



|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 円鋸の腰入. 第1報 : 円鋸の限界腰入量   |
| Author(s)        | 久野, 陸夫; Kuno, Rokuo   |
| Citation         | 北海道大學工學部研究報告, 17, 185-195   |
| Issue Date       | 1957-12-20  |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/40623">https://hdl.handle.net/2115/40623</a> |
| Type             | departmental bulletin paper   |
| File Information | 17_185-196.pdf  |



# 円鋸の腰入 (第1報)

## 円鋸の限界腰入量

久野陸夫

(昭和32年9月30日受理)

### Tensioning of Circular Saws (I)

Upper and lower limits of tensioning degree

Rokuo KUNO

#### Abstract

The highest and the lowest degrees of tensioning to be given to a circular saw are controlled as follows:

(1) A circular saw must rotate on its plane. If the degree of tensioning is too high, a circular saw, the shape of which is warp at a state of standstill, can not be a perfect plane when it runs freely at its full speed. This condition gives a clue to define the upper limit of the degree of tensioning.

(2) The temperature at the periphery of a circular saw rises by cutting. Therefore, if the degree of tensioning is too low, the saw buckles by this temperature rise. This fact gives the lower limit of the degree of tensioning.

This paper presents a theoretical calculation of the range of the degree of tensioning to be given by assuming that the temperature distribution equivalent to the strain distribution caused by tensioning is

$$t_1 = \frac{4\varepsilon_{\max}^0}{a^2} (a-r) a$$

and that the temperature distribution caused by cutting is

$$t_2 = T \frac{r}{a}$$

The first condition gives the relation in Eq. (6). The second condition gives the results in Eqs. (9) and (10), when there are two and three nodal diameters, respectively. The notations employed in these equations are:

$v$  = peripheral speed m/sec

$S = \frac{a}{h}$  ratio of the radius  $a$  to the thickness  $h$  of a saw.

The results of these calculations are shown in Figs. 1~4.

When the temperature distribution caused by cutting is not linear, the part at the mid-radius does not expand so much as in the case of a linear temperature distribution, and the degree of tensioning at that position must be higher. Temperature curves

(lower limit curves) in Figs. 1~4 shift as much as  $\frac{T_2}{1000}\%$  upward. ( $T_2$ :—difference between the temperature at the mid-radius and the mean temperature at the periphery and the center.)

If the temperature equivalent to the strain caused by tensioning is assumed as

$$t_1 = \frac{4\epsilon_{\max}^0}{a a^2} (a-r) r + \frac{F}{a} \frac{r}{a}$$

the results of calculations become as Eqs. (11), (12) and (13), and are shown in Figs. 5 and 6.

円鋸で挽材を行う際切削熱によつて円鋸の周辺が特に熱せられる為、挫屈<sup>1)</sup>を生ずる恐れがある。挫屈を起さぬ迄も、挫屈を起すに近い状態となれば円鋸の剛性は失なわれる為、小さな切削力によつても大きな撓みを生ずるから不適当であり、挫屈状態から離れた状態で切削すべきである。この為、腰入を行うのであるが、この様な腰入を行つた廻転円板の温度分布による挫屈問題は既に種々な研究<sup>2)</sup>がある。此処では次の様な条件の下で腰入量の上限、下限を求めて見る。

(A) 腰入によつて挫屈彎曲した円鋸を回轉した場合、円鋸は延びて平板になる。平板にならぬ程強く腰入をした場合は、彎曲した円鋸を廻轉して削り初める事になり挽き曲りを生ずるし、更に又周囲が切削熱で次第に熱せられて来ると平板に近くなりかけては来るが、丁度挫屈状態になつた時に極めて僅少な切削力でも大きな撓みを生ずる事になる為、挽材を行う事が出来ない。かくの如く所要回轉で廻した場合挫屈状態を脱し得る程度の低い腰入量に止めなければならぬ。これが腰入量の上限を規定する事になる。

(B) この様に所要回轉数に回轉して挫屈状態を脱して平板になつた円鋸でも、切削した場合に周辺が切削熱の為に熱せられ、挫屈を起す傾向がある。この為に所要回轉数で回轉し、周辺の温度を上げて尚挫屈を起さぬ様に腰入を強くして置かねばならぬ。これが腰入量の下限を示す事になる。

### 基 本 式

問題を簡単にする為に中心に穴のない円板として考える。基本式は他の論文で示されて居る様に

$$\left. \begin{aligned} r \frac{dN_r}{dr} + N_r - N_t + \frac{\rho}{g} \omega^2 r^2 &= 0 \\ ar \frac{dt}{dr} + \frac{1}{hE} \left\{ 3r \frac{dN_r}{dr} + r^2 \frac{d^2 N_r}{dr^2} + (3+\nu) \frac{\rho}{g} \omega^2 r^2 \right\} &= 0 \\ \frac{dN_r}{dr} \frac{\partial w}{\partial r} + N_r \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{N_r}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + N_t \frac{\partial^2 w}{r^2 \partial \theta^2} &= D \left\{ \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right\}^2 w \end{aligned} \right\} (1)$$

|            |         |          |       |
|------------|---------|----------|-------|
| $N_r, N_t$ | 断面力     | $w$      | 撓み    |
| $t$        | 温度      | $\omega$ | 角速度   |
| $\rho$     | 単位面積の重量 | $h$      | 円板の厚さ |

$$\begin{array}{ll}
 E & \text{縦弾性係数} \\
 \alpha & \text{熱膨脹係数}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{ll}
 g & \text{重力加速度} \\
 \nu & \text{ポアソン比} \left( = \frac{3}{10} \right)
 \end{array}$$

$$D = \frac{E h^3}{12(1-\nu^2)}$$

腰入量は中心及び周辺で0, 半径の真中即ち  $a/2$  で腰入量最大になる様な2次曲線の分布とし, 半径の真中の最大腰入量を歪  $\varepsilon_{\max}^0$  で示すものとすれば

$$\text{腰入量} = \frac{4\varepsilon_{\max}^0}{a^2} (a-r)r$$

これを温度に置き代えて考えれば腰入による等値温度  $t_1$  は

$$t_1 = \frac{4\varepsilon_{\max}^0}{a a^2} (a-r)r$$

切削温度  $t_2$  は直線的な温度分布とし, 円板全体の一様な温度上昇は, 挫屈に関係しないから円板の中心温度を基準に取つて周辺温度を  $T$  とすれば

$$t_2 = T \frac{r}{a}$$

故に合計の温度分布は

$$t = t_1 + t_2 = \frac{4\varepsilon_{\max}^0}{a a^2} (a-r)r + T \frac{r}{a} \quad (2)$$

林氏の論文は, 同じ問題をエネルギー法で解いて居るがこれと比較する意味で以下の計算はすべて連続近似法を用いる。(計算結果が相当異なつて居るが, 之の1つの原因は, ポアソンの比を林氏は1/4に取り, この論文では3/10を用いて居る為でもある。)

#### (A) 条件

節円節直径のない状態に挫屈して居る円鋸を回転した場合に, 挫屈状態を脱し得るか否の限界を求める為, 挫屈は節円節直径のない場合についてのみ考える。かつ切削して居ないから  $t_2 = 0$  である。

$$t = t_1 = \frac{4\varepsilon_{\max}^0}{a a^2} (a-r)r$$

又

$$N_r = \xi + \eta r + \zeta r^2$$

と置けば(1)式と周辺条件即ち  $r=a$  で  $N_r=0$  から

$$\left. \begin{array}{l}
 \xi = \frac{hE \varepsilon_{n,\max}^0}{3} + \frac{3+\nu}{8} \frac{\rho}{g} a^2 \omega^2 \\
 \eta = -\frac{4hE \varepsilon_{\max}^0}{3a} \\
 \zeta = \frac{hE \varepsilon_{\max}^0}{a^2} - \frac{3+\nu}{8} \frac{\rho}{g} \omega^2
 \end{array} \right\} \quad (3)$$

撓みの第1近似式を  $w_1$  としして次の如く置く

$$\frac{dw_1}{dr} = Ar + Br^2$$

そして周辺  $r=a$  でモーメントが0でなければならぬから

$$M_{r,r=a} = -D \left( \frac{d^2w}{dr^2} + \frac{\nu}{r} \frac{dw}{dr} \right) = 0 \quad (4)$$

$$A(1+\nu) + B(2+\nu)a = 0$$

この  $N_r$  及び  $\frac{dw_1}{dr}$  の値を (1) の第3式の左辺に代入して積分し求め得た第2近似式  $w_2$  の積分常数を (4) の条件で決定し、第1近似式  $w_1$  と第2近似式  $w_2$  との周辺の撓みが等しいと置く事によつて

$$7.17D + 1.67\xi a^2 + 1.22\eta a^2 + 0.947\zeta a^1 = 0 \quad (5)$$

これに (3) の値を入れれば

$$0.118 hE \epsilon_{\max}^0 a^2 = 7.17D + 0.297 \frac{\rho}{g} \omega^2 a^1$$

$$\begin{aligned} \text{更に} \quad v &= \omega a \text{ m/sec} & E &= 2 \times 10^9 \text{ kg/cm}^2 \\ \frac{\rho}{h} &= 7.8 \text{ gr/cm}^3 & g &= 980 \text{ cm/sec}^2 \\ S &= \frac{a}{h} \end{aligned}$$

を上式の入れれば次の如き A 条件式が得られる

$$\epsilon_{\max}^0 < 5.54 \frac{1}{S^2} + 0.996 v^2 10^{-7} \quad (6)$$

$$\left( \begin{array}{l} \text{林氏の計算結果は} \\ \epsilon_{\max}^0 = 5.91 \frac{1}{S^2} + 0.905 v^2 10^{-7} \end{array} \right)$$

### (B) 条 件

切削熱によつてこの様に腰入した円板に対して起る挫屈は、林氏の論文でも明白な通り節円はなく、節直径が2又は3の場合であると考えられるから、これについて計算する。

B<sub>1</sub> 節直径2つの場合

(1) 及び (2) から

$$\left. \begin{aligned} \xi &= hE \left( \frac{aT + \epsilon_{\max}^0}{3} \right) + \frac{3+\nu}{8} \frac{\rho}{g} \omega^2 a^2 \\ \eta &= -\frac{hE}{a} \left( \frac{aT + 4\epsilon_{\max}^0}{3} \right) \\ \zeta &= hE \frac{\epsilon_{\max}^0}{a^2} - \frac{3+\nu}{8} \frac{\rho}{g} \omega^2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

第1近似式を  $w_1$  としして

$$w_1 = (Ar^2 + Br^3 + Cr^4) \sin 2\theta$$

この式と(7)とを(1)の第3式の左辺に入れて積分し、この場合も周辺が自由であるから次の条件を満足しなければならぬ

$$\left. \begin{aligned} M_{r,r=a} &= -D \left\{ \frac{d^2 w}{dr^2} + \nu \left( \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right) \right\}_{r=a} = 0 \\ V_{r=a} &= \left( Q_r - \frac{\partial M_{rt}}{r \partial \theta} \right) = -D \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right) \right. \\ &\quad \left. + (1-\nu) \frac{\partial}{r \partial \theta} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) \right] \right\}_{r=a} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

故に

$$\begin{aligned} (2-2\nu)A + (6-\nu)Ba + 12Ca^2 &= 0 \\ (4\nu-4)A + (8\nu-3)Ba + (12\nu+12)Ca^2 &= 0 \end{aligned}$$

A条件と同じ様な計算を行うと

$$32.2D + 2.90\xi a^2 + 5.67\eta a^3 + 7.43\zeta a^4 + 4.56\frac{\rho}{g}a^4\omega^2 = 0$$

これに(7)の値を代入すれば

$$\epsilon_{n \max}^0 > 1.16 T 10^{-5} - 3.51 \frac{1}{S^2} - 1.28 v^2 10^{-7} \quad (9)$$

但し

$$a = 1.05 \times 10^{-5}$$

$$\left( \begin{array}{l} \text{林氏の計算結果は} \\ \epsilon_{n \max}^0 = 1.36 T 10^{-5} - 4.36 \frac{1}{S^2} - 1.56 v^2 10^{-7} \end{array} \right)$$

B<sub>2</sub> 節直径3つの場合

この場合の式を列記すれば  $\xi, \eta, \zeta$  は前と同様であり

$$\begin{aligned} w_1 &= (Ar^2 + Br^3 + Cr^4) \sin 3\theta \\ (2-7\nu)A + (6-6\nu)Ba + (12-5\nu)Ca^2 &= 0 \\ (9\nu-9)A + (18\nu-18)Ba + (27\nu-13)Ca^2 &= 0 \\ 4324D + 238\xi a^2 + 447\eta a^3 + 591\zeta a^4 + 268\frac{\rho}{g}\omega^2 a^4 &= 0 \\ \epsilon_{n \max}^0 &> 0.980 T 10^{-5} - 5.32 \frac{1}{S^2} - 0.654 v^2 10^{-7} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\left( \begin{array}{l} \text{林氏の計算結果は} \\ \epsilon_{n \max}^0 = 1.065 T 10^{-5} - 7.09 \frac{1}{S^2} - 0.765 v^2 10^{-7} \end{array} \right)$$

### 計算結果

以上の限界線を  $S$  が 150, 200, 300, 400 の各の場合に就いて示したのが第1~4図である。横軸に周速  $v$  m/sec を取り、縦軸に腰入量を示す  $\epsilon_{n \max}^0$  を取つて居る。下限線の中、実線は節直径が2つの場合、鎖線は、節直径が3つの場合である。故に許し得る腰入量は例えば周辺温度が  $25^\circ$  の場合は、ハッチを入れてある部分になる。各線の傾向を述べれば次の如くである。

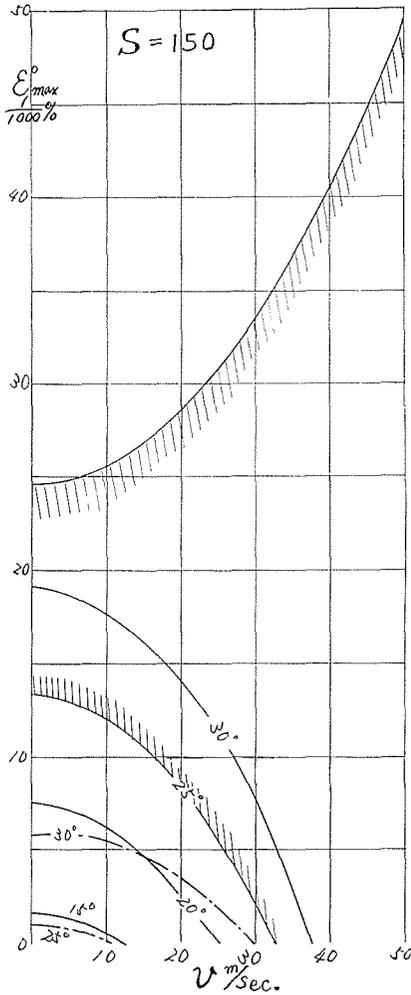


Fig. 1.

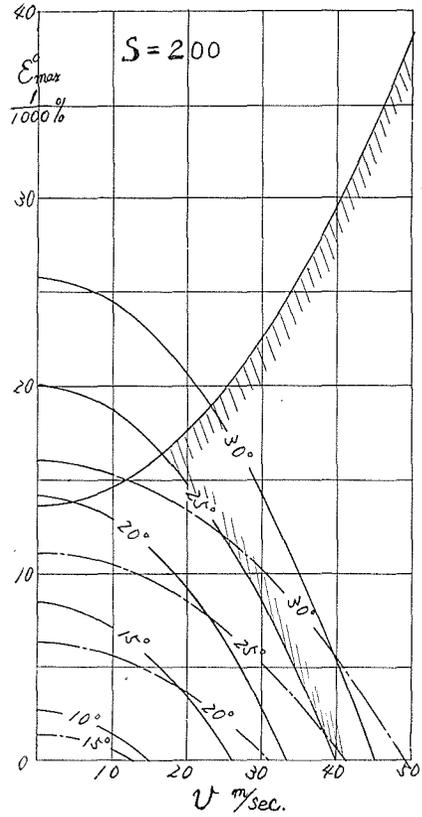


Fig. 2.

(1) 上限線の性質

(A) 或る程度腰入を行う事によつて円板は静止状態に在いて挫屈を起す。挫屈を起し得る腰入量は、周速 0 の線と上限線の交りで示される。

(B) 回転速度を増すと挫屈を起す腰入量は増加する。故に挫屈を起して居る円板も或速度以上になれば挫屈状態を脱して平板になる。言換れば回転する事により挫屈を起しにくくなる。

(C) 鋸半径と厚さの比  $S$  が増せば即ち、鋸の厚さが半径の割合に薄ければ同じ速度でより少ない腰入で挫屈する。即ち薄い鋸は挫屈を起し易い。

(2) 下限線の性質

切削熱の為の温度分布が直線的に周辺で高くなつて居る場合には

(A) 同じ速度で回転して居る場合、腰入量を多くすればより高い温度で挫屈する。即ち腰入は、切削温度による挫屈を防止する。

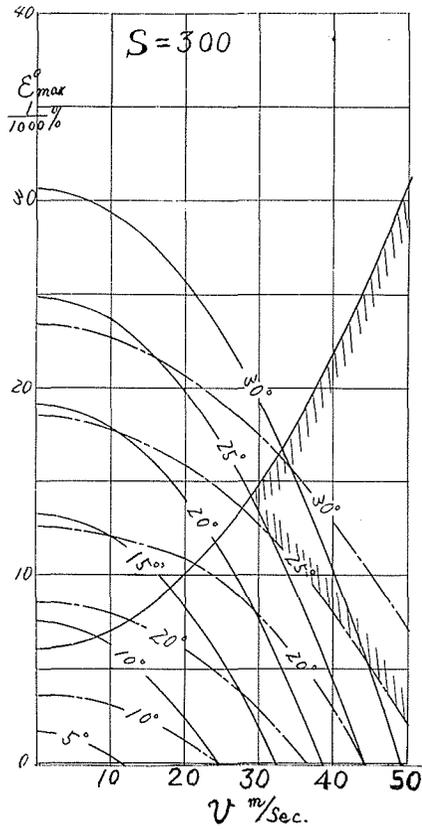


Fig. 3.

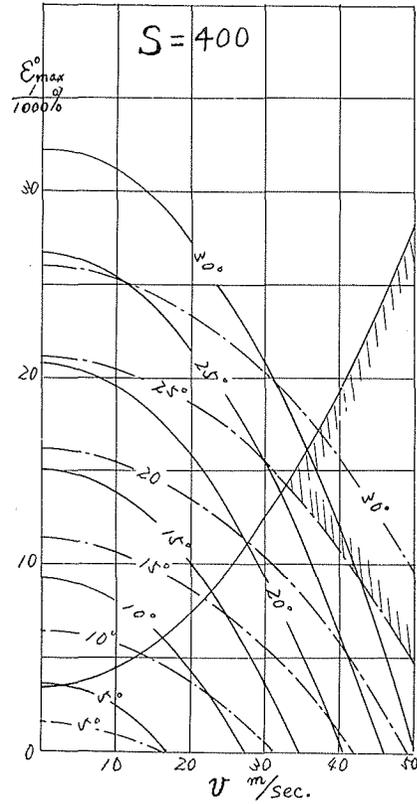


Fig. 4.

(B) 同じ速度で回転した場合、鋸の厚さが厚くなればより高い温度で挫屈する。即ち鋸の厚さを増す事は切削温度による挫屈を防止する。

(C) 回転速度を増せば同じ腰入量でもより高い温度で挫屈する。即ち回転速度を増せば挫屈を防止する。

(D) 鋸の厚さの厚い場合又は回転速度の遅い場合には、節直径が2つの挫屈が広い  $\epsilon_{max}^0$  の範囲で起り、之の反対の場合は、節直径3つの挫屈が広い  $\epsilon_{max}^0$  の範囲で起る。

以上の如くであるから、回転速度が遅く薄鋸を用いた場合には、或切削温度に耐えなければならぬならば、もはやこの様な腰入方法では不可能になる。何とならば上限線が下限線より下になるからである。言換れば腰入した鋸を回転する事により平板になる如く腰入を少なくすれば、最早切削温度に耐え切れずに必ず挫屈を起すからである。上限線のすぐ下の状態に腰入したのが最適と考えられる。何とならば予定より過熱した場合にも耐え得られるからである。しかしこの場合は不注意な腰入によつて回転しても平板にならぬ恐れのある事は覚悟しなければならぬ。これが腰入を強く行つた鋸が高速回転に適すると云われる理由である。

しかし又一方回転を早くするならば、必ずしも腰入を強くしなくても熱による挫屈を防止

出来るのも事実である。

### 温度分布が直線的でない場合

以上は温度分布が直線の場合であるが、温度が2次曲線的に分布して居る場合について考えて見ると温度分布は

$$t_2 = T_1 \frac{r}{a} - \frac{4T_2}{a^2} (a-r)r$$

$$t = t_1 + t_2 = \frac{4}{a^2} \left( \frac{\epsilon_{\max}^0}{a} - T_2 \right) (a-r)r + T_1 \frac{r}{a}$$

故に前の計算の  $\epsilon_{\max}^0$  の代りに  $(\epsilon_{\max}^0 - a T_2)$  を代入する事によつて他に変化を与える事なく結論を出す事が出来る。即ち半径の真中  $a/2$  であらかじめ  $\epsilon_{\max}^0$  の腰入をして置いた場合、この様な分布ならば直線的分布よりもこの真中で  $a T_2$  だけ熱膨脹が少なく、それだけ少なく腰入したかの如くなるから、より低い温度で挫屈する事になる。故に予め  $a T_2$  だけ多く腰入して置く必要がある。即ち下限の各温度線は  $a=10^{-5}$  と概算すれば  $\frac{T_2}{1000}\%$  だけ高い位置となる。 $T_2$  は半径の真中に於いて周辺と中心との温度の平均より実際温度が下つて居る値である。若し温度分布が中心からの距離の2乗に比例するならば

$$t_2 = T \frac{r^2}{a^2} = T \frac{r}{a} - \frac{4}{a^2} \left( \frac{T}{4} \right) (a-r)r$$

この結果を (9), (10) 式から導けば節直径2つの場合は

$$\epsilon_{\max}^0 > 1.42 T 10^{-5} - 3.51 \frac{1}{S^2} - 1.28 v^2 10^{-7}$$

節直径3つの場合は

$$\epsilon_{\max}^0 > 1.24 T 10^{-5} - 5.32 \frac{1}{S^2} - 0.654 v^2 10^{-7}$$

いずれも上に述べた如く同じ速度、同じ厚さ、同じ腰入ならば、同じ周辺温度で直線的分布よりもこの場合の方がより多く腰入をして置かねばならぬ。

### 他の腰入法

腰入は以上の如く切削温度による挫屈を防止する意味に於いて重要であるとするならば、加熱によつて周辺が中心より高くなるので、その反対に腰入による等値温度を中心附近を高くして置いて、即ち中心附近を強く腰入して置いて、この切削温度と等値温度との合計が円鋸全体が等しい温度になる様にすべきでないか。或は回転円板の遠心力によつて生ずる切線引張力は中心附近が最大であるから、それ以上に中心附近の腰入を強くしなければならぬのでないかと云う疑問が生ずる。しかし腰入の本には多くの場合、中心附近は腰入せずに置く様に指示されて居る。故に腰入を

$$\frac{4 \epsilon_{\max}^0}{a^2} (a-r)r + F \frac{r}{a}$$

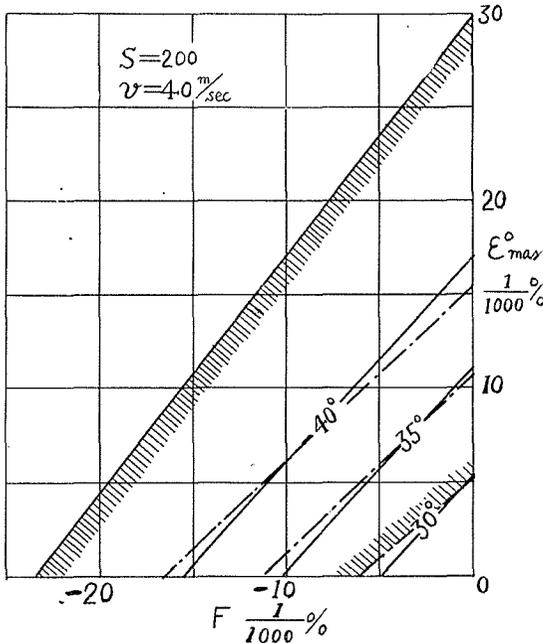


Fig. 5.

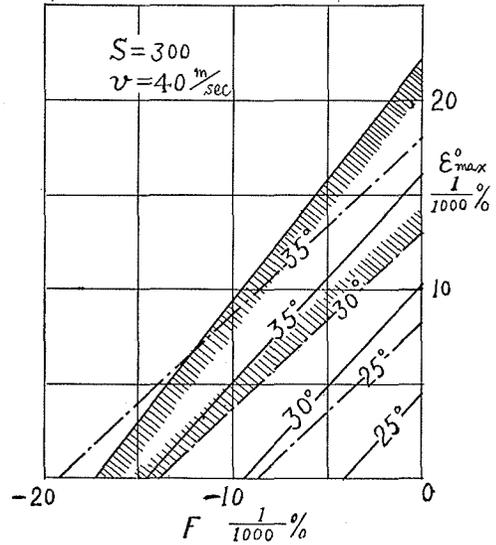


Fig. 6.

の如き分布とする。今迄述べたのは  $F=0$  であるが  $F$  が正の場合には普通の腰入の他に周辺に近づくにしたがい強く腰入する腰入を更に追加した場合、 $F$  が負の場合はその反対に中心に近づくにしたがい強く腰入する腰入を付け加えた場合である。この場合は上限線即ち節直径のない場合は

$$\xi = \frac{hE(\epsilon_{\max}^0 + F)}{3} + \frac{3+\nu}{8} \frac{\rho}{g} a^2 \omega^2$$

$$\eta = -\frac{hE(4\epsilon_{\max}^0 + F)}{3a}$$

$$\zeta = \frac{hE\epsilon_{\max}^0}{a^2} - \frac{3+\nu}{8} \frac{\rho}{g} \omega^2$$

$$0.118\epsilon_{\max}^0 - 0.150F = 0.656 \frac{1}{S^2} + 0.118v^2 10^{-7} \quad (11)$$

切削熱の為加熱されて節直径2つの場合及び3つの場合は(9), (10)式に各  $T$  の代りに  $T + \frac{F}{a}$  を代入すればよいから

$$1.10F - \epsilon_{\max}^0 = 3.51 \frac{1}{S^2} + 1.28v^2 10^{-7} - 1.16T 10^{-5} \quad (12)$$

$$0.933F - \epsilon_{\max}^0 = +5.32 \frac{1}{S^2} + 0.654v^2 10^{-7} - 0.980T 10^{-5} \quad (13)$$

この関係曲線を例えば  $S=200$  及び  $S=300$  の場合、 $v=40$  m/sec として図示すると第5~6図の如くである。故に例えば切削温度  $30^\circ$  の場合は許し得る腰入量はパッチを入れた範囲になる。又この場合も切削温度が2次曲線であるならば  $\frac{T_2}{1000}$  % 下限曲線が上る事も前と同じである。

$F$  が正の場合は図で示していないが予想される如く  $\epsilon_{\max}^0$  即ち普通の腰入を更に強く入れなければならぬから腰入作業を今より多く必要とする為問題にならぬとするならば、 $F$  が負の場合即ち中心に近づくにしたがい強く腰入する腰入を普通の腰入に付け加えて行う場合には、現在よりも普通の腰入即ち  $\epsilon_{\max}^0$  で指定される腰入を減じてよい。例は  $\epsilon_{\max}^0$  が 0 でも切削温度による挫屈は起きぬ様腰入が出来る。この場合の中心附近の腰入の強さ  $F$  は現在の  $\epsilon_{\max}^0$  と余り変化しない程度である。しかしこの様な方法の欠点として考えられる事は  $F$  が負になるにしたがい腰入許容範囲が狭くなる事である。特に温度分布が 2 次曲線的になり下限曲線が  $\frac{T_2}{1000}\%$  だけ上昇するならば、この様な狭い腰入許容範囲に適合する様に腰入する事は困難になると考えられる。これが現在の腰入方法が用いられる 1 つの原因と考えられる。けれども必ずしもこれを固執する必要はなく腰入が弱すぎた場合は、中心に近づくにしたがい強くなる腰入を付け加え、腰入が強すぎた場合は周辺に近づくにしたがい強くなる腰入を附加する程度ならば差し支えないと思われる。

## 結 論

第 1 図乃至第 6 図から次の様な結論が得られる。

- (1) 割合に厚い円鋸を除き円鋸の周速は 30 m/sec 以上にすべきである。
- (2) 半径の真中の最も強く腰入すべき部分の腰入による歪量  $\epsilon_{\max}^0$  は割合に厚い円鋸を除き  $\frac{1}{100}\%$ 、乃至  $\frac{3}{100}\%$  程度にすべきである。
- (3) 高速回転をする程腰入量の許容範囲が広がるし、高温に耐えられる事になる。
- (4) 故に高速回転の場合は腰入量を多くすべきであるが、すくなくとも高温に耐えられる。
- (5) 腰入量は半径の真中附近で最大にするのが普通であるが、腰入が弱過ぎた場合は、更に中心附近を強く腰入れる腰入を付け加え、腰入が強過ぎた場合は周辺附近を強く腰入れる。腰入を附加すべきである。しかしこれは過度にすべきではない。

以上は回転速度と円鋸の温度とを別別に考けて居るが、この間には密接な関係があり周速を上げれば当然切削温度も上昇する事を考慮しなければならぬ。

尚本研究は文部省科学研究費補助金によるものである事を付記する。

## 文 献

- 1) 追記参照。
- 2) 林 毅：円鋸の帯入。応用物理，17 卷 8 号 (昭和 23 年 9 月)。  
杉原彦一：円鋸刃の諸問題。木材研究資料，京大木材研究所，第 4 号 (昭和 28 年)。

## 追 記

本論文に於いては、今迄用いられて居た挫屈なる文字でこの現象を示した。勿論広い意味では挫屈に入るが、帯鋸の腰入第6報で示した如くこの場合も飛び移り現象と称すべきである。即ち腰入した円鋸の外周に一樣なモーメントを加えれば上ぞりから下ぞりに急に變化し、飛び移り現象を示す。この論文で議論して居るのは外周にモーメントが掛らない場合である。故に腰入量が少ないか又は外周が余り加熱されぬ場合は、外周のモーメントを減じて0にした場合平板になる。これをこの論文では挫屈を起して居ない状態と称する。飛び移り現象を示す様腰入が強い加熱温度が高い場合は、モーメントを0にしても彎曲が残る。この場合を挫屈を既に起して居る状態と称し、この2つの場合の境に當る、モーメント撓み曲線の原点に於ける切線が水平の場合を挫屈状態と称する。