

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(7)

——電縫管の新しい形状関数の設定について——

Study of Computational Simulation Method of Cold Roll Forming Process-7th Report

木 内 学*・佐藤 忠之*

Manabu KIUCHI and Tadayuki SATO

1. はじめに

今まで、素材の変形曲面形状を近似する形状関数として、 $S(X) = \sin \pi/2(X)^n$ なる関数を用い、エネルギー法にて、パラメータ n の最適値を求め、変形曲面形状および応力-歪履歴に関する解析を進めてきた。本報では、実際の変形曲面形状をより精度よく近似できる形状関数の検討を試みたので、この結果について報告する。

2. 形状関数 $S(X)$ の設定

今回、実際の変形曲面を近似する関数として、次式²⁾で示される関数を設定し、検討を行った。

$$S(X) = \left\{ \frac{1}{2} \sin \pi(X - \frac{1}{2}) + \frac{1}{2} + kX(1-X) \right\} \exp\{-(k+A)(1-X)\} \quad (1)$$

ここで、 A : 材料の各点がロールに進入する角度を規定するパラメータ

k : 空間的軌跡の形状を規定するパラメータ

2-1 形状関数 $S(X)$ の特長

図 1 は、従来の形状関数 $S(X)$ の値を示す。図 2 a, 図 2-b は、新しく設定した形状関数 $S(X)$ の値を示し、図 2-a はパラメータ A を 0 に固定し、 k を 1~10 まで変化させたときの $S(X)$ の値を示す。この図は、素材がロール径の拘束を受けずにスタンドに進入することを想定しており、 k の値が大きくなるとスタンド直前で急激に立ち上がることが分かる。 $S(X)$ の値は図 1 に示したものと非常に良く一致していることが分かる。図 2-b は k を 0 に固定し、 A を変化させたときの $S(X)$ の値を示す。これは、図 2-a とは、逆の状態を想定しており、図 2-a のケースに比べ、スタンド直前で急激に立ち上がり、しかも、次スタンドへの立ち上がりかたが直線的であることが分かる。実際の現象では、パラメータ A および k が組み合わさったかたちで変形曲面が構成される。

2-2 計算条件

(1)式を用いて、 $(E x_0)_{\max}^i$ の計算を行ってみる。表 1 には計算条件を示す。なお、今回設定した形状関数 $S(X)$

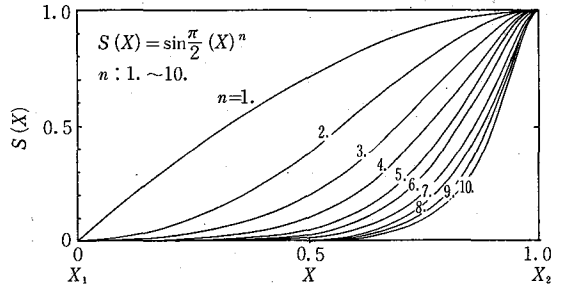


図 1 従来の形状関数

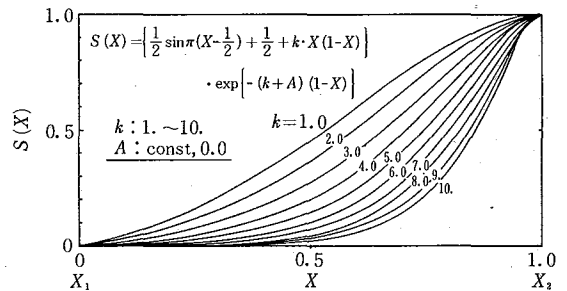


図 2 a

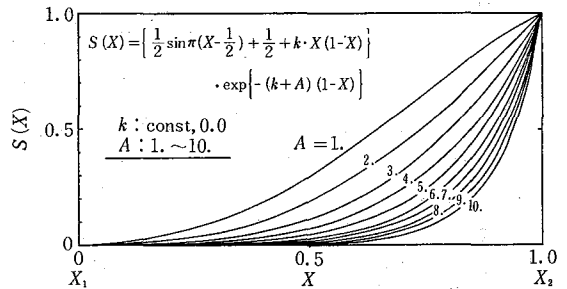


図 2 b


図 2 新しい形状関数

にはパラメータが 2 つ含まれており、本来、両パラメータを最適化し、計算を行うことが望ましいが計算時間の関係でパラメータ A を固定化し、 k の最適化を図り、計算を行った。

* 東京大学生産技術研究所 第 2 部

研究速報

表1 計算条件

	S(X)				Parameter				
Case 1	$S(X) = \sin \frac{\pi}{2} (XX)^n$: n				n→optimize				
Case 2	$S(X) = \left\{ \frac{1}{2} \sin \pi \left(X - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} + k \cdot X \cdot (1-X) \right\} \cdot \exp \left[-(k+A)(1-X) \right]$				k→optimize, A=0.0				
Case 3					, A=3.0				
Case 4					, A=4.0				
Case 5					, 6.0				
Case 6					, 10.0				
Case 7					kop→Case 2, A=1.0				
Case 8	: k, A				, 2.0				
Case 9	: k, A				, 3.0				
4.5 ¹ ×76.3 ¹ , inter stand distance : 800mm passline : Bottomline const									
St. No.	1	2	3	4	5	6	7		
θ	30°	60°	90°	120°	150°	160°	170°	175°	
R	229.18	114.59	76.39	57.30	45.84	42.97	40.44	39.29	

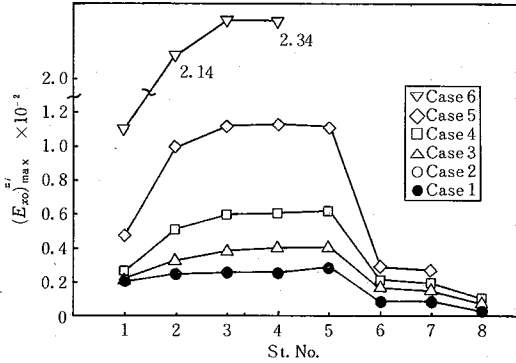


図3a

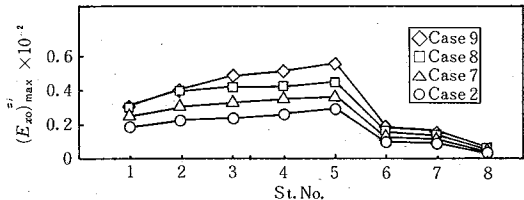


図3b

図3 各スタンド間における (E xo)max^ii

2-3 計算結果

2-3-1 長手方向膜歪 (E xo)max^ii

図3-a, 図3-bは各スタンド間における長手方向膜歪の最大値 (E xo)max^ii を各ケースについて区分して示したものである。図3-aはパラメータの値を0, 3.0, 4.0, 6.0, 10.0と変化させ、各値に対してkの最適化を行い (E xo)max^ii を計算した結果である。比較の意味で、従来の形状関数 S(X) を用いて計算を行った結果を併記した。

Case 1とCase 2とを比較してみると、(E xo)max^ii が同じ値をとる。これは、Case 2では、パラメータ A の値を0とし、素材がロール径の拘束を受けずに次スタンドに

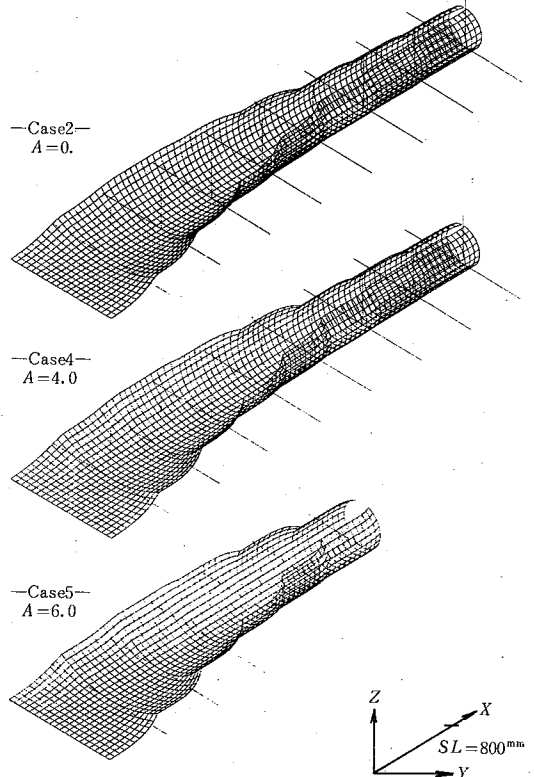


図4 パラメータ A を変化させたときの変形曲面形状

進入することを想定して計算を行ったことによる。A の値を増すと (E xo)max^ii が増大する。これは、次スタンドロールへの進入角度が大きくなるためである。この様子は各ケースについてグラフィック処理を行った図4をみると、いっそう理解することができる。特に、材料縁部の次スタンドロールへの進入のしかたに注目されたい。図3-bは、Case 2において最適化されたパラメータを固定化して、Aを1.0, 2.0, 3.0と変化させ、ロールへの進入径路の違いによる影響をみたもので、Aが増大すると (E xo)max^ii が増大する。

3. 新しい解析モデルの設定

3-1 ロールへの進入径路を考慮したモデル

ロールへの進入径路を考慮したモデルとして、図5に示すような解析モデルを検討した。図6は図5の側面図を示したものである。このモデルでは、形状関数を Zone 1とZone 2とに分けて考える。素材は、ロールへの進入点Cにおいて、θの角度をなして進入し、Zone 2ではロール径にそって進むと考える。また、C点において連続であるという境界条件を適用することによって、次式を得る。

$$S_1(X) = \left\{ \frac{1}{2} \sin \pi \left(\frac{X}{1-r \sin \theta} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} + k \frac{X}{1-r \sin \theta} \times \left(1 - \frac{X}{1-r \sin \theta} \right) \right\} \cdot \exp \left\{ - \left(k + \frac{(1-r \sin \theta) \tan \theta}{\Delta z_0 - r(1-\cos \theta)} \right) \left(1 - \frac{X}{1-r \sin \theta} \right) \right\}$$

$$S_2(X) = 1 - \frac{1}{\Delta z_0} \left[r - \sqrt{r^2 - (1-X)^2} \right] \quad (2)$$

ここで、 r ：ロール回転半径、 θ ：ロールへの進入角度、 Δz_0 ：# i スタンドの z 座標と # $i+1$ スタンドの z 座標との差
 (2)式と(1)式とを比較すると、パラメータ A は次式で置換えることができる。

$A = (1-r \sin \theta) \tan \theta / \Delta z_0 - r(1-\cos \theta)$ (3)
 したがって、 A は r と θ によって決定されることが分かる。そこで、 r および θ を変化させて A を算出し、形状関数 $S(X)$ の値を求めると図7のようなになる。半径 r を 200 mm と一定にし、 θ を 0、2.5、5.0 度と変化させ

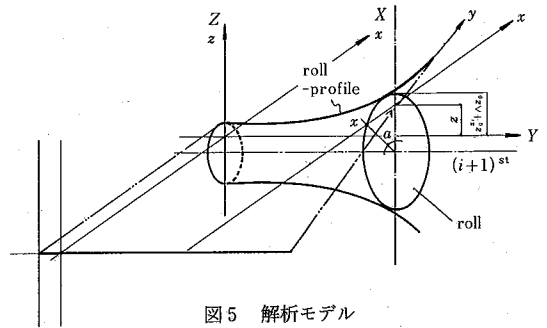
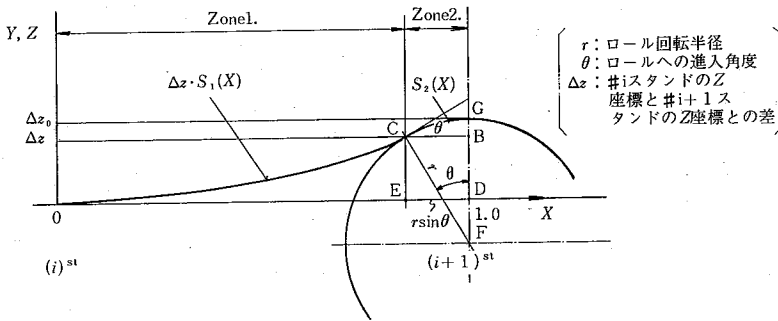


図5 解析モデル



$$S_1(X) = \left\{ \frac{1}{2} \sin \pi \left(\frac{X}{1-r \sin \theta} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} + k \cdot \frac{X}{1-r \sin \theta} \cdot \left(1 - \frac{X}{1-r \sin \theta} \right) \right\} \cdot \exp \left\{ - \left(k + \frac{(1-r \sin \theta) \cdot \tan \theta}{\Delta z_0 - r(1-\cos \theta)} \right) \left(1 - \frac{X}{1-r \sin \theta} \right) \right\}$$

$$S_2(X) = 1 - \frac{1}{\Delta z_0} \left[r - \sqrt{r^2 - (1-X)^2} \right] \quad \text{-----}(2)$$

図6 解析モデルの側面図

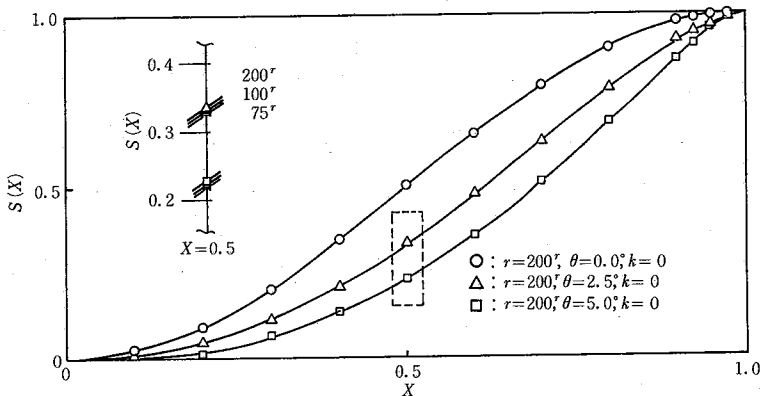


図7 形状関数の計算結果

研究速報

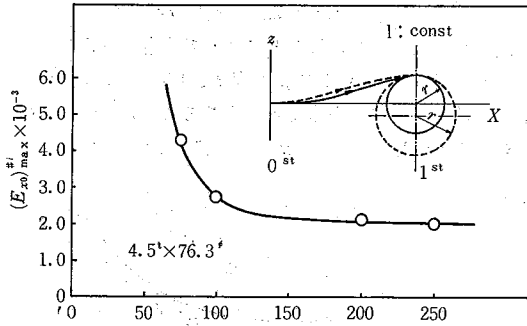


図8 ロール回転半径 r が $(E x_o)_{\max}^{\#i}$ に与える影響

ると、 A の値は大きくなり、予変形域が次スタンド側へと移動し、スタンド入側での立ち上がりが急になる。また、 θ を一定にし、半径 r を小さくすると、 A の値は大きくなり、同様の傾向を示す。つまり、同一半径では、次スタンドへの進入角 θ が大きくなると $(E x_o)_{\max}^{\#i}$ は大きくなる。また、進入角 θ が同一であれば、半径 r が大きいほど、 $(E x_o)_{\max}^{\#i}$ の値は小さくなる。

3-2 ロール回転半径 r が $(E x_o)_{\max}^{\#i}$ に与える影響について

従来得られている実験データ³⁾をもとにして、ロール接触長さを 20 mm に設定し、半径 r を変化させ、これに

対応する進入角 θ を求め、これらの各値を(3)式へ代入し、パラメータ A の値を求める。

次に、エネルギー法にて、パラメータ k の最適値を求める。以下、従来法と同様な計算処理を行う。図8は入口ガイドと#1スタンド間において、ロール回転半径 r を 75, 100, 200, 250 mm と変化させたときの $(E x_o)_{\max}^{\#i}$ の値を示したもので、ロール半径 r の増大によって、 $(E x_o)_{\max}^{\#i}$ が減少することがわかる。また、半径 r が 200 mm を超えると $(E x_o)_{\max}^{\#i}$ の値は大きく変化せず、一定値に近づく。

4. おわりに

ロール入側での拘束域を考慮した形状関数 $S(X)$ の検討を試みた。この結果、実際の現象と、傾向的に一致しており、その有効性が判明した。

今後は、今回新たに設定した形状関数を用いた計算例の拡大を図り、より系統的な資料を提供する予定である。

(1984年9月25日受理)

参考文献

- 1) 木内, 佐藤: 昭和 59 年春季塑加講演論 1984-5
- 2) 木内: 塑性と加工 vol. 12, no 120 1971-1
- 3) 鈴木, 木内: 塑性と加工 vol. 11, no 110 1970-3

