

プレス成形シミュレーション技術を駆使した 高効率プレス成形技術の開発

生産技術部

永倉寛巳 中野太郎

1997年の地球温暖化防止京都会議(COP3)に代表されるように、自動車に対しては燃費や排気に関する規制が強化されてきている。燃費の向上や低CO₂化を図るためには、特に車両の軽量化が重要かつ緊急な課題となっている。本研究は、省エネ部材、軽量化部材として期待されているマグネシウム合金の高効率かつ低コストのプレス成形技術を確認することを目的としている。本年度は、マグネシウム合金の自動車部品への適用において大きな障害となる成形加工時のスプリングバックについて、マグネシウム合金の成形途中で縦壁の張力を増加させる方法、しわ押さえを加えないことでダイ肩の曲げ変形を低減する方法、さらに両者を組み合わせた方法について、プレス成形シミュレーションによるスプリングバック検証を行い、その低減効果について検討を行った。その結果、スプリングバックの要因となる縦壁の壁反り量、開き幅、ねじれ量が低減できることが明らかとなった。

1. はじめに

マグネシウム合金のプレス成形技術は、軽量化を目指す自動車用大型部品の製造技術として欠くことが出来ない技術であり、今後、必要となる技術として大きな期待が寄せられている。しかし、マグネシウム合金のプレス成形上の問題点としては、冷間での成形が困難であり、その成形は温間での成形に頼らざるを得ないことである。また、マグネシウム合金の場合はヤング率が低いためプレス成形後のスプリングバックが大きく発生し、それが自動車部材として適用する場合に大きな障害となることである。そのため車体軽量化のためのマグネシウム合金適用においてはスプリングバック対策が重要な課題の一つとなる。

本研究では、マグネシウム合金の自動車部品への適用において大きな障害となるスプリングバックについて、プレス成形シミュレーションシステムを適用し、その対策技術の検討を行った。ここでは、①ドローペンド成形において成形途中で縦壁の張力を増加させる方法、②しわ押さえを加えないことでダイ肩の曲げ変形を低減する方法、③両者を組み合わせた方法についてスプリングバックの検証を行い、その低減効果について検討を行った。

2. 実験方法

図1に本研究でスプリングバックの検証に用いたねじれ試験モデルを示す。

モデルの断面はハット形の形状で、長手方向の長さは600mm、成形高さは80mm、両端のハット幅は100mm

と140mmである。また、幅100mm端面より200mm部分のところからハット幅が7.5°、10°、15°の角度で変化する形状で縦壁スロープは5°である。

図2にスプリングバックを評価した断面を示す。本研究では、長さ600mmの両端からそれぞれ5mmの箇所での断面形状でスプリングバックの評価を行った。ここで幅100mm側の断面を評価断面1とし、幅140mm側の断面を評価断面2とした。

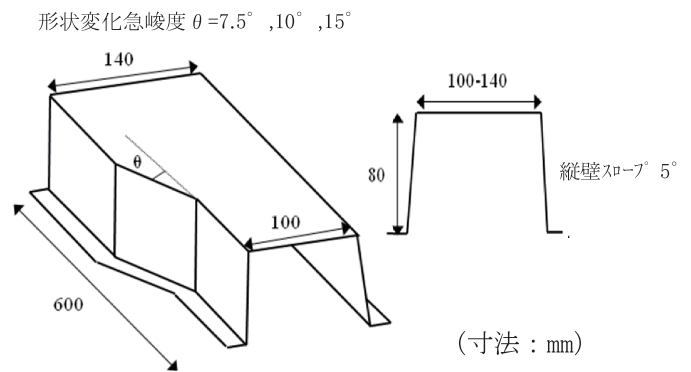


図1 ねじれ試験モデル

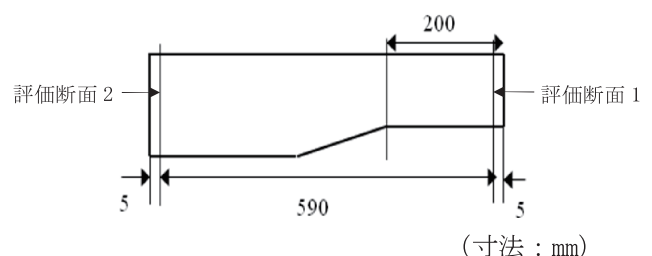


図2 評価断面

2.1 縦壁の張力制御

縦壁の張力を成形過程において変化させる方法としてしわ押さえ力の制御によってスプリングバックを改善できることが報告されている¹⁾。ここではドローバンド成形において成形初期のしわ押さえ力を63KNとした。その状態から成形後期にしわ押さえ力を200, 400, 600, 800, 1000KNに変化させて縦壁の張力を制御した場合、スプリングバック改善にどのような効果を及ぼすかシミュレーションにより検証を行った。しわ押さえ力を変化させる地点は下死点前2mmと4mmの2条件とした。

2.2 フォーム成形

スプリングバック改善策としてフォーム成形が現場的に使用されている例が増えてきている。フォーム成形はブランクホルダーによるしわ押さえ力を加えない成形であり、しわ押さえ力を加えるドローバンド成形に比べ、ダイ肩の曲げ変形量を小さくできるため壁反りの低減が可能となることが報告されている¹⁾。ここではフォーム成形を行った場合のスプリングバック検証を行い、その改善効果について検討を行った。

2.3 フォームドロー成形

フォームドロー成形はフォーム成形の最終工程でブランクホルダーによりしわ押さえ力を加える成形法である。ここではしわ押さえ力を加えない状態から、成形後期にブランクホルダーによりしわ押さえ力200, 400, 600, 800, 1000KNを付加した場合のスプリングバック検証を行い、その改善効果について検討した。しわ押さえ力を変化させる地点は下死点前2mmと4mmの2条件とした。

2.4 形状変化急峻度

ここでは断面幅を100mmから140mmに変化させる形状変化急峻度のスプリングバックに及ぼす影響について検討する。しわ押さえ力が63KN一定の条件で、角度変化7.5°、10°、15°の場合のスプリングバック解析を行い、形状変化急峻度のスプリングバックに及ぼす影響について検討した。

3. 実験結果

3.1 形状の測定条件及び評価・解析条件

図3にねじれ試験モデルの形状の測定条件を示す。同図の左はスプリングバック前後の断面形状を示したものである。ここで破線はスプリングバック前、実線はスプリングバック後の断面形状を示している。成形品を型からはずした時、成形品の縦壁はスプリングバックにより曲がって壁反りを引き起こす。こ

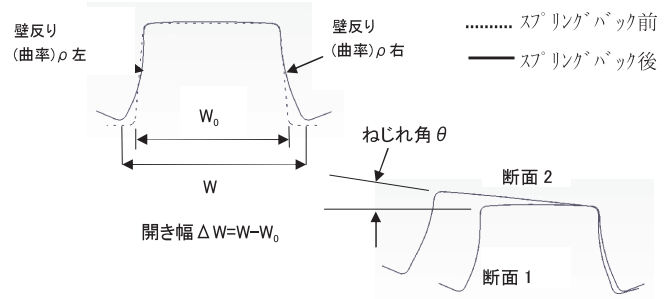


図3 形状測定条件

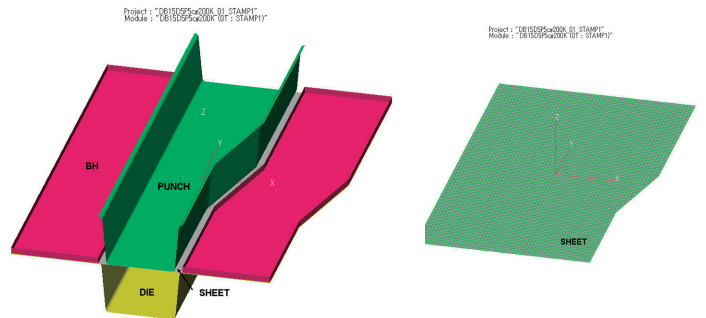


図4 解析モデル

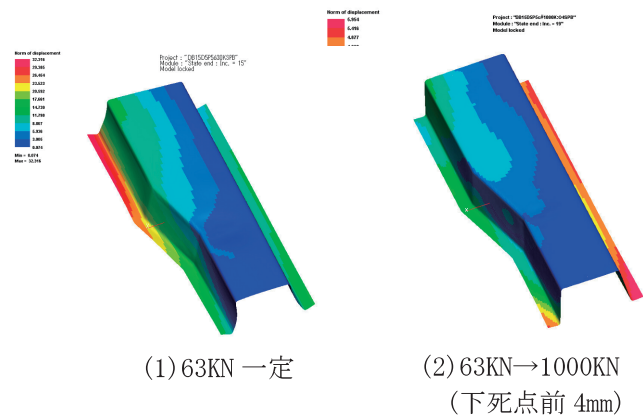


図5 スプリングバック変位量解析例

ここではスプリングバックの評価の一つとして、評価断面1及び2のそれぞれについてスプリングバック後の左右両壁の壁反りの程度、曲率を評価した。加えて断面の開き幅としてスプリングバック後の開き幅Wからスプリングバック前の開き幅W₀をひいた断面の開き幅ΔWを評価した。また、同図の右に示しているように、評価断面1及び2の天面はスプリングバック前は同一水平面上にあるが、スプリングバック後は両断面にねじれを生じる。ここでは2つの断面間のねじれ角θの評価も合わせて行った。

図4にシミュレーションでの解析モデルを示す。

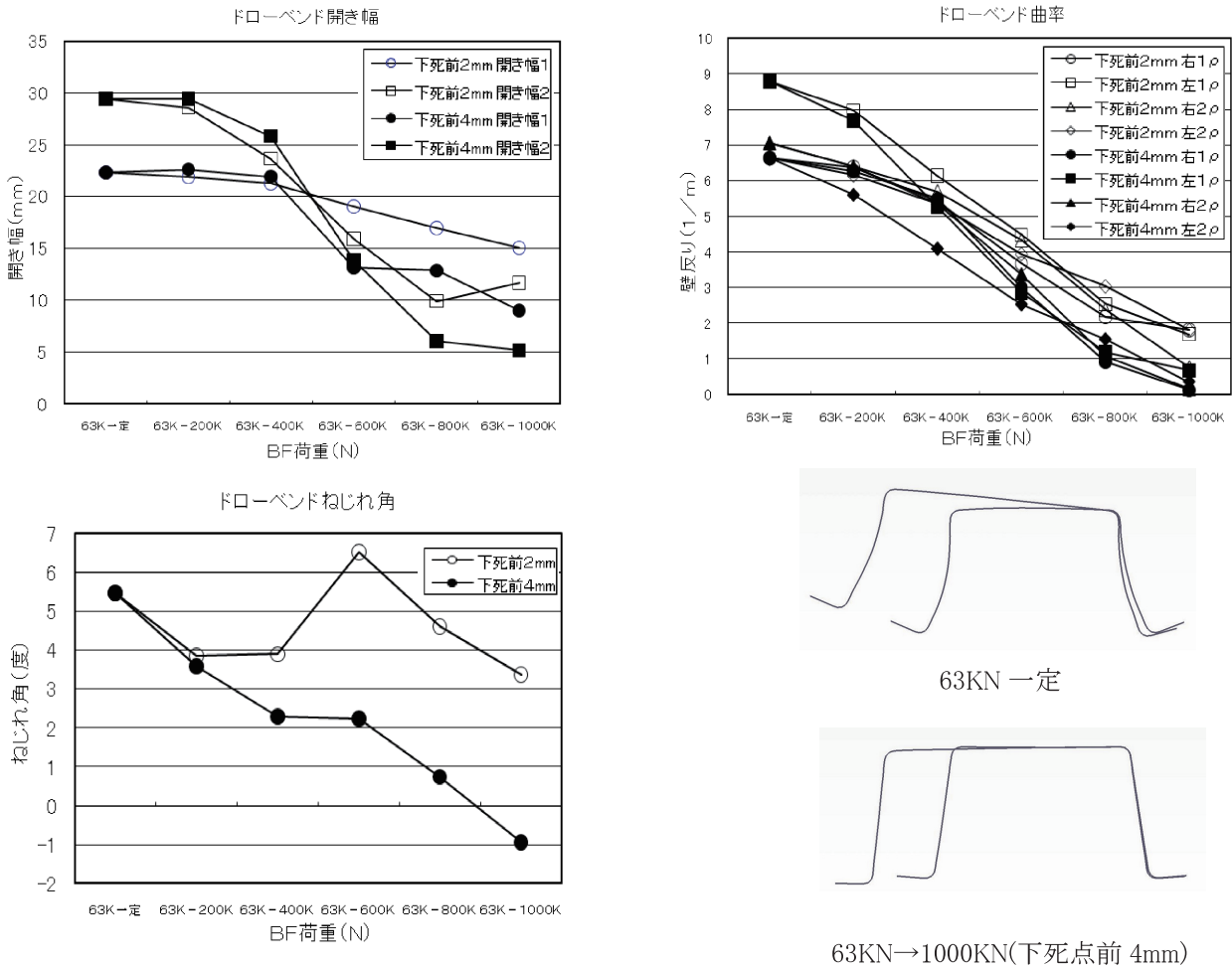


図 6 ドローベンド縦壁張力制御結果(形状変化急峻度 15°)

解析条件はシート材は市販のマグネシウム合金AZ31材で板厚が1mm, 金型形状はダイ肩Rが5mm, パンチ先端Rが5mm, シートのメッシュサイズは5.5mm, アダプティブメッシュは2回, 金型温度は250°Cの条件である. 図5にドローベンド成形時のスプリングバック変位量解析の一例を示す.

3.2 縦壁の張力制御

図6にドローベンド成形において下死点前2mmと下死点前4mm地点で縦壁張力の制御を行った場合の, スプリングバック開き幅, 壁反り(曲率), 断面のねじれ角の解析結果を示す. しわ押さえ力を63kN一定とした場合はスプリングバックによる断面の開き幅は22~29mm, 壁反り(曲率)は6.6~8.8m⁻¹, 評価断面2のねじれ角は5°以上でスプリングバックが大きく発生している. しかし, 縦壁張力を制御するしわ押さえ力が增大するに従って, スプリングバックによる断面の開き幅, 壁反り(曲率), ねじれ角はともに次第に減少している. 縦壁の張力を制御するこ

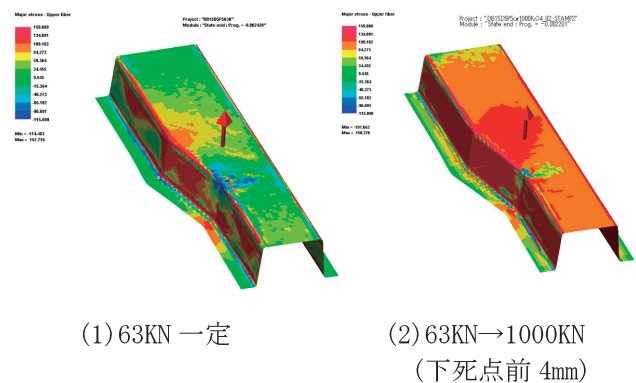


図 7 最大主応力解析結果

とでスプリングバックがかなり改善されることが解析の結果から判った. 下死点前4mm地点でしわ押さえ力を63kNから1000kNに変化させた場合には, 断面の開き幅は5~9mm, 壁反り(曲率)は0.1~0.7m⁻¹, 評価断面2のねじれ角は1°程度で, しわ押さえ力を63kN一定とした場合に比べてスプリングバックが

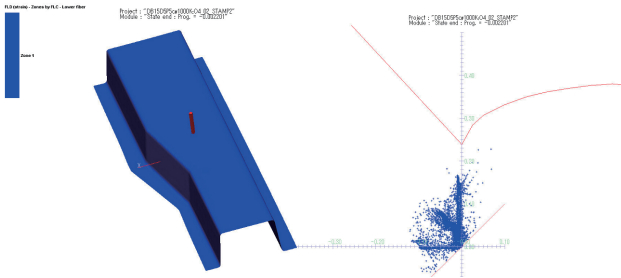


図 8 ドローベンド成形におけるFLD割れ解析
(63KN→1000KN(下死点前4mm))

大きく改善している。次に、ねじれ角に関しては下死点前 2mm でしわ押さえ力制御を行った場合は大きな改善効果は得られていない。しかし下死点前 4mm で制御を行った場合は、しわ押さえ力が増大するに従い断面間のねじれ角は次第に減少している。そして、しわ押さえ力が 800KN 以上ではねじれ角は $\pm 1^\circ$ の範囲に収まっており、ねじれ角の状況が著しく改善している。同図の右下にしわ押さえ力を 63KN 一定とした場合と下死点前 4mm で 1000KN に変更した場合のスプリングバック後の評価断面の断面形状を示している。これらの断面形状からもスプリングバックが格段に改善されている状況が判る。

図 7 にドローベンド成形におけるしわ押さえ力の制御による縦壁の主応力解析の結果を示す。左側はしわ押さえ力を 63KN 一定とした場合、右側は下死点前 4mm で 63KN から 1000KN にしわ押さえ力を変更した時の成形品表側の最大主応力の解析結果を示す。しわ押さえ力を大きくすることにより縦壁部及び天面部の主応力が増大している状況が判る。

しわ押さえ力が増大するほど破断の危険性は増大する。図 8 に下死点前 4mm においてしわ押さえ力を 63KN から 1000KN に変更して成形した時の FLD 割れ解析の結果を示す。成形品のひずみ量は 250°C における AZ31 材の FLD 成形限界曲線以下であり、この条件ではまだ破断の危険性は少ないことが判る。なお、ここには示していないが 1000KN 一定のしわ押さえ力をかけた場合は成形品のひずみ量は完全に破断限界線を越えてしまった。

3.3 フォーム成形

図 9 にドローベンド成形 (図中 DB)、フォーム成形 (図中 F)、フォームドロー成形 (図中 FD) における、スプリングバックに伴う断面の開き幅、縦壁の壁反り(曲率)、ねじれ角の解析結果を示す。

ブランクホルダーによるしわ押さえ力を付加しないフォーム成形の場合は、ドローベンド成形(しわ

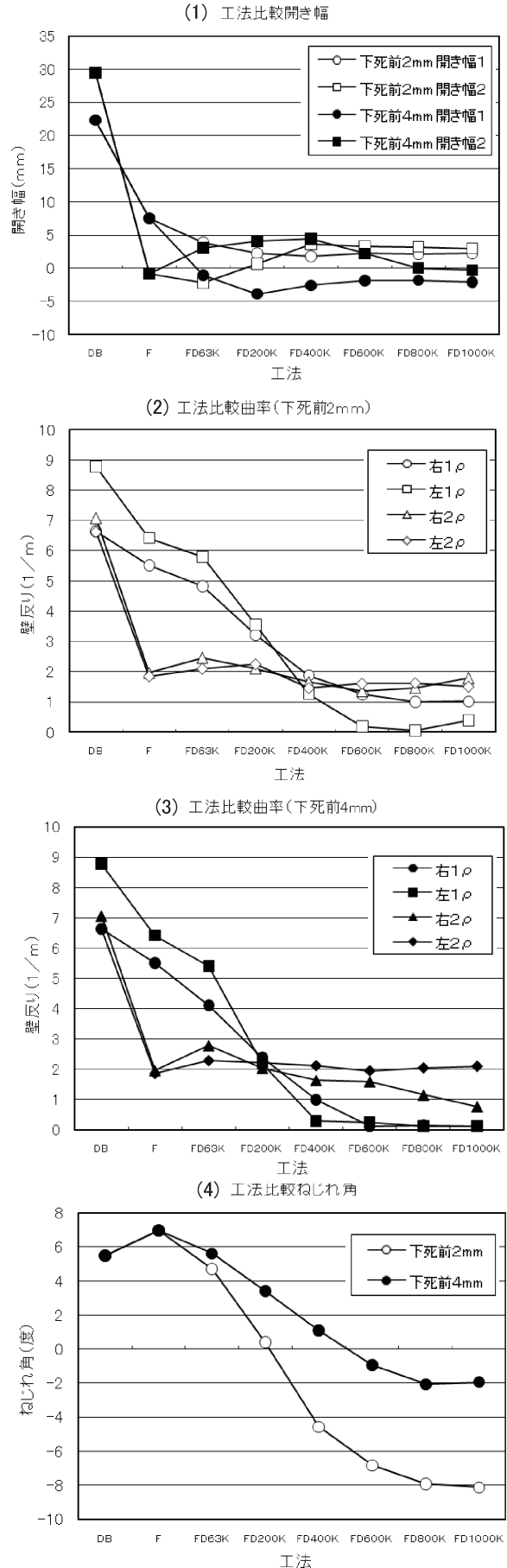


図 9 各工法のスプリングバック比較

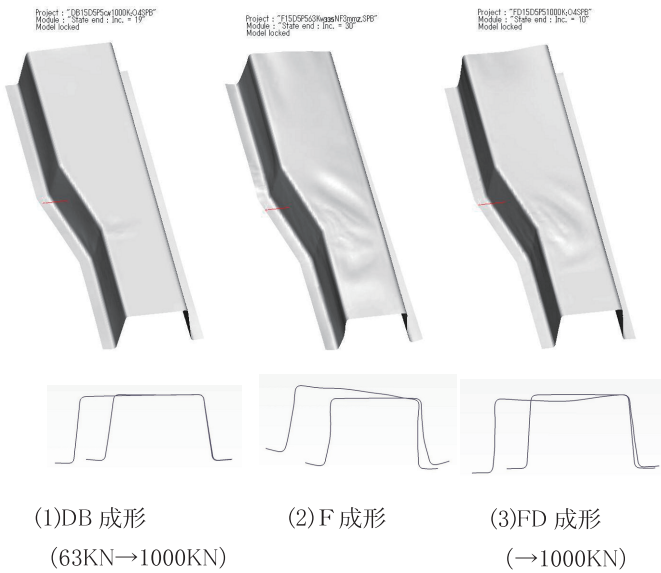


図 10 各工法での成形品形状

押さえ力を63KN一定とした場合) に比べて、断面の開き幅は著しく改善されることが解析結果から判った。また、縦壁の壁反りもドローベンド成形に比べて改善効果が大きく、特に評価断面2に関して改善効果が大きくなっている。しかしながら、ねじれ角に関して、フォーム成形の場合はドローベンド成形に比べてねじれ角がより大きくなることが判った。フォーム成形の場合はしわ押さえを使用しないためにドローベンド成形に比べダイ肩の曲げ変形を小さくでき、そのため壁反りの低減が可能と考えられる。

3.4 フォームドロー成形

図9より、断面の開き幅に関しては、フォーム成形に比べてさらに改善する傾向を示した。しわ押さえ力が大きくなるに従い、断面の開き幅は若干ではあるが小さくなる傾向を示しており、しわ押さえ力が800KN以上の条件では±2.5mm以内の範囲に収まった。

壁反りに関してはフォーム成形よりさらに改善効果が大きくなった。しわ押さえ力が大きくなるに従い壁反りは次第に小さくなっており、下死点前4mmでしわ押さえ力を作用させた場合には、評価断面1に関しては壁反りがほとんどなくなることも判った。

断面のねじれに関しては、下死点前2mm、4mm制御ともしわ押さえ力が大きくなるに従って、ねじれ角は次第に減少する傾向を示した。しかし、下死点前2mmでしわ押さえ力を制御した場合には非常に変動幅が大きくなっており、しわ押さえ力200KN当たりを境としてねじれ角の方向が逆転し、しわ押さえ力

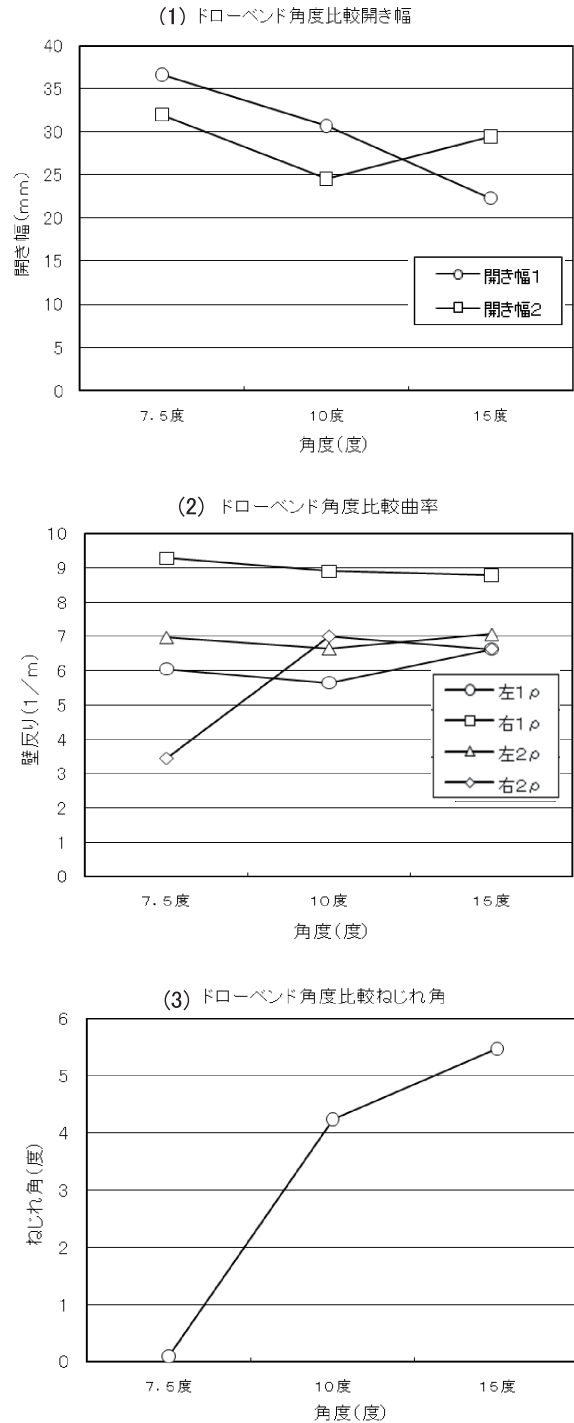


図11 形状変化急峻度の影響 (DB成形)

の増大に伴ってさらにそれが逆側に大きくなる傾向を示した。それに対して、下死点前4mmで制御を行った場合には下死点前2mmで制御を行った場合と比べ、変動幅が小さく、しわ押さえ力が400KN以上の領域ではねじれ角は±2°の範囲内に収まる結果となった。

図10に各工法でのスプリングバック後の成形品の

形状と評価断面の形状を示す。フォーム成形の場合にはしわ押さえ力をかけないため成形品にしわが発生しやすく、形状変化急峻部を起点として広い範囲にしわが発生している状況が観察された。フォームドロウ成形では成形後期にしわ押さえ力をかけるためにフォーム成形に比べるとしわの発生は、幾分は緩和されているものの、それでも形状変化急峻部を起点としてその周囲にしわが発生した。これに対してドロウベンド成形の場合にはしわの発生が著しく減少した。また、フォーム成形とフォームドロウ成形の場合には、ドロウベンド成形に比べて断面形状から天面の平坦度が悪くなっていた。

3.5 形状変化急峻度

図11にドロウベンド成形での形状変化急峻度のスプリングバックに及ぼす影響を示す。しわ押さえ力を63KN一定とした場合を示しているが、形状変化急峻度が大きくなるに従ってスプリングバックによる断面の開き幅は減少する傾向を示した。また、断面の壁反りは急峻度によりそれほど顕著な差は発生しなかった。評価断面の間のねじれ角が7.5° の場合は解析上ほとんどねじれは発生しないとの結果が得られた。しかし、角度変化が大きくなるに従って評価断面の間のねじれ角は増大する傾向を示しており、15° の場合には5° 以上の大きなねじれ角が発生した。

4. おわりに

以上、マグネシウム合金の自動車部品への適用において大きな障害となるスプリングバックについて成形途中に縦壁の張力を増加させる方法、しわ押さえ力を加えないことでダイ肩の曲げ変形を低減する方法、さらには両者を組み合わせた方法についてスプリングバック検証を行い、その低減効果について検討を行った。その結果、以下のことがシミュレーション解析により明らかとなった。

- (1) ドロウベンド成形において、成形後期にしわ押さえ力を制御し縦壁張力を制御することにより、スプリングバックによる断面の開き幅、縦壁の壁反り、ねじれ角を著しく改善できる。
- (2) しわ押さえ力を加えないフォーム成形を採用することで断面の開き幅、壁反りの低減が可能となる。
- (3) フォームドロウ成形の場合には、フォーム成形に比べて断面の開き幅、縦壁の壁反り、ねじれ角のより一層の改善が可能となる。
- (4) ドロウベンド成形に比べフォーム成形、フォームドロウ成形の場合は、形状変化急峻部を起点としわが発生しやすく、また天面の平坦度も悪くなる傾向がある。

参考文献

- 1) 吉田亨, 片山知久他: 高強度鋼板の形状凍結性改善技術, 新日鉄技法第378号, 2003, P25-P29.