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4報)

有機被覆類暴露2ヵ年の結果

大谷 信吉* 伊丹 慶輔* 牧 島 博* 高瀬 勝次*

Studies on the Atmospheric Corrosion of Metals and Anti-Corrosive Coatings in Japan (4th Report)

Results of Weathering Test Conducted on Protective Coatings for Two Years

Nobuyoshi Ôtani, Keisuke Itami, Hiroshi Makishima and Katsuji Takase

Weathering test on protective coatings has been carried out for two years (since April, 1960) at the even sites as mentioned in the 1st report.

The rust-inhibitive pigments examined were: red lead, lead suboxide, lead cyanamide, calcium plumbate, basic lead chromate, metallic lead, zinc chromate, zinc oxide, zinc powder, aluminum powder and iron oxide.

The results showed that steel specimens coated

with paints containing red lead, lead suboxide, basic lead chromate and zinc chromate are protected more effectively than those coated with the paint prepared from lead cyanamide, zinc oxide, zinc powder and iron oxide.

The most severe attack was observed in the seashore (Omaezaki) and subtropical districts (Makurazaki).

1. 緒 言

塗装した陸上鉄骨構造物は長期間大気中に暴露すると塗膜は次第に劣化し消耗することは周知の事実である。暴露する環境によって塗膜の劣化状況は異なるものであり、また定量的にそれらの相関関係を得ることは非常に困難な問題の一つである。陸上鉄骨構造物防食研究会はこれら一連の問題を解明するため昭和35年4月、全国7ヵ所に5ヵ年計画で塗料試験片約3,800枚を暴露したが、その2ヵ年目の結果がまとまったので報告する。なお試験片の種類および調製法は第1報¹⁾に示したとおりである。

2. 外観観察および塗膜物性値測定結果

2-1 外観観察結果

昭和35年4～5月から昭和37年4～5月までの2ヵ年間、全国7ヵ所に暴露した有機被覆類の外観観察を表1に示す基準によって評価したが、その結果の一部を表2に示した。

2-2 塗膜物性値測定結果

全試験片について、第1報に示した方法に従い、光沢、硬度、ゴバン目およびエリクセン値の測定を行なった。その結果の一部を表3～5に示した。

3. 総 括

外観観察および塗膜物性値より暴露地域別、塗料種類別にまとめると次のようになる。

3-1 地域別塗膜劣化状況

3-1-1 塗膜表面の劣化

表 1 有機被覆類各種観察判定基準

R.N.	白亜化の程度	上塗り消耗	塗膜面汚れ度	錆発生度	ふくれ発生度	ゴバン目残存数
5	—	—	—	発錆のないもの	ふくれ発生のないもの	100～90個
4	変化のないもの	変化のないもの	変化のないもの	10%以下の発錆	10%以下のふくれ	89～60個
3	軽程度のもの	軽程度のもの	軽程度のもの	11～30%以下の発錆	11～30%のふくれ	59～40個
2	中程度のもの	中程度のもの	中程度のもの	31～70%以下の発錆	31～70%のふくれ	39～20個
1	著しいもの	著しいもの	著しいもの	71～100%以下の発錆	71～100%のふくれ	19～0個

注: 1) 上表以外の欠陥、たとえば剥れ、割れ (チェックング、クラッキング) などは ASTM 法により備考欄に記入した。

2) 錆およびふくれ発生がきわめて軽度のものは錆およびふくれの個数その径をそれぞれの欄に記入し R.N. は5と評価した。

3) R.N. 4以下のものの錆およびふくれの径は備考欄に記入した。

* 陸上鉄骨構造物防食研究会研究員 大日本塗料(株) (横浜市鶴見区大東町12の1)

表2 外観観察結果(市販防錆塗料)

種 類	暴 露 地 区	外 観			錆およびふくれ				備 考
		白亜化	塗膜面の 汚れ	上塗り 消耗	中 央 部		周 囲		
					錆発生度	ふ くれ 発 生 度	錆 発生度	ふくれ 発生度	
(3)- 1 亜 止 酸 化 鉛 錆 止 (JIS K 5623 1種)	御 前 崎	1	3	4	5	5	3	4	
	枕 崎	1	3	4	5	5	3	4	
	高 山	2	3	4	5	5	4	5	
	輪 島	2	4	4	5	5	5	5	
	帯 広	1	4	4	5	5	5	5	
	川 崎(日本鋼管)	1	1	4	5	5	4	4	
	東 京(石川島)	1	2	4	5	5	4	4	
	東京(石川島)(下)	3	1	—	5	5	4	4	
(3)- 2 シ鉛ン フ錆止 ナベ ミドイ (JIS K 5625 1種)	御 前 崎	1	2	4	2*	2**	2	2	{ *φ0.1~0.2mm の点錆 **φ0.2~0.5mm のふくれ { *φ0.1~0.2mm の点錆 **φ0.1~0.4mm のふくれ *φ0.1~0.2mm の点錆
	枕 崎	1	3	4	3*	4**	2	3	
	高 山	1	3	4	4*	5	4	5	
	輪 島	1	4	4	5	5	4	4	
	帯 広	1	4	4	5	5	4	5	
	川 崎(日本鋼管)	1	1	4	5	5	4	4	
	東 京(石川島)	1	3	4	(φ0.25mm 1個)	5	5	5	
	東京(石川島)(下)	3	1	—	5	5	5	4	
(3)- 3 塩ムベ 基酸イ 性鉛錆 止 クロ (JIS K 5624 1種)	御 前 崎	3	3	1	5	5	1	5	上塗り消耗著しい チェッキング6 上塗り消耗著しい チェッキング6 上塗り消耗著しい チェッキング6 上塗り消耗著しい チェッキング6 上塗り消耗著しい チェッキング6
	枕 崎	1	4	1	5	5	3	5	
	高 山	2	4	1	5	5	4	5	
	輪 島	3	4	1	5	5	4	5	
	帯 広	2	3	1	5	5	4	5	
	川 崎(日本鋼管)	3	1	4	5	5	4	4	
	東 京(石川島)	3	1	3	5	5	4	4	
	東京(石川島)(広)	2	2	—	5	5	4	5	
(3)- 4 亜鉛末 錆止ベ イソ (JIS K 5626 1種)	御 前 崎	4	4	4	3*	5	3	4	φ 0.1~0.2 mm 白錆 { *φ0.1~0.5 mm の白錆 **φ0.1~0.5 mm のふくれ *φ0.1~0.5 mm の白錆 **φ0.1~0.5 mm のふくれ
	枕 崎	4	4	4	5 (φ 0.1 mm 1個) φ 0.2 mm 2個	5	3	5	
	高 山	4	3	4	5	5	4	5	
	輪 島	4	4	4	5 (φ 0.1~ 0.2 mm 4個)	5	4	5	
	帯 広	4	2	4	5	5	4	5	
	川 崎(日本鋼管)	4	1	4	1*	1**	1	1	
	東 京(石川島)	4	1	4	1*	4**	1	2	
	東京(石川島)(下)	4	1	—	5	5	2	3	
(3)- 5 亜ベ 鉛イ 末錆 止 (珪 酸ダ ン型)	御 前 崎	4	4	4	4*	5	5	5	*φ0.2~0.4 mm の白錆 *φ0.3~0.4 mm の白錆 *φ0.2~0.4 mm の白錆 *φ0.2~0.4 mm の白錆 *φ0.2~0.4 mm の白錆
	枕 崎	4	4	4	4*	5	5	5	
	高 山	4	4	4	3*	5	5	5	
	輪 島	4	4	4	4*	5	5	5	
	帯 広	4	2	4	3*	5	5	5	
	川 崎(日本鋼管)	4	1	4	5	5	4	5	
	東 京(石川島)	3	1	4	5	5	5	5	
	東京(石川島)(下)	3	1	—	5	5	5	5	
(3)- 6 亜ベ 鉛イ 末錆 止 (ボ レン ス型 チ)	御 前 崎	3	4	4	2*	5	3	4	{ *φ0.2~0.4 mm の点錆 φ0.5~0.8 mm の白錆 4 φ0.2~0.4 mm の白錆 4 φ0.2~0.4 mm の白錆 3 *φ0.2~0.4 mm のふくれ φ0.2~0.4 mm の白錆 4 φ0.2~0.4 mm の白錆 4 { *全面錆発生 **ふくれ著しい φ0.2~0.3 mm の白錆 φ0.2~0.3 mm の白錆
	枕 崎	3	4	4	5	5	4	5	
	高 山	4	4	4	5	5	5	5	
	輪 島	4	4	4	5	1*	4	1	
	帯 広	4	3	4	5	5	5	5	
	川 崎(日本鋼管)	4	1	4	1*	1**	1	1	
	東 京(石川島)	4	1	4	5	5	3	1	
	東京(石川島)(下)	4	1	—	5	5	4	1	

種 類	暴 露 地 区	外 観			錆およびふくれ				備 考
		白亜化	塗膜面 の汚れ	上塗り 消耗	中 央 部		周 囲		
					錆発生度	ふ くれ 発 生 度	錆 発生度	ふくれ 発生度	
(3)-7 錆イ 止ン ベト (H) J I S K 5621 (1種)	御 前 崎	1	4	1	4*	5	4	5	チェックング2 φ0.5mm の点錆
	枕 崎	1	4	1	5	5	4	5	チェックング2
	高 山	1	4	1	5	5	4	5	チェックング2
	輪 島	1	4	1	5	5	4	5	チェックング2
	帯 広	1	3	2	5	5	4	5	チェックング2
	川 崎(日本鋼管)	1	1	2	5	5	2	4	チェックング2
	東 京(石川島)	1	1	2	4*	4**	2	4	チェックング2
	東京(石川島)(下)	1	1	—	5	5	3	4	{ *φ0.2~0.4 の点錆 **φ0.2~0.4mm のふくれ
(3)-8 錆イ 止ン ベト (S) J I S K 5621 (1種)	御 前 崎	1	3	4	1*	4**	1	1	{ *φ0.1mm の点錆 **φ0.2~0.3mm のふくれ
	枕 崎	1	3	4	4*	4**	3	4	{ *φ0.1mm の点錆 **φ0.2~0.3mm のふくれ
	高 山	2	2	4	4*	5	3	5	*φ0.1mm の点錆
	輪 島	3	3	4	5	5	3	4	
	帯 広	1	3	4	5	5	5	5	
	川 崎(日本鋼管)	1	1	4	5	5	4	4	
	東 京(石川島)	1	2	4	5	5	4	4	
	東京(石川島)(下)	1	2	—	5	5	4	4	
(3)-9 錆イ 止ン ベト (D) J I S K 5621 (1種)	御 前 崎	1	4	2	5	5	1	4	
	枕 崎	1	4	2	5	5	1	5	
	高 山	2	3	2	5	5	4	5	
	輪 島	3	4	2	5	5	4	5	
	帯 広	1	4	3	5	5	5	5	
	川 崎(日本鋼管)	1	1	2	5	5	2	4	
	東 京(石川島)	1	2	2	5	5	3	4	
	東京(石川島)(下)	2	2	—	5	4*	4	3	*φ0.3mm のふくれ
(3)-10 錆イ 止ン ベト (N) J I S K 5621 (1種)	御 前 崎	1	2	4	2*	2**	2	3	{ *φ0.1mm の点錆 **φ0.2~0.4mm のふくれ
	枕 崎	1	4	4	4*	4**	3	4	{ *φ0.1mm の点錆 **φ0.2~0.3mm のふくれ
	高 山	1	3	4	5 (φ0.1mm 3個)	5	4	5	
	輪 島	3	4	4	5	5	4	4	
	帯 広	1	4	4	5	5	5	5	
	川 崎(日本鋼管)	1	1	4	5	5	3	5	
	東 京(石川島)	1	2	4	5	5	4	5	
	東京(石川島)(下)	2	2	—	5	5	3	3	
3-(11) コボ ー ル シ タ 樹 脂 系 エ	御 前 崎	1	4	4	5	5	5	4	
	枕 崎	1	4	4	5	5	5	5	
	高 山	1	4	4	5	5	5	5	
	輪 島	1	4	4	5	5	5	5	
	帯 広	1	4	4	5	5	5	5	
	川 崎(日本鋼管)	4	1	4	5	5	5	5	
	東 京(石川島)	4	1	4	5	5	5	5	
	東京(石川島)(下)	—	—	—	—	—	—	—	
(3)-12 特ニ 殊ル 塩樹 化脂 ビ系	御 前 崎	4	4	4	5	5	4	5	チェックング2
	枕 崎	4	4	4	5	5	4	5	チェックング8
	高 山	4	4	4	5	5	4	5	チェックング2
	輪 島	4	4	4	5	5	4	5	チェックング2
	帯 広	4	4	4	5	5	4	5	チェックング6
	川 崎(日本鋼管)	4	1	4	5	5	4	5	
	東 京(石川島)	4	1	4	5	5	5	5	
	東京(石川島)(下)	4	2	—	5	5	4	5	

表 3 光 沢 測 定 結 果

川 崎 東 京										川 崎 東 京											
試験片 No.										試験片 No.											
標準板 御前崎 枕 崎 高 山 輪 島 帯 広										標準板 御前崎 枕 崎 高 山 輪 島 帯 広											
日本鋼管 (石川島)										日本鋼管 (石川島)											
平均										平均											
(1)-	1	72.2	1.8	3.7	3.7	3.3	2.6	1.7	2.7	2.8	(2)-	6	59.2	1.4	2.0	1.7	1.9	1.7	1.1	1.6	1.6
	2	69.4	1.5	1.8	1.7	2.2	1.9	1.0	1.2	1.6		7	58.7	1.5	2.0	1.8	2.0	1.7	1.1	1.6	1.7
	3	62.1	21.6	24.4	20.2	26.5	11.8	0.5	1.4	1.5		8	70.0	1.5	2.0	1.6	1.9	1.8	1.1	1.7	1.7
	4	65.1	1.4	2.6	1.8	3.3	2.2	1.3	1.6	2.0		9	55.7	1.4	1.9	1.6	1.8	2.0	1.1	1.7	1.6
	5	42.5	2.1	3.8	3.5	11.8	3.7	1.7	1.8	4.1		10	52.4	1.4	2.0	1.5	1.9	2.0	1.1	1.7	1.7
	6	30.3	1.6	3.2	2.2	4.9	2.8	1.3	1.8	2.5	(3)-	1	27.1	1.0	1.5	1.3	1.0	1.4	0.9	1.4	1.2
	7	51.7	2.1	4.9	3.3	13.4	3.4	1.3	1.8	4.3		2	27.7	1.2	2.0	1.6	2.8	1.9	1.3	1.6	1.3
	8	64.8	1.6	2.1	2.8	2.2	6.8	2.3	2.1	2.8		3	44.4	1.5	1.7	1.6	1.7	1.7	0.5	1.0	1.4
	9	67.9	1.4	2.3	2.2	3.2	2.3	1.8	1.8	2.1		4	1.5	1.0	1.3	1.2	1.1	1.0	0.5	1.0	1.0
	10	83.6	1.6	2.3	1.9	4.0	2.4	1.2	1.9	2.8		5	1.6	0.8	1.2	1.2	1.0	1.1	0.5	0.9	0.9
	11	64.6	8.6	10.1	13.7	8.2	4.5	1.6	2.4	7.0		6	1.7	0.5	1.3	1.3	1.3	1.1	0	1.0	0.9
	12	33.7	1.3	2.4	2.0	2.8	2.3	1.0	1.5	1.9		7	22.7	1.0	1.4	1.5	1.2	1.6	0.8	1.0	1.2
	13	12.9	1.7	1.9	1.5	1.9	1.6	0.5	1.2	1.5		8	29.9	1.3	1.9	1.6	1.8	2.1	1.1	1.5	1.6
	14	85.9	1.5	2.0	2.0	3.3	2.0	1.3	1.8	1.9		9	13.8	1.0	1.5	1.4	1.3	1.8	1.0	1.5	1.4
	15	88.9	—	—	—	—	—	—	—	—		10	14.2	1.3	2.5	1.8	2.7	2.5	1.0	1.5	1.9
	16	82.6	8.2	6.5	38.5	29.5	3.9	0.9	3.1	12.9	11	43.7	5.5	9.8	10.5	9.8	8.3	1.0	1.3	6.7	
	17	55.8	1.6	3.0	3.2	6.6	2.4	1.6	2.0	2.9	12	37.8	1.5	1.0	1.1	1.6	1.0	0	0.7	0.98	
(3)-	1	54.4	1.4	2.0	1.6	1.8	1.9	1.2	1.5	1.6	(4)*	49.4	1.8	2.0	1.6	1.6	1.7	1.2	1.7	1.7	
	2	29.5	1.3	2.0	1.6	1.9	2.2	1.1	1.6	1.7											
	3	42.1	1.4	2.0	1.9	1.9	2.0	1.1	1.5	1.7											
	4	65.6	1.4	2.0	1.8	2.0	2.3	1.1	1.7	1.8											
	5	56.4	1.5	2.1	1.8	2.0	2.1	1.1	1.5	1.7											

* (4) 系列は全試料とも同一上塗り塗料を用いたので、10 種ランダムに抜きとり、その平均値を求めた。

表 4 スオードロッカー硬度測定結果

川崎東京 日本(石川) 鋼管(島)										川崎東京 日本(石川) 鋼管(島)										平均																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
試験片 No.	標準板	御前崎	枕崎	崎	高	山	輪	島	帯	広	試験片 No.	標準板	御前崎	枕崎	崎	高	山	輪	島	帯	広	試験片 No.	標準板	御前崎	枕崎	崎	高	山	輪	島	帯	広	平均																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
(1)-	1	18	10	18	10	24	14	6	12	13	(4)-1-20%(a)	8	12	12	10	20	10	10	12	6	10	50%(a) 75%(a) 85%(a) 20%(b) 70%(b) 40%(c) 2- 5%(a) 10%(a) 3- (a) (b) (c) 4- (a) (b) (c) 5- (a) (b) (c) 6- (a) (b) (c) 7-20%(a) 50%(a) 75%(a) 20%(b) 75%(b) 8- 5%(a) 10%(a) 5%(b) 10%(b) 9-15%(b) 10- (b) 11- 2%(b) 12- 3%(b) 13- (b) 14- 5%(b) 15- (b) 16- (b)	10	12	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12

表 5 エ リ ク セ ン 値

試験片 No.	御前崎	枕崎	高山	輪島	帯広	川崎 (日本鋼管)	東京 (石川島)	平均	試験片 No.	御前崎	枕崎	高山	輪島	帯広	川崎 (日本鋼管)	東京 (石川島)	平均	東京 (石川島) (下)		
(1)-	1	3.14	3.30	4.39	6.06	6.47	7.97	7.73	5.19	(1)-	10	1.07	1.19	1.22	1.65	1.89	0.84	2.85	1.53	3.52
	2	1.15	1.37	1.09	1.11	1.64	1.70	8.52	2.35		11	0.66	0.74	0.49	0.71	0.62	0.75	0.78	0.68	2.70
	3	6.62	6.49	4.75	7.13	6.12	3.80	7.03	5.99		12	11.72	11.48	11.27	11.48	12.25	11.72	11.49	11.63	6.00
	4	0.55	0.87	0.64	1.16	0.69	1.11	0.97	0.86		13	1.00	0.90	0.99	0.63	1.40	0.89	1.22	1.00	1.22
	5	0.66	1.09	1.14	1.35	1.03	3.48	1.46	1.47		14	1.16	1.07	1.59	1.14	1.74	2.63	2.13	1.64	3.95
	6	0.49	0.33	0.55	0.42	0.45	1.22	0.94	0.63		15	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	7	0.37	0.41	0.42	0.41	0.38	0.62	0.48	0.44		16	0.73	0.86	1.23	3.12	1.20	0.99	1.00	1.30	5.28
	8	0.65	0.61	0.94	0.57	0.88	2.62	1.31	1.08		17	0.62	0.78	0.50	1.00	0.68	1.20	0.88	0.87	3.62
	9	0.24	0.42	0.36	0.43	0.49	0.58	0.45	0.42											

試験片 No.	御前崎	枕崎	高山	輪島	帯広	川崎 (日本鋼管)	東京 (石川島)	平均 (石川島)	試験片 No.	御前崎	枕崎	高山	輪島	帯広	川崎 (日本鋼管)	東京 (石川島)	平均 (石川島)
(a)-	1	0.73	1.18	1.70	1.24	1.87	4.79	2.53	2.00	3.32	4.57	4.59	3.58	4.73	3.85	4.82	4.40
2	0.83	0.77	0.73	0.64	0.57	0.57	0.65	0.68	2.09	0.60	1.69	2.80	2.83	3.45	4.58	—	2.90
3	0.72	0.61	1.07	0.99	1.60	2.11	1.69	1.25	3.12	2.5%	1.21	1.21	1.88	2.07	2.74	1.77	1.75
4	1.21	0.95	1.85	1.25	2.49	2.10	1.97	1.69	4.06	10%	1.08	0.84	1.37	1.75	1.70	1.06	1.36
5	2.20	3.38	2.89	2.42	2.91	6.00	2.83	3.23	6.18	(a)	1.50	1.77	2.16	2.89	3.90	3.78	3.28
6	2.44	1.85	3.49	2.36	2.89	5.59	3.19	3.12	3.62	(b)	2.09	2.55	2.43	2.26	2.87	5.25	5.03
7	2.51	2.87	2.49	2.86	3.54	4.80	4.08	3.31	5.33	(c)	2.29	2.68	5.93	6.66	7.03	8.37	6.87
8	2.19	2.41	2.54	2.59	3.37	4.96	1.39	2.78	5.02	(a)	2.73	2.82	4.64	3.30	6.06	7.29	7.02
9	1.25	1.39	1.60	1.78	2.02	2.47	3.29	1.97	3.52	(b)	5.00	5.51	7.26	3.16	7.99	7.97	6.89
10	2.28	2.05	2.11	2.16	3.08	3.48	3.27	2.63	4.95	(c)	2.66	4.29	5.07	4.26	3.47	5.90	5.44
(s)-	1	1.72	2.36	2.22	2.10	3.04	4.11	2.14	2.53	5.34	2.22	4.54	4.49	5.08	5.02	6.74	6.62
2	0.84	1.31	1.34	1.15	1.17	2.18	1.45	1.35	3.52	7-20%	1.66	1.14	1.58	1.42	2.53	2.45	1.69
3	1.70	1.59	1.32	1.14	0.74	0.70	1.05	1.18	3.86	(a)	1.52	1.45	1.35	1.20	1.91	1.72	1.65
4	1.31	2.20	1.02	1.78	2.08	1.21	1.70	1.61	2.49	50%	1.44	1.39	1.71	1.94	1.30	1.45	1.09
5	0.56	0.51	0.54	1.14	0.66	1.01	0.88	0.76	0.74	75%	1.99	3.14	3.48	4.00	4.01	4.83	2.88
6	1.50	0.49	1.00	0.40	0.99	0.01	0.87	0.81	0.72	20%	0.91	0.94	2.42	2.70	3.68	0.00	0.76
7	3.04	4.43	3.30	5.99	3.43	3.72	3.16	3.86	4.09	8-5%	1.47	1.50	1.35	1.17	1.62	2.19	1.57
8	1.69	1.51	1.60	1.68	2.13	2.04	1.62	1.75	4.52	10%	1.54	1.31	1.66	1.54	1.24	1.94	1.36
9	1.18	1.60	1.53	1.50	1.18	1.47	1.20	1.28	5.99	(a)	1.67	1.11	1.62	1.56	2.23	2.65	1.58
10	1.15	2.59	2.43	3.00	2.75	2.70	3.02	2.53	4.97	5%	2.54	2.56	2.05	3.00	3.40	6.87	4.92
11	4.95	4.85	3.03	4.90	5.51	4.50	6.81	4.98	—	10%	2.53	3.50	3.85	2.46	5.40	5.34	4.36
3ヵ年結果	6.43	3.04	7.34	6.81	8.72	7.84	6.55	—	—	15%	3.60	2.65	3.40	3.50	4.17	6.17	3.73
12	10.00	8.42	11.18	11.37	6.59	7.05	7.00	8.80	6.77	(b)	1.84	1.72	1.39	1.95	4.02	4.97	4.43
(4)-1-20%	1.73	1.95	2.58	2.89	4.58	4.93	3.39	3.15	3.35	11-2%	1.86	2.08	2.04	1.85	2.52	2.96	2.90
50%	0.97	0.83	1.19	1.26	2.35	2.08	1.78	1.52	1.75	3%	1.39	1.73	1.50	1.19	2.70	6.43	2.07
75%	1.03	0.84	1.67	1.40	4.27	2.16	2.01	1.92	2.01	(b)	1.54	1.89	2.12	2.04	1.52	4.97	3.19
85%	1.08	0.95	2.15	1.35	2.48	1.36	1.24	1.51	5.23	13-	1.54	1.57	2.09	1.13	2.32	3.05	2.81
20%	2.18	3.18	4.12	1.63	2.40	4.50	2.92	2.97	7.09	14-5%	1.61	1.70	2.06	1.86	2.32	4.09	1.85
70%	3.05	1.97	3.47	3.05	4.01	4.79	5.45	3.54	4.91	15%	1.38	1.65	1.58	1.56	2.12	3.07	1.61
40%	5.00	6.41	8.74	1.16	7.98	6.84	6.97	6.15	4.45	(b)	1.65	1.58	1.42	1.68	1.79	2.25	1.72
75%(a)(下)	4.00	3.02	3.38	5.36	6.59	2.85	—	4.03	3.39	16-	1.71	1.63	2.08	2.03	2.14	4.42	2.62

注) 表中(a)は油性系, (b)はフタル酸樹脂系, (c)は塩化ビニル樹脂系を展色剤として用いよことを示す。以下これに従う。

塗膜表面の劣化は、現象的にはまず光沢の減退として現われ、次に白亜化として観察されつゝには塗膜消耗にいたる。光沢の変化速度と白亜化進行速度とはほぼ同様な傾向を示していることは、図1に示す白亜化・平均光沢値との相関図からも明らかである（ただし工業地域において、光沢値が小さく白亜化現象とはむしろ反対の傾向にあるのは、塗膜面の汚れのためである）。

塗膜表面の劣化は、太平洋沿岸地域がきわめて著しく、内陸地域、日本海沿岸地域がこれに次いでいた。工

図1 暴露地区別白亜化、光沢相関図
(信頼度 99%, ●のみ)

業地域においては、塗膜面の汚れが特に著しかった。

3.1.2 錆およびふくれ発生状況

2ヵ年間暴露した試験片の錆およびふくれの発生傾向は、御前崎、枕崎地区のような太平洋沿岸地域および工業地域にみられ、日本海沿岸地域、内陸地域の順に少なくなっている。これらの関係を図2に示した。太平洋沿岸地域にて夏を越した6ヵ月間の暴露塗膜と内陸地域、日本海沿岸地域にて2~2.5ヵ年間暴露したものとはほぼ同程度の劣化傾向を示していることがわかる。このような暴露地域による発錆状況の相違は、塗膜表面の劣化と同様、気温、湿度、紫外線量などに影響されるが、海塩粒子などが促進効果として錆発生に大きく作用しているものと考えられる。

3.1.3 スオードロック硬度

表6に暴露地区別平均スオードロック硬度の経時変化

図2 暴露地域別錆発生進行状況図

表 6 暴露地区別平均スオードロッカー値

暴露 期間	御前崎	枕 崎	高 山	輪 島	帯 広	川 崎 (日本鋼管)	東 京 (右川島)
6ヵ月	19	16	17	19	17	12	19
1ヵ年	13	16	13	14	16	10	11
2ヵ年	13	15	10	15	14	7	11

図 3 暴露地区別白亜化値とスオードロッカー値との関係

を示した。塗料が塗膜を形成する過程では、溶剤の蒸発、酸化重合などの反応進行に伴い塗膜の硬さは増加するものであるが、塗膜硬度の測定にスオードロッカー法を適用すると、白亜化現象が交絡するため一般に当初の値より小さくなる。これらの関係は図3からも明らかである。このように塗膜硬度の真の値はスオードロッカー法では測定できないので別法を考える必要がある。しかし現在までのところ塗膜劣化の表示に別段不都合を生じな

図 4 暴露地域別平均ゴバン目 R. N. 進行状況図

いので以後この方法を適用して行く考えである。

3.1.4 ゴバン目試験

塗膜の素地への密着性は、塗膜の劣化あるいは老化に伴い一般に減少するものである。暴露2ヵ年の各塗膜密着性をゴバン目法に従い測定した結果を暴露地区別に平均値を求め、これを Rating Number により暴露期間との関係を示したのが図4である。これによると各暴露地域とも暴露期間による R. N. の移動が少なく密着効果に変化を示していないことがわかる。

3.1.5 エリクセン試験

塗膜の機械的性質を定量的に得る方法としてエリクセン値の測定がある。塗膜が老化すると一般にエリクセン値は減少するので塗膜老化状況を機械的性質面から考察する場合に多く用いられる。全暴露試験片について暴露地区別に平均エリクセン値を表7に示す。塗膜老化は、2ヵ年の暴露程度ではまだ硬脆化への傾向は認め難い。

表 7 暴露地区別平均エリクセン値 (mm)

暴露 期間	御前崎	枕 崎	高 山	輪 島	帯 広	川崎(日 本鋼管)	東 京 (右川島)
6ヵ月	2.01	1.94	2.30	2.28	2.84	3.49	2.82
1ヵ年	2.82	2.72	2.38	2.97	3.97	4.67	3.87
2ヵ年	2.01	2.15	2.49	2.40	2.90	3.52	3.03

3.2 種類別塗膜劣化状況

3.2.1 各種合成樹脂ワニスを使用した塗料

暴露2ヵ年目における種類別白亜化状況と光沢保持率を表8~9に示した。これらの表よりシリコンアルキッド樹脂系を展色剤として用いた塗膜の耐候性はすぐれており、暴露2ヵ年経過しても白亜化現象はほとんど認められず、平均24%の光沢保持率を示していた。メラミ

表 8 塗料種類別白亜化状況

白亜化 R. N.	塗 料 名
4	シリコンアルキッド樹脂系
3	中油アルキッド樹脂系、塩化ゴム系、メラミンアルキッド樹脂系
2	ハイソリッドラッカー系、塩ビ・酢ビ共重合樹脂系、メタアクリル酸エステル樹脂系
1	フェノール変態アルキッド樹脂系、スチレン化アルキッド樹脂系、ニトロセルロースラッカー系、エポキシ樹脂系(エステル型、常温硬化型、加熱型)、ウレタン樹脂系、油性系、塩化ビニリデン樹脂系、スチレンブタジエン共重合樹脂系

表 9 塗料種類別光沢保持率

光沢保持率(%)	塗 料 名
20以上	シリコンアルキッド樹脂系
20~10	メラミンアルキッド樹脂系、メタアクリル酸エステル樹脂系、塩化ゴム系
10以下	中油アルキッド樹脂系、フェノール変態アルキッド樹脂系、スチレン化アルキッド樹脂系、ニトロセルロースラッカー系、ハイソリッドラッカー系、塩ビ・酢ビ共重合樹脂系、エポキシ樹脂系(エステル型、常温硬化型、加熱型)、ウレタン樹脂系、塩化ビニリデン樹脂系、油性系、スチレンブタジエン共重合樹脂系

ンアルキッド樹脂系、塩化ゴム系、中油アルキッド樹脂系も比較的耐候性はすぐれていた。一方スチレン化アルキッド樹脂系、エポキシ樹脂系（エステル型、常温硬化型、加熱型）、ウレタン樹脂系、塩化ビニリデン樹脂系、油性系、スチレンブタジエン共重合樹脂系は白亜化、光沢減退ともに著しく、特に油性系のみ上塗り消耗にまで進行していた。中油アルキッド樹脂系は帯広、スチレン化アルキッド樹脂系は高山、塩ビ・酢ビ共重合樹脂系は枕崎、ウレタン樹脂系は川崎（日本鋼管）、塩化ビニリデン樹脂系は枕崎、川崎（日本鋼管）に、それぞれふくれが認められた。

3.2.2 国内外規格防錆塗料

長油アルキッド樹脂系塗料を上塗りに使用しているため、白亜化現象は全試験片に認められた。この系列における錆発生状況を表10にまとめて示した。

表 10 国内外規格防錆塗料錆発生状況

規格名	暴露地区
JIS-K-5621 1種	御前崎(4), 枕崎(4)
TT-P-86 a Type 3	御前崎(3), 枕崎(4)
TT-P-86 a Type 4	御前崎(4)

3.2.3 市販防錆塗料

亜鉛末系および特殊塩化ビニル樹脂系塗料を除いた全試験料とも白亜化現象は著しく認められた。錆発生状況は表11に示すとおりであり、シアナミド鉛錆止ペイントが太平洋沿岸地域において、亜鉛末系塗料3種とも太平洋沿岸地域および工業地域において発錆が著しかった。塩基性クロム酸鉛錆止ペイントは上塗り消耗著しくほとんど下塗りが露出しているほどであった。

表 11 市販防錆塗料種類別錆発生状況

市販防錆塗料名	暴露地区
シアナミド鉛錆止ペイント	御前崎(2), 枕崎(3), 高山(4)
亜鉛末錆止ペイント (JIS-K-5626 1種)	御前崎(3), 川崎(1), 東京(1)
亜鉛末錆止ペイント (珪酸ソーダ型)	御前崎(4), 枕崎(4), 高山(3), 輪島(4), 帯広(3)
亜鉛末錆止ペイント (ポリスチレン型)	御前崎(2), 川崎(1)
錆止ペイント (H) (JIS-K-5621 1種)	御前崎(4), 東京(4)
錆止ペイント (S) (JIS-K-5621 1種)	御前崎(1), 枕崎(4), 高山(4)
錆止ペイント (N) (JIS-K-5621 1種)	御前崎(2), 枕崎(4)

3.2.4 防錆顔料を変化させた塗料

1) 鉛系

鉛丹含有量を変化させた場合、鉛丹含有量の多い塗料ほどすぐれた防錆性を示していることが確認された。すなわち展色剤として油性系を用いた塗料において、交流抵抗値は鉛丹 20%, 50%, 75% の順に増大しており、電気容量は逆に減少している。これは鉛丹含有量の多い塗料ほどすぐれた防錆性を有していることを裏づけるも

(a) メラミンアルキッド樹脂系

(b) シリコンアルキッド樹脂系

(c) 中油アルキッド樹脂系

図 5 気温-塗膜光沢値との関係

のである。一方亜酸化鉛、塩基性クロム酸鉛、鉛酸カルシウムをそれぞれ 20% 使用した油性系およびフタル酸樹脂系については、塩基性クロム酸鉛（油性系）が御前

図6 日照時間と光沢値との関係図

崎で R.N. 4 程度の発錆が認められ、その他は現在までのところほとんど発錆は認められていない。

2) 亜鉛系

クロム酸亜鉛を 20% 使用した油性系塗料は、御前崎において R.N. 4 程度の発錆が認められたが、フタル酸樹脂系は Al 粉添加塗料も含め異常なかった。亜鉛末系塗料は太平洋沿岸地域および工業地域で錆、ふくれの発生が多かった。すなわち亜鉛末 20% (油性系) は御前崎、東京 (石川島) において錆とふくれが認められた。亜鉛末 50% (油性系) は御前崎で発錆が認められたのみであるが、亜鉛末 75% (油性系) は高山を除いた各暴露地区において錆、ふくれが多く認められこの傾向は海岸地域で特に著しかった。フタル酸樹脂系亜鉛末 20% は太平洋沿岸地域と工業地域にわずかの錆およびふくれが、認められたが、75% は内陸地域を除く各地域に錆、ふくれが著しく、太平洋沿岸地域と工業地域においてはほとんど全面にふくれを生じていた。亜鉛末 50% (油性系) への Al 粉添加効果は認められた。

3) 鉛-亜鉛系の組合せ、その他

鉛丹・ジンクロ系は現在までのところ著しい発錆は認められていない。鉛丹・ジンクトetraオキシクロメート系、Al 粉・亜鉛華系も同様であった。

4. 考 察

4.1 気象要素と塗膜表面劣化との関係

塗膜劣化過程と気象要素との関係を明らかにすべく、気温および日照時間の積算値と光沢との関係を図 5~6 に示した。塗膜劣化の第 1 段階である光沢の減退は、気温、日照時間ときわめて密接な関係にあることを明らかにすることができた。

4.2 気象要素と塗膜物性との関係

塗膜物性の変化に影響を及ぼすと考えられる気象要素と塗膜物性変化との相関性の解析を試みた結果、エリクセン値と気温、降水量、日照時間と正の関係にあることが確認された。反面、ゴバン目試験結果とはいまだ判然

図7 大気中の亜硫酸ガス量と塗膜の錆発生率との関係図

図 8 大気中の海塩粒子量と塗膜の錆発生率との相関図

とした相関性は認められていなかった。

4.3 気象要素と錆発生状況との関係

大気中の亜硫酸ガス量および海塩粒子量と塗膜の錆発生率との相関図を図 7~8 に示した。この結果によれば現在までの資料からは錆発生と判然とした関係にあるとは言いがたい。しかし現地調査をした際に見受けられる印象としては、海岸地域に位置するもの(特に御前崎地区)は、他の地域に比して発錆状態が顕著に見受けられることなどから、海塩粒子は亜硫酸ガスに比して塗膜劣化に大きな役割を示しているものと考えられる。

謝 辞

本研究の実施にあたり多大のご援助とご協力を賜わっている関係測候所員ならびに陸防研会会員各位に深く感謝の意を表します。(昭和 40 年 7 月 19 日受理)

文 献

- 1) 大谷, 伊丹, 牧島, 高瀬: 防蝕技術, 12, No. 2, 74 (1963)

学振防蝕防止第 97 委員会会議 (昭和 40 年 6 月 24 日) 講演概要

1) 各種流電陽極材の落下衝撃による引火性火花発生について

中川防蝕工業(株) 吉野久雄氏・武藤憲司氏

バラストタンク内陰極防食用流電陽極材が取付事故によりタンク内に充満した爆発性ガス中に落下、船底鋼板に撃突した場合、その衝撃摩擦火花によるガス爆発の有無について実験室的試験を行なった。

試験内容は爆発性ガスとして石油液化ガス(5.3%), 空気(94.7%)の混合ガスを使用し、さらに供試品(Mg合金, Al合金, Zn合金等)を落下させる槽内の鋼板には発錆鋼板(発錆した状態の方が爆発の危険性が大)を使用し、供試品と鋼板との衝撃摩擦によって生ずる火花発生による爆発の有無をそれぞれ 20 回繰り返し試験した結果、衝撃エネルギー 200 および 1,000 ft-lb において Mg 合金はそれぞれ 20 回中 11 回の爆発を生じたが、Al, Zn 合金はともに爆発は生じなかった。

2) 鉄薄膜による大気腐食の研究

気象研究所 神山恵三委員・根本 修氏

腐食量の経時変化を求めるために、純鉄を雲母片に真空蒸着した薄膜の腐食量の変化を調べた。

Roller (1956年), Lodge (1962年) ちも金属蒸着膜を用いて金属腐食雰囲気気の測定を行なったが、試料のバラツキが多かった。

この点を考慮して、各試料の蒸着速度、格子欠陥調

整、エージング等について十分に調べた試料を用いた。

これらの試料の電気抵抗の経時変化を、乾燥空気、100%空気、および SO₂ の各濃度の空气中でしらべた。

ここにおいても、蒸着後 3 分間の電圧上昇率が大きく蒸着時の抵抗値の小さいものほど、抵抗変化率の経時変化が少なかったことがわかった。

この薄膜試験片の抵抗変化率と JIS 規格による試験片の Rain Number との相関を求めたところ、かなり相関がよいことがわかった。

また、実際に大気汚染のはげしいところと、清浄空気のところとにおいて、比較測定を行なったところ、前者では抵抗変化率が大きく変化した。

また、電気抵抗値と光の透過率との関係を求めたところ、暴露前ではかなりよい相関があったが、暴露後にはかなり乱れていた。しかし、赤外吸収を求めたところ、これについてはかなりよい経時変化が求められた。

顕微鏡的観察によれば、かなり試験片ごとの変動があった。同じ程度の抵抗変化率の試験について比較すれば、たしかに大気汚染量の多い地域ほど膜の破損は大きかった。しかし、この膜は単に点食ばかりでなく、膜全体の厚さが減少することも考えられる。それは、暴露後、偏光色があらわれたことから推定される。