

金属腐食の概要と局部腐食 II

～各種金属の耐食性～

篠原 正*

2.1 はじめに

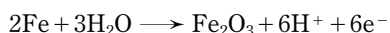
第1回(腐食基礎)⁽¹⁾では、電位-pH図に基づいた耐食性発現機構(薄い酸化皮膜による耐食性: passivity, 比較的厚い腐食生成物による耐食性: passivation)やその特徴(流れの影響や局所化, など)について解説した。本稿では, 実環境での腐食挙動を例に挙げながら, 各種金属材料の耐食性について解説する。

2.2 鉄の腐食挙動

2.2.1 鉄の分極曲線に及ぼす pH の影響

図2.1(a)は, 酸性水溶液中における鉄のアノード分極曲線の模式図である。腐食電位(E_{corr})より, 電位が高くなるにつれて腐食速度(i)が大きくなる, Tafel の式に従う領域があり, 続いて i が一定の拡散律速領域が現れる。この状態では, Fe^{2+} の拡散が間に合わず, Fe 表面での Fe^{2+} 濃度が飽和に達しているため, もはや $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ という反応速度がそれ以上に大きくなれない。

拡散律速領域を超えてさらに電位を高くすると i が急激に小さくなる。ここでは, 酸化力が極めて大きいために,



という反応が進み, 鉄表面に薄くて(nm オーダー)緻密な Fe_2O_3 皮膜が形成され, 腐食反応が抑制される。このように, 大きな酸化力によって形成された薄くて緻密な酸化皮膜によって, 腐食速度が非常に小さくなった状態を不動態といい, その酸化皮膜を不動態皮膜という。また, 鉄の溶解が進む領域(Tafel の式に従う領域と拡散律速の領域)を活性態という。この活性態での電流密度の最大値(ピーク電流密度, i_p)は pH に依存し, pH が高くなるにつれ小さくなる。

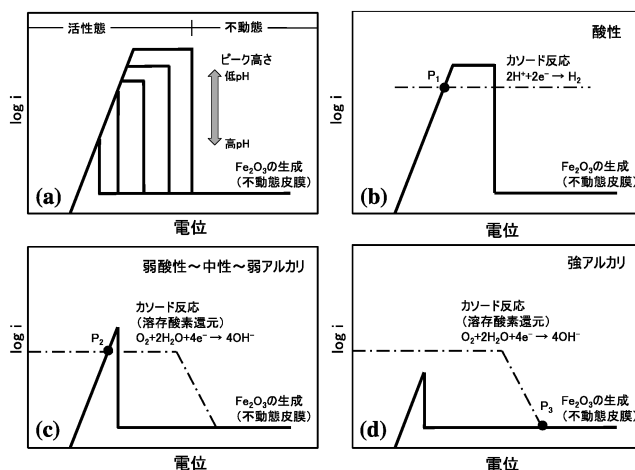


図2.1 種々の pH の水溶液中における鉄の分極曲線の模式図。
(a) 酸性水溶液中における鉄のアノード分極曲線,
(b)–(d) 種々の pH での鉄表面での内部分極曲線。

2.2.2 酸性環境中における鉄の腐食挙動

酸性水溶液中における鉄表面での内部分極曲線を模式的に図2.1(b)に示す。酸性水溶液中ではカソード反応としては水素イオン還元(水素発生: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$)が主反応であり, 拡散律速となっている。腐食反応はアノード・カソード分極曲線の交点(P_1)での(E_{corr} , i_{corr})で進行し, この点(P_1)は活性態にある。pH が低いほど, カソード反応速度が大きくなり, また i_p も大きくなるので, 腐食速度(i_{corr})は大きくなる。

2.2.3 弱酸～中性～弱アルカリ性環境中における鉄の腐食挙動

弱酸～中性～弱アルカリ性の水溶液中における鉄表面での

* 元, 物質・材料研究機構

Corrosion and Protection of Metals II ~Corrosion Behaviors of Metals and Alloys~; Tadashi Shinohara (Formerly, National Institute for Materials Science, Tsukuba)

Keywords: corrosion, carbon steel, weathering steel, stainless steel, zinc, Mg alloy, Al, Ti, atmospheric corrosion

2022年4月20日受理[doi:10.2320/materia.62.99]

内部分極曲線を模式的に図2.1(c)に示す．この環境中でのカソード反応としては溶存酸素還元が主反応である．腐食反応はアノード・カソード分極曲線の交点(P_2)での(E_{corr} , i_{corr})で進行する．この点(P_2)は活性態にあり，また溶存酸素還元の拡散律速領域にあるので， $i_{\text{corr}} = i_L = 20 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (i_L : 溶存酸素拡散限界電流密度)となる．すなわち，腐食速度はpHに依存しない．

2.2.4 強アルカリ性環境中における鉄の腐食挙動

強アルカリ性の水溶液中における鉄表面での内部分極曲線を模式的に図2.1(d)に示す．この環境中でもカソード反応としては溶存酸素還元が主反応である． i_p はpHが高くなるにつれて小さくなるので，あるpHよりpHが高くなると，図2.1(d)に示すように $i_p < i_L$ となって，アノード・カソード分極曲線の交点は不動態にある P_3 へ移行する．このように $i_p < i_L$ となって自発的に不動態化することを，自己不動態化という．鉄の場合には $\text{pH} > 9.5 \sim 10$ で自己不動態化するといわれている．コンクリート中は $\text{pH} > 10$ であるので鉄筋は不動態化している．したがって，鉄筋コンクリートは強度の面からだけでなく，耐食性の観点からも優れた複合材料といえる．しかし， CO_2 によって中性化が進み $\text{pH} < 9.5 \sim 10$ となると，アノード・カソード分極曲線の交点は活性態(図2.1(c)の P_2)へ移行するので，腐食が開始・進行する．また，不動態皮膜に対しては Cl^- が攻撃的に働く(不動態皮膜を破壊する)．鉄筋コンクリートにおいて， CO_2 による中性化や海塩や融雪塩由来の Cl^- が問題視されるのは，強アルカリ環境で鉄筋が不動態化していたとしても，不動態皮膜の破壊に伴う腐食が発生・進展するからである．

2.3 ステンレス鋼

鉄(Fe)とCrのE-pH図(文献(1)の図1.4)を重ねると，両者の不動態域が重なって，かなり低pHにならないかぎり不動態化し耐食性を持つようになる(図2.2(a)～(c))．このような鉄-Cr合金がステンレス鋼である．JIS G203によると，ステンレス鋼とは，“耐食性向上を目的として，鉄にクロムまたはクロムとニッケルを含有させた合金鋼で，クロム含有量が約11%以上の鋼”である．

CrやNiを添加してもpHが下がれば，ステンレス鋼は不動態化できなくなる．この不動態化できなくなる限界値を脱不動態化pH, pH_d と呼び(図2.3⁽²⁾)，ステンレス鋼の耐食性を示す指標であり，これより低pH環境下ではそのステンレス鋼を使うことができない．

ステンレス鋼の不動態皮膜に対しても Cl^- は攻撃性を有するイオンとして働く．電位が十分に高い場合には，損傷した不動態皮膜が修復される前にステンレス鋼の溶解が進み，食孔と呼ばれる孔状の腐食が生じ，そこに腐食が集中する．この食孔が生じる現象を孔食という．

孔食のように，ほとんどの部分が不動態化していて，腐食が特定の箇所に集中する腐食形態を局部腐食という．ステン

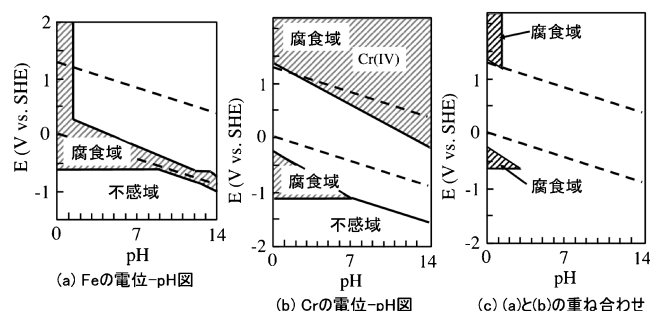


図2.2 ステンレス鋼のイメージ(文献(1)の図1.4を編集)．

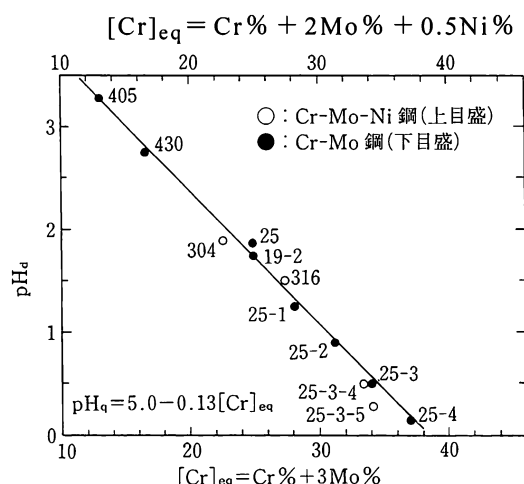


図2.3 各種ステンレス鋼の脱不動態化pH(pH_d)⁽²⁾．

レス鋼の局部腐食については，次回以降に詳しく解説する．

2.4 大気腐食

2.4.1 腐食速度(CR)と水膜厚さ(d)の関係

ビル，橋梁などの社会資本に使われる構造材料や電気・電子材料の多くは大気環境中で使われる．これらに生じる腐食形態は「大気腐食」と呼ばれ，腐食は，降雨時や高湿度下での結露時などのぬれ期間に成長し，乾き期間には停止する．すなわち，大気腐食といえども，腐食が進行するためには，水(水膜)が必要である．

附着物を強電解質とし，所定の相対湿度(RH)と平衡する水膜の組成や厚さ(d)を，熱力学的データをもとに計算できるようになった⁽³⁾⁻⁽⁵⁾．海塩を NaCl-MgCl_2 系とした場合，これが吸湿してできる水膜における各イオンの濃度(m)および水膜厚さ(d)におよぼすRHの影響を図2.4に示す．海塩付着量(W_s)が $10^{-4} \text{g}/\text{m}^2$ の時には，付着物なしと差はないが，それ以上の W_s では， W_s が多いほど同じRHでの吸着水量が多くなる．

細矢ら⁽⁴⁾は，鉄の腐食速度(CR)におよぼす水膜の組成あるいは厚さ(d)の影響を検討した(図2.5)．CRは d が大きくなるにつれて大きくなり， $d = 56 \mu\text{m}$ で最大($\text{CR} = 0.28 \text{mm}/\text{y}$)となった．その後は， d が大きくなるほどCRは小さくなり， $d \geq 170 \mu\text{m}$ では d によらず $\text{CR} = 0.16 \text{mm}/\text{y}$ となった．

このCRの値は、水溶液中での鉄の腐食速度にほぼ等しい。

図2.4によれば $d > 56 \mu\text{m}$ となるのは、 $W_s = 10 \text{ g/m}^2$ でも $\text{RH} > 90\%$ の場合であるので、一般的な大気環境においては、海塩付着量が多く、相対湿度(RH)が高いほど、CRは大きくなるとしてよい。また、図2.5中には、塩水噴霧試験(Salt Spray Test: SST)におけるCR⁽⁶⁾と d の範囲を示した。SSTでのCRは、結露下での腐食速度よりかなり大きく、沖縄における台風環境下での腐食速度(図2.5中に「台風10号」と示した矢印)に相当する⁽⁶⁾。

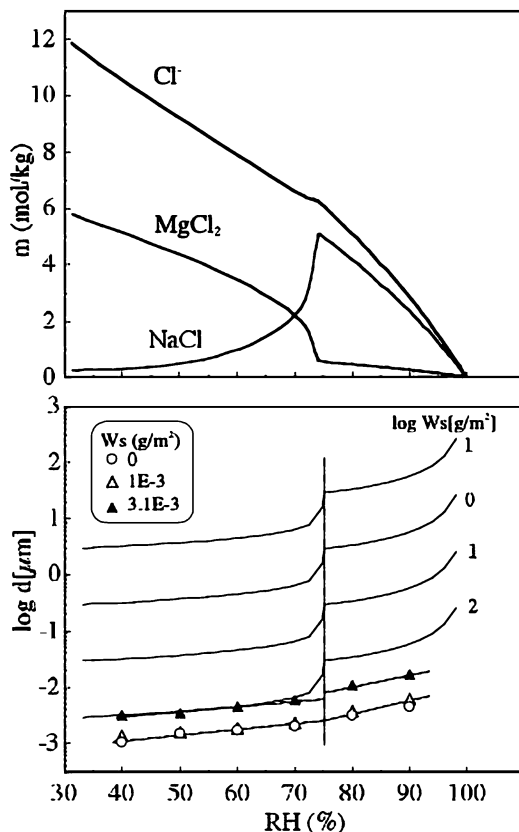


図2.4 海塩が吸湿してできる水膜における各イオンの濃度 (m) と水膜厚さ (d) におよぼす RH の影響 (文献(3), (4)の図を編集)。

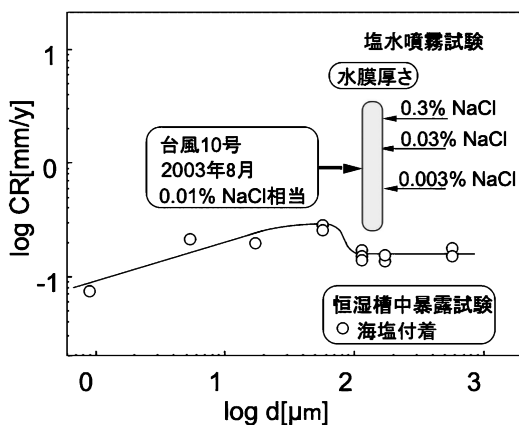


図2.5 鉄の腐食速度(CR)におよぼす水膜厚さ(d)の影響。(文献(4)と(6)のデータを編集)。

2.4.2 降雨と結露

降雨と結露は大気腐食における主たる水の供給源である。降雨は腐食過程において二つの役割を演ずる。第一は金属表面上への水の供給を増大させることであり、第二は降雨前に表面に付着した海塩粒子などの汚染物質を洗い流す作用である。前者は腐食を促進し、後者はむしろ減速する効果がある。図2.6はACM センサ出力(I)とRH との関係の経時変化を示した例である。ACM (Atmospheric Corrosion Monitor) センサ⁽⁷⁾⁽⁸⁾とは、炭素鋼や亜鉛めっき鋼板(アノード)の上に絶縁層を介してAgペースト(カソード)を印刷したもの(図2.7)で、この異種金属対に流れる短絡電流を測定することにより、環境に関する情報を実時間的に測定することができる。図2.6(a)においては、 I -RHの関係は降雨前後で変化はなく、この時の雨は「水を供給する」腐食促進効果を有する。一方、図2.6(b)においては、降雨後の I -RH の関係は降雨前のそれより下にあり、この時の降雨によって海塩が流されたことがわかる。

大気腐食は水膜下で進行するので、水膜が形成されている時間、すなわち「ぬれ時間」は環境腐食性を評価する上で重要な因子といえる。ISOによると、ぬれ時間(TOW)は「気温 0°C 以上、湿度80%以上の継続時間」と、温度と湿度という気象条件だけで決まるとしている。しかし、海塩が付着すると、図2.4に示すように $\text{RH} < 80\%$ でも水膜が形成されるので、腐食が進行する。実際、ACM センサによると $\text{RH} < 80\%$ でもセンサ出力が検出され、センサ出力が検出される

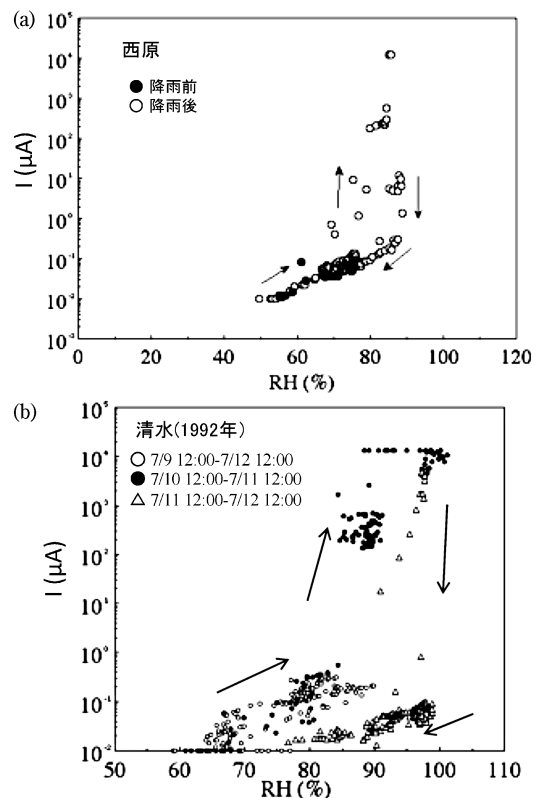


図2.6 ACM センサ出力(I)とRH との関係の経時変化例。

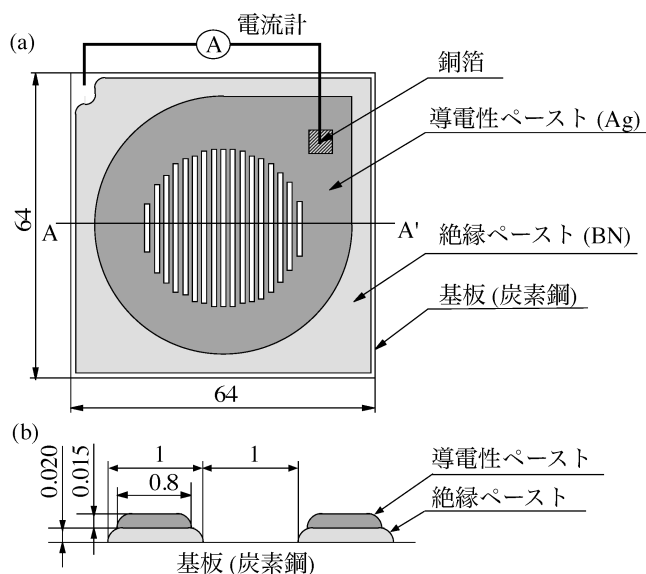


図2.7 ACM センサの概略.

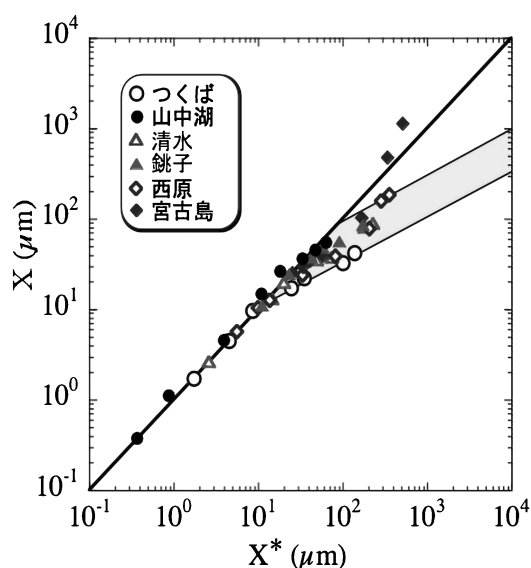


図2.8 1～4年間暴露した際の実際暴露試験結果(X)と積算腐食量(X*)との関係.

下限のRHは、海塩付着量が多くなるほど低下した⁽⁸⁾。すなわち、ISO方式を満たす一定のRHは80%ではないし、80%以外にも存在しない⁽⁸⁾。

2.4.3 さびをもつ金属の腐食

さび細孔が正に帯電した場合は、鉄/さび界面にまでCl⁻イオンなどのアニオンが侵入し腐食を促進する。逆に、負に帯電させることができれば、アニオンが鉄/さび界面にまで侵入できず、腐食を抑制することになる。こうした、イオン選択透過性⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾やイオン透過抵抗⁽¹⁰⁾は、耐候性鋼の耐食性評価やさび安定性の評価などに使われている⁽¹¹⁾。

図2.8は、田園地帯から海洋性大気環境に属す6箇所の暴露地における炭素鋼の直接暴露試験結果を基に、実際の侵食深さ(X)とさびの影響がない場合の侵食深さ(X*)を比較したものである⁽⁵⁾⁽¹²⁾。ここで、X*は1か月間の侵食深さ(X_M)を所定の期間積算したもの(X* = Σ_T X_M)であり、1か月の暴露期間においては、その侵食深さ(X_M)におよぼさびの影響は小さいとした。霧(山中湖)や海塩(宮古島)の影響が大きい限り、X* > 10～20 μm となった場合に(X/X*) < 1となり、さびの腐食抑制効果があらわれた。しかもこのX-X*の関係はほぼ1本の広幅線に乗る。

2.4.4 直接雨がかりのない環境での腐食挙動

雨が直接当たらない環境中で鉄のCRとACMセンサ出力の日平均電気量(Q)との関係を調べたところ、

$$\log \text{CR} [\text{mm/y}] = 0.378 \log Q [\text{C/day}] - 0.636 \quad (1)$$

で表されることが確認された⁽¹³⁾。このことは、海塩付着量や湿度条件などの環境条件によらず、QからCRを推定できることを示す。

実際の工業化(プレハブ)住宅内の種々の部位にACMセンサを設置しそこの腐食性調査を行った⁽¹³⁾(図2.9)。ACMセンサ出力から見積もった屋内の鉄およびZnのCRはそれ

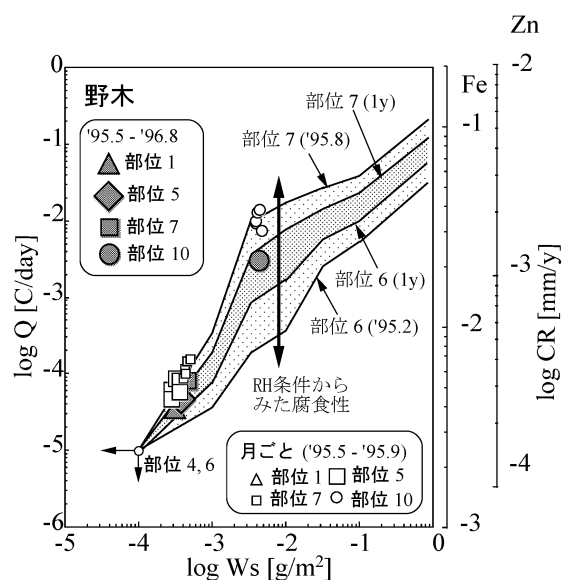


図2.9 実際工業化住宅内に設置したACMセンサの日平均電気量(Q)と海塩付着量(Ws)との関係(文献(13)を編集)。

ぞれ3～5 μm/y および0.3～0.4 μm/y 程度であり、鉄のそれは屋外(部位10: 20 μm/y)の1/5程度である。このように、閉鎖的な環境において、付着物量が少ないことに由来して腐食速度が小さくなる。

2.5 種々の金属の耐食性

2.5.1 炭素鋼の大気腐食挙動

図2.10は、全国25か所の暴露地で実施された炭素鋼の腐食度について、2004年5月および10月から開始された1年間暴露試験で得られたデータ50件⁽¹⁴⁾を対数正規プロットしたものである。ほとんどのデータが直線に乗り、国内の腐食

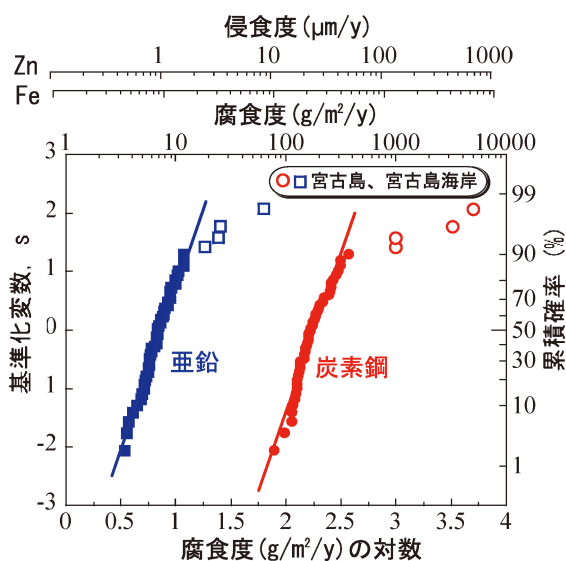


図2.10 国内25箇所での炭素鋼(SM400)および亜鉛の1年暴露試験結果の対数正規プロット。(オンラインカラー)

度データが対数正規確率分布に従うことが分かる。鉄の腐食度の対数としての平均値は2.26であり、これは $180 \text{ g/m}^2/\text{y}$ ($=22.9 \text{ }\mu\text{m/y}$)に対応する。

2.5.2 耐候性鋼の大気腐食挙動

耐候性鋼は、Cu, Cr, Niなどの合金元素を含有した低合金鋼(合金元素の総量が5%以下の合金鋼)である。大気中での適度な乾湿の繰り返しにより表面に緻密なさびを形成し、耐食性を発揮する(図2.11)。しかし、海塩が多い環境では緻密なさびが形成されず、腐食抑制効果が発揮できなくなるため、飛来海塩粒子量が $5 \text{ mmmd}(\text{mg/m}^2/\text{day})$ より多い環境では使用できないとされている⁽¹⁶⁾。

近年、海浜地区でも耐食性に優れたNi添加耐候性鋼⁽¹⁷⁾が開発されてきたが、そのさび膜はアニオン透過性⁽⁹⁾であることが知られている。しかし、そのイオン透過抵抗は極めて大きく、このために優れた耐食性を有すると考えられる⁽¹⁰⁾。

2.5.3 ステンレス鋼の発錆

鉄の大気腐食については、2.4.1節で述べたように、相対湿度(RH)が高いほど水膜厚さが増し、腐食性が厳しくなる。これに対して、ステンレス鋼においては、RHが30~50%で孔食が発生し、 $\text{RH} \geq 70\%$ ではむしろ孔食が発生しない⁽¹⁸⁾。これは、低湿度ほど水膜が薄くなって、 Cl^- 濃度が上昇するとともに、電位が高くなるためである⁽¹⁹⁾。

ACM センサを用いて検討した、各種ステンレス鋼の発錆域を図2.12⁽⁵⁾⁽⁸⁾に示す。鋼種ごとに海塩付着量の下限界値があり、海塩の多い環境ほどその下限界値の高い鋼種を用いればよい。また、海塩付着量が多くなった時点でステンレス鋼を洗浄して海塩を洗い流すことにより、低級な鋼種でも発錆を免れる。

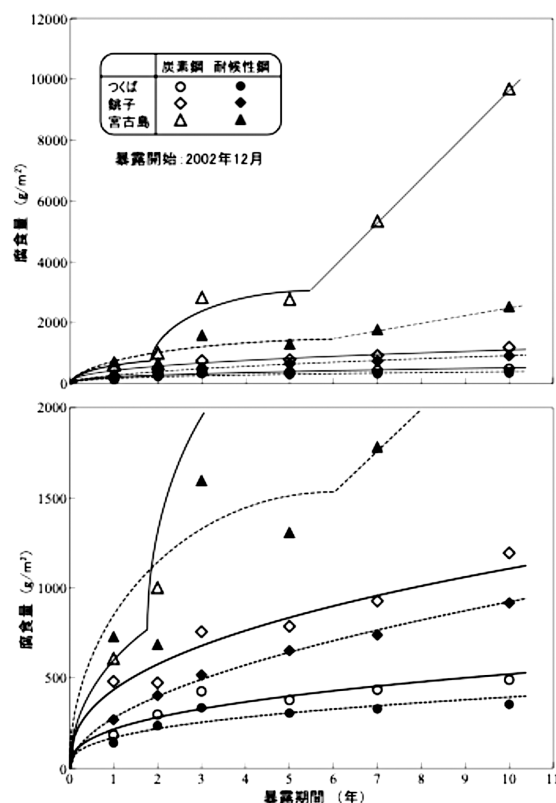


図2.11 炭素鋼(SM490)および耐候性鋼(SMA490)における腐食量の経時変化例(文献(15)のデータを編集)。

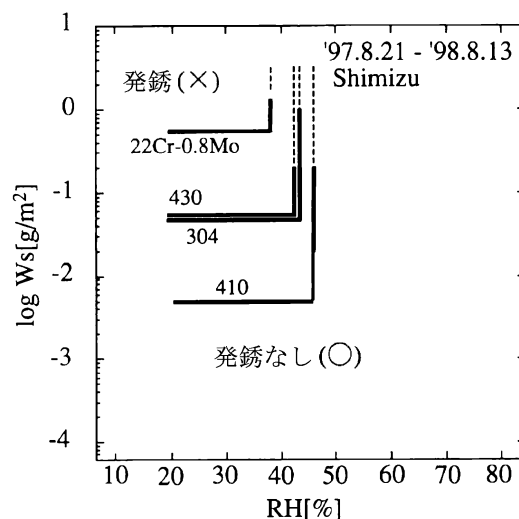


図2.12 各種ステンレス鋼の発錆域。

2.5.4 亜鉛めっき鋼板の大気腐食挙動

亜鉛は、 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ や塩基性塩化物、炭酸塩などの腐食生成物が沈着してできる比較的厚い(μm オーダー)腐食生成物によって耐食性を発揮する⁽²⁰⁾。2.5.1節で示した暴露試験においては、亜鉛の暴露も実施されており⁽¹⁴⁾、その結果を図2.10中に併せて示した。両金属の腐食度の対数について、標準偏差(σ)はほぼ等しく($\sigma = 0.14 \sim 0.15$: 約1.4倍)、また亜

鉛の腐食度の対数としての平均値は0.84であり、これは6.96 g/m²/y に対応し、鉄の腐食度の約 1/26 (=6.96/180) であった。

藤田ら⁽²¹⁾は、北米融雪塩散布地域を5年から11年走行した車体を回収して、その腐食外観調査ならびに極値統計による防錆鋼板の穴あき寿命の解析を行い、亜鉛めっき防錆鋼板の腐食過程は、以下の4段階に分割できるとした(図2.13)：

Stage 1：防錆鋼板のめっき皮膜が全面被覆しそのめっき皮膜が腐食する段階(τ_1)

Stage 2：めっき面が部分的に消失し下地鋼をめっき皮膜が犠牲防食する段階(τ_2)

Stage 3：亜鉛腐食生成物により下地鋼板の腐食が抑制さ

れる段階(τ_3)

Stage 4：下地鋼がめっきを施さないときと同じ速度で腐食する段階(τ_4)

このように、亜鉛めっき鋼板においては、亜鉛の犠牲防食作用だけでなく、腐食生成物が下地鋼板を覆いその腐食を抑制する(Stage 3： τ_3)という作用も発揮される。

2.5.5 アルミニウム(Al)

Alは表面に形成される不動態皮膜によって、中性付近(pH 4~8)で優れた耐食性を持つ。このため、一円玉や厚さ10~20 μm 程度のアルミホイルは、特に処理を施さずAlのまま使える。しかしながら、Cl⁻ 環境においては孔食が問題となるので、アルミサッシなどの構造部材では、アノード酸化処理(電解液中で高電位のアノードに分極し、強制的に酸化皮膜を作る)によって、厚さ5~30 μm 程度のAl₂O₃ 層を生成させる。この処理はアルマイト処理とも呼ばれる。Al₂O₃ は絶縁体であるので、水や酸素のAl素地への侵入を防ぐことで耐食性を発揮する(環境遮断)。

2.5.6 マグネシウム(Mg)

AZ31合金(3%Al-1%Zn)を4箇所(茨城県つくば市、千葉県銚子市、静岡県静岡市清水区、沖縄県宮古島市)に炭素鋼とともに暴露したところ、1年後の侵食深さは；

炭素鋼：つくば<清水<銚子<<宮古島

AZ31合金：宮古島<つくば<銚子<清水

となった⁽²²⁾。飛来海塩量が最も多く、炭素鋼の侵食深さが100 μm を超える宮古島で、AZ31合金の侵食深さが最も小さかった。宮古島では、当初の腐食速度は大きい、その際に形成された腐食生成物が緻密化することで、腐食抑制効果

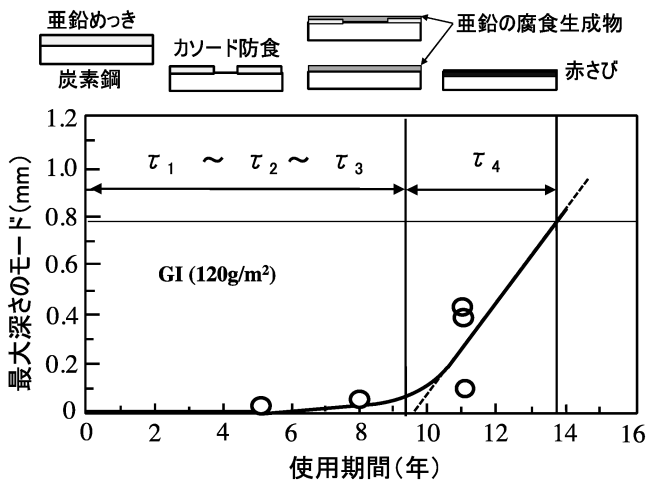


図2.13 亜鉛めっき鋼板の腐食過程の模式図(文献(21)を編集)。

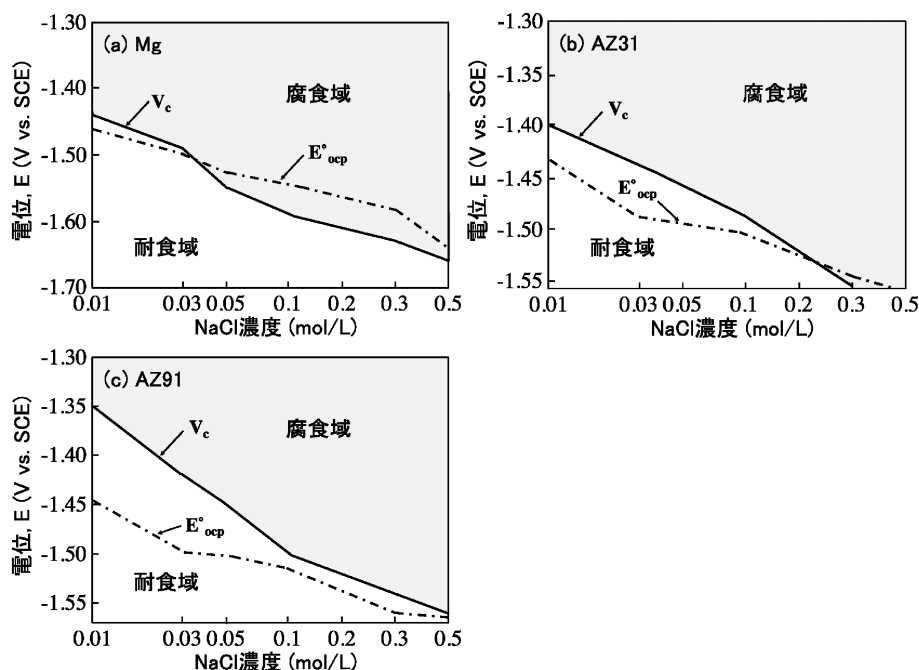


図2.14 Mg合金のNaCl水溶液中での腐食マップ(文献(23)を編集)。

Mg 合金を種々の濃度の NaCl 水溶液中で定電位保持すると、特定の電位以上では腐食は進展するが、それ以下では、腐食が生じないか生じたとしても腐食生成物によって表面が覆われ腐食は停止した⁽²³⁾。Mg, AZ31 (3%Al-1%Zn) および AZ91 (9%Al-1%Zn) における腐食進展の下限界電位 (V_c) と自然電位 (E°_{ocp}) を図 2.14 に示す。 $E^{\circ}_{ocp} < V_c$ である場合に、各合金が耐食性を保つとすれば、Al が増大するに従って耐食域が広がり、Mg は $\leq 0.03 \text{ mol/L NaCl}$, AZ31 は $\leq 0.2 \text{ mol/L NaCl}$, AZ91 は $\leq 0.5 \text{ mol/L NaCl}$ で耐食性を有する⁽²³⁾。

$$\text{Mg} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Mg}^{2+} + \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$$

が生じて、自発的に高 pH となり、Mg の腐食生成物が沈殿・緻密化して、耐食性を発揮したと考えられる。

Tiは表面に形成される不動態皮膜によって優れた耐食性を持ち、特にCl⁻による局部腐食を生じにくい⁽²⁴⁾ことから、熱交換器や海水淡水化プラントなどに使われている。また、東京アクアラインの橋脚には炭素鋼にTiを貼り付けたもの(クラッド材)が使われている。しかし、TiはF⁻(フッ化物イオン)に対しては耐食性を示しにくい⁽²⁴⁾。また、水素吸収によって水素化物を形成し、水素脆化を起こすことがある⁽²⁴⁾。

実環境での腐食挙動を例に挙げながら、各種金属材料の耐食性について解説した。金属材料の耐食性は、酸化物や水酸化物、炭酸塩や硫酸塩などに覆われることによって達成される。そうした耐食性をもたらすもの(酸化皮膜や腐食生成物)の性質・特性を把握することは材料の有効利用(防食対策)のみならず耐食性材料の開発にも有効であると考えられる。

- (1) 篠原 正：まてりあ，**62**(2023)，48-54.
- (2) 腐食防食協会編：腐食・防食ハンドブック，丸善，(2000)，65-68.

- (3) 押川 渡, 篠原 正, 元田慎一: 材料と環境, **52**(2003), 293-298.
- (4) 細矢雄司, 篠原 正, 押川 渡, 元田慎一: 材料と環境, **54**(2005), 391-395.
- (5) 篠原 正: ふえらむ, **17**(2012), 296-301.
- (6) 中野 敦, 押川 渡: 材料と環境, **60**(2011), 135-137.
- (7) 篠原 正: ふえらむ, **11**(2006), 215-221.
- (8) 篠原 正, 元田慎一, 押川 渡: 材料と環境, **54**(2005), 375-382.
- (9) 野田和彦, 西村俊弥, 升田博之, 小玉利明: 金属学会誌, **64**(2000), 767-770.
- (10) 片山英樹, 野田和彦: 表面技術, **58**(2007), 506-511.
- (11) 紀平 寛, 伊藤陽一, 宇佐見 明, 富田幸男: 材料と環境, **98**(1998), 61-62.
- (12) 篠原 正, 田原 晃, 細矢雄司, 深谷祐一, 押川 渡, 元田慎一, 千島 茂, 山本清龍, 石橋整司: 材料と環境 2006, (2006), A-314.
- (13) 元田慎一, 鈴木揚之助, 篠原 正, 辻川茂男: 材料と環境, **47**(1998), 651-660.
- (14) 財団法人ウェザリングテストセンター編, “(財)新エネルギー・産業技術総合開発機構委託「開発成果標準化フォローアップ等標準化調査研究事業」(新発電関連要素機器の長期耐久性および寿命予測標準化に関する調査研究)平成17年度成果報告書”, (2006), 1-73.
- (15) 鈷物質・材料研究機構編: 構造材料データシート 腐食データシート No. 3C 炭素鋼, 耐候性鋼 大気腐食特性データシート, (2014).
- (16) 建設省土木研究所, (財)鋼材倶楽部, (財)日本橋梁建設協会編: 耐候性鋼材料の橋梁への適用に関する共同研究報告書(XX) (1993).
- (17) 鹿毛 勇, 塩谷和彦, 竹村誠洋, 小森 務, 古田彰彦, 京野一章: 材料と環境, **55**(2006), 152-158.
- (18) 押川 渡, 糸村昌祐, 篠原 正, 辻川茂男: 材料と環境, **49**(2000), 690-695.
- (19) 三谷貴俊, 篠原 正, 辻川茂男: 第42回腐食防食討論会講演集, (1995), 141-144.
- (20) 篠原 正: 表面技術, **62**(2011), 25-29.
- (21) 藤田 栄, 梶山浩志: 材料と環境, **50**(2001), 115-123.
- (22) 篠原 正, 王 蕾: 材料と環境 2008講演集, (2008), 361-364.
- (23) L. Wang, T. Shinohara and B. P. Zhang.: Proc. JSCE Materials and Environments 2009, (2009), A-312.
- (24) 腐食防食協会編: 腐食防食ハンドブック, 丸善, (2000), 327-330.



篠原 正

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

1985年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了
1985年 東京大学工学部金属材料学科 助手，講師
1992年 同学部金属工学科助教
2002年 物質・材料研究機構材料研究所 ディレクター，材料信頼性センター グループリーダー等を経て2015年 同機構定年退職，
2015年 同機構 特別研究員
2020年 同機構 退職，現在に至る。
専門分野：ステンレス鋼の局部腐食，金属材料の大気腐食

◎40年以上にわたり、金属材料の腐食・防食の研究に従事。腐食問題の解決にあたりとともに、腐食研究の重要性を積極的に発信。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★