

7 薄板の逐次曲げ加工 (第1報)

安部重毅, 岡野 仁, 岩谷 稔

Incremental bending of thin sheet

ABE Shigeki, OKANO Hitoshi and IWATANI Minoru

Conventional sheet bending machines can only bend along a straight path at a fixed angle. So, we propose a method of bending with a high degree of freedom with only one bending device, such as incremental processing, by adopting a method of changing bending areas while gradually bending.

This bending device consists of a convex type and a concave type bending tool, and the bending angle can be controlled by how much the convex type bending tool is pressed into the concave type one. Also, by controlling the position of the thin sheet, it is possible to change the part to be bent, so it can be bent along the curve path.

In this way, since the bending angle and the bending position can be freely changed, it can be expected to be applied to anti-springback measures and additional processing of the undercut part.

キーワード：逐次成形, 曲げ加工, 薄板板金解析

1 緒 言

薄板板金成形では、プレス成形が主流であるが、金型の製作費は高く、製作期間がかかることから金型レスもしくは金型数削減の要望がある。それに対し、インクリメンタル加工やスピニング加工といった個別の金型を使わない“逐次成形法”がある。これは、汎用工具で張出し等の局所加工を行いつつ、薄板の加工部位を移動させることで、多様な形状に成形する方法である。

本研究では、汎用工具にて局所的に“曲げ”加工を行いつつ、加工部位を移動させる“逐次曲げ加工”を提案する。本手法は既存加工機に比し、曲げ角度や経路を変更でき、自由度の高い加工ができる(図1参照)。また、プレス後のパネルに局所的に曲げ加工を付与できるならば、スプリングバックやキャラクタラインへの矯正や、アンダーカット部位への追い加工の用途も期待できる。

本手法は既存の知見がない新技術であることから、曲げ角度は任意に変更できるが、①曲げ経路は直線経路、②被加工ワークは変形抵抗の少ない薄板金属材料とし、加工条件の難易度を下げた初期検討を行う。

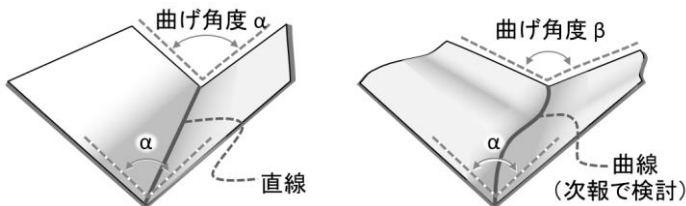


図1 従来の曲げ加工(左)と逐次曲げ加工(右)

2 逐次曲げ加工機の検討

従来のベンディングマシンでは、一組の凸凹の曲げ型を被加工ワークとなる薄板を挟むように上下にセットし、一方の曲げ型を他方に押し込んで三点曲げを行う。短時間で品質の高い加工ができる反面、曲げる角度は曲げ型の形状に依存し、曲げ中心を結んだ線は直線に限定される。

この課題に対して、筆者らは、図2に示す押込側と受け側の曲げツールを用いて、局所的な三点曲げを順次行うことで三次元的な曲げ加工を行う逐次曲げ加工を提案する。

当該成形では、被加工ワークを押込ローラと受けパッドで挟み、押込ローラを押込むと、受けパッドが下がるとともに、クランク機構により肩ローラが上がり、押込ローラと一对の肩ローラにて三点曲げが始まる。

図2右図のように押込み量を増やせば、肩ローラがさらに上がり三点曲げの角度を深くできる。適切な曲げ角に制御しつつ、被加工ワークの位置・姿勢を制御することで、曲線に沿った三次元的な曲げ加工が可能になると考える。

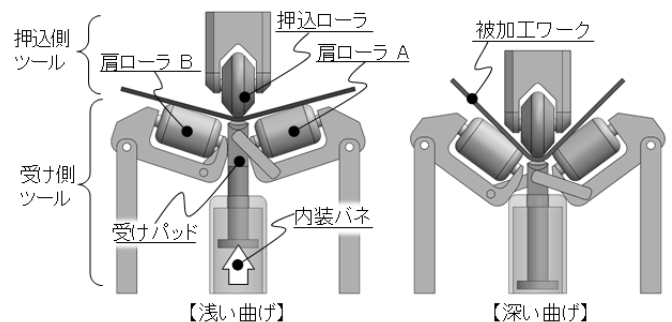


図2 提案する曲げツールの機構

提案する逐次曲げ加工により、三点曲げ成形の可否を検証する。ここでは、次の手順にそって研究開発を進める。

- (手順1) 薄板板金解析による事前曲げ評価
- (手順2) 曲げツールの設計・試作
- (手順3) 被加工ワークや押込側曲げツールの位置制御を行う曲げ機的设计・試作
- (手順4) 曲げ加工のトライアル

本加工は、被加工ワークの全周囲を抑えて曲げ治具を押込むことを想定しないため、プレス成形のような複雑形状の成形はできないが、低加圧力の機器構成で加工ができる。

2.1 薄板板金解析による事前曲げ評価

曲げツールを試作する前に、次項目について薄板板金解析による事前の曲げ評価を行った。薄板板金解析のソフトはPAM-STAMP (ESI 製) を使用した。

- ・提案する曲げツールにて三点曲げの実現可否の判定
- ・成形上の不具合の洗い出し
- ・加工時における押込ローラに必要な押込み力
- ・加工時における被加工ワークの搬送に必要な力
- ・加工経路の違いによる曲げ品質への影響 など

本解析で使用する曲げツールモデルは、被加工ワークに接触する部位のみモデル化し、剛体のシェル要素とする。被加工ワークは、幅 120mm×奥行 250mm×厚み 1mm の軟鋼板とする。要素サイズは初期 5mm のシェル要素とし、解析中に最小 1.25mm まで細分化する。

加工前状態では、曲げツールモデル間に被加工ワークモデルを配置する。本解析では、押込側曲げツールモデルの押込み方向への強制変位と、被加工ワークモデルの平面内での強制変位により、解析内で加工の様子を再現する。

解析内での曲げツールモデルの変形挙動を図3に示す。押込側曲げツールモデル(押込ローラ)を下向きに強制変位させると、被加工ワークモデルを経由して受けパッドモデルが沈み込む。その結果、受けパッドモデルとリンク機構で連結されている肩ローラモデルが内側向きの傾斜姿勢をとり、押込ローラと両肩ローラで三点曲げが始まる。肩ローラモデル間で構成する角度が曲げの夾角となる。

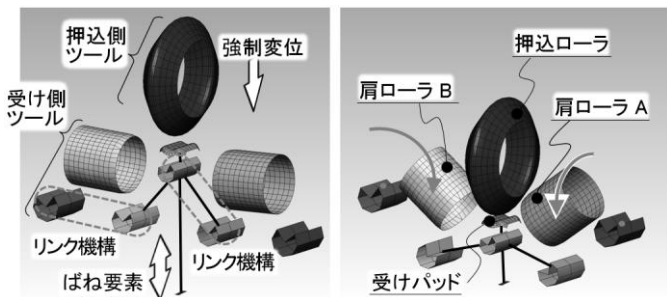


図3 成形解析で使用する曲げツールモデル

解析結果の一例を図4に示す。

薄板板金解析の結果から、次の知見が得られた。

- ・提案する曲げツールの機構を使えば三点曲げは可能
 - ・曲げツールへの反力が想定以上に大きい
 - ・曲げ品質が低く、品質を向上させる対策が必要
- 以上の結果を踏まえ、曲げツール及び曲げ機の試作およびトライアルを実施した。

2.2 曲げツールの詳細設計

解析結果から、加工中の曲げツールにかかる負荷が想定を超えたことから、剛性に留意して曲げツール本体の詳細設計を行った。なお、本設計では、三次元 CAD ソフトの Solid Works (Dassault Systemes SolidWorks Corporation 製) を使用した。曲げツールの CAD モデルを図5に示す。

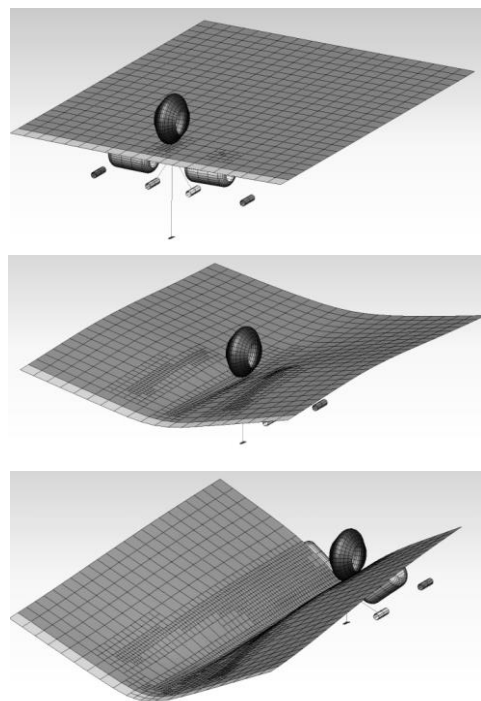


図4 逐次曲げ解析の一例

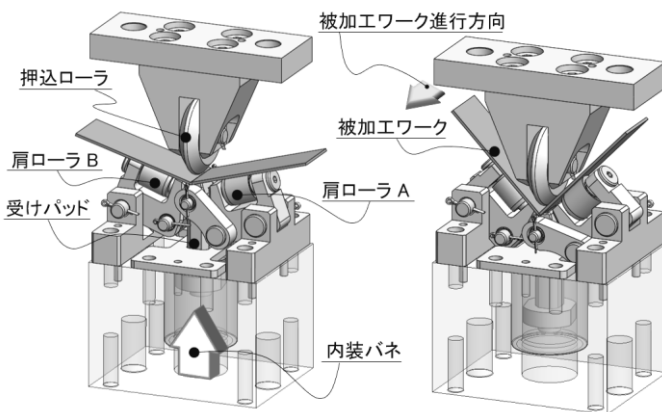


図5 詳細設計後の曲げツールの CAD モデル

2.3 曲げ機的设计・試作

逐次曲げ加工では、被加工ワークの位置、及び上型曲げツールの押込み量を制御するシステムが必要である。そこで、曲げツールを基幹部品として中央に配置し、被加工ワークを電動スライダ（IAI 製 RCP6-WSA）にて搬送制御し、上型曲げツールをエアシリンダ（SMC 製 MGPM）への供給圧で押込み制御するシステム、“曲げ機”を試作した。本曲げ機で使用する電動スライダ及びエアシリンダのスペックは解析結果を参考に決定した。

なお、本曲げ機は初期検討用であることから、被加工ワークの左右方向の位置制御機構は次回の検討項目とし、直線経路の曲げに限定する。また、被加工ワークの材料は、変形抵抗の小さい軟鋼板を想定したため、曲げ機はアルミフレームの角材を組み合わせた構造とする。曲げ機のご概念図と試作機を図6に示す。

被加工ワークの曲げ機への取付けについては、当ワーク先端中央に搬送用の穴を開け、電動スライダの搬送部に固定したシャフトをこの穴に通して搬送する。なお、この搬送では左右へのずれが発生するため、エアチャック（SMC 製 MHF2）に取り付けた一組の爪で軽く挟み、被加工ワークの横ずれを防止する。

機器制御は PLC（三菱電機製 FX-5U）で行い、エアシリンダによる押し込み制御には電空レギュレータ（SMC 製 ITV）を使い、通信は各機器を CC-LINK で接続する。

2.4 曲げ加工方法と結果

軟鋼板（0.6mm）を用いて本曲げ機によるトライアルを実施した。図7の左端ワークが加工前ワークである。曲げ加工は、曲げ品質確保のため、同じ経路を複数回通る。回数は最小で1回（1パス）、最大で4回（4パス）通って加工することとし、繰り返すごとにエアシリンダへの供給圧を表1のとおり増加させた。

図7のとおり、曲げ機を用いることで、曲げ深さの異なる曲げ加工品を得ることができた。

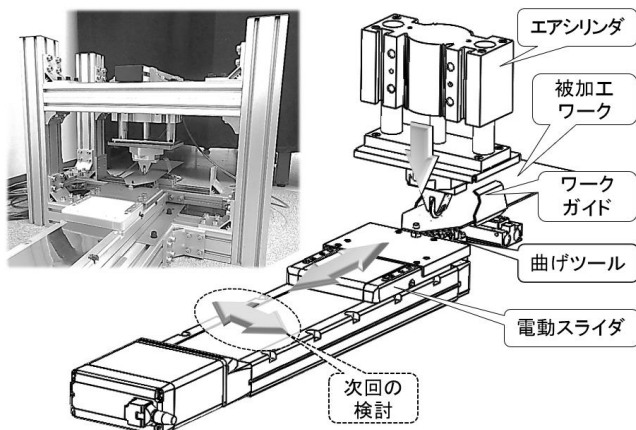


図6 曲げ機の機構と試作機

表1 曲げ加工時の押込み制御

	条件1	条件2	条件3	条件4
1パス	0.1MPa	0.1MPa	0.1MPa	0.1MPa
2パス	—	0.15MPa	0.15MPa	0.15MPa
3パス	—	—	0.2MPa	0.2MPa
4パス	—	—	—	0.25MPa

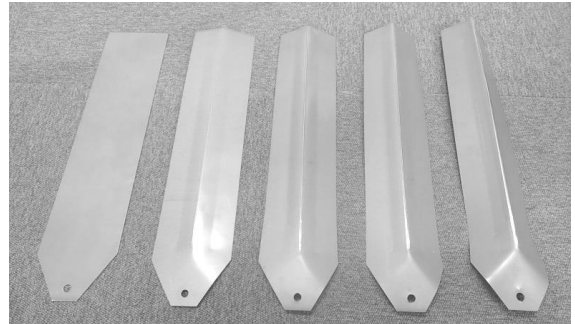


図7 トライアル結果（左から、加工前、条件1、2、3、4）

本トライアルで判明した課題は次のとおり。

- ・曲げ中心の受けパッドとの擦れにて肌荒れが発生
- ・肩ローラ接触痕が発生
- ・空気圧制御のため、曲げ角度が不均一
- ・ワーク取付け端部で曲げ加工ができず、歪み発生
- ・手動操作のため、同経路の繰り返し操作が煩雑

3 逐次曲げ加工機の改善

把握した課題を解決するために、曲げ機改造と曲げツールの再試作を実施した。主な改良点は次の5点である。

- 改良1) 受けパッドをセンターローラに変更（図8参照）
- 改良2) 内装バネでの受けをエアシリンダでの受けに変更
- 改良3) 押し込み用エアシリンダを電動シリンダに変更
- 改良4) 被加工ワークの外形、固定/ガイド方法を変更
- 改良5) タッチパネル設定及び、繰り返し自動運転を追加

改良後のトライアルでは、供試材として、軟鋼板（0.6mm）とアルミ（1mm）を使用し、初期形状を幅120mm×奥行250の長方形に変更する。なお、アルミの評価結果については、紙面の関係で割愛する。

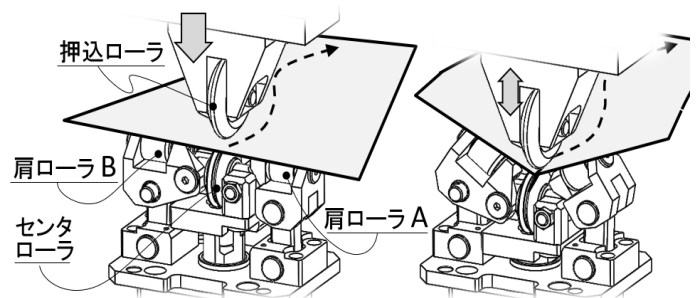


図8 再設計後の曲げツール

3.1 直線曲げの加工(曲げ角一定)

トライアルは、電動シリンダによる押込側曲げツールの押込み量を徐々に増やしつつ、直線経路上を、複数回辿って加工する。

最終の押込み深さを 2mm, 4mm, 6mm, …18mm と変えて 9 枚のパネルを成形する (図9 参照)。なお、最終押込み深さが 18mm のパネルの夾角はおよそ 90 度である。

曲げ品質は、弊所保有のベンディングマシン (平岡工業製 BSM1240) で 90 度曲げを行ったパネルを比較対象として評価する。加工後のパネルは三次元測定器 (東京貿易テクノシステム製 Vectron) を用いて計測し、計測結果を PAMSTAMP に取り込み、断面等の形状評価を行う。

図9に、最終押込み深さを変えた場合の中央断面における夾角をプロットしたグラフを示す。最終押込み量を制御することで、任意の夾角に加工できることがわかる。

図10に、従来のベンディングマシンで加工したパネルと曲げ機にて最終の押込み深さを 18mm で加工したパネルについて、長手方向の断面位置における夾角をプロットしたグラフを示す。曲げ機ではワークを固定するため、端部での加工ができず、端部で浅い曲げになるにも関わらず、比較対象との夾角の最大ずれ量はほぼ同じであった。

ただし、曲げ先端の曲率半径を比較すると、ベンディングマシンの曲率半径 1.5mm に対し、曲げ機は 3.5mm と大きくなった。

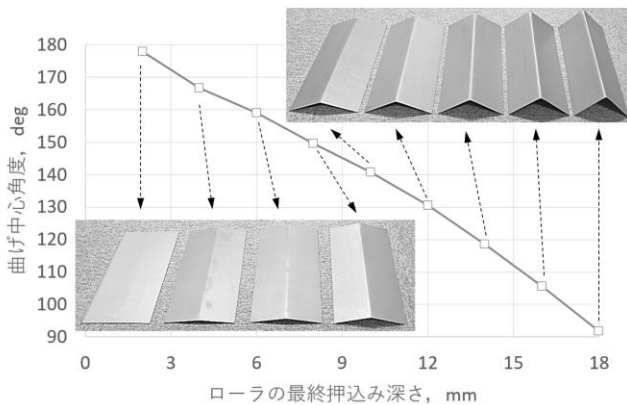


図9 最終のローラ押込み量と夾角の関係

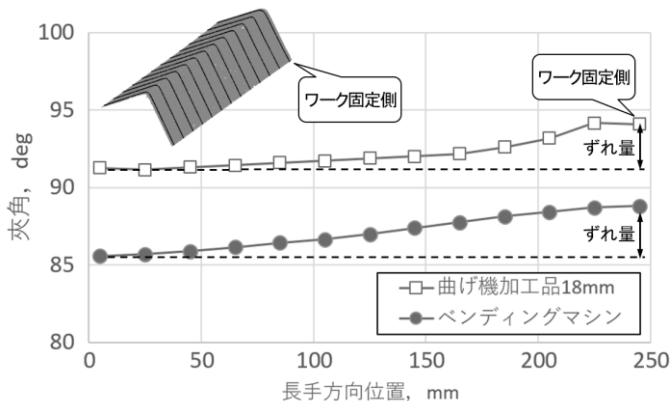


図10 曲げ加工品の中央断面比較

3.2 直線曲げの加工結果(曲げ角徐変)

次に、曲げ深さを徐変する加工を行った。押込側曲げツールの押込み、つまり曲げ加工を中央に限定し、最終押込み深さを 6mm, 8mm, 10mm, 12mm, 14mm に変えて 5 枚のパネルを加工した (図11 参照)。

続いて、最終押込み深さを 14mm に統一し、深さ方向の経路が異なる 2 種類の加工を実施した。図12に加工したパネルの等高線図を示す。押込み深さ方向の経路を変更することにより、形状に変化が持たせられることが分かる。

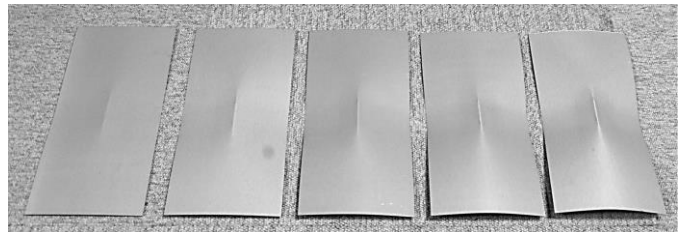


図11 最終押し込み量を変えた場合の曲げ角の徐変加工

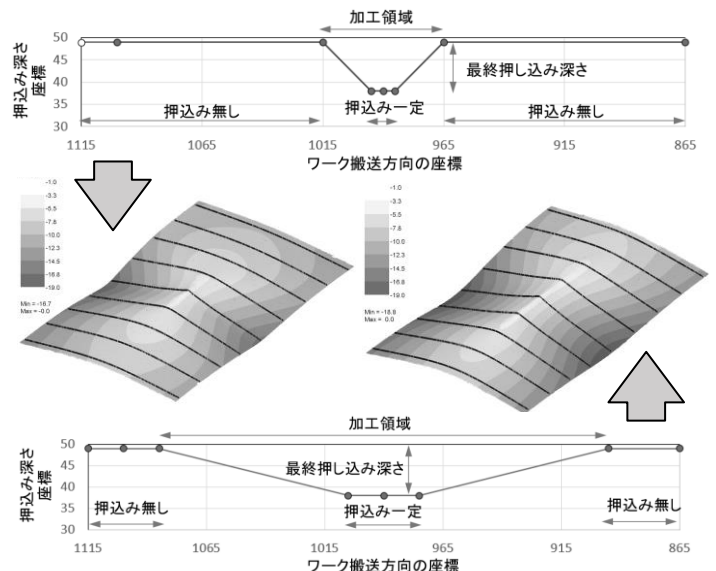


図12 押し込み経路によるパネル形状の影響

4 結 言

逐次曲げ加工の初期検討を行うために、曲げツール及び曲げ機を試作し、トライアルを実施した。その結果、直線経路に沿った曲げでは、曲げ角度固定もしくは徐変にしても、適正な曲げ品質の加工品を得ることができた。

今後は曲線の曲げ経路を加工できる曲げ加工機を製作し、トライアルを実施する予定である。

本研究を遂行するにあたり、公益財団法人天田財団から援助をいただきましたことに感謝いたします。