

プログラマブルコントローラ冷間ロール成形機械の製作

拓殖大学工学部 機械システム工学科
教授 小奈 弘

(平成15年度研究開発助成 AF-2003003)

キーワード：長尺異形断面材，サーボ制御冷間ロール成形，ラダープログラム

1. 研究の目的と背景

建築・土木用部材が冷間ロール成形機械によって工業的規模で生産されたのは今から70～75年前である。本技術が日本に導入されて本格的操業にはいったのは終戦後である¹⁾。日本の鉄鋼各社は鉄の平和利用の販路を軽量形鋼材に求めたことが飛躍的發展につながるが、これも戦災で焼け野原になった日本の家屋を何とかしなければという当時の建築家の熱い思いが後押ししている。しかし、当時の薄鋼板の性質は粗悪であり冷間ロール成形は容易でなかったようである。

1975年(1年位い前後するかも知れない)に日本塑性加工学会にロール分科会が発足した。本ロール分科会は大学、各研究機関、各企業が一体となってロール成形における成形上の特性、材料と形状欠陥、計測、解析などに取り組んだ。特に、1990年代には廉価なマイクロコンピュータの出現により計測技術の質的向上、および、解析技術が著しく発展した。また、ロール成形の命とも言うべきロール金型設計の自動化、大径パイプ成形にコンピュータ制御を導入した高性能造管機も出現した。

このように、過去20年位の間に著しくロール成形技術は進歩・発展したが、これはロール成形以外の塑性加工の分野においても見られることである。この最大の理由はコンピュータ技術、サーボ技術、制御技術などの技術を生産加工に取り込む技術革新が始まったためと考える。具体的には、加工中に素板に生じる曲げ、ねじり、引っ張り、圧縮などが混然としていた従来の塑性加工法に対して、上記の技術を導入すれば曲げ、ねじり、・・・などを単独に

働かせながら加工ができる。このため、従来は成形不可能であったものも、この方法によれば加工できるようになった。当然のことながら、新製品開発、製造時間・コスト削減などが計れた。

著者はロール成形によって製品長手方向に断面の高さ/幅が異なる長尺異形断面材を製造するロール成形技術の開発研究を着手し、ロール成形分野の技術革新に参画することを目指している。

具体的には、現在、実生産で使用されている冷間ロール成形機械による一定断面形状材の連続的曲げ加工法に対して、本研究は冷間ロール成形スタンドをコンピュータ制御によって位置、角度を変えながら製品長手方向に断面の高さや幅の異なる長尺異形断面材を成形することを目的としている。当然、素板は予め目的の形状が得られるブランク材にスリットされている。本研究では長尺異形断面材を製造するためのプログラム制御冷間ロール成形装置の開発、コンピュータ制御のためのラダープログラムのプログラミング、ブランク材を製造するためのプログラム制御スリッターロールスタンド装置の開発、および、これらの装置によって得られた実験結果について記している。

2. プログラム制御冷間ロール成形機械

2-1 製品形状および成形工程

図1は製品長手方向に断面の高さや幅が異なる長尺異形断面材の概略図である。(a)は角パイプの高さが周期的に変化する異形角パイプである。(b)は断面の高さが変化

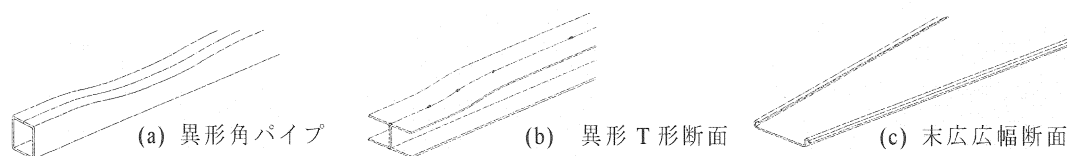


図1 各種長尺異形断面材

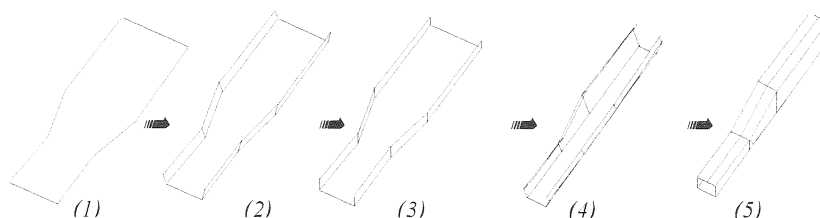


図2 异形角パイプの成形工程概略図

する異形 T 形断面材である。これは、断面の幅が変化する溝形断面のウェーブ部を腹合わせにして溶接したものである。(c)は断面の幅が広がる末広幅断面材である。

これらの断面材は建築材、自動車・航空機・車輛用部材としての利用が望める。この理由は必要部分の強度を高めることが可能であるほか、材料不要部分の断面幅/高さを減少できるため重量軽減が図れることである。また、断面(c)の場合は円形屋根やカーブ状屋根の施工などに使用が可能となる。

図 2 は (a) の異形角パイプの成形工程概略図である。(1)はブランク材である。(2),(3)はブランク材の板縁に沿って一定幅を保ちながら 90 度の曲げ起こし成形を行っている。(4)は通常の冷間ロール成形機械による C 形成形である。(5)は C 形成材の板縁を溶接するという工程である。図 2 の (1)は本研究で開発したプログラム制御スリッターロールスタンド装置で行うか、あるいは、レーザ切断装置で行うことができる。ブランク材が長尺になるとレーザ切断装置は無理であり、プログラム制御スリッターロールスタンド装置が必要となる。(2),(3)の板縁成形はプログラム制御冷間ロール成形機械で行った。

2-2 プログラム制御システムの構想²⁾

図 3 はプログラム制御システムユニットの構想概略図である。①はブランク材の送り速度を検出するロータリエンコーダ、②はサーボモータの駆動制御をマイクロコンピュータで行う中央演算処理装置(CPU)と記憶装置を内蔵した FA 用の制御装置からなるプログラマブルコントローラ(PLC)である。③は冷間ロール成形機械を搭載した回転円盤をブランク幅方向に移動させるためのアクチュエータである。④は③を駆動させるためのサーボモータである。⑤は③を回転させるためのサーボモータである。

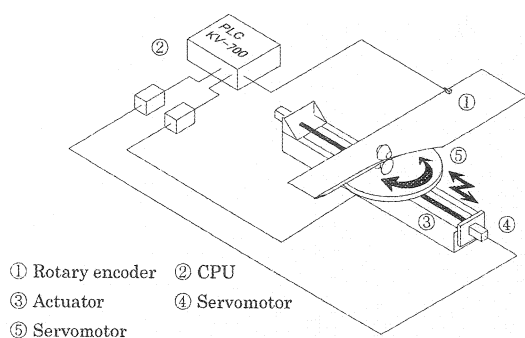


図 3 プログラム制御システム構想図

2-3 プログラム制御冷間ロール成形機械

図 4 は単段のプログラム制御冷間ロール成形機械である。本実験で用いた素板板厚は 0.5mm であるためロール曲げ角度配分は 30°, 45°, 60°, 80°, 90° である 5 組のロールを用意した(スタンドは 1 段であるため成形の度

にロールチェンジを行った)。図示のように上下のロールハ平歯車で連結させ、これを 1 台のインダクションモータで駆動した。

本スタンドの設計で重要な点は、送られてくるブランク材の板縁曲線とロール軸とが常に直角になるようにスタンドの向きを制御することである。このような設計条件を満足しながらブランク板縁を曲げ起こすためには、成形スタンドのロール軸は片持ち支持の構造でなければならない。当然、ロール直径は小径であることが望ましい。

本装置の運転にはプログラム制御用ラダープログラムのプログラミングが必要である。これは冷間ロール成形機械を搭載した回転円盤を板幅方向に移動させると共に、スタンドの向きを変える回転機能を備えた 2 軸の制御をブランク材の移動速度に同調させることを予めプログラミングしておくものである。

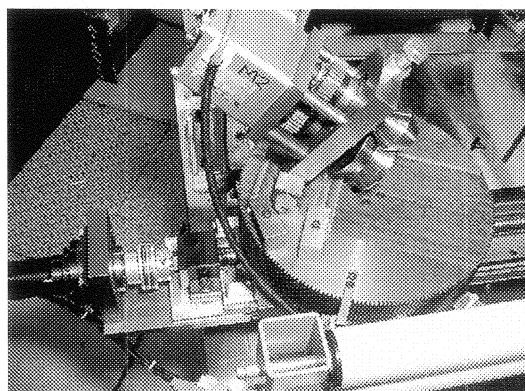


図 4 プログラム制御冷間ロール成形機械ユニット

3. プログラム制御スリッターロールスタンド

3-1 プログラム制御スリッターロールスタンドの構造

長尺の帯板からブランク材を製造するにはレーザ切断装置には限界があることからプログラム制御スリッターロールスタンドの開発を行った。図 5 は上下スリッターロールを独立駆動するスリッターロールスタンドである。これは図示のように上下のスリッターロールと駆動モータを保持するボックスを図手前の菱形ブロックで連結している。本装置を図 3 の回転円盤上に取り付けることによって鋼板の自由曲線切断を行う。

本装置の特徴は切断された帯鋼板は菱形ブロックの上下に別れて分離されるため帯鋼板の幅がいくら広くても切断が可能であること、鋼板を自由曲線に切断するためスリッターロールの形状は円錐形状をしていること、および、曲線形状はプログラミングによって自由に変えられるなどである。

3-2 ラダープログラミング

図 6 はプログラム制御スリッターロールスタンドの板

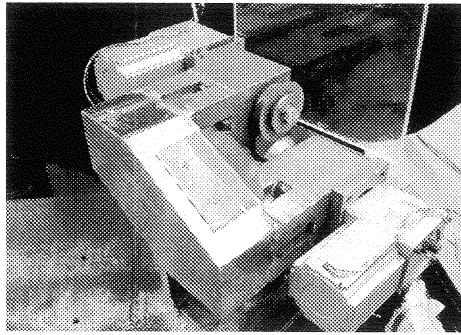


図5 プログラム制御スリッターロールスタンド

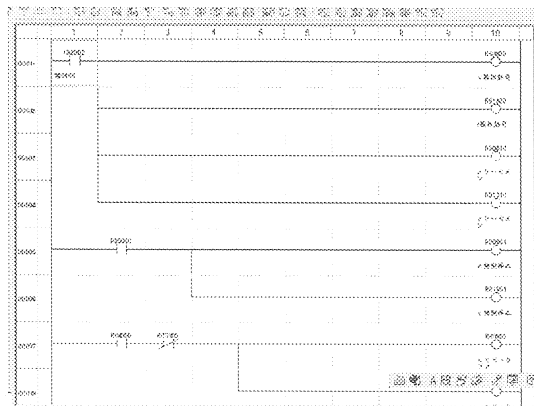


図6 スリッターロールスタンド制御ラダープログラム

幅方向への移動, および, 回転の2軸制御を材料の送り速度と同調させながら切断を行うためのプログラムである. 本装置の運転は, まず, 本プログラムを図3のPLCに転送させる. 次に切断する形状, たとえば, sin曲線状に切断する場合は図3のアクチュエータの座標位置, 移動・回転速度, 同期パラメータなどの各値をモーションビルダーに入力して, これらの値もPLCに転送するという操作手順で行った.

4. 実験結果および考察

4-1 プログラム制御冷間ロール成形機械による成形

(A) 本実験の主要調査項目は次のようである.

- 1) ブランク材の形状に冷間ロール成形機械が追従するか.
- 2) 長手方向に直線である従来のロール成形に対し, これが曲線になった場合に生じる問題点.
- 3) 上記(3)の曲線板縁成形に対する blanks 形状と成形限界・形状欠陥. などである.

図7は上記事項を実験で確認するために製作した blanks 材の形状と各部の寸法である. 本 blanks 材はなだらかな sin 曲線状をしている. この曲線板縁から $H=17\text{mm}$ の線上を一定幅保持で曲げ起こす実験を行った. なお, 本実験の blanks 材はレーザー切断したものをを用いた.

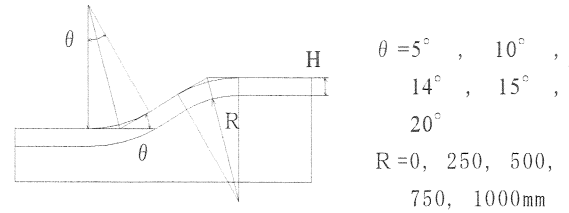


図7 実験用 blanks 材の形状と寸法

(B) blanks 凹凸部の曲率半径の影響について

曲率半径 $R=0\text{mm}$, $\theta=5^\circ, 10^\circ$ である blanks 材の成形はロール成形機械が blanks 板縁にそって動く. しかし, $\theta=15^\circ$ では成形機械は blanks 板縁形状通りには動かない(図8). 一方, 曲率半径 $R=250\sim 1000\text{mm}$ である blanks 材の成形は $\theta=20^\circ$ の場合も成形可能である. なお, blanks 材が凸である部分を成形すると R, θ の値にかかわらず縁波が発生する(図9). 凹部では縁波を発生しない. また, 平らな部分であるウェブ部は blanks 材の凹凸部に当たる部分でゆがみを生じる. なお, 図9に示すようにフランジ幅が図左側で広がっているが, これはアクチュエータの取り付け位置を調整することによって直った.

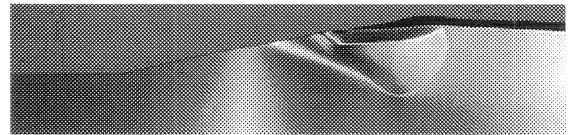


図8 blanks 材($R=0$)と形状欠陥

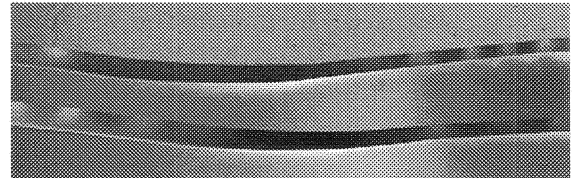


図9 blanks 材($R=250\sim 1000\text{mm}$, $\theta=20^\circ$)と形状欠陥

(c) blanks 角度 θ の影響について

曲率半径 $R=750\text{mm}$ を一定にして θ の値のみを $\theta=10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ に変化させた blanks 材の成形実験では, θ の増加はフランジ縁波を多く発生させると言う結果を得た(図10).

(d) 縁波の発生機構についての考察

図11は幅が変化している薄紙を紙の縁に沿って一定幅で曲げ起こしている折り紙模型である. 図のようにうまく折り曲げられているのは紙幅が変化する箇所にハサミを入れたためである.

図示のように紙幅が狭くなり始める箇所(凸部)では折り曲げられた部分は重なり合う. しかし, 逆に狭い箇所から広くなる箇所(凹部)では隙間ができる. 上記の実験に

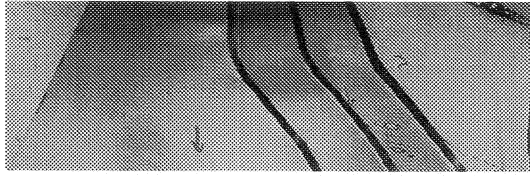


図 10 ブランク材 ($R=750 \text{ mm}$, $\theta = 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$) と形状欠陥



図 11 折り紙模型による形状欠陥の考察

において、ブランクの凸部でフランジが座屈したのは折り紙模型の紙の重なりで生じていると考えられる。また、ブランクが凹、凸になる部分ではフランジがゆがむが、これも折り紙模型から、フランジ凸部が重なって圧縮力が働くとき、これと釣り合う形でウェブ部に張力が働く。一方、フランジ凹部が開いて張力が働くとき、これと釣り合う形でウェブ部に圧縮を働く。結局、このような圧縮・引張りが平板部分に作用するために鋼板はゆがむものと考えられる。また、フランジの座屈は折り紙模型の重なり合う部分が多いほど大きくなると考えられる。これは、凸部におけるフランジ先端の周長を求めると $(R+H)\theta - R\theta = H\theta$ になる。これよりフランジ高さ H 、ブランク角度 θ を少なくともすれば座屈の発生は減少できると考えられる。しかし、これは設計値で与えられものであるために、この変更は最後の手段である。結局、ロール曲げ角度組み合わせ、ロール調整によって座屈の発生を抑えなければならない。

4-2 プログラム制御スリッターロールスタンドでの曲線切断

(a) サイザータイプのスリッタースタンド

図 5 に示すように上下スリッターロールを菱形ブロックで連結する本タイプのスタンドは“裁ちばさみ”からヒントを得たものである。すなわち、菱形ブロックは裁ちばさみの左右の刃を留めるピンに相当している。図 12 は本スリッターロールスタンドで切断された製品である。図示のように切断面に座屈波が発生している。この理由として考えられることは、スリッターロールで切断された製品の進行を菱形ブロックが妨害するために切断口近傍には製品進行方向の圧縮が働くためであるという考え、もう一つは、スリッターロールの形状が円錐形状をしているために切断時に材料にねじれを与える結果、材料に伸びを生じさせるという考えである。実験的に前者の考えを確認するために菱形ブロックの位置をスリッターロールから現状より 0, 30, 60mm 遠ざけてスリットした。この結果、縁波の波高さと波周期の積で定義した縁波

量を切断 sin 曲線の曲線形状で整理した結果、sin 曲線周期のピッチが短いものほど菱形ブロック位置を離すと縁波は減少することがわかった。

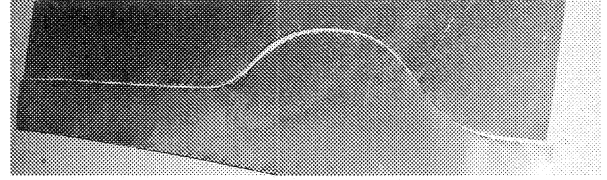


図 12 プログラム制御スリッターロールスタンドでの切断例

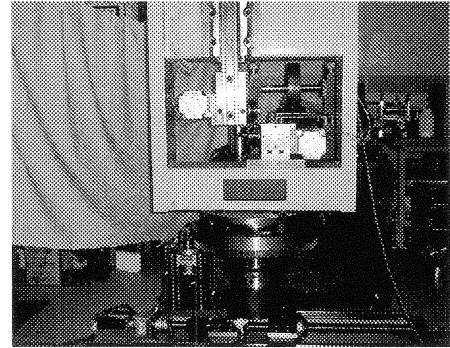


図 13 フレーム型プログラム制御スリッタースタンド

(b) フレームタイプのスリッタースタンド

上記の実験から、材料の進行を妨げる障害物が無ければ縁波の発生が抑えられることが考えられる。この考えに基づいて製作したのが図 13 のスタンドである。図示のように上下のスリッターロールハウジングは上下のフレームとバーに固定している。本装置は上ロールの上下移動が可能であるため上下スリッターロールクリアランスを任意にセットできる。本実験装置による切断では縁波は発生しなかった。

4. 結論

断面の一部が太い、あるいは、細いなどのパイプ材、折り曲げ断面材は自動車業界などで使用されている。これらの成形技術はもっぱらハイドロフォーミングである。本研究では、これをコンピュータ制御冷間ロール成形機械で成形する機械の試作を行って実験を行った。この結果、成形の可能性が高いことを確認した。現時点では単段成形であるが、これをタンデムのプログラム制御冷間ロール成形機にすることが今後の課題である。

5. 謝辞

本研究は天田金属加工機械振興財団の研究助成によって行ったものである。ここに記し、厚く感謝いたします。

参考文献

- 1) 小奈弘：軽量形鋼成形技術，(2005)，コロナ社
- 2) 小奈弘：第 54 塑加連講演論文集，(2003)，67-68，