

# ステンレス鋼と炭素鋼を突合せ溶接した板部材の引張強度特性

長岡工業高等専門学校 正会員 宮崎 靖大  
 長岡工業高等専門学校 学生会員 ○佐藤 龍輝  
 日本鋼構造協会 正会員 志村 保美

## 1. はじめに

ステンレス鋼は、炭素鋼に比べて優れた耐食性を有する。このような優れた耐久性を有するステンレス鋼を橋梁材料に用いることで、炭素鋼製橋梁に比べて長期間供用における維持管理性能の向上が可能となる。一方、ステンレス鋼は、炭素鋼に比べて多くの地球希少金属を含有するため、材料費用の高価格化またはその変動が大きくなることが否定できない。この観点から、腐食環境の厳しい部材のみをステンレス鋼とし、その他を従来の炭素鋼で構成するハイブリッド材料化した構造形式が最適であるといえる。

本研究では、ステンレス鋼と炭素鋼を併用した部材に対して、不可避な異材接合部の強度特性に着目する。ここでは、板厚12mmのステンレス鋼と炭素鋼を異材突合せ溶接した引張試験片を対象とし、同試験片の強度特性を引張試験により明らかにする。また、これらの強度特性は、同時に各母材単体の引張試験と比較しながら明らかにする。

## 2. ステンレス鋼と炭素鋼を突合せ溶接した厚板の引張試験

### 2.1 対象材料

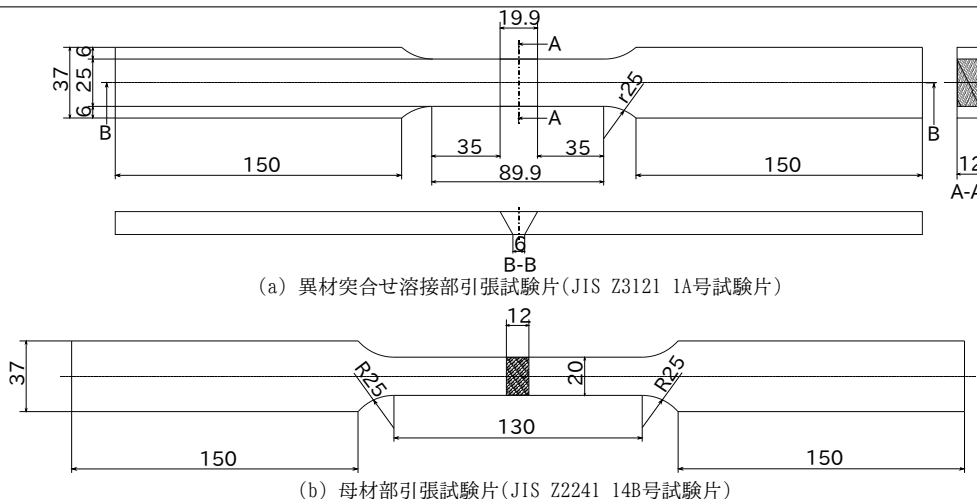
本研究で対象とするステンレス鋼は、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 および リン二相ステンレス鋼 SUS323L である。また、炭素鋼は、SM400 および SM570 である。表1は、対象とした材料のミルシートに記載の機械的性質および化学成分を示す。これら材料の組合せは、材料強度がほぼ等しい関係にあるとして、板厚12mmの板材の SUS304 と SM400 および SUS323L と SM570 を突合せ溶接した。

### 2.2 材料試験片

図1は、本研究で実施した引張試験に用いた試験片形状を示す。ここで、同図(a)に示すステンレス鋼と炭素鋼を異材溶接した試験片は JIS Z3121 の 1A 号試験片、同図(b)に示す各母材単体の試験片は JIS Z2241 の 14B 号試験片とした。また、表2は、本研究で対象とした全試験片をまとめている。

表1 対象材料のミルシートに記載の機械的性質および化学成分

材種	0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$	引張強度 $\sigma_u$ (MPa)	伸び $\delta$ (%)	化学成分 (mass%)								
	降伏応力 $\sigma_y$ (MPa)			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	
SUS304	303	634	62	0.06	0.39	0.85	0.031	0.003	8.09	18.16	—	
SUS323L	599	748	34	0.15	0.56	1.64	0.027	0.001	3.93	23.50	0.35	
SM400	280	424	31	0.18	0.07	0.47	0.018	0.011	—	—	—	
SM570	664	704	28	0.14	0.22	1.45	0.008	0.002	0.01	0.01	0.07	



(a) 異材突合せ溶接部引張試験片 (JIS Z3121 1A号試験片)

(b) 母材部引張試験片 (JIS Z2241 14B号試験片)

図1 引張試験片形状

各条件の試験片は、それぞれ2体製作したため、表2中の試験片名における括弧内の記号は2体目の試験片を意味している。異材溶接試験片は、ステンレス鋼板と炭素鋼板を突合せ溶接した板から切り出して製作した。なお、試験片の製作は、V形開先接合部にて異材溶接用の溶接棒を用い、半自動MAG溶接にて行った。表3は、これらの試験片製作条件をまとめている。

図2は、引張試験時に計測するひずみについて、異材溶接および各母材単体試験片へのひずみゲージ貼付け状況を示す。異材溶接試験片平行部には、ステンレス鋼側および炭素鋼側の各母材と溶着金属部に、それぞれひずみゲージを貼付けた。これらひずみゲージは、前述の3つの領域の表面に2軸弾性ひずみゲージ（共和電業製：KFGS-3-120-D16-11およびKFGS-3-120-D16-16）を、裏面に単軸塑性ひずみゲージ（共和電業製：KFEM-5-120-C1）とした。

### 2.3 引張試験方法

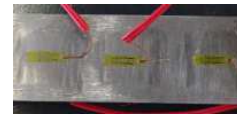
引張試験は、異材接合試験片および各母材の単体材料試験片に対して、それぞれJIS Z3121<sup>1)</sup>およびJIS Z2241<sup>2)</sup>に準拠して行った。JIS Z3121にて、引張試験時の速度制御の条件は、JIS Z2241に従うことが明記されているため、実質としてJIS Z2241の方法を用いたこととなる。引張試験時の速度は、表1に示したミルシートに記載の0.2%耐力または降伏応力までの範囲を応力速度3MPa/sで、それ以降の範囲を試験片平行部のひずみが0.004/sとなるようにして決定した。なお、異材溶接試験片の応力速度制御の範囲は、用いた材料の0.2%耐力または降伏応力が小さい方を採用し、SUS304とSM400の場合はSM400の $\sigma_y$ 、SUS323LとSM570の場合はSUS323Lの $\sigma_{0.2}$ とした。そして、引張試験時は、前述した試験片に貼付けたひずみゲージによりひずみを、試験機（万能試験機：許容値1MN）付属のロードセルより荷重を計測した。

### 3. 引張り試験結果

図3は、引張試験により得られた全試験片の応力ひずみ関係を示す。同図の縦軸の応力は試験時に計測した荷重を試験片平行部の断面積で除した公称応力を、横軸は試験片平行部に貼付けた全単軸塑性ひずみゲージの値を平均した公称ひずみを表している。ここで、異材溶接試験片の結果は、ステンレス鋼、炭素鋼の各母材および溶着金属部の面積をそれぞれ測定し、各領域で得られた応力を平均して表している。表4は、引張試験により得られた各試験片の機械的性質をまとめている。ここで、同表の試験片名に続く括弧で表す行の各値は、各試験片につき2体実施した試験結果の平均値を表している。図3より、ステンレス鋼と炭素鋼を突合せ溶接した試験片の応力ひずみ関係は、炭素鋼にて確認できる降伏棚が存在しないことがわかる。また、紙面の都合上割愛する異材溶接試験片の各材料部位で測定した応力ひずみ関係についても炭素鋼側の降伏



(a) 異材突合せ溶接試験片  
2軸弾性ひずみゲージ貼付け状況



(b) 異材突合せ溶接試験片  
単軸塑性ひずみゲージ貼付け状況



(c) 単体材料試験片(両面)

図2 ひずみゲージ貼付け状況

表2 対象とした試験片

試験片名	材料	試験片形状
44T1(2)	SUS304 + SM400	JIS Z3121 1A号試験片
L5T1(2)	SUS323L + SM570	JIS Z3121 1A号試験片
304T1(2)	SUS304	JIS Z2241 14B号試験片
323LT1(2)	SUS323L	JIS Z2241 14B号試験片
40T1(2)	SM400	JIS Z2241 14B号試験片
57T1(2)	SM570	JIS Z2241 14B号試験片

表3 溶接条件

試験片	溶接材料	パス間温度(°C)	電流(A)	電圧(V)	速度(mm/min)	入熱(kJ/mm)
SUS304 + SM400	GFW309	25.8	180	29.8	189	0.178
SUS323L + SM570	GFW329J3L	22.1	172	30.0	203	0.160

棚は見られなかった。これより、これらの異材突合せ溶接した試験片は、表4中の0.2%耐力としてまとめている。また、図3より、異材突合せ溶接した試験片44T1およびL5T1の応力ひずみ関係は、母材に用いたステンレス鋼の応力ひずみ関係に傾向が類似することが確認できる。

図4は、異材突合せ溶接した試験片について、各母材部位で測定した0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ および引張強度 $\sigma_u$ を示す。ここで、同図の縦軸は炭素鋼の応力を、横軸はステンレス鋼の応力を表している。なお、同図中の実線は、表4に示した各種ステンレス鋼および炭素鋼の単体試験片で得られた結果の平均値を意味する。図4より、異材突合せ溶接試験片の $\sigma_{0.2}$ および $\sigma_u$ は、L5Tの $\sigma_u$ の1つの結果を除いて、低強度側単体の材料強度に比べて大きくなることを確認できる。

図5は、異材突合せ溶接試験片の各材料位置におけるひずみの変化を示す。同図の縦軸は異材突合せ溶接試験片のステンレス鋼、溶着金属および炭素鋼で測定した各ひずみ $\epsilon_m$ を、これらのひずみを平均した値 $\epsilon_{mean}$ で無次元化した値を、横軸は異材突合せ溶接試験片の各部位の面積を用いて測定した公称応力を表している。なお、同図中の垂直線は、各2体の異材突合せ溶接試験片の0.2%耐力または降伏応力を意味する。表4で示したように、SUS304とSM400を組合せた試験片はSM400が、SUS323LとSM570を組合せた試験片はSUS323Lが、より小さな応力で降伏応力および0.2%耐力に達する。図5をみると、44T試験片はSM400、L5T試験片はSUS323L、それぞれ各母材の小さい降伏応力または0.2%耐力に到達すると、その材料部位でのひずみの進展が大きくなることを全ての試験体において確認できる。その一方で、もう片方の母材部位でのひずみは、ひずみの進展が小さくなることを確認できる。

図6は、44T1試験片の引張試験後の破断状況を示す。同図と同様に、割愛する異材突合せ溶接試験片を含め、全異材溶接試験片の引張試験時の破断位置は、炭素鋼側母材部となった。本研究で組合せたステンレス鋼と炭素鋼では、ステンレス鋼の引張強度が炭素鋼に比べて大きいことから、以上の結果となることを必然的な結果であったことが判断できる。

表4 引張試験により得られた対象材料の機械的性質

試験片	$E$ (GPa)	$\sigma_{0.2}$ or		$\delta$ (%)	$\nu$
		$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_u$ (MPa)		
44T1	185.7	265	444	24	-
44T2	194.1	295	451	24	-
44T(mean)	189.9	280	447	24	-
L5T1	188.4	553	537	20	-
L5T2	185.4	554	534	20	-
L5T(mean)	186.9	553	535	20	-
304T1	186.4	303	619	61	0.27
304T2	193.2	303	618	60	0.22
304T(mean)	189.8	303	619	60	0.24
323T1	194.2	541	714	37	0.18
323T2	187.9	545	714	36	0.19
323LT(mean)	191.1	543	714	37	0.19
40T1	225.3	279	420	37	0.29
40T2	213.9	288	420	37	0.27
40T(mean)	219.6	284	420	37	0.28
57T1	209.5	638	695	22	0.30
57T2	204.2	637	694	22	0.28
57T(mean)	206.9	638	695	22	0.29

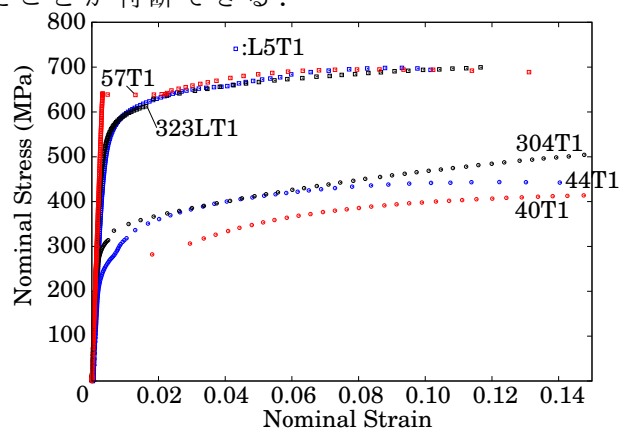


図3 各試験片の応力ひずみ関係

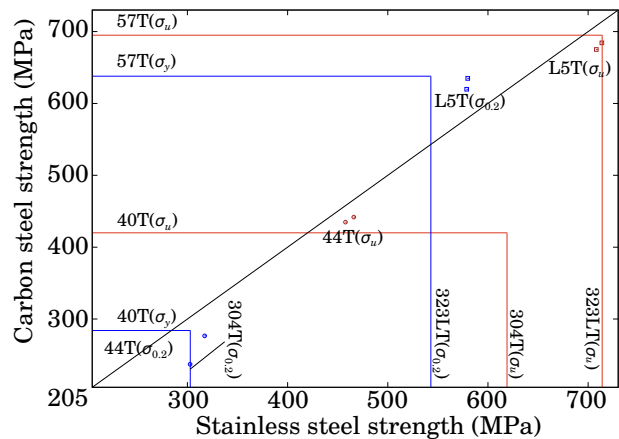


図4 異材突合せ溶接試験片の各母材部の強度

#### 4. おわりに

本研究では、ステンレス鋼と炭素鋼を突合せ溶接した試験片を用いてその引張強度特性を実験により明らかにした。本研究で得られた成果を以下にまとめる。

- (1) ステンレス鋼と炭素鋼を突合せ溶接した試験片の0.2%耐力および引張強度は、低強度側の母材のこれら材料強度とほぼ同程度以上となる。
- (2) ステンレス鋼と炭素鋼を突合せ溶接した試験片は、低強度側の母材が0.2%耐力または降伏応力に到達するとその材料部位におけるひずみの進展が大きく増加するとともにその逆側の母材部位でのひずみの進展が小さくなる。
- (3) 対象としたステンレス鋼と炭素鋼を突合せ溶接した試験片における引張試験時の破断位置は、全試験片にて炭素鋼側母材部となる。

#### 謝辞

本研究は、日本鋼構造協会の研究助成により実施したものです。ここに記して、感謝を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 日本工業標準調査会: JIS Z 3121 突合せ溶接継手の引張試験方法, 日本規格協会, 2013.
- 2) 日本工業標準調査会: JIS Z 2241 金属材料引張試験方法, 日本規格協会, 2011.

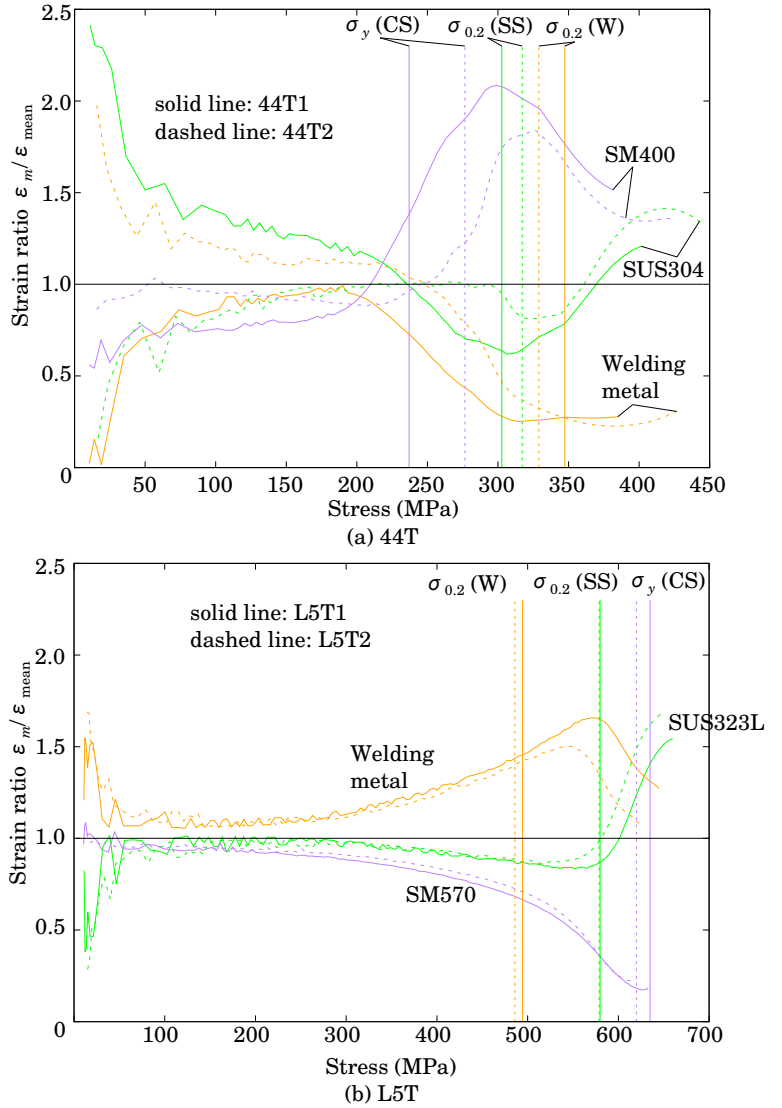


図5 異材突合せ溶接試験片の各材料位置におけるひずみ

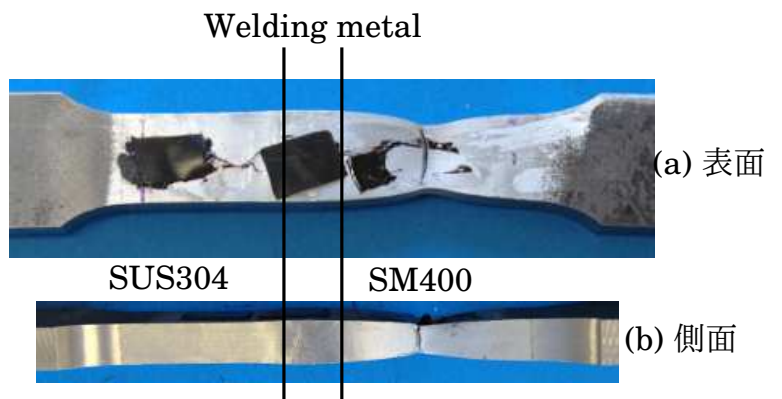


図6 44T1試験片の引張試験後の状況