

大気環境における球状黒鉛鋳鉄の腐食挙動に関する研究

九州大学 学生会員 ○岡田 紗季 九州大学大学院 フェロー会員 貝沼 重信
 ヒノデホールディングス(株) 正会員 土手 一朗 ヒノデホールディングス(株) 非会員 山下 和也

1. はじめに 球状黒鉛鋳鉄は他の鋼材に比して設計時の形状の自由度、機械的性質や大量生産時の経済性などに優れていることから、産業用装置の部品やマンホールの鉄蓋などに採用されてきた。球状黒鉛鋳鉄を橋梁などの鋼構造物の二次部材として利用するためには、大気環境における腐食挙動を解明することが重要である。しかし、球状黒鉛鋳鉄の大気腐食挙動に関するデータは少なく、腐食メカニズムに不明な点が多い。そこで、本研究では球状黒鉛鋳鉄の大気環境における経時腐食挙動、および腐食メカニズムを解明するため、付着海塩の雨洗作用がある飛来海塩環境で大気暴露試験を行った。暴露試験には、球状黒鉛鋳鉄に加えて、比較材として普通鋼と耐候性鋼を用いた。

2. 大気暴露試験の方法 試験体には球状黒鉛鋳鉄、比較材として JIS G 3106 SM490A 材と JIS G 3114 SMA490AW 材（以下、普通鋼と耐候性鋼）を用いた。各鋼材の化学成分、寸法を表-1 に示す。試験体表面は、溶融アルミナサンド（モース硬度：12、JIS 粒度指数：57.8、比重：4.0）でブラスト処理（ISO 8501-1 Sa2.5、投射距離：30cm、投射圧力：0.7MPa、投射角度：60°）した。本試験では 150×70mm の片面を検討対象とするため、この他の領域はシリコンシーリング材を塗布することで防食した。大気暴露地点は東側海岸線から約 2.9km、西側海岸線から約 5.3km に位置し、付着海塩の雨洗作用がある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) とした。暴露地点の大気腐食環境データを表-2 に示す。気温と湿度は USB 型の温湿度計（分解能：0.5℃、0.5%）を用いて 2013 年 9 月から 2019 年 8 月まで測定した。飛来海塩量はドライガーゼ法（JIS Z 2328）により測定した。試験体は暴露試験開始から 1 年後と 2 年後に回収した。試験体の設置角度は 45°であり、対空面を検討対象とした。試験体の平均腐食深さ d_{mean} は、試験体の重量減少量から算出した。試験体の鋼素地腐食表面性状は、レーザーフォーカス深度計（スポット径：30μm、分解能：±0.05μm）を用いてピッチ 0.2mm で測定した。また、最大腐食深さ d_{max} は試験体中央部の 20×20mm の範囲における上位 5 位の平均値で定義した。断面観察用のサンプルは、常温硬化型エポキシ樹脂に埋め込み、エミリー紙で #1200 まで湿式研磨した後、アルミナ研磨材（砥粒：1.5μm）により鏡面に仕上げることで製作した。このサンプルを用いて、さび層中の元素分布を電子線マイクロアナライザー（EPMA）により分析した。

3. 試験結果 平均腐食深さ d_{mean} と暴露年数 t の関係を図-1 に示す。図中のプロットは 2 体の試験体から算出した平均値を示している。暴露開始から 2 年後については、球状黒鉛鋳鉄の d_{mean} は普通鋼と耐候性鋼に比して小さくなっている。これは雨洗作用のある環境では、球状黒鉛鋳鉄は早期に緻密な腐食生成物を形成しやすく、この保護性により腐食要因物質の鋼素地表面への侵入が抑制されたためと考えられる¹⁾。 d_{mean} と最大腐食深さ d_{max} の関係を図-2 に示す。図中の直線は、 d_{mean} に対する d_{max} の回帰直線を示している。球状黒鉛鋳鉄の回帰直線の傾きは普通鋼と耐候性鋼に比して大きい。この結果から、球状黒鉛鋳鉄は局部的に腐食が進行する傾向があると言える。これは腐食の起点となる黒鉛が深さ方向に存在することで、最大腐食深さが大きくなるためと考えられる。さび層断面の EPMA 元素マッピングを図-3 に示す。球状黒鉛鋳鉄の局部的な腐食は、黒鉛近傍で発生しており、Si が腐食生成物層の内層側および腐食が進行しているサイ

表-1 各材料の化学組成

Materials	Chemical Compositions(mass%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mg	Zn
Spheroidal graphite cast iron	3.75	2.01	0.40	0.024	0.0070	0.35	0.02	0.046	0.002
Common steel	0.16	0.33	1.65	0.025	0.0006	-	-	-	-
Weathering steel	0.08	0.24	1.04	0.009	0.0030	0.30	0.52	-	-

表-2 暴露地点における大気環境

Temperature t (°C)	Relative humidity RH (%)	Precipitation P (mm/day)	Airborne salt w_s (mdd)
16.2	76.4	6.2	0.5

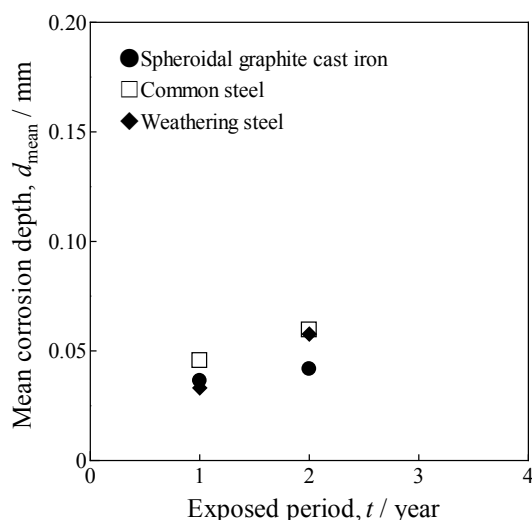


図-1 平均腐食深の経時変化

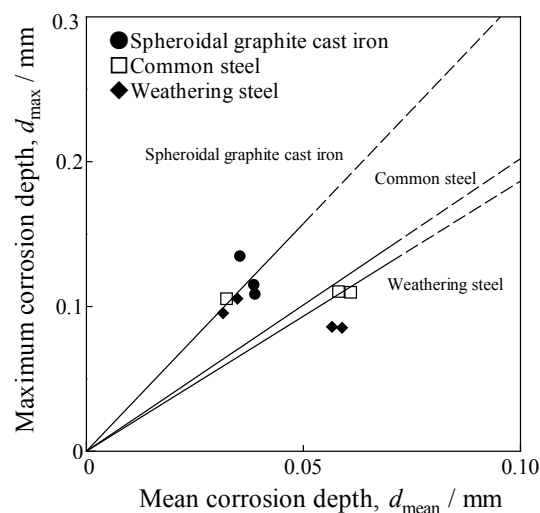


図-2 平均腐食深さと最大腐食深さの関係

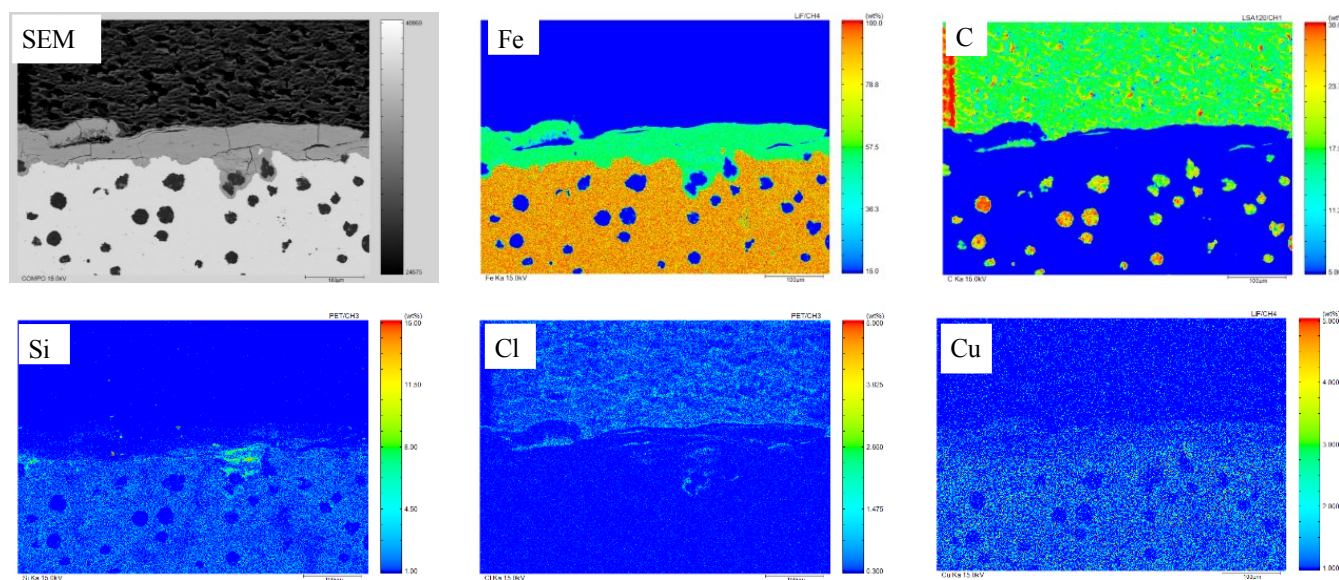


図-3 試験体断面の EPMA 元素マッピング

トに濃縮している。この傾向は普通鋼や耐候性鋼では確認されない²⁾。普通鋼や耐候性鋼の腐食は、主に介在物を起点として発生する³⁾。また、Si について、腐食生成物層中の Si は耐食性を向上させる効果があると報告されている⁴⁾。以上の結果から、球状黒鉛鋳鉄の腐食メカニズムについて、次のように推測した。球状黒鉛鋳鉄は、初期は黒鉛が起点となり局所的な腐食が発生し、その際、腐食した黒鉛周囲に Si が濃縮される。Si により耐食性の高い腐食生成物層が形成され、長期的な腐食に対しては、黒鉛周辺では深さ方向への腐食の進行が抑制され、表層に黒鉛の存在しない部分（水平方向）の腐食が進行することで、均一な腐食が進行する可能性がある。

4. まとめ 1) 球状黒鉛鋳鉄は付着海塩の雨洗作用のある大気環境では、普通鋼と耐候性鋼に比して耐食性が高い。2) 球状黒鉛鋳鉄の腐食初期は黒鉛周囲が腐食することで最大腐食深さが大きくなるが、黒鉛周囲に耐食性を向上させる Si が濃縮しており、Si の長期的な腐食への影響については今後検証を進める予定である。

参考文献 1) 今井篤実, 大屋誠, 竹邊勝道, 麻生稔彦: さび安定化補助処理を施した耐候性鋼橋梁の表面状態とその評価, 土木学会論文集 A1, Vol.69, No.2, p283-294, 2013. 2) 土手一朗, 池田鮎美, 桑原裕樹, 椎本圭一, 甲斐信博, 貝沼重信: 大気環境下で生成された球状黒鉛鋳鉄のさびの評価, 材料と環境 2019, B-202. 3) 池田鮎美, 土手一朗, 椎本恵一, 甲斐信博, 貝沼重信: 大気環境における球状黒鉛鋳鉄の初期腐食挙動, 材料と環境 2018, B-111. 4) 西村俊弥: 暴露試験で生じたシリコン添加鋼のさび構造と電気化学特性, 日本金属学会誌 2009, 第 73 巻, 第 2 号, 81-87.