

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4報:横扁平断面曲がり部の変形挙動に及ぼすハイドロフォームでの軸押しの影響)

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

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)、軸押し無しハイドロフォーム(HF)で成形する場合のHF減肉はPFで調整できることが示されている¹⁾。また、DB品から直接HFする場合のHF減肉に与える軸押しの影響が報告されている²⁾³⁾。本報では、Aspect比2の矩形断面曲がり部を対象にHFでの拡管&減肉挙動に与える軸押しの影響をPF条件との関連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 (STKM11A) : $\phi 60.5 \times 2t \times 418L$ 。Fig.1の $\sigma - \epsilon$ 線図を設定 ($\sigma_y = 354\text{MPa}$, $E = 206\text{GPa}$, $E_t = 1.26\text{GPa}$, $\nu = 0.3$)。要素分割は周方向 3° 、軸方向2mmピッチ。
- (2)DB: 前報⁴⁾と同一のR120-90°曲げ (2-ball芯金)。
- (3)PF (Fig.2) : 前報⁴⁾C-typeを採用。腹側初期隙間 Δi が異なる2種類のPF型 (PF I: $\Delta i = 0.75$, PF II: $\Delta i = 6.75$)で横扁平つぶし加工 (摩擦係数 $\mu = 0.2$)。
- (4)HF: Dieは前報⁴⁾と同一 (Fig.3)。素管からの周長増加率は10% ($\mu = 0.1$)。軸押し量が異なる3条件HF①~③で実施。①は軸押し無し、②③の軸押し開始、終了内圧は各50、100MPa。最終内圧は全条件250MPa。

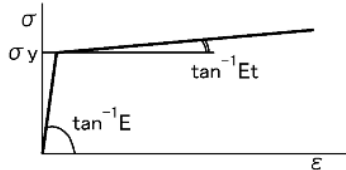


Fig.1 Stress-strain relationship of tube

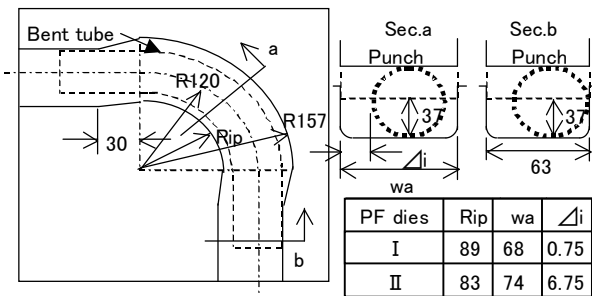


Fig.2 Preforming dies

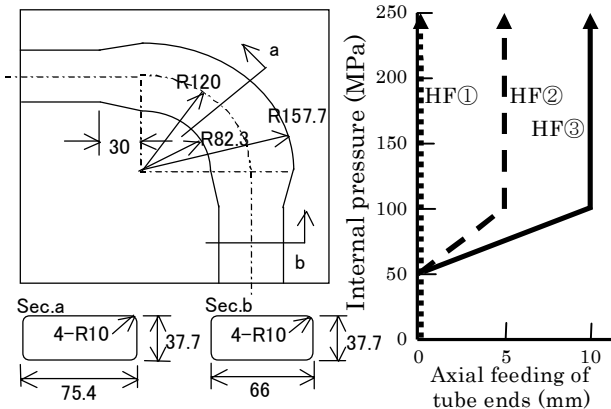


Fig.3 Hydroforming die and forming conditions

3. 解析結果と考察

(1)HF die cavity内での拡管状況 : (45°断面)

Fig.4はHF die cavityとPF品の位置関係を示す。PF IのワークはCavityのほぼ中央に位置し、PF IIのワークは腹がCavity壁に近接している。Fig.5(a)(b)はPF型別にHF中のワーク背腹とCavity壁の間隙の変化に与える軸押しの影響を、Fig.6はHF条件とCavity背腹コーナR部に材料が接触し始める内圧の関係を示す。

- (Fig.5)各PF型でHF①と③を比較すれば、軸押し開始(50MPa)と同時に背側間隙(δa)が急減、腹側間隙(δc)が急増し、既報²⁾³⁾と同様に管曲がり部がCavity背側に寄せられる。 δc は $\delta a = 0$ となった直後にピークを示し、その後の昇圧で減少に転ずる。 δc のピーク値はPF品腹がCavity壁に近接するPF IIの方が小さい。
- (Fig.6)軸押しが大きいHF条件ほど、Cavity腹コーナ部に材料が接触する内圧は増加し、背コーナ部に材料が接触する内圧は僅かに減少傾向にある。腹コーナ部に材料が接触する内圧はPF IよりIIの方が小さく、[PF II + HF①(軸押し無し)]の組み合わせで最小となる。

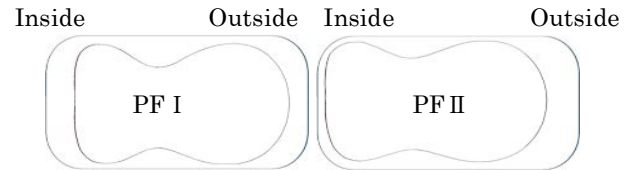


Fig.4 Difference of position of preformed tube in hydroforming die cavity at 45° cross section of bend between preforming die I and II

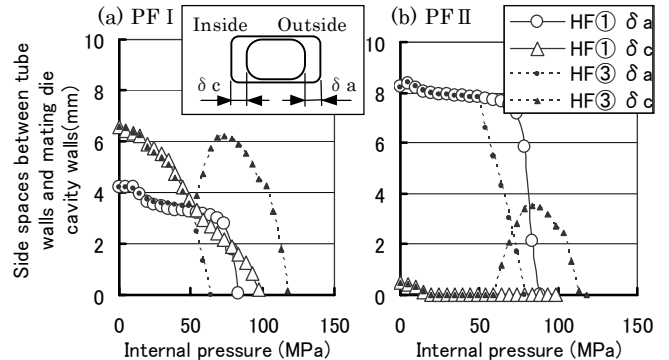


Fig.5 Variations of side spaces between tube walls and mating die cavity walls during hydroforming

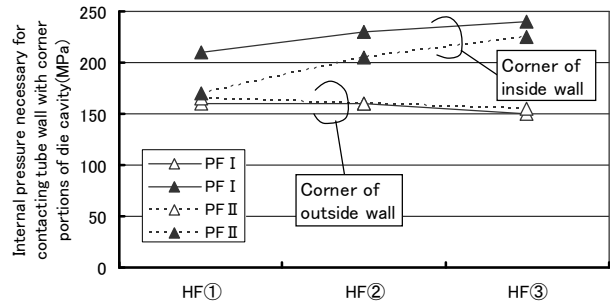


Fig.6 Variations of internal pressure necessary for contacting tube wall with corner portions of die cavity with axial feeding condition in hydroforming

(2)断面各部位の変形状態：(45° 断面)

(a)周方向歪 (ϵ_θ) ; Fig.7(a)(b)は、HF①③での昇圧にともなう断面各部の ϵ_θ の変化を PF 型別に示す。

i)背側では、PF 型、HF 条件によらず 70MPa 前後から急増し、背側が Cavity 壁に接する 100MPa 付近 (Fig.5) では飽和する。 ϵ_θ の増加 ($\Delta\epsilon_\theta$) への軸押しの影響 (●と○の差) は PF 品背と Cavity 壁の間隙が大きい PF II で明瞭に現れ、軸押しによって $\Delta\epsilon_\theta$ が減少する。
 ii)腹側では軸押しによって $\Delta\epsilon_\theta$ は増加しており、軸押しによる腹側間隙の増加と対応している。 $\Delta\epsilon_\theta$ への軸押しの影響は PF 品腹が Cavity 壁に近い PF II で大きい。
 iii)側壁部 (上下平坦面中央) の ϵ_θ への軸押しの影響は背、腹と比較してはるかに小さく、横扁平矩形断面の特徴と言える。

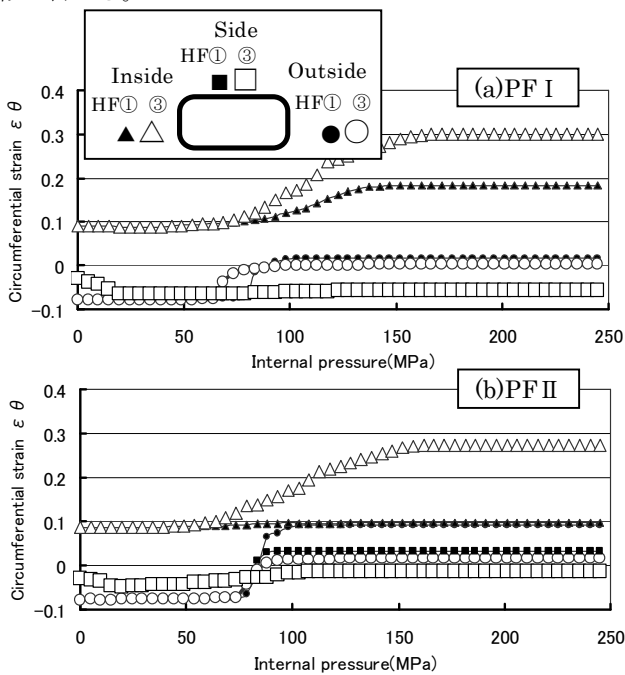


Fig.7 Effects of axial feeding of tube ends on variations of circumferential strains at 45° cross section of bend with internal pressure

(b)軸方向歪 (ϵ_l) ; Fig.8 は PF II →HF①③での断面各部の ϵ_l の変化を示す (マークは Fig.7 と同一)。

i)背側では、軸押しによって 80MPa 付近で ϵ_l が減少しており、軸押しによる背側間隙の減少と軸方向圧縮によるものと思われる。
 ii)腹側では、軸押しによって ϵ_l が著しく減少しており、軸押しによる腹側間隙の増加がその後の昇圧過程での腹側の軸方向圧縮を助長している。

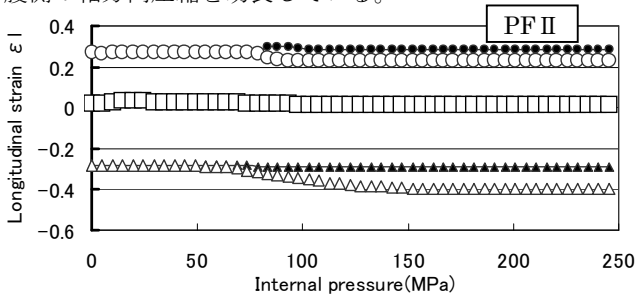


Fig.8 Effects of axial feeding of tube ends on variations of longitudinal strains at 45° cross section of bend with internal pressure

(c)肉厚歪 (ϵ_t) ; Fig.9(a)(b)は、PF、HF 後の ϵ_t の断面周方向分布を PF 条件別に示す。

i)PF 型によらず、軸押しが大きいほど背側一帯 (e-a-h) の減肉が抑制され、腹側一帯 (f-c-g) の減肉が促進される。この傾向は、PF 品背と Cavity 壁の間隙が大きい (PF 品腹との間隙が小) PF II で顕著である。
 ii) 軸押しの大小によって HF 後の ϵ_t が最も大きく変化する部位は背側コーナ部である。
 iii) 同一軸押し条件での背側一帯の ϵ_t (<0) は PF II よりも PF I の方が大きい。一方、腹側一帯の ϵ_t (>0) は PF I より PF II の方が大きい。すなわち、軸押し無しで背 or 腹側一帯の HF 減肉を抑制する PF 型は軸押し HF でもこれら部位の減肉抑制に有効である。

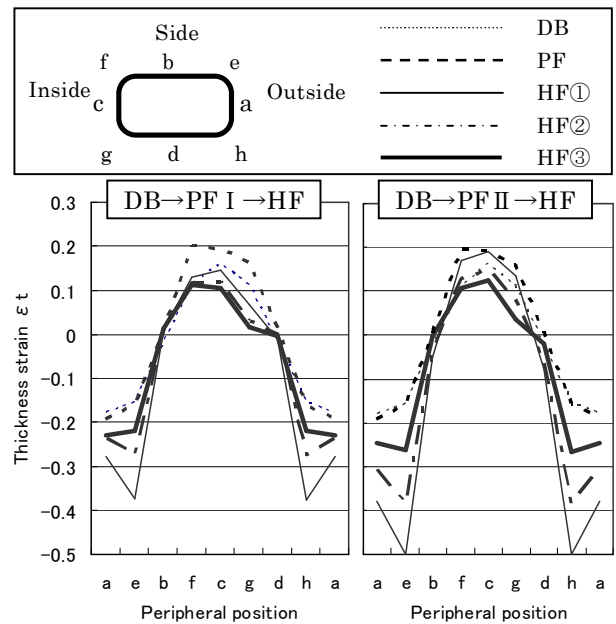


Fig.9 Circumferential distributions of thickness strain at 45° cross section of bend after draw bending, preforming and hydroforming

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) による横扁平矩形断面曲がり部の成形の FEM 解析を行い、HF での変形挙動に与える軸押しの影響を PF 型との関連で検討した。

- (1)軸押しによってワーク腹と Cavity 壁の間隙が広がり、必要最大内圧 (腹コーナ接触) が増加。最大内圧低下には PF 品腹を Cavity 壁に近接させる PF 型が有効。
- (2) PF 品背と Cavity 壁の間隙が大きい場合、HF 中の背側周方向歪の増加は軸押しによって効果的に抑制される一方、腹側周方向歪の増加は軸押しで助長される。
- (3) 矩形断面側壁部 (上下平坦面中央) の歪に与える軸押しの影響は背側、腹側と比較してはるかに小さい。
- (4)軸押し無しで背側一帯 or 腹側一帯の HF 減肉を抑制する PF 型は軸押し付加 HF でもこれら部位の減肉抑制に有効で、軸押し HF においても PF 型の選択が重要である。

[参考文献]

- 1)坂口ほか;H21 塑加春講論,(2009),415-416
- 2)水村ほか;H16 塑加春講論,(2004),289-290
- 3)坂口ほか;59 回塑加連講論,(2008),221-222
- 4)石垣ほか;H22 塑加春講論,(2010),177-178