

6 成形加工における生産設計支援技術の開発（第2報）

安部重毅，打田澄雄，森下勇樹，河野洋輔

Development of production design support technology in forming process (2nd Report)

ABE Shigeki, UCHIDA Sumio, MORISHITA Yuki and KOUNO Yousuke

We have developed the technology which supports the production designers to reduce the trials and errors in the press forming. This technology consists of two following methodologies, which should be selected whether there is much technical know-how or not: (1) If there is much know-how about forming process, the database stored technical know-how which is visualized suggests designers available countermeasures for the forming fault. (2) If not, the optimization system which repeats the press simulation, assists designers to get the most suitable forming condition.

In this report, we show two following results: (1) We can graph out the information of know-how in order to facilitate designers' understanding. (2) We can optimize the forming condition to get press formed panels without shape error.

キーワード：金型設計，塑性加工，最適設計，高張力鋼板

1 緒 言

最近，自動車の軽量化と衝突安全性向上の観点より，自動車の構造部材に強度の高い高張力鋼板を多用する傾向にある。高張力鋼板は難成形材料と呼ばれるほど極端にプレス成形性が悪く，その強度が上がるにつれ寸法不良，割れ，しわなどの成形過程の不良が顕著になる。そのため，従来の熟練者の経験と勘に頼った対策だけでは，良好な生産設計を行うことが困難である。

本研究では，効率的な生産設計を支援するために，熟練者の持つノウハウの「見える化」と共有化を行い，設計者がノウハウに裏付けされた過去の事例，シミュレーションデータなどを参照できる技術を開発すると共に，ノウハウの少ない未経験の加工には最適プロセス設計技術を使用し，不良の生じない成形条件を効率よく算出する技術を開発する。

2 成形加工生産設計の支援技術

2.1 生産設計工程の現況

これまでの金型設計・製作過程は，熟練者の経験と勘に大きく依存している。特に成形不良が発生した場合，熟練者の判断で成形条件（初期材料形状，加圧力，金型形状など）を変更し，設計，加工，トライアル，評価の作業を良品が得られるまで繰り返すため，多くの時間と労力が費やされる。さらに，近年の鋼材の高強度化や部品の大型化に伴う未経験の成形に対しては，従来の経験と勘だけでは最適な成形条件を見出すこと

が困難になってきている。

そこで，近年ではコンピュータを使った三次元設計の普及に伴い，成形過程の不良を高精度に予測できる成形シミュレーションの利用も進みつつある。これによって現場でのトライアルの回数が減少し，工程全体の開発期間短縮につながっている。しかし，不良発生を解消するための成形条件の修正などはこれまでと同様に経験と勘による方法で行っており，依然として設計者の負担となっている。そのため，不良解消の支援手法を確立することが急務である。

2.2 本技術による生産設計支援

本研究では，これまでの経験と勘で行われていた成形条件の修正方法などを，実験やシミュレーションに

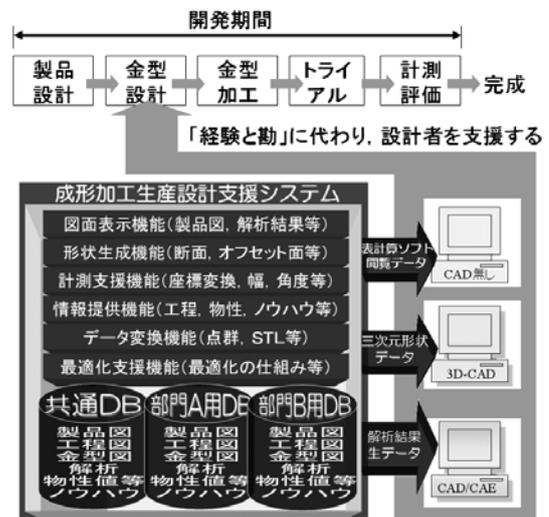


図1 生産設計支援システム

よって客観的に評価することでノウハウを「見える化」すると共に、設計者の間でノウハウの共有を可能にすることにより、次期部品の生産設計にて、そのノウハウを有効利用できる仕組みを構築する。

また、ノウハウの少ない未経験の成形加工に関しては、経験と勘の代わりに数学的手法である最適化理論を用いて、不良の出ない成形条件に修正する最適プロセス設計技術で対応する仕組みとする。これらの仕組みを包含した生産設計支援システム（図1参照）を構築することにより、トライアル回数の少ない生産設計が可能となり、全体の工程数の削減も望める。ノウハウの蓄積と有効利用については第3章で、最適プロセス設計技術に関しては第4章で述べる。

3 成形加工生産設計支援システムの開発

3.1 支援システムの基本機能の開発

ノウハウの共有化を行うためには、作業場所が異なっても設計者間で同じノウハウを閲覧し、情報共有できる環境が必要である。また、ノウハウに対して共通認識を持つためには、関連情報を加工する必要がある。例えば、ノウハウに直結したシミュレーション結果を元に、これを加工し、新たに断面形状や変形量などを提示すれば、ノウハウの共通認識が容易になる。

そこで生産設計支援システムに、安価な表計算ソフトなどを用いてシミュレーション結果を表示できる図面表示機能、断面形状などを作成する形状生成機能、形状不良の度合いなどを提示する計測支援機能などを持たせ、ノウハウの「見える化」と共有化をサポートする。図2に一例として、成形が進展する様子を一面面に表示する機能の例を示す。またシミュレーションなどの成形結果を加工するために、次の機能を開発した。

シミュレーション結果より任意断面を作成する機能
断面上の点の角度と角度変化を自動算出し、基準となる評価点を検出する機能(図3参照)

- 評価点を用いて角度や距離を計算する機能
- 形状不良の度合いを数値化する機能

3.2 基本機能を用いたノウハウ化の事例

前報¹⁾にて最適プロセス設計の技術を応用して、成形条件（材質、板厚、ブランク外形、ダイ肩など）を自動で変更しつつ、ハット曲げと角筒絞りの簡易な成形シミュレーションを各々約千パターン実施したことを報告した。シミュレーション結果より生産設計で参考になる情報、つまりノウハウになるように抽出・加工する技術開発を行った。2つの事例を示す。

図4の事例はハット曲げ成形において、どの成形条件がスプリングバックに影響を与えるかを示す例である。これは図3に示す機能を利用して得たノウハウで、評価点を基準に計算した角度をグラフにプロットしたものである。成形条件を1つ変更した場合に、スプリングバックに起因する角度変化が、パンチ肩、ダイ肩、フランジの各部位でどのように変わるかを示している。ノウハウをグラフでわかりやすく「見える化」した一例である。

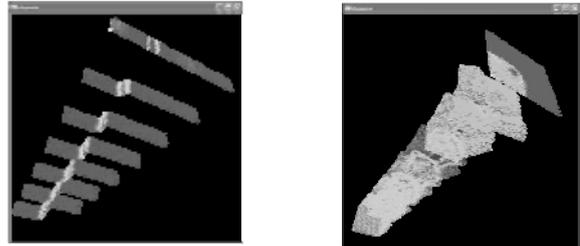


図2 成形が進展する様子を1画面で表示する機能

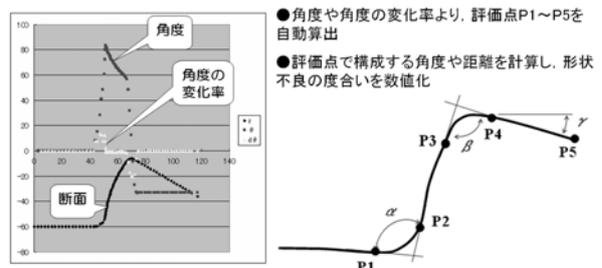


図3 成品品の断面作成機能と評価点検出機能

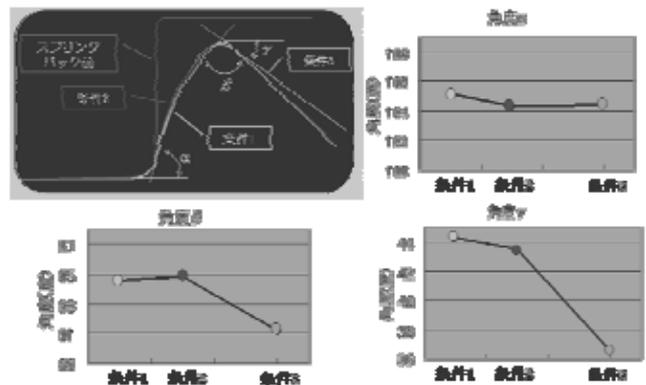


図4 成形条件の変更と形状不良の関係を表すグラフ

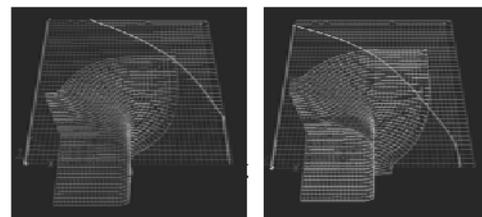


図5 初期素板形状の決定

図5はプレス絞り成形の素板展開図で、部品を成形するために必要な初期の素板形状を提示した事例である。成形条件を変えると、必要な素板エリアも変化する。

4 最適プロセス設計技術の高度化

4.1 最適プロセス設計技術とは

最適化技術とは、数学的手法である最適化理論に沿って、条件の変更、シミュレーションの実施、結果の評価の作業を自動で繰り返すことにより、設計者の望む最適な条件を求める逆解析手法である。この技術を生産設計分野に応用し、成形不良を解消する最適な成形条件を求める技術が最適プロセス設計技術である。この技術を用いた代表的なシステムとしては広島県産業科学技術研究所吉田プロジェクトで開発した「プレス成形プロセス最適化システム」²⁾がある。

本研究では、最適プロセス設計技術を高度化するために形状評価・形状変更機能を開発した。形状評価機能は“しわ”や“ねじれ”といった特徴形状の“多い・少ない”といった度合いを数値化するものである。形状変更機能は、成形条件の1つである素板や金型の形状を、最適化理論より決定した数値分だけなめらかに変化させるものである。

機能の有効性を検証するために、小規模モデル（Lビーム）に生じる成形不良を改善する最適化を実施する（図6参照）。なお、Lビームは上から見てL字形状をしているプレス部品であり、成形過程で成形方向の段差形状より“しわ”、左右の非対称性より“ねじれ”が生じやすい形状である。これらの不良を金型の絞りビード形状を最適化して解消する。

4.2 成形シミュレーションの解析精度

最適プロセス設計の目的は、当然ながら実金型による成形を行い、不良のない実パネルを得ることである。もし、シミュレーション結果が実成形と大きく異なれば、シミュレーションにとっての最適成形条件では、実パネルの成形不良を改善できない。そこで、まずLビームの成形シミュレーションの解析精度を検証する。Lビームを成形する材料は板厚1mmの590MPa級の高張力鋼板であり、成形前の初期寸法は260×355mmである。図7に成形過程と成形後に不要部分を切断する工程を示す。成形シミュレーションはESI社(仏)のPAM-STAMPを使用した。

図8に実パネルとシミュレーション結果の形状比較結果を、図9にしわ発生箇所の実パネル写真とシミュレーション結果を示す。形状差異はほとんどの場所で1mm以内であり、全体形状、しわ形状および本数とも良く

一致している。切断プロセス（弾性回復）まで含めた成形工程全域において、十分な解析精度が得られていることを示している。

4.3 不良形状の度合いの数値化

ここでは、形状評価機能として、成形過程で生じるしわとねじれの度合いを数値化する方法について示す。

(1) しわの数値化

シミュレーションの結果形状は、図10に示すように複数の小さな四角形（シェル要素）で構成されており、しわはこの要素群が波打つことで表現される。そこで、しわ発生エリアの要素群を取り出し、隣接する要素に対しどれだけ傾いているかを全て調べ、しわの度合い

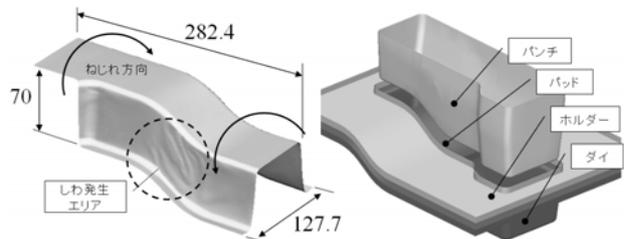


図6 Lビームモデルと解析用金型モデル

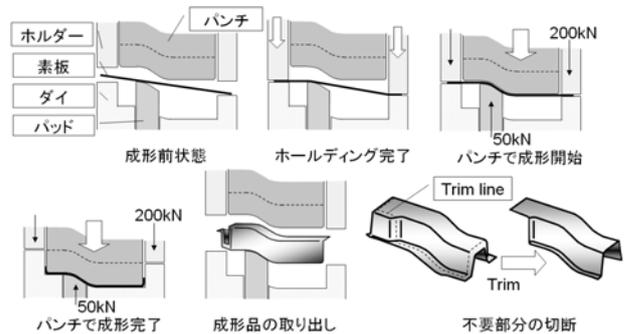


図7 成形の様子

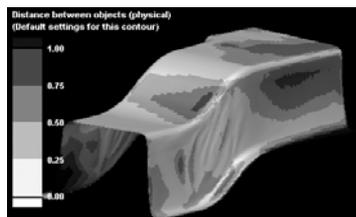


図8 実パネルとの形状誤差

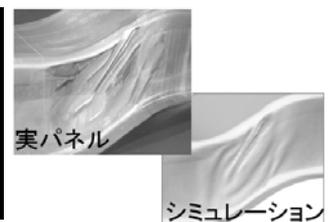


図9 しわの様子

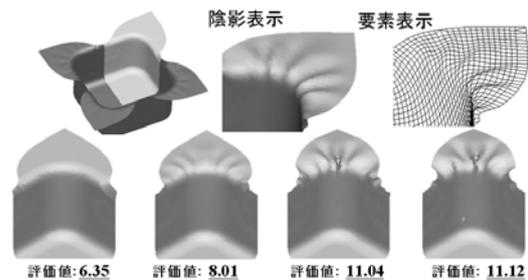


図10 しわの形状と評価値

を数値化する。しわの評価方法の有効性を検証するために角筒絞りシミュレーションを実施した。フランジ面のしわが深くなるに伴いしわの評価値も追従して増加しており、良い相関性を示している。

(2) ねじれの数値化

Lビームのねじれは、長手方向に沿って作成した複数の断面が、先端部断面A-A'に対し何度傾いているかで数値化する。図11はねじれの様子を表すグラフで、横軸にLビームの長手方向位置(座標)を、縦軸に先端部断面と各断面との傾き角度をとっている。これにシミュレーション結果と実パネルの結果をプロットした。双方のねじれの挙動が類似しており、このねじれの評価手法が双方に適用できることがわかる。

4.4 金型形状の自動変更

プレス成形で発生する割れ・しわを改善するための金型形状変更方法として、絞りビード形状を変更する方法がある。絞りビードとは金型の上型・下型に配置する凸断面と凹断面を持つ長尺の立体形状である。成形中の素板の動きに対し凹凸で挟み込むことで制動力をかけることができ、素板の変形挙動を制御するのによく利用される。この制動力の強弱は凸側の絞りビード形状を変更することで調整できる。ここでは、制動力の強い角ビードから弱い丸ビードまでをなめらかに形状変形できる仕組みとした(図12参照)。

4.5 最適化の実施

形状評価と形状変更の機能が最適プロセス設計において支障なく機能するかを検証するために、Lビームのしわとねじれを解消する絞りビード形状の最適化を実施した。図13のように絞りビードの形状は ~ のエリアごとに独立して形状変更できる仕組みとし、エリア間の形状はなめらかにつながるようにした。最適化プロセスの自動実行を支援するソフトウェアとして、Altair Engineering社(米)のHyper Studyを使用した。

図14に最適化で得られた条件を用いてシミュレーションを実施した結果を示す。しわが激減し、ねじれ角度が0度に近くなり、不良が改善されている。

5 結 言

成形加工における生産設計を効率的に進めるため、熟練者のノウハウを「見える化」、共有化して再利用を図る枠組を作ると共に、ノウハウの少ない成形には、最適プロセス設計技術で対応し、これを高機能化した。本研究の成果は次のとおりである。

(1) ノウハウの共有化を実施するために、安価な環境で動作する成形結果表示プログラムに、成形過程

を一括で表示する機能を追加した。

- (2) ノウハウを蓄積するために、成形結果形状を加工・編集する機能、不良形状の評価基準点の自動算出機能、評価基準点群を用いた距離や角度を計算する機能を持つプログラムを開発した。
- (3) 最適プロセス設計技術を高度化するため、しわ、ねじれなどの不良形状を評価する機能、絞りビードなど金型の部分形状を変更する機能を開発した。
- (4) 小規模モデルのしわとねじれを解消する最適化により良好な成形条件を得ることができたため、形状評価・修正機能が有効であることを示せた。

文 献

- 1) 打田他：広島県西部工技研究報告，50(2007)，41
- 2) 「難成形材加工・最適プロセス設計プロジェクト」平成15年度研究成果報告書，(2004)，(財)ひろしま産業振興機構広島県産業科学技術研究所

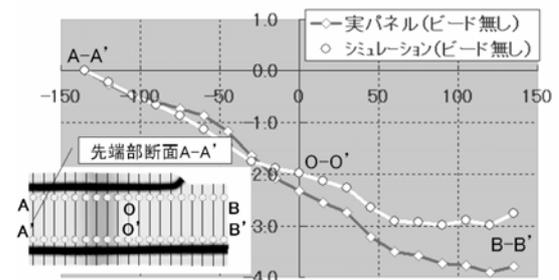


図11 ねじれを表すグラフ

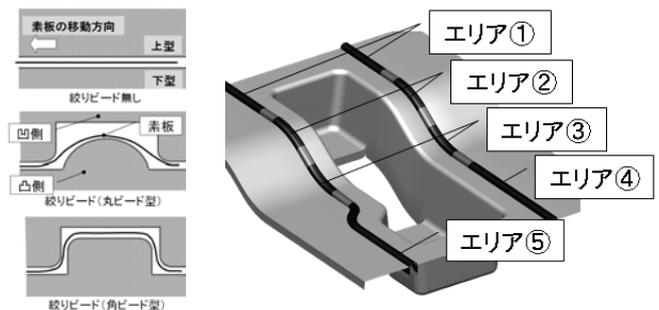


図12 絞りビード断面形状 図13 ビード(凸側)の配置

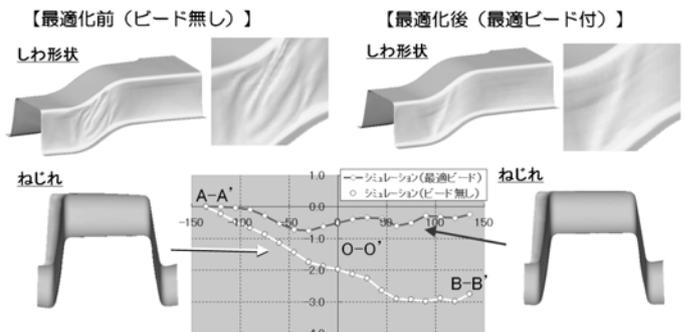


図14 最適な成形条件でシミュレーションした結果