ラウンド〜オーバル 2 ロールおよび 3 ロール方式による 無張力時の棒・線材圧延の変形・負荷特性 ――数値圧延機の応用技術に関する研究 II――

Characterization of Round~Oval Bar and Wire Rolling by 2-Roll and 3-Roll Mills ——Application of Computational Rolling Mill II—

柳 本 潤*・木 内 学*・井 上 幸 雄** Jun YANAGIMOTO, Manabu KIUCHI and Yukio INOUE

1. はじめに

筆者らは、板材ならびに棒・線材など異形材の圧延加工の際に被圧延材内部に生じる多様な3次元塑性変形挙動の統一的な解明に供し得る解析システムCORMILL (Computational Rolling Mill) Systemを開発し、薄板材圧延り~りならびに棒・線材圧延り~りへの適用を通し、その解析機能の向上を図ってきた。既報のにおいては、この解析システムを用いて、2ロール方式および3ロール方式によるラウンド~フラットパス圧延の際の被圧延材の塑性変形特性の相違に検討を加え、3ロール方式による圧延は、低い圧延荷重により高い延伸効率を得ることができる圧延方式であること、反面、同方式では、被圧延材中央部での相当ひずみを大きくするのは困難であること、等を理論的に明らかにした。

従来,棒・線材圧延については、被圧延材の塑性変形 特性を実験的に明らかにし, それを体系的な知識として 整理し利用しようとする試みがなされてきた8)~10)が、広 範囲かつ体系的なデータを収集することは容易ではなく, その成果はかならずしも十分とはいえない。圧延加工に 関する諸問題を検討するに当たって、CORMILL Systemのごとき理論解析技術は、いわゆる数値実験装置と しての役割を期待し得る. これらの理論解析技術は, 圧 延後の製品断面形状、圧延荷重・圧延トルク等の巨視的 特性値に加え、応力・ひずみ分布などの微視的特性値を も短時間かつ組織的に解明し獲得することを可能としさ まざまな問題の検討のために有用な情報を提供し得る。 本報では,棒・線材圧延のラウンド~オーバルパスをと りあげ、圧延方式(2ロールあるいは3ロール圧延)・孔 型半径・圧下率・ロール径等の圧延条件因子が、圧延荷 重・幅広がり・実減面率に及ぼす影響を系統的に明らか にするとともに, 圧延後の製品品質を評価するための基 準として, 相当ひずみの製品横断面内分布 (平均値およ

び標準偏差)を取り上げ、これらの特性に及ぼす圧延条件因子の影響につき検討した結果を示す.

2. 解析方法および条件

図1に対象とした2ロールおよび3ロール方式でのロール配置を示し、採用した計算条件を表1に示す。公称圧下率Rを10%~30%までの3水準、孔型半径 r_e =40,50,60,120, ∞ (フラット)mmの5水準、nール径をdD=500,300mmの2水準に変化させて解析を行い、それぞれの方式による圧延時の被加工材の塑性変形特性につき検討を行った。解析結果を図・表にまとめるに際し導入した記号ならびにその定義は、以下に示すとおりである。

素線半径: r₀ [mm]

孔型半径:rg[mm](図2参照)

素線中心よりロール表面までの距離: Y_0 [mm]

孔 型 比: 1/6/1/8

公称圧下率: $R = (1 - Y_0/r_0) \times 100$ [%]

幅広がり量: △B

幅広がり率: $\beta = (\Delta B/r_0) \times 100$ [%]

圧 延 荷 重:P [ton]

実 減 面 率:Re(圧延後の製品断面積と素線断面積から求めた減面率)

平均相当ひずみ:
$$\overline{\epsilon}_{ave} = \frac{\sum A^{(i)} \overline{\epsilon}^{(i)}}{\sum A^{(i)}}$$

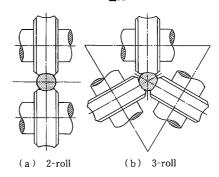


図1 ロール配置

*東京大学生産技術研究所 第2部

**愛知製鋼㈱

相当ひずみの標準偏差:

$$\overline{\varepsilon}_{SD} = \sqrt{\frac{\sum A^{(i)} (\overline{\varepsilon}^{(i)} - \overline{\varepsilon}_{ave})^2}{\sum A^{(i)}}}$$

ただしA⁽ⁱ⁾:製品横断面内での各要素の面積

 $\epsilon^{(a)}$:製品横断面内での各要素の相当ひずみ

平均相当ひずみ $\overline{\epsilon}_{ave}$ は,圧延終了時の相当ひずみの製品横断面内での平均値であり,相当ひずみの標準偏差 $\overline{\epsilon}_{sp}$ は,この相当ひずみの横断面内でのばらつきを評価するために導入したパラメータである.

また,表 1 に示した変形抵抗式は約850~900°C域における低炭素鋼の変形抵抗式である。既報50で,このような条件の場合には,ロールの弾性変形の影響を無視しても支障ないことが確認されているため,ロールは剛体であるものとして解析を実行した。その他解析手法の詳細については,既報60を参照されたい。

表 1 計算条件

ロール径 φ D [mm]	300, 500					
ロール周速V	[MPM]	180					
ロールバレル長 L $[mm]$		200					
初期線径 % [mm]		25					
孔型半径r _s [m	孔型半径r _g [mm]		40, 50, 60, 120,∞				
公称圧下率R[%]		10, 20, 30					
変型抵抗 [kgf/mm²]		$\overline{\sigma} = 4.5(1 + 2\overline{\varepsilon})^{0.21} \frac{\bullet}{\varepsilon}^{0.31}$					
まさつ係数		$\mu = 0.25$					
前後方張力 [kgf/mm²]		$T_b = T_f = 0.0$					
FEM要素分割		$2 \text{D} - \nu : 11 \times 4 \times (4 + 8 + 2)$					
$(N_x/N_y/N_z)$		3ロール:8×4	×(4+8+2)				
	ハチにてて	₩ D [0/]					

		公称	王下率 R [2ロール圧延	
rg		10	20	30	3ロール圧延
					それぞれ,
,	40	0	0	0	ロール径 ϕD
孔 径	50	0	0	0	=300mm,
	60	0	0	0	500mm
径 [mm]	120	0	0	0	につき,左表 〇印条件解析
[∞	0	0	0	□□紀代群初

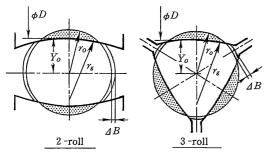


図2 諸変数の定義

3.解析結果

以後の説明では、幅方向x軸、厚さ方向をy軸、圧延方向をz軸とする。

3.1 孔型比 r_0/r_g に対する幅広がり率および圧延荷重

図3 および図4 に、公称圧下率R一定の条件の下で 2 ロール圧延および 3 ロール圧延を行う際の孔型比 n/r_s の変化に対する幅広がり率 β および圧延荷重Pの変化を示す。図 3 は,ロール径 ϕD = 500 mmの場合の結果である。2 ロール圧延では,孔型比が増加する(孔型半径 r_s が減少する)につれて幅広がり率・圧延荷重ともに単調に増加する。ただし,この場合,公称圧下率R一定の下で孔型比を増加させているため,実減面率は孔型比の増加とともに増加していることに注意されたい。これに対し 3 ロール圧延の場合の幅広がり率は,公称圧下率R = 10%の場合,孔型比が増加しても,ほとんど変化せず,公称圧下率R = 20%以上では孔型比の増加に伴い減少する傾向にある。また,ロール径の減少に伴い,いずれの場合においても幅広がり率・圧延荷重ともに減少する。

2ロール圧延および3ロール圧延における幅広がり特性をまとめると以下のようになる. (1)2ロール方式・フラットロール圧延の場合は,3ロール方式・フラット

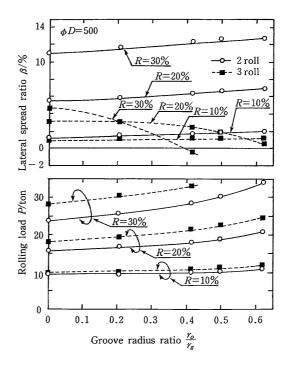


図3 孔型比と幅広がり率・圧延荷重との関係 ($\phi D = 500$ mm)

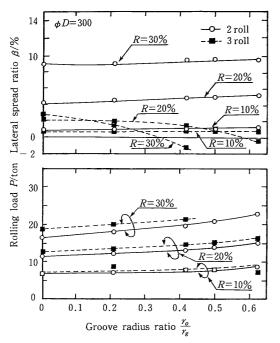


図 4 孔型比と幅広がり率・圧延荷重との関係 (φD = 300mm)

ロール圧延の場合に比較して被圧延材に対するロールの東縛が相対的に少ないため、公称圧下率Rが増加すると幅方向への材料の流れが大きくなり幅広がり率は単調に増加する。(2)フラットロールによる3ロール圧延では、2ロール圧延の場合に比べると、公称圧下率Rの増加に対する幅広がり率の増加の割合が小さい。(3)ラウンドカリバーロールによる3ロール圧延では、公称圧下率R=20%以上、孔型比 $r_0/r_s=0.417$ 以上 $(r_s=60$ mm以下)の条件では、公称圧下率Rの増加に伴い幅広がり率は減少する。(4)ロール径が幅広がり率に及ぼす影響は2ロール圧延・3ロール圧延の場合とも同様であり、ロール径が小さくなると被圧延材の接触弧長が減少し延伸効率がよくなるため、幅広がり率は減少する。

図5に、2ロールおよび3ロール圧延時の、孔型比 r_0/r_s の変化に対する実滅面率Reの変化を示す。2ロール圧延および3ロール圧延の場合とも、孔型比 r_0/r_s の増加に対する実滅面率の増加の割合はほぼ等しい。また、同一公称圧下率・同一孔型比でロール径 ϕD を500mmから300mmに変化させた場合についてみると、前述のごとく幅広がり率が減少するため、実滅面率はわずかに増加する。3.2 相当ひずみ分布に関する検討

圧延後の製品の品質・特性を評価する基準に関しては さまざまな角度から検討が行われているが¹¹¹,本報にお いては、そのような基準の一つとして製品横断面内に分

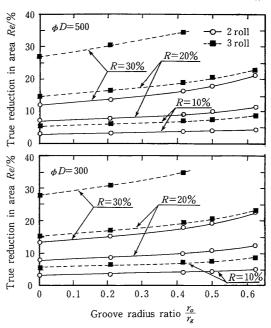


図5 孔型比と実滅面率との関係 ($\phi D = 300$, 500mm)

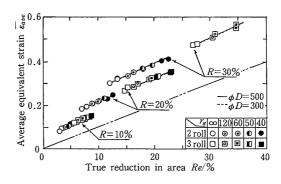


図6 実滅面率と平均相当ひずみとの関係

布する相当ひずみの平均値ならびに標準偏差を取り上げ、 種々の加工条件因子がこれらの特性値の変化に及ぼす影響につき検討した。

図 6 は、2 ロール圧延と3 ロール圧延の場合の実滅面率Reと上記平均相当ひずみ $\overline{\epsilon}_{ave}$ の関係をまとめて示す。この図より、2 ロールおよび3 ロールの圧延方式、孔型比に関係なく、平均相当ひずみ $\overline{\epsilon}_{ave}$ が、公称圧下率Rならびに実滅面率Reから予測できることがわかる。また、ロール径 ϕD が500mmから300mmに変化しても、 $\overline{\epsilon}_{ave}$ は、後述する相当ひずみの標準偏差 $\overline{\epsilon}_{sp}$ ほど変化しない。

図7は、2ロール圧延の場合の、実減面率Reと相当ひ

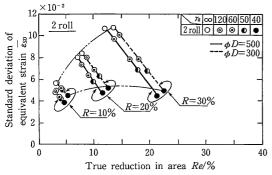


図7 実滅面率と相当ひずみの標準偏差との関係 (2ロール圧延)

ずみの標準偏差 ϵ_{sp} との関係を示す。図7より,2ロール圧延の場合,公称圧下率R増加に伴い ϵ_{sp} が増加するが,これは,Rの増加とともに幅広がりおよび横断面内の不均一変形が大きくなることを示している。また,孔型半径 r_s を減少させることにより,横断面内のひずみ分布が均一となる傾向にあることがわかる。孔型比 r_o/r_g =0.625,(r_g =40mm) になると,Rの値によらず ϵ_{sp} は0.04~0.05程度に落ちつく。また,ロール径 ϕ Dが500mmから300mmに変化すると, ϵ_{sp} は,各圧延条件につき10%程度増加する。

次に、3ロール圧延の場合の実滅面率Reおよび公称圧下率Rの変化に対する相当ひずみの標準偏差 $\overline{\epsilon}_{SD}$ の変化を図8に示す。3ロール圧延の場合、 $\overline{\epsilon}_{SD}$ に対しては、公称圧下率Rよりもロール径 ϕD の変化が大きく影響しており、この点が2ロール圧延の場合と若干異なっている。フラットロール圧延、ロール径 $\phi D=500$ mmの場合の $\overline{\epsilon}_{SD}$ は、公称圧下率Rの変化にはほとんど影響されず、約0.05程度である。オーバルカリバーロールによる圧延の場合は、いずれの条件で圧延しても、 $\overline{\epsilon}_{SD}$ は0.02程度しか変化しない。しかし、ロール径の影響は若干見受けられ、R=30%の条件下では、 $\phi D=300$ mmになると、 $\phi D=500$ mmの場合と比較して、 $\overline{\epsilon}_{SD}$ の値は0.03以上大きくなっている。

以上をまとめると,相当ひずみの標準偏差 ϵ_{SD} は, 2 ロール圧延の場合,公称圧下率,孔型比によりそれぞれ影響を受ける。しかし,3 ロール圧延の場合, ϵ_{SD} に対しては,公称圧下率,孔型比よりもロール径の変化が大きく影響している。

3.3 その他

図9と図10は、3ロール圧延、孔型比 r_0/r_g =0.208(孔型半径 r_g =120mm)でのロール径 ϕD の違い(500と300mm)による圧延後の製品横断面内の相当ひずみ分布を示す。

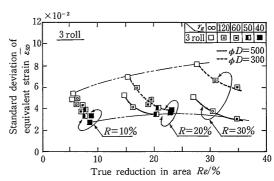


図8 実滅面率と相当ひずみの標準偏差との関係 (3ロール圧延)

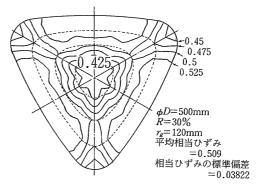


図9 圧延後の製品横断面内の相当ひずみ分布 (ラウンド〜オーバル3ロール圧延)

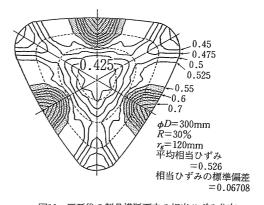


図10 圧延後の製品横断面内の相当ひずみ分布 (ラウンド〜オーバル 3 ロール圧延)

4.ま と ぬ

本報では、ラウンド〜フラット、ラウンド〜オーバル2ロール圧延ならびに3ロール圧延をとりあげ、COMILL Systemによる解析結果を通し、種々の圧延条件因子(圧延方式・孔型半径・公称圧下率・ロール径)

速

表 2 圧延条件因子に対する圧延特性

圧延条件 因子	2ロール圧延			3ロール圧延		
圧延特性	R	Υg	φD	R	r_g	ϕD
幅広がり率β 圧延荷重P	1	7	11	※ 1) ✓	%1)	11
平均相当ひずみ - ε _{ave}	/	,	,	,	,	<i>></i>
相当ひずみの 標準偏差 esp	1	`	7	※ 2)	`	,

公称圧下率Rが,増加r ;孔型半径 r_g が,減少rロール径dDが、減少、;

する時、圧延特性の定性的増加ノ・減少へ傾向を矢印で表

 $**1) \rightarrow : (R=10\%) ; \ : (R>20\%)$ $*2) \rightarrow : (\phi D = 500 \text{mm}, r_g = \infty)$ \searrow : ($\phi D = 500$ mm, $r_g < 120$ mm) \nearrow : $(\phi D = 300 \text{mm}, 40 \text{mm} < r_g < \infty)$

が圧延荷重,幅広がり,圧延後の製品横断面の相当ひず み分布に及ぼす影響を系統的に明らかにした。 得られた 結果を要約すると表2のようになり、圧延条件因子に対 する各特性値の変化を矢印で示してある。 また, 特に注 目すべき特徴についてのみ、まとめると以下のようにな

1) 幅広がり率は、2ロール圧延の場合、公称圧下率、 孔型比の増加とともに、単調に増加する。しかし、3ロー ル圧延の場合, 幅広がり率の増加の割合は小さく, 強圧 下するとむしろ減少する傾向にある.

2) 製品横断面内の相当ひずみの標準偏差は,2ロー ル圧延の場合は、公称圧下率、孔型比により大きく影響 を受ける。3ロール圧延の場合は、公称圧下率、孔型比 よりもロール径が大きな影響を与える.

(1992年1月7日受理)

参考文献

- 1) 柳本・木内ほか:平2春塑加講論 I, (1990), 53.
- 2) 柳本・木内ほか:平2春塑加講論 I, (1990), 57.
- 3) 柳本・木内ほか:41回塑加連講論 I, (1990), 67.
- 4) 佐々木ほか:平3春塑加講論 I, (1990), 157.
- 5) 柳本・木内ほか:41回塑加連講論 II, (1990), 351.
- 6) 柳本・木内ほか:41回塑加連講論 II, (1990), 355.
- 7) 中村ほか:41回塑加連講論 II、(1990)、359。
- 8) 斉藤ほか:塑性と加工, 24-273, (1983), 1070.
- 9) 篠倉ほか:29回塑加連講論,(1978),109.
- 10) 藤田ほか:33回塑加連講論, (1982), 151.
- 11) 矢田:第131回西山記念技術講座,149.