

大阪大学工学部 正 員 西村宣男 大阪大学大学院 学生員 村上茂之
 大阪大学大学院 学生員○讃井一将 (株)酒井鉄工所 正 員 竹内修治

1. はじめに

電縫鋼管は圧縮材として用いられたとき、効率的な断面形状であることから、構造部材等として幅広く用いられている。電縫鋼管は製造工程として、コイルングされた鋼板を平らに圧延し(uncoiling, leveling), 塑性曲げ加工を施し(forming), 両端突き合わせ部を電気抵抗溶接し(welding), さらに形状を整えるため、管全体を絞る工程(sizing)が加えられる(図-1)。これらの工程の中で不可避免的に発生する残留応力や加工硬化による降伏点の上昇等の材料学的な初期不整は、初期たわみなどととも鋼管の柱強度に大きな影響を及ぼすことは過去の研究からも明らかにされている¹⁾。これらの研究では、鋼管の機械的性質として短柱圧縮試験の結果を近似することによって得られる見かけ上の応力-ひずみ関係を用いているが、本研究では加工前の鋼材の材料試験から得られる材料定数を用いて、上述の各工程でのひずみ分布から塑性履歴を考慮して鋼管の持つ材料学的初期不整を定量的に算出する。また算出結果を実測データと比較し、算定の妥当性を検討する。

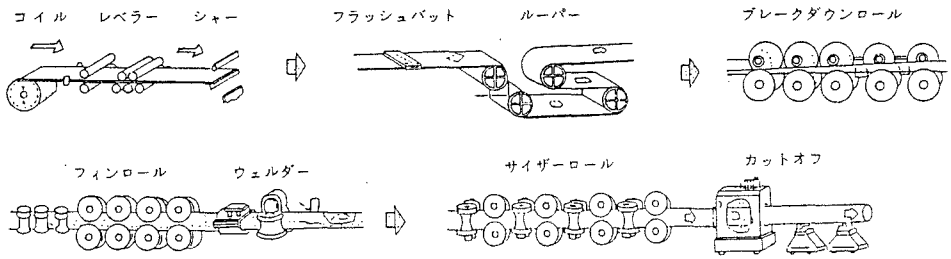


図-1 電縫鋼管の製造工程

2. 評価法について

(1) 応力-ひずみ関係 加工前の鋼材の応力-ひずみ関係を式

(1)のようにB-n近似式で与える²⁾。

$$\sigma / \sigma_Y = \begin{cases} \varepsilon / \varepsilon_Y & (\varepsilon < \varepsilon_Y) \\ 1.0 & (\varepsilon_Y < \varepsilon < \varepsilon_{ST}) \\ B(\varepsilon / \varepsilon_Y)^n & (\varepsilon > \varepsilon_{ST}) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 ε_{ST} :硬化開始ひずみ、B:硬化係数、n:硬化指数

塑性履歴後の応力-ひずみ関係は図-2のように与える。

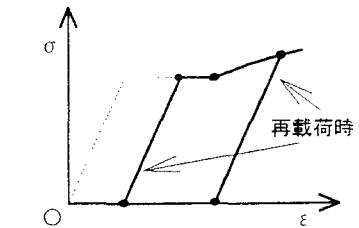


図-2 再載荷時の応力-ひずみ曲線

(2) ひずみ分布 uncoiling, forming 各工程での板曲げひずみの分布

はそれぞれ管軸方向、円周方向となる。これを板厚方向に直線分布すると仮定する。sizing 工程ではフィン絞り、サイザー絞り合わせて2.5%の絞り工程が加えられるものとし、周方向ひずみとして与えた。以上よりひずみは2次元分布となり、以下のようにこれらを相当ひずみで評価した。uncoiling および leveling, forming, sizing の各工程での入ひずみ量をそれぞれ ε_{uncoil} 、 ε_{form} 、 ε_{size} とすると、相当ひずみ ε_v は式(2)で与えられる。

$$|\varepsilon_v|^2 = \frac{4}{3} \left\{ (\varepsilon_{form} + \varepsilon_{size})^2 + \varepsilon_{uncoil}^2 + (\varepsilon_{form} + \varepsilon_{size}) \varepsilon_{uncoil} \right\} \quad (2)$$

(3) 応力-ひずみ関係および降伏点の上昇について 式(2)で得られた相当ひずみの大きさから、全工程終了時の応力-ひずみ関係を用いて板厚方向の応力分布を求め、降伏点の上昇量を算出する。この際、曲げ加工

Nobuo NISHIMURA, Shigeyuki MURAKAMI, Kazumasa SANUI and Shuji TAKEUCHI

時に受ける塑性履歴の違いを考慮し、応力-ひずみ関係は板厚方向に変化させている。

降伏応力度の上昇量 $\Delta\sigma$ は次式のように与えられる。

$$\Delta\sigma = \sigma_y \left\{ B \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_r} \right)^n - 1 \right\} \quad (3)$$

(4) 残留応力分布について uncoiling, leveling, forming と工程の進行に伴う板厚方向の機械的性質の変化を考慮に入れ、文献3)で用いた式を参考に各工程での残留応力分布を求める。uncoiling, leveling の工程では図-1に示すように、coil から uncoiling し flat な steel sheet に成形した後に、ルーパで計4回の曲げ加工が行われる。この曲げ加工が電縫管の残留応力に影響を及ぼすため、それぞれの加工段階で coil およびルーパの径と板厚から工程終了時の残留応力分布を求める。forming 工程では成形される鋼管の径厚比から残留応力分布を算出する。

3. 実測データとの比較 表-1に示す寸法、材料定数をもつ電縫管 STK400(SS400 相当)について、降伏点の上昇量および残留応力分布を求め、実測データと比較した。降伏応力度の上昇の比較を表-3に示す。本評価法では、板厚方向の平均応力度は $2868(\text{kgf/cm}^2)$ となり、公称の降伏応力の1.20倍となる。実測値では1.27倍となったが、これは対象構造物の板厚が3.2mmと薄いため、応力-ひずみ関係に変化が生じたことが考えられる。

残留応力については、鋼管外表面における軸方向と円周方向の残留応力度で比較を行った。この際、本評価法では uncoiling, leveling 工程で発生する残留応力は軸方向に、forming 工程で発生する残留応力は円周方向に分布するものとし、算出した表-2に示すように、数値のオーダーおよび応力の方向(正負)は一致している。本評価法で求める残留応力の板厚方向分布は図-3に示すとおり、板厚内部で複雑な分布となっており、外表面での応力度よりも大きな値となる部分もあることがわかる。このことより残留応力の大きさとその分布のしかたが電縫管の強度に及ぼす影響をさらに明らかにする必要があると考えられる。

4. まとめ

本評価法により得られた降伏応力度の上昇量は、実測データと比較しても大きな差異はなく、有効性があると考えられる。残留応力については、鋼管外縁において数値のオーダーおよび応力方向は一致した結果が得られたが、板内部では製造工程で受ける履歴から複雑な分布となっており、その特性を明らかにする必要がある。

<参考文献>

- 1)例えば、加藤勉、青木徹彦：電気抵抗溶接鋼管のひずみ履歴と残留応力、日本建築学会論文報告集第230号、昭和50.4.
- 2)福本湧士：鋼構造の機能性向上からみた高張力鋼の実用化に関する研究、平成3年度科学研究費補助金研究成果報告書、平成4.3.
- 3)西村宣男、竹内修治、村上茂之、讃井一将：製作円形鋼管部材の曲げ座屈強度特性、鋼構造論文集投稿中

表-1 寸法および材料定数

寸法および材料定数	加工前
外径 (cm)	8.91
板厚 (cm)	0.32
コイル内径 (cm)	72.0
ヤング係数 (kgf/cm^2)	2.1×10^6
降伏応力 (kgf/cm^2)	2400.0
硬化開始ひずみ (%)	1.650
硬化開始係数 (kgf/cm^2)	3.13×10^4
硬化係数	0.572
硬化指数	0.215

表-2 外表面での残留応力度の比較

方向	実測データ	本評価法
円周方向	$+0.35 \sigma_y$	$+0.46 \sigma_y$
管軸方向	$-0.12 \sigma_y$	$-0.09 \sigma_y$

表-3 降伏応力度の上昇率の比較

実測データ	本評価法
$1.27 \sigma_y$	$1.20 \sigma_y$

鋼管外縁

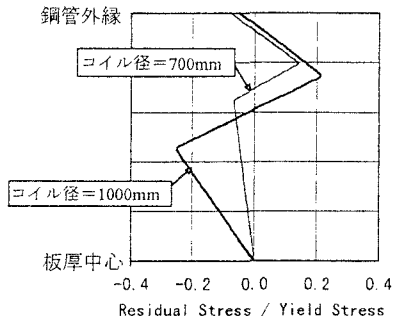


図-3 管軸方向の残留応力
(板厚方向の分布)