

管のドローブンド、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5報:縦扁平断面曲がり部の成形過程における材料の変形挙動)

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

ハイドロフォームで製造される自動車骨格部材の多くは矩形断面曲がり部(高さ H 、幅 W)を有し、この部位の成形の成否がしばしば問題となる。これまでは H が素管径(D)より小さい横扁平断面を対象にドローブンド(DB)、プリフォーム(PF)条件および Aspect 比($W/H=2\sim 3$)がハイドロフォーム(HF)での減肉に与える影響を報告してきた¹⁾⁴⁾。本報では W が D より小さい縦扁平断面 (Aspect 比 0.5) を対象とした PF、HF での変形挙動を 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⁴⁾までと同一。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 0.1。
- (3)PF (Fig.2): DB 品直管部を移動 Die、固定 Die で挟んだ状態からスタート。1st Step では移動 Die で水平つぶし、2nd Step では Punch で垂直つぶし。摩擦係数 0.2。

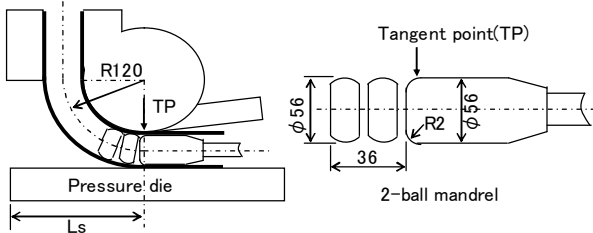


Fig.1 Draw-bending

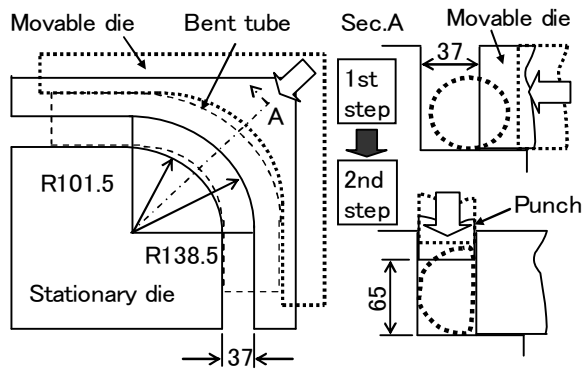


Fig.2 Preforming die

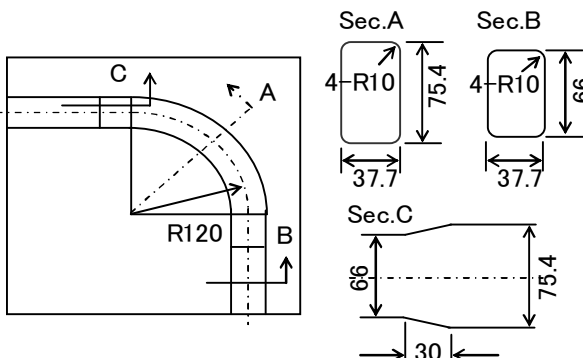


Fig.3 Hydroforming die

(4)HF (Fig.3): PF 品を Die cavity 中央にセットし、軸押し無しで昇圧 (Max.250MPa) して曲がり部を拡張。素管からの周長増加率は 10%。摩擦係数 0.1。曲がり部中心軸の曲率半径は R120 (DB から HF まで同一)。

3. 解析結果と考察

(1)PF 状況:

(a)断面形状(45° 断面): Fig.4(a)(b)は水平つぶし、垂直つぶし前後の形状変化、Fig.5 は水平つぶし過程での背側、腹側の Flattening 状況を示す。

i)(Fig.4(a)&Fig.5)水平つぶしでの背側 Flattening 域の広がり腹側より大きく、背側が優先的につぶれる。

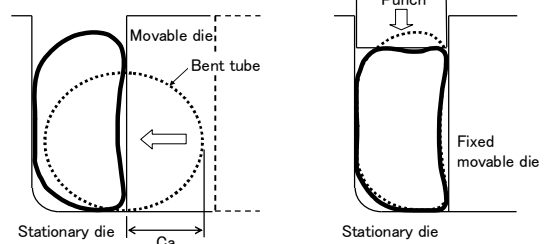
DB での減肉と曲面剛性が腹側より小さいことによる。

ii)(Fig.4(b))垂直つぶしで上面が平坦化。下面側は Die 側壁との摩擦によって Punch 力が伝わりにくく、上下非対称形状につぶれる。

(b)背側挫屈状況; Fig.6 に背側画像を示す。

i)(Fig.6(a))水平つぶしにともなう背側材料の軸方向圧縮によって挫屈が発生。同時進行する背側の Flattening も挫屈を生じ易くしているといえる。

ii)(Fig.6(b))HF によって軸方向の大きな波うちは消滅するが、高さ方向に筋状の痕跡が残る。



(a) Horizontal pressing (b) Vertical pressing
Fig.4 Variation of cross-sectional shape of bend during preforming

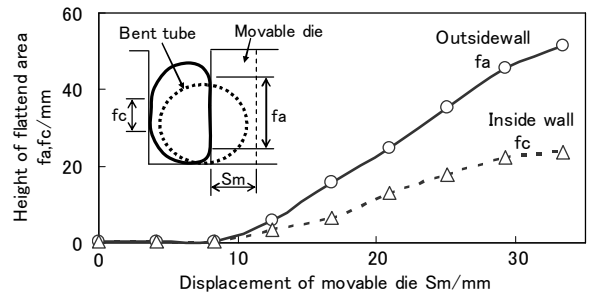
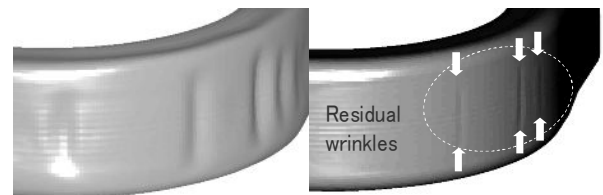


Fig.5 Difference in flattening during preforming between outside wall and inside wall of bend



(a) PF (b) HF

Fig.6 Appearances of outside wall of bend

(c)背側挫屈対策；挫屈抑制策として、PF での背側つぶれ量(Fig.4Ca)の減少、背側 Flattening 防止が考えられる。前者として Fig.7 に示す Mandrel 後方 Off-set⁵⁾による DB での扁平化、後者として移動 Die での背側凹み模様形成の効果を検証。Fig.8 に各々の背側画像を示す。

- i)(Fig.8(a))Mandrel Off-set 量 S の増加とともに挫屈は小さくなり、S>約 35 の条件で HF 後痕跡もほぼ消滅。
- ii)(Fig.8(b))背側凹み模様を形成しながら水平つぶしを行うことによって PF での挫屈は効果的に減少。凹み模様は HF で消去される。

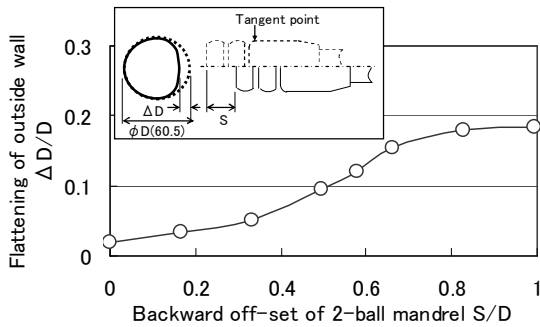
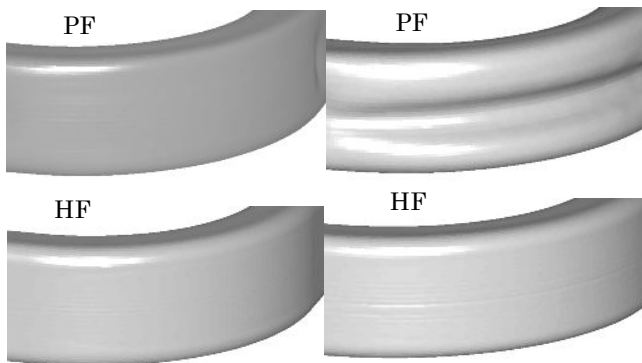


Fig.7 Variation of flattening at 45° cross section of bend with backward off-set of 2-ball mandrel



(a) Mandrel off-set(S=35) (b)Concave outside wall

Fig.8 Appearances of outside wall of bend after preforming and hydroforming

(2)HF 状況：(45° 断面)

(a)拡管状況；Fig.9、Fig.10 は昇圧にともなう断面形状の変化と各部位の周方向歪 ϵ_θ の変化を示す。

- i)(Fig.9)内圧 50MPa で PF 品の上下非対称形状は修復。昇圧につれて左右にも対称形となり、約 200MPa で背腹コーナ部がほぼ同時に cavity 壁に接触。Aspect 比が小さく、背腹コーナ部肉厚差が小さいことによる。
- ii)(Fig.10) 昇圧による ϵ_θ の増加は背側コーナから腹側コーナまでの上下面（曲げ側壁部）に集中。当初から cavity 壁に接触している背側中央(○印)、腹側中央(□印)では ϵ_θ の変化は見られない。

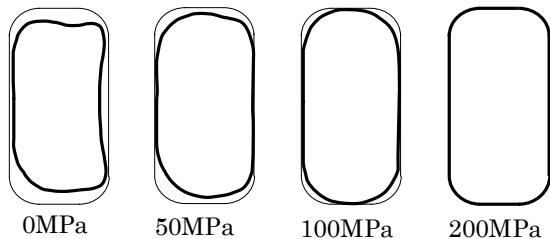


Fig.9 Variation of cross-sectional shape at 45° cross section of bend with internal pressure

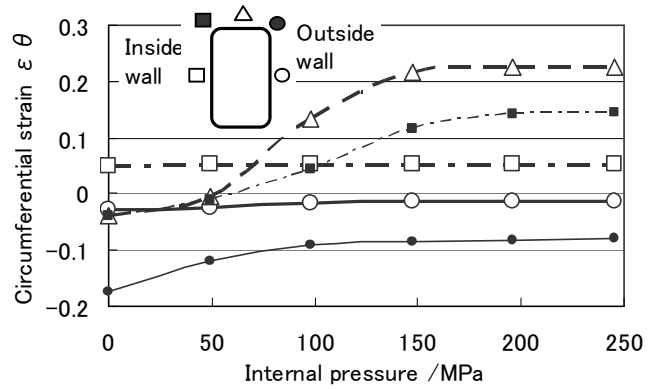


Fig.10 Variations of circumferential strains on 45° cross section of bend with internal pressure

(b)周方向肉厚分布；Fig.11 に DB、PF、HF での周方向肉厚歪分布の推移を示す。

- i)PF で背側コーナ、腹側コーナ部付近に増肉が見られ、水平つぶしでの軸方向圧縮、垂直つぶしでの幅方向圧縮の影響と思われる。
- ii)HF 減肉 (PF と HF の肉厚歪の差) は上下面中央から腹側コーナ部一帯に集中。背側中央(a 部)、腹側中央(c 部)での HF 減肉は見られず、 ϵ_θ の挙動(Fig.10)と対応している。

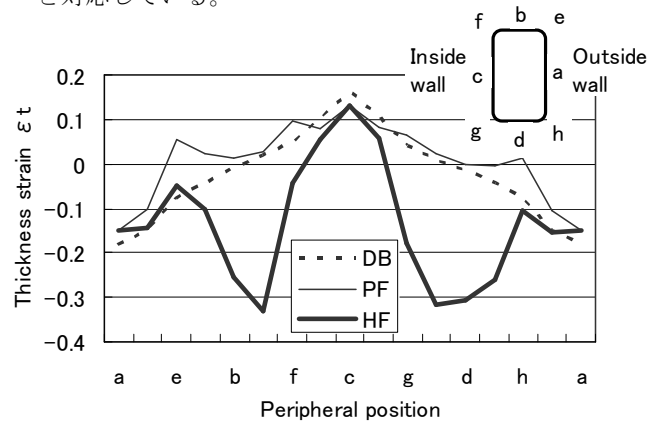


Fig.11 Circumferential distributions of thickness strain at 45° cross section of bend after draw-bending, preforming and hydroforming

4. 結言

管のドローブンド (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曲がり部 (Aspect 比 0.5) の成形過程の FEM 解析を行い、縦扁平形状に起因する以下の変形挙動が明らかとなった。

- (1)PF の水平(幅)つぶし過程でのつぶれは背側で大きく、軸方向圧縮による背側挫屈が発生。本 Aspect 比では HF 後も痕跡が残る。
- (2)挫屈軽減には DB の Mandrel 後方 Off-set による扁平化、PF での背側への凹み模様形成が有効である。
- (3) HF での減肉は上下面中央から腹側コーナ部一帯に集中し、背側中央、腹側中央での HF 減肉は見られない。

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)特許 3613785