

電縫鋼管のロール成形技術の動向

解説

木 内

学*

Recent Trend of Roll Forming Technology for ERW Pipes

Manabu KIUCHI

1. 緒 言

電縫鋼管 (ERW 鋼管) は、ロール成形加工、すなわちタンデムに配置された一群のロールにより素板を連続的に円筒状に成形した後、その継目部を主として電気抵抗溶接法により接合して製造される。製造品種としては、一般配管用鋼管・ラインパイプ等特殊配管用鋼管・ボイラー管等熱交換器用鋼管・一般構造用鋼管・機械構造用鋼管・油井用鋼管・電線管などがあり、広範な用途に供されている。

近年、製鋼技術・圧延技術の進歩による素板の高品質化・高精度化、あるいはロール成形技術・溶接技術・非破壊検査技術等の高度化により、電縫鋼管の製造技術は急速な進歩を遂げ、製品の大径化、厚肉化、薄肉化、高強度化、高精度化、更には製造ラインの省人化、フレキシブル化、変種変量生産性化などが目覚ましく進んでいる¹⁾。

本稿では、これら電縫鋼管の製造技術の動向と今後の技術的課題について、主としてロール成形技術の立場から概説する。

2. 成形理論およびシミュレーション技術の動向²⁾

電縫鋼管のロール成形加工は、塑性力学的には多スタンドのロールによる素板 (コイルまたはフープ) の定常流れを伴う 3 次元曲げ加工として位置付けられるが、その内容は、不確定な境界条件下における弾塑性・大变位・板面内の伸びあるいは縮みを伴う 2 方向曲げ・かつ定常流れ変形であり、板材の成形加工としては最も複雑な内容を有している (図 1 参照)。それゆえ、その理論的取扱いも難解であり、素板の変形を総合的に解析し得る弾・塑性力学モデルの構成および数値解析手法の開発が遅れ、設計技術・操業技術に関する諸問題に対応する有効な手段を欠いたまま、経験的知識に依存せざるを得ない状況が長く続いてきた。

1980 年代に入り、コンピューターの飛躍的発達と数値解析技術の著しい進歩を背景として、塑性加工の各分野における被加工材の変形挙動の数値シミュレーション技術の開発が相次いだ。電縫鋼管の製造の分野においても、ロール成形時の素板の変形挙動を総合的に解析し、その結果に基づいてロール設計や操業条件の最適化を図る試みが本格的に開始され、大きな成果を挙げつつある。それらのうちの代表的な解析手法はいわゆるエネルギー法に基づくものであり、その概要は以下のとおりである。

解析の基本的目的は、成形過程にある素板の 3 次元変形曲面形状を予測し、その変形曲面に沿って素板が移動しつつ成形が進行する際に、各部に発生する応力・ひずみの挙動を明らかにすることにある。解析に際しては、図 2 に示す空間固定の座標軸 (X, Y, Z) と、素板の板厚方向中央面に固定の座標軸 (x, y, z) が用いられ、変形曲面形状の数学的表示は形状関係数 $S(X)$ を用いて行われる。形状関数 $S(X)$ とは、素板の要素またはその一点が、 $\#i$ スタンドのロール上 (ロール直下, $X = X_1$) で占める空間位置 $P_i(X_1, Y_1, Z_1)$ から $\#i+1$ スタンドのロール上 (ロール直下, $X = X_2$) で占める位置 $P_{i+1}(X_2, Y_2, Z_2)$ へと移行する際に描く空間的軌跡の形状を規定する関数である。 $S(X)$ としては素板各部が通る空間的軌跡の多様性を表示しうることが要求されるが、逆にそのような多様性を表現できるものであれば、その関数形はどのようなものであってもよい。例え

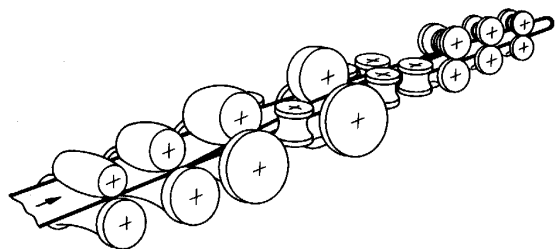


図 1 電縫鋼管のロール成形過程の概要

平成 2 年 10 月 16 日受付 (Received Oct. 16, 1990) (依頼解説)

* 東京大学生産技術研究所教授 工博 (Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, 7-22-1 Roppongi Minato-ku, Tokyo 106)

Key words : roll forming ; ERW pipe ; numerical simulation ; CAD ; forming mill ; roll flower.

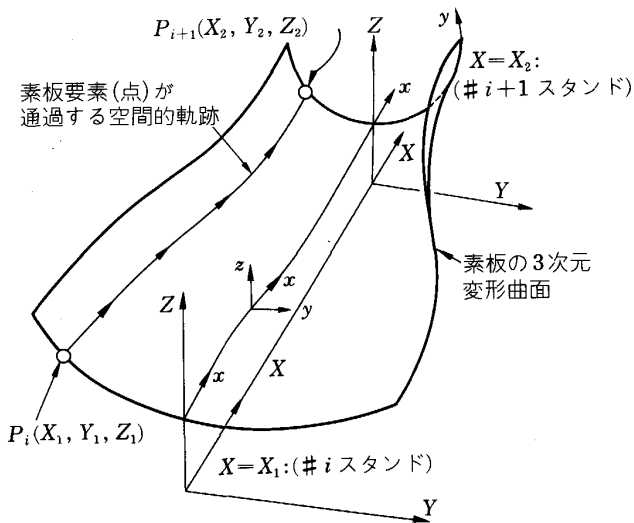


図 2 素板の3次元変形曲面解析モデル

ば、これまでに次式で示される $S(X)$ が用いられている。

$$S(X) = \sin \left\{ \frac{\pi}{2} \left(\frac{X}{L} \right)^n \right\} \quad (L = X_2 - X_1) \quad \dots\dots (1)$$

上式の n は素板の各点が # i ロールから # $i+1$ ロールへ進入する際の X の変化に対する Y 方向・ Z 方向の変位の発生仕方を規定するパラメーターである。

変形曲面のロール直下 ($X = X_1, X_2$) における形状および力学的条件は複雑で、必ずしも明確でない場合も多いが、(1) ロール直下においては素板の横断面の形状はロールプロファイルに対応して既知である、(2) 成形前に同一横断面上にあった各点は、各スタンドのロール直下を同時に通過する、などの近似が用いられている。

ロール直下 ($X = X_1, X_2$) における素板各点の座標は、素板の中央面固定の座標 (x, y) を用いて一般的に次式のように示される。

$$\left. \begin{aligned} (X = X_1): & \begin{cases} X_1 = F_1^*(x_1, y) \\ Y_1 = F_2^*(x_1, y) \\ Z_1 = F_3^*(x_1, y) \end{cases} \\ (X = X_2): & \begin{cases} X_2 = F_1^{**}(x_2, y) \\ Y_2 = F_2^{**}(x_2, y) \\ Z_2 = F_3^{**}(x_2, y) \end{cases} \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

関数 $F_i^*(x_1, y)$, $F_i^{**}(x_2, y)$ ($i = 1, 2, 3$) はロールプロファイルの形状・寸法により定まり、任意の形状を表すものであってよい。形状関数 $S(X)$ と上記の境界値を用いて、# i —# $i+1$ スタンド間の素板の3次元変形曲面形状は次式のように表示される。

$$\left. \begin{aligned} X &= F_1(x, y) \\ Y &= F_2(x, y) = F_2^*(x_1, y) \\ &\quad + \{F_2^{**}(x_2, y) - F_2^*(x_1, y)\} \cdot S(X) \\ Z &= F_3(x, y) = F_3^*(x_1, y) \\ &\quad + \{F_3^{**}(x_2, y) - F_3^*(x_1, y)\} \cdot S(X) \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

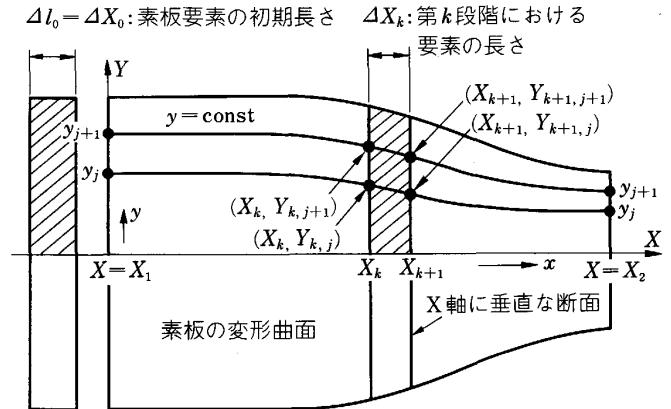


図 3 素板の3次元変形曲面に沿う帯状要素の移動と変形に対する拘束条件の考え方

解析の手順は次のとおりである。成形前の素板に長手 (x) 方向に Δl の長さを有し、幅方向に帯状をなす素板要素を考え、成形過程において、この素板要素が式 (3) で表される変形曲面に沿って漸進的に成形されていく過程を考える。その際、変形の過程を規定する拘束条件を導入し、実際の成形時の状況にできるだけ近いシミュレーションが実現するように配慮する。例えば、次のような拘束条件の導入が試みられている。(1) 素板要素の横断面上の各点は、成形中常に、 X 軸に垂直な同一横断面上にある (図 3 参照)。(2) 帯状の素板要素に発生する内部応力の X 方向の合力は、成形の過程で一定 (スタンド間張力または圧縮力に等しい) である。(3) 素板の幅方向の変形は、幅方向の力の釣合条件を満足する。

上記のごとき拘束条件を満足する素板要素の変形を段階を追って決定し、ひずみ増分・応力増分を次々と求め加算していくことにより素板全域にわたる応力とひずみの分布と推移を求める。実際の計算に際しては、素板要素をさらに幅 (y) 方向に分割し (図 3, 4 参照), 再分割された微小領域内では応力とひずみが一様であるとみなすこともできる。

形状関数 $S(X)$ に含まれるパラメーター n の決定には、エネルギー法を適用する。すなわち、上記の方法により求められる応力・ひずみの各成分の分布及び推移から算出される素板全域の変形仕事率が最小となるように n の値を定める。

図 5 には、上述の解析手順のフローチャートを示す。図 6 には、解析例として、電縫鋼管の成形の際の素板の3次元変形曲面を示す。図 7 には、同時に求められる、素板各位置に発生する長手方向膜ひずみの、成形に伴う推移の例を示す。このような解析結果を用いて、次節以降に示すロールプロファイルの自動設計法やパススケジュールの最適設計法の開発が進められている。

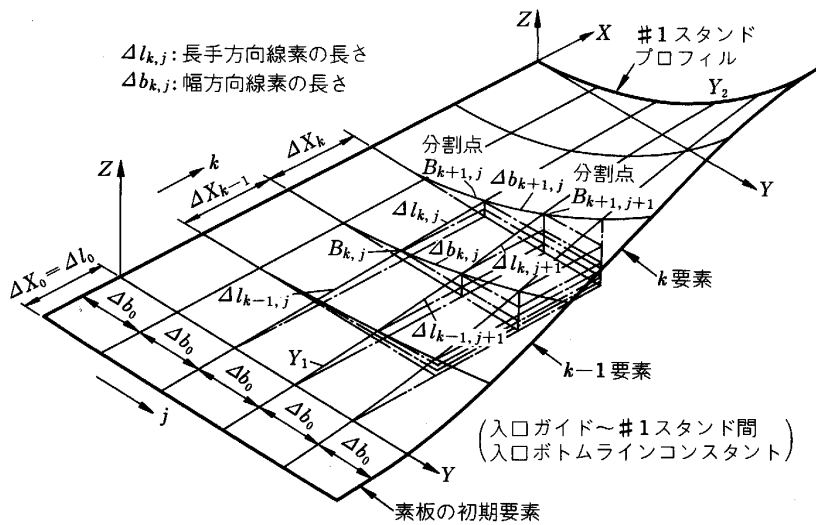


図4 変形曲面に沿う素板要素の変形解析に用いる分割 (入口ガイド～＃1スタンド)

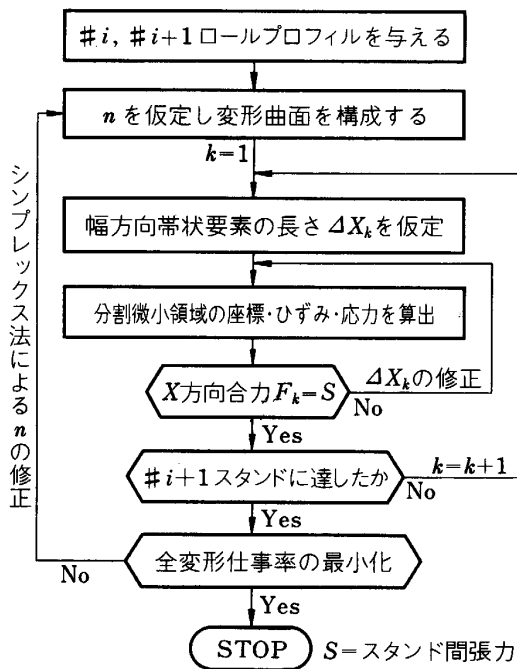


図5 素板の変形挙動の解析フローチャート

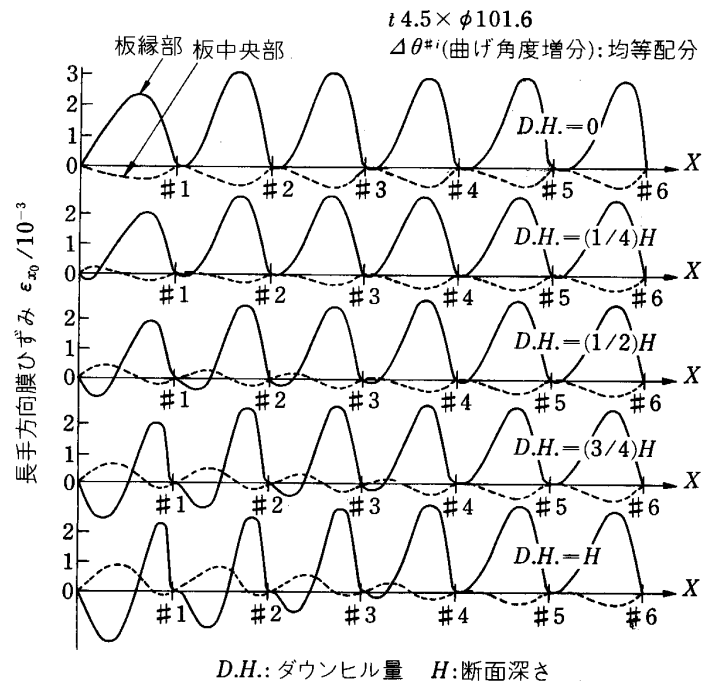


図7 素板に発生する長手方向膜ひずみの推移の解析事例

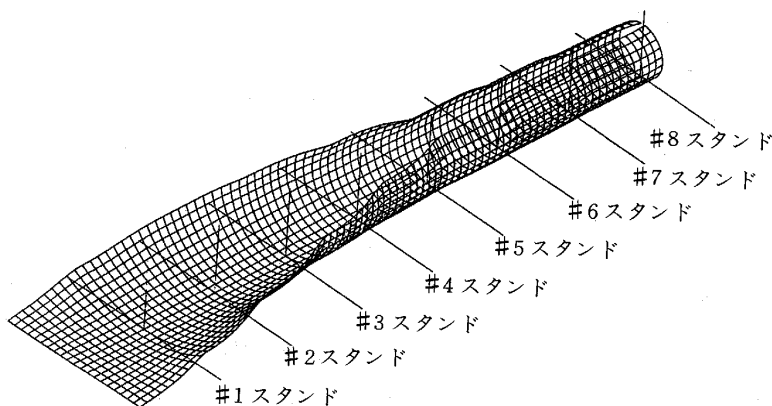


図6 素板の3次元変形曲面の解析事例

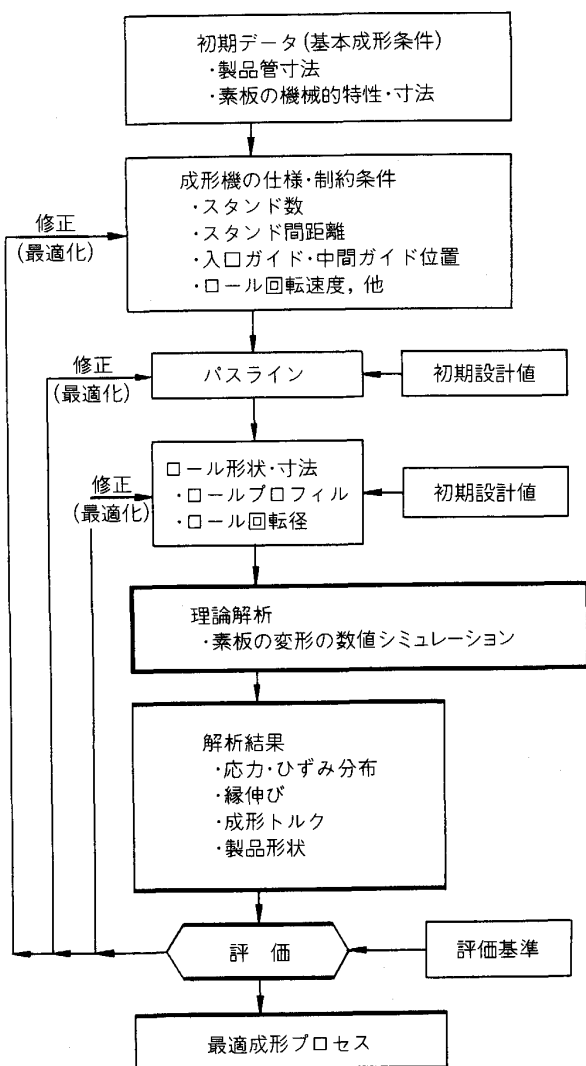


図 8 自動設計システムの構成

3. ロール設計技術・CAD 利用技術の動向²⁾³⁾

上述の素板の変形挙動の解析技術あるいは成形過程の総合的シミュレーション技術の発展とともに、電縫鋼管製造用のロール設計技術も急速な進歩を遂げつつある。従来のロール設計は、文字どおり経験的知識をもとに、試行錯誤の繰返しを通して、所要の鋼管の成形を可能とするロールの形状・寸法を求める作業が行われてきた。そのため、ロールの設計・製作には、多くの時間と労力が投入され、長い間、この分野の技術的隘路となってきた。ところが、近年、コンピューターによる多量の数値情報を短時間に解析・処理する技術、更に製図技術・画像処理技術の急速な開発と応用が進み、いわゆる CAD システムの導入により電縫鋼管製造の分野においても、ロール設計の高速化・合理化が急速に進み、過去の膨大な設計事例や蓄積されたノウハウを有効に活用しつつ、所要の目的を満足するロール形状・寸法を迅速に図面化することが可能となってきた。更に、CAD システムと

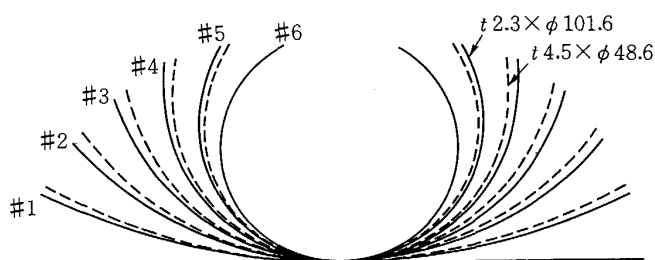


図 9 縁伸びを最小とする最適ロールフラワー設計事例

CAM システムとの連結により、ロール製作の現場も合理化・迅速化あるいは高精度化・高品質化が進み、ロールの設計・製作技術は一変しつつある。

しかしながら、このようなコンピューター支援設計技術の導入も、これが過去の実績データのみに依存し、より高度の技術情報を創成する機能を持たない限り、その展開にはおのずと限界がある。そこで上述の成形過程のシミュレーション技術との連結・統合化が当面の重要な技術課題となっている。この連結・統合化により、CAD システムの機能を単なるドラフティング機能から文字どおりのデザイン機能へとレベルアップすることができる。

前節で紹介した成形シミュレーターを中核とするロールプロファイルの自動設計システムの開発も進められている。シミュレーターによる素板の変形挙動の解析を通して、素板中のひずみや応力の分布状況を検討しつつ、所要の鋼管を安定的かつ精度よく成形するのに最適なロールプロファイルを自動的に設計する手法が開発されており、既に多くの適用事例が報告されている。成形ロールあるいはパススケジュールの自動設計システムの基本的構成を図 8 に、また、この設計システムにより得られた所定の成形条件下で縁伸びの最小化を達成するロールフラワーの例を図 9 に示す。

この自動設計システムは、単に定められたロール(スタンド)段数の下で、所要の条件を満足するロールフラワーの最適形状を求めるばかりでなく、適正なスタンド間隔や必要最少限度のロール段数の決定、素板の材質・寸法・機械的特性あるいは目的とする製品断面形状自体の特性の影響を考慮したパススケジュールのあり方、などの系統的な解析・予測を可能とし、成形機や成形工程の最適設計に極めて有用な情報を迅速に提供する機能を有しており、既に各種の電縫鋼管製造用のロールフラワーの設計等に利用され、既存の設計技術では到達できなかった高機能成形ラインの実現に効果を発揮しつつある。

4. 成形機・成形技術の発展³⁾⁴⁾

これまで広く用いられてきた電縫鋼管製造用ロール成

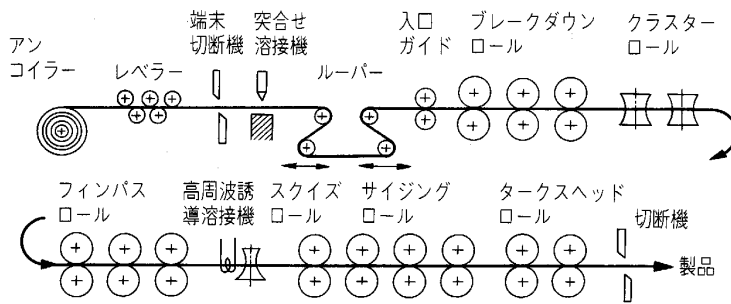


図 10 電縫鋼管の製造ラインの基本的構成

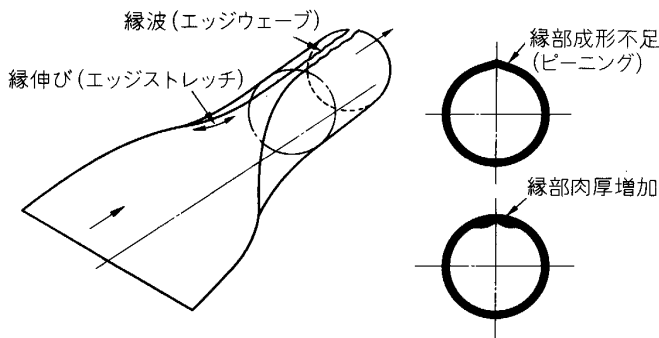


図 11 電縫鋼管の代表的形状不良例

形機（パイプミルまたは電縫管ミルとも呼ぶ）および造管ラインの一般的な構成は、入・出側の諸設備を除いて、入口ガイドテーブル、所定幅の素板を順次円筒状に成形するブレークダウンドerstandおよびクラスタースタンド（4～6 段）、主として突合せ部の形状・寸法を整えるフィンパススタンド（3～4 段）、突き合わせた両縁部を溶接するためのシームガイドおよびスクイズスタンド、高周波電気抵抗溶接機、内・外面ビードカッター、溶接部の局部焼なましを行う高周波誘導電流式シームアニラー、管の定径を行うサイジングスタンド（3～4 段）、矯正加工を行うタークスヘッド（1～2 段）、などからなる（図 10 参照）。このうち、ブレークダウン成形からフィンパス成形までが電縫鋼管のロール成形の中核をなす部分であり、成形時のさまざまな問題が集約されて現れる。

通常、成形過程にある素板に対しては、ロールにより段階的な幅方向の曲げ変形が加えられるばかりでなく、ロール間を通過するごとに長手方向の曲げ・曲戻し変形が加わり、更に、素板各部が異なる空間的軌跡を通して成形されることに起因する長手方向・幅方向の伸び・縮み変形が加わる。すなわち、ロール成形を受ける素板の変形は幅方向に一樣ではなく、各部分ごとに異なる。特に両縁部には成形途中で長手方向の伸び変形（縁伸びまたはエッジストレッチ）が発生しやすく、これが過大になると、円筒状に成形した際に縁部の座屈（縁波またはエッジウェーブ）が発生し、溶接不良の原因となる。

ロール成形加工固有の素板の変形の特徴に起因する問題をも含めて、電縫鋼管の成形時に発生する問題を大別

すると以下ようになる（図 11 参照）。

（1）両縁部の成形不足

ロールによる曲げ成形であるために、両縁部には必要十分な曲げモーメントおよび曲げ加工を補助する力学的拘束を加えることが困難である。その結果、所要の幅方向曲げ変形を十分加えることができず、この部分は成形不足となる。

（2）縁波の発生

上述の縁伸び変形に起因して発生するが、ロールプロフィールやパススケジュールが不適切な場合や肉厚・管外径比（ t/D ）が小さな場合に特に発生しやすい。

（3）曲がり・振れの発生

素板の幅方向各部に発生する長手方向伸び・縮み変形の不均一分布に起因し、特に、 t/D が大きい場合には振れが発生しやすく、突合せ部（シーム部）の空間的位置が一定しないため、溶接不能となる場合がある。

（4）真円度不良

ロール成形加工の特質として、素板各部に加わる変形は一樣ではなく、円筒状に成形された半製品の横断面はさまざまな歪みを有している。適正なフィンパス成形によりある程度の形状修正は可能であり、また後段のサイジング工程による矯正も期待できるが、高真円度を獲得するのは容易ではない。

（5）両縁部の増肉

両縁部の形状・寸法を修正するためにフィンパス成形が行われるが、フィン形状や外径リダクションが適正でない場合には、両縁部とその近傍の増肉を招き、溶接部の形状やメタルフローの不整の原因となる。

このような形状不良の発生を防ぎ、素板の滑らかな変形と安定した操業を達成し、併せて成形機・成形ラインの合理化並びに高生産性を実現するために、各種の技術的改善と新成形技術の開発が進められているが、以下にブレークダウン成形からフィンパス成形に至る過程に限定して、主たる動向を述べる。

4.1 ステップファンクションミルの利用技術の高度化³⁾

ブレークダウンロール・クラスターロール・フィンロールを用いて段階的に成形を進める従来型の成形機（ステップファンクションミル）（図 12 参照）には、さまざまな

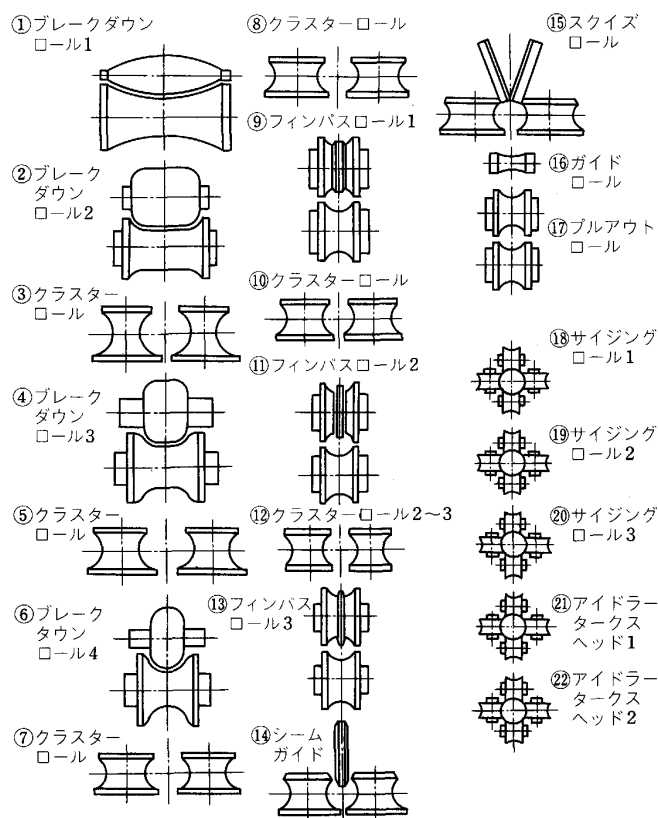
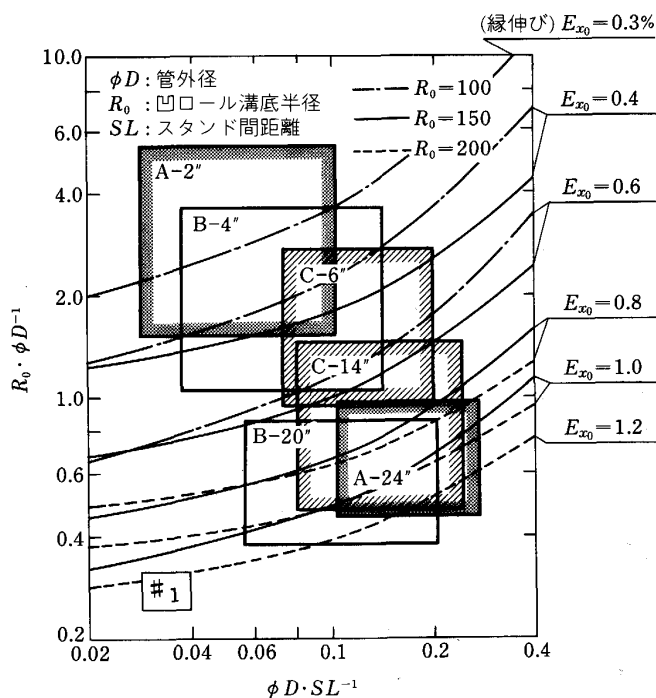


図 12 ステップファンクションミルのロール構成 (例)

図 13 管外径 (ϕD), 凹ロール溝底半径 (R_0), スタンド間距離 (SL) の組合せと縁伸びの管理目標許容値 (ブレイクダウン #1 スタンド)

機能上の制約があり、上述の各種問題に必ずしも十分対応できない面もあるが、現状では最も多く用いられており、その利用技術の高度化を促進することは、依然として極めて重要な課題である。この成形方式に対しては、前節で述べたシミュレーション技術および設計技術の応用が積極的に行われるようになり、各スタンドに配置するロールのプロファイルおよび回転径・スタンド間隔・パスライン等を最も望ましい組合せにすることにより、従来期待できなかった高品質鋼管の成形も可能になりつつある。シミュレーション技術の利用により、既存のミルやパススケジュールの診断と改善も適確に行い得ようになり、成形可能な鋼管寸法範囲の拡大や生産性向上に大きく寄与している。図 13 には、既存の成形ラインを対象とする一連のシミュレーションにより得られた鋼管寸法・ロール径・スタンド間隔等の成形条件と安定した操業を実現するための縁伸びの管理目標範囲との関係を示す。このような技術情報の整備とともに、ステップファンクションミルの利用技術はなおいっそう高度化することが期待できる。

4.2 ケージフォーミング法の拡張⁴⁾

ステップファンクションミルによる鋼管成形の最大の問題点は、素板縁部が各ロール間を通過するごとに描く軌跡が、スタンド間での弾性回復変形の影響もあって、他の部分の軌跡に比較して長く、したがってこの部分に張力が加わり、加えてその際にロールに巻きつき、巻き戻され、長手方向の曲げ・曲戻し変形が繰り返し加えられることにより、縁伸びが助長され、縁部の形状不良や長手方向の曲がり・振れを誘起しやすいことにある。そこで、ブレイクダウン成形からフィンパス成形に至る過程に、小径のロール (平ロールまたはバレルロール) を多数配置して素板の変形曲面を望ましい形状に拘束しつつ成形し、縁部を含めて素板の流れをできるだけ滑らかにかつ単調な流線 (軌跡) を描くようにして、縁伸びを極力抑制することを目指すケージフォーミング法が提案

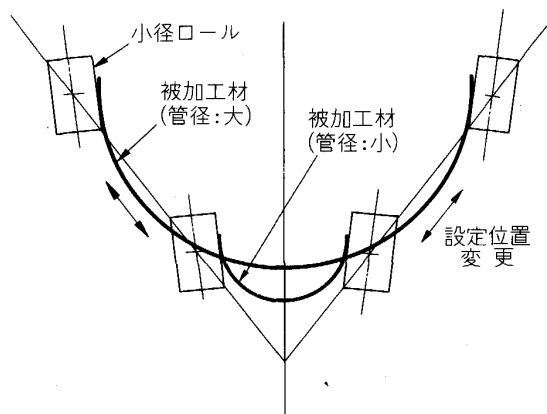


図 14 ケージフォーミング法, リニアフォーミング法, TCA 法における小径ロール使用法原理図

され広く用いられている (図 14 参照)。

この成形方式は、素板の変形曲面形状の制御のみならず、一群の小径ロール (ケージロールと呼ばれる) の設定位置を一括して変更する機構を組み入れることにより、初期ブレイクダウン成形からフィンパス成形に至る中間過程については、ロール組替え無しに多サイズの鋼管の成形を可能とし、成形機・成形工程の合理化をも目指している (図 14 参照)。衆知のように、中径以上の電縫鋼管の製造に関しては、ロールコストの負担は大きな問題であり、また、ロール寸法自体も大きくなるため、組替えに要する労力・時間も深刻な生産性阻害要因となっている。

このような意味から、ケージフォーミングミルは、当初、中・大径鋼管用成形機として導入が始められたが、ケージロールの形状、配置、支持方法および設定位置の変更機構などに改良が加えられ、形式の異なる数種類のミルが開発され、その利用範囲は拡大しつつある。

現在稼働中のケージフォーミングミルとしては、(1) エッジベンディングロールおよび1スタンドのブレイクダウンロールを備え、その後はフィンロールに至る全成形過程をケージフォーミング方式とするいわゆるフルケージフォーミングミルと、(2) 数スタンドのブレイク

ダウンロールを備え、それらの間を一群の小径ロールを装備したケージを用いて連結するセミケージフォーミングミルとがある (図 15 参照)。前者は、構造的には簡素化されているが、調整機能に劣り、各種の鋼管の成形に際して、多数のケージロールを望ましい位置に設定することが難しい面がある。後者は、複数組のケージを用いるため、個々のケージ内でのロールの位置調整は容易であり、鋼管サイズの変更に際してきめの細かい対応が可能である。

4.3 新しい成形法・成形機の開発

近年、上述のケージフォーミング法の考え方を更に拡張した成形法および成形機の開発が行われている。その代表的な事例として、リニアフォーミング法 (同ミル) と CTA 法 (同ミル) がある (図 14 参照)。

リニアフォーミング法は、ブレイクダウンロールにより素板中央部の曲げ成形を開始した後、その両縁部には積極的な曲げ加工を施さないままに、ケージフォーミング法と同様に、左右支持ブロック上に配置した一群の小径ロール (平ロール) を用いて、中央部の曲げ成形を促進し、概略 U 形に成形された半製品をフィンロールに導き、フィンロールによる圧下成形により、この段階で両縁部の曲げ成形を行いつつ全体を円筒状に成形するこ

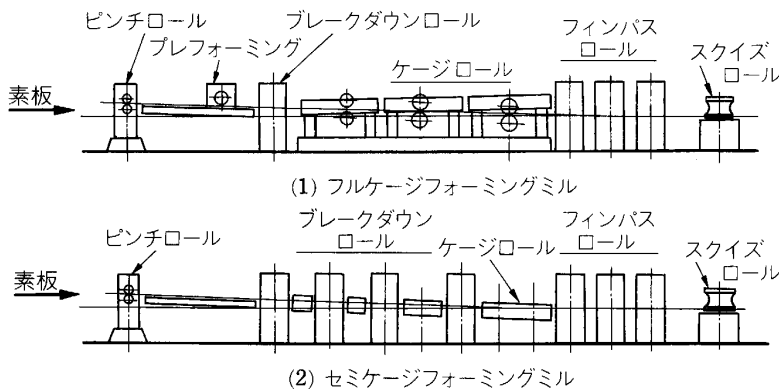


図 15 ケージフォーミングミルの基本的構成

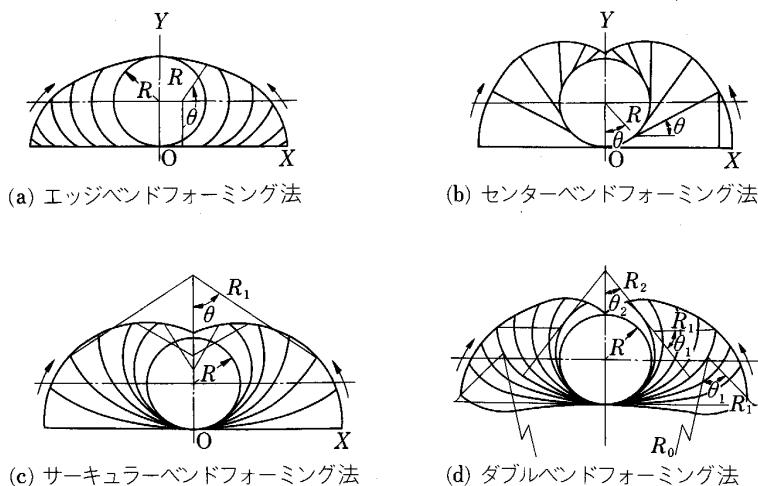


図 16 電縫鋼管の基法的な成形方式

とを特徴としており、いわゆるセンターベンドフォーミング法の一種と考えることもできる (図 16 参照)。

リニアフォーミングミルは、フルケージフォーミングミル以上に簡素化した構造を有し、ブレイクダウン成形過程におけるロールの兼用化を実現すると同時に、ロール位置調整の簡易化による操業性の向上をその最大のセールスポイントとしている。しかしながら、素板の変形の円滑化・安定化の面からみるといくつかの問題があり、特に、フィンロールのみによる素板両縁部の圧下成形を指向しているため、この過程での急激な縁伸びの発生とそれに伴う成形の不安定化を招きやすく、 t/D が小さい鋼管の成形に際しては縁波が多発し、ほとんど操業に耐えられないこと、また t/D が大きい範囲では、縁部の成形不足と併せて成形中の素板の振れ (揺動) が発生しやすく、同じく成形が安定しにくいことが指摘されている。

CTA 法は、3~4 段のブレイクダウNSTANDの間を、それぞれ左右対をなしかつ 3~5 個の小径ロールを装備した支持ブロックで結び、ブレイクダウンロールとその間を結ぶ支持ロール群により、素板を半円状または半楕円状断面を有する半製品に成形しつつフィンロールに導き、フィンパス成形により最終的な円筒状に成形することを特徴としている。この方式は、図 16 に示すサーキュラーベンドフォーミング法かつ既述のセミケージフォーミング法に対応しているが、成形機の構造は大幅に簡素化されており、また、ブレイクダウンロールは兼用化されている。特に、製品管外径の変更に際して、ブレイクダウNSTANDの左右に分割されている兼用凹ロールの位置変更と中間の支持ロール群の位置変更とが同期して行える機構を有しており、その分だけ操業性が改善されている。TCA 法の適用事例はまだ少なく、その評価が定まるには時間を要するが、これまで説明してきた他の成形法あるいは成形ミルと比較して、成形機能や操作性の面で決定的な利点を備えているとは言いがたい。

4.4 数値制御成形機の開発

ステップファンクションミルから CTA ミルに至る一連の成形機の発展の流れは、成形ロールあるいは多数の支持ロールを用いて、成形中の素板の 3 次元変形曲面形状をそれに沿う素板の流れができるだけ滑らかになるように拘束し、縁伸びの発生を抑制して成形の安定化を図ると同時に、ブレイクダウン成形過程におけるロールの兼用化およびロール交替時間の削減を実現しようとするものである。その目的はある程度達成されたが、製造品種の変更に伴うロール位置の変更および調整は依然として人力に依存しており、また、各成形方式は必ずしも素板の変形挙動に関する適確な理解に基づくものではなく、成形機能の柔軟性の面から見ると、多くの問題が残されている。

このような状況下において、ブレイクダウン成形にお

けるロールの兼用化と成形機能の向上を期待し得る高機能成形ロールの開発とロール設定位置の数値制御化を実現した新しい成形方式が開発された⁵⁾。フレキシブルフォーミング法 (FF ミル) と呼ばれるこの成形方式は、ロールプロフィールにインボリュート曲線を導入してプロフィール上の各点に連続的に変化する曲率分布を付与すると同時に、ロール設定位置を数値的に制御することにより、成形上最も望ましいと考えられるロール部位を最も望ましいと考えられる素板部位に選択的に当てて、素板の滑らかな変形と精度の高い成形を実現しようとするものである (図 17 参照)。成形機のロール構成は、両縁部を優先的に成形するエッジベンディングロール (1 段)、兼用ブレイクダウンロール (1 段)、フレキシブルロール (4~6 段)、フィンロール (3~4 段) からなり、兼用ブレイクダウンロールおよびフィンロール以外には、上述のインボリュートプロフィールを有するロールが用いら

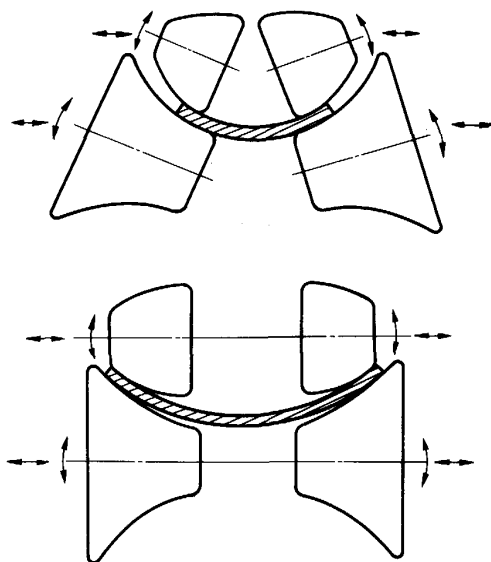


図 17 ロール設定位置の数値制御概念図 (フレキシブルフォーミング法の基本的考え方)

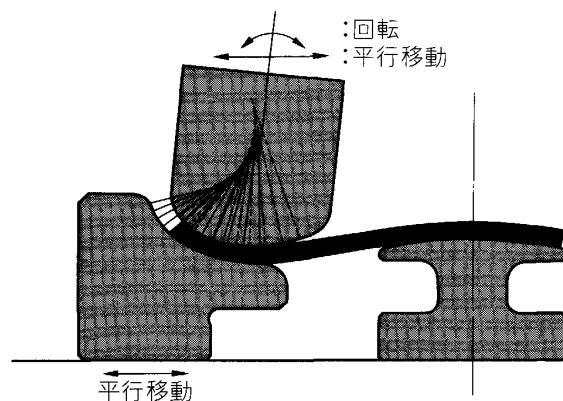


図 18 FF ミルのエッジベンディングロールの構成

れ、また各スタンドには、ロール位置およびロール軸角度を任意に変更できる機構と数値制御装置が組み込まれている(図 18 参照)。

この成形方式は、製品管寸法のみならず素板の機械的特性にも合わせて、用いるロールプロファイルの曲率と素板に加える変形の程度および拘束の形態とを任意に選択できるという意味から、高い成形機能と柔軟性を有しており、それ以前の成形方式と比較して、新しい世代の成形技術と言うことができる。既に、数台の FF ミルが使用に供されているが、その本質的に優れた機能にふさわしく、高品質の鋼管を安定して生産することに成功しており、操業性にも優れていることが実証されている。

5. 結 言

本稿では、電縫鋼管のロール成形技術の現状、特に、ブレイクダウン成形過程における素板の変形挙動の特質や問題点をふまえて、対応する成形理論、シミュレーション技術、ロールおよびパススケジュールの設計技術、各種の成形方式や成形機に関する動向と課題について概説した。電縫鋼管の成形については、素板縁部の曲げ成形を効果的に行うエッジベンディングの方式、その際望まれるロール、およびスタンド構造、円筒状に成形後の断面の真円度並びに突合せ部の形状・寸法精度の向上のためのフィンロール形状およびフィンパススケジュール、安定かつ健全な溶接を達成するために要する溶接条件およびその制御技術、製品管寸法・形状の改善を効率的に実現するサイジング工程のあり方、など議論すべき点は多々残されている。その他、角形鋼管や異形鋼管の製造技術、ロール成形と各種プレス加工等を組み合わせた複合成形法による電縫鋼管をベースとする各種管状製品の製造技術、等についても多様な技術開発・製品開発が進められているが(図 19 参照)、紙面の都合上、いずれ稿を改めて紹介したい。

総じて、電縫鋼管のロール成形技術は着実な進歩を続

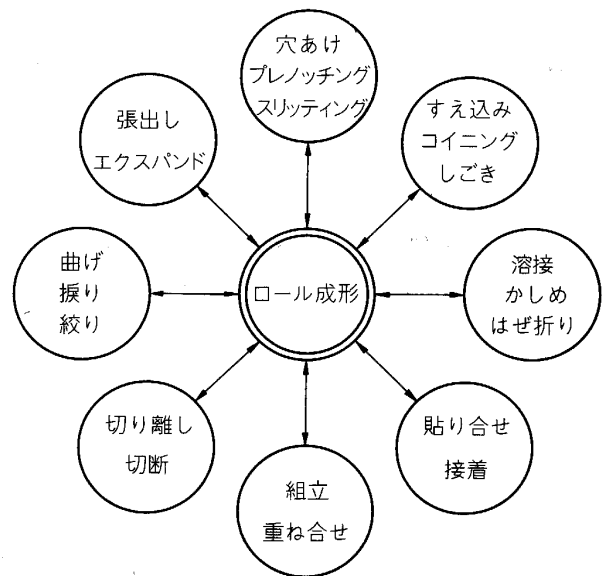


図 19 ロール成形加工の複合化概念図

けており、材質面からみた製品の高強度化、寸法精度の高度化などを中心とする製品品質の向上、極厚肉化あるいは極薄肉化など製造可能な製品管寸法範囲の拡大、ロールの兼用化や成形機の数値制御化などを含む成形プロセスおよび操業の合理化・省人化、各種加工技術との有機的結合による成形ラインの複合化、などが今後共推進されるものと考えられる。

文 献

- 1) 木内 学: 日本の塑性加工(日本塑性加工学会編)(1986), p. 674
- 2) 木内 学: 塑性と加工, **27** (1986), p. 874
- 3) 木内 学: 塑性と加工, **28** (1988), p. 49
- 4) 木内 学: ロール成形(日本塑性加工学会編)(1990), p. 131 [コロナ社]
- 5) T. NAKATA: Proc. ITA Conference "TUBE 89" (1989), No. 8917