

# 暴露試験と炭素鋼，耐候性鋼，銅の耐食性を評価する新たな促進腐食試験 (金属系分科会報告)

日本ウエザリングテストセンター 銚子暴露試験場  
伊藤 哲司

## 1. はじめに

炭素鋼，耐候性鋼，銅，亜鉛，アルミニウム合金，ステンレス鋼等の各種金属材料を大気環境下で大気暴露試験を行い各種金属材料の腐食挙動と大気環境因子（腐食に関与する環境因子）との関係を解明する。腐食に大きく関与する主要環境因子のレベルからその環境の腐食性（金属を腐食させる性質）を決定する方法に関する標準化データベースを構築し，金属材料の使用環境における防錆手段の仕様決定に資する。また，大気暴露試験による金属の腐食挙動と環境因子データとの解析結果をもとに，金属の腐食に影響する主な腐食性因子の相乗作用を考慮した促進腐食試験（複合サイクル試験）の検討を行い，大気環境下における金属材料の寿命予測が可能な評価方法の規格化を推進する。具体的な目標は次のとおりである。

- ① 環境因子レベルによる大気の腐食性を分類するシステムの確立及び標準化
- ② 大気の腐食性を分類するための標準金属材料の決定→平成7年度JIS原案  
(JIS Z 2383-1998年制定)
- ③ 環境因子測定方法の標準化→7年度JIS原案 (JIS Z 2382-1998年制定)
- ④ 評価方法の確立のためのデータベースの構築
- ⑤ 大気腐食促進試験方法の確立及び実環境との相関関係の提示

本調査研究は，通商産業省工業技術院から委託された「新発電システムの標準化に関する調査研究(新発電関連要素機器の長期耐久性及び寿命予測の標準化)」金属系分科会として実施したものである。

## 2. 大気暴露試験

### 2.1 試験方法

#### 2.1.1 試験実施場所：6か所

- (1) 銚子：(財)日本ウエザリングテストセンター 銚子暴露試験場
- (2) 宮古島：(財)日本ウエザリングテストセンター 宮古島試験場
- (3) 西原（沖縄本島）：琉球大学工学部構内
- (4) マイアミ：Everglades Testing Laboratory
- (5) 旭川：(財)日本ウエザリングテストセンター 旭川暴露場
- (6) 宮古島海岸：(財)日本ウエザリングテストセンター 宮古島海岸暴露場

#### 2.1.2 暴露環境因子の計測：以下の項目について測定

- (1) 気温：℃（最高，最低，月平均）
- (2) 相対湿度：%R.H（最高，最低，月平均）
- (3) 降水量：mm (mm/月)
- (4) ぬれ時間：時間 (h/月)
- (5) 硫酸化物汚染量： $\text{SO}_2 \cdot \text{mg}/(\text{dm}^2 \cdot \text{d})$
- (6) 海塩粒子汚染量： $\text{NaCl} \cdot \text{mg}/(\text{dm}^2 \cdot \text{d})$

2. 1. 3 試験材料：8種類の金属板（100×150 mm）

- (1) 炭素鋼：JIS G 3106（SM400B）
- (2) 耐候性鋼：JIS G 3114（SMA490BW）
- (3) アルミニウム：JIS H 4000（A1050P）
- (4) アルミニウム合金：JIS H 4000（A5052P）
- (5) 銅：JIS H 3100（C1220P りん脱酸銅）
- (6) 亜鉛：旧 JIS H 4321-1953 1種
- (7) ステンレス鋼：JIS G 4305（SUS304, 2B）
- (8) ステンレス鋼：JIS G 4305（SUS329J4L, 2B）

2. 1. 4 結果の評価

- (1) 外観観察：目視観察，写真撮影，SEM観察
- (2) 腐食度： $g/(m^2 \cdot y)$ 及び $\mu m/y$
- (3) 腐食面積率(%)：アルミニウム及びアルミニウム合金，ステンレス鋼
- (4) 孔食深さ( $\mu m$ )：アルミニウム及びアルミニウム合金，ステンレス鋼
- (5) 変色（測色計による $L^*$ ， $a^*$ ， $b^*$ ）：銅，アルミニウム及びアルミニウム合金，ステンレス鋼
- (6) その他：腐食生成物のX線回折分析，さび層の安定度，光沢変化等

2. 1. 5 結果

- (1) 銚子，宮古島，西原（沖縄本島），マイアミにおける7年間の各種金属材料の腐食量と累乗回帰式を図1～図8に，銚子，宮古島，宮古島海岸，旭川における3年間の腐食量と累乗回帰式を図9～図13に示す。

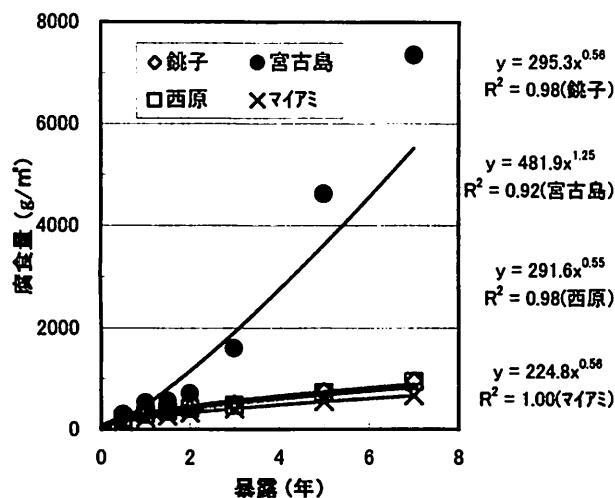


図1. 炭素鋼（SM400B）の腐食量

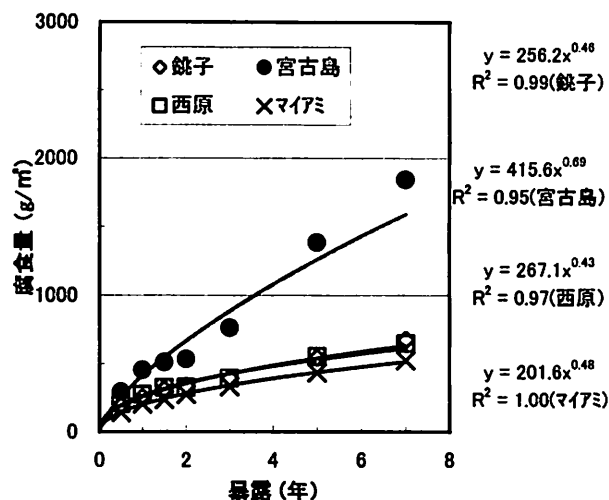


図2. 耐候性鋼（SMA490BW）の腐食量

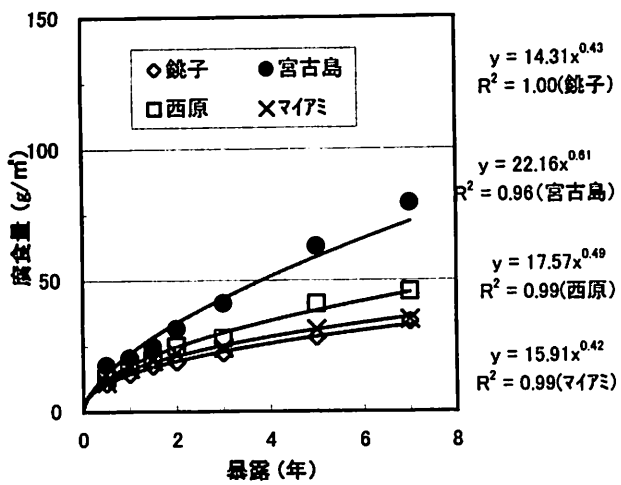


図3. 銅 (C1220P) の腐食量

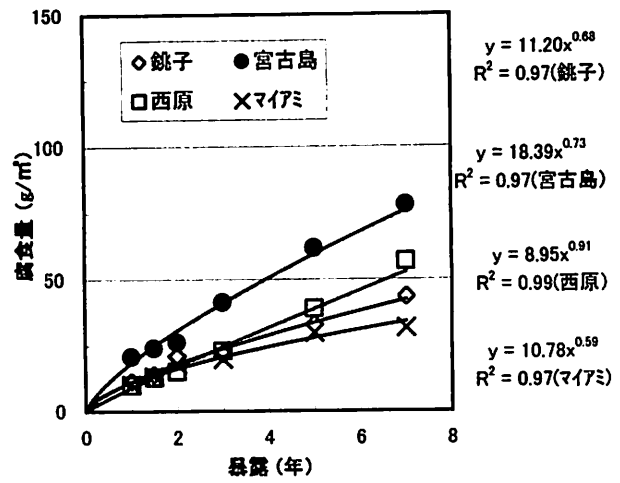


図4. 亜鉛 (Z25) の腐食量

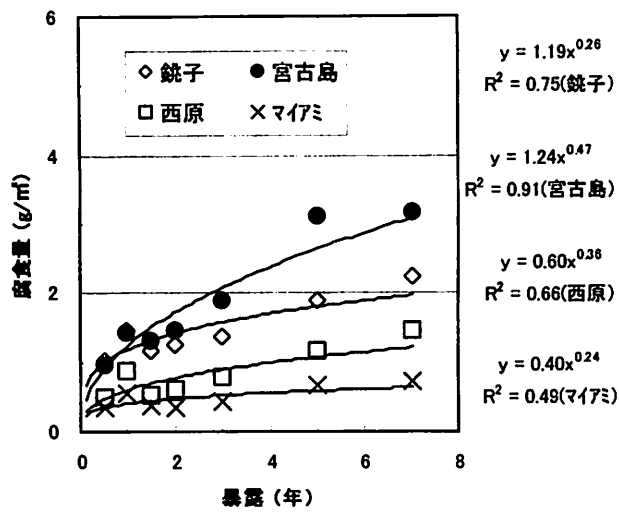


図5. アルミニウム (A1050P) の腐食量

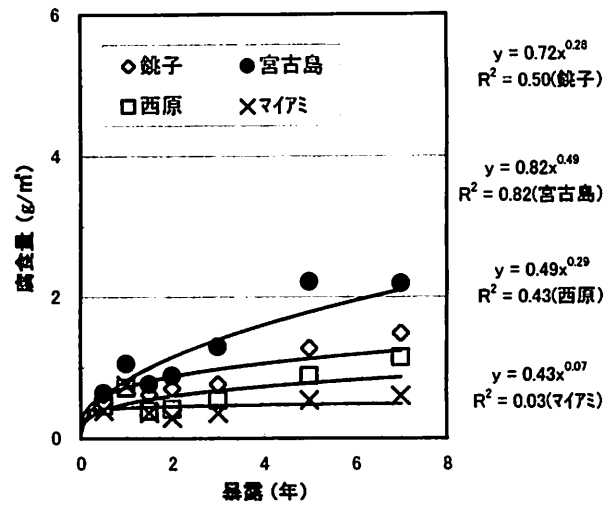


図6. アルミニウム (A5052P) の腐食量

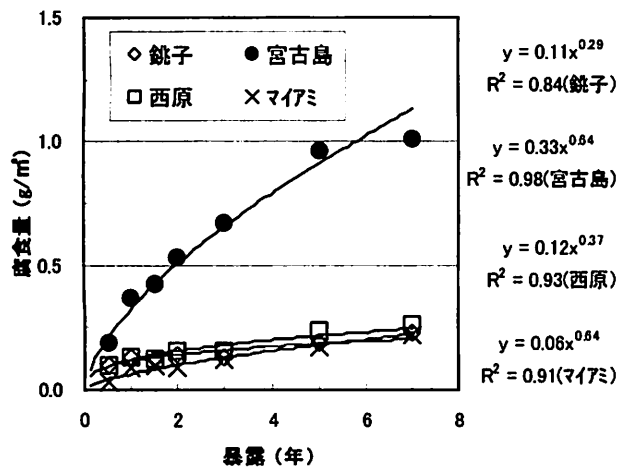


図7. ステンレス (SUS304) の腐食量

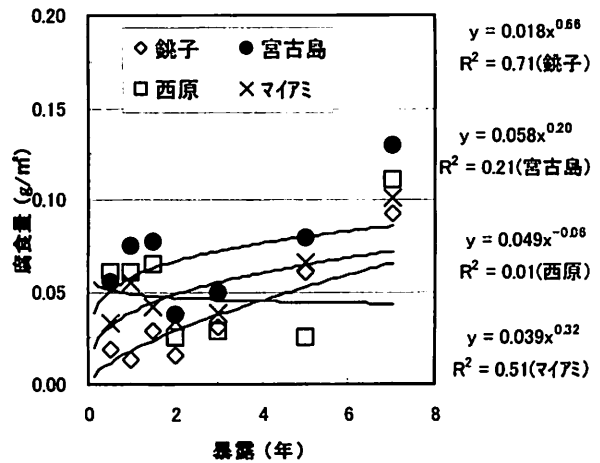


図8. ステンレス (SUS329J4L) の腐食量

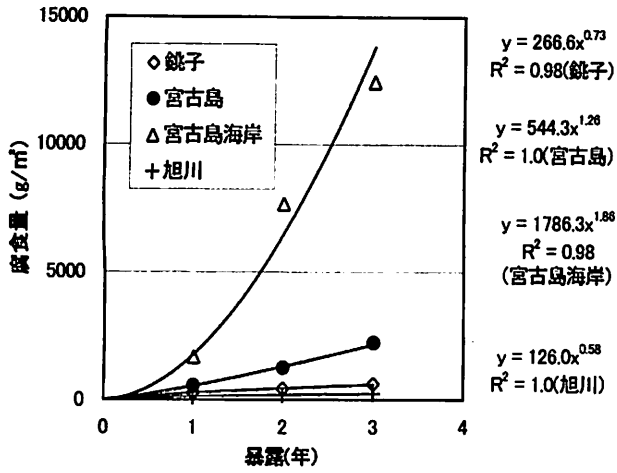


図9. 炭素鋼 (SM400B) の腐食量

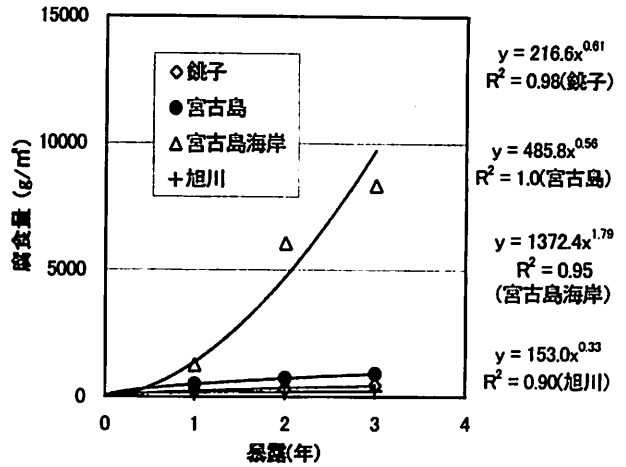


図10. 耐候性鋼 (SM490BW) の腐食量

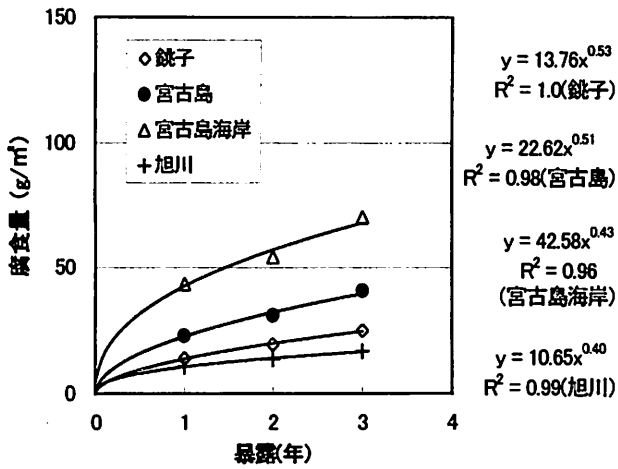


図11. 鋼 (C1220P) の腐食量

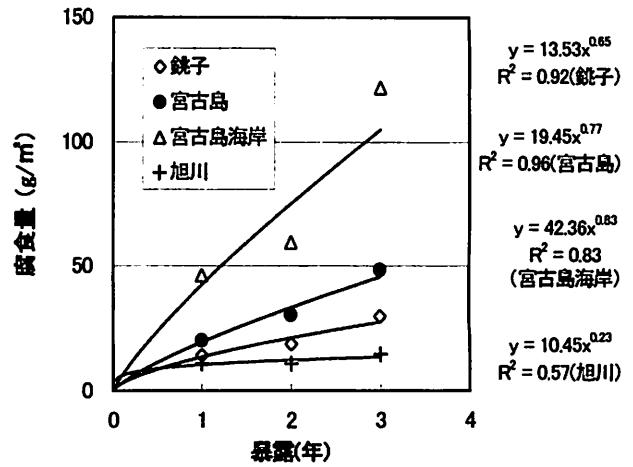


図12. 亜鉛 (Z25) の腐食量

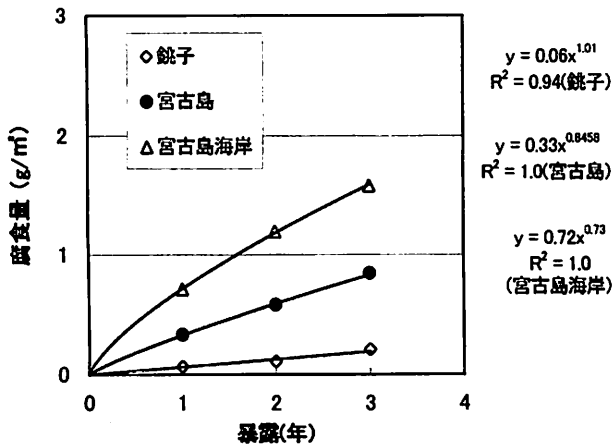


図13. ステンレス (SUS304) の腐食量

## 2. 1. 6 考 察

### (1) 各種金属材料の腐食傾向

#### ① 大気暴露7年の結果（銑子，宮古島，西原，マイアミ）

銑子の腐食量を1として各暴露地の腐食量比を表1に示す。すべての金属材料とも宮古島の腐食が激しいことが明確である。宮古島では炭素鋼の腐食は暴露2年目以降激しく直線的に進行し，暴露7年では腐食量が7000g/m<sup>2</sup>となったが，耐候性鋼は腐食量が2000g/m<sup>2</sup>程度であり，ある程度耐候性鋼の機能を発揮していることが確認できた。

宮古島における銅（C1220P）と亜鉛（旧JIS H 4321）の腐食量はほぼ同程度である。また，環境によって金属材料の腐食傾向が異なることが示されている。すなわち，鉄鋼系材料ではマイアミ≦西原＝銑子<<宮古島の順に腐食が激しく，アルミニウム合金ではマイアミ<西原<銑子<宮古島，銅及び亜鉛ではマイアミ<銑子<西原<宮古島の順に腐食が大きい傾向であり，この傾向は暴露5年と7年でほぼ同様であったが，炭素鋼の宮古島は暴露5年より暴露7年が銑子との腐食量比が増大している。このことは金属材料によって腐食に関与する環境因子の影響度合いが大きく異なることを示唆している。どの環境因子が各金属材料の腐食にどのように影響しているかは不明であるが，今後各金属材料の腐食量と環境因子との解析により明確になるものと思料する。

表1 各金属材料の銑子の腐食量を1とした腐食倍率（暴露5年，暴露7年）

	銑 子		宮 古 島		西 原		マイアミ	
	5 年	7 年	5 年	7 年	5 年	7 年	5 年	7 年
炭素鋼（SM400B）	1	1	6.2	7.7	1.0	1.0	0.8	0.7
耐候性鋼（SMA490BW）	1	1	2.5	2.7	1.0	1.0	0.8	0.8
アルミニウム（A1050P）	1	1	1.7	1.4	0.6	0.7	0.4	0.3
アルミニウム（A5052P）	1	1	1.8	1.5	0.7	0.8	0.4	0.4
銅（C1220P）	1	1	2.2	2.3	1.5	1.3	1.1	1.0
亜 鉛（旧JIS H 4321）	1	1	1.9	1.8	1.2	1.3	0.9	0.7
ステンレス鋼（SUS 304）	1	1	5.1	4.4	1.3	1.1	0.9	1.0
ステンレス鋼（SUS329J4L）	1	1	1.3	1.4	0.5	1.2	1.1	1.1

#### ② 大気暴露3年の結果（銑子，宮古島，宮古島海岸，旭川）

銑子の腐食量を1として各暴露地の腐食量比を表2に示す。すべての金属材料とも宮古島海岸の腐食が激しいことが明確である。特に炭素鋼と耐候性鋼は銑子の20倍程度の腐食倍率であり，ステンレス鋼も7倍程度の腐食倍率であった。宮古島海岸の暴露場は近いところで海岸まで約8メートル程度で波の高い時は海水の飛沫がかかる場所であり，海塩粒子量の影響を直接受けたものである。また，旭川は銑子の1/2程度の腐食倍率である。

表2 各金属材料の銑子の腐食量を1とした腐食倍率（暴露3年）

	銑 子	宮古島	宮古島海岸	旭 川
炭素鋼（SM400B）	1	3.6	20.1	0.4
耐候性鋼（SMA490BW）	1	2.0	19.1	0.5
銅（C1220P）	1	1.6	2.8	0.7
亜 鉛（旧JIS H 4321）	1	1.6	4.1	0.5
ステンレス鋼（SUS 304）	1	4.0	7.5	—

(2) 炭素鋼，耐候性鋼のさび層の組成定量分析

各暴露地の炭素鋼，耐候性鋼について，さびの内部標準XRD法による構成成分の定量分析結果を表3に，さび層の厚さと $\{(\alpha+am)/\gamma^*\}$ の関係を図14に示す。この表から，工業地帯の比較的マイルドな環境で得られるとされている $\alpha/\gamma$ と腐食速度の相関は，海岸地帯の暴露が主である今回のケースでは得られないことが示唆された。 $\alpha/\gamma^*$ 値 ( $\gamma^* = \gamma + \beta + Fe_3O_4$ ) についても同様であった。さびの保護性を高めているのは従来よりX線的非晶質さび(am と記す)とされてきているので，反応性の低い $\alpha$ との和 $(\alpha+am)$ と $\gamma^*$ との比をとり，さびの反応活性をあらわす第一近似的手法が提案されている{(紀平，三澤，楠田辺，斎藤，：材料と環境，第48巻，第11号(1999))}ので，試みにその提案図上に得られたデータをプロットしてみた。まず，さび厚さ(約300 $\mu m$ )で仕分けするので，異常さびか否かは明確に把握できることがわかった。さらに炭素鋼と耐候性鋼のデータを比較すると，耐候性鋼の方が全般にさびの反応活性が低い状態にあることも判明した。系統的試験片に本手法を適用してその結果を評価したのは今回が初めてであるが，傾向として本評価法導出過程での考察した事項と得られた結果との間にはよい整合性があった。

表3 炭素鋼(SM400B)，耐候性鋼(SM490BW)のさび層の組成定量分析結果 (暴露7年)

試験片		さび厚 ( $\mu m$ )	状態	$\alpha$ -FeOOH	$\beta$ -FeOOH	$\gamma$ -FeOOH	$Fe_3O_4$	am	$\alpha/\gamma$	$\alpha/\gamma^*$	$(\alpha+am)/\gamma^*$	$\alpha/(\alpha+am)$	
炭素鋼 (SM400B)	銑子 CT-21	表面	88	安定化傾向	18.96	0	43.28	2.60	35.16	0.44	0.41	1.18	0.35
		裏面	138	安定化傾向	15.52	0	30.01	5.06	49.41	0.52	0.44	1.95	0.24
	宮古島 MT-21	表面	1179	異常腐食	10.29	4.25	13.28	14.89	57.29	0.77	0.32	2.08	0.15
		裏面	1132	異常腐食	5.18	3.98	4.94	23.06	62.84	1.05	0.16	2.13	0.08
	西原 OT-21	表面	90	安定化傾向	22.45	2.68	27.05	3.73	44.09	0.83	0.67	1.99	0.34
		裏面	111	安定化傾向	14.81	4.06	25.65	7.02	48.46	0.58	0.40	1.72	0.23
	アヲ FT-21	表面	100	安定化傾向	13.74	0	32.49	2.25	51.52	0.42	0.40	1.88	0.21
		裏面	101	安定化傾向	18.36	0	42.93	8.86	29.85	0.43	0.35	0.93	0.38
耐候性鋼 (SM490BW)	銑子 CTO-21	表面	100	安定化傾向	12.26	0	30.78	2.57	54.39	0.40	0.37	2.00	0.18
		裏面	126	安定化傾向	13.67	0	31.43	2.47	52.43	0.43	0.40	1.95	0.21
	宮古島 MTO-21	表面	1096	異常腐食	15.28	6.58	21.50	2.53	54.11	0.71	0.50	2.27	0.22
		裏面	925	異常腐食	8.12	15.36	22.65	7.60	46.27	0.36	0.18	1.19	0.15
	西原 OTO-21	表面	78	安定化傾向	17.86	0	29.77	2.86	49.51	0.60	0.55	2.06	0.27
		裏面	112	安定化傾向	12.04	1.83	27.70	1.59	56.84	0.43	0.39	2.21	0.17
	アヲ FTO-21	表面	84	安定化傾向	15.48	0	41.70	7.06	35.76	0.37	0.32	1.05	0.30
		裏面	91	安定化傾向	12.70	0	34.60	2.03	50.67	0.37	0.35	1.73	0.20

注) am : X線的非晶質,  $\gamma^* = \gamma + \beta + Fe_3O_4$

(3) 炭素鋼, 耐候性鋼のさび層の安定度

暴露7年の炭素鋼, 耐候性鋼のさび層をRST法で評価した。一例として炭素鋼の銑子, 宮古島の結果を図15, 図16に示す。表面のさびは宮古島を除いて外観上大きな問題はなく, 暴露期間-腐食度曲線からもさびが安定化しつつある傾向がつかめてきたが, RST法での評価結果では, 多少バラツキがあるもののさび厚さが厚くならず(約300 $\mu\text{m}$ 以下)イオン透過抵抗値が上昇する傾向が明確になった。一方, 宮古島の場合, 炭素鋼, 耐候性鋼とも2年目位でさびは一旦擬似的な保護性を示したのち, 層状はく離を起こしてさび厚さの成長がおき, 異常さび領域に入っていることが明らかとなった。異常さび領域にはあるものの耐候性鋼の方が腐食進展が遅いこととよい相関があり, 添加された合金元素による防食作用が現れているものと考えられる。

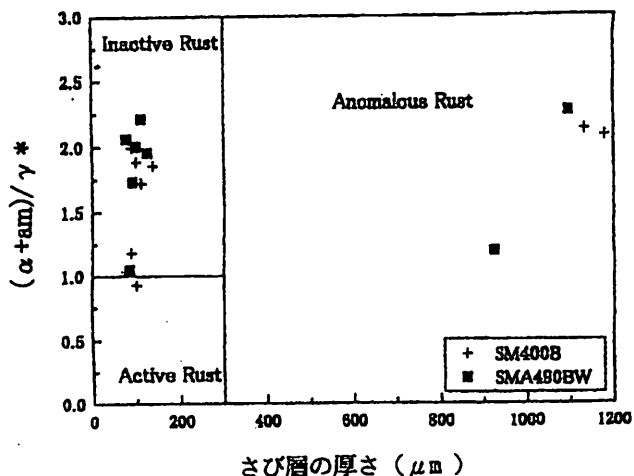


図14 炭素鋼, 耐候性鋼のさび安定度  
(さび層の厚さと  $(\alpha+am)/\gamma^*$  の関係)

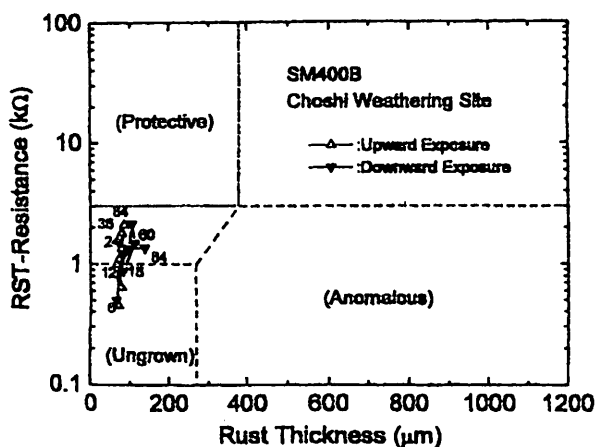


図15 炭素鋼のさび層の安定度(RST法)  
(銑子)

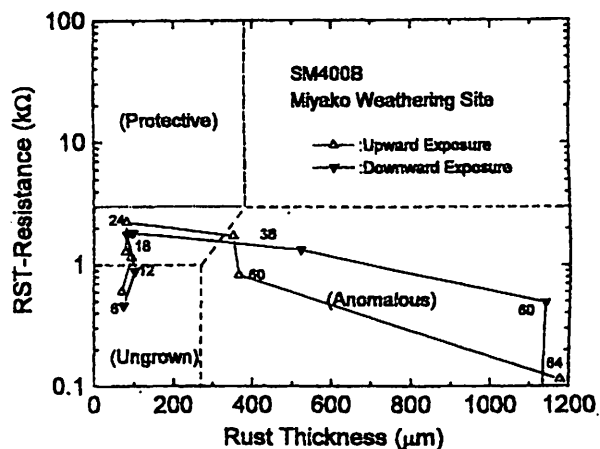


図16 炭素鋼のさび層の安定度(RST法)  
(宮古島)

(4) 銅の腐食生成物の同定

暴露7年の銅の腐食生成物の組成をX線回折法により解析した。表面近傍からの情報を多く取り入れるため、X線の入射角を底角度(5°)で固定する方法を採った。X線回折ピークから腐食生成物の主成分はCu<sub>2</sub>O(亜酸化銅)とCuCl<sub>2</sub>·3Cu(OH)<sub>2</sub>(塩基性塩化銅)であった。銦子, 西原, マイアミではCu<sub>4</sub>SO<sub>4</sub>(OH)<sub>6</sub>(塩基性硫酸銅)の生成が認められ, さらにマイアミではCu<sub>8</sub>S<sub>5</sub>と考えられるピークも検出されている。(このピークはCuClのピークとも考えられるが腐食生成物の色が他の暴露地の試験片に比べて黒っぽい色をしているため硫化物と考えられる)。このことは, 暴露環境の特徴を表しており, マイアミの暴露場周辺には硫化水素などの硫黄化合物が比較的多いことが考えられる。塩化物を含む腐食生成物{CuCl<sub>2</sub>·3Cu(OH)<sub>2</sub>}に対する各種腐食生成物のピーク比を図17に示す。硫酸塩を含む腐食生成物は宮古島では認められないが, 西原<銦子<マイアミの順に多くなっており, 亜硫酸ガスの影響が考えられる。(マイアミでは硫化水素などの影響も考えられる)。また, この図から海塩による影響は, マイアミ<銦子<西原<宮古島の順で大きくなっていると思われる。(図における塩化物を含む腐食生成物に対する各種腐食生成物のピーク比が宮古島<西原<銦子<マイアミの順で大きくなっている)。

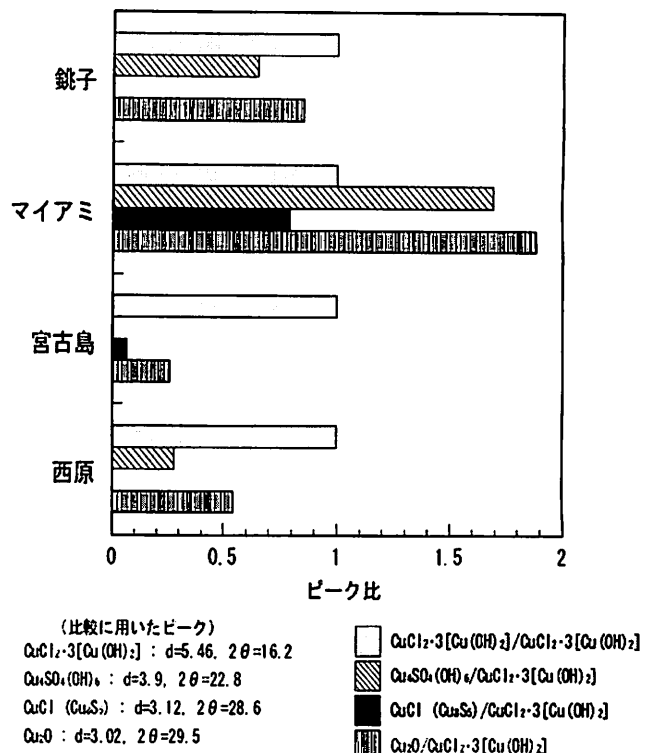


図17 暴露7年の銅に生成する腐食生成物のX線ピーク比

2. 1. 7 大気暴露試験のまとめ

- (1) 暴露環境によって, 金属材料の腐食傾向が異なることが明らかとなった。鉄鋼系材料ではマイアミ≦西原=銦子<<宮古島, アルミニウム合金ではマイアミ<西原<銦子<宮古島, 銅及び亜鉛ではマイアミ<銦子<西原<宮古島の順に腐食が大きい傾向であった。
- (2) すべての金属材料とも宮古島での腐食が激しく, この地域では保護性の腐食生成物層が形成されにくい環境であることが明確になった。
- (3) 炭素鋼及び耐侯性鋼に生成したさびの状態をさび安定度センサーで調べた結果, 銦子, 西原及びマイアミでは保護性のさびへと移行している。一方, 宮古島では一旦保護性のさびの領域に入ったものの, その後異常さびに移行し, さびが層状にはく離した。
- (4) 銅の腐食生成物のX線回折結果, マイアミで硫黄化合物が確認された。
- (5) 本調査研究成果として, 1998年にJIS Z 2382(大気環境の腐食性を評価するための環境汚染因子の測定), JIS Z 2383(大気環境の腐食性を評価するための標準金属試験片及びその腐食度の測定方法)が制定された。



### 3. 促進腐食試験（複合サイクル試験）

#### 3. 1 試験方法

3. 1. 1 試験片：炭素鋼（SM400B）、耐候性鋼（SMA490BW）、銅（C1220P）、  
溶融亜鉛めっき鋼板（Z25）
3. 1. 2 試験片の寸法：140×65×1~6<sup>t</sup> mm
3. 1. 3 評価対象面：表面の55×127 mm（マスキングテープで端面及び裏面を保護）
3. 1. 4 試験片の設置角度：垂直に対し20度
3. 1. 5 促進腐食条件：平成5年度から金属材料を対象にしたJASO M 610をベースに、これを修正した複合サイクル試験（A法～G-2法）を行なって次の4つの基本条件を満たす促進腐食試験を実施すべきであるとの結論を得た。
  - (1) 耐候性鋼は、ある程度試験サイクル数が進んだ時点で腐食速度が減少すること。
  - (2) 乾燥時間と湿潤時間の比は、銑子の気象条件を基準として1：1（WET率：50%）とする。
  - (5) 1サイクルは、8時間とする。
  - (6) 試験片設置場所の相違による試験機の槽内温度、風速、塩水付着量、ぬれなどの違いを無視できるような試験条件を見出す。

促進腐食試験中の塩水噴霧サイクルにおいて噴霧された食塩は、腐食生成物中に蓄積され、金属の腐食を促進し、腐食生成物形成に影響を及ぼすことが知られている。今回は、蓄積された食塩が炭素鋼、耐候性鋼、銅、溶融亜鉛めっき鋼板の腐食に及ぼす影響を検討した。すなわち、ある一定サイクル数まで湿潤－塩水噴霧－湿潤－乾燥の複合サイクル試験（CCT）を行い、その後引き続いて乾湿試験機で湿潤－乾燥（W/D）を実施した。その結果、CCTはG-2法（1%-NaCl）を用いることにした。

- ・（G-2法）複合サイクル試験（CCT）：湿潤－1%-NaCl噴霧－湿潤－乾燥サイクル（8hr/サイクル）
  - ① 湿潤・35℃、90～100%RH、30min
  - ② 塩水噴霧（1%-NaCl噴霧）・35℃、30min
  - ③ 湿潤・35℃、90～100%RH、60min
  - ④ 乾燥・40℃、50%RH、360min → ①へ
- ・（湿潤－乾燥サイクル）試験：湿潤、乾燥の繰返し試験（8hr/サイクル）
  - ① 湿潤・35℃、90～100%RH、2hr
  - ② 乾燥・40℃、50%RH、6hr → ①へ

試験条件は次のとおり

- (1) (G-2法)、12サイクル試験後→（湿潤－乾燥サイクル）試験  
（サイクル水準：0,12,24,48,84,132サイクル）  
{ 対象金属材料：炭素鋼（SM400B）、耐候性鋼（SMA490BW） }
- (2) (G-2法)、18サイクル試験後→（湿潤－乾燥サイクル）試験  
（サイクル水準：0,12,24,48,84,132サイクル）  
{ 対象金属材料：炭素鋼（SM400B）、耐候性鋼（SMA490BW） }

(3) (G-2 法), 24 サイクル試験後→ ( 湿润-乾燥サイクル ) 試験

( サイクル水準 : 0,12,24,48,84,132 サイクル )

{ 対象金属材料 : 炭素鋼(SM400B), 耐候性鋼 ( SMA490BW ),  
銅 ( C1220P ), 溶融亜鉛めっき鋼板 ( Z25 ) }

(1) の CCT12 サイクル→W/D サイクル試験では炭素鋼と耐候性鋼の腐食量が少ないことが判明した。そこで、銑子暴露 3 年の炭素鋼の腐食量である 500g/m<sup>2</sup> を目標に、炭素鋼と耐候性鋼について、(2), (3) の CCT18,24 サイクル→W/D サイクル試験を実施した。その結果をもとに銅、溶融亜鉛めっき鋼板について (3) の CCT24 サイクル→W/D168 サイクル試験を行った。試験終了後に試験片に生成したさび層の外観、腐食量、さび層の X 線回折、さび層の安定度、断面の顕微鏡観察などを行い、さび層の特性を考察した。

### 3. 1. 6 結果及び考察

図 18, 図 19, 図 20 は, CCT →W/D 試験における炭素鋼と耐候性鋼の腐食量の経時変化と回帰分析結果を示す。図 18 は, CCT12 サイクル, 図 19 は, CCT18 サイクル, 図 20 は, CCT24 サイクルの場合である。回帰式を累乗関数  $y = a x^b$  と仮定し, 係数  $a, b$  を求めた。その結果, CCT12 サイクルでは, 目標である炭素鋼の腐食量 500g/m<sup>2</sup> まで達しないことが確認できた。

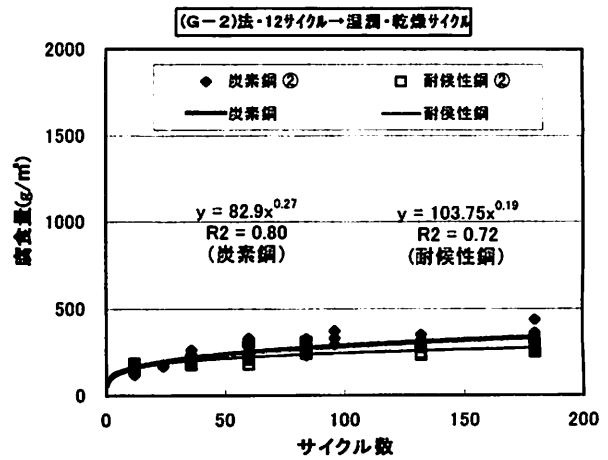


図 18 腐食量の経時変化と累乗回帰式による統計解析 (炭素鋼, 耐候性鋼)

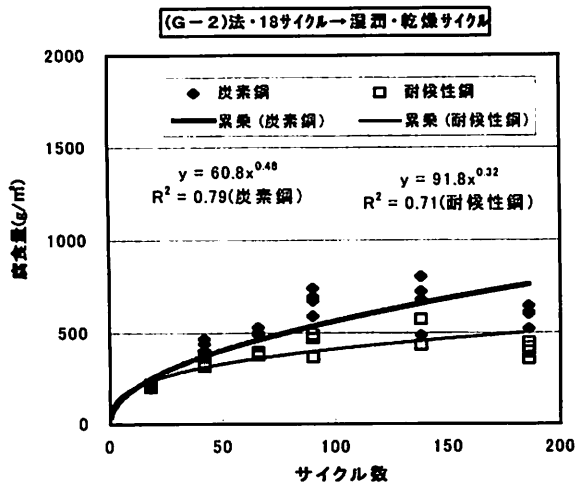


図 19 腐食量の経時変化と累乗回帰式による統計解析 (炭素鋼, 耐候性鋼)

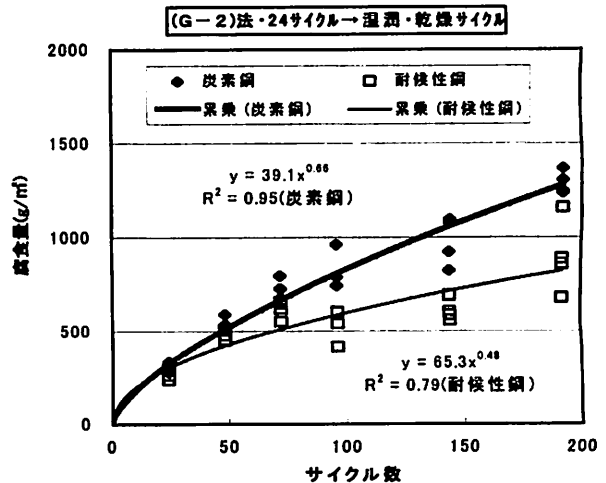


図 20 腐食量の経時変化と累乗回帰式による統計解析 (炭素鋼, 耐候性鋼)

一方、CCT18 サイクルでは、70~80 サイクルの試験で、CCT24 サイクルでは、50~60 サイクルの試験で目標値に達した。このように、食塩の供給量が多くなれば腐食は促進され、短時間で目標値に達することが判明した。しかし、5%-NaCl のような腐食促進物質を多量に供給使用した場合は、大気暴露における腐食量の経時変化との相関性が低かったり、生成したさび層が金属素地よりはく離するといった現象が起こった。

塩分供給サイクル数の多い CCT24 サイクルの方が回帰式の係数  $b$  が大きく、CCT24 サイクルで試験した場合の炭素鋼は0.66 となった。そして決定係数  $R^2$  は CCT18 サイクルと比較すると CCT24 サイクルの方が高い。CCT サイクル+W/D サイクル試験後の炭素鋼に生成したさび層の表面およびはく離の X 線回折結果を図 2 1、また腐食生成物のピーク比を図 2 2 に示す。X 線回折結果、腐食生成物中には、 $\alpha$ -FeOOH、 $\beta$ -FeOOH、 $\gamma$ -FeOOH が同定された。

はく離面は通常なさび層と同様の結晶成分であるが、ピークの高さがやや小さく結晶化の進行が遅れる傾向が認められた。素地近傍には  $Fe_3O_4$  が多く、非結晶物質が多量に存在していることを示唆している。

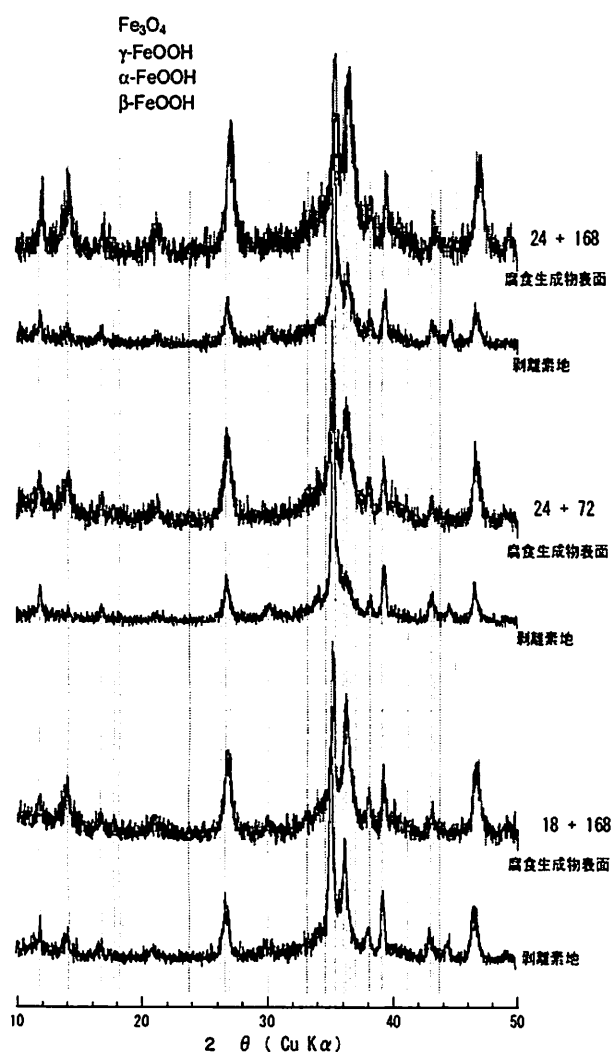


図 2 1 (複合サイクル+乾湿サイクル試験) による炭素鋼の表面及びはく離面の X 線回折チャート

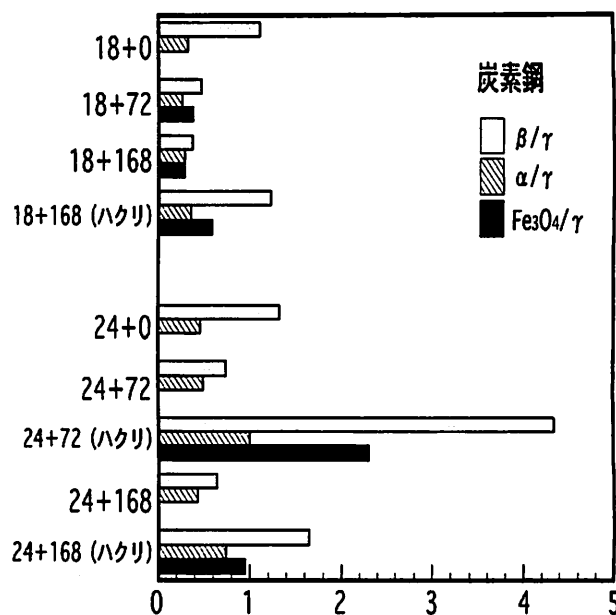


図 2 2 (複合サイクル+乾湿サイクル試験) による炭素鋼の腐食生成物のピーク比

参考として、銑子の大気暴露試験による炭素鋼の腐食量と暴露期間の関係の累乗回帰式を図23に示す。銑子の大気暴露試験による炭素鋼の係数bは、0.56である。これらのことから、促進腐食試験の塩分供給量はCCT24サイクルが適当と考えられる。この結果から、現状ではCCT24サイクル+W/Dサイクルが優れた促進腐食試験方法であると考えられる。

図24は、CCT24サイクル+W/Dサイクル試験における溶融亜鉛めっき鋼板(Z25)の腐食量の経時変化を示す。NaClの供給を停止すると亜鉛の腐食はほとんど進行しないことが明らかとなった。この理由は、溶解度積の非常に小さい塩基性塩化亜鉛が生成するため、Cl<sup>-</sup>イオンを腐食生成物中に固定し、W/Dサイクル試験においてCl<sup>-</sup>イオンが腐食促進物質として機能しないためと考えられる。

図25は、CCT24サイクル+W/Dサイクル試験における銅の腐食量の経時変化を示す。累乗関数に回帰することが判明したが、炭素鋼と比較して腐食量は1/100程度である。

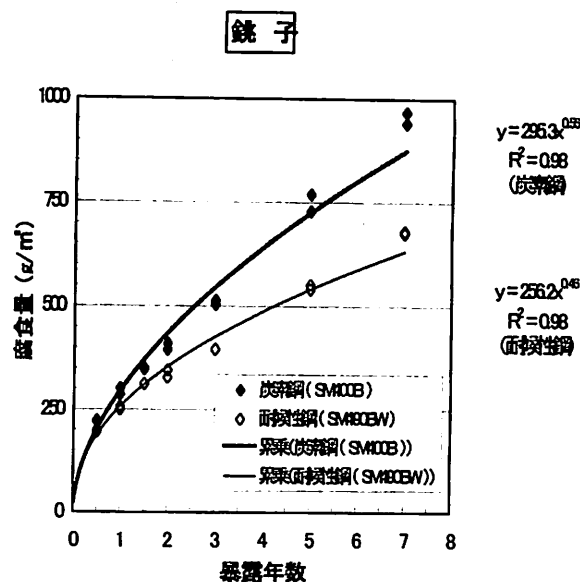


図23 銑子の大気暴露試験による腐食量と暴露期間の関係 (炭素鋼, 耐候性鋼)

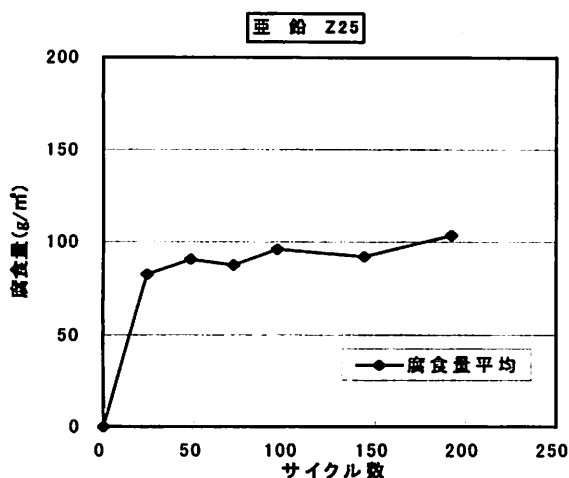


図24 CCT24サイクル+W/D試験における溶融亜鉛めっき鋼板の腐食量の経時変化

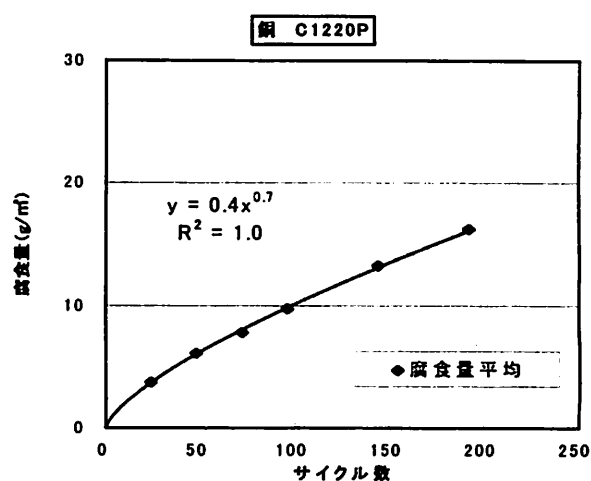


図25 CCT24サイクル+W/D試験における銅の腐食量の経時変化

#### 4 促進腐食試験のまとめ

- (1) 炭素鋼と耐候性鋼の腐食量の経時変化に差異が認められ、累乗関数に回帰した場合、いずれの試験も 99%有意で、決定係数  $R^2$  の値も大きかった。
- (2) さび層に含まれる  $Cl^-$  量は、W/D サイクル数とともに減少したが、途中減少の停滞時期があった。
- (3) 亜鉛の腐食量は、W/D サイクルではほとんど変化せず銅の腐食量は、W/D サイクルによって累乗関数に回帰した。
- (4) 炭素鋼と耐候性鋼の断面観察を行った結果、両者の差異はほとんど認められず、さび層に大小無数の亀裂があり、また、鋼素地からはがれたものや脱落したさび層の跡が認められた。
- (5) 炭素鋼と耐候性鋼のさび層には、 $Fe_3O_4$  が多いことが確認された。
- (6) 炭素鋼と耐候性鋼の腐食速度に有意差が認められたが、耐候性鋼のさび層は安定領域に達せず、大気暴露したさび層とは相違することが明らかとなった。
- (7) 炭素鋼、耐候性鋼、銅の促進腐食試験方法として、G-2 法による CCT24 サイクル+W/D 試験は腐食量の推定に利用できるものとする。現状では、大気暴露と腐食機構が完全に一致する促進腐食試験方法の開発は困難であるが、大気暴露との腐食傾向が一致し、材料間の耐食性の順位相関が類似している試験方法であれば、利用価値があるものとする。

なお、本調査研究に関して、JWTC主催のウエザリング技術研究成果発表会において平成6年11月に「各種金属材料の腐食と環境因子との関係」、平成7年11月に「各種金属材料の複合サイクル試験について」、平成9年11月に「各種金属材料の屋外暴露試験結果と環境因子との関係」、平成12年7月に(社)日本防錆技術協会主催の防錆防食技術発表大会で「金属材料の促進腐食試験(複合サイクル試験)」のテーマで報告した。

最後に、本調査研究に積極的にご協力戴いた大学、企業関係者及び金属系分科会委員並びに関連機関の方々に深謝する。

- 参考文献 )
1. 建設省土木研究所、(社)鋼材倶楽部、(社)日本橋梁建設協会：耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書(Ⅷ)－全国暴露試験のまとめ(概要編)、平成5年3月
  2. JWTC：新発電システムの標準化に関する調査研究報告書、平成5年度～11年度
  3. 岩田、中山、泊里、竹内、横井、森：腐食防食、'95、C-306,P341(1995)
  4. 紀平：材料と環境、第48巻、第11号、P697～700(1999)
  5. 清水、田中、西村：材料と環境、44、436(1995)