球状黒鉛鋳鉄の大気暴露試験とさびの評価

日之出水道機器㈱　正会員　○土手　一朗　　日之出水道機器㈱　桑原　裕樹
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　球状黒鉛鋳鉄は設計の自由度，機械的性質や経済性に優れていることから，産業用装置の部品やマンホール鉄蓋などの材料として採用されてきた．この球状黒鉛鋳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．

著者らは既往研究[1)]において，大気環境における球状黒鉛鋳鉄の腐食速度が炭素鋼よりも遅く耐候性鋼と同等であることを確認した．その要因を明らかにするため，初期腐食挙動に着目し，金属組織中の黒鉛や添加元素の Cu の影響を調査した結果，これらが初期のさび層の形成を促進し，長期間で生成するさび層の緻密性や防食性の向上に寄与する可能性を推察した[2)]．本研究では，大気環境下で 2 年間暴露した球状黒鉛鋳鉄，炭素鋼および耐候性鋼のさびについて比較評価を行い，球状黒鉛鋳鉄に生成されたさびの緻密性および防食性について考察を行った．

2. 試験方法

2.1 大気暴露試験　供試体には，一般的な球状黒鉛鋳鉄，比較材として JIS G 3106 SM490A（以下，炭素鋼），JIS G 3114 SMA490AW（以下，耐候性鋼）を用いた．各材料の化学成分，寸法および表面粗さを表- 1に示す．大気暴露試験は，九州の北側海岸線から 2.9km に位置し，飛来海塩量が 0.4mdd の九州大学伊都キャンパス講内（Lat.33°36'N, Long.130°13'E）にて，雨洗作用がある環境で実施した．

表- 1　各供試体の化学成分および寸法

材質	化学成分（mass%）									寸法 (mm)	表面粗さ(μm)		備考
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mg	Ni		Rzjis	Ra	
球状黒鉛鋳鉄	3.73	2.01	0.40	0.024	0.007	0.35	0.02	0.046	0.00	147 × 67× 6	59.5	15.4	鋳肌面を使用
JIS G3114 SMA490AW	0.08	0.24	1.04	0.009	0.003	0.3	0.52	—	0.17	150 × 70× 6	27.3	6.83	—
JIS G3106 SM490A	0.16	0.33	1.65	0.025	0.001	—	—	—	—				

2.2 さびの評価　供試体は大気暴露前後に質量測定を行い，2 年間の平均腐食深さを算出した．

供試体表面に生成されたさびの評価は，断面観察，さびの結晶構造の X 線回折，さび層の生成した供試体の自然電位測定にて実施した．

断面観察用試験片は，常温硬化型エポキシ樹脂に埋め込み，エメリー紙で#800 まで研磨した後，ダイヤモンド研磨材（砥粒：1μm）により鏡面に仕上げた．作成した試料について，対空面のさび層断面を偏光顕微鏡で観察した．また，さび層中の元素分布を電子線マイクロアナライザー（EPMA）により確認した．さびの結晶構造の同定は，大気暴露後のさびを粉末状にした後，X 線回折装置（XRD）により実施した．また，X 線回折で得られた積分強度と，各さびの ICDD（International Centre for Diffraction Data）の PDF（Powder Diffraction Files）に掲載されている参照強度比（Reference Intensity Ratio：RIR 値）を用いて，結晶性さびの組成を準定量分析した

自然電位測定は，大気暴露後および暴露前の供試体について，測定対象領域を 20×20mm とし，0.1mol/L 硫酸ナトリウム水溶液中で実施した．電位は 1 秒毎にサンプリングし，電位が安定した 30 分後の電位を評価対象とした．

3. 試験結果および考察

3.1 大気暴露試験　2 年間の大気暴露試験における平均腐食深さを図- 1に示す．球状黒鉛鋳鉄の平均腐食深さは炭素鋼よりも小さく，耐候性鋼と同程度となった．既往研究[2)]では，球状黒鉛鋳鉄は炭素鋼や耐候性鋼と比較して，腐食初期の短期間で表面にさび層が形成することがわかっていることから，このさび層の耐食性への影響について考察した．

キーワード　球状黒鉛鋳鉄，大気暴露試験，初期腐食，さび
連絡先　〒812-8636　福岡県福岡市博多区堅粕 5-8-18　設計開発グループ　TEL 092-476-0641(代)

© Japan Society of Civil Engineers

3.2 さびの評価　さび層断面の偏光顕微鏡観察結果を図- 2に示す．偏光顕微鏡像において，球状黒鉛鋳鉄のさび層内には球状黒鉛がさび中に残留しており，黒鉛を含む部位のさび層は厚くなっている．また，基地近傍において消光したさび層，大気側において偏光したさび層がそれぞれ確認され，耐候性鋼や炭素鋼と同様の傾向である．

また，EPMA による元素分析結果から，球状黒鉛鋳鉄の基地近傍のさび層に Si の分布が確認された．この傾向は炭素鋼や耐候性鋼にはみられない．また，耐候性鋼同様に Cu の分布が確認された．耐候性鋼では，Cr の分布が確認された．文献[3),4)]や既往研究[5)]によると，鋳鉄において，Si は保護作用のあるさび層の形成に寄与し，Cu はさび粒子を微細化することで物理的に緻密なさび層の形成に寄与するとの報告があり，Si や Cu がさび層の防食性向上に寄与している可能性がある．

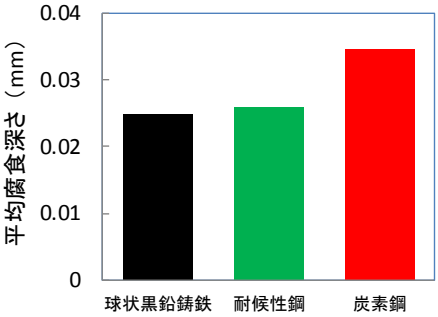

図- 1　平均腐食深さ

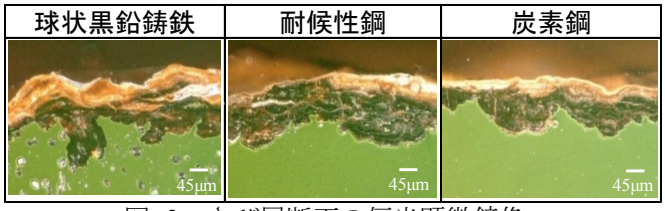

図- 2　さび層断面の偏光顕微鏡像

さび層の結晶構造に関して，球状黒鉛鋳鉄の結晶性のさび組成として，α-FeOOH 及び γ-FeOOH が確認され，耐候性鋼及び炭素鋼と同様の傾向であった．また，準定量分析にて求めた結晶性さびの組成について，球状黒鉛鋳鉄の結晶性のさびの組成は，γ-FeOOH，α-FeOOH の順に多くなっており，耐食性の向上に寄与するとされる電気化学的に不活性な α-FeOOH[6)]が炭素鋼と比較して多く存在している．

供試体の自然電位測定に関しては，すべてのさび層付きの供試体において，大気暴露前のさび層無しの供試体に比べて電位が貴となった（図- 3）．また，球状黒鉛鋳鉄の 2 年暴露供試体の電位は炭素鋼よりも貴であり，さび層の保護性が高いことが示唆される[7)]．

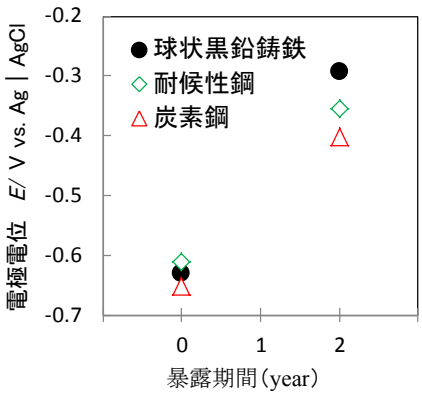

図- 3　自然電位の経時変化

4. まとめ　本検討で得られた主な知見を以下に示す．

①大気暴露試験結果より，球状黒鉛鋳鉄の腐食速度は耐候性鋼と同等で炭素鋼よりも遅い．

②偏光顕微鏡観察結果から，球状黒鉛鋳鉄のさび層の構造は耐候性鋼や炭素鋼と概ね同様であり，基地近傍のさび下層が緻密なさび層，さび上層が粗いさび層となっている．

③EPMA 分析結果から，球状黒鉛鋳鉄の基地近傍の緻密なさび下層付近には Si や Cu が濃化しており，これらがさび層を緻密化し，保護性の高いさび層形成に寄与している可能性がある．

④球状黒鉛鋳鉄の結晶性のさび組成について，γ-FeOOH，α-FeOOH の順に多く，炭素鋼と比較して電気化学的に不活性な α-FeOOH の割合が高い．

⑤自然電位測定結果から，球状黒鉛鋳鉄のさび層は炭素鋼と比較して，貴な電位を示しており，生成されたさびの保護性が高くなる可能性がある．

今後は，上記分析項目の経年変化を調査するとともに，添加元素の影響等について検討を行う予定である．

参考文献

1)池田鮎美，甲斐信博，椎本圭一，貝沼重信，材料と環境2017講演集，A108，p.37，2017. 2)土手一朗，池田鮎美，甲斐信博，椎本圭一，貝沼重信，材料と環境2018講演集，B111，p.125，2018. 3)井川克也，喜多新男，草川隆次，新山英輔，松本弘球，球状黒鉛鋳鉄の基礎と応用，丸善株式会社，p.56，1992. 4)中村幸吉著 鋳鉄の科学，日本鋳物工業会，p.48，2005. 5)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. 6)上村隆之，山下正人，内田仁，幸英昭，日本金属学会誌，Vol.65，No.10，pp.922-928，2001. 7)鹿島和幸，原修一，岸川浩史，幸英昭，材料と環境，Vol.49,No.1，pp.15-21，2000.

© Japan Society of Civil Engineers