

て、接触を考慮した場合の最適化された変形曲面を求め、この2段階で求めた変形曲面、つまり接触を考慮する前と後の変形曲面の形状は本来同一であるという観点から、素板各部の流線の座標および発生するひずみに関する評価因子が、この同一性に関する判定条件を満足するよう、 m の値を変えながら収束計算を行う。

4. 解析対象とした成形条件

表1に成形条件を示す。ここでの解析対象は、ブレイクダウン成形の範囲である。曲げ角度（ロールフラワ）は、既報²⁾で示したロールフラワの最適自動設計の手法により、最終曲げ角度150°、6段成形を想定し、各スタンド間での長手方向膜ひずみの最大値（以下 $(\epsilon_{xo})_{max}$ と記す）の均一化を図った場合の設計値を用いた。スタンドピッチ、ロール径は、操業ミルの仕様範囲内の値を用いている。ロール形状は図2に示す形状を想定した。

表1 成形条件

1. 曲げ方式	Circular-Bending				
2. パスライン	Bottomline-Const.				
3. 成形速度	40 m · min ⁻¹				
4. 素板特性	$E: 21,000 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$ $H: 80 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$ $\sigma_e: 31.5 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$ $\nu: 0.3$				
5. 断面寸法	6. 曲げ角度(θ)			7. スタンドピッチ (SL)	8. ロール最小部半径 (R_0)
	#1	#2	#3		
4.5°×#76.3	30.0	54.6	78.3	600	75
					100
6.0°×#152.4	29.8	54.0	76.8	800	150
					200
9.0°×#254.0	28.6	52.5	76.5	1000	100
					150
9.0°×#384.0	26.5	49.0	71.9	2000	200
					250
				3000	300

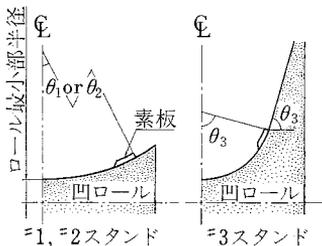


図2 解析で用いたロール形状

5. 解析結果および考察

5-1 最適変形曲面形状の決定方法

形状関数(1)式を用い、 m の値を変化させると、接触を考慮する前の $(\epsilon_{xo})_{max}$ および接触を考慮する場合の接触角度が変化し、(2)・(3)式を用いた場合の $(\epsilon_{xo})_{max}$ も変化する。その結果、ある m の値で両者の変形曲面形状は一致する(流線のくい違い量が0になる)。この例を図3に示す(図中の記号SLはスタンドピッチ、 R_0 はロール最小部半径)。3節で述べた収束判定条件を適用すると、#1・#2スタンドでは、流線の立ち上り量の差が0になる m の値の場合に $(\epsilon_{xo})_{max}$ の値も一致する。#3スタンドでは、主として、流線の立ち上り量の合致に関する評価因子だけで最適変形曲面形状を決定した。

5-2 長手方向膜ひずみに及ぼすロール径・スタンドピッチの影響

図4(a),(b),(c)に各スタンド間での $(\epsilon_{xo})_{max}$ とロール径・スタンドピッチの関係を示す。#1・#2スタンドにおいては、各サイズとも、ロール径・スタンドピッチの増大とともに $(\epsilon_{xo})_{max}$ は減少するが、ロール径が大きくなるとその減少率は鈍くなる傾向を示す。さらに、(a)の#152.4、#254.0の場合、ロール径一定の条件下で、 $(\epsilon_{xo})_{max}$ の低減に対するスタンドピッチ増大の効果が次第に減少していくすがわかるが、これは、予変形領域の長さが飽和していくことに起因すると考えられる。

(c)の#3スタンドにおいては、#1・#2スタンドに比べ、ロール径の増大に伴う $(\epsilon_{xo})_{max}$ の減少量が少なくなる傾向を示す。これは、断面の立上げ量の増大に伴うロール径の増大で接触長さが長くなり(後述図5参照)ロールによる拘束が強くなったためであるが、図2のロール形状にも起因すると思われる。

図5(a),(b)には、#1~#3スタンド間の $(\epsilon_{xo})_{max}$ の挙動を明確にするために、 $(\epsilon_{xo})_{max}$ および接触長さとの

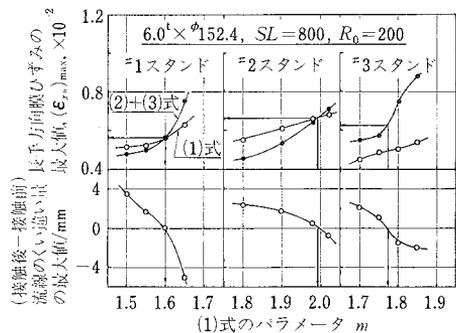


図3 m の値と接触を考慮した前後での $(\epsilon_{xo})_{max}$ 、流線のくい違い量との関係

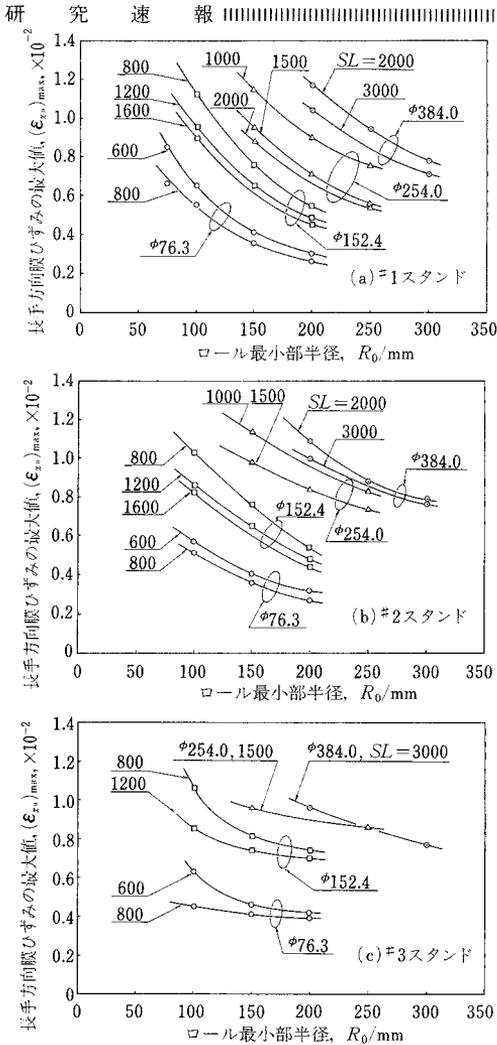


図 4 各スタンドにおける $(\epsilon_{x0})_{max}$ と ロール径・スタンドピッチの関係

ロール径との関係を示す。ロール径が小さい場合、 $\#1$ スタンドの $(\epsilon_{x0})_{max}$ は、 $\#2 \cdot \#3$ スタンドの $(\epsilon_{x0})_{max}$ よりも大きい。ロール径の増大につれてこの関係は逆転する。これは、 $\#1$ スタンドでは、ロール径が小さいほど、素板のロール直前での変形が大きくなるという変形の特徴による結果である。ロール径が大きくなると、 $(\epsilon_{x0})_{max}$ の挙動に対しては、ロールと素板との接触長さが支配的になり、特に、 $\#3$ スタンドではこの影響が顕著である。

5-3 接触長さにおよぼすロール径の影響

図 5 に示したように、ロールと素板との接触長さは、 $\#1 \cdot \#2$ スタンドではロール径に関係なくほぼ同じ値を示す。これは、ロール径が小さいほど、縁部の変形がロー

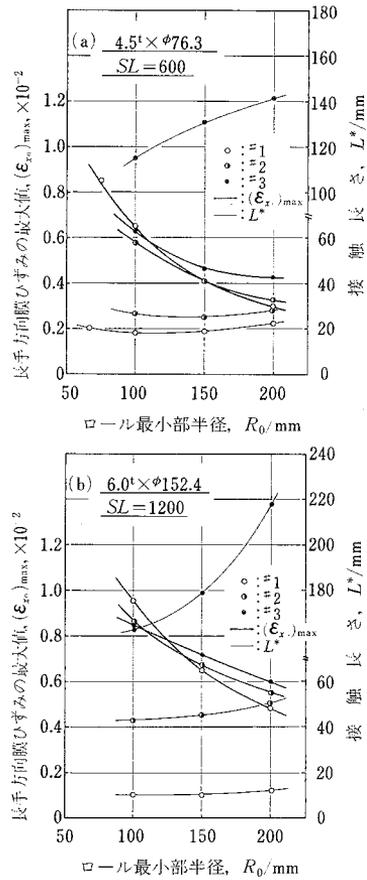


図 5 各成形条件における $(\epsilon_{x0})_{max}$ 、接触長さ と ロール径との関係

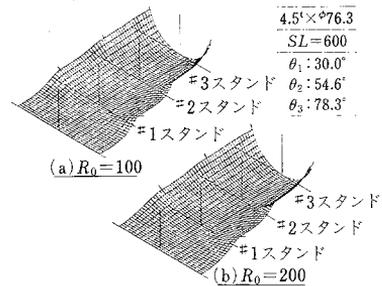


図 6 ロール径の違いによる変形曲面形状

ル直前で急激になることと対応している。 $\#3$ スタンドでの接触長さの挙動は前述のとおりである。図 6 には、この現象を明確に理解するために 3 次元の変形曲面形状を示す。

図 7 は、ロールと素板との接触状態図である。接触領域は、縁部のみであるが、実験結果³⁾と良く一致している。

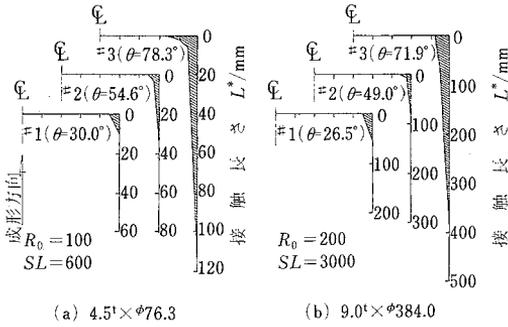


図7 凹ロールと素板との接触状態図

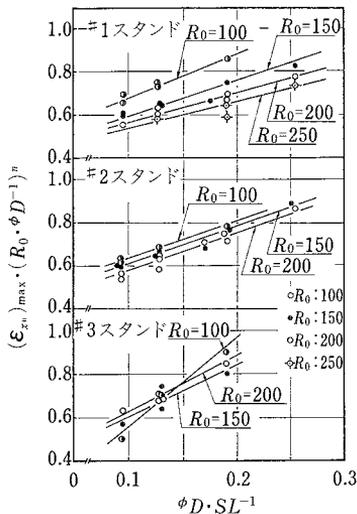


図8 (4)式の関係

5-4 長手方向膜ひずみとロール径・スタンドピッチ・製品サイズとの関係

既報⁴⁾で、 $(\epsilon_{x0})_{max}$ とエッジの移動量 (Δl) (あるいは $\Delta l/SL$) の間には、良い対応関係があることが示されたところで、曲げ方式・曲げ角度が同じであれば、 Δl と製品サイズ (ϕD) の間には比例関係が成立する。したがって、 $(\epsilon_{x0})_{max}$ と $\phi D/SL$ の間にも良い対応関係が成り立つことが予想される。一方、 $(\epsilon_{x0})_{max}$ は、ロール最小部半径 $(R_0)/\phi D$ にも大きく影響を受けるので、次式を想定した (n, A, B は定数)。

$$(\epsilon_{x0})_{max} \cdot \left(\frac{R_0}{\phi D}\right)^n = A \cdot \left(\frac{\phi D}{SL}\right) + B \quad (4)$$

これらの因子の間の関係の整理を試みた結果を、図8に示す。各スタンドごとにロール径をパラメータとして整理すると良好な直線関係が得られてはいるが、5-2節でも述べた理由により、 $\#3$ スタンドの傾向は、 $\#1 \cdot \#2$ スタンドと異なっており、 $(\epsilon_{x0})_{max}$ と $R_0, SL, \phi D$ の関係を統一的に明確にするには至っていない。

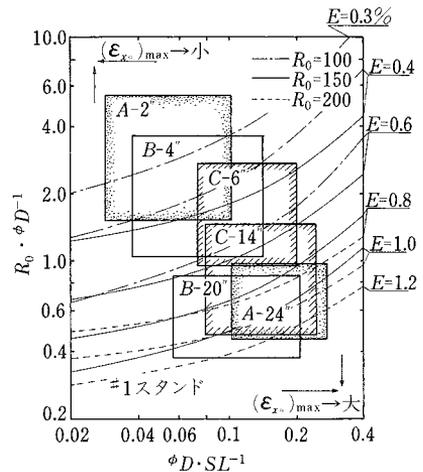


図9 操業中ミルにおける縁伸びレベル

5-5 実生産ミルにおける縁伸びのレベル

現在操業中のミルにおける素板の縁伸びのレベルを把握することは、非常に興味深いことである。図9には、図8の結果を用い、A・B・C社の小径から中径電縫管ミルにおいて、推定される縁伸び E のレベルを示した。この図より、小径管ミルは、比較的低レベルの縁伸びを示しているのに対し、中径管ミルでは、イニシャルコスト削減の面から、製品サイズに対するロール径が小さく、高い縁伸びレベルを示していることがわかる。逆に、このような縁伸びレベルにおいて、現実成形の安定性(生産性・歩留り)が保たれているならば、本図は今後のロール設計・ミル設計に対して貴重な指針を与えていると思われる。

6. おわりに

開発したシミュレータの応用として、ロール拘束を考慮した場合の長手方向膜ひずみに与えるロール径・スタンドピッチの影響を明らかにし、この結果から現状ミルにおける縁伸びレベルの推定を行った。本研究における今後の課題は、

- (1) 形状関数の精度の向上、
 - (2) $(\epsilon_{x0})_{max}$ とロール径・スタンドピッチ等各種成形因子との関係を統一的に明らかにすること、
- である。今後、この課題に取り組み有益なデータを提供していくつもりである。(1986年10月20日受理)

参考文献

- 1) 木内・元木：昭61 塑加春講論 1986-5, 240
- 2) 木内・高田橋：昭58 塑加春講論 1983-5, 124
- 3) 鈴木・木内ら：塑性と加工, 11-110, (1970), 202
- 4) 木内・佐藤：昭59 塑加春講論 1984-5, 501