

大阪大学工学部 正 員○村上 茂之 大阪大学工学部 学生員 川西 洋二
大阪大学工学部 正 員 西村 宣男 酒井鉄工所 正 員 竹内 修治

1. はじめに 電縫鋼管は、その製造工程において複雑な塑性加工を受けるため、降伏応力の変化や残留応力など材料的な初期不整の発生が避けられない。この材料的初期不整が極限強度に対して大きく影響することは、電縫鋼管部材においても他の構造要素と同様である。これまでに行われた研究では、電縫鋼管材の機械的性質として、短柱圧縮試験より与えられる見かけ上の応力-ひずみ関係を用いる¹⁾ 場合が多い。これに対し、本研究では、電縫鋼管の製造工程の数値シミュレーションを行うことによって、加工前の鋼材の応力-ひずみ関係を用いて電縫鋼管材の機械的性質や残留応力を求める手法について検討を行った。数値シミュレーション手法については、今回投稿した他の講演概要を参照されたい。ここでは数値シミュレーション結果の妥当性の検証のために行った、残留ひずみおよび加工前後の鋼材の引張試験結果とシミュレーション結果との比較・検証を行う。

2. 解析モデルおよび供試体の構造諸元 残留ひずみおよび降伏応力度の測定に用いた供試体を採取した鋼管の構造諸元を表-1に示す。STK400 材および STK540 材より、径厚比 (D/t) が 26.3~39.9 の間で与えられる鋼管を供試体として選択した。シリーズ名は、径厚比が小さいものから順に、STK400 材は A, B シリーズ, STK540 材は C, D, E, F シリーズとした。数値シミュレーションにあたり、鋼材の構成式に関わる定数を求める必要があるが、単調載荷曲線に基づく定数は単調引張試験結果から得られる値を用い、他の定数に関しては文献²⁾ で与えられる定数を用いている。コイル材より採取した鋼材の単調引張試験結果を図-1に示す。

表-1 供試体の構造諸元

材質	外径 D(mm)	板厚 t(mm)	径厚比 D/t	シリーズ
STK400	60.5	2.3	26.3	A
	139.8	3.5	39.9	B
STK540	139.8	3.5	39.9	C
	190.7	6.0	31.8	D
	216.3	6.0	36.1	E
	267.4	9.0	29.7	F

3. 残留ひずみ 解放ひずみ測定結果から、切断時の熱による伸び等の影響を除去する目的で、板曲げ成分のみを抽出した結果を表-2に示す。また一例として、Cシリーズの解放ひずみ測定結果を図-2に示す。全てのモデルに共通して、鋼管内縁で引張、外縁で圧縮となる解放ひずみが測定された。径厚比に関わらず管軸方向、管周方向ともに顕著な差違は認められなかった。同様の傾向は、数値シミュレーションによっても得られている。図-3に、各工程での残留応力分布の推移の一例を示す。forming 工程で発生する管周方向の残留ひずみに関しては、鋼管の径厚比が大きく影響する。しかし、sizing 工程の影響によって、それ以前の塑性加工の影響が緩和されることが確認できた。

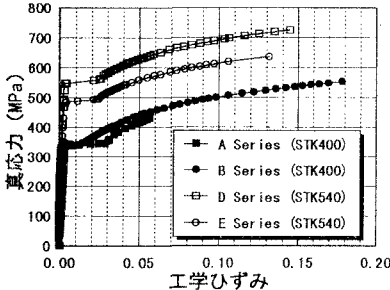


図-1 応力-ひずみ曲線

数値シミュレーション結果と実験結果では、管軸方向では若干の差違が認められるが、管周方向の残留ひずみに関しては、比較的よい一致を示しているといえる。

表-2 解放ひずみ

	管軸方向		管周方向	
	外縁	内縁	外縁	内縁
A	165	258	137	702
B	363	803	150	711
C	370	830	-205	870
D	-47	1567	663	1117
E	-480	1492	160	749
F	662	1277	802	1097
平均値	172	1038	285	874

単位: $\times 10^{-6}$

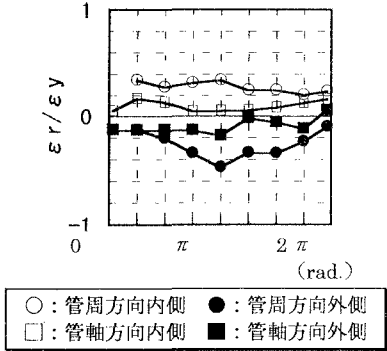


図-2 解放ひずみ (Cシリーズ)

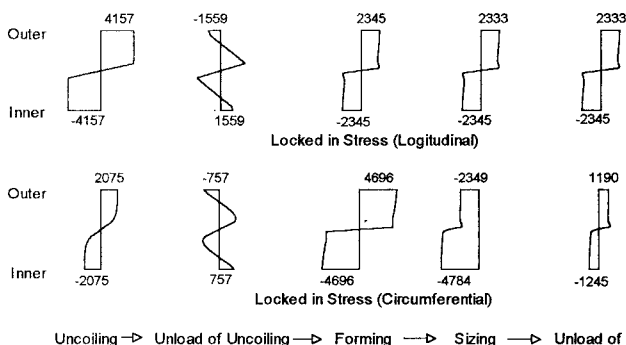


図-3 各製造工程での内部応力の推移

4. 降伏応力度の変化 図-4に、塑性加工前の降伏点と塑性加工後の降伏点の比（降伏点の上昇率）と径厚比の関係を示す。塑性加工前後の試験片ともに、径厚比による降伏点の上昇率の変化に顕著な差はなく、ほぼ一定であった。径厚比が異なる場合、forming工程で鋼管が受ける塑性加工に差が生じるが、sizing工程で受ける塑性加工の程度が他の工程を大きく上回ることから、forming工程の影響が消去されたものと考えられる。この傾向は、残留ひずみと同様である。図-5に、鋼管から採取した試験片による単調引張試験結果と数値シミュレーション結果の比較を示す。なお、数値シミュレーションは前出のA、B、D、Eシリーズについて行っている。数値シミュレーションでは、コイル材から鋼管に成形される間に鋼材が受ける塑性履歴を多軸応力状態で考慮し、板厚方向に分割した層毎に構成式を与えている。また、降伏点の上昇に影響するsizing時の絞り率は、実績に基づいて1.0%とした。数値シミュレーション結果と引張試験結果は、良好に一致している。

5. まとめ コイル材および鋼管を用いた引張試験および解放ひずみ測定

実験により、製造工程で受ける塑性履歴が、降伏点の変化および残留ひずみに与える影響について検証を行った。また、製造工程を数値シミュレーションすることによって、解析的に各工程の影響について検討を行った。その結果、複雑な製造工程を経ることによって、降伏点および残留ひずみは大きく変化するが、最終的にはsizing工程の影響を大きく受けることがわかった。しかし、バウジナー効果等の影響を考慮するためには、sizing以前の影響を無視することはできないといえる。

《参考文献》

- 1) 例えば 越智健之：円形鋼管部材の終局耐荷力と変形能の統計的評価，熊本大学学位論文，1991年。
- 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年。

構造諸元	
鋼管外径	318.5mm
鋼板板厚	10.0mm
降伏応力度	357Mpa
ひずみ硬化係数	3923Mpa
コイル径	1000mm
sizing時絞り率	1.0%
鋼種	STK400

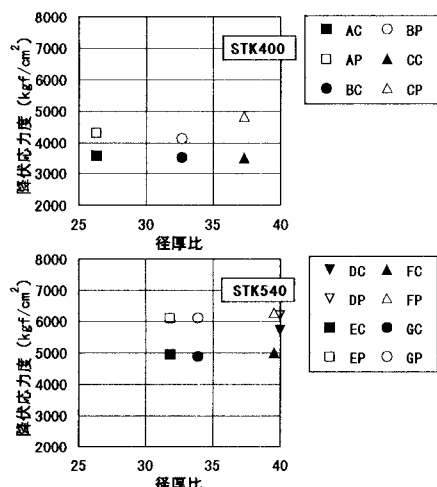


図-4 降伏点に対する塑性加工の影響

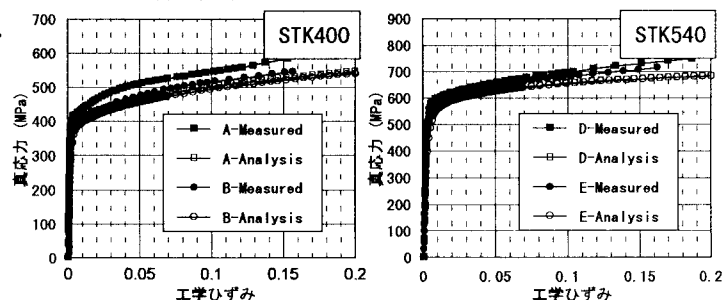


図-5 実験結果と数値シミュレーションの比較