

AutoForm-Sigma を用いた スプリングバック低減の 取組事例

オートフォームジャパン(株)
今井洋徳*、山本貴行**

背景

次世代の自動車開発体制として、環境性能の向上や、電動化に伴う車体軽量化への対応が大きな課題として挙げられる。衝突安全性能の確保と軽量化という、相反する課題を解決するための手段の1つとして、骨格系部品への高強度鋼板の採用が進められている。

ところが、高強度鋼板は一般的に製品として高い強度を持つ一方で、製品を形作るための成形性や、成形後の形状凍結性の担保が難しい。このため、従来の設計・製造プロセスのように生産技術による対応のみで高品質な製品を短期間で開発することが困難になっている。

従来、プレス成形シミュレーションは設計された製品の製造を生産技術がいかに成立させるかを検討するためのツールとして利用されてきた。しかし、近年のこうした背景から、製品設計段階においても成形性や形状凍結性をあらかじめ考慮するためにプレス成形シミュレーションを利用した不具合予測とそれに基づく検討・対策が求められている。

目的

製品の設計・製造プロセスを包括的にとらえた場合、スプリングバック量を低減させることがコスト的に最も優れた対策であることは言うまでもない。本稿では、指定された工程計画を変更することなく、スプリングバック見込みを行う際にアンダー形状が出ないようにスプリングバック量の低減を試みた事例を紹介する。

AutoForm-DieDesigner を使用し、現実的なレベルでの高速かつ柔軟なダイフェース設計を行い、設計変数の設定、計算、結果の分析に AutoForm-Sigma を利用することで、複雑なスプリングバック現象と設計変数との関係性を体系的に分析する。

検討部品

本稿での検討対象部品を図1に示す。本製品は

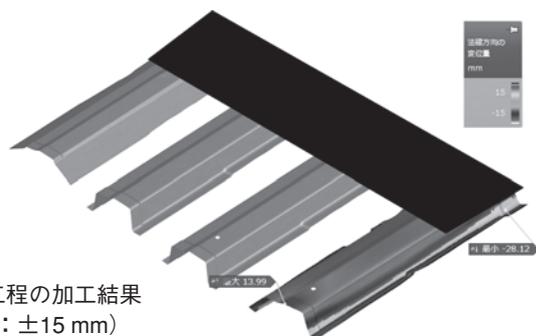


図1
対象製品と各工程の加工結果
(カラーレンジ：±15 mm)

*(いまい ひろのり)：技術サービス部
〒105-0021 東京都港区東新橋 2-3-17
MOMENT SHIODOME 3階
TEL 03-6459-0881 FAX 03-3431-7661
**(やまもと たかゆき)：同上

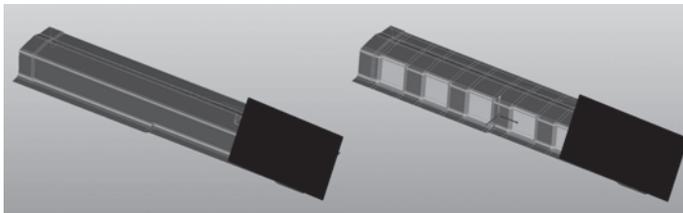


図2 モーフィングを使用したリブ形状の作成

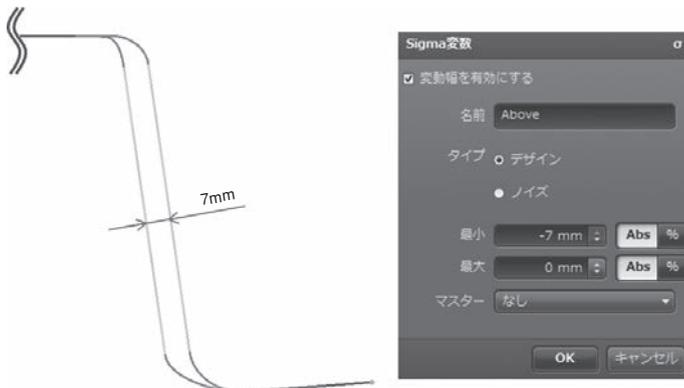


図3 移動量の Sigma 変数化設定



図4 リブ形状深さの Sigma 設定

板厚 1 mm、材質 1,180 MPa 級の超ハイテンで設計された構造部材である。なお、本製品は顧客と協同で行ったスプリングバック低減の取組事例のため、機密個所は画像を加工している。

この製品は工程計画およびコスト見積りの結果、「曲げ」「曲げ」「ピアス/トリム」の3工程で製造するものとして検討を進める。図1に加工工程と、最終工程終了後のスプリングバック変位量を示す。

図1では負の値がスプリングバック、正の値がスプリングゴーを表している。スプリングバック量は 25 mm を超え、このままスプリングバック

見込み変形を行うと金型にアンダーが発生してしまうことは明白である。アンダー形状が発生した場合、カム加工や追加工程が必要となり、製品製造コストの見積もりが前提から大きく異ってしまう。そこで、製品設計の自由度の範囲で形状に関する以下3パラメータを変更し、現行の工程設計で見込み変形が成立するようスプリングバック量の低減を検討する。なお、スプリングバック量を正負逆転して見込み変形をかけた場合、アンダー形状とならない限度の目安としては±7 mm 程度である。

スプリングバック量低減検討① 製品壁面に対するリブ形状の追加

一般的にスプリングバック量の低減対策として、リブ形状やエンボス形状を追加することが多く、本製品も両壁面にリブ形状を設定し、スプリングバック量の低減を検討する。ただし、この部品の材質は 1180 MPa 級の超ハイテンであるため、大きく伸びを求められる形状を設定してしまうと割れの危険性が高まるリスクがある。そこで、割れ、スプリングバックに対して現実的な形状となるリブ深さを Sigma 変数として設定する。

1. 設定手順

AutoForm の形状変更機能、モーフィングを使用した変形によって両壁面にリブ形状を生成する。変形時の面移動量を Sigma 変数として設定し、最適なりブ深さを検討する (図2)。

変形量は、組付けや他部品との干渉を考慮して、図3に示すように 0~7 mm の範囲とした。

両方のフランジ壁面に対してそれぞれ6個のリブを配置し、リブ深さは同一フランジ内では一定を保って変形する。一方で、それぞれフランジ部は深さ、角度とフランジ上に存在する形状が異なるため、最適なジョグル深さは異なる可能性がある。そこで、個別に最適化ができるよう変数を設定し、図4に示すように2変数の設定でトータルの計算数は 64 ケースの Sigma 解析を実施した。

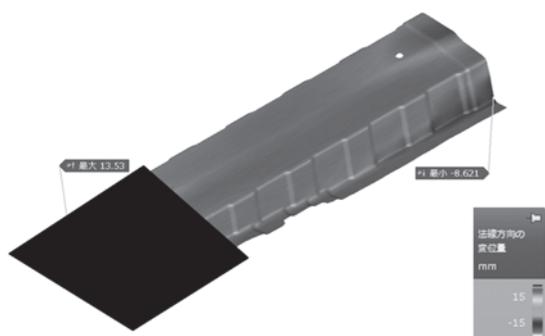


図5 設計変数範囲での要素ごとの最善結果コンター (カラーレンジ±15 mm、法線方向の変位量、最高値)

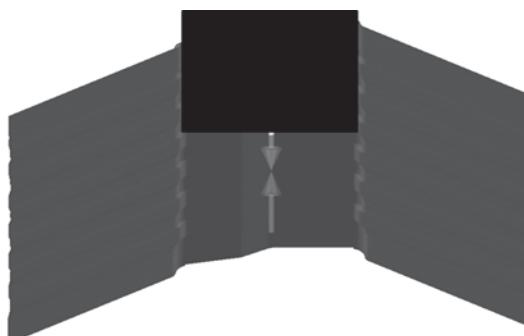


図6 初工程の加工金型形状

2. 計算結果の評価

計算結果のスプリングバック量を確認すると、図5に示すように天板の穴がない側の側面のリブ深さが4.5 mm、天板の穴がある側の側面のリブ深さが6 mmのリブ形状のとき、最大13 mmのスプリングバック量となった。割れを考慮するとこれ以上のリブ深さの設定は行えず、なおかつこれ以上のリブ深さを設定してもスプリングバック量もさらに大きくなる結果となっているため、目標の±7 mm とするには、別のパラメータでの改善を検討する。



図7 初工程加工角度のSigma変数化設定

スプリングバック量低減検討② 初工程の加工形状の最適化

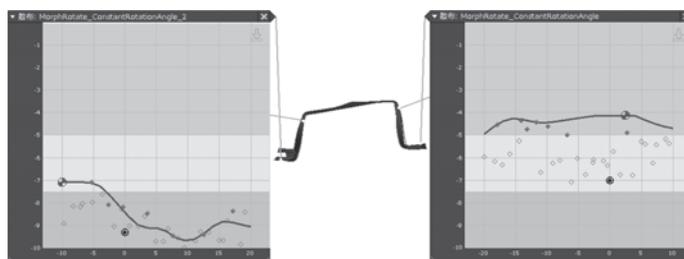


図8 加工角度変化量に対する両フランジのスプリングバック量の応答

初工程はクラッシュフォーム加工で、金型形状は図6に示すとおりである。

1. 設定手順

両側のフランジは中間加工であるため比較的自由に角度を変更することができる。初工程での金型の両サイドの角度を変化させることにより、加工状態が変化することになる。加工角度をSigma変数として設定し、最終製品のスプリングバック量の低減を検討する。

初工程における加工角度の変数化は図7に示すとおりである。初期の工程設計では水平に対して30°のフランジ角度で加工しているが、それぞれ角度が深い方向に10°、浅い方向に20°までの

範囲で最適な加工角度を検討する。なお、角度を深くする方向の変化については、次工程にパネルを乗せた際に担ぎが発生しない10°を限度とした。初期状態では両フランジの角度開き量は同一だが、ここでは両サイドの開き量に対するスプリングバック量の応答が異なることを想定して、独立の変数として検討する。

2. 計算結果の評価

図8に加工角度変化量に対する両フランジのスプリングバック量の応答を示す。

本図では縦軸に示された負の値がスプリングバック、正の値がスプリングゴーを表している。横

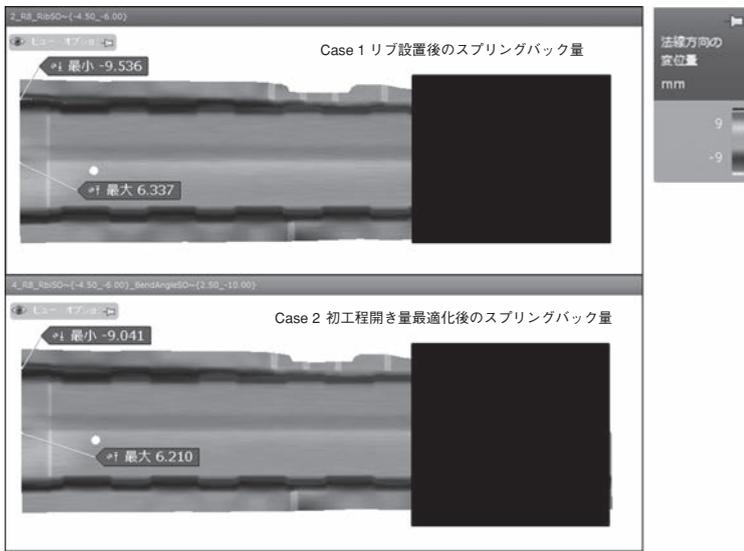


図9 Case 1 と Case 2 の結果比較（カラーレンジ±9 mm、法線方向の変位量）

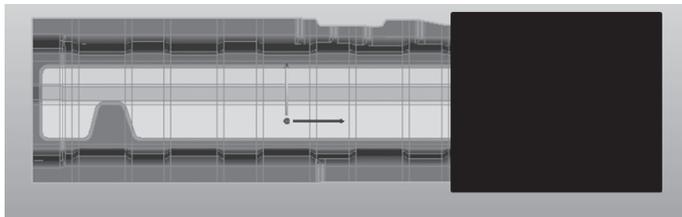


図10 ステップ形状の設置範囲

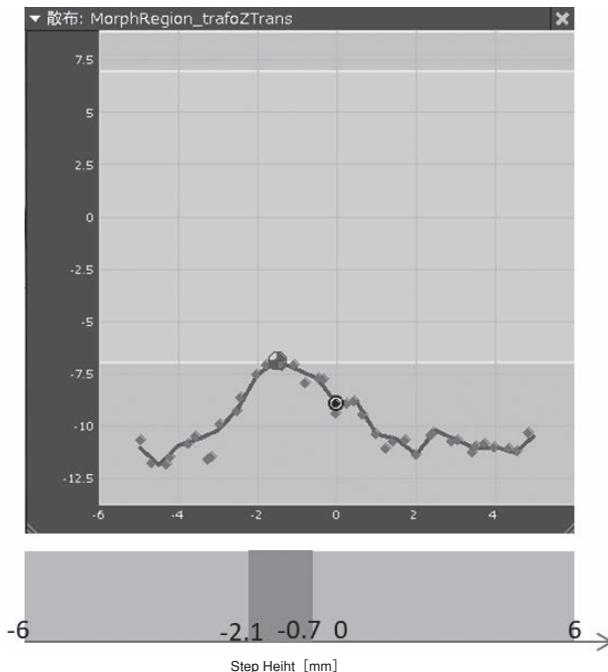


図11 ステップ高さとスプリングバック量の関係

軸は加工角度の変更量を示しているが、同一方向に回転軸を取っているため、天板に穴がない側のフランジでは正が壁開き方向、負が閉じ方向を表しており、天板に穴がある側のフランジでは正が壁閉じ方向、負が開き方向を表している。

図8の左の散布図から上面に穴がない側のフランジは初工程でより深く加工したほうが最終製品におけるスプリングバックを低減できることが分かる。一方、右の散布図からは明確な傾向が得られないものの、初工程で約2.5°深く成形することが今回の検討範囲では最も有利な結果と言える。今回の結果は比較的ばらつきが大きいので、最後にSigma解析にて予測した最適開き量の確認解析を実施した。

図9はリブ追加直後の結果と、初工程での加工角度をオリジナル設計からそれぞれ10°、2.5°深くした結果を比較したものである。変化は小さいものの、スプリングバック量が最も大きい部位におけるスプリングバック量が9.5 mmから9 mmに低減されている。

スプリングバック量低減検討③ 部品上面へのステップ形状追加

1. 設定手順

製品天板部には、他部品との組付け位置が存在することから、当該部分を避けた領域の高さを変更する。図10には実際の面移動領域、およびオリジナル形状との徐変領域を表している。面の変形量は、凹凸両方を考慮できるようにプレス加工方向に±5 mmの範囲とした。

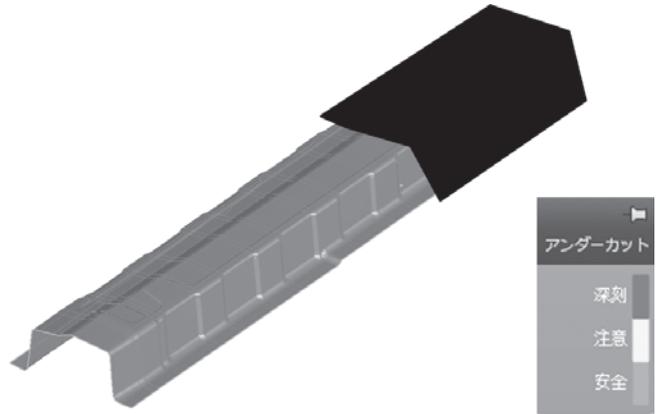
2. 計算結果の評価

図11にSigma計算によって得られたステ



図 12 ステップ高さ1.5 mm でのスプリングバック結果

図 13
見込み後の製品形状における
アンダーカット評価



ップ高さとしスプリングバック量の応答を示す散布図、およびそこから作成した簡易的な1次元のプロセス・ウィンドウを示す。

横軸がステップ高さを表し、縦軸が製品内で最大のスプリングバック量を取る部位での法線方向の変位量を示している。プロットの背景とプロセス・ウィンドウはそれぞれスプリングバック量±7 mmをしきい値としている。

以上の結果から、ステップ高さ(深さ)約-0.7~-2.1 mmの形状を付与したときに、スプリングバック量7 mm以内を達成することができる。この結果から、ステップ高さを-1.5 mmとした確認解析の結果を図12に示す。

目標は、見込み変形を入れても曲げ刃にアンダーが発生しない程度までスプリングバック量を低減することである。そこで、AutoForm-Compensatorを使用して見込み変形確認を行い、現状のスプリングバック量をそのまま見込んだ場合、アンダーが発生するかどうかを確認した。なお、使用した見込み補正係数は1倍、つまり発生したスプリングバック量をそのまま正負反転して見込み変形を適用した。

図13に示すように壁面にアンダーカットはな
第58巻 第3号(2020年3月号)

く、見込み変形の実現性を担保することができた。

まとめ

今回の取組みでは、スプリングバック量低減に寄与する形状パラメータをSigma変数として設定し結果の分析を行った。それぞれの形状変更について適切な目標値を定め、最適な深さや角度を求めることで、目標である見込み変形が可能な程度までスプリングバック量を低減することができた。

AutoForm-DieDesigner と AutoForm-Sigma を設計早期に活用することで、初期の製品形状がリリースされた時点で見込みの可否判定から、適切な設計変更提案までを短時間かつ体系的に実施することができことを示した。紹介した、形状変更、計算実行、評価、見込み確認までの一連の全ての作業は、半日(4時間)で終了した。

本稿の内容はさまざまなシミュレーション活用をご紹介している当社HPにも掲載している(<https://formingworld.com/>)。ぜひご覧いただきたい。