

ステンレス鋼と炭素鋼を溶接接合した厚板の促進腐食試験による 異種金属接触腐食の発現性

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○五十嵐 遥香
長岡工業高等専門学校 正会員 宮寄 靖大

1. はじめに

優れた耐食性を有するステンレス鋼は、近年土木構造物に使用することが期待されている。しかし、ステンレス鋼は、構造用炭素鋼に比べて高価である。そのため、腐食環境が厳しい部材をステンレス鋼とし、その他の部材を炭素鋼とした適材適所の利用が考えられる。このような電位差が生じる材料を接合した部材では、異種金属接触腐食の発現が懸念される。これまでに、ステンレス鋼と炭素鋼の異種金属接触腐食の発現性については、溶液中での確認が行われている¹⁾。一方、大気環境下での発現性を詳細に検証した研究例は僅かである。

そこで本研究は、複合サイクル試験と紫外線照射試験を組み合わせた大気環境下を模擬した促進腐食試験を実施し、ステンレス鋼と炭素鋼を溶接接合した厚板の異種金属接触腐食の発現性について実験により明らかにする。

2. 促進腐食試験

2.1 供試体

表1は、本研究で対象とするステンレス鋼と炭素鋼の機械的性質および化学成分を示す。同表中の値は、対象とする材料のミルシート値を表している。図1(a), (b)に示すように、これらの材料で構成される供試体の公称寸法は、

表1 本研究で対象とする鋼材の機械的性質および化学成分

項目	引張応力 (N/mm ²)	0.2%耐力 (N/mm ²)	伸び (%)	降伏点 (N/mm ²)	硬さ	成分(%)											
						C	Si	Mn	P	S	Cu	N	Ni	Cr	Mo	Nb	V
SUS304	520	205	40	-	187	0.053	0.460	0.940	0.031	0.002	0.260	0.035	8.050	18.14	0.140	-	-
SUS316	520	205	40	-	187	0.080	1.000	2.000	0.045	0.030	-	-	12.00	17.00	2.500	-	-
SUS340N2	429	-	32	268	-	0.080	1.000	2.500	0.027	0.030	-	0.230	9.00	19.00	-	0.150	-
SUS329J3L	655	450	25	-	-	0.030	1.000	2.000	0.030	0.020	-	-	5.500	22.50	3.300	-	-
SM400A	429	-	32	268	-	0.180	0.080	0.500	0.017	0.004	-	-	0.010	0.020	-	-	0.210
SM490A	552	-	25	392	-	0.160	0.330	1.430	0.019	0.006	-	-	-	-	-	-	0.030
SM570	663	-	31	396	-	0.100	0.220	1.150	0.012	0.002	0.020	-	0.020	0.140	-	0.020	0.060

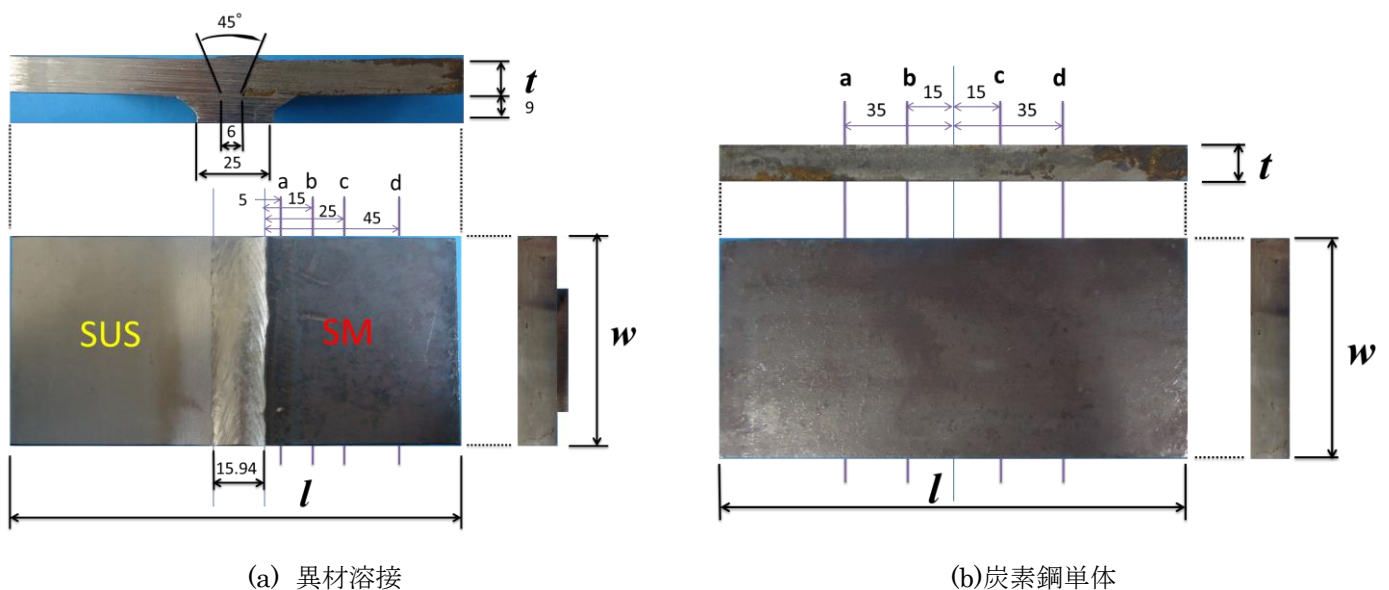


図1 供試体形状

キーワード ステンレス鋼, 異種金属接触腐食, 複合サイクル試験, 紫外線照射試験, 促進腐食試験

連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝 888 番地 長岡工業高等専門学校 TEL: 0258-34-9439 E-mail y-miyazaki@nagaoka-ct.ac.jp

板厚 t 12mm×幅 w 70 mm×長さ l 150 mm とする。また、ステンレス鋼と炭素鋼の異種金属接触腐食の発現性を検証するため、同図(a)に示すように、2種類の鋼材を突合せ溶接により、半自動でマグ溶接 4 パスで製作する。そして、本研究で実施する促進腐食試験では、比較のため、同図(b)に示す炭素鋼単体の供試体も用いる。これらの図中に示す a から d のラインは、促進腐食試験前後の供試体の腐食深さを計測する位置を表している。なお、これらの計測は供試体 4 辺から 10mm の領域を省いて行う。

表 2 は、これら供試体の促進腐食試験前の形状計測結果を示す。同表に示す供試体番号は、組合わせ材料_供試体設置状況を示す。例えば、S04C40_LC は、SUS304 と SM400 の組合せかつ SM400 を上側縦置きとした供試体を表す。図 2 は、供試体設置状況の概略図を示す。

2.2 促進腐食試験

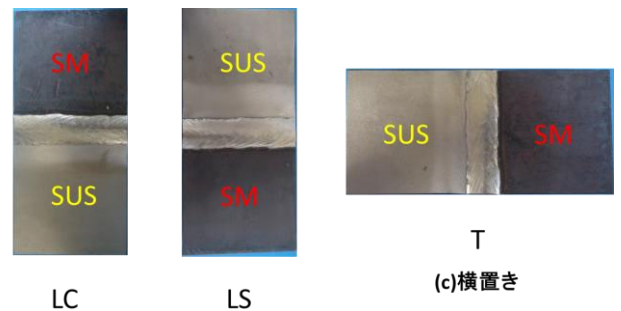
本研究では、ASTM D5894²⁾に基づく複合サイクル試験と紫外線照射試験を組み合わせた促進腐食試験を行う。表 3 は、本研究で行う促進腐食試験条件を示す。同表に示す複合サイクル試験または紫外線照射試験のいずれかを初期サイクルにするかの決定は、事前試験結果に基づき、質量減少量の多い方を採用した。図 3 は、このように決定した本研究の促進腐食試験手順を示す。同図に示すように、複合サイクル試験と紫外線照射試験を組み合わせた促進試験は、それぞれの試験期間を 168 時間として計 336 時間を 1 サイクルとする。本研究では、この促進腐食試験を 3 サイクル行う。また、複合サイクル試験は Q-Lab 社製 Q-Fog CCT1100 を、紫外線照射試験は Q-Lab 社製 QUV を使用して実施する。

複合サイクル試験は、供試体を垂直から 20°の角度で固定して行う。また、噴霧条件の水溶液は、塩化ナトリウム 0.05mass% および硫酸アンモニウム 0.35mass% を使用する。このようにして作成した水溶液の塩分濃度および pH 値は、0.05% および 5.63-5.85 であった。そして、紫外線照射試験は、UVA-340 の蛍光管による紫外線照射および結露を繰り返した試験条件で行う。

促進腐食試験後の腐食生成物の除去は、機械的除去および化学的除去を併用して行う。そして、腐食生成物除去後は、供試体の質量を計測し、表面性状をマイクロスコープにより計測する。

表 2 促進腐食前の供試体形状(mm)

溶接試験片	供試体番号	板厚 t × 幅 w × 長さ l
SM400A+SUS304	S04C40_LC	12.15 × 70.68 × 150.93
	S04C40_LS	12.26 × 70.50 × 150.48
	S04C40_T	12.24 × 70.37 × 150.60
SM400A+SUS316	S16C40_LC	12.30 × 70.25 × 150.27
	S16C40_LS	12.14 × 70.85 × 150.50
	S16C40_T	12.11 × 70.65 × 150.51
SM490A+SUS304N2	SN2C49_LC	12.25 × 70.62 × 150.63
	SN2C49_LS	12.08 × 69.51 × 150.40
	SN2C49_T	12.10 × 70.99 × 151.60
SM570+SUS329J3L	S3LC57_LC	12.29 × 70.84 × 150.44
	S3LC57_LS	12.30 × 71.00 × 150.76
	S3LC57_T	12.06 × 70.64 × 150.21
炭素鋼単体	C40	12.40 × 70.58 × 150.23
	C49	12.25 × 70.20 × 150.99
	C57	12.16 × 70.62 × 150.13



(a)縦置き(上側炭素鋼) (b)縦置き(上側ステンレス鋼) (c)横置き

図 2 供試体設置状況

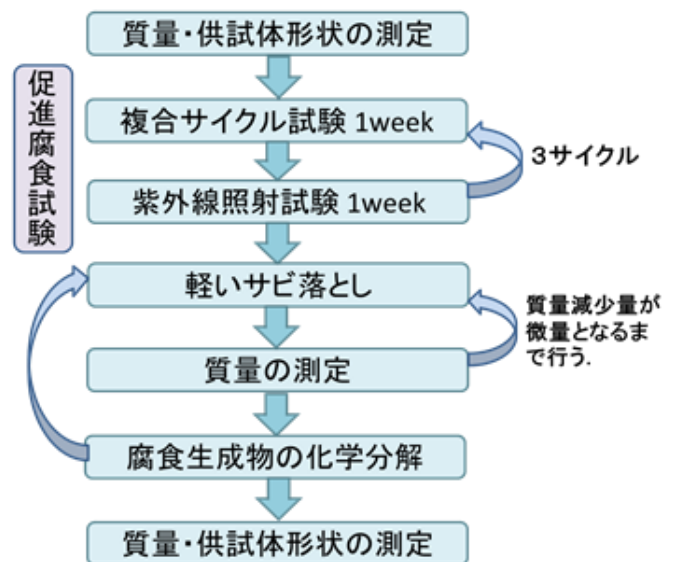


図 3 試験手順

表 3 1 サイクルの条件

試験名	状態	温度(°C)	時間(h)	期間(h)
複合サイクル	噴霧	25	1	168
	乾燥	35	1	
紫外線照射	結露	50	4	168
	UV	60	4	

3. 促進腐食試験後のステンレス鋼と炭素鋼の異種金属接触腐食の発現性

3.1 供試体表面性状

図4は、S3LC57_LSの試験前から試験後までの経過時間ごとの腐食状況を示す。同図より、炭素鋼側は腐食の発生が確認できるが、ステンレス鋼側は、試験前と試験後でその性状に変化がみられない。図5は、図4(c)における溶接近傍部の腐食状況を示す。同図より、目視では、炭素鋼側の溶接部近傍は、その他の部分の腐食と形態が異なり、黒帯がみられる。この現象は、異材溶接した全供試体で確認できたため、溶接熱影響部の腐食³⁾であると判断する。

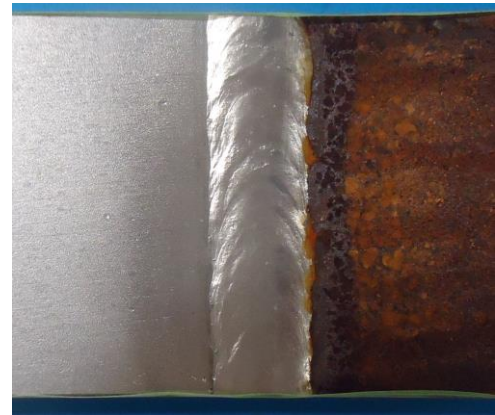


図5 溶接近傍部の腐食状況

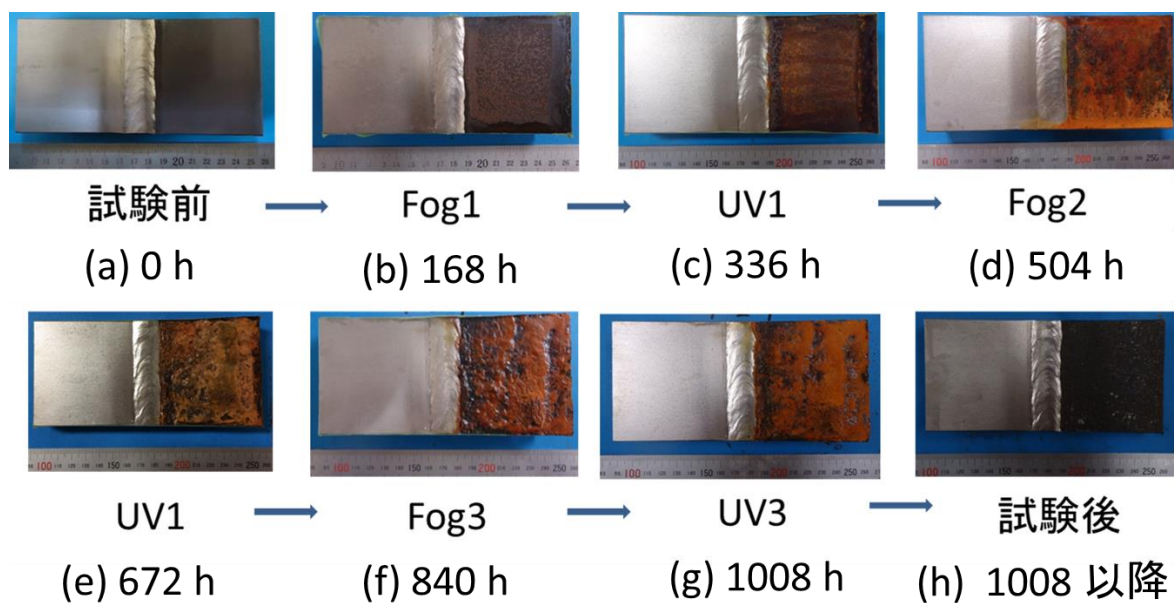


図4 促進腐食試験による腐食状況の変化

表4 各計測ライン上の供試体表面深さ(μm)

ライン名	a			b			c			d		
	前	後	差	前	後	差	前	後	差	前	後	差
S04C40_LC	65.0	239.4	-174.4	38.7	160.0	-121.3	29.6	254.0	-224.4	72.8	253.2	-180.4
S04C40_LS	36.9	204.7	-167.8	44.4	249.6	-205.2	44.3	315.9	-271.6	32.2	162.6	-130.4
S04C40_T	58.0	219.6	-161.6	37.2	178.4	-141.2	33.4	177.1	-143.7	39.1	185.9	-146.8
S16C40_LC	21.5	217.8	-196.3	57.9	314.1	-256.2	29.6	279.9	-250.3	31.5	368.1	-336.6
S16C40_LS	28.4	175.2	-146.8	42.5	186.9	-144.4	25.5	131.5	-106.0	39.7	206.5	-166.8
S16C40_T	22.2	186.6	-164.4	28.6	202.8	-174.2	17.8	286.6	-268.8	40.8	213.8	-173.0
SN2C49_LC	17.3	163.5	-146.2	28.1	186.1	-158.0	15.5	162.9	-147.4	16.2	219.4	-203.2
SN2C49_LS	15.4	163.0	-147.6	34.3	162.7	-128.4	16.4	162.5	-146.1	30.5	238.6	-208.1
SN2C49_T	63.2	197.4	-134.2	27.2	210.1	-182.9	15.7	113.7	-98.0	14.9	139.4	-124.5
S3LC57_LC	42.6	170.7	-128.1	24.9	289.3	-264.4	27.2	222.6	-195.4	24.7	283.9	-259.2
S3LC57_LS	30.0	334.0	-304.0	31.4	167.9	-136.5	17.5	346.2	-328.7	17.8	176.2	-158.4
S3LC57_T	38.8	310.5	-271.7	34.0	373.2	-339.2	33.9	396.3	-362.4	30.0	369.1	-339.1
C40	24.6	185.9	-161.3	23.9	216.2	-192.3	41.6	171.7	-130.1	64.3	171.4	-107.1
C49	25.5	210.0	-184.5	28.8	143.9	-115.1	11.0	165.6	-154.6	21.2	182.4	-161.2
C57	27.9	407.5	-379.6	23.8	328.3	-304.5	21.4	283.9	-262.5	26.4	350.6	-324.2

図6は、促進腐食試験後の供試体番号 S04C40_T の a ライン上の腐食深さを測定した例を示す。また、表4は、図6に示したように、全供試体の計測ライン上の最大腐食深さを測定した結果をまとめている。同表より、異材溶接した供試体全てにおいて、いずれの計測ラインの結果を見ても大差無いことがわかる。また、異材溶接した供試体と炭素鋼単体供試体の計測結果についても、大差無いことがわかる。つぎに、異材溶接した供試体の設置状況の違いによる結果を比較してみると S3LC57 では、LC に比べて LS および T が 100 μm 程大きい結果となるものの、その他の結果については明確な差が認められない。

3.2 質量減少量

表5は、試験前後での供試体質量計測結果、質量減少量および腐食量を表している。ここで、異材溶接した供試体の腐食量は、ステンレス鋼側の腐食は発現しなかったため、炭素鋼側のみの結果を表している。同表より、異材接合した全供試体の配置状況の違いによる腐食量は、ステンレス鋼を上側とした縦置き条件の供試体が最大となることが読み取れる。また、これら全ての供試体の腐食量は、炭素鋼単体に比べて大きくなることわかる。表6は、炭素鋼単体の腐食量を基準とし、それぞれ対応する異材溶接した供試体との腐食量率を示す。同表より、炭素鋼を上側とした縦置きおよび横置き条件の供試体は、S16C40LCの結果を除いて炭素鋼単体の腐食量に比べて小さくなることわかる。一方、異材溶接したステンレス鋼を上側とした縦置き条件の全ての供試体腐食量は、炭素鋼単体に比べ大きくなり、最大で1.40倍となることがわかる。これより、異材溶接した供試体について、ステンレス鋼を上側とした縦置き条件では、腐食量が大きくなるため、異種金属接触腐食の発現が考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた結果はつぎの通りである。(1) ステンレス鋼と炭素鋼を異材溶接した供試体の腐食状況の概観は、溶接熱影響部を除いて炭素鋼側で目立った腐食が確認できなかった(2) ステンレス鋼と炭素鋼を異材溶接した供試体の促進腐食試験後の表面深さは、供試体の設置状況および炭素鋼単体供試体との明確な差は現れなかった。(3) ステンレス鋼と炭素鋼を異材溶接した供試体において、ステンレス鋼側を上側とした縦置き条件の腐食量は、炭素鋼単体の腐食量に比べて最大で1.40倍となることを明らかにした。

最後に、本研究で使用した供試体をご提供頂いた愛知製鋼株式会社 中川英樹氏に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 松下久雄, 山本規雄: 船体構造部材の異種金属接触腐食, 日本海事協会会誌, No. 283, pp43-50, 2008.
- 2) ASTM International: D5894 Standard Practice for Cyclic Salt Fog / UV Exposure of Painted Metal, (Alternating Exposures in a Fog / Dry Cabinet and a UV / Condensation cabinet), ASTM, 2010.
- 3) 連載講義: 腐食部の腐食(I), 腐食反応の特性と溶接部, 松島 巖, 1991.

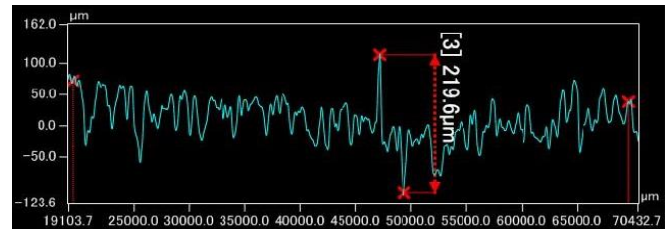


図6 表面粗さ

表5 質量減少量および腐食量

供試体番号	試験前質量(g)	試験後質量(g)	質量減少量(g)	腐食量(g/m ²)
S04C40_LC	1143.97	1140.58	3.39	732.55
S04C40_LS	1138.84	1133.22	5.62	1233.30
S04C40_T	1142.84	1139.63	3.21	698.49
S16C40_LC	1147.20	1142.16	5.04	1096.50
S16C40_LS	1131.15	1124.41	6.74	1471.85
S16C40_T	1141.83	1139.48	2.35	511.63
SN2C49_LC	1135.75	1132.53	3.22	702.16
SN2C49_LS	1112.29	1106.39	5.90	1309.07
SN2C49_T	1152.03	1147.42	4.61	977.99
S3LC57_LC	1152.47	1148.98	3.49	756.42
S3LC57_LS	1163.32	1156.90	6.42	1398.72
S3LC57_T	1138.26	1134.14	4.12	921.80
C40	1008.85	997.96	10.89	1027.05
C49	997.41	987.57	9.84	934.54
C57	993.30	981.31	11.99	1130.90

表6 炭素鋼単体に対する各供試体の腐食量率

供試体番号	比率	供試体番号	比率
C40	1.00	C49	1.00
S04C40_LC	0.71	SN2C49_LC	0.75
S04C40_LS	1.20	SN2C49_LS	1.40
S04C40_T	0.68	SN2C49_T	1.05
S16C40_LC	1.07	C57	1.00
S16C40_LS	1.27	S3LC57_LC	0.67
S16C40_T	0.50	S3LC57_LS	1.24
		S3LC57_T	0.82