4]</sup>からドレッシングリードが大きくなると接触剛性が小さくなるため図 1 のように曲線が実軸の正の方向に移動したためにびびり振動が発生しなかったと考えられる。

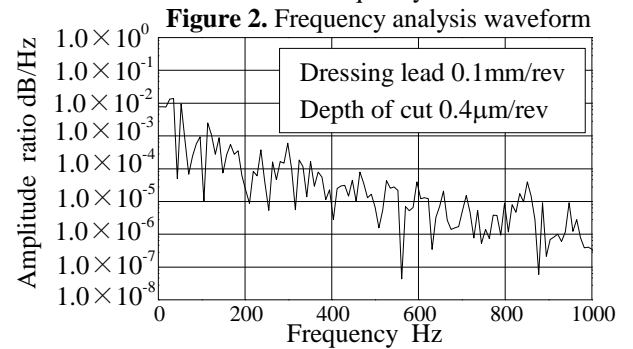
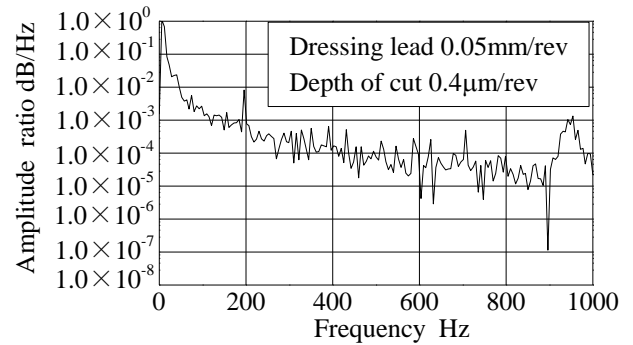


Figure 2. Frequency analysis waveform

Figure 3. Frequency analysis waveform

次に、図 4 にナイキスト線図を示す。図 4 より、 $\omega_1$  が  $690\text{Hz}$ 、 $\omega_2$  が  $770\text{Hz}$  であった。このことから、実験では  $\omega_1$  でびびり振動が発生したといえる。これは、 $\omega_2$  は研削システムの総合剛性が大きいため、 $\omega_2$  では発生しなかったと考えられる。

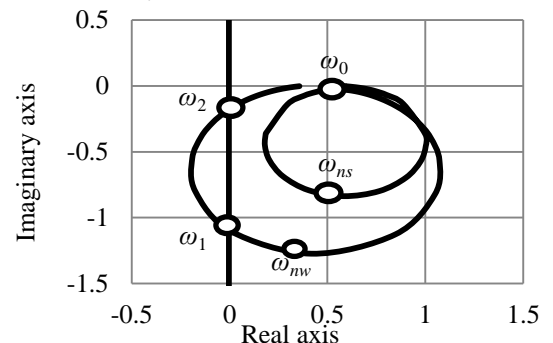


Figure 4. Nyquist diagram

#### 6. 結 言

- ・びびり振動を抑える方法としてドレッシングリードを大きくすることは有効であることがわかった。
- ・ナイキスト線図より、びびり振動の周波数が求めた。

#### 7. 参考文献

[1] 李和樹：「工作機械の剛性と精度(1)」砥粒加工学会誌, vol.42, No.8, 5, 1998.  
 [2] 李和樹：「工作機械の剛性と精度(2)」砥粒加工学会誌, vol.42, No.10, 6, 1998.  
 [3] 李和樹：「工作機械の剛性と精度(3)」砥粒加工学会誌, vol.42, No.12, 8, 1998.  
 [4] 山田高三, 澤森俊哉, 李和樹, 三浦浩一：「砥石の接触剛性算出法」ABTEC2011 講演論文集, 291, 2011.