

11 成形加工における生産設計支援技術の開発（第1報）

打田澄雄，安部重毅，小島田博夫，河野洋輔，坂元康泰

Development of production design support technology in forming process (1st Report)

UCHIDA Sumio, ABE Shigeki, KOTORIDA Hiroo, KOUNO Yousuke and SAKAMOTO Yasuhiro

We have developed some technologies to support an effective production design in press forming. With upsizing of a part, it becomes difficult only by experience and perception of a conventional expert for complicated shape to find the most suitable condition in the press processing. Therefore we made full use of forming simulation and arranged the know-how which experts had in visible form and built the structure to share. They are databases such as standard models, materials, and the examples that are past in processing conditions, analysis data.

キーワード：金型設計，最適設計，高張力鋼板

1 緒 言

自動車の燃費向上などに直結する軽量化と乗員保護の衝突安全性向上の両立を図る自動車業界などを中心に高張力鋼板（ハイテン材）の適用が急増している。しかし，材料の高強度化に伴い，従来の冷間圧延鋼板と比較して，プレス成形時のスプリングバックによる形状不良，割れやしわなどの不具合が顕著となっている。また，部品の大型化に伴い複雑な形状などに対して，従来の熟練者の経験と勘だけでは最適な加工条件を見出すことが困難となってきている。

本研究では成形シミュレーションなどを駆使して，熟練者の持つノウハウの「見える化」，共有化できる仕組みを構築し，設計者が構想設計における標準モデル，材料，加工条件等を過去の事例，解析データ等のデータベースを参照することにより，効率的な生産設計を支援する技術開発を行った。

2 生産設計支援

2.1 生産設計工程の現況

これまでのプレス金型設計・製作過程では，**図1**のように設計者の経験と勘など熟練者の能力に大きく依存している。特に，割れ，しわ，形状不良などが予測あるいは発生した場合の成形性を検討する際，原因の追求と対策方を策定し再度，設計，加工（修正），評価の作業を，良品が得られるまで繰り返すことになり，多くの労力と時間が費やされている。さらに，近年の高張力鋼板や部品の大型化に伴う未経験の加工材

料や複雑な形状部品などに対しては，従来の経験と勘では最適な加工条件を見出すことが困難となってきている。

そこで，近年ではコンピュータを使った設計の普及に伴い，高精度に成形過程を検証できる成形シミュレーションの利用も進みつつある。これによって実際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加工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，依然として相当の負担となっている。そのため，不良評価手法と不良発生を解消する加工条件修正の支援手法を確立することが急務となっている。

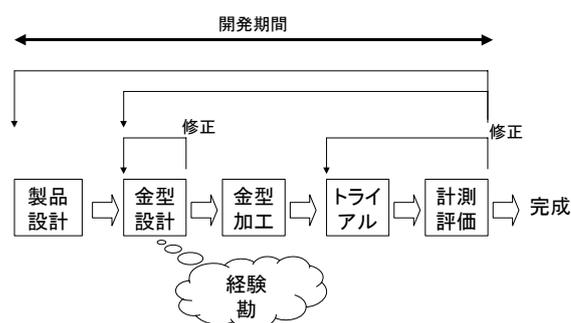


図1 プレス金型の設計・製作工程（経験主体による修正）

2.2 本技術による生産設計支援

図2に示すようにこれまでの経験と勘で行われていた修正を実験やシミュレーションによって「見える化」することにより，設計品質における修正案の有効性を客観的に評価し，再利用できるようになる。そのこと

によって、短時間で求める設計品質を達成することができ、現実のトライアルでの手直し回数も減り、全体の工程数も今までよりさらに削減することが期待できる。

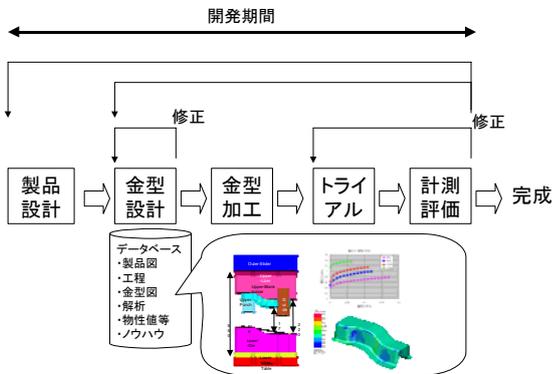


図2 プレス金型の設計・製作工程（実験・解析に基づく定量的修正）

3 高張力鋼板の材料試験

高張力鋼板などの材料物性値は板材成形及び成形シミュレーションのために正確に把握しておく必要がある。超高張力鋼板について0.98GPa級までは一部公表されたデータもある¹⁾が、本研究では更に高強度の材料特性を取得するため、1.2GPa級の材料試験（公称板厚1.2mm）を行った。図3に示すように試験片はJIS5号で作成し、試験機は島津製作所製オートグラフを使用した。実験結果を図4及び図5に示す。超高張力鋼の強度が上がるほど、引張り強さが増えること、延性が低下すること、なだらかな初期降伏挙動を示すことが確認できた。

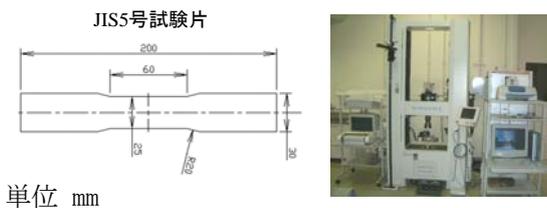


図3 試験片（左）と試験装置（右）

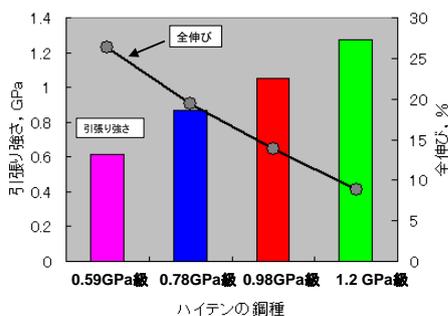


図4 実験結果（材種別引張り強さ・伸び）

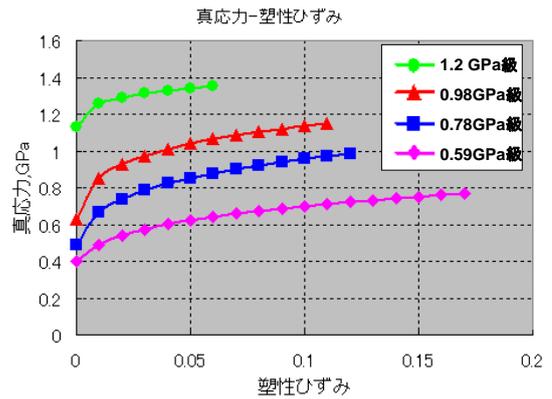


図5 実験結果（1.2GPa級応力・ひずみ線図）

4 小規模テストモデル（Lビーム）の製作と評価

広島県産業科学技術研究所吉田プロジェクトでの成果「最適プロセス設計システム」の開発プロセスにて得たSレイル実験用金型製作の経験を踏まえ、成形時の不具合対策を検証するため、プレス成形時に課題となっている不具合を再現する小規模テストモデル（Lビーム）を製作した。図6に示すモデルに対して、日本イーエスアイ社PAM-STAMP 2Gを使い、表1の境界条件によってプレス成形シミュレーションを行った。図7に製作した金型及び使用したプレス機を、図8にこの金型による成形品を示す。成形品の形状は図9のコンカミノルタセンシング製非接触3次元デジタイザを用いて実測し、シミュレーション結果と比較した。図10がその比較した結果である。ほぼ1mm以内の形状精度であることが確認できた。

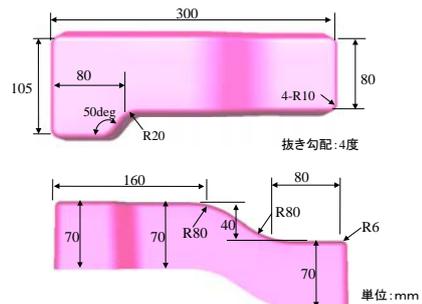


図6 小規模テストモデル（Lビーム）

表1 シミュレーション条件

項目	値
ブランク板厚	1.0mm
ブランク材質	0.59GPa級ハイテン
	短手方向が圧延方向
ブランクサイズ	335 × 260mm
ストローク	70mm
ブランク押さえ力	200kN
パッド押さえ力	50kN
ドロービード	あり / なし
摩擦係数	0.12
成形速度	ホールディング2mm/msec スタンピング5mm/msec

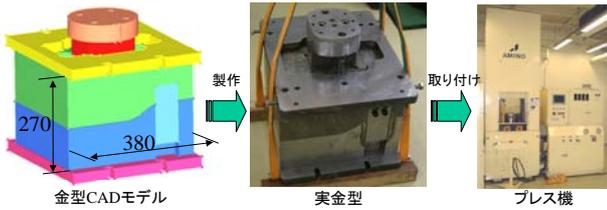


図7 金型とプレス機

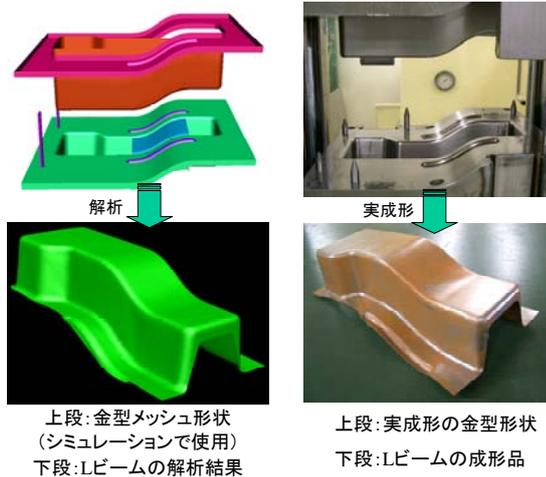


図8 小規模テストモデルと成形品

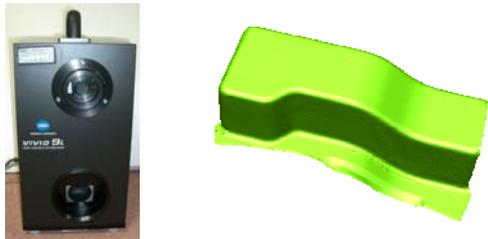


図9 非接触3次元デジタイザ(左)と測定結果(右)

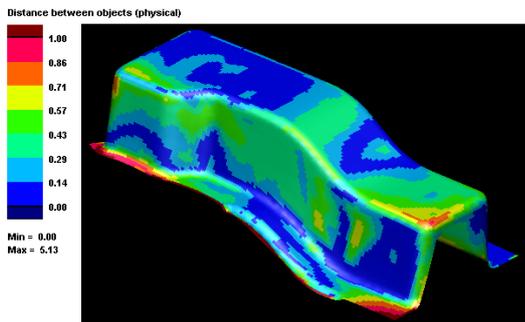


図10 製品と実成形品との形状比較

5 成形加工生産設計支援システムの開発

5.1 解析支援プログラムの開発

(1) 解析結果等表示機能

図11に生産設計を支援するシステム構成を示す。ス

プリングバックによる形状不良、割れやしわなどの発生予測に関しては、材料に対応した解析結果の評価手法の策定が重要となる。解析結果を参照するため、表2に示す機能を実装した。製品図や解析結果の図面表示機能、断面形状などの形状生成機能、座標変換や幅測定などの計測支援機能、工程や物性値などの情報提供機能、点群データを変換する機能などからなる。

データベース化された材料物性値、熟練者の経験やノウハウなどは、表計算ソフトやホームページ閲覧ソフトから利用できるようにしている。

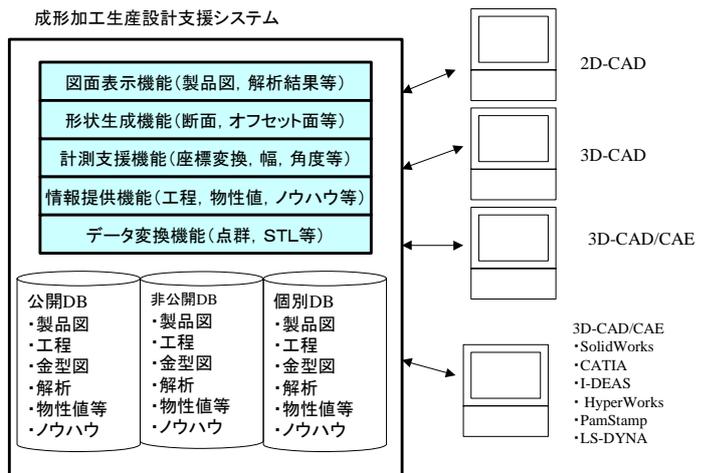


図11 システム構成

表2 機能一覧

項目	内容
図形表示機能	製品図, 解析結果等
形状生成機能	断面, オフセット面等
計測支援機能	座標変換, 幅, 角度等
情報提供機能	工程, 物性値, ノウハウ等
データ変換機能	点群, STL等

(2) 解析用ファイル生成、自動実行機能

高張力鋼板のように割れ、しわ限界の低下による成形可能域が狭い材料においては、実験によって得られた成形限界や成形シミュレーションの解析結果を上手に活用することが重要である。そこで、想定されるさまざまな解析条件下で解析を自動的に行う機能を実装した。

図12に解析を効率よく行うため、解析用ファイル生成及び解析の自動実行の流れを示す。解析制御用の雛形ファイルを元にして、解析条件である材質、板厚、ブランク外形、成形深さ、ダイ肩などを組み合わせて解析用ファイルを自動生成するとともに、生成した解析用ファイルを解析専用システムへ転送、解析実行を自動で行う。

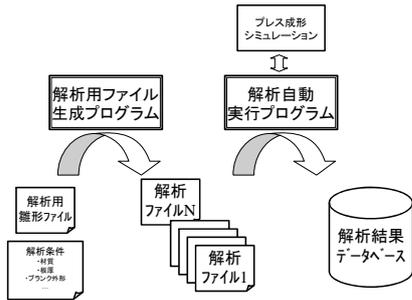


図12 解析用ファイル生成・自動実行の流れ

5.2 生産設計支援データベースの構築

解析支援プログラムを用い、角筒絞り及びハット曲げをモデルとして、条件を変えたものを各々約1000パターン解析した。得られた結果は解析結果等表示機能を使って生産設計時の参考となる。図13に角筒絞りの図面表示例を、図14に成形が進展する様子を、図15に板厚の解析例を示す。

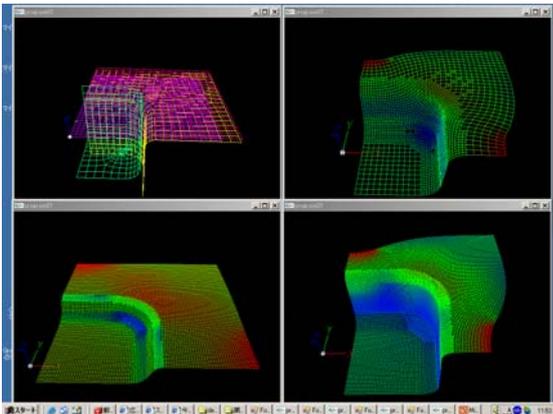


図13 図面表示例（角筒絞り）

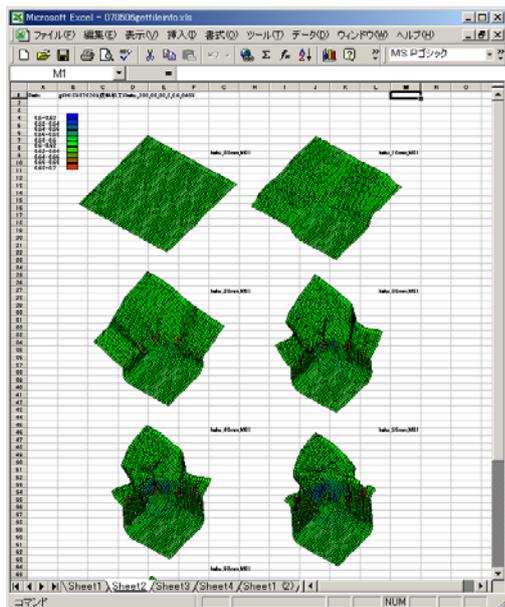


図14 成形過程表示例（角筒絞り）

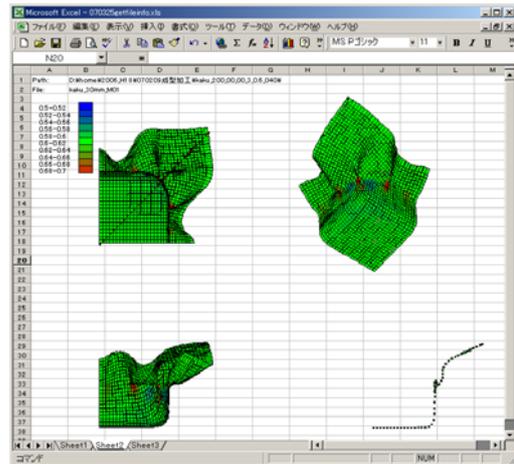


図15 板厚解析例（角筒絞り）

6 結 言

成形加工における生産設計を効率的に進めるため、熟練者の経験と勘に依存していたノウハウを実験やシミュレーションによって「見える化」し、活用する技術開発を行った。本研究の成果は次のとおり。

- (1) 高精度の解析を実現するため、1.2GPa級高張力鋼板の材料物性値を測定、取得した。
- (2) 不具合対策の有効性を検証するため、自動車部品のプレス成形時に課題となっている不具合を再現する小規模テストモデル金型の設計、試作を行った。
- (3) プレス成形の設計を支援するノウハウとして、角筒絞りおよびハット曲げなどの基本的な成形をさまざまな条件の下、解析を行ったデータベースを構築した。
- (4) 専用の解析ソフトを用いることなく、シミュレーションデータを簡易に表示、解析するプログラムを開発した。

今後は、小規模テストモデルに発生する不具合の評価とその対策技術の検討、形状修正のアルゴリズムの提案・評価及び解析支援プログラムの処理性能の向上、多機能化を行う。

文 献

- 1) 「難成形材加工・最適プロセス設計プロジェクト」自動車軽量化を目的とした難成形材の半凝固・塑性加工法の開発とその最適プロセス設計の研究 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