

管のドロベンド、プリフォーム、ハイドロフォームによる矩形断面曲がり部の成形シミュレーション (ハイドロフォームでの肉厚減少に与える扁平プリフォーム条件の影響)

塑正 *坂口 尚良 (山本水圧)
金田 直人 (山本水圧)

塑正 石垣 勝士 (山本水圧)
塑正 小嶋 正康 (山本水圧)

1. 緒言

ハイドロフォームで製造される自動車構造部材の多くは矩形断面曲がり部を有し、背側コーナ部近傍がしばしばバースト危険部となる¹⁾。矩形断面曲がり部のハイドロフォームについては、曲げ管に軸押しを加えて矩形断面に拡管する方式の報告がある²⁾³⁾⁴⁾。本報では、曲がり部断面高さが素管径より小さい場合を対象に、ドロベンド品を横扁平に潰すプリフォームの後、軸押し無しで矩形断面にハイドロフォームする場合の減肉に与えるプリフォーム条件の影響を検討した結果を紹介する。

2. FEM 解析条件 (LS-DYNA、シェル要素)

(1)素管 (11A 鋼管を想定) : $\phi 60.5 \times 2t \times 418L$ 。Fig.1 に示す応力~歪関係を設定 (降伏点 $\sigma_y = 354\text{MPa}$ 、ヤング率 $E = 206\text{GPa}$ 、塑性域勾配 $E_t = 1.26\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$)。要素分割は周方向 3° 、軸方向 2mm ピッチ。
(2)ドロベンド : (Fig.2、 90° 曲げ) 曲げダイ ($R = 120$ 、摩擦係数 $\mu = 0.1$) の回転と同時にプレッシャダイ (摩擦係数 $\mu = 0.2$) を前進。移動量 $L_s = 188.5\text{mm}$ (≒管軸円弧長)。マンドレルは 2-ball type⁵⁾ (摩擦係数 $\mu = 0.1$)。
(3)プリフォーム : A,B2type (Fig.3,4) を検討。A-type はハイドロ型にならった Cavity 内で潰し加工。B-type は曲げ管腹側と背側延長上の直辺部を型側壁に接触させた状態で潰し加工。断面高さは A、B 共に全長 37mm 。両管端には中子を挿入して矩形に整形 (摩擦係数 $\mu = 0.2$)。

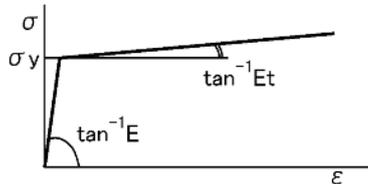


Fig.1 Stress-strain relationship of tube

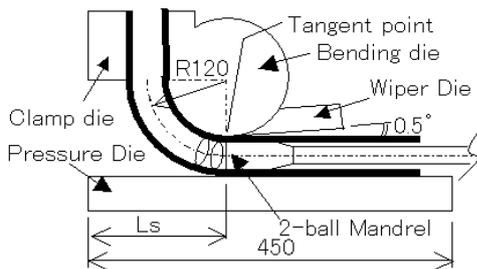


Fig.2 Tooling for draw-bending

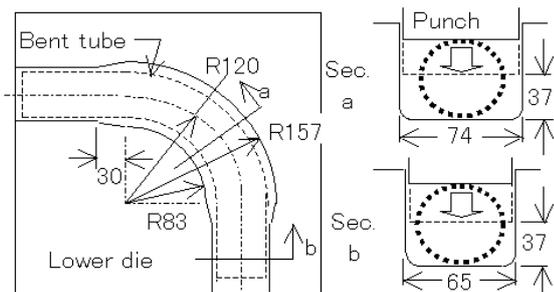


Fig.3 A-type preforming

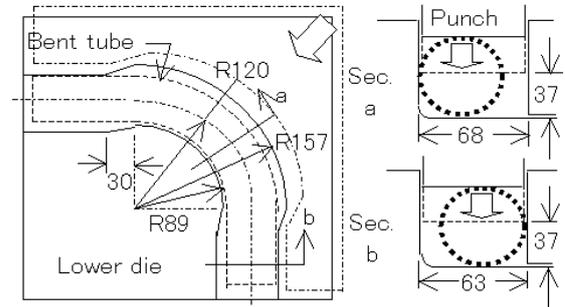


Fig.4 B-type preforming

(4)ハイドロフォーム : 軸押し無しで (両管端 Node を金型に固定)、幅/高さ=2 の矩形断面に拡管 (Fig.5)。素管からの周長増加率は 10%。摩擦係数 $\mu = 0.1$ 。

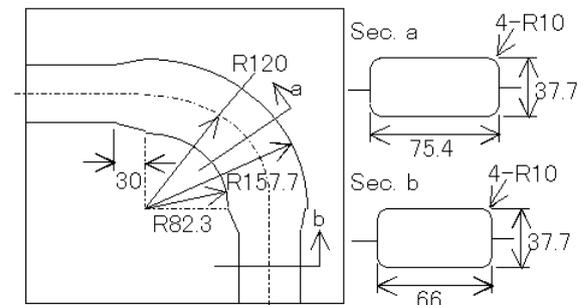


Fig.5 Dimensions of hydroforming die

3. 解析結果と考察

(1)プリフォーム条件とプリフォーム形状 :

(a)平面形状 ; Fig.6 に型内のワーク平面形状を示す。

i) 曲げ管セット時に直管部と曲がり部が型の側壁から離れた A-type では成形過程で曲がり部材料が腹側に移動する。これは潰し加工での幅広がりに伴う背側の軸方向引張と腹側の軸方向圧縮の増加を緩和するように直管部が開く(曲げ角が減少)ことによる。

ii) B-type では、背側直管部と腹側の支持効果により、直管部の開きと腹側への材料移動は抑制されている。

(b)断面形状 ; Fig.7 に成形後の曲がり部 45° 断面の形状、Fig.8 に成形過程での断面幅と上下面凹みの変化を示す。

i) B-type は A-type より上下面凹み深さが大きい。プリフォーム開始時点から腹側が型に接しているために幅広がりが A-type より抑制されることと対応している。

ii) A、B-type 共に、上面の凹み深さが下面より大きい。

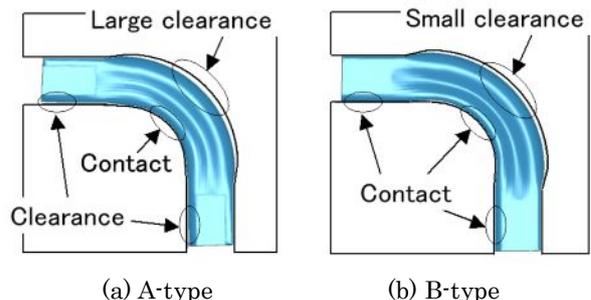


Fig.6 Appearance of preformed workpiece

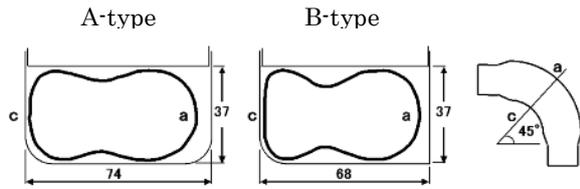


Fig.7 Shape of 45° cross section of preformed tube

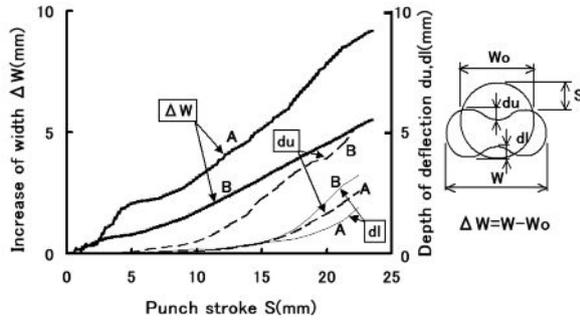


Fig.8 Variation of shape of 45° cross section with increase of punch stroke during preforming

(2)プリフォーム条件とハイドロ型接触状況：

Fig.9(a)(b)はA、B-type別に内圧(p)による45°断面各部位と型の隙間(δ)の変化を示す。

- i) プリフォーム品セット時点($p=0$)では、背側隙間 δ_a はA-type>B-type、腹側隙間 δ_c はA-type<B-typeで、A-typeは背側偏芯拡管 ϕ となる。背側接触内圧はA-type>B-type、腹側接触内圧はA-type<B-typeであり、初期隙間大の条件で接触内圧が増加。
- ii) 背側コーナ(e部)の接触内圧はA-type \approx B-type、腹側コーナ(f部)の接触内圧はA-type<B-type。
- iii) 上面凹みは、A-typeは約25MPa、B-typeは約50MPaの低内圧で消滅する(下面凹みも同様)。

(3)プリフォーム条件と肉厚変化：

Fig.10(a)(b)はA、B-type別に曲げ、プリフォーム、ハイドロフォーム後の45°断面の肉厚歪分布を示す。

- i) 曲げ品とプリフォーム品の比較より、プリフォーム

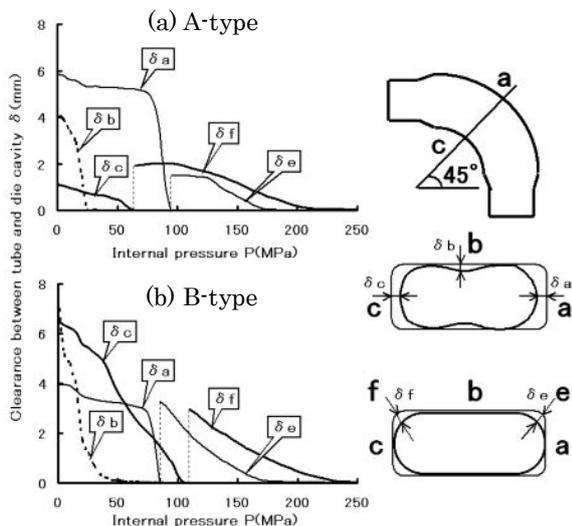


Fig.9 Variation of clearance between tube and die wall at 45° cross section with internal pressure

では腹側f-c-g間で増肉し、増肉はA-type<B-type。

一方、背側e-a-h間では僅かに減肉傾向にある。

- ii) プリフォーム品とハイドロ品の比較より、ハイドロフォームでは全域で減肉が見られる。減肉は背側コーナ近傍で特に大きい。背側e-a-h間の減肉($|\epsilon_t|$)はA-type>B-type、腹側f-c-g間の減肉はA-type<B-type。すなわち、背側、腹側共にハイドロ型との初期隙間を小さくするプリフォーム条件でハイドロ工程の減肉が小さくなる。

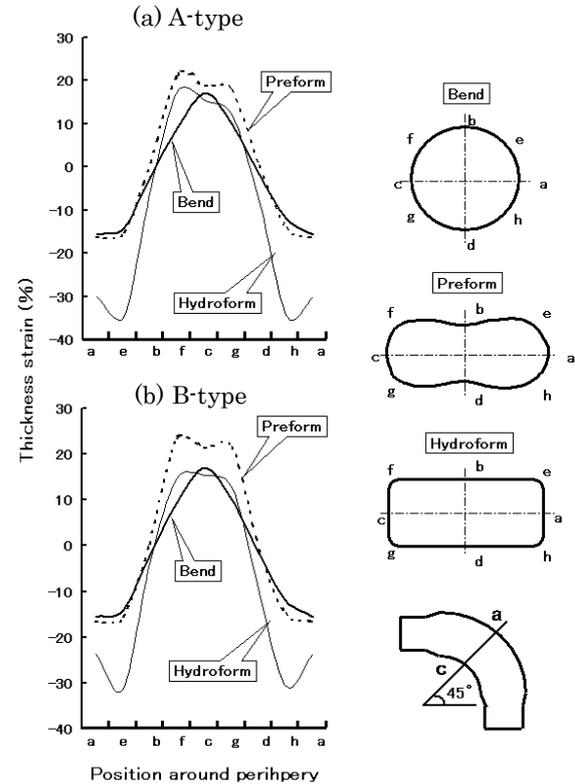


Fig.10 Variation of circumferential distribution of thickness strain at 45° cross section with proceeding the sequential forming processes

4. 結言

管のドローベンド、プリフォーム、ハイドロフォームによる横扁平矩形断面曲がり部の成形のFEM解析を実施し、ハイドロ工程での曲がり部減肉に与えるプリフォーム条件の影響を調査した。

- (1) ハイドロフォームでの最大減肉部位は背側コーナ。
- (2) 背側コーナでの減肉を抑制するには、プリフォーム品をハイドロ型にセットした時の背側と型の隙間を小さくするプリフォーム条件が有効である。
- (3) このプリフォームは、曲げ部背側延長線上の直管部および曲げ部腹側を型に接触させた状態で上下方向に潰しを行うことによって実現できる。

[参考文献]

- 1) K.H.KIM et al.; Proc.Int.Conf.on Tube Hydroforming Processes, (TUBEHYDRO2005KOREA), 67-72
- 2) 水村, 栗山; H16 塑加春講論, (2004), 289-290
- 3) 水村, 栗山; 55 回塑加連講論, (2004), 105-106
- 4) 水村, 栗山; 57 回塑加連講論, (2006), 437-438
- 5) 石垣, 坂口, 金田, 小嶋; H19 塑加春講論, (2007), 373-374
- 6) 石垣, 坂口, 金田, 小嶋; 59 回塑加連講論, (2008), 221-222