



K. Katoh

# 厚手高張力鋼材の穴広げ成形特性

加藤 浩三\*

## 1. 緒言

穴広げ成形性は前工程の下穴成形条件に著しく依存しており、例えば1960年代の中川らの研究により<sup>1)</sup>、加工硬化層のない切削穴による穴広げ成形性が最も優れていることが示されている。また対向ダイスせん断法は、せん断法でありながら、本質的に切削的な分離機構を適用しているため<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>、穴広げ加工の下穴成形法として有効性は自明である。一方で穴広げ加工を適用している生産現場においては、工具構成の簡便性のみに観点を絞る場合には、可能な限り慣用せん断法に近いせん断方法の適用が望ましい。そのため下穴せん断法の選択については、慣用せん断から対向ダイスせん断法に至る下穴せん断方法のうち、最も生産現場の状況に合致した適切な方法を選択することが必要である。

本研究では以上の観点に基づき、下穴せん断条件が穴広げ成形性に及ぼす影響を定量的に明らかにし、生産現場に有用な基礎データを提供することを目的としている。検討に際しては、高張力鋼板を用いた実験的検討を実施し、加工条件が成形性に及ぼす影響を定量的に評価する。本報告では特に1) 下穴せん断時のクリアランス、及び2) 材料拘束条件が穴広げ成形限界に及ぼす影響を明らかにする。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験装置

図1は本研究で使用した油圧プレスを示した概観写真である。本プレス機は3動油圧プレスであり、3系統の油圧シリンダを有している。最大負荷は1500kNである。実験に際しては本油圧プレスにせん断加工用のダイセットあるいは、穴広げ加工用のダイセットを設置して成形実験を実現する。



図1 油圧プレス概観写真

図2は本研究に用いた下穴せん断用の工具構成を示した図である。せん断時の板押さえとして120°間隔で3箇所ウレタンスプリングを配置した。板押さえ拘束をなくす条件ではこのウレタンスプリングを去除してせん断を実施した。また、クリアランス条件として12%から28%の間で表1に示す5条件を採用した。

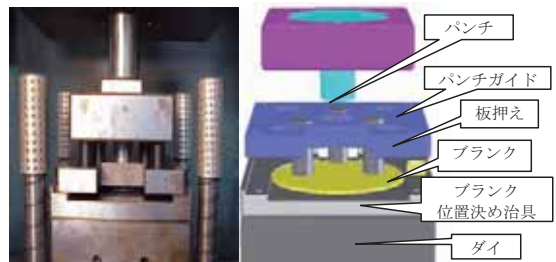


図2 せん断実験工具

図3は穴広げ工程の工具構成を示した図である。また図4は工具組立図である。穴広げ工具は図1に示した能力1500kNの油圧プレスにダイセットを介して配置されている。下穴を有するブランクの外周部を上部のシリンダにより65kNの負荷により拘束した後、下方の別のシリンダに直結された円錐形状パンチを上昇させることにより穴広げ成形を実現する。なお、穴広げ成形に際しては、穴広げ性に有利な条件として下穴せん断時の破断面側を、パンチが最初に当たる下面側としている<sup>1)</sup>。

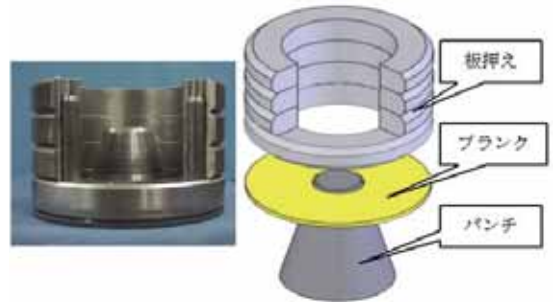


図3 穴広げ実験工具の概要

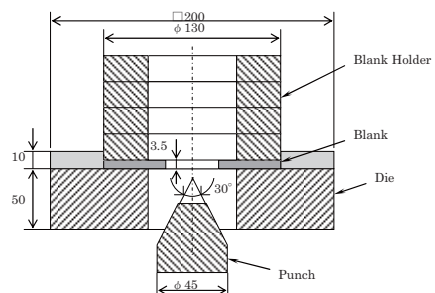


図4 穴広げ実験工具の組立図

\*岐阜工業高等専門学校機械工学科 教授

穴広げの程度を定量的に評価する尺度として、(1)式に示す穴広げ率を採用する。ただし、 $d_i$  は穴の初期直径、及び  $d_B$  は穴広げ後の直径である。

$$\lambda = (d_B - d_i) / d_i \quad (1)$$

## 2.2 供試材

実験に供した鋼板の条件を表1に示した。供試材としては、引張強さが440MPa(通称45キロ鋼)のものと590MPa高張力鋼(60キロ鋼)の2種類を用いた。両材料のn乗硬化特性を表1に併せて示した。

表1 実験条件

材料	通称 45 キロ鋼	自動車構造用熱間圧延鋼板 (SAPH440) F 値 : 722MPa, n 値 : 0.18
	通称 60 キロ鋼	自動車用熱間圧延高張力鋼板 (SPFH590) F 値 : 964MPa, n 値 : 0.18
材料寸法	外径 130mm, 板厚 3.5mm, 下穴直径 36 mm	
せん断 工程	慣用せん断 板押え条件 : 有り・無し の 2 条件 クリアランス : 12, 16, 20, 24, 28%	
穴広げ 工程	パンチ形状 円錐角 30° 外周部押え荷重 65 kN 潤滑剤 : クリアルーブ	

## 2.3 穴広げの成形の可否

穴広げの成形の可否は、目視により判断した。図5には穴縁部から割れが発生したテストピースの一例を示す。また、図6は割れ発生の前段階であるくびれ発生の場合である。穴縁に局部的な板厚減少が認められる。



図5 穴広げ成形による割れ発生例 (60 キロ鋼)



図6 穴広げ成形によるくびれ発生例 (60 キロ鋼)

## 2.4 せん断分離面の構成割合測定法

せん断分離面の構成割合の測定には、図7に示すマイクロ스코プを用いた。画像をパソコンに取り込み市販の画像解析ソフトにより、だれ、せん断面、および破断面の板厚構成割合を求めた。図8は分離面観察のための画像の一例である。



図7 マイクロ스코プ概観写真



図8 マイクロ스코プによる分離面観察例

## 3. 結果と考察

### 3.1 せん断時のクリアランスが穴広げ成形性及ばす影響

図9は60キロ鋼においてせん断時のクリアランス条件が穴広げ率に及ぼす影響を示した結果であり、せん断時に板押えのある条件である。横軸に前工程のせん断時のクリアランス、縦軸に穴広げ率を取ったものである。穴広げ成形が問題なく完了した条件を○記号、破断が生じた条件には×記号、及び両者の過渡的状況であるくびれが生じた条件については△記号をプロットした。○記号と△記号との間に近似曲線を描き成形限界曲線とした。得られた成形限界曲線にはクリアランス24%に極大点があり、穴広げ率が最も良好な条件である。

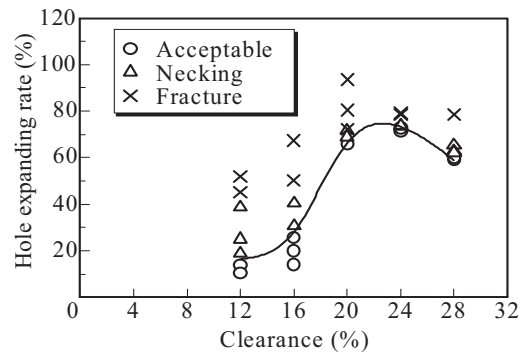


図9 せん断時のクリアランスが穴広げ限界に及ぼす影響 (60キロ鋼, 板押え有り)

本実験の範囲において、このように極大点が顕在化した背景には、せん断時のクリアランス条件に起因した2つの要因が介在し、これらは互いに異なる傾向を有しているためであると推察される。このうちのひとつは、クリアランスの増加とともに『加工硬化領域が分散する』正の要因であり、もう一方は、クリアランスの増加とともに『分離面が粗くなり応力集中を起こす』負の要因である。成形限界線の極大点はこれら相反する2要因の重ね合わせの結果として顕在化されたものであると推察する。

### 3.2 板押え条件が穴広げ成形性に及ぼす影響

図10は、図9との比較において板押え条件が穴広げ成形性に及ぼす影響を検討するためのものであり、図9とはせん断時の板押え条件のみが異なり、板押えが無い条件の結果である。せん断時のクリアランス24%で穴広げ率が最も高くなる傾向は同じであるが、クリアランス条件に関わらず、総じて板押えのない条件は穴広げ限界が板押えのある条件より高く穴広げ性は良好である。この理由については、板押えのない条件の場合には、材料拘束が緩和され加工硬化領域が分散され、加工硬化の進展程度が緩和されたためであると推察している。

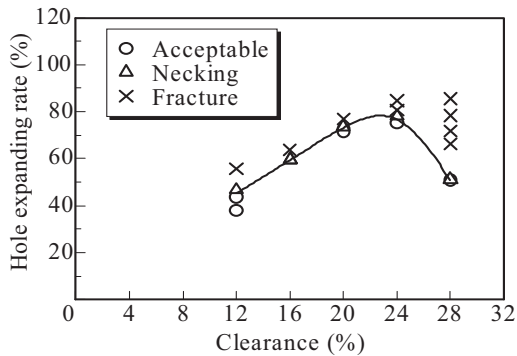


図10 せん断時のクリアランスが穴広げ限界に及ぼす影響 (60キロ鋼, 板押え無し)

### 3.3 材料条件が穴広げ成形性に及ぼす影響

図11は45キロ鋼、及び60キロ鋼の両材料について成形限界曲線を同一図内に併せてプロットし、穴広げ成形性を比較したものである。45キロ鋼、及び60キロ鋼ともにせん断時のクリアランス24%付近が最も穴広げ率が高く、24%が最も良い条件である。このことより、本実験条件下においては材質に関わらず24%で最大穴広げ率が得られることが明らかになった。また、両材料条件の定量的な比較については、本実験の範囲では、クリアランス24%において60キロ鋼の方が穴広げ限界が約25%低いという結果が得られた。

### 3.4 せん断分離面についての考察

図12は図9の60キロ鋼で板押え有り条件について、せん断時のクリアランスがせん断分離面割合に及ぼす影響を示した結果である。穴広げ性の最も良好なクリアランス24%の条件では、破断面割合が最も大きくなっている。このことから、破断面の影響については、応力集中

の負の要因よりも、加工硬化進行の程度が少ない正の要因が優勢であると解釈した。

また、破断面構成割合に極大値が存在する理由については次のように解釈した。通常のせん断における比較的クリアランスの小さい領域においては、クリアランスが増加すると材料不足を補う必要があるためダレが発生し、せん断面割合は増加減少し、破断面割合が増加する。一方、クリアランスが極端に大きい場合のせん断では、行程初期では見かけのパンチ行程が進行しても、せん断的食い込みが進行しないで、材料が回転する(傾斜する、曲がる)のみである。さらに行程が進行し材料回転により、周辺工具によるサン部についての拘束が大きくなった状況では静水圧が高まり、実質的せん断が開始される。そのため、このクリアランス領域では、クリアランスの増加に伴いせん断面割合が比較的大きくなり破断面割合が減少する。本実験の範囲ではクリアランス条件24%が、両クリアランス領域の遷移領域であるため破断面割合が極大になった<sup>4)</sup>。

図13は板押えの無い条件について、せん断時のクリアランスがせん断分離面割合に及ぼす影響を示した結果である。定性的な傾向は、図12の板押えのある場合と同様である。

図14は、せん断分離面の構成割合について、板押えのある条件(図12)と板押えの無い条件(図13)を比較したものである。破断面構成割合に着目すると、板押えの無い条件のほうが上部にあり、板押えの無い条件のほうが穴広げ性が良いという結果と対応している。

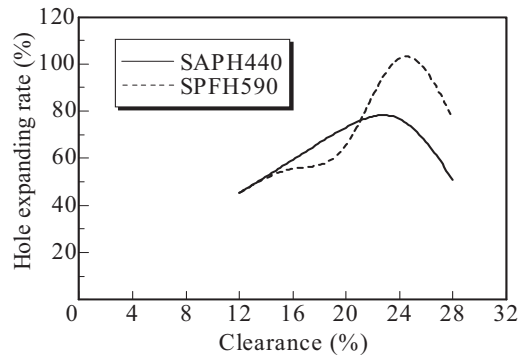


図11 材料が穴広げ性に及ぼす影響 (45キロ鋼と60キロ鋼, 板押え無し)

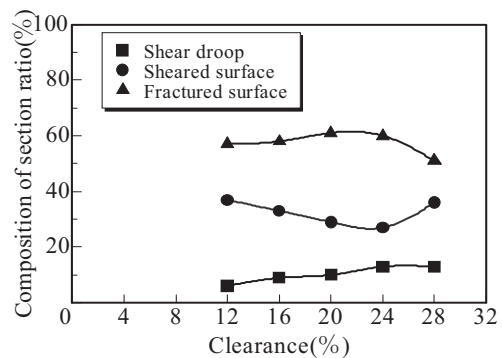


図12 クリアランスがせん断分離面割合に及ぼす影響 (60キロ鋼, 板押え有り)

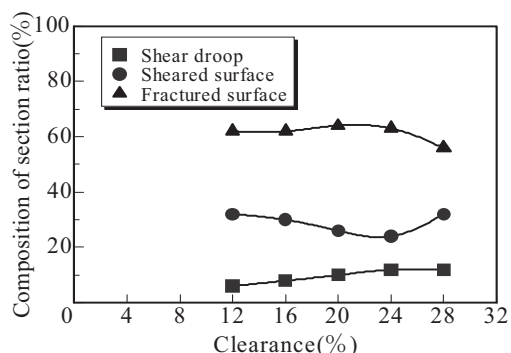


図 13 クリアランスがせん断分離面割合に及ぼす影響  
(60 キロ鋼, 板押え無し)

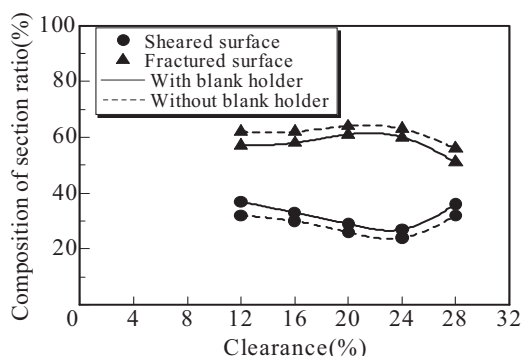


図 14 クリアランスがせん断分離面割合に及ぼす影響  
(60 キロ鋼 板押え条件の比較)

#### 4. 結言

高張力鋼の穴広げ加工について、下穴せん断条件が穴広げ成形性に及ぼす影響を定量的に明らかにし、生産現場に有用な基礎データを提供することを目的として実験的な検討を実施した。その結果、以下の点が明らかになった。

- 1) 本研究の範囲で得られた 60 キロ鋼の穴広げについての成形限界曲線はクリアランス 24%の条件に極大点があり、穴広げ率が最も良好な条件である。
- 2) 板押さえのない条件は穴広げ限界が板押えのある条

件より高く穴広げ性は良好である。この理由については、板押さえのない条件の場合には、材料拘束が緩和され加工硬化領域が分散され、加工硬化の進展程度が緩和されたためであると推察された。

- 3) 60 キロ鋼と 45 キロ鋼の比較については、本実験の範囲では、クリアランス 24%において 60 キロ鋼のほうが穴広げ率が約 25%低いという結果が得られた。
- 4) せん断分離面の構成割合が穴広げ成形性に及ぼす影響については、穴広げ性の最も良好なクリアランス 24%の条件では、破断面割合が最も大きくなっている。このことから、破断面の影響については、応力集中の負の要因よりも、加工硬化進行程度が少ない正の要因が優勢であると解釈した。

#### 謝 辞

本研究は天田金属加工機械技術振興財団平成 16 年度研究開発助成の御支援の下に遂行されました。本研究の遂行にあたり、多大なご支援を賜りました天田金属加工機械技術振興財団様に厚く御礼申し上げます。また、研究の遂行にあたり、多くの有益な御助言、ご教示を頂きました豊田工業大学教授近藤一義先生に厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 中川威雄・吉田清太, 「打ち抜き穴の伸びフランジ成形限」, 理化学研究所報告, 44-3 (1968), pp.150-162.
- 2) 近藤一義, 「せん断加工における平滑面形成機構 (第 1 報, 基礎的検討)」, 日本機械学会論文集 (第 3 部), 35-277 (1969), pp.1965-1971.
- 3) 近藤一義, 「せん断加工における平滑面形成機構 (第 2 報, 分離面性状の改善法)」, 日本機械学会論文集 (第 3 部), 35-277 (1969), pp.1972-1979.
- 4) 近藤一義, 「延性金属板のせん断加工機構 (第 2 法) - 工具によって与えられる材料拘束条件の影響 -」, 精密機械, 31-8 (1965), pp.693-698.