

I - A233

製作過程を考慮した円筒鋼管の極限曲げ強度特性

トピー工業(株) 正員 餌取 明弘
 岐阜大学 正員 奈良 敬
 岐阜大学 正員 村上 茂之

1. 研究目的

代表的な鋼管の1つであるアーク溶接鋼管では、製作工程の鋼板を塑性曲げ加工時と溶接時に残留応力が発生する。文献 1)によると、塑性曲げ加工による残留応力は、径厚比、鋼種によってその大きさが変化し、鋼管全域にわたって一様に存在し、板厚方向に変化するのが特徴である。溶接による残留応力は、管軸方向および円周方向に分布する。一般的に初期不整は、部材の強度に影響を及ぼすが、特に円筒断面においては、他の構造と違い初期変形に対して敏感であることが指摘されている²⁾。

しかし、円筒断面を有した鋼管の極限曲げ強度に対する初期不整の影響度に関する研究は例が少ない³⁾のが現状である。本研究は、シェル要素を用いた弾塑性有限変位解析法⁴⁾を残留応力を考慮できるように拡張し、曲げを受ける鋼円筒断面の極限強度を求め、その特性を明らかにすることを目的とする。なお、本研究では初期不整を残留応力のみとして扱うため、初期面外変形を考慮していない。

2. 研究方法概要

鋼管断面を1節点5自由度のシェル要素を用いてモデル化を行い、弾塑性有限変位理論に基づいて極限強度を求める。1節点あたりの自由度は全体系各軸方向に u, v, w 、局所座標軸における軸回りの回転変位 α, β で与える。

3. 製作過程を考慮した円筒断面の極限曲げ強度特性

(1)解析モデル

解析モデルは断面形状、作用荷重、製作鋼管における初期不整の対称性を考慮することより、ハーフモデルを使用した(図-1)。ここで、断面の形状を表すパラメータとして、肉厚中心までの半径(R)、外径(D)、解析長(L)、板厚(t)を用いる。解析モデルは1節点5自由度のアイソパラメトリックシェル要素の集合体としてモデル化する。要素分割は、周方向20分割、軸方向15分割とした。載荷面の図心にX軸回りの正の回転変位で与えることにより、モーメント外力を与える。鋼種はSM400を用いる。解析諸元として、 D/t を200,100,50と変化させ、 $L/D, t$ を1.0とした。軸方向溶接線は断面の対称性を考慮して0.0から π まで変化させる。入力した軸方向残留応力はChen-Rossの提案式⁵⁾を用いる。溶接線による残留応力の導入位置を表すパラメータとして Θ を用いる。曲げ載荷による最大引張り応力側では $\Theta=0$ 、最大圧縮応力側は $\Theta=1.0$ となる(図-2)。

(2) 溶接線の影響度

導入する初期不整は、溶接による残留応力のみである。

数値解析結果を図-3~9に示す。図-3~5に、溶接線位置による極限強度の推移を示す。 M_{ru} は溶接線による残留応力を考慮した極限曲げ強度、 M_{nu} は残留応力を考慮しない極限曲げ強度を示

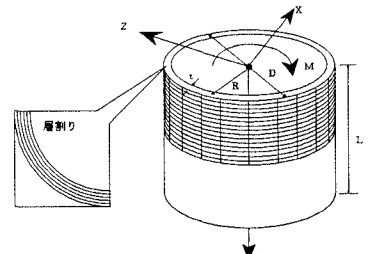


図-1 解析モデル

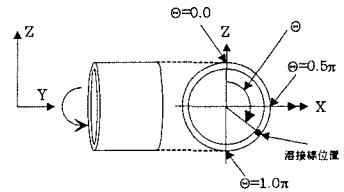
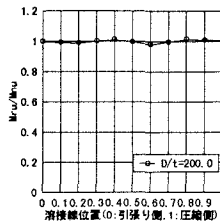
図-2 溶接線位置 Θ の定義

図-3 溶接線位置による極限強度の推移

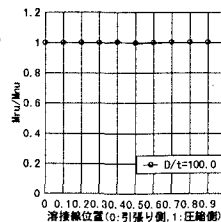


図-4 溶接線位置による極限強度の推移

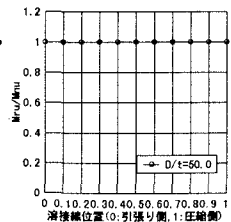


図-5 溶接線位置による極限強度の推移

キーワード：円形鋼管、極限曲げ強度

連絡先：〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 Tel 058-293-2405 Fax 058-293-2425

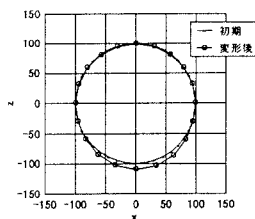


図-6 溶接線を考慮した場合の平面図

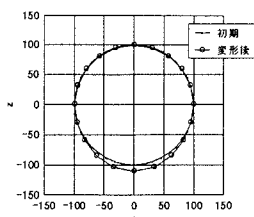


図-7 溶接線を考慮しない場合の平面図

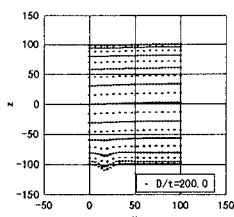


図-8 溶接線を考慮した場合の平面図

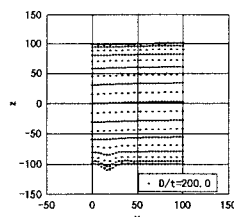


図-9 溶接線を考慮しない場合の平面図

す。また溶接線位置は π で除してある。溶接線による極限強度の推移は、 D/t に関わらず $0.5\pi \sim 0.6\pi$ 付近で極限強度の極小値をとる。しかし、その極限強度の減少量は、 $D/t=200$ で約 2.2%、 $D/t=100$ で約 0.5%、 $D/t=50$ においては約 0.04%と、 D/t が小さくなるに従い、初期不整の影響度も小さくなる。図-6~9 に極限時の変形状態を示す。溶接線を考慮した場合のモデルとして、 $D/t=200$ の $\Theta=0.6\pi$ の時のモデルを示す。平面図は x 軸、 z 軸方向の変位を 30 倍にしてある。変形状態に着目すると、溶接による残留応力の影響は小さい。以上のことから、極限強度・変形状態において溶接によって生じる残留応力の影響は非常に少ないと考えられる。

(3) 塑性曲げ加工・溶接線による影響度

導入する初期不整は、鋼管を製作する順序に従い、塑性曲げ加工を導入し、次に溶接による初期不整を導入した。

解析結果を図-10~14 に示す。製作鋼管の初期不整における極限強度の推移を図-10~12 に示す。極限強度の推移は、 D/t に関わらず、その極限強度の減少量は、小さく $D/t=200$ で約 2.1%、 $D/t=100$ で 1.0%であったが、 $D/t=50$ では 0.2% 程度の上昇が生じたが、初期不整が極限強度に及ぼす影響は小さい。図-13,14 に極限時の変形状態を示す。初期不整を考慮した場合のモデルとして、 $D/t=200$ の $\Theta=0.6\pi$ の時のモデルを示す。平面図は x 軸、 z 軸方向の変位を 30 倍にしてある。変形状態に着目すると、図-6,7 と比較しても製作鋼管の初期不整の影響は小さい。

以上のことから、極限強度・変形状態において溶接によって生じる残留応力の影響は非常に少ないと考えられる。

4. 結論

本研究で明らかとなった、製作鋼管の製作工程を考慮した円筒鋼管の極限曲げ強度特性は以下のようである。

軸方向の溶接線の影響度については、①溶接線位置が $0.5 \sim 0.6\pi$ 付近において、極限強度は最小となる。しかし、極限強度への影響度は少ない。②変形状態においても影響はほとんど無い。

塑性曲げ加工と軸方向溶接線の影響を考慮した際の影響度については、①溶接線位置が $0.5 \sim 0.6\pi$ 付近において極限強度は最小値をとるが、溶接線位置による極限強度への変化量は小さい。②変形状態においても影響はほとんど無い。

【参考文献】

- 1) (財)災害科学研究所・鋼管の製作・製造工程による鋼材特性の変化と部材圧縮強度への影響 研究成果報告書, 平成9年2月. 2) 福本 秀士・座屈設計ガイドライン, 土木学会, 1987年10月. 3) Toma, S. and Chen, W.F., "Analysis of Fabricated Tubular Columns", Proc. of the ASCE (Journal of the Structural Division), pp.2343-2366, November, 1979. 4) Rizal, F. and Nara, S., "A study on elasto-plastic finite displacement analysis of steel shells", Proc. of Symposium on Computational Method in Structural Engineering and Related Fields, Vol.19, pp.131-136, July, 1995. 5) Chen, W.F. and Ross, D.A., "Tests of Fabricated Tubular Columns", Proc. of the ASCE (Journal of the Structural Division), pp.619-634, March, 1977.

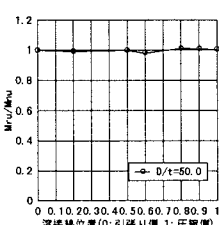


図-10 溶接線位置による極限強度の推移

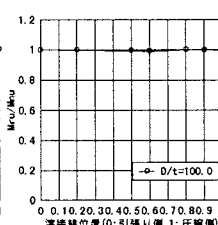


図-11 溶接線位置による極限強度の推移

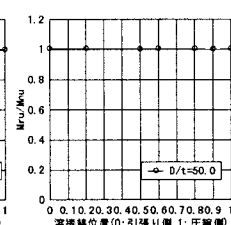


図-12 溶接線位置による極限強度の推移

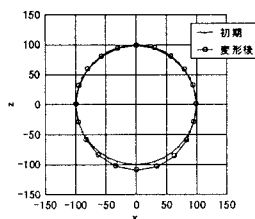


図-13 初期不整を考慮した場合の平面図

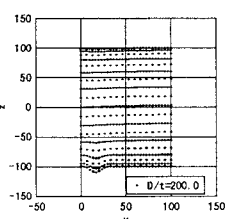


図-14 初期不整を考慮した場合の平面図