Fe/Ag 対 ACM 型腐食センサーを用いた大気環境における 無塗装普通鋼板の経時腐食深さの評価方法

貝沼重信*, 山本悠哉**, 林 秀幸***, 伊藤義浩†, 押川 渡††

* 九州大学大学院 工学研究院社会基盤部門

** 西日本高速道路株式会社 関西支社

*** 九州大学大学院 工学府都市環境システム工学専攻

† 株式会社神戸製鋼所 機械研究所

†† 琉球大学 工学部機械システム工学科

Practical Method for Estimating Time-Dependent Corrosion Depth of Uncoated Carbon Steel Plate under Atmospheric Environment using Fe/Ag Galvanic Couple ACM-Type Corrosion Sensor

Shigenobu Kainuma*, Yuya Yamamoto**, Hideyuki Hayashi***, Yoshihiro Itoh† and Wataru Oshikawa††

* Department of Civil and Structural Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University

** Kyoto Expressway Office, Kansai Branch, West Nippon Expressway Company Ltd.

*** Department of Urban and Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Kyushu University

† Mechanical Engineering Research Laboratory, KOBE STEEL, LTD.

†† Department of Mechanical and Systems Engineering, College of Engineering, University of the Ryukyus

To maintain economically steel structures against corrosion damage, it is necessary to quantitatively clarify the corrosion environments of individual parts in the structures and to evaluate the time-dependent corrosion behavior. In this research, an evaluating method for the time-dependent corrosion depth of uncoated structural steel plates using Fe/Ag galvanic couple ACM type corrosion sensor was proposed. This method was focused on the environments with and without effect of rainfall and airborne sea salt. Atmospheric exposure tests were carried out on the uncoated steel plates in four fields in which the environments varied widely as a function of rainfall and airborne sea salt. In addition to this, the corrosive environments of the skyward- and groundward-facing surfaces of the plates were monitored using the ACM sensors.

Key words : ACM-type corrosion sensor, daily average electricity, corrosion depth, atmospheric exposure test, common steel plate, rainfall, airborne sea salt

1. 緒 言

鋼橋などの大気環境に曝される鋼構造物において、腐食による主構造部材の破断や崩壊事故が報告されている。この事故の多くは、構造上重要な部位の著しい腐食に起因して生じている。したがって、部位レベルの腐食性を適切に評価し、その部位の腐食損傷の経時性を評価することで、致命的な腐食損傷を早期に予知し、予防対策を講じられる。また、構造部位に実施した腐食環境改善の効果を早期に定量評価できる。

構造物の部位レベルの腐食環境をモニタリングするセンサーの1つにACM (Atmospheric Corrosion Monitor) 型腐食センサー (以下、ACM センサー) が開発されている。このセンサーの特性や有用性は、既往の研究^{1)~5)}で検討されてきたが、降雨の影響や鋼材表面の腐食生成物による腐食速度の遅延効果などを考慮した鋼材の腐食

挙動の評価手法は確立されていなかった。そこで、著者らは降雨によるACMセンサーの出力増加の影響を考慮した日平均腐食電気量の算出方法と、その電気量に基づいた無塗装普通鋼板の経時腐食挙動の評価手法を提案した⁶⁾。しかし、実構造物の部位レベルの腐食性を評価するためには、降雨や飛来海塩の影響の有無など、様々な大気環境で適応可能な鋼部材の経時腐食深さの評価手法が必要とされるが、その手法は提案されていない。

本研究では降雨や飛来海塩の影響の有無に着目した大気暴露試験を無塗装普通鋼板を用いて行った。また、その暴露地点の温湿度、および試験体の対空・対地面の腐食環境をACMセンサーでモニタリングした。これらの結果に基づき、降雨や飛来海塩の影響を考慮したACMセンサー出力の日平均電気量により、様々な大気環境に曝される鋼構造物の部位レベルに対する経時腐食深さの評価手法を提案した。

2. 大気暴露試験

著者らは腐食環境と無塗装普通鋼板の経時腐食深さの関係を明らかにするため、大気暴露試験を行った⁷⁾。また、その腐食環境のモニタリングを温湿度センサーとACMセンサーを用いて実施した。

*. *** 〒 819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 (744, Motooka, Nishi-ku, Fukuoka, 819-0395 Japan)

** 〒 621-0826 京都府亀岡市篠町篠上長尾 15 (15, Kaminagao, Shino, Kameoka, Kyoto, 819-0395 Japan)

† 〒 651-2271 神戸市西区高塚台 1-5-5 (1-5-5, Takatsukadai, Nishi-ku, Kobe, 651-2271 Japan)

†† 〒 903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 (1, Senbaru, Nishihara, Nakagami-gun, Okinawa, 903-0213 Japan)

Table 1 Chemical compositions of material used in specimen (mass%)⁶⁾.

C	Si	Mn	P	S
0.16	0.39	1.45	0.014	0.007

Fig. 1 Test specimen. All dimensions are in mm⁶⁾.

2.1 試験体

試験体には Table 1 に示す化学成分を有する JIS G 3106 SM490A 材を用いた。試験体の形状と寸法を Fig. 1 に示す。試験体の全表面は、均質な腐食生成物層が形成されるように、ブラスト処理（スチールグリッド（JIS G5903 G50）、ISO Sa2.5、 R_{qis} ：約 70 μm ）をした。試験体は構造物の塗膜劣化後の基礎的な腐食挙動を検討するため、無塗装とした。

2.2 大気暴露試験と腐食環境のモニタリングの方法

著者らは降雨の影響の有無と滞水、および飛来塩分量の多少の環境に着目して、1) 琉球大学千原キャンパス構内（以下、琉球大学）（Lat.26°15' N, Long.127°46' E）、2) 九州大学伊都キャンパス構内（以下、九州大学）（Lat.33°35' N, Long. 130°12' E）、3) 福岡北九州高速道路 1 号線の高架橋下（以下、百道）（Lat.33°35' N, Long.130°21' E）および 4) 沖縄自動車道の高架橋下（以下、許田）（Lat.26°32' N, Long.127°57' E）の 4 地点で大気暴露試験を実施した⁷⁾。本試験では各地点から暴露データを効率的に収集するため、試験体を水平に対して、0°、45°あるいは 90°の角度に設置し、その対空面と対地面を検討対象とした。なお、90°に設置した試験体については、琉球大学、九州大学では北面と南面を、百道では海側と陸側を、それぞれ便宜上、対空面と対地面として定義した。これにより、琉球大学、九州大学、百道の暴露地点で各 6 種類、許田では 0°の対空面と対地面の 2 種類、計 20 種類の腐食環境におけるデータを収集した。

各暴露地点の気温 T (K)、相対湿度 RH (%), 降水量 P (mm) および飛来塩分量 (JIS Z 2382 (ドライガーゼ法)) ω (mdd) の 4 年間の平均値を Table 2 に示す。

Table 2 Average annual temperature, relative humidity, precipitation and airborne salt for 4 years in each exposure field.

Exposure site	Exposed period	Temperature T (K)	Relative humidity RH (%)	Precipitation P (mm)	Airborne salt ω (mdd)
University of the Ryukyus ⁷⁾	2006/07-2010/06	296	74	2,103	0.29
Kyushu University	2008/05-2012/04	289	75	1,721	0.065
Momochi	2008/05-2012/04	291	66	1,758	0.52
Kyoda	2009/03-2013/05	296	74	2,293	0.78

(a), (c), (d) and (e)

0-0.05 0.05-0.10 0.10-0.15 0.15-0.20 0.20-0.25 0.25-0.30
0.30-0.35 0.35-0.40 mm

(b)

0-0.2 0.2-0.4 0.4-0.6 0.6-0.8 0.8-1.0 1.0-1.2 1.2-1.4
1.4-1.6 1.6-1.8 1.8-2.0 mm

Fig. 2 Corrosion depth at skyward-facing surfaces of specimens mounted at an angle of 0°. (a) University of the Ryukyus (Skyward-facing surface after exposed 4 years), (b) University of the Ryukyus (Groundward-facing surface after exposed 4 years), (c) Kyushu University (Skyward-facing surface after exposed 4 years), (d) Momochi (Skyward-facing surface after exposed 4 years) and (e) Kyoda (Skyward-facing surface after exposed 4 years).

2.3 日平均電気量と平均腐食深さの算出方法

各角度の試験体の対空面と対地面における腐食環境は、Fe/Ag 対の ACM センサー（出力：0.1 nA ~ 1 mA、分解能：0.1 nA (0.1 nA ~ 10 μA), 1 μA (1 μA ~ 10 mA)) と温湿度センサーを用いて、10 分毎にモニタリングした。なお、ACM センサーのモニタリング期間は、琉球大学、九州大学および許田では約 1 年間、百道では約 3 年間とした。ACM センサーは試験体に隣接して設置した 60 × 400 × 9 mm の鋼板の対空・対地面に貼付した。

試験体の腐食による重量減少量は、腐食生成物除去後に電子天秤で測定した。試験体の腐食生成物除去後の表面性状については、レーザーフォーカス深度計（スポット径：30 μm 、分解能：0.05 μm ）を用いて、測定ピッチを 0.2 mm として測定した。各試験体の表裏面における平均腐食深さ d_{mean} (mm) は、重量減少量と腐食表面性状を併用して算出した⁸⁾。

3. 大気暴露試験とモニタリングの結果

3.1 大気暴露試験の結果

試験体に形成された腐食生成物を X 線回折で定量分析した結果⁷⁾、 Cl^- の環境で生成される $\beta\text{-FeOOH}$ の含有

Fig. 3 Mean corrosion depth d_{mean} of each tested surface as a function of exposed period t . (a) University of the Ryukyus⁷⁾, (b) Kyushu University⁷⁾, (c) Momochi⁷⁾ and (d) Kyoda.

率⁹⁾は、降雨による試験体の洗浄効果の無い百道と許田が高くなっており、15%以上であった。降雨の影響がある九州大学では、0°であった。琉球大学については、飛来海塩の影響を受けるが、 β -FeOOHの含有率は2.2%と低かった。これは降雨により鋼材に付着した海塩が腐食生成物とともに流されたためと考えられる。暴露地点によらず、FeOOHやFe₃O₄等の結晶の他に、約40%の非結晶成分が含まれており、大気環境の腐食生成物の特徴を有していた¹⁰⁾。

腐食生成物除去後の試験体中央部の表面性状の測定結果をFig.2に示す。ここでは、0°で4年間暴露した対空

Fig. 4 Relationship between coefficients a and b of regression curves in Fig.3.

面と対地面について示す。腐食表面性状は暴露地点により異なっているが、琉球大学の0°対地面を除き、全面腐食となっている。この傾向は、他の暴露面についても同様であった。また、暴露地点や試験体の設置角度によらず、対地面の腐食表面の凹凸が対空面に比べて著しくなる傾向にあった。琉球大学の0°対地面については、降雨時に対空面から対地面に伝わった雨水が特定の複数の位置で滴下していた。また、降雨後も水滴が付着していたため、対空面に比して滞水時間が長くなった。その結果、対地面には複数の局部腐食が生じ、他の対象面の全面腐食と腐食特性が異なった。そこで、以後の検討では、琉球大学の0°の対地面のデータについては、参考値とした。

3.2 平均腐食深さと大気暴露期間の関係

各試験体の表裏面の平均腐食深さ d_{mean} (mm) と暴露期間 t (year) の関係を Fig. 3 に示す。図中の実線は、

Table 3 Coefficient a and b , and correlation coefficient R of regression curves in Fig.3.

Exposure field	Mounted angle (°)	Surface	Coefficient		Correlation coefficient R
			a	b	
University of the Ryukyus ⁷⁾	0°	Skyward	0.056	0.663	0.995
		Groundward	0.062	0.698	0.990
	45°	Skyward	0.031	0.558	0.973
		Groundward	0.034	0.652	0.995
	90°	Skyward	0.024	0.386	0.997
		Groundward	0.026	0.497	0.949
Kyushu University ⁷⁾	0°	Skyward	0.052	0.292	0.953
		Groundward	0.060	0.356	0.975
	45°	Skyward	0.022	0.624	0.986
		Groundward	0.024	0.626	0.998
	90°	Skyward	0.017	0.782	0.996
		Groundward	0.023	0.593	0.994
Momochi ⁷⁾	0°	Skyward	0.022	0.872 (1)	0.989
		Groundward	0.014	0.787	0.980
	45°	Skyward	0.027	1.13 (1)	0.998
		Groundward	0.018	0.846	0.993
	90°	Skyward	0.021	0.77	0.998
		Groundward	0.017	0.931	0.992
Kyoda	0°	Skyward	0.036	1.20 (1)	0.996
		Groundward	0.044	0.998 (1)	0.996

Fig. 5 Temperature, precipitation and dew time during exposure period in exposure field for (a) University of the Ryukyus⁶⁾, (b) Kyushu University, (c) Momochi and (d) Kyoda.

d_{mean} に対する t の累乗回帰曲線である。各地点の d_{mean} は、試験体の設置角度や対象面で大きく異なっている。試験体の対空面と対地面の d_{mean} の差異は、角度による影響に比して小さい。百道の 0° と 45° の対空面、および許田の 0° の対空面と対地面、については、飛来海塩の付着・蓄積などの影響により、腐食生成物層がポーラスで保護性がほとんど無いため、 d_{mean} と t の関係は、ほぼ線形関係になっている。そこで、以後の検討では、これらの回帰曲線の係数 b を 1 とした。

Fig. 3 の累乗回帰曲線の係数 a と b 、およびその相関係数 R を Table 3 に示す。係数 b の値は、試験体の設置角度や表裏面により異なっている。これは各地点において、降雨の影響や降雨による飛来海塩の洗浄効果などが試験体の設置角度や対空・対地面で異なることで、腐食の進行機構に差異が生じたためと考えられる。

Fig. 3 で示した累乗回帰曲線の係数 a と b の関係を Fig. 4 に示す。図中の黒実線と紫実線は、それぞれ全データと文献 6) の回帰直線を示している。なお、図中の参照値は、局部腐食が発生した 0° の対地面のデータであるため、全面腐食に対する図中の回帰直線を算出する際には用いていない。飛来海塩が蓄積する百道の 0° と 45° の対空面、および許田の 0° の対空面と対地面、を除いて、暴露地点や対象面によりプロットはばらついているが、 b は a に対して反比例の傾向となっている。暴露 1 年後の平均腐食深さ d_{mean} に相当する a については、腐食初期に降雨により腐食が促進されたため、降雨の影響が大きい環境ほど大きな値になったと考えられる。一方、降雨の影響を受ける環境については、比較的緻密な保護性のある腐食生成物層が形成されたため、 b が小さくなったと考えられる。また、降雨の影響のほとんど無い百道では、初期の d_{mean} が小さいため、 a は小さくなっている。しかし、腐食生成物層がポーラスであり、保護性の効果が小さいため、 b は大きくなっている。したがって、 a と b の関係は、図中の回帰直線に示すように負の傾きになると考えられる。前述したように、飛来海塩の付着・蓄積の影響を受ける環境では、腐食生成物による保護性が鋼素地に対してほとんど無いために、 b を 1 としている。

以上から、Fig. 3 で示した累乗回帰曲線の係数 a と b の関係は、飛来海塩の付着・蓄積を考慮することで、次式で表すことができる。

$$d_{\text{mean}} = a \cdot t^b \quad (1)$$

d_{mean} : 平均腐食深さ (mm),

a, b : 係数, t : 年数 (year)

飛来海塩が付着・蓄積しない環境

$$b = -7.99 \cdot a + 0.858 \quad (2)$$

飛来海塩が付着・蓄積する環境

$$b = 1 \quad (3)$$

なお、係数 a は 1 年間の d_{mean} を意味している。また、 a から b を算出する式 (2) により、初めの 1 年間の腐食性から腐食生成物による鋼材の保護性を評価でき、この結果に基づき、鋼材の d_{mean} の経時性を予測できる。

Fig. 4 中の文献 6) の評価式と式 (2) と式 (3) の相違点は、飛来海塩の付着・蓄積の有無で評価式を区別している点、および傾きが正負逆転している点、である。海塩の付着・蓄積の有無で評価式を区別している点については、降雨による海塩の洗浄効果がある琉球大学と九州大学における d_{mean} の経時性が累乗傾向であることに対して、鋼素地の保護性がほとんど無いポーラスな腐食生成物層を有する百道と許田における対象面の d_{mean} の経時性は線形傾向であり、双方の d_{mean} の経時性が大きく異なるためである。

Fig. 4 中の文献 6) の評価式に対して、式 (2) の傾きが正負逆転している理由としては、文献 6) のデータが少なく適用範囲が狭かったこと、および琉球大学のデータ

Fig. 5 Temperature, precipitation and dew time during exposure period in exposure field for (a) University of the Ryukyus⁶⁾, (b) Kyushu University, (c) Momochi and (d) Kyoda.

に九州大学、百道および許田のデータを追加することで、 a が小さい領域と大きい領域のデータが文献 6) に補われ、データの傾向が著しく変化したことが挙げられ

る。また、局部腐食が著しい琉球大学の 0° 対地面のデータを削除したことも原因の 1 つとして、挙げられる。なお、琉球大学のデータは、本研究の評価式の $m \pm 2s$ の範囲内にほぼ位置している。

3.3 腐食環境のモニタリング結果

月別の気温 T (K)、相対湿度 RH (%), 降水量 P (mm) および平均濡れ時間 TOW (hr) の平均値を Fig. 5 に示す。なお、 TOW は ISO 9223 ($t \geq 0^\circ\text{C}$ で $RH \geq 80\%$ となる時間) に基づき算出した。また、 T , RH および TOW の年平均値は、データ欠損の期間を除いて 1 年間に換算することで算出した。

ACM センサーの出力から算出した日平均電気量 q (C/day) を Fig. 6 に示す。図中の上側の数値は、年平均値である。 q は 4. で後述するように、ACM センサーの降雨期間の出力を換算することで算出した⁶⁾。Fig. 6 は各地点の代表的な q として、 45° 対空面の q を示している。なお、許田については、 0° 対空面の ACM センサーに試験体に比して、飛来海塩が過剰に付着・蓄積したため、 0° 対地面について示している。降雨の影響を受ける琉球大学と九州大学では、Fig. 5 に示した降水量の多い期間に q が大きくなっている。また、 q の年間平均値を比較すると、許田、百道、琉球大学、九州大学の順に小さくなっており、これは Fig. 3 で示した平均腐食深さ d_{mean} の傾向と一致している。

4. 腐食環境と平均腐食深さの評価方法

4.1 ACM センサーによる大気腐食環境の評価方法

ACM センサーには水膜形成によるガルバニック電流が生じる。その電流は降雨時に鋼材のミクロセル腐食電流に比して著しく増加する¹¹⁾。その結果、ACM センサーの出力と鋼板の腐食速度の相関が乖離するため、降雨が ACM センサーの出力に及ぼす影響を考慮する必要がある。そこで、本研究では著者が提案した降雨期間における ACM センサーの出力の換算方法⁶⁾に基づき、日平均電気量 q (C/day) を算出し、平均腐食深さ d_{mean} との相関を比較・検討することとした。

Fig. 6 Daily average electricity during exposure period in exposure field for (a) University of the Ryukyus (Skyward-facing surface of 45°), (b) Kyushu University (Skyward-facing surface of 45°), (c) Momochi (Skyward-facing surface of 45°) and (d) Kyoda (Groundward-facing surface of 0°).

Fig. 7 Conversion method for reduction of ACM output during a period of rainfall⁶⁾.

Fig. 8 Comparison of magnitude relationship between daily average electricity of each tested surface calculated from ACM output using conversion method in Fig. 7. (a) University of the Ryukyus⁶⁾, (b) Kyushu University, (c) Momochi and (d) Kyoda.

降雨期間のACMセンサー出力の換算方法の概念図⁶⁾をFig. 7に示す。図中のプロットは、ACMセンサーの10分毎の出力値である。また、その出力に対する各帯は、任意時点のACMセンサー出力が次の測定時点(10分後)まで継続するとした仮定を示している。本研究では、この帯に基づき、ACMセンサー出力から電気を算出することとした。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されるしきい値 I_H ($1 \mu A$)^{1),3)}以上となる出力期間として定義した。降雨期間の電気量は、降雨期間の各帯に換算係数 α を乗じることで算出した。

換算係数 α を10～50%に10%毎に変化させて、Fig. 7に示した方法で換算した日平均電気量 q (C/day)をFig. 8に示す。琉球大学と九州大学については、0°の対空面と対地面は評価対象外とした。これは、直接、雨掛かりする琉球大学と九州大学における試験体の0°対空

面の雨水の滞水状況がACMセンサーの表面と異なること、また、0°対地面は対空面から伝わった雨水が滴下すること、により、ACMセンサーと鋼板の表面との環境が乖離するためである。許田の0°対空面についても、試験体表面とACMセンサー表面の水平に対する設置角度が若干異なることで、それらの滞水状況が異なっていたが、対空面と相対比較するため、図中にデータをプロットした。

q を算出する際には、Fig. 3で示した平均腐食深さ d_{mean} とFig. 6の q の大小関係が一致する a を用いてACMセンサーの出力を換算する必要がある。各地点における a の適合範囲 (Fig. 3で示した各対象面の d_{mean} と q の大小関係が同じ範囲)は、琉球大学では10～40%、九州大学、百道および許田では10%以上、の場合である。そこで、本研究では既往の研究⁶⁾と同様に a を20%とした。

Fig. 7の換算方法で算出した日平均電気量 q とFig. 4の係数 a の関係をFig. 9に示す。図中の黒実線は、全データの回帰直線であり、紫実線は文献6)の回帰直線を示している。図中の参照値は、琉球大学と九州大学の0°対地面、琉球大学、九州大学および許田の対空面のデータを示している。これらのデータは、前述したように、ACMセンサーの表面の滞水や濡れ状況が鋼板表面と異なるデータであるため、図中の q に対する a の回帰直線を算出する際に除外した。 m および s は、それぞれ平均値(回帰直線)および標準偏差である。回帰直線はデータプロットの傾向と良く一致していることから、次式に q を与えることで、 a を算出できると言える。

$$a = 0.374 \cdot q + 0.0141 \quad (4)$$

式(4)とFig. 9中の文献6)の評価式が相違している理由は、主としてデータ数の少ない文献6)の琉球大学のデータに九州大学、百道および許田の q の小さい領域から大きい領域までのデータを追加することで、本研究の回帰直線の適用範囲が拡大したためである。また、試験体の対象面とACMセンサーの表面における雨水の滞水・滴下の差異が判定困難となる琉球大学と九州大学の0°の対空面と対地面のデータを除外したことも原因の1つとして挙げられる。

4.2 ACMセンサーを用いた無塗装普通鋼板の平均腐食深さの評価方法

4.1では大気環境の腐食性を定量評価するために、降雨や飛来海塩の影響を考慮したACMセンサー出力の日平均電気量 q の算出方法を示した。この方法で算出した q を用いることで、鋼板の腐食深さ d_{mean} の経時性は、式(1)に式(2)あるいは式(3)と式(4)をそれぞれ代入することで、次式により評価できる。

$$d_{mean} = (0.374 \cdot q + 0.0141) \cdot t^b \quad (5)$$

飛来海塩が付着・蓄積しない環境

$$b = -7.99 \cdot a + 0.858 \quad (6)$$

飛来海塩が付着・蓄積する環境

$$b = 1 \quad (7)$$

ここでは、式(5)～(7)による平均腐食深さ d_{mean} の推定精度を各暴露地点の試験データを代入することで検証する。Fig. 7の換算方法による q を式(5)に与えることで算出した d_{mean} をFig. 10に示す。図の横軸および縦軸

Fig. 9 Relationship between daily average electricity q calculated from ACM output and coefficient of regression curve in Fig.3.

Fig. 10 Validation of mean corrosion depth d_{mean} calculated by using the estimating method proposed in this research.

は、それぞれ暴露試験による d_{mean} および本研究の提案式で算出した $d_{\text{mean,eva}}$ を示している。推定値 $d_{\text{mean,eva}}$ と実験値 d_{mean} には、 $\pm 30\%$ 程度の誤差が生じているが、比較的良く一致している。したがって、本研究の暴露試験の腐食環境（平均電気量 $q: 0.003 \sim 0.049$ (C/day)）であれば、本研究で提案した方法で無塗装普通鋼板の平均腐食深さの経時性を約 $\pm 30\%$ の精度で評価できると言える。

5. 結 論

本研究では Fe/Ag 対 ACM 型腐食センサーを用いた無塗装普通鋼板の経時腐食深さの評価方法を提案することを目的とした。そのために、降雨と飛来海塩の影響が

大きく異なる 4 地点で大気暴露試験を行うとともに、温湿度センサーと Fe/Ag 対 ACM 型腐食センサーによる腐食環境モニタリングを実施した。本研究で得られた主な結果を以下に示す。

- 1) 無塗装普通鋼板の平均腐食深さと暴露年数の累乗相関式の係数と、降雨の影響を考慮して ACM センサーの出力から算出した日平均電気量には、降雨や飛来海塩の影響の多少によらず線形関係があることを明らかにした。また、これらの累乗相関式の係数と日平均電気量の関係を定式化した。
- 2) 1) で得られた腐食深さと暴露年数の相関式の係数と、降雨の影響を考慮した日平均電気量、の相関式に基づき、大気腐食環境（日平均電気量：0.003 ～ 0.049 (C/day)）における無塗装普通鋼板の平均腐食深さの経時性を予測する手法を提案した。

謝 辞

本研究の一部は、平成 25 年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (B) (課題番号：25289138) (代表：貝沼重信) およびスガウェザリング技術振興財団 研究助成 (代表：貝沼重信) の研究助成金を用いて実施した。本研究で用いた試験体の製作に際しては、(株)東京鐵骨橋梁 田中雅人氏に御協力を頂いた。また、本研究の大気暴露試験の実施については、福岡市 (前九州大学博士前期課程) 杉谷国博氏および後藤淳氏に御協力を頂いた。ここに記して、感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) S. Motoda, Y. Suzuki, T. Shinohara, Y. Kojima, S. Tsujikawa, W. Oshikawa, S. Itomura, T. Fukushima and S. Izumo, *Zairyo-to-Kankyo*, **43**, 550 (1994).
- 2) W. Oshikawa, S. Itomura, T. Shinohara and S. Tsujikawa, *Zairyo-to-Kankyo*, **51**, 398 (2002).
- 3) S. Motoda, Y. Suzuki, T. Shinohara, S. Tsujikawa, W. Oshikawa, S. Itomura, T. Fukushima and S. Izumo, *Zairyo-to-Kankyo*, **44**, 218 (1995).
- 4) S. Motoda, Y. Suzuki, T. Shinohara and S. Tsujikawa, *Zairyo-to-Kankyo*, **47**, 651 (1998).
- 5) T. Shinohara, S. Motoda and W. Oshikawa, *Zairyo-to-Kankyo*, **54**, 375 (2005).
- 6) S. Kainuma, Y. Yamamoto, Y. Itoh and W. Oshikawa, *Zairyo-to-Kankyo*, **60**, 497 (2011).
- 7) S. Kainuma, Y. Yamamoto, Y. Itoh, H. Hayashi and W. Oshikawa, *Zairyo-to-Kankyo*, **61**, 483 (2012).
- 8) S. Kainuma, Y. S. Jeong, K. Utsunomiya and J. H. Ahn, *Zairyo-to-Kankyo*, **61**, 283 (2012).
- 9) T. Misawa, Research Status and Unsolved Problems in Rusting of Iron and Steels, *J. Surf. Finish. Soc. Jpn.*, **32** [11] 657 (1983).
- 10) S. Misawa, *Zairyo-to-Kankyo*, **50**, 12 (2001).
- 11) W. Oshikawa, Y. Sasaki and T. Shinohara, Proc. 52nd Jpn. Corrosion Conf., p. 53, JSCE (2005).

(Manuscript received July, 3, 2013;
in final form September 27, 2013)

要 旨

鋼構造物を腐食損傷に対して、経済的に維持管理するためには、その部位レベルの腐食環境を定量的に把握した上で、腐食挙動の経時性を評価する必要がある。そこで、本研究では Fe/Ag 対 ACM 型腐食センサーを用いて、降雨や飛来海塩に着目した大気環境における無塗装普通鋼板の経時腐食深さの評価方法を提案することを目的とした。そのために、降雨や飛来海塩の影響が著しく異なる 4 地点において、無塗装普通鋼板の大気暴露試験を実施した。また、その鋼板の対空・対地面の腐食環境を ACM 型腐食センサーによりモニタリングした。

キーワード ACM 型腐食センサー, 日平均電気量, 腐食深さ, 大気暴露試験, 普通鋼板, 降雨, 飛来海塩