

**JPMA**



# 重防食塗料ガイドブック

## 第 4 版

社団法人**日本塗料工業会**  
技術委員会 重防食塗料連絡会

# 重防食塗料ガイドブック 目次

## 第1章 塗料概論

1. 塗料.....	1
1.1 塗料の定義 .....	1
1.2 塗料の組成 .....	1
1.3 塗料の硬化機構 .....	2
1.4 塗料の分類 .....	2
1.5 塗装の目的 .....	2
1.6 塗料の製造方法 .....	6
2. 鉄の腐食.....	8
2.1 湿食の発生機構 .....	8
2.2 黒皮（ミルスケール） .....	11
3. 各種防食方法.....	12
3.1 表面被覆.....	13
3.2 電気防食.....	14
3.3 鋼材の改質 .....	15
3.4 環境処理.....	16
4. 塗装による防食 .....	16
4.1 腐食と防食 .....	16
4.2 防食塗料とは.....	17
4.3 塗装による防食の特長 .....	19
4.4 塗装系塗膜の構成.....	20
4.5 各種塗装系の塗料.....	22

## 第2章 塗料各論

1. ショッププライマー .....	23
1.1 ショッププライマーに要求される性能.....	23
1.2 ショッププライマーの種類 .....	23
2. ジンクリッチペイント.....	27
2.1 ジンクリッチペイント用樹脂の種類と特徴.....	27
2.2 ジンクリッチペイントの特徴.....	28
2.3 ジンクリッチペイントの用途.....	30
2.4 施工上の注意事項.....	31
3. 油性系さび止めペイント .....	33
3.1 油性系さび止めペイント用樹脂の特徴.....	33
3.2 油性系さび止めペイント用さび止め顔料の特徴.....	34
3.3 油性系さび止めペイントの特徴と分類.....	35
3.4 油性系さび止めペイントの用途 .....	36

3.5	施工上の注意事項	36
4.	長油性フタル酸樹脂塗料	37
4.1	フタル酸樹脂の特徴	37
4.2	長油性フタル酸樹脂塗料の種類	38
4.3	長油性フタル酸樹脂塗料の特徴	39
4.4	長油性フタル酸樹脂塗料の用途	39
4.5	施工上の注意事項	39
5.	シリコンアルキド樹脂塗料	40
5.1	シリコンアルキド樹脂の特徴	40
5.2	シリコンアルキド樹脂塗料の特徴	40
5.3	シリコンアルキド樹脂塗料の用途	40
5.4	施工上の注意事項	41
6.	フェノール樹脂塗料	41
6.1	フェノール樹脂の特徴	41
6.2	フェノール樹脂塗料の特徴	41
6.3	フェノール樹脂塗料の用途	41
6.4	施工上の注意事項	42
7.	塩化ゴム系塗料	42
7.1	塩化ゴムの特徴	42
7.2	塩化ゴム系塗料の種類	43
7.3	塩化ゴム系塗料の特徴	43
7.4	塩化ゴム系塗料の用途	44
7.5	施工上の注意事項	44
8.	エポキシ樹脂塗料	45
8.1	エポキシ樹脂塗料の概要	45
8.2	2液形エポキシ樹脂塗料	45
8.3	エポキシ樹脂塗料の種類	47
9.	タールエポキシ樹脂塗料	51
9.1	タールエポキシ樹脂塗料の特徴	51
9.2	タールエポキシ樹脂塗料の主要原料	51
9.3	低温硬化形タールエポキシ樹脂塗料	52
9.4	無溶剤形タールエポキシ樹脂塗料	52
9.5	タールエポキシ樹脂塗料の今後	53
10.	雲母状酸化鉄塗料（MIO 塗料）	53
10.1	MIO 塗料の特徴	53
10.2	MIO 塗料の用途	54
11.	ビニル樹脂塗料	55
11.1	ビニル樹脂の特徴	55
11.2	ビニル樹脂塗料の用途	55

11.3	施工上の注意事項 .....	55
12.	ポリウレタン樹脂塗料 .....	56
12.1	ポリウレタン樹脂の特徴.....	56
12.2	ポリウレタン樹脂塗料の特徴.....	56
12.3	ポリウレタン樹脂塗料の品質.....	59
13.	ふっ素樹脂塗料 .....	60
13.1	ふっ素樹脂の特徴 .....	60
13.2	常温硬化形ふっ素樹脂塗料の特徴.....	60
13.3	施工上の注意事項 .....	62
14.	アクリルシリコン樹脂塗料.....	63
14.1	アクリルシリコン樹脂の特徴.....	63
14.2	アクリルシリコン樹脂塗料の特徴.....	65
14.3	アクリルシリコン樹脂塗料の用途.....	65
14.4	施工上の注意事項 .....	65
15.	耐熱塗料 .....	66
15.1	樹脂の特徴 .....	66
15.2	耐熱塗料の種類と特徴 .....	67
15.3	耐熱塗料の用途.....	67
15.4	施工上の注意事項 .....	68
16.	ガラスフレーク塗料 .....	69
16.1	ガラスフレーク塗料の概要 .....	69
16.2	ガラスフレーク塗料の特徴 .....	70
16.3	ガラスフレーク塗料の用途 .....	71
16.4	施工上の注意事項 .....	71
17.	防汚塗料 .....	71
17.1	防汚塗料の分類.....	71
17.2	防汚方法 .....	72
17.3	防汚塗料の用途.....	74
17.4	施工上の注意事項 .....	74
17.5	防汚塗料に関する海洋環境保全の取組み .....	74
18.	水中施工形被覆材 .....	75
18.1	水中施工形被覆材の使用区分と分類 .....	75
18.2	水中施工形被覆材の使用樹脂の特性 .....	75
18.3	付着機構.....	76
18.4	水中施工形被覆材の特徴.....	76
18.5	水中施工形被覆材の仕様および用途 .....	77
18.6	施工上の注意事項 .....	78
19.	水性塗料 .....	78
19.1	水性塗料用樹脂.....	78

19.2	水性塗料の特徴.....	79
19.3	水性塗料の種類.....	79
19.4	水性塗料の用途.....	80
19.5	施工上の注意事項.....	80
20.	高日射反射率塗料.....	81
20.1	高日射反射率塗料の特徴.....	81
20.2	高日射反射率塗料の種類.....	81
20.3	高日射反射率塗料の品質.....	82
20.4	施行上の注意事項.....	83

### 第3章 塗装仕様

	標準塗装仕様.....	84
1.	橋梁.....	86
1.1	鋼橋.....	86
1.2	コンクリート面.....	96
1.3	水管橋外面.....	98
2.	タンク.....	101
2.1	側板.....	101
2.2	屋根.....	102
2.3	内面.....	104
3.	水門.....	106
3.1	新設時の塗装仕様.....	106
3.2	塗替え時の塗装仕様.....	111
4.	鋼管類.....	113
4.1	水圧鉄管.....	113
4.2	海水導入管.....	113
4.3	水道鋼管.....	115
5.	鉄骨.....	115
5.1	建屋鉄骨.....	115
5.2	ビル鉄骨.....	118
6.	プラント.....	119
6.1	新設時の塗装仕様.....	119
6.2	塗替え時の塗装仕様.....	122
7.	鋼製煙突.....	124
8.	溶融亜鉛めっき鋼.....	126
9.	耐候性鋼.....	127
9.1	耐候性鋼の新設時の塗装仕様.....	127
9.2	劣化無塗装耐候性鋼の塗装による補修塗装仕様.....	128
9.3	今後の課題.....	128

10. 特殊部 .....	129
10.1 海上大気中～海水中まで適用可能な塗装仕様 .....	129
10.2 橋梁端部等の塗装仕様 .....	130
10.3 塗替え困難な場所用塗装仕様 .....	130
10.4 上フランジ上面（枕木下用）の塗装仕様 .....	131
11. 提案型塗装仕様の紹介 .....	131
11.1 省工程塗装仕様 .....	131
11.2 寒冷地用塗装仕様 .....	132
11.3 揮発性有機化合物（VOC）低減塗装仕様 .....	133

## 第4章 鋼橋塗装のLCC

1. 鋼橋塗装の特徴 .....	138
2. 鋼橋塗装の防食以外の機能 .....	138
2.1 景観機能 .....	138
2.2 その他の機能 .....	140
3. 鋼橋塗装の耐用年数 .....	140
3.1 一般塗装系のばく露耐用年数 .....	140
3.2 重防食塗装系の上塗塗膜の消耗速度 .....	141
3.3 無機ジンクリッチペイントの耐久性 .....	143
3.4 耐用年数 .....	147
4. 鋼橋塗装のLCC .....	148
4.1 鋼橋塗装LCC算出詳細 .....	148
4.2 塗装系の試算 .....	151
4.3 塗装系のLCC .....	155

## 第5章 技術データ

1. 各種塗料の塗膜性能 .....	159
2. 各種塗装系の期待耐用年数 .....	160
3. 環境別塗替周期 .....	161
4. 樹脂別・色別耐候性 .....	162
5. 屋外ばく露と促進試験との相関性 .....	163
5.1 屋外ばく露と促進試験との相関性（腐食性） .....	163
5.2 屋外ばく露と促進試験との相関性（光沢・色差） .....	164
5.3 樹脂類と屋外ばく露と促進試験の関係 .....	166
6. 塗膜厚と防錆性 .....	167
7. 素地調整の程度と塗膜の耐久性 .....	168
8. 各種塗料の海浜ばく露における衰耗速度 .....	169
9. 各種塗料間の塗り重ねの適否 .....	170
10. 気温と乾燥時間の関係 .....	172

11. グースアスファルト舗装時の各種塗料の耐熱性 .....	173
12. 理論塗付量の求め方 .....	174
13. 露点換算図 .....	175
14. エアレスチップサイズの対比表 .....	176
15. 塗料の安全・衛生 .....	178
15.1 有機溶剤中毒予防規則（有機則） .....	178
15.2 消防法 .....	182
15.3 その他の法令 .....	183
16. 弱溶剤形塗料の VOC .....	184

## 第6章 塗料の問題点

1. 無機ジンクリッチペイントの割れ .....	186
2. ジンクリッチペイントの発泡現象 .....	188
3. 無機ジンクリッチペイントにエポキシ樹脂塗料等を上塗りしたときのはがれ .....	190
4. ジンクリッチペイントの黒変現象 .....	192
5. 鉛系さび止めペイントの黒変現象 .....	193
6. エポキシ樹脂塗料の層間付着性不良 .....	194
7. 規定の塗装間隔を超過した場合の処置 .....	195
8. ブラッシング（白化） .....	196
9. タールエポキシ樹脂塗料の変色 .....	198
10. フタル酸樹脂塗料の暗所やけ .....	199
11. 亜鉛めっき面の塗膜剥離 .....	200
12. 塩分による付着障害 .....	201
13. 溶接部の塗装前の処理 .....	202
14. 色彩と隠ぺい力 .....	203
15. 黄、黄赤系中塗、上塗塗料の鉛・クロムフリー化 .....	204
16. エポキシ樹脂塗料使用時の安全衛生上の注意 .....	206
17. ポリウレタン樹脂塗料使用時の安全衛生上の注意 .....	208
18. コールタール系塗料使用時の安全衛生上の注意 .....	210

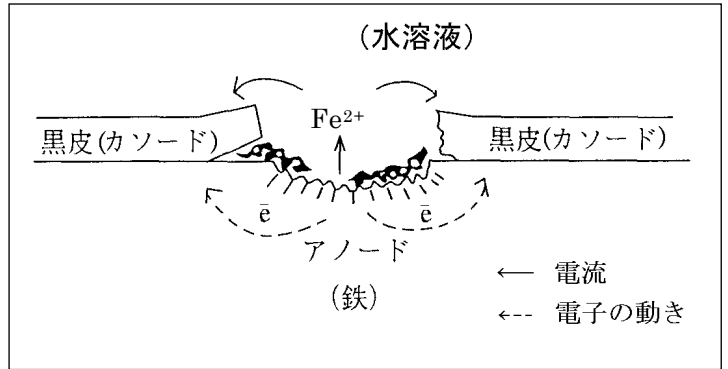
## 索引

### 塗料関連規格

図1.8は、黒皮が一部脱落した鋼面の腐食発生状況を示したものである。

当初は良好な防せい皮膜の性質を示す黒皮でも長期的にみた場合、塗膜下でのさび成長、塗膜脱落(剥がれ)要因となることから、長期的な防せい手段を講じるためには除去しておく必要がある。

特に下塗にジンクリッチペイントを使用する長期防せい塗装系では、黒皮が残っているとジンクリッチ塗膜と鋼面が直接接触しないので、亜鉛が流電陽極として作用せず、本来の防食効果が発現できない。



黒皮の除去は通常ブラスト処理によって行う。 図 1.8 黒皮の脱落した鋼面の赤さび発生状況

### 3. 各種防食方法

鉄の防食方法の主なものとしては、鉄表面を環境から遮断する表面被覆、電気化学的にさびを抑制する犠牲電極の適用や外部からの電位制御、環境条件を制御する腐食因子の除去や腐食抑制剤(インヒビター)の添加などがあり、また鋼材自体を改質して腐食を抑制する方法がある。

図1.9は各種この防食方法を示したものである。  
ここでは代表的な防食方法について解説する。

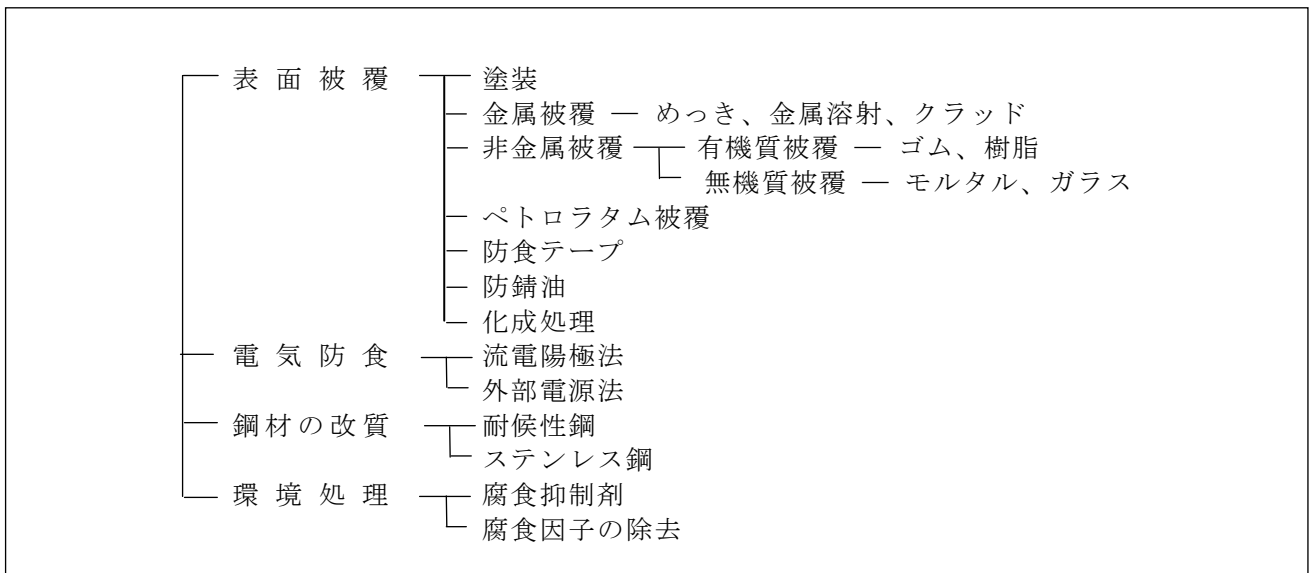


図 1.9 各種防食方法



## 8. エポキシ樹脂塗料

### 8.1 エポキシ樹脂塗料の概要

エポキシ樹脂塗料とは、エポキシ樹脂をビヒクルとして使用した塗料の総称であるが、一般的にはビスフェノールA形エポキシ樹脂を種々の硬化剤で硬化させる塗料が大半を占める。

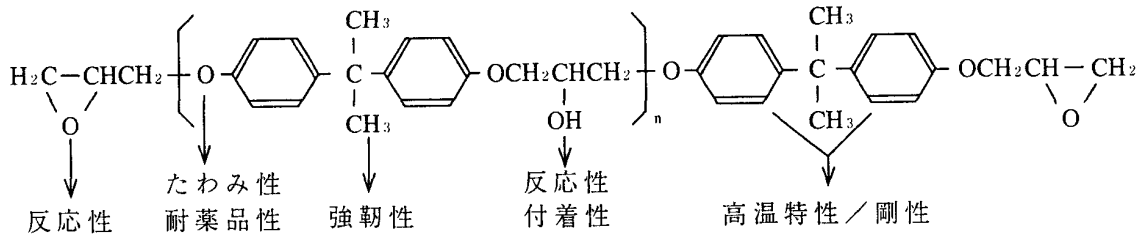


図2.9 ビスフェノールA形エポキシ樹脂の構造と構造上の特徴

エポキシ樹脂の種類はきわめて多いが、大別すると次のようになる。

- 1) 活性水素を持つ多価アミン、アミンアダクト、ポリアミドなどのアミン化合物を用いて、常温で硬化させる耐水性や耐薬品性に優れた塗料
- 2) エポキシ樹脂のエポキシ基及び水酸基を脂肪酸によりエステル化し、その脂肪酸中の不飽和結合を利用して酸化重合硬化させるか、アミノ樹脂を併用して焼付け乾燥させる塗料。一般にエポキシエステル樹脂塗料という。
- 3) フェノール樹脂、尿素樹脂、メラミン樹脂、酸無水物等と併用して作る耐薬品性、可撓性に優れた焼付け塗料

鋼構造物の防食に使用されるエポキシ樹脂塗料は、ほとんどが1)のアミン化合物を使用して常温で硬化させる2液形であるが、一部2)のエポキシエステル樹脂の酸化重合による常温乾燥形の1液形塗料も使用される。

ここではこれら鋼構造物の防食に使用されるエポキシ樹脂塗料について解説する。

### 8.2 2液形エポキシ樹脂塗料

使用するエポキシ樹脂は、主にビスフェノールA形で比較的分子量の小さい樹脂が防食塗料には適しており、通常平均分子量1000以下のものが多く使用されている。硬化剤にはアミン、主にアミンアダクト、ポリアミドが使用されている。多価アミンは低分子のために臭気や毒性の問題もあり一般的にはあまり使用されていない。

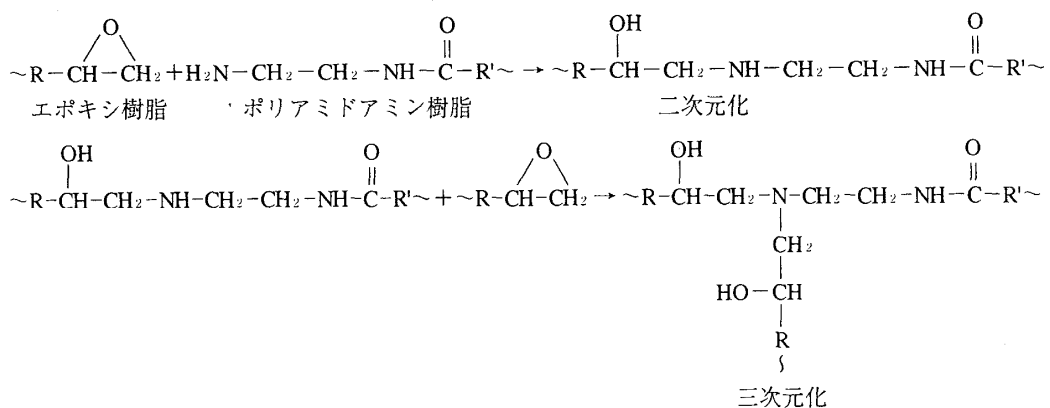


図2.10 エポキシ樹脂とアミンの硬化機構

### 3. 水門

水門扉には防せい及び美観のために塗装がなされる。適切な塗装仕様の選定は非常に重要であり使用環境、景観、塗替えの難易、水門設備の規模、経済性（LCC）、期待耐用年数、設備の重要度に留意し決定する。塗装仕様の適用環境区分は次の様に分類できる。

表 3.19 塗装仕様の適用環境区分

適用環境区分	環境内容
常時水中にあるゲート或いは設備	常時または数週間に渡って水中にあるゲートあるいは設備である。水中にある機会が少ないものであっても、本質的に水中にある期間が数週間になる可能性のあるものも含む。
接水部	ほぼ大気部にあるが、必要に応じ年に数回に渡り、数日間水中にある可能性がある場合とする。また、季節的により結露が著しい場合も含むものとする。
常時大気部	常時大気部にある部位または場合である。
内面	箱状になった部材の内面などで、常時結露して濡れている状態になる部材または場合である。

標準的塗装仕様は、『水門鉄管技術基準水門扉編』（(社)水門鉄管協会）や『ダム・堰施設技術基準(案)』（(社)ダム・堰施設技術協会）などに示されているが、ここでは国土交通省総合政策局建設施工企画課監修『機械工事塗装要領（案）・同解説』平成22年4月を紹介する。

#### 3.1 新設時の塗装仕様

（出典：『機械工事塗装要領（案）・同解説』

国土交通省総合政策局建設施工企画課監修：平成22年）

新設時の一般部の塗装仕様を表3.20に示し、現場接合部の塗装仕様を表3.21に示す。環境区分による適否及び塗装仕様性能一覧は表3.22に示す。

表 3.20 新設時の一般部の塗装仕様

記号及び塗装系	施工場所	工程	塗料名	標準膜厚(μm)	参考塗布量(g/m <sup>2</sup> ) <small>エアレススプレー</small>
A-1 ジnkリッチ ペイント +エポキシ樹脂系	製鉄所	一次プライマー	無機ジnkリッチプライマー	15	200
	工場	第一層目(下塗)	無機ジnkリッチペイント	75	650
		ミストコート	ミストコート	—	160
		第二層目(下塗)	エポキシ樹脂塗料下塗(水中部用)	100	500
		第三層目(下塗)	エポキシ樹脂塗料下塗(水中部用)	100	500
		第四層目(中塗)	エポキシ樹脂塗料中塗	40	220
		第五層目(上塗)	エポキシ樹脂塗料上塗	40	200
		合計		355	
A-2 ジnkリッチ ペイント +エポキシ樹脂系 +ふっ素樹脂系	製鉄所	一次プライマー	無機ジnkリッチプライマー	15	200
	工場	第一層目(下塗)	無機ジnkリッチペイント	75	650
		ミストコート	ミストコート	—	160
		第二層目(下塗)	エポキシ樹脂塗料下塗(水中部用)	100	500
		第三層目(下塗)	エポキシ樹脂塗料下塗(水中部用)	100	500
		第四層目(中塗)	ふっ素樹脂塗料用中塗	40	220
		第五層目(上塗)	ふっ素樹脂塗料上塗	30	170
		合計		345	

Rc-IV 塗装系の厳しい環境における耐用年数は、エポキシ樹脂系塗料・上塗塗料の消耗速度から以下のように計算できる。

$$90 \mu\text{m} \times 0.8 \div 10 \mu\text{m}/\text{年} + 25 \mu\text{m} \times 0.8 \div 0.5 \mu\text{m}/\text{年} + 7 \text{年} \approx 54 \text{年}$$

Rc-I 塗装系の厳しい環境における耐用年数は、ジンクリッチペイントの耐用年数及びエポキシ樹脂系塗料・上塗塗料の消耗速度から以下のように計算できる。

$$20 \text{年} + 150 \mu\text{m} \times 0.8 \div 10 \mu\text{m}/\text{年} + 25 \mu\text{m} \times 0.8 \div 0.5 \mu\text{m}/\text{年} + 7 \text{年} = 79 \text{年}$$

以上はいずれも消耗速度からの計算結果であり、ばく露実験結果から導かれる耐用年数である。以降LCCの算出においては、安全率を2~3倍とし、重防食塗装系の厳しい環境における耐用年数を30年としてLCCを計算した。また、一般腐食環境における耐用年数については、重防食塗装系の一般環境での実績がほとんどないため、厳しい環境における耐用年数の30年のおよそ1.5倍の50年としてLCCを計算した。

## 4. 鋼橋塗装のLCC

### 4. 1 鋼橋塗装LCC算出詳細

LCCの算出にあたって考慮した点、および積算に用いた資料を下記に示す。

- 1) 中塗・上塗塗料の塗色は淡彩色とした。
- 2) 地域別単価は関東地区単価を適用した。
- 3) 橋梁構造のモデルは鈑桁構造とした。
- 4) 現場継手部塗装面積は全体の5%とした。
- 5) 積算資料

- ・財団法人建設物価調査会：『建設物価』（2009.10）
- ・社団法人日本鋼構造協会：『鋼橋塗装のLCC低減のために』, 附属資料2, 防食コストの試算の詳細, 2002
- ・財団法人経済調査会：『土木施工単価』（2009.10）
- ・社団法人日本鋼構造協会：『重防食塗装-防食原理から設計・施工・維持管理まで-』, 2012

産業廃棄物処分業者による積算見積例(2009年)3例を表4.4に示す。特別管理産業廃棄物の場合は、試験、分別、回収、処分にかかわる高額の別途料金が発生することに注意する。

## 5. 屋外ばく露と促進試験との相関性

被塗物は、多様な環境下にさらされるため、塗膜の変化を一つの試験方法で劣化を代表するわけにはいかない。試験期間の短縮のために促進試験は必要であるが、屋外ばく露試験との相関を確認した上で利用することが望ましい。

### 5.1 屋外ばく露と促進試験との相関性（腐食性）

表 5.4 腐食に関するサイクル促進試験条件の一例

No	名 称	試験条件（塩乾湿サイクル条件）			
①	ソルトスプレー ※（S. S.）	S.S. 5%, NaCl 35℃ 連続			
②	日本塗料検査協会 サイクル（S-6）	S.S. 5%, NaCl 30℃ 0.5h	→ Wet 95%, R. H 30℃ 1.5h	→ Dry 20%, R. H 50℃ 2h	→ Dry 20%, R. H 30℃ 2h
③	土研サイクル （DS）	S.S. 5%, NaCl 30℃ 0.5h	→ Dry 50%, R. H 50℃ 2h	→ Wet 90%, R. H 50℃ 15h	→ Dry 50%, R. H 50℃ 5h
④	日産サイクル （NS）	S.S. 5%, NaCl 35℃ 4h	→ Dry 50%, R. H 60℃ 2h	→ Wet 95%, R. H 50℃ 2h	
⑤	新日産サイクル （JASO）	S.S. 5%, NaCl 35℃ 2h	→ Dry 50%, R. H 70℃ 4h	→ Wet 95%, R. H 50℃ 2h	
⑥	日産サイクル （海水NS）	No④のサイクルで5%NaClの代わりに人工海水を用いてS.S.を行う			
⑦	ASTMサイクル	S.S. 5%, NaCl 35℃ 4h	→ Wet 100%, R. H 100℃ F (37.8℃) 18h	→ Freeze -10±3F (-23.3±2℃) 2h	

※ソルトスプレー試験（S. S.）は、連続塩水噴霧でサイクル試験ではないが、JIS K5664 タールエポキシ樹脂塗料や JIS K5600-7-1 に記されている従来の代表的な促進腐食試験なので比較のために加えた。

表 5.5 屋外ばく露試験と促進腐食試験との相関関係

条件	東京	北陸	沖縄内陸	沖縄海岸	藤沢*	平均
① S. S.	0.120	0.275	0.576	0.505	0.444	0.384
② S-6	0.690	0.825	0.718	0.786	0.853	0.774
③ DS	0.523	0.754	0.491	0.669	0.845	0.656
④ NS	0.609	0.793	0.675	0.672	0.832	0.716
⑤ JASO	0.512	0.774	0.777	0.734	0.853	0.730
⑥ 海水 NS	0.665	0.841	0.745	0.907	0.859	0.803
⑦ ASTM	0.561	0.766	0.900	0.813	0.805	0.769
平均	0.526	0.718	0.697	0.727	0.784	0.690

※藤沢での海水散布ばく露試験、塗膜の防食性・劣化は北陸（親不知海岸）に近い状態となる。

尚、JASO M 609 のサイクル条件は、「S.S. 5%35℃ 2h ~ Dry 60℃ 20~30%R.H 4h ~ Wet 95%R.H 50℃ 2h」である。

引用文献：『鋼橋塗装』Vol.120, No. 2 藤原 博 平成5年 P.60~65

## 2. ジンクリッチペイントの発泡現象

### 2.1 現象

ジンクリッチペイントの上に塗装する際に泡やピンホール（針穴）が発生することがある。

### 2.2 原因

ジンクリッチペイント塗膜には、空孔が多く存在するため、この中の空気が塗り重ねられた塗料と置き換わって出てくるために起こる。塗り重ねられた塗膜の表面まで出た場合ピンホールとなり、途中までのものが泡となる。

発泡のメカニズムを経時的にモデル化すると図 6.3 のようになる。

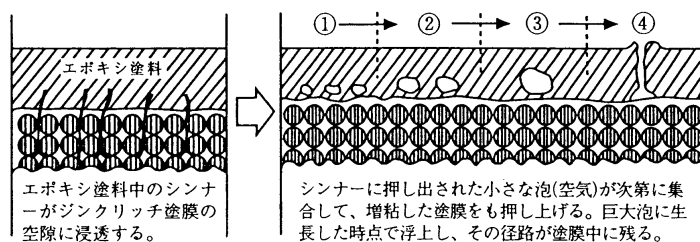


図 6.3 発泡のメカニズム

### 2.3 対策

発泡を防ぐ方法としては、ミストコート（次層の塗料をシンナーで30～60重量%希釈したもの）による封孔処理を実施する。

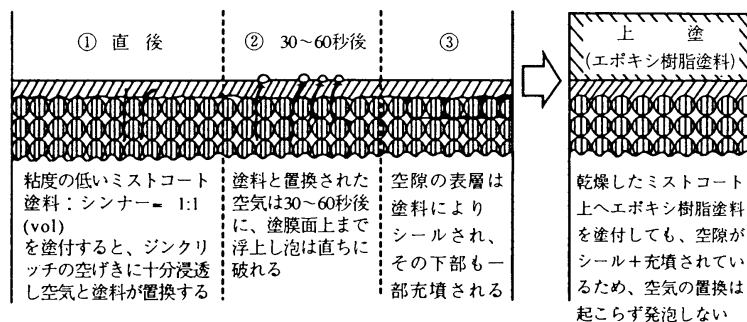


図 6.4 発泡を防ぐ方法