

# 琉球大学学術リポジトリ

## さび面塗料の防錆効果に関する研究（第1報）大気暴露3カ月および6カ月の結果

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2007-08-16 キーワード (Ja): キーワード (En): Outdoor exposure test, Corrosion rate, Steel plate, On-rust paint, Cross cut test, Adhesion test, Impact test 作成者: 糸村, 昌祐, 石原, 金盛, 押川, 渡, Itomura, Shosuke, Ishihara, Kinsei, Oshikawa, Wataru メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/1389">http://hdl.handle.net/20.500.12000/1389</a>

## さび面塗料の防錆効果に関する研究 (第1報)

## 大気暴露3カ月および6カ月の結果

糸村昌祐\* 石原金盛\*\* 押川 渡\*\*\*

Corrosion Resistance of Some Protective Paints  
Coated on Rusty Steel(1st Report)

Results of three and six month exposure

Shosuke ITOMURA\* Kinsei ISHIIHARA\*\* and Wataru OSHIKAWA\*\*\*

## Abstract

Five corrosion protective paints, including three used as on-rust ones, were tested for their anticorrosive effects at the outdoor exposure test yard of University of the Ryukyus, beginning on September 1, 1988. First, clean JIS SS41 mild steel plates of  $15 \times 15 \text{ cm} \times 3.2 \text{ mm}$  each were exposed outdoor for 3 months, then they were removed of the resulting rust by means of a wire brush to retain slight rust. These specimens together with new plate specimens which were cleaned by grit blasting to retain no rust, were coated with the same protective paints. In addition, three kinds of uncoated steel sheets (JIS SS41 mild steel, JIS SPCD cold rolled carbon steel and JIS SPA-H weathering steel), and two kinds of zinc coated steel plates (JIS SGCC hot dip zinc coated steel and zinc hot dip galvanized mild steel) were used as the specimens to obtain the atmospheric corrosion data. The results obtained by this outdoor exposure test are as follows.

- 1) After 6 month exposure, the three kinds of uncoated steel sheets showed equal corrosion rates of about  $10 \text{ mg/dm}^2/\text{day}$ . Their corroded conditions were also equal to each other. The two kinds of zinc coated steel plates were increased in weight slightly due to oxidation of zinc.
- 2) Both the specimens coated with protective paints on their surfaces with slight rust and with no rust, respectively, showed no fault and no difference in their appearance. All paints coated on the surfaces with no rust showed good adhesive strength, and one on-rust paints showed poor adhesive strength.
- 3) The results of cross cut test were nearly the same as those of pull off test, except when the overcoatability between the undercoat and the top coat was poor.
- 4) The impact strength of the coated paints in the initial stage was poorer than that after exposure. The longer the exposure period, the more improved this strength.

---

\*受付: 1989年10月31日

\*エネルギー機械工学科, Dept. of Energy & Mechanical Eng.

\*\*沖縄県工業試験場, Industrial Research Institute of Okinawa Prefecture

\*\*\*大学院工学研究科機械工学専攻, Graduate student, Mechanical Eng.

**Key words:** Outdoor exposure test, Corrosion rate, Steel plate, On-rust paint, Cross cut test, Adhesion test, Impact test

## 1. まえがき

5000年余の昔から使用されてきたといわれる鉄は、軽薄短小が重要視されている近年の目覚ましい技術革新の中にあっても、なお、その優秀な機械的性質、生産的に安定し、安価であるなどの利点によって、金属材料のうち最も生産量、使用量の多いものであることは周知のとおりである。

国の文明の尺度あるいは生活水準を、鉄の生産量または、社会資本としての鉄の蓄積量で表わす場合がある。後者の場合、耐久性を向上させることが蓄積量を増加することになる。それゆえ、鉄製品を長年月使用するために、防錆防食に多額の保守管理費をあてているのが現状である。

1977年日本防錆技術協会・腐食防食協会が共同で報告した、わが国における腐食損失調査<sup>1)</sup>によれば、腐食対策費の62.5%は塗装によるものである。これは表面塗装が、金属の腐食原因である水分と酸素とを遮断するのに簡便であり、施工上の制約が少なく、初期投資額が他の防錆防食法に比べて低い場合が多いことなどによるものである。しかし、塗装によって完全に水分や酸素を遮断することは難しいので、腐食は避けられない。それゆえ、腐食された状況に応じて塗り直しを行っているのが現状である。

防食塗膜の性能およびその耐久性を発揮させるために最も重要なことは、下地処理であり、十分にさび落としを行うことである。工場における塗装であればブラストや酸洗などの高度なさび落としが可能であるが、これらの処理が行えない場合あるいは塗り直しなどにおいては、さびの残存している表面（以下さび面と略記する）に塗装を行う場合が多い。この場合には次善の策として、できるだけさび面に適性を有する塗料を選び、適切な施工法を採用しなければならない。さびた鋼材の表面に対して、高度なさび落としを行わずに塗装可能で、さびと反応して付着性や防食性の優れた皮膜を生成し、以後の腐食を抑制するような性質を持たせた塗料を、さび面塗料と称している。

日本鋼構造協会では、早くからさび面塗料の実用化の問題点が検討され、今日までに5つの小委員会報告が公表されている<sup>2)~6)</sup>。この間、多くの企業からさび面塗料が発売され、その防食効果についてもいくつかの報告<sup>7)~9)</sup>がみられるが、未だ新板に塗装した場合と同様の防食効果を示すさび面塗料は、開発されていないようである。

本研究は、塩化ビニリデン系共重合樹脂をベースとし、従来の塗料に比べ酸性度の高いさび面塗料<sup>10)</sup>を含む数種類の鉄鋼用防錆塗料の防錆効果を検討することを目的として実施した。このため、わが国で唯一の亜熱帯地域に属し、高塩害地域とされている沖縄県で暴露試験を行い、種々の塗膜性能を調べることにした。今回は第1報として3カ月および6カ月暴露した結果を報告する。

## 2. 研究計画

### 2.1 暴露試験片設置場所

琉球大学工学部暴露試験場、郊外。海岸からの距離東2.5km、北西4.3km。設置状況を図1に示す。

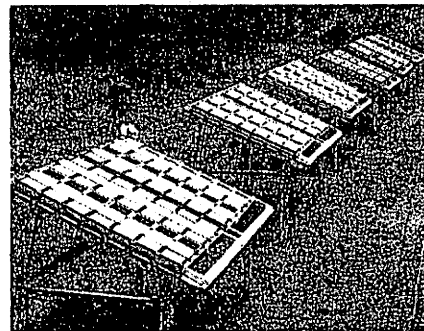


図1 暴露試験片設置状況

2.2 試験期間

1988年より5年間の暴露試験を行う。そのため表1のように試験期間を設定し5年分の試験片を暴露した。

2.3 試験片の種類

以下に示すように、金属素材、新板塗装試験片、さび面塗装試験片および部分塗残し試験片の4種類の試験片を準備した。

表1 暴露試験片の取り外し時期

暴露期間	時 期	耐 候 性 鋼 板
0カ月	1988年 9月1日	1988年11月1日
3カ月	1988年12月1日	1989年 2月1日
6カ月	1989年 3月1日	1989年 5月1日
1年	1989年 9月1日	1989年11月1日
2年	1990年 9月1日	1990年11月1日
3年	1991年 9月1日	1991年11月1日
4年	1992年 9月1日	1992年11月1日
5年	1993年 9月1日	1993年11月1日

2.3.1 金属素材

素材自体の耐食性および新板とさび面への塗装試験

片との比較検討用として、表2に示す5種類の試験片を金属素材試験片として暴露した。

表2 金属素材試験片

名 称	板 厚	JIS 番 号	記 号	記 号
一般構造用圧延鋼材	3.2mm	G 3101 SS41		W
冷間圧延鋼板	2.0mm	G 3141 SPCD-SD		X
亜鉛鉄板	0.6mm	G 3302 SGCC		Y
SS41に溶融亜鉛めっきを施したもの	3.2mm	H 8641参考 便宜的にG-SS41と表示する		Z
耐候性鋼板	3.0mm	G 3125 SPA-H		U

2.3.2 新板(SS41プラスト鋼板)塗装試験片

(1) 試験片材質

新規に開発され市販されている塩化ビニリデン系防錆剤は防錆用下塗剤として、大型鋼製造物から家庭用各種小物類に至るまで適用可能とされている<sup>9)</sup>。小物類を対象として考えれば冷間圧延薄鋼板で実験をすればよく、試験片重量や準備の面からも容易である。しかし大型鋼製造物は一般に熱間圧延鋼板が使用されていること、薄鋼板はプラストをかけないので無機ジंक系の塗料の、のりが悪いこと、一部塗残し試験片の露出部が長期間の暴露によって著しく損耗するおそれがあることなどを勘案すると、溶接構造用圧延鋼材 JIS G 3106 SM41厚板を使用することが望ましい。しかし、SM41の3.2mm厚鋼板の入手が困難であったた

め、SS41 3.2mm厚の平板をプラスト処理して実験することとした。

(2) 試験片寸法

JIS Z 0304「さび止め処理金属の大気暴露試験方法」に記載されている試験片の大きさは、最小寸法100×50mmとし、一辺の長さは原則として50mmの整数倍となっている。暴露試験においては試験片の劣化に対して、エッジの影響が大きく、エッジから3cm以内は試験をしないという考え方もある<sup>10)</sup>ことを考慮すると、なるべく大きい方がよい。その他、暴露台の大きさ、台数、暴露枚数および試験項目を考慮して、150×150mmとした。

(3) 試験片厚さ

前述したようにSS41を試験片とする場合、熱間圧

延鋼板としての最小厚さ3.2mmを用いれば、さび面塗装実験のためのプラストも可能であり、長期間暴露実験において局部腐食により孔があくことも避けられる。

(4) 下塗り回数

限られた試験期間中に、塗料の種類によって防錆効

果の優劣に有意差が出るようにするためには、下塗りは一層とした方がよい。しかし、本実験は下塗り防錆剤の防錆効果だけでなく、上塗り塗装系との適合性も評価できるような実用試験を主眼としているため、下塗り回数は実際に現場塗装で行われている回数と同様2回とした。

表3 新板（SS41プラスト処理鋼板）への防錆処理試験片

下塗り塗装	上塗り塗装系（約130 $\mu$ m）				
	フタル酸系	塩化ゴム系	エポキシ系	ウレタン系	アクリル系
さび面塗料 A	A1	A2	A3	A4	A5
さび面塗料 B	B1	B2	B3	B4	B5
さび面塗料 C	C1	C2	C3	C4	C5
一般標準塗装	エッチングプライマー1層+鉛丹2層+長油性フタル酸2層				D1

さび面塗料A：水性エマルジョン（ベース樹脂：塩化ビニリデン系）

さび面塗料B：油性顔料プライマー

さび面塗料C：水性エマルジョン（ベース樹脂：エポキシ系）

以上述べた観点から表3に示す塗装系を選定した。3種類のさび面塗料は、それぞれ以下のとおりである。

さび面塗料A：塩化ビニリデン系水性エマルジョン型プライマー

さび面塗料B：さび転換型油性顔料プライマー

さび面塗料C：エポキシ系エマルジョン型プライマー

2.3.3 さび面塗装試験片

防食塗膜の性能と耐久性を発揮させるためには、下地処理が重要であり十分にさび落としを行う必要がある。再塗装の場合には、とりわけさび落としが重要となる。しかしながら再塗装の大部分は現場で行われるものであり、高度なさび落としは難しいのが実状であ

る。このため種々のさび面防錆剤が開発され、その中の多くが市販されている。これらの防錆用下塗り塗料は、従来からの下地処理のわずらわしさを少しでも軽減でき、しかもプラスト処理面に塗装した場合と同等の効果をねらっている。すなわち、さび面塗料の製品カタログによれば、いずれの塗装仕様も再塗装の場合、特にプラスト処理をせずに、2種または3種ケレンで十分としている。現実に大型鋼製造物を再塗装する場合、すべての再塗装面をプラスト処理直後に塗装することは難しく、初めにプラストした面は、塗装時には軽くさびが発生している場合がある。これらのことを考慮してさび面塗装試験片の作製条件を以下のようにした。

表4 さび残存面塗装試験片

下塗り塗装	上塗り塗装系（約130 $\mu$ m）		
	フタル酸系	塩化ゴム系	エポキシ系
さび面塗料 A	A6	A7	A8
さび面塗料 B	B6	B7	B8
さび面塗料 C	C6	C7	C8
比較試験料	油性さび止め + フタル酸系		E1
	無機ジंकリッチ + 塩化ゴム系		F1

ブラスト処理したSS41 3.2mm厚新板を無塗装・表面脱脂状態（パークロロエチレン液へ2回浸漬）で3カ月間屋外暴露し、発生させたさびをワイヤーブラシにて光沢度10程度までさびを除去した。この上に表4に示す塗装を行った。検討主眼はさび面と防錆用下塗り剤との密着性であるので、上塗り塗装系は表3に示す中から3種類だけを選定した。さび面の防錆塗料には新板への塗装の場合と異なり、油性さび止めおよびジンクリッチペイントの効果が大きいといわれているので、これらの2種類も比較試験として加えた。

2.3.4 部分塗残し塗装（さび侵入度測定試験）  
 ブラスト処理したSS41 3.2mm厚新板の下部30mmの部分が無塗装とした。無塗装部分に発生したさびが、防錆剤塗装面に侵入すると塗装面にふくれが生じる。この実験では同一試料の塗装面のふくれを測定し、塗膜下さび侵入度を見るため、サンプリング時期ごとの試験片採取りは行わないことにした。試験片の塗装系を表5に示す。

表5 部分塗残し試験片

下塗り塗装	上塗り塗装系（約130μm）		
	フタル酸系	塩化ゴム系	エポキシ系
さび面塗料 A	A9	A10	A11
さび面塗料 B	B9	B10	B11
さび面塗料 C	C9	C10	C11
一般標準塗装	エッチングプライマー+1層鉛系さび止め2層+フタル酸2層		
油性さび止め+フタル酸系	E2		
無機ジンクリッチ+塩化ゴム系	F2		

2.3.5 試験片裏面処理

暴露期間中の裏面からの影響を除くため、塗装試験片はすべて、試験面と同一の防錆処理を裏面全面に施す。

2.3.6 試験片の数量

試験片の繰り返し数：2枚  
 部分塗残し試験片：3枚（連続観察のため）  
 初期値用：2枚  
 表6に試験片の数量を示す。

表6 試験片数量

種類	基準枚数	暴露枚数（7期間）	初期値	計
金属素材	4種×2 = 8枚	(8枚×7) 56枚	8枚	64枚
新板防錆処理	16種×2 = 32枚	(32枚×7) 224枚	32枚	256枚
さび残存面塗装	11種×2 = 22枚	(22枚×7) 154枚	22枚	176枚
部分塗残し塗装	12種×3 = 36枚	(連続観察) 36枚	24枚	60枚
		計 470枚	86枚	556枚

2.4 試験項目および試験方法

2.4.1 暴露試験台および試験片取付け方法

JIS Z 2381「野外暴露試験方法通則」に準拠した暴露試験台を亜鉛めっきアングル鋼材で6台製作し、既設の1台とともに合計7台の暴露試験台を用いた。試験片取付け面はアルミアングル材で別に製作した。

取付け角度は25度とした。ポリカーボネート製暴露試験片止め具（角型M6mmSUS304ボルトナット：日本テストパネル工業株式会社製）および一部塩化ビニルパイプを切断して作った止め具を用いて、試験片の四隅を固定した。

表7 試験項目

	外 観	重量測定	光 沢	密着性	耐衝撃性	さび侵入度
金 属 素 材	○	○				
新 板 防 錆 処 理	○		○	○	○	
さび 残 存 面 塗 装	○			○	○	
部 分 塗 残 し 塗 装	○					○

## 2.4.2 素材試験片および塗装試験片の

## 試験項目

表7に試験項目を示す。内容は以下のとおりである。

- (1) 外観：目視観察主体。塗装試験片については、塗膜のふくれ、割れ、はがれを観察する。
- (2) 重量測定：上皿直示天秤を用い、10mg感度の重量変化測定。
- (3) 腐食速度：無塗装鋼板および耐候性鋼板について、市販の除錆剤により、さびを落とし腐食減量を求め腐食速度（ $\text{mg}/100\text{dml}/\text{day}:\text{mdd}$ と略記）に換算する。
- (4) 金属表面に生成したさびの結晶構造のX線回折による同定。
- (5) 金属素材表面に生成したさび中に含まれる塩分量の測定。
- (6) 光沢度：光沢度計を用いてJIS Z 8741により、60度鏡面光沢度を測定し、試験前後の光沢度の値から光沢残存率を求める。暴露面の測定は暴露したままとし、面の清掃は行わない。
- (7) 密着性：碁盤目試験と付着力試験を行う。

碁盤目試験：NTカッターを用いて菜地に達する碁盤目を、5mm間隔で9個つくり25mm幅のセロテープを密着させてはがし、はがれた塗膜面の面積によって評価する。評価の方法はいくつかあるが、本報では表8の評価点数により評価する<sup>11)</sup>。

付着力試験：エポキシ系強力接着剤を用いて、塗膜面に直径40mmの鋼製円柱を密着させ、24時間後にインストロン型引張試験機で引張試験を行う。

- (8) 耐衝撃性：先端に直径25.4mmの玉軸受用硬球をつけた、重さ300gのおもりを、40cmの高さから塗膜面に落下させ、おもり先端の衝撃による塗膜の割れ・はがれの有無を観察する。
- (9) さび侵入度：部分塗り残し部に発生したさびが塗膜下に侵入すると塗膜がふくれる。塗り残し部と塗膜との境界からの平均侵入長さで表す。

表8 碁盤目試験の目視による評価点数

点数	傷 の 状 態
10	切傷の1本毎が、細くて両側が滑らかで、切傷の交点と正方形の一目一目にはがれがない。
8	切傷の交点にわずかなはがれが有って、正方形の一目一目にはがれがなく、欠損部の面積は全正方形面積の5%以内。
6	切傷の両側と交点とにはがれが有って、欠損部の面積は全正方形面積の5~15%。
4	切傷によるはがれの幅が広く、欠損部の面積は全正方形面積の15~35%。
2	切傷によるはがれの幅は4点よりも広く、欠損部の面積は全正方形面積の35~65%。
0	はがれの面積は、全正方形面積の65%以上

## 2.4.3 環境因子測定項目

以下の環境因子との相関を検討する。

- (1) 塩分量：以下に述べる2方法による塩分量を測定する。
  - (a) JIS Z 2381の参考3、ガーゼ法により捕集した海塩粒子量。
  - (b) 土木研究所式塩分捕集器と同等の捕集器を製作し、東西南北ごとにそれぞれの方向で捕集した雨水と、捕集面に付着した海塩粒子を洗い落とした蒸留水とに含まれる塩分を、電気伝導度測定により等価塩分量として求める。塩分捕集器の外観を図2に示す。

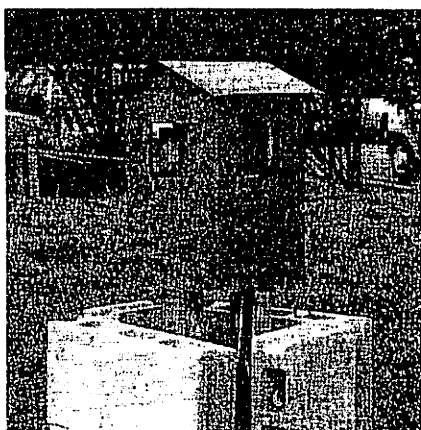


図2 土木研究所式塩分捕集器

- (2) いおう酸化物と量
- (3) 日射量
- (4) 風向：暴露試験場から約50m離れた建物の塔屋で測定する。  
暴露試験場との高低差は約30mある。
- (5) 風速：同上
- (6) その他の気象因子は沖縄气象台（那覇市在）の測定データを利用。

### 3. 3カ月および6カ月暴露試験結果

#### 3.1 外観

##### 3.1.1 金属素材

一般構造用圧延鋼材（SS41）および冷間圧延鋼材（SPCD-SD）は、どちらも脱脂状態・無塗装で暴露しているため、当然のことながらさびが発生しやすい。暴露台に設置した直後に、にわか雨があり、同日夕刻には、SPCDにはさび発生が一目瞭然であり、冷間圧延鋼板の腐食が熱間圧延よりも速いように思われた。

しかし、後述する腐食速度からは、この推測の裏付けは得られなかった。3カ月経過時点では赤茶色のち密なさび（赤さび）が全面に発生していた。形状は平坦で凹凸は認められないが、地の赤さびの上にこげ茶色の直径0.5～1mm程度の粉状のさびが、表面に無数に付着している状態である。試験片裏面も同様に腐食しているが、表面よりも少し黒味を帯びた部分が多く、黄色味を帯びた斑点がいくつか見られた。降雨が直接当たるのは表面であるが、エッジから裏面にも回り込むこと、暴露台の設置場所が草地の上で、地面からの

水蒸気の結露水や夜間の結露水は、翌日の太陽光によって乾く場合、裏面の方が表面よりも乾きにくいことなどを考慮すると、いわゆるぬれ時間は裏面が長いと考えられる。試験片の設置角度が水平に対し25度となっているため、雨水や結露水が下方にたまりやすく、試験片下部には表・裏どちらとも、黄色味の強いさびが帯状にできていた。

6カ月暴露の両種試験片とも、3カ月暴露につき全面赤さびの状態である。試験片表面は赤茶色の比較的ち密なさびであり、試験片下部には6～7mm幅で帯状の黄茶色さびがある。さび面には目立った凹凸は見られないが、試験片全面に細かい浮きさびが現れている。試験片裏面は一見して、表面とは違ったさびの色、形態をしている。すなわち、試験片の周辺部より中央に近づくにつれて、黒褐色部が多くなり、腐食の進行度が大きい様子を呈している。また試験片下部にはさび汁の跡がみられる。SS41とSPCDを比較すると、表面部ではその差はほとんど認められないが、裏面部ではSS41の方が黒褐色さびが多くなり、SPCDより腐食が進行しているようにみられ、設置直後のにわか雨にぬれた後の表面状態とは逆になっている。

耐候性鋼板（SPA-H）は、暴露開始時期が他の金属素材より、2カ月遅れており、暴露時期が同一ではないが、3カ月暴露と6カ月暴露についての観察結果を以下に述べる。表面部は、3カ月時はSS41、SPCDとほとんど同じさびの色、形態をなしているが、6カ月時になると、SPA-Hの方がやや黒褐色味が増し、かつさび面が粗くなり、茶色さびと黒褐色さびが細かく縞状に入り乱れた状態となり、一見、前二者よりも腐食度が大きいようにみられる。しかし、後述する腐食量の測定結果からは、むしろ少なめとなっていた。裏面部は、3カ月時で試験片の上部を除く3つの周辺に、幅1～3cmの黒褐色化した部分ができるが、中央部は表面の色、形態と大差がない。6カ月時になると、裏面部の7割以上が表面とは違った色、形態となる。すなわち黒褐色部と赤褐色部とが、まだらに混ざり、表面よりも腐食が進行した様子を呈している。またさびの粒子がだんだん粗くなっていると観測される。耐候性鋼はリンや銅を添加して、ち密な安定さびを表面に生成させ、それ以上の腐食を抑制するものであるが、6カ月暴露時点ではまだ安定さびはできていない。

亜鉛めっきを施した鋼板（亜鉛鉄板：SGCCおよび



SS41 3.2mm厚の板に溶融亜鉛めっきを施したもの（G-SS41とする）は、設置時には顔がぼんやりと映る程度に写像性の光沢があり、SGCCの方がこの光沢は強い。3カ月暴露後はどちらのめっき鋼板も光沢が減少し、鈍い灰色の面となっていた。しかしSGCCの場合、光を斜めから当てて表面を見ると、光沢が完全に消えたわけではなく、亜鉛の結晶模様が認められ、鈍い光沢の残っている部分が10%程度点在していた。6カ月時ではこの光沢はさらに減少している。G-SS41は、3カ月時で既に光沢はほとんどないが、6カ月暴露後も3カ月時と大きな差は認められない。3カ月時で光沢がなくなった反面、直径0.5mm以下の白味を帯びた細かい点が、どちらのめっき鋼板にも無数に現れていた。6カ月時ではこの白い点の数に変わりはないが、形が明瞭になり0.5mm程度の大きさのものが増えている。SGCCは切断面に防錆処理が施されていないため、3カ月時点で切断面にわずかではあるがさびが発生していたが、6カ月時点でも3カ月時点と変わっていない。裏面については、G-SS41は3カ月時点で表面同様光沢が消え、6カ月時点では白い点状のさびが明確になっていた。SGCCの裏面は6カ月時点でも、初期と同様の光沢が大部分残っており、このため表面では明確ではなかった白さびが、明確に周辺部に点在しているのが認められた。3カ月暴露と6カ月暴露との差はほとんど無かった。

### 3.1.2 新板塗装試験片およびさび面塗装試験片

3カ月暴露の時点では、新板塗装試験片およびさび面塗装試験片のどちらにも、さび・ふくれ・割れの異常は認められない。通常この時点で異常が認められるとすれば、塗料自体あるいは塗装条件等が原因と考えられる。したがって、3カ月暴露試験片の塗膜面に、何等の異常も認められなかったため、試験片として問題がなかったこととなる。さらに全試験片とも実使用状態を想定して、下塗回数を2回としていることも、塗膜面の異常が認められないことの要因となつていよう。これらの状態は6カ月暴露の時点でも同様であった。

### 3.1.3 部分塗残し試験片

部分塗残し試験片は試験片の下部30mmを、プラストしたままで塗装をしていない。無塗装部と塗装部の境界での、下地防錆剤とSS41との密着の良否が、本実験の結果に大きく影響する。3カ月暴露の時点で、無塗装部には金属素材の場合と同様の赤さびが発生し、試験片下端には同じく黄色のさびができていた。6カ月暴露の時点では、無塗装部には金属素材の場合と同様の褐色のさびができ、全試料に浮きさびが現れている。試験片下端には同じく赤褐色味の強いさびができていた。色相は金属素材の場合に比べて濃く、しかも上塗塗装からの影響を受けているように見受けられる。すなわち、黒色のエポキシ系塗料から、黒味のもの流れだし無塗装部のさびの色相を濃くしているようである。ルーペを用いた観察および中指による触覚で、塗膜端部の反りとふくれの状態を調べた結果を、3カ月：表9、6カ月：表10にそれぞれ示す。ルーペによる斜めからの観察で、大部分の試験片に塗膜と素地の間の「浮き」が認められた。この「浮き」は指先による触覚では塗膜エッジ部が反り返った感じとなっており、塗膜の耐水性や乾燥収縮特性によるものと考えられる。塗膜下のさび侵入度を外部から判断するのは、6カ月後でもやはり難しい。図3に6カ月暴露の部分塗残し試験片の外観写真例を示す。

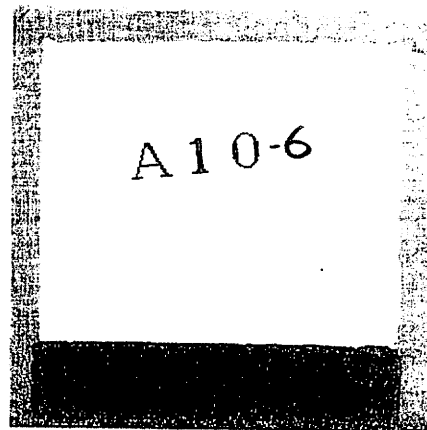


図3 部分塗残し試験片外観例（6カ月暴露）  
下部3cmの塗残し部が腐食している

表9 部分塗残し試験片の境界部検査結果(3カ月暴露)

下地	上塗り塗装		
	フタル酸	塩化ゴム	エポキシ
さび面塗料 A	A9 目視：塗膜浮き有り 触覚：2枚ふくれ	A10 目視：塗膜浮き有り 触覚：1枚ふくれ さび：塗膜下端にさび色有り	A11 目視：塗膜浮き有り 触覚：1枚ふくれ 境界：境界線が一直線になっていない
さび面塗料 B	B9 目視：塗膜浮き有り 触覚：ふくれなし さび：塗膜下端にさび色有り	B10 目視：塗膜浮きなし 触覚：1枚左端1cm程度の部分ふくれ 塗膜：1枚塗膜面不良のためさび発生 さび：塗膜下端にさび色有り	B11 目視：塗膜浮き有り 触覚：指では不明瞭 境界：境界線が一直線になっていない ふくれではなくエッジのめくれのようでもある
さび面塗料 C	目視：塗膜浮き有り 下塗りと上塗りの間(?) 触覚：2枚エッジ部に反り有り 1枚端部切傷 さび：塗膜下端にさび色有り	目視：塗膜浮き有り 下塗りと上塗りの間(?) 触覚：エッジ部反り さび：塗膜下端にさび色有り	目視：塗膜浮き有り 触覚：1枚下端1mm程度全長ふくれ 境界：境界線が一直線になっていない

比較塗装	D2：一般標準塗装	E2：油性+フタル酸	F2：無機ジंक+塩化ゴム
	目視：1枚左端ふくれ 触覚：同上	目視：塗膜浮き有り 塗膜下端部処理不十分 触覚：3枚ふくれ	目視：1枚塗膜浮き明瞭 触覚：2枚ふくれ

表10 部分塗残し試験片の境界検査結果（6カ月暴露）

下地	上塗り塗装		
	フタル酸	塩化ゴム	エポキシ
さび面塗料A	A9 目視：塗膜浮き3枚 触覚：3枚反り 2枚ふくれ さび：下部薄茶色3枚	A10 目視：塗膜浮き3枚 触覚：3枚反り 部分的にふくれ さび：下部A9より明るい	A11 目視：塗膜浮き3枚 触覚：3枚反り 1枚左端ふくれ さび：A系で最も黒い
さび面塗料B	B9 目視：塗膜浮き少し 触覚：端部反り ふくれなし さび：塗膜下端A9と同程度の薄茶色8mm幅帯状	B10 目視：塗膜浮き3枚 触覚：1枚左端1cm程度の部分ふくれ 塗膜：1枚塗膜面不良のためさび発生 さび：塗膜下端にA10と同程度	B11 目視：塗膜浮き3枚 触覚：3枚反り 境界：境界線が一直線になっていない さび：境界部の浮きさび（粉状）はA11より多い
さび面塗料C	C9 目視：塗膜浮き3枚だが少ない 触覚：3枚反り ふくれ有り 1枚端部切傷 さび：A9B9と同様のさび色	C10 目視：塗膜浮き3枚だが少ない 触覚：エッチ反り3枚 さび：塗膜下端にさび色有り	C11 目視：塗膜浮き3枚とも明瞭 触覚：1枚下端1mm程度が全長ふくれ 3枚反り明瞭 境界：境界線が一直線になっていない さび：A11B11と同様
比較塗装	D2：一般標準塗装	E2：油性+フタル酸	F2：無機ジンク+塩化ゴム
	目視：1枚左端ふくれ 全体に浮き少ない 触覚：ふくれた1枚以外反り少し	目視：塗膜浮き2枚に部分的にある 触覚：3枚反り ふくれは不明瞭	目視：3枚塗膜浮き 1枚は特に明瞭 触覚：3枚反り ふくれは不明瞭

3.2 金属素材の3カ月暴露および6カ月暴露による重量変化

耐候性鋼板を含む5種類の金属素材の暴露後の重量変化を表11および表12に示す。

重量変化は、1日・100cm<sup>2</sup>あたり、SS41で11.6mg（3カ月平均）および9.6mg（6カ月平均）、SPCDで10.8mg（3カ月平均）および9.9mg（6カ月平均）となっており、大きな差はない。外観検査では暴露初期においては冷間圧延鋼板の腐食が速いように感じられ、6カ月暴露の裏面の比較からは、SS41の腐食の方がより進行しているように感じられたが、重量変化からは3カ月で、SS41>SPCD、6カ月でSPCD>SS41となり、目視感覚とは逆になっている。耐候性鋼板の3カ月後の腐食速度は、14.33mddでSS41、SPCDの3カ月値（11~12mdd）より大きい値を示しているが、サンプリング後デンケータ保存中に劣下が進行したも

のか、あるいは耐候性鋼板の特性かは定かではない。腐食速度は暴露期間が長くなるにつれて低下するのが通常であり、本実験においても6カ月が3カ月より低下している。6カ月までの3鋼種の腐食速度には大差がみられないが、時間経過によりその差が明らかになるものと考えられる。

亜鉛めっき鋼板の重量変化は暴露のままで測定しているため、亜鉛の酸化により増加しており、SGCCよりも亜鉛の目付け量の多い、G-SS41の方が若干多くなっている。亜鉛めっき鋼板の場合も、暴露期間が長くなるにつれて、重量増加の割合が低下してきており、これは、亜鉛の腐食生成物脱離によるものと考えられる。この点については、さらに長期間の暴露結果によって判然とするであろう。環境因子との関係については、1年暴露のデータが得られた時点でまとめた。

表11 3カ月暴露した金属素材の重量変化

試験片番号	初期重量 (g)	3カ月暴露後の重量 (g)		重量増 (+) 減 (g)	表面積 (全面) (cm <sup>2</sup> )	重量変化 (mdd)
		除錆後	暴露まま			
SS41 W4	541.35	536.40	-	-4.95	469.2	-11.6
SPCD X4	347.84	343.32	-	-4.52	462.0	-10.8
SPGC Y3	110.56	-	110.72	+0.16	450.0	+0.39
	Y4	110.40	-	110.60	+0.20	"
G-SS41 Z3	579.42	-	579.69	+0.27	471.45	+0.63
	Z4	577.82	-	578.12	+0.30	"
SPA-H U3	538.45	532.28	-	-6.17	468.0	-14.33

表12 6カ月暴露した金属素材の重量変化

試験片番号	初期重 量 (g)	6カ月暴露後の重量 (g)		重量 増(+)減 (g)	表面積 (全面) (cm <sup>2</sup> )	重量変化 (m d d)	
		除錆後	暴露まま				
SS41	W 5	536.56	528.38	-	-8.18	469.2	-9.63
SPCD	X 5	349.54	341.23	-	-8.31	462.0	-9.94
SPGC	Y 5	109.85	-	110.01	+0.16	450.0	+0.20
	Y 6	108.21	-	108.35	+0.14	〃	+0.17
G-SS41	Z 5	579.36	-	579.62	+0.26	471.45	+0.30
	Z 6	581.76	-	582.05	+0.29	〃	+0.34
SPA-H	U 5	540.61	532.52	-	-8.09	468.0	-9.55

### 3.3 光沢度

新板塗装試験片の60度鏡面光沢度の変化および光沢残存率についての結果を図4に示す。得られた数値は

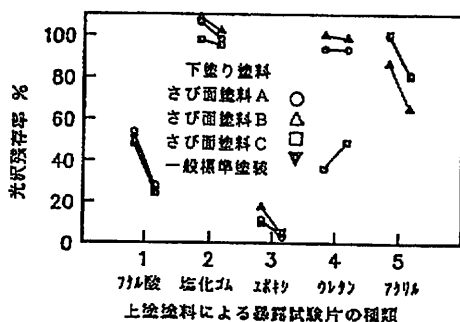


図4 上塗り塗料別光沢残存率

2枚の板について各5点ずつ計10点の平均値である。初期値は保存用の試験片について測定した値であり、露置試験片全てを測定したわけではない。このため、後述するように光沢残存率が、100%を超えるものが出てしまった。JIS K5400「塗料一般試験方法」<sup>9)</sup>耐候試験の操作(5・1)試験開始によれば、試験片は最終回の塗り付けが終わってから室内に7~14日置いた後、試験を開始することとなっている。今回の試験片の中には、一部塗膜表面が完全に固まっていな

期に包装用緩衝材に包まれ、塗膜の表面に緩衝材の痕跡が付いている物があり、光沢度計での測定において乱反射し、これを初期値としたため光沢残存率が計算上100%を超える結果となったものもあった。目視観察からはいずれの塗装試験片も、設置時の光沢が薄れ、3カ月暴露の間に表面に極く薄い汚れの層が形成されたような感じがした。暴露期間中に表面に付着した塩分・汚れ等を、試験片表面の右半分について、蒸留水を含ませた脱脂面で拭き取った部分と拭取らない部分との光沢の差は、上塗り塗装系の異なる5種類の試験片すべてについて、肉眼では差のあることが明瞭であった。しかし上塗り塗料別光沢残存率を示した図4からは、エポキシ系とフタル酸系塗料の光沢減少率が大きく、塩化ゴム系、ウレタン系およびアクリル系塗料の光沢率は、肉眼で感じるほどには減少していないことが分かる。

### 3.4 密着性

図5~図10にさび面塗料A、BおよびCの別に、付着力試験結果および著盤目試験の結果を図示する。

これらの結果を見ると、さび面用塗料として市販されている塗料が、どのような上塗り塗料とも適合するものではないことが分かる。もちろんこの結論の前提には塗装条件が十分満足のいくものであったというこ

とを含んでいる。着盤目試験は塗料自体の硬さと関係し、塗膜が硬い場合にはカッターナイフで切れ目を入れる段階で塗膜のはく離が起こることが十分考えられる。したがって着盤目試験結果と付着力との間に、相関が無い場合があってもおかしくはない。さび面塗料別に検討した結果を以下に述べる。

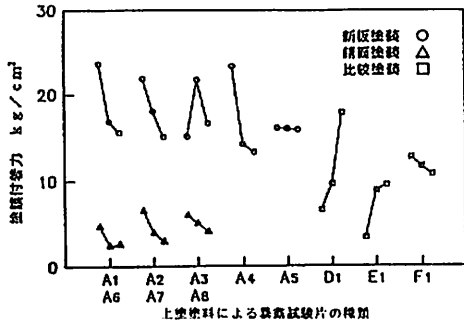


図5 塗料別塗膜付着力 (下塗り塗料: さび面塗料A) 記号は左から0, 3カ月, 6カ月の順

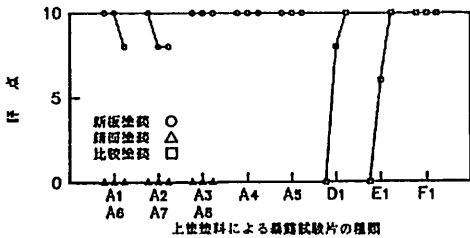


図6 塗料別着盤目試験結果 (下塗り塗料: さび面塗料A) から0, 3カ月, 6カ月の順

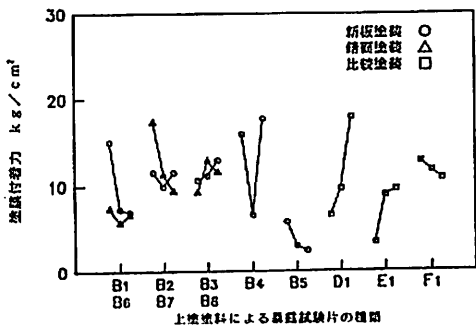


図7 塗料別塗膜付着力 (下塗り塗料: さび面塗料B) 記号は左から0, 3カ月, 6カ月の順

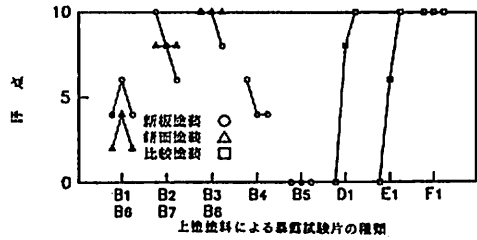


図8 塗料別着盤目試験結果 (下塗り塗料: さび面塗料B) 記号は左から0, 3カ月, 6カ月の順

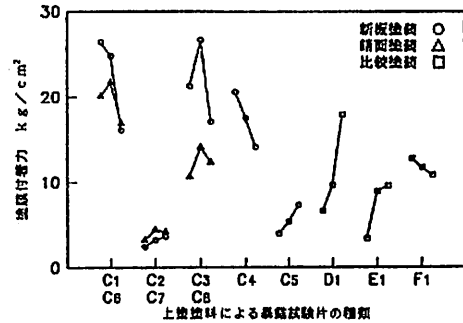


図9 塗料別塗膜付着力 (下塗り塗料: さび面塗料C) 記号は左から0, 3カ月, 6カ月の順

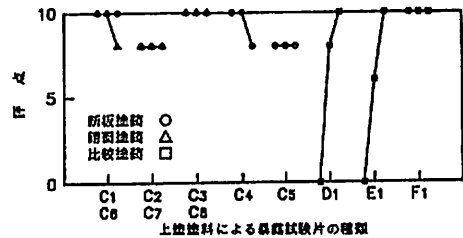


図10 塗料別着盤目試験結果 (下塗り塗料: さび面塗料C) 記号は左から0, 3カ月, 6カ月の順

○さび面塗料A

新板塗装試験片の付着力は上塗り塗料の違いによらず20kg/cm前後であり、暴露期間経過にともない、付着力が低下する傾向にある。しかし、さび面塗装では初期値から大幅に低く、時間経過とともにさらに若干低下することが分かる。着盤目試験ではこの傾向はさらに明確で、新板塗装では6カ月暴露後も大部分が評点10であるにもかかわらず、さび面塗装では初期値ですでに、フルタ酸、塩化ゴム、エポキシ系3種類とも評点が0となっている。

## ○さび面塗料B

新板塗装の場合の付着力がさび面塗料Aの場合よりは低下しているものの、さび面塗装試験片の値が新板に比べて大幅に低下するという傾向は見られず、むしろ新板塗装とさび面塗装とで、大きな差が無いといえよう。B2とB4の3カ月暴露試験片の付着力が大幅に低下しているのは、引張試験治具との接着が不十分で、塗膜の一部しか取れなかったことによる。アクリル系塗料との付着力が弱く、基盤目試験でも適合性が悪いことが分かる。フタル酸系塗料との適合性も弱いようである。

## ○さび面塗料C

塩化ゴム系塗料およびアクリル系塗料との適合性が悪いようであるが、フタル酸およびエポキシ系塗料に対しては、新板、さび面ともに他の2種類のさび面塗料よりも高い値を示している。

## ○比較塗装

一般標準塗装、油性さび止めおよび無機ジंकリッチ系の3種類の塗装系は、初期値、3カ月時では付着力の面では際だった性能は示していない。一般標準塗装、油性さび止めの3カ月暴露の付着力が上昇しているのは、実験条件によるものか塗膜の性質によるものか判然としなかったが、6カ月後には基盤目試験結果、付着力とも強くなっていることがわかる。この結果からみると、この2種の塗装系は、塗装後に時間経過とともに塗膜特性が向上することがうかがえる。

## 3.5 塗膜の耐衝撃性

JIS K 5400:6.13「耐衝撃性の試験方法」に従い、先端に直径25.4mmの鋼球をつけた質量300gのおもりを、40cmの高さから塗面に落とし、塗面の損傷を調べた。同試験法の判定方法は、3枚の試験片のうちの2枚以上について、おもりの先端の衝撃による塗膜の割れまたは、はがれを認めないときは“おもりの衝撃で割れおよびはがれができない”とするとなっているが、今回の暴露試験では、試験片を各2枚ずつしか準備しておらず、JISに規定された判定はできない。したがって、日本鋼構造協会・さび面塗料研究班報告第2報<sup>3)</sup>の判定方法を引用する。すなわち塗面が凹みのみのものは○（健全）、とし以下△（部分的にはく離または割れがある）、×（ほぼ全面にはく離または全方向に割れがある）と大きく3段階に評価した。その結果を表13・1～4に示す。なお初期値は保存用の2枚の試

験片の内の1枚について試験を行った。

表13・1 耐衝撃性（塗料A）

	初期値	3カ月	6カ月
A 1 - 1	×	○	×
A 1 - 2		×	○
A 2 - 1	×	○	○
A 2 - 2		○	○
A 3 - 1	×	○	○
A 3 - 2		○	○
A 4 - 1	×	○	×
A 4 - 2		△	△
A 5 - 1	△	×	△
A 5 - 2		○	△
A 6 - 1	×	○	○
A 6 - 2		○	○
A 7 - 1	×	△	○
A 7 - 2		△	△
A 8 - 1	×	×	○
A 8 - 2		△	○

表13・2 耐衝撃性（塗料B）

	初期値	3カ月	6カ月
B 1 - 1	△	△	○
B 1 - 2		×	△
B 2 - 1	×	×	△
B 2 - 2	×	×	△
B 3 - 1	×	△	○
B 3 - 2		×	○
B 4 - 1	×	△	○
B 4 - 2		△	△
B 5 - 1	×	×	○
B 5 - 2		×	△
B 6 - 1	×	△	○
B 6 - 2	×	×	△
B 7 - 1	×	○	○
B 7 - 2		×	○
B 8 - 1	×	△	×
B 8 - 2		○	○

表13・3 耐衝撃性(塗料C)

	初期値	3カ月	6カ月
C 1 - 1	△	○	○
C 1 - 2		○	○
C 2 - 1	×	×	○
C 2 - 2		○	○
C 3 - 1	○	○	○
C 3 - 2		○	○
C 4 - 1	×	○	○
C 4 - 2		○	○
C 5 - 1	×	○	○
C 5 - 2		○	○
C 6 - 1	△	○	○
C 6 - 2	×	○	△
C 7 - 1	×	○	○
C 7 - 2		○	○
C 8 - 1	○	○	○
C 8 - 2	×	○	○

表13.4 耐衝撃性(標準、比較塗装)

	初期値	3カ月	6カ月
D 1 - 1	△	△	○
D 1 - 2		△	○
E 1 - 1	○	○	△
E 1 - 2		△	○
F 1 - 1	×	○	○
F 1 - 2		○	○

初期値が大部分×となっているのは、塗膜自体および塗膜と板との付着性が弱いことを示していると考えられる。3カ月、6カ月暴露後の耐衝撃性は、3種とも同様に向上しており、とくにC塗料では、3カ月暴露で、×が1枚だけ、6カ月暴露で△が1枚だけで残りはすべて○であった。また一般標準塗装および比較塗装も問題ないようである。

4. まとめ

金属腐食と防食の問題は古くから研究され、しかも常に新しい研究対象として取り上げられている。高温多湿で、多くの島々から成る沖縄県においては、特に重要な研究テーマの一つである。本報告は、腐食対策

費として最も多額の経費が支出されている表面塗装について、再塗装時の塗装下地処理の工程を、極力少なくする目的で開発、市販されているさび面塗料の性能試験と、金属素材の腐食特性を調べることにより、沖縄県における金属腐食・防食の問題点を再確認するために開始したものである。表面塗装は、石油関係、電力関係などいわゆる大型プラント産業では、関係企業が各社独自に実験・研究を行っている。本研究は腐食防食に対して、関心の深い沖縄県内の関連企業との共同研究等への進展にも結びつけていきたいとの側面的意図も有している。調査期間を5カ年と設定した屋外大気暴露試験の第1報として、3カ月および6カ月暴露によって得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 金属素材の腐食状況については、SS41,SPCDおよびSPA-Hとも、3カ月および6カ月暴露の時点では、同様の外観を呈し腐食減量も10mg/100cm<sup>2</sup>/day前後と明確な差は現れていない。
- 2) 亜鉛めっき鋼板は、亜鉛の酸化により鋼板とは逆に重量増加を示している。この増加割合は電気亜鉛めっき鉄板に比べ、溶融亜鉛めっき鋼板の方が50%程度多い。
- 3) 塗装試験片の外観については、新板塗装、さび面塗装とも変化が認められない。新板塗装試験片の塗膜付着力は3種のさび面塗料とも、概ね良好な結果を示した。さび面塗装試験片の塗膜付着力については、塗膜のはく離も含めて、1年暴露結果を報告する時点で詳細に検討する。
- 4) 落重目試験と塗膜付着力試験の結果とは概ね対応しているが、上塗り塗料と下塗り塗料との間に不適合がある場合(例えばさび面塗料Cと塩化ゴム系およびアクリル系塗料)には、異なった結果となった。
- 5) 落重試験による塗膜の衝撃性は、全体に初期値が悪く、6カ月暴露までの範囲では、暴露期間が経過するにつれて良くなっている。

謝 辞

本研究を開始するに当たり、日本鋼橋塗装専門会専務理事 吉田眞一氏より種々のご助言をいただいた。また、本学部エネルギー機械工学科福島敏郎教授からは、金属腐食およびさび面塗料特性についてご教示いただいた。記して謝意を表する。



## 参考文献

- 1) 日本防錆技術協会・腐食防食協会 腐食損失調査委員会；わが国における腐食損失調査報告書，1977年3月，日本防錆技術協会
- 2) 技術委員会 耐久性分科会 防錆防食小委員会さび面塗料研究班；さび面塗料研究班中間報告，日本鋼構造協会誌，JSSC Vol. 13, No.139, 1977, 7, P11-37
- 3) 同上；さび面塗料研究班報告第2報，JSSC Vol. 18 No.189, 1982, 2.3 P25-59
- 4) 同上；さび面塗料研究班報告第3報，JSSC Vol. 20 No.216, 1984, 8.9 P36-69
- 5) さび面塗料小委員会；さび面塗料小委員会報告（第4報），JSSCレポートNo.3，日本鋼構造協会，1987年2月
- 6) 同上；さび面塗料小委員会報告（第5報），JSSCレポートNo.11，日本鋼構造協会，1989年2月
- 7) 横山正則；沖縄地区における鋼橋試験塗装について，防錆管理，Vol. 32, 1988, 4, P101-108
- 8) 石川登一；石油タンク及び鋼構造物の防食塗装，腐食防食協会，装置材料のパフォーマンス分科会第7回会議資料，1988-4
- 9) 呉羽化学株式会社カタログ 1987
- 10) 吉田眞一（日本鋼橋塗装専門会）；私信
- 11) JIS K 5400 塗料一般試験方法 6.15 葦盤目試験