

# 金属材料の腐食試験方法

## Corrosion Testing Procedures

佐藤 幸弘\* 左藤 眞市\*\* 中出 卓男\*\*  
 Yukihiro Sato Shinichi Satoh Takuo Nakade  
 村上 義夫\*\*\*  
 Yoshio Murakami

(2001年7月16日 受理)

キーワード：金属材料，腐食試験，耐食性，腐食速度，塩水噴霧試験，ガス腐食試験，暴露試験

### 1. はじめに

金属材料の腐食試験には次のような目的がある。

- ① 品質管理のための耐食性評価
- ② 材料の性能評価
- ③ 腐食の原因や機構の解明
- ④ 最適材料の選定と防食方法の決定

これらの目的のために腐食試験方法を選択するには、1) 再現性が良い、2) 試験時間の短縮のため、加速率が高く実環境との相関が良い、3) 試験が簡便である、4) 試験が安全である、などが考慮される。本稿では、これら金属材料の耐食性を評価する腐食試験方法の概略を説明する。

### 2. 試験片の取り扱い

材料あるいは製品の耐食性を評価するには、試験に供した試験片がその材料あるいは製品の耐食性を代表するものであることを念頭におき、試験のサンプリング方法に注意を払う必要がある。以下に試験片の取り扱いについて説明する。

#### (1) 試験片の選択

製品を試験片とする場合には、ロットNo.や日時、サンプリング者などの明記を行い、全製品数と抜き取り数を記録する。試験片は傷や異常のないものを選び、さらに比較用の試験片も確保する。一方、試験片を原材料から加工して作る場合には、材料の組成分析や偏析の有無、圧延方向の確認も必要である。さらに目的によっては熱処理を行い、材質の均質化も必要となる。

\* 評価技術部 技術専門スタッフ

\*\* 評価技術部 表面化学グループ

\*\*\* システム技術部 電子計測グループ

#### (2) 試験片の形状と寸法

腐食試験に用いる試験片の大きさは、試験の目的、方法によって異なるが、浸漬試験などに用いられ、その評価を重量変化で表わす場合には、重さ10~50gで表面積/重量比が大きいものがよい。塗装や大気暴露試験では100cm<sup>2</sup>程度の平板が用いられる。その他のものは、試験ごとに異なるが、可能な限り大きい試験片を準備しておく必要がある。

一つのデータを得るために準備する試験片の数はデータの信頼性にもつながるので、一試験当たり最低2個以上は行いたい。ASTMでは、試験片の数と得られる誤差の関係を表1のように示している。

表1 試験片個数と推定誤差の関係

試験片の数	誤差
8	±48%
4	±69%
2	±97%

#### (3) 試験片の作製と前処理

試験片を切断や加工により供試材から採取する場合は原則としてのこぎり切断を行い、切削液の使用はできるだけ控える。採取された試験片は研磨により表面状態を均質に整える。研磨にはフライス盤、旋盤および研削機などの加工機や手作業で行う機械研磨や表2および表3に示すような電解研磨、化学研磨がある。これらの処理は、表面に加工変質層や組成変化が起こるので、腐食試験には試験片の作製方法の明記が必要である。

上記のようにして得た試験片の脱脂、洗浄には、主として溶剤が用いられ、超音波洗浄器、ブラシなどの機械的手段が補助的に使われる。溶剤としては、ソルベントナフサ、石油ベンジン、アルコール、アセトン

表2 電解研摩条件

金属材料	研摩液	電流密度 A/dm <sup>2</sup>	温度 ℃	処理時間
鉄鋼	過塩素酸 20%, エチルアルコール 80%	13-40	20-25	0.1-0.2min
	過塩素酸 20-30%, 無水酢酸 80-70%	15-30	20-25	5-15min
	りん酸 55-75%, 硫酸 12-20%, クロム酸 5-7%, 水残り	30-100	30-100	5-20min
アルミニウム および その合金	炭酸ナトリウム 20%, りん酸ナトリウム 5%	3-6	80-90	5-8min
	ホウふっ化水素酸 1.50-25%	1.5-3	30	10-20min
	りん酸 65%, 硫酸 15%, クロム酸 6%, 水残り	20-25	70-80	2-5min
	りん酸 82%, クロム酸 12%, 水残り	20-40	70-80	1-3min
銅・銅合金	過塩素酸 35%, 氷酢酸 65%	1.0	20	10-25sec
	りん酸(密度 1.3-1.4)	4-8	15-25	2-8min
	りん酸(密度 1.6)	5-20	15-25	2-5min
	りん酸 76%, クロム酸 10%, 水残り	30-50	75-80	5-30min

\* 最新表面処理技術総覧編集委員会編：最新表面処理技術総覧，産業技術サービスセンター，(1987)より引用

表3 化学研摩条件

金属材料	研摩液	温度 ℃	処理時間 min
鉄鋼	縮合りん酸	120	1-2
	シュウ酸 25g, 過酸化水素水 13g, 酢酸 0.1g, 水 1l	20-30	
アルミニウム および その合金	りん酸 70-80vol%, 硝酸 2-3.5vol%, 酢酸 0-15vol%, 水残り	90-120	
	りん酸 70-80vol%, 硫酸 11-25vol%, 硝酸 5-11vol%, 硫酸ニッケル 2g/l	95-115	0.2-6
	りん酸 1l, 過酸化水素水 50ml	室温	5
銅・銅合金	硝酸 32 容, 硫酸 64 容, 塩酸 1 容, 水 64 容	室温	

\* 最新表面処理技術総覧編集委員会編：最新表面処理技術総覧，産業技術サービスセンター，(1987)より引用

表5 腐食試験に用いられる主な測定手段

実験技術	測定量 (測定手段)
電気化学的測定	電位・電流 (参照電極・マクロセル形成) 分極特性 (定電位, 定電流分極, EPR 鋭敏化度評価試験) 分極抵抗 (直線分極, AC インピーダンス) 電位分布 (走査型振動電極)
表面物性測定	表面皮膜厚 (エリブソメトリ) 表面化学組成 (Auger 電子分光法, ESCA, 2次イオン質量分析) 表面化学種 (赤外分光, ラマン分光)
状態分析 化学分析	金属組織・断面状況 (スンプ検査, エッチング評価法, 金属顕微鏡, STEM) 腐食形状・破面 (光学写真, SEM, モアレ法, 顕微鏡焦点法) 化学組成 (蛍光 X 線, X 線微小部分分析, EPMA, EDX, 発光分光, 原子吸光, 湿式化学分析, ガス&液クロマトグラフ, ICP) 構造同定 (X 線回折, 電子線回折)
物理量測定	重量, 肉厚, 音 (AE), 光ファイバ検査法, 超音波, 渦電流法, 探傷法, 電気抵抗, 歪ゲージ, 変位 (クリップゲージ), 切出し材の機械的性質, コローゾメータ, 湿度計, 海塩粒子捕捉器, QCM, 微生物の単離・培養法
化学量測定	pH 計, 各種イオン濃度計, DO 計, 導電度計

\* (社) 腐食防食協会編：コロージョン・エンジニアリング入門編一，(1993)より引用

などを用いる。溶剤の使用順序は、最初に石油ベンジンなどの親油性の溶剤を、ついでメタノール、アセトンなどの親水性の溶剤を用いる。無機塩の付着が予想される場合には、含水メタノールを使用する。

#### (4) 試験片の後処理

腐食試験を終えた試験片は外観の観察を行ってから、

表面の腐食生成物を除去し、寸法、重量変化の測定を行う。

腐食生成物の除去には、ブラシ、超音波洗浄器のような機械的方法が一般であるが、地金の損傷に注意する必要がある。このほか、表4 (次ページ掲載) に示すような化学的除去方法もある。

表4 腐食生成物の化学的除去法

素地金属	めっき	腐食生成物除去液	時間 min	温度 ℃	備考
アルミニウム および その合金	なし	硝酸(密度 1.42)	1-5	20-25	処理後、スポンジで軽く こする
	ニッケルおよび 銅+ニッケル	硫酸(密度 1.84)100ml, 蒸留水を加えて 1000ml にする	1-5	20-25	処理後、スポンジで軽く こする
銅・銅合金	なし	塩酸(密度 1.19)500ml, 蒸留水を加えて 1000ml にする	1-3	20-25	純度の高い窒素による溶 液中の溶存酸素の除去 は、金属の溶解を抑制す る
		硫酸(密度 1.84)100ml, 蒸留水を加えて 1000ml にする	1-3	20-25	銅の再付着を抑えるため に、処理前にかさのある 腐食生成物を取り除く
	ニッケルおよび 銅+ニッケル	硫酸(密度 1.84)100ml, 蒸留水を加えて 1000ml にする	1-5	20-25	処理後、スポンジで軽く こする
	銅+ニッケル+ クロム	塩酸(密度 1.19)150ml, 蒸留水を加えて 1000ml にする	1-3	20-25	処理後、スポンジで軽く こする
	すず・すず合金	塩酸(密度 1.19)150ml, 蒸留水を加えて 1000ml にする	10	20	処理後、スポンジで軽く こする
鉄および鋼	なし	くえん酸水素ニアンモニウム 200g, 蒸留水を加えて 1000ml にする	10-60	70	処理後、スポンジで軽く こする
	亜鉛・亜鉛合金	酢酸アンモニウム 100g, 蒸留水を加えて 1000ml にする	2-5	70	処理後、スポンジで軽く こする
	銅+ニッケル	硫酸(密度 1.84)100ml, 蒸留水を加えて 1000ml にする	1-5	20-25	処理後、スポンジで軽く こする
	銅+ニッケル+ クロム	塩酸(密度 1.19)150ml, 蒸留水を加えて 1000ml にする	1-3	20-25	処理後、スポンジで軽く こする
	すず・すず合金	りん酸三ナトリウム・12水 150g, 蒸留水を加えて 1000ml にする	10	沸騰	処理後、スポンジで軽く こする
ステンレス鋼	なし	硝酸(密度 1.42)100ml, 蒸留水を加えて 1000ml にする	20	60	処理後、スポンジで軽く こする
	銅+ニッケル	硫酸(密度 1.84)100ml, 蒸留水を加えて 1000ml にする	1-5	20-25	処理後、スポンジで軽く こする

\* JIS H 8502 より引用

### 3. 腐食試験の評価方法

腐食試験の結果は、次の方法を組み合わせて評価される。

- ① 試験片の外観、重量、寸法、厚み、強度などの変化
- ② 腐食溶液中に溶出、あるいは消費されるイオン種とその濃度の分析
- ③ 腐食による発生ガス量の計測
- ④ 試験片表面の腐食生成物の組成、構造の解析、および元素の分布とその元素の濃度の測定

以上の項目は、試験目的と試験方法によって決められる。個々の実験技術に対応する主な測定手段を表5(前ページ掲載)に示す。各測定手段で求め得る測定量や検出感度を十分理解し、腐食現象に合わせた適当な手法を選択し、総合的に評価する必要がある。以下

では代表的なものを概説する。

#### (1) 腐食形態の分類

腐食試験後の外観の観察は、腐食形態と腐食程度を知る上で重要である。

腐食が全面均一に進行するものであれば、腐食形態を分類する必要はないが、腐食の多くは、不均一である。図1にChampionによる腐食の七つの形態と様式を示す。孔食については、広口( $W/D < 6$ )、中程度( $W/D < 1$ )、狭口( $W/D < 1/4$ )で分類する。孔食係数という表示は、図2に示すように最も深い侵食と平均侵食の程度で表わす。

#### (2) 腐食速度の測定

##### (A) 重量変化による腐食速度の測定

腐食試験を終了した試験片は、表4の方法で腐食生成物を除いてから重量を測定し、腐食減量を求め腐食速度を算出する。ただし乾食などの場合は、腐食生成

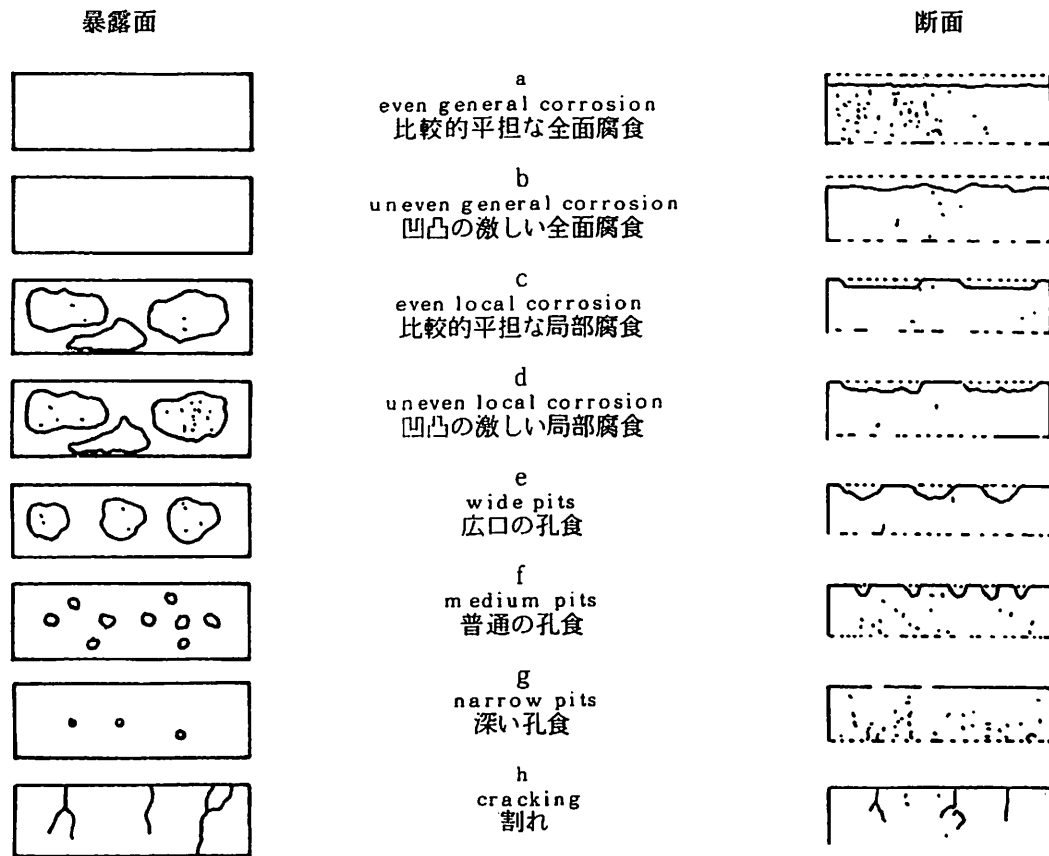


図1 Championによる腐食の七つの形態と様式

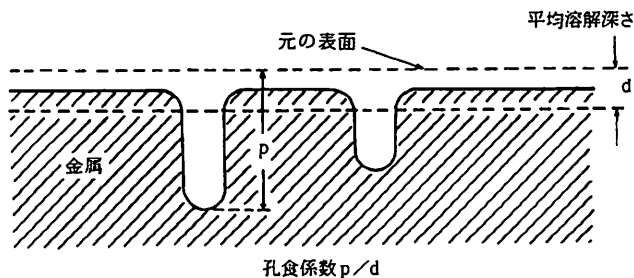


図2 孔食係数の表示

物を除去しないで増量から腐食速度を求めることもある。

腐食速度は単位時間における腐食減量（増量）または侵食深さと定義され、前者を腐食度、後者を侵食度と呼ぶ。これらは次式を用いて平均値として求められる。

$$\text{腐食度} ; W = \Delta W / (ST)$$

$$\text{侵食度} ; P = W / \rho$$

ここで、 $\Delta W$ ；腐食減量（増量）、 $S$ ；試験面積、 $T$ ；試験時間、 $\rho$ ；金属の密度である。

(B) 腐食電流の測定

重量変化に基づく腐食速度は直接的で信頼性が高い

が試験期間中の平均速度しか与えない。腐食は電気化学的に進行するので、電気化学的測定法を用いることにより、迅速にその時点での腐食速度（腐食電流  $i_{corr}$ ）を測定することができ、また腐食の経時変化を把握することができる。これには腐食系の外部から刺激（電圧）を与え、その金属材料の応答電流を測定するポテンショスタットなどの測定装置を用いて求めることができる。刺激の大小で二つの方法に大別される。

(a) 分極曲線法

金属材料の電位をアノード方向（酸化方向）およびカソード方向（還元方向）に大きく変化（分極）させ、分極させた時の電位—電流の関係（分極曲線）から外挿法により腐食電流を求める。一例を図3に示す。

(b) 分極抵抗法（直線分極法）

分極曲線法では分極が大きく試験片の表面状態が乱されるので、連続的な腐食電流のモニターには不適當である。分極抵抗法は、電流が小さいときは分極と電流が比例することを利用し、表面状態を乱さずに継続的な腐食電流の測定ができる。すなわち、

$$i_{corr} = k \cdot \Delta I / \Delta E$$

ここで、 $\Delta I$ ；電流変化、 $\Delta E$ ；電位変化、 $k$ ；比例

定数であり、比例定数 $k$ は、分極曲線の実測や理論計算値などから算出されるが、重量減測定に基づいて実験的に決定されることが多い。

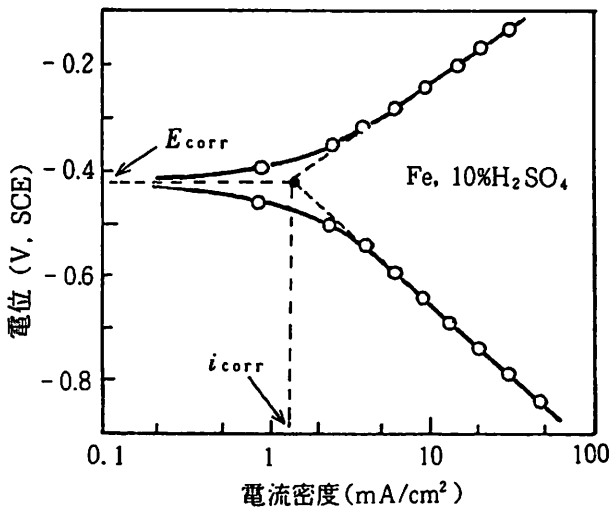


図3 分極曲線から腐食電流を求める方法

### (3) 寸法、厚さ変化の測定

ある程度平均に全面腐食した試験片の寸法や残存肉厚はデプスゲージ付ノギスやダイヤルゲージなどで簡単に測定できるが、実装置材料の肉厚測定は容易でない。こうした場合に以下の方法を用いて測定することができる。

#### (A) 電気抵抗法

金属の電気抵抗は肉厚に反比例するので、材質が既知の場合には図4に示す4電極法で電気抵抗を測定し、金属板または管の肉厚を求めることができる。すなわち、4本の触針中 $Q_1$ 、 $Q_2$ 間に一定の電流を流すと、 $P_1$ および $P_2$ の触針間の電圧は肉厚に反比例して変化するので、これより肉厚を求めることができる。測定電流は、厚みが25mm程度の鉄板の場合、10A程度の大きな電流が必要であり、厚みの測定精度は±2～5%程度が得られる。

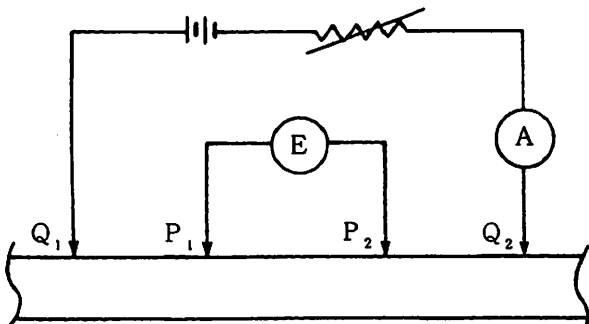


図4 電気抵抗法による実装置の肉厚測定

#### (B) 超音波法

一定材質中においては一定速度で伝達する超音波の特性を利用して、伝搬時間を測定し音速を乗じて厚みに換算する測定法である。発信および受信の振動子の配置により、反射式と共振式がある。

#### (C) 渦電流法

交流電流を流したコイルの磁場に導電性物質を置くとその中に渦電流が生じ、これにより生じる磁場がコイルのインピーダンスを変化させる。このコイルのインピーダンス変化を利用して材料の肉厚、塗膜厚さ、表面近傍の欠陥または腐食部位が検知できる。

#### (D) 放射線法

正確な厚み測定が必要な場合に適用されることが増えている方法で、試料の一方に比例計数管や、半導体を用いた放射線検出器を置き、他方にX線管や $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{60}\text{Co}$ などの線源を置く。各線源からの放射線の透過量を測定し厚みを測定する。X線を用いた例では、60mm程度の鋼板を±0.5%程度の精度で測定している。

#### (4) 侵食深さの測定

試験前に平滑な表面を有する試験片も腐食が進行するにつれて表面に凹凸を生じるようになる。全面腐食の場合はこの凹凸がなだらかなので残存肉厚を測定して腐食部分の深さが容易に求まり、また重量減からも平均侵食度を求めることができる。しかし孔食の場合、この平均侵食度は意味を持たないので、食孔の先端が進入している深さ、すなわち侵食深さを知ることが重要である。食孔は細い触針を有するデプスマイクロメータやダイヤルゲージで直接深さを測定する。また、応力腐食割れのように細いものは断面を研磨してから顕微鏡で拡大して測定する。

#### (5) 機械強度変化の測定

腐食量の評価は、重量、外観、寸法、金属イオン濃度でも評価できるが、構築物などの耐久性を知るには、機械的な強度が重要である。また腐食が局部的、あるいは水素吸蔵のように外観上の変化が少ない場合には、前述の方法では評価できない。このような場合は、腐食試験後の試験片について引張り、曲げ、衝撃などの機械強度試験を行う。

## 4. 実験室における腐食試験

種々の材料の腐食性、耐食性の評価は、実地で行うのが最良であるが、試験条件を制御することが困難な場合が多く、結果が得られるまでに時間がかかる。そこで実験室で特定の腐食因子を強調することにより短時間で評価できる方法が必要となるが、一方で実際と

の相関性は損なわれることがある。しかしながら、腐食因子を単純化することによって材料の腐食性、耐食性の評価を能率よく行うことができ、また腐食現象の解明に有益なことが多い。以下では実験室における代表的な腐食試験を説明する。

### (1) 全浸潤腐食試験

この試験は、金属の耐食性、溶液の腐食性を評価するのに最も多く適用されている方法である。試験に際し注意する点は、

- ① 試験片全表面積と液量の比
- ② 試験片の保持方法
- ③ 試験片の浸漬深さ
- ④ 液の対流、振動、攪拌
- ⑤ 液の調整

などである。腐食試験片の全表面積と液量比は、できるだけ液量比が大きい方がよく、DIN規格では、試験片の最小表面積が20cm<sup>2</sup>であれば試験液は80～100mlを最少容量とすると定めている。試験片の保持方法は、腐食に伴う発生ガスがたまらないような保持方法を工夫する必要がある。試験片の浸漬深さは水面から2～3cm以上の深さを必要とする。

### (2) 半浸潤腐食試験（部分浸潤腐食試験）

半浸潤腐食試験は、試験片の一部を溶液に浸漬し、気液界面での腐食状態を調べる方法である。気液界面では、図5に示すような酸素濃淡電池が形成され、異常な腐食を起こす。局部腐食なので、重量変化では結果を評価できない。引張強度、断面の厚みの変化などで判定する。

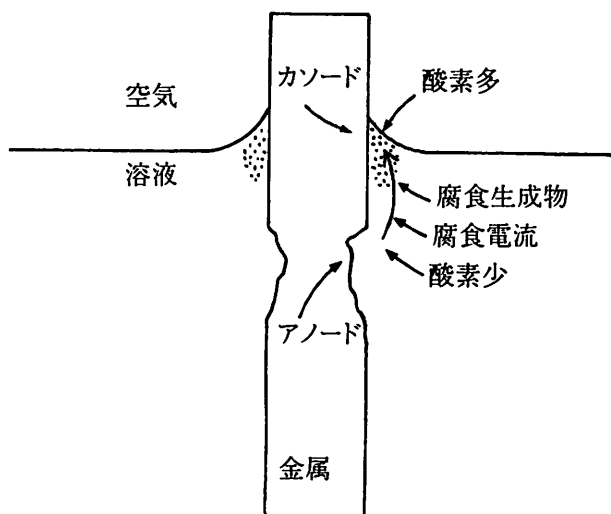


図5 気液界面での腐食

### (3) 塩水噴霧試験（Salt Spray Test : SST）

試験片に塩水を噴霧し、海岸地帯などの塩化物イオ

ンに対する腐食挙動を知るための促進試験方法である。塗膜、めっきの耐食性の評価として非常によく用いられているが、実環境との相関性はあまり良くない。同様な腐食試験方法として、塩水に酢酸を加えた酢酸酸性塩水噴霧試験（AASS）や塩水に酢酸と塩化第二銅を加えたキャス試験（CASS）がある。試験の実施においては、試験片の傾斜角度、塩水の噴霧量および噴霧の均一性、温度などに気をつける必要がある。

### (4) ガス腐食試験

腐食性ガスの雰囲気中に試験片をさらして行う腐食試験であり、ガス種としては、二酸化硫黄、硫化水素、塩素、アンモニアあるいはこれらの混合ガスなどが用いられている。試験の実施においては、ガス濃度、温度、湿度に注意する。

### (5) 複合サイクル試験

大気中に暴露された金属材料、塗膜などは、ぬれと乾燥の繰り返し作用を受けながら腐食が進行している。ぬれと乾燥の繰り返しは、腐食促進作用が大きい。これは、ぬれによって生じた安定な腐食生成物が、乾燥により固化し破壊されるからである。また、乾燥により腐食液が濃縮することも影響する。こうした乾燥、湿润と塩水噴霧試験あるいはガス腐食試験などの腐食促進試験を組み合わせ周期的に繰り返す複合サイクル試験が各種開発されており、実環境との相関も比較的良好とされている。

### (6) ウェザーメータ試験

屋外に暴露された塗膜などの有機物は、太陽光によって光劣化をうける。このような有機物の光劣化は紫外線において顕著である。有機物の紫外線による光劣化を対象とした装置が、ウェザーメータ試験機である。紫外線発生源としては、カーボンアーク、キセノンランプの2方法がある。さらにカーボンアーク光源では、電極の種類で波長分布の異なる紫外線ウェザーメータとサンシャインウェザーメータの2種類がある。ウェザーメータの試験に際しては、光源の波長分布特性（図6参照）を理解した上で光源を選定する。またウェザーメータは紫外線照射のほか、降雨サイクルがあり、紫外線照射面に散水する。

### (7) 応力腐食割れ試験

応力腐食に用いられる試験片には、多くの形状がある。図7に環境にさらす場合における応力付加状態の例を示す。試験片は切欠き、または予亀裂の有無によって分類し、また応力の付加方法で定歪試験と定荷重試験に分類される。応力の付加方式が異なれば割れの進展も異なる。定歪試験では付加応力が割れの進展と共に減少するが、定荷重試験では割れの進展で付加応

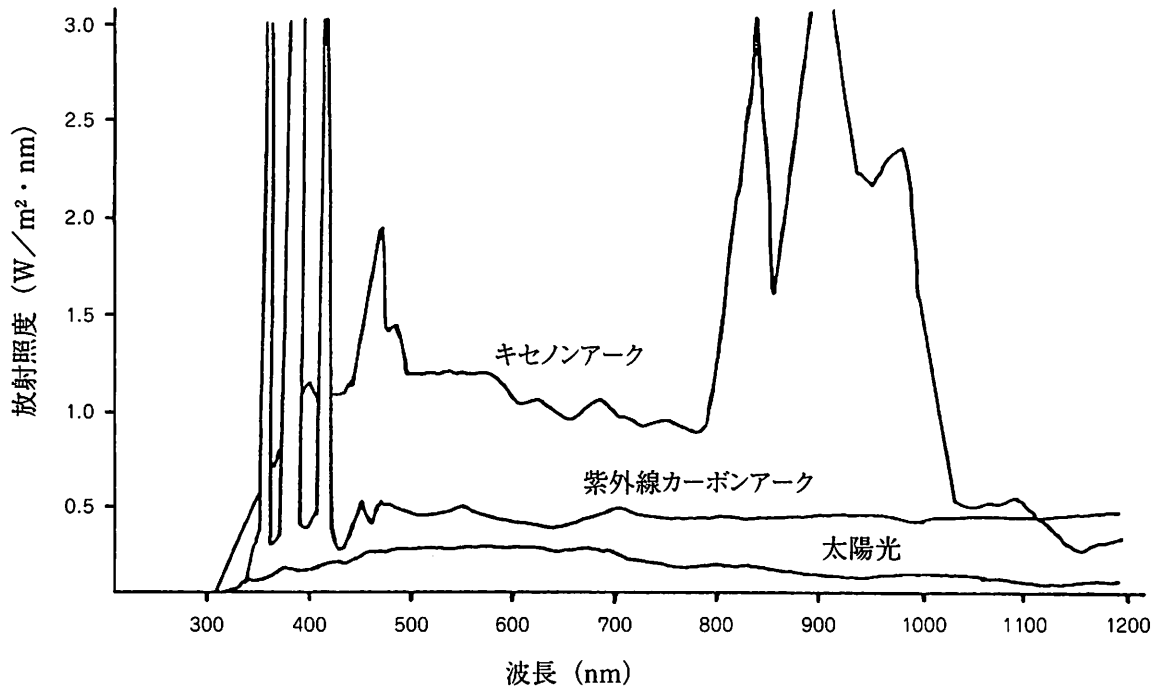


図6 紫外線光源と波長のエネルギー分布

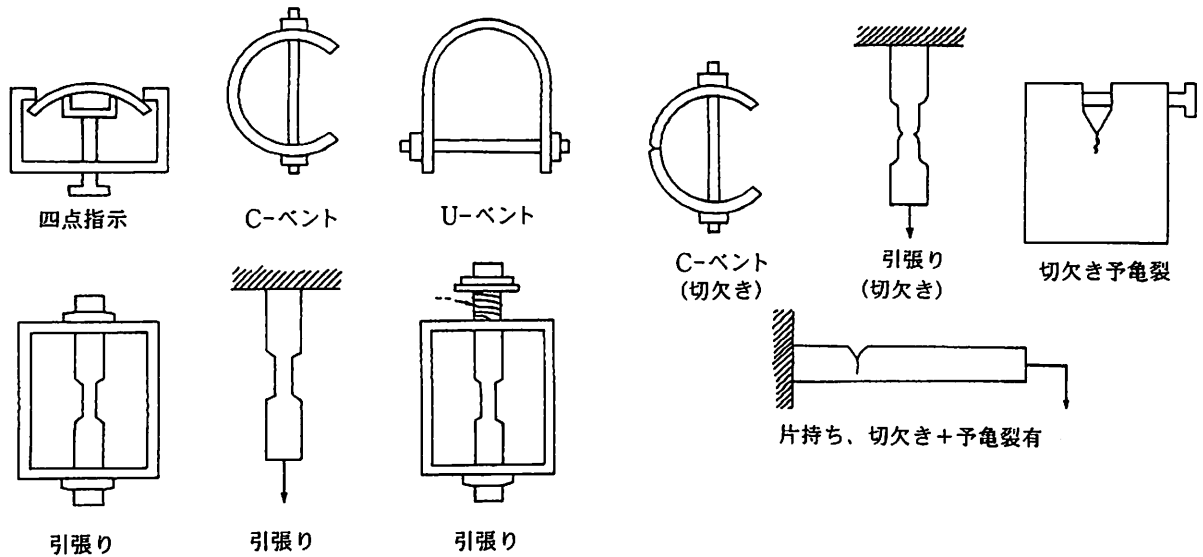


図7 応力腐食試験用試験片の形状

力が増大する。切欠きや予亀裂のない試験片では、データの再現性が乏しいために数個の試験片を必要とし、試験片の表面の割れを一定周期ごとにチェックするか、一定期間後に取り出し、切断して観察する。

5. 暴露試験

暴露試験は実験室でスクリーニングされた材料につ

いて実用性を確かめるために実施される。特に大気および土壤中の腐食環境は、実験室では再現しにくい。長期暴露と促進試験では表面皮膜の性質も異なることが多いのでこの試験の意義は大きい。以下に暴露試験の概説をする。

(1) 大気暴露試験

実際に大気中に試料を放置し腐食データを得るもので、結果を得るのに長時間を要する。データの解析に

際しては、暴露期間中の環境因子の観測データが必要となる。大気暴露試験の環境因子には、次のようなものがある。

- ① 気象要素：JISZ0304に基づけば、気温、湿度、降水量、降水時間、風向、風速、日照量、日照時間、ぬれ時間、オゾン濃度、降下ばいじん量、硫酸化物濃度、硫酸化物量、海塩粒子量、二酸化窒素濃度、硫化水素濃度の16項目
- ② 地域要素：山地、農村、都市、工業地帯、海浜地帯など
- ③ 試験方法：暴露台の位置、方向、試験片の角度、試験開始時期

試験片の暴露台は通常南側向、傾斜角度30～45°にとる。暴露台の高さは、暴露面下端部の高さが地表面から70cmとする。暴露期間はなるべく長い方が良い。

## (2) 浸漬試験

材料の淡水、海水中での特性を調べたり、実環境での性能の確認のために行われる。環境因子には次のようなものがある。

- ① 気象要素：水温、気温、潮の干満、流速
- ② 地域要素：河川湖沼の場合、周囲の土質の影響による含有成分、海水では塩濃度の差など
- ③ 試験方法：試験片の設置方法に完全没水、半没水飛沫帯、水底土中など

## (3) 土壌埋設試験

土壌中での材料の特性を調べるために行われる。土壌中での試験は、大気中や水中での試験と異なり環境中に材料を置いただけではその環境に暴露したことになる。その理由は、土壌中に埋設するには一度土を掘らなければならない。その結果、その埋設場所の土の性質、空間率、含水比、粒子の大きさなどの条件が埋設以前の状態と大きく異なってしまうからである。この影響を少なくするために、土壌埋設試験は、短くとも1年以上の試験期間が必要である。

## 6. おわりに

腐食試験の実施に際し、サンプリングの仕方および腐食試験の概要を紹介した。実施に際しては、材料や

部品、表面処理に係わるJIS, DIN, BS, ASTM, ISOなど、各試験方法の規格に厳密に従う必要がある。近年、メーカーやユーザーにおいて、自社独自の資料に基づき、数種の腐食因子に交互にさらす複合腐食試験方法が考案され、実際との相関性も良いと云われているが、試験期間と費用に改善の余地がある。また、試験のデータ解析には、統計的手法が必要である。腐食形態が孔食のように局部腐食になる場合には、極値統計と呼ばれる手法が有効である。

## 参考文献

なお本稿作成において、下記の文献を適宜参考にした。

- 最新表面処理技術総覧編集委員会編：最新表面処理技術総覧，産業技術サービスセンター，(1987)
- (社)腐食防食協会編：腐食・防食ハンドブック，丸善，(2000)
- 防錆・防食技術総覧編集委員会編：防錆・防食技術総覧，産業技術サービスセンター，(2000)
- (社)腐食防食協会編：防食技術便覧，日刊工業新聞社，(1986)
- (社)金属表面技術協会編：金属表面技術便覧，日刊工業新聞社，(1986)
- 山本洋一他編：さびを防ぐ辞典，産業調査会，(1981)
- F. A. Champion:Corrosion Testing Procedures，(1964)
- 電食防止研究委員会編：電食・土壌腐食ハンドブック，電気学会，(1977)
- 化学工学協会編：腐食試験法ガイドブック，日刊工業新聞社，(1986)
- (社)腐食防食協会編：暴露試験および促進試験に関する規格，基準集，(1982)
- (社)腐食防食協会編：コロージョン・エンジニアリング入門編一，(1993)
- (社)腐食防食協会編：装置材料の寿命予測入門一極値統計への適用一，丸善，(1984)
- 日本材料学会編：金属腐食の現地試験と評価，(1995)
- 日本機械学会編：腐食と破壊，日本工業出版，(1985)



