

異形管のロール成形に関する実験的研究—第6報— —溝形ロールによる角管の成形(3)— (成形荷重に関する検討)

Experimental Study on Roll Forming Process of Non-Circular Pipe · 6th Report
Roll Forming Process of Square Pipe with Grooved Roll (3)
(Investigation into Forming Load)

木内 学*・新谷 賢*・岩崎 利弘*

Manabu KIUCHI, Ken SHINTANI and Toshihiro IWASAKI

1. ま え が き

近年、製品寸法の大型化や精度向上の問題をも含めて構造用角管の製造が関心を集めているが、その基本的資料となる成形荷重あるいはその評価方法についてはほとんど知られていない。そこで、本報では円管から角管を再成形するプロセスに関する一連の基礎的研究の一部として、成形荷重について検討した結果を報告する。最初に、2・ロール方式による成形荷重の測定結果より、各種成形条件因子が成形荷重に与える影響の概要を示し、次に、簡単な変形モデルを想定し、エネルギー法を適用した場合の解析結果を示して、成形荷重の評価法について考察する。

2. 実験方法・実験条件

実験装置・実験方法は既報と同一であるため、詳細は省略するが、基本的には水平パスラインによる単スタンド成形で、パス回数を積み重ねていく方式を採用している。用いた成形ロールの形状・寸法を図1に、実験条件

表1 実験条件

素管材質	STK41 一般構造用炭素鋼鋼管 (未焼鈍材)	STPG38相当 圧力配管用炭素鋼鋼管 (焼鈍材)	AI070TES-F アルミニウム 押出管
素管外径(D)	114.3 ^φ	114.3 ^φ	100.0 ^φ
素管肉厚(t)	4.5 ^t	3.2, 4.0, 5.6, 8.6 ^t	3.0, 10.0 ^t
素管長さ	1,500 mm		
圧下率比(r*)	0 → 25 → 50 → 75 %		
駆動方法	上下軸直結駆動方式		
圧下調整	定クリアランス方式(厚みゲージにて設定)		
成形速度	約3 m/min		
潤滑	なし		

をまとめて表1に示す。成形の度合を示すパラメータとして圧下率rおよび圧下率比r*を用いてあるが、その定義は図1に示す通りである。ここで、r_{max}は素管の周長の伸縮がないと仮定した場合の理論最大圧下率である。なお、使用記号は図1を参照されたい。

3. 成形荷重(F)の測定結果および考察

図2～6には成形荷重Fに対する各種成形条件因子の影響をみるために、測定値を整理してプロットした例を示す。これらの結果より、当然予想されることではあるが、圧下率rまたは圧下率比r*が増す程、また、同一圧下率では素管肉厚tが増す程、および、素管半径D/2とロール孔形の半径Rの比(D/2/R)が増す程、Fは単調に増大することがわかる。このうちtの影響については、F ∝ t²の関係がほぼ成立している。また、(D/2/R)の増大は、ロールギャップ内で素管が受ける曲げ変形の量は少なくなるにもかかわらず、ロールからの拘束を受ける領域が周方向に拡がり、変形が単純な周方向曲げ変形ではなく、付加的な周方向の圧縮力の効果が強く作用していることを意味しており、このため素管がみかけ上、周方

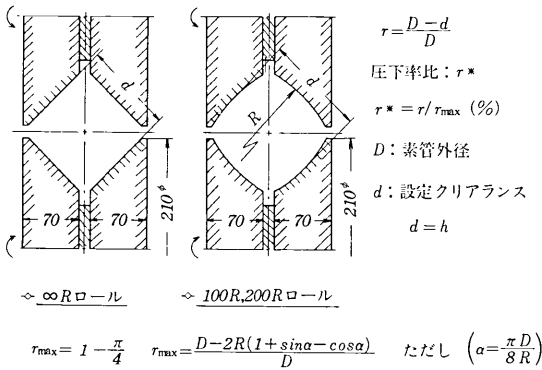


図1 成形ロールの形状および寸法

* 東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

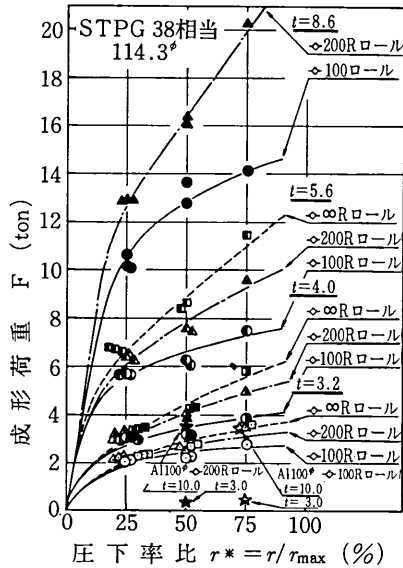


図2 圧下率比 (r^*) が成形荷重 (F) に与える影響

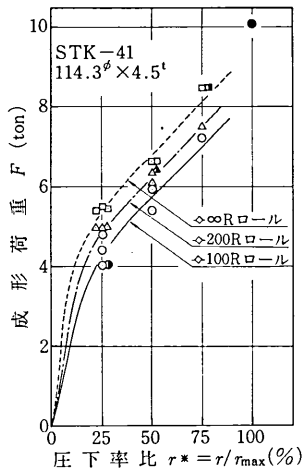


図3 圧下率比 (r^*) が成形荷重 (F) に与える影響

向の変わり変形を受けにくくなり F の増大を招くものと考えられる。一方、図6に示すように、同一圧下率比 r^* について ($D/2/R$) の影響をみると、上記の結果とは逆に ($D/2/R$) が大きくなるほど F は減少する傾向を示しており、一見奇異な感を与えるが、このことは、成形の割合を測るパラメータの選択の問題でもあり、素管および、ロールの種々の寸法の組合せに対して、成形の度合の等価性をどのように求めていくのが合理的であるかという観点から更に検討を進める必要がある。

4. 成形荷重 (F) の評価法に関する検討

本研究で対象としている成形プロセスに関して成形荷

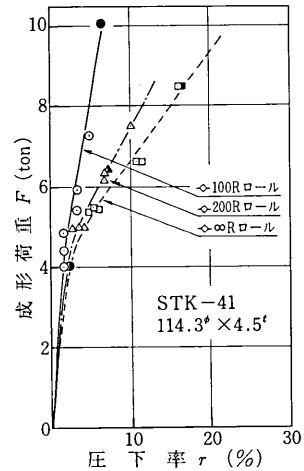


図4 圧下率 (r) が成形荷重 (F) に与える影響

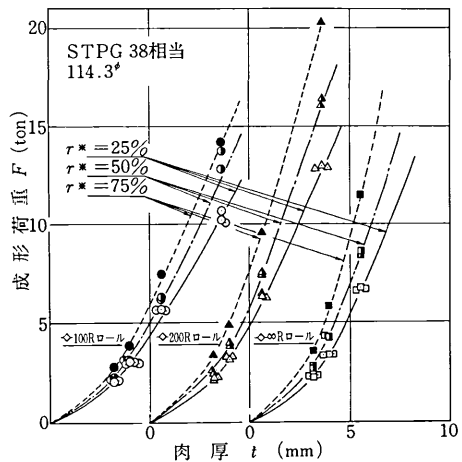


図5 肉厚 (t) が成形荷重 (F) に与える影響

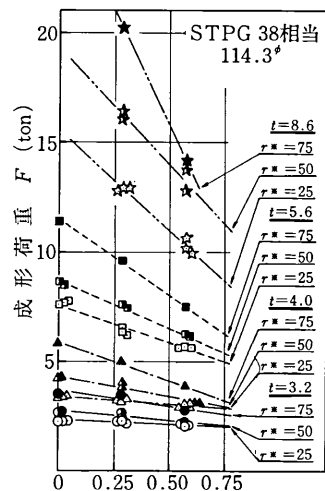


図6 $D/2R$ が成形荷重 (F) に与える影響

研究速報

重 F を解析的に求める手法を具体的に検討するに際しては、種々の議論がありうるが、筆者らは既報で示した基準成形プロセスの考え方を土台にして、簡単な変形モデルを想定し、エネルギー法を適用して F を算出することを試みた。ここで、基準成形プロセスとは、ロールギャップ内の各段階で素管の断面形状が次の条件を満足する場合をいう。(1)ロール接触領域は常にロールになじみ、断面の曲率はロール曲率に等しい。(2)ロール非接触領域

(コーナー部を含む)は一様曲率の円弧状を保ちつつ変形する。(3)素管の周長の伸縮はなく、弾性回復変形はない。したがって、基準成形プロセスでは、ロールの形状と設定条件が与えられると、ロール入口から出口までの素管の断面形状が一義的に定まる。そこで、素管とロールの接触開始点をロール入口とし、そこでの断面形状は円形、ロール出口(ロール直下)の断面形状は基準成形プロセスより定まる形状であるとして、このロール入口

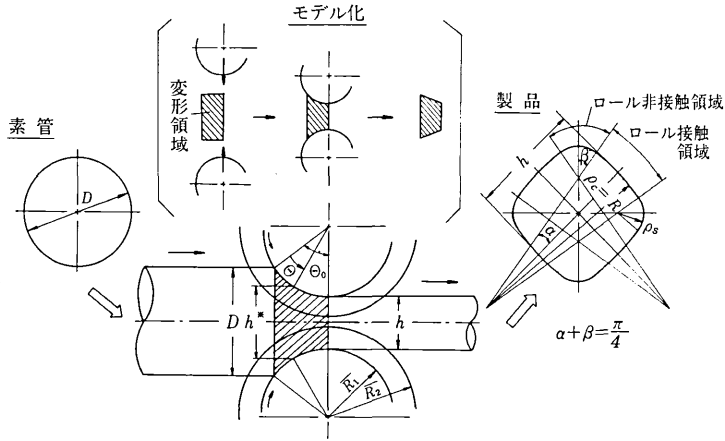


図7 基準成形プロセスのモデル図

から出口のロールギャップ内にある素管部分を取り出し変形エネルギーを算出し、それより F を求める。(図7参照) その際、簡略化のために次の仮定をおく。(1)素管の各要素の流れはロールギャップ内で直線的であるとし、受ける変形は垂直方向・水平方向・回転方向の剪断変形のみとする。(2)素管の応力-歪特性は n 乗硬化則を満足し、 $\tau = C \cdot \gamma^n$ で表わされるものとする。(3)上記の素管部分を成形ロールで所定の圧下率まで押しつぶすのに要する荷重を F とみなす。以下、計算の過程を省略して結果のみを示すと次のようになる。

(a) ロール接触領域の剪断変形仕事

$$W_{rc} = A_{rc} \cdot (\sin \theta_0)^{-n} \cdot \Gamma_c(\alpha) \quad (1)$$

ただし、 $A_{rc} = \frac{8C}{n+1} \cdot (3)^{-\frac{n+1}{2}} \cdot t \cdot R \cdot \bar{R}^{-n}$

$$\Gamma_c(\alpha) = \int_0^\alpha (u_x^2 + u_y^2 + w)^{\frac{n+1}{2}} \cdot d\alpha'$$

$$u_x = R \cdot \sin \alpha' - \frac{D}{2} \cdot \sin\left(\frac{2R}{D} \cdot \alpha'\right)$$

$$u_y = \left\{ \frac{h}{2} - R(1 - \cos \alpha') \right\} - \frac{D}{2} \cdot \cos\left(\frac{2R}{D} \cdot \alpha'\right)$$

$$w = \alpha' \left(1 - \frac{2R}{D}\right)$$

(b) ロール非接触領域の剪断変形仕事

$$W_{rs} = A_{rs} \cdot (\sin \theta_0)^{-n} \cdot \Gamma_s(\alpha) \cdot \rho_s \quad (2)$$

ただし、 $A_{rs} = \frac{8C}{n+1} \cdot (3)^{-\frac{n+1}{2}} \cdot t \cdot \bar{R}^{-n}$

$$\Gamma_s(\alpha) = \int_0^{\frac{\pi}{4}-\alpha} (u_x^2 + u_y^2 + w)^{\frac{n+1}{2}} \cdot d\phi$$

$$u_x = \rho_s \cdot \sin \phi - \frac{D}{2} \cdot \sin\left(\frac{2\rho_s}{D} \cdot \phi\right)$$

$$u_y = \rho_s \cdot \cos \phi + (R - \rho_s) \cos\left(\frac{\pi}{4} - \alpha\right) - (R - \frac{h}{2}) \cos 45^\circ - \frac{D}{2} \cos\left(\frac{2\rho_s}{D} \cdot \phi\right)$$

$$w = \phi \left(1 - \frac{2\rho_s}{D}\right)$$

(c) 上記の剪断仕事の総和とロールの押し込みに要する仕事が等しいとの関係から、成形荷重式は

$$F(h) = \frac{1}{2R \cdot \sin \theta_0} \left\{ \partial(W_{rc} + W_{rs}) / \partial \theta_0 \right\} \quad (3)$$

ただし、実測された2・ロール方式の場合の成形荷重 F は $\frac{1}{\sqrt{2}} F(h)$ 、4・ロール方式の場合の各ロールに作用する F は $\frac{1}{2} F(h)$ に相当する。

研究速報

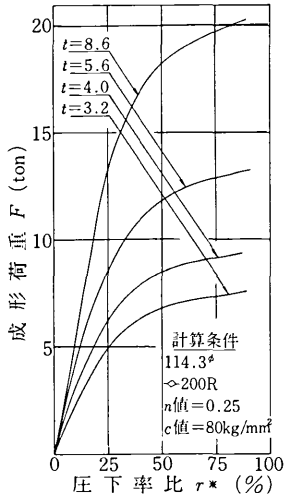


図8 圧下率比 (r^*) が成形荷重 (F) に与える影響

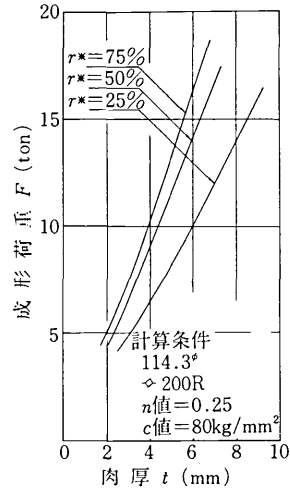


図9 肉厚 (t) が成形荷重 (F) に与える影響

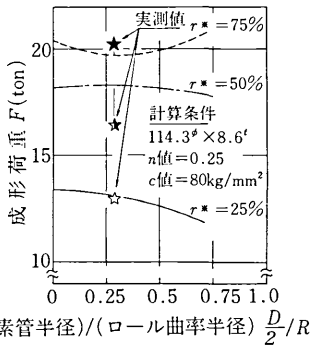


図10 $D/2/R$ が成形荷重 (F) に与える影響

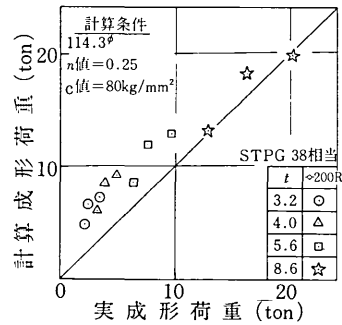


図11 実成形荷重と計算成形荷重との比較

5. 成形荷重 (F) の計算値と実測値の比較

上記の手法により求めた F の計算例を図8~10に示す。ただし、用いた素管の特性値は資料より推定した概略の値である。図はおおの圧下率比 r^* ・肉厚 t ・比 $D/2/R$ が F に与える影響をみたものであるが、これらの計算値の傾向は実測値の傾向とよく一致している。図11は実測値と計算値を対応させてプロットした結果である。全体的に計算値の方が大きな値を示しており、荷重レベルの低い(肉厚小)範囲での誤差が大きい。これは、簡略化した剪断変形モデルを用いていることの必然的結果とも考えられる。しかしながら、このような単純モデルを用いた手法によっても、 F について一応の評価が可能であることが見出されたので、変形モデルを改良することにより F のより有効な評価方法を得ることが可能であろうと考えられる。

6. ま と め

(1)成形荷重 F は圧下率 r 又は圧下率比 r^* が増す程、同

一圧下率では素管肉厚 t が増す程、素管半径 $D/2$ とロール孔形の半径 R の比 ($D/2/R$) が増す程、単調に増大する。

(2)成形荷重の評価法の一つとして簡単な変形モデルを想定し、エネルギー法を適用して成形荷重を算出した。その結果、計算値と実測値を比較してみると、計算値の方が全体的に大きな値を示したが、荷重レベルの高い(肉厚大)範囲では、かなり良い一致を得た。

最後に、本研究に終始ご指導いただいた東京大学名誉教授 鈴木 弘先生に深く感謝致します。

(1976年8月24日受理)

参 考 文 献

- (1) 木内・新谷・三浦・岩崎; 生産研究 27-8 (1975) 8.
- (2) 木内・新谷・岩崎; 生産研究 28-2 (1976) 2.
- (3) 木内・新谷・岩崎; 生産研究 28-4 (1976) 4.
- (4) 木内・新谷・岩崎; 昭和51年度塑加春講論集 277.
- (5) 木内・新谷・岩崎・戸沢; 第27回塑加連講論集
- (6) 木内・新谷・岩崎; 第27回塑加連講論集
- (7) 高田・杉江・運野; 川崎製鉄技報 vol. 7, No 4 (1975) 10.