

## 第 I 部門 ステンレス鋼 SUS329J3L の繰返し材料特性に関する実験的研究

大阪大学工学部 学生員 ○宮本 沙織  
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 宮崎 靖大  
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 奈良 敬

## 1. はじめに

ステンレス鋼は、炭素鋼に比べて耐食性および伸び性能が優れる特徴を有する。欧州をはじめ、アジアにおいても、ステンレス鋼が橋梁に使われ始めている<sup>1)</sup>。本研究では、橋梁にも使われる強度の高い二相系ステンレス鋼 SUS329J3L について引張試験ならびに 1 軸引張 - 圧縮繰返し試験を行い、その応力ひずみ関係を明らかにする。さらに、これらの試験結果より、構造部材としての使用実績がある SUS329J3L の材料特性を明確にし、数値計算法に利用できる構成式の作成に必要な基礎資料を提示する。

## 2. 材料試験方法

SUS329J3L の引張試験用 JIS Z 2201 5 号試験片および繰返し試験用丸棒試験片は、すべて厚さ 20mm の板材(圧延方向 1000mm , 圧延直角方向 500mm)から切り出す。表-1 にミルシートに記載された化学成分を示す。両試験片は圧延方向(RD 方向)と圧延直角方向(TD 方向)の 2 方向を区別して製作し、それぞれについて試験を行う。

## 2.1 引張試験方法

JIS Z 2201 5 号試験片を RD, TD 方向にそれぞれ 3 体ずつ(試験片番号を RD-1~3, TD-1~3 とする)採取して引張試験を実施する。試験中のデータは、試験片中央平行部の表裏面に貼付けたひずみゲージによりひずみを計測し、万能試験機付属のロードセルにより荷重を計測する。

## 2.2 繰返し試験方法

繰返し負荷時の材料特性を把握するため、次の 4 通りの負荷条件を与えることとする<sup>2)</sup>。①ひずみ速度  $10^{-3}/s$  で、ひずみ範囲  $\Delta\varepsilon = 0.05(\pm 0.025)$  の計 5 サイクルの繰返し引張 - 圧縮。②ひずみ速度  $10^{-3}/s$  で、ひずみ範囲  $\Delta\varepsilon = 0.05(\mp 0.025)$  の計 5 サイクルの繰返し圧縮 - 引張。③ひずみ速度  $10^{-3}/s$  で、ひずみ範囲  $\Delta\varepsilon = 0.10(\pm 0.05)$  の計 5 サイクルの繰返し引張 - 圧縮。④ひずみ速度  $10^{-3}/s$  で、ひずみ範囲  $\Delta\varepsilon = 0.02$ 、増分ひずみ 0.02 として、ひずみが 0.15 までの繰返し引張 - 圧縮。なお試験片は各条件に対し、RD および TD を 1 体ずつ使用する。試験中のデータは、丸棒試験片平行部の表裏面に貼付けたひずみゲージおよび伸び計によりひずみを、精密万能試験機付属のロードセルにより荷重を計測する。

表-1 SUS329J3L におけるミルシート記載の化学成分

	化学 成 分 (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N
ミルシート	0.006	0.55	1.80	0.03	0.01	5.77	22.46	3.09	-	0.17
JIS規格	0.030以下	1.00以下	2.00以下	0.040以下	0.030以下	4.50~ 6.50	21.00~ 24.00	2.50~ 3.50	-	0.08~ 0.20

## 3 試験結果と考察

## 3.1 引張試験

図-1 の赤の破線および実線は、引張試験により得られた SUS329J3L の応力ひずみ関係および無次元化応力ひずみ関係を示す。また、図中には比較のため、SUS304 の結果を青色で、SUS304N2 の結果を黒色で表示している。図-1 の破線は左側の縦軸である応力に、実線は右側の縦軸である 0.01%耐力よりも大きくなる応力を 0.01%耐力で無次元化した値に対応し、横軸はひずみを表している。図-1 より、無次元化した応力とひずみの関係を見ると、SUS329J3L のひずみ硬化による応力上昇は、SUS304 および SUS304N2 より小さいことがわかる。表-2 は、SUS329J3L の機械的特性を、他のステンレス鋼 SUS304, SUS304N2, SUS410 および SM570 と比較して示す。表-2 における SUS329J3L の引張試験結果は、RD-1 と TD-1 を表している。表-2 より、SUS329J3L は、他の鋼材と比して引張強さおよび耐力が大きく、規格材料強度が同等(0.2%耐力=450MPa)である SM570 より伸びが 27%大きく、降伏比が 0.1 程度小さくなることがわかる。このように SUS329J3L は、材料強度が等しい SM570 に比べて、伸び性能のほか、ひずみ硬化に伴う応力上昇が期待できる材料であることがわかる。

## 3.2 繰返し試験

Saori MIYAMOTO, Yasuhiro MIYAZAKI and Satoshi NARA

[miyazaki@civil.eng.osaka-u.ac.jp](mailto:miyazaki@civil.eng.osaka-u.ac.jp)

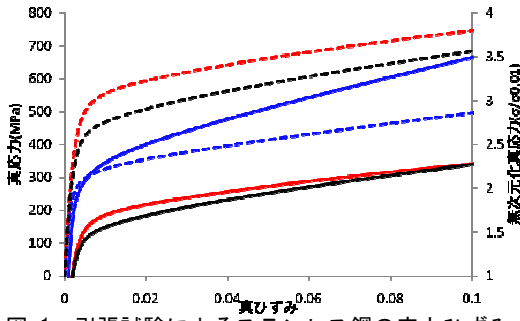


図-1 引張試験によるステンレス鋼の応力ひずみ

関係

図-2 は、2.2 で示した負荷条件①における RD および TD 方向の試験結果を示す。図-2 より、ひずみ±0.025 となる折り返し点における最大または最小応力は、ほぼ一致していることがわかる。また、圧縮負荷時におけるひずみ+0.02 からひずみ 0.015 の領域で、RD 方向の応力が TD 方向より若干小さくなるものの、圧延方向の違いによる応力ひずみ関係は大差がないことがわかる。負荷条件②から④においても同様の結果が得られている。図-3 は、負荷条件④の結果から、弾性域の大きさ  $\kappa$  を初期弾性域の大きさ  $\kappa_0$  で除して無次元化した値と除荷開始点に対応する単調載荷曲線上の塑性ひずみの関係を示す。図-3 には、比較のため SUS304 および SUS304N2 の結果を示している。図-3 より、SUS304 および SUS304N2 では、単調載荷曲線上の塑性ひずみが 0 から 4% に至るまで塑性ひずみの増大とともに弾性域の大きさが徐々に小さくなっていく傾向が見られる。一方、SUS329J3L では、測定点が少ないため SUS304 および SUS304N2 との比較が困難であるものの、塑性ひずみが 10% 以下の範囲では、 $\kappa/\kappa_0$  の値は 0.6~0.8 となり、弾性域の大きさがほぼ一定となることがわかる。図-4 は、負荷条件①および②により得られた繰返し応力ひずみ関係における非線形遷移領域<sup>2)</sup>を取出して示す。図-4 の縦軸は非線形遷移領域の応力  $\sigma_{nlt}$  をその領域の応力の大きさ  $\Delta\sigma_{nlt}$  で、横軸は非線形遷移領域のひずみ  $\epsilon_{nlt}$  をその領域のひずみの大きさ  $\Delta\epsilon_{nlt}$  で無次元化して表している。図-4 には、比較のため SUS304 および SUS304N2 の結果を示している。図-4 より、SUS329J3L の非線形遷移領域の形状は、SUS304 および SUS304N2 に比べて曲線の変化が急であることが確認できる。これは、図-3 で示したように SUS329J3L の弾性域が減少しないため非線形遷移領域のひずみの大きさが小さくなることに起因する。

4. まとめ

本研究より次の内容が明らかとなった。(1)SUS329J3L は SUS304 より 0.2%耐力が大きく、ひずみ硬化による応力上昇が小さい。(2)SUS329J3L は、規格材料強度が同等である SM570 より伸びが 27%大きく、降伏比が 0.1 小さい。(3)SUS329J3L は SUS304 および SUS304N2 に比べて、繰返し負荷に伴う遷移領域の形状が異なる。今後、これらの成果に基づき、繰返し構成則について検討することが重要である。

謝辞：本研究で実施した実験は、社団法人日本鋼構造協会より、鋼構造研究グループ助成を得て行われたものである。記してここに謝意を表す。

参考文献 1)SSBA 広報普及委員会：ステンレス構造材の世界, JSSC, No.73, pp.1-16, 2009.7. 2)宮寄靖大, 奈良敬, 小野潔, 三好崇夫, 森省吾：高性能鋼材の塑性履歴特性と構成式, 構造工学論文集, Vol.53A, pp.25-32, 2007.3

表-2 SUS329J3L および他鋼材の機械的性質

鋼材	方向	弾性係数	破断伸び	引張強さ	0.2%耐力	0.01%耐力	降伏比
		E(MPa)	$\delta$ (%)	$\sigma_u$ (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	$\sigma_{0.01}$ (MPa)	
SUS329J3L	RD	174000	53	715	492	329	0.69
	TD	194000	47	738	531	308	0.72
	規格値		18	620	450		0.69
SUS304		160000	70	715	280	142	0.39
SUS304N2		167000		683	404	301	0.32
SUS316		157000	66	597	275	157	0.46
SUS410		165000	33	475	317	221	0.67
SM570	規格値		26	570	450		0.79

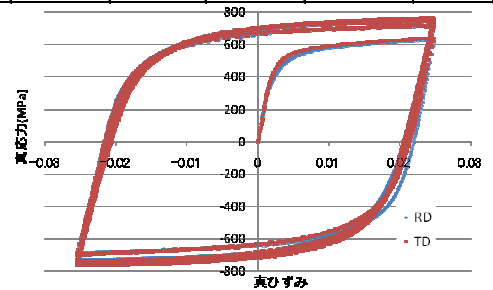


図-2 負荷条件(a)における RD および TD 方向の応力ひずみ関係

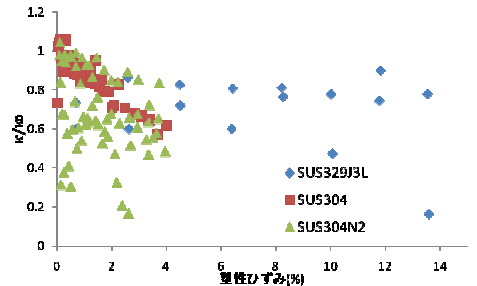


図-3 ステンレス鋼における弾性域の大きさおよび塑性ひずみの関係

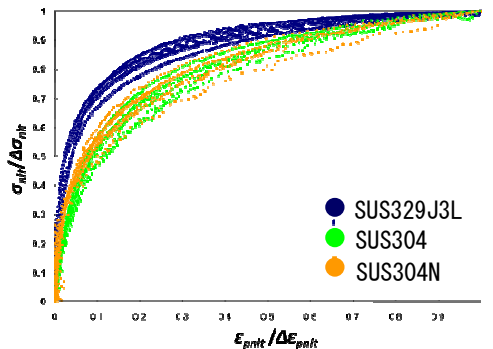


図-4 非線形遷移領域におけるステンレス鋼の無次元化応力-無次元化ひずみ関係