

STK400の平均的な応力 - ひずみ関係に関する実験的研究

稲森 大樹¹・尾添 仁志²・川井 健吾³・小野 潔⁴・宮寄 靖大⁵
・神田 恭太郎⁶

¹学会員 早稲田大学創造理工学術院 建設工学専攻（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

²正会員 JFEシビル株式会社（〒111-0051 東京都台東区蔵前2丁目17番4号）

³学会員 早稲田大学創造理工学術院 建設工学専攻（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

⁴正会員 博士(工学) 早稲田大学創造理工学部教授（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

⁵正会員 博士(工学) 長岡工業高等専門学校（〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町888番地）

⁶正会員 JFEシビル株式会社（〒111-0051 東京都台東区蔵前2丁目17番4号）

1. はじめに

現在、多柱式ラーメン構造¹⁾の橋脚に用いられる部材として、電縫鋼管がある。多柱式ラーメン構造とは、切土や盛土が困難な山間部の急傾斜地の道路新設工事、拡幅工事に使用される構造である。電縫鋼管は、土木分野における構造用鋼管として広く用いられており、他の鋼管と比べ経済性、生産性に優れ、寸法精度が高いといった特徴を有する。しかし、既往の研究²⁾によって鋼帯を連続的に巻き戻しながら成形ロールで円筒形に成形し、電気抵抗溶接で溶接するという製造過程において、塑性加工、溶接加工等の冷間成形加工の影響により複雑な材料特性を有することが明らかになっている。そのため、断面内で円周方向に応力-ひずみ関係のばらつきがあると考えられる。他方、電縫鋼管の弾塑性挙動を把握する上では、解析的研究によるデータの蓄積が有効である。鋼材の繰返し塑性履歴を精度よく表現することができる構成則を用いれば、弾塑性有限解析により荷重-変位の履歴特性を精度よく再現できることが明らかになっている。その場合繰返し塑性履歴を受ける鋼材の応力-ひずみ関係を定義する構成式が必要である。解析的研究において、断面内の各地点での応力-ひずみ関係を考慮して構成則を入力するよりも鋼管全体の平均的な応力-ひずみ関係を把握して使用の方が簡易的に解析を行うことができる。そこで、本稿ではSTK400を用いた電縫鋼管を対象とし、鋼管断面内で鋼管全体の平均的な応力-ひずみ関係に最も近い挙動をする位置を

把握することを目的に、STK400の引張試験、短柱の一軸圧縮試験を実施した。

2. 引張試験

電縫鋼管はベンディングロール鋼管、スパイラル鋼管などのアーク溶接管に比べ、溶接入熱は極めて少ない代わりに冷間塑性加工の過程を繰り返し経るため、材料強度特性には多くの不規則性が含まれると考えられている。また、電縫鋼管材の材料特性はロット間や、製造会社、使用鋼種、管径、径厚比の相違によっても異なるため、材料試験を行い、その材料特性を明らかにする必要がある。本論文では、電縫鋼管から異なる円周位置でそれぞれ管軸方向に切り出した試験片を用いて材料試験を行い、切り出し位置の違いによる材料特性の違いを明らかにする。引張実験は、図-1に示すような板厚7mm、外径216.3mmの電縫鋼管の円周上8か所からJISで規定される12C号引張試験片を切り出し作成してそれを用いて行った。図-2に引張試験片の寸法を示す。写真-1に引張試験片を示す。各試験片の両面中央部に塑性ひずみゲージを配置した。引張試験の載荷は、油圧式万能試験機を用いて行った。載荷速度は材料規格値の0.2%耐力の1.03倍までの範囲は5MPa/sec、それ以降は19mm/minで行った。表-1に、引張試験での降伏応力、引張強さ、一様伸び、ヤング率、降伏比、破断伸びの値を示す。図-3に、各試験片の公称応力-公称ひずみ関係を、図-4に、各試験片の真応力-真ひずみ関係を示す。真応力、真ひずみの算出

表-1 引張試験結果

試験片名	降伏応力 (MPa)	引張強さ (MPa)	一様伸び (%)	ヤング率 (MPa)	降伏比 (%)	破断伸び (%)
T1	553	560	5.3	2.20×10^5	98.7	41
T2	428	497	9.3	2.21×10^5	86.0	39
T3	-	-	-	-	-	-
T4	409	474	11.1	2.12×10^5	86.3	35
T5	445	499	7.5	2.15×10^5	89.3	33
T6	426	482	9.3	2.21×10^5	88.5	31
T7	416	476	10.5	2.18×10^5	87.4	29
T8	418	480	10.1	2.16×10^5	87.1	27

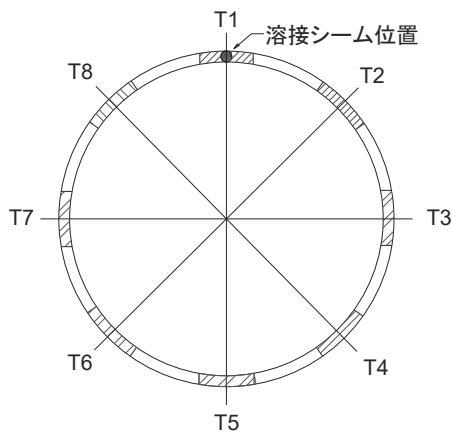


図-1 引張試験片取り出し位置

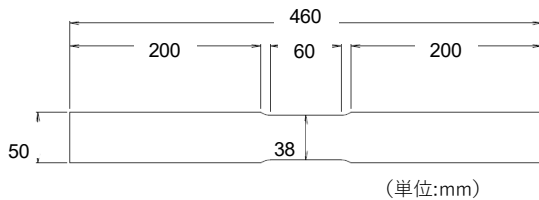


図-2 引張試験片



写真-1 引張試験片

においては、以下の式(1)を用いた。なお、T3試験片については、測定データを取得できなかった。

$$\varepsilon_t = \ln(\varepsilon_n) \quad \sigma_t = \sigma_n(1 + \varepsilon_n) \quad (1)$$

ここに、 ε_t ：真ひずみ、 ε_n ：公称ひずみ、
 σ_t ：真応力、 σ_n ：公称応力

図-4および表-1より、溶接シーム線上であるT1試

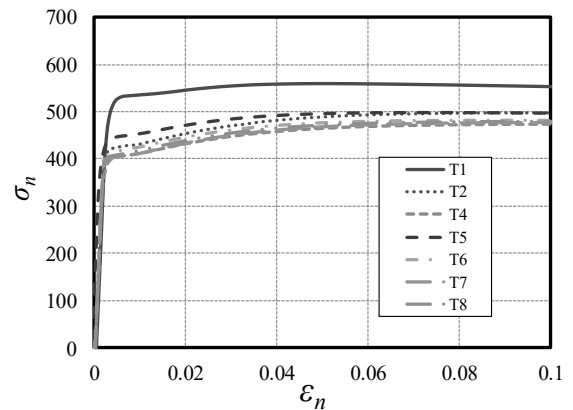


図-3 引張試験による公称応力-公称ひずみ関係

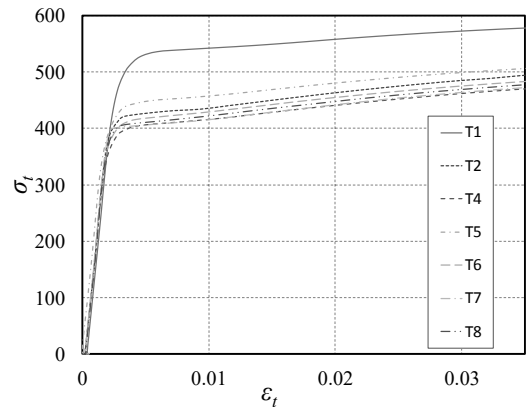


図-4 引張試験による真応力-真ひずみ関係

験片の応力-ひずみ関係が他の位置から切り出した試験片よりも特に大きいことが分かる。その次に溶接シーム線から最も遠いT5試験片の耐荷力が大きく、その他の試験片は大きな差がないことが分かる。

3. 一軸圧縮試験

一軸圧縮試験は、図-5に示すようなSTK400を使用した板厚7mm、外径216.3mm、高さ300mmの電縫鋼管短柱を使用した。写真-2に実験状況を示す。4個の変位計を用いて短柱の軸方向変位を測定した。一軸圧縮試験の载荷は、大型二軸構造物評価装置を

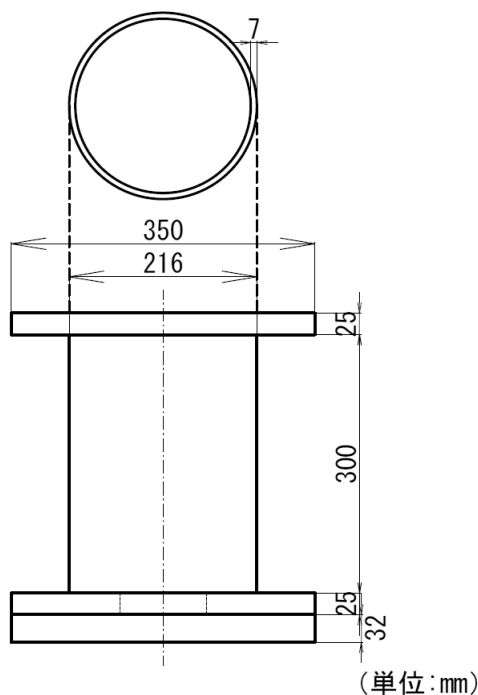


図-5 一軸圧縮試験供試体

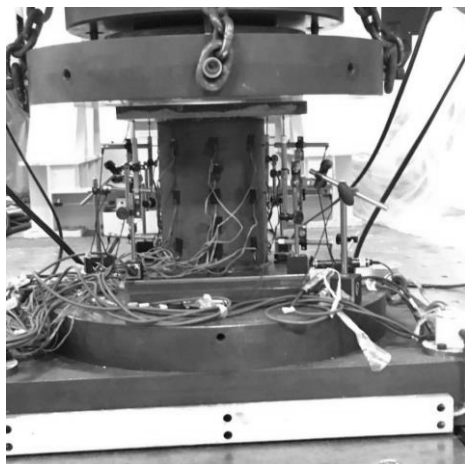


写真-2 一軸圧縮試験 試験状況

用いて、一定速度の変位を与えることで部材に生じる荷重を計測する変位制御、載荷速度0.005mm/secのもと供試体に圧縮力を載荷させた。図-6に荷重と4個の変位計で測定した軸方向変位の平均値 δ の関係を示す。図-7に真応力と軸方向変位の平均値 δ を真ひずみに換算した値と真応力の関係を示す。真ひずみ、真応力の換算においては、式(1)に加え、以下の式(2)を用いた。

$$\varepsilon_n = \frac{\delta}{l_0} \quad \sigma_n = \frac{P}{A} \quad (2)$$

ここに、 δ ：軸方向平均変位，
 l_0 ：供試体の初期長さ(300mm)，
 P ：軸力， A ：断面積

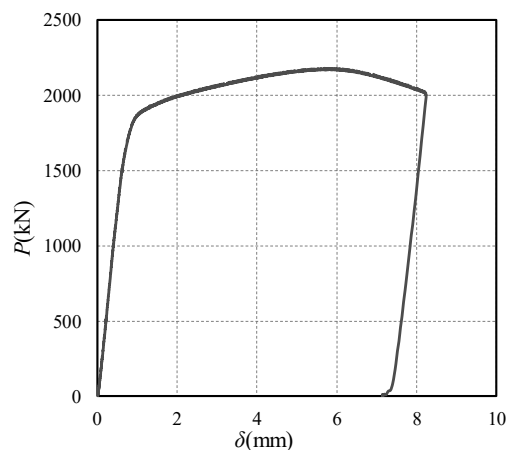


図-6 一軸圧縮試験による応力－変位関係

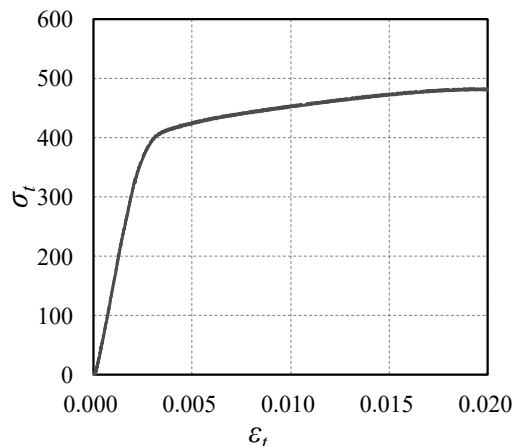


図-7 一軸圧縮試験による真応力－真ひずみ関係

図-8に、T5試験片の引張試験結果と一軸圧縮試験結果の比較をそれぞれ示す。なお、鋼管の正負交番載荷実験³⁾では、実験結果の初期勾配が理論値に基づく初期勾配より小さくなることが報告されており、その原因として、残留応力および初期たわみ等の初期不整の影響が考えられる。そして、その初期剛性の違いを考慮して、実験結果および理論値の荷重および変位を、それぞれ降伏荷重および降伏変位で無次元化して整理することが行われている^{3), 4)}。本稿の一軸圧縮試験は、材料の引張試験よりも応力－ひずみ関係の初期勾配が小さくなる傾向が見られる。そこで、その違いを考慮して両者を比較するため、T5試験片の引張試験結果と一軸圧縮試験結果をJIS G 3444⁵⁾により規格されているSTK400の降伏点である235N/mm²とその時点での降伏ひずみで無次元化した図を図-9に示す。図-10に、その他の試験片と一軸圧縮試験結果の比較を示す。図-11に、図-9と同じようにその他の試験片と一軸圧縮試験結果を無次元化した図を示す。図-8、図-10を比較した結果、T5試験片が一軸圧縮試験の結果に近い挙動をしていることが分かる。図-9、図-11を参照

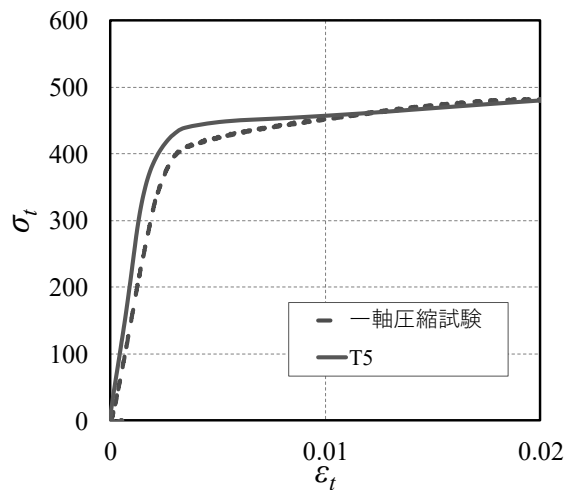


図-8 T5 試験片と一軸圧縮試験結果の比較

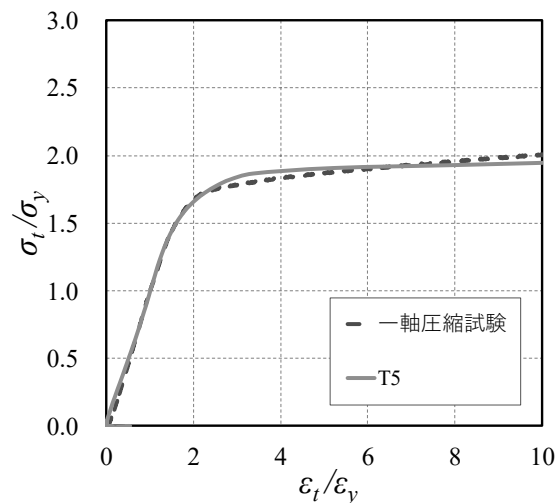


図-9 無次元化した T5 試験片と一軸圧縮試験結果の比較

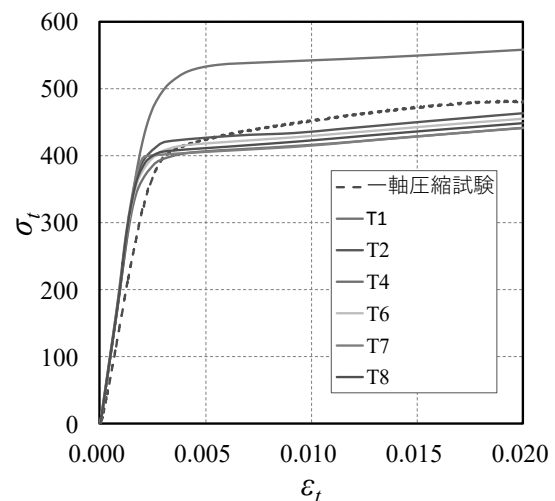


図-10 引張試験結果と一軸圧縮試験結果の比較

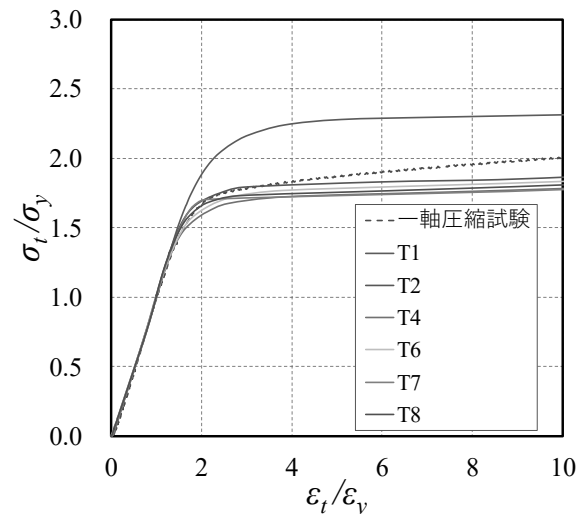


図-11 無次元化した引張試験と一軸圧縮試験結果

しても、T5 試験片が一軸圧縮試験の結果に近い挙動をしていることが確認できる。また、図-10 より、溶接シーム線上に位置する T1 試験片の応力-ひずみ関係が一軸圧縮試験や他の引張試験片の応力-ひずみ関係よりも大きいことがわかる。よって、今回の実験においては溶接シーム線から最も遠い断面が鋼管全体の平均的な応力-ひずみ関係を表しているといえる。

4. まとめ

本稿では、STK400 を用いた電縫鋼管の応力-ひずみ関係に関する実験的研究を行った。本稿の実験結果によれば、電縫鋼管の溶接シーム線上は応力-ひずみ関係が大きくなり、溶接シーム線から最も離れた位置の応力-ひずみ関係が鋼管全体の平均的な応力-ひずみ関係に近い挙動を示すことが分かった。しかし、鋼管製造過程における成形方法によって異なる材料特性を持つことは考えられるため、今

後、より多くの情報を蓄積していく必要がある。

参考文献

- 1) 例えば、(株)J F E シビル株式会社：メタルロード工法，<https://www.jfe-civil.com/infra/metalroad/index.html>。
- 2) 辻文三，康海偉：電縫鋼管の材料特性，日本建築学会論文報告集 第440号，pp.85-93，1992。
- 3) 建設省土木研究所，首都高速道路公団，阪神高速道路公団，名古屋高速道路公社，（社）鋼材倶楽部，（社）日本橋梁建設協会：道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書(I)～(VIII)，(総括編)，1997～1999。
- 4) 小野潔，藪本篤，秋山充良，大西宵平，白戸真大，西村宣男：軸圧縮力と1方向正負交番曲げを受けるスパイラル鋼管の耐震性能とその評価法，土木学会論文集F，Vol. 66，No. 2，pp.301-318，2010.6。
- 5) JIS G 3444：一般構造用炭素鋼鋼管，2016。