

# Turks Head による丸線から角線への引抜の研究

Studies on Drawing Square Wire from Round One through Turks Head

荒木 甚一郎\*・鈴木 弘\*

Jinichiro ARAKI and Hiromu SUZUKI

## 1. ま え が き

これまで報告した Turks Head による角線から角線への引抜では、ロールバイト中の角線の外周はすべてロールの拘束を受け、また帯板引抜の場合でも、板は幅方向の拘束を受けた2次元変形として取扱うことができた。しかし、丸線から角線、丸線から平線の引抜となると、線の外周にロールに拘束されない自由表面があり、その部分の歪と応力とを考えなければならない。

しかし、一般に素材は三次元変形の状態で引抜かれ、引抜方向に垂直な任意の断面での歪や応力は断面内の各点で異なる値をとり解析的取扱いは容易でない。したがってこの種の問題では総合的特性を明瞭にし得ないままに放置されている。筆者らはそれらを一様とみなした平均応力・平均歪を用いて単純化し引抜過程を解析した。また黄銅線による実験を行ない、この解析法により種々の引抜条件の影響を解明して全体的な諸特性を求め得ることを実証したので報告する。

## 2. 記 号

- $d$ : 素線径 mm
- $D$ : ロール径 mm
- $q$ : ロール面圧力 kg/mm<sup>2</sup>
- $q'$ : 平均垂直応力 kg/mm<sup>2</sup>
- $f$ : 水平力 kg
- $f'$ : 平均水平応力 kg/mm<sup>2</sup>
- $\theta$ : ロールと材料の接触角 radian
- $h$ :  $\theta$  における引抜材の厚さ mm
- $l$ : ロールと材料の接触幅 mm
- $A$ :  $\theta$  における断面積 mm<sup>2</sup>
- $d\epsilon_1, d\epsilon_2, d\epsilon_3$ : 1, 2, 3 方向の平均歪増分 mm/mm
- $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ : 1, 2, 3 方向の平均応力 kg/mm<sup>2</sup>
- $\sigma$ : 静水圧 kg/mm<sup>2</sup>

## 3. 解析の基本となる諸関係式

(1) 幾何学的条件式

$$\frac{D}{2} + \frac{hout}{2} = \frac{D}{2} \cos \theta + \frac{h}{2} \quad (1)$$

(2) 力の釣合式

$$(f + df) - f + 4q \left( \frac{D}{2} l d\theta \right) \sin \theta \pm 4\mu q \left( \frac{D}{2} l d\theta \right) \cos \theta = 0 \quad (2)$$

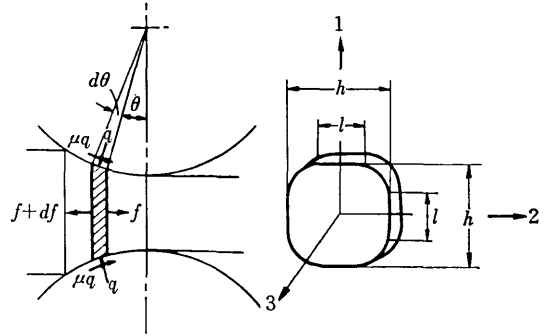


図1 引抜中の微小要素に働く力

$$\frac{df}{d\theta} = -2Dlq(\sin \theta \pm \mu \cos \theta) \quad (3)$$

(3) 降伏条件式

$$f' + q' = 2k \quad (4)$$

ここで  $f' = f/A$ ,  $q' = l/h \cdot q$  である。

(4) 静水圧・平均歪増分の求め方

$\sigma_1 = \sigma_2 = -q'$ ,  $\sigma_3 = f'$  だから

$$\sigma = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = \frac{1}{3}(-2q' + f') \quad (5)$$

いまロール直下の歪増分を  $d\epsilon_1^*$  とすると

$$d\epsilon_1^* = -\frac{dh}{h} = -\frac{D \sin \theta d\theta}{h} \quad (6)$$

となり、平均歪  $d\epsilon_1$  は

$$d\epsilon_1 = \frac{l}{h} d\epsilon_1^* = -\frac{lD}{h^2} \sin \theta d\theta \quad (7)$$

で定義する。対称性より  $d\epsilon_2 = d\epsilon_1$  であるから、体積一定の条件より

$$d\epsilon_3 = -2d\epsilon_1 = \frac{2 \cdot l \cdot D}{h^2} \sin \theta \cdot d\theta \quad (8)$$

(5) 歪と断面積の関係

$$\ln \frac{A_{in}}{A} = \int d\epsilon_3 \text{ であるから } A = A_{in} e^{-\int d\epsilon_3} \quad (9)$$

(6) ロールと材料の接触幅の求め方

図2の(a)のようにロールバイト中の材料を入側から出側まで  $n$  区間に分ける。いま  $i$  番目の断面で  $P_i$  の点が  $i+1$  断面で  $P_{i+1}$  となったとすると次の関係が成り立つ。

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

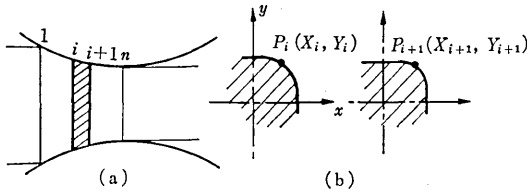


図 2 自由表面の変形過程

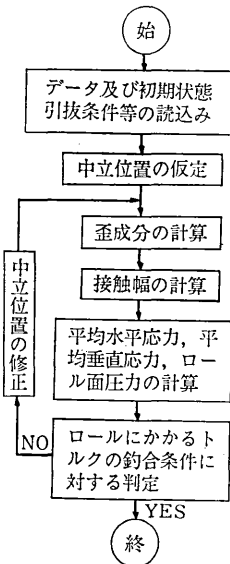


図 3 計算の流れ図

$$\left. \begin{aligned} X_{i+1} &= X_i + X_i d\varepsilon_{1i} \\ Y_{i+1} &= Y_i + Y_i d\varepsilon_{2i} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$P_{i+1}$  の描く軌跡と  $y = \frac{h}{2}$  との交点を求め、その  $x$  座標を  $\bar{X}_{i+1}$  とすると  $i+1$  番目の接触幅  $l_{i+1}$  は

$$l_{i+1} = 2\bar{X}_{i+1} \quad (11)$$

で求まる。

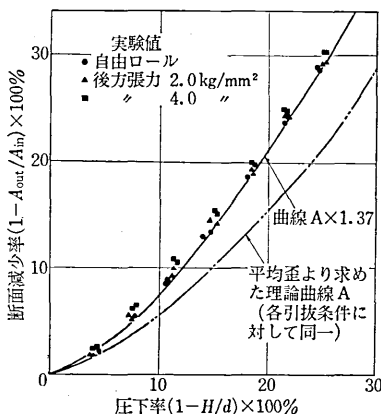


図 4 丸線から角線の引拔で压下率と断面減少率の関係に及ぼす後方張力の影響 材質黄銅

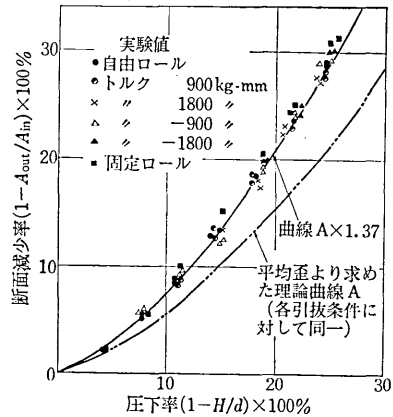


図 5 丸線から角線の引拔で压下率と断面減少率の関係に及ぼすロール駆動トルクの影響 材質黄銅

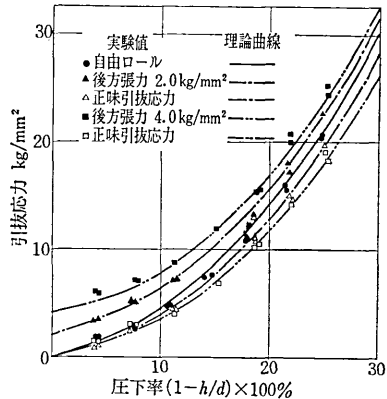


図 6 丸線から角線への引拔で後方張力が引抜応力に及ぼす影響 材質黄銅

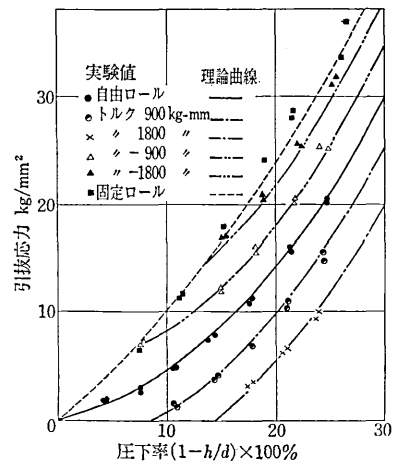


図 7 丸線から角線への引拔でロール駆動トルクが引抜応力に及ぼす影響 材質黄銅

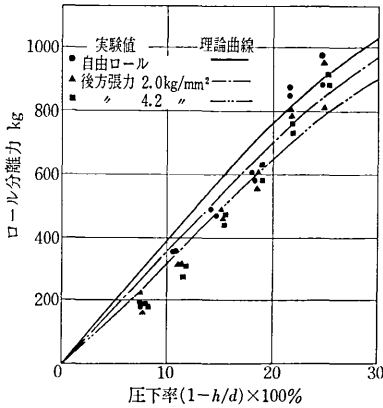


図 8 丸線から角線への引拔で後方張力がロール分離力に及ぼす影響 材質黄銅

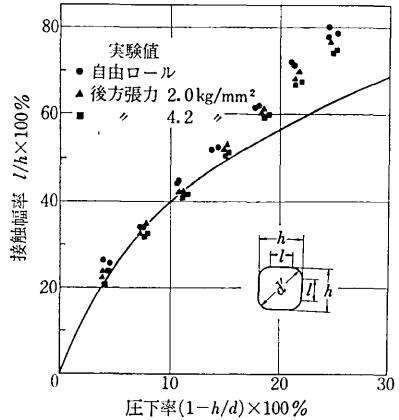


図 10 丸線から角線への引拔で後方張力が接触幅率に及ぼす影響 材質黄銅

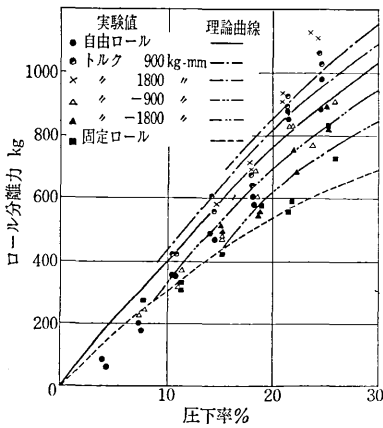


図 9 丸線から角線への引拔でロール駆動トルクがロール分離力に及ぼす影響 材質黄銅

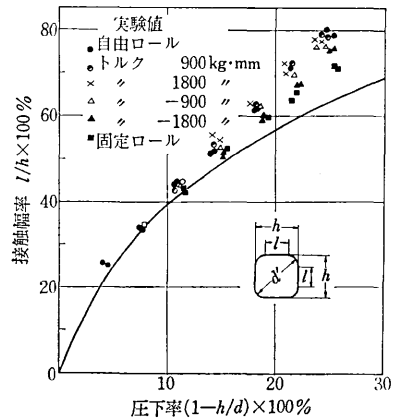


図 11 丸線から角線への引拔でロール駆動トルクが接触幅率に及ぼす影響 材質黄銅

4. 黄銅線による引拔実験と理論計算結果との比較

実験に用いた Turks Head は、ロール径 100φ、バレル長 10 mm の 4 個のロールからなり前回報告したものと同一である。実験は 5φ 黄銅線材で行ない、計算に用いた摩擦係数は 0.1、加工硬化曲線は実験より得た  $k=37.5e^{0.44}$  である。実験と計算結果より得られた内容を整理すると

- 1) 上記の方法で定義した平均歪より求めた断面減少率は実験値より低いが、一定の修正係数を掛けると、30% 程度までの任意の圧下率に対してはほぼ実験結果に一致する。(図 4, 5)
- 2) 丸線から角線の引拔では、圧下率と断面減少率の関係は引拔条件の影響をあまり受けない。(図 4, 5)

3) 引拔条件を変えた場合の引拔応力の変化は、定性的にも定量的にも実験と理論はよい一致を示す。(図 6, 7)

4) ロール分離力と圧下率の関係も定性的には理論と実験はよく対応している。(図 8, 9)

5) 接触幅率は自由表面の変化の大きさに依存し、圧下率の小さい範囲では理論と実験はよく一致するが圧下率が大きくなると離れる。

5. むすび

本報の理論と実験により Turks Head による丸線から角線への引拔のメカニズムの概略がつかめたと思う。

(1969 年 12 月 5 日受理)

