

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第3620号

マイクロフィルム用資料

土木研究所資料

ダム・堰・水門等防食性能試験 マニュアル（案）

平成11年3月

建設省土木研究所
材料施工部機械研究室

Copyright©(1999) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

ダム・堰・水門等防食性能試験 マニュアル (案)

機械研究室	室 長	村 松 敏 光
	主任研究員	持 丸 修 一
	研 究 員	田 中 和 嗣
		瀧 野 勲
化学研究室	主任研究員	守 屋 進

要 旨

ダム・堰・水門等の機能の信頼性に影響を与えるものとして、腐食に関する問題が多くある。腐食対策に関して、設備の計画・設計段階から維持管理作業の合理化をはかることと、そのための技術開発に取り組むことが重要であり、新しい防食方法の適用を含めた、腐食対策についての十分な検討を行う必要がある。

防食方法の検討（防食設計）のためには、防食に関する性能評価方法の確立と、設備の環境や形式を考慮した腐食発生・進展や防食処理の劣化の傾向把握のための試験方法の確立が必要である。

本マニュアル（案）は、ダム・堰・水門等に適用される材料の設備としての防食性能の試験方法の案をとりまとめたものである。

キーワード：腐食，防食評価，防食性能試験

結 言

わが国の河川は、自然条件等により、洪水による水害等の被害が発生しやすい環境にある。この被害を食い止めるためには、堤防等が正常に機能し、ダム・堰・水門等が災害等の緊急時に確実に効力を発揮できる信頼性の高いものである必要がある。これは治水目的で設置されるダム・堰・水門等において特徴的な要求であるが、他の目的で設置されるダム・堰・水門等においても、極めて長期間にわたり機能を維持する信頼性の確保が必要となる。

そのため、点検・維持管理が重要となるが、設備の増加に応じて、維持管理作業が増加の一途をたどるものとする。それ故、設備の計画・設計段階から維持管理作業の合理化をはかることと、そのための技術開発に取り組むことが重要である。

ダム・堰・水門等の機能の信頼性に影響を与えるものとして、腐食に関する問題が多くあるが、この腐食対策に関しても同様であり、新しい防食方法の適用を含めた、設備の計画・設計段階からの十分な検討を行う必要がある。

防食方法の検討(防食設計)のためには、防食に関する性能評価方法の確立と、設備の環境や形式を考慮した腐食発生・進展や防食処理の劣化の傾向把握のための試験方法の確立が必要である。

本マニュアル(案)は、ダム・堰・水門等に適用される材料の設備としての防食性能の試験方法の案をとりまとめたものである。

目次

緒言

1. 総論	-i-
1.1 研究の背景	-i-
1.2 研究の内容	-i-

ダム・堰・水門等防食性能試験マニュアル(案)

謝 辞

本検討を行うにあたり、下記のダム・堰施設技術基準(案)改訂、防食・検査技術検討分科会の委員の方々よりご協力を頂いた。各位に謝意を表する。

須田 幸彦	建設省関東地方建設局江戸川工事事務所	機械課	機械課長
樋口 昌幸	建設省北陸地方建設局信濃川下流工事事務所	工務課	専門職
藤田 亨	水資源開発公団日吉ダム	管理課	機械係長
明石 英男	株式会社田原製作所	技術部	次長
○ 杉山 篤	日本鋼管株式会社	鋼構造・機械システム本部	部長
鶴丸 隆二郎	株式会社ミゾタ	技術本部設計第一部	課長
土井 護	日立造船株式会社堺工場	品質保証課	課長代理
横山 弘善	川崎重工業株式会社	鉄構事業部 装置技術総括部	
	水門鉄管技術部	第一課長	
吉野 郎宣	株式会社ナカボーテック	調達本部長	取締役
吉村 功	株式会社丸島アクアシステム	鉄構技術部 設計第2グループ	課長代理

※ ○：分科会長を示す。

ダム・堰・水門等防食性能試験マニュアル(案)

目 次

1. 適用	1
1.1試験の目的	1
1.2適用範囲	1
1.3用語の定義	2
2. 一般	3
2.1試験の位置づけ	3
2.2試験環境	4
2.3設備の構造による腐食への影響	8
2.4防食性能試験実施に関する補足的事項	11
3. 試験片による防食性能試験	12
3.1目的	12
3.2試験片形状	13
3.3塗装試験方法	14
3.4金属溶射および溶融亜鉛めっき試験方法	16
3.5耐食性材料試験方法	17
3.6金属溶射および溶融亜鉛めっきと塗装の併用試験方法	20
3.7耐食性材料と塗装の併用試験方法	20
3.8防食性能評価方法	21
4. 設備状況を考慮した防食性能試験	23
4.1目的	23
4.2試験片形状	23
4.3塗装試験方法	23
4.4金属溶射および溶融亜鉛めっき試験方法	24
4.5耐食性材料試験方法	24
4.6金属溶射および溶融亜鉛めっきと塗装の併用試験方法	25
4.7防食性能評価方法	26
5. 電気防食性能試験	26
5.1目的	26
5.2試験方法	26
5.3試験片形状	27
5.4防食性能評価方法	27
6. 高分子材料に関する防食性能試験方法	27
参考文献	40

1. 適用

1.1 試験の目的

1. 防食性能試験は、設備の腐食形態や防食性能を調査し、防食設計や維持管理に役立てるために行う。
2. 防食性能試験は、試験結果の適用目的により、主に次の4つに分類できる。⁽⁵⁾
 - ① 材料選択
 - ② 品質確保
 - ③ 施設保全
 - ④ 事故解析

【解説】

1. ダム・堰・水門等において、腐食対策は維持管理作業の中の重要なものの1つであり、腐食の発生・進展や防食機能の低下の傾向を把握し、設備の設計・計画段階から防食設計の検討を行い、維持管理を合理化することが必要である。そのための資料を得るために、防食性能試験による調査が必要となる。
2. 防食性能試験を実施する場合、その試験結果の適用目的に応じて試験方法を検討しなければならない。
 - (1) 材料選択
特殊な環境下に設置される設備へ適用する各種防食、新しい防食方法の現場検証のために行う。
 - (2) 品質確保
防食設計で決定された防食性能を検証し、その信頼性を確保するために行う。
 - (3) 施設保全
設備機能に影響を及ぼす腐食を発見し、適切な対策を施すために行う。
 - (4) 事故解析
腐食による事故が発生した場合の腐食機構、腐食原因の追究のために行う。

1.2 適用範囲

1. この防食性能試験マニュアル(案)(以下「本マニュアル」という)は、ダム・堰・水門等に適用される材料の設備としての防食性能に関する資料を得るために実施する試験に適用するものである。
2. 本マニュアルによることが適当でない場合には、マニュアルに示される技術的水準を損なわない範囲において、本マニュアルによらないことができる。

【解説】

1. ダム・堰・水門等は、河川環境下で使用されるため複数の腐食要因が作用しており、また、その形状が複雑であることや多種の材料を用いて構成されているために、腐食の発生・進展に特殊な条件が加わっている。そのため、JIS等の各種規格で示されている防食性能試験では、ダム・堰・水門等の実態に則した、長期間の機能維持のための防食性能評価を得ることが困難な場合がある。本マニュアルは、ダム・堰施設技術基準(案)7-3-2「防食設計」に従って実施する、ダム・堰・水門等に適用されている材料の設備としての防食性能の試験に適用するためのものである。
2. 本マニュアルは、現行において標準的と考えられている技術的事項を示したものであり、より高度の水準を指向することを妨げるものではない。従って、責任技術者が、本マニュアルによることが適当でなく、かつ、マニュアルによって示されている技術的水準が十分に確保されていると判断する場合には、本マニュアルによらないことができる。なお、責任技術者とは、通常各業務組織においてその所掌範囲にわたり技術上の判断、決定に責任を持つ技術者をいう。
3. 本マニュアルの適用を受けるダム・堰・水門等に適用される材料の設備としての防食性能の試験に際しては、関連する規格の内容を十分に考慮して行う必要がある。防食性能試験に関連する

規格の例として以下のものがある。

日本工業規格(JIS)

- JIS A 1410 プラスチック建築材料の屋外暴露試験方法
- JIS A 1411 プラスチック建築材料ウェザーリングの腐食評価方法
- JIS A 1415 プラスチック建築材料促進暴露試験方法
- JIS G 0572 ステンレス鋼の硫酸・硫酸第二鉄腐食試験方法
- JIS G 0573 ステンレス鋼の65%硝酸腐食試験方法
- JIS G 0574 ステンレス鋼の硝酸・ふっ化水素酸腐食試験方法
- JIS G 0575 ステンレス鋼の硫酸・硫酸銅腐食試験方法
- JIS G 0576 ステンレス鋼の42%塩化マグネシウム腐食試験方法
- JIS G 0578 ステンレス鋼の塩化第二鉄腐食試験方法
- JIS G 0591 ステンレス鋼の5%硫酸腐食試験方法
- JIS H 8502 めっきの耐食性試験方法
- JIS H 0521 アルミニウム及びアルミニウム合金の大気腐食試験方法
- JIS H 8661 亜鉛溶射皮膜試験方法
- JIS K 5400 塗料一般試験方法
- JIS K 6266 加硫ゴム及び熱可塑性ゴムの耐候性試験方法
- JIS K 6301 加硫ゴムの物理的試験方法
- JIS K 7219 プラスチックの屋外暴露試験方法通則
- JIS K 7350 プラスチック—実験室光源による暴露試験方法
- JIS Z 0304 さび止め処理金属の大気暴露試験方法
- JIS Z 2371 塩水噴霧試験方法
- JIS Z 2381 屋外暴露試験方法通則

腐食防食協会規格(JSCE)

- JSCE S 9301 流電陽極試験法

アメリカ材料試験協会規格(ASTM)

- ASTM A 262 Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels
- ASTM B 117 Standard Practice for Operating Salt Spray(Fog)Testing Apparatus
- ASTM B 287 Standard Method of ACETIC ACID-SALT SPRAY(FOG)TESTING
- ASTM D 610 Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces
- ASTM D 660 Standard Test Method for Evaluating Degree of Chalking of Exterior Paints
- ASTM D 714 Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering Paints
- ASTM D 772 Standard Test Method for Evaluating Degree of Flaking(Scaling) of Exterior Paints
- ASTM G 78 Standard Guide for Crevice Corrosion Testing of Iron-Base and Nickel-Base Stainless Alloys in Seawater and Other Chloride-Containing Aqueous Environments

国際規格(ISO)

- ISO 9225 Corrosion of metals and alloys-Corrosivity of atmospheres-Measurement of pollution
- ISO 3651/2 Austenitic stainless steels-Determination of resistance to intergranular corrosion-Part 2

1.3 用語の定義

本マニュアルにおいて用いる、防食性能試験方法を区別する用語は、次のとおりに定義する。

1. 防食性能試験

ダム・堰・水門等に適用される材料の設備としての腐食発生・進展傾向を把握するとともに、防食性能を確認するために実施する試験であり、暴露試験と促進試験に大別できる。

2. 暴露試験

ダム・堰・水門等に適用される材料の設備としての腐食発生・進展傾向を把握するために、河川の実環境下で実施する試験であり、屋外暴露試験のことをいう。暴露試験は、構造物を考慮した暴露試験と試験片による暴露試験に大別できる。

3. 設備状況を考慮した暴露試験

ダム・堰・水門等の設置環境である河川の水質等の条件および設備形状等による効果に特に着目して実施する暴露試験のことであり、特定の設備の防食性能評価のために実施する暴露試験のことをいう。

4. 試験片による暴露試験

ダム・堰・水門等の設置環境である河川の水質等の条件および材質等の特性に着目して実施する暴露試験のことであり、全般的なダム・堰・水門等の防食性能評価に汎用的に適用するための基礎的資料を得るために、標準的な試験片により実施する暴露試験のことをいう。

5. 促進試験

ダム・堰・水門等に適用される材料の設備としての腐食発生・進展傾向を把握するために実施する室内促進試験のことであり、暴露試験期間が十分に確保できない場合に基礎的資料を得るために実施する室内促進試験のことをいう。

【解説】

本マニュアルは、ダム・堰・水門等に適用される材料の設備としての防食性能の試験方法を示している。この目的において実施する各種試験方法を明確に区別するために、本マニュアルで用いる用語を定義した。

2一般

2.1試験の位置づけ

1. 防食性能試験は、試験結果の適用対象と試験実施条件により実施方法を検討する。

(1) 適用対象

- ① 特定設備を対象とした試験
- ② 全般的な設備を対象とした試験

(2) 試験実施条件

- ① 試験期間
- ② 試験場所

2. 防食性能試験は、次の試験方法から選択して実施する。

(1) 試験方法

- ① 設備状況を考慮した暴露試験
- ② 設備状況を考慮した暴露試験と試験片による暴露試験の併用
- ③ 設備状況を考慮した暴露試験と促進試験の併用
- ④ 試験片による暴露試験
- ⑤ 試験片による暴露試験と促進試験の併用

【解説】

1. 防食性能試験を実施する場合は、1.1「試験の目的」の試験結果の適用目的により適用対象と試験実施条件の組合せを考慮した適切な試験方法を選択して実施する。

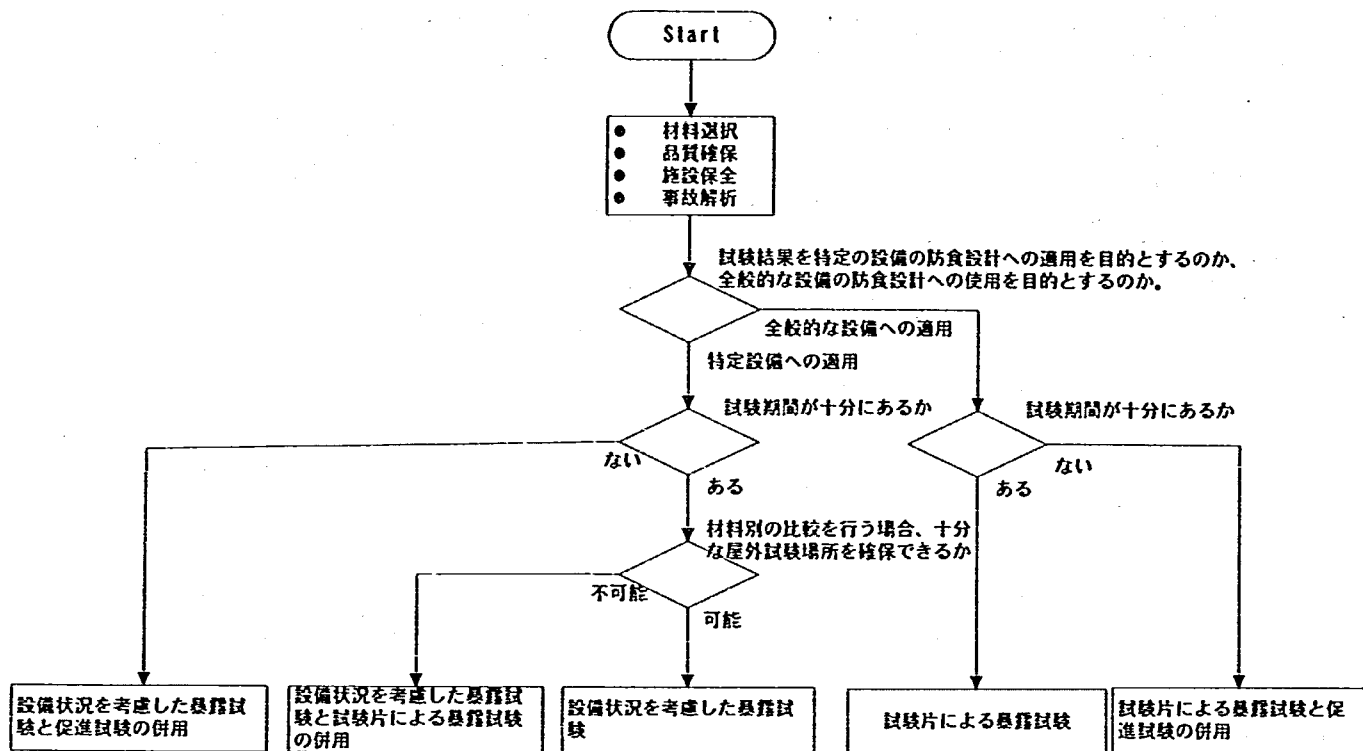


図2.1-1 防食性能試験方法の選択フロー

2. 設備状況を考慮した暴露試験は、試験結果を特定設備の防食設計等へ適用することを目的とした防食性能試験方法の1つであり、暴露試験に必要な試験期間が充分にあり、かつ、材料等の防食方法別の防食性能の比較等を行う場合においては、各防食方法別の試験片を設置することが可能な場合に適用する。

3. 設備状況を考慮した暴露試験と試験片による暴露試験の併用は、試験結果を特定設備の防食設計等へ適用することを目的とした防食性能試験方法の1つであり、暴露試験に必要な試験期間は充分にあるが、材料等の防食方法別の防食性能比較のための、各防食方法別の試験片を設置するための十分な試験場所を確保できない場合に適用する。この防食性能試験においては、1種または可能な種類の防食方法について、設備状況を考慮した暴露試験を実施するとともに、試験結果を必要とする全ての防食方法別に試験片による暴露試験を実施する。これらの結果の比較検討により、防食方法別の防食効果の比較を検討する。

4. 設備状況を考慮した暴露試験と促進試験の併用は、試験結果を特定設備の防食設計等へ適用することを目的とした防食性能試験方法の1つであり、暴露試験に必要な試験期間がない場合に適用する。設備状況を考慮した暴露試験結果と促進試験の結果を比較し、実環境下での暴露試験が困難な、長期間の腐食進展傾向を予測する。

5. 試験片による暴露試験は、試験結果を全般的なダム・堰・水門等に汎用的に適用することを目的とした防食性能試験方法の1つであり、暴露試験に必要な試験期間が充分にある場合に適用する。

6. 試験片による暴露試験と促進試験の併用は、試験結果を全般的なダム・堰・水門等に汎用的に適用することを目的とした防食性能試験方法の1つであり、暴露試験に必要な試験期間が充分にない場合に適用する。試験片による暴露試験と促進試験の結果を比較し、実環境下での暴露試験が困難な、長期間の腐食進展傾向を予測する。

2.2 試験環境

1. 防食性能試験を実施する場合、現地の環境条件と設備の設置条件の把握が重要である。
2. 暴露試験は、把握した環境条件と設置条件に基づき、できうる限りその状況を再現して実施する。
3. 促進試験は、把握した環境条件と設置条件に応じた試験方法にて実施する。

【解説】

1. 腐食の種類や発生・進展傾向は、大気中の汚染物質や水質等の環境条件による影響を受ける。また、設備の設置条件による、流速や水温、水質、堆砂等の環境条件の変化により影響を受ける。そのため、防食性能試験を実施する場合は、現地の環境条件と設備の設置条件の把握が重要となる。
2. ダム・堰・水門等の設置により、流速や水温、水質、堆砂等の環境条件が変化する。そのため、防食性能試験は、防食性能評価の対象とする設備と同一条件を再現して実施することが非常に困難である。防食性能試験は、現場調査等で把握した環境条件や設置条件に基づき、できる限りその条件を再現して実施する。また、暴露試験を実施する場合においても、防食性能評価の対象とする設備と同一場所で実施することが困難であるが、できる限り設備設置場所またはその近傍で実施する。
3. 促進試験は、大気部、水中部、および干満部等の設置条件に応じた試験方法を選択して実施する。
4. 特定設備においても、設備の部位による設置条件が異なる。主な条件として次のものがある。
 - (1) 水中部
流速、水温、流木等の衝撃、土砂等の流下による摩耗、堆砂の有無および堆砂量等
 - (2) 干満部
水流、水温、流木等の衝撃
 - (3) 大気部
屋内外、湿度、日射の有無等
5. 水中部の環境条件は塩化物イオン濃度により、海水、汽水、淡水に大別することができる。
6. 干満部（飛沫帯を含む）に関する暴露試験を実施する場合、水面の変動に注意を要する。特に、飛沫帯の試験をする場合は、水面の変動による影響がないように設置環境を維持しなければならない。
7. 現地試験に際して環境条件として以下のもの等から必要に応じ把握する。
 - ① 金属表面に触れるガス・液体などの物理的・化学的特性とそれらの変化
 - ② 大気中のSO_x、NO_x、塵芥、水質(pH、酸度、硬度、塩素イオン、硫酸イオン、溶存酸素、アンモニア、硫化物など)
 - ③ 漏洩電流、電位差
8. JIS Z 0304「さび止め処理金属の大気暴露試験方法」には、以下の項目が示されている。⁽³¹⁾

① 気温	℃	⑨ ぬれ時間	h
② 湿度	%R.H.	⑩ オゾン濃度	mol/m ³ (ppm)
③ 降水量	mm	⑪ 降下ばいじん量	g/m ² ・month
④ 降水時間	h	⑫ 硫酸化物濃度	mol/m ³
⑤ 風向	16方位	⑬ 硫酸化物量	mg-SO ₃ /day・100cm ² -PbO ₂
⑥ 風速	m/s	⑭ 海塩粒子	mg-NaCl/day・100cm ² (mdd)
⑦ 日射量	W/m ² (Langley)	⑮ 二酸化窒素濃度	mol/m ³ (ppm)
⑧ 日照時間	h	⑯ 硫化水素濃度	mol/m ³ (ppm)
9. 金属および合金の腐食に関する大気の大気腐食性(汚染)の測定方法として、二酸化硫黄の沈着率と空気中の塩分の測定方法がISO 9225にある。
10. 各種の環境条件の腐食への影響を概念的に示すと図2.2-1のようになる。そのため、試験対象となる設備の環境が明確である場合は、その環境をできる限り再現することとし、不明な場合は、腐食への影響を考慮して決定するものとする。

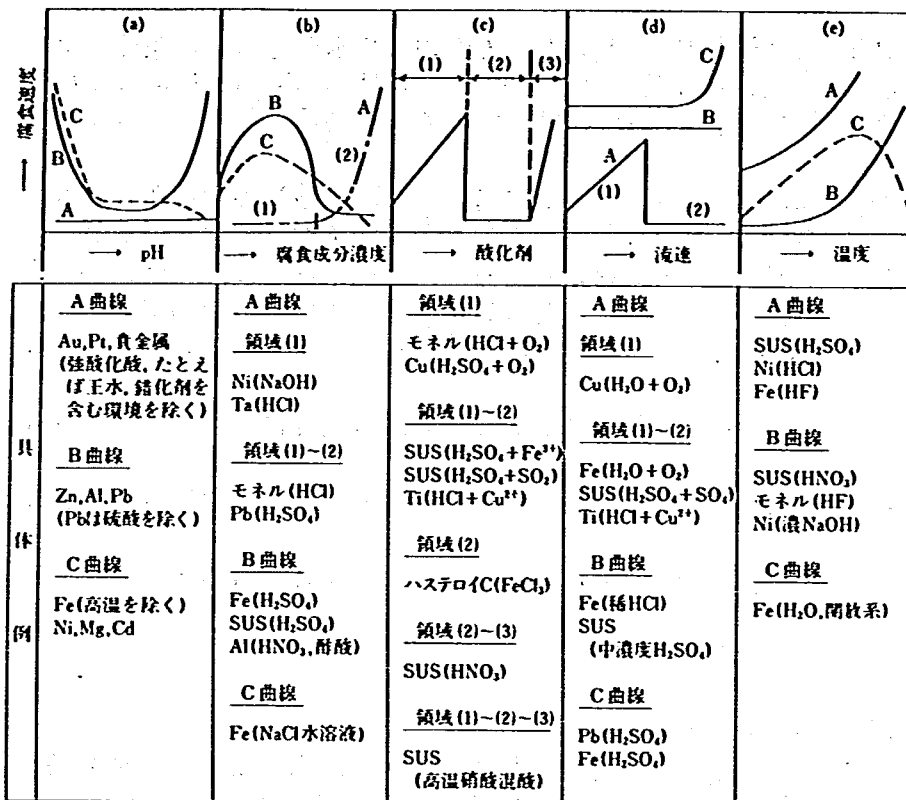


図2.2-1 腐食に影響を及ぼす環境因子の影響⁽⁵⁾

11. 環境条件による腐食発生・進展への影響の例として、塩素イオン濃度と最大すきま腐食深さの関係を図2.2-2に示す。

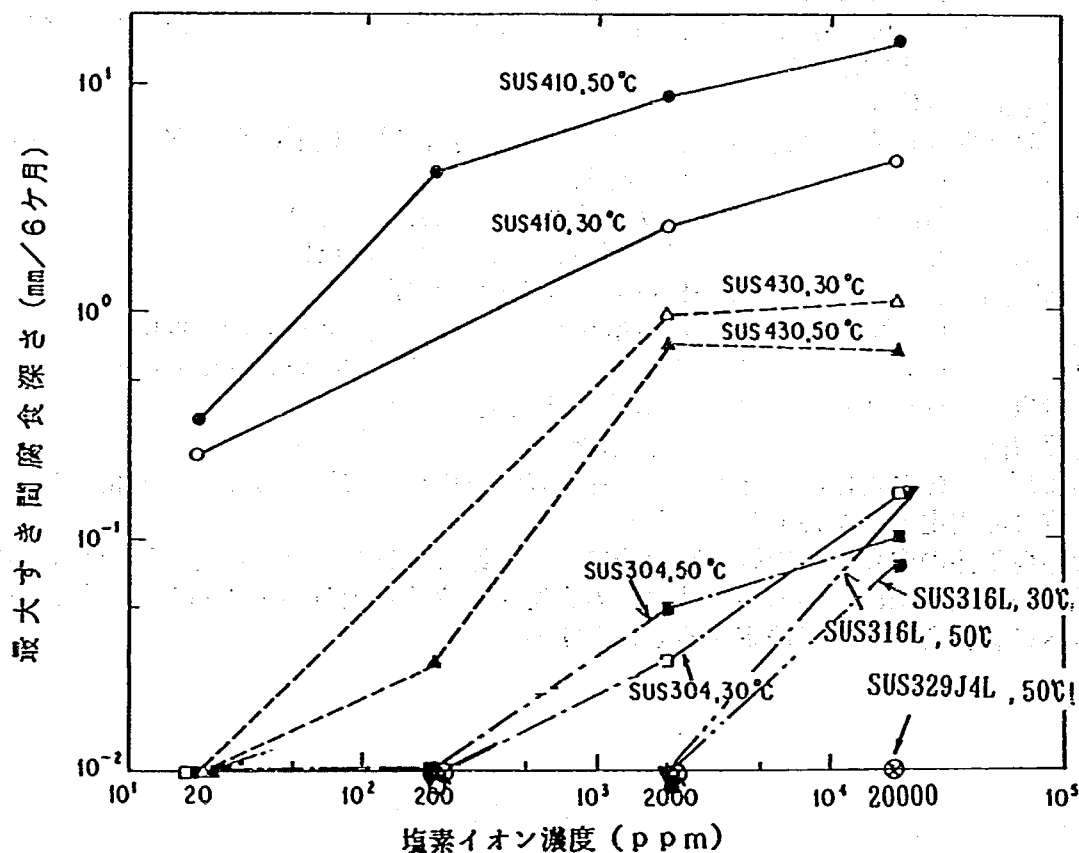


図2.2-2 すきま腐食深さに及ぼす塩素イオン濃度の影響 [Cl⁻(NaCl) 6ヶ月間]⁽³⁾

12. 暴露試験場で環境条件の測定が困難な場合、最も接近した気象官署の観測資料を利用する方法がある。⁽²⁷⁾ 但し、海塩粒子や霧固気等、河川域特定の影響が大きいと想定される項目については注意を要する。
13. ダム・堰・水門等は、施工時および供用中の種々の条件によりもらい錆を発生する場合がある。もらい錆を模擬した Fe_2O_3 を含む水中での塩素イオン濃度と最大すきま腐食深さの発生傾向を図2.2-3に示す。

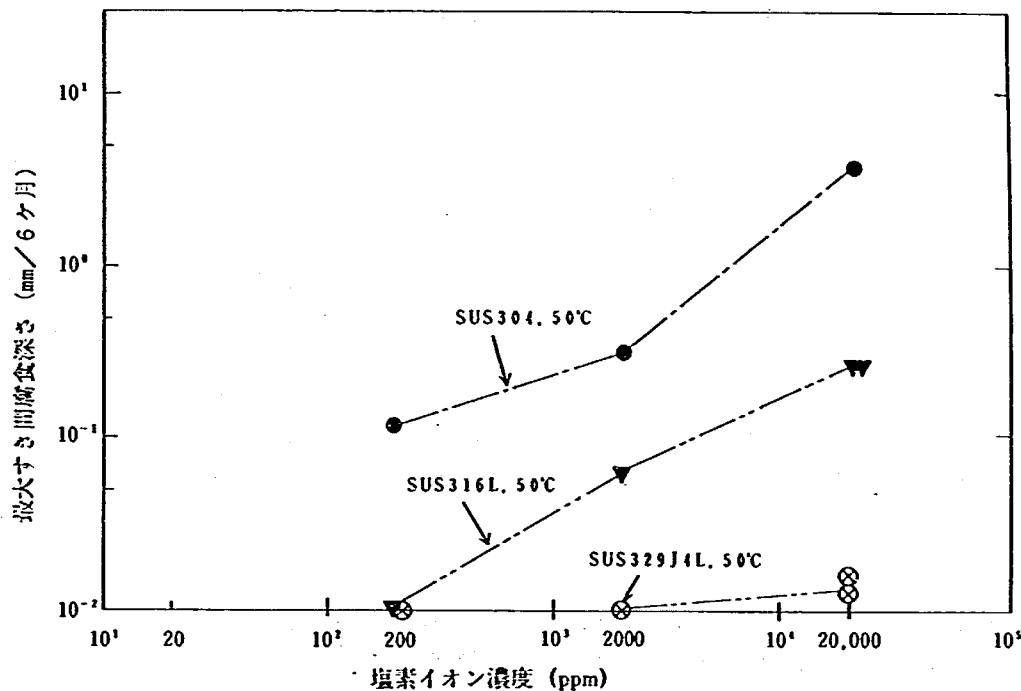


図2.2-3 $\text{Cl}^- + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ・50°Cにおけるすきま腐食深さに及ぼす塩素濃度の影響⁽³⁾

14. 海水域の設備においては、海中生物の付着によるすきま腐食等への影響がある。付着する海中生物の種類は、設備の設置時期等と経過年数により変化するが、その最大付着厚さは10~15cmであるとする結果がある。但し、スリット等の狭隙部では、20cm程度まで付着する可能性がある。図2.2-4に橋脚型海洋構造物における付着群の厚みと現存量との関係を示す。また、その付着量は、設置時から増加を続け、ある一定量まで付着成長が進むと、減少と増加を繰り返す。構造物設置からの経過年数と平均付着厚さの関係を図2.2-5に示す。⁽¹⁾

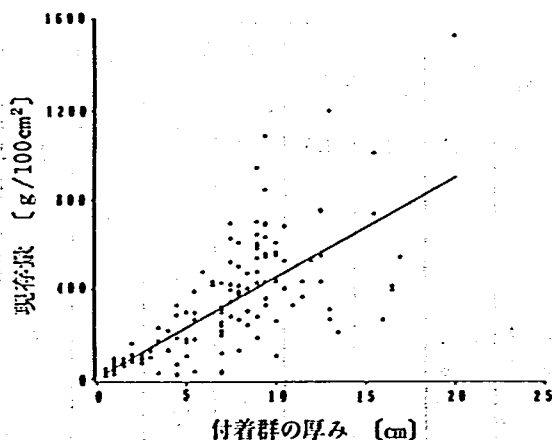


図2.2-4 橋脚型海洋構造物における付着群⁽¹⁾
の厚みと現存量の関係(経過年数3年)

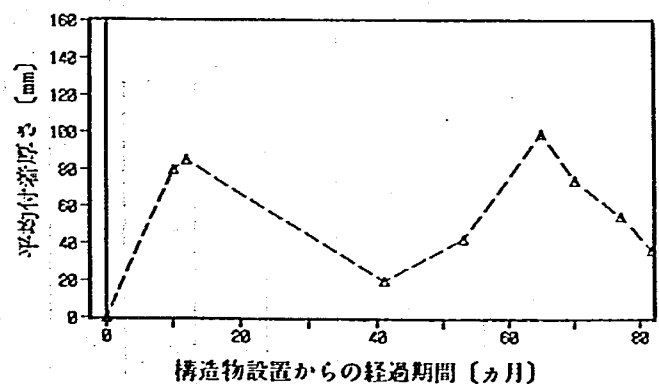


図2.2-5 杭のへ生物付着厚さの変化⁽¹⁾

15. ステンレス鋼は、不働態被膜により耐食性を維持する。不働態被膜は酸素等の酸化剤のある環境で自己補修能力があるが、微生物が付着するとその下の表面では酸素がなくなり、自己補修能力は完全に失われて、すきま腐食発生が発生する。

2.3設備の構造による腐食への影響

1. ダム・堰・水門等は、その構造上の種々の影響により腐食発生・進展の傾向が異なる。防食性能試験の実施にあたっては、必要に応じてこれらの影響を考慮する。

2. 腐食に影響の与える構造上の要因として、以下のものがある。

- ① 材料加工時の加工による影響
- ② 複数金属の使用による異種金属接触
- ③ 溶接等の熱処理時の入熱の影響による粒界腐食
- ④ 新設と補修による条件の差異

【解説】

1. ダム・堰・水門等に適用される材料の設備としての腐食の発生・進展傾向は、その形状や材質等の構造上の種々の条件による影響を受ける。そのため、防食性能試験は、その目的に応じてこれらの影響を考慮して実施する。

2. 試験結果を適用する対象が明確になっている場合は、対象設備と同じ加工や熱処理の履歴を持つ材料から試験片を採取することが望ましく、表面処理についても、対象施設と同一条件で行うことが望ましい。

3. 試験結果に影響を与える材料加工時の効果の1つとして表面状態の効果がある。腐食量の多い全面腐食では、汚れや異物等の付着物による腐食への影響が大きい。腐食量が小さい場合や局部腐食では、前処理による表面状態への影響が大きい。この前処理の影響としては次のものがある。

- ① 粗度
- ② 残留応力
- ③ 不働態皮膜の状況

粗度は、真表面積の大小に関係するだけでなく、残留応力とも関連があり、一般に粗度が大きい場合は、加工による残留ひずみが大きいといわれている。残留応力は局部腐食や環境脆化に影響を与える。ステンレス鋼やチタンのような不働態化した皮膜により防食性能を発揮する金属の場合、前処理等により不働態皮膜の構造や厚さが変化するために、皮膜の安定性がかわり腐食発生状況に影響を与えるとされている。なお、前処理による不働態皮膜への影響は処理後の放置時間や環境によっても変化する。ステンレス鋼の場合、酸洗いにより、不働態皮膜中のクロム濃度は富化する傾向があり、このクロム濃度の変化に伴い孔食電位が変化する。各種前処理によるSUS304、SUS316表面における金属成分の濃度を図2.3-1に示すとともに、不働態皮膜表面のクロム濃度と孔食電位の関係を図2.3-2に示す。⁽⁶⁾

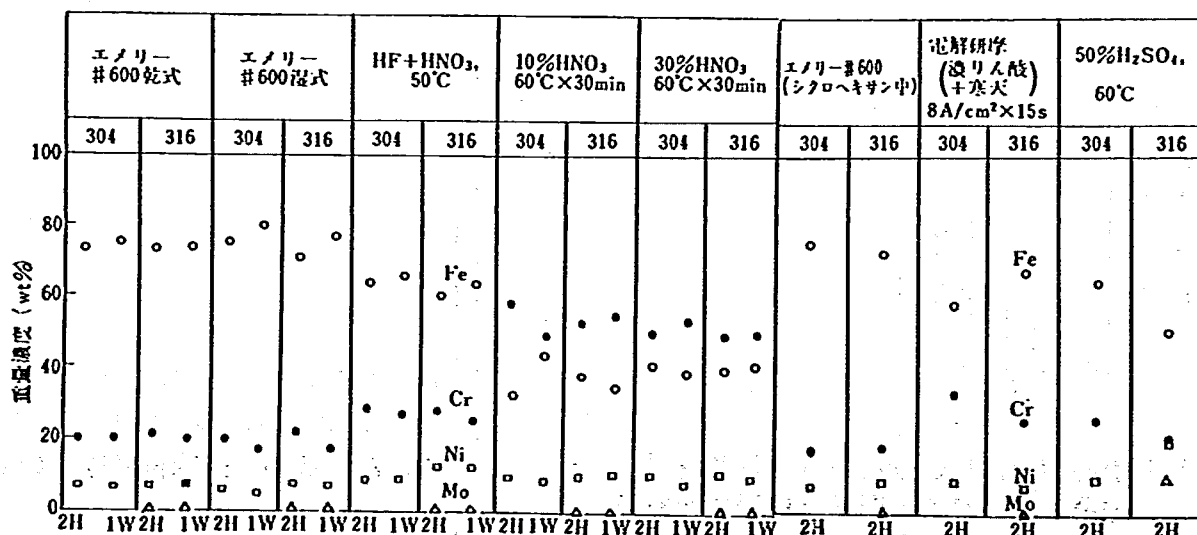


図2.3-1 各種前処理したSUS304、SUS316表面における金属成分濃度⁽⁶⁾

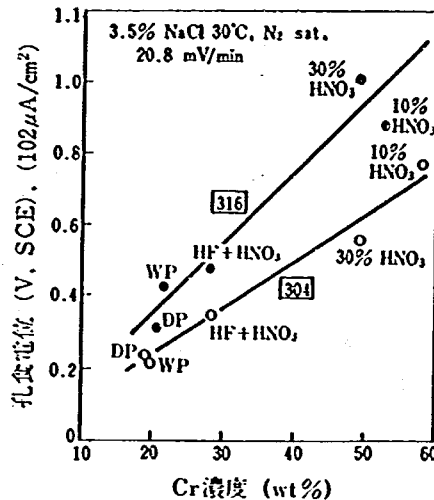


図2.3-2 不働態皮膜表面のクロム濃度と孔食電位の関係⁽⁶⁾

(前処理は、図2.3-1と同一、DP：乾式研磨、WP：湿式研磨)

4. ステンレス鋼の酸洗いは、溶接や熱処理によって生じる酸化スケールを除去し、正常な化学組成を持つ表面にするために実施される。ステンレス鋼の硝酸-ふっ酸溶液中における活性溶解速度は、鋼のクロム含有量に影響され、クロム含有量が少ない程溶解速度は高く、硝酸濃度によってクロム含有量による溶解速度が著しく異なる。このような現象を利用して酸洗いによりクロム欠乏層のみを急速に溶解させ、スケールをはく離する。このようにステンレス鋼の酸洗いはスケールの溶解ではなく、スケールと素地との中間層の溶解であるため、酸洗いに必要な時間はクロム欠乏層の程度(素地のクロム含有量とクロム欠乏層の減少量)によって決まるが、スケール中への酸洗液の浸透性も大きく影響する。

ステンレス鋼は、表面のクロム欠乏度の増大にともない耐食性が低下する。また、酸洗いをを行った場合、クロム成分の表面濃縮があるので耐孔食性および耐すきま腐食性も高くなる。

5. 金属の研磨は、表面処理や溶接スケールの除去、めっき下地、バリ取り等の実施工程において実施される。研磨方法にはベルト研磨、ワイヤブラシ、サンドブラスト、ショットピーニング、バレル研磨等があり、研磨面の特性が異なる。図2.3-3は、溶接スケール除去方法による耐孔食性の差を示す。エメリー研磨は耐食性向上に効果があるが、サンドブラストやワイヤブラシはほとんど効果を示さない。これは、サンドブラストの場合は表層の加工度が大きく、またワイヤブラシの場合は加工層はブラストに比べて浅いが表層の塑性ひずみが大きく、かつブラシワイヤの一部が表面に凝着するため、ブラシの耐食性に支配されるためである。

機械研磨は、表面の幾何学的形状や皮膜構造に影響するほか残留応力を生じる。溶接部の研削にしばしば使用するグラインダは、約60MPaに達する引張応力が残るため表面処理としては注意が必要である。バフ研磨は、表面粗度は小さく加工層も浅いため耐食性に優れている。

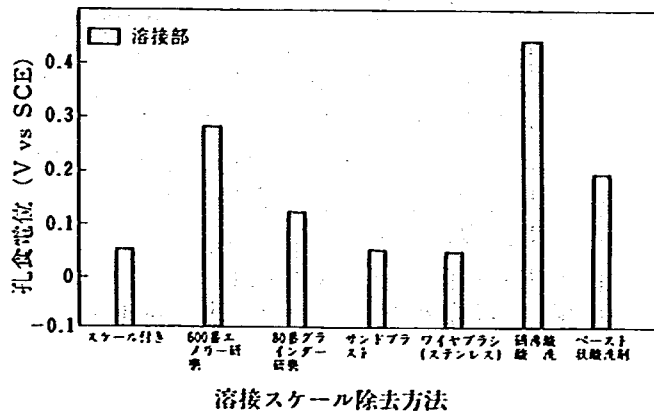


図2.3-3 耐孔食性に及ぼす溶接スケールの除去方法の効果⁽⁸⁾

(SUS329J2L, TIG共金, 人工海水, 80°C)

6. 腐食環境下においては、材料の降伏点以下の低い応力でも材料が脆性破壊し、応力腐食割れを生じる可能性がある。応力腐食割れは設備に負荷される使用応力や熱応力、残留応力による引張応力によって生じる。この残留応力としては、ボルト締め、リベット加工およびプレスや、機械

切削、研磨によっても生じる。例えば、ボイラでは、リベット加工や印字の打刻等による残量応力が応力腐食割れの原因になっており、ダム・堰・水門等の設備においても同様の問題が発生する可能性がある。

7. ダム・堰・水門等の設備の各部位には、材料強度等を考慮し複数の材料が適用されている。そのため、各材料の腐食電位の差により電位の低い部位が卑となり、異種金属接触腐食が発生する可能性がある。

8. 設備施工時における溶接の入熱の影響により、金属が鋭敏化し耐食性が劣化することがある。オーステナイト系ステンレス鋼の場合、550～850℃で加熱された履歴を持つと粒界腐食感受性を示すことがある。図2.3-4にSUS304板厚12mmの場合の入熱量と鋭敏化率の関係を示す。また、EPR法による再活性化率と腐食の関係を図2.3-5に示す。⁽²⁾

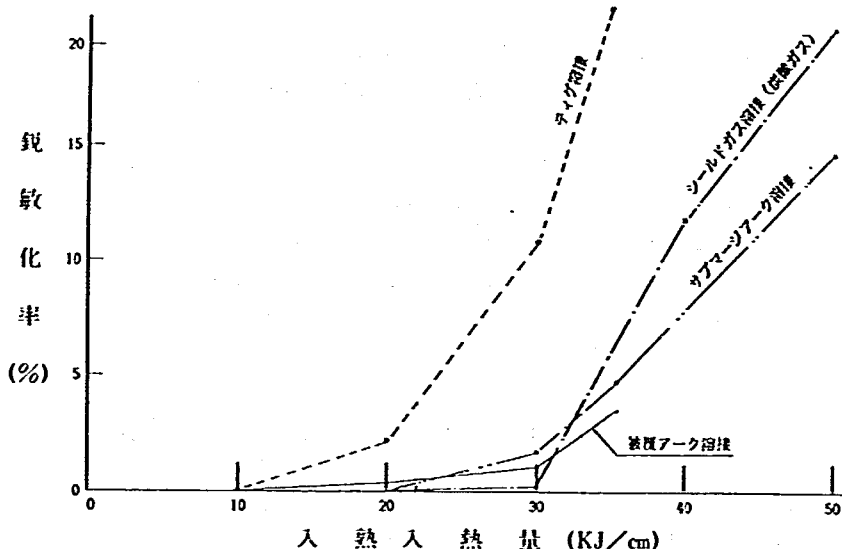


図2.3-4 入熱量と鋭敏化率の関係

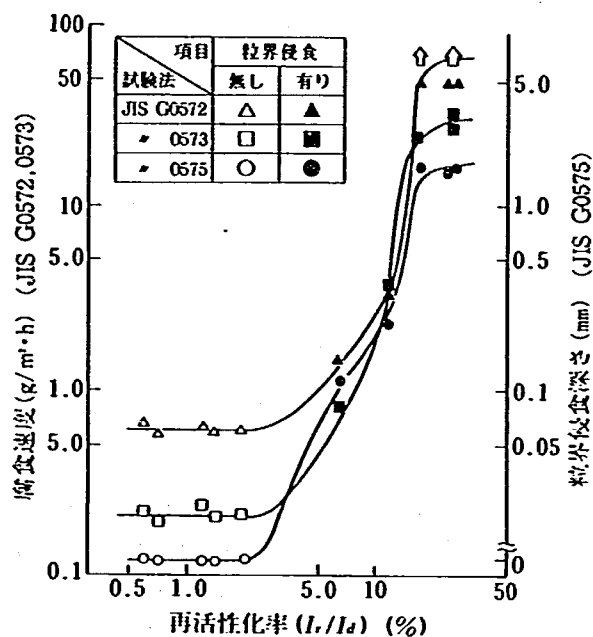


図2.3-5 SUS304の再活性化率と腐食の関係⁽²⁾

9. 設備施工時の溶接により、溶接部は、周囲から拘束された状況下で局部的に加熱、冷却される。そのため、この溶接熱サイクルの過程によって生じる塑性ひずみが原因となって、溶接継手部とその近傍に溶接残留応力が生じる場合がある。溶接残留応力の分布は、溶接入熱、継手形状等の溶接条件、溶接物の形状、拘束条件などによって異なるが、一般に溶接線方向に高い引張応力が生じる。通常、溶接のままでは溶接部近傍にはその材料の降伏応力に相当する程度の引張応力が残留しており、この溶接残留応力は応力腐食割れを引き起こす重要な因子の一つになっている。
10. 溶着金属の腐食傾向は、一般に炭素鋼では母材と大きな差はなく、むしろステンレス鋼などの耐食性材料で問題となることが多い。オーステナイト系ステンレス鋼では、孔食・すきま腐食などの局部腐食が問題となるが、特に溶着金属部では溶接の急速凝固時に各成分が均質化されないまま残ったミクロ偏析あるいは析出相が腐食を受けやすい部分となる。
11. 溶接部に発生する応力腐食割れは、局部的加熱、冷却による溶接残留応力のほか、熱影響部の鋭敏化、溶接部の形状による応力集中による影響等を受ける。また、施工時の溶け込み不良等の溶接欠陥から生じるすきま腐食を起点として応力腐食割れに進展する場合がある。
12. 塗装による防食の場合、新設塗装と塗替塗装では防食効果による差が生じる。図2.3-6に各種塗替塗装を再現した暴露試験結果1年目の例を示す。新設塗装を再現した暴露試験結果1年目では、塗膜劣化は観測されていない。⁽⁴⁾

塗替塗装仕様	A-1(水中部)	A-2(水中部)	A-1(干潟部)	A-2(干潟部)
	厚膜ジンク エポキシ下 エポキシ MIO エポキシ 中・上	エポキシ 下 エポキシ MIO エポキシ 中・上	厚膜ジンク エポキシ 下 エポキシ MIO エポキシ 中・上	エポキシ 下 エポキシ MIO エポキシ 中・上
1.(ブラスト) 有機ジンクカチペイント エポキシ下×2・中・上塗	異常なし		異常なし	
2.(動力工具) 有機ジンクカチペイント エポキシ下×2・中・上塗	塗替部3枚中1枚にわずかに1～3mmφのふくれあり	塗替部3枚中2枚に1mmφのふくれ数個	異常なし	異常なし
3.(動力工具) 変性エポキシ下塗×2 エポキシ中・上塗	塗替部3枚中1枚にわずかに1～3mmφのふくれあり		異常なし	異常なし
4.(動力工具) 変性エポキシ下塗×2 エポキシ中・上塗	塗替上塗り層に1～5mmφのふくれ多発 一部はがれ		異常なし	
5.(ブラスト) 水中施工塗装(パテ型)		異常なし		異常なし
6.(動力工具) 変性エポキシ下塗 超厚膜型エポキシ中・上塗		塗替部3枚中1枚に1～5mmφのふくれ多発 はがれはなし		異常なし
7.無溶剤塗料		塗替部3枚中2枚にT字部 コーナー上塗り はがれ3枚中1枚に1mmφふくれ多発		2枚中1枚に一部はく離あり

※A-1, A-2は新設塗装を示し, 1～7は塗替塗装を示している。
図2.3-6 暴露試験1年目の塗膜劣化(塗替仕様, エポキシ系)⁽⁴⁾

2.4防食性能試験実施に関する補足的事項

1. 腐食は, その種類によって発生・進展傾向が異なる。そのため, 防食性能試験は, 試験対象とする腐食の種類や予想される腐食の種類を考慮して行う。
2. 試験対象の構造や防食方法により腐食発生・進展の傾向が異なることに留意する。
3. 試験片の設置場所等の条件により迷走電流による電食が発生する可能性があるため, 周囲との絶縁に留意する。
4. 試験片の数は破損, 流失および試験結果のばらつきを考慮して複数とする。
5. 試験片の設置場所と固定方法は, 試験片の破損, 流失に留意して決定する。
6. 防食性能試験の試験期間は試験の目的に応じて可能な限り長期とする。

【解説】

1. 腐食には, 全面腐食や局部腐食, 異種金属接触腐食, 微生物腐食等の多数の種類があり, 腐食発生・進展傾向が異なる。防食性能試験を行う場合には, 対象とする腐食の種類を考慮して行う。
2. ダム・堰・水門等は, その構造や形状により, すきま腐食や異種金属接触腐食が発生しやすい場合がある。

ステンレス鋼等の耐食性材料を使用した設備の場合, 孔食が発生する場合がある。

3. 試験片の設置環境によっては, 周囲の環境や設備の影響を受け, 迷走電流による電食が発生する場合があるため, 試験片の設置にあたっては周囲との絶縁に留意する必要がある。
4. 防食性能試験の試験片は, 設置状況により破損や流出する場合がある。また, 試験結果がばらつくことや, 異常値を示す場合もある。これらのことから防食性能試験においては多数の試験片を供試することが望ましく, 最少3個は必要である。
5. 試験片の設置においては, 試験片が紛失しないよう十分に固定しなければならない。

また, 試験片と試験片設置架台, および試験片設置架台と設備の間で腐食電池が形成されないように注意しなければならない。

6. 防食性能試験の試験期間は可能な限り長期に渡ることが望ましいが、試験の目的毎に必要な期間を設定する。

設備の供用後、長期間が経過すると材料劣化(腐食減肉、表面の粗れ、孔食、すきま腐食、粒界腐食、応力腐食割れなどの局部腐食の発生、スケール付着による伝熱阻害、組織変化、浸炭、脱炭、クリープボイドの生成など)が進み、これに伴って環境負荷も過酷化する。そのため、事故調査等において、腐食の経時的加速がある場合は、腐食時間を慎重に選択しないと結果を誤りやすい。硝酸プラントでのSUS304Lの実地試験の例を図2.4-1に示す。⁽⁵⁾ 腐食の進行に経時的加速があると考えられ、暴露時間を長期間とするだけでは適切な試験結果が得られない場合は、促進試験により適切な試験環境を設定する必要がある。

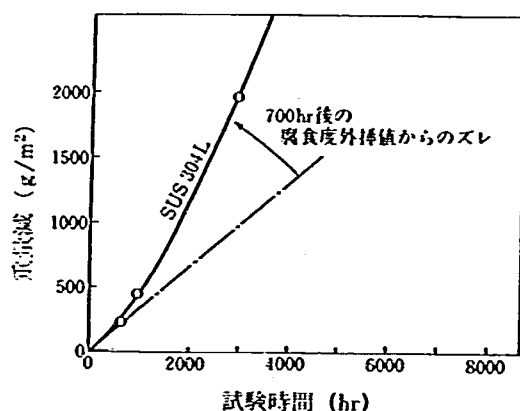


図2.4-1 腐食進展の実地試験と外挿値の相違例⁽⁵⁾

(実装置(85%HN03, 75℃)中でのSUS304Lの腐食経時変化)

7. 腐食量の経時変化を求める測定間隔については、一般的には決まっていないが、1, 3, 6ヶ月, 1, 3, 5, 10, 15, 30年程度の間隔で測定されている。
8. 試験時間が短いことが好ましいが、それに伴い腐食挙動に影響してはならない。腐食形態や腐食環境、条件などによって時間の短縮(加速の割合)が変化するが、NACE Standard TM-01-69は次式によって、試験時間を設定することを推奨している。

$$t=50/CR$$

ここに、t:試験時間[hr]

CR:腐食率[mm/yr]

3. 試験片による防食性能試験

3.1 目的

1. この防食性能試験は、塗装、耐食性材料、金属溶射および溶融亜鉛めっきによる防食性能を評価するために実施する基礎的な防食性能試験である。
2. この防食性能試験は、全般的なダム・堰・水門等に適用されている材料の設備としての防食性能評価に汎用的に適用する基礎的資料を得るために実施する防食性能試験である。
3. 早期に防食性能評価を得る場合には、促進試験を実施する。

【解説】

1. この防食性能試験は、塗装、耐食性材料、金属溶射および溶融亜鉛めっきによる防食性能を評価するために実施する基礎的な試験であり、暴露試験と促進試験に適用するものである。
2. この防食性能試験は、全般的なダム・堰・水門等に適用されている材料の設備としての防食性能評価に汎用的に適用する基礎的資料を得るための試験であり、試験片形状、腐食評価方法等を統一する必要がある。
3. 暴露試験は再現性に優れるが腐食速度が遅いために、結果を得るのに長期間を要する欠点があ

る。そのため、防食性能評価の資料を短時間で、しかも再現性よく得るために種々の促進試験方法がある。

促進試験は、試験条件を単純化したり、腐食因子を強調して試験が行われるため、試験結果と実際の防食性能との相関性に問題があり、促進試験における資料がそのまま実際の使用条件での腐食速度を表すとは一概にいえないので注意が必要である。ただし、促進試験の方法の詳細が一定の基準にもとづいて記述されていれば、すでに使用実績のある材料と比較することにより、材料の耐食性の相対的評価を行うことができる。

4. 促進試験結果を実設備の防食性能評価に反映するためには、試験結果と実設備の防食性能との相関を検討する必要がある。

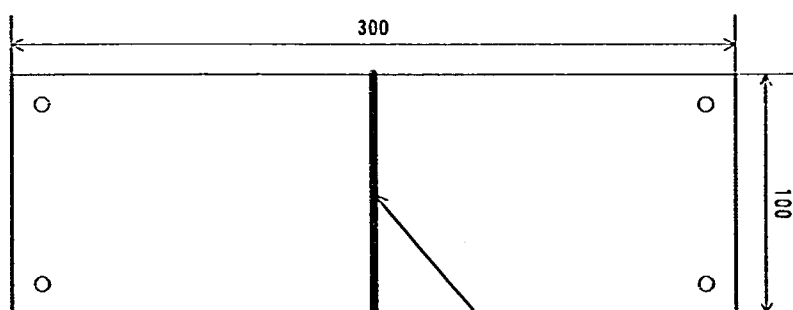
3.2 試験片形状

試験片による防食性能試験は、試験結果を全般的なダム・堰・水門等に適用される材料の設備としての防食性能評価に汎用的に適用する基礎的資料とするため、試験片形状を統一する。

【解説】

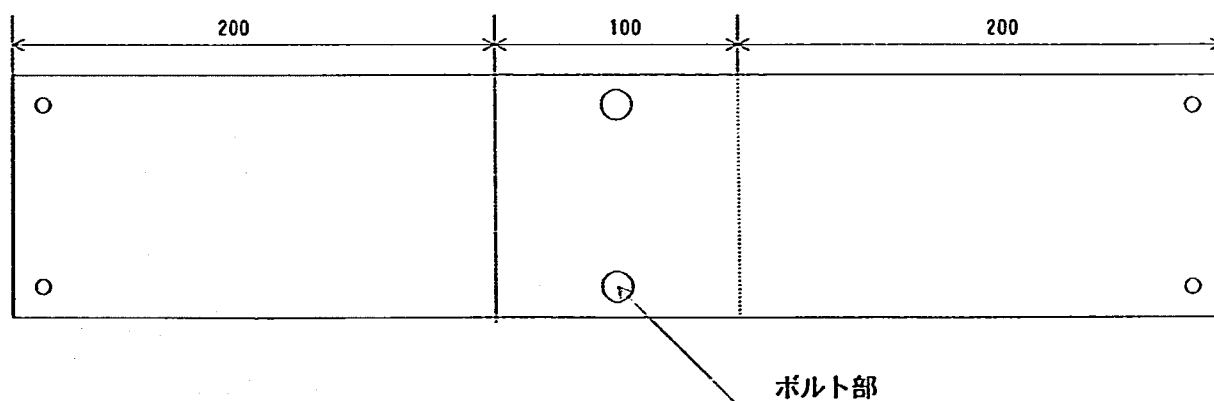
1. 試験片による防食性能試験は、その試験結果を全般的なダム・堰・水門等に適用される材料の設備としての防食性能の評価に適用するため、複数の試験結果との相関を取り、データの参考とすることがある。そのため、図3.2-1に示す試験片(案)で試験を実施する。また、別途の試験片により、長期間の暴露試験が継続調査されているため、⁽¹⁾それと同様の試験片を採用することも有効である。図3.2-2に、試験片を参考として示す。

〔塗装部(溶接部を含む)〕



〔すきま部〕

溶接部(溶接部試験をする場合)



(単位: mm)

図3.2-1 基礎的資料を得るために実施する腐食試験のための試験片(案)

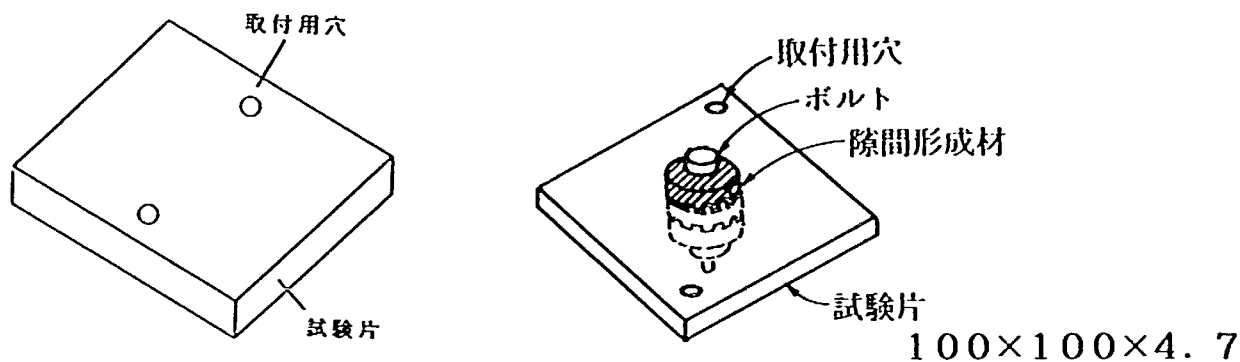


図3.2-2 腐食試験のための試験片（参考例）

3.3 塗装試験方法

1. 塗装による防食の防食性能試験は、対象とする設備の設置条件に応じて、大気部と水中部、干満部に関するものがある。
2. 大気暴露試験方法は、JIS Z 2381「屋外暴露試験方法通則」に準拠した試験方法および過去の実施事例を参考に行うものとする。
3. 水中部および干満部での暴露試験は、その腐食環境を考慮して実施する。
4. 促進試験は、JIS K 5400「塗料一般試験方法」に準拠した試験方法および過去の事例を参考に、目的、用途に応じた試験方法を選択する。

【解説】

1. 暴露試験は、自然環境下での耐久性を調査する耐候性試験と、経時変化を調査する試験がある。
2. 環境によって防食性能が異なるため、暴露試験は、目的とする環境条件に応じて、大気部と水中部、干満部に分類することができる。

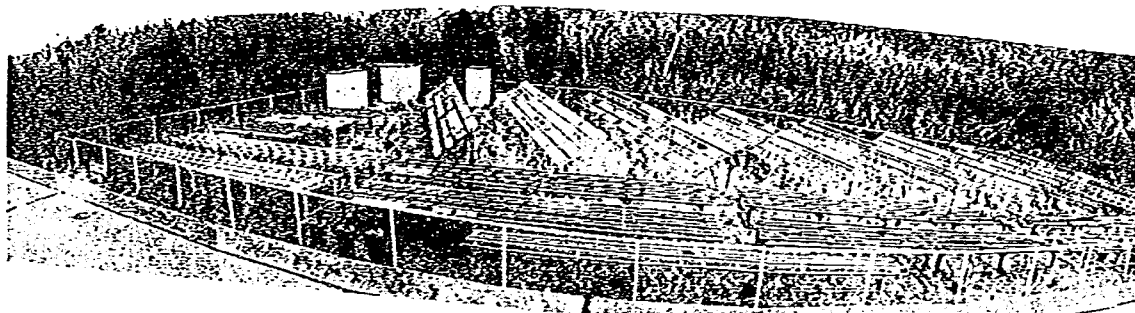


図3.3-1 大気部暴露試験状況



図3.3-2 海中部暴露試験状況

3. 大気暴露試験方法には、JIS Z 2381「屋外暴露試験方法通則」がある。

4. 水中部および干満部での暴露試験を行う場合、濡れ条件等により腐食の傾向が異なるため、目的とする環境に応じて試験を実施する。試験片の設置事例として、図3.3-3がある。

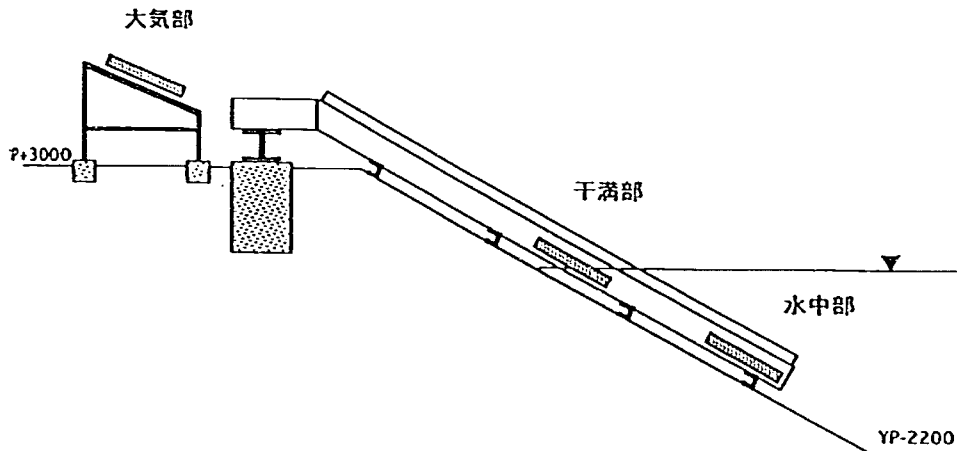


図3.3-3 試験片の設置事例⁽³⁾

5. 促進試験方法は、以下の試験方法がある。

(1) 塩水噴霧試験

試験片を、塩水噴霧試験装置内に定時間保持し、塩水によるさびおよび塗膜の膨れ・はがれの発生状態を調べる。

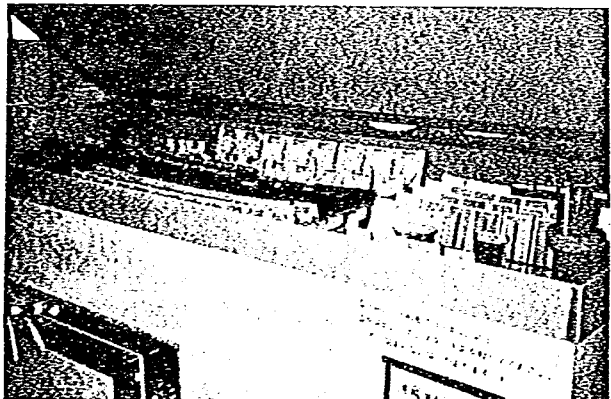
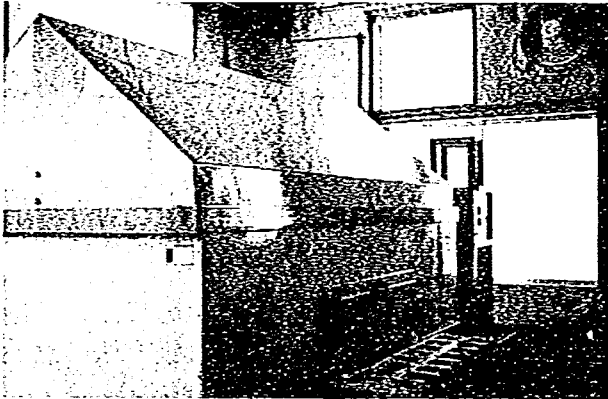


図3.3-4 塩水噴霧試験状況

(2) 耐湿性試験

耐湿性には、試験片を恒温恒湿槽に入れ、塗膜上に結露させないで試験する固定式と、湿潤箱の中に試験片をつるしてゆっくり回転させながら、塗膜上に結露させて試験する回転式とがある。

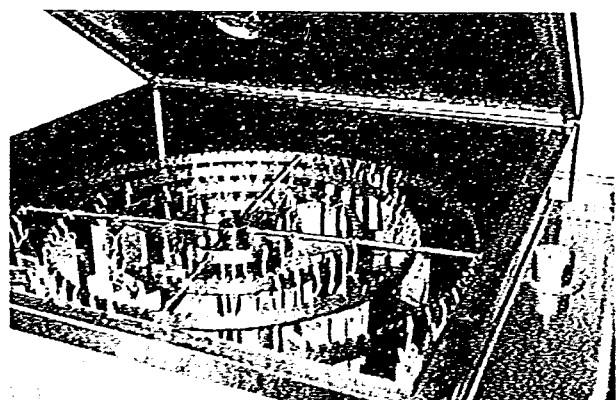
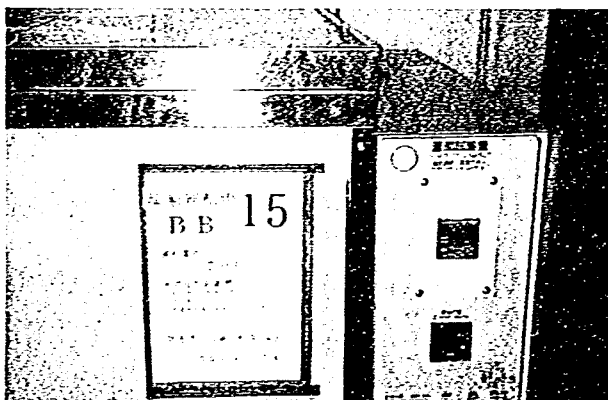


図3.3-5 耐湿性試験状況（回転式）

(3) 促進耐候性試験

促進耐候性には、サンシャインカーボンアーク灯式とキセノンアーク灯式とがある。

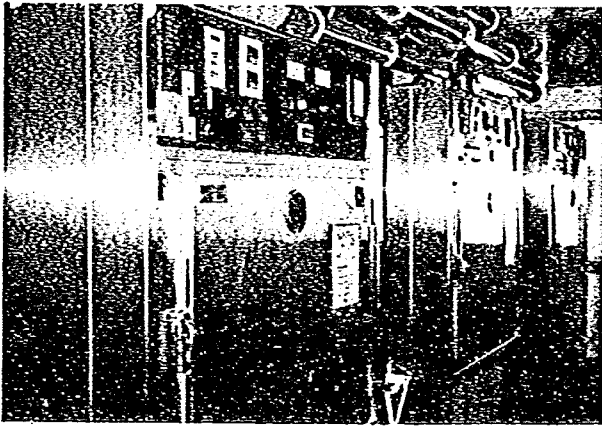


図3.3-6 促進耐候性試験状況（サンシャインアーク灯式）

(4) その他

温度勾配試験は、塗装試験片の両面の温度差による試験片のふくれの有無を目視により確認する。

3.4 金属溶射および溶融亜鉛めっき試験方法

1. 金属溶射および溶融亜鉛めっきの防食性能試験方法は、暴露試験を原則とする。
2. 暴露試験は、JIS Z 2381「屋外暴露試験方法通則」に準拠することを標準とする。
3. 促進試験を行う場合は、JIS Z 2371「塩水噴霧試験方法」に準拠することを標準とする。
4. 試験片の表面処理は、防食性能評価の対象とする構造物と同等とすることを原則とする。

【解説】

1. 金属溶射および溶融亜鉛めっきは、金属溶射および溶融亜鉛めっきの適用が大気中の構造物に限られる。従って、暴露試験の種類は、試験片が、風、雨、日光などの自然環境で暴露する状態を考慮した暴露試験とする。

防食用溶射皮膜のJISには防食性能試験方法が表示されているが、これはJISの解説にも指摘されているように、溶射作業の適否を判定するものである。従って、使用する試験方法の意義を理解しその限界を把握することが重要である。

2. 金属溶射および溶融亜鉛めっきの暴露試験方法は、JIS Z 2381「屋外暴露試験方法通則」に準拠するが、具体的な試験の詳細は、JIS Z 0304「さび止め処理金属の大気暴露試験方法」等に詳述されているので参考とする。

ここで暴露試験における留意点を次に示す。

(1) 試験片の取り付け角度は、JISに記載されているように、特別な目的がなければ仰角30°または45°で行うと、他のデータとの比較に便利である。

(2) 試験片を取り付ける架台は試験の目的に応じているものであれば、特に決める必要はないが、架台と試験片との接触腐食やすきま腐食をおこさないように注意する。

(3) 対象となる設備の設置条件が海浜地帯であるときは、方位と関係なく海岸または河川に向けて暴露する。

3. 促進試験の種類は、大気中での暴露状態の促進試験に適する塩水噴霧試験とする。塩水噴霧試験は、試験片に通気した食塩水の噴霧を吹き付けて腐食を促進する方法である。

塩水噴霧試験の試験方法は、JIS Z 2371「塩水噴霧試験方法」に準拠するが、その試験条件は次のようになる。

- ① 試験片の位置：鉛直から15～30°
- ② 溶液の濃度：5±1wt%食塩水 (pH:6.5～7.2, 25℃)
- ③ 供給空気圧：0.07～0.18 N/mm² (35±2℃)

④ 噴霧量：0.5～3.0ml/hr連続噴霧

⑤ 試験時間：規定による。

4. 金属溶射および溶融亜鉛めっきは、皮膜による防食方法であるので暴露試験の結果は皮膜の効果がない限り、母材の熱処理、溶接による内部応力などの状態に影響を受けない。また、母材の材質による影響は、一般に金属溶射および溶融亜鉛めっきの施工が普通鋼材に限定されるので特に他の材質を考慮する必要はない。従って、試験片は、次の要素を考慮して対象とする設備と同等となるように製作する。

(1) 母材の表面状態

① 溶接ビード(表面状態)

② 母材角部分の端面処理(面取りの有無等)

③ 母材表面の傷(打痕等の有無)

④ 母材の表面処理(素地調整の程度)

(2) 金属皮膜の表面状態

① 皮膜の傷(階段、タラップ等で人の昇降があり皮膜の傷がつきやすい場合等)

② 皮膜の摩耗(階段、タラップ等で人の昇降により皮膜の部分的な摩耗が著しい場合等)

金属溶射および溶融亜鉛めっきは母材の表面処理(素地調整)の程度により、防食性能に影響を受けることに注意する必要がある。

なお、試験片製作時の上記要素の条件設定は、想定される条件のなかで良好な条件を採用した場合には実態とあわず、試験の意味がなくなる恐れがあるので注意が必要である。

3.5耐食性材料試験方法

1. 耐食性材料の防食性能試験は、材料により腐食特性が異なるため、これを考慮して実施する必要がある。

2. 耐食性材料による防食性能試験は、対象とする設備の設置条件に応じて、大気部と水中部、干満部に関するものがある。

3. 大気暴露試験方法は、JIS Z 2381「屋外暴露試験方法通則」に準拠した試験方法や過去の実施事例を参考に行うものとする。

4. 水中部および干満部での暴露試験は、その腐食環境を考慮して実施する。

5. 促進試験は、腐食の種類に応じてJIS等の試験方法を参考にして実施する。

【解説】

1. 耐食性材料によって腐食特性が異なるため、防食性能試験の実施時には腐食特性を考慮する必要がある。ステンレス鋼の腐食には、孔食、すきま腐食、粒界腐食、応力腐食割れ、異種金属接触腐食、微生物腐食などがあり、考慮する腐食の種類に応じて適正な試験方法を用いる必要がある。

2. 耐食性材料の防食性能試験を実施する場合、2.3「設備の構造による腐食への影響」に示す腐食への影響に加えて、次の点を考慮して行わなければならない。

(1) 材料の加工履歴

材料の組成、熱処理、加工方法(冷間加工、溶接、研磨、表面処理等)を対象とする構造物に用いられている材料とできる限り同じものとする。ステンレス鋼の場合、加工が及ぼす耐食性への影響は以下の通りである。

① 冷間加工

オーステナイト系ステンレス鋼の冷間加工の影響は、鋼種や腐食環境の性質によって異なるが、一般に加工度が高く、加工温度が低いほど加工誘起マルテンサイトの生成量が多くなる。この加工誘起マルテンサイトはオーステナイトに比べて活性域での腐食量を増大させる。ただし、不働態域や過不働態域においては影響は認められない。

また、SUS304は常温の加工によって生じるマルテンサイト量は通常わずかであるため、耐食性に与える影響は小さい。

② 溶接

材料の種類によって異なるが、一般に溶接時に熱サイクルを受けるために非溶接部に比べて溶接部の耐食性は低下する傾向にある。溶接部に関係する腐食形態としては、粒界腐食、応力腐食割れ、孔食・すきま腐食がある。

i) 粒界腐食

オーステナイト系ステンレス鋼の熱影響部のうち溶接熱によって鋭敏化温度範囲に加熱された部分は、クロム欠乏域を生じ設置環境によっては帯状に腐食される場合がある。これはウェルドディケイと呼ばれる。粒界腐食が発生しやすい環境では、低炭素鋼のSUS304L、SUS316Lやチタン、ニオブを添加した安定化鋼のSUS321、SUS347等の鋼種が使用される。しかし安定化鋼であっても1300℃に加熱された部分では炭素を固定したチタン、ニオブ炭化物がオーステナイト中に再び溶け込み、その後鋭敏化温度まで加熱されるとクロム炭化物として析出するため溶接金属との境界に近接して帯状に腐食される、いわゆるナイフアタックを起こす。

ii) 孔食・すきま腐食

溶接部は母材に比べて凹凸が多く、ビード表面も酸化スケールで覆われている。除去不十分なスラグや手入れ残りのアンダーカット、溶け込み不良やブローホールなどの溶接欠陥は、これをもとにすきま腐食を生じたり応力腐食割れの起点となりやすく極めて不利な状況となる。特に、溶接酸化スケールの影響を受けやすいステンレス鋼では、スケール直下の耐孔食性が著しく低下するので、溶接スラグや酸化スケールを除去することが重要である。

iii) ステンレスクラッド鋼の溶接

ステンレスクラッド鋼の溶接材料は、あらかじめ溶接時の希釈率を考えて適正な溶接金属組成、組織となるように選定される。

オーステナイト系ステンレスクラッド鋼の場合、合せ材に対しては材料特性上、溶接後熱処理は不要であるが母材側からの要求で溶接後熱処理が行われる場合がある。構造用母材の溶接後熱処理条件600～700℃では、合せ材に対して粒界炭化物の析出による耐食性の著しい低下が生じる。また、ステンレス鋼側の応力除去効果が十分に期待できないため、ステンレス鋼の粒界腐食型応力腐食割れが問題となることもある。

③ 熱処理

ステンレス鋼の熱処理には、マルテンサイト系ステンレス鋼における焼入れ焼戻しや析出硬化型鋼における硬化処理など鋼に構造用材料として要求される機械的性質を付与するために行う場合があるが、最も広く行われているものはオーステナイト系ステンレス鋼の場合の加工後の応力除去熱処理およびカーバイドや σ 相等の析出物の固溶化熱処理である。

応力除去が不完全な場合の影響は応力腐食割れに対して大きい。たとえ十分高温で熱処理されても形状が複雑な場合は冷却中に生ずる熱応力により再び残留応力が生じ、完全な応力除去熱処理ができない場合がある。冷却時の残留応力を小さくするためには、できる限り冷却速度を遅くする必要があるが、冷却速度を遅くすると冷却中にカーバイドや σ 相の析出をまねきやすく、残留応力による腐食は防止できても析出物による粒界腐食等耐食性の劣化を生ずる場合もある。

従来、ダム・堰・水門等に用いられてきたステンレス鋼の場合、材料の加工履歴が耐食性に対する実用的な弊害をもたらした例は、極めて少ないといえる。

3. 設置環境によって防食性能が異なるため、防食性能試験を実施する場合は、目的とする環境条件に応じて実施する。一般には、大気部と水中部、干満部に分類することができる。

4. 大気部での暴露試験方法には、JIS Z 2381「屋外暴露試験方法通則」がある。

5. 水中部および干満部での防食性能試験を行う場合、水質、濡れ条件により腐食発生・進展の傾向が異なるため、目的とする環境に応じて試験を実施する。

6. 干満部における鋼材の腐食速度として、小型試験片の場合、飛沫帯とほぼ同程度の腐食速度を示すが、水中部から干満部までの連続した長尺試験片の場合、干満部と干満部直下の水中部との間に、マクロな酸素濃淡電池が形成され、干満部の腐食が減少することが知られている。鋼材の腐食事例を図3.5-1に示す。また、溶接時の入熱による腐食発生への影響が、小型試験片より長尺試験片の方が顕著であることが知られている。そのため、必要に応じて、図3.2-1の試験片よりも

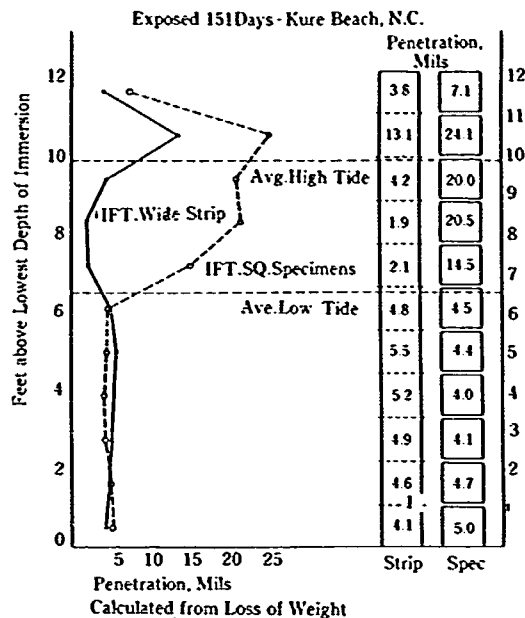


図3.5-1 海洋環境における鋼材の腐食⁽⁷⁾

長尺な試験片による試験や構造物を考慮した暴露試験を実施する。

7. 試験片の設置事例として、図3.3-3がある。

8. 促進試験には以下のものがある。

(1) 全面腐食性試験

1) 試験方法

全面腐食の試験方法として、JIS G 0591「ステンレス鋼の5%硫酸腐食試験方法」がある。

2) 測定項目

① 腐食減量

(2) 孔食性試験

1) 試験方法

孔食の試験方法としては、JIS G 0578「ステンレス鋼の塩化第二鉄腐食試験方法」がある。

2) 測定項目

① 腐食減量

(3) すきま腐食性

1) 試験方法

ASTM G 78に準拠する。(浸漬試験)

2) 測定項目

① 腐食減量

② 孔食深さの測定

(4) 応力腐食割れ性

1) 試験方法

応力腐食割れ感受性を試験する方法として、JIS G 0576「ステンレス鋼の42%塩化マグネシウム腐食試験方法」がある。

2) 測定項目

① 割れ深さ

② 付加応力と破断時間

(5) 粒界腐食性

1) 試験方法

粒界腐食の試験方法としては JISにおいていくつかの方法が規定されており、例えば、JIS G 0575「ステンレス鋼の硫酸・硫酸銅腐食試験方法」がある。これは、ISO 3651/2と同

等である。

ASTM A 262には、オーステナイト系ステンレス鋼の粒界腐食感受性に関する試験方法が規定されており、JISの規定はこれと同等である。

2)測定項目

- ① 割れ
- ② 割れ発生時間

(6) 異種金属接触腐食性

1)試験方法

試験液中浸漬

2)測定項目

- ① カップリング電流密度
- ② 腐食減量
- ③ 孔食深さ

3.6金属溶射および溶融亜鉛めっきと塗装の併用試験方法

1. 金属溶射および溶融亜鉛めっきと塗装併用の暴露試験は、原則として3.3「塗装試験方法」による。
2. 金属溶射および溶融亜鉛めっきと塗装併用の促進試験は、JIS K 5400「塗料一般試験方法」に準拠した試験方法とする。
3. 試験片の表面処理は、対象設備と同等とすることを原則とする。

【解説】

1. 金属溶射および溶融亜鉛めっきに塗装を併用する目的には次のものがある。

- ① 景観、識別等のための彩色
- ② 防食性能の向上

いずれの場合も塗装の性能を第一に確認することが重要であり、防食性能試験は3.3「塗装試験方法」に準拠することを原則とする。

2. 金属溶射および亜鉛めっきに塗装を併用した場合の促進試験は、3.4「金属溶射および溶融亜鉛めっき試験方法」に準拠して行う。

3. 金属溶射に塗装を併用する場合は、3.4「金属溶射および溶融亜鉛めっき試験方法」で述べた試験片の製作時の考慮事項の他に、次の事項に留意する必要がある。

(1) 金属溶射は、金属溶射皮膜に気孔を有するため封孔処理を行わなければ塗膜のふくれを生じる。このため、試験片製作時には、封孔処理の程度を対象構造物の実態に合わせて製作する。

(2) 溶融亜鉛めっきの場合は、めっき面の活性が強く、二次生成物が水溶性であるため表面が不安定な状態であり、めっき表面状態により塗膜のはく離が生じるので、めっき表面の素地調整の程度により塗膜寿命が異なる。このため、防食性能評価の対象とする設備の実態に合わせた素地調整を行う必要がある。

3.7耐食性材料と塗装の併用試験方法

耐食性材料と塗装を併用した場合の防食性能試験は、原則として3.3「塗装試験方法」による。ただし、異種金属接触腐食防止のために用いる塗装の効果を評価する場合等、耐食性材料の腐食特性にも関連がある場合には、3.5「耐食性材料試験方法」も参考にする。

【解説】

1. 耐食性材料に塗装を併用する目的には次のものがある。

- ① 景観、識別等のための彩色
- ② 異種金属接触腐食の防止

いずれの場合も塗装の性能を第一に確認することが重要であり、防食性能試験は3.3「塗装試験方法」による。ただし、異種金属接触腐食の防止のために塗装を用いる場合、耐食性材料の腐食特性が関連するため3.5「耐食性材料試験方法」も併せて参考にする必要がある。

耐食性材料と塗装を併用した場合の室内促進試験には、次のものがある。

- (1) 耐食性試験
クロスカット+塩水噴霧試験(JIS Z 2371)
- (2) 塗膜密着性試験
基盤目試験
- (3) 耐候性試験(JIS K 5400)
耐候性試験機による色彩、光沢度の変化

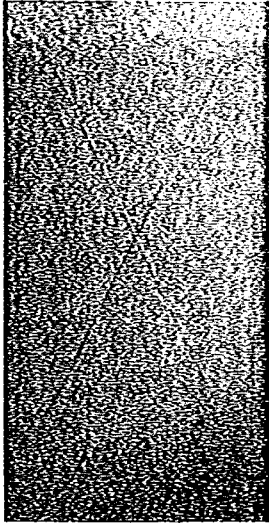


図3.8-1 クロスカット・塩水噴霧試験

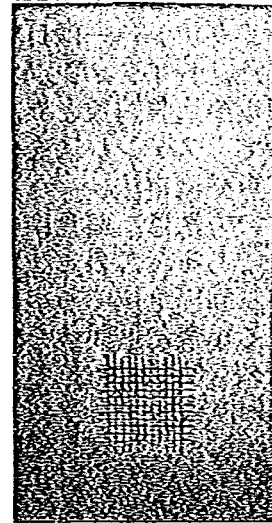


図3.8-2 基盤目試験

3.8防食性能評価方法⁽⁹⁾

1. 防食性能評価は、目視観察および重量減を基本とし、防食方法と腐食状態によって最適な防食性能評価方法を決定しなければならない。
2. 目視観察は、試験片全体の腐食状態を把握することを目的として行う。
3. 重量減測定は、腐食後の肉厚および腐食速度を把握することを目的として行う。

【解説】

1. 目視観察は、試験片全体の腐食状態の概略を把握するために行うものである。
2. 重量減測定は、腐食による鋼材肉厚の減少量や腐食傾向を定量的に把握するために行うものである。
3. 実施する防食性能試験によって、防食性能の評価方法や測定可能な腐食データが異なる。そのため、最適な評価方法によって評価しなければならない。
重量減測定が困難な場合、肉厚測定により鋼材肉厚の減少量や腐食傾向を把握することができる。
4. 腐食発生・進展の経時的変化を測定するために、電気化学的測定により補足的に腐食測定を行うことができる。
5. 重量減測定や肉厚減測定結果より得られた鋼材肉厚は、構造物の健全評価のために行う構造計算等に用いる。
6. 重量減測定や肉厚減測定結果に基づく腐食量と経過年数により得られた腐食速度は、実設備の腐食程度と比較することにより、実設備の将来の腐食傾向を推定するために用いる重要な資料となる。
7. 防食性能評価の方法としては次のものがある。

(1) 外観による評価(塗装)

塗膜の劣化を評価する基準として、種々の基準があるが、塗膜劣化のその内容により分類評価する場合には、ASTM D 610に塗装鋼板の腐食評価標準図があり、ASTM D 714に塗膜劣化標準写真(ふくれ)がある。また、ASTM D 660に塗膜劣化標準図(き裂)がある。

塗膜の劣化を総合して評価する基準として、塗膜劣化状態およびケレン程度見本帳⁽¹²⁾がある。

(2) 外観による評価(溶融亜鉛めっき)

溶融亜鉛めっきの劣化を評価する基準として、溶融亜鉛めっきの劣化標準図⁽¹⁰⁾がある。

(3) 外観による評価(鋼板)

全腐食面積率がレイティングナンバーによって11段階(0~10)で分類されている。

レイティングナンバーを使用する場合は、さびとさび汁を区別しなければならない。レイティングナンバーはJISにも示されている。

また、レイティングナンバーをステンレス鋼の評価に用いる場合、さびのパターンがめっき鋼板や塗装鋼板と異なるために、基準図による評価では評定者によりばらつきが生じる。そこで、ステンレスを評価するためのレイティングナンバーが別途示されている。⁽¹¹⁾

(4) 重量減測定法

この方法は、腐食による重量減少から腐食量や腐食速度を定量化する最も基本的で重要な方法である。この方法は一定期間および試験片全面における腐食の積算値から、その期間および試験片全体でも平均腐食速度を算出することになる。そのため、腐食速度が時間的に変動する場合に瞬間値を求めることはできない。また、腐食が局部化するほど平均値としての表示の意味が失われる。

(5) 肉厚減測定法

この方法は、腐食による鋼材の肉厚減少から腐食量や腐食速度を定量的に評価する基本的な方法である。この方法は、重量減測定法と同様に、腐食速度が時間的に変動する場合に瞬間値を求めることはできない。また、超音波厚み計等を用いて肉厚減少を測定する場合、測定誤差等に関する注意が必要である。

(6) 電気化学的測定(自然電位)

腐食現象が電気化学的現象であるため、電位の測定により腐食の発生・進展が推定できる。電位測定装置を図3.8-1に示す。ステンレス鋼の場合、腐食が発生すると、試験片の電位は相対的に低下する。そのため、測定された電位が低ければ、腐食していると判断できる。電位を連続計測した場合、腐食により以下の傾向が見られる場合がある。電位の連続計測の模式図を図3.8-2に示す。

- i) 腐食が発生するとそれに対応して、卑な電位を示す。
- ii) 腐食が進展している状態では、電位は卑な値を保つ
- iii) 発生・進展していた腐食が停止すれば、電位は上昇する。

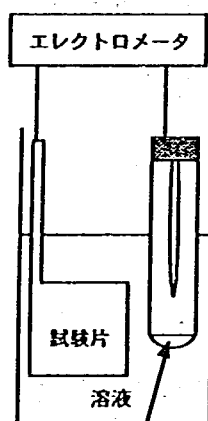


図3.8-1 電位測定系の模式図

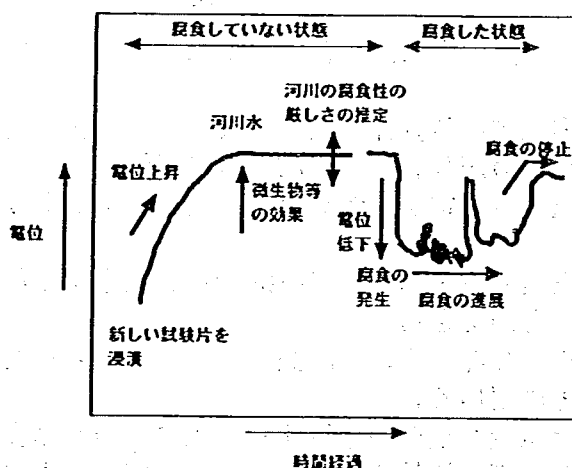


図3.8-2 電位挙動と腐食現象の対応例

4. 設備状況を考慮した防食性能試験

4.1 目的

1. この防食性能試験は、塗装、耐食性材料、金属溶射および溶融亜鉛めっきをダム・堰・水門等に適用した場合における防食性能を評価するために実施する防食性能試験である。
2. この防食性能試験は、ダム・堰・水門等の形式や環境を考慮して実施する。

【解説】

この防食性能試験は、ダム・堰・水門等へ塗装、耐食性材料、金属溶射および溶融亜鉛めっきを適用した場合の防食効果を評価するために実施する試験であり、設備の構造、形状、加工方法等を考慮して実施する。

4.2 試験片形状

設備状況を考慮した試験を実施する場合は、各防食方法特有の条件、設備の形状の特徴を考慮し、試験片を作成しなければならない。

【解説】

1. 設備状況を考慮した試験を実施する場合においても、2.3「設備の構造による腐食への影響」を考慮するとともに、各防食方法特有の条件を考慮して試験片を作成しなければならない。
2. 試験片は、試験期間中に予測しない腐食損傷が発生しても、評価可能な大きさとしなければならない。可能な限り大きいほうがよいが、設備の形状の特徴が生かされていれば、取扱い性、経済性を考慮して、試験結果に影響を及ぼさない範囲で小さくしてもよい。
3. 試験片形状の決定においては、2.2「試験環境」および2.3「設備の構造による腐食への影響」を考慮して決定する。

4.3 塗装試験方法

1. 塗装による防食の設備状況を考慮した防食性能試験は、試験片の仕様を除いて原則として、3.3「塗装試験方法」による。
2. 試験片の材料、表面処理、形状、設置条件は、防食性能評価の対象とする設備を考慮して決定するものとする。

【解説】

1. 塗装による防食の設備状況を考慮した防食性能試験は、試験片の仕様を除いて、3.3「塗装試験方法」の暴露試験方法に準拠する。
2. 試験片の仕様は、防食性能評価の対象とする設備の材料や表面処理、形状、設置条件等を考慮して決定する。
3. 試験片の仕様は、試験の目的に応じて、決定しなければならない。河川用塗料の防食性能試験での試験片例を図4.3-1に示す。この例は、新設時の塗装と塗替塗装による塗膜劣化状況の相違を比較するために行われた防食性能試験である。新設塗装試験片は、塗膜劣化を促進させるために傷をつけており、塗替試験片は、新設塗装試験片を数ヶ月間暴露することにより腐食を発生させた後、腐食箇所をブラスト処理し、塗替塗装を行っている。また、エッジ部・コーナー部の塗膜性能を評価するために、T字型の突起部を溶接している。⁽⁴⁾

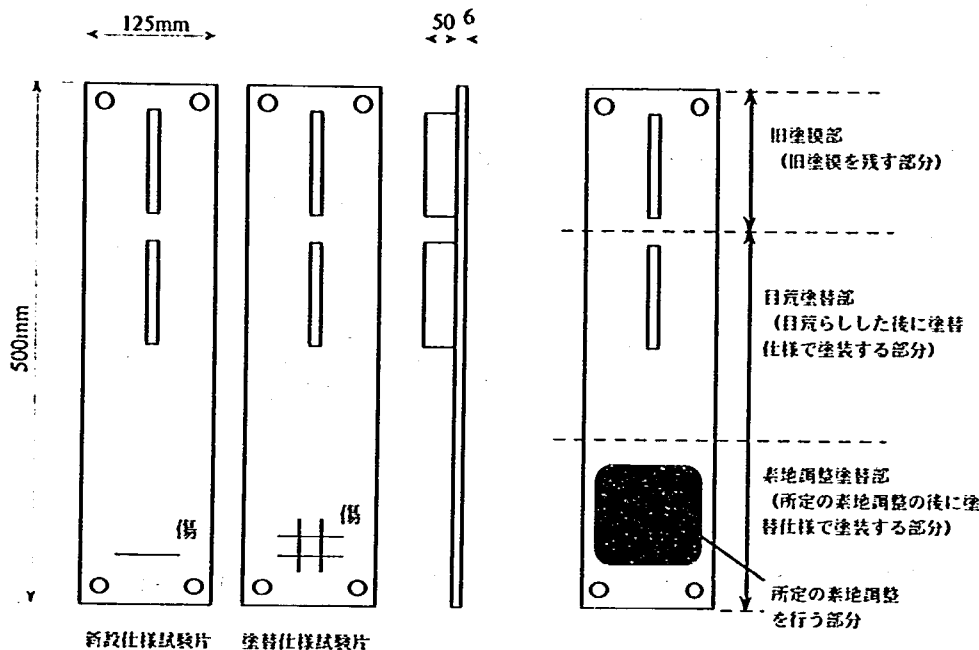


図4.3-1 河川用塗料に関する暴露試験片の例⁽⁴⁾

4.4 金属溶射および溶融亜鉛めっき試験方法

1. 金属溶射および溶融亜鉛めっきの設備状況を考慮した防食性能試験は、試験片の仕様を除いて原則として3.4「金属溶射および溶融亜鉛めっき試験方法」による。
2. 試験片の材料、表面処理、形状、設置条件は、防食性能評価の対象とする設備を考慮して決定するものとする。

【解説】

1. 金属溶射および溶融亜鉛めっきの設備状況を考慮した防食性能試験方法は、金属溶射および溶融亜鉛めっきの適用が大気中に限定されるため、試験片の仕様を除いて試験片による試験と設備状況を考慮した試験とで、試験方法に大きな違いはない。従って、試験方法は、3.4「金属溶射および溶融亜鉛めっき試験方法」に準拠する。
2. 金属溶射および溶融亜鉛めっきの使用は大気中に限定されており、次に示す要素がある設備は、その部分が選択的に腐食されるので、試験片の形状を防食性能評価の対象とする設備に合わせる必要がある。
 - ① 常に水が溜まりやすい構造となっている。
 - ② 部材がボルト等で綴じ合わされ部材間の隙間に雨水の侵入がある。
 - ③ 土砂が溜まりやすく、かつ自然には排除されにくい。

4.5 耐食性材料試験方法

1. 耐食性材料の設備状況を考慮した防食性能試験は、試験片の仕様を除いて原則として3.5「耐食性材料試験方法」による。
2. 試験片の材料、表面処理、形状、設置条件は、防食性能評価の対象とする設備を考慮して決定するものとする。

【解説】

1. 耐食性材料の設備状況を考慮した防食性能試験は、試験片の仕様を除いて、3.5「耐食性材料試験方法」に準拠する。
2. 耐食性材料によって腐食特性が異なるため、2.3「設備の構造による腐食への影響」と3.5「耐食性材料試験方法」を考慮して、防食性能評価の対象とする設備を考慮した十分な試験片の仕様

の検討を行う必要がある。図4.5-1に耐食性材料の防食性能試験の例を示す。この試験片は、魚腹式ゲートの土砂堆積部分の微生物腐食の検討を行うためのものである。試験片は箱形をしており、水抜き穴からの土砂の堆積を再現するための水抜き穴が開口されている。また、溶接箇所の腐食を検討するために、試験片内に、銅板が溶接されている。

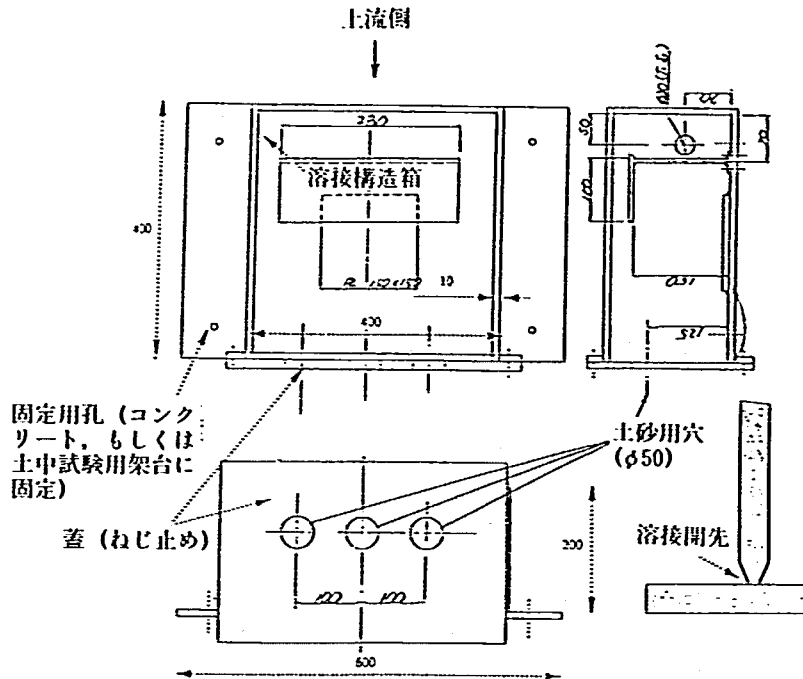


図4.5-1 土砂堆積による腐食発生試験片の事例

4.6 金属溶射および溶融亜鉛めっきと塗装の併用試験方法

1. 金属溶射および溶融亜鉛めっきと塗装の併用の設備状況を考慮した暴露試験は、試験片の仕様を除いて原則として「3.6 金属溶射および溶融亜鉛めっきと塗装の併用試験方法」による。
2. 試験片の材料、表面処理、形状、設置条件は、防食性能評価の対象とする設備を考慮して決定するものとする。

【解説】

1. 金属溶射および亜鉛めっきに塗装を併用した設備状況を考慮した試験方法は、金属溶射および亜鉛めっきと塗装の併用による防食の適用が大気中に限定される。そのため、防食性能試験方法については、試験片の仕様を除いて、3.6「金属溶射および溶融亜鉛めっきと塗装の併用試験方法」に準拠する。
2. 金属溶射および溶融亜鉛めっきと塗装の併用は、大気中に限定されるため、設備状況を考慮した試験片は、次の要素について、防食性能評価の対象とする設備を考慮して決定する必要がある。

(1) 表面処理

防食性能評価の対象とする設備の表面処理が明確となっている場合、同一条件で試験片の表面処理を行う。表面処理の留意点を次に示す。

- i) 金属溶射は、金属溶射皮膜に気孔を有するため封孔処理を行わなければ塗膜のふくれを生じるため、封孔処理の程度を対象構造物の実態と同等とする。
- ii) 溶融亜鉛めっきの場合は、めっき面の活性が強く、二次生成物が水溶性であるため表面が不安定な状態であり、めっき表面状態により塗膜のはく離が生じるので、めっき表面の素地調整の程度により塗膜寿命が異なる。従って、防食性能評価の対象とする設備の実態に合わせた素地調整を行う。

(2) 試験片形状

次に示す要素がある設備は、その部分が選択的に腐食されるので、試験片形状の決定にお

いて、特に留意する必要がある。

- ① 常に水が溜まる構造となっている。
- ② 部材がボルト等で綴じ合わされ部材間の隙間に雨水の侵入がある。
- ③ 土砂が溜まりやすく、かつ自然には排除されにくい。

4.7防食性能評価方法

1. 防食性能評価は、目視観察および肉厚減を基本とし、防食方法と腐食状態によって、最適な防食性能評価方法を決定しなければならない。
2. 目視観察は、試験片全体の腐食状態を把握することを目的として行う。
3. 肉厚減測定は、腐食後の肉厚および腐食速度を把握することを目的として行う。

【解説】

1. 目視観察は、試験片全体の腐食状態の概略を把握するために行うものである。
2. 肉厚減測定は、腐食による鋼材肉厚の減少量や腐食傾向を定量的に把握するために行うものである。
3. 実施する試験によって、最適な防食性能試験方法や測定可能な腐食データが異なる。そのため、最適な評価方法によって評価しなければならない。
4. 腐食発生・進展の経時的変化を測定するために、電気化学的測定により補足的に腐食測定を行うことができる。
5. 肉厚減測定結果より得られた鋼材肉厚は、設備の健全評価のために行う構造計算等に用いる。
6. 肉厚減測定結果に基づく腐食量と経過年数により得られた腐食速度は、防食性能評価の対象とする設備の腐食程度を一般的な傾向との比較によって把握する目的や将来の腐食傾向を推定するために用いる。

5.電気防食性能試験

5.1目的

この防食性能試験は、電気防食における陽極材の寿命を評価すること、または電気防食と他の防食方法を併用する場合に、電位の与える影響を確認するため実施するものである。

【解説】

1. 電気防食による効果は、陽極材の寿命により低下する。そのため、陽極材の防食性能を評価するための防食性能試験が重要となる。
2. 電気防食を他の防食方法と併用する場合、電位が卑になるほど他の防食材料に与える影響が問題となる。そのため、他の防食材料に及ぼす電位の影響を確認する試験が重要となる。
3. 電気防食と塗装を併用する場合は、塗膜劣化に及ぼす電位の影響を、また電気防食と耐食材料を併用する場合は、水素脆化に及ぼす電位の影響を確認する。

5.2試験方法

1. 陽極材の防食性能評価試験は、JSCE S 9301「流電陽極試験法」に準じた定電流試験法とする。
2. 他の防食法に及ぼす電位の評価試験は、定電位試験法により行う。

【解説】

1. 陽極材の寿命は、陽極の正味重量(kg)、発生電流(A)、および有効電気量(A・h/kg)により決定される。ただし、陽極の発生電流は使用条件によって変動するため、有効電気量(1/陽極消耗率)などの陽極性能を判定することにより寿命を評価することが望ましい。従って、陽極性能の判定には、一般に認められている上記定電流試験法を適用する。

性能試験方法の概念を図5.2-1に示す。また、試験実施例を写真5.2-1に示す。

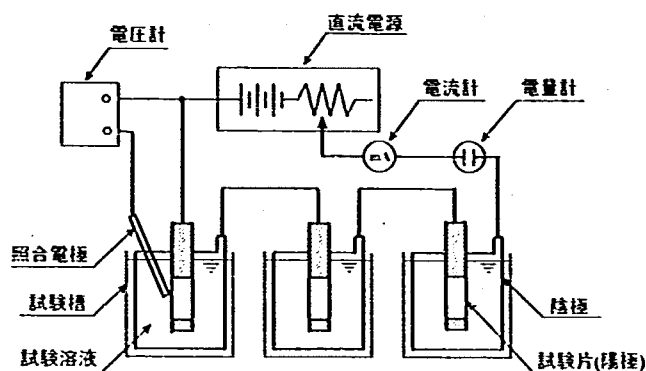


図5.2-1 陽極性能試験装置



図5.2-2 試験実施例

2. 定電位試験に関する標準試験法は特に定められていないが、一般に、ポテンショスタット等を用いて金属表面の電位が一定になるように防食電流を供給し、一定期間後に試験片の目視観察、機械的性能試験等により評価する。

5.3 試験片形状

1. 陽極の寿命評価試験は、JSCE S 9301「流電陽極試験法」の標準試験片に準じる。
2. 電位の評価試験の試験片は、定電位試験が適用可能でかつ試験後の機械的性能が評価可能な形状・寸法とする。

【解説】

1. JSCE S 9301「流電陽極試験法」では、陽極材の試験片は原則として直径15～20mmの丸棒とし、試験面積を20～40cm²としている。
2. 定電位試験に供試する試験片は特に定めないが、塗装試験用は目視確認が容易に出来る大きさ（15cm×15cm以上）が望ましい。また水素脆化の確認試験用の試験片は、使用条件下において引張強度などの機械的性質が確認できる形状にて行う。

5.4 防食性能評価方法

【条文】

1. 陽極の寿命評価は、陽極材の有効電気量、陽極電位、陽極効率の性能から評価する。
2. 塗膜の劣化程度は、通常の塗膜防食性能評価方法に準じて評価する。
3. 耐食材料の水素脆化程度は、材料の機械的性質の低下状況により評価する。

【解説】

1. 陽極材はその性能を知ることによって目標寿命を満足する。従って、陽極材の防食性能評価方法はJSCE S 9301「流電陽極試験法」に記載の方法に準拠する。
2. 塗膜の劣化程度は、防食下地の有無、膜厚、通電期間等の試験条件によって大きく異なるため、出来るだけ試験条件を変えて実施するのが好ましい。
3. 耐食材料の水素脆化程度は、電気防食を適用しない同一の標準試料の機械的性質と比較して、その低下状況から判定する。

6. 高分子材料に関する防食性能試験方法

1. 高分子材料の試験は、主に次に示す劣化に対する性能を確認するために実施する。
 - ① 紫外線・放射線の影響によるもの

- ② 熱の影響によるもの
- ③ オゾンの影響によるもの

2. この防食性能試験は耐候性試験を中心とし、評価は、外観、物理特性、化学構造等の変化で判断する。
3. この防食性能試験は屋外暴露試験と促進試験を併用して効率的に行う。

【解説】

1. プラスチックやゴム等の有機材料は、耐熱性、耐候性が金属などの無機材料に比べ劣っており、種々の環境要因があるが、特に紫外線を受けると分子構造に変化を生じ劣化する。また、オゾンによる影響の大きいので、それらの環境に合わせた試験が必要である。
2. 常時、大気中にある水密ゴム等は、オゾンによる劣化が懸念される。特に、水密ゴムが曲げられた状態で取り付けられれている場合は影響が大きい。次にオゾン劣化の暴露試験の例を示す。試験片の形状は、JIS K 6301「加硫ゴムの物理的試験方法」に記載の屈曲試験用のテストピースを用いる。暴露時には曲げ応力を試験片作用させてた状態で行う。試験片の形状を図6-1に示す。

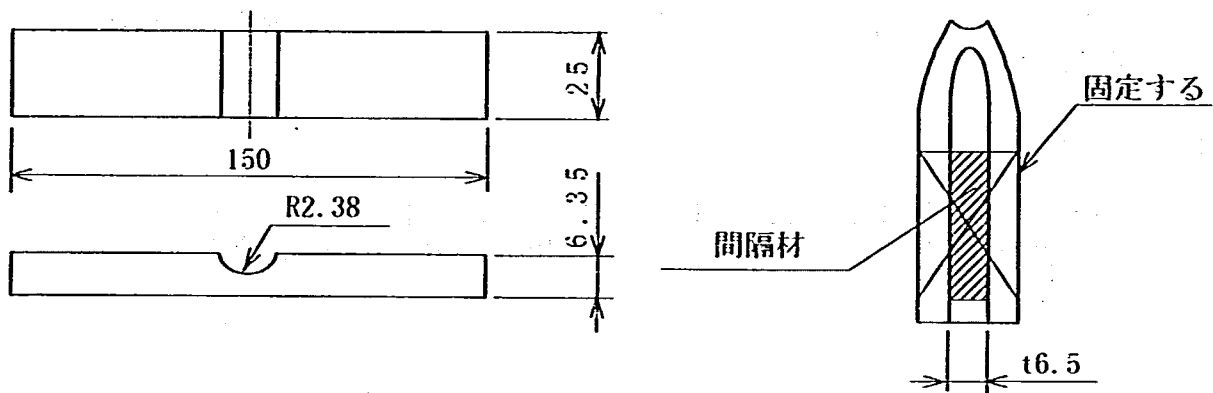
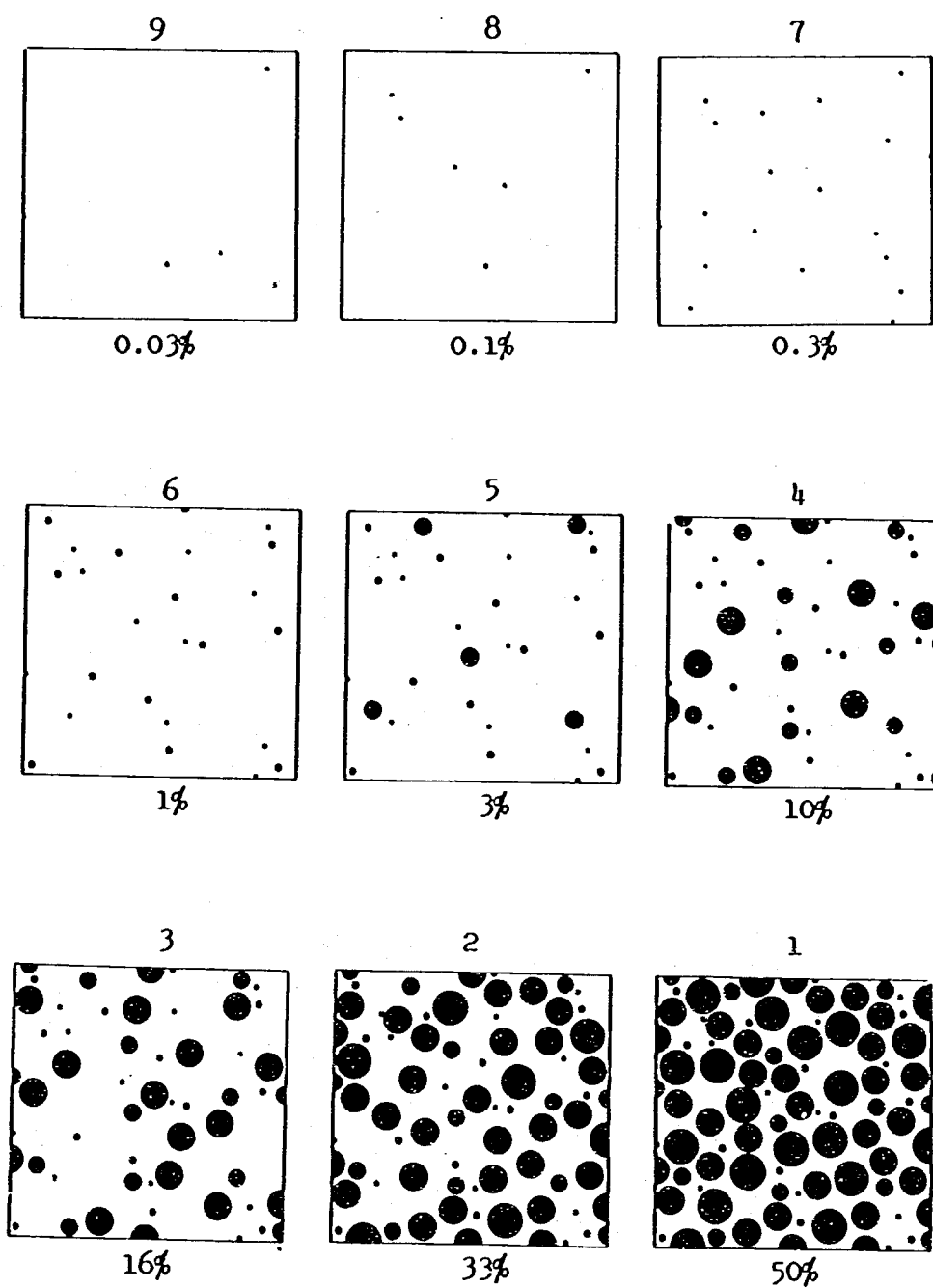


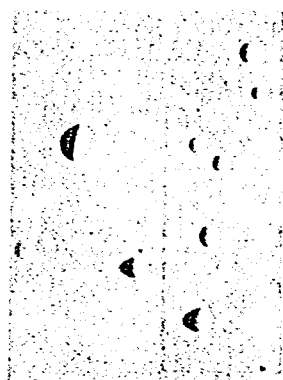
図6-1 ゴムの暴露試験片の例

3. 試験の結果判定は、光沢・黄変度・き裂等の外観や引張強さ・曲げ強さ・衝撃強さ・伸び等の物理特性および分子量等の化学構造変化で行う。一般的には、劣化判定で強度上の特性試験を行うことが多い。
4. 高分子材料は、樹脂のなかの紫外線吸収剤、安定剤の効果がある段階でなくなり、表面上は徐々に劣化するが、強度はある段階で急激に落ちることがあるので、試験期間を設定する場合には、そのことを考慮して十分な期間をとる必要がある。
5. 促進試験の結果が、実設備とどのような相関性を持つのか判断することが重要であり、促進試験だけで十分な寿命予測は困難であるので、暴露試験でのデータが重要である。
近年の傾向としては、より自然環境に近づけた試験方法である複合サイクル試験に進む方向ではあるが、ウェザーメータ、オゾンウェザーメータ、塩水噴霧試験、ガス腐食試験等による単純試験により材料、製品の特性を把握することが重要である。
6. 促進試験から屋外での劣化予測としては、紫外線と熱による相乗効果と化学反応速度論に基づいた解析方法や、樹脂の種類によってはカルボニル基の生成量を尺度に判定する方法が研究されている。
7. 高分子の劣化に関する水分の影響については樹脂の加水分解、水の触媒作用、表面の洗浄等の物理的な作用など様々な形態が考えらるが、各試験において適切な水分の付加方法の確立が必要である。

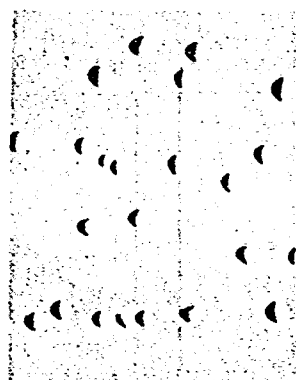
塗膜劣化標準圖（腐食） (38)



塗膜劣化標準図（ふくれ）⁽⁴⁰⁾



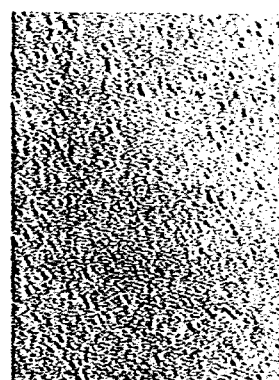
Few



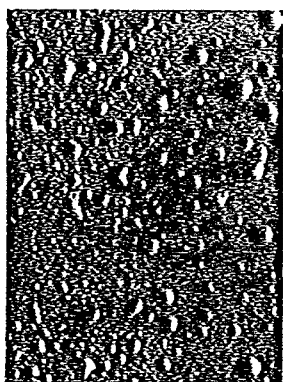
Medium



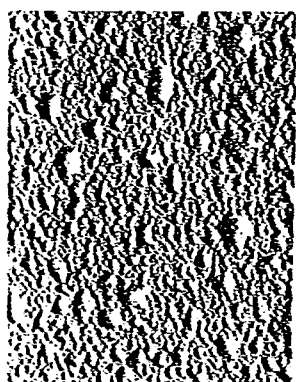
Few



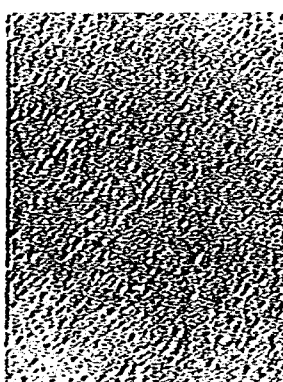
Medium



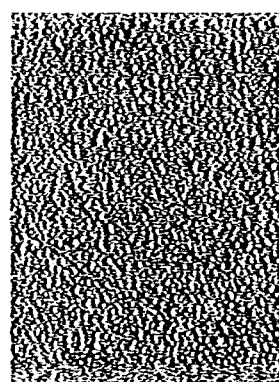
Medium Dense



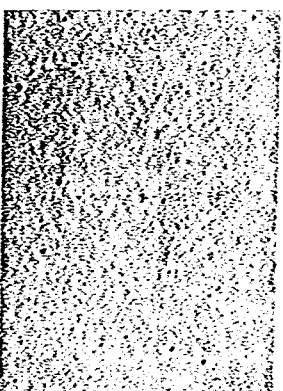
Dense



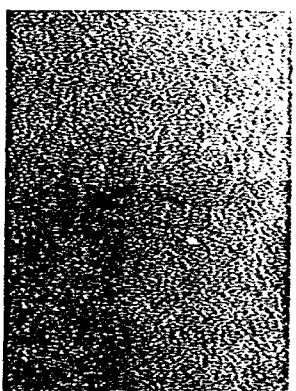
Medium Dense



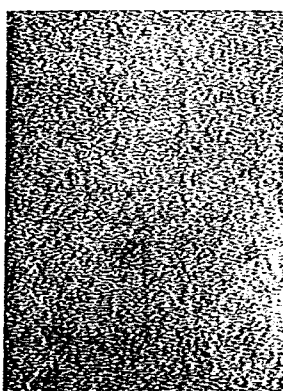
Dense



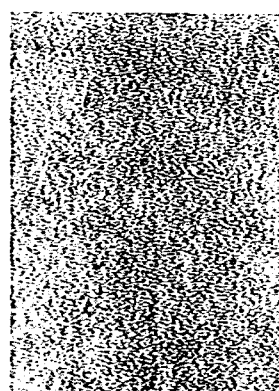
Few



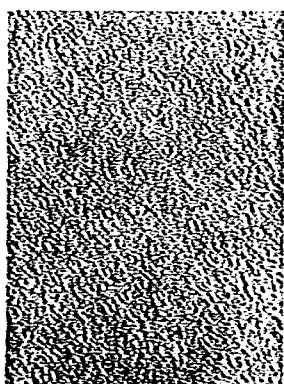
Medium



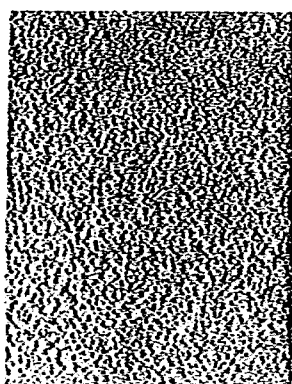
Few



Medium



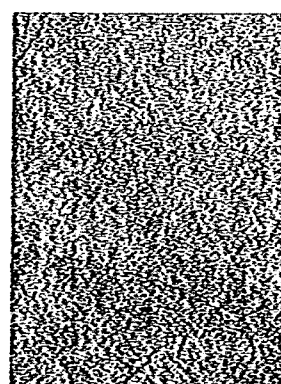
Medium Dense



Dense

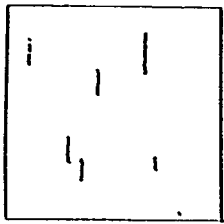


Medium Dense

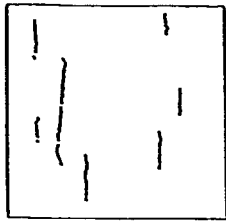


Dense

塗膜劣化標準図 (き裂) (39)

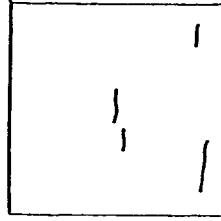


ASTM 8
TNO 2

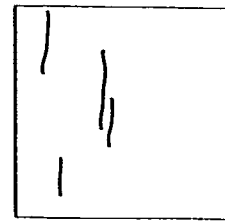


ASTM 6
TNO 4

5.1.1
IRREGULAR

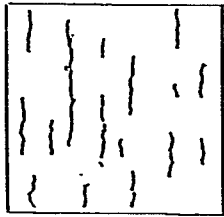


ASTM 8
TNO 2

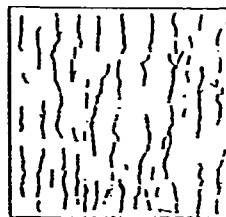


ASTM 6
TNO 4

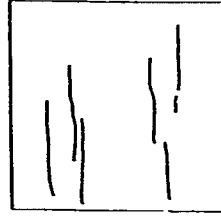
5.1.2
LONG
LINE



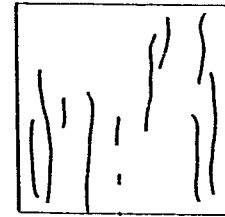
ASTM 4
TNO 6



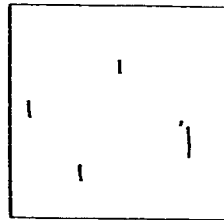
ASTM 2
TNO 8



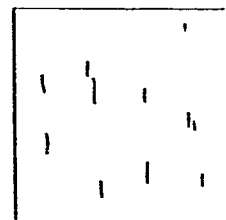
ASTM 4
TNO 6



ASTM 2
TNO 8

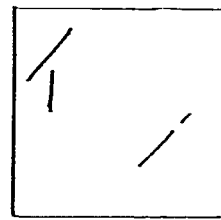


ASTM 8
TNO 2

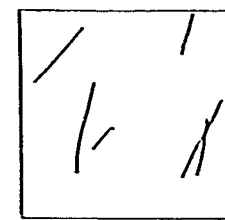


ASTM 6
TNO 4

5.1.2
SHORT
PARALLEL

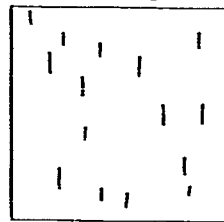


ASTM 8
TNO 2

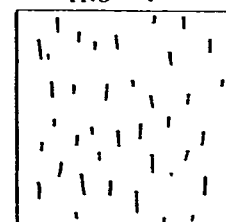


ASTM 6
TNO 4

5.1.3
SWITCH



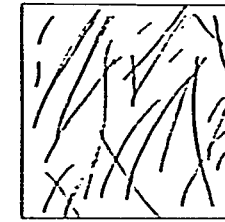
ASTM 4
TNO 6



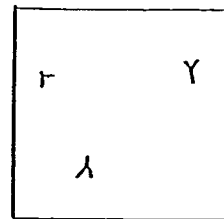
ASTM 2
TNO 8



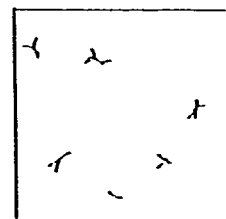
ASTM 4
TNO 6



ASTM 2
TNO 8

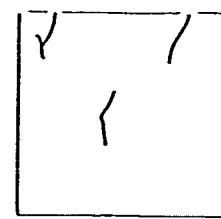


ASTM 8
TNO 2

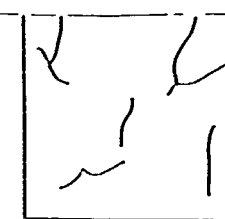


ASTM 6
TNO 4

5.1.4
CROW FOOT

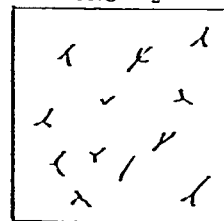


ASTM 8
TNO 2

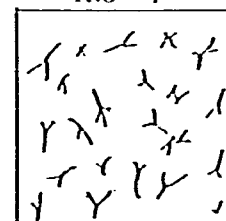


ASTM 6
TNO 4

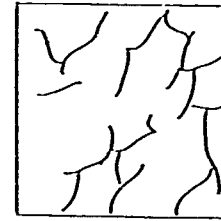
5.1.5
MOSAIC



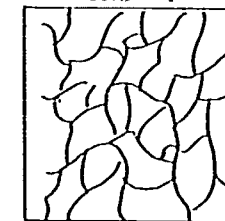
ASTM 4
TNO 6



ASTM 2
TNO 8

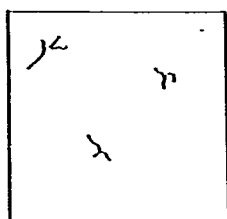


ASTM 4
TNO 6

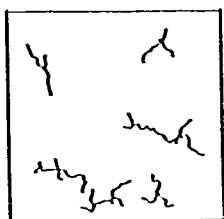


ASTM 2
TNO 8

塗膜劣化標準図（き裂）⁽³⁹⁾

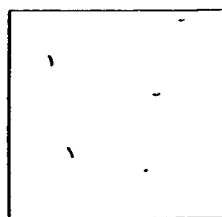


ASTM 8
TNO 2

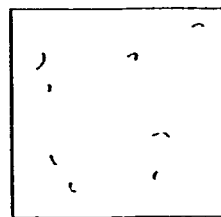


ASTM 6
TNO 4

5.1.6
SHRINKAGE

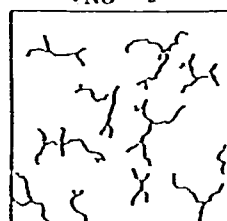


ASTM 8
TNO 2

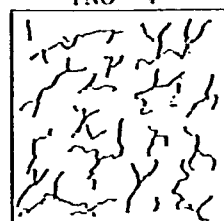


ASTM 6
TNO 4

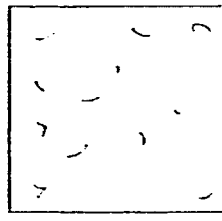
5.1.7
SHORT.
RANDOM



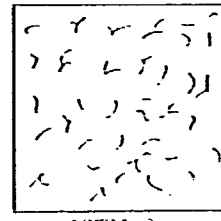
ASTM 4
TNO 6



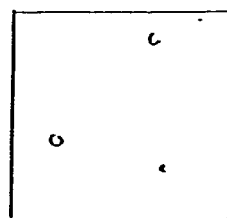
ASTM 2
TNO 8



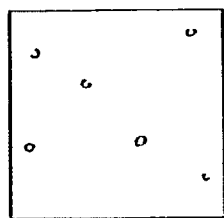
ASTM 4
TNO 6



ASTM 2
TNO 8

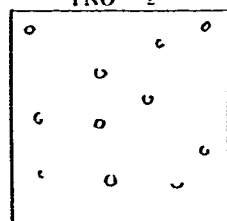


ASTM 8
TNO 2

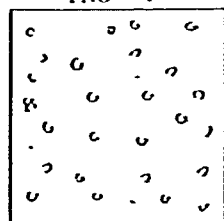


ASTM 6
TNO 4

5.1.8
SIGMOID



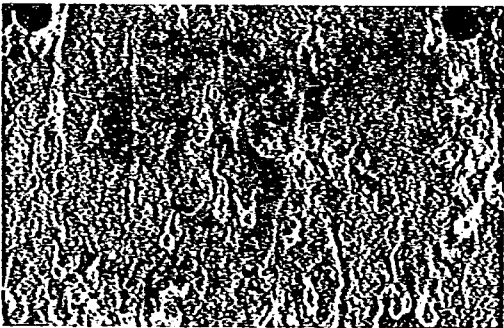
ASTM 4
TNO 6



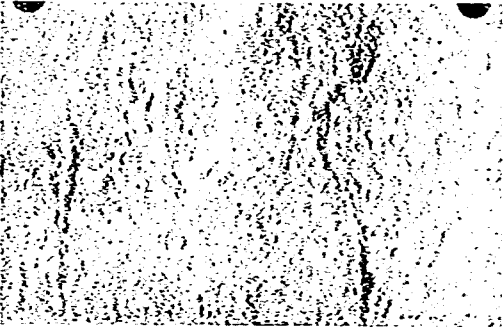
ASTM 2
TNO 8

溶融亜鉛めっき鋼の劣化度標準写真（腐食）⁽¹⁰⁾

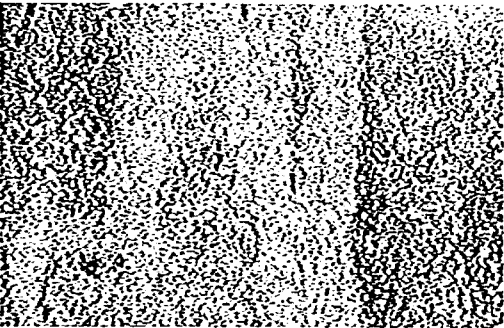
標準パターンA



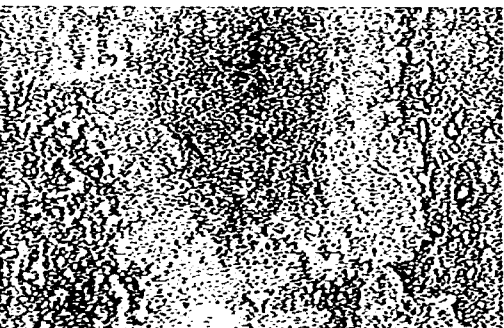
標準パターンB



標準パターンC



標準パターンD

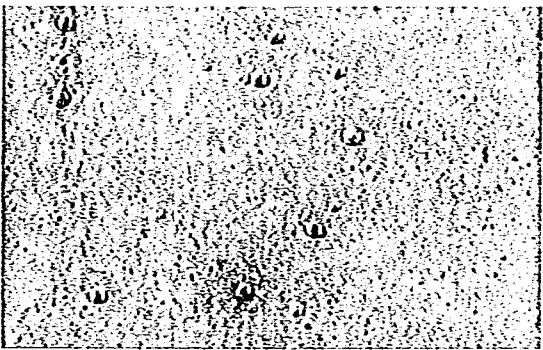


標準パターンE

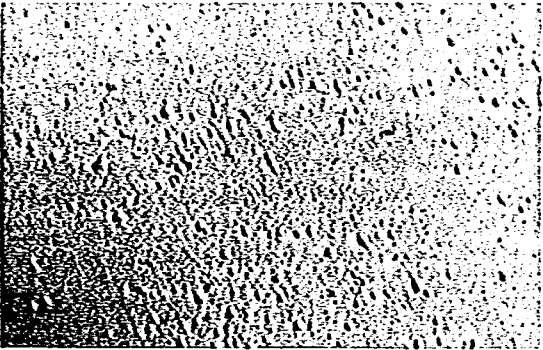


溶融亜鉛めっき鋼の劣化標準写真（ふくれ）⁽¹⁰⁾

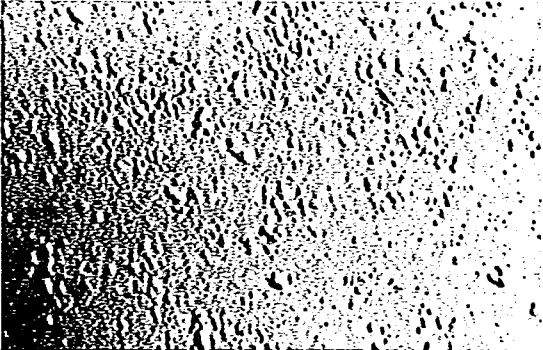
パターン
1



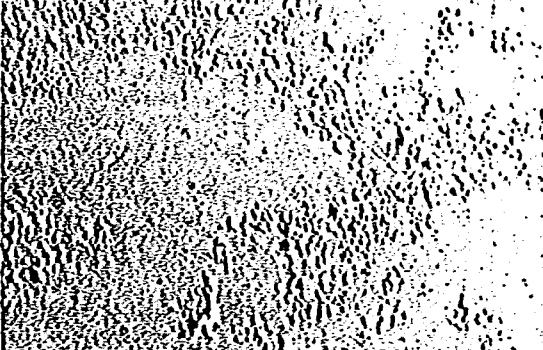
2



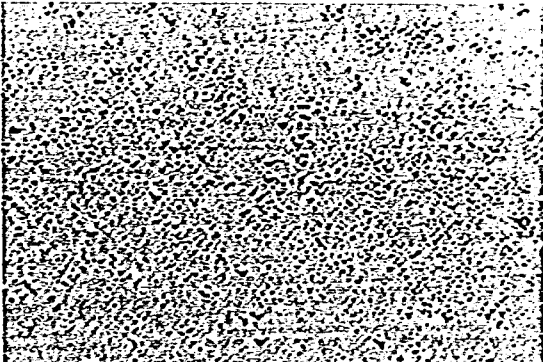
3



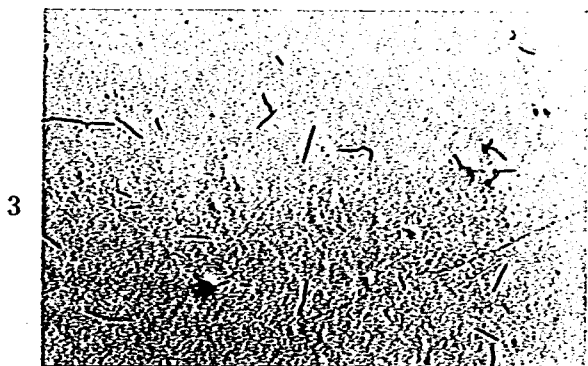
4



5



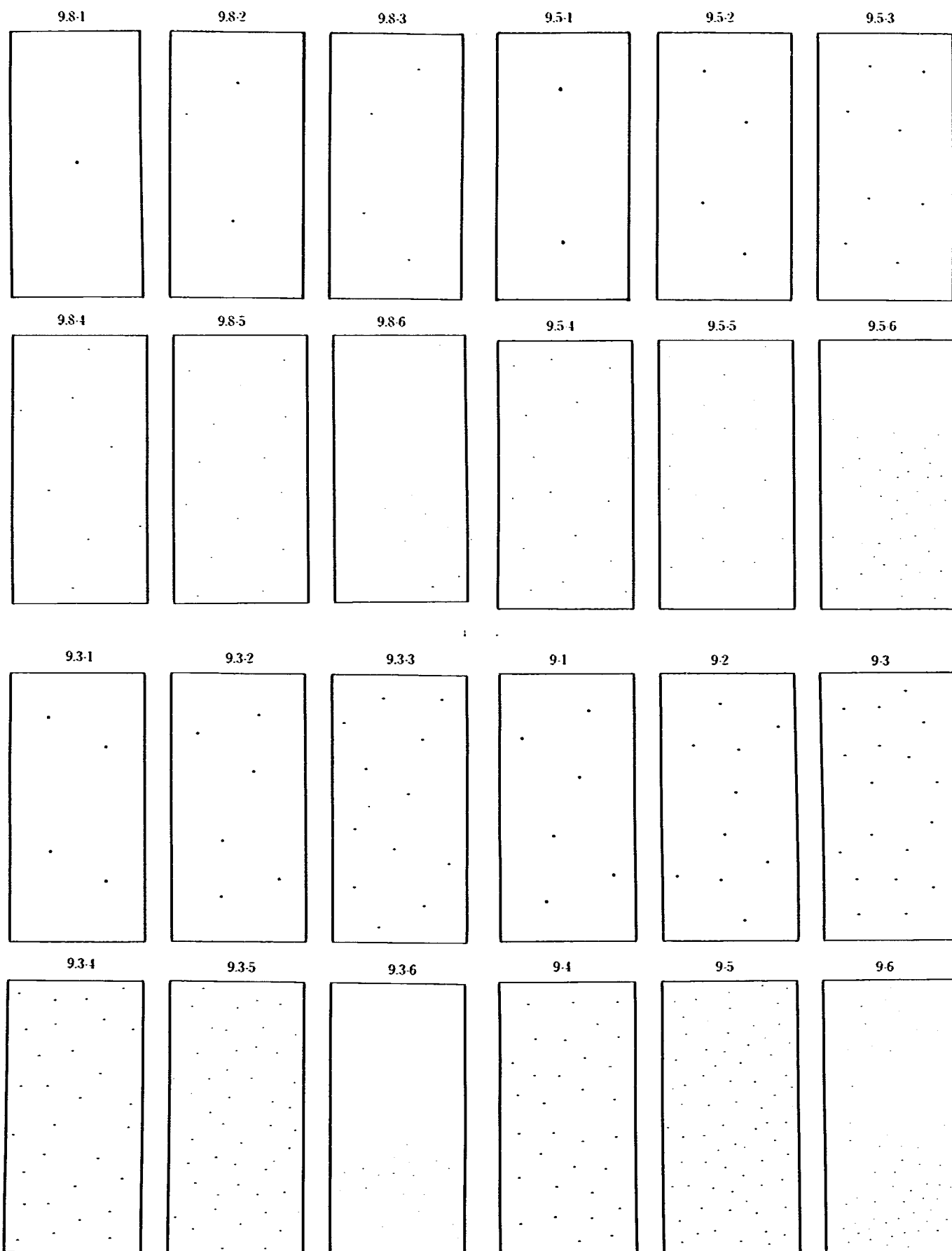
溶融亜鉛めっき鋼の劣化標準写真（われ）⁽¹⁰⁾



溶融亜鉛めっき鋼の劣化標準写真（はがれ）⁽¹⁰⁾

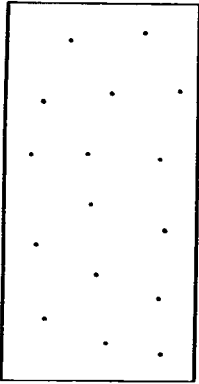


レイティングナンバ

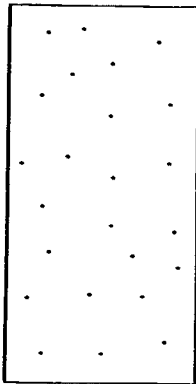


レイティングナンバ

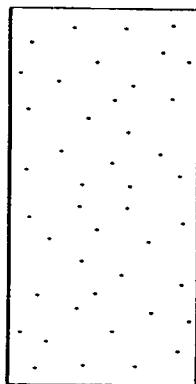
8-1



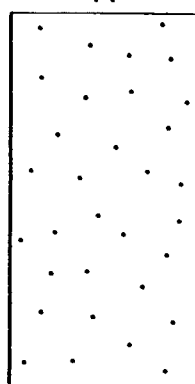
8-2



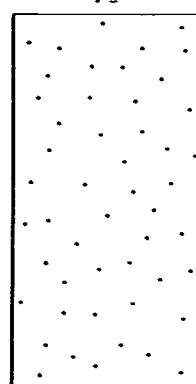
8-3



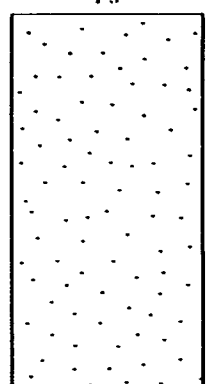
7-1



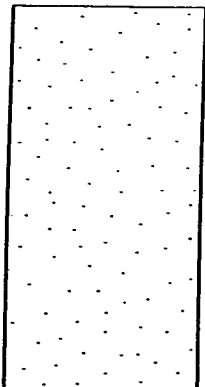
7-2



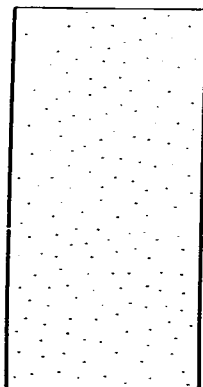
7-3



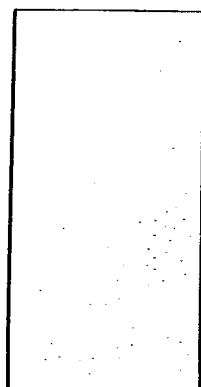
8-4



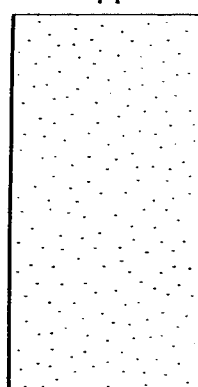
8-5



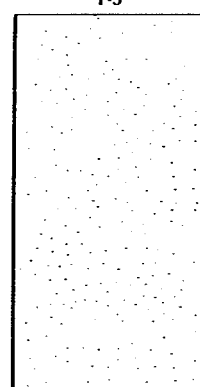
8-6



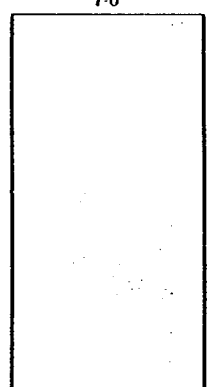
7-4



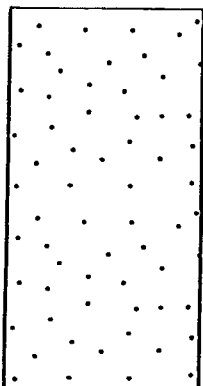
7-5



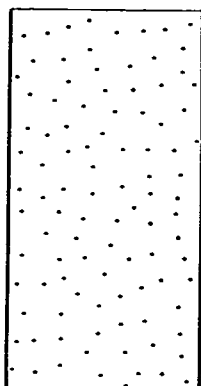
7-6



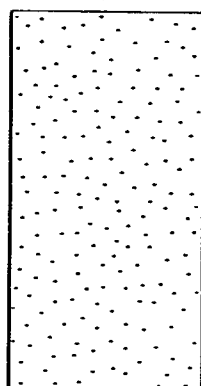
6-1



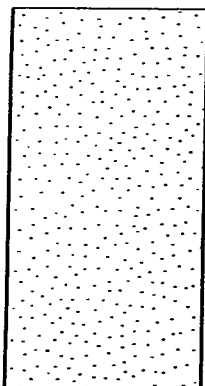
6-2



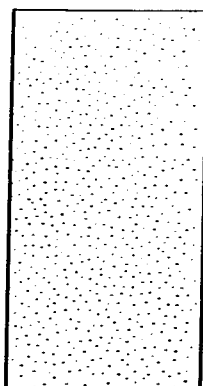
6-3



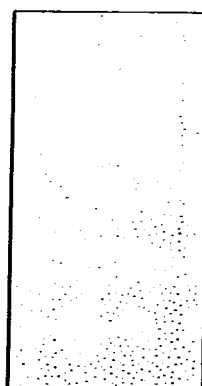
6-4



6-5



6-6



ステンレス鋼のレイティングナンバ⁽¹⁾

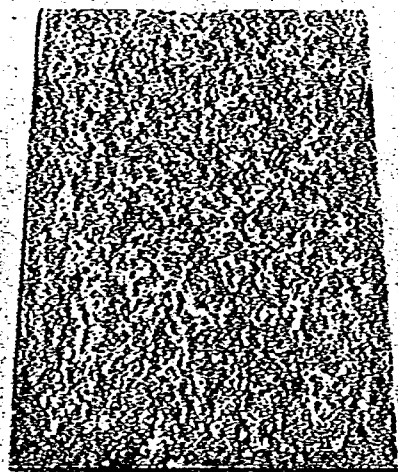


写真1
SA RN 0

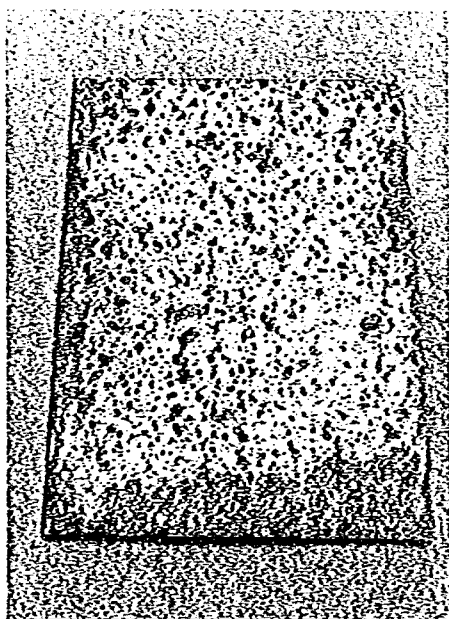


写真2
SA RN 1

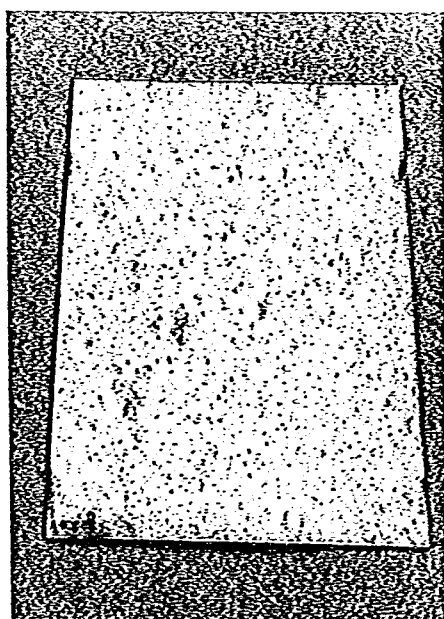


写真3
SA RN 2

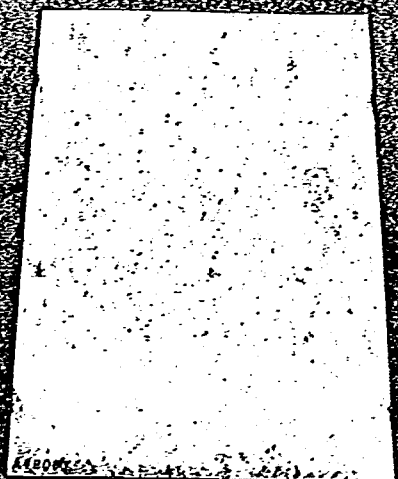


写真4
SA RN 3

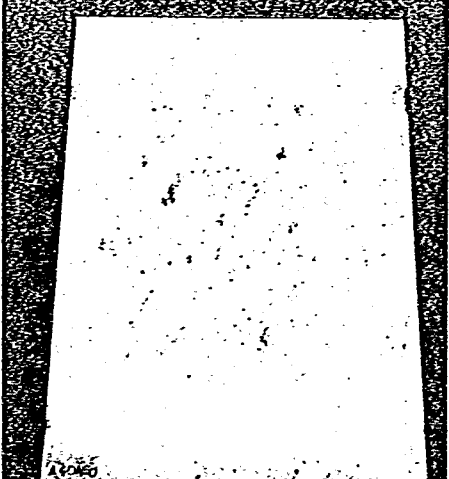


写真5
SA RN 4

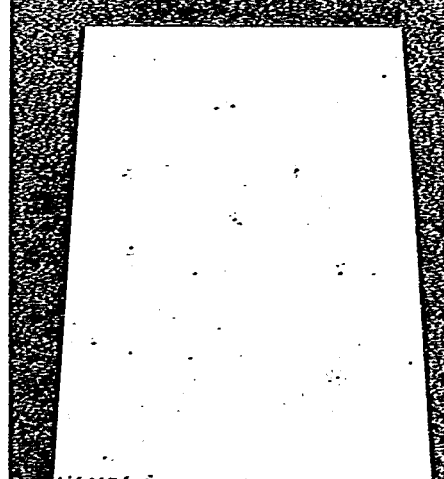


写真6
SA RN 5

ステンレス鋼のレイティングナンバ⁽¹⁾

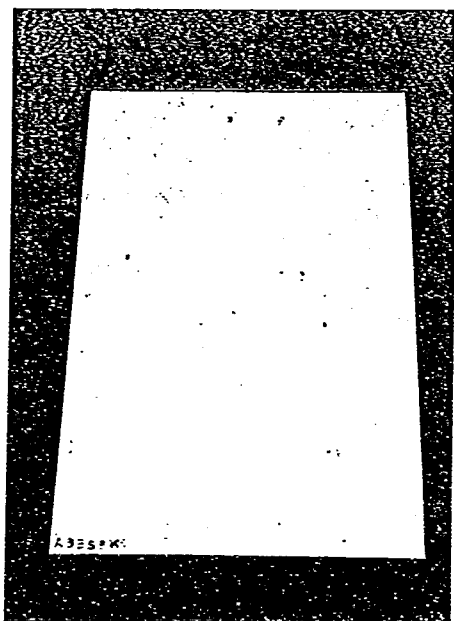


写真7
SA RN 5

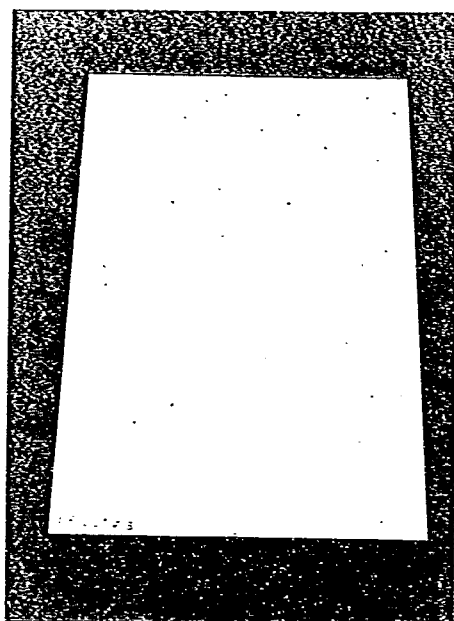


写真8
SA RN 7

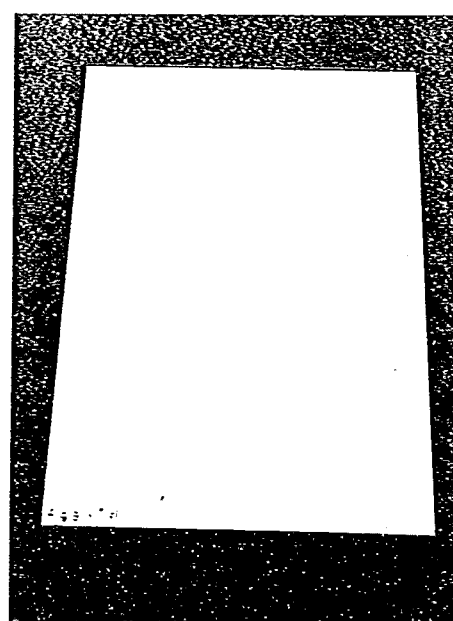


写真9
SA RN 8

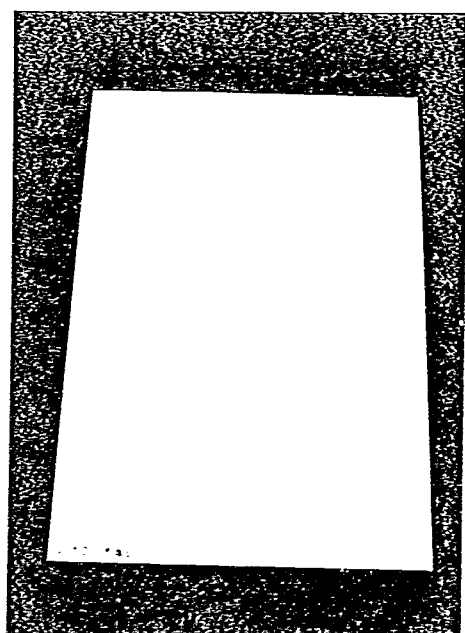
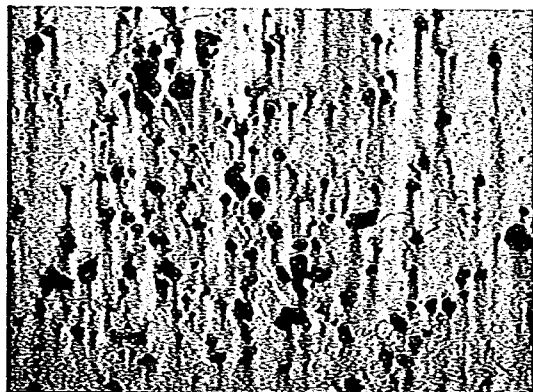
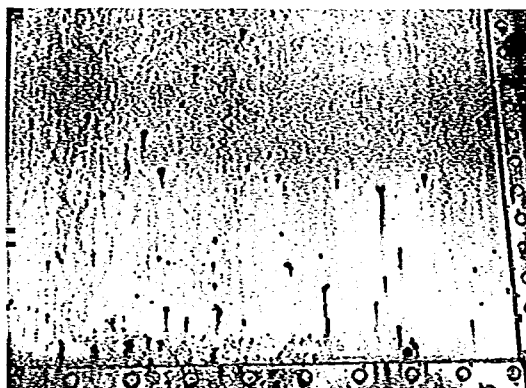


写真10
SA RN 9

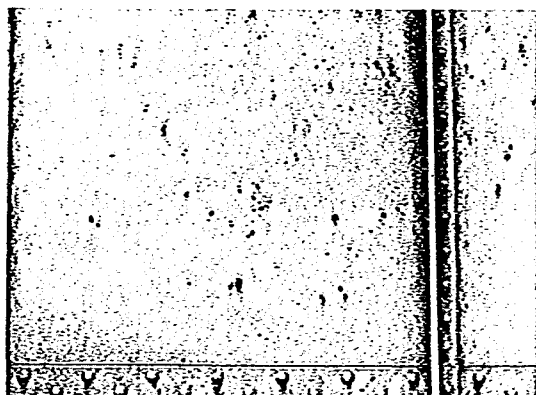
塗膜劣化程度⁽¹²⁾



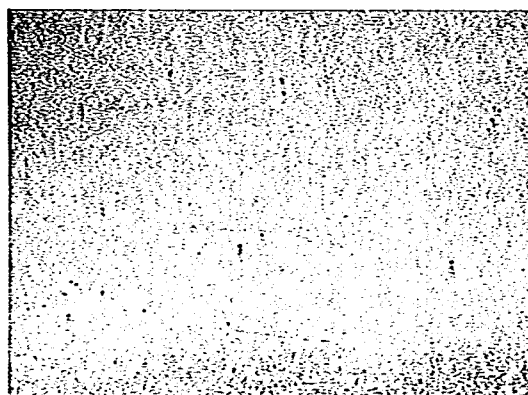
AA
(灰色は上塗
り塗膜、茶
色はさび)



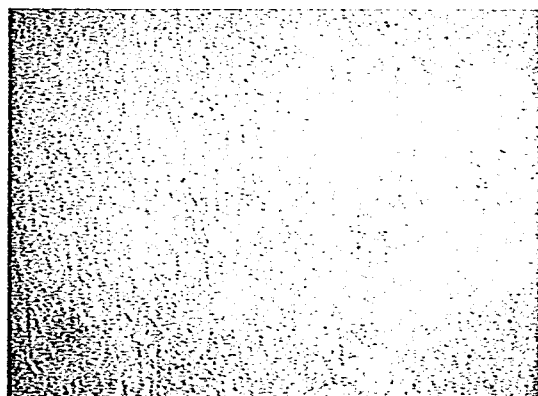
A1
(灰色は上塗
り塗膜、茶
色はさび)



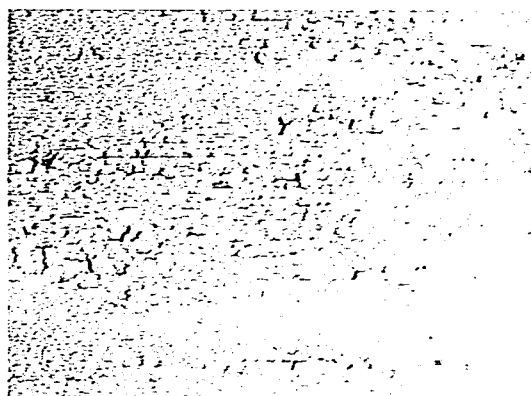
A2
(灰色は上塗
り塗膜、茶
色はさび)



B
(灰色は上塗
り塗膜、茶
色はさび)



C
(白至化)



C
(層間はくり)

参考資料

- (1) 消波構造物への生物の付着挙動に関する研究報告書, 土木研究所資料第2985号, 1991. 2.
- (2) ダム・堰構造物におけるステンレス鋼の溶接継手効率に関する調査, 土木研究所資料第3094号, 1992. 3.
- (3) ダム施設における鋼構造物の防食に関する調査報告書 (その1) -ステンレス鋼材の適用性に関する試験-, 土木研究所資料第3558号, 1998. 1.
- (4) 西崎・明嵐, 河川鋼構造物塗料の防食性能に関する試験, 土木技術資料, 40-12, pp. 32-pp. 37, 1998. 12.
- (5) 金属腐食の現地試験と評価, 日本材料学会腐食防食部門委員会編, 三栄出版, 1990. 5.
- (6) 防食技術便覧, 腐食防食協会編, 日刊工業新聞社, 1986. 11.
- (7) 腐食防食データブック, 腐食防食協会編, 丸善株式会社, 1995. 6.
- (8) ステンレス鋼便覧 第3版, ステンレス協会編, 日刊工業新聞社, 1995. 1.
- (9) 港湾鋼構造物防食・補修マニュアル (改訂版) (財) 沿岸開発技術研究センター, 1997. 4.
- (10) 溶接亜鉛めっき鋼塗装マニュアル (建築実務編), 日本鉛亜鉛需要研究会 亜鉛めっき塗装技術委員会編, 1985. 10.
- (11) ステンレス鋼の表面さび発生程度評価のための標準写真, ステンレス協会技術委員会腐食専門委
- (12) 塗膜劣化状態およびケレン程度見本帳, (財) 鉄道総合技術研究所, 1989. 員会, 1995. 11.
- (13) JIS A 1410 プラスチック建築材料の屋外暴露試験方法
- (14) JIS A 1411 プラスチック建築材料ウェザーリングの腐食評価方法
- (15) JIS A 1415 プラスチック建築材料促進暴露試験方法
- (16) JIS G 0572 ステンレス鋼の硫酸・硫酸第二鉄腐食試験方法
- (17) JIS G 0573 ステンレス鋼の65%硝酸腐食試験方法
- (18) JIS G 0574 ステンレス鋼の硝酸・ふっ化水素酸腐食試験方法
- (19) JIS G 0575 ステンレス鋼の硫酸・硫酸銅腐食試験方法
- (20) JIS G 0576 ステンレス鋼の42%塩化マグネシウム腐食試験方法
- (21) JIS G 0578 ステンレス鋼の塩化第二鉄腐食試験方法
- (22) JIS G 0591 ステンレス鋼の5%硫酸腐食試験方法
- (23) JIS H 8502 めっきの耐食性試験方法
- (24) JIS H 0521 アルミニウム及びアルミニウム合金の大気腐食試験方法
- (25) JIS H 8661 亜鉛溶射皮膜試験方法
- (26) JIS K 5400 塗料一般試験方法
- (27) JIS K 6266 加硫ゴム及び熱可塑性ゴムの耐候性試験方法
- (28) JIS K 6301 加硫ゴムの物理的試験方法
- (29) JIS K 7219 プラスチックの屋外暴露試験方法通則
- (30) JIS K 7350 プラスチックー実験室光源による暴露試験方法
- (31) JIS Z 0304 さび止め処理金属の大気暴露試験方法
- (32) JIS Z 2371 塩水噴霧試験方法
- (33) JIS Z 2381 屋外暴露試験方法通則
- (34) JSCE S 9301 流電陽極試験法
- (35) ASTM A 262 Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels
- (36) ASTM B 117 Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Testing Apparatus
- (37) ASTM B 287 Standard Method of ACETIC ACID-SALT SPRAY (FOG) TESTING
- (38) ASTM D 610 Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces
- (39) ASTM D 660 Standard Test Method for Evaluating Degree of Chalking of Exterior Paints
- (40) ASTM D 714 Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering Paints
- (41) ASTM D 772 Standard Test Method for Evaluating Degree of Flaking (Scaling) of Exterior

Paints

- (42) ASTM G 78 Standard Guide for Crevice Corrosion Testing of Iron-Base and Nickel-Base Stainless Alloys in Seawater and Other Chloride-Containing Aqueous Environments
- (43) ISO 9225 Corrosion of metals and alloys-Corrosivity of atmospheres-Measurement of pollution
- (44) ISO 3651/2 Austenitic stainless steels-Determination of resistance to intergranular corrosion-Part 2