

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矩形断面曲がり部の成形シミュレーション

(第6報: 縦扁断面曲がり部の変形に与える断面アスペクト比および軸押しの影響)

塑正 *石垣 勝士 (山本水圧)
金田 直人 (山本水圧)

塑正 坂口 尚良 (山本水圧)
塑正 小嶋 正康 (山本水圧)

1. 緒言

ハイドロフォーム部品の矩形断面曲がり部(高さ H 、幅 W)をドローベンド(DB)→プリフォーム(PF)→ハイドロフォーム(HF)で成形するプロセスの FEM 解析^{1)~5)}を行い、横扁断面 ($H < D$ (素管径))では断面 Aspect 比 ($\alpha = W/H$)の増加とともに加工が難しくなること、HF での減肉に与える PF 条件、軸押しの影響を明らかにしてきた。本報では、縦扁断面 ($W < D$)での変形に与える α および軸押しの影響についての解析結果を紹介する。

2. FEM 解析条件 (LS-DYNA、シェル要素)

- (1)素管: $\phi 60.5 \times 2t \times 418L$ 。材料特性は既報^{1)~5)}と同一。要素分割は周方向 3° 、軸方向 2mm ピッチ。
- (2)DB (Fig.1): R120-90° 曲げ(2-ball mandrel)。プレッシャダイ移動 $L_s = 188.5$ (管軸円弧長)。摩擦係数は曲げ Die、Wiper、Mandrel=0.1、Pressure die=0.2。
- (3)PF (Fig.2): 前報⁵⁾と同様、水平つぶし→垂直つぶしで HF die cavity に収納できるように α 別の断面寸法に成形。摩擦係数 0.2。
- (4)HF (Fig.3): 図中の昇圧 3 パターン HF①②③ (Max250MPa)で曲がり部を所定 Aspect 比に拡張(素管からの周長増加率は 10%一定)。HF②③での軸押し量 δ は両管端同一。摩擦係数 0.1。

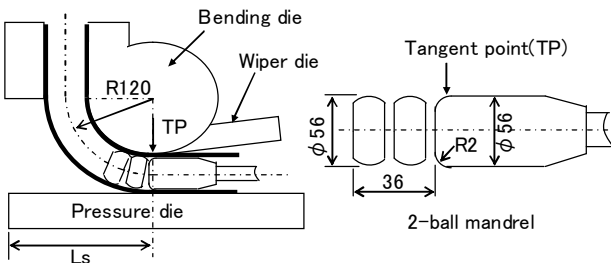
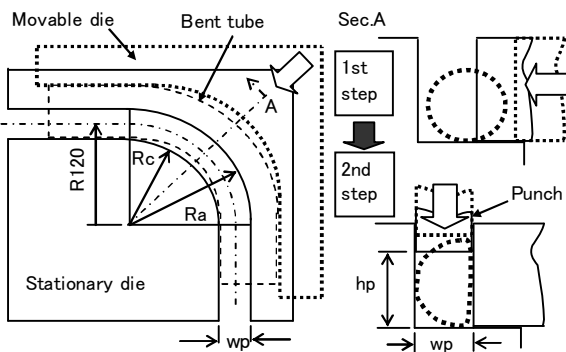
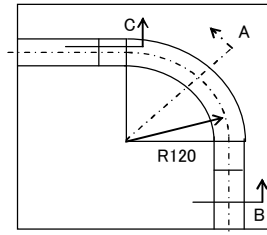


Fig.1 Draw-bending



Aspect ratio α	Outside radius R_a	Inside radius R_c	Cavity width w_p	Cavity height h_p
0.5	138.5	101.5	37	65
0.6	140.8	99.2	41.6	60
0.7	142.8	97.2	45.6	56
0.8	144.6	95.4	49.2	52

Fig.2 Preforming



α	Wh	HA	HB
0.5	37.7	75.4	66
0.6	42.4	70.8	61.2
0.7	46.6	66.6	57
0.8	50.3	62.9	53.3

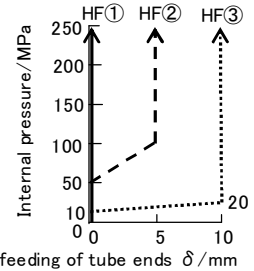


Fig.3 Hydroforming

3. 解析結果と考察

- (1)Aspect 比 α と変形状態: (HF 条件は Fig.3 HF①)
- (a)PF での背側挫屈: 前報⁵⁾で、 $\alpha = 0.5$ では水平つぶしで背側挫屈が生じ、HF 後もその痕跡が残ることを示した。Fig.4 は α による背側挫屈状況の変化を画像で示す。
 - i) α の増加 (四角に近づく) とともに挫屈は減少し、 $\alpha = 0.8$ では見られなくなる。 $\alpha = 0.6$ での挫屈も HF 後は目立たない程度に吸収されている。
 - ii) α の増加にともなう挫屈抑制は、Fig.5 に示す水平つぶし量の減少 (軸方向圧縮の減少) の影響が大きい。

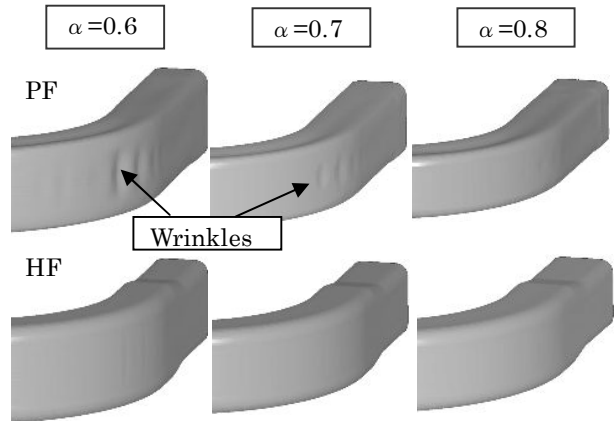


Fig.4 Variations of appearances of outside wall of bend with aspect ratio

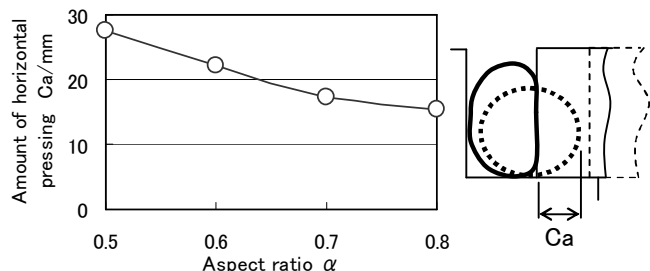


Fig.5 Variation of amount of horizontal pressing during preforming with aspect ratio

(b)周方向肉厚分布 (45° 断面) ; Fig.6は α によるPF、HF品の肉厚歪の周方向分布の変化を示す。
 i) α の増加(四角に近づく)でPF品背側コーナ部(e、h)の増肉が抑制され、PFでの変形が緩和される。
 ii) HF品の t_{min} 部は α によらず上下面中央~腹側コーナ部の中間で、 α の増加とともに t_{min} は増加傾向にある。断面が四角に近いほど、HFで変形が抑制される背腹縦壁面積が減少する一方、広くなる上下面で周方向伸びを分担するようになるためと思われる。

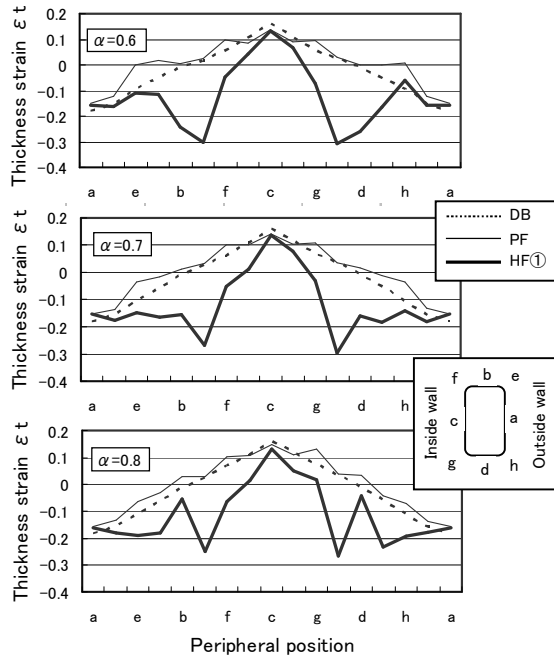


Fig.6 Variation of peripheral distributions of thickness strain at 45° cross section of bend after preforming and hydroforming with aspect ratio α

(2)HFでの軸押し効果 : ($\alpha=0.5$ で調査、PFでの背側挫屈回避のためPF工程で背側に凹み模様形成⁵⁾)

(a)肉厚分布への軸押しの影響 ; Fig.7はHF①②③による45°および0°断面の肉厚歪分布の変化を示す。

i) 45°断面 (Fig.7(a))の場合、低内圧軸押しHF③ではHF①と比較して上下面~背側の領域で減肉が抑制されており、軸押し効果が認められる。一方、高内圧軸押しHF②ではHF①との差が見られない。HF②では初圧(50MPa)付加時点で背側凹み模様が消滅して背側全面が型に接触し、摩擦抵抗によって軸押し力が45°断面まで伝わりにくくなるためと思われる。
 ii) 一方0°断面 (Fig.7(b))では、HF②でもHF①より減肉が全周で抑制され、軸押し効果が認められる。

(b)軸押しによる周長増加の影響範囲 ; ストレートな矩形断面品の場合、軸押しによる周長増加の影響で、管端に近い矩形断面部位のコーナ半径が小さくなる⁶⁾。Fig.8は、曲がり部Cavity断面コーナ部には材料が接触しない内圧条件(100MPa)で、背側コーナ半径 ra (肉厚中心)の軸方向分布をHF①③で比較した結果である。

i) HF①では0°断面近傍を除いてほぼ様な ra を示す。一方HF③の ra は0°、90°断面近傍でHF①より小さく、軸押しによる周長増加の影響が見られる。
 ii) HF①と③の ra の差は0°、90°断面から45°断面に近づくにつれて急速に減少しており、軸押しによる周長増加が見られる角度範囲は限定されている。

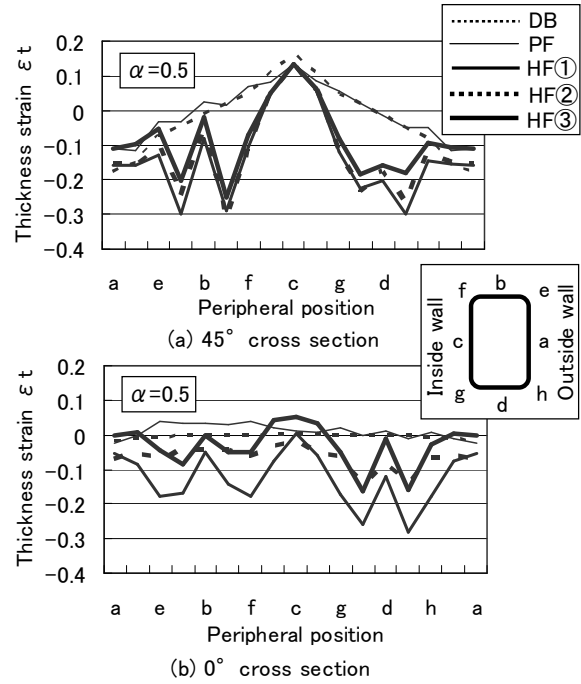


Fig.7 Variation of peripheral distribution of thickness strain at 45° & 0° cross sections of bend with hydroforming conditions

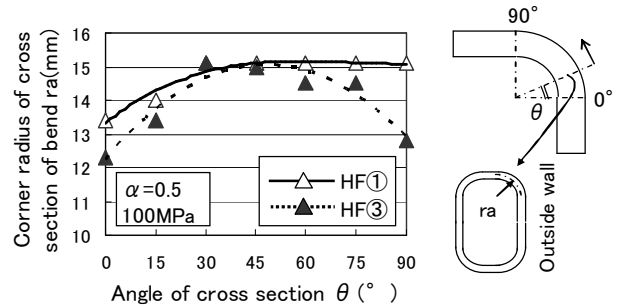


Fig.8 Variation of longitudinal distribution of corner radius of rectangular cross section of bend with axial feeding conditions during hydroforming

4. 結言

管のドロワーベンド(DB)、プリフォーム(PF)、ハイドロフォーム(HF)による縦扁平矩形断面90°曲がり部のFEM成形解析を行い、変形に与える断面Aspect比(α =幅/高さ)および軸押しの影響を検討した。

- (1) α の増加(四角に近づく)とともにPF工程水平つぶしでの背側挫屈は生じにくくなり、PFでのコーナ部(背側)の増肉も抑制される。
- (2) α の増加とともに、HF減肉が大きい上下面の t_{min} 値が大きくなる傾向にある。
- (3) 軸押しによる減肉抑制効果は曲がり部0°断面では明瞭に現われる。一方、曲がり部中央45°断面では効果が現われにくく、摩擦抵抗を減らすために低内圧で軸押しを行う昇圧パターンが必要である。

[参考文献]

- 1) 坂口ほか : 平 21 春塑加講論(2009), 415.
- 2) 坂口ほか : 60 回塑加連講論(2009), 373.
- 3) 石垣ほか : 平 22 春塑加講論(2010), 177.
- 4) 石垣ほか : 61 回塑加連講論(2010), 447.
- 5) 石垣ほか : 平 23 春塑加講論(2011), 51.
- 6) 黒川ほか : 平 13 春塑加講論(2001), 131.