

低加圧・高精度曲げ加工を利用した フォーム成形法に関する研究

茨城大学大学院 理工学研究科 応用粒子線科学専攻
講師 西野創一郎

(平成15年度研究開発助成 AF-2003008)

キーワード：高張力鋼板，低加圧・高精度加工，フォーム成形法

1. 緒論

最近，自動車車体を中心に軽量化と衝撃吸収性向上の両立を目指して，鋼板の高張力化が進んでいる．この高張力化にともない，生産現場では種々の問題（形状精度確保⁽¹⁾②・加工荷重不足・型カジリ等）が発生している．特に加工荷重増大は深刻な問題として挙げられる．

高張力鋼板の成形を考えた時，日本の生産現場で長年に渡って培われてきた「フォーム成形法」が効果的である⁽³⁾．フォーム成形は，従来使用されているドロウ成形（深絞り）と異なり，素材中央部を拘束し外周部が自由な状態にて成形を行う．その結果外周部の材料が自由に移動可能となり，低加工荷重で形状精度確保が可能である．

前報⁽⁴⁾⑤⑥において，フォーム成形法の基本となる曲げ成形過程を詳細に観察・評価することで，高精度/低加圧で成形可能な新しい曲げ加工法を提案した．本研究では，フォーム成形法の汎用化を目的として，実部品を想定したフォーム金型を製作し，成形過程の可視化を実現した．これをもとに低荷重で高精度形状得られる要因を明らかにし，併せて素材強度（TS）と材料を拘束しているクッション圧の影響について検討を加えた．

2. 供試材および成形試験

2.1 供試材

本研究では，汎用性を持った結果を得るために表1に示した引張強さ270～1180MPaの範囲で5種類の鋼板を選定した．なお供試材の板厚はすべて1.2mmであり，この鋼板からロール方向に150mm，直角方向に30mmの試験片を切り出した．

2.2 成形試験

フォーム成形試験は図1に示す金型を加工能力245kNのプレスブレーキに取り付けて行った．パットのクッション圧は1.28kNおよび6.94kNの2種類に設定可能である．本研究では下型，上型共に供試材に接触した点を原点とし，下死点（36.5mm）まで押し込んだ．その際の加工荷重は，クッション圧1.28kNでは15kN～20kN，6.94kNでは20kN～33kNである．

Table 1 Material properties

	Single Phase		Dual Phase		
	A	B	C	D	E
	JAC270E	JSC590Y	JSC780T	JSC980Y	JSC1180YN
	IF	DP	TRIP	DP	DP
Thickness of sheet (mm)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Yield stress [MPa]	142	346	361	910	1061
Tensile stress [MPa]	292	515	832	1080	1207
Work hardening exponent	0.21	0.21	0.17	0.1	0.1
Elongation [%]	63	30	25	9	5

さらに図2に示すように供試材の4か所の曲がり角を定義し，下死点において除荷後の供試材の曲がり角を測定し，これから求めた角度誤差を金型角度で除した値を，寸法誤差割合とした．なお金型角度は， $\theta_1=65^\circ$ ， $\theta_2=128^\circ$ ， $\theta_3=145^\circ$ ， $\theta_4=120^\circ$ である．評価基準の寸法誤差割合は，

$$\frac{\Delta\theta}{\theta} = \frac{\text{誤差角度}}{\text{金型角度}}$$

と定義した．

3. 試験結果

3.1 $\theta_1 \sim \theta_4$ における寸法誤差割合

図3(a)～(d)はフォーム加工試験より得られた試験結果であり，各供試材の引張強度と角度誤差割合の関係を示している．この図より， $\theta_1 \sim \theta_3$ に関して供試材の引張強度に関係なく金型形状に近い曲がり角に成形されている．ただし， θ_4 では材料強度とともに誤差割合が増加しており，単純曲げ状態に近いことが解る．

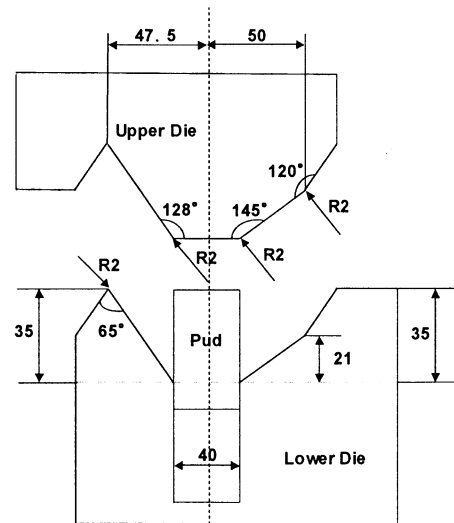


Fig.1 Die Geometry

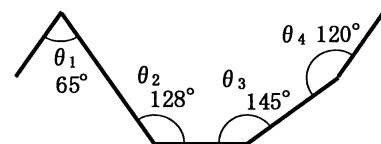
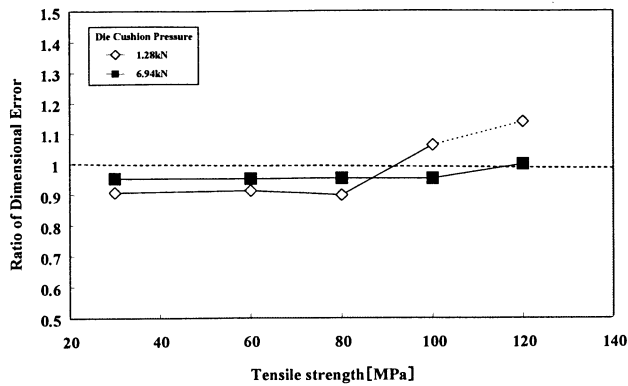
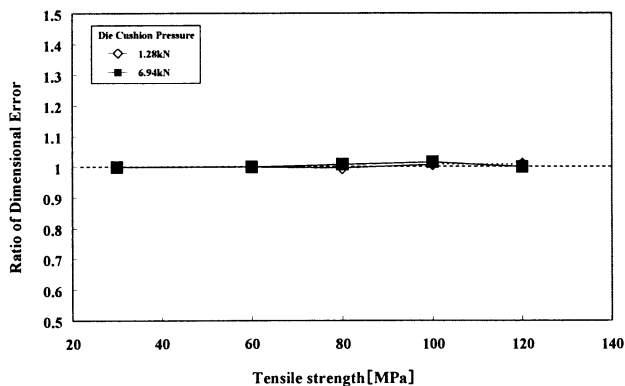


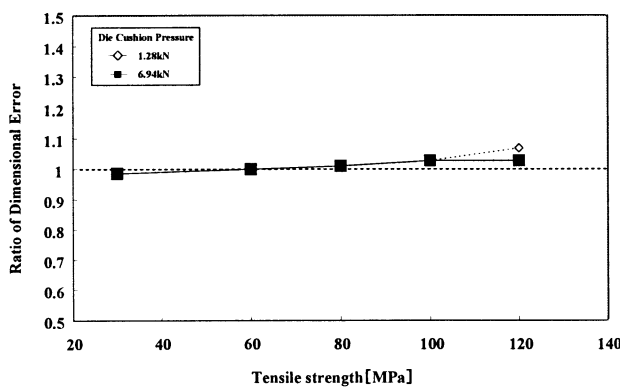
Fig.2 Bending angle



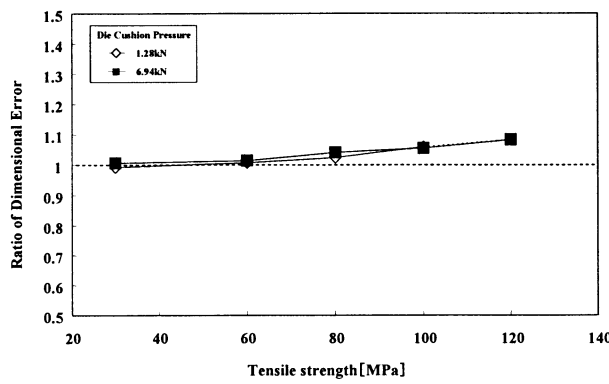
(a) θ_1



(b) θ_2



(c) θ_3



(d) θ_4

Fig.3 Dimensional error after form forming

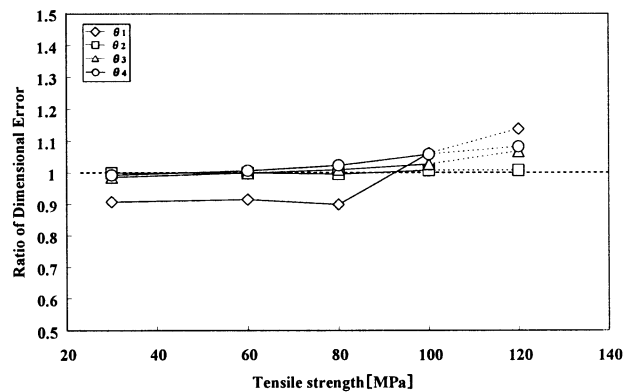
3. 2 クッション圧の影響

図4 (a), (b)は、図3の試験データをクッション圧ごとに再整理した結果である。角度誤差割合に及ぼすクッション圧の影響は特に θ_1 で大きい。また、クッション圧を大きくすることによって、誤差は減少しており、フォーム成形では最適なクッション圧の検討が重要であることが理解される。特に980MPa以上の超ハイテンでその傾向は顕著である。

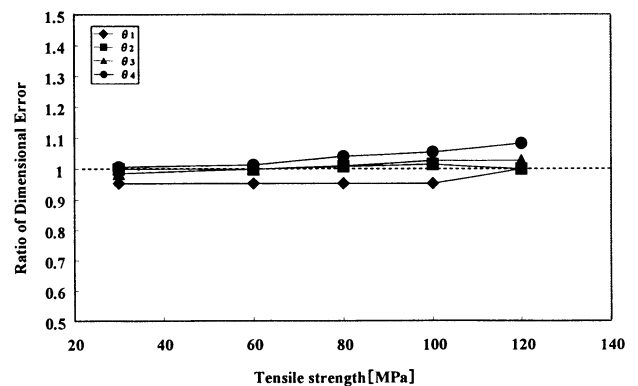
4. 考察

4. 1 圧縮応力付加による形状凍結性の向上

図5において押し込み量34mmの成形途中の状態を観察すると、A材/E材双方とも曲げ点1~2の間において型寸法より多くの材料ボリューム(本事例では長さ)が確保されている。このため、上型が下降して型隙間が小さくなるにしたがい曲げ点1~2の間に確保されていた材料ボリュームが潰されていく。この材料ボリュームは最も小さい変形抵抗で移動可能である曲げ点へ材料が押される。この結果、曲げ点1・2においてこれまで曲げにより受けていた引張り応力部に圧縮応力が作用し曲げ点での残留応力が低減される。このことが素材種類に影響されることがなく形状精度が確保される理由であり、フォーム成形法が低加工荷重で高精度に成形可能な理由の一つである。今後この現象を成形過程の特徴より『押し曲げ』と名づけることとする。また図4(b)に示されているように、各曲げ点の中で曲げ点4は他の曲げ点とは異なり材料の端末が拘束されていない

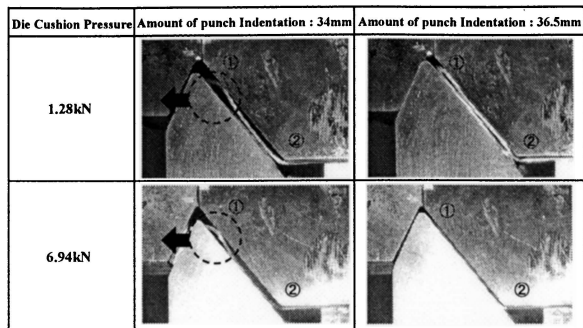


(a) 1.28kN

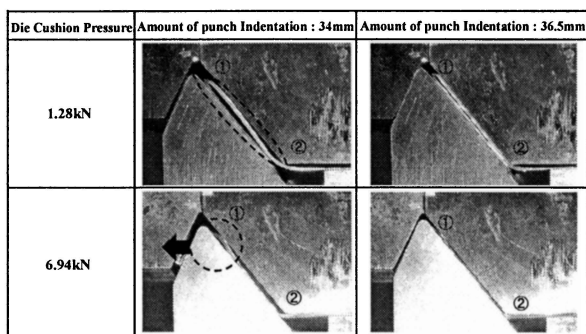


(b) 6.94kN

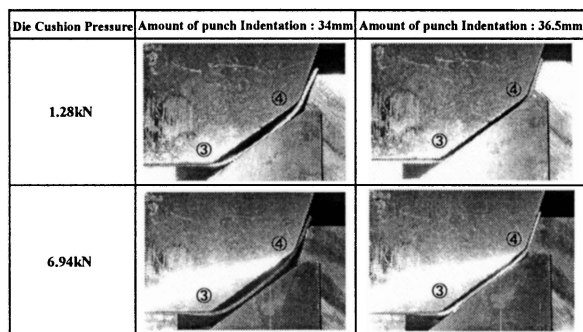
Fig.4 Effect of die cushion pressure on dimensional error



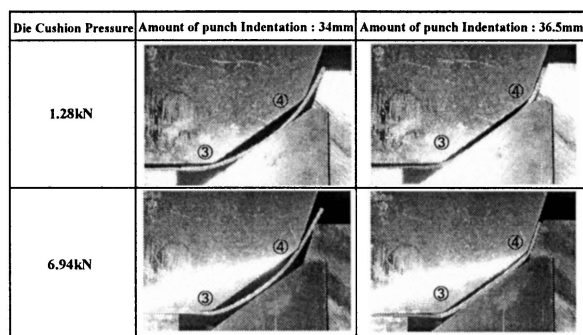
(a) Series A



(b) Series E

Fig.5 Form forming process on θ_1 and θ_2 

(a) Series A



(b) Series E

Fig.6 Form forming process on θ_3 and θ_4

いため、十分な圧縮応力が作用せず材料強度が高くなるにしたがいスプリングバック量が大きくなっている。逆に曲げ点1においてはE材以外では降伏点が低いため、型角度より小さな曲げ角(スプリングゴ)となっている。

4. 2 最低必要クッション圧の存在

図4の(a)・(b)を比較するとクッション圧の差と材料種類により曲げ精度が異なっていることが理解される。この差が生じた原因として、E材の成形過程である図5(b)①及び図6(b)①の上型とパットの関係を見ると、本来クッション圧により密着しているべきなのに隙間が存在している。一方A材では図5(a)①及び図6(a)①に示されたように密着している。この違いから理解されるように、高張力鋼板においては高いクッション圧の方が形状凍結性が良い。このことより安定したフォーム成形を行うには、材料種類に応じた必要最低のクッション圧が存在すると考えられる。(単にクッション圧を大きくすることは本来の成形に関係しない領域でエネルギーを浪費するため、できるだけ低いクッション圧で加工することが望ましい。)しかし、このクッション圧は材料を中央部で拘束して成形するフォーム成形法の最も基本的な要素である。そのため、今後更に試験データを増やして成形精度にのみではなく、成形荷重や成形プロセスについて検討を進める必要がある。

5. 結論

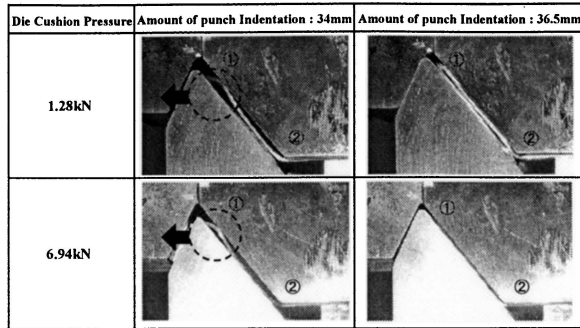
本研究では、フォーム成形法の汎用化を目的としてフォーム成形工程の可視化によるプロセス解析と寸法精度に及ぼす材料強度(TS)およびクッション圧の影響について検討した。得られた結果を以下に示す。

- (1) フォーム成形は、軟鋼から超ハイテンまで素材の引張強度に関係なく安定した成形が可能である。
- (2) フォーム成形は圧縮応力付加すること(押し曲げ)を活用した成形であり、このため低荷重で良好な形状精度を得ることが可能である。
- (3) 安定した成形精度を得るためには各材料に応じた最低クッション圧が存在する。

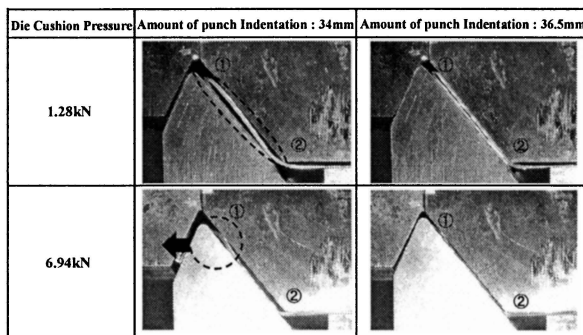
本研究でのフォーム成形の基礎解析結果を、高張力鋼板の成形において、低荷重で高精度が得られるフォーム成形法の活用拡大の一助にいただければ望外の喜びです。なお、本研究の遂行にあたり、天田金属加工機械振興技術財団の支援を受けたことに対し、感謝の意を表します。

参考文献

- (1)大屋邦雄ほか、塑性と加工、43-492, pp.40-44, (2002-1)
- (2)西野創一郎ほか、自動車技術会 2002 春季大会, No.7-02, pp.1-4, (2002-7)
- (3)大屋邦雄、製品設計とプレス成形技術の融合に関する研究、茨城大学博士学位論文、(2002-3)
- (4)成石圭輔ほか、自動車技術会 2003 年春季大会, No.61-03, pp.5-8 (2003-7)
- (5)西野創一郎ほか、自動車技術、57-6, pp.17-22, (2003-6)
- (6)西野創一郎ほか、自動車技術会 2004 春季大会, No.39-04, pp.1-3, (2004-5)

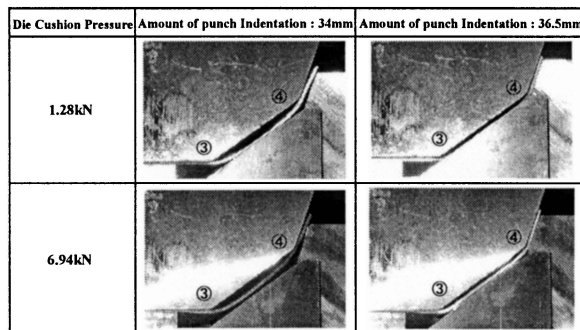


(a) Series A

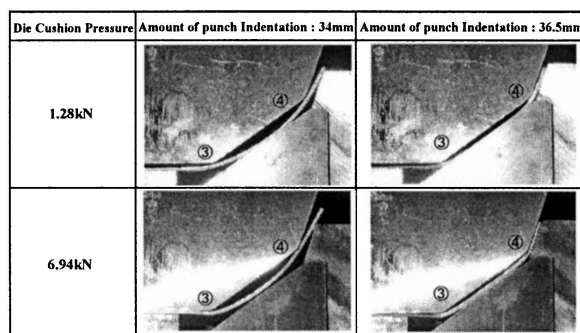


(b) Series E

Fig.5 Form forming process on θ_1 and θ_2



(a) Series A



(b) Series E

Fig.6 Form forming process on θ_3 and θ_4

いため、十分な圧縮応力が作用せず材料強度が高くなるにしたがいスプリングバック量が大きくなっている。逆に曲げ点1においてはE材以外では降伏点が低いため、型角度より小さな曲げ角(スプリングゴー)となっている。

4. 2 最低必要クッション圧の存在

図4の(a)・(b)を比較するとクッション圧の差と材料種類により曲げ精度が異なっていることが理解される。この差が生じた原因として、E材の成形過程である図5(b)①及び図6(b)①の上型とパットの関係を見ると、本来クッション圧により密着しているべきなのに隙間が存在している。一方A材では図5(a)①及び図6(a)①に示されたように密着している。この違いから理解されるように、高張力鋼板においては高いクッション圧の方が形状凍結性が良い。このことより安定したフォーム成形を行うには、材料種類に応じた必要最低のクッション圧が存在すると考えられる。(単にクッション圧を大きくすることは本来の成形に関係しない領域でエネルギーを浪費するため、できるだけ低いクッション圧で加工することが望ましい。)しかし、このクッション圧は材料を中央部で拘束して成形するフォーム成形法の最も基本的な要素である。そのため、今後更に試験データを増やして成形精度にのみではなく、成形荷重や成形プロセスについて検討を進める必要がある。

5. 結論

本研究では、フォーム成形法の汎用化を目的としてフォーム成形工程の可視化によるプロセス解析と寸法精度に及ぼす材料強度(TS)およびクッション圧の影響について検討した。得られた結果を以下に示す。

- (1) フォーム成形は、軟鋼から超ハイテンまで素材の引張強度に関係なく安定した成形が可能である。
- (2) フォーム成形は圧縮応力付加すること(押し曲げ)を活用した成形であり、このため低荷重で良好な形状精度を得ることが可能である。
- (3) 安定した成形精度を得るためには各材料に応じた最低クッション圧が存在する。

本研究でのフォーム成形の基礎解析結果を、高張力鋼板の成形において、低荷重で高精度が得られるフォーム成形法の活用拡大の一助にいただければ望外の喜びです。なお、本研究の遂行にあたり、天田金属加工機械技術振興財団の支援を受けたことに対し、感謝の意を表します。

参考文献

- (1)大屋邦雄ほか、塑性と加工、43-492, pp.40-44, (2002-1)
- (2)西野創一郎ほか、自動車技術会 2002 春季大会, No.7-02, pp.1-4, (2002-7)
- (3)大屋邦雄、製品設計とプレス成形技術の融合に関する研究、茨城大学博士学位論文、(2002-3)
- (4)成石圭輔ほか、自動車技術会 2003 年春季大会, No.61-03, pp.5-8 (2003-7)
- (5)西野創一郎ほか、自動車技術、57-6, pp.17-22, (2003-6)
- (6)西野創一郎ほか、自動車技術会 2004 春季大会, No.39-04, pp.1-3, (2004-5)