

(論文)

# プレスシミュレーションを活用した油圧ショベルのガード部品開発効率化

## Efficient Production of Guard Components in Hydraulic Excavators Using Press-forming Simulation



崎谷慎太郎\*1

Shintaro SAKITANI

A press-forming simulation was used for the production of guard components in hydraulic excavators. As a result, wrinkles and cracks are efficiently prevented during the press-forming process by optimizing the processes and materials with the aid of the simulation. The computer-aided-design has changed the trial-and-error production method of the past and significantly decreased the period necessary for development.

まえがき＝約20年前の油圧ショベルのボンネットやサイドパネルに使用される外観部品は、薄鋼板を折曲げた程度のものであった(図1)。その後、市場が拡大するなかで商品の差別化などを進める目的から、外観に3次元曲面を多用する商品(アセラ・スーパー・バージョン)を送り出した。油圧ショベルとしては先進的なデザインとして受止められ、グッドデザインを受賞するに到った。しかしながらその一方で、生産面においてはプレス技術が十分でなく、プレス部品を作るまでには設計から生産するまでに多くの修正や手戻りが発生していた。

1990年代後半には、現場となる地域周辺の都市化が進み、従来のような上部旋回体の作業専有面積が広いタイプから、狭所作業性に優れる油圧ショベルへのニーズが高まっていった。こうしたなかで業界各社は、小旋回機の品ぞろえの拡充を図っていた。コベルコ建機(以下、当社という)も、作業能力と運転空間を従来機と同等にした後方小旋回機を市場に送り出した。他社もこの後方小旋回機の品ぞろえを進め、中型クラスでは主力の商品となった。

この後方小旋回機は、従来の通常型と比べると外観にはほとんど平面がなく、3次元曲面のプレス成形や樹脂成形品で構成されていたことが特徴である。この後方小旋回機の出現によって、外観部品の3次元化が一気に進んだ。(図2)

3次元曲面を持つ部品は、当初、樹脂成形されることが多かったが、塗装色への対応と塗装耐久品質の確保が難しかった。また、剛性の確保の点では、従来から使用している鋼板の方が有利であり、また、現場での補修にも優れる点から薄鋼板を使ったプレス成形品が主流となっていった。しかしながら、プレス部品の開発では成形

過程での割れやしわなどの予測が困難であったことから試行錯誤で開発することが多く、時間と労力を費やしていた。

そこで、プレス部品の開発にプレス成形シミュレーションを活用して開発の効率化を図るとともに、開発フローを変革する活動を進めた。以下にその概要を報告する。



図1 油圧ショベル「アセラ」  
Fig. 1 Hydraulic excavator "ACERA"



図2 コベルコ「SK235SR-2」  
Fig. 2 KOBELCO "SK235SR-2"

\*1コベルコ建機(株) グローバルエンジニアリングセンター 生産設計部

## 1. 従来の開発設計工程の状況

アセラを設計した約20年前は3次元CADそのものが珍しく、当時の設計の主流は2次元CADであった。しかしながら、航空・自動車産業の分野において3次元CADの普及が進み始め、建設機械分野にも徐々に浸透を見せ始めた。そうしたなかでも、プレス部品の設計は依然として従来の2次元CADが中心であり、2次元では表現し切れない3次元曲面部分のみを対象とする3次元CADに取り組み始めた程度であった。

一方、金型設計から部品の完成までのものづくりの段階でも、基礎的なプレス成形理論をもとにした設計や製作作業は進められていた。しかしながら、成形性を事前に定量的・視覚的に評価することは難しく、いわゆる「経験」と「ノウハウ」で決められる部分も多く存在していた。すなわち、試作金型による部品の試作を繰返し、しわや割れが発生しないことが確認されるまで量産金型や図面へのフィードバックを行っていた(図3)。なかには、たび重なる修正を試みるも、最終的に量産プレス成形が実用できず、設計の上流段階までさかのぼって設計を見直し、金型を改めて製作し直す事例もあり、時間と費用がかかっていた。

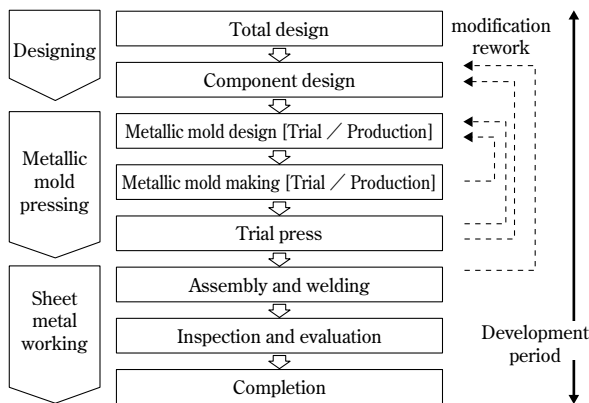


図3 プレス部品の設計・生産工程

Fig. 3 Process of development and production for stamping

## 2. 成形性の基礎理論からシミュレーションへ

自動車業界を中心に成形性の研究が急テンポで進んだ1960年代、経験技術的な側面が強い成形技術の体系化が試みられるようになった。例えば、1965年にKeelerによって提案された成形(変形)限界線図FLC<sup>1)</sup>は、成形難易度評価の手段として広く知られている。

バブル経済の崩壊後、生産プロセスの効率化やコストダウンが大きな課題となったことを契機にプレス成形技術が見直しされ、FEMを用いた成形シミュレーションの開発が進んだ。

2000年代に入ると、3次元CADの性能は飛躍的に向上して3次元設計が日常のものとなったと同時に、FEMによる成形シミュレーションの活用が一気に加速した。近年は、低燃費・軽量化を目指したさらに難易度の高い高張力鋼板のプレス成形にシミュレーションが活用されるなど、その広がりを見せている。

## 3. プレス成形シミュレーションの解析プロセス

プレス成形シミュレーションは現在、PAM-STAMPを用いて行っている。シミュレーションの手順としてはまず、各種材料のヤング率、ポアソン比、比重、塑性ひずみ値( $r$ 値)、真応力ひずみ線図に必要な $n$ 値などを実際の材料から収集して入力する。つぎに、製品の3次元CADデータを基にした成形プレス状態での形状作成と金型構成部品の定義、プレスのストローク量、プレス速度、クッション圧などの成形条件の入力を行えば完了である。材料特性値を一度データベース化しておけば、様々な条件に対して結果が得られる(図4)。

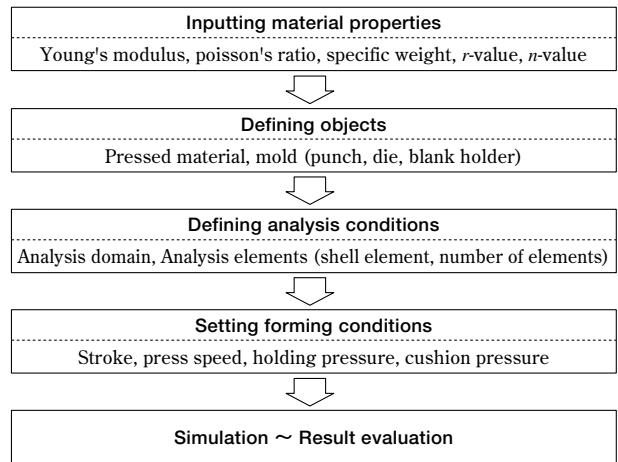


図4 成形シミュレーションの流れ  
Fig. 4 Process of stamping simulation

## 4. プレス成形シミュレーションの導入

### 4.1 ドロー成形への適用

本格的にプレス成形シミュレーションを導入したのは、SK235SR-2の開発からである。プレス金型メーカーや薄板板金メーカーと協力して実運用に向けての準備を開始した。各種の材料物性値の収集やアプリケーションの操作の習熟など、必要とされる取組を進めた。一方、シミュレーションの運用とその結果の評価については、慎重な検証作業を平行しながら実際の開発に運用に入っていた。

初めの実運用はダクト部品(図5)である。本部品のプレス成形方法は一般的なドロー成形を採用した。図5は、金型が仕上がって初めて成形トライを行ったときの様子である。左に実際のプレス成形の段階的な写真、右にシミュレーションでの同じ段階の図を並べて掲載している。実際のプレス成形とシミュレーション結果には予想以上に相似性がある結果となった。

このプレス成形では、事前に数回のシミュレーションを行って材料を選定した。

まず、材料選定においては、材料物性値により成形できる限界が異なる。この材料物性値と成形との関連付けを行ったものが成形限界線図FLC<sup>1)</sup>(図6)である。今回のプレス成形シミュレーションでもこの線図に則り、適用する材料を検討した。図7はシミュレーション結果の

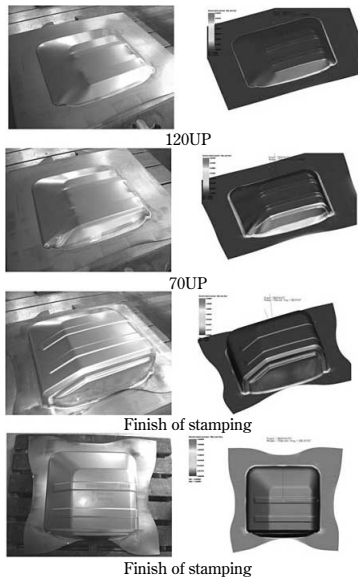


図5 ドロー成形  
Fig. 5 Draw forming

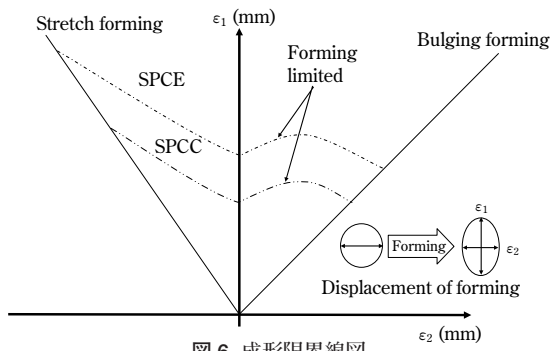


図6 成形限界線図  
Fig. 6 Forming limited curve

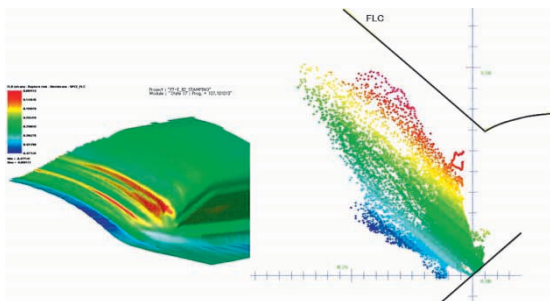


図7 シミュレーションでのFLC適用例  
Fig. 7 Application example of simulation for FLC

一例である。

今回のダクトの材質は、入手性とコスト制約から、SPCD材とSPCE材が候補に残ったが、シミュレーション結果で成形限界線内に何とか収まるSPCE材を選んだ。結果は、図5に示したように割れや破断などなく、非常に良好なものであったが、成形の際にショックラインが製品形状内に流入してしまう不具合が発生した。ショックラインは、材料に初めて金型壁面のR部分が当たるため起こる傷であり、外観上好ましくない。このため、ショックラインの位置をコントロールするために、材料を保持するロックビードの位置をプレスシミュレーションにより検討し、再成形を行った。その結果が図8に示す状態であり、精度の高い結果が得られるとともに、不具合の解消を行うことができた。

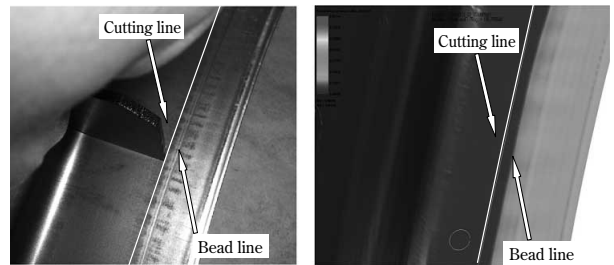


図8 ショックラインの比較  
Fig. 8 Comparison of shock line

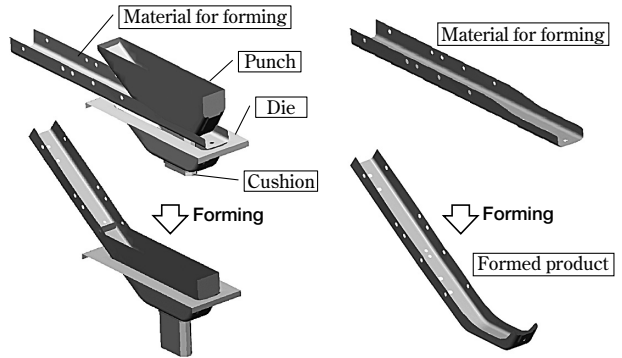


図9 フォーム型構成と製品  
Fig. 9 Component of forming die and product

#### 4.2 フォーム成形への適用

このプレス成形シミュレーションをフォーム成形に適用できないか、さらに検討を進めた。背景は、ドロー成形に比べてフォーム成形では工程数が少なく、また、金型構造も簡易で安価であるためである。ドロー成形と比べると、フォーム成形はブランクホルダと呼ばれる型部材がなく、複雑な成形は難しい方法である。

コの字部材をフォーム成形にて長手方向に曲げる製品の開発にシミュレーションを活用した。その形状と簡単な型構造を図9に示す。実際の成形とシミュレーションとの相似性は、図10に示すように、比較的容易に確認できた。しかし、しわが残ったため、製品としては使い物にならない結果となった。すなわち、コの字断面の部材をフォーム成形にて長手方向へ曲げるため、図10に見られるように、長手方向の曲げ部分の側面の2箇所やしわは何とか解消できるものの、先端部分に板厚の増大によるしわの発生が課題として残った。

そこで、シミュレーションを活用し、成形過程を順に追ってしわが発生する原因を推察した(図11)。成形初期では、長手方向の曲げを行う段階で側面にしわが発生する。成形中期では、材料の逃げ場がないために側面のしわが先端に移動し、先端がねじれる。そして成形後期では、先端部が座屈してさらに押し潰されて成形が完了する、と推察できる。

その様子を、シミュレーションによってさらに細かく確認した結果を図12(図11のView Iの矢視図)に記す。形状や変形は左右対象としたため、右半分を示した。また、プレス完了段階では、板厚分布を表示しており、材料が中央部分に集まってしわが形成される様子が見られる。

この結果を基に検討を重ね、成形初期に起こる側面の変形を広い範囲で強制し、先端部への材料流入を緩和す

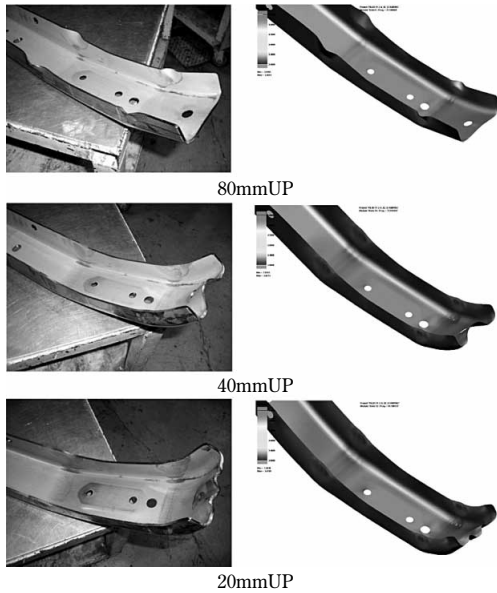


図10 シミュレーションと実フォーム成形の比較  
Fig.10 Comparison of simulation with actual forming

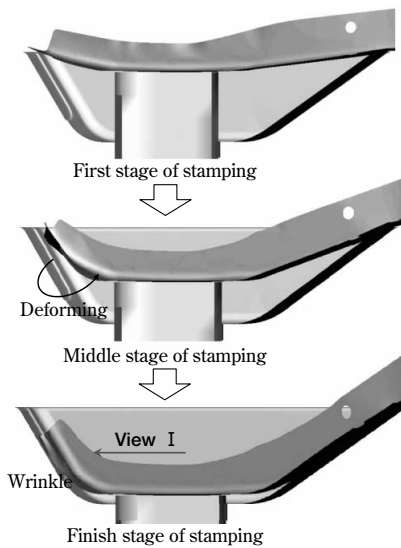


図11 フォーム成形過程  
Fig.11 Process of forming stamping

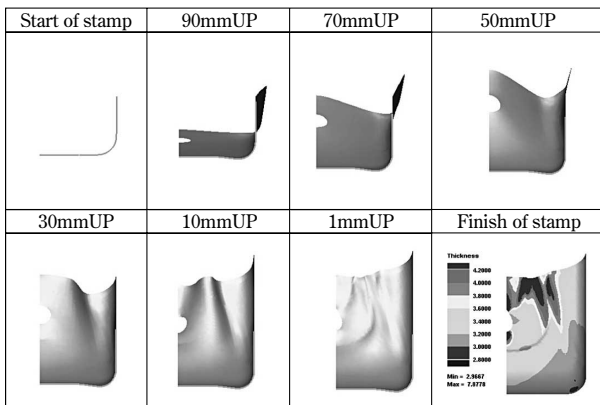


図12 View Iでのシミュレーション過程  
Fig.12 Process of simulation of forming on view I

る方法を検討した。具体的には、プレス側面の高さを上げ、その断面をテーパ状とする案(図13)をシミュレーションした結果、板厚3.2mmに対して、余肉部の板厚最大値は7.8mmから4.3mmに減少し、3.8mmを超える板厚

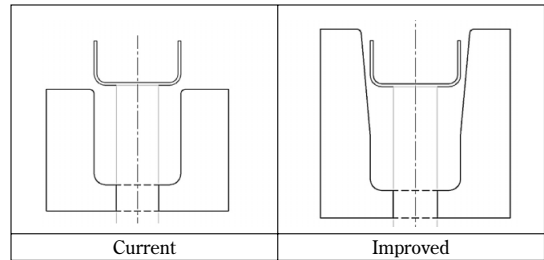


図13 対策金型断面形状  
Fig.13 Measurement section shape of die

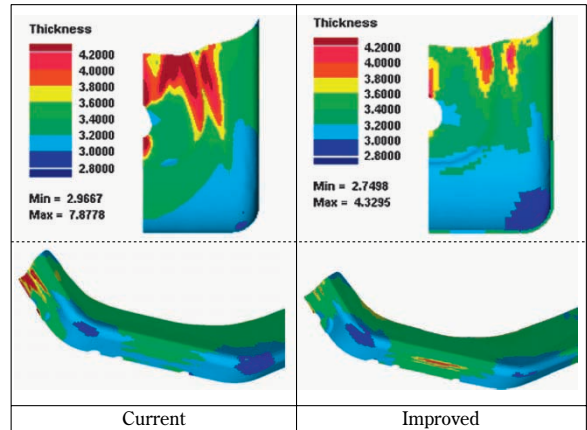


図14 板厚分布のコンター図  
Fig.14 Contour of thickness distribution

の面積も表面積全体の0.76%から0.08%減少した。

部材全体を見ても、板厚の厚くなる部分が先端部に集中する様子はない(図14)。実際の成形においてプレス断面をテーパ状にして検証した結果、先端部のしわは発生せず、外観上全く問題ないレベルに仕上がった。

## 5. プレス成形シミュレーションの導入による効果

シミュレーション導入後、開発プロセスが変革した。金型完成までの期間は、シミュレーション検討のため2週間程度伸びた反面、従来、金型が完成してから1~2箇月程度かかっていた手戻り期間が数週間単位に短縮された。また、シミュレーションで得たデータと従来の「経験」部分と照らし合わせるにより、成形に関する「見える化」が進んでいる。さらに、事前検討が難しかった材質やサイズの適正化、金型サイズや構成の検討を各サプライヤーとコンカレントに行い、製品と金型に要するコストを圧縮できるようになった。

むすび=新興国で生産される油圧ショベルが増大し、コスト競争力が必要とされる昨今、コストダウン・開発期間短縮への要求は高い。こうしたなか、プレス成形シミュレーションを導入することにより、従来の試行錯誤でのプレス部品開発から脱却して事前検討が行えるようになった。これからも、建機のものづくりに適した開発や手法を探求していきたい。

## 参考文献

- 1) 薄鋼板成形技術研究会. プレス成形難易ハンドブック, 第2版, 日刊工業新聞社, 1997, p.1-41.