

12 異板厚テーラードブランクの角筒深絞り成形における変形経路と成形限界

森下勇樹, 門 格史, 田邊栄司

(Study for application to press products of Laser Welding in Tailored Blanks)

Forming path and forming limit in square shell deep drawing of different thickness Tailored Blanks

MORISHITA Yuki, KADO Tadashi and TANABE Eishi

A tailored blanks is a sheet metal constituted from two or more normal blanks by the composite within a plane. In this study, the thickness ratio of the different thickness tailored blanks is 2, it is examined deep drawability for square shells. When exceeding a limiting drawing ratio, at the punch shoulder corner, although a typical fracture form is shown in the thin blank side, a unique fracture form is shown in the thick blank side. As a result of FEM analysis of the unique fracture form, the complicated combined forming path is shown. However, forming paths of the fracture point in the thick blank side is greatly dependent on the shapes of tailored blanks. In order to improve the deep drawability of a different thickness tailored blank, the blank shape that the weld bead on punch head does not do displacement is required.

キーワード：異板厚テーラードブランク，深絞り成形，変形経路，成形限界，ブランク形状

1 緒 言

筆者らは既報¹⁾²⁾において、板厚比2を有する異板厚テーラードブランク(以下、TB)の角筒深絞り成形性について、TB板面上の板厚差や強度比が、成形性に悪影響を及ぼし、限界絞り比(成形可能な最大正方形ブランク辺長 S_{max} /角筒ポンチ辺長 l)が素板に比べ減少することを報告した。特に異板厚TBの限界絞り比を越える条件で成形した時に、ポンチ肩コーナ部で生じる破断は、薄板側では α 破断であるのに対して、厚板側では特異な破断形態を示すことを明らかにした。本報では、異板厚TBの厚板と薄板に発生した破断部の変形経路の違いを解析するため、スクライブドサークルテストによる実測と、PAM-STAMPによるシミュレーションを行い、変形挙動の解析を行う。フランジ部からの厚板と薄板の不均一な材料流入が変形経路に及ぼす影響及び異板厚TBのブランク形状と成形限界の関係について検討する。

2 実験方法

供試材は、既報と同様に、公称板厚(真板厚)1.2mm(1.16mm)と0.6mm(0.6mm)の表面処理鋼板である。これらの材料の組合せによる強度比と板厚比は、それぞれ1.81と1.93である。表1に角筒深絞り成形に使用した金型工具寸法と成形条件を示す。異板厚TBの平坦側はダイス側と接触させ、異板厚TBの段

差側と接触するポンチ頭部は、板厚差に対応した形状とした。溶接ビード位置はダイスの直辺部中央に配置して成形を行った。板面内のひずみ測定は $\phi 5$ mmのスクライブドサークルを使用した。角筒深絞り成形は、正方形ブランク辺長 $S=94$ mmを角筒ポンチ辺長 $l=40$ mmで除した、絞り比 $S/l=2.35$ の条件で成形し、異板厚TBの破断部のひずみ測定はポンチストローク $S_p=5, 7.5, 10, 12.5, 15$, 及び 18.7 mmで行った。

表1 角筒成形用金型形状と成形条件

ポンチ	辺長 l	40mm
	肩 R	4 mm
	コーナー R	2.5mm
	ポンチ速度	$10\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
ダイスと ブランクホルダ	辺長	43mm
	肩 R	4 mm
	コーナー R	4 mm
	しわ押え力	10~40kN

3 破断部の変形経路と成形限界

3.1 実験による異板厚TBと素板の破断部の変形経路

図1は異板厚TBと素板のポンチ肩コーナ部で発生した破断部の変形経路を示す³⁾。破線と点線は素板 $t1.2$ と $t0.6$ を比例負荷によって求めた成形限界線

FLC (Forming Limit Curve) である。 ϵ_1 は最大主ひずみを示し、 ϵ_2 は ϵ_1 に直交する最小主ひずみである。異板厚 TB の薄板側破断部 (印) の変形経路は、張出し領域で変形が進行し、板面内のひずみ比 ϵ_2/ϵ_1 は、ほぼ一定に保たれながらひずみが負荷され、素板 t0.6 (印) や素板 t1.2 (印) と同様な変形経路を示した。単純変形経路に近い変形挙動である。一方、特異な破断形態を示した異板厚 TB の厚板側破断部 (印) では、異板厚 TB の薄板側や素板の変形経路とは大きく異なった。Sp = 0 ~ 7.5mm までの成形初期では、平面ひずみ引張り $\epsilon_2/\epsilon_1 = 0$ で変形が進行し、Sp = 7.5 ~ 12.5mm では、不等二軸引張り $\epsilon_2/\epsilon_1 = 0.84$ に変形経路が変更し、破断前の Sp = 12.5 ~ 18.7mm では、再び平面ひずみ引張りに近い $\epsilon_2/\epsilon_1 = 0.22$ で変形経路が変化した。Sp の増加とともに ϵ_2/ϵ_1 は 0.84 0.22 に変化する複雑な複合変形経路を示した。

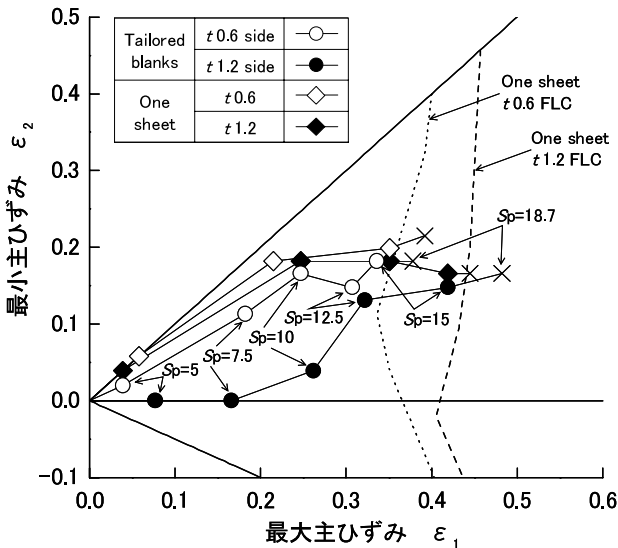


図1 実験による異板厚 TB と素板の破断部の変形経路

3.2 数値解析による異板厚 TB の破断部の変形経路

実験による成形では、異板厚 TB の厚板側破断部の変形経路は、複雑な複合変形経路を示すことが図1より観察された。そこで、複雑な複合変形経路が数値解析においても実験と同様に観察できるかどうかを検証するため、シミュレーションによる解析を行った。解析には動的陽解法有限要素法コード PAM-STAMP V 2000を使用した。表2、3に解析で用いた材料の機械的性質と主な解析条件を示す。材料の加工硬化特性は Swift 型の式で近似した。異板厚 TB は対称モデルであるため、図2に示すように解析は 1/2 モデルで行った。

図3は数値解析による異板厚 TB の厚板側 (印)

表2 数値解析に用いた材料の機械的性質

t (mm)	ヤング率 (GPa)	ポアソン比	塑性係数 R (GPa)	初期ひずみ ϵ_0	n 値
1.16	206	0.3	0.552	0.008	0.28
0.6	206	0.3	0.583	0.008	0.28

材料の加工硬化特性 $\sigma = F(\epsilon_0 + \epsilon)^n$

表3 主な解析条件

ソルバー	PAM-STAMP V2000
S/l	2.35
メッシュサイズ	2.5mm
ポンチ要素数	531
ダイス要素数	308
ブランクホルダ要素数	174
再メッシュ	1回
摩擦係数	$\mu = 0.14$
ポンチストローク	5, 7.5, 10, 12.5, 15, 18.7mm

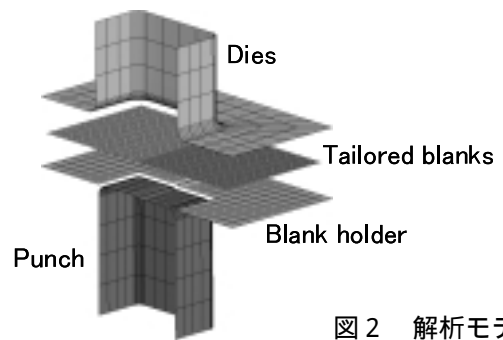


図2 解析モデル

と薄板側 (印) の破断部の変形経路を示す³⁾。解析による破断部の変形経路は、実測によるものと良い一致を示し、厚板側の複雑な複合変形経路は、精度よく再現されている。実測と数値解析による観察で、厚板側の破断部は、Sp = 0 mm の時、ポンチ肩コーナ部から 5 mm 外れたポンチ肩部に存在した。成形初期では、最大主ひずみ方向がポンチ肩に沿って平面ひずみ引張りが負荷された。Sp が増加すると、材料流入は厚板と薄板の強度比の関係から不均一さを発生し、ポンチ頭部の溶接ビード位置は、厚板側へ変位した。これに伴い厚板側の破断部はポンチ肩コーナ部へ変位し、 ϵ_1 が角筒ポンチ子午線方向と、 ϵ_2 が角筒ポンチ周方向に作用する不等二軸引張りとなり張出し領域で変形が進行した。破断直前では、再び平面ひずみ引張りが負荷されているのが確認できた。なお、数値解析による薄板側の破断部の変形経路は、実測と同様に張出し領域で変形が進行し、 $\epsilon_2/\epsilon_1 = 0.47$ で一定であった。

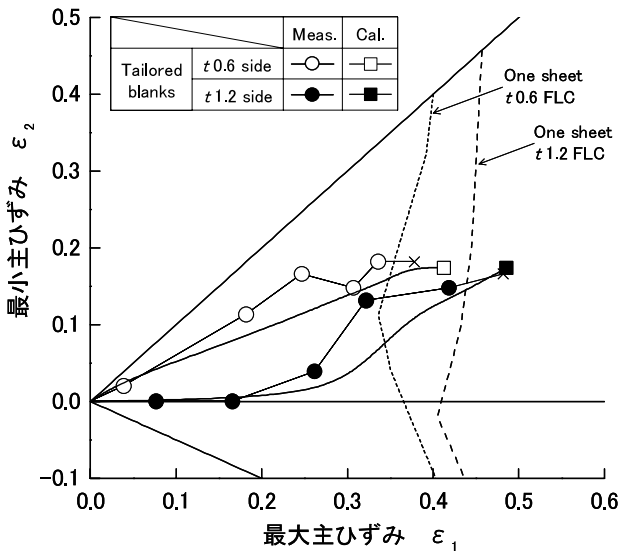


図3 数値解析による異板厚 TB の破断部の変形経路

3.3 成形限界に及ぼすブランク形状の影響

前節では、異板厚 TB の一辺が $S=94\text{mm}$ ($S/l=2.35$) である基準的な正方形ブランク形状で破断部の変形経路の解析を行った。成形後のフランジ形状の観察から、厚板と薄板の材料流入は不均一な状態であり、 Sp/l は 0.47 で、破断までの成形限界は低い値に留まった¹⁾²⁾。一般に板材の深絞り成形において、成形前のブランク形状が深絞り成形性や破断形態に大きな影響を及ぼすことは良く知られている。そこで、成形高さの向上を図るため、図4(a)~(c)に示すブランク形状の異板厚 TB の成形を試みた³⁾。図4(a)は正方形をコーナーカットした八角形状、図4(b)は厚板側ブランク幅を小さくした長方形形状、及び図4(c)は薄板側ブランク幅を大きくした長方形形状である。

図5は異板厚 TB の成形高さに及ぼすブランク形状の影響を示し、図6(a)~(c)は各種ブランク形状における破断形態を示す。図5の白抜きプロット点に示されるコーナーカットした異板厚 TB は、 Cc の増加とともに Sp は僅かであるが増加傾向 ($Cc=30\text{mm}$ の時、 $Sp/l=0.57$) を示し、コーナーカットによる材料変形抵抗の低減効果は表れたが、大きな成形高さを得ることはできなかった。また、図6(a)に示すポンチ頭部の溶接ビード変位は Cc 量に依存することなく、 Sp の増加とともに厚板側へ変位し、正方形の異板厚 TB と同様に特異な破断形態であった。厚板側での特異な破断形態の発生は、異板厚 TB の板厚差が要因となる厚板と薄板の不均一な材料流入によって発生すると考えられる。

次に、厚板と薄板の材料流入の不均一さを解消するため、図4(b),(c)のように予め成形前に、厚板側の幅 $W_{t1.2}$ を小さくした長方形形状 ($W_{t0.6}=S/2$, $W_{t1.2}<S/2$) と、薄板側の幅 $W_{t0.6}$ を大きくした長方形形状 ($W_{t0.6}>S/2$, $W_{t1.2}=S/2$) の成形を行った。図4(b)の場合、厚板側のフランジ部では材料流入が促進され、ポンチ頭部の溶接ビードは、成形中にほとんど変位することなく、 $W_{t1.2}=43\text{mm}$ ($W_{t1.2}/S=0.46$) の時、 $Sp/l=0.62$ を示した。また、図6(b)に示すように厚板側の特異な破断も解消され破断発生は薄板側の破断となった。異板厚 TB の成形限界向上と、特異な破断形態を防止するためには、ポンチ頭部の溶接ビードの変位を制御することが重要であると考えられる。一方、図4(c)のブランク形状については、成形限界向上には寄与しない結果となったが、図6(c)に示すように溶接ビードの変位は制御でき、破断の発生は薄板側の破断となった。図4~6より異板厚 TB の角筒深絞り成形性と破断形態は、ブランク形状に大きく依存することが明らかになった。

図7は数値解析による異板厚 TB の厚板側破断予測部の変形経路に及ぼすブランク形状の影響を示す³⁾。正方形の異板厚 TB (印) を基準に、成形高さはいずれも $Sp=18.7\text{mm}$ ($Sp/l=0.47$) 一定で解析を行った。コーナーカットした異板厚 TB は Cc/S が増加すると ϵ_2/ϵ_1 は 0 に収束し、成形終了まで破断部には平面ひずみ引張りが支配的に負荷する結果となった。フランジからの均等な材料流入で、ポンチ頭部での溶接ビード変位がほとんど発生しなかった長方形の異板厚 TB ($W_{t0.6}=S/2$, $W_{t1.2}<S/2$) は、成形初期では平面ひずみ引張りが負荷しているが、次第に張出し領域で変形が進行した。 $W_{t1.2}/S=0.46$ (印) では、最大主ひずみ量は減少し、 ϵ_2/ϵ_1 は 1 に近づく傾向がより顕著となった。 $W_{t1.2}/S$ が減少すると、即ち厚板側ブランク幅を小さくすると、材料流入は顕著に促進され、破断予測部の変形経路は、素板の変形挙動に近づくと考えられる。

以上の結果から、異板厚 TB の角筒深絞り成形性とブランク形状の関係について、次の知見を得ることができた。素板の角筒深絞り成形性を向上させる手法の一つであるコーナーカットを異板厚 TB に適用したが、成形限界の向上には効果的に作用しない。板厚差が要因となる材料流入の不均一さをブランク形状で解消するためには、厚板側のブランク幅を小さくする、あるいは薄板側のブランク幅を大きくし、ポンチ頭部の溶接ビードが変位しないようなブランク形状が必要である。

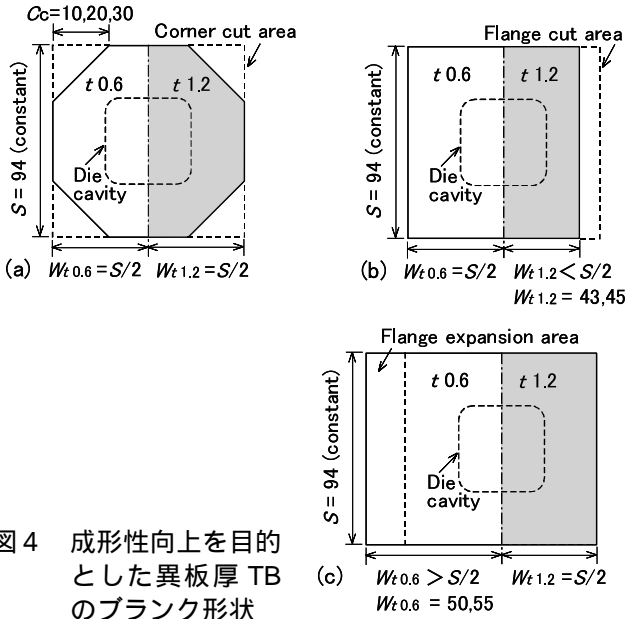


図4 成形性向上を目的とした異板厚 TB のブランク形状

- (a) 八角形状
- (b) 長方形形状 ($W_{t1.2} < S/2$)
- (c) 長方形形状 ($W_{t0.6} > S/2$)

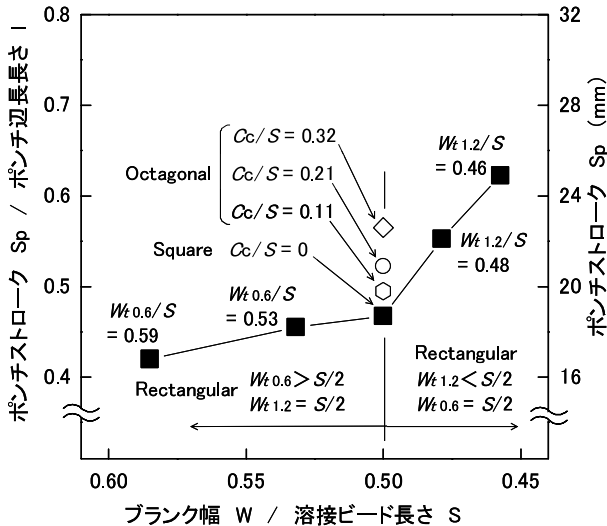


図5 異板厚 TB の角筒深絞り成形高さに及ぼすブランク形状の影響

4 結 言

板厚比 2 を有する異板厚 TB の角筒深絞り成形を行い、次の結果を得た。

- (1) 厚板側と薄板側のブランク幅が等しい正方形あるいは八角形の異板厚 TB では厚板側のポンチ肩コーナー部で特異な破断形態を示す。

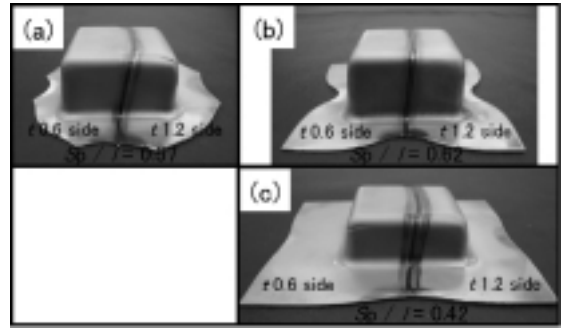


図6 各種ブランク形状における破断形態

- (a) 八角形状 ($C_c/S = 0.32$)
- (b) 長方形形状 ($W_{t0.6}/S = 0.5, W_{t1.2}/S = 0.46$)
- (c) 長方形形状 ($W_{t0.6}/S = 0.59, W_{t1.2}/S = 0.5$)

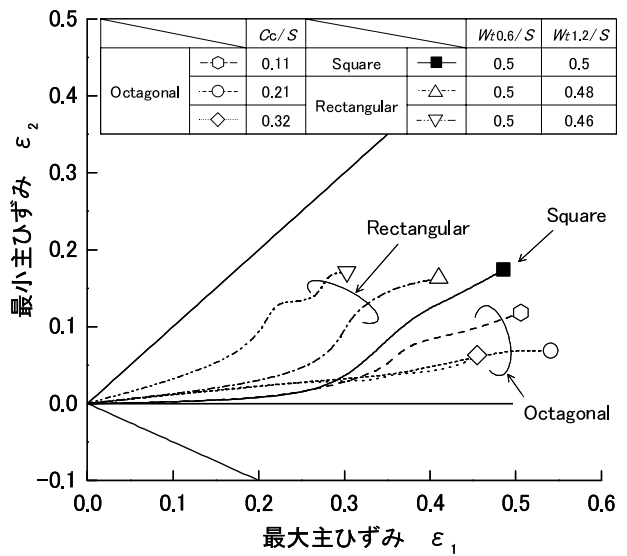


図7 異板厚 TB の厚板側破断予測部の変形経路に及ぼすブランク形状の影響

- (2) 正方形の異板厚 TB の厚板側破断部は複雑な複合変形経路を示す。
- (3) 成形限界向上のためには、ポンチ頭部の溶接ビード変位を抑制することが重要である。
- (4) $W_{t1.2}/S$ を減少させると、厚板側破断予測部の最大主ひずみ量は減少し、素板の変形挙動に近づく。

5 参 考 文 献

- 1) 森下他：広島県西部工技研究報告書, 46(2003), 57
- 2) 森下他：第53回塑加連講論, (2002), 1
- 3) 森下他：第54回塑加連講論, (2003), 237