

I - A72

電縫鋼管の鋼材特性の変化と部材圧縮強度特性

大阪大学工学部 正員 西村宣男 岐阜大学工学部 正員 村上茂之
酒井鉄工所 正員 竹内修治 長 大 正員 讃井一将

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。製造工程では、コイルリ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), 形状を整えるために管全体を絞る工程(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応力の上昇等の材料的初期不整は、初期たわみなどとともに部材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結果から近似的に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、電縫管の持つ材料の初期不整を解析的に求め、これらを導入した電縫管部材の座屈解析を行い、材料的初期不整の強度に及ぼす影響を検討する。



図-1 電縫鋼管の製造工程

2. 電縫管の降伏応力の変化と残留応力

電縫鋼管が各工程で受けるひずみを西村らの構成式²⁾に代入することにより、製造工程で受ける繰返し塑性履歴の影響を考慮した。降伏応力や残留応力は板厚方向に変化するが、これについては、板厚を100層に分割することで対応している。

図-2 に製造時の内部応力の推移を示す。解析モデルの構造諸元は表-1 に示すとおりである。uncoiling 時の応力分布では軸方向に大きな応力が発生する(第1図)。除荷は弾性的に行われると仮定すれば、第2図のような応力分布となる。forming では、ひずみ硬化域に達する大きな応力が円周方向に発生することになるが、軸方向変位が拘束されていないため、軸方向応力は前工程時とほとんど変わらない(第3図)。sizing では非常に大きな圧縮応力が発生し、円周方向応力は断面全体で圧縮となる。また、軸方向にはポアソン効果による軸伸び変位が発生するが、応力増分はほとんど発生していないことがわかる(第4図)。sizing 工程での除荷は円周方向について断面一様に行われ、除荷後の円周方向残留応力は小さくなり、矯正されている(第5図)。

表-1 解析モデルの諸元

外径	318.5 mm
板厚	10.0 mm
降伏応力	353 MPa
ひずみ硬化開始勾配	3.923 GPa
コイルリング径	1000 mm
sizing 絞り率	1.0%

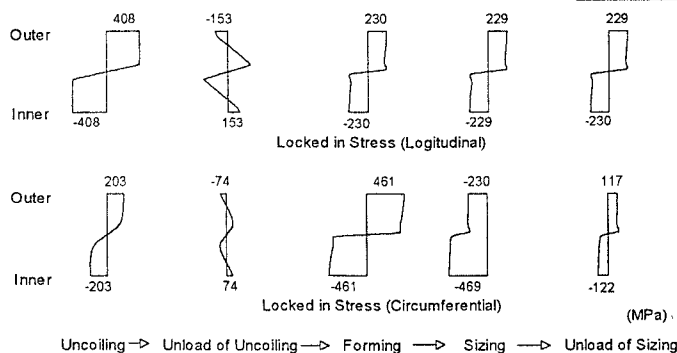


図-2 内部応力の推移

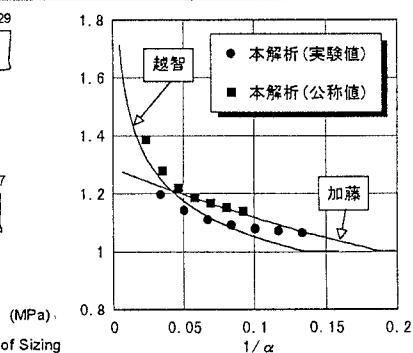


図-3 径厚比-降伏応力の上昇率

電縫鋼管、冷間加工、繰返し塑性履歴、降伏応力、残留応力

〒565 吹田市山田丘2-1 TEL 06-879-7600 FAX 06-879-7601

径厚比を変化させた場合の降伏応力の上昇について図-3に示す。上昇率は公称値と実験から得られた降伏応力によって算出した値である。加藤³⁾と越智⁴⁾の提案曲線も併せて比較した。公称値を用いた場合、 $1/\alpha \geq 0.05$ の範囲で同じく公称値を用いた加藤式に良好に一致する。実験値を用いて無次元化した解析値のほうは、同じく実験値から求めた越智式と比較して径厚比の小さい範囲においてよく一致する結果が得られた。

3. 電縫管の部材強度特性

座屈強度解析モデルでは、径厚比 D/t は実際に製造数が多く、また降伏応力の変化が大きいと考えられる 20~40 とした。細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ は、弾性座屈領域から断面内の大部分で塑性化する弾塑性座屈領域を含む 0.4~1.9 の範囲で変化させた。強度のばらつきの原因となる sizing 絞り率 α は製造法の差異として位置づけ、実績調査に基づき、0.5%、1.0%、1.5% の 3 種とした。鋼種は STK400 である。

鋼素材の応力-ひずみ関係のばらつきを考慮した強度の整理として、鋼素材の実測値に相当する降伏応力 343MPa で評価した強度曲線との比較を図-4に示す。図中には伊藤・福本が提案した柱強度曲線⁵⁾も併せて示した。細長比の大きい範囲ではグループ1の平均値曲線と同様、Eulerの弾性座屈強度曲線を越える場合もある。解析結果はグループ1の平均値曲線を中心にばらつくような分布形状となっている。グループ1は径厚比が小さい小口径管を対象とした強度曲線であり、本解析で設定した解析モデルもこれに合致するものである。sizing 絞り率は細長比の小さい範囲で強度に影響を及ぼし、細長比の小さな範囲において絞り率 1.5% モデルは 0.5% モデルの強度を上回る結果となっているが、 $\bar{\lambda}=1.6\sim 1.9$ では有意な差は認められない。細長比の大きい範囲では、部材は弾性座屈となり、細長比が座屈強度に対して支配的になるが、細長比が小さくなると弾性座屈から弾塑性座屈へと移行し、全体座屈を起こす前に断面内で塑性化する割合が大きくなり、sizing による断面平均降伏応力の上昇が強度に直接影響するためである。逆に細長比の大きい範囲では、弾性座屈により崩壊に至るため、sizing 絞り率による降伏応力の上昇の影響が小さくなる。このため、絞り率の極限強度に対する影響は小さくなっている。

図-5は電縫鋼管の降伏応力の強度に対するばらつきを考慮ため、座屈強度を断面平均降伏応力を用いて無次元化し、強度曲線と比較を行った。断面平均降伏応力を用いると、座屈強度は径厚比や sizing 絞り率によらず、グループ1の下限値曲線よりやや上に分布する形となり、また、ばらつきがかなり補正されていることがわかる。図-4、5から、製造工程で受ける塑性履歴が異なるために、降伏応力度に差がある場合でも、統一的に部材強度を評価できることが示唆されているといえる。

<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) 西村宣男、小野潔、池内智行：単調載荷曲線を基にした繰返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式、土木学会論文集、第513号、pp.27-38、1994。

3) B., Kato : Local Buckling of Steel Circular Tubes in Plastic Region, SSRC/ASCE, pp.375-391, 1977.

4) 越智健之：円形鋼管部材の終局耐力と変形能の統計的評価、熊本大学学位論文、1991。

5) 伊藤義人、福本湧士：座屈実験データベースによる鋼柱の基準強度に関する実証的研究、土木学会論文集第355号、1983。

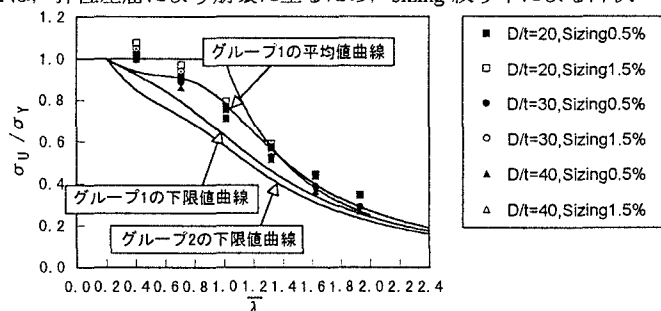


図-4 素材の降伏応力を用いて評価した部材圧縮強度

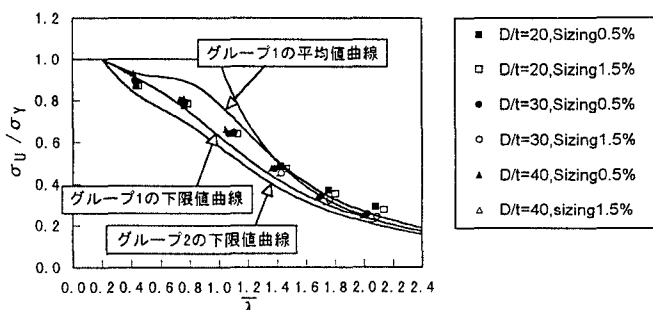


図-5 断面平均降伏応力を用いて評価した部材圧縮強度