

二相ステンレス鋼の実下水処理場における耐オゾン性調査（中間報告）

Evaluation of Corrosion Resistance of Duplex Stainless Steel in Ozonation Process of Actual Sewage Treatment Plant (Interim Report)

辻 明*、○廣辻 淳二**、西村 文武***

*：京都市上下水道局、**：日本オゾン協会、***：京都大学

論文要旨

実下水処理場のオゾン処理槽において、二相ステンレス鋼4種、従来鋼2種を約17ヶ月オゾン暴露し、耐オゾン性を調べた。処理槽液相部の暴露試験片は、いずれの鋼種も水洗、付着物除去後に金属光沢を示しており、減量もなく、腐食発生はなかった。しかし気相部では、自由面、すきま部、また母材部、溶接部ともに変色し、粒界腐食を伴い全体的に腐食していた。ただし腐食速度は全鋼種で $<0.05\text{mm/年}$ であり「耐食域」であった。これらから、二相ステンレス鋼4種は、現時点において従来鋼2種と同等の耐オゾン性を有すると判断できた。

The corrosion resistance of 4 kinds of duplex stainless steel has been examined for 17 months at an actual ozone contactor in sewage treatment plant. The results showed that the duplex stainless steel have comparable ozone resistance with the conventional stainless steel, *i.e.* SUS304 and SUS316L.

キーワード：二相ステンレス鋼、耐オゾン性、下水処理

1. はじめに

オゾンは酸化力が強いので、オゾンに接する部分には耐オゾン性材料を使用しなければならず、下水処理場のオゾン処理設備ではオーステナイト系ステンレス鋼の SUS304 や SUS316L が使用される。

二相ステンレス鋼はオーステナイト組織とフェライト組織からなり、オーステナイト系ステンレス鋼と比較して、(1)高強度(約2倍)、(2)高耐食性、(3)省資源と良好な価格安定性(ニッケル含有量が少)という特長がある。今後オゾン処理設備への適用が期待できるが、広く普及させるためには実施設での評価実証試験が不可欠と考えられる。このため、実施設において長期間暴露評価試験を実施した。なお、暴露評価試験は現在も継続しており、本稿では暴露17ヶ月間で回収した試験片の評価結果を報告する。

2. 方法

2.1 試験場所：

京都市上下水道局下水道部 鳥羽水環境保全センター吉祥院支所のオゾン処理槽において実施した。

2.2 暴露期間：2019年3月～2020年8月の約17ヶ月間。

2.3 暴露条件：下水処理場の通常の運転条件下で、オゾン処理槽の気相部及び液相部において試験片を暴露した。

2.4 試験材料：

二相ステンレス鋼については、SUS821L1、SUS323L、SUS329J1 及び SUS329J3L の4種を、また比較評価のため、従来鋼である SUS304、SUS316L の2種を供試した。供試材の主要成分を表1に示す。

表1 供試材主要成分

鋼種	主要成分(mass%)
SUS821L1	21Cr-2Ni-Cu-0.17N
SUS323L	23Cr-4Ni-0.15N
SUS329J1	23Cr-5Ni-1Mo-0.16N
SUS329J3L	22Cr-5Ni-3Mo-0.15N
SUS304	18Cr-8Ni
SUS316L	18Cr-12Ni-2Mo

2.5 試験片の作成及び取り付け

図1に示すように、各供試材料について□50mmと□20mmの試験片を作成し、これらを重ねてボルトで暴露板に固定し供試した。気相部及び液相部の暴露板を処理槽の点検口の蓋の裏側に取り付けた支持パイプ部に高さを変えて固定し、これを処理槽に挿入して、気相部、液相部にそれぞれ暴露した。

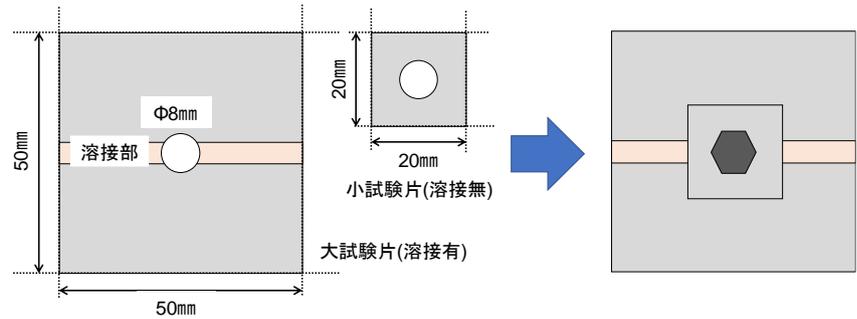


図1 試験片の形状

3. 試験結果

3.1 試験環境（排オゾン濃度、水質）

(1) 排オゾン濃度、溶存オゾン濃度

暴露期間中の排オゾン濃度の推移を図2に示す。排オゾン濃度は、2020年1月末頃までは8~10 g/m³、その後は約6 g/m³であった。しかし溶存オゾンは処理槽で速やかに消費されており、検出されなかった。

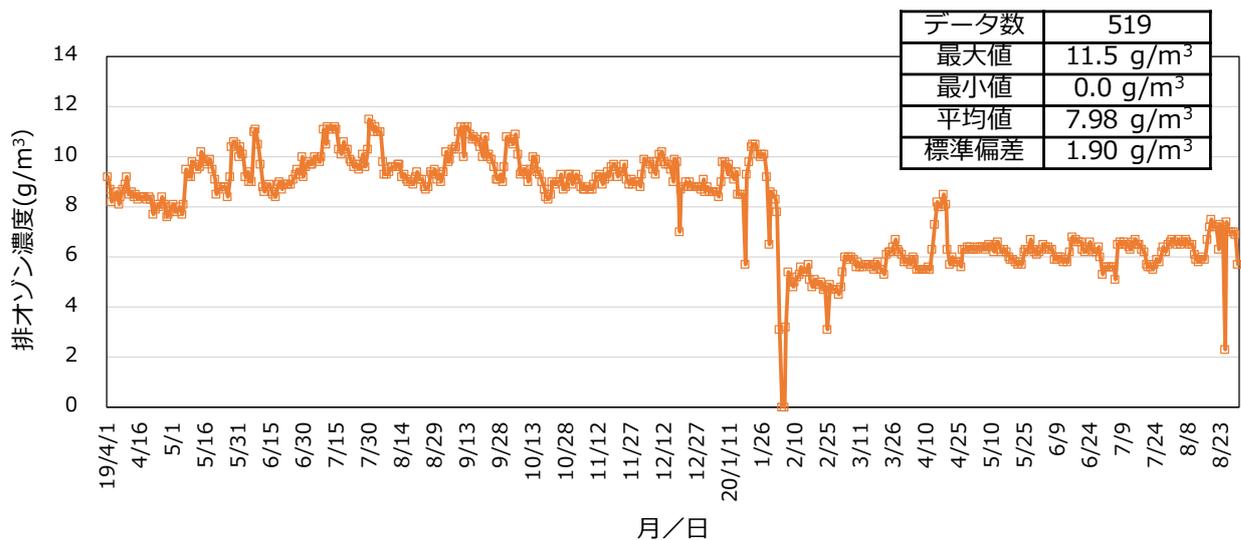


図2 排オゾン濃度の時系列（2019年4月1日~2020年8月31日）

(2) 水質

暴露期間中のオゾン処理槽の水温、pH、SS、COD、塩化物濃度の最大値、最小値、平均値等を表2に示す。これらより、暴露期間中の水質環境は、下水処理における一般的な環境であったと判断できる。

表2 各水質項目の最大値、最小値、平均値等（2019年4月1日~2020年8月31日）

項目	水温(°C)	pH (-)	SS(mg/L)	COD(mg/L)	塩化物(mg/L)
データ数	37	347	34	39	4
最大値	29.2	7.28	3	7.7	50
最小値	10.0	5.85	0.2	2.9	32
平均値	21.62	6.78	1.74	5.46	42.7
標準偏差	4.92	0.22	0.78	0.90	7.6

3.2 試験片の分析結果

(1) 外観観察及び腐食減量測定

17ヶ月間の暴露後にオゾン処理槽から取り出した暴露板を写真1に示す。

写真2に水洗後及び付着物除去(30%硝酸に浸漬)後の液相部暴露試験片を示す。いずれの鋼種も水洗、付着物除去後は金属光沢を示し、減量もなく、自由面、すきま部、また母材部、溶接部ともに、腐食は観察されなかった。一方、気相部暴露試験片については、写真3に示すように、水洗後は、いずれも自由面、すきま部ともに全体的に変色が認められ、また付着物除去後は、いずれも全体的に金属光沢が無かった。



写真1 オゾン処理槽気相部及び液相部の暴露試験片 (取り出したまま)

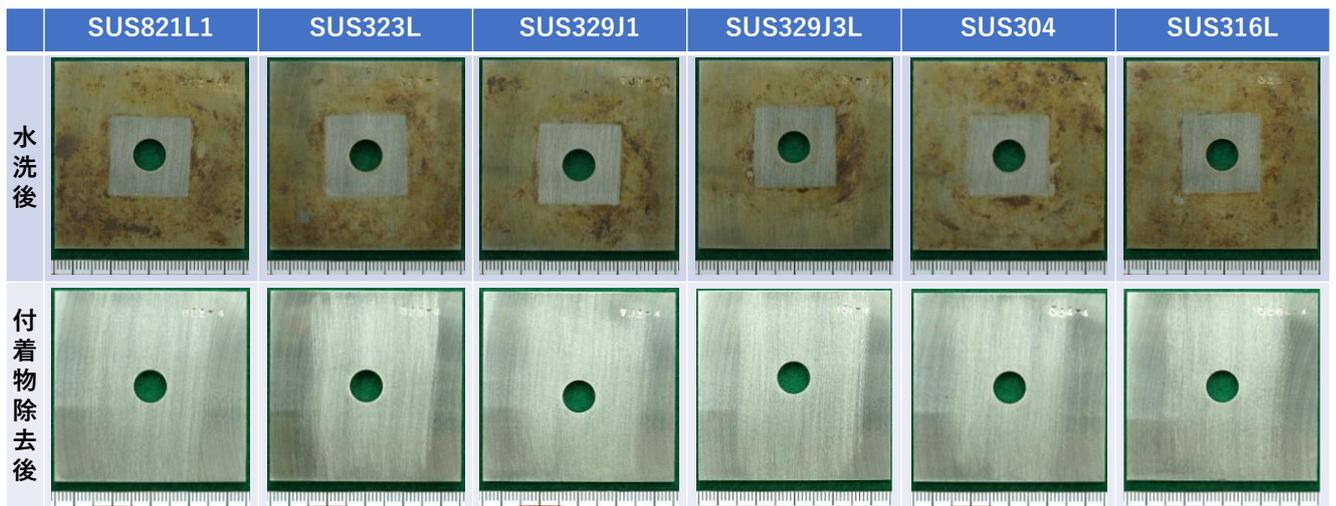


写真2 水洗後及び付着物除去後の液相部暴露試験片 (左4鋼種：二相ステンレス鋼)

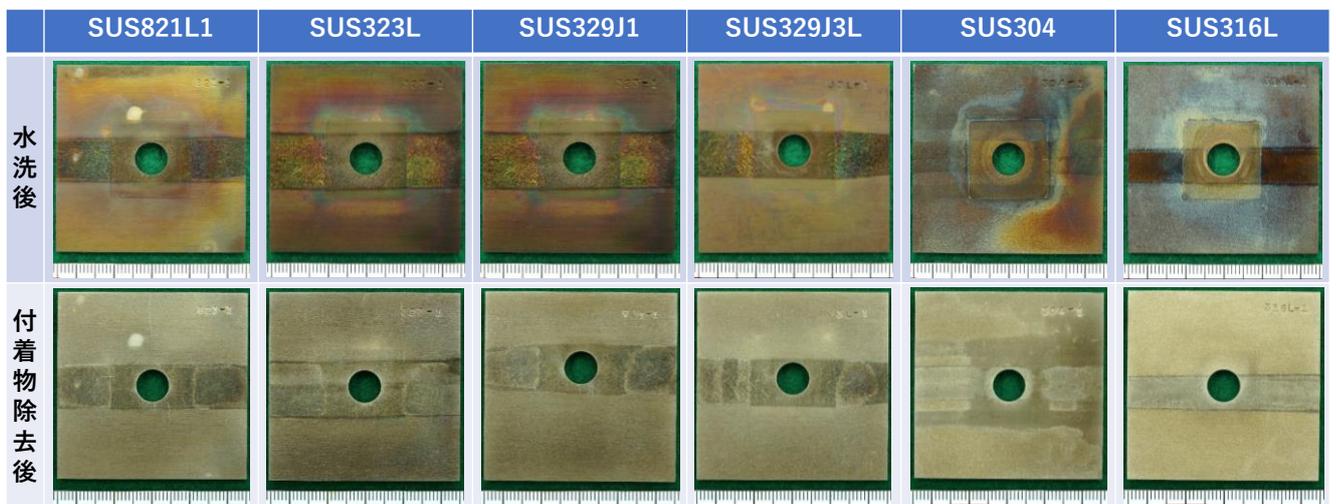


写真3 水洗後及び付着物除去後の気相部暴露試験片 (左4鋼種：二相ステンレス鋼)

(2)表面観察

マイクروسコープ(×100以上)で、気相部暴露試験片の表面観察を行った。全鋼種において、自由面、すきま部、また母材部、溶接部とも全体的に粒界腐食が発生していた。一例を写真4に示す。

腐食速度を図3に示す。図より、供試した二相ステンレス鋼は従来鋼と同等の腐食速度であり、同等の耐食性を有していることが分かる。なお現時点での腐食速度は、何れも耐食域とされる0.05mm/年未満であった²⁾。

変色について、オゾンは水中よりもガス中の方が、酸化性の高い環境となることが知られており、湿潤オゾン環境において鋼材の表面皮膜の厚膜化による変色の報告がある³⁾。今回の暴露試験の排オゾン濃度は最大11.5g/m³(平均7.98g/m³)(図2)と高く、過去の知見より酸化性が高かった可能性がある。

また粒界腐食について、山崎らは高い酸化性環境(1.0~1.3V vs. SCE(飽和カロメル電極))におかれたSUS304及びSUS316L母材で発生すると報告しており⁴⁾、今回は変色する酸化性の範囲(電位域)に比べ、より酸化性の高い環境であったため粒界腐食が発生したと考えられる。この粒界腐食による腐食減量は前述の通り軽微であり、すきま部や溶接部とそれ以外の部位で腐食の程度に差は認められなかった。

4. まとめ

本稿では、実下水処理場のオゾン処理槽において、二相ステンレス鋼、従来のステンレス鋼を約17ヶ月に亘り暴露し、これらの耐オゾン性を外観観察、腐食減量測定、表面観察により調査した。

- (1)暴露期間中のオゾン環境については、排オゾン濃度が6~10g/m³であったが、溶存オゾンは処理槽で速やかに消費されており、検出されなかった。また水質環境は下水処理における一般的な環境であった。
- (2)液相部暴露試験片は、二相系の4鋼種、従来の2鋼種のいずれも、水洗、付着物除去後に金属光沢があり、減量もなく、腐食は観察されなかった。
- (3)気相部暴露試験片は、自由面、すきま部、また母材部、溶接部とも変色し、粒界腐食を伴って全体的に腐食していた。ただし、腐食速度は全鋼種で<0.05mm/年であり、現時点では「耐食域」であった。

これらのことより、暴露期間17ヶ月の時点において、供試した4種の二相ステンレス鋼は、排オゾン、溶存オゾンに対し、従来鋼と同等の耐食性があると判断できた。暴露実験は現在まだ継続中であり、来年夏以降に残りの暴露試験片を回収、分析して、最終評価を行う計画である。

謝辞 暴露材料の製作、分析などで日鉄ステンレス(株)の支援を頂いた。ここに謝意を表します。

参考文献 1) JIS B 9946:2019。2)日根文男：材料, 26, 290, 1124(1977)など。3)吉見ら：第24回日本オゾン協会年次研究講演会講演集, 119(2015)。4)山崎修, 木原光男：材料と環境, 41, 670(1992)。

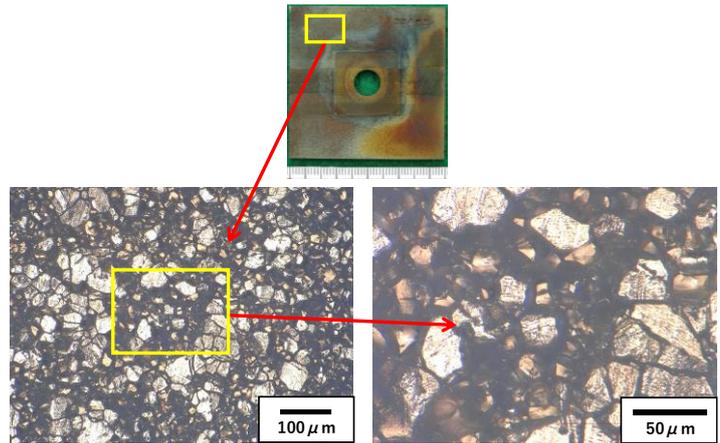


写真4 気相部暴露試験片の表面観察結果例(SUS304)

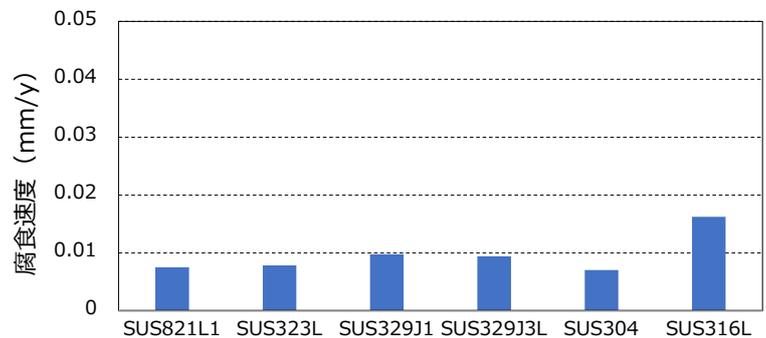


図3 各暴露鋼材の気相部暴露試験片の腐食速度