

円管から角管への再成形プロセスに関する解析結果の検証

Verification of Analysis on Reshaping Process from Round Pipe to Square Pipe

木内 学*・新谷 賢*・モスレミ ナイニ ハッサン*

Manabu KIUCHI, Ken SHINTANI and Moslemi Naeni Hassan

1. 緒 言

筆者らは既報¹⁾において、円管(素管)から各種異形管への再成形プロセスにおける管横断面の変形挙動を一般的に解析し得る有限要素法と差分法の折衷法を開発した。既に、同解析手法を利用し、4ロールによる円管(素管)から正方形管または十字形管への再成形プロセスについて解析を行い、結果を報告した¹⁾。更に、同解析法を拡張し、逆行過程および順行過程の解析を統一的に実行し得る手法を開発し、その応用について検討した²⁾。

本報では、本解析手法の妥当性を検討するため、解析結果と実験値との比較を行った結果を報告する。

2. 解析条件

木内らは³⁾、溝形2・ロールによる円管(素管)から角管への再成形プロセスについて一連の実験的研究を行い、管横断面寸法や材質が成形中の周方向縮み率、長手方向伸び率、肉厚増加率に与える影響について検討した結果を報告している。そこで、開発した解析手法を用いて、Fig. 1に示すような実験と同一の成形ロールを用いて角管を再成形する場合の解析を行う。使用した素管の材質・寸法をTable 1に示す。

3. 相対圧下率 r_{rel}

以下、木内ら³⁾の定義に従い、素管(円管)外径 D と設定クリアランス d から、ロールギャップ圧下率 r を式(1)により求める。さらに素管周長の変化がないとの仮定のもとで、素管がロールの孔型に充滿する場合に相当する理論最大圧下率 r_{max} を考え(但し、コーナー部の曲げ半径 $(R_c)_{min}$ = 設計ロールコーナー部半径)、これに対する相対圧下率 $r_{rel} = (r/r_{max})$ を定義して用いる (Fig. 1参照)。

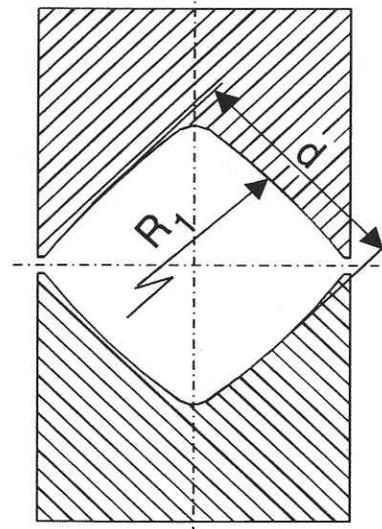


Fig. 1 Schematic illustration of forming rolls

Table 1 Reshaping conditions employed in this analysis

Materials of round pipe	STK41($\sigma_p=362.2\text{Mpa}$, $E=206\text{Gpa}$) $\bar{\sigma} = 728.3(0.0424 + \bar{\epsilon}_p)^{0.221}$	
	STK41($\sigma_p=231.1\text{Mpa}$, $E=206\text{Gpa}$) $\bar{\sigma} = 603.6(0.0151 + \bar{\epsilon}_p)^{0.229}$	
Diameter of round pipe D /mm	114.3	
Initial wall-thickness t /mm	3.2, 4.0, 4.5, 5.6, 8.6	
Radius of forming roll R_1 /mm	100, 200, ∞	
Relative reduction r_{rel} (%)	0~105	

*東京大学生産技術研究所 情報・システム大部門

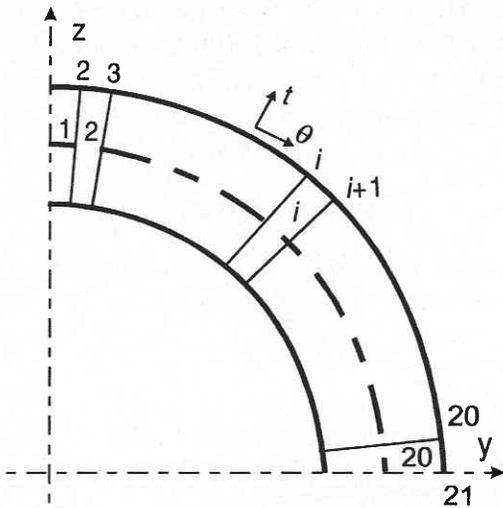


Fig. 2 Schematic illustration of division of cross section of pipe into elements

$$r(\%) = \frac{D-d}{D} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

$R_1 < \infty$ の場合, r_{max} は次式より求められる.

$$r_{max} = \frac{D - 2R_1[1 + \sin \alpha - \cos \alpha]}{D} \dots\dots\dots (2)$$

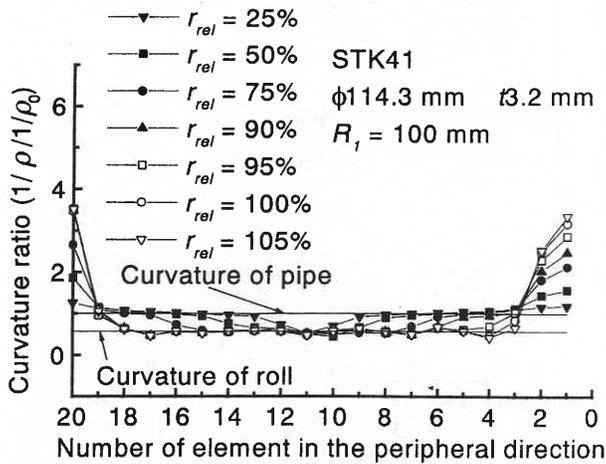
ただし, $\alpha = \frac{\pi D}{8R_1}$

$R_1 = \infty$ の場合, r_{max} は次式となる.

$$r_{max} = 1 - \frac{\pi}{4} \dots\dots\dots (3)$$

4. 数 値 解 析

まず, Fig. 2 に示すように, 製品は $z=0$ と $y=0$ について



(a)

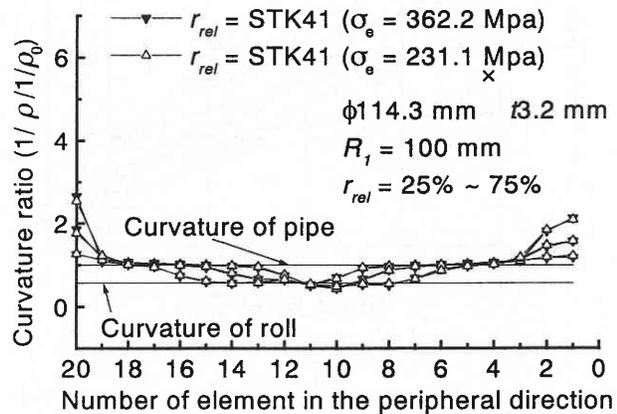
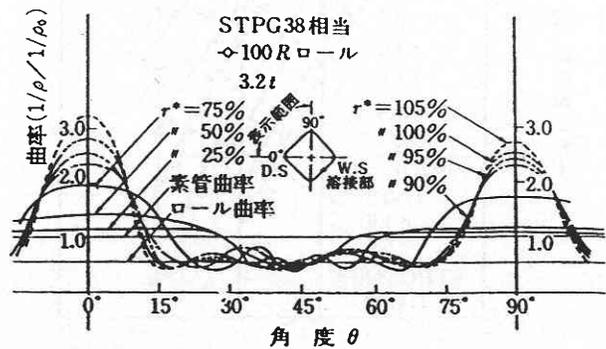


Fig. 4 Peripheral distribution of curvature ratio obtained by analysis with respect to two different materials



(b)

Fig. 3 Peripheral distribution of curvature ratio obtained by (a) analysis and (b) experimental³⁾

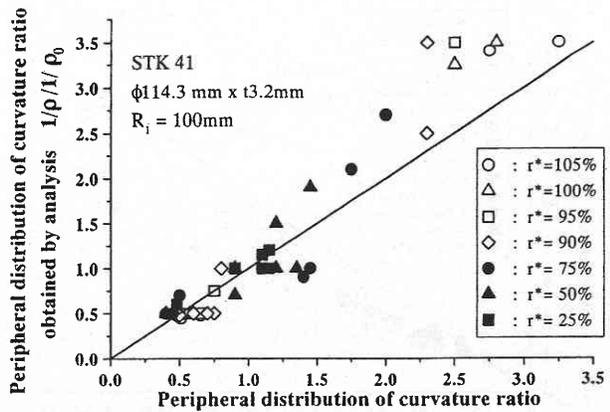


Fig. 5 Comparison of predicted peripheral curvature rate with experimental result

研究速報

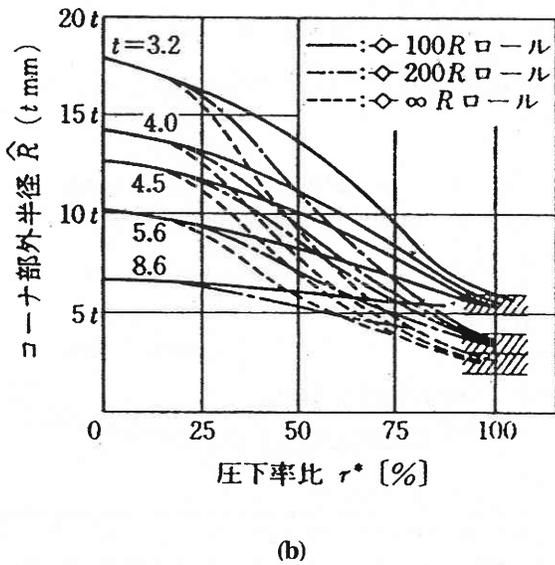
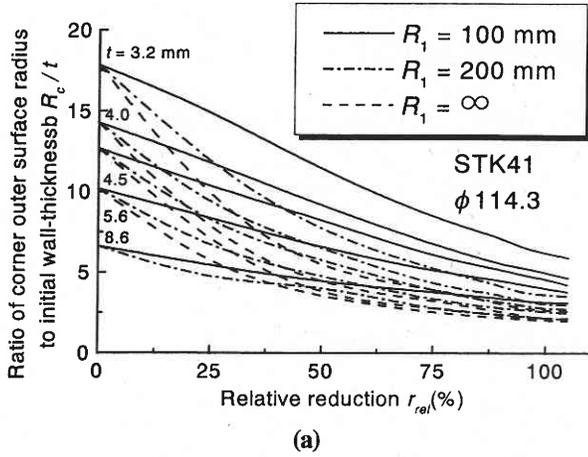


Fig. 6 Effects of relative reduction r_{rel} , wall-thickness t and radius of roll profile R_1 on corner radius ratio R_c/t obtained by (a) analysis and (b) experiment³⁾

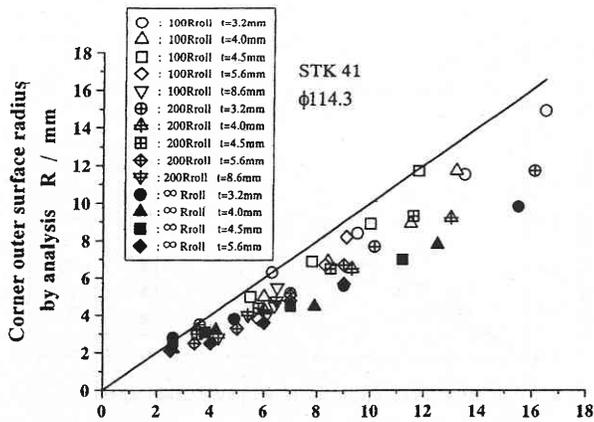


Fig. 7 Comparison of corner outer surface between analysis and experiment

線(面)対称であるので、管横断面の1/4を周方向にみて20個の要素に分割する。境界面中央より分割された要素を、要素1,2,...,i,...,20と名付ける。更に、各要素を板厚方向にみて層状の微小要素に分割する。接触開始点を(1,1)とし、文献(1)と同様に数値解析を行う。

5. 解析結果と実験値との比較

Fig. 3 (a)には、解析から得られた製品横断面曲率 $1/\rho$ と円(素)管曲率 $1/\rho_0$ の比 $(1/\rho)/(1/\rho_0)$ の周方向分布を示す。木内らによる曲率比 $(1/\rho)/(1/\rho_0)$ の周方向分布

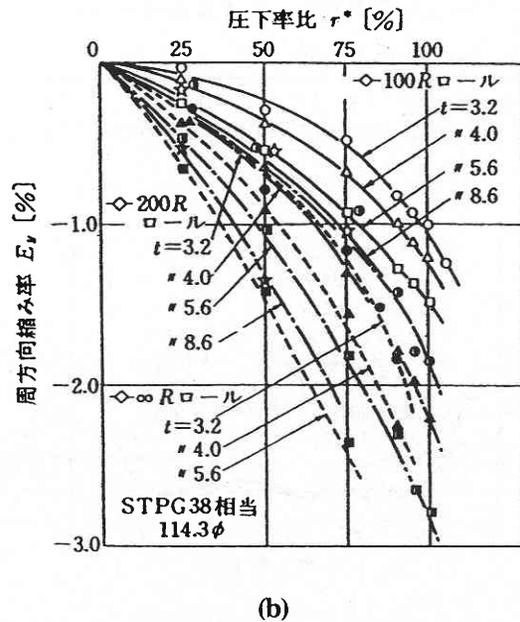
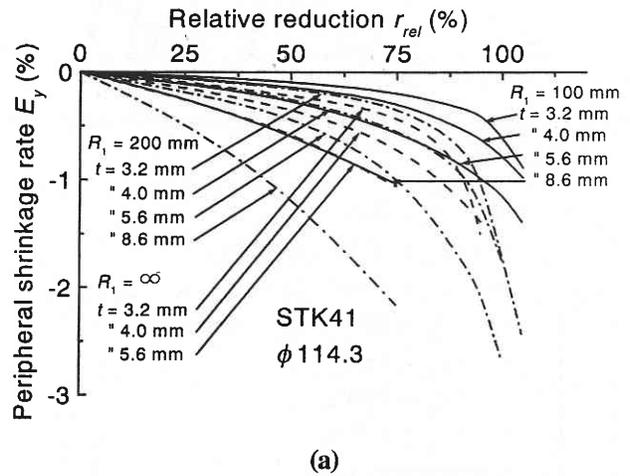


Fig. 8 Effects of relative reduction r_{rel} , wall-thickness t and radius of roll profile R_1 on peripheral shrinkage rate E_y obtained by (a) analysis and (b) experiment³⁾

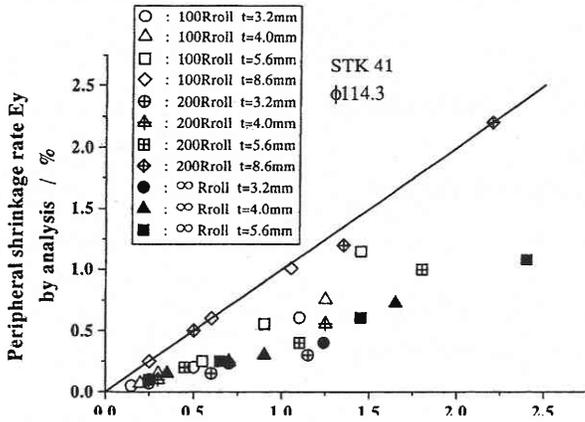


Fig. 9 Comparison of peripheral shrinkage rate between analysis and experiment

の実測値を Fig. 3 (b) に示す。ここで、Fig. 3 (a) の分割節点 21 および分割節点 1 は、Fig. 3 (b) の角度 0° と角度 90° に対応している。なお、実験では STPG 38 材を用いているが、解析では STK 41 材を想定している。Fig. 4 に示すように、素板の降伏応力が変化しても $(1/\rho)/(1/\rho_0)$ はあまり変化しないことが分かる。2次元解析結果と実験結果とを比較すると、ほとんど一致するが、定量的に見ると若干の相違が見られる (Fig. 5 参照)

解析から得られた管のコーナーアール R_c の結果を Fig. 6 (a) に示す。また、実験結果を Fig. 6 (b) に示す。Fig. 7 に解析結果と実験結果との対応関係を示す。両図から明らかなように、解析結果 実験結果共に R_c には、ロール孔型の曲げ半径 R_1 により定まる到達限界が存在することを示

している。例えば、 $R_1 = \infty$ の場合、その到達限界は約 $2t$ であることが分かる。

Fig. 8 (a) に、解析手法による周方向縮み率 E_y を、Fig. 8 (b) に、実験結果による周方向縮み率 E_y を示す。Fig. 9 に解析結果と実験結果との対応関係を示す。

以上の比較により、本解析法の妥当性を確かめることができ、実用に耐える効率的な手法であることが確認された。

これら一連の解析結果は、ロールと素管との接触状況その他について幾つかの近似に基づくものである。例えば、解析では 2次元変形を想定し、前後の領域からの影響を考えていないのに対し、ロールによる 3次元的な再成形の場合には、ロール入側の未成形部からの拘束があり、境界条件に関する基本的な相違の問題もあるが、得られた結果は、再成形時の素管の変形挙動を理解する上で、有用なデータおよび知見を与えてくれるといえる。

6. 結 言

本報では、溝形 2・ロールによる円管 (素管) から角管への再成形プロセスについて筆者らが開発した手法により解析を行い、解析結果が実験結果に対応すること示し、解析法の妥当性を確かめることができた。

(2000年6月22日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内ほか 塑性と加工, 40-459 (1999), 348.
- 2) 木内ほか 平 11 塑加春講論 (1999), 9.
- 3) 木内ほか 塑性と加工, 21-228 (1980), 73.