

鉄鋼の屋外暴露試験について

金属材料技術研究所 橋島敏郎

1. はじめに

昭和46年度以降、5箇年間にわたり各種工業材料及び製品の耐候性に関する調査研究というテーマで、日本ウェザリングテストセンターは主務官庁から各種材料について耐候性の調査研究委託を受けた。鉄鋼素材については昭和49年9月から銚子暴露試験場において、耐候性圧延鋼、溶接構造用圧延鋼及び冷間圧延ステンレス鋼の板を供試して屋外暴露試験を行うとともに、促進耐候試験を実施した。1年間の暴露試験及び促進試験の結果は既に報告（工業材料及び製品の耐候性に関する調査研究レポート昭51,5月）してあるが、本報では5年間暴露した結果を紹介する。暴露試験は南面45°の架台により耐候性に関するデータを得るとともに、さらに実構造物に鉄鋼素材を使用する場合を想定し、暴露方向及び暴露開始時期（季節）の影響についても実験し、気象因子と耐候性との関係について解析した。

耐候性鋼には、耐候性に重点をおいた鋼種（たとえば高耐候性圧延鋼材、JIS G 3125）と溶接性を兼ね備えた鋼種（たとえば溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材、JIS G 3114）があり、それぞれに強度別区分がある。本調査研究においては、これらの代表として、耐候性がより大きい高耐候性鋼の鋼種を選定し、また耐候性に大きな影響を有するクロム及びリンの2水準とした。最も耐候性の大きい鋼種について調査することにより、耐候性鋼の特性を十分反映した結果が得られるものと考えた。なお、比較に用いる炭素鋼の耐候性は、成分系にほとんど依存しないので溶接構造用圧延鋼材（SM50）1種のみを用いた。

大気環境で用いられるステンレス鋼は、13% Cr, 18% Cr, 18% Cr - 8% Ni 及び 18% Cr - 12% Ni - Mo の4種類がほとんどであ

るため、それらを代表するものとして JIS G 4305 に規定されている SUS 410, SUS 430, SUS 304 及び SUS 316 を選定した。これらにより耐候性の異なるステンレス鋼の特性を網羅した調査が可能である。他方、ステンレス鋼の耐候性は表面仕上げに大きく依存するため SUS 304 について主要な工業製品に対応した3種類の表面仕上げのものを採用した。すなわち、供試したステンレス鋼の表面仕上げ記号はつぎのとおりである。

- 2 D ----- 冷間圧延後、熱処理、酸洗またはこれに準ずる処理を施して仕上げたもの。つや消しロールによって、最後に軽く冷間圧延したものを含む
- 2 B ----- 冷間圧延後、熱処理、酸洗またはこれに準ずる処理を施したのうち、適当な光沢を得る程度に冷間圧延して仕上げたもの。
- B A ----- 冷間圧延後、光輝熱処理を施したもの。

2. 試験方法

2.1 試験片

試験片の化学成分の機器分析による値を表1に示す。

表1 試験片の化学成分 (%)

種 類	分類記号	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo
耐 候 性 圧 延 鋼	A (SPA-H)	0.10	0.48	0.39	0.101	0.021	0.30	0.63	0.26	
	B (同 上)	0.10	0.37	0.37	0.075	0.013	0.26	0.40	0.18	
	C (同 上)	0.10	0.31	0.35	0.070	0.010	0.24	0.36	0.18	
溶 接 構 造 用 圧 延 鋼	D (SM50A)	0.14	0.37	1.20	0.006	0.026	0.19	0.07	0.05	
冷 間 圧 延 ス テ ン レ ス 鋼	E (SUS 304)	0.05	0.52	1.02	0.025	0.009	0.08	18.04	9.26	
	H (SUS 316)	0.05	0.70	1.73	0.026	0.006	0.32	17.20	12.35	2.37
	I (SUS 410)	0.06	0.62	0.28	0.020	0.008	0.03	13.52		
	J (SUS 430)	0.08	0.53	0.28	0.020	0.011	0.04	16.47		

試験片の寸法、表面積及び重量は表2に示す。

試験片の分類記号と番号を裏面の下に刻印して標識とした。この方式は、腐食の進行

表2 耐候試験用試験片 150×100mm

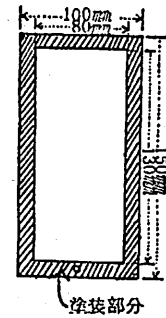
分類記号	厚さ	表面積	重量範囲
A,	3mm	315.1cm ²	326~329g
B, C, D,	6mm	330.5"	689~721"
E, F, H, I, J,	3mm	315.0"	332~355"
F,	2mm	310.0"	230~232"

によって不明瞭になるので将来改善すべきである。

2.2 耐候試験方法

2.2.1 普通暴露試験 南面45°で両面暴露し、期間は昭和49年9月から1, 3, 6, 9, 12, 1年6箇月, 2, 3, 5, 7, 10及び15年の12水準とした。

2.2.2 方向別暴露試験 試験片の片面を塗料で保護し、片面のみを暴露した。このような試験片を以下片面暴露試験片と称することにする。暴露の方向は①南面45°天向き ②南面45°地向き ③水平天向き ④水平地向き ⑤垂直東向き ⑥垂直西向き ⑦垂直南向き ⑧垂直北向きの8種類とした。暴露は昭和49年9月から開始し、期間は1, 2, 3, 7年の4水準とした。



2.2.3 開始時期別暴露試験 開始時期 図1 片面暴露試験片の塗装法 (暴露面)
は、秋・昭和49年9月, 冬・昭和49年12月, 春・昭和50年3月, 夏・昭和50年6月の4水準とし、それぞれ南面45°の天向き及び地向きとし片面のみを暴露し、期間は3, 6, 9, 12, 15, 18, 21及び24箇月の8水準とした。

2.2.4 暴露開始前の試験片処理

- (1) 脱脂の方法は、JIS Z 0236さび止め油一般試験方法の3.1.5
- (2) 清浄方法に準じ、冷ナフサを含ませたウェスで付着物を取り除いたのち、温石油ナフサ、つぎに温メタノールで洗淨した。
- (2) 片面暴露試験片は、製作にあたり、塗膜を乾燥させるときに吊り下げるための直径4mmの穴をあけた。脱脂後、所定の測定を行い、試験片の表面が80×130mmになるようなスケールを用いてけがき、周辺部を刷毛で塗装した。乾燥後、裏面及びエッジ部を塗りに包み、穴の部分は塗料で穴うめをした。塗料は鉛丹プライマー2種に油性上塗料を用い、上塗の色は無彩色のグレー(明度、N-6)にした。

試験後は、溶剤形塗膜剝離剤により塗膜のみを除去した。なお、開始時期別暴露試験の冬開始、春開始、夏開始の試験片も同時に塗装し、茶箱（乾燥剤使用）に入れて保存した。

2.2.5 その他の注意事項

- (1) ステンレス鋼は、他の鋼試験片などから飛来して付着するさびの影響を考慮し、鋼試験片などから離れた箇所に暴露した。
- (2) 角度が垂直の場合の暴露は、上方の試験片からの影響をさけるために一列配置で暴露した。
- (3) 方向別暴露試験は、試験片が地上からほぼ一定の高さ（約1.2m）になるように取付けた。

2.3 促進耐候試験方法

2.3.1 サンシャインカーボンウェガーマーター試験

JIS D 0205 自動車部品の耐候性試験通則に準じ、片面を塗装し、120分間中18分間降雨させた。試験時間は、450時間とした。

2.3.2 塩水噴霧試験

JIS Z 2371 塩水噴霧試験方法（中性の5%食塩水）に準じ、試験片は片面を塗装し、角度は15°とした。試験時間は450時間とした。

3. 評価方法

3.1 試験前の測定

- (1) 重量測定 脱脂後、直示天秤（メトラー社製、秤量1kg）を用いて0.1mgまで秤量した。
- (2) 光沢度測定 JIS Z 8741 光沢度測定方法により、20°-20°の鏡面光沢度を測定した。測定箇所は表面3及び裏面3の計6箇所とし、測定位置は試験片の中央部及びその上下2cmの部分とした。

3.2 試験後の測定

3.2.1 耐候性鋼及び炭素鋼

- (1) 重量

- (a) 暴露後取外したのち重量を測定する。
- (b) (a)で重量測定後、ナイロン歯ブラシで浮きさびを除いたのち重量を測定する。
- (c) 除せいの後の重量測定
- (c-1) (b)で重量測定後、20%硫酸に0.1%腐食抑制剤(アモヒブ31)を混合した温水溶液(80°C)に浸せきして除せいの後、重量を測定する。本方法は、当初1箇月普通暴露した試験片(3分浸せきにより除せい)に通用したが、その後フランクの重量減が比較的少ない(c-2)の方法を採用することにした。
- (c-2) (b)で重量測定後、10%クエン酸2アンモニウム煮沸水溶液中に浸せき後取り出して流水中でブラッシングをして除せいの後、重量を測定した。

なお重量測定結果からつぎの諸元が計算式によって求められた。

1. 流出さび中の鉄量 (g / dm²)

$$= \text{腐食減量 (g / dm}^2) - (\text{さびの全量} \times 0.58)$$
2. 板厚減少量 (片面 mm) $= \frac{\text{腐食減量}}{7.86 \times 10}$
3. さびの全量 (g / dm²)

$$= \frac{\text{暴露後の重量 (g)} - \text{除せいの後の重量 (g)}}{\text{表面積 (dm}^2)}$$
4. 浮きさびの量 (g / dm²)

$$= \frac{\text{暴露後の重量 (g)} - \text{浮きさび除去後の重量 (g)}}{\text{表面積 (dm}^2)}$$
5. 腐食減量 (g / dm²)

$$= \frac{\text{暴露前の重量 (g)} - \text{除せいの後の重量 (g)}}{\text{表面積 (dm}^2)}$$
6. 腐食度 (mdd) $= \frac{\text{腐食減量} \times 1000}{\text{暴露日数}}$

(2) さびの観察

普通暴露(南面45°,両面)の鋼試験片1水準のうち1枚は暴露後

取外してから茶箱に入れ、恒温恒湿室 ($20 \pm 1^\circ\text{C}$, $65 \pm 5\% \text{RH}$) に保存し、2年後に一括して鉄鋼分科会委員が観察し、暴露期間とさびの定量化の程度の関係を調べる。

(3) 写真撮影

暴露後取外した試験片は、汚れをとる前に表と裏をそれぞれ撮影する。フィルムにはコダカラー-IIを用い、撮影のさい色見本を添える。

3.2.2 ステンレス鋼

(1) 重量

暴露後取外したのち秤量後、温水 (約 80°C) に数分間浸せきしてから10%硝酸 (50°C) に浸せきすることにより除せい後秤量する。

(2) さび発生度

JIS Z 0236 さび止め油一般試験方法 3.2 項により測定する。この方法は鋼表面の一定面積 ($5 \times 5 \text{cm}$) に発生した肉眼で明らかに識別できるさびを測定するもので、試験片に測定板 ($5 \times 5 \text{mm}$ の正方形の碁盤目 100 個を刻んだ無色透明の平板) を重ね合わせ、肉眼で1点以上のさびが発生している碁盤目を数え、さび発生碁盤目数を 0, 1~10, 11~25, 26~50, 51~100 に分け、それぞれ A, B, C, D, E 級として表わす。

(3) レイティングナンバ

JIS D 0201 自動車部品の電気めっきのレイティングナンバ (以下 RN と略す) により評価するもので、さび発生面積は標準図と目視で比較して行う。

4. 試験結果

4.1 普通暴露試験

4.1.1 耐候性鋼及び炭素鋼

暴露1箇月後、鋼板の全面に赤さびが発生し、一部に緑色のさびが混在していた。その後赤さびの量は増加したが、緑色のさびは減少して3箇月後には僅かに認められる程度であった。

炭素鋼のさびの全量、錆きさびの量、腐食減量、板厚減少量及び

腐食度は何れも耐候性鋼に比べて多かつた。これらのうち、さびの全量及び腐食減量の経時変化を図2に示す。腐食度は炭素鋼の場合、1年後に8 mdd, 5年後に4 mdd, 耐候性鋼の場合、1年後に7 mdd, 5年後に3 mddであつた。

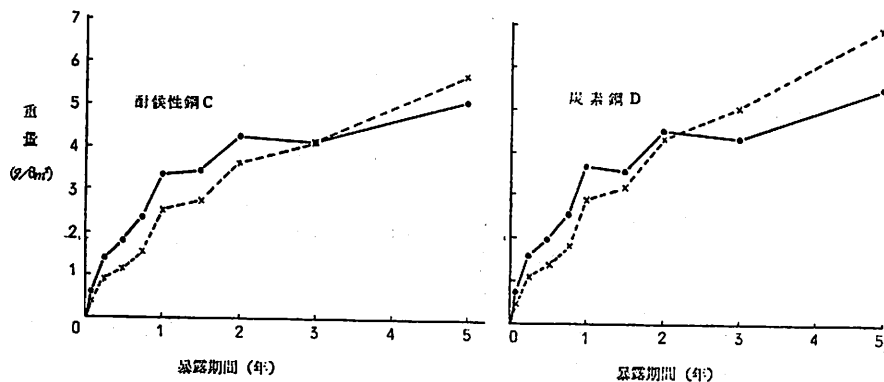


図2 耐候性鋼および炭素鋼のさびの全量及び腐食減量
(実線：さびの全量，点線：腐食減量)

4.1.2 ステンレス鋼

暴露1箇月後にはいずれの鋼種にも多少とも赤さびが点状に発生し、時期の経過とともにその数が増加した。赤さびは水を含ませたスポンジで擦っても除去できなかつた。硝酸で除せいとすると表面は清浄になり、点食が肉眼で認め難かつた。鋼種によって発せいの程度が明らかに異なり、さびの多少の順はおおむねさび発生度とレイティングナンバ(RN)の結果に示す値の順に等しいが、5年間を通じて腐食減量およびさびの全量はSUS 410(2B)が最も多かつた。

レイティングナンバの観測結果は表3に示すとおりである。

光沢残存率の測定結果は表4に示すとおりである。

4.2 方向別暴露試験

暴露開始後1週間以内で、方向別による外観上発せいの程度に差が認められた。1, 2, 3年後、試験片の設置方向による腐食減量を図3に示す。腐食減量は水平においた場合が最大で、45°に傾けた場合がこれにつき、垂直の場合が最小であつた。天向きと地向きとでは条件によって腐食減量には多少の差が認められ、腐食の形態は明らかに異なつた。

表3 ステンレス鋼のレイティング
ナンバ(RN)

鋼種	測定面	暴露期間				
		3か月	1年	2年	3年	5年
E (SUS 304 2D)	表	8-6	6-5	6-6	6-6	6-6
		8-6	6-5	6-6	6-6	6-6
		8-6	6-5	6-6	6-6	6-6
	裏	7-5	7-5	7-6	7-6	6-5
		7-5	7-6	7-6	7-6	6-5
		7-5	7-5	7-6	7-6	6-5
F (SUS 304 2B)	表	9.5-6	8-6	8-6	8-6	8-6
		9.5-6	8-6	8-6	8-6	8-6
		9.5-6	8-6	8-6	8-6	8-6
	裏	8-5	7-6	7-6	7-6	7-6
		9-5	7-6	7-6	7-6	7-6
		9-5	7-6	7-6	7-6	7-6
G (SUS 304 BA)	表	9.8-6	9.5-6	9.3-6	9.3-6	9.3-6
		9.8-6	9.5-6	9.3-6	9.3-6	9.3-6
		9.8-6	9.5-6	9.3-6	9.3-6	9.3-6
	裏	9.3-5	9-6	8-6	8-6	8-6
		9.3-5	9-6	8-6	8-6	8-6
		9.3-5	9-6	8-6	8-6	8-6
H (SUS 316 2B)	表	9.3-6	7-5	7-6	7-6	7-6
		9.3-6	7-5	7-6	7-6	7-6
		9.3-6	7-5	7-6	7-6	7-6
	裏	8-5	8-6	7-6	6-6	6-6
		8-5	7-6	6-6	6-6	6-6
		8-5	7-6	6-6	6-6	6-6
I (SUS 410 2B)	表	8-5	6-5	6-5	6-5	5-5
		9-5	6-5	6-5	6-5	5-5
		9-5	6-5	6-5	6-5	5-5
	裏	8-4	6-4	5-5	4-5	4-5
		8-4	6-4	5-5	4-5	4-5
		8-4	6-4	5-5	4-5	4-5
J (SUS 430 2B)	表	9.5-6	9-6	8-6	7-6	7-6
		9.5-6	9-6	8-6	7-6	7-6
		9.5-6	9-6	8-6	7-6	7-6
	裏	9-5	8-6	6-6	7-6	6-5
		8-5	8-6	7-6	6-6	6-5
		8-5	8-6	7-6	7-6	6-5

表4 ステンレス鋼の
光沢残存率

鋼種	測定面	暴露期間				
		3箇月	1年	2年	3年	5年
E (SUS 304 2D)	表	119	88	80	82	72
	裏	121	87	88	89	78
F (SUS 304 2B)	表	106	75	90	91	83
	裏	103	111	80	78	84
G (SUS 304 BA)	表	102	91	100	105	98
	裏	105	119	91	91	107
H (SUS 316 2B)	表	117	93	91	87	81
	裏	115	105	87	88	89
I (SUS 410 2B)	表	147	80	72	62	50
	裏	113	84	65	55	39
J (SUS 430 2B)	表	118	87	94	93	88
	裏	116	100	84	81	79

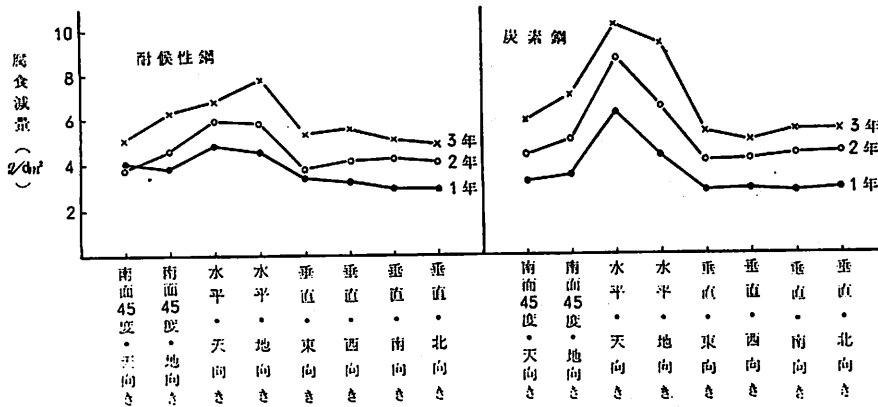


図3 方向別暴露試験結果

4.3 開始時期別暴露試験

冬季は気温が低く、ぬれ時間及び降水時間が短いため腐食減量は少ない。暴露期間1年の試験結果によると開始時期別による特長は明らかでなかった。

以上のとおり、暴露試験の方法および腐食減量その他の試験結果を紹介した。