



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	バイト材料の振動減衰. 第2報 : 振動数を考慮に入れて
Author(s)	星野, 悟; Hoshino, Satoru; 山下, 良雄 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 13, 45-55
Issue Date	1955-12-15
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/40578">https://hdl.handle.net/2115/40578</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	13_45-56.pdf



# バイト材料の振動減衰 (第2報)

— 振動数を考慮に入れて —

星 野 悟  
山 下 良 雄

(昭和30年9月30日受理)

## Damping of Tool Materials (2nd Report)

— Considering the Frequency Effect —

Satoru HOSHINO  
Yoshio YAMASHITA

### Abstract

In the 1st report, it was recognized that the damping difference between cutting and free vibrations of a lathe tool is considerable. According to Zener's research, in the case of transverse vibration the damping is influenced by the frequency. In order to ensure if the frequency effect exists in the difference between dampings in the above two cases, we make the vibrating system which changes into three frequencies by variable inertia mass; the experiments is continued by means of the same apparatus used in the previous experiments.

The statistical analysis results, in the damping difference, that the frequency effect is negligible and that the deflection effect of the vibrating lathe tool is very large.

On the contrary, analyzing the damping of that system a frequency effect for the damping of the lathe tool is separated from the others, if it can be taken that the damping of the helical spring is not influenced by a fluctuation of its frequency. As the results of its statistical analysis, we see there exist a large significance, and a peak of the damping as shown in Zener's paper.

Hence, the damping of a transverse vibration of a lathe tool is influenced by its frequency and amplitude, but the damping difference does not depend on its frequency.

## 1 緒 言

第1報<sup>(1)</sup>において、一般に用いられている振動減衰率は自由振動状態即ち振動中心における応力が0の場合であり、切削中のバイトは常に切削力によつて或負荷状態を振動中心としてびびり振動を起しているので、これら二つの場合の振動減衰率に差異はないかを主題とし、このため二つの場合の撓み振動の減衰率差を実験的に求め、十分考慮する必要のあることを指摘した。

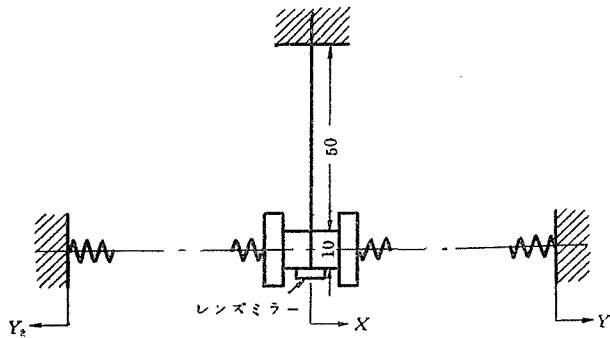
又、撓み振動の場合、Thermoelastic Effect が作用して振動数の大きさにより振動減衰率が変

化することが Zener<sup>(2)</sup> 等によつて理論的、実験的に示されているので、今回は更にこの点が機械工作の面でどの程度効果を表わすかを知るため、板ばねの振動数をも変えて実験した。

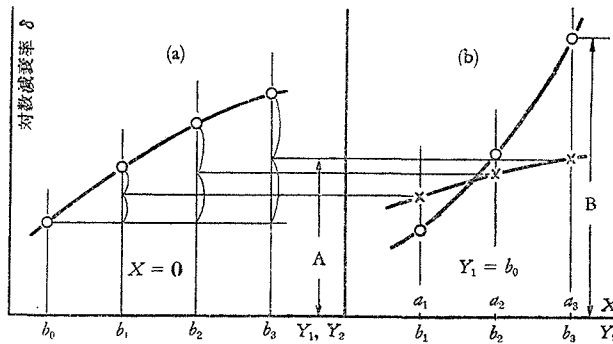
これと同時に、測定値の精度向上、推定における曲線の当てはめをも行つた。

## 2 実験の計画

第1報におけると同様に第1図において、蔓巻ばねの伸び  $Y_1$ ,  $Y_2$  を加減して第2図 (a) (b) の○点(実験値)を求め、第2図 (a) における○点(実験値)より求められる (b) の×点(計算値)と比較する。即ち (A-B) が自由振動と切削時振動とにおける振動減衰率差である。\*



第1図



第2図

実験の目的に適応する計画として

$$\text{振動数 } F$$

\* 減衰率の小さい間は、次の関係式

$$\delta = \Delta E / 2E \quad \text{但し } \delta : \text{対数減衰率}$$

$E$  : 1 サイクル中の平均エネルギー

$\Delta E$  : 1 サイクル中の消費エネルギー

が近似的に成り立つので、第2図で求められるものが減衰率差となる

処理  $T$  (板ばね, 蔓巻ばねの撓みを変える)

実験順序  $R$  (振動履歴の影響)

の3要因をとり,  $F$ ,  $T$  についての二元配置法を  $R$  に関して反復実験する.

ここでは上記各要因の階級数は実験装置並びに結果分析の都合上,  $F$  を3階級,  $T$  を11階級,  $R$  を3階級とした.  $R$  については, 更に増加することにより振動履歴の影響が実験誤差項から除去されて誤差を少なくする可能性をもっているが, 2回と3回の分散分析の結果から一応3階級に止めた.

又この実験では, 処理  $T$  として第2図の(A-B)を求めることのみが意味をもっており且つ目的としているので, 実験結果の分散分析の場合は処理  $T$  の階級数は5となり, 減衰率差の全実験数は,

$$3 \times 5 \times 3 = 45$$

となる. (減衰率差の処理は  $T'$  で表わす.) このときの自由度分割表は

要 因	$F$	$T'$	$T' \times F$	$R$	$T' \times R$	$F \times R$	$E$ (上記以外の要因及び誤差)	計
自由度	2	4	8	2	8	4	16	44

$F$ ,  $T$  に関する二元配置の中の各実験の順序は全数33をランダムにすべきだが, 振動数を変えるために分銅部分に更に鉛の分銅を取付けるようにしたので, 操作の複雑さと取付け条件の差異(これは当然実験誤差に入り, 可成り大きくなると思われる)とを省く目的で, 11個ずつの同一振動数の実験を纏めて行い, この中で実験順序をランダムにし, 振動数  $F$  は3つについてくじ引きによつて順番を定めた. このため当然ながら, 振動履歴の影響  $R$  が振動数  $F$  と重つて分離出来ない形で入り混んでくることは避けられない.

### 3 実 験 装 置

実験装置は, 分銅部分を除いて他は全く第1報と同様で, 第1図の装置略図において

板ばねの寸法等は

厚 さ 1.45 mm, 巾 10 mm

ばね常数 1000 gr/mm

材料は生の炭素工具鋼四種

蔓巻ばねの寸法は

素線径 1.2 mm, コイル径 6 mm

巻 数 50, ばね常数 200 gr/mm

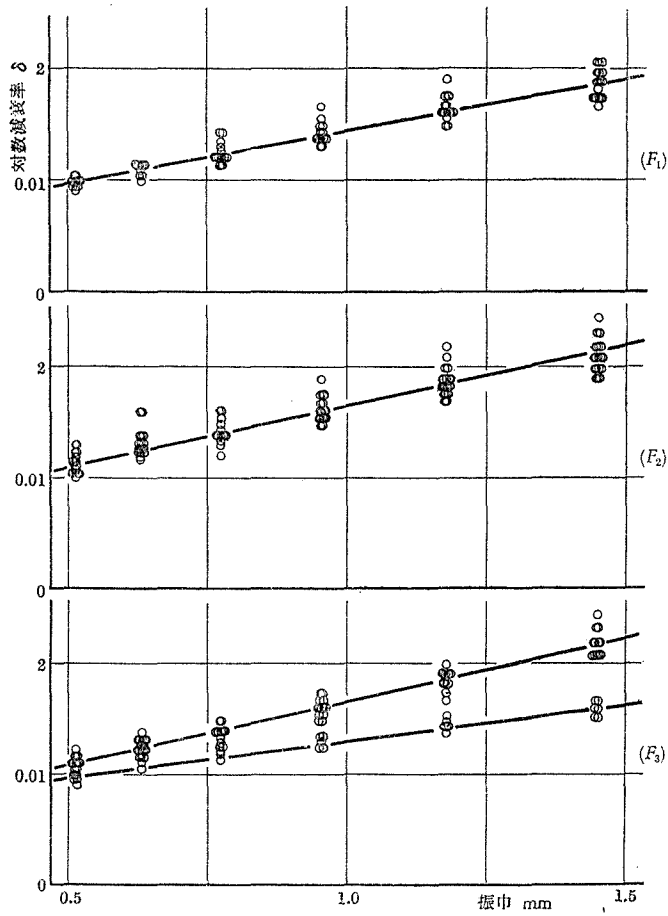
一次固有振動数 119.7 c/s

## 4 実 験

99 個の実験値は第 1 表に振巾 1.6 ~ 0.5 mm の平均減衰率を示してある。第 3 図は板ばねの

第 1 表

処 理 $T$	実験順序 $R$						$R_1$		$R_2$		$R_3$		振動数 $F$
	mm			kg/cm <sup>2</sup>			対数減衰率 振巾1.6~0.5 平均	振動数 c/s	対数減衰率 振巾1.6~0.5 平均	振動数 c/s	対数減衰率 振巾1.6~0.5 平均	振動数 c/s	
	$X$	$Y_1$	$Y_2$	$\sigma_x$	$\tau_{Y1}$	$\tau_{Y2}$							
$T_1$	0	6	6	0	10.6	10.6	0.0127	36.3	0.0142	36.2	0.0129	36.2	$F_1$
							141	42.4	147	42.6	135	42.6	$F_2$
							123	50.5	149	50.3	150	50.3	$F_3$
$T_2$	0	11	11	0	19.5	19.5	127	37.0	132	36.8	126	36.7	$F_1$
							144	43.1	145	43.2	141	43.3	$F_2$
							130	51.5	143	51.2	146	51.3	$F_3$
$T_3$	0	13.5	13.5	0	23.9	23.9	130	37.3	128	37.2	127	37.2	$F_1$
							150	43.5	145	43.5	148	43.6	$F_2$
							122	51.8	148	51.7	146	51.7	$F_3$
$T_4$	0	16	16	0	28.3	28.3	128	37.3	129	37.4	128	37.5	$F_1$
							158	43.8	167	43.8	171	44.2	$F_2$
							125	52.4	147	52.0	146	52.0	$F_3$
$T_5$	0	18.5	18.5	0	32.7	32.7	128	38.2	134	37.8	133	37.8	$F_1$
							152	44.1	146	44.2	145	44.3	$F_2$
							128	52.4	150	52.4	154	52.5	$F_3$
$T_6$	0	21	21	0	37.2	37.2	134	38.0	139	37.9	128	37.8	$F_1$
							150	44.6	161	44.3	146	44.5	$F_2$
							124	53.2	155	52.7	152	52.7	$F_3$
$T_7$	1	6	11	16.2	10.6	19.5	131	37.0	129	36.7	136	36.8	$F_1$
							141	43.0	143	43.3	150	43.2	$F_2$
							123	51.6	137	51.2	147	51.2	$F_3$
$T_8$	1.5	6	13.5	24.3	10.6	23.9	124	37.4	130	37.3	128	37.3	$F_1$
							143	43.4	146	43.6	145	43.6	$F_2$
							143	52.5	144	51.8	145	51.7	$F_3$
$T_9$	2	6	16	32.4	10.6	28.3	129	37.7	130	37.7	135	37.9	$F_1$
							153	44.2	149	44.2	149	44.2	$F_2$
							139	53.0	143	52.5	146	52.1	$F_3$
$T_{10}$	2.5	6	13.5	40.5	10.6	32.7	140	38.1	144	38.2	148	38.2	$F_1$
							160	44.7	161	44.8	167	44.8	$F_2$
							150	53.3	155	53.3	165	53.0	$F_3$
$T_{11}$	3	6	21	48.6	10.6	37.2	146	38.3	160	38.5	160	38.5	$F_1$
							171	45.3	172	45.4	181	45.2	$F_2$
							156	53.7	179	53.6	176	53.6	$F_3$



第3図

撓みが0の場合の実験結果 54 個を各振動数グループに分けて振巾と対数減衰率との関係をプロットしたもので、実線は適当に引いた直線である。

第2表

$R_1$	$T_1'$	$T_2'$	$T_3'$	$T_4'$	$T_5'$	計
$F_1$	+ 4	- 5	+ 1	+12	+15	27
$F_2$	- 2	- 3	+ 3	+13	+25	36
$F_3$	- 4	+20	+15	+24	+32	87
計	- 2	+12	+19	+49	+72	150

$R_2$						
$F_1$	- 8	0	- 1	+ 6	+19	16
$F_2$	- 3	0	- 8	+14	+18	21
$F_3$	- 9	- 5	- 5	+ 5	+27	13
計	-20	- 5	-14	+25	+64	50

$R_3$						
$F_1$	+ 8	0	+ 6	+17	+31	62
$F_2$	+12	+ 3	- 4	+27	+40	78
$F_3$	- 1	- 3	- 2	+13	+25	32
計	+19	0	0	+57	+96	172

減衰率差の処理  $T'$  についてデータを整理すれば (減衰率差を  $10^4$  倍して) 第2表となる。  
第3表に第2表から求められた分散分析表を示す。

第3表

要因	$S.S$	$f$	$M.S$	$F_0$	判定
$F$	36.4	2	18.2	0.8	
$T'$	4821.2	4	1205.3	53.6	**
$T' \times F$	295.9	8	37.0	1.6	
$R$	563.7	2	281.9	12.5	**
$T' \times R$	293.9	8	36.7	1.6	
$F \times R$	617.1	4	154.3	6.9	**
$E$	360.6	16	22.5		
計	6988.8	44			

第3表において要因  $F$ ,  $T' \times F$ ,  $T' \times R$  を誤差変動  $E$  の中に入れても差支えないので (第2種の過誤を考慮の上で)

$$S_E = 986.8, \quad f = 34$$

$$\sigma_E^2 = 29.0, \quad \sigma_E = 5.38$$

要因  $T'$  に関する変動において二次曲線の当てはめが可能であるかどうかを検定して見ると、計算により

$$S_T = 4821.2 \quad f = 4$$

$$S_{lin} = 3920.4^{**} \quad f = 1$$

$$S_{qua} = 762.7^{**} \quad f = 1$$

$$S_{res} = 138.1 \quad f = 2$$

即ち、二次までの多項式で当てはめると良いことを示す。このため減衰率差を  $y$  として

$$y = a_0 + a_1(X - \bar{X}) + a_2(X - \bar{X})^2$$

の係数  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  及びこれらの標準偏差を求めると<sup>(3)</sup>

$$a_0 = 3.35 \times 10^{-4}$$

$$a_1 = 13.20 \times 10^{-4} / \text{mm}$$

$$a_2 = 9.84 \times 10^{-4} / \text{mm}^2$$

$$\sigma_{\omega_0} = 1.25 \times 10^{-4}$$

$$\sigma_{\omega_1} = 1.14 \times 10^{-4} / \text{mm}$$

$$\sigma_{\omega_2} = 1.92 \times 10^{-4} / \text{mm}^2$$

同様に曲線  $y$  についての標準偏差は<sup>(4)</sup>

$$\sigma_y^2 = 1.566 - 2.3925 (X - \bar{X})^2 + 3.683 (X - \bar{X})^4$$

から求められる。

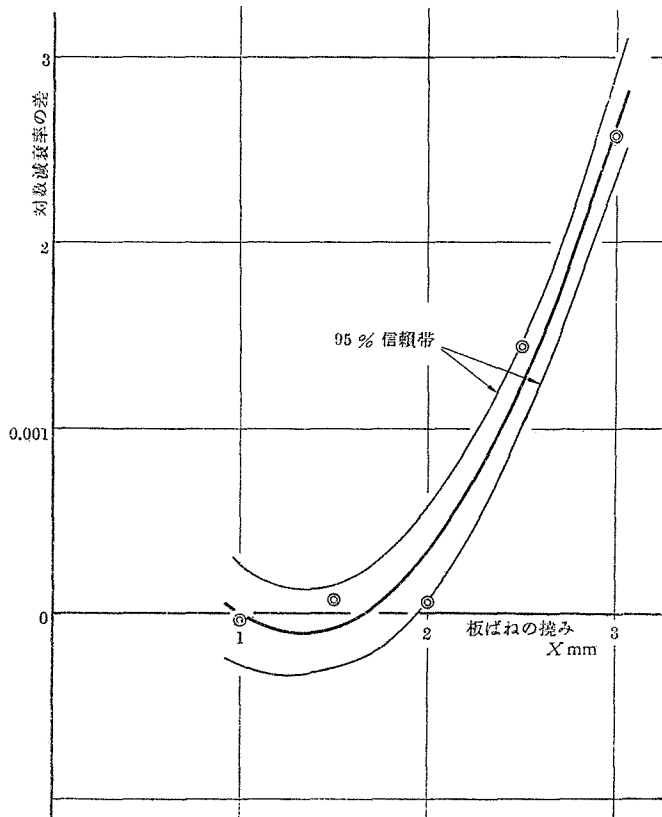
板ばねの撓み  $X$  と対数減衰率差  $y$  との関係曲線及びこれの 95% 信頼帯  $|Y - y|$  は

$$y = 3.35 \times 10^{-4} + 13.20 \times 10^{-4} (X - \bar{X}) + 9.84 \times 10^{-4} (X - \bar{X})^2$$

$$|Y - y| = t_{0.05} (34) \sigma_y$$

$$= 2.04 \sigma_y$$

第4図は  $y$  曲線及びこれの 95% 信頼帯を示してある。图中的 ⊙ 点は夫々の  $X$  に対する実験値の相加平均である。



第4図

## 5 考 察

この実験の主目的の一つであつた振動数の影響は、減衰率差に対しては殆ど見受けられずただ実験順序（振動履歴の影響）との交互作用が有意になつているだけである。要するにデータの統計的検定により、振動数の影響は 36~53 サイクル毎秒の範囲では、実験誤差及びここに考えられていない他のファクターに比べて小さく要因として取上げる必要はない。然し、振動数の影響も板ばねの長さ、厚さ等を変えて行ふ場合は実験しておらず、又実験により比較することも容易でない。

又実験を更に反覆実施しても誤差変動は余り変らず、列記した要因の有意性も殆ど変わらないように思われる。即ち、今回の実験で  $F$ 、 $T$  の二元配置の反覆実験数 1, 2, 3 回の夫々について分散分析表を作ると明らかになる。 $R_1$  のみの分散分析表は第 4 表、 $R_1$ 、 $R_2$  についての分散分

第 4 表

要 因	S. S.	$f$	M. S.	$F_0$	判定
$F$	418.8	2	209.4	4.75	*
$T$	1196.7	4	299.2	6.80	*
$E$	352.5	8	44.1		
計	1968.0	14			

第 5 表

要 因	S. S.	$f$	M. S.	$F_0$	判定
$F$	176.5	2	88.3	1.84	
$T$	2755.0	4	688.8	14.4	**
$T \times F$	222.2	8	27.8	0.58	
$R$	333.3	1	333.3	6.97	*
$T \times R$	57.0	4	14.3	0.30	
$F \times R$	148.9	2	74.5	1.56	
$E$	382.3	8	47.8		
計	4075.2	29			

析表は第 5 表、全部については既に第 3 表に示してある。

勿論  $R_1$  のみでは交互作用項は全て誤差項に編入される。これらの表から、更に第 5 表では  $T \times F$ 、 $T \times R$ 、 $F \times R$  を、第 3 表では  $F$ 、 $T \times F$ 、 $T \times R$  を夫々の誤差項  $E$  に組入れて実験誤差を出せば

$$\sigma_1^2 = 44.1$$

$$\sigma_2^2 = 36.8$$

$$\sigma_3^2 = 29.0$$

一方第4表から第5表, 第5表から第3表を眺めて行くと, 初め  $F$  が5%の危険率で有意であつたのに2回目で有意性を失い3回行つたところ完全に無関係と言える程であり, この変動は実験順序との交互作用項に組入れられて来て, この要因が1%の危険率で有意となつている。実験の操作上各振動数ブロック11個をまとめて実験するため, 殊に初めの実験における振動履歴の影響が強くと表われた結果ではなかろうか。この実験のグループは  $F_3$  (52 サイクル前後) であり, これの振動減衰率は第3図 ( $F_3$ ) の下の線に示されているように他のものに比して著しく小さくなつている。

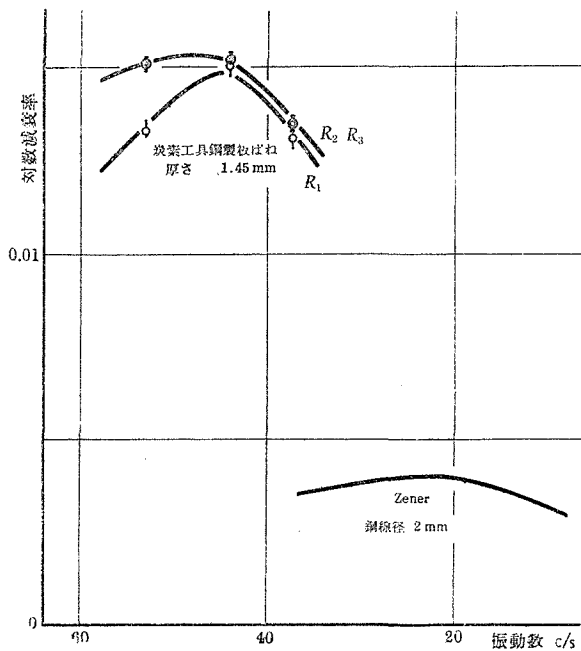
要するに3回を超えて実験を繰返しても, 振動数  $F$  の効果は表われず  $F \times R$  の影響が表われて来そうであり, 現在のところ  $R$  の効果を明確に表示しコントロールする方法も出来ない (焼鈍し等による結晶構造の再調整等の処理等々) ので, この交互作用が有意であるとされ統計的に分析され得ても技術的には活用されず, 更に実験誤差もこれ以上は望めそうもないので一応実験を打切つた。

なお, 実験装置の全振動系 (板ばねと蔓巻ばねより成る) の振動減衰の中, 蔓巻ばねの振動減衰は単純剪断応力の交替となる振り振動のため理論的<sup>(4)</sup>には振動数の大きさに影響されないもので, 全振動系の振動減衰の振動数による変化は, 板ばねの振動減衰の振動数の大きさによる変化と考へ得るので, 99個の実験値を夫々  $10^4$  倍して分散分析表を作ると第6表となる。考慮した要因はす

第6表

要 因	S. S.	$f$	M. S.	$F_0$	判定
$F$	5612.9	2	2806.5	162.0	**
$T$	7466.1	10	746.6	43.1	**
$T \times F$	1104.4	20	55.2	3.2	**
$R$	1355.2	2	677.6	39.1	**
$T \times R$	760.1	20	38.0	2.2	*
$F \times R$	1206.2	4	301.6	17.4	**
$\{R_2, R_3$	41.2	2	20.6	1.2	
$\{R_1, R_2+R_3$	1165.0	2	582.5	33.7	**
$E$	691.2	40	17.3		
計	18196.1	98			

べて有意であり, 殊に振動数  $F$  の効果はぬき出て大きい。振動数と対数減衰率との関係を求めたものが第5図であり, この場合  $T \times F$ ,  $F \times R$  も共に有意であるため  $T$ ,  $R$  をパラメータとして表示する必要があるが, 平面上に表示する関係上  $T$  の方は幾分小さいので実験誤差 (信頼限界を大きくする) に含めてある。図中の曲線は各点の上下に引いた太線で示される95%信頼区間を適当に通るように引いたもので, Zener の論文の曲線と同じ傾向をもつており, ただ板ばねの厚さの関係で曲線の山が振動数の高い方に転位し, 蔓巻ばねをも含めた振動系のため減衰



第 5 図

率も大きくなっている。

実験誤差も減衰率差の場合よりも小さくなっているが、減衰率の分布を正規分布と考えて

$$N(m_i, \sigma^2)$$

とすれば、減衰率差の分布は次のようになる。

$$N\left(m_i - \frac{m_j + m_k}{2}, \frac{3}{2}\sigma^2\right)$$

ここで  $m_i$ ,  $m_j$ ,  $m_k$  は夫々の減衰率の母平均を表わす。即ち減衰率の誤差が減衰率差のそれよりも小さくなるのは当然である。

## 6 結 言

振動数を変えるために、第1報におけるよりも複雑な操作を加えたにも拘らず、殆ど同程度の実験誤差になしえた。

振動数の影響は、Zener の論文におけると全く同様に、撓み振動減衰率が可成り大きく変化することは本実験装置でも推量しうる。勿論蔓巻ばねの振動減衰は振動数に影響なく一定と言う仮定をおいてのことである。

然しながら、自由振動と切削時振動とにおける振動減衰率差は何等振動数に影響されずに専らばね撓みの量によつて大きく変動し、更に、振動履歴にも少なからず影響されている。

それ故に、バイトの切削時における撓み振動減衰率を求めるためには、次の手順で行うことが望ましい。即ち

- 1) 種々の振動数における自由撓み振動減衰率を求める。
- 2) 種々の撓み量に対する撓み振動減衰率差を振動数に関係なく求める。
- 3) 1) の減衰率と 2) の減衰率差を加える。

更に振動履歴については、殊に初期において大きく変動し、今のところ適確には掴めえないが、真空電気炉の整備をまつて、実際にコントロールしうるような形で掴む方向に向ける。

終りに臨み、御批判下さつた久野教授、暗室の中での実験に終始協力して下さい下さつた栃内信男氏に深く感謝します。

## 文 献

- (1) 星野, 山下 : バイト材料の振動減衰, 第1報, 北大工報告, No. 12 '55.
- (2) Zener : Internal Friction in Solids, The Proceedings of the Physical Society, No. 289, pp. 152, '40.
- (8) デミング : 推計学によるデータのまとめ方 p. 137
- (4) 同 上 : 同 上 p. 120