

# サーボプレスと超・高張力鋼板の板成形

豊橋技術科学大学 安部 洋平

## 1, まえがき

プレス機の動力源にサーボモータを用いたサーボプレスが開発されてきて、従来の機械式プレスではできなかったスライドの位置、速度と加速度を制御できるようになってきた。一方、自動車業界では、板材強度を増加させてその分の肉厚減少による軽量化や乗員保護に対してキャビンの強度を向上させるために車体部品へ高張力鋼板や引張強さが 1GPa を超えるような超高張力鋼板の利用が拡大している<sup>1,2)</sup>。これら超・高張力鋼板は軟鋼板に比べて強度が高く、また、延性が低くなるために板材のプレス成形において様々な問題を引き起こしている。

一般的に車体部品は、せん断加工、曲げ加工、絞り加工を組合せたプレス工程により製造される。超・高張力鋼板のせん断加工では、鋼板の高強度による金型の破損<sup>3)</sup>、大きな騒音<sup>4)</sup>、また、低延性により切口面において破断面が多い<sup>5)</sup>などの問題がある。曲げ加工では低延性による破断のみならず、高強度のためにスプリングバックが大きくなり成形品の形状凍結性が低下している。絞り加工では、低延性のために破断、高強度のために金型での焼付きが起きやすい。このような問題のうち、幾つかはこれまでに提案されてきた方法とサーボプレスによるスライドの位置や速度の制御を組み合わせることで解決できる問題がある。

本講演においては、超・高張力鋼板の板材成形に対して、サーボプレスを用いたカウンターブランピングによる切口面における破断面の低減、V 曲げ加工における決押しによるスプリングバックの低減、絞りしごき加工における焼付き性について述べる。また、製品として最適な肉厚分布にするための増肉プレス成形と板鍛造による局部増肉ブランクを用いたプレス成形について紹介する。

## 2, カウンターブランピングによる切口面の破断面の低減

### 2.1 せん断された切口面とカウンターブランピング法

せん断された切口面には、一般的に面に垂直な切口形状、かえりなし、破断面なしなどが求められる。通常、鋼板強度の増加とともに延性が低くなるために、切口面の破断面が増加してせん断面の割合が減少している<sup>3)</sup>。切口面のせん断面の割合を増加させる方法としては、板の延性を増加させてせん断する方法、従来から提案されている各種の精密せん断方法がある。前者に関しては、森ら<sup>6,7)</sup>はサーボプレスと直接通電加熱法を用いて、金型内で超高張力鋼板を加熱して板材の延性の高い状態にした直後にせん断することによってせん断面を増加させている。一方、これまで提案されてきた精密せん断方法としては、ファインブランピング法<sup>8)</sup>、対向ダイスせん断法<sup>9)</sup>、上下抜き法<sup>10)</sup>、カウンターブランピング法<sup>11)</sup>などがあり、高張力鋼板へファインブランピング法を田中らは適用している<sup>12)</sup>。また、古閑ら<sup>13)</sup>は、サーボプレスとダイクッションを用いてかえりなしせん断を行っている。ここでは、サーボプレスとダイクッションを利用した超高張力鋼板のカウンターブランピングの例を示す。

カウンターブランピング法を図 1 に示す。下パンチでブランクに圧力をかけながら上パンチを下降させてブランク上面にせん断面を得る。上パンチを上昇させて下パンチで下面にせん断面を得て、再び上パンチを降下させてブランクを分離する。なお、始めの上パンチの下降を略すると上下抜きとなる。本方法は、板厚の中央付近に破断面が残るが、かえりのないせん断面の多い切口面を得られ、ファインブランピング法や対向ダイスせん断法よりも簡便な金型で良い。また、サーボプレスとダイクッションを組み合わせることで、クッションにより下パンチへ荷重を負荷させて上パンチをサーボプレスにより動作させることで容易にカウンターブランピングできる。

## 2.2 カウンターブランキングされた切口面

カウンターブランキングされた切口面を図2に示す。鋼板には、1.4mm厚さの130×120mmの超高張力鋼板JSC980Yを用いた。上パンチと上ダイスの直径はそれぞれ10mmと10.06mmである。上パンチストロークは板厚の0、30、60%、下パンチストロークは60、90、120%までそれぞれ設定し、上パンチと下ダイスのクリアランス比は12%、下パンチと上ダイスのクリアランス比は-7.9%の例である。上下のパンチストローク比が大きいとそれぞれ下上側にせん断面ができず、適切なストロークにより板厚の中央付近に破断面が残るがかえりのなくせん断面の多い切口面を形成できている。サーボプレスとダイクッションを利用して超高張力鋼板をカウンターブランキングできている。

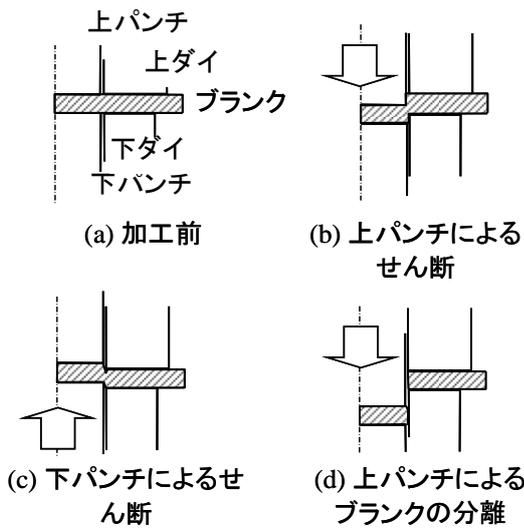


図1 カウンターブランキング法

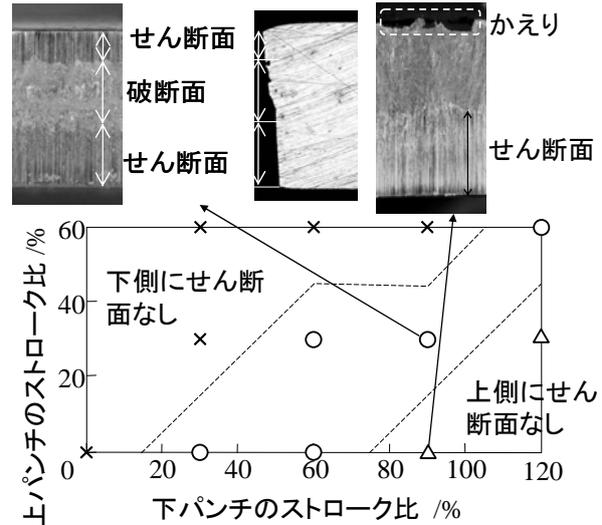


図2 カウンターブランキングされた切口面

## 3. V曲げ加工における決押しによるスプリングバックの低減

### 3.1 V曲げ加工とスプリングバック

曲げ加工において所用の形状に曲げるためには、除荷後の板の弾性変形によるスプリングバックを見込んで曲げておく、駆動力となるモーメントを小さくしてスプリングバックを低減する方法がある。V曲げ加工においては板材はパンチ先端とダイ両角部の3点で曲げられていき、やがて、パンチストロークとともにダイと板の接触点がダイ斜面へ移動していく。さらに押込んでいくとパンチ両端角に板が曲げ返されて、そして板がパンチ斜面とダイ斜面により押されたコイニングの状態となる<sup>14)</sup>。

3点曲げの状態を除荷するとモーメントは板材の開く方へ作用するために、予め見込んでおいて所定の角度の曲げることができる。また、パンチ両端角に板が曲げ返される状態では板材と工具の接触状態によりモーメントは板材が開く方向のみならず閉じる方向へも作用する<sup>14)</sup>。小川<sup>15)</sup>はこの状態で両方向のモーメントを釣合せることによるスプリングバックレスの曲げ加工法を提案している。一方、コイニングの状態では、板厚内の応力が均一に近くなるためにモーメントが小さくなりスプリングバックが低減できる。ここでは、超・高張力鋼板に対して、サーボプレスを用いてコイニングの状態となる決押しの例<sup>16)</sup>について述べる。

### 3.2 決押し条件

V曲げ加工における決押しによるスプリングバックの低減法を図3に示す。パンチ斜面とダイ斜面により板を押したコイニングの状態にしてスプリングバックを低減させる。V曲げ加工条件を図4に示す。パンチとダイの角度は90°であり、公称決押し率としてパンチとダイのすきまと板厚の比を変化させた。また、初期板厚には図5に示すようにばらつきがあったために測定された板厚をもとに公称決押し率を設定し、直動

式のサーボプレスにより下死点を入力して実験を行った。

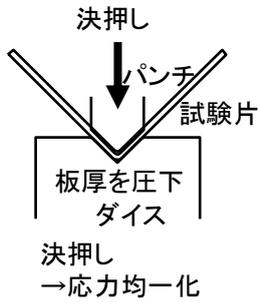


図3 決押しによるスプリングバックの低減法

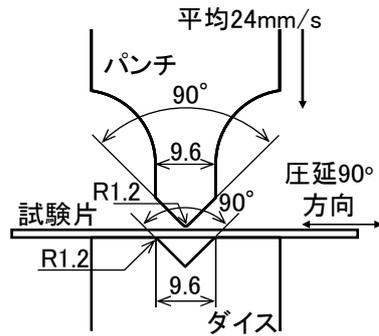


図4 V曲げ加工条件

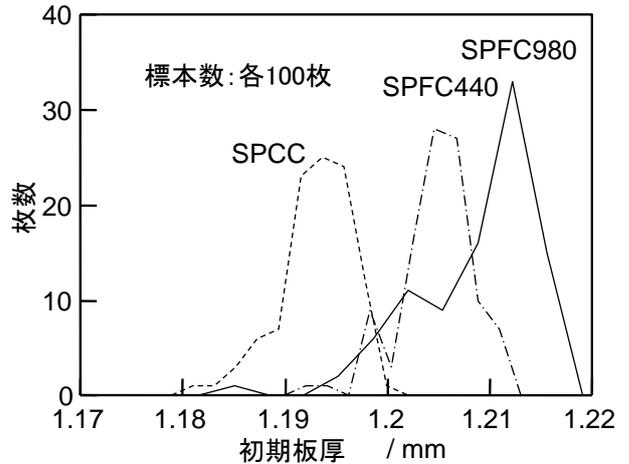


図5 鋼板の初期板厚の度数分布

### 3.3 スプリングバックの低減

板材のスプリングバックにおよぼす決押し率の影響を図6に示す。ここでは、スプリングバックとしてパンチ先端角度と曲げられた板材の角度の差としている。横軸に公称決押し率と加工後の金型間で圧縮された肉厚から計算された実しごき率を示す。980MPa級と780MPa級鋼板では公称決押し率の増加とともにパンチ先端角度との差は小さくなっている。440MPa級鋼板と軟鋼板では決押し率が大きいとかもめ折れとなっておりわずかに増加している。実決押し率は公称決押し率と比べると小さく、また、ほぼ同様の傾向を示している。超・高張力鋼板に対して、サーボプレスを用いてコイニングの状態となる決押しを行ってスプリングバックを低減できた。

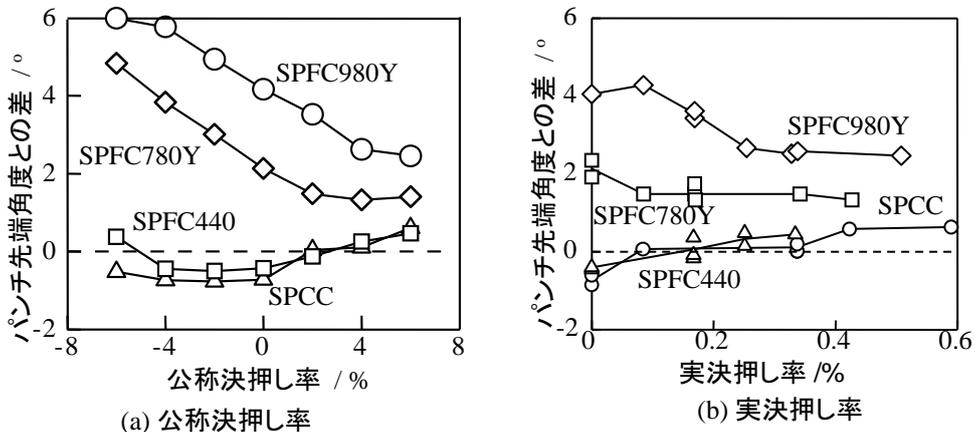


図6 スプリングバックにおよぼす決押し率の影響

## 4. 深絞り・しごき絞り加工

超・高張力鋼板の絞り加工では低延性のために割れと高強度のためにダイでの焼付きが起きやすい。福井ら<sup>17)</sup>は深絞り加工における超高張力鋼板の割れは、パンチ肩部のみならず容器の側壁割れや加工速度が速いと縦割れが生じることを報告している。西村ら<sup>18)</sup>は、超高張力鋼板の深絞り加工においてダイに硬質皮膜処理することにより限界絞り比を増加できることを示している。また、菅沼<sup>19)</sup>は、980MPa級の超高張力鋼板の多段深絞り加工が可能であることを示しているが、福井ら<sup>17)</sup>と同様に鋼板の強度が大きいため加工中の発熱が軟鋼よりも大きくなることを指摘している。ここでは、サーボプレスを用いて速度を変えた超高張力

鋼板の深絞り加工と、より厳しい加工であるしごき絞り加工について示す<sup>20)</sup>。

#### 4.1 深絞り・しごき絞り加工条件

超高張力鋼板のしごき絞り加工条件を図7に示す。材質は1180MPa級超高張力鋼板であり、素板の直径Dを変化させて絞り比 $\beta$ を、パンチ直径dを変化させて公称しごき率rをそれぞれ変化させている。各種の硬質皮膜はSKD製のダイス上面からランド部に皮膜し、防錆油を板材のダイス側に塗布して、パンチ速度vを0.5から150mm/sに変化させた。なお、8.3mm/sより大きな速度ではサーボプレスを用いている。

#### 4.2 深絞り・しごき絞り加工された容器

皮膜なしダイスにおける深絞り加工後の容器と限界絞り比に及ぼすダイス皮膜の影響を図8に示す。絞り比 $\beta=1.94$ では焼付きを生じず容器が得られているが、 $\beta=2.00$ では容器側壁とダイスR部に焼付きが、 $\beta=2.12$ では容器角部において破断がそれぞれ生じている。皮膜なしでの加工は限界が低いが、皮膜されたダイスでは焼付きを生じないで $\beta=2.12$ まで加工できており、焼付き発生に及ぼす皮膜の差はなかった。

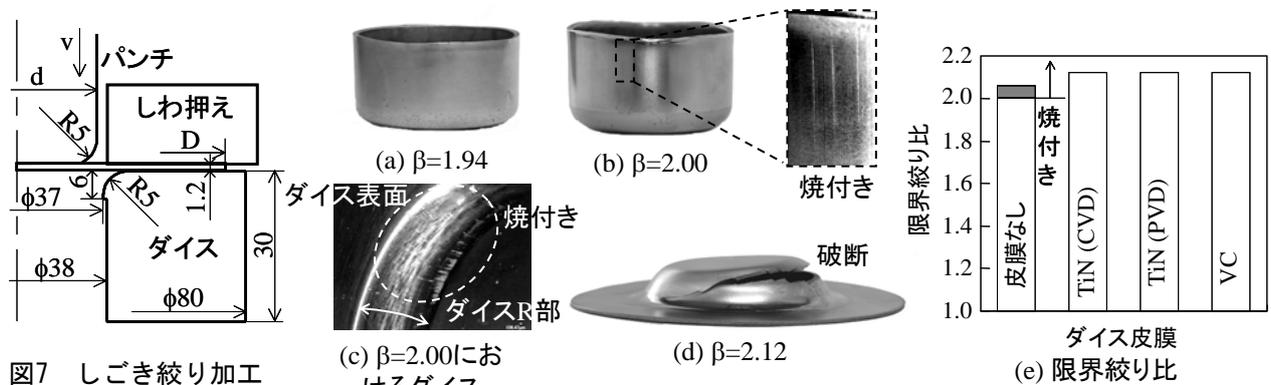


図7 しごき絞り加工条件

図8 皮膜なしダイスにおける深絞り加工後の容器と限界絞り比に及ぼすダイス皮膜の影響 (v=0.5mm/s)

r=15%, v=8.3mm/sにおける絞りしごき加工されたダイス皮膜の表面と各ダイスの限界公称しごき率を図9に示す。v=0.5mm/sではr=30%で全ての条件で破断し、皮膜の差が明確でなかったために速度を増加させた。r=15%における加工後のダイスR部表面に示すように皮膜なしでは激しく焼付きが発生しているが、TiN皮膜では微少であり、VC皮膜では生じていなく、しごき絞り加工においても西村ら<sup>17)</sup>の絞り加工と同様にVC

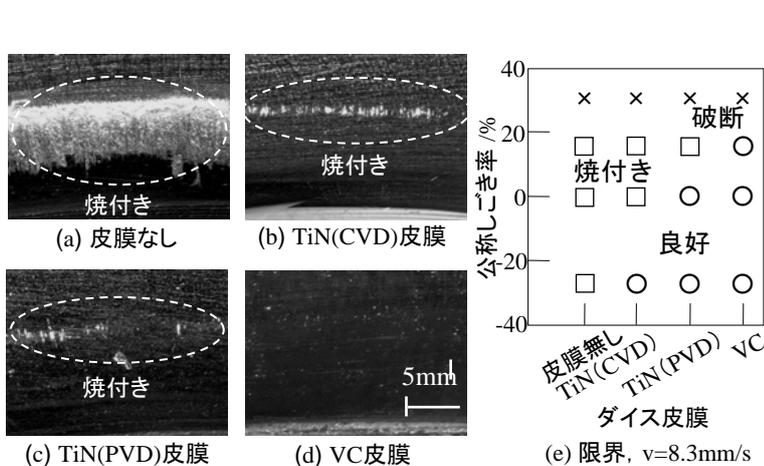


図9 r=15%, v=8.3mm/sにおける絞りしごき加工されたダイス皮膜の表面と各ダイスの限界公称しごき率

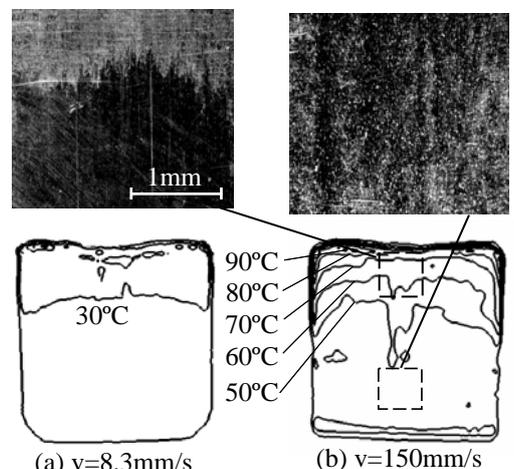


図10 VC皮膜において絞りしごき加工された容器の温度分布

皮膜の耐焼付き性が良好であった。深絞り・しごき絞り加工においては、加工速度の制御のみでは焼付きを防止できず、金型皮膜と組合せる必要がある。

VC 皮膜において絞りしごき加工された容器の温度分布を図 10 に示す。容器の温度は加工された約 0.1 秒後にサーモグラフィにて測定された。加工前のブランク温度は約 17°C である。v=150mm/s の方が変形により生じた熱の金型への移動が少なくなり v=8.3mm/s よりも温度が高くなっている。また、いずれも容器の変形量の大きな容器端部側で高くなっている。VC 皮膜を用いても加工速度が大きくなると焼付きを生じているために、ブランクの導入と製品の取出しにおいてはスライド速度を増加させても良いが温度が上昇して焼付きが生じやすいため加工中の速度をサーボプレスにより制限するモーションが有効であると考えられる。

## 5. 増肉プレス成形による最適な肉厚分布の製品

最適なプレス部品は、製品の剛性や軽量化の観点から最適な肉厚分布で達成される場合がある。一般的に深絞り加工された製品の容器角部は等二軸引張変形が主体であるために肉厚減少が生じており、最適な肉厚分布になっていないことがある。絞り容器の角部の肉厚減少の抑制に関して、前田ら<sup>21)</sup>、長井ら<sup>22)</sup>は、絞られた円筒容器の側壁部を軸方向に圧縮にして端部を増肉している。また、村中ら<sup>23, 24)</sup>は深絞り加工において容器底部を圧縮することによって底部から角部に材料を供給している。自動車用 CVT ユニット部品の多段のプレス成形においては、石原ら<sup>25)</sup>、湯澤<sup>26)</sup>が局部を増肉しており、増肉プレス方法提案されている。ここでは、自動車用スチールホイールのディスクを対象とした円錐パンチを用いたフランジ付き多段絞り容器角部の増肉成形の例<sup>27)</sup>を示す。

### 5.1 円錐パンチによる増肉プレス成形

ホイールディスクのプレス成形法を図 11 に示す。主なディスク形状は 5 工程のプレス成形により得られる。絞り成形によって車軸との取付け面が成形され、その後外側が成形される。製品の強度上大きな肉厚を必要とする取付け面角部は、3 段目までの絞りによって成形され、この部分は 1 から 3 段目のパンチ角部付近に位置し肉厚は減少しやすい。そのため角部の肉厚が所定の値になるようにブランクの板厚が決定されており、ホイールの重量増加を招いている。

円錐パンチによる 3 段増肉成形法を図 12 に示す。取付け面角部の肉厚は 3 段目まででほぼ決定される。1, 2 段目では、ブランクが円錐形状のパンチによりフランジ部付き円錐底容器に絞られる。3 段目では、外側パンチで円錐底と側壁を圧縮することにより角部を増肉する。1, 2 段目で底部を円錐状に絞って長くすることにより、3 段目の圧縮変形を大きくする。また、2 段目のパンチ円錐角度は 1 段目と同じにして、パン

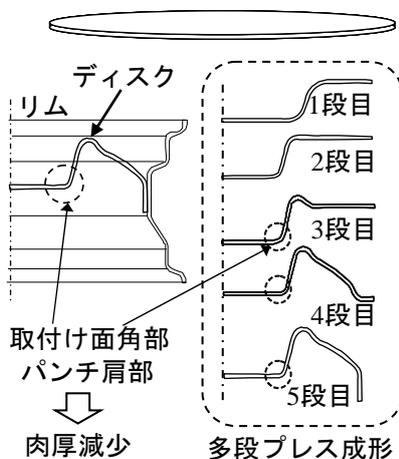


図11 ホイールディスクのプレス成形法

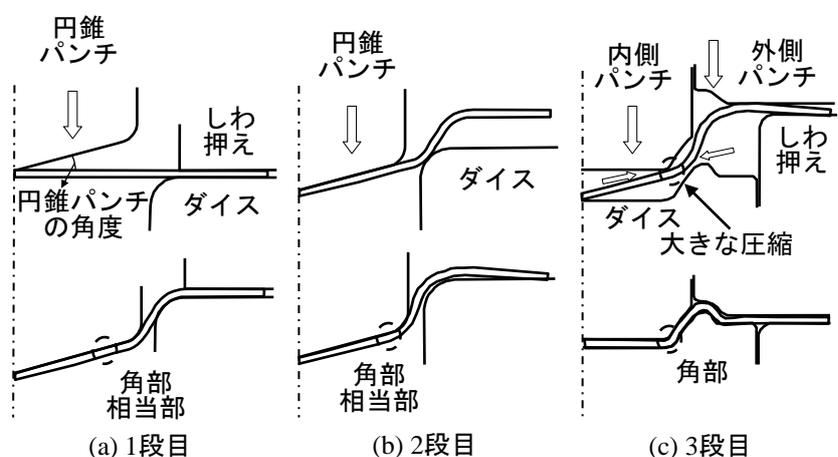


図12 円錐パンチによる 3 段増肉成形法

チ面摩擦によって円錐部を拘束し、取付け面角部に相当する部分の肉厚減少を抑制する。板材は 390MPa 級の鋼板であり、プレス機の制約から 1/3.5 の縮小モデルで検証した。

## 5.2 増肉プレスの例

3 段目成形後の肉厚分布と各段での断面形状を図 13 に示す。3 段目成形後の肉厚分布の中心からの距離 20mm 付近が取付け面角部となり圧縮によって増肉している。円錐部角度が 20° では最大約 6% と大きな肉厚増加を示している。スチールホイールディスクを対象とした円錐パンチを用いて多段絞り容器角部の増肉ができた。

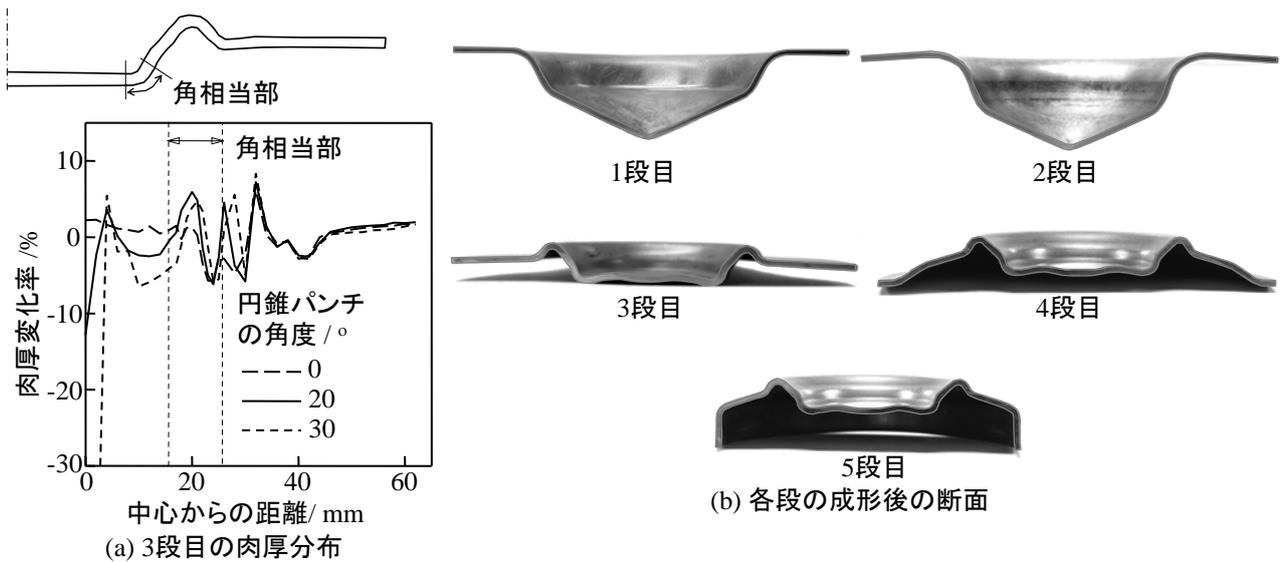


図 13 3 段目成形後の肉厚分布と各段での断面形状

## 6. 板鍛造による局部増肉ブランクを用いたプレス成形

ブランクの厚さが一様ではなく、高い強度を必要とする部分の厚さが大きい局部増肉ブランクを成形すると、最適な肉厚分布を持つ製品が得られることがある。厚さが一様でないブランクを製造する方法として、図 14 に示すように異なる厚さの板材を溶接したテーラードブランクがあり、大きく異なった肉厚を持つ製品が成形されている<sup>28-31)</sup>。しかしながら、軸対称容器角部を増肉する場合、リング状の板材を溶接する必要があり、さらに板材をリング状にせん断するため歩留りも大きく低下する。一方、圧延加工においてロール間隙を変化させて、肉厚分布を有する板材も製造されているが<sup>32)</sup>、肉厚分布は長手方向のみの分布であり、軸対称容器の角部を増肉させるブランクを成形することはできない。ここでは、前章と同様の自動車用スチールホイールのディスク内側角部を増肉させるために、それに相当するリング部分を板鍛造により増肉させる局部増肉ブランクの成形例<sup>33)</sup>を示す。

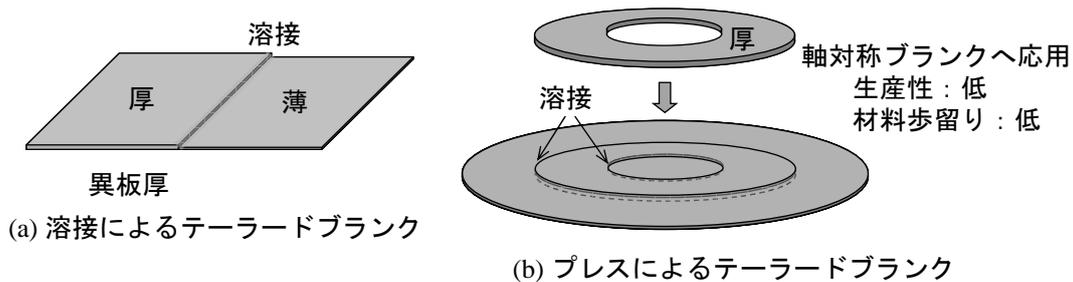


図 14 異なる厚さの板材を溶接したテーラードブランク

## 6.1 板鍛造による局部増肉ブランクを用いたホイールのプレス成形

局部増肉ブランクの2段プレス板鍛造法を図15に示す。ホイールディスクの内側角部を増肉させるためには、それに相当するリング部分を増肉させる必要がある。1段目にリング状に絞り、2段目でしわ押えとダイによってフランジ部を拘束して絞ったリング部を圧縮してブランクを局部的に増肉させる。鋼板には590MPa級の高張力鋼板を対象として、前章と同様に1/3.5の縮小モデルで検証した。

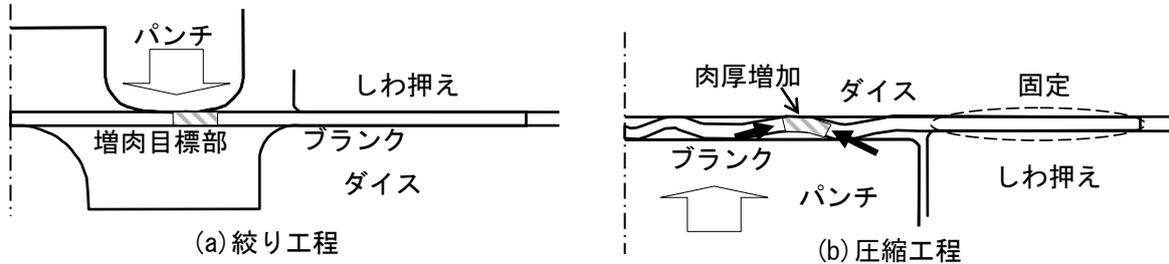


図15 局部増肉ブランクの2段プレス板鍛造法

## 6.2 板鍛造による局部増肉ブランクを用いたプレス成形の例

局部増肉ブランクと均一ブランクをプレス成形して得られた高張力鋼ディスクの断面形状およびディスクの肉厚分布を図16に示す。局部増肉ブランクを用いても欠陥を生ずることなく成形できた。局部増肉ブランクでは局部増肉ブランクの成形により均一ブランクに比べてブランクの直径が少し小さくなったため、ディスクの高さが4%ほど低くなっている。また、均一ブランクでは内側角部が平均4.6%しか増肉していないが、局部増肉ブランクでは平均9.6%と大幅に増肉している。製品の肉厚の必要な部分を板鍛造により増肉させた局部増肉ブランクによって自動車用スチールホイールのディスク内側角部を増肉できた。

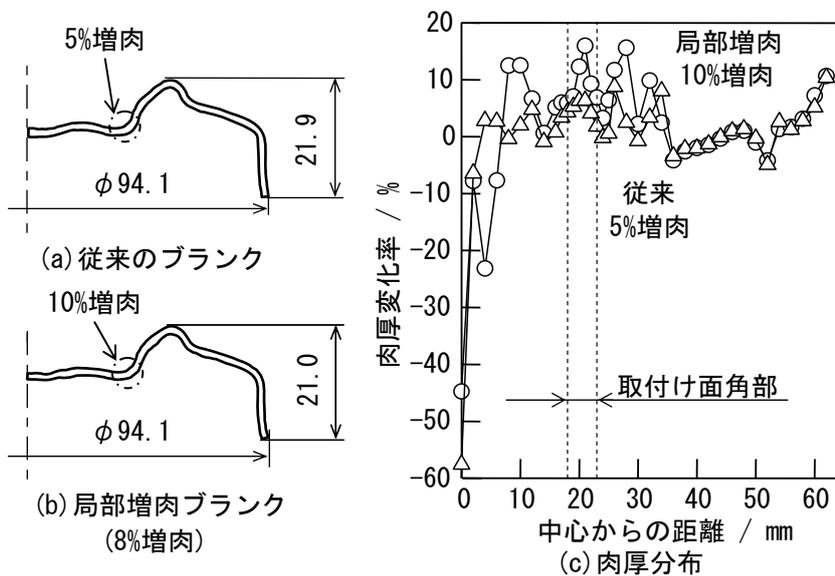


図16 局部増肉ブランクと均一ブランクをプレス成形して得られた高張力鋼ディスクの断面形状およびディスクの肉厚分布

## 7. あとがき

主に自動車業界で使用される超・高張力鋼板の成形に対してサーボプレスを利用した例について述べた。超・高張力鋼板は軟鋼板に比べて強度が高く、また、延性が低くなるために割れ、形状凍結性の低下、焼付

き、せん断切口面性状の悪化などの様々な問題が起きやすい。幾つかの問題は、従来すでに提案されてきた方法とサーボプレスによるスライドの制御により解決できた。しかしながら、サーボプレスのみでは解決できない問題もあり、周辺技術である金型皮膜や潤滑などと組合せる必要がでてきている。また、従来の提案されている成形法のみならずサーボプレスを用いて新しいプレス方法の開発も重要である。

## 参考文献

- 1) 佐藤章仁：塑性と加工，**46-534**(2005)，548-551.
- 2) 杉山隆司：塑性と加工，**46-534**(2005)，552-555.
- 3) 柳生聖司・桑田尚・長井美憲：塑性と加工，**46-534**(2005)，651-655.
- 4) クンラチャートジュンラペン・水落健・古閑伸裕：塑性と加工，**51-591**(2010)，353-357.
- 5) 安部洋平・森謙一郎・鈴木啓生：塑性と加工，**50-580**(2009)，414-418.
- 6) 森謙一郎・斉藤翔一・牧清二郎・岸本信・林達志・奥村俊彦：塑性と加工，**49-564**(2008)，56-60.
- 7) 森謙一郎・藤阪靖二・内田光隆・上菌俊・前野智美：塑性と加工，**51-588**(2010)，55-59.
- 8) 前田禎三・中川威雄：塑性と加工，**9-92**(1968)，618-626.
- 9) 近藤一義・渡辺亮・高田久於男・吉田元昭：塑性と加工，**12-129**(1971)，733-741.
- 10) 前田禎三：機械の研究，**10-1**（1958），140-144.
- 11) 日本塑性加工学会編：せん断加工，コロナ社(1992)，98.
- 12) 田中徹・萩原世也・只野裕一・吉村修平・稲田拓真・森孝信・淵脇健二：塑性と加工，**51-588**(2010)，50-54.
- 13) 古閑伸裕・久保雅亮・JUNLAPEN Kunlachart：塑性と加工，**48-558**(2007)，645-649.
- 14) 益田森治・室田忠雄・森田稔：日本機械学会論文集，**21-106**(1955)，431-436.
- 15) 小川秀夫：塑性と加工，**48-563**(2007)，1082-1086.
- 16) Mori, K., Akita, K. & Abe, Y., : Int. J. Mach. Tools Manufact., **47-2**(2007), 321-325.
- 17) 福井雅彦・板橋伸卓：プレス技術，**42-12**(2004)，30-33.
- 18) 西村光彦・井辺光広・戸石光輝・青木隆行：型技術，**21-14**（2006），74-75.
- 19) 菅沼俊治：型技術ワークショップ講演論文集，(2004)，32-33.
- 20) 安部洋平・近江剛史・増田哲也・森謙一郎：平 22 年塑春講論(2010).
- 21) 前田昭宏・荒木邦彦：塑性と加工，**39-445**(1998)，106-110.
- 22) 長井美憲・内田幸彦・庄司直人・椎名宏行：塑性と加工，**37-426**(1996)，736-742.
- 23) 村中貴幸・後藤善弘・伊藤則雄・岡田将人・吉崎保夫：塑性と加工，**46-530**(2005)，229-233.
- 24) 村中貴幸・後藤善弘・伊藤則雄・岡田将人・阪口健一：塑性と加工，**45-521**(2004)，475-479.
- 25) 石原貞男・峯功一・鈴木敬：塑性と加工，**44-507** (2003)，409-413.
- 26) 湯澤幸雄：プレス技術，**44-1**(2006)，24-28.
- 27) 安部洋平・C.J. Tan・森謙一郎・藤岡武洋・野中孝之・海老原治：塑性と加工，**48-561**(2007)，925-929.
- 28) 泰山正則・内原正人・福井清之：溶接学会誌，**75-6**(2006)，521-524.
- 29) 杉山隆司：塑性と加工，**45-526**(2004)，892-896.
- 30) Marron, G. & Verrier, P.: SEA Paper 01-0783(1999)，23-29.
- 31) 山口克彦・田中利治・高倉章雄・福田正成：昭 57 塑加春講論，(1982)，281-284.
- 32) Urban, M., Krahn, M., Hirt, G. & Kopp, R.: J. Mater. Process. Technol., **177**(2007)，360-363.
- 33) 安部洋平・C.J. Tan・森謙一郎・鈴木通之：塑性と加工，**49-573**(2008)，985-989.