

(技術資料)

TRIP型ベイニティックフェライト鋼板の成形性

Formability of TRIP Type Bainitic Ferrite Steel Sheet



木村高行*1

Takayuki KIMURA

In recent years, cold rolled steel sheets of 980MPa grade are increasingly used for automotive parts to improve collision safety (crashworthiness) and to reduce body weight. Kobe Steel has developed a new 980MPa cold rolled steel sheet with elongation properties improved compared with conventional dual-phase (DP) steel sheets. This article focuses on the press formability of the newly developed steel sheet. Press formability testing was performed using a small-sized model die and a large-sized actual part die. The result clearly indicates that the developed steel sheet has a press formability significantly improved compared with conventional DP steel sheets.

まえがき＝近年、自動車の衝突安全性向上と軽量化の両立ニーズが高く、対策アイテムの一つとして高強度鋼板の適用が広く進んでいる。しかし、強度が高い鋼板ほど、伸び特性が低下し、プレス成形時に割れが発生しやすい。このため、部品を分割して成形難易度を下げなければならない場合があった。そこでこれまでは、深絞り成形性向上のための複数工程化¹⁾や伸びフランジ成形性向上のための2回打抜き²⁾などの工法面での対策が提案されてきた。また材料面では、成形性に優れた高強度鋼板が種々開発されている。例えば当社では、ボデー骨格用に適した、従来のDual Phase (以下、DPという)鋼板より伸び特性を高めたTRIP (Transformation Induced Plasticity) 型ベイニティックフェライト980MPa級冷延鋼板 (以下、開発鋼という)を開発した^{3), 4)}。

本稿では、開発鋼の特長、小形ラボ金型を用いた成形性、ならびに大形実部品模擬金型を用いた成形性について報告する。

1. 開発材の組織と機械的性質

1.1 ミクロ組織

980MPa級ハイテンの適用範囲の拡大に伴い、より加工性の良い鋼板が求められている。このため開発鋼は、当社既存メニューの従来型980MPa級DP鋼板の伸びを重視したタイプ (以下、980DP鋼という) に比較して、伸びフランジ性を維持したまま伸び特性を向上させることを狙いとしている。開発鋼と980DP鋼の組織写真を図1³⁾に示す。開発鋼は、伸び特性を高めるため多量の残留 γ を有し、その形態を微細に分散した伸長形状となるように制御した。これは、残留 γ の安定度を高めて加工時の変形後期までTRIP効果を発現させることを狙ったものである。

1.2 引張特性

開発鋼の機械的特性を把握するため、JIS 5号に準じた試験片を製作し、島津製作所製の100kNオートグラフを用いて引張試験を行った。引張速度は10mm/min一定である。比較鋼には980DP鋼に加え、780MPa級DP鋼 (以下、780DP鋼という) を使用した。表1に示すように、開発鋼は780DP鋼と同等で980DP鋼を大きく上回る伸び特性を有しており、優れた成形性が期待できる。また、開発鋼は比較鋼より n 値 (加工硬化指数) が大幅に高く、ひずみ分散性にも優れている。このため、プレス成形後の局所的な板厚減少の抑制に有利であり、自動車ボデーの骨格部品への適用によってより良い衝突性能を得ることが期待できる。

開発鋼がひずみ分散性に優れていることを確認するため、GOM社製非接触式ひずみ測定機ARGUSを用いて引

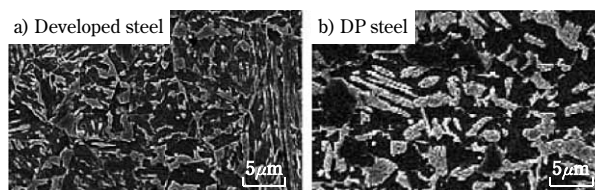


図1 代表的組織写真(SEM) a) 開発鋼 b) 従来型DP鋼³⁾
Fig. 1 Microstructure of 980MPa grade cold rolled steel sheets a) developed steel, b) conventional DP steel³⁾

表1 供試材の機械的特性
Table 1 Mechanical properties of sample steels
($r : 1.4\text{mm}$)

		YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	n value
a)	980 Developed steel	631	1,062	20	0.22
b)	980 DP steel	642	1,060	16	0.15
c)	780 DP steel	527	831	20	0.13

*1 鉄鋼事業部門 技術開発センター プロセス技術開発部

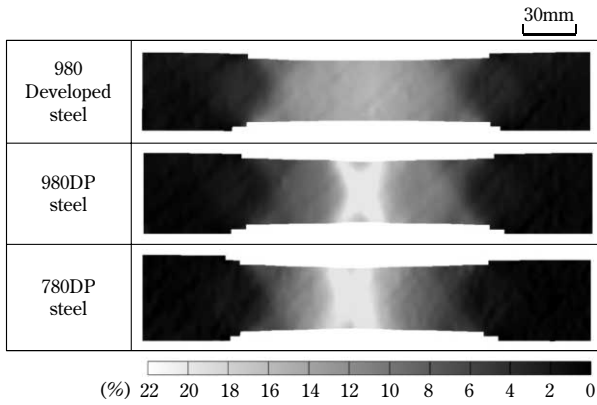


図2 引張試験片の長手方向ひずみ分布 (ひずみ: 15%)

Fig. 2 Longitudinal strain distribution of tensile test specimen (strain: 15%)

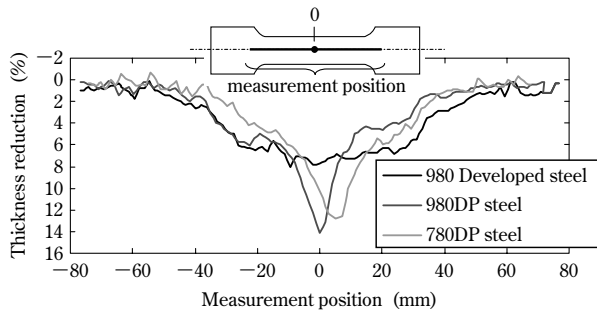


図3 引張試験片の板厚減少率分布 (ひずみ: 15%)

Fig. 3 Distribution of thickness reduction rate in tensile test specimen (strain: 15%)

張試験片の長手方向ひずみを計測した。試験片にはあらかじめドットパターンを等間隔に転写しておいた。ひずみが15%に達した時点で試験機から試験片を取外し、変形後のドットパターンの位置関係を測定、画像処理することによりひずみ分布を確認した。図2の測定結果に示すように、開発鋼は比較鋼に比べて局所的なひずみ集中が強く現れず、試験片内でひずみがほぼ一様に分散していることがわかる。試験片の板厚減少率分布(図3)でも、ひずみの局所集中が抑制されていることが確認できた。

2. 開発鋼の成形性

開発鋼を対象に、薄板の4つの主要な成形様式である張出し、深絞り、伸びフランジ、および曲げの各成形性を調べた。供試材の板厚はすべて1.4mmである。

2.1 張出し成形性

試験条件を図4に示す。限界成形高さで張出し成形性を評価した。限界成形高さは、荷重-ストローク線図において荷重が急激に減少する破断発生時のパンチストロークとした。比較鋼には980DP鋼を用いた。試験機は(株)東京衡機製造所製500kN万能深絞り試験機を用いた。

図5に示した限界成形高さより、開発鋼は980DP鋼より優れた成形性を有していることを確認できた。張出し性は材料の伸びや n 値に影響されるといわれており⁵⁾、引張試験結果から予測されたとおりの結果が得られた。

引張試験と同様に、張出し成形品においてもひずみ分散効果が得られるかを確認するため、開発鋼および980DP鋼ともに成形高さを17mmにそろえたサンプルの板厚減少率を測定した。開発鋼の板厚減少率は、最大と

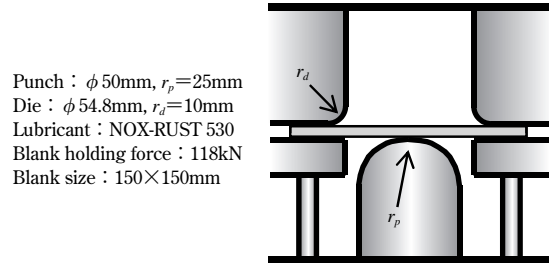


図4 張出し成形試験条件

Fig. 4 Experimental apparatus for stretch formability

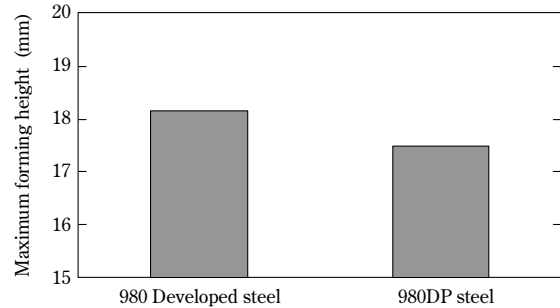


図5 限界張出し高さ

Fig. 5 Maximum forming height

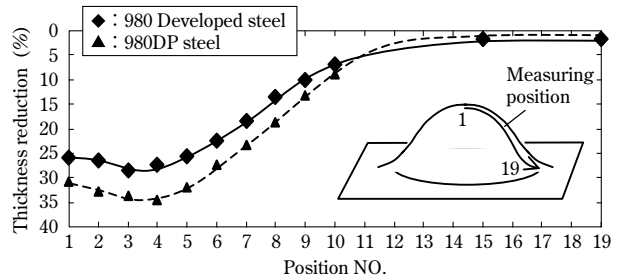


図6 張出し成形品の板厚減少率分布 (成形高さ: 17mm)

Fig. 6 Thickness reduction rate distribution of stretch test specimen (Forming height: 17mm)

なる頂部付近においても30%以下となっている(図6)。一方、980DP鋼では、同じ成形高さであるにもかかわらず約35%と高く、張出し試験においても開発鋼のひずみ分散性の良さが明らかとなった。

2.2 深絞り成形性

直径50mmの球頭パンチを用いて深絞り成形試験を行った(図7)。絞り比を2.0に固定したときの限界成形高さを評価指標とした。限界成形高さは、張出し成形性のときと同様に、荷重-ストローク線図において荷重が急激に減少する破断発生時のパンチストロークとした。比較鋼には980DP鋼に加え、780DP鋼を用いた。(株)東京衡機製造所製500kN万能深絞り試験機を用いて試験した。

図8に示すように、開発鋼は3鋼種の中で最も優れた成形性を示した。図9の成形品外観写真からもその差が明確である。全伸び、 n 値ともに開発鋼が最も優れており、その両方の効果で良い成形性が得られたと考えられる。前述のとおりこれは、開発鋼が含有する残留 γ により優れたひずみ分散性を発揮することに加え、パンチ肩部での加工誘起変態による強度上昇が寄与していると考えられる⁶⁾。すなわち、優れたひずみ分散性によって最も薄くなる頂部付近の板厚がDP鋼に比べて厚いことに

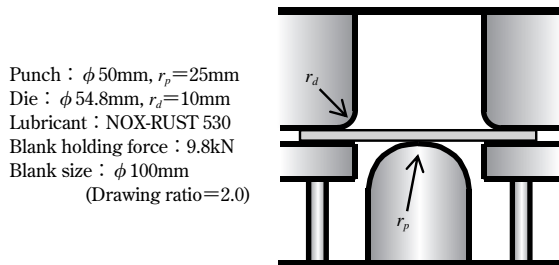


図7 深絞り成形試験条件

Fig. 7 Experimental apparatus for drawing formability

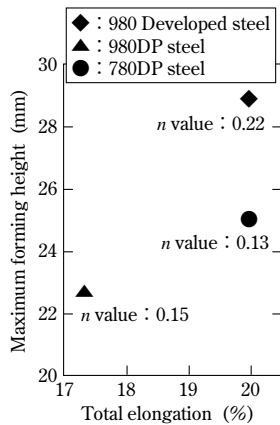


図8 深絞り限界成形高さ

Fig. 8 Maximum forming height (Draw)

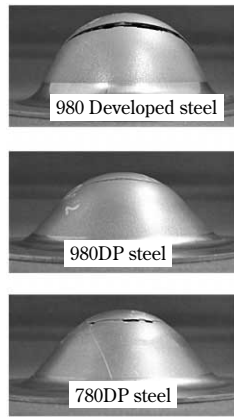


図9 深絞り成形品

Fig. 9 Drawing test specimen

加え、加工硬化による強度上昇が大きいため、より大きなフランジ流入抵抗に耐えることができるためと考えられる。また開発鋼では、通常の残留 γ 鋼と異なり、変形後期まで加工硬化が持続するように残留 γ を伸長形状として微細に分散させたことも成形性に優れる一因である。一方、フランジ流入抵抗については、残留 γ の加工誘起変態が体積膨張を伴うため、材料引込み時の圧縮応力下では変態が抑制される。さらに、加工硬化による強度上昇がDP鋼より小さくなって流入抵抗が小さくなるのが開発鋼の深絞り性の良さに影響している。

2.3 伸びフランジ成形性

伸びフランジ成形性を穴広げ試験によって評価した。試験条件は、日本鉄鋼連盟規格JFST1001に準じた。開発鋼の伸びフランジ成形性は、図10に示すように980DP鋼とほぼ同等の値を示す。高強度鋼板では通常、伸びと伸びフランジ性とはトレードオフの関係にある。すなわち、伸びが優れる鋼板は伸びフランジ性が劣り、伸びフランジ性に優れる鋼板は、伸びが低下する傾向にある。980DP鋼に比較して伸びが優れているにもかかわらず伸びフランジ性の低下を抑制できたのは、開発鋼の組織が微細で均一なため、局所的なクラックの発生を抑制できたためと考えられる。

2.4 曲げ成形性

曲げ成形性を、パンチ角度 90° のV曲げ試験により、パンチ先端の半径 R を変化させたときの曲げ部外側に生じるき裂の有無によって評価した。V曲げ試験では、圧延方向が曲げ稜線と平行になるようにサンプルをセットし、加圧力が19.6kNに達するまでパンチを押込んだ。このときの試験結果を表2に示す。開発鋼が、980DP鋼

と同等の曲げ成形性を有することを確認した。ほぼ密着曲げまで曲げ加工が可能であることから、ボデー骨格部品に要求される曲げ加工性レベルは十分に満足していると考えられる。

2.5 フロントピラー模擬金型での成形性評価

前述のとおり、開発鋼は従来型DP鋼板に比較して、張出し、深絞り、曲げのいずれも上回る成形性を有し、伸びフランジ性は980DP鋼と同等の特性を確保できていることがわかった。そこで、開発鋼の成形性の優位性を確認するため、実部品を模擬した大形金型を用いた成形性評価を行った。

以前、当社でセンタピラー模擬金型を用いて開発鋼の成形性評価を行い³⁾、開発鋼の優位性を確認した。しかしながらそのときの評価は、部品全体を対象とした成形性ではなく、張出しや深絞りの要素を含む部分を対象とした成形性であり、伸びフランジ変形要素を欠いた評価であった。そこで今回は、伸びフランジ変形要素も含むフロントピラーの模擬金型を使用し、部品全体の成形性を評価することにした。

図11に成形品の外観写真を示す。現在量産されているフロントピラーは、440MPa級あるいは590MPa級が使用されており、980MPa級を採用している例は少ない。またこの部品は、プレス成形時の割れを回避することを目的に、車両下側の袋状の形状を別体とする分割構造にする場合が多い。しかしながら今回は、分割することなく部品全体を一体成形にて評価した。図11に示したプレス成形品形状からわかるように、高深絞り性、高張出し性に加え、しわ押え部での高伸びフランジ性が要求される形状となっている。比較鋼には980DP鋼を用いた。板厚はいずれも1.4mmである。

しわ押え力を800kNから2,000kNまで変化させ、割れ

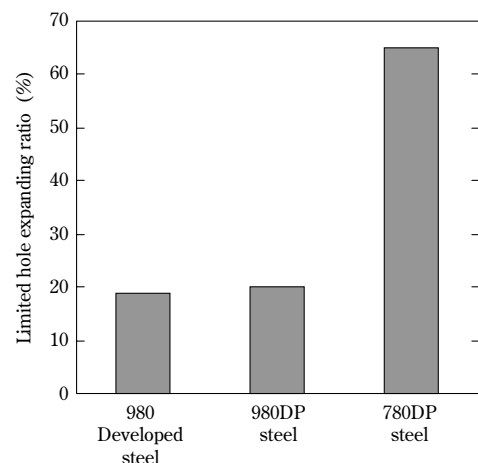


図10 限界穴広げ率

Fig.10 Limited hole expanding ratio of steels

表2 曲げ特性
Table 2 Bendability of steels

	90° V		
	$R=0\text{mm}$	$R=0.5\text{mm}$	$R=1.0\text{mm}$
980 Developed steel	△○	○○	○○
980DP steel	△△	○○	○○

○ : Good △ : Hair crack

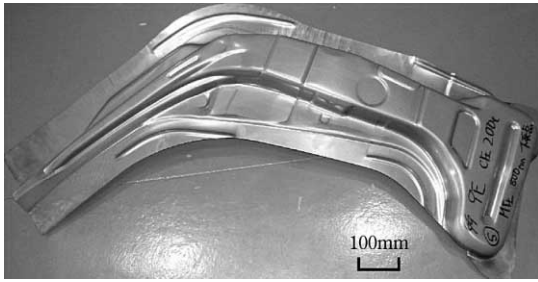


図11 プレス品形状
Fig.11 Shape of press test part

表 3 プレス結果
Table 3 Results of press test

BHF (blank holding force)	fracture		wrinkle
	980 Developed steel	980DP steel	
800kN	○	○	 NG Good
1,000kN	○	○	
1,200kN	○	○	
1,300kN	○	○	
1,400kN	○	×	
1,500kN	○	×	
1,700kN	○	×	
2,000kN	○	×	

○ : Good × : fracture



図12 プレス品のしわ (BHF=1,300kN)
Fig.12 Example of wrinkle in test part
(BHF=1,300kN 980DP steel)

やしわの有無を確認した。表 3 に示すように、980DP鋼は1,300kNまで割れることなく成形することが可能であったが、パンチ上面の座面部分にしわが発生した。部品内部に発生するこのようなしわは、しわ押え力が高いほど抑制することができる。表中の矢印は、しわ抑制に有利である方向を示している。発生したしわの一例を図12に示す。しわ押え力が1,400kN以上では伸びフランジ部分で図13に示すような割れが発生した。一方、開発鋼は、設備能力限界のしわ押え力である2,000kNまで

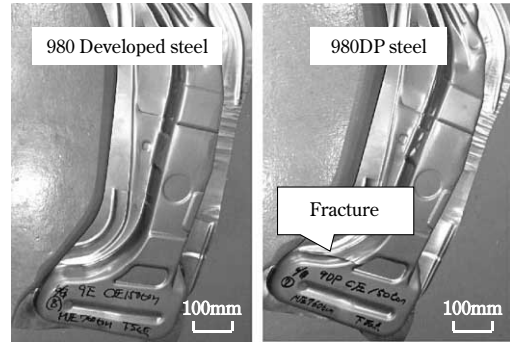


図13 プレス結果の一例 (BHF=1,500kN)
Fig.13 Example of press result (BHF=1,500kN)

割れることなく成形可能であった。このように、開発鋼を用いることによって部品の高強度化や一体化による製造コストの削減が可能と考えられる。また、優れた成形性を活用することにより、部品断面深さがより深い製品設計が可能となり衝突性能の向上も期待できると考えられる。

むすび＝従来型DP鋼より伸び特性を高めたTRIP型ベイニティックフェライト 980MPa 級冷延鋼板の成形性の優位性を紹介した。

開発鋼は従来型DP鋼と比較して、伸び特性やひずみ分散性に優れており、ボデー骨格部品への適用（成形）が可能である。

小形ラボ金型を用いた成形性評価では、開発鋼は張出し、深絞り、曲げのいずれも従来型DP鋼を上回る成形性を有し、伸びフランジ性もほぼ同等の性能を確保できていることを確認した。

センタピラーあるいはフロントピラーを模擬した大形実部品金型を用いて開発鋼の成形性を評価した結果、従来型DP鋼を大幅に上回る成形性を有していることを確認した。本開発鋼は難成形部品の一体化によるコスト削減や、製品設計の自由度が上がることによる衝突性能向上に貢献できると考えられる。

参考文献

- 1) 岩谷二郎ほか：第36回塑性加工連合講演会論文集，(1985)，p.309.
- 2) 岩谷二郎ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.47，No.2 (1997)，p.33.
- 3) 中屋道治ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.59，No.1 (2009)，p.46.
- 4) 中屋道治ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.57，No.2 (2007)，p.19.
- 5) 薄鋼板成形技術研究会：プレス成形難易ハンドブック 第3版，日刊工業新聞社，2007，p.78.
- 6) 松村 理ほか：鉄と鋼，Vol.79，No.2 (1993)，p.209.