

軸圧縮力を受ける電縫鋼管の強度と変形特性

豊田工業高等専門学校 正員 ○忠 和男、桜井孝昌

名古屋工業大学 正員 後藤芳顕、松浦 聖

1. はじめに

構造用鋼材として広く使用されている電縫鋼管は、冷間加工によって製作される。この鋼管はコイル状に巻かれた鋼板を巻き戻し、鋼板から円筒への塑性加工→溶接接合→形状修正のための成形という過程を経て製作される。この為、成形後の鋼管には大きな残留応力が存在する。さらに、初期形状の不整等が加わり、これらの初期不整が鋼管部材の耐荷力や変形に影響を及ぼす。本研究は円筒形電縫鋼管を対象としてこれらの残留応力、及び初期形状の不整を初期不整として選び、これらが鋼管の耐荷力と変形に及ぼす影響を汎用構造解析プログラム(MARC)によって解析し実験結果と比較した。特に、それぞれの初期不整とそれらが軸圧縮強度や変形に及ぼす影響に注目して分析した。

2. 電縫鋼管の軸圧縮実験

本研究が対象とした市販の電縫鋼管の鋼種はSTK41で、パイプ長 $L=800\text{mm}$ 、半径 $r=156.4\text{mm}$ 、板厚 $t=5.8\text{mm}$ 、径厚比 $r/t=27.0$ 、ヤング係数 $E=1.98 \times 10^4 \text{kgf/mm}^2$ 、降伏応力 $\sigma_y=39.1 \text{kgf/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.31$ 及び降伏ひずみ $\epsilon_y=1975 \times 10^{-6}$ のものである。一般に、鋼管に成形する前の鋼板の応力-歪曲線は、図-1に示す、A-C-D-E-Fの経路となる。これに対して電縫鋼管は、塑性加工の過程を経て成形されるため、成形後の鋼管から切り出した素材の引張試験結果は図-1に示す、B-D-E-Fの経路となった。従って、数値解析ではこの塑性加工後の経路を素材の応力-歪曲線として用いた。

図-2は、縦軸に残留応力、横軸に周方向中心角を示した。 σ_L 及び σ_C は、それぞれ管軸方向及び円周方向の残留応力を示し、記号0とIはそれぞれ鋼管の外側と内側を表す。図-2から、 σ_L 及び σ_C の円周上の残留応力分布状態はほぼ一様であるが管軸方向の残留応力が円周方向の残留応力より大きくなっている。図-3は、鋼管軸上の円筒面外初期変形量を鋼管半径で除して%で示している。初期変形形状は、鋼管全体に鼓状(凹)である。鋼管の圧縮実験は、中心軸圧縮とした。

3. 有限要素法による数値解析

材料は等方等質性材料とし、解析は等硬化則としVon Misesの降伏条件に基づき弾塑性有限変位理論による有限要素法で解析した。数値解析は非軸対称問題を除いて、厚肉シェル理論に基づき軸対称要素を用い、板厚方向には11層に分割して行った。

図-4に初期変形形状の違いと境界条件の違いによるつり合い曲線を示す。図の縦軸は、円筒の軸圧縮荷重Pを材

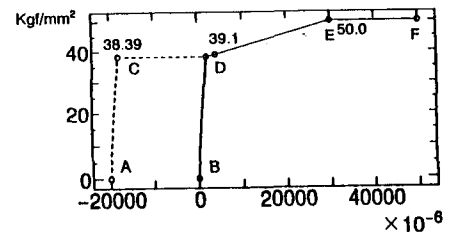


図-1. 素材の応力-歪曲線

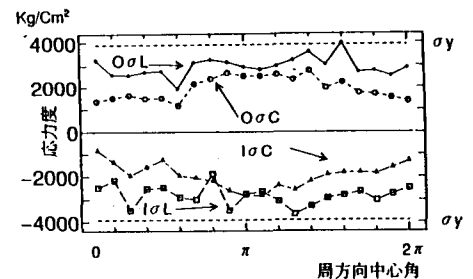


図-2. 鋼管の残留応力

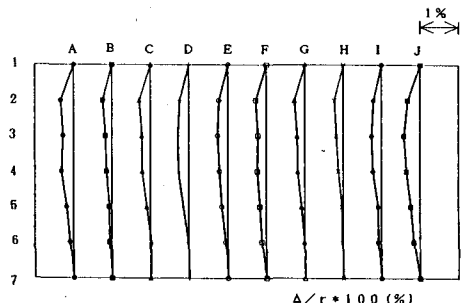


図-3. 軸方向初期変形量

料の降伏軸圧縮荷重 P_y で除した無次元化軸圧縮力 P/P_y をとり、横軸は円筒の軸方向変位 u をその降伏変位 u_y で除した無次元化変位、 u/u_y をとった。数値解析は境界条件として単純支持(s.s.)と固定支持(fix)の2種類を選びそれぞれについて、図-4に示す4種類の初期変形に対して行った。不整のない s_0 、 f_0 の結果と比較すると初期変形の影響は、 s_a 、 f_a の場合が顕著である。

実測の結果から得られた初期変形は図-4の凹形(タイプ2)であった。図-5は、残留応力の影響を調べるため、初期変形は凹形タイプを選び、残留応力として、曲げ残留応力が存在している場合について解析した結果である。曲げ残留応力の分布状態は、矩形分布とし、応力の大きさは図-2に示す残留応力の平均値として軸方向緑応力は $\pm 0.75\sigma_y$ 、周方向は $\pm 0.5\sigma_y$ として、円筒全領域にわたって均一とした。この図から、単純支持(S.S.)の場合は、初期不整の存在しない s_0' と残留応力のみが存在する s_0 のつり合い経路を比較すると最大荷重値に対応する変位が、 s_0 では s_0' の2倍程度まで達しており単純支持においては残留応力の影響が大きいことが分かる。その他の場合は、初期不整や残留応力は円筒の変形にはあまり大きな影響を及ぼしていない。

図-6は、実測結果をもとに残留応力の分布形を板厚方向に矩形分布と三角形分布の2種類を選んで、解析した結果である。残留応力に関する円筒の緑応力は図-2から求めた平均残留応力とした。図-6より、実験結果より得られたつり合い曲線は、数値解析において得られた単純支持の場合と、固定支持の場合のつり合い曲線の中に存在する。従って、実験における端部の支持条件はほぼ単純支持端と固定端の両者の中間に実験値が存在している。これは円筒端部の支持条件の剛性が、単純支持と固定の中間的なものとなっていることを示しており、支持部の境界条件を適正に選ぶことにより、実験結果は、解析結果と一致することを示している。

参考文献

- 1) 加藤勉・青木博文：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203号、PP.43-51、1975年4月

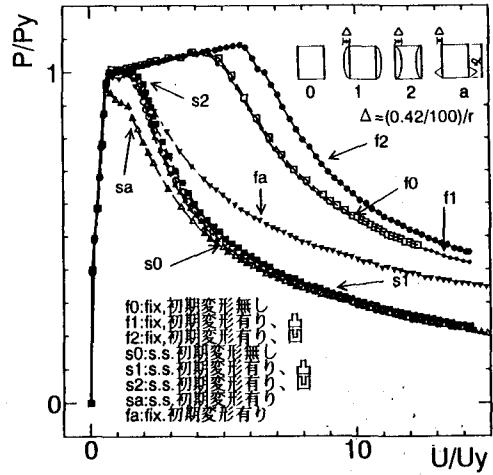


図-4. 初期変形の影響

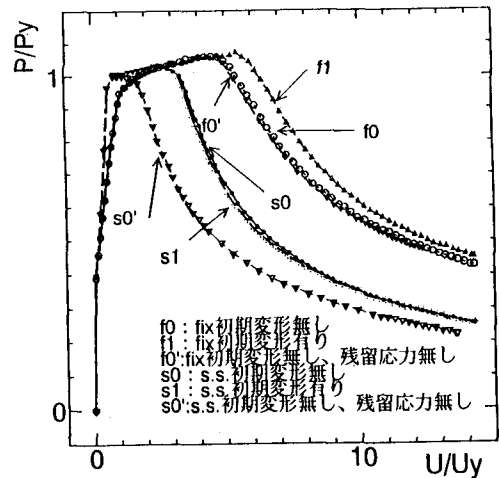


図-5. 残留応力の影響

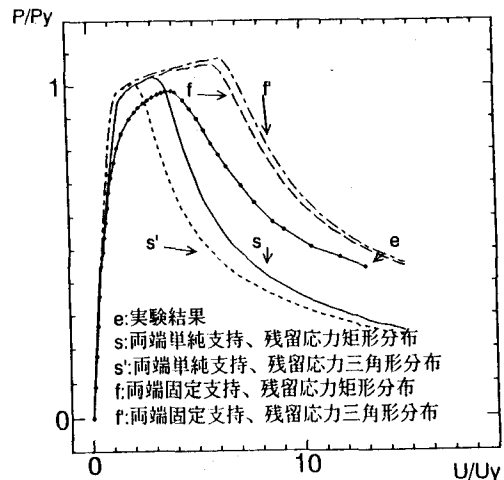


図-6. 実験結果と計算結果の比較