

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2報:ハイドロ後の曲がり部肉厚に与えるドローベンド、プリフォーム条件の組み合わせの影響)

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

断面高さが素管径より小さい横長の矩形断面曲がり部をドローベンド(DB)、プリフォーム(PF)、ハイドロフォーム(HF)で成形する場合、減肉は背側コーナ部で最も大きく、その減肉の程度をPF方法によって調整し得ることが示された¹⁾。一方、DB品から直接HFで円形断面曲がり部を成形する場合の減肉に与えるDB条件の影響も報告されている²⁾。本報では、DB、PF条件の組み合わせが上記矩形断面曲がり部のHF後肉厚に与える影響をFEM解析で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: $\phi 60.5 \times 2t \times 418L$ 。材料特性は前報¹⁾と同一。
- (2)DB (Fig.1): R120 曲げダイ ($\mu=0.1$) で 90° 曲げ。マンドレルは 1-ball、3-ball²⁾ ($\mu=0.1$) と無し³⁾の3条件。プースタ軸圧縮応力 f_b は3条件 (0、66.7、133MPa)。プレッシャダイ ($\mu=0.1$) 移動量 L_s はプレッシャダイ接線力 $P_f=0$ となる値(同期移動量 L_s^*)を採用。
- (3)PF: 前報¹⁾と同一のA,B2type (Fig.2)。A-type はHF型にならった形状の型内で、B-type は背側直線部と腹側に型に当てた状態で横扁平つぶし加工。
- (4)HF: 軸押し無(管端Nodeを金型に固定)で250MPaの内圧を付加し、矩形断面(幅/高さ=2)に拡管(Fig.3)。素管からの周長増加率は10% (摩擦係数 $\mu=0.1$)。

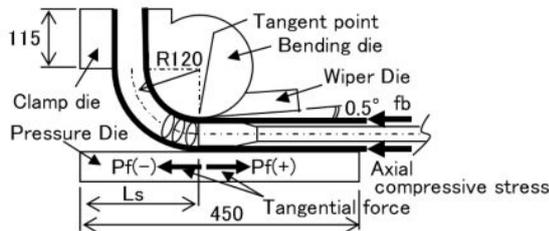
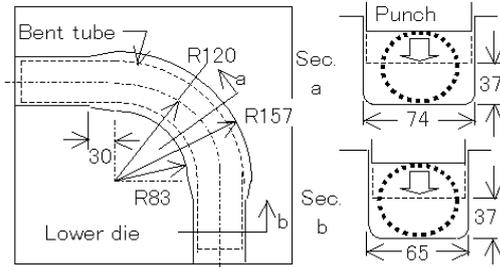


Fig.1 Draw bending

A-type



B-type

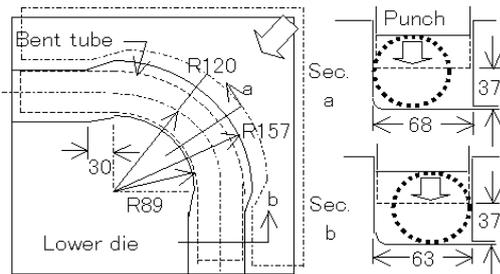


Fig.2 Preforming die

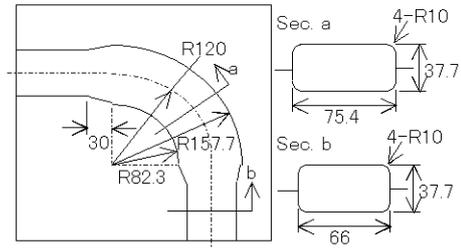


Fig.3 Hydroforming die

3. 解析結果と考察

(1)マンドレルの影響:

- (a)断面形状; Fig.4 はDBからHFまでの曲がり部 45° 断面の形状変化、Fig.5 はPF中の曲がり部 45° 断面の水平方向位置変化をHF型Die cavity壁との距離で示す。
- DB品背側に凹みを生ずるマンドレル無しでは、PFで背側に折れ込みが発生(HFで消滅)。背側凹みが生じない1-ball DB品では折れ込みは生じない(Fig.4)。
 - 折れ込みにより、PF品の背側(▲●)とHF型Die cavityの間に広い空間が残る(Fig.5)。
 - マンドレル条件によらず、PFをA→B-typeにすることによりPF品とHF die cavityとの距離は背側(▲●)で減少し、腹側(■)で増加する(Fig.5)。

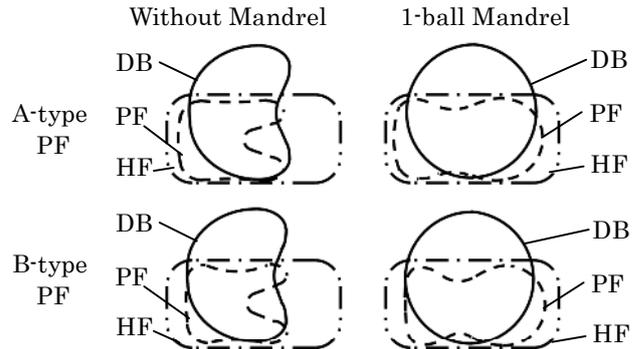


Fig.4 Change of cross-sectional shape of bend

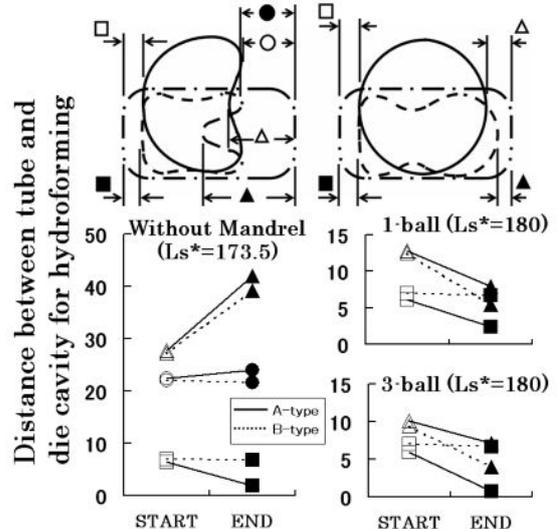


Fig.5 Horizontal displacement of 45° cross section of bend during preforming

(b)肉厚変化; Fig.6は、DB、PF、HF後の曲がり部45°断面の周方向肉厚歪分布をマンドレル条件別示す。

- i)マンドレルによらず、HF後の最大減肉部位は背側コーナ(e、h部)。特にマンドレル無しの減肉が大きく、曲げでの周長減少促進²⁾と折れ込みで形成されるPF品背側とHF型内の広い空間での拡管が影響している。
- ii)HF後の背側コーナの減肉は、1-ball曲げによって顕著に抑制され、3-ballを採用すればさらに抑制される。
- iii)HF後の背側コーナの減肉はPFをA→B-typeにすることによって大きく抑制され、その効果はマンドレル無しの場合でも明瞭である。

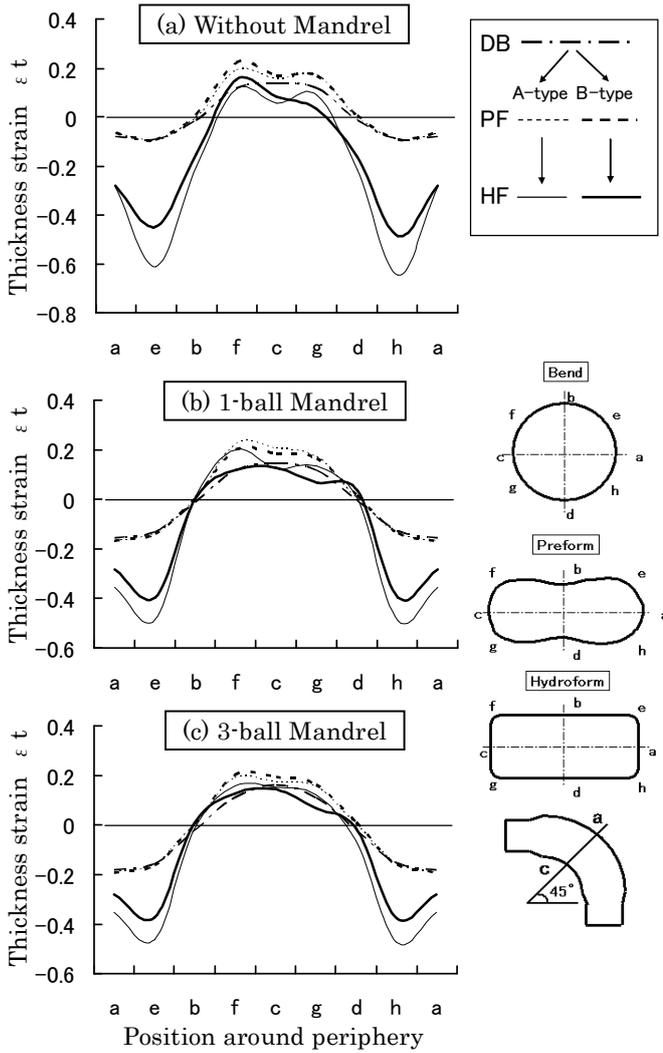


Fig.6 Variation of circumferential distribution of thickness strain at 45° cross section with proceeding the sequential forming processes

(2)ブースタによる軸圧縮応力fbの影響: (3-ball曲げ)

- i)曲がり部の周方向部位によらず、fbの増加とともにPF、HF後の肉厚は増加(減肉抑制、増肉助長)する。
- ii)HF後の背側コーナ(Fig.7(a))において、PFをA-typeからB-typeに変更することによる減肉抑制効果(□と■の差)はfbの増加とともに大きくなる傾向が認められる。この部位のPF段階での肉厚歪はA-typeとB-typeで差が見られず、fb増加によるDBでの背側減肉抑制がB-type PFを採用することによってHFでの背側コーナの減肉抑制にさらに効果的に働いている。

- iii)DB品側壁(中立部)が位置する平坦面中央部(Fig.7(b))においては、DBからHFまでの肉厚歪の変化が小さく、PF Typeによる差も見られない。
- iv)HF後の腹側コーナ(Fig.7(c))においては、B-type PF品のHF工程での減肉(▲と■の差)はfbによらずA-type PFの場合(△と□の差)より大きい。

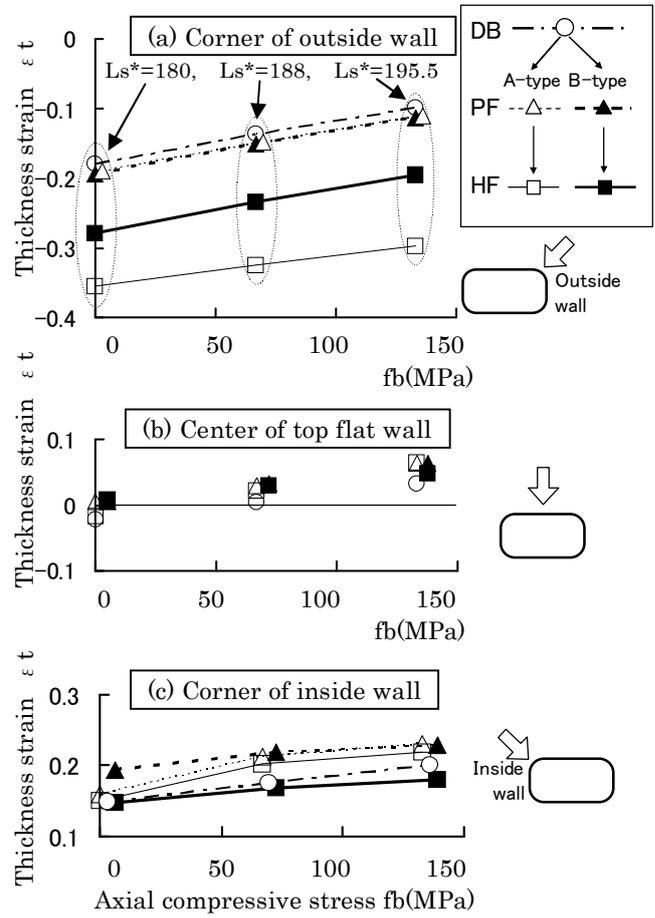


Fig.7 Variation of thickness strain at 45° cross section of bend with axial compressive stress

4. 結言

管のドロワーバンド(DB)、プリフォーム(PF)、ハイドロフォーム(HF)による横扁矩形断面曲がり部の成形のFEM解析を行い、HF後の曲がり部肉厚に与えるDB、PF条件の組み合わせの影響を調査した。

- (1)背側凹みを生ずるマンドレル無しのDBでは、PFで背側に折れ込みが生ずる。HF拡管で折れ込みは消滅するが、背側コーナ部に極めて大きな減肉が生ずる。
- (2)背側コーナの減肉は1-ball、3-ballマンドレル曲げを行うことによって軽減され、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潰しを行う(B-Type)PFによってさらに効果的に軽減される。
- (3)DBでのブースタによる軸圧縮応力付加は、HF品曲がり部の周方向部位すべてにおいて肉厚増加効果あり。
- (4)DBでの軸圧縮応力付加によるHF品背側コーナの減肉抑制は、B-Type PFを採用することによってさらに効果的に現れる。

[参考文献]

1)石垣,坂口,金田,小嶋;H21 塑加春講論,(2009),415-416
 2)石垣,坂口,金田,小嶋;H20 塑加春講論,(2008),229-230