

金属の変色を利用した鋼構造物の腐食因子特定に関する研究

川崎重工業 正会員 ○川口喜史 大垣賀津雄 高島 顕
川崎重工業 正会員 梅田 聡 上野善彦 阿部和浩
長岡技術科学大学 正会員 岩崎英治

1. はじめに

鋼構造物の損傷のうち多くを占める腐食や疲労は、供用時間の経過とともに発生頻度は上がる。近年の腐食損傷事例の増加につれて、維持管理の重要性が広く認識されはじめ、効率的な予防保全のためにも、供用中の鋼構造物に対する腐食劣化予測やLCCをも考慮した最適な防食方法が求められている¹⁾。

大気中に置かれた鋼構造物の腐食の原因は、大気中に含まれる水分（結露、雨水）、飛来塩分、大気汚染物質、風、温度などの複合されたものであるが、気象因子の単独分析では腐食との対応は困難である。また、合理的な防食設計を行うためにも、付着塩分量や硫酸化物、温度・湿度などの腐食・環境因子と腐食状態（形態、部位、速度）との定量的な関係を明らかにする必要があるとされている^{2) 3)}。

そこで、金属の変色(状態変化)を利用することで鋼構造物の腐食要因を容易に特定する、腐食環境センサーを開発した。この腐食環境センサーの原理および基礎研究の内容を報告する。

2. 金属の腐食変色を利用した環境因子の特定

大気腐食に関しては、対象表面が乾燥するため、電気化学的モニタリング手法は容易ではない。また、鋼の暴露試験では結果を得るまで長い時間がかかる。そこで、鋼材(鉄)よりも短時間で腐食・環境因子から腐食状況を知ることができる数種類の金属を用いることで、腐食環境についてある程度の定量性を評価できる可能性がある。この考えの基礎となる金属数種類の腐食試験を実施した。

(1) 金属の腐食試験

さまざまな純金属の腐食による変色を利用して腐食要因を特定することや、腐食環境の厳しさを簡易に判定できることを目的として、数種類の金属試験片を用いて各種腐食試験を実施し、その状態変化を分析した。

[試験金属] 鉄、マグネシウム、アルミニウム、亜鉛、鋼、ニッケル、スズ、鉛、銅、銀、ステンレス鋼

[試験方法] ①大気暴露試験 ②恒温恒湿試験 (50℃, 95%RH) ③塩水噴霧試験 (5%NaCl 水溶液噴霧, 35℃) ④複合サイクル試験 (塩水噴霧 2hr+60℃乾燥 4hr+50℃-95%RH 湿潤 2hr のサイクル試験) ⑤亜硫酸ガス腐食試験 (1000ppm SO₂, 40℃) [各種腐食試験は JIS 規格に則り実施した.]

各試験における主な着目因子は、①は大気環境、②は水分、③④は塩分、⑤は SO₂ ガスである。

腐食試験の結果、金属表面の観察を表 1 に、試験片の状況を表 2 に示す。

(2) 異なる耐食性試験片の暴露試験

クロム濃度をパラメータとしたクロム-鉄合金溶射試験片の大気暴露試験を実施した。

[試験片] 異なる Cr 濃度 [0~40%] の溶射被膜(Fe-Cr 溶射)を鋼板に施した試験片。

[試験方法] 大気暴露試験 4 ヶ月 (継続中)。

本試験結果から、クロム濃度が低いほど早く腐食変色が生じ、高いものは腐食変色していないなど、明確な差異が認められた。これらから腐食速度の定量評価が可能になると考えられる。

表 1 金属の腐食試験結果（変色外観状態）

腐食試験/試験時間 試験金属	①大気暴露 45日	②恒温恒湿 14日	③塩水噴霧 100日	④複合サイクル 110サイクル	⑤亜硫酸ガス 2日
	45日	14日	100日	110サイクル	2日
鉄 Fe	薄茶色	薄茶色の点錆	全面黒く、茶色錆厚い	全面茶色錆	全面黒く変化
マグネシウム Mg	やや白く変化	やや黒っぽく変化	全面白錆の塊	素地が黒く、白錆多い	やや黒っぽく、白錆発生
アルミニウム Al	(変化無し)	(変化無し)	白錆発生	白錆の点錆発生	やや白錆発生
亜鉛 Zn	やや白く変化	(変化無し)	白錆多い	白錆と素地の茶色錆が混在	白錆発生
ニッケル Ni	(変化無し)	(変化無し)	点錆傾向あり	点錆傾向あり	全体黒く、点錆発生
スズ Sn	(変化無し)	やや黄色く変化	やや黄色く、点錆発生	やや黄色く変化	(変化無し)
鉛 Pb	(変化無し)	やや黒っぽく変化	全面黒く、白錆発生	全面黒く、薄く白錆発生	全体黒く変化
銅 Cu	やや薄い茶色	茶色	茶色	赤黒色	白っぽく茶色
銀 Ag	(変化無し)	—	(変化無し)	—	薄黄茶色に変化
ステンレス鋼 SUS304	(変化無し)	(変化無し)	(変化無し)	(変化無し)	点錆発生

キーワード： 腐食環境センサー、腐食・環境因子、金属の腐食変色、腐食環境測定、鋼構造物

連絡先： 〒105-6116 東京都港区浜松町 2-4-1 川崎重工業 TEL:03-3435-2257 FAX:03-3578-1573

3. 腐食環境センサーによる腐食環境の分析と評価

(1) 腐食環境センサーの構造

前章での試験結果を踏まえ、大気腐食にて変色しやすい数種類の純金属板（30×30mm）を非電導材ベースに埋め込んだセンサーを開発した（図1参照）。このベース裏面はマグネット式になっており、鋼構造物のあらゆる部位で簡単に設置・回収を行うことが可能な構造である。本例は通常の大気環境下で変色しやすい金属 Mg, Ag, Al, Cu を用いたものである。

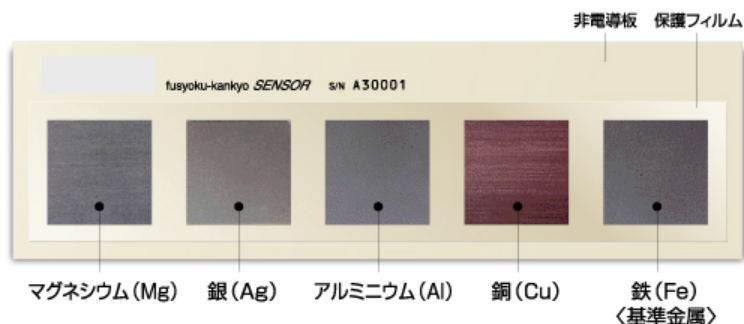


図1 腐食環境センサー

クロム濃度の異なる溶射金属を用いて、鍍色から腐食速度を推定するタイプのセンサーも準備中である。

(2) 鋼構造物における腐食環境の分析と評価

この腐食環境センサーを用いた、鋼構造物の腐食環境の分析と評価の手順は、次の通りである。

- I) 現地で測定：鋼構造物の測定対象部位にセンサーを設置して、現地に1～数ヶ月間放置しておく。この間に外界環境の要因によりセンサー金属の腐食が進行する。
- II) 分析・評価：センサーを回収し、金属表面の変色状態について各種腐食試験による基準データとの照合を行う。これにより、腐食要因の特定・腐食環境の定量化・腐食速度の推定を行う。

4. まとめ（腐食環境センサーの特性、今後の課題）

この腐食環境センサーを用いた腐食・環境因子の特定法は以下のような特徴を有する。

- ・長期間を要する鋼材の大気暴露実験に対し、数ヶ月の短時間で腐食状況を簡易に知ることができる。
- ・複数の金属の分析評価から、複合的な要因で生じる腐食も一度に推定することが可能となる。
- ・従来の測定計器での気象因子単独分析は高費用で、腐食との対応も困難である問題点を解決できる。

今後は、実地への適用を経て、地域特性や設置部位での特異な腐食因子に関しても推定できる基準データの充実（必要な腐食試験の追加）や、腐食環境の評価に関して定量的に細かな分類が必要であると考える。

【参考文献】 1) 日本鋼構造協会：鋼橋のLCC評価と防食設計，2002 2) 渡辺, 森, 藤原, 安波, 森, 長井：鋼橋の防食設計とLCC評価，橋梁と基礎 2004-2, pp.46-51 3) 伊藤, 金, 太田, 貝沼：鋼材の腐食耐久性評価のための環境促進実験に関する基礎研究，構造工学論文集 Vol.49A, pp.697-706, 2003

表2 金属の腐食試験結果

試験\金属	Fe	Mg	Al	Zn	Ni	Sn	Pb	Cu	Ag	SUS304
初期状態 (試験前)										
① 大気暴露 45日										
② 恒温恒湿 14日										
④ 複合サイクル 110cycle										
⑤ 亜硫酸ガス 2日										

注) 全面腐食試験の試験片表面における一定部分を同一面積（30×30mm）で撮影したものである。