

第 部門 フェライト系ステンレス鋼 SUS410L の応力 - ひずみ関係とそのモデル化に関する研究

大阪大学大学院工学研究科 正会員 三好 崇夫
大阪大学大学院工学研究科 学生員 宮寄 靖大

大阪大学工学部 学生員 松田 圭右
大阪大学大学院工学研究科 正会員 奈良 敬

1. はじめに

今後建設される鋼橋は、維持管理費を削減し、超長寿命かつミニマムメンテナンス化を図ることが求められる。その手段の一つとして、特に腐食環境が厳しく、維持管理の困難な部材に耐食性に優れたステンレス鋼を適用する例が見られる。構造用途ではオーステナイト系ステンレス鋼が多用されているが、最近は安価なフェライト系ステンレス鋼が着目されている。ニッケルを含有しないフェライト系ステンレス鋼 SUS410L は、オーステナイト系鋼種よりも耐食性には劣るが安価であり、しかも通常の炭素鋼に比べて耐食性に優れる。しかし、SUS410L と同じフェライト系ステンレス鋼 SUS430 等は異方性を示すことが報告されており¹⁾、SUS410L の応力 - ひずみ関係に関しては明確にされていない。そこで、本研究では、SUS410L の応力 - ひずみ関係を材料試験で把握し、炭素鋼やオーステナイト系ステンレス鋼と比較してその特徴を明確にするとともに、応力 - ひずみ関係のモデル化にあたり、オーステナイト系ステンレス鋼に対して開発された既往の構成式について適用性を検討する。

2. 材料試験方法

図 - 1 に示す JIS5 号試験片を用いて引張試験を実施した。板厚 6mm の SUS410L 熱間圧延鋼板の試験片は、圧延方向と圧延直角方向に、それぞれ 4 本ずつ切り出して製作した。引張試験はアムスラー型万能試験機を使用して荷重制御により実施し、引張荷重とひずみは、それぞれ試験機内蔵のロードセルと試験片平行部に貼付したひずみゲージを用いて計測した。

3. 材料試験結果と考察

代表的な SUS410L 試験片の圧延および圧延直角方向の応力 - ひずみ関係をオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 と SUS304N2、および炭素鋼 SM490Y とともに比較して図 - 2 に示す。この図より、SUS410L の応力 - ひずみ関係は SUS304 や SUS304N2 と類似し、SM490Y のように明瞭な降伏点を有さないラウンドハウス型となる。しかし、比例限界直後の非線形性は SUS304 や SUS304N2 に比べて小さい。また、载荷初期からひずみ硬化領域までは圧延方向による異方性を示すが、ひずみ硬化領域では圧延方向による差異はないことも分かる。

表 - 1 には、SUS410L、SUS304 と SUS304N2 の圧延方向と圧延直角方向の機械的特性値と物理定数の平均値を比較した結果を示す。表 - 1 より、SUS410L の引張強さと破断伸びは、SUS304 や SUS304N2 のそれらより小さく、強度や延性は劣るが、弾性係数については、SUS410L は SUS304 や SUS304N2 よりも若干大きいことが分かる。本研究では、欧州のステンレス鋼構造物の設計基準²⁾に準拠して、ステンレス鋼の比例限界を 0.01% 耐力、基準強度を 0.2% 耐力と定義し、0.01% 耐力と 0.2% 耐力の比 $\sigma_{0.01}/\sigma_{0.2}$ 、および 0.2% 耐力と引張強さの比 $\sigma_{0.2}/\sigma_u$ を算定すると、圧延方向と無関係に $\sigma_{0.01}/\sigma_{0.2}$ と $\sigma_{0.2}/\sigma_u$ については、いずれも SUS410L が SUS304 や SUS304N2 よりも

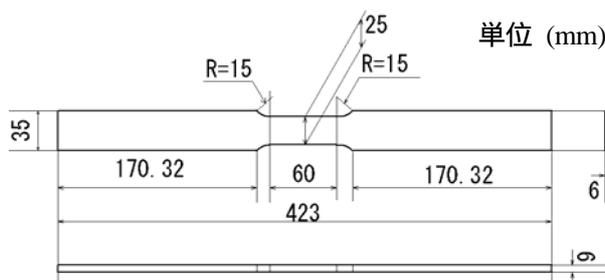


図 - 1 SUS410L の材料試験片

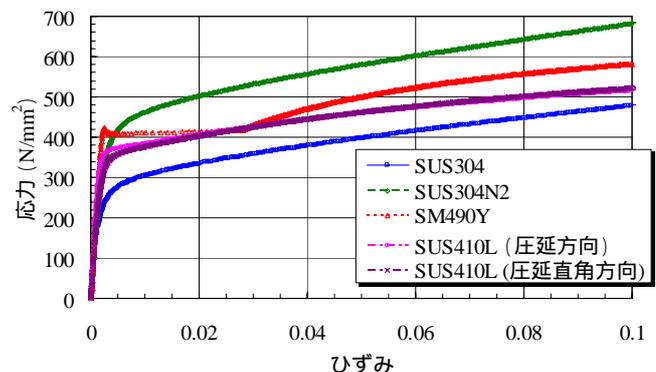


図 - 2 応力 - ひずみ関係とその比較

表 - 1 各種ステンレス鋼の圧延方向と圧延直角方向の機械的特性値と物理定数の比較

鋼種	引張方向	引張強さ σ_u (N/mm ²)	破断伸び δ (%)	弾性係数 E (N/mm ²)	0.01%耐力 $\sigma_{0.01}$ (N/mm ²)	0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	$\sigma_{0.01,T}/\sigma_{0.2}$	$\sigma_{0.2}/\sigma_u$	E_T/E_L	$\sigma_{0.01,T}/\sigma_{0.01,L}$	$\sigma_{0.2,T}/\sigma_{0.2,L}$
SUS304	圧延	707	70	175101	144	262	0.55	0.37	1.03	0.98	0.97
	圧延直角	687	72	180375	141	255	0.55	0.37			
SUS304N2	圧延	741	67	174229	232	409	0.57	0.55	1.07	0.94	0.93
	圧延直角	690	67	185633	217	382	0.57	0.55			
SUS410L	圧延	488	37	208852	306	374	0.82	0.77	0.95	0.77	0.93
	圧延直角	486	40	198922	234	347	0.67	0.72			

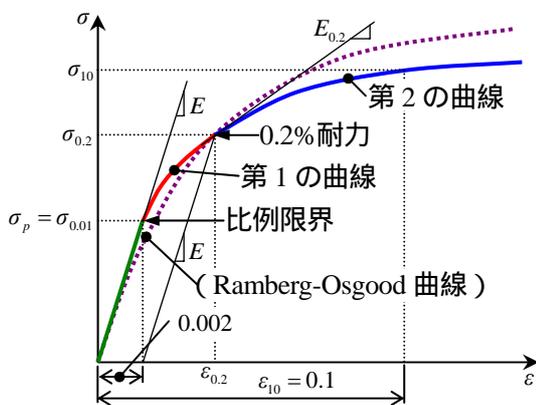


図 - 3 複合 Ramberg-Osgood 曲線の概略図

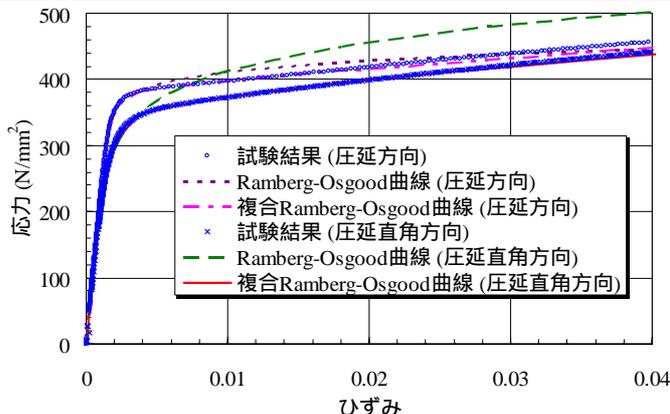


図 - 4 SUS410L の材料試験結果と構成式の比較

大きいことが分かる。また、弾性係数がほぼ同等であることを考慮すると、応力 - ひずみ関係より、SUS410L の場合は SUS304 や SUS304N2 に比して比例限界直後の非線形性とひずみ硬化の程度は小さいと考えられる。さらに、圧延直角方向と圧延方向の弾性係数、0.01%耐力および 0.2%耐力の比 (E_T/E_L , $\sigma_{0.01,T}/\sigma_{0.01,L}$ と $\sigma_{0.2,T}/\sigma_{0.2,L}$) を鋼種間で比較すると、 E_T/E_L と $\sigma_{0.2,T}/\sigma_{0.2,L}$ では有意な差はないものの、SUS410L の $\sigma_{0.01,T}/\sigma_{0.01,L}$ は SUS304 や SUS304N2 に比して明らかに小さく、0.01%耐力の異方性が認められた。

4. SUS410L の構成式

ステンレス鋼の構成式には Ramberg-Osgood 曲線が多用されてきたが、0.2%耐力以降の精度低下が知られている。そこで、図 - 3 のように、比例限界までを線形弾性、比例限界以降の 0.2%耐力点で 2 つの Ramberg-Osgood 曲線が滑らかに接続するように修正した、複合 Ramberg-Osgood 曲線と称する構成式が提案され、0.2%耐力以降の SUS304 と SUS304N2 の応力 - ひずみ関係の試験結果と良好に一致することが示されている³⁾。そこで、本研究では、SUS410L の構成式として複合 Ramberg-Osgood 曲線の適用性について検討した。

図 - 4 は、圧延方向と圧延直角方向について、SUS410L の応力 - ひずみ関係の試験結果、複合 Ramberg-Osgood 曲線、および参考までに Ramberg-Osgood 曲線を示したものである。この図より、複合 Ramberg-Osgood 曲線は、ひずみ硬化領域の材料試験結果を精度良く表現することが分かる。したがって、SUS410L の構成式として、複合 Ramberg-Osgood 曲線が適用できると考えられる。

5. まとめ

本文では、フェライト系ステンレス鋼 SUS410L の材料試験に基づき、その応力 - ひずみ関係を明確にするとともに、既往の構成式の適用性について検討した。その結果、SUS410L の応力 - ひずみ関係は SUS304 や SUS304N2 に比べて非線形性は小さいものの 0.01%耐力は圧延方向で異方性を示すこと、および複合 Ramberg-Osgood 曲線は圧延方向に関わらず SUS410L の応力 - ひずみ関係を精度よく表現することが明らかとなった。

謝辞： 本研究では、材料試験片の製作にあたって、新日鐵住金ステンレス株式会社・商品技術部商品技術室の天藤雅之博士より SUS410L 鋼板を提供頂いた。ここに記して謝意を表する。

【参考文献】 1) (社)ステンレス協会：リン・ユウ・ギャランボス共著(加藤 勉 翻訳監修) 冷間成形ステンレス鋼構造設計規準・同解説, 1992. 2) Design Manual for Structural Stainless Steel, Second Edition, Euro Inox and The Steel Construction Institute, 2002 3) 森 省吾：圧縮力を受けるステンレス鋼板の耐力特性に関する研究, 平成 18 年度大阪大学大学院工学研究科修士論文, 2007.