

8.ACM 型腐食センサと腐食生成物厚さをを用いた大気腐食環境と経時腐食深さの評価手法

杉谷国博

1. 目的

構造物を適切に維持管理するためには、部材・部位レベルにおける腐食環境を明らかにした上で腐食挙動の経時性を明らかにする必要がある。腐食環境を評価する手段の1つとして ACM 型腐食センサ(以後、ACM センサ) が用いられている。本研究では無塗装普通鋼板の大気暴露試験および腐食促進試験を実施するとともに、ACM 型センサによる腐食環境モニタリングを行った。これらの結果に基づき、Fe/Ag 対 ACM 型腐食センサ (以後、Fe センサ) を用いて大気腐食環境を評価するとともに無塗装普通鋼板の経時腐食挙動の評価・予測手法を提案した。また、大気腐食環境のモニタリングは、気候変動を考慮する必要があるため、我国では1年間単位で継続して実施する必要がある。しかし、腐食性が高い大気環境では、Fe センサは早期に劣化するために、約1ヵ月毎に交換を要する場合もある。そこで、高耐久性の Zn/Ag 対 ACM 型腐食センサ (以後、Zn センサ) と Fe センサの出力の相関を明らかにすることで、Zn センサ出力を Fe センサ出力に換算して腐食環境を評価する手法を提案した。また、測定が容易な腐食生成物厚さと日平均電気量の関係を明らかにした上で、腐食生成物厚さから腐食環境を評価する手法を提案した。

2. 内容

2.1 大気暴露試験および腐食環境モニタリング 大気暴露試験は以下に示す 1)~4)の地点で実施した。

1)沖縄本島の東側海岸線から約 2.3km, 西側海岸線から約 4.4km に位置する降雨の影響があり、飛来塩分量が比較的多い琉球大学千原キャンパス構内(以後、琉球大学構内) (Lat.26°15' N, Long.127°46' E). 2)東側海岸線から約 2.5km, 西側海岸線から約 5.3km に位置する九州大学伊都キャンパス構内(以後、九州大学構内) (Lat.33°35' N, Long. 130°12' E). 3)博多湾の海岸線から約 70m 南に位置する橋梁桁下(以後、百道海岸線) (Lat.33°35' N, Long.130°21' E). 4)沖縄本島の西側海岸線から約 30m に位置する沖縄自動車道の橋梁下(以後、許田海岸線) (Lat.26°32'N, Long.127°57'E). 大気腐食環境データを効率的に収集するために、鋼板を水平に対して 0°, 45°および 90°の角度で設置し、試験体の表裏面(対空面および対地面)を検討対象とした。暴露期間は琉球大学構内を 0.5 年, 1 年, 2 年および 3 年, 九州大学構内および百道海岸線を 0.5 年, 1 年および 1.67 年, 許田海岸線を 0.5 年および 1 年とした。それぞれの期間について各 3 体の試験体を暴露した。また、鋼板の表裏面に貼付した Fe センサと Zn センサを用いて、腐食電流を 10 分毎に測定することで腐食環境をモニタリングした。腐食促進試験には塩水噴霧複合サイクル試験機を用いた。腐食サイクルには JIS Z 2371 S6-cycle を用い、その繰返し回数を 1200cycle, 1800cycle および 2400cycle とした。試験には各腐食サイクル数について、各 5 体の試験体を用いた。

琉球大学構内の大気暴露試験から得られた平均腐食深さの経時性を図-1 に示す。図-1(a)は各暴露期間の 3 体の試験体の平均値から得られた平均腐食深さ d_{mean} を示している。暴露期間 0.5 年のデータについては、1 年間の腐食環境の変動に配慮し、参考値として図中に示している。実線は暴露期間 1 年および 2 年から算出した d_{mean} (mm) に対する暴露期間 t (year) の累乗回帰曲線である。図-1(b)は図-1(a)の大気暴露試験と腐食促進試験の結果を比較した図である。腐食促進試験の結果は、各腐食サイクルの 5 体の試験体の平均値から得られた d_{mean} を示している。腐食促進試験の d_{mean} は、試験期間 1 年で大気暴露試験

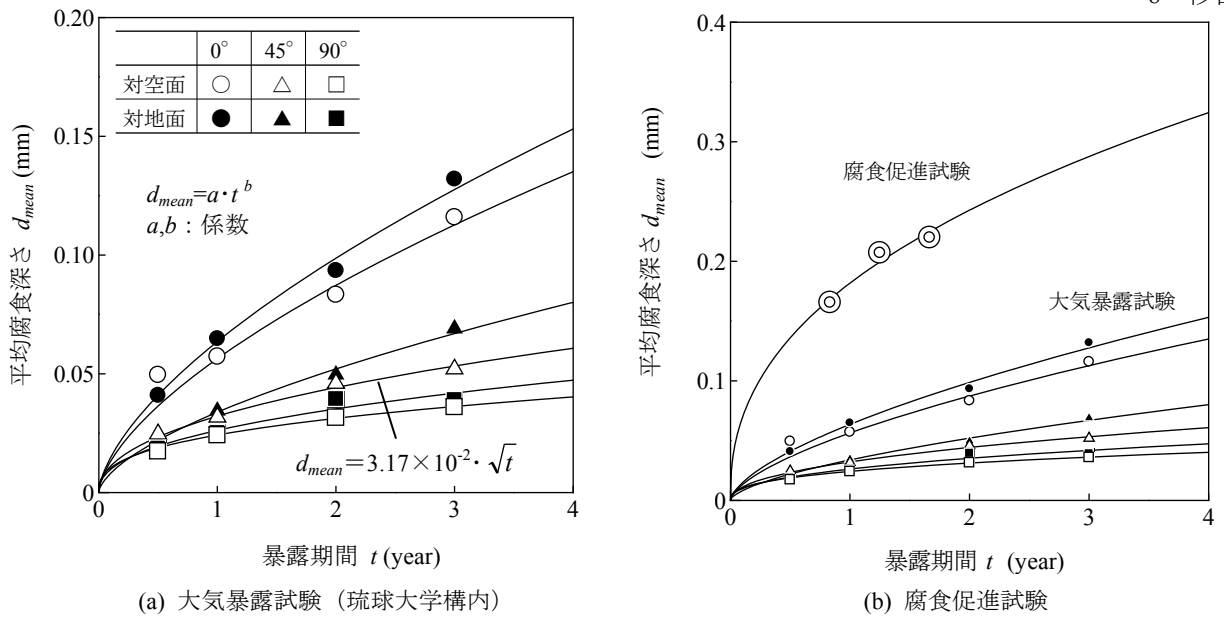


図-1 平均腐食深さの経時性

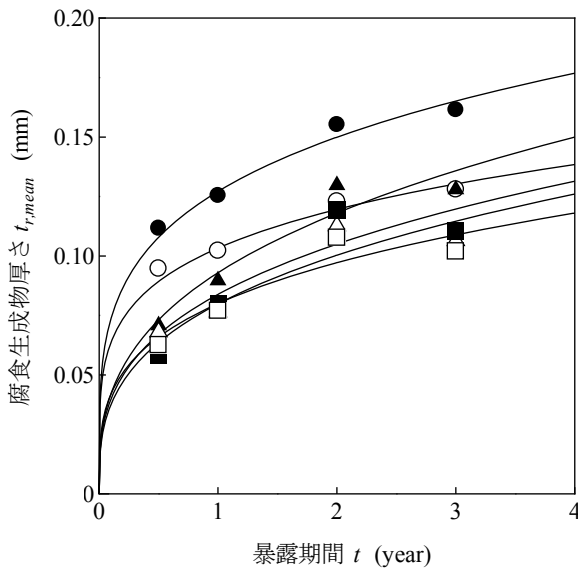


図-2 腐食生成物厚さの経時性 (琉球大学構内)

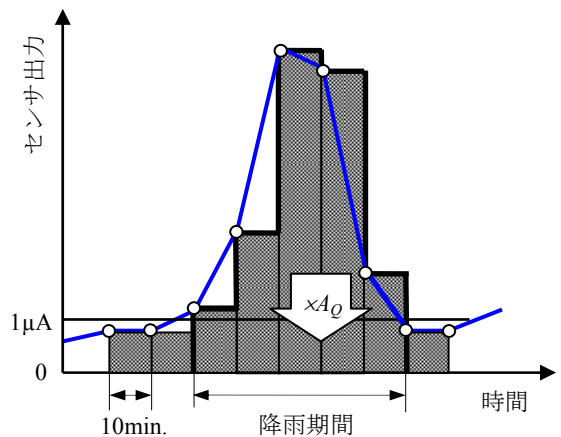
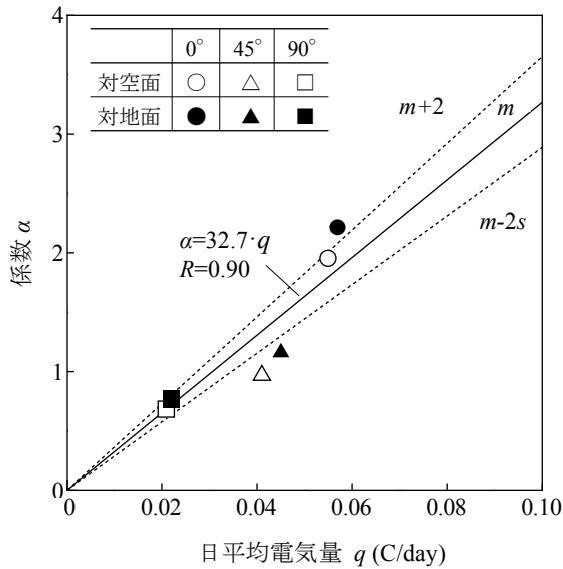
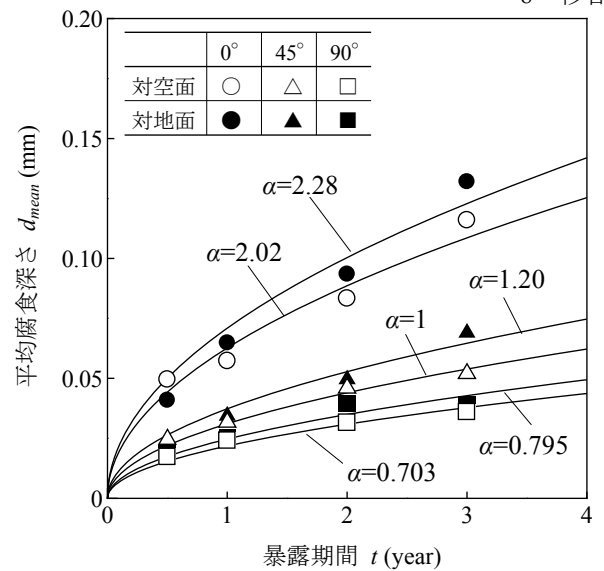


図-3 降雨期間のACMセンサ出力の換算方法

の45°対空面に対して5倍以上となっており、厳しい腐食環境であると言える。また、琉球大学構内の大気暴露試験から得られた腐食生成物厚さの経時性を図-2に示す。平均腐食深さと腐食生成物厚さの傾向は一致しておらず、平均腐食深さと比較して腐食環境による腐食生成物厚さの差が小さくなった。

2.2 Fe/Ag 対 ACM 型腐食センサを用いた大気腐食環境の評価手法 Feセンサの出力は、降雨時には鋼板自体に生じる腐食電流に比して著しく増加する。したがって、この出力に基づき鋼材の腐食挙動を評価することは困難である。そこで、降雨時の出力を鋼板の腐食量との相関が得られるように換算することとした。降雨時における出力の換算方法の概念図を図-3に示す。降雨期間は降雨の影響を受けない大気暴露試験から決定したしきい値(1μA)以上となる期間として定義した。この降雨期間の出力には A_0 を乗じた。本研究では A_0 を20%として、腐食性の指標である日平均電気量 q (C/day)を算出した。

2.3 Fe/Ag 対 ACM 型腐食センサを用いた経時腐食深さの評価手法 図-1(a)の d_{mean} に対する t の各回帰曲線は、腐食環境の相違により大きく異なっている。ここでは、45°対空面の回帰曲線の係数 α を45°対空面を基準($\alpha=1$)とした日平均電気量 q の関数と定義する。この定義に基づき、 α と他の腐食環境にお

図-4 係数 α と日平均電気量 q の関係図-5 係数 α と日平均電気量 q の関係

ける日平均電気量 q との相関について検討する．図-4 は α と q の関係を示している．図中の実線は，大気暴露試験結果から算出した α に対する q の回帰曲線を示している．相関係数 R が 0.90 と比較的高く，この回帰直線が腐食促進試験結果の傾向を良く表していることから， α と q の関係は次式で表すことができる．

$$\alpha = 32.7 \cdot q \quad (1)$$

図-5 に式(1)に基づき回帰した各腐食環境における大気暴露試験の平均腐食深さ d_{mean} の経時性を示す．いずれの回帰曲線も大気暴露試験結果の経時性を良く表している．したがって， d_{mean} は図-1(a)中の 45° 対空面から得られた回帰曲線に式(1)を代入することで，次式で評価・予測できると考えられる．

$$d_{mean} = 1.02 \cdot q \cdot \sqrt{t} \quad (0.016 \leq q \leq 0.483(\text{C/day})) \quad (2)$$

2.4 Zn/Ag 対 ACM 型腐食センサを用いた大気腐食環境の評価 Fe センサと Zn センサの出力と温湿度の例を図-6 に示す．高出力域では Fe センサに比して，Zn センサ出力は高くなっている．一方，低出力域では Fe センサに比して，Zn センサ出力は低くなっている．これは，Zn センサの分極抵抗が Fe センサに比して低いため，高出力域では Zn センサ出力が高くなると考えられる．また，低出力域では Fe センサに生じる腐食生成物が Zn センサと比べて，ポーラスとなるため，水膜が早期に蒸発・消失するためと考えられる．

Zn センサ出力に対する Fe センサ出力の比 I_{Fe}/I_{Zn} の関係を図-7 に示す．高出力域と低出力域では，前述したように Zn センサと Fe センサの出力が著しく異なっている．Zn センサ出力 I_{Zn} が $1\mu\text{A}$ 以下の場合， I_{Fe}/I_{Zn} は I_{Zn} に反比例して低下している．また， $1\mu\text{A}$ 以上の場合， I_{Fe}/I_{Zn} は一定になっており，その値は 0.391 となっている．したがって，Zn センサ出力を次式により Fe センサ出力に換算することで，Fe センサに対する腐食環境評価手法を適用できると考えられる．

$$I_{Fe} = 0.391 \cdot I_{Zn}^{0.380} \quad (I_{Zn} < 1) \quad (3)$$

$$= 0.391 \cdot I_{Zn} \quad (I_{Zn} \geq 1) \quad (4)$$

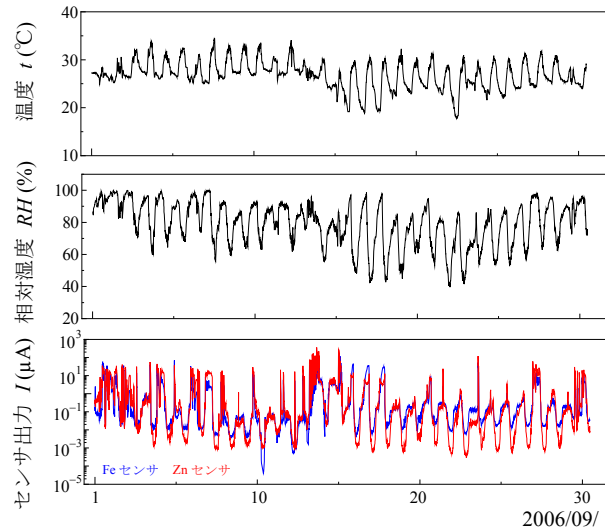


図-6 ACM センサ出力の経時変化の例

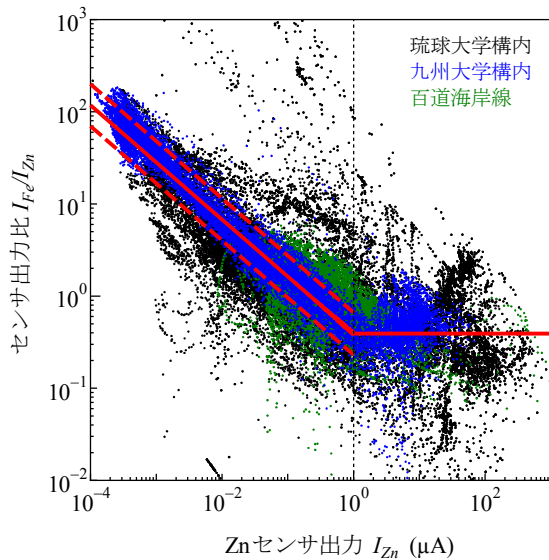


図-7 Zn センサ出力に対する Fe センサ出力の比

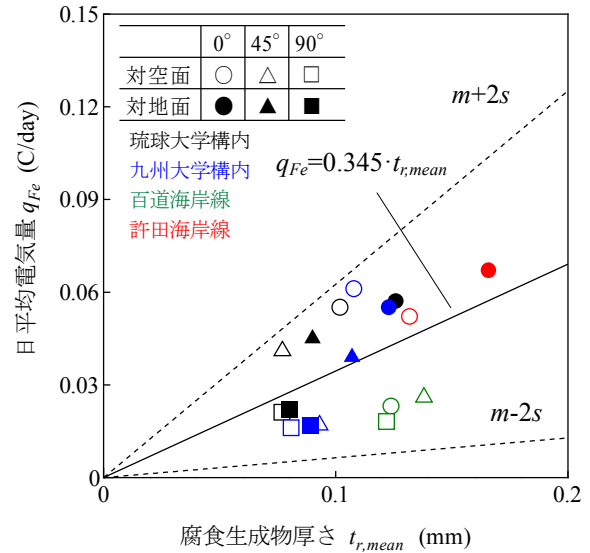


図-8 腐食生成物厚さ $t_{r,mean}$ と日平均電気量 q の関係

2.5 腐食生成物厚さをを用いた大気腐食環境の評価 暴露期間 1 年間の腐食生成物厚さと日平均電気量の関係を図-8 に示す。腐食性が高い環境では、腐食生成物厚さと日平均電気量は、腐食性が低い環境に比して大きくなる。したがって、腐食生成物厚さと日平均電気量の大小関係は、同じになるものと考えられる。そこで、次式に示す図-8 中の回帰直線を用いて、腐食生成物厚さをを用いた大気腐食環境が評価可能であると考えられる。

$$q=0.345 \cdot t_{r,mean} \tag{5}$$

3. 結論

1)Fe/Ag 対 ACM 型腐食センサを用いた大気腐食環境 (日平均電気量 : 0.016~0.483(C/day)) および普通鋼板の経時腐食深さの評価手法を提案した。2)Fe/Ag 対と Zn/Ag 対の ACM 型腐食センサ出力の関係を明らかにした。また、Zn/Ag 対センサ出力を Fe/Ag 対センサ出力に換算することで腐食環境を評価する手法を提案した。3)腐食生成物厚さと Fe/Ag 対センサによる日平均電気量の関係を明らかにした上で、腐食生成物厚さをを用いた腐食環境の評価方法を提案した。