

管のドロベンド後の hidroフォームにおける曲がり部の拡管変形挙動 (背側、腹側偏芯拡管の影響)

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

曲がり形状の hidroフォーム部品では曲げ部の拡管破断が問題となることが多く、ワークセット時の管曲がり部とダイキャビティの隙間の影響¹⁾²⁾、hidro工程での軸押しに伴う腹側の隙間増加の影響³⁾などが指摘されている。本報では、曲がり部における管とダイキャビティが偏芯した状態での拡管問題として捉え、背側あるいは腹側への偏芯拡管(円形断面)が曲がり部の変形に与える影響を 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 (STKM11A 鋼管を想定) : 外径 $\phi 60.5$ 、肉厚 2mm、長さ 418mm。Fig.1 に示す直線硬化型の応力~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=0.3)。要素分割は周方向 3° ピッチ、軸方向 2mm ピッチ。
(2)ドロベンド : (Fig.2、 90° 曲げ) 曲げダイ ($R=120$ 、 $\mu=0.1$) の回転と同時にプレッシャダイ ($\mu=0.2$) を前進 (プレッシャダイ接線力 $P_f=0$ となる同期移動量 $L_s^*=180\text{mm}$ ⁴⁾ に設定)。マンドレルは 3-ball タイプ⁴⁾。
(3)hidroフォーム : 軸押し無し (両管端 Node を金型に固定) では、背側偏芯拡管、腹側偏芯拡管 (Fig.3、拡管率 10%、 $\mu=0.1$) と前報⁴⁾の同芯拡管を比較。また、当該同芯拡管金型では、軸押し無しと軸押し有 (両管端 Node を前進) を比較した。Fig.4 に昇圧パターンを示す。

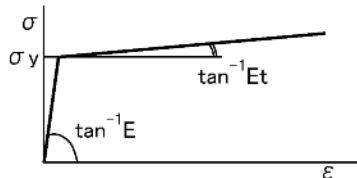


Fig.1 Relationship between stress and strain in uni-axial tension test of tube

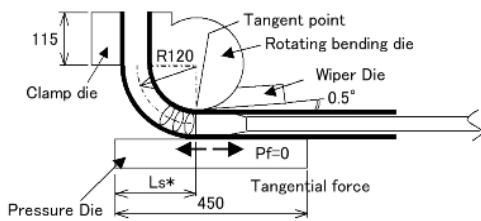
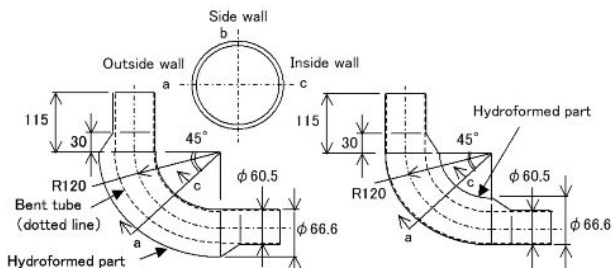


Fig.2 Tooling for draw-bending



(a) Outside eccentric (b) Inside eccentric

Fig.3 Dimensions of eccentric hydro-formed parts

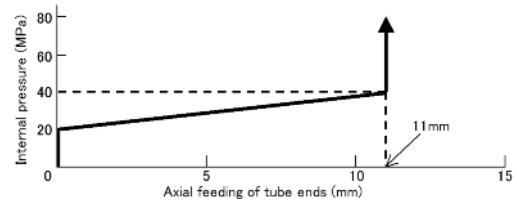


Fig.4 Relationship between axial feeding of tube ends and internal pressure during hydro-forming

3. 解析結果と考察

(1)軸押し無しhidroフォーム :

(a)拡管状況 ; Fig.5 は内圧増加にともなう 45° 断面の外

径 (背腹方向、側壁方向) と素管径の比 γ の変化を示す。

i) γ が急増する内圧は背腹方向、側壁方向共に約

40MPa で、背側偏芯、腹側偏芯での差は認められない。

ii) γ が 1.1 に到達 (拡管終了) する内圧は約 50MPa で、

背側偏芯、腹側偏芯での違いは特に認められない。

(b)歪の変化 ; Fig.6(a)(b)(c)は、曲げ部 45° 断面の部位別

に、拡管 mode による周方向歪、軸方向歪、肉厚歪の hidro工程

中の変化 ($\Delta \epsilon_\theta$ 、 $\Delta \epsilon_l$ 、 $\Delta \epsilon_t$) の差違を示す。

i) 初期隙間=0 の部位 (腹側偏芯の背側、背側偏芯の腹

側) では hidro工程中の歪変化が極めて小さい。

ii) 背側偏芯、腹側偏芯によらず、 $\Delta \epsilon_\theta$ は側壁で最も

大きい。側壁 $\Delta \epsilon_\theta$ は、背側偏芯 \gg 同芯 \approx 腹側偏芯。

iii) 背側 $\Delta \epsilon_\theta$ は背側偏芯で最も大きく、腹側 $\Delta \epsilon_\theta$ は

腹側偏芯で最も大きい。前者は後者より小さく、この要因

として、背側偏芯での $\Delta \epsilon_l$ の増加 ($\Delta \epsilon_\theta$ 抑制)、腹

側偏芯での $|\Delta \epsilon_l|$ の増加 ($\Delta \epsilon_\theta$ 助長) が考えられる。

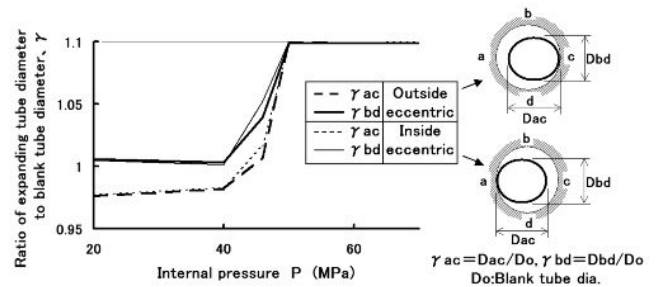


Fig.5 Variation of tube diameter at 45° cross section with increase of internal pressure

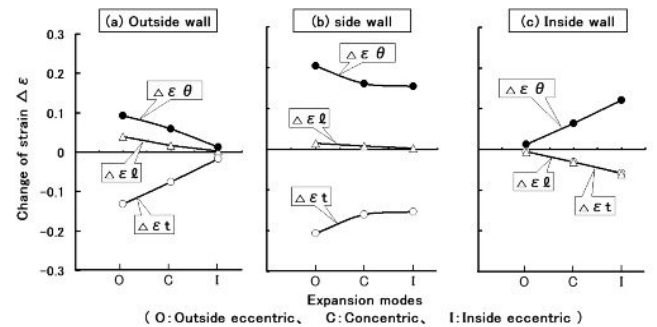


Fig.6 Variation of change of strain at 45° cross section during hydro-forming without axial feeding with the difference of expansion mode

(c)肉厚歪；Fig.7にハイドロ後の肉厚歪を示す。

- i) 拡管 mode によらず、t min 部位は背側。背側 t min の順位は、背側偏芯<同芯<腹側偏芯。
- ii) 腹側肉厚の順位は、背側偏芯>同芯>腹側偏芯。側壁肉厚の順位は、背側偏芯<同芯=腹側偏芯。
- iii) 周方向肉厚差は、背側偏芯>同芯>腹側偏芯。

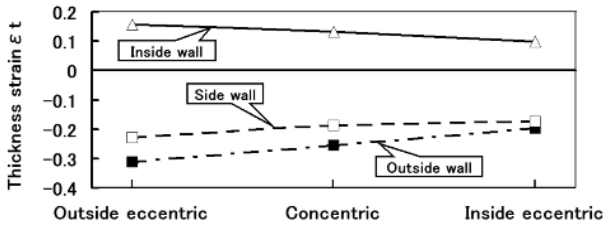


Fig.7 Variation of thickness strain of hydro-formed part with the difference of expansion mode

(2)軸押しハイドロフォーム：

(a)管と金型の隙間の変化；Fig.8は、45° 断面の背側と腹側での内圧 p による金型との隙間 δ の変化を示す。

- i) 軸押し (Fig.4 参照) とともに背側隙間は減少。この過程で腹側隙間は増加し、その後の内圧増加とともに急激に減少 (この腹側隙間減少過程は腹側偏芯拡管)。
- ii) 腹側の金型接触内圧は、軸押し無しより大幅に減少。

(b)外径変化；内圧と曲げ域各部の背腹方向外径 (素管径との比 γ) の関係を調査した結果を Fig.9 に示す。

- i) 軸押し無しでは 0° 断面 (曲げ Top 側) の拡管が 90° 断面 (Bottom 側) より先行するのに対し、軸押しを行うと、0°、90° 断面がほぼ同時に拡管される。
- ii) 0°、90° 断面で比較すれば、外径が増加し始める内圧は軸押しによって大きく低下する。

(c)歪の変化；Fig.10(a)(b)(c)は、曲げ部 45° 断面の部位別に、ハイドロ工程中の内圧 p と歪の関係を示す。

- i) いずれの部位においても、軸押しを付加すると軸押し無しより低内圧で周方向歪 ε θ の変化が現われる。
- ii) 軸押しによって背側、側壁の軸方向歪の変化 (Δε l) は負となり、腹側の |Δε l| が増加。既報³⁾のように、軸押しにともなう軸方向圧縮歪は腹側で最も大きい。
- iii) 軸押しによって側壁の周方向歪の増加 (Δε θ) は大幅に減少。代わりに、腹側偏芯拡管と軸押しの複合効果によって腹側の Δε θ が大幅に増加し、腹側がハイドロ後の周方向最大変形部位となる。
- iv) 軸押しにより、ハイドロ工程での減肉は背側、側壁で大幅に軽減される一方、腹側偏芯拡管の影響によってハイドロ工程での腹側減肉が増加。結果として、周方向肉厚差が軸押しによって減少する。

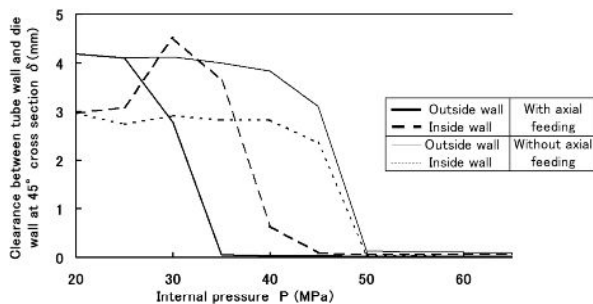


Fig.8 Effects of axial feeding on variation of clearance between tube and die wall at 45° cross section with increase of internal pressure

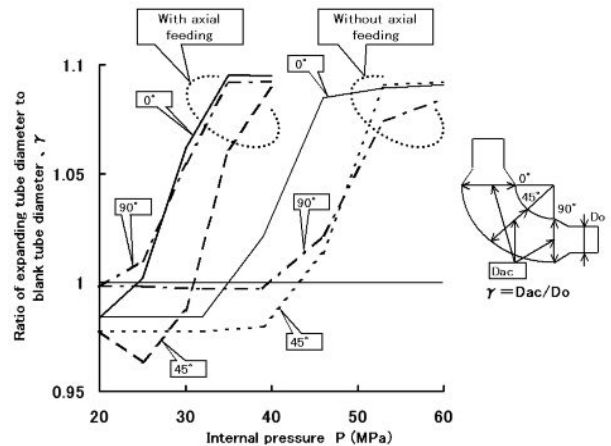


Fig.9 Variation of tube diameter of bent portion with increase of internal pressure during hydro-forming

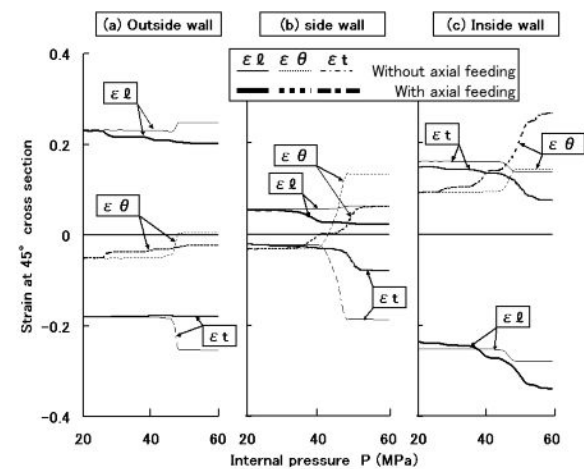


Fig.10 Relationships between internal pressure and strain at outside wall, side wall and inside wall of 45° cross section during hydro-forming

4. 結言

管のドローバンド後のハイドロフォームにおける曲がり部での管と金型の偏芯が拡管変形挙動に与える影響を FEM 解析で検討し、以下の結果を得た。

- (1) 軸押し無しハイドロフォームの場合；
 - ① 初期隙間 δ=0 の部位 (背側偏芯の腹側、腹側偏芯の背側) のハイドロ工程中の歪変化は極めて小さい。一方、反対側の初期隙間大の部位ではハイドロ工程中の周方向伸び (Δε θ) と肉厚減少が増加する。
 - ② 背側偏芯、腹側偏芯によらず、Δε θ は側壁で最大。側壁 Δε θ は特に背側偏芯拡管で大きい。
- (2) 軸押しハイドロフォームの場合；(腹側偏芯拡管)
 - ① 軸押し無しと比較して、側壁 Δε θ は大幅に減少。代わりに、軸押しと腹側偏芯拡管の影響により腹側 Δε θ が著しく増加。
 - ② ハイドロ工程での減肉は、背側、側壁で大幅に軽減される一方、腹側では増加し、周方向肉厚差が減少。

[参考文献]

- 1) K.H.KIM et al.; Proc.Int.Conf.on Tube Hydroforming Processes, (TUBEHYDRO2005KOREA), 67-72
- 2) 水村他:57 回塑加連講論,(2006), 437-438
- 3) 水村他:H16 塑加春講論,(2004), 289-290
- 4) 坂口他:H20 塑加春講論,(2008), 229-230