

ロールフォーミング汎用シミュレータの開発に関する研究(8)

——材形成形のシミュレーションについて——

Study of Computational Simulation Method of Cold-Roll-Forming Process-8th Report

木 内 学*・佐 藤 忠 之*

Manabu KIUCHI and Tadayuki SATO

1. は じ め に

前報では電縫管成形時のパスライン、ロール段数およびスタンド間距離の影響のシミュレーションを行い、長手方向膜歪を評価の基準として、各因子の最適値を求め、パススケジュールを決定する際の指針を与えた。

本報では、引続き本シミュレータを、型材、特に基本断面である溝形鋼の成形に適用し、ロール設計を行う際の最適な設計諸元(ロール段数、スタンド間距離等)を与えた。

2. 従来の設計方法

表1は、従来から経験的に用いられてきた種々の設計方法を示したものである。

T. ANGEL は、 H =成形断面高さ(縁部の中央部に対する立上り高さ)、 L =成形に必要な長さ、 P =スタンドピッチ、として(1)式が満足されるように成形段数 N を決定することを提案している。

G. SCHULZE は図2において、縁部の伸び量 Δl を(2)式で求めることを提案している。この方法は、あくまで直線で仮定された変形曲面に基づくものであり、しかもロール直前における材料の急激な変形などを考慮していないという意味から、実成形にこの Δl の値を直接的に適用することには問題があり、あくまで一応の目安を得る手法として考えておくべきである。同様の意味で、加藤は、 $\Delta l \propto y^2/l$ なる特性を有するものであることを指摘している。

小奈らは、ロール設計技術のCAD化を目的として、現在実際にロール設計に適用されているノウハウを各種の設計技術資料から抽出し、これらを整理して、設計公式の形にまとめあげている。一例として溝形断面材の水平面の投影軌跡が(3)、(4)、(5)式で表示され得るとしている。

また、同様な意味で、フランジ先端の垂直面への投影軌跡を(6)式のように近似し、(a)初段では、曲げのきつかけを与える意味で成形角度の変化を小さくする。(材

料の噛み込みをスムーズにする。)(b)中段では、曲げ量を大きくとる。(c)後段では、製品形状の調整、スプリングバックの防止など、安定した製品を造るために、再び曲げ角度の変化を小さくとる、とすると考えかたもある。

3. スタンド間距離、成形高さおよびロール段数の影響

3-1 計算条件

表2に計算条件を示す。

3-2 検討方針

各スタンド間にて最適化処理を行い、 $(E_{x0})_{\max}^i$ の平均値 $(E_{x0})_{\max}$ を算出し、評価の基準とする。

3-3 計算結果

3-3-1 スタンド間距離およびロール段数が長手方向膜歪に与える影響

図5は、ロール段数を6段とし、スタンド間距離 SL と長手方向膜歪の平均 $(E_{x0})_{\max}$ の関係を、フラジン高さ H をパラメータとして、サイズ別に計算した結果を示したものである。各サイズとも SL を増大させると $(E_{x0})_{\max}$ の値が減少することが分かる。しかしながら、 SL がある値以上になると、いくら SL を増大させても、 $(E_{x0})_{\max}$ は大きく変化せず、一定値に近づく。また、同一断面において、ロール段数を変化させ、 SL が $(E_{x0})_{\max}$ に与える影響をみると、ロール段数の増大によって、任意の SL における $(E_{x0})_{\max}$ の値は減少することが分る。これらの傾向は、前報で得た電縫管の計算結果とよく一致している。

3-3-2 成形高さが長手方向膜歪に与える影響

図6は、成形高さ H と長手方向膜歪の平均値 $(E_{x0})_{\max}$ の関係について示したもので、スタンド間距離 SL =一定の条件下において、 H の増大によって $(E_{x0})_{\max}$ が増大することが分る。しかも、増大傾向は、 SL が短いほど顕著である。また、ロール段数を変化させ、 H が $(E_{x0})_{\max}$ に与える影響についてみると、ロール段数の増大によって、 $(E_{x0})_{\max}$ が減少することが分る。

3-3-3 長手方向膜歪=一定における、成形高さやスタンド間距離の関係

図7は、同一歪値 $(E_{x0})_{\max}$ =一定におけるフランジ高

* 東京大学生産技術研究所 第2部

表 1 種々の設計方法

1. T. ANGEL

$$H/L \leq \tan 1^\circ 25' = 0.247$$

$$N \leq L/P = 40.436 H/P \dots\dots\dots (1)$$

H: 成形断面高さ
L: 成形に必要な長さ
P: スタンドピッチ

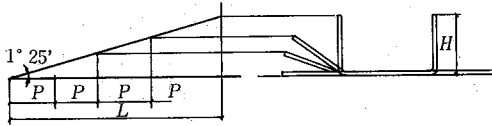
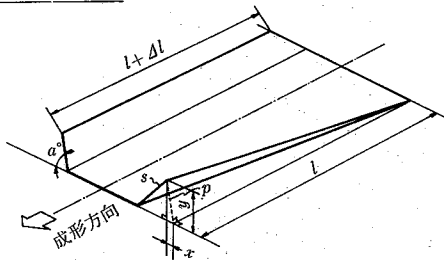


図 1

2. G. SCHULZE



$$\Delta l = \sqrt{x^2 + y^2 + l^2} - l \approx (x^2 + y^2) / 2l \dots\dots\dots (2)$$

図 2

3. 東工大(小奈)

$$Y = AX^2 + BX^2 + CX + D \dots\dots\dots (3)$$

$$X=0 \text{ 及び } X=N \text{ で } dy/dx=0$$

$$X=0 \text{ で } Y=0, X=N \text{ で } Y=H(1-\cos\theta_f) \dots\dots\dots (4)$$

第*i*段目におけるロール曲げ角度 θ_i は

$$\cos\theta_i = 1 + (1-\cos\theta_f) (i^2 (2i-3N) / N^3) \dots\dots\dots (5)$$

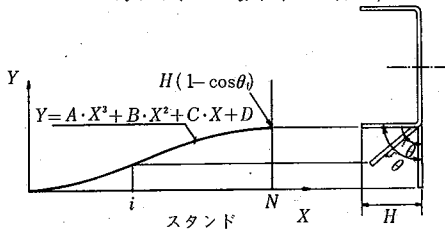
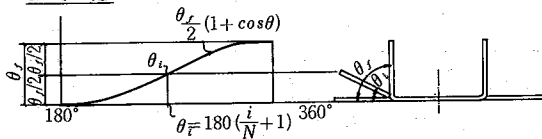


図 3

4. その他



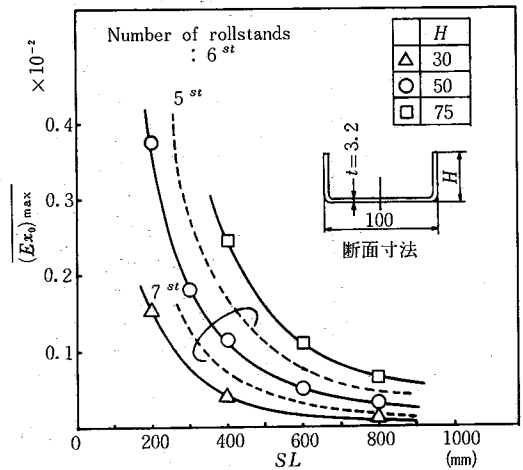
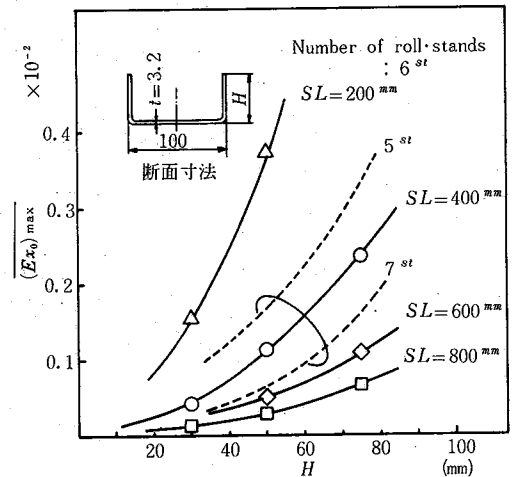
$$\theta_i = \theta_f / 2 \cos \{ (i/N + 1) \times 180^\circ \} + 1$$

$$= \theta_f / 2 [1 - \cos 180^\circ (i/N)] \dots\dots\dots (6)$$

図 4

表 2 計算条件

1. 製品断面寸法	$[3.2' \times 100' \times 50']$ $[1.6 \ 50 \ 30]$ $[5.0 \ 200 \ 75]$
2. 曲げ方式	曲げ弧長一定
3. スタンド段数	5, 6, 7 st
4. スタンド間距離	可変
5. パスライン	Bottomline const.
6. 成形速度	40 m/min
7. 素材の応力歪特性	ヤング率: 21,000 kg/mm ² 加工硬化係数: 80 kg/mm ² ポアソン比: 0.3 初期降伏応力: 31.5 kg/mm ²
8. 形状関数	$S(X) = \sin \frac{\pi}{2} (\frac{X}{L})^n$

図 5 スタンド間距離 SL と $(E_{x0})_{\max}$ との関係図 6 成形高さ H と $(E_{x0})_{\max}$ との関係

研究速報

さ H とスタンド間距離 SL の関係について整理したものである。 H と SL とは比例関係にあることが分る。たとえば、 $(Ex_0)_{\max}$ を 0.1% に設定した場合、成形高さ $H = 30$ mm で $SL = 230$ mm, $H = 50$ mm で $SL = 410$ mm, $H = 75$ mm で $SL = 620$ mm が必要であることが分る。図中には実生産ラインにおける機種についての実例を示してある。これによれば、NO. 1 号機では、最大成形高さ $H_{\max} = 50$ mm をロール段数 6 段で成形を行っているが、現状の SL での歪レベルは 0.12-0.15% 程度であることが分る。また、縁波発生限界の評価基準として

$(Ex_0)_{\max} = 0.2\%$ とすると、 H_{\max} を 65 mm まで拡張可能であることが分る。

3-4 計算結果と経験式との比較

3-4-1 各スタンド間における成形高さの比較

図 8, 図 9 は、ロール段数 6 段、成形高さ $H = 50$ mm, スタンド間距離 $SL = 400$ mm の条件下で、エッジの幅方向軌跡について最適化処理を行って得られた計算結果と、従来から用いられてきた経験式とを、各スタンド間における成形高さ H について比較したものである。図 8 より、実生産ラインと最適化処理を行ったエッジの軌

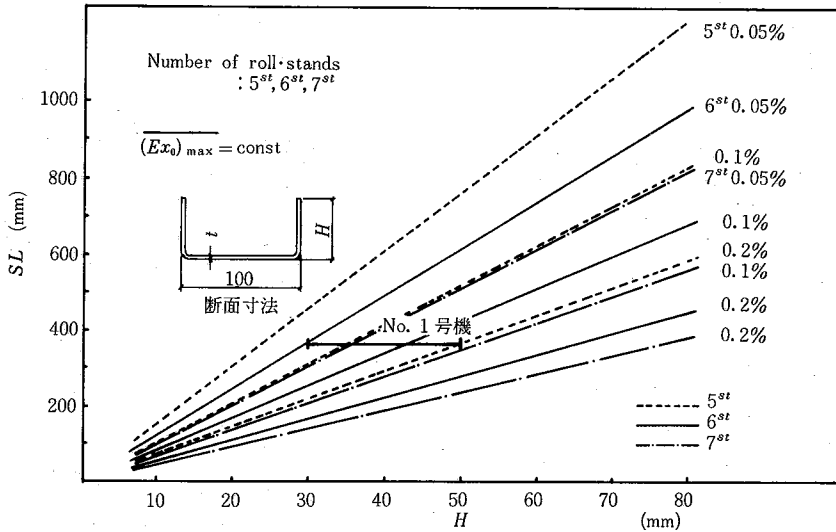


図 7 $(Ex_0)_{\max}$ = 一定における成形高さ H とスタンド間距離 SL の関係

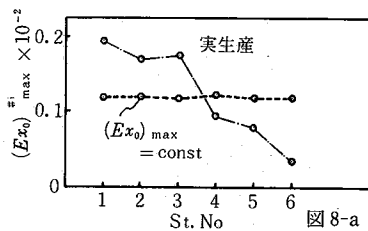


図 8-a

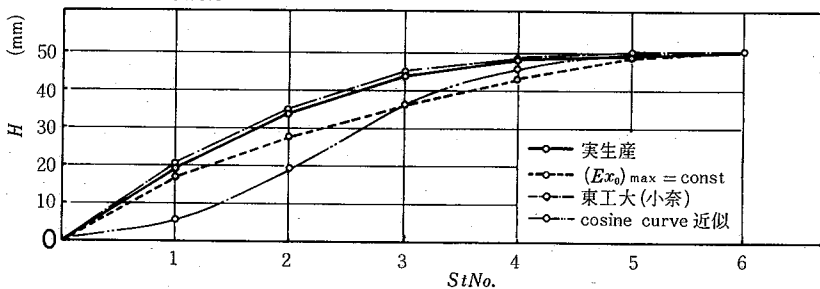


図 8 種々の条件によるエッジの軌跡 (経験式との比較)

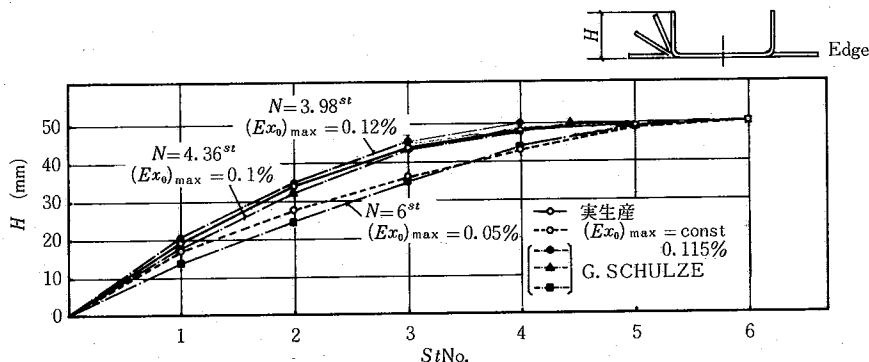


図9 種々の条件によるエッジの軌跡 (経験式との比較)

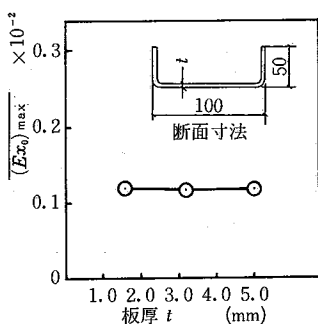


図10

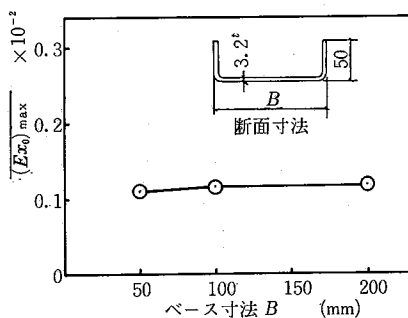


図11

跡を比較してみると、異なった軌跡を示していることが分る。そこで、実生産ラインのロールプロフィールを用いてシミュレーションを行い、各スタンド間に発生する長手方向膜歪の最大値 $(E_{x0})_{\max}^t$ を調べると図8-aのようになっており、最適化処理を行って行われた結果との差異、つまり、実生産ラインのロールプロフィールは、初段での膜歪の値が大きく、後段で膜歪を減少させるように角度配分されていることが分る。また、図9より最適化処理を行ったエッジの軌跡と、G. SHULZE のモデルにおいて $(E_{x0})_{\max} = 0.05\%$ の条件下で設計したエッジの軌跡とが一致していることが分る。最適化処理における歪値が $(E_{x0})_{\max} = 0.115\%$ であることからみれば G. SHULZE のモデルは、歪値を過小評価したモデルといえる。また、実生産におけるエッジの軌跡は、G. SHULZE のモデルにおいて、 $(E_{x0})_{\max} = 0.1\%$ 、ロール段数 4.36 段として計算した軌跡とほぼ一致しており、ロール段数の見積りについても過小評価していることが分る。

3-5 実験式の算出

図5-図7より、長手方向膜歪の平均値 E_{x0} を、トータルロール段数 $= N$ 、フラジ寸法 $= H$ 、スタンド間距離

$= L$ で整理すると、7式が得られる。なお、板厚およびベース寸法が $(E_{x0})_{\max}$ に与える影響を調べると、図10、図11のようになり、ほとんど影響を及ぼさないことが分る。

$$E_{x0} = 0.78 \exp^{-0.38N} H^{1.73} L^{-1.84} \quad \dots\dots\dots (7)$$

4. おわりに

シミュレータを型材の基本断面である溝形鋼およびリップ付溝形鋼の成形に適用した結果、溝形鋼の長手方向膜歪の平均値を評価する実験式として、 $E_{x0} = 0.78 \exp^{-0.38N} H^{1.73} L^{-1.84}$ を得た。また、従来、経験的に用いられてきた経験式の評価を行った。

次報では、引き続き、型材の基本断面であるリップ付溝形鋼のシミュレーションを行う予定である。

(1985年3月22日受理)

参考文献

- 1) 木内・佐藤：昭和59春季塑加講演論 1984-5
- 2) 木内・佐藤：35 田畑性加工連合講演会
- 3) 木内：生産研究第31巻第1号
- 4) 小奈・神馬：塑性と加工 vol.24 no.270