

# 腐食損傷した単体およびハイブリッド引張鋼部材の強度評価に関する実験的研究

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○星野 由  
長岡工業高等専門学校 正会員 宮寄 靖大

## 1.はじめに

ステンレス鋼は、従来の構造用炭素鋼に比べて高耐食性を有するため、長期間供用が必然である土木鋼構造物への利用に適している。一方、ステンレス鋼は、地球希少元素の含有量が炭素鋼に比べて多いため、材料価格の変動および材料費用の増大が否めない。そこで、筆者ら<sup>1)</sup>は、腐食が生じやすい箇所をステンレス鋼、その他を炭素鋼とした適材適所の構造の提案を行なってきた。このような構造形式においては、ステンレス鋼と炭素鋼の接合部での異種金属接触腐食の発現が懸念される。本研究は、SUS304とSM400、SUS323LとSM570をそれぞれ異材突合せ溶接した試験体および各単体炭素鋼を対象として、複合サイクル試験により腐食損傷させた部材の引張強度特性の評価法を検討する。

## 2.実験方法

本研究で対象とするステンレス鋼は、SUS304 および SUS323L である。また、これらのステンレス鋼と突合せ溶接する炭素鋼は、同程度の強度を有する SM400 および SM570 である。表 1 は、これら鋼材のミルシートに記載の材料強度および化学成分を示す。

図 1 は、本研究で対象とした引張試験体形状を示す。異材接合試験体は JIS Z3121 1A 号試験体<sup>2)</sup>を、単体試験体は JIS Z2241 14B 号試験体<sup>3)</sup>を採用した。表 2 は、異材突合せ溶接試験体の制作時における溶接条件を示す。突合せ溶接は、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、対象とした試験体条件を示す。試験体名は鋼種、試験条件、試験体番号の順に表しており、引張試験のみの条件を T、促進腐食試験後に引張試験を行う条件を AT としている。また、AT の前に P が付く試験体は、炭素鋼表面にて塗装を施している。本研究では、促進腐食試験として複合サイクル試験<sup>4)</sup>を採用した。促進腐食試験方法および塗装の詳細については、文献 5) を参照されたい。

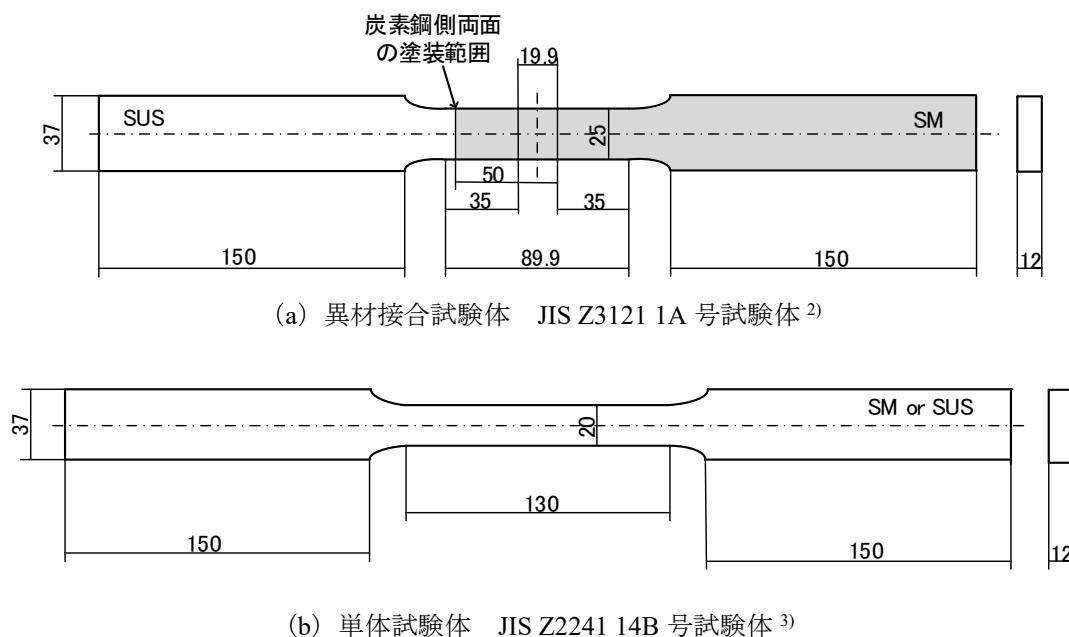


図 1 試験体形状

キーワード 異種金属接触腐食, 異材突合せ溶接, 複合サイクル試験, ステンレス鋼, 炭素鋼

連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888 番地 長岡工業高等専門学校 TEL 0258-34-9439

表 1 対象鋼種のみルシート値

材種	0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$			化学成分(mass%)								
	降伏応力 $\sigma_y$ (MPa)	引張強度 $\sigma_u$ (MPa)	伸び $\delta$ (%)	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	23.5	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	

表 2 溶接条件

試験片	溶接材料	バス間温度(°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

引張試験は、異材接合試験体および単体試験体に対して、それぞれ JIS Z3121 および JIS Z2241 に準拠して行った。引張試験では、異材接合試験体平行部のステンレス鋼、炭素鋼および溶着金属部に、単体試験体平行部の表裏面に貼付けた 2 軸弾性ひずみゲージおよび単軸塑性ひずみゲージによるひずみを、万能試験機付属のロードセルより荷重を測定した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 断面算出方法

本研究では、腐食損傷した試験体の測定対象領域とした試験体平行部の測定を、ノギスによる計測、換算板厚減少量、平均腐食深さ、最大腐食深さの 4 種類で検討を行った。

異材接合試験体のノギスによる計測は、ステンレス鋼部、溶着金属部、炭素鋼部の 3 か所それぞれにおいて、板厚および板幅を 3 回ずつ計測した値の平均値を用いて断面積を算出している。また、単体試験体については、試験体平行部の 3 か所でそれぞれ 3 回計測を行った平均値を用いて断面積を算出した。

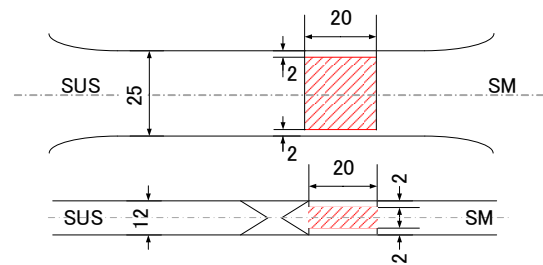
換算板厚減少量を用いた断面の算出は、板幅方向の腐食損傷は生じないと仮定し、健全状態の板厚から換算板厚減少量を引いた値を用いて断面積を算出した。この際使用した換算板厚減少量については、促進腐食試験前後の試験体の質量減少量より式(1)を用いて算出を行った。

$$t = \frac{\Delta m}{A\rho} \quad (1)$$

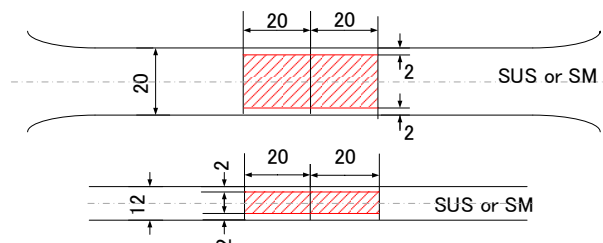
ここで、 $t$  は換算板厚減少量、 $\Delta m$  は質量減少量、 $A$  は試験体表面炭素鋼部の表面積、 $\rho$  は密度 ( $7.86\text{kg/m}^3$ )

表 3 試験体条件

鋼種	供試体名	塗装	促進腐食試験
SUS304+SM400	44T1(2)	×	×
	44AT1(2)	×	○
	44PAT1(2)	○	○
SUS323L+SM570	35T1(2)	×	×
	35AT1(2)	×	○
	35PAT1(2)	○	○
SUS304	304T1(2)	×	×
	304AT1(2)	×	○
SUS323L	323T1(2)	×	×
	323AT1(2)	×	○
SM400	400T1(2)	×	×
	400AT1(2)	×	○
SM570	570T1(2)	×	×
	570AT1(2)	×	○



(a) 異材接合試験体



(b) 単体試験体

図 2 表面観察時における評価領域

である。また、異材接合試験体では炭素鋼のみの腐食損傷を考慮して算出している。

平均腐食深さまたは最大腐食深さをを用いた断面の算出方法は、試験体平行部の4面における平均腐食深さおよび最大腐食深さを促進腐食試験前後にて、3次元マイクロ스코プ（キーエンス社製 VR-3000）を用いて測定した結果を用いて断面積を算出した。図2は、マイクロ스코プを用いた試験体の腐食深さ評価領域を示す。ここで、異材接合供試体は溶着金属端部を原点とした炭素鋼側20mmを、単体供試体は中心から両側へ20mmの領域を評価する。

### 3.2 断面欠損率

図3は、各断面算出方法による断面の欠損率を示す。縦軸は試験体名を、横軸は断面欠損率として各方法で算出した促進腐食試験後の炭素鋼部分の断面積  $A_{SMA}$

を促進腐食試験前の炭素鋼部分の断面積  $A_{SMB}$  で除した値を示す。同図より、塗装を施した試験体は、3.1で述べた4種類の方法を用いた場合、健全試験体の断面積との比が3%以内となる。また、ノギスによる計測で算出した断面積は、塗装した条件の試験体を除き、健全試験体に対し94~97%と4種類の方法中で最も大きくなる。そして、最大腐食深さをを用いた断面積は、塗装した条件の試験体を除き、健全試験体に対し81~86%と4種類の方法中で最も小さくなる。さらに、換算板厚減少量を用いた場合の断面積は、平均腐食深さをを用いた場合の断面積に対し4%以内の変化となる。以上の4種類の測定方法による腐食損傷した断面積の算出は、10~14%程度異なることを明らかにした。

### 3.3 応力比

図4は、健全試験体に対する促進腐食試験を行った条件の0.2%耐力または降伏応力および引張強度比を示す。同図の縦軸は、促進腐食試験を行った条件の試験体の0.2%耐力または降伏応力および引張強度  $\sigma_{AT}$  を、健全試験体の0.2%耐力、降伏応力および引張強度  $\sigma_T$  のそれぞれで除した値を表す。なお、異材接合試験体の引張試験で得られた応力ひずみ関係は、ラウンドハウス型を示すため、これらの結果は0.2%耐力として表している。また、促進腐食試験を行った条件の試験体の0.2%耐力または降伏応力および引張強度  $\sigma_{AT}$  は、3.1で述べたノギスによる計測、換算板厚減少量、平均腐食深さ、最大腐食深さのそれぞれを用いた断面積により算出している。

図4(a)より、単体試験体の降伏応力は、健全試験体に対して88%~92%となることがわかる。また、全試験体の引張強度比は、90%~92%となることが確認できる。つぎに、図4(b)および図4(c)の結果は、類似しており、換算板厚減少量および平均腐食深さをを用いることで単体試験体の降伏応力、引張強度および異材接合試験体の0.2%耐力の強度比が健全試験体の95%以内となる。一方、異材接合試験体の引張強度比は、健全試験体に対して最大7%小さくなることを確認できる。図4(d)の単体試験体の降伏応力、引張強度および異材接合試験体の0.2%耐力は、健全試験体の99%~108%となる。このように最大腐食深さをを用いた断面積の算出は、腐食損傷を過大評価することが考えられる。

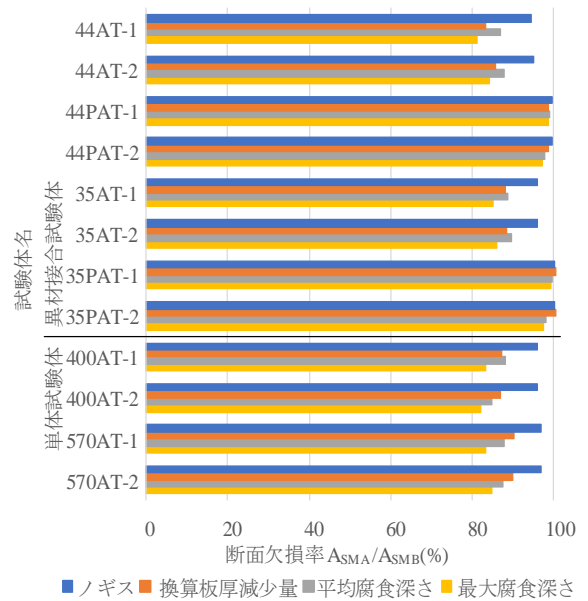


図3 断面欠損率

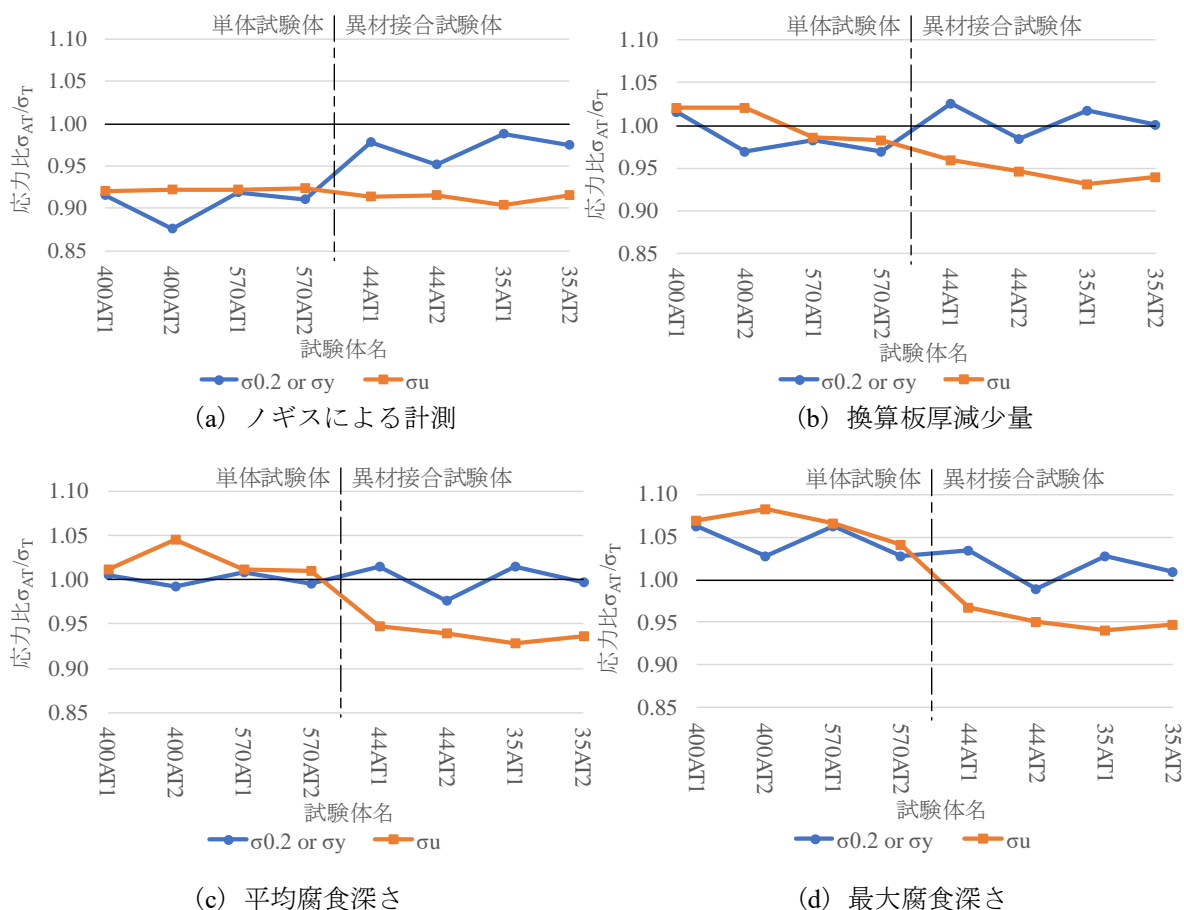


図4 腐食の有無による引張強度の応力比

#### 4.おわりに

本研究で得られた成果は、以下の通りである。

- (1) 腐食損傷した炭素鋼の断面計測に、ノギスとマイクロスコープによる最大腐食深さをを用いた場合、その測定結果から算出した断面積が10~14%程度の差異が生じる。
- (2) 換算板厚減少量を用いた場合の断面積の算出は、マイクロスコープによる平均腐食深さをを用いた場合の断面積の算出に対する比が96%以内となる。
- (3) 換算板厚減少量および平均腐食深さをを用いた単体試験体の降伏応力、引張強度および異材接合試験体の0.2%耐力は、健全試験体との比が95%以内となる。
- (4) 換算板厚減少量および平均腐食深さをを用いた異材接合試験体の健全状態に対する腐食後の引張強度比は、最大約7%小さくなる。

#### 謝辞

本研究に用いた試験体は、日本鋼構造協会より材料の提供および試験片の加工を頂きました。また、試験体への塗装については、藤木鉄工株式会社にご協力いただきました。ここに記して感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1)堀澤英太郎, 宮寄靖大: 部材両端をステンレス鋼とした鋼製部材の圧縮および曲げ強度評価法, 構造工学論文集, Vol. 65A, pp. 1-14, 2019.
- 2)日本産業標準調査会: JIS Z3121 突合せ溶接継手の引張試験方法, 日本規格協会, 2013.
- 3)日本産業標準調査会: JIS Z2241 金属材料引張試験方法, 日本規格協会, 2011.
- 4)林直宏, 山下勝也, 小林弘明, 片岡泰弘: 複合サイクル試験の促進腐食試験への適用, あいち産業科学技術総合センター, 2013.
- 5)神子島百香, 宮寄靖大, 志村保美: 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の表面腐食性状, 第38回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, I-314, 2020.