

ラウンド～フラット2ロールおよび3ロール方式による

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 I—

Characterization of Round~Flat Bar and Wire Rolling by 2-Roll and 3-Roll Mills

—Application of Computational Rolling Mill I—

柳本 潤*・木内 学*・井上 幸雄*

Jun YANAGIMOTO, Manabu KIUCHI and Yukio INOUE

1. はじめに

棒材・線材などの異形材の圧延加工においては、被圧延材に複雑な3次元変形が生じる。圧延加工の際のパススケジュールや、各パスの孔型形状を決定するためには、被圧延材に生ずる3次元塑性変形特性の系統的な解明が必須の条件となる。近年の計算機の大容量化・高速化ならびにその利用技術の発展に伴い、エネルギー法もしくは剛塑性FEMを応用した、圧延加工時の3次元塑性変形に対する理論解析手法の開発が行われてきた^{1)~6)}。特に3次元剛塑性FEMによる塑性変形解析手法は、解析精度が良好であり、また、ロール変形ならびに温度分布との連成解析が比較的容易に実行可能であるということから見て、板材圧延・棒線材圧延の解析に有効であるものと考えられる。

筆者らは、ラグランジュ乗数法3次元剛塑性FEMを基礎とした、数値圧延機CORMILL (Computational Rolling Mill) Systemの開発に関し、一連の研究を推進しており、既報⁷⁾⁸⁾においては、薄板材ならびに棒線材圧延を対象事例としつつ、本解析システムの特性につき検討を行ってきた。本報では、数値圧延機CORMILL Systemの応用技術に関する研究の一環として、2ロールならびに3ロール方式によるラウンド～フラット圧延をとりあげ、圧延方式の相違が被圧延材の3次元塑性変形特性に及ぼす影響につき、検討を加える。

2. 解析方法および条件

3ロール圧延法は線材圧延の一方式であり、コックス社ならびにプロペルチ社により実用化されている。本圧延でのロール配置を図1に示す。3ロール圧延は、120°方向に配置された3本のロールにより被圧延材に圧下を加えることを特徴としており、対向(180°)方向圧下となる通常の圧延法とはこの点が大きく異なる。上述のロール配置ならびに圧下方向の相違に起因して、3ロール圧延

法による変形特性ならびに負荷特性は、

- 1) 2ロール圧延に比較して幅広がり小さく、延伸が大きい。すなわち、圧延後製品形状に優れた製品を、高い圧延効率で製造することができる。
- 2) 2ロール圧延に比較して圧延荷重・トルクが小さい、といった特徴を有することが、実験的に確かめられている⁹⁾。しかしながら、2ロール圧延と3ロール圧延の変形・負荷特性の相違を理論的に検討した研究は、従来全く報告されていない。

本報で対象とした計算条件を表1に示す。排除断面積率 γ_a^* を10%~40%までの4水準に変化させて解析を行

表1 計算条件(圧延方式:ラウンド～フラット, 2ロール&3ロール)

ロール径D [mm]	500
ロール周速V [MPM]	180
ロールパレル長L [mm]	200
初期線径 [mm]	50
排除断面積率 γ_a^* [%]	10, 20, 30, 40
変形抵抗 [kgf/mm ²]	$\bar{\sigma} = 4.5(1 + 2\bar{\epsilon})^{0.21} \bar{\epsilon}^{0.31}$
まさつ係数	$\mu = 0.25$
前後方張力 [kgf/mm ²]	$T_b = T_r = 0.0$
FEM要素分割 ($N_x/N_y/N_z$)	2ロール: 11×4×(4+8+2) 3ロール: 8×4×(4+8+2)

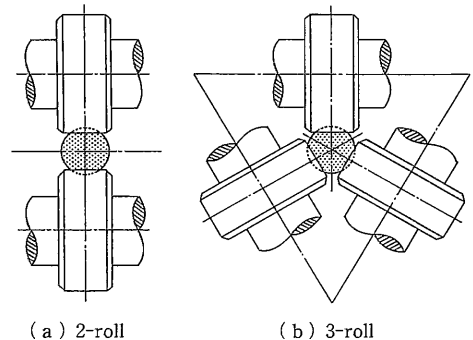


図1 ロール配置

*東京大学生産技術研究所 第2部

表 2 排除断面積 r_a^* と素線中心よりロール表面までの距離 Y_0 との関係

排除断面積率 r_a^* [%]	10	20	30	40	
Y_0 [mm]	2 ロール	20.13	17.18	14.63	12.30
	3 ロール	21.31	19.08	17.18	15.45

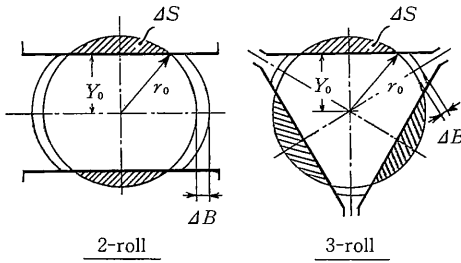


図 2 諸変数の定義

い、2 ロール圧延と 3 ロール圧延の相違につき検討を行った。解析結果を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 (図 2 参照)。

素線半径： r_0

素線中心よりロール表面までの距離： Y_0

幅広がり量： ΔB

予変形がないとした場合の被圧延材中央部での投影接
触長さ： Z_L

単一ロールによる排除断面積： ΔS

減面率： $r_a = ((\text{初期}-\text{圧延後})\text{断面積}) / (\pi r_0^2) \times 100$ [%]

排除断面積率： $r_a^* = (\text{ロール本数} \times \Delta S) / (\pi r_0^2) \times 100$ [%]

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

なお、排除断面積率 r_a^* は、ロールにより排除される断面積の被圧延材の初期断面積に対する比であり¹⁰⁾、幅広がりがないものとした場合の減面率に相当する。したがって、排除断面積率 r_a^* が一致する場合でも、2 ロール圧延と 3 ロール圧延とは圧下量が異なることに注意されたい。表 2 に、排除断面積率 r_a^* と素線中心よりロール表面までの距離 Y_0 との関係を示す。なお、表 1 に示した変形抵抗式は、約 850~900°C の低炭素鋼に相当している。前報⁹⁾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⁷⁾⁸⁾を参照されたい。

3. 解 析 結 果

以後の説明では、幅方向を x 軸、厚さ方向を y 軸、圧延方向を z 軸とする。

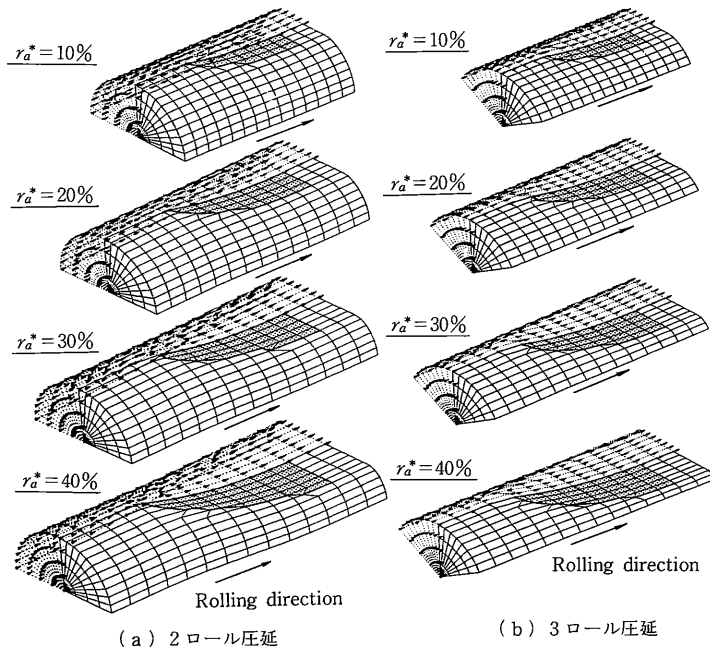


図 3 3次元変形状

研究速報

3.1 幅広がりおよび圧延荷重

図3に、2ロール圧延および3ロール圧延の3次元変形形状を比較して示す。圧延方向・幅方向へのロールとの接触領域の広がり、本解析によりの確にとらえられていること、また、ロールとの接触領域の形状は、2ロール圧延と3ロール圧延ではほぼ相似であることがわかる。

図4および図5に、排除断面積率 r_a^* に対する圧延後プロフィール形状の推移を示す。従来より実験的に確かめられているように、3ロール圧延は2ロール圧延に比較して幅広がり小さく、製品形状特性および延伸効率が優れた圧延法であることがわかる。

図6に、排除断面積率 r_a^* と減面率 r_a との関係を示す。3ロール圧延の場合、幅広がり小さく延伸効率が優れているため、 r_a^* と r_a はほぼ等しい。これに対し2ロール圧延では3ロール圧延に比較して延伸効率が劣るため、排除断面積率 r_a^* の約70%程度の減面率しか得ることができない。図7には、減面率 r_a ならびに排除断面積率 r_a^* と、圧延荷重・幅広がり率との関係を示す。同一減面率 r_a の場合、3ロール圧延の圧延荷重は、2ロール圧延の70%程度であることがわかる。また、3ロール圧延の幅広がり、減面率 r_a を増加させるに伴ない極大点を有する変化をすることがわかる。

以上の結果より、3ロール圧延は、低い圧延荷重で高い延伸効率を得ることが可能な圧延加工であるというこ

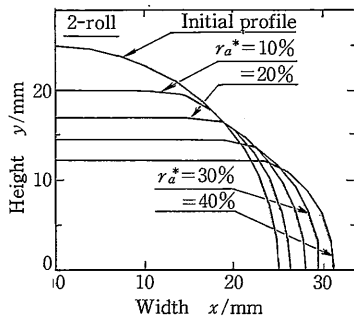


図4 圧延後外形形状の変化 (2ロール圧延)

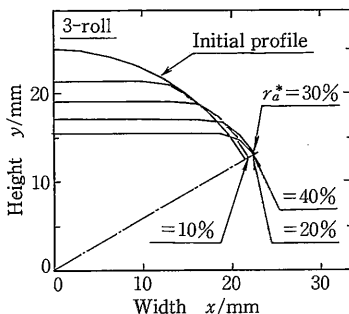


図5 圧延後外形形状の変化 (3ロール圧延)

とが、理論的に確認できた。

3.2 ひずみの分布、応力分布

本節では、減面率 r_a がほぼ等しい場合のひずみ分布および応力分布を比較することにより、3ロール圧延の特性につき検討を加える。図6より2ロール圧延の $r_a^* = 30\%$ の場合と3ロール圧延の $r_a^* = 20\%$ の場合では、減面率 r_a は、それぞれ18.7%、19.2%とほぼ等しい。そこで、この両条件についての比較を以下に述べる。

図8および図9は、それぞれ2ロール圧延および3ロール圧延による圧延後相当ひずみ分布である。2ロール圧延の場合、幅方向中央部より端部にかけて単調に減少する傾向が得られており、端部自由表面部で最小値となる。これに対し3ロール圧延では分布形態そのものが2ロール圧延と大きく異なり、端部自由表面部に加え被圧延材中央部にも相当ひずみの小さい領域が現れる。また最大値も2ロール圧延に比較して小さい。前節にて述べたように、3ロール圧延では幅広がり小さいため、圧延方向横断面内のひずみ成分(ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , ϵ_{xy})が2ロール圧延に比較して小さくなる。したがって、同一減面率(同一延伸率)の場合に、3ロール圧延の相当ひずみ値が2ロール圧延のそれより小さいことは、当然の結果である。ただし、3ロール圧延では被圧延材中央部での相当

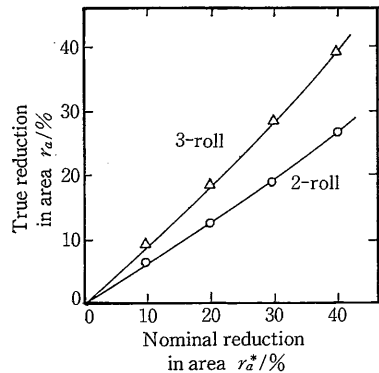


図6 排除断面積率 r_a^* と減面率 r_a との関係

ひずみが小さいことを、本圧延方式によるパススケジューの選定を行う際には十分考慮すべきであると考えられる。

図10および図11は、 $z/Z_L = 0.33$ での圧延方向応力分布である。2ロール圧延の方が、端部での引張り応力が高い。また、中央部での圧延方向応力値は、2ロール圧延の場合の方が圧縮側に大きい。

図12および図13に、圧延圧力分布を示す。2ロール圧延と3ロール圧延では、分布形態ならびに値とも、さほど差がないことがわかる。

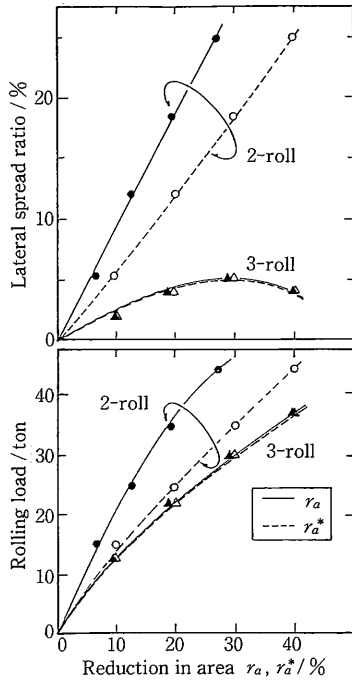


図7 圧延荷重および幅広がり率

2-roll, $r_a^* = 30\%$

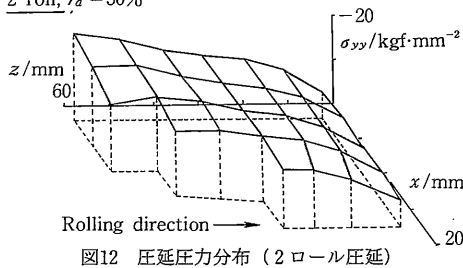


図12 圧延圧力分布 (2ロール圧延)

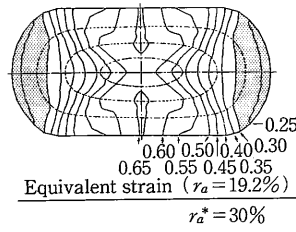


図8 圧延後相当ひずみ分布 (2ロール圧延)

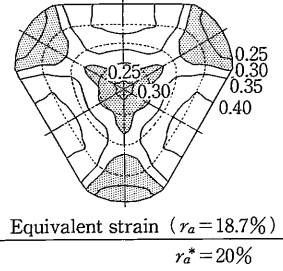


図9 圧延後相当ひずみ分布 (3ロール圧延)

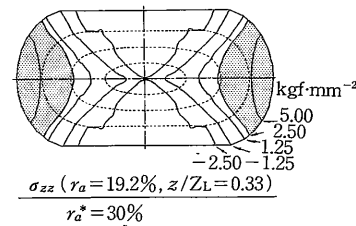


図10 圧延方向応力分布 (2ロール圧延)

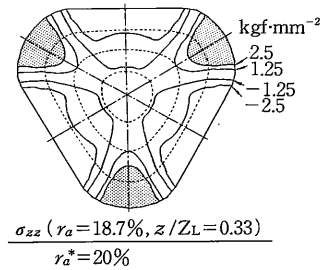


図11 圧延方向応力分布 (3ロール圧延)

4. ま と め

数値圧延機CORMILL Systemにより、ラウンド～フラット方式による2ロール圧延および3ロール圧延の解析を行い、この両圧延による塑性変形特性の相違に検討を加えた。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 3ロール圧延では、低い圧延荷重・高い延伸効率での圧延が可能である。
- 2) 3ロール圧延では、圧延後被圧延材の相当ひずみ分布が2ロール圧延に比較して小さい。また、被圧延材中央部に相当ひずみの低い領域が現れる。

本報ではラウンド～フラット方式を対象事例としたが、その他の圧延方式については、別報¹¹⁾に示す。

(1991年5月9日受理)

参 考 文 献

- 1) Lahoti, G.D. et. al: NASA FINAL REPORT, CRI59445, (1978)
- 2) 小森ほか：塑性と加工, 31-350, (1990), 357. および364.
- 3) Bertland, C. et. al: NUMIFORM 89. (1989), 303. Balkema.
- 4) 森ほか：38回塑加連講論, (1987), 1.
- 5) 幸ほか：塑性と加工, 30-343, (1989), 1180.
- 6) 柳本ほか：生産研究, 42-6, (1990), 327.
- 7) 柳本ほか：平2春塑加連講論, (1990), 53. および57.
- 8) 柳本ほか：41回塑加連講論, (1990), 67. および351.
- 9) 堀端ほか：塑性と加工, 29-325, (1988), 145. および30-344, (1989), 1362.
- 10) 斎藤ほか：塑性と加工, 24-273, (1983), 1070.
- 11) 中村ほか：41回塑加連講論, (1990), 359.