

旋削の自励振動における“多重再生効果”について

A Study on "Multiple Regenerative Effect" in Self-Excited Chatter in Turning

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の安定限界に関する研究は、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)} いったん発振した後の振動の挙動については定性的な考察にとどまるものがわずかにみられるだけである。⁴⁾

本研究では、この現象に対する理解を深め、防振をはかる一助とすることを目的として旋削における自励振動を例として、被削材が発振し、しだいに成長して定常振動を続ける機構について新たな提案を行い、理論、実験両面よりこれを検討した結果についてのべる。

2. “多重再生効果”の考え方を導入した理論、ならびに実験結果との比較検討

被削材に振動が生ずる系で、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、振動量の水平方向成分のみ注目し、図1に示すような1自由度系によって

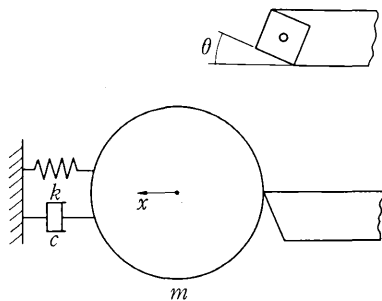


図1 振動系モデル

考える。切削抵抗は切屑厚さに比例し、その作用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 Q rpm とすれば、

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

とかける。ここで、 $x(t-60/Q)$ 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)に代入すると、いわゆる再生効果を考えた運動

方程式として次式が得られる。

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = h\{x(t-60/Q) - x(t)\} \sin^2 \theta \quad (3)$$

振幅が小さい場合には振動系の運動は(3)によって支配されると考えて良いが、振幅が送りに比較して十分大きい発振状態で切削した被削面を観察した結果、振動数、あるいは送りと被削面の波面形状との関係から2回転以上前の被削面による多重の再生効果を考えることが妥当であるとみられるにいたった。これを模型的に考えると図2のようになり、切刃と被削材が互いに離れること、切屑厚さが不連続に変ること等を考慮する必要があること

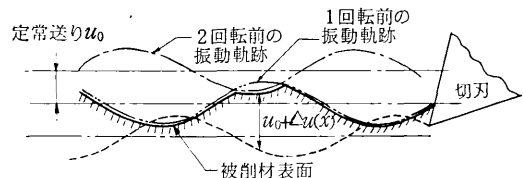


図2 多重再生効果を考えた場合の切屑厚さの変動

がわかる。同図を参照すれば、簡単な幾何学的関係から切屑厚さの変動分 $\Delta u(x)$ は次のようにかける。

$$\Delta u(x) = \min\{x(t-60/Q)\sin\theta, \cos\theta + x(t-2\cdot60/Q)\sin\theta, 2u_0 \cos\theta + x(t-3\cdot60/Q)\sin\theta, \dots, (n-1)u_0 \cos\theta + x(t-n\cdot60/Q)\sin\theta, \dots\} - x(t)\sin\theta \quad (4)$$

ここで、 u_0 は定常送り、 $\min\{\}$ は最小値を表す記号である。切屑厚さの変動分として上式を用いてさらに

$$\begin{aligned} \omega^2 &= k/m \\ \zeta &= c/2\sqrt{km} \\ \gamma &= h/k \end{aligned} \quad (5)$$

なる変数変換をすれば、多重再生効果を考えた場合の運動方程式として次式が得られる。

$$\ddot{x}(t) + 2\omega\zeta\dot{x}(t) + \omega^2 x(t) = \omega^2 \gamma \sin\theta \{\min\{x(t-60/Q)\sin\theta, u_0 \cos\theta + x(t-2\cdot60/Q)\sin\theta, \dots\} - x(t)\sin\theta\} \quad (6)$$

(6)を Runge-Kutta法で解くことによって得られた振動波形の例と、実験によって得られた振動波形の例をあわせて図3に示す。計算結果と実験結果を比較すれば、発振、成長の後定常振動を続ける過程において振動波形が被削材の回転周期で変調された形をとっているという点で両者の間に定性的な一致がみられる。また、計算結果をみると、1回のみの再生効果を考えた場合には振動が

*東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

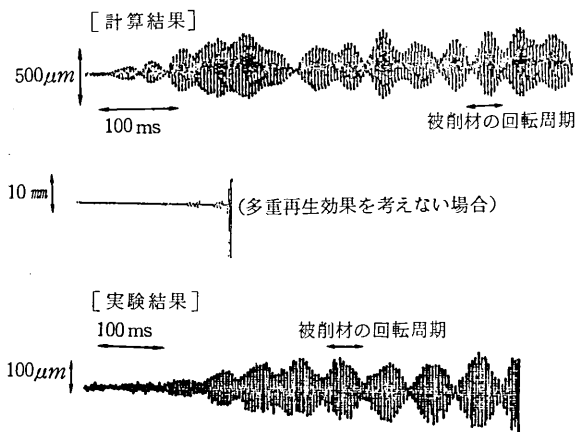


図3 振動の波形

発散していることから、安定な発振状態に対して多重再生効果の影響が強いことがわかる。

次に、振動が定常状態に達した時の振幅を、計算と実験とによって求めることを試みる。(6)をRunge-Kutta法で解き、被削材が3回転する時間にわたって振幅が増大しない場合に定常状態に達したものとみなし、そのときの最大振幅を計算機に出力させる。結果の例を図4に示す。あわせて実験結果を同図に示す。同図で横軸には剛性を表わす量としてチャックから切削した部分までの距離 l (mm) をもっている。計算結果と実験結果とを比較すれば両者ともに、剛性が低下するにつれ、また主軸回転数が増大するにつれて振幅が増大する傾向がみられる。

次に、被削面の形状を計算と実験とによって求めることを試みる。自動振動の振幅が大きくなると被削面の形状は数回転前から数回転後における振動によって影響を受ける。この点を考慮して計算によって被削面の形状を求めた結果の例と、実験によって得られた“びびりマーク”をレーザー表面あらさ計⁵⁾によって測定した例を図5に示す。なお、被削面の形状は切削した経路にそって見たものである。同図をみると、振動の1周期あたりに数個の小さい“びびりマーク”が含まれていることから、多重再生効果の影響がいずれにもみられることがわかる。

3. ま と め

本研究において、旋削における自動振動の発振状態に関し、多重再生効果の考え方を導入し、1)振動の波形、2)定常振動の振幅、3)被削面の形状の3点について理論と実験の両面により検討した結果、上記の効果がよく現象を説明しうることを明らかにした。

終わりに、実験に際し助力を得た駒崎正洋教官に謝意を表す。
(1976年4月30日受理)

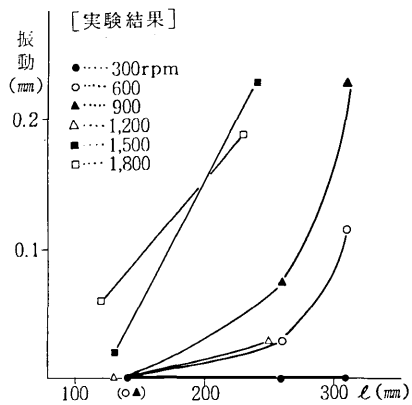
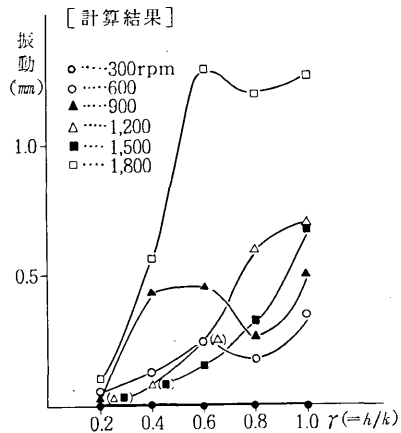


図4 定常振動の振幅

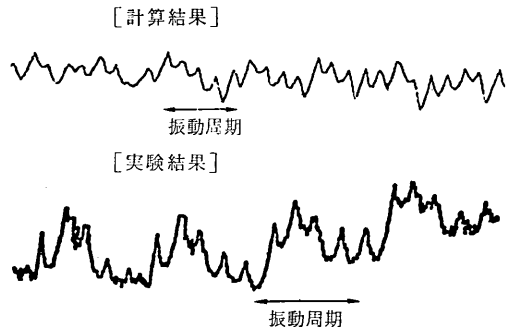


図5 被削面の形状

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
- 4) N. H. Cook: Self-Excited Vibrations in Metal Cutting, Trans. ASME 81, 1959-5
- 5) 三井・佐藤: 光点変位法による表面あらさの実時間測定装置の試作について, 日本機械学会MTM研究分科会成果報告書Ⅱ, 昭和50-5