記年月に取り外し、その変化を測定する。測定はいずれも破壊試験のため、次項に記述したごとく1種類につき各6枚宛の試験片を架設し、その中から1枚宛ずつ取り外し測定に供したものである。暴露の最終は下記のごとく5年とし昭和40年に本研究は完了する予定である。

(a) 金属素材類 1ヵ月, 3ヵ月, 6ヵ月, 1年, 3年, 5年

(b) 金属被覆類 1ヵ月, 3ヵ月, 6ヵ月, 1年, 3年, 5年

(c) 有機被覆類 6ヵ月, 1年, 2年, 3年, 4年, 5年

5.4 暴露試験片の調製枚数

暴露試験用として1種類につきそれぞれ7~8枚宛の試験片を調製したが、そのうちの1~2枚は、おのおの標準試験片として保存し6枚を暴露した。各試験項目別の試験片枚数は次のとおりである。なおこのほかに暴露開始季節を春と秋に分けて、季節と大気腐食との関係を調査しているもの、および鋼板の種類ならびに下地調整との関係などを明らかにすべき試験片も暴露してあるが、“その2”以下で述べる報告にはふれていないのでここでは省略した。

項 目	種 類 (1ヵ所に暴露した枚数)	(7ヵ所の合計枚数)
金 属 素 材 類 (標準試験片枚数)	22 × 6 = 132 枚 (22 × 2 = 44 枚)	924 枚
溶 接 類 (標準試験片枚数)	8 × 6 = 48 枚 (8 × 2 = 16 枚)	336 枚
金 属 被 覆 類 (標準試験片枚数)	16 × 6 = 96 枚 (16 × 2 = 32 枚)	672 枚
有 機 被 覆 類 (標準試験片枚数)	142 × 6 = 852 枚 (142 × 1 = 142 枚)	5,964 枚
	合計=1,128 枚	7,896 枚

6. あとがき

首題に示した課題の研究計画および経過につき述べ、(その2)以下に報告されている研究論文の前文的な意味で要約した。

本共同研究遂行にあたっては、各研究担当者はもちろんのこと、暴露台を設置した各測候所技官、ならびに技術顧問諸先生方の熱意あるご協力なくしては完成され得ないものであることを強調し、ここに関係各位に対し改めて深甚の謝意を表するものである。

(昭和37年9月21日受理)

各種金属材料および防錆被覆の大気腐食に関する研究 (第1報)

(その2) 金属素材類の暴露1ヵ年の結果

堀 川 一 男* 滝口周一郎* 大久保秀世* 石津善雄*

Studies on the Atmospheric Corrosion of Metals and of Anti-Corrosive Coatings in Japan (1st Report) Part 2. Results of Weathering Test Conducted on Metals for One Year

Kazuo Horikawa, Shûichiro Takiguchi, Hideyo Ôkubo and Yoshio Ishizu

Atmospheric corrosion testing of metals has been conducted for one year in the above mentioned seven sites.

Metals exposed included two carbon steels, copper-bearing steel, four high strength steels, four stainless steels, three cast irons, cast steel and aluminum alloy.

In this test, the mean corrosion rates of these metals per year were respectively as follows:

carbon steels 0.054 mm, copper-bearing steel

0.043 mm, high strength steel 0.050 mm, stainless steels 0.0003 mm, cast irons 0.055 mm, cast steel 0.064 mm, and aluminum alloy 0.001 mm.

And the least corrosion was observed on the metals exposed in cold and inland districts, while the most severe corrosion was in semi-industrial and industrial districts.

This weathering test is projected to be continued for five years.

1. 緒 言

この研究は各種金属材料のうちでも特に広く使われて

いる鉄鋼材料の日本国内の気象条件における腐食速度の基本的な数値を長期屋外暴露試験によって求め、これを統計学的に取りまとめ、気象要素との相関性を究明することと、その結果をいつでも再現できるような促進試験

* 陸上鉄骨構造物防食研究会研究員 日本鋼管(株)技術研究所 (川崎市南渡田町2730番地)

表 1 金属素材類供試材の化学成分 (%)

種 別		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	その他
炭 素 鋼	キ ル ド 鋼	0.17	0.19	0.59	0.013	0.026	0.10	0.03	0.11	0.02	—
		0.20	tr	0.37	0.008	0.018	0.10	0.03	0.09	0.02	—
含 銅 鋼	転 炉 鋼	0.21	tr	0.32	0.008	0.022	0.32	0.04	0.04	0.02	—
高 張 力 鋼	50 キロ	0.15	0.41	1.20	0.026	0.018	0.09	0.05	0.02	0.02	—
	60 キロ (A)	0.14	0.40	1.20	0.007	0.015	0.10	0.49	0.14	0.26	V=0.08
	60 キロ (B)	0.15	0.30	1.12	0.012	0.010	0.20	0.10	0.09	0.02	—
	80 キロ	0.16	0.23	0.81	0.019	0.016	0.34	0.84	0.56	0.42	{ V=0.05 B=0.0015
ス テ ン レ ス 鋼	SUS 21	0.08	0.42	0.49	0.022	0.010	0.10	0.28	13.66	0.01	—
	SUS 27	0.06	0.55	0.98	0.036	0.010	0.18	8.48	18.68	0.38	—
	SUS 32	0.06	0.68	1.56	0.033	0.008	0.11	11.22	17.37	2.48	—
	SUS 35	0.05	0.48	1.37	0.027	0.011	1.10	13.21	17.49	2.56	—
鋳 鉄	FC 20	3.83	1.80	0.50	0.151	0.033	0.25	0.12	0.24	0.02	—
	ノ ジ ュ ラ ー	3.27	3.58	0.86	0.069	0.011	0.13	0.10	0.06	0.02	—
	ミーハナイト	3.41	2.99	0.77	0.071	0.025	0.19	0.11	0.03	0.01	—
鋳 鋼	SC 49	0.23	0.40	0.96	0.021	0.019	0.13	0.18	0.12	0.03	—
A1 合 金	52 S	A1 残	Si 0.08	Mn 0.02	Fe 0.10	Mg 2.43	Cu tr	Zn tr	Cr 0.25	—	—

方法を確立し、同時に行なわれる防錆被覆の研究とともに機に応じた防食対策を打出せる資料を得ることを目的として開始したもので、暴露試験は5ヵ年の計画で行なっている。今回は暴露後1ヵ年の試験結果について報告するものである。

2. 供試金属材料

産業用陸上構造物の大部分は鉄鋼が利用されていることは周知の通りであるので、本研究も鉄鋼材料に重点を置き、炭素鋼、含銅鋼、高張力鋼、ステンレス鋼、鋳鉄および鋳鋼の各種類から代表的なもの1ないし4種、合計15種を選定し、またこれら鉄鋼材料と並んで陸上構造物に利用されている A1 合金1種類を加えた。

この金属素材類は、その素材の大気腐食に関する経時変化を測定する意味で、表面処理は行なわず、研削後そのまま暴露試験に供した。またこれらのうち数種のものは突合せ溶接したものについても試験した。

2.1 金属素材類試片の種類と成分

金属素材類試片の種類と化学成分を表1に示す。このほかに低合金鋼として、Ni-Cr 鋼 (SNC 2)、Cr-Mo 鋼 (SCM 4)、Ni-Cr-Mo 鋼 (SNCM 8) についても試験を行なっているが、都合で1ヵ年遅れて試験を始めたから本報告には記載しなかった。

2.2 溶接類試片

表 2 溶接試片の種類

母 材	溶 接 棒
炭 素 鋼	キ ル ド 鋼
含 銅 鋼	転 炉 鋼
高 張 力 鋼	50 キロ (A)
	60 キロ (B)
鋳 鋼	SC 49

溶接類試片の種類とそれに使用した溶接棒の種類を表2に示す。

2.3 試片の製作法

鋳鉄類の試片は1枚ごとに製作し、その他はいずれも圧延板から採取した。

溶接類試片は突合せ溶接板を製作し、溶接部が試片中央に位置するように試片を採取し研削仕上げした。

試片の大きさはすべて100×100 mm とし四隅に暴露台に取り付けるため直径10 mm の孔をあけ、試片の端部は角を落し、この部分からの異常発錆の影響をできるだけ小さくするように考慮した。各試片の厚さは素材の厚さによって2~11 mm とした。各種試片の暴露前の厚さ、表面アラサおよび表面状態を表3に示す。表中の

表 3 試片の識別番号と暴露前の表面状況

種 別	識別番号	厚 さ (mm)	表面アラサ (H_{max} , μ)	表面状況	
金 属 素 材 類	キ ル ド 鋼	1	6	33	黒 皮 (端面塗装)
	＃	2	5	3	研 削
	リ ム ド 鋼	3	6	38	黒 皮 (端面塗装)
	＃	4	6	7	研 削
	含 銅 転 炉 鋼	5	2.5	1	＃
	50 キロ高張力鋼 (A)	6	5	4	＃
	60 キロ高張力鋼 (A)	7	5	2	＃
	60 キロ高張力鋼 (B)	8	8	6	＃
	80 キロ高張力鋼	9	10	3	＃
	SUS 21	13	2	3	入手のまま
	SUS 27	14	2	1	＃
	SUS 32	15	2	1	＃
	SUS 35	16	2	2	＃
	鋳 鉄 (FC 20)	17	11	145	鋳肌のまま (再 焼 入)
	ノ ジ ュ ラ ー 鋳 鉄	18	10.5	145	鋳肌のまま (端面塗装)
	ミーハナイト 鋳 鉄	19	10	143	＃
鋳 鋼 (SC 49)	20	10	147	鋳肌のまま	
A1 合 金 (52 S)	21	2	2	入手のまま	
溶 接 類	キ ル ド 鋼	W 1	4	5	研 削
	含 銅 転 炉 鋼	W 2	5	7	＃
	50 キロ高張力鋼 (A)	W 3	2.7	5	＃
	60 キロ高張力鋼 (A)	W 4	6	10	＃
	60 キロ高張力鋼 (B)	W 5	5	6	＃
	80 キロ高張力鋼	W 6	7	2	＃
	鋳 鋼 (SC 49)	W 7	10	4	＃
	鋳 鋼	W 8	6	3	＃

表面アラサは小坂式アラサメーターにより JIS B-0651-1955 に従い、試験片表面 3 ヲ所の 平均値 を示したもので、表示法は JIS B-0601-1955 に準拠したものである。

各試験片には種別、暴露地点および暴露期間の識別番号を刻印した。架設前の試験片重量は化学天秤で測定した。

キルド鋼、リムド鋼の黒皮のままの試験片およびノジュラー鋳鉄、ミーハナイト鋳鉄試験片は端面にビニローゼ(鉛丹プライマー)を塗布して切断面からの発錆を防止した。

試験片は製作後油脂分および汚れの付着を除くために、有機溶剤(アセトンまたはベンゾール→アルコール→乾燥)にて清浄した後、気化性防錆紙に包んで暴露地まで送り、暴露台に取り付ける前にエチルアルコールにて洗ってから架設した。

3. 暴露試験

3.1 暴露方法

暴露台は鋼製で、試験片取付面の大きさは幅 2,765 mm, 奥行 1,685 mm であり、試験片架設可能枚数は $25 \times 15 = 375$ 枚である。暴露台は暴露地ごとに 2 台宛南面して設置し、暴露面の角度は日照量が最大になるように、その地点の緯度に等しくした。

暴露台の設置場所は御前崎、枕崎、高山、輪島、帯広各測候所構内および日本鋼管(株)(川崎市南渡田町)、石川島播磨重工業(株)(東京都江東区)各技術研究所屋上の 7 ヲ所である。

試験片を暴露台に取り付けるには、四隅の孔にペークライト座金を当てボルトナットで固定した。

3.2 暴露期間

暴露期間は 1, 3, 6 ヲ月および 1, 3, 5 ヲ年の 6 種類とし、各暴露地ごとに同種試験片を 6 枚架設し、期間経過ごとに 1 枚宛取り外し、腐食状況を測定することとした。今回は昭和 35 年 4 月～5 月から昭和 36 年 4 月～5 月まで 1 ヲ年間暴露した結果を報告する。各地区の暴露期間を次に示す。

御前崎 昭和35年4月12日より昭和36年4月11日まで
枕崎 昭和35年4月16日より昭和36年4月15日まで
高山 昭和35年4月26日より昭和36年4月25日まで
輪島 昭和35年4月29日より昭和36年4月28日まで
帯広 昭和35年5月10日より昭和36年5月9日まで
日本鋼管 昭和35年5月9日より昭和36年5月8日まで
石川島 昭和35年5月7日より昭和36年5月6日まで

4. 暴露 1 ヲ年の結果

各地で暴露した試験片は実験室に持ち帰り外観観察後、分析試料とする錆を採取したのち下記の液で除錆した。

鋼: 10% クエン酸アンモン沸騰液に浸漬して除錆

ステンレス鋼: 30% 硝酸(常温)に浸漬して除錆

Al 合金: 濃硝酸(15°C 以下)に浸漬して除錆

図 1 金属素材の地区別腐食量比較図 (12 ヲ月)

図 2 暴露地区別腐食量 (2. キルド鋼)

図 3 暴露地区別腐食量 (5. 合金鋼)

図 4 暴露地区別腐食量
〔7. 60 kg/mm² 高張力鋼(A)〕

図 7 暴露地区別腐食量 (21. Al 合金 52S)

図 5 暴露地区別腐食量 (14. SUS-27)

図 6 暴露地区別腐食量 (17. 鋳鉄 (FC-20))

除錆後、重量、表面アラサ、引張り強さ等を測定した。

4.1 腐食減量

数種の素材について暴露地区、暴露期間と腐食量の関係を図示する (図 1~7)。

(1) 一般に腐食量は暴露期間に比例して増加しているが、高張力鋼、鋳鉄等では6~12ヵ月の腐食量が頭打ちになっているものもある。これはこの期間が冬期にわたり環境の腐食性が減少したことと、試片表面の腐食生成物の防食作用によると考えられる。またステンレス鋼、Al 合金、鋳鉄等では腐食量と期間の関係が逆になったものも見られる。これは腐食量のごく少ないもので秤量の誤差で生じたものと、期間ごとに別の試片によって測定したので、個々の試片の表面状況に差があったものであろう。

(2) 暴露地区のうちでは帯広、高山が最も腐食量が少なく、輪島がこれに次ぎ、枕崎、御前崎、石川島、日本鋼管の順に腐食量が大きくなっている。

(3) 金属素材別にみると、キルド鋼とリムド鋼の差はほとんどなく、高張力鋼はキルド鋼よりも腐食量がやや少なく、含銅鋼は高張力鋼よりも更に腐食量が少なかった。

表面に黒皮の付いた鋼板と研削したものとは1年後の腐食状況にほとんど差がなかった。

鋳鉄類のうち、ノジュラー鋳鉄、ミーハナイト鋳鉄は工場地域で腐食量が鋼よりやや少なく、FC 20 は鋼と同程度であった。

鋳鋼の腐食量は炭素鋼よりやや多かった。

ステンレス鋼は供試材中最も耐食性が良好であった。この場合は腐食量が少ないために、暴露地区による差が明らかでなかった。

Al 合金はステンレス鋼について腐食量が少なかった。

(4) 溶接部を含む試片と素材試片とは全く同様の腐食状況を示し溶接の影響は認められなかった。

図 8 引張り試験結果

図 9 キルド鋼 (研削) の錆の X 線回折結果

4.2 表面のアラサ

腐食量の大きいものは大体アラサも大きい傾向があった。しかしこの傾向は完全に一致しているものではないようである。

4.3 引張り強さ

暴露による引張り強さの劣化状況は図 8 のようであった。腐食量の大きいものは劣化が大きい傾向である。しかし板厚に比較して腐食程度が少ないので傾向が明確ではない。

4.4 錆の性状

錆の外観は高山、帯広、輪島に暴露した鋼試片では、他地区に比べてやや緻密であった。試片の錆を採取し、分析できる程度の量があるものは X 線回折および化学分析を行なった。X 線回折結果の一部を図 9 に示す。この結果からみると錆の成分は $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ と $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ であり、暴露地および鋼種によって回折線の強度に差がある。また化学分析では少量の SO_4 、 Cl 等が検出された。

5. 暴露時期を変えた 6 ヶ月の試験結果

暴露時期の相違によって腐食量が変わる状況を知るために、前述の春から始めた暴露に引き続いて数種の代表的鋼について同様の試験を 6 ヶ月遅れて秋から始めた。

夏期を含む 6 ヶ月と冬期を含む 6 ヶ月の腐食量を比較して図 10 に示す。

輪島および帯広では夏と冬の違いによる差は少ない。しかしその他の地域では冬の腐食量が少ない傾向が認められる。

6. 総 括

今回の 1 年間の暴露試験の結果から各金属素材の全国

図 10 金属素材別の地区別腐食量比較図 (6 ヶ月)

表 4 金属素材類の全国平均侵食度

種 別	平均侵食度 (mm/yr)	備 考
1 キル ド 鋼 (黒皮付)	0.055	*高山を除く
2 キル ド 鋼 (研 削)	0.056	
3 キル ム ド 鋼 (黒皮付)	0.053	
4 リ ム ド 鋼 (研 削)	0.052	
5 全 銅 転 炉 鋼	0.043	
6 50 キロ 高 張 力 鋼	0.055	
7 60 キロ 高 張 力 鋼 (A)	0.048	
8 60 キロ 高 張 力 鋼 (B)	0.053	
9 80 キロ 高 張 力 鋼	0.043	
13 SUS 21	0.0009	
14 SUS 27	0.0001	
15 SUS 32	0.0002	
16 SUS 35	0.0001	
17 鋳 鉄 (FC 20) (鋳肌付)	0.061	*枕崎を除く *高山を除く *高山を除く
18 ノジュ ラー 鋳 鉄 (#)	0.048	
19 ミー ナイト 鋳 鉄 (#)	0.056	
20 鋳 鋼 (SC 49) (#)	0.064	
21 Al 合 金 (52 S)	0.001	*輪島を除く
W 1 キル ド 鋼 (溶接 研削)	0.059	
W 2 リ ム ド 鋼	0.052	
W 3 全 銅 転 炉 鋼	0.044	
W 4 50 キロ 高 張 力 鋼	0.056	
W 5 60 キロ 高 張 力 鋼 (イ)	0.053	
W 6 60 キロ 高 張 力 鋼 (ロ)	0.054	
W 7 80 キロ 高 張 力 鋼	0.047	
W 8 鋳 鋼 (SC 49) (#)	0.045	

* 前後の関係から異常と思われる測定値を除いて平均値を求めた。

平均侵食度を求めると、炭素鋼 0.054 mm/yr, 含銅鋼 0.043 mm/yr, 高張力鋼類 0.050 mm/yr, ステンレス鋼類 0.0003 mm/yr, 鋳鉄類 0.055 mm/yr, 鋳鋼 0.064

mm/yr, Al 合金 0.001 mm/yr となる。

これを暴露地域別にみると、ステンレス鋼, Al 合金を除いたほかは工業地域で最も腐食量が多く、海岸地域の3~4倍, また内陸地域の5~6倍程度である。このように工業地域の腐食の大きいのは亜硫酸ガス, 海塩粒子等による大気汚染の影響と考えられる。

暴露開始時期を6ヵ月遅らせたときは、工業地域と海岸地域では腐食量が減り、同じく6ヵ月間で夏を間にはさんだものに比べると、工業地域では1/2~2/3, 海岸地域では約1/2となった。内陸地域ではこのような差はみられなかった。これはこの期間中に工業地域, 海岸地域の亜硫酸ガス, 海塩粒子量が減少したと気象要素の変動等によるものと考えられる。

これらの結果から気象要素と腐食量との間には相関性のあることがほぼ明らかになったので、今後各地区の気象要素および腐食量等の研究資料の充実をまっとうな詳細な解析を行なう予定である。

最後に本研究の実施に当り多大のご援助とご協力を賜っている関係測候所の各位に対し深く感謝の意を表する次第であります。(昭和37年9月21日受理)

各種金属材料および防錆被覆の大気腐食に関する研究 (第1報)

(その 3) 金属被覆類暴露1ヵ年の結果

尾間一彦* 菅野照造* 植木 質* 平井陽一*

Studies on the Atmospheric Corrosion of Metals and Anti-Corrosive Coatings in Japan (1st Report)

Part 3. Results of Weathering Test Conducted on Metallic Coatings for One Year

Kazuhiko Oma, Teruzô Sugano, Tadashi Ueki and Yôichi Hirai

Under the programme of the study group, the weathering test has been carried out and the results on the corrosion of the metallic coatings for one year at the above mentioned places are reported in this paper. Among the various test pieces the effective metallic coatings were as follows:

- 1) Electroplatings...Zn "Unichrome" applied
- 2) Hot dippings.....Zn, Al

3) MetallizingsZn, Al, Cd, Sn, Pb

The results were found to be of very much the same tendency as that of six months ago; namely some slight changes had been taking place through past year. Remarkable defects were observed at the industrial and seaside districts but very rare ones at the inland.

This weathering test was projected to be continued for five years.

* 陸上鉄骨構造物防食研究会研究員 石川島播磨重工業(株)技術研究所化学研究室 (東京都江東区深川豊洲 2-1)