

(解説)

## 高強度鋼板の実用化のためのプレス成形技術

### Press Forming Technologies for High Strength Steel Sheets Used for Automotive Body Parts



岩谷 二郎  
Jiro Iwaya

To improve automobile crash safety and to protect the environment, stronger, lighter automobile parts are essential. The application of high-strength steels (HSS) to automobile bodies has proven to be very effective. However, HSS, used for such body parts, have some problems, such as formability, weldability, etc. Press forming technologies, especially those leading to the prevention of fractures and improved dimensional accuracy are reviewed in this article. In regard to fracture issues, "2-process forming"; "double punching"; etc. are discussed. For dimensional accuracy, "beading"; "local compression"; etc. are discussed.

まえがき = 近年、自動車に対する「安全と環境」面での社会的要請が高まり、自動車メーカーやその部品メーカーにおいては、自動車ボディの更なる軽量化や強化という相反する課題への取組みを迫られている。これに対し、自動車用材料としては、ハイテンと呼ばれる高強度鋼板の適用が有効で、自動車ボディの強化策や軽量化策として注目を集めており、鉄鋼業界としても ULSAB-AVC 活動にて、ハイテンをボディ部品へ 100%適用することを提案している。しかし、ハイテンはその強度が高まるほど加工性は低下し、加工後の弾性回復量が増大するため、プレス現場での成形難易度が高まり、実用化の障害となっているのが実状である。このような状況にはあるものの、近年、ハイテンの実用化に関して材料及び利用技術面で各種の技術開発が進められ、ハイテンの適用拡大を促しているのも事実である。ここでは利用技術の中から、主に自動車ボディ部品や強度部品に適用されるハイテンの成形技術について検討した結果を報告する。

#### 1. ハイテン実用化のための技術開発

前述のように、ハイテンの実用化における課題解決の

ため、材料面や利用技術面から多くの技術開発が行われている。その概要を表 1 に示す。材料面では、その強度に関して、冷延鋼板では 1 470MPa 級材が、合金化溶融亜鉛めっき鋼板では 980MPa 級材が開発され、さらに、高速変形時の強度や BH 性などの向上に関する研究も行われている。また、加工性（特に延性）向上のための研究も行われ、伸び特性に優れる複合組織型合金化溶融亜鉛めっき鋼板や残留オーステナイト鋼板が開発された。絞り成形時には材料の摺動性も重要で、各種潤滑皮膜の開発も行われている。利用技術面では、プレス加工技術として割れ対策技術、さらには寸法精度不良対策技術の開発が行われている。また、材料の適材適所化が図れるテーラードブランク技術や、成形時の変形抵抗の低下を目的とした温間プレス、焼入れ強化を目的とした熱間プレスや部品の焼入れなどの熱利用技術なども検討されている。

このように、各種の実用化技術の開発が行われており、特にハイテン成形時の「割れ」と「寸法精度不良」は従来から多くの研究<sup>1)</sup>がなされているものの、いまだ実用化の大きな障害となっているのが実状である。

表 1 自動車部品へのハイテン適用に関する実用化技術の検討

Table 1 Description of complementary development of basic research for high strength steel sheets in automotive applications

< Steels >

• Strength

• Formability

• Weldability

• Delayed fracture

< Practical use techniques >

• Forming techniques

• Welding techniques

- Steel with TS-1 470MPa
- Steel with high strength at high strain rate
- Steel with high BH etc.
- Steel with high EI. and high r-value and low YS
- Steel with excellent lubricant film etc.
- Steel with low chemical composition etc.
- (Ultra high strength) Steel with low chemical composition etc.

- Countermeasure of fracture and dimensional precision
- Tailored blank
- Warm and hot stamping
- Quenching technique after stamping etc.
- Control of welding current and electrode force etc.

Tool conditions in 1st forming

	rp	rd (mm)	
		5	10
(mm)	5		-
	10		
	20		

: As single forming

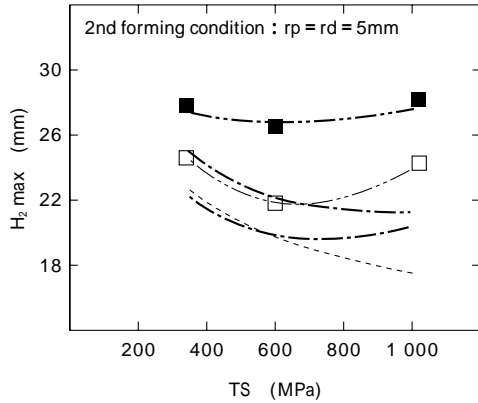


図1 2工程成形における成形限界高さ(H<sub>2</sub> max)と材料強度(TS)の関係<sup>2)</sup>

Fig. 1 Effect of conditions on maximum 2nd forming height (H<sub>2</sub> max) of 2 step channel drawing with 2 waves<sup>2)</sup>

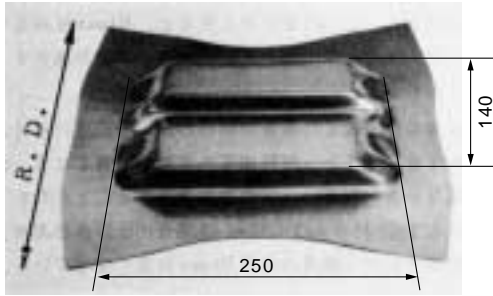


写真1 2山チャンネル成形品概観<sup>2)</sup>  
Photo 1 Drawing panel with 2 waves<sup>2)</sup>

## 2. ハイテンの破断限界向上技術

### 2.1 絞り成形及び張出し成形

図1<sup>2)</sup>には写真1<sup>2)</sup>に示す2山チャンネルを2工程で成形した場合の限界成形高さを示す。図1中の印より、1工程でシャープな最終形状(ここではパンチ肩R: rp = 5mm, ダイ肩R: rd = 5mm)を得ることは難しいが、成形を2工程成形とし、1工程目の各肩Rを大きくし、2工程目で最終形状とすることで980MPa級材であっても軟鋼板と同等の成形高さが得られることが分かる。一般に、材料強度の高まりとともにひずみの伝搬性の指標であるn値が低下し、図2に示すように、材料強度が高まるほど球頭張出し成形(図2中のrp = 50mm)における破断位置がパンチ中心に近くなる傾向を示す。

本2工程成形では、ハイテンの低いn値を、1工程目と2工程目におけるパンチやダイ肩Rの組合わせで補い、最終的にn値が大きい材料で得られる、均一な全体に大きいひずみ分布とすることで高い成形限界を得ることができたと考えられる。このように、ハイテンの絞り及び張出し成形においては、金型の形状や工法の検討も重要である。

### 2.2 伸びフランジ成形

ハイテン成形時の割れの中で、伸びフランジ割れは比較的多く見られる破断形態である。伸びフランジ成形においては、図3<sup>3)</sup>に示す2回打抜き技術が有効である。本技術は通常のせん断加工によって生じるせん断縁の加工硬化層の延性低下を抑制する技術であるが、取代が比較的大きいため金型の作製やメンテナンスが容易であること、穴抜きだけではなく縁切りが可能であるなどのメリットがある。

図2 球頭張出し成形における破断位置のパンチ中心からの距離(lf)と材料強度(TS)の関係

Fig. 2 Relationships between distance of fracture position from panel center (lf) and tensile strength of materials (TS) in stretch forming with spherical punches

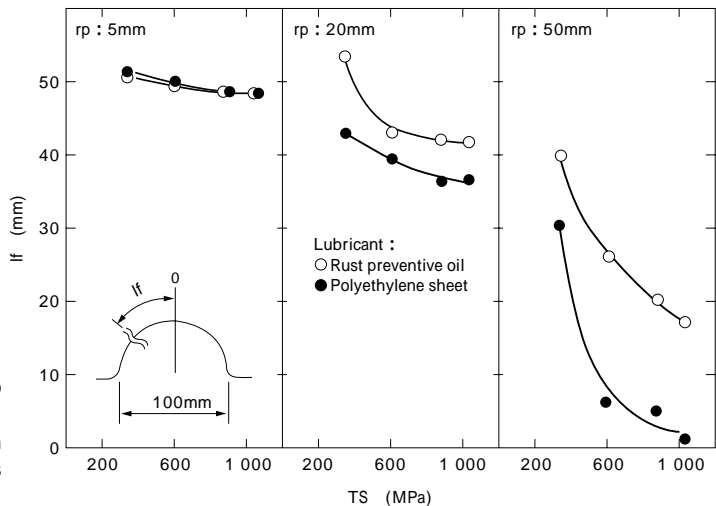
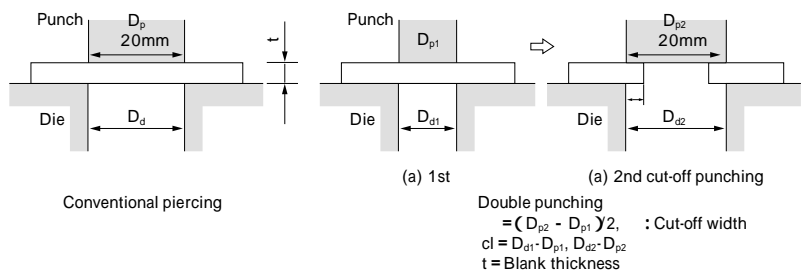


図3 通常打抜きと2回打抜きの工程<sup>3)</sup>

Fig. 3 Conventional piercing ( ) and double punching ( )<sup>3)</sup>



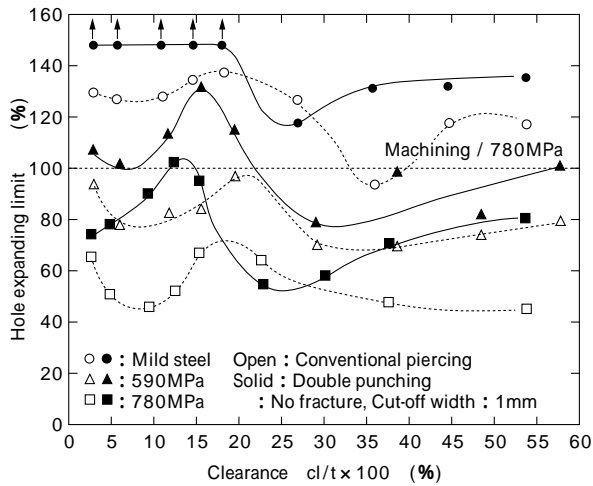


図4 限界穴拡がり率(%)に及ぼす初期穴打抜き時の金型クリアランス( $cl/t \times 100$ )の影響<sup>3)</sup>  
 Fig. 4 Effect of punching condition on hole expanding limit (%) (60° cone punch, Diameter of initial hole : 20mm)<sup>3)</sup>

図4<sup>3)</sup>には2回打抜きを熱延鋼板に実施したときの効果の一例を示す。図4中の印より、本技術を適用した780MPa級の超ハイテンでは、初期穴打抜き時の金型クリアランスを適切に設定することで、切削加工による穴縁と同等の伸びフランジ性が得られ、通常打抜きの590MPa級材の に匹敵するまでに伸びフランジ性が改善されていることが分かる。

### 2.3 曲げ成形

曲げ成形時には、材料が所定の曲げRに耐えられずに割れるという現象が起きる。これについては、曲げRの変更や同一強度の中から局部延性に優れる材料への変更が有効である。

## 3. ハイテンの寸法精度不良とその対策技術

### 3.1 角度変化

曲げ成形においては、曲げられた部位の板表裏の残留応力差により所定の曲げ角度よりも大きくなるという角

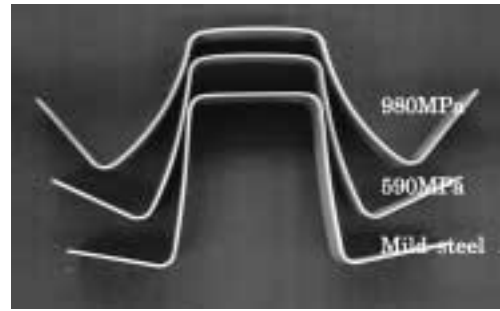


写真2 ハットチャンネル絞り成形における壁反りと材料強度の関係

Photo 2 Experimental results of wall warp after forming for 3 types of steel sheets having different tensile strength

度変化不良が生じる。ここでは、90度V曲げ試験にてパンチ先端半径(図5中のR)とダイ肩幅(図5中のW)を変化させ、角度変化を調査した結果を図5に示す。同図から分かるように、RとWをうまく組み合わせることで、1270MPa級材であっても精度良い曲げ成形が可能なのが分かる。これは、曲げ過程における材料の複雑な変形挙動によって生じる逆曲げ成分(内側への角度変化)によるものであるが、この挙動を活用して精度良いCチャンネル成形やハットチャンネル成形が可能である。

### 3.2 壁反り

絞り曲げ成形によって形成される壁部は、ダイ肩R部での曲げ-曲げ戻し変形を受け、離型後に外側に反るのが通常である。写真2に軟鋼板から超ハイテンまでの壁反りの例を示す。写真2から分かるように、材料強度の上昇とともに壁反りは大きく増大する。壁反りの対策技術として、ここでは2段成形技術について検討した結果を図6に示す。ここでは、実験の都合上2回に成形を分け、2回目の成形で壁部に数%伸び変形を与えて壁部表裏の残留応力差を抑制した。図6から分かるように、590MPa材でも軟鋼板並みの精度を出すことが可能である。また超ハイテンの場合には、ダイクッション圧力の

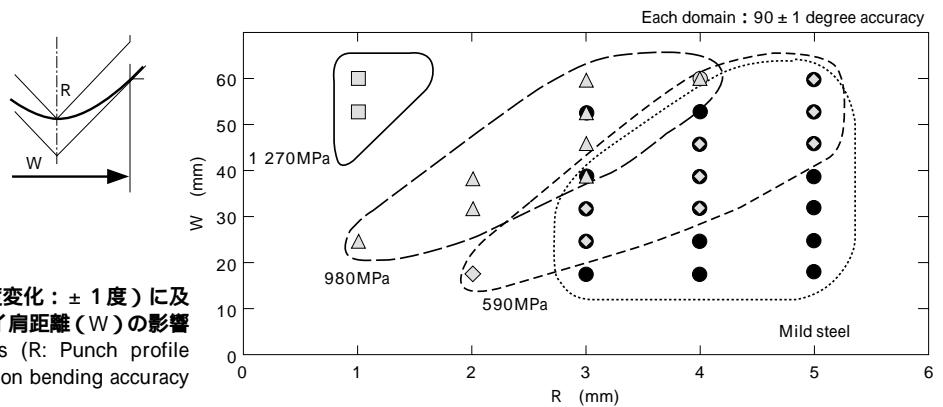


図5 V曲げ成形時の寸法精度(角度変化: ±1度)に及ぼすパンチ先端半径(R), ダイ肩距離(W)の影響  
 Fig. 5 Effect of V-bending conditions (R: Punch profile radius, W: Die shoulder width) on bending accuracy (±1 degree)

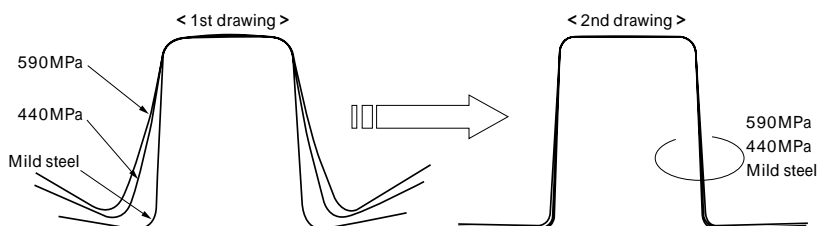


図6 壁そりに及ぼす2段成形の効果  
 Fig. 6 Effect of 2 steps drawing on wall warp

みではなく、ロックビードなどで成形終期の材料流入を拘束することで対策が可能である。

### 3.3 ねじれ

浅絞り成形や、面内で曲がった形状の部品を成形する場合には、部品全体がねじれるという不良が発生する。ここでは、980MPa級材を用いた1山チャンネルの浅絞り成形で発生するねじれ不良の対策技術として、ピーディング技術について検討した。結果を図7<sup>4)</sup>に示す。図7から分かるように、フランジ部に導入するビードの位置と高さを適切に設定することで縮み変形部に生じる残留応力を低減し、超ハイテン成形におけるねじれを抑制可能なことが分かる。

### 3.4 面ひずみ

自動車外板パネルの成形においては、軟鋼板であってもしばしば面ひずみが発生し問題となる。この面ひずみは、多くは外板の面形状が急激に変化する部分に認められるが、成形途中に発生したしわが最後まで取りきれなかった場合と、圧縮変形に起因する離型時の弾性回復座屈により発生する場合とに大別できる。ここでは、ドア取手座近傍に、離型時の弾性回復座屈により発生する面ひずみを取上げ、局部加圧技術<sup>5)</sup>について検討した。成

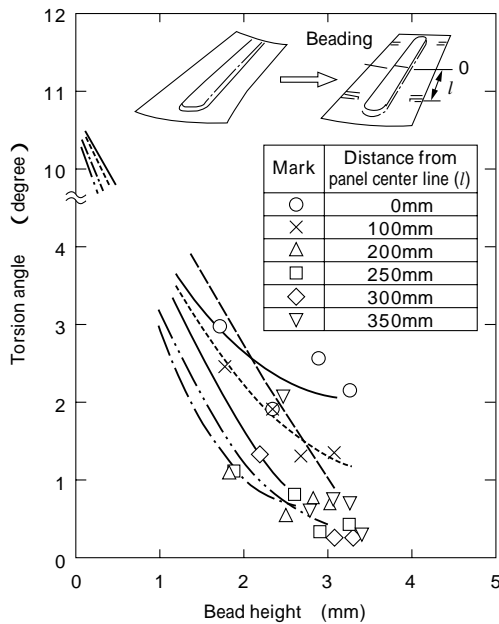


図7 ねじれ角度に及ぼすピーディング条件の影響 (980MPa 材)<sup>4)</sup>  
Fig. 7 Effect of beading conditions on torsion of hat-channel panel (980MPa steel)<sup>4)</sup>

形パネルの概要を図8に示す。また図9に示すように、局部加圧としては、実験の都合上加圧する部位のブランク上に紙をのせ、面ひずみの頂上を加圧する頂上加圧と、面ひずみの裾野部を加圧する裾野加圧を、さらに、比較のためにパネル底部の全面を加圧する全面加圧についても検討し、同図中に示す及び(1/R)の二つの評価値にて面ひずみを評価した。結果を図10に示す。いずれの面ひずみ評価値においても、裾野加圧が有効であることが分かる。これは、局部加圧部位に伸びによる余剰線長が導入され、面ひずみがほかされる効果であることが分かっている<sup>5)</sup>。このように面ひずみ対策としては、成形下死点におけるボトミング(決押し)と、そのときの金型と材料の当たりの調整が重要となる。

## 4. そのほかの高強度部品実用化技術

### 4.1 テーラードブランク

本技術は、従来から材料の適材適所化を目的に広く実用化されている。本技術によれば、成形難易度が高い部位には軟鋼板から中高強度ハイテンを用いて、難易度が低く強度が必要な部位に超ハイテンを使用することも可能である。本技術においては、板組みと接合ラインの決定、さらには接合部(多くの場合溶接部)の品質が重要となる。また、商品設計の観点からは剛性や強度などの部品機能の要件を満たすこと、金型設計の観点からは割れを抑制できることを考慮し、どのような板をどこで接合するかを決定する作業がポイントとなる。

### 4.2 温間及び熱間成形

成形時の成形荷重はほぼ強度に比例して上昇し、部品のサイズによっては現有のプレス装置では成形できないことも起こり得るため、温間成形は主に超ハイテンの変

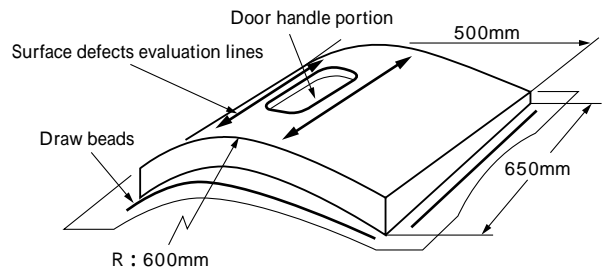


図8 ドア取手モデルパネルと面ひずみ形状測定部位<sup>5)</sup>  
Fig. 8 Shape and surface defects evaluation lines in door outer model panel<sup>5)</sup>

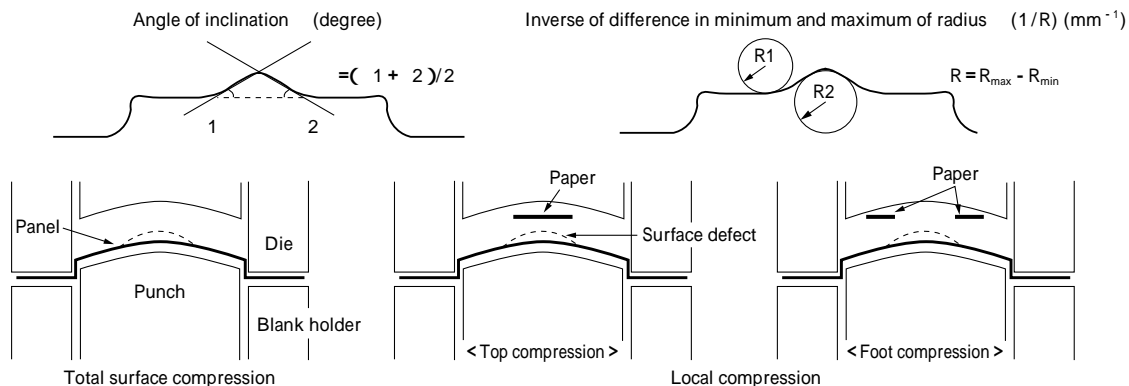


図9 決押し方法及び面ひずみ評価方法<sup>5)</sup>  
Fig. 9 Schematic figure of bottoming methods and evaluating equation of surface defect<sup>5)</sup>

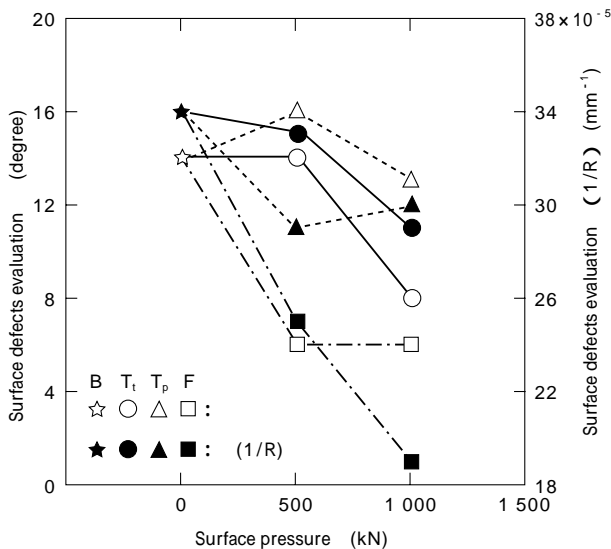


図10 面ひずみ消去に及ぼす局部加圧の影響 (B: 基準パネル, T<sub>t</sub>: 全面加圧, T<sub>p</sub>: 頂上加圧, F: 裾野加圧)<sup>3)</sup>  
 Fig.10 Effects of local compression for door outer model panel in forming (B: Base panel, T<sub>t</sub>: Total surface compression, T<sub>p</sub>: Top compression, F: Foot compression)<sup>3)</sup>

形抵抗を下げる目的で検討されている。この場合、低温変態組織が温間で戻されることもあるため、材料の特性と最終部品強度を考慮した上で加熱温度を決定する必要がある。熱間成形はホットスタンピング技術又はダイクエンチ技術と呼ばれており、中高強度のハイテンを使用する技術の一つである。加熱されたブランクが常温の金型と接触することによる焼入れ硬化により、最終的に部品の強度を超ハイテン並みに高めることができる技術であり、本成形用の薄鋼板が開発されている。

#### 4.3 焼入れ硬化

本技術も中高強度ハイテンを使用する技術の一つであ

るが、熱間成形と同様に最終的に部品の強度を超高強度まで高めることができる技術であり、本成形用の素材が開発されている。ブランクの状態では440MPa級のものが中心であるが、成形後の成形品をレーザや高周波などにより加熱し、続く焼入れ(空冷又は水冷)で780~1470MPa級の強度を上昇させようというものである。この場合、焼入れによる成形品の熱変形が問題となり、安定した量産のために変形制御技術の研究が進められている。

むすび=ハイテンの成形技術に関して、これまでの検討結果をまとめた。材料の強度が高まればその加工性は低下するが、その高い強度は魅力的である。ハイテンのような難加工材を実用化するには、材料と利用技術の相補的な研究が必要であり、これからますますその重要性は高まっていくとともに、商品設計のような物作りの早い段階からの一体となった取組みが必要になっていくものと思われる。

#### 参考文献

- 1) たとえば薄鋼板成形技術研究会編: 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.174.
- 2) 岩谷二郎ほか: 第36回塑性加工連合講演会論文集(1985) p.309.
- 3) 岩谷二郎ほか: R&D神戸製鋼技報, Vol.47, No.2(1997) p.33.
- 4) 岩谷二郎ほか: 第39回塑性加工連合講演会論文集(1988) p.55.
- 5) 岩谷二郎ほか: 平成9年度塑性加工春季講演会論文集(1997) p.39.