

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(5)

—電縫管の異なる曲げ方式のシミュレーションについて—

Study of Computational Simulation Method of Cold Roll Forming Process · 5th Report

木内 学*・佐藤 忠之*

Manabu KIUCHI and Tadayuki SATO

1. ま え が き

本研究において開発された汎用シミュレータの応用として、基本的な成形方式であるエッジバンド、センタバンド、サーキュラバンドの各曲げ方式について検討を行った。特に、電縫管の成形において基本的でかつ重要な因子である長手方向膜歪に着目し、歪の発生に関する各曲げ方式の優劣について調べ、ロール設計への指針を与えた。

2. 各曲げ方式および使用記号

図1は各曲げ方式の概要を示す。各方式の内容については周知であるので説明は省略する。なお、理解を深める目的で概念図を併記した。

* $\Delta\theta^{*i}$: $i-1 \sim i$ スタンド間における曲げ角度増分

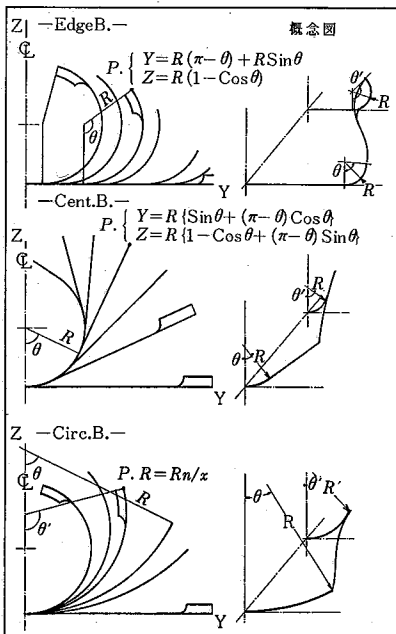


図1 各曲げ方式の概要

* $(\epsilon_{x0})_{MAX}^{*i}$: $i-1 \sim i$ スタンド間での素材長手方向膜歪の最大値

* n : スタンド間での素材の変形曲面形状を近似する形状関数 $S(X)$ のパラメータで、エネルギー法により最適化される。図2のように n が大きいほどスタンド直前で急激な変位が起これ、 n が小のとき、ゆるやかになる。

* n_{op} : パラメータ n の最適値

* E_{ageB} , C_{entB} , C_{ircB} : エッジバンド、センタバンド、サーキュラバンド

3. 検討方針および計算条件

$(\epsilon_{x0})_{MAX}^{*i}$ を各スタンド間において均一化する $\Delta\theta^{*i}$ の最適配分を求め、 $(\epsilon_{x0})_{MAX}^{*i}$ の平均値 $(\overline{\epsilon_{x0}})_{MAX}$ を算出し、評価の基準として各曲げ方式の優劣を検討する。なお、最適化処理の詳細は第3報を参照されたい。表1には今回の計算条件を示す。

4. 計算結果および考察

4.1 長手方向膜歪 $(\epsilon_{x0})_{MAX}^{*i}$ の均一化の過程

図3, 4, 5は1例として、 4.5×76.3 の E_{ageB} の $\Delta\theta^{*i}$ 配分の最適化処理の過程を示したもので、初期配分から4回程度の繰返し処理で効率よく $(\epsilon_{x0})_{MAX}^{*i}$ が均一化されていることが判る。以下、同様にして、他のサイズにも $\Delta\theta^{*i}$ 配分の最適化を行う。図6は各サイズの最適化した結果を曲げ方式別に整理したものである。 E_{ageB} では $\Delta\theta^{*i}$ の配分は、各サイズとも $i=1$ スタンドを除きゆるやかな漸減形から漸増形へと移行する。また、 C_{entB}

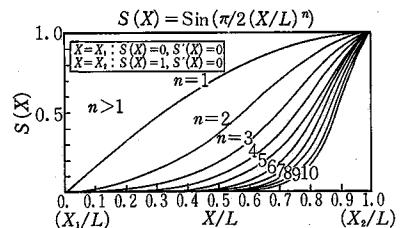


図2 形状関数 $S(X)$

* 東京大学生産技術研究所 第2部

1. 製品断面寸法	2.3×101.6 4.5×101.6 7.5×101.6 4.5×76.3 4.5×48.6	10.0 101.6 76.3 101.6 100	
2. t/D-t		0. 5 0. 2. 4. 6. 8.	
3. 最終断面寸法及び曲げ方式	BD→FP#1, $\theta_r=150^\circ$ -EdgeB.- -Cent.B.- -Circ.B.-		
4. スタンド段数	Total 6st.		
5. スタンド間距離	600(mm)		
6. パスライン	Bottom line const.		
7. 成形速度	40m/min		
8. 素材の応力-歪特性	ヤング率: 21,000kg/mm ² 加工硬化係数: 80kg/mm ² ポアソン比: 0.3 初期降伏応力: 31.5kg/mm ²		

表 1 計算条件

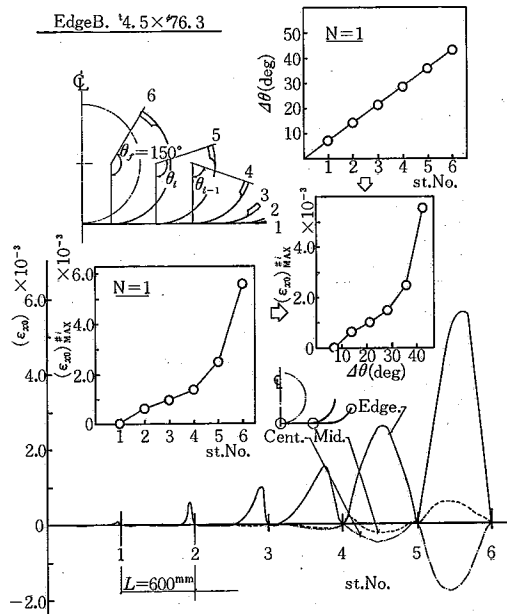


図 3 初期値 $\Delta\theta^{*i} \rightarrow \epsilon_{x_0}$ の推移

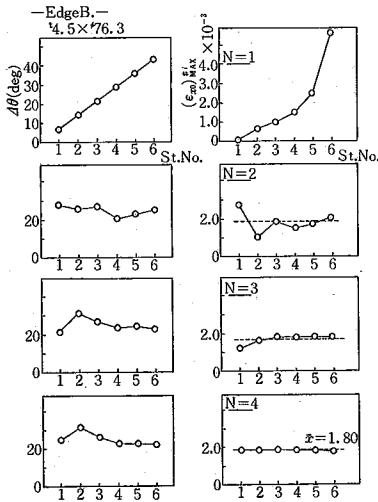


図 4 繰返し処理の過程

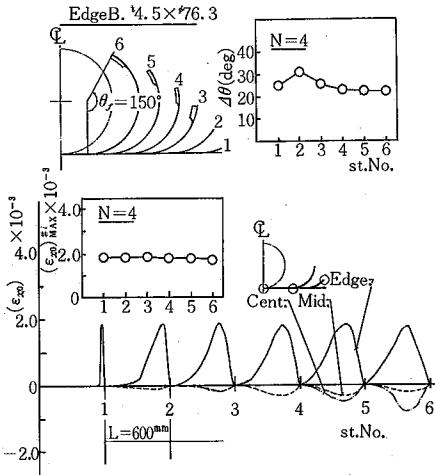


図 5 最適値 $\Delta\theta^{*i} \rightarrow (\epsilon_{x_0})$ の推移

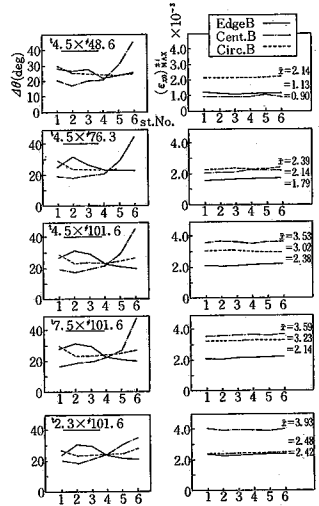


図 6 サイズ別 $\Delta\theta^{*i}$ 配分の最適値および $(\epsilon_{x_0})^{*i}_{MAX}$

では $\Delta\theta^{*i}$ の配分は漸増形となる。

4.2 $\Delta\theta^{*i}$ の最適化配分

表 2 は最適化設計における $\Delta\theta^{*i}$ を曲げ方式別に整理したものである。EdgeB では板厚一定の条件下で、異なる径に対し異なる $\Delta\theta^{*i}$ 配分となっている。一方、パイプ径一定の条件下ではほとんど同一の $\Delta\theta^{*i}$ 配分となっている。これは、粗成形での穴型の兼用性が困難なことを意味している。Cent.B では EdgeB とは逆の傾向を示している。さらに Circ.B では板厚一定およびパイプ径一定の条

件下で、 $\Delta\theta^{*i}$ 配分は同傾向を示し、兼用範囲の広い設計法といえる。また、Circ.B が最も一般的な設計法となっていることなどからみて、本解析結果の有効性が認められる。

4.3 最適ロールフラワーと成形量

通常、ロール設計は、ロールフラワーのデザインを行い、ついで穴型の詳細設計へと検討を進める。特に、フラワーのデザイン法には、確立された設計思想はなく、経験によるところが大きく、各社各様である。たとえば、

研究速報

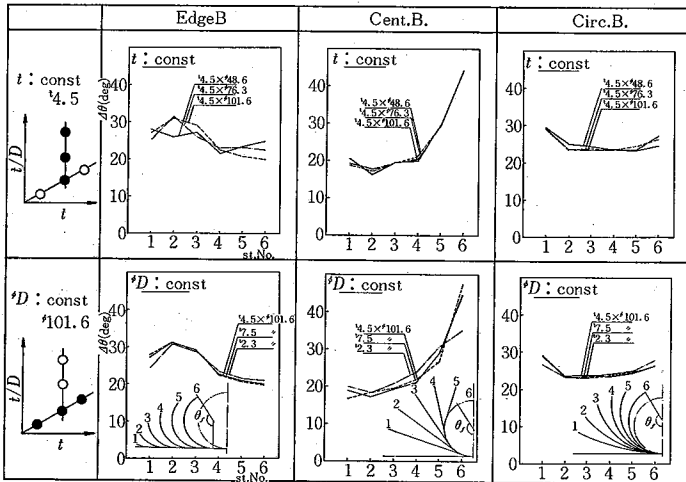


表2 曲げ方式別 $\Delta\theta^*$ 配分の最適値

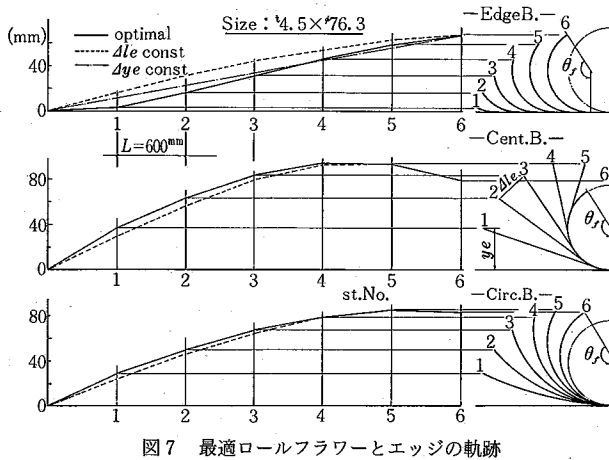


図7 最適ロールフラワーとエッジの軌跡

①エッジの移動量 Δl_e を均等に配分する。②エッジの立上がり量 ΔY_e を均等に配分する。③漸増形あるいは漸減形に配分する。などの方法が用いられる。

図7は1例として、 4.5×76.3 の最適化されたロールフラワーとエッジの軌跡を曲げ方式別に示したものである。EdgeBでは、 ΔY_e を均等に配分した場合の軌跡が、最適化された場合の軌跡と良く一致している。一方、 Δl_e を均等に配分した場合の軌跡とは、大差を生じている。CentBおよびCircBでは、EdgeBとは逆の傾向を示している。以上のことから、ロール設計に際し、エッジの移動量を把握することは、ロールフラワーをデザインするうえでの有力な目安となる。

4.4 長手方向膜歪 (ϵ_{x0}) とエッジの幅方向軌跡長差 (Δl_e) および $(\epsilon_{x0})_{MAX}$ と長手方向軌跡長差 (ΔL) との関係

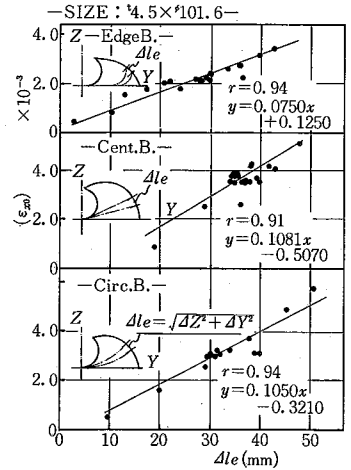


図8 幅方向エッジの軌跡 Δl_e と (ϵ_{x0}) の関係

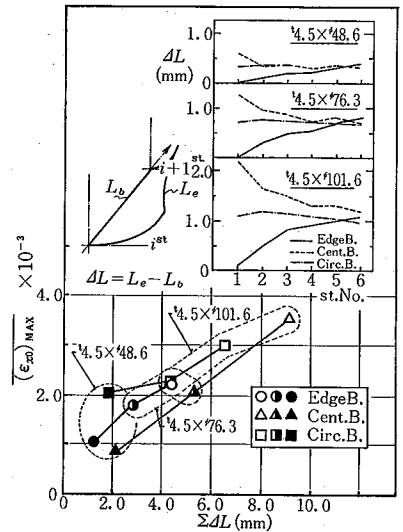


図9 長手方向エッジの軌跡長差 ΔL と $(\epsilon_{x0})_{MAX}$ の関係

図8は、 (ϵ_{x0}) と Δl_e との関係を見たもので各曲げ方式とも、寄与率 $r^2=0.83\sim 0.88$ を示し強い正相関にある。 Δl_e の増加に伴い (ϵ_{x0}) は増加する。図9は、 $(\epsilon_{x0})_{MAX}$ と ΔL との関係を見たもので、 ΔL の増加に伴い $(\epsilon_{x0})_{MAX}$ が増加する。この傾向はCentBが他の曲げ方式に比べ大きく、以下、CircB、EdgeBの順となっている。また、各スタンドでの ΔL をみると、初段での成形量の大きいCentBが大きく、逆に、成形量の少ないEdgeBでは小さい。また、CircBでは初段から後段までほぼ一定値を示す。

以上より、 (ϵ_{x0}) と Δl_e および $(\epsilon_{x0})_{MAX}$ と ΔL とは比例関係にあり、 Δl_e および ΔL を減少させることによつ

て、 (ϵ_{x_0}) および $(\epsilon_{x_0})_{MAX}$ の低減を図れる。ダウンヒル成形を採り、パスラインを変化させることは1つの軽減策であり、実生産の場でしばしば行われ、効果を発揮している。

4.5 製品サイズと長手方向膜歪 $(\epsilon_{x_0})_{MAX}$ との関係

図10は、板厚一定におけるパイプ径と $(\epsilon_{x_0})_{MAX}$ との関係を見たもので、各曲げ方式ともパイプ径の増大に伴い $(\epsilon_{x_0})_{MAX}$ が増加する。これはパイプの増大に伴いエッジの移動量が大きくなるためである。また、各曲げ方式別にみると $C_{ent}B$ が他の2方式に比べ、パイプ径の増大に伴う $(\epsilon_{x_0})_{MAX}$ の増加が大きく、特に、 $\phi 80$ を超えると大きな値を示す。

このことは、一般に、 $C_{ent}B$ 方式は大径サイズには不向きであり、一部の小径サイズのみしか適用できないことを意味している。一方、 $(\epsilon_{x_0})_{MAX}$ の値としては、 $E_{dge}B$ が他の方式に比べ低い値を示し、優位性が認められる。したがって、縁波防止の観点からみると、 $E_{dge}B$ 方式を採用することが望ましい。

図11は、パイプ径一定における板厚と $(\epsilon_{x_0})_{MAX}$ の関係を示す。 $C_{irc}B$ では、板厚の増大に伴い $(\epsilon_{x_0})_{MAX}$ が増加している。これは、図12に示すように材料の幅寄せの程度を表す n の値が大きいためである。一方、 $E_{dge}B$ 、 $C_{ent}B$ では、 $(\epsilon_{x_0})_{MAX}$ は板厚の増大に伴いゆるやかに減少している。しかしながら、最適化された n の値をみると、これら2方式では、板厚の影響を受けないことが分かる。ただし、 $(\epsilon_{x_0})_{MAX}$ の絶対値という観点からみると、 $C_{ent}B$ が最も高く、 $E_{dge}B$ が低い値を示している。

5. 製品サイズと変形仕事率 (\bar{W}) の関係

図13は製品サイズと1スタンドあたりの曲げ変形に要するエネルギー (\bar{W}) の関係を見たもので、同一板厚では各曲げ方式ともパイプ径が小さいほど、変形に要するエネルギーは高い。

これは、幅方向曲げ歪の増大とこれに伴う加工硬化の進行によって (\bar{W}) が増大するものと考えられる。 $C_{irc}B$ および $C_{ent}B$ はほぼ同レベルの値を示している。一方、 $E_{dge}B$ では15%程度高い値を示しているがこれは、成形初段より、板端部が最終製品と同一の曲率半径で曲げが行われるためであると考えられる。図14は同一パイプにおける板厚変化に対する各曲げ方式別の所要エネルギー (\bar{W}) の関係を両対数グラフにプロットしたもので、 $C_{ent}B$ および $C_{irc}B$ では同レベルの値を示し、 $E_{dge}B$ では(15~20%)ほど高いレベルの値を示している。 (\bar{W}) は板厚の(2.07~2.20)乗に比例しており、一般に、BDRでの粗成形では変形エネルギーは板厚の2乗に比例することに一致している。

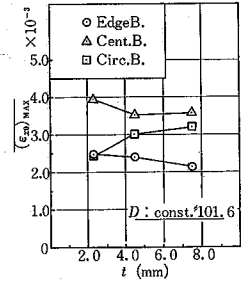
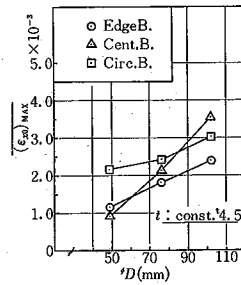


図10 パイプ径と $(\epsilon_{x_0})_{MAX}$ の関係 図11 板厚と $(\epsilon_{x_0})_{MAX}$ の関係

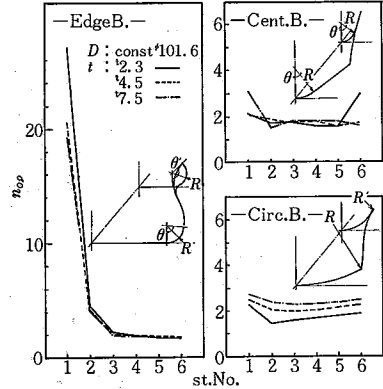


図12 各曲げ方式の n_{op}

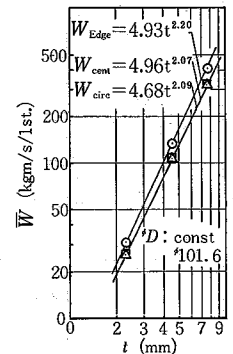
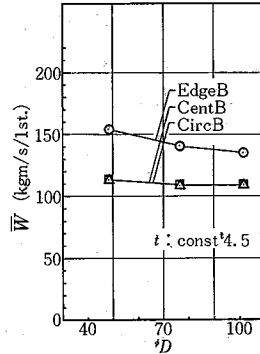


図13 パイプ径と (\bar{W}) の関係 図14 板厚と (\bar{W}) の関係

6. ま と め

汎用シミュレータを3つの異なる曲げ方式に適用した結果、各方式の特長を把握することができた。また、本シミュレータの有効性が確認できた。

今後は (ϵ_{x_0}) に影響を及ぼす重要な因子であるパスラインの効果も含めて調べ、ロールフラワーの設計に対し、より系統的な資料を提供する予定である。

(1984年3月15日)

参 考 文 献

- 1) 木内・高田橋：第33回塑加連講演論 1982-11, 517
- 2) 木内・高田橋：昭和58春季塑加講演論 1983-5