

データベースを基とする金属板材の V曲げ加工用AI制御システムの開発

東京都立大学 工学部 機械工学科

助手 楊 明

(平成4年度奨励研究助成 AF-92036)

1. はじめに

現在までにV曲げ加工の分野ではさまざまな研究がなされてきたが、現在は曲げ成形過程の解析と加工の知能化の研究が中心である。前者は有限要素法を利用したV曲げのシミュレーションを行い、スプリングバックを解析し実験結果と比較検討を行ってより高精度なシミュレーションを確立させる研究である^{2),3)}。しかし、シミュレーションには仮定が多く、精度に影響するすべての要素をモデルに組み込むことは、難しく限界がある。後者には、オンライン計測システムとコンピュータ制御システムを導入して、曲げの知能化を目指している研究がある。これらの研究では、ニューラルネットワーク等を制御システムに導入して力学モデルとの併用⁴⁾によって、あるいは単純曲げ理論に基づく加工モデルを制御に導入することによって加工精度を向上させることなどが行われている。しかしニューラルネットワークには要素の増大によってシステムが大きくなる、あるいは学習データが少ない場合には信頼度が低い問題がある。さらに力学モデルには、シミュレーションと同様に誤差が多く含まれる。

V曲げ加工では、高精度な曲げ角度を得るために加工材料に応じて正確にスプリングバックを予測し、正確な加工条件を求める必要がある。しかし曲げには、材料の塑性変形特性や素材と金型の間の摩擦など非線形要素が多い。また、同種の材料であってもメーカー、ロット、ロール目の方向、板厚のばらつき、板の中央と端部等によって、材料特性が異なるため曲げ角度が異なる。さらに加工環境における温度、機械の油温の変化等も精度に影響を及ぼす。

そこで本研究では、V曲げの基礎実験データ、引張試験データ、そしてシミュレーションデータを蓄積したデータベースの構築、さらにデータベースを基とする金属板材のV曲げ加工用AI制御システムの開発⁵⁾を試みた。

2. データベースを用いたV曲げ加工制御システム

2.1 データベースの構築

データベースとは、共通のデータがさまざまな応用に対応できるように格納されたデータの供給基地である。機械工学では、材料強度分野において疲労強度特性の予測に利

用されているほか、塑性加工分野、特に冷間鍛造の設計において、データベースを利用したエキスパートシステムが研究、開発されている。しかし、今のところ加工の制御には利用されていない。基礎データベースは多くのデータを蓄積しているため、オンライン制御には不向きである。そこで、必要最小限のデータを格納した小さなデータベースを基礎データベースとは別に構築し、オンライン制御に導入することが必要であると考えられる。図1にデータベースを基とする制御システム概念を示す。図に示すように加工前に分かる情報(例えば、公称板厚、製造メーカーなど)をコンピュータに入力して、それを基に基礎データベース(オフラインデータベース)の一次検索を行い、その結果をオンラインデータベースとして保存する。加工中に測定した情報を用いてオンラインデータベースを二次検索し、測定情報とデータベースからの情報を制御モデルによって総合的に評価して、加工条件を推定する。

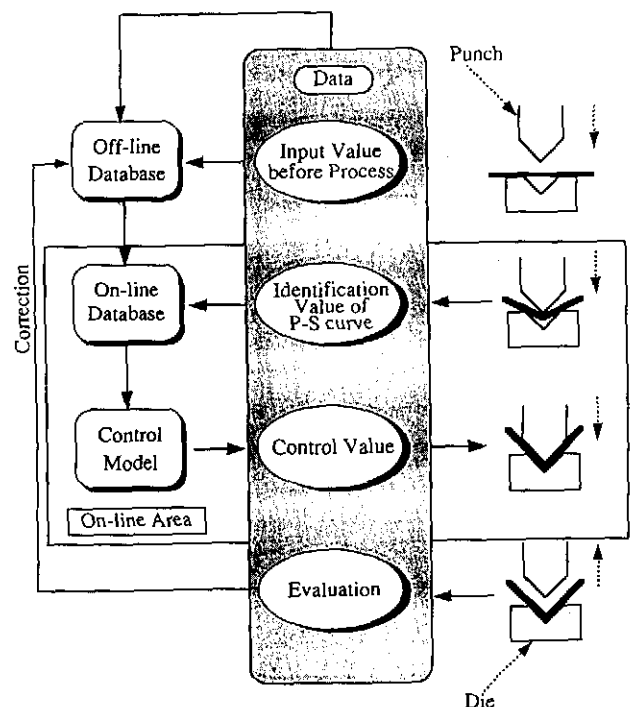


図1 データベースを用いた加工制御システム

また、上記に示すように曲げに影響する要素は多く存在する。より多くの影響要素を曲げ加工制御システムに取り入れるために、曲げの基礎実験データとして、素材の板厚、材質、力学特性などの数値データ以外に、加工中に得られたパンチ荷重-ストローク曲線も、データベースに保存する。図2に測定したパンチ荷重-ストローク曲線を示す。図から分かるように同一材質の材料でも製造メーカーの違いによって曲線も微妙に異なる。高精度の曲げ加工を行うためには、加工条件も個々の材料に対して、適切に変える必要がある。そこで、曲線を分析することによって、より多くの影響要素を抽出し、より高精度の加工が可能と考えられる⁵⁾。表1に曲線から同定した数値ファクターを保存していたデータベース内の項目を示す。

2.2 推論モデル

多くの影響要素から加工条件を推定するモデルを塑性力学モデルによって表すことはとても困難である。この場合、

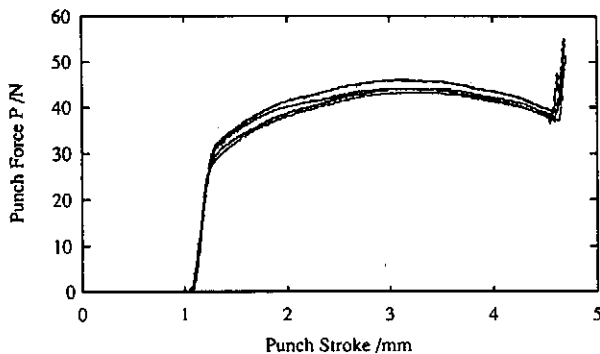
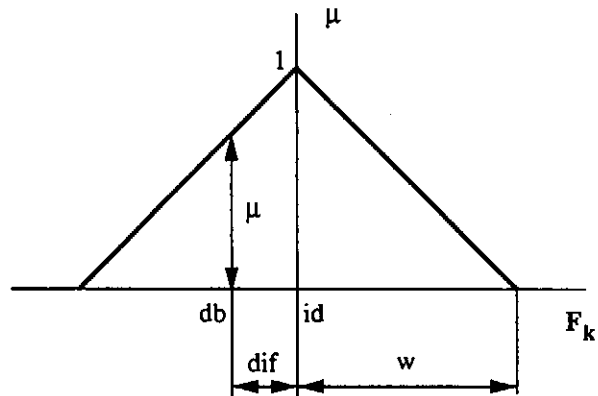


図2 製造メーカーの違いに対する荷重-ストローク曲線の相違

人工知能（ファジー推論、ニューラルネット等）を利用した推論機構が有効であると考えられる。本研究では、ファジー推論を用いて、複数のファクターから加工条件を推定する推論モデルを構築した。具体的には、加工中に同定した被加工素材に関する各ファクターを用いて、データベースの二次検索を行い、検索した各ファクターFの同定値に対する適合度を計算する。図3に適合度 μ を決めるメンバーシップ関数を示す。また、得られた適合度を用いて、下記のように重みを計算する。



w : Width of retrieval
id : Value of factor identified
db : Value of factor in database
dif: Difference between id and db
 μ : Truth value of db

図3 ファクターの適合度を定めるファジイメンバーシップ関数

表1 データベースに保存される各ファクター

Item	Physical meaning	
F-S curve	a	F-S curve slope in Eq. 1
	C	Coefficient in Eq. 2
	n	exponent in Eq. 2
	P_y	Yield punch force
	S_No.	Serial number
Workpiece	Material	Material
	Maker	Maker
	t	Thickness
	B	Width
	l	Length
Condition & Bend angle	θ	Bend angle
	F	Punch force for desired bend angle
	S	Punch stroke for desired bend angle
	T	Ambient temperature
tools	v	die width
	R_d	Radius of die
	R_p	Radius of punch
	α	die angle

$$W_i = \prod_k \mu(F_k) \quad (1)$$

加工制御値を式(2)に示す重み付き平均で求める。

$$P = (\sum W_i P_i) / \sum W_i \quad (2)$$

さらに、加工中にセンシングした各ファクターがデータベースから検索ファクターと大きく異なる場合、式(2)による重み付き平均だけでは、よい精度が得られないと考えられる。そこで、センシングデータと検索データとの隔たりを用いて、式(3)に示すように制御値の補正を行う。

$$\Delta P_i = \sum_k \Delta F_k \frac{dP_i}{dF_k} \quad (3)$$

ここで ΔF_k はセンシングデータと検索データとの隔たりを表し、 dP_i/dF_k は各ファクターの制御値に対する強さを表す。得られた補正量 ΔP_i は制御値に加えられた後に、式(2)の重み付き平均によって最終制御量を決定する。

3. 結果と考察

基礎実験は製造メーカーの異なる7社の軟鋼板を使用した。材料特性と板厚は表2に示す。市販のリレーショナル

表2 試験片の材料特性

Factor	Range
n	0.139~0.245
E	169~204GPa
F	516~667MPa
σ_y	82.6~200MPa
t	1.539~1.607mm

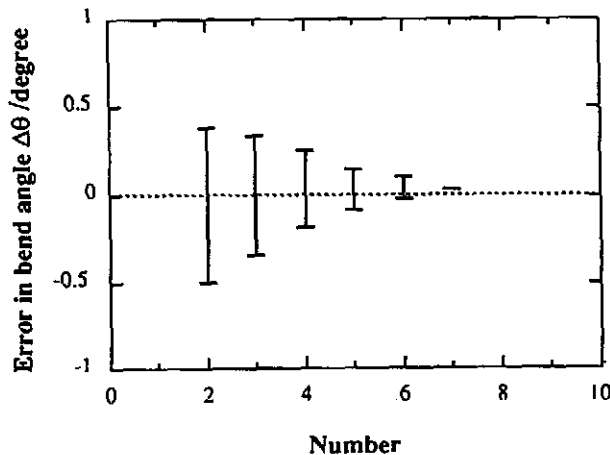


図4 推定精度のデータ数に対する依存性

データベースソフトウェア (UNIFY) を使用して、荷重—変位曲線を数値化したものをオフラインデータベースとして構築した。また、荷重—ストローク曲線そのものも同じハードディスクに保存し、シリアルナンバーによって検索できるようになっている。オンライン用データベースはデータ量が少ないので、既存のソフトウェアは使用せず、プログラムを組んで独自でデータベースを構築した。また、ファジィ推論モデルを用いて、加工制御のシミュレーションを行った。図4に推定精度の推定に使用したデータの数に対する依存性を示す。結果から分かるように6個以上のデータを用いれば、安定した精度が得られる。

まず、加工中の材料と同一メーカーの材料がデータベースに存在する場合の結果を図5に示す。加工中の材料特性等にかなり近い情報がデータベースにあるので、これらの

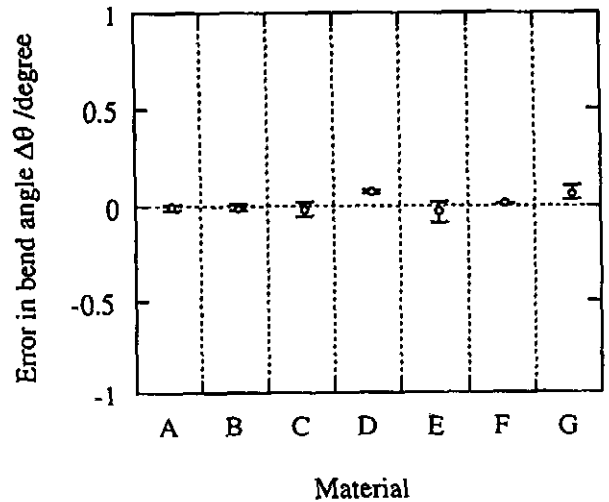
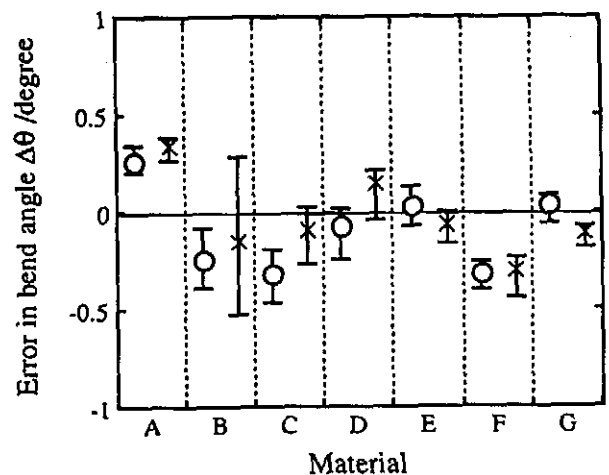


図5 データのばらつきが小さい場合における加工制御の精度



○ : Weighted average and Strength
× : Weighted average only

図6 データのばらつきが大きい場合における加工制御の精度

情報をファジィモデルによって評価した結果、曲げ角度の90度に対してばらつきが±0.1度という高精度なものが得られた。それに対して、加工中の材料と同一メーカーの材料がデータベースに存在しない場合の結果を図6に示す。式(2)の重み付き平均だけで評価した場合の結果をマークxで示す。また、式(3)のファクターの強さによる補正を行ってから、重み付き平均による評価を行った場合の結果をマーク○で示す。図5の結果と比較して曲げ精度が±0.5度となっている。しかし、マークxに示された結果よりマーク○の結果は誤差のばらつき範囲がかなり小さくなっており、精度も向上している。

以上の結果から、データベースを基とする曲げ加工の高精度制御が大変有効であることがわかる。特に、加工する材料と同様なデータがデータベースに存在する場合において、かなり高精度の加工が得られる。

4. 結 言

本研究では、V曲げの基礎実験データ、引張試験データ、そしてシミュレーションデータを蓄積し、データベースを構築した。特に、加工中の荷重-ストローク曲線そのものをデータベースに蓄え、より多くの影響ファクターを抽出

し、制御に取入れることを試みた。さらに、データベースから検索した情報と加工中のセンシング情報をファジィモデルによって評価し、加工制御値を決定するような曲げ加工のAI制御システムの開発を行った。

今後、さらに、曲線から表1に示す以外のファクターの同定も行い、より多くの影響ファクターを考慮に入れる。また、制御モデルに対しても、その信頼度を評価し、より高精度なものになるように、モデルを学習していくことが必要である。

参考文献

- 1) 川田：平5春塑加講論、(1993), 789.
- 2) 滝沢、森、牧野内：40回塑加連講論、(1989), 457.
- 3) 小川、牧野内：平4春塑加講論、(1992), 747.
- 4) 楊、島、渡部、長谷川、黒川、川野：42回塑加連講論、(1991), 453.
- 5) Yang, Kojima, Manabe : V - bending Process Control System with an On - line database and a Fuzzy Control Model, Proc. Japan - U. S. A. Symposium on Flexible Automation, (1994).