

大気環境における球状黒鉛鑄鉄の初期腐食挙動

日之出水道機器㈱ 正会員 ○池田 鮎美 日之出水道機器㈱ 土手 一朗
 日之出水道機器㈱ 椎本 圭一 日之出水道機器㈱ 甲斐 信博
 九州大学大学院 フェロー会員 貝沼 重信

1. はじめに 球状黒鉛鑄鉄は設計の自由度、この球状黒鉛鑄鉄を橋梁などの大規模構造物に適用するためには、大気環境における腐食挙動を定量的に把握することが重要である。著者らは2年間の大気暴露試験¹⁾を行うことで、球状黒鉛鑄鉄の腐食進行性は、普通鋼と比して低く耐候性鋼と同程度であることを示した。また、球状黒鉛鑄鉄の孔食性(平均腐食深さに対する最大腐食深さの比)は、耐候性鋼と比して小さく、普通鋼と同程度であることを示した。この要因の一つとして、球状黒鉛鑄鉄は普通鋼や耐候性鋼に比して、早期に腐食反応を抑制するさび層が形成されることが考えられる。球状黒鉛鑄鉄の金属組織は、球状の黒鉛が基地中に均一に存在しており局部電池として作用する²⁾。また球状黒鉛鑄鉄には、耐候性鋼の保護性さびを生成するために有効な元素の一つであるCu³⁾が強度調整などのために一般に添加されており、基地中では特に、黒鉛周囲に偏析する⁴⁾。これらが初期腐食挙動やさび層の生成に影響を及ぼすと考えられるが、その詳細については不明である。

本研究では大気腐食環境における球状黒鉛鑄鉄、普通鋼および耐候性鋼の初期腐食挙動の差異に着目して、乾湿繰り返し環境で腐食試験することで球状黒鉛鑄鉄の黒鉛やCuが初期腐食挙動に及ぼす影響について基礎的検討を行った。

2. 試験方法 供試体にはCuを0.35%含有した一般的な球状黒鉛鑄鉄(FCD-1)、比較材として普通鋼からJIS G 3101 SM490A(SM)、耐候性鋼からはJIS G 3114 SMA490AW(SMA)、Cuが0.009%とほぼ含まない球状黒鉛鑄鉄(FCD-2)の計4種類を用いた。なお、FCD-1とFCD-2については熱処理することで、フェライト率を90%以上とした。各材料の化学成分と寸法を表-1に示す。試験体表面はバフにより鏡面研磨した後にアセトンを用いて脱脂処理した。腐食試験は恒温恒湿槽を用いて濡れと乾燥を繰り返すことで行った。腐食試験の条件を図-1に示す。濡れ過程は、結露による細かい水滴を再現する発露サイクル⁵⁾を参考にして決定した。また、温度条件は、沖縄県那覇市の8月の過去10年の最高気温および最低気温の平均値に基づき決定した。試験体は水平に設置した。腐食環境は気温と試験体温度のためのT熱電対、静電容量型湿度センサおよびFe/Ag型ACMセンサを用いてモニタリングした。試験体は1サイクル毎に取出して、マイクロスコopにより1.8×2.4mm領域の外観観察を行い、腐食初期における腐食数や腐食面積の差異を定量評価した。また、各材料の腐食起点部に対してEPMA分析を行い、腐食後の元素分布を評価した。さらに、FCD-1とFCD-2の腐食起点部に対してXPS分析を行い、化学結合状態を評価した。

3. 試験結果 各暴露試験に各腐食サイクル終了後の試験体の外観を図-2に示す。FCD-1とFCD-2の腐食は、比較的黒鉛近傍で発生しており、起点部には円状模様が見られている。SMとSMAの腐食は、主に介在物を起点として発生している。また、FCD-1の腐食数はSMやSMAに比して多くFCD-2と同程度になっている。FCD-1の腐食面積は、SMやSMAに比して大きく変化しており、FCD-2と同程度となっている。これは、FCDに均一に分

表-1 各材料の化学成分および試験体寸法

材質	化学成分(mass%)									寸法(mm)
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mg	Ni	
FCD-1	3.73	2.01	0.40	0.024	0.007	0.35	0.02	0.046	0.00	20×20×6
JIS G3106 SM490A	0.16	0.33	1.65	0.025	0.001	—	—	—	—	
JIS G3114 SMA490A	0.08	0.24	1.04	0.009	0.003	0.30	0.52	—	0.17	
FCD-2	3.87	2.16	0.42	0.024	0.004	0.009	0.02	0.043	0.00	

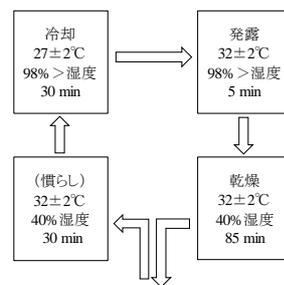


図-1 腐食試験条件

キーワード 球状黒鉛鑄鉄, 大気腐食, 初期腐食, 初期腐食機構

連絡先 〒849-0101 佐賀県三養基郡みやき町大字原古賀字岩崎 R&D 総合センター TEL 0942-94-5600

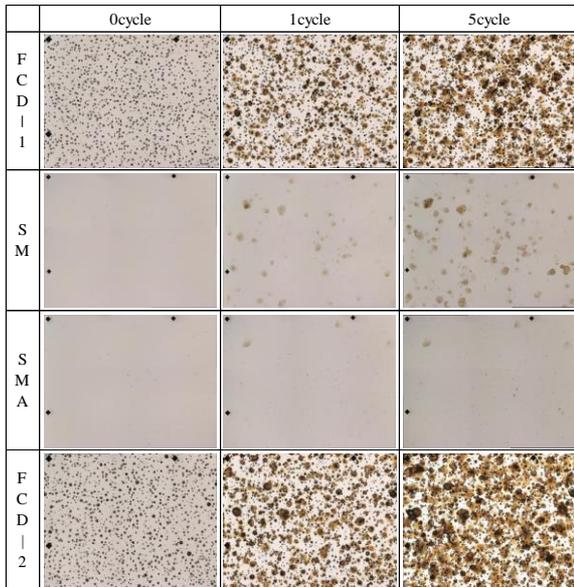


図-2 各腐食サイクル終了後の試験体外観 (マイクروسコープ, ×200)

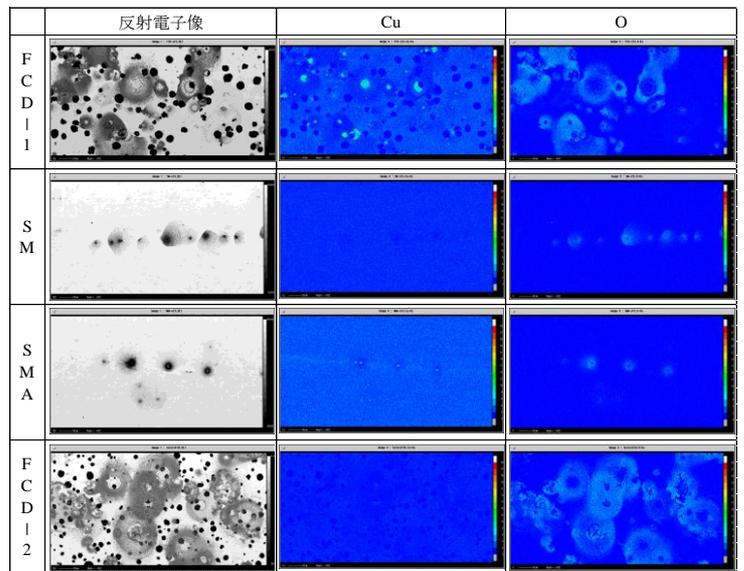


図-3 腐食起点部の EPMA 元素マッピング

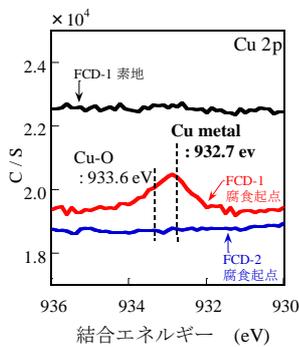


図-4 腐食起点部の XPS スペクトル

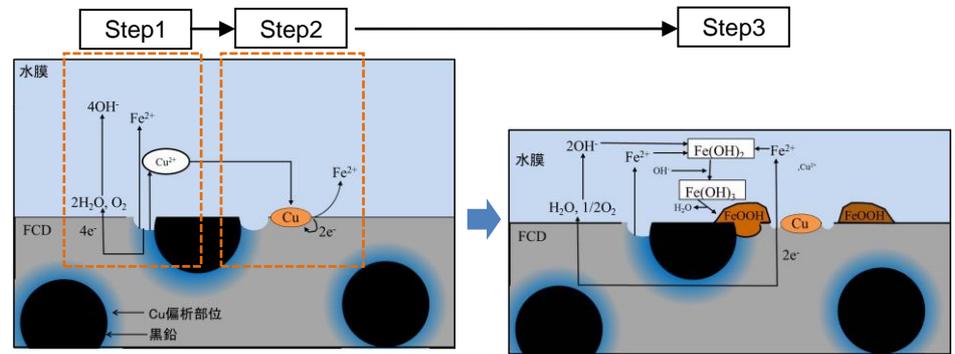


図-5 球状黒鉛鉄の初期腐食反応の概略図

布する黒鉛の局部電池作用により、短時間で腐食が進行したためと考えられる。

各材料の腐食起点部の元素マッピングを図-3 に示す。FCD-1 と SMA の腐食起点部では Cu が析出しており、FCD-1 の Cu 析出は、SMA と比して多い。この傾向は SM や FCD-2 には無い。FCD-1 と FCD-2 の腐食起点位置の XPS スペクトルを図-4 に示す。FCD-1 の腐食起点部では Cu に起因するピークがあり、FCD-2 では確認されない。球状黒鉛鉄の初期腐食反応の概略図を図-5 に示す。金属組織中に均一に多数存在する黒鉛/基地界面でのアノード溶解 (Step1) では、 Fe^{2+} と Cu^{2+} が同時に溶出しやすく、その後、Cu が再析出 (Step2) する。再析出した Cu も局部電池として作用するため、その周囲の腐食反応も同時に進行する (Step3) と推察される。なお、金属表面に存在する黒鉛/基地と Cu/基地の 2 つの局部電池は、その存在数や腐食反応の駆動力の差から前者が支配的になると考えられる。

4. まとめ 本検討で得られた主な知見を以下に示す。1) 球状黒鉛鉄の初期腐食における腐食の起点数や面積は、普通鋼や耐候性鋼に比して大きい。2) 球状黒鉛鉄の腐食起点部では耐候性鋼同様に Cu が析出し、その析出数は耐候性鋼に比して多い。3) 推察される球状黒鉛鉄の初期腐食機構の概略図を示した。

今後は、球状黒鉛鉄のさび層の緻密性や防食性などの詳細調査や、Cu などの合金元素の長期腐食挙動に対する効果について検討する予定である。

参考文献

1) 池田鮎美, 甲斐信博, 椎本圭一, 貝沼重信, 鋼構造年次論文報告集, Vol.25, p.98, 2017. 2) 例えば, 米広賢治, 中田毅, 今井八郎, 鑄造工学, Vol.75, No.9, pp.605-611, 2003. 3) 例えば, 山下正人, 幸英昭, 長野博夫, 三沢俊平, 材料と環境, Vol.43, No.1, pp.26-32, 1994. 5) 例えば, 菅野利猛, 葉椰, 森真行, 中江秀雄, 鑄造工学, Vol.70, No.7, 1998. 5) 山崎正八郎, 横井康夫, 色材, Vol.46, No.10, pp.580-591, 1973.