

低速切削における安定性について

A Study on Stable Machining at Low Cutting Speed

近藤 禎孝*・佐藤 壽芳*

Yoshitaka KONDO AND Hisayoshi SATO

1. ま え が き

切削時に生ずる自励振動に関する研究は、理論、実験両面から近年盛んに行われ多くの報告がなされているが^{1),2),3)}、その機構についてはまだ完全に解明されたとはいえない。特に、低速切削において安定に切削可能な範囲が広がる安定性の問題については研究者によって説明がまちまちで定説が確立されるまでにはいたっていないのが現状である。

本研究では、金属の切削に対する理解を深め、防振の一助とすることを目的とし、旋削における自励振動を例としてその機構を解明することを試みた。すなわち、低速切削において安定領域が広がることについての一つの説明を与えているとみられる現象を実験によって示し、さらにこの効果を考慮した簡単な解析でこれを確かめた結果についてのべる。

2. 運動方程式および安定条件

被削材振動が卓越する自励振動系で、その振動方向はほぼ一直線上にあることが観察されるので、振動の水平方向成分にのみ注目し、図1に示すような1自由度系によって考える。切削抵抗は切屑厚さに比例し、その作用

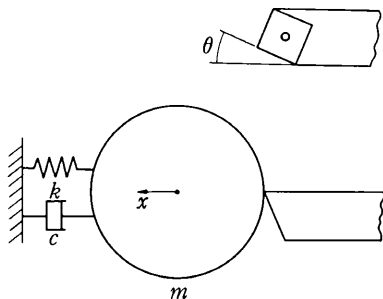


図1 振動系モデル

する方向が切刃に垂直な面内にあると仮定すれば、振動系の運動方程式は次のようにかける。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = h\Delta u(x)\sin\theta \quad (1)$$

ここで、 h は比例定数、 $\Delta u(x)$ は切屑厚さの変動分、 θ は横切刃角である。主軸回転数を Ωrpm とすれば、

$$\Delta u(x) = \{x(t-60/\Omega) - x(t)\} \sin\theta \quad (2)$$

とかける。ここで、 $x(t-60/\Omega)$ は1回転前における被削材の振動変位、 $x(t)$ は現時点における被削材の振動変位である。

(2)を(1)に代入してさらに

$$\left. \begin{aligned} \omega^2 &= k/m \\ \zeta &= c / 2\sqrt{km} \\ \gamma &= h/k \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

なる変数変換すれば、(1)は

$$\begin{aligned} \ddot{x}(t) + 2\omega\zeta\dot{x}(t) + \omega^2x(t) \\ = \omega^2\gamma\{x(t-60/\Omega) - x(t)\} \sin\theta \end{aligned} \quad (4)$$

とあらわされる。

安定限界においては振動は定常であるから定常解を $x = x_0 \sin\alpha t$ と(4)に代入すれば、安定限界線が図2のように求められる。ここで、 $\omega = 2\pi \times 200, \theta = \pi/4$

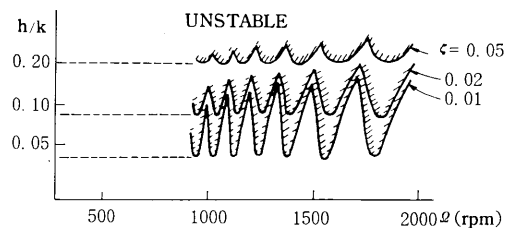


図2 安定限界線図 (“摩擦力”を考慮しない場合)

としている。同図を見ると、振動系の絶対安定な領域は切削速度に依存しないということがわかるが、実験によれば切削速度の低い方が絶対安定の領域が広がる。この現象を説明するために、切削中に切刃と被削材との間に両者の相対運動を妨げる“摩擦力”ともいうべき力が働き、しかもこの力が切削速度に依存することを想定し、まず実験によってたしかめることを試みた。

図3に示すように、外径40φ、肉厚3mmの黄銅製パイプをチャックに加え、横送り手動ハンドルを回転させることにより工具を図中の矢印の方向に動かしながら切削し、切削速度と背分力の変動分すなわち本論文でいう

* 東京大学生産技術研究所 第2部

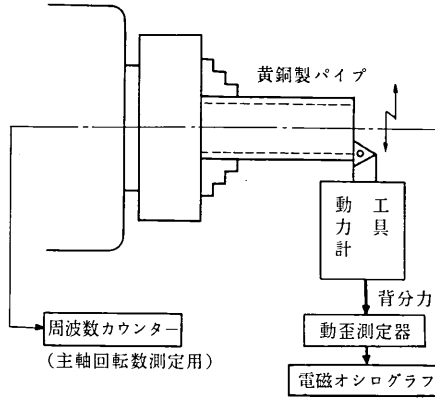


図3 実験装置概略図

“摩擦力”との関係調べる。工具が動くことによる切屑厚さの変動を防ぐために、横切刃角 0° のチップ、TX10DTNPA322 (東芝タンガロイ製) を用いている。得られた結果を図4に示す。同図を見ると、工具-被

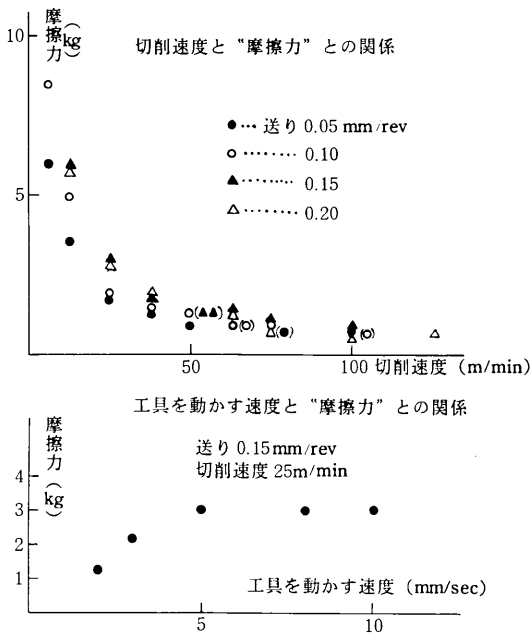


図4 工具-被削材間に働く“摩擦力”

削材間に働く“摩擦力”は切削速度に反比例し、工具を動かす速度が小さい範囲では、工具を動かす速度にはほぼ比例するものとみなしうることがわかる。したがって“摩擦力”の水平方向成分 F は、比例定数を q 、切削速度を v として次のようにかける。

$$F = -q\dot{x}(t) \cos^2 \theta / v \tag{5}$$

被削材の直径を D とすれば切削速度は

$$v = \pi D \Omega / 60 \tag{6}$$

とあらわされる。

$$\eta = q/h \tag{7}$$

なる変数変換をすれば、“摩擦力”を考慮した場合の運動方程式が次のような形で求められる。

$$\begin{aligned} \ddot{x}(t) + 2\omega\zeta\dot{x}(t) + \omega^2x(t) \\ = \omega^2r\{x(t-60/\Omega) - x(t)\} \sin^2\theta \\ - 60\omega^2r\eta\dot{x}(t) \cos^2\theta / \pi D \Omega \end{aligned} \tag{8}$$

上式より“摩擦力”を考慮した場合の安定限界線が図5のように求められる。ここで、 $\omega = 2\pi \times 200$, $\theta = \pi/4$, $\zeta = 0.3$, $D = 40$ とした。同図を見ると、低速域におい

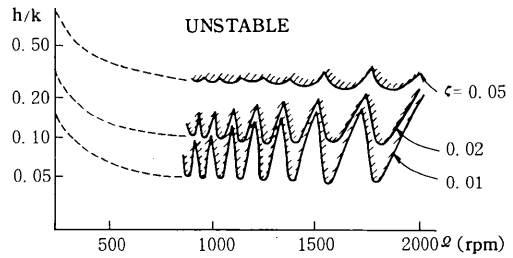


図5 安定限界線図 (“摩擦力”を考慮した場合)

て絶対安定な範囲が広がり、低速切削においては発振しにくいことが示され、実際にみられる傾向と一致することがわかる。

3. まとめ

本研究によって次の点を明らかにした。すなわち、被削材と工具との間に両者の相対運動を妨げる“摩擦力”ともいうべき力が働くこと、この力が切削速度にはほぼ反比例すること等を実験によって確かめた後、解析的にもこれによる効果を調べ低速切削における安定性の一因になりうることを示した。

最後に、実験に際し助力を得た駒崎正洋技官に謝意を表する。
(1976年4月30日受理)

参考文献

- 1) S. A. Tobias and W. Fishwick: The Chatter of Lathe Tools under Orthogonal Cutting Conditions. Trans. ASME 80, 1958
- 2) J. Tlustý: A Method of Analysis of Machine Tool Stability, Proc. 6th MTDR Conf. 1965-9
- 3) H. E. Merrit: Theory of Self-Excited Machine Tool Chatter, Trans. ASME, 87-4, 1965-11