

# 8 プレス成形加工における生産設計支援技術の開発（第3報）

安部重毅，森下勇樹，岩谷稔，河野洋輔

Development of production design support technology in press forming process (3rd Report)

ABE Shigeki, MORISHITA Yuki, IWATANI Minoru and KOUNO Yousuke

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

Two following results were obtained: (1) The 3D viewer which can display the simulation result without expensive commercial software, (2) Reductions of the wrinkle and the torsional springback for the experimental panel using forming condition determined by optimization technique based on FE simulation.

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

近年，高張力鋼板は軽量化と高強度化のために，自動車構造部材に多用される傾向にある。この高張力鋼板は成形性が極端に悪いため，従来の熟練者の経験と勘に頼った成形条件による加工では，不良の出ない良好な生産設計を行うことが困難であり，大きな課題となっている。

本研究では，この生産設計を支援するために，熟練者の持つ過去のノウハウの“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や生産シミュレーション結果などを適宜参照できる仕組みを開発する。一方，ノウハウの少ない新たな加工方法に対しては，最適プロセス設計技術を適用し，不良の生じない成形条件を効率よく算出する仕組みを開発する。

## 2 成形加工生産設計の支援技術

コンピュータ上で，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が現場に導入され，これにより金型作製前に不良対策を織り込めるようになった。その結果，現場での金型修正回数が激減し，工程全体の開発期間短縮に効果を挙げている。しかし，成形不良対策は，経験と勘に頼っており，相変わらず設計者の負担となっている。そのため，不良のない成形条件を算出する支援手法を確立することが急務である。

本研究では，熟練者の経験と勘で実施していた不良

対策を，実験やシミュレーションによって客観的に評価することで，この熟練者のノウハウを“見える化”すると共に，さらに，このノウハウを設計者間で“共有”させ，次期部品の生産設計を効率化する仕組みを構築することを目指す。

また，ノウハウの少ない未経験の加工に関しては，経験と勘に代わり，成形シミュレーションと数学的手法である最適化理論を併用した最適プロセス設計技術を用いて，不良を解消する成形条件を自動で決定する仕組みを構築する。これらの仕組みを包含したものとして，**図1**に示す生産設計支援システムを構築することにより，金型修正回数の少ない効率的な生産設計が可能となり，全体の工程数の削減も望めるようになる。

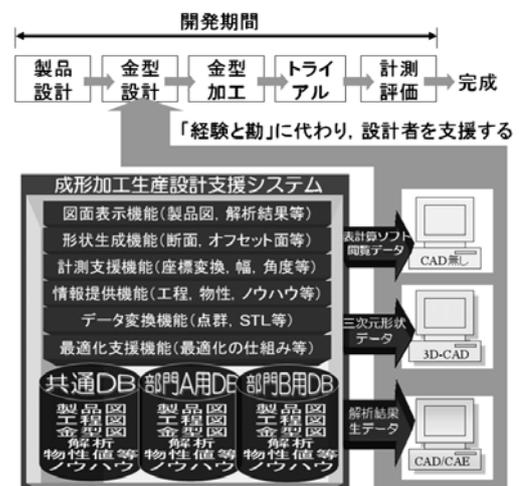


図1 生産設計支援システム

### 3 生産設計支援システムの開発

ノウハウを“見える化”するために、平成18年度は、複数の成形条件を自動で変更しながら成形シミュレーションを実施する仕組みを生産設計支援システム内に構築した<sup>1)</sup>。さらにこの仕組みを用いて角筒絞りやハット曲げのシミュレーション結果を数百通りデータベースに取り込んだ。平成19年度は、データベース内のシミュレーション結果を形状処理し、成形条件を変更した場合の成形結果への影響などを客観的に評価する仕組みを生産設計支援システム内に構築した<sup>2)</sup>。その仕組みを実現するために、安価な表計算ソフト上でシミュレーション結果を簡易に表示させる機能、三次元形状より断面形状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を持たせた。

平成20年度は、設計者間での成形シミュレーション結果の情報共有を促進するために、シミュレーション結果を簡易に表示するソフトウェアの開発・機能強化を行い、成形シミュレーションで計算したひずみ、板厚などを表示する機能を追加した。

このソフトウェアを用いた表示例を図2に示す。また、図3は、板厚の厚い／薄い領域をモデル表面の色の濃淡で表示した結果である。さらに、各色に対応した板厚の値を表示する機能を追加した。また表示した図を、回転、移動、拡大縮小、ワイヤとシェードの表示切り替え、などができる機能を追加したことにより、

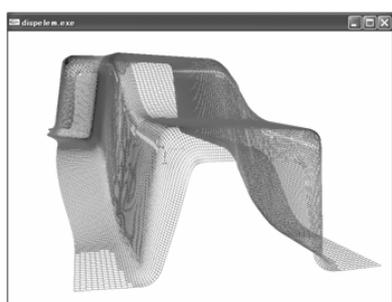


図2 シミュレーション結果表示のイメージ図

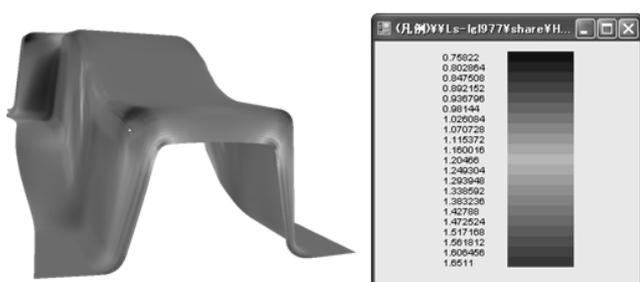


図3 板厚表示付のシミュレーション結果表示

様々な角度から立体的にシミュレーション結果の様子を確認できるようになった。これにより、解析ソフトウェアがなくとも確認作業ができるため、設計者間でシミュレーション結果に対する認識を共有することが容易になる。

現在、県内プレス部品メーカーにおいて機能の評価しており、新たな機能の要望があれば追加を検討する。

### 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

最適化技術とは、数学的手法である最適化理論に沿って、「計算条件の変更」、「シミュレーション計算の実施」、「計算結果の評価」の一連の作業を何度も繰り返し、設計者の望む最適な条件を取得する手法である。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。この最適プロセス設計技術は、強度が著しく高い高張力鋼板など成形可能条件が極めて狭い成形加工に適用する。

ただし、現時点においては、最適プロセス設計技術により全てのプレス成形の不良を改善できるわけではない。本研究では、シミュレーションのモデル形状の評価／変更の機能を拡充し、最適プロセス設計技術で扱える成形不良の種類を大幅に拡大することを目指す。

ここでは、開発した機能の有効性を検証するために、図4に示すLビームというベンチマークを用いて最適化を実施する。Lビームはプレス成形過程で、側壁に“しわ”と、長手方向の“ねじれ”が生じるプレス部品である。最適化計算では、金型に配置する絞りビード形状を最適化して、しわとねじれを解消する。

前報<sup>2)</sup>では、Lビームに生じる“しわ”や“ねじれ”といった特徴形状の“多い／少ない”という程度を数値化する形状評価機能を開発した。また、金型に配置する絞りビード形状を徐々に変更する形状変更機能も併せて開発した。

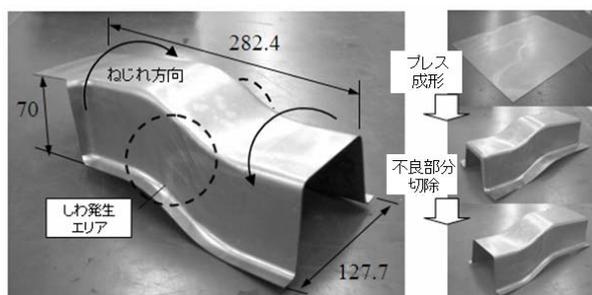


図4 Lビームの実パネルと成形の様子

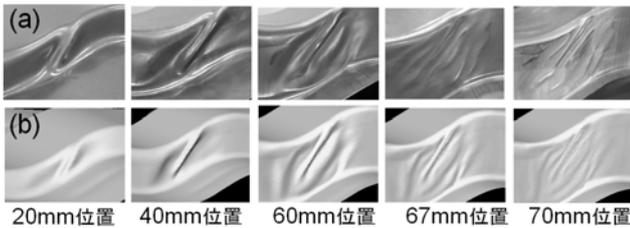
## 4.2 しわシミュレーションの計算精度

最適プロセス設計では、実成形結果と成形シミュレーションの計算結果（特に不良の度合い）がほぼ一致することが大前提である。ここでは、表1に示す条件によるLビームの実成形と、同条件のシミュレーションを実施し、プレス成形中におけるしわの形成の様子を正しく計算できるかを検証する。

図5は、パンチの全押し込み量70mmに対して、20、40、60、67、70mmだけ押し込んだ実パネルの写真と計算結果を並べたものである。これより、成形終了段階のみならず、成形途中においても、しわの様子がほぼ一致しており、正確に計算できていることがわかる。

表1 実成形およびシミュレーション条件

主な成形条件		主なシミュレーション条件	
ブランク板厚	1mm	摩擦係数	全て0.12
ブランク材質	590MPa級	ホルダー速度	2 mm/msec
ブランクサイズ	335×260mm	パンチ速度	5 mm/msec
成形深さ	70mm	金型要素	シェル要素
しわ押さえ力	200kN	ブランク要素	シェル要素 Yoshidaモデル
パッド押さえ力	50kN		



(a)実パネル, (b)計算  
図5 成形途中のしわ

## 4.3 FLCによる割れ評価方法

しわの解消には、絞りビードによる材料流入の抑制が有効であるが、流入の抑制過多は破断を誘発する。そのため、しわ解消最適化では、精度の高い破断評価の併用が不可欠となる。ここでは、板厚評価に代わり成形限界線FLC (Forming Limit Curve) を用いる。

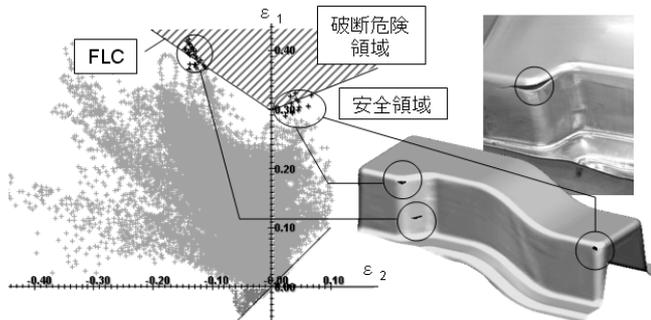


図6 計算結果のFLC評価と実パネルの破断部位

FLCは図6に示す最大主ひずみと最小主ひずみで表すグラフ内で、破断危険度の高い領域と安全領域との境界線である。FLCによる破断評価では、このグラフ内に成形品の構成要素のひずみを全てプロットし、FLCを越境している破断危険度の高い要素があるかどうかで評価する。

## 4.4 最適化計算の実施結果と実証試験

FLCによる割れ評価を導入し、最適プロセス設計に基づく最適化計算を実施する。最適化計算では、Lビーム成形品が、破断しないという制約を満たしつつ、ねじれとしわの度合いが少なくなる最適な絞りビード形状を決定する。最適絞りビード形状は、図7の①～⑤のエリアごとに独立して、その断面形状を変更させつつ、成形シミュレーションを繰り返して決定する。

以上の条件にて最適化計算を実施したところ、19回目の計算で図8に示す最適絞りビードを決定できた。

絞りビード無しと、最適絞りビードを配置した場合の解析結果形状を図9に示す。最適絞りビードを配置することで側壁のしわが大幅に改善していることが分かる。

図10にねじれの状態を示す。このグラフの横軸には19か所の長手方向に並んだ断面位置を取り、縦軸には先端断面を基準に計算したねじれ角をプロットしている。最適絞りビードを配置することにより、全面に渡ってねじれ角度を0度近くにすることができており、ねじれが著しく改善できている。

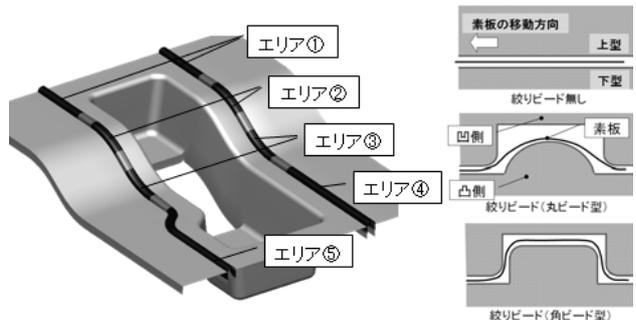


図7 金型モデルと最適絞りビード形状

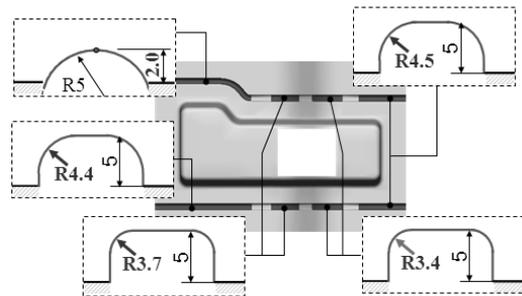


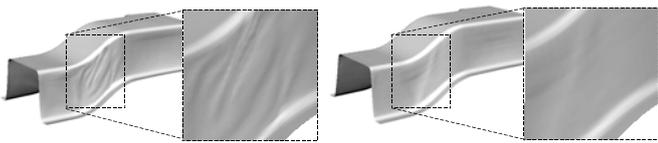
図8 最適絞りビード形状

図11にFLCによる割れ評価結果を示す。全点が安全領域内にあり、割れる危険性が低いことがわかる。

この最適化計算によって、しわ及びねじれを改善できる最適絞りビードを決定できた。この最適絞りビードが成形シミュレーションのみならず、実成形でも有効であることを確認するため、最適絞りビードを配置した実金型を作成し、実証試験を行った。

実証試験で得られたパネルのしわの状態を図12に示す。実証試験においても、最適絞りビードを配置することで、しわが大幅に改善できることが確認できた。また、実パネルに割れが発生することも無かった。

実パネルの形状計測による、ねじれの状態を図13に示す。最適絞りビードを金型に配置することで、大幅にねじれを改善できることが確認できた。これより、本技術で決定した最適解がシミュレーション内だけでなく、実際のプレス成形にも有効であることを示した。



(a) 絞りビード無 (b) 最適絞りビード配置  
図9 しわの状態 (計算結果)

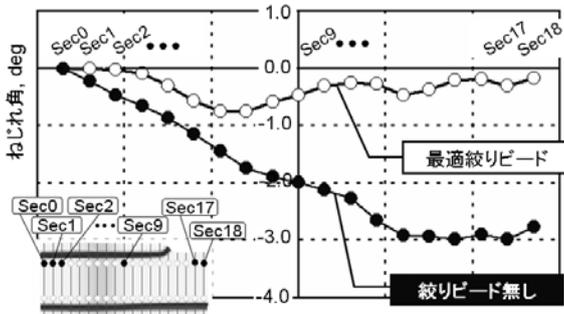


図10 ねじれの様子 (計算結果)

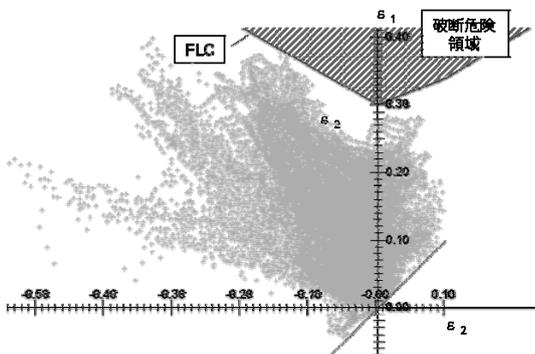


図11 割れの評価結果 (計算結果)

#### 4.5 実部品の最適化問題への適用

県内プレス部品メーカーにおける実部品に対し、本技術を適用したところ、大幅に不良を改善する成形条件を決定することができた。

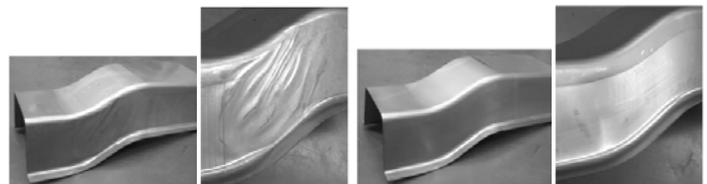
### 5 結 言

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”と“共有化”す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) ノウハウを“見える化”するため、計算結果を表示するソフトウェアを開発し、県内プレス部品メーカーにて機能評価を実施中である。
- 2) FLCをベースに高精度に破断危険性を評価する仕組みを構築した。
- 3) 割れ、しわ、ねじれのない成形条件を求める最適化計算を実施し、良好な結果を得た。さらに、最適成形条件が実証試験でも有効であることを確認した。
- 4) 本研究で得た最適化のノウハウを用いて、実部品への展開を行ったところ、実部品においても、適正な成形条件を決定することができた。

### 文 献

- 1) 打田他：広島県西部工技研究報告，50(2007)，41
- 2) 安部他：広島県西部工技研究報告，51(2008)，19



(a) 絞りビード無 (b) 最適絞りビード配置  
図12 しわの状態 (実証試験結果)

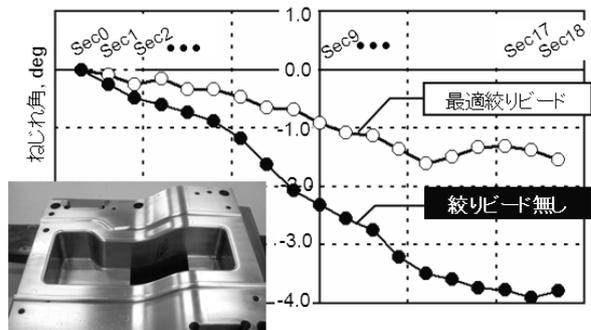


図13 ねじれの様子 (実証試験結果)