

管のドロベンド条件が次工程 hidroフォームでの拡管変形に与える影響

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

hidroフォームで製造される自動車構造部材は曲がり形状のものが多く、曲がり部のhidro拡管破断がしばしば問題となる。プリベンドで形成される偏肉と加工硬化にhidroフォームでの変形が組み合わせられ、現象は複雑である。これまでに、歪経路からの検討¹⁾、軸押しhidroでの破断部位²⁾、材料特性の影響³⁾、曲げ工法の影響⁴⁾、軸押し無しhidroでの破断部位⁵⁾などが報告されている。本報では、ドロベンド部を軸押し無しのhidroフォームで円形断面に拡管する場合の変形挙動に与える曲げでの扁平化およびバックブースタの影響をFEMで検討した結果について紹介する。

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)ドロベンド工程: (Fig.2、 90° 曲げ) 素管 Top をクランプし、曲げダイ ($R=120$ 、材料との摩擦係数 $\mu=0.1$) の回転と同時にプレッシャダイ ($\mu=0.2$) を軸方向に前進 (移動量 L_s)。曲げでの扁平化の程度はマンドレル条件 (無、ボールマンドレル玉数) によって変化。バックブースタ推力 F_b は $0\sim 49\text{KN}$ (管圧縮応力 $f_b=0\sim 133\text{MPa}$) の範囲で変化。
- (3)hidroフォーム工程: (Fig.3 参照) 曲げ管両端 Node をhidro型 (材料との摩擦係数 $\mu=0.1$) に固定した軸押し無しの条件で円形断面に同芯拡管 (拡管率 10%)。

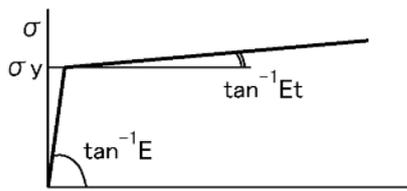


Fig.1 Relationship between stress and strain in uni-axial tension test of tube

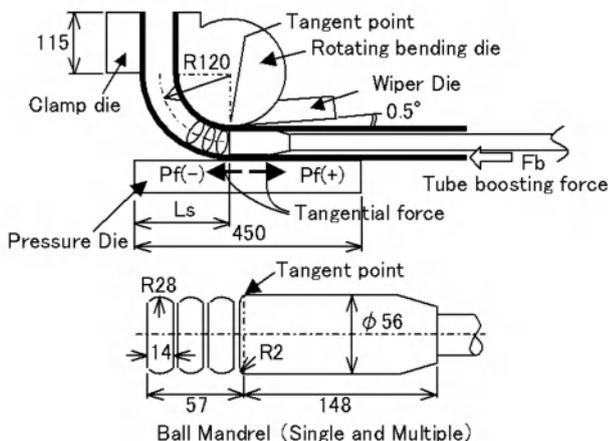


Fig.2 Tooling for draw-bending

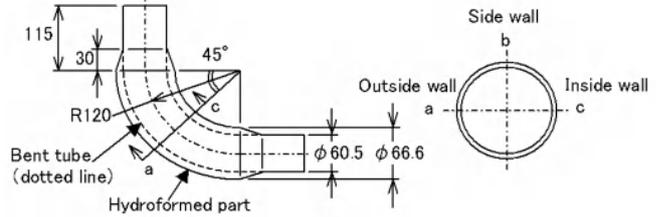


Fig.3 Dimensions of part hydroformed from bent tube

3. 解析結果と考察

(1)マンドレル条件による曲げ扁平化の影響:

扁平化はプレッシャダイ接線力 P_f (Fig.2) の影響⁶⁾も受ける。そこで、hidro前の曲げ解析は $P_f=0$ となるプレッシャダイ同期移動量 L_s ⁷⁾ で実施した。Fig.4 にマンドレル条件と曲げ部 45° 断面の扁平率 α 、周長減少率 β の関係を示す。既報⁸⁾の如く、 α 大の条件ほど β が大きい。
(a)拡管状況; Fig.5 は、hidroでの 45° 断面の周方向各部位での内圧 p による金型との隙間 δ の変化を示す。
i) いずれのマンドレル条件でも、a 部 (背) での δ 減少が b 部 (側壁)、c 部 (腹) より低内圧で開始しており、hidro初期昇圧過程では扁平矯正が先行する。曲げ扁平大ほど、昇圧に伴う a 部 δ の減少が急である。
ii) さらに昇圧すると b、c 部でも δ が減少し始め、全周が膨張する。金型に接触する内圧は、初期 δ が大きいマンドレル無しの a、b 部でやや大きくなるが、他のマンドレル条件では部位による差は認められない。

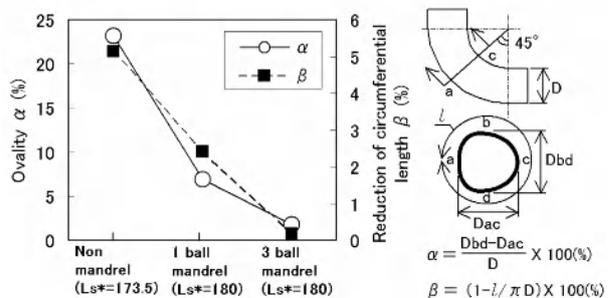


Fig.4 Variation of ovality and reduction of circumferential length at 45° cross section of bent tube with mandrel conditions in draw-bending

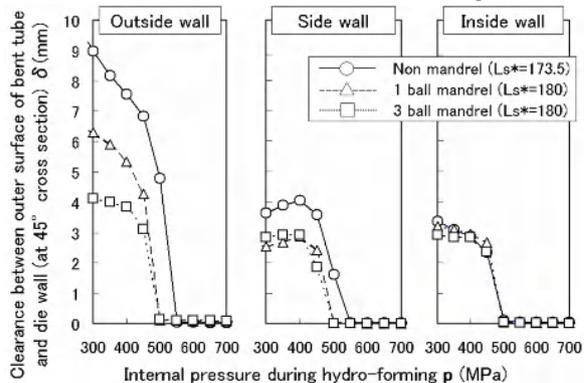


Fig.5 Effects of mandrel conditions on variation of clearance between tube and die wall at 45° cross section with increase of internal pressure

(b)肉厚歪 ; Fig.6 は、マンドレル条件別に、曲げ後と hidro 後の肉厚歪の軸方向分布を比較した結果である。
 i)条件によらず、hidro 後の t_{min} 部位は a 部 (背)。
 ii) a 部は、扁平大ほど曲げでの減肉が小さいが hidro 工程での減肉が大きい。マンドレル無しの曲げでは扁平化に加えて背側に凹みが形成されるので、hidro 工程での軸方向引張が助長され、さらに減肉し易い。
 iii)hidro 工程での減肉は b 部 (側壁) で最も大きい。b 部減肉は a 部と同様にマンドレル無しの条件で特に大きく、a 部よりも大きな周方向伸びを伴う。
 iv)hidro 工程での c 部 (腹) 減肉は小さく、マンドレル条件による差は小さい。

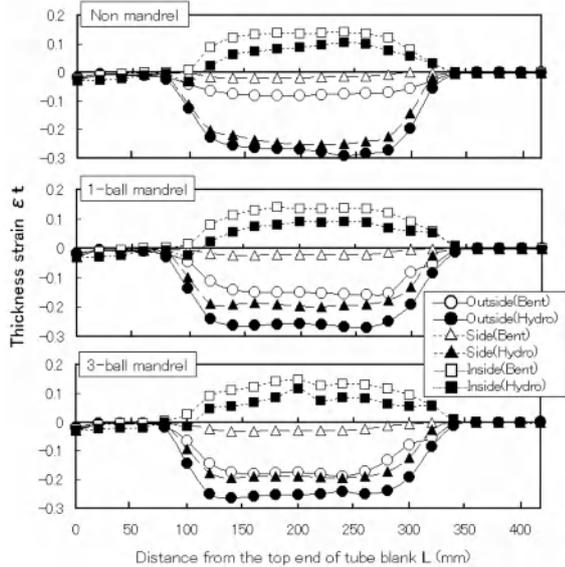


Fig.6 Change of longitudinal distribution of thickness strain caused by hydro-forming

(2)バックプースタ推力 F_b の影響 :

曲げ歪に与えるプレッシャダイ接線力 P_f の影響を除くため、 F_b 毎に $P_f=0$ となるプレッシャダイ移動量 $L_s (=L_s^*)$ を設定。なお、 F_b による扁平率の変化 η を小さくするため、曲げは 3-ball マンドレルの条件で実施。

(a)拡管状況 ; Fig.7 は 45° 断面周方向各部位での内圧 p による金型との隙間 δ の変化に与える F_b の影響を示す。

- i) F_b の大きさによらず、a 部 (背) の δ は b 部 (側壁)、c 部 (腹) よりも低内圧で減少し始める。
- ii) F_b の増加によって、特に c 部を金型に接触させるのに必要な内圧が増加する。 F_b の増加に伴う曲げでの c 部の肉厚と加工硬化の増加によるものと思われる。

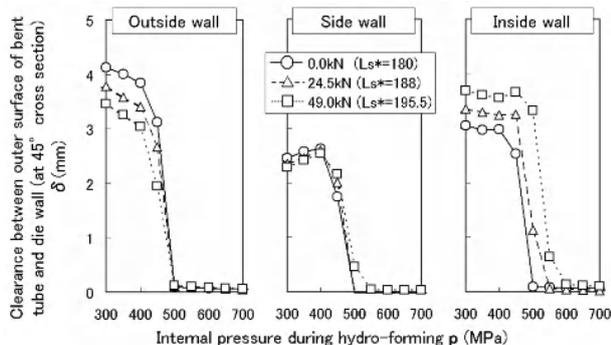


Fig.7 Effects of tube boosting force on variation of clearance between tube and die wall at 45° cross section with increase of internal pressure

(b)肉厚歪 ; Fig.8 は、 F_b による曲げ後および hidro 後の肉厚歪の変化を 45° 断面の周方向部位毎に調査した結果である。

- i) F_b 付加により、既報⁶⁾と同様、曲げ品の a 部 (背)、b 部 (側壁)、c 部 (腹) の肉厚が増加する。
- ii) F_b によらず、hidro 後の t_{min} 部位は a 部。
- iii) F_b によらず、hidro 工程での減肉は b 部で最も大きく、c 部で小さい。
- iv) F_b の増加により、a、b、c 各部の hidro 後の肉厚が増加する。その効果は、 F_b の増加による曲げ品の肉厚増加と同程度であり、曲げでの減肉抑制がそのまま hidro 品の肉厚に反映される。

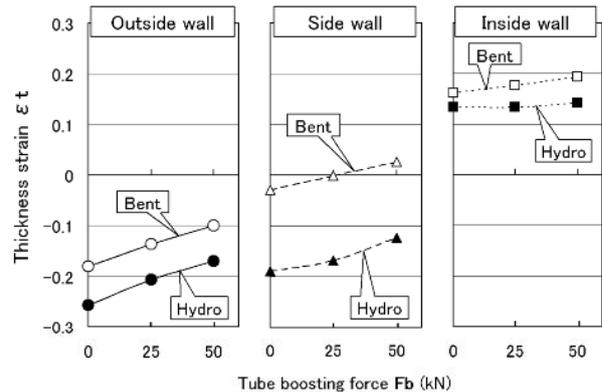


Fig.8 Variation of thickness strain at 45° cross section of bent tube and hydro-formed part with increase of tube boosting force in draw-bending

4. 結言

ドローバンド条件が軸押し無しでの円形断面 hidro フォーム (10%同芯拡管) での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) マンドレル条件による曲げ扁平化の影響 ;

- ①hidro 工程の初期昇圧過程で曲げ扁平は矯正されるが、特に扁平が大きいマンドレル無しでは、a 部 (背)、b 部 (側壁) を金型に接触させるのに必要な内圧が c 部 (腹) よりも大きくなる傾向がある。
- ②曲げ扁平の程度によらず、hidro 後の t_{min} 部位は a 部。扁平大の条件ほど hidro での a 部減肉大。
- ③曲げ扁平の程度によらず、hidro での減肉は b 部で最も大きく、c 部で小さい。

(2)バックプースタ推力 F_b の影響 ;

- ① F_b 増加により c 部を金型に接触させるのに必要な内圧が増加する。
- ② F_b によらず、hidro 後の t_{min} 部位は a 部。 F_b 大ほど hidro 後の t_{min} が増加する。
- ③ F_b によらず、hidro 工程での減肉は b 部で最も大きく、c 部で小さい。

参考文献

- 1)中村他:54 回塑加連講論(2003), p343
- 2)水村他:H16 塑加春講論(2004), p289
- 3)水村他:55 回塑加連講論(2004), p105
- 4)水村他:57 回塑加連講論(2006), p437
- 5)園部他:58 回塑加連講論(2007), p401
- 6)橋本他:57 回塑加連講論(2006), p359
- 7)石垣他:57 回塑加連講論(2006), p361
- 8)石垣他:H19 塑加春講論(2007), p373
- 9)石垣他:58 回塑加連講論(2007), p557