

ステンレス鋼 SUS304TPD 連結送水管の腐食漏水事例について

ノーラエンジニアリング(株)

堀田 幸兵, 西村 正博

1. はじめに

連結送水管におけるステンレス鋼SUS304TPDの腐食漏水事例については、平成29年4月20日付けで「連結送水管にSUS304TPDを使用する場合の留意点」¹⁾がステンレス協会のホームページに開示されている。

平成 18 年から、連結送水管にステンレス鋼鋼管が本格的に採用され、一般配管用ステンレス鋼鋼管も 1,100 件を超える施工件数があり、その内 5 件で溶接部において微生物が関与していると推定される漏水が確認されたとされている。

留意点及び対策として、

(1) 使用する水側での対策として、腐食リスク低減のため“水道水”を使用することが有効である。

(2) 材料側での対策として、①溶接部の酸洗 ②溶接部の電解研磨 ③溶接時の酸化スケールの防止が記載されている。

しかしながら、事故発生率が 5 件/1100 件ということは、事故発生の 5 件に特異な環境が存在したのではないかと推察し、ステンレス協会から情報が開示された後に、当社が関係した案件で発生した事例 1 件を紹介し、若干の検討を加えたので以下に紹介する。

2 ステンレス鋼 SUS304TPD 連結送水管の腐食事故例

2.1 状況

(1) 建物概要：集合住宅（15 階建て）

(2) 配管材質：JIS G 3448 SUS304TPD-125Su

(3) 漏水箇所：地下ピット内の長い横引き配管。

(4) 配管内水：①初期充填水は水道水との情報 ②消防検査時の水質は不明

(5) 漏水発生までの期間：漏水箇所が地下ピット内であったため発見が遅れ、漏水までの正確な期間は不明である。

2.2 調査結果

(1) 外観調査結果

写真 1-1 に腐食部内面の写真を示し、写真 1-2 に腐食部内面の拡大写真を示す。

配管内面には、腐食孔に比較して著しく大きい赤錆が認められた。

なお、回収した直後の管内面の腐食部を指で触ったところ“ヌルヌル”したことから、バイオフィルムが形成されていると推察された。

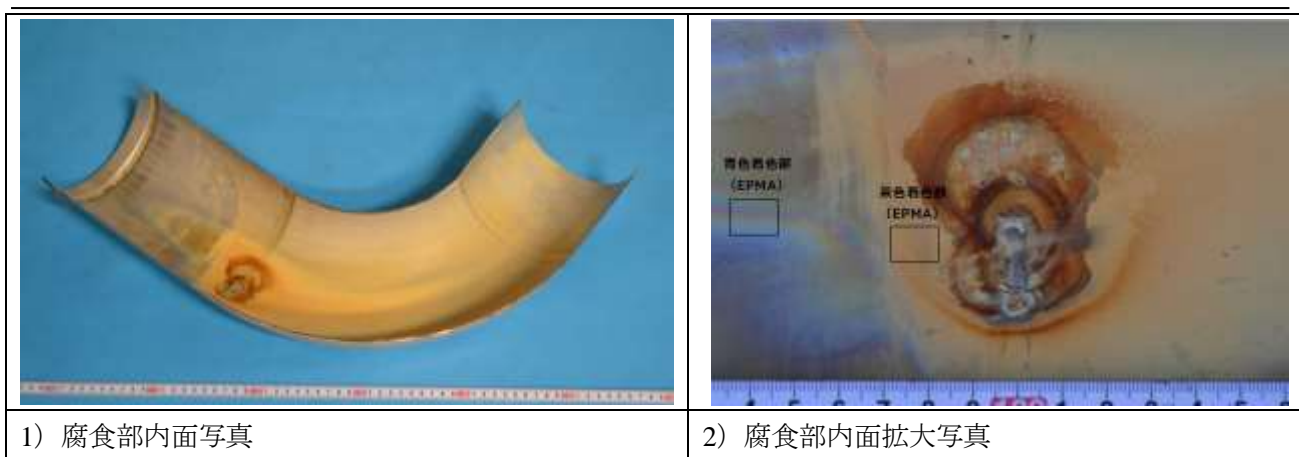


写真1 腐食漏水部抜管品を半割り後の管内面観察結果

(2) 腐食部断面観察結果

写真2に、腐食部の断面を顕微鏡で観察した結果を示す。

腐食孔は、エルボと転造リング加工管の周溶接部のエルボ側溶接熱影響部に発生している。

なお、金属組織には異常は認められなかった。

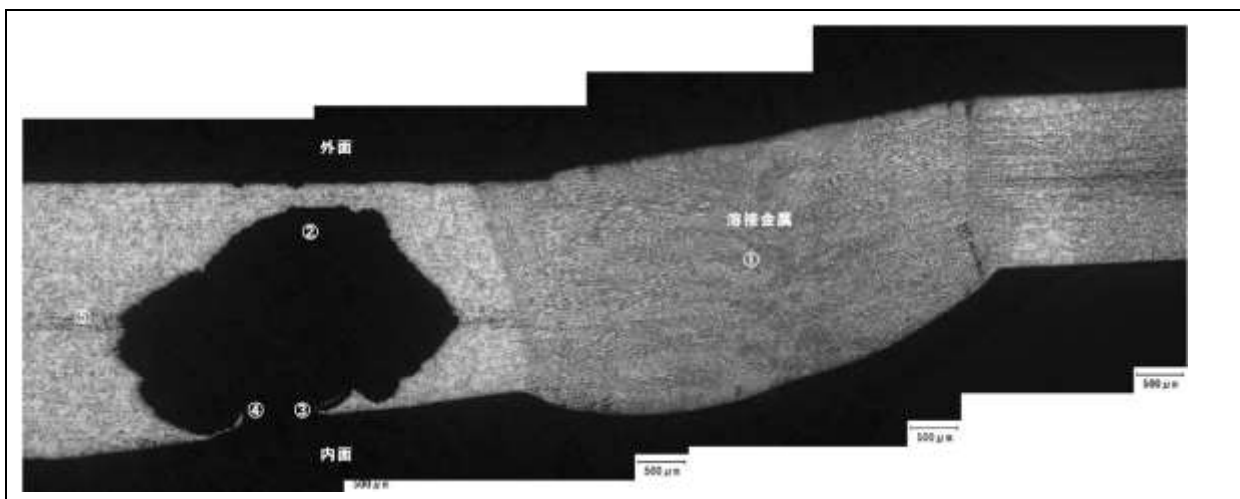


写真2 腐食部の断面顕微鏡観察結果

(3) 配管内部内視鏡観察結果

写真3に、配管内部を内視鏡で観察し、腐食が認められた位置と写真を示す。

配管内部の9箇所で錆こぶが認められたが、錆こぶが認められたのは横引き配管のみで、縦管内部には錆こぶは全く認められなかった。

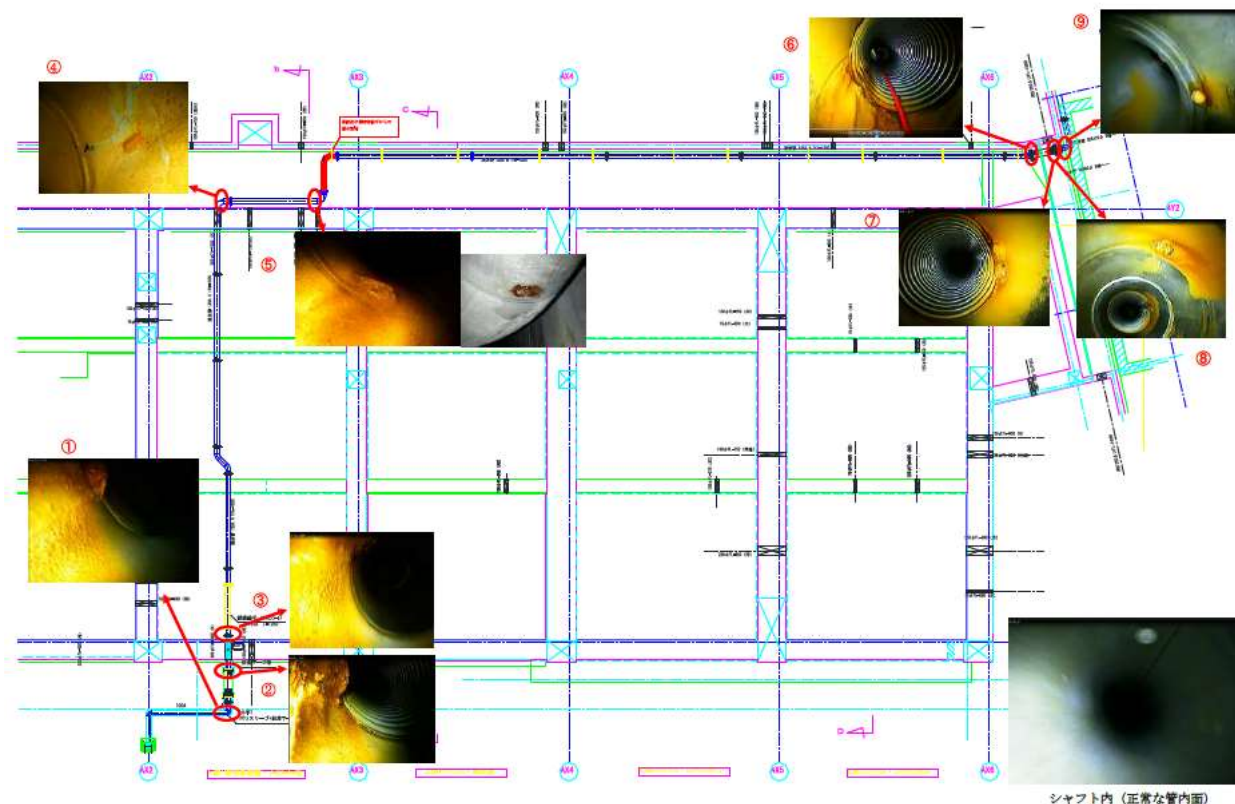


写真3 配管内部の内視鏡観察写真と配管系における腐食部の位置

(4) 水質調査結果

表1に、漏水箇所にて採取した水サンプルと補給水槽から採取した水サンプルの水質分析結果を示す。漏水箇所の食孔から漏水してくる水と、補給水槽から採取した水の水質はほぼ一致しており、同一水と考えられる。また、水道局の検査結果とも酷似しており、補給水には水道水が使用されていることが判る。

表1 漏水箇所にて採取した水及び補給水槽の水の水質分析結果と水道局の水質検査結果比較

番号	項目	配管内水	水槽水	水道局の水質検査結果
1	電気伝導率 (mS/m)	24.2	24.2	—
2	pH (25°C)	7.9	7.8	7.7
3	酸消費量 (pH4.8)	55	54	—
4	塩化物イオン(mg/l)	21	21	22.0
5	硫酸イオン (mg/l)	25.6	25.0	—
6	TOC (mg/l)	0.7	0.8	0.9
7	一般細菌数 (CFU/ml)	0	0	0

漏水箇所採取水と補給水の水が同一となった理由は、水採取時の食孔からの漏水量が約400ml/分であったことから、配管内容積から算出すると、数日間で全ての水が入れ替わることになる。

従って、食孔部から漏水してきた水は、補給水と同一になったと考えられ、腐食発生時の水質ではないと推定される。

2.3 まとめ

(1) 腐食部は溶接部であること、堅管には腐食が認められず、長い横引き配管の領域で腐食・漏水が発生していることから、単に水質不良による腐食ではないと判断される。回収管の腐食部を指で触ると“ヌルヌル”したこと及び腐食・漏水部は孔食の大きさに対して錆こぶ（腐食生成物）の大きさが極めて大きいことなどから微生物誘起腐食と推察される。²⁾

(2) 水質分析の結果、漏水部から採取した水は、漏水量が多いため補給水に置換されたと考えられ、補給水槽採取水と同一であり、腐食発生時の水とは異なっていると推定される。

(3) 今回の水質調査箇所は、漏水箇所と補給水槽近傍箇所であったが、今後は漏水部の下流側である連結送水管の送水口近傍の3箇所の水質分析が必要と考える。

3 ステンレス協会開示事例を含めた SUS304TPD 連結送水管の腐食に関する考察

中性環境におけるステンレス鋼の腐食発生有・無は腐食発生電位と自然電位との関係で決定され、腐食発生電位が自然電位より貴であれば腐食は発生せず、腐食発生電位が自然電位より卑であれば腐食が発生する可能性がある。

3.1 SUS304TPD 溶接部の腐食に及ぼす各種因子について

(1) 自然電位に及ぼす流動状態の影響

図1に、温度20℃における、自然電位に及ぼす流動状態の影響を示す。

残留塩素0.3mg/lの水道水の流し水では、残留塩素及び溶存酸素ともに潤沢に供給されるため自然電位は約0.35V (vs SCE) であるが、循環水の場合、残留塩素は消費され溶存酸素のみとなり自然電位は0.1V (vs SCE) で、消火設備配管の様な静止水の場合自然電位は0V (vs SCE) となる。

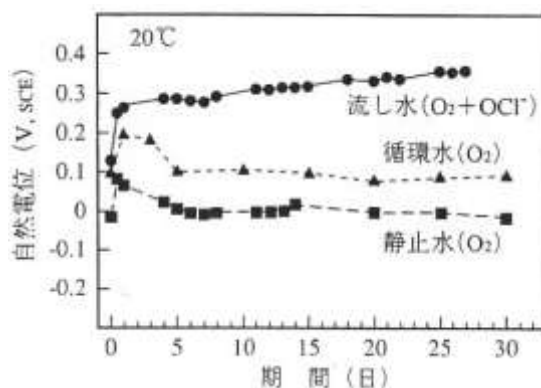


図1 ステンレス配管の自然電位におよぼす流動状態の影響³⁾

(2) 温度20℃における腐食発生電位に及ぼす溶接品質の影響

写真4に溶接A、溶接B、溶接Cの酸化スケールの生成状態と溶接部断面形状を示す。

溶接Aは、管内シールドガス (Ar) の流量を十分に流して周溶接したもので、管内面に酸化スケールがほとんど生成しておらず、ビード部の断面形状も良好である。

溶接Bは、管内シールドガス流量を少なくし、Arガスシールドが不十分な状態で周溶接したもので、酸化スケールの生成は多いが、ビードの形状は良好である。

溶接Cは、管内をガスシールドせずに溶接したものであって、酸化スケール生成が多く、ビード形状は不良である。これは、現地溶接を想定したものである。

図2に、温度20°Cにおける溶接A、溶接B及び溶接Cの塩化物イオン濃度と腐食発生電位の関係図を示す。

腐食発生電位に対して、材料側因子として溶接品質、環境因子として塩化物イオンがあり、溶接品質が劣ると、腐食発生電位は卑となり、塩化物イオン濃度が大きくなると腐食発生電位は卑になる。

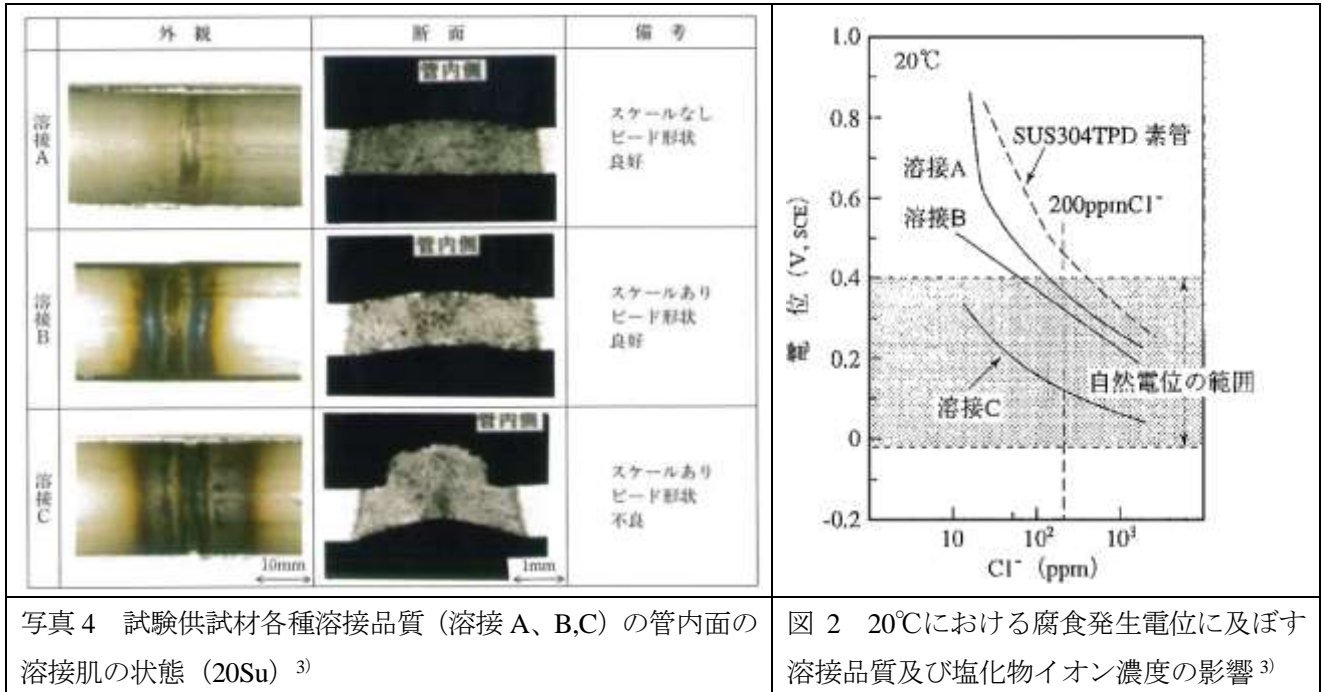


写真4 試験供試材各種溶接品質（溶接A、B、C）の管内面の溶接肌の状態（20Su）³⁾

図2 20°Cにおける腐食発生電位に及ぼす溶接品質及び塩化物イオン濃度の影響³⁾

表2に、文献4から引用した溶接A及び溶接Bの塩化物イオン濃度と腐食発生電位の早見表を示す。

表2 温度20°Cの腐食発生電位に及ぼす溶接品質及び塩化物イオン濃度の影響早見表⁴⁾

V(vs SCE)

区分	塩化物イオン濃度 (ppm)																			
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
素管	0.87	0.78	0.73	0.69	0.64	0.62	0.60	0.58	0.57	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	
溶接A	0.67	0.57	0.54	0.51	0.48	0.46	0.44	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41	0.40	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37	
溶接B	0.47	0.44	0.43	0.42	0.40	0.39	0.38	0.38	0.37	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	

(3) 温度20°Cにおける腐食発生電位に及ぼす塩化物イオン共存下での炭酸水素イオンの影響

図3に、温度20°Cにおける、SUS304溶接Bの塩化物イオン共存下で炭酸水素イオンの影響を示す。

塩化物イオン濃度によって炭酸水素イオン濃度の影響は若干異なるが、ある濃度範囲で腐食発生電位が卑になる領域が存在する。

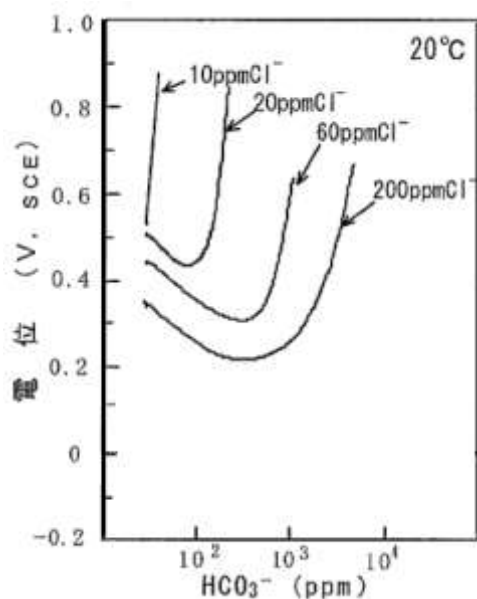


図3 温度 20°Cにおける塩化物イオン共存下の腐食発生電位に及ぼす炭酸水素イオンの影響²⁾

表3に、文献4から引用した、溶接Aの腐食発生電位に及ぼす塩化物イオン濃度と炭酸水素イオン濃度の関係の早見表を示す。

なお、表中のMアルカリ度は、炭酸水素イオン濃度=約1.22×Mアルカリ度として計算した値である。

表3 温度 20°Cにおける SUS304TPD 溶接 A の腐食発生電位に及ぼす塩化物イオン濃度と炭酸水素イオン濃度の関係早見表⁴⁾

V(vs SCE)

M 7%アルカリ度 (ppm)	炭酸 水素イオン (ppm)	塩化物イオン濃度 (ppm)																		
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
25	30	0.67	0.60	0.55	0.51	0.48	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41	0.40	0.40	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37
33	40	0.64	0.57	0.52	0.49	0.46	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37	0.36	0.36	0.35	0.35
41	50	0.62	0.55	0.50	0.47	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33
49	60	0.61	0.54	0.49	0.46	0.43	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.36	0.35	0.35	0.34	0.33	0.33	0.32	0.32
57	70	0.60	0.53	0.48	0.45	0.42	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.32	0.31	0.31
66	80	0.60	0.53	0.48	0.44	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.31	0.30	0.30
74	90	0.60	0.52	0.47	0.43	0.40	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.33	0.32	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.29
82	100	0.61	0.53	0.47	0.42	0.39	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32	0.31	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28
98	120	0.64	0.54	0.47	0.42	0.38	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27
123	150	0.71	0.58	0.49	0.42	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27
164	200	0.92	0.71	0.56	0.45	0.36	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26
205	250	—	—	—	—	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25
246	300	—	—	—	—	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25
328	400	—	—	—	—	0.36	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25
410	500	—	—	—	—	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.26	0.26

3.2 腐食・漏水事例からの検討

表 4 に、ステンレス協会開示資料の情報から M アルカリ度及び塩化物イオン濃度の情報を抽出した結果を示す。

表 4 事故事例の水質情報¹⁾

事例	充填水と配管内水の状況	Mアルカリ度 (mg/l)	塩化物イオン (mg/l)	その他情報
①	充填水；厨房排水処理水	103	110	①過酸化水素試験紙が紫色に反応 ②自然電位が、0.3V(vs SCE)まで貴化
	配管内水	70～110	119～157	
②	充填水；工業用水	—	—	①鉄細菌を検出 ②腐食生成物の強熱減量 30%
	配管内水	(60 と仮定)	8.7～150	
④	(充填水)水道水；水道局給 水栓水質データ	—	26.9	①一般細菌 580CFU/mg/l ②屋上露出配管で、夏場は素手で触 れない程温度上昇
	配管内水	181	81	
⑤	(充填水)水道水	—	—	①鉄細菌、鉄酸化細菌、硫酸塩還元 菌を検出
	配管内水	55～68	19～32	

注 1) 事例③は、配管交換後に水道水を充填した後の水質分析値と記されているため、データとして採用せず。

注 2) 前述 2. 項の事故事例は、漏水部採取水が補給水と同一のため、腐食発生時の水質ではないと判断し、データとして採用せず。

(1) 事例①の腐食発生の可能性についての検討

連結送水管の水は静止状態であり、残留塩素はゼロである。従って、図 1 より自然電位は 0V (vs SCE) となる。

事例①の水質は、M アルカリ度の最大値は 110mg/l で、塩化物イオン濃度の最大値は 157mg/l である。この時の溶接 A の腐食発生電位は、表 3 より約 0.28V (vs SCE) であり、自然電位 0V(vs SCE)より貴であって、腐食が発生することは考えにくい。

漏水部の配管内から採取した水サンプルに投入したステンレスの電極の自然電位の最大値が 342mV(vs Ag/AgCL)であり、これを SCE に換算すると 0.30V (vs SCE) である。事例①の M アルカリ度の最大値 110mg/l と塩化物イオン濃度の最大値 157mg/l とした場合、溶接 A の腐食発生電位が 0.28V(vs SCE) であることから、腐食発生電位 0.28V < 自然電位 0.30V となり、腐食が発生する可能性がある。

(2) 事例②での腐食発生の可能性についての検討

事例②の水質は、塩化物イオンの最大値 150mg/l、M アルカリ度の分析値がないので 60mg/l と仮定する。

この水質における、溶接 A の腐食発生電位は、表 3 より約 0.32V である。自然電位の貴化を事例 1 と同じ自然電位 0.30V とすると、腐食発生電位 0.32V > 自然電位 0.30V となり、腐食は発生しないことになる。

従って、自然電位は、0.30V (SCE) より貴であると推定される。

(3) 事例④での腐食発生の可能性についての検討

事例④の水質は、塩化物イオン 81mg/l、M アルカリ度 181mg/l である。このときの溶接 A の腐食発生電位は、0.33V(vs SCE)であり、腐食発生電位 0.33V > 自然電位 0.30V となり、腐食が発生しないことになる。

(4) 事例⑤での腐食発生の可能性についての検討

事例⑤の水質は、塩化物イオンの最大値 32mg/l、M アルカリ度の最大値 68mg/l であり、このときの溶接 A の腐食発生電位は、約 0.5V(vs SCE)であり、腐食発生電位 0.5V > 自然電位 0.30V であって、腐食は発生しない。

(5) まとめ

微生物の関与で自然電位が貴化する電位を事例①で測定された 0.3V(vs SCE)とすると、事例①のみ腐食の可能性を説明できるが、事例②、事例④及び事例⑤では腐食の可能性がない。

従って、適用可能な自然電位は 0.3V(vs SCE)よりも貴であると考えられる。

3.3 自然電位の貴化に関する文献調査

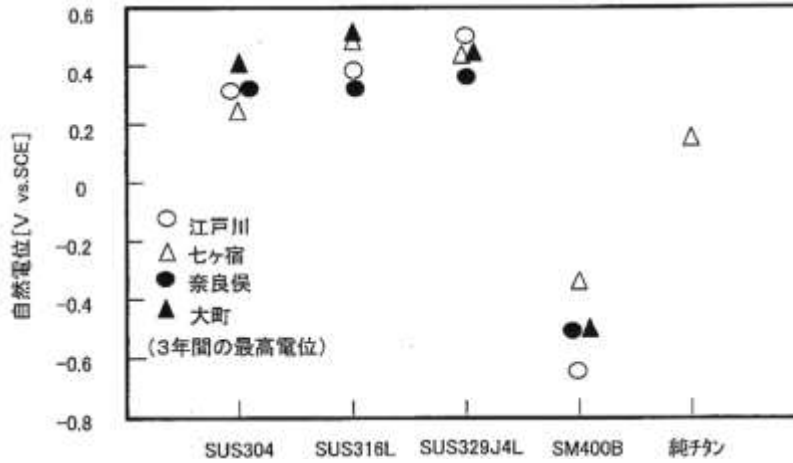
(1) 事例①では、抜管した腐食部の近傍に「過酸化水素試験紙」を濡らしたところ青～紫色に変色したことから、過酸化水素の存在が示唆され、自然電位の貴化試験終了後の表面に「過酸化水素試験紙」を当てて濡らした場合も、青～紫に変色したことから、過酸化水素の存在が示唆された。

この現象は、西尾⁵⁾、幸^{7) 8)}、天谷⁶⁾らの好気性微生物の代謝反応による過酸化水素の生成による自然電位の貴化と良く一致する。好気性微生物による過酸化水素の生成メカニズムについては、引用の論文によることとし、ここでは、好気性微生物の代謝反応によって、自然電位がどの程度まで貴化するかを重点的に調査した。

表 5 微生物が関与した場合の自然電位に関する文献調査結果

出展	水質及び測定値	自然電位の数値																		
事例①	連結送水配管内の水 充填水：厨房排水処理水	自然電位の貴化 0.3V(vs SCE)																		
日新製鋼技報 ³⁾	井戸水の水質 <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="4">イオン濃度 (ppm)</th> <th rowspan="2">pH</th> <th rowspan="2">電導度 (μS/cm)</th> </tr> <tr> <th>Cl⁻</th> <th>SO₄²⁻</th> <th>HCO₃⁻</th> <th>OCl⁻</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6.6</td> <td>15</td> <td>48</td> <td>0</td> <td>7.4</td> <td>165</td> </tr> </tbody> </table>	イオン濃度 (ppm)				pH	電導度 (μ S/cm)	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	OCl ⁻	6.6	15	48	0	7.4	165	井戸水 0.3V(vs SCE)		
イオン濃度 (ppm)				pH	電導度 (μ S/cm)															
Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	OCl ⁻																	
6.6	15	48	0	7.4	165															
天谷, 幸 ⁶⁾	自然海水中での Ecorr の貴化現象の測定例 <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Stainless steel</th> <th>Ecorr mV SCE</th> <th>Reference No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Type 316</td> <td>+195</td> <td>13) [U.S.A.]</td> </tr> <tr> <td>254 SMO</td> <td>+300</td> <td>14) [Norway]</td> </tr> <tr> <td>26Cr-23Ni-4Mo</td> <td>+400</td> <td>15) [Japan]</td> </tr> <tr> <td>904L</td> <td>+200</td> <td>16) [Canada]</td> </tr> <tr> <td>21Cr-3Mo</td> <td>+350</td> <td>17) [Italy]</td> </tr> </tbody> </table>	Stainless steel	Ecorr mV SCE	Reference No.	Type 316	+195	13) [U.S.A.]	254 SMO	+300	14) [Norway]	26Cr-23Ni-4Mo	+400	15) [Japan]	904L	+200	16) [Canada]	21Cr-3Mo	+350	17) [Italy]	最大で +400mV(vs SCE) 貴化
Stainless steel	Ecorr mV SCE	Reference No.																		
Type 316	+195	13) [U.S.A.]																		
254 SMO	+300	14) [Norway]																		
26Cr-23Ni-4Mo	+400	15) [Japan]																		
904L	+200	16) [Canada]																		
21Cr-3Mo	+350	17) [Italy]																		

幸 8)



SUS304 で 0.25V ~ 0.4V(vs SCE)。最大 0.4V(vs SCE)

SUS316L で 0.3V ~ 0.5V(vs SCE)。最大 0.5V(vs SCE)

淡水の河川水中におけるステンレス鋼その他金属の自然電位の比較(土木研究所資料, 河川・ダム施設防食ガイドライン—ステンレス材料編—(2005))

以上のデータより、微生物の代謝反応による自然電位の貴化は、0.3V~0.5V (vs SCE) を考えれば良いと考えられる。

自然電位 0.3V(vsSCE)を適用した場合、適用可能な事例は 1 件のみであり、他の事例 3 件は適用できないことから、自然電位は 0.3V(vs SCE)より貴に設定する必要がある。

3.4 自然電位 0.4V(vs SCE)のときの SUS304TPD 溶接 A の耐食域判定図と妥当性の検討

(1) 自然電位 0.4V(vs SCE)のときの SUS304TPD 溶接 A の耐食域判定図

図 4 に、表 3 の温度 20℃における SUS304TPD 溶接 A の腐食発生電位に及ぼす塩化物イオン濃度と炭酸水素イオン濃度の関係から、自然電位を 0.4V(vs SCE)とした場合の耐食域判定図を示す。

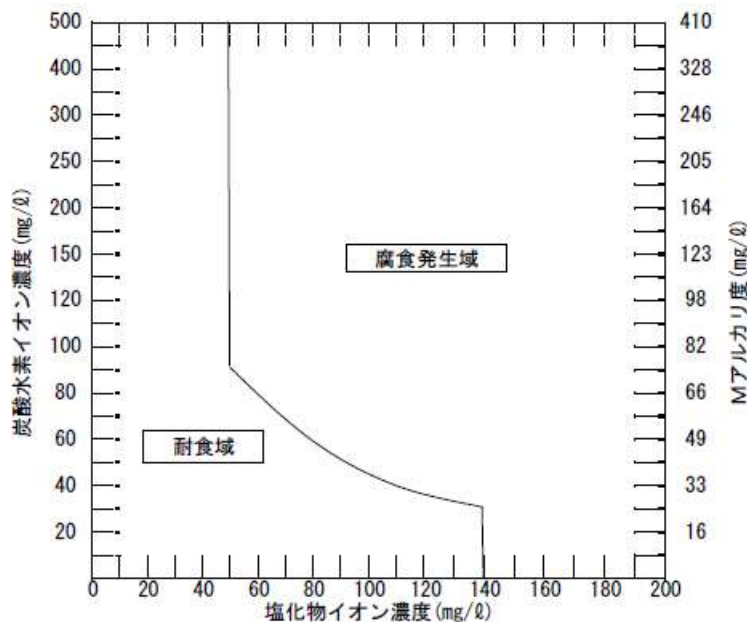


図 4 溶接 A における自然電位 0.4V(vs SCE)の場合の耐食域判定図

(2) 事件事例からの妥当性の検討

図4の耐食域判定図に、事故発生水質をプロットし妥当性の検討を行う。

図5に、表5の塩化物イオン濃度最大値と炭酸水素イオン濃度(=約1.22×Mアルカリ度)最大値を、図4の溶接Aにおける自然電位0.4V(vs SCE)の耐食域判定図にあてはめた図を示す。

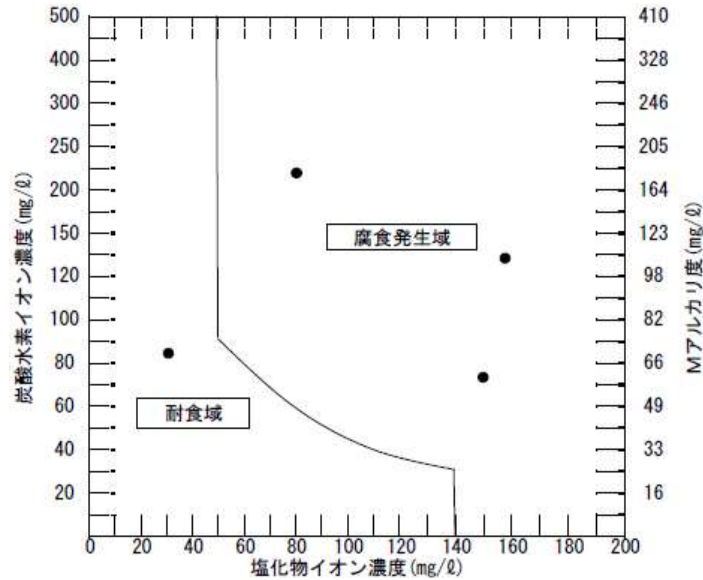


図5 自然電位0.4V(vs SCE)の溶接A耐食域判定図への事故例水質の当てはめ

事例①、②、④は、溶接A、自然電位0.4Vの耐食域判定図の腐食発生域に合致するが、事例⑤のデータは耐食域となり、合致しない。

3.5 自然電位0.5V(vs SCE)のときのSUS304TPD溶接Aの耐食域判定図と妥当性の検討

(1) 自然電位0.5V(vs SCE)のときのSUS304TPD溶接Aの耐食域判定図

図6に、表3の温度20℃におけるSUS304TPD溶接Aの腐食発生電位に及ぼす塩化物イオン濃度と炭酸水素イオン濃度の関係から、自然電位を0.5V(vs SCE)とした場合の耐食域判定図を示す。

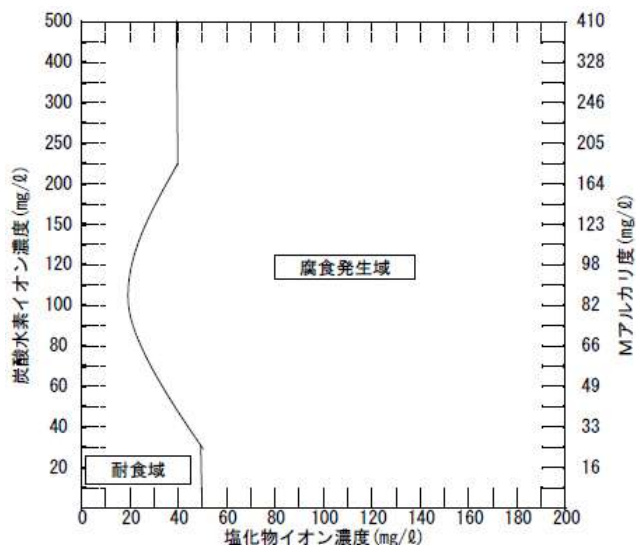


図6 溶接Aにおける自然電位0.5V(vs SCE)の場合の耐食域判定図

(2) 事件事例からの妥当性の検討

図6の耐食域判定図に、事故発生水質をプロットし妥当性の検討を行う。

図7に、表5の塩化物イオン濃度の最大値とMアルカリ度の最大値を、自然電位0.5V(vs SCE)の耐食域判定図にあてはめた図を示す。

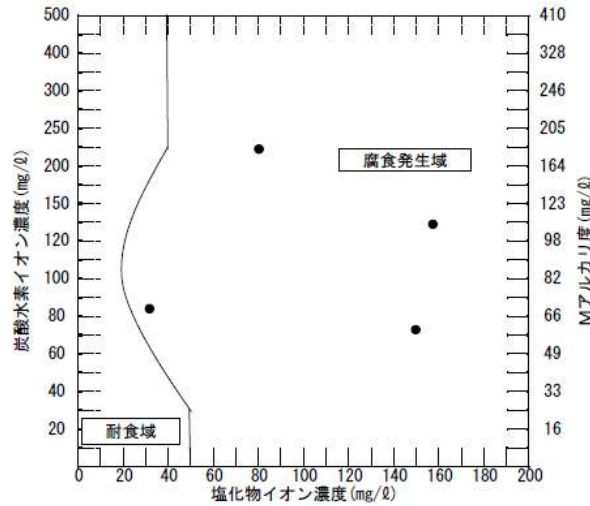


図7 自然電位0.5V(vs SCE)の溶接A耐食判定図への事故例水質の当てはめ

自然電位0.5V(vs SCE)を適用すれば、事例4件の全てが包含される。

但し、水質範囲が極めて狭くなり、水道水を推奨しても実用的でない可能性がある。

表6に、表2の温度20°Cの溶接Bの腐食発生電位に及ぼす塩化物イオン影響につき、図3の炭酸水素イオンの影響を、文献4に記載された方法に従って補正して求めた、溶接Bの腐食発生電位に及ぼす塩化物イオン濃度と炭酸水素イオン濃度の関係表を示す。

表6 温度20°CにおけるSUS304TPD溶接Bの腐食発生電位に及ぼす塩化物イオン濃度と炭酸水素イオン濃度の関係早見表

M7L別度 (ppm)	炭酸水素イオン濃度 (ppm)	塩化物イオン濃度 (ppm)																		
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
25	30	0.50	0.48	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.38	0.37	0.36	0.36	0.35	0.35	0.34	0.34
33	40	0.47	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.32
41	50	0.45	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.32	0.31	0.31	0.30	0.30
49	60	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.31	0.30	0.30	0.29	0.29
57	70	0.43	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28
66	80	0.43	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27
74	90	0.43	0.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26
82	100	0.44	0.41	0.38	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25
102	125	0.47	0.42	0.39	0.36	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24
123	150	0.54	0.46	0.41	0.36	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24
164	200	0.75	0.59	0.48	0.39	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23
205	250					0.32	0.30	0.29	0.28	0.27	0.27	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22
246	300					0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22
328	400					0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22
410	500					0.33	0.32	0.30	0.29	0.29	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23

図8に、自然電位を0.4V(vs SCE)とした場合の、温度20℃におけるSUS304TPD溶接Bの耐食判定図を作成し、事故事例の水質を当てはめた結果を示す。

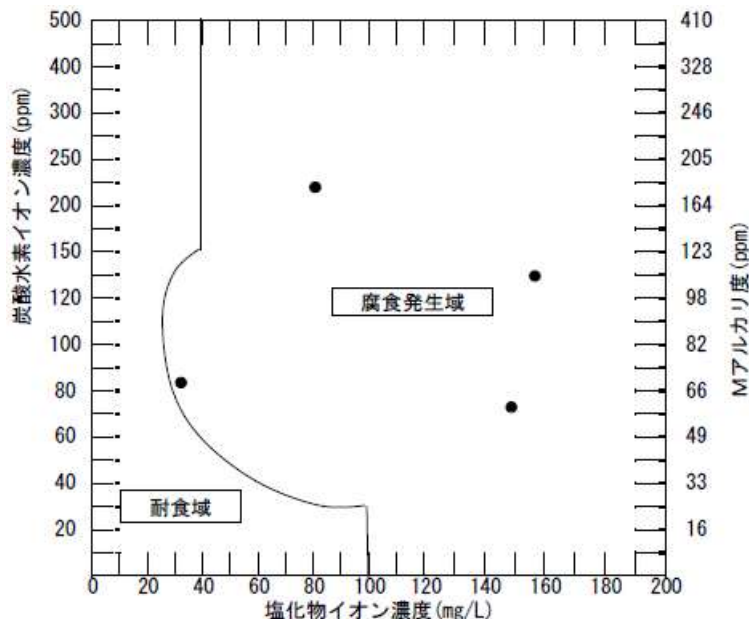


図8 自然電位0.4V(vs SCE)、溶接Bのときの耐食域判定図への事例水質の当てはめ

事例⑤を包含する耐食域判定図は、自然電位0.5V(vs SCE)に設定する場合と自然電位0.4V(vs SCE)で溶接品質がBランクの場合にも包含される。

事例⑤については、次の事項の検証が必要と考える。

- (1) 採取した水質分析値が、腐食発生時の水質と同一であるか。前述2項の事例の様に、漏水量が多く、補給水が混合された水になっていないか。
- (2) 溶接品質は溶接Aと同程度であるか。

3 SUS304TPD 連結送水管の耐食域判定図（暫定版）について

連結送水管の事故事例が、ステンレス協会整理後の1件を含めて6件であり、採用可能な水質データが明確になっている事例は、その内4件のみであって、漏水事故が発生していない残りの約1,094件の水質調査を実施していない状況で、連結送水管の耐食域判定図を考えることは極めて難しく、正確性に欠けるが、ステンレス協会発行の「連結送水管にSUS304TPDを使用する場合の留意点」に記載された、水道水の使用が好ましいということの理由を考察し、「SUS304 連結送水管の耐食域判定図（暫定版）」を作成した。

前提条件としては、幸ら⁵⁾ ⁶⁾ ⁷⁾ ⁸⁾の好気性微生物の代謝反応により、酸化剤である過酸化水素が生成され、自然電位が0.4Vまで貴化すると仮定した。

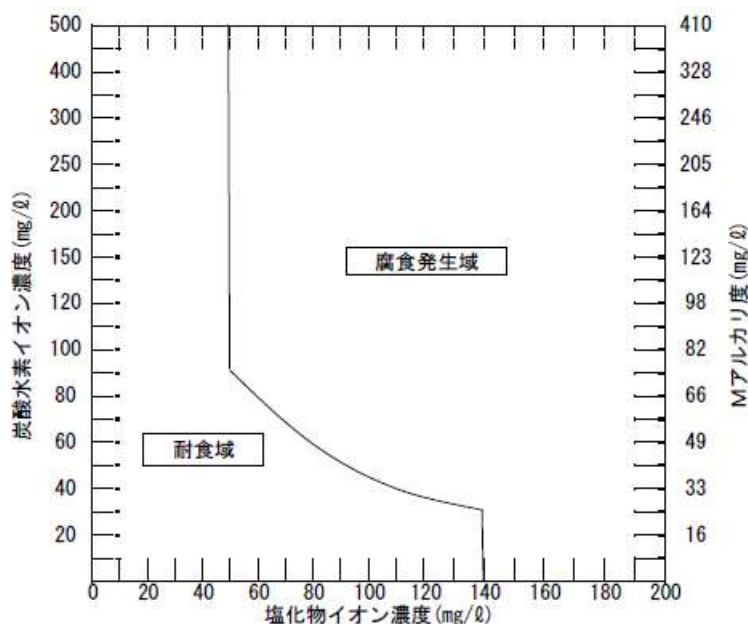


図9 ステンレス鋼 SUS304TPD 連結送水管の耐食域判定図(暫定版)

4 上水（水道水）の水質分布

表7に、日本水道協会のホームページから引用した、塩化物イオン及びアルカリ度の水質分布表を示す。

表7 上水（水道水）の塩化物イオン及びアルカリ度の水質分布表

（日本水道協会、平成27年度水道統計・水質分布表（浄水（給水栓水等）－平均値）より引用）

イオンの種類	項目	区分										
		～5.0	～10.0	～20.0	～40.0	～60.0	～80.0	～100.0	～120.0	～150.0	～200.0	200.1～
塩化物イオン	濃度(mg/L)	～5.0	～10.0	～20.0	～40.0	～60.0	～80.0	～100.0	～120.0	～150.0	～200.0	200.1～
	件数	1797	2144	1603	544	86	11	7	3	2	0	0
全件数	6,197	累積比率	29.00%	63.60%	89.46%	98.24%	99.63%	99.81%	99.92%	99.97%	100.00%	100.00%
アルカリ度	濃度(mg/L)	～10.0	～20.0	～30.0	～40.0	～50.0	～60.0	～70.0	～80.0	～90.0	～100.0	100.1～
	件数	9	118	206	244	167	106	59	40	25	10	22
全件数	1,006	累積比率	0.89%	12.62%	33.10%	57.36%	73.96%	84.49%	90.36%	94.33%	96.82%	97.81%

耐食域判定図は、塩化物イオンとアルカリ度の関係図であるが、日本水道協会の水質分布表からは、同一浄水（給水栓等）に関する塩化物イオンとアルカリ度の数値が示されていないことから、塩化物イオンについてのみ判定する。

自然電位の貴化を0.4V (vs SCE) とした場合は、図5より塩化物イオン濃度が50mg/l以下で良いことから、全データの約99%が適用可能である。

自然電位の貴化を0.5V(vs SCE)と置いた場合、図6より塩化物イオン濃度は20mg/l以下が耐食域になることから、全データの約89.5%は適用可能であるが、10.5%は適用できないことになり、水道水を適用すれば良いという制限だけでは、不十分と推察する。

5 まとめ

連結送水管におけるステンレス鋼SUS304TPDの腐食漏水事例について、ステンレス協会のホームページに開示されている事例5件と、当社で経験した1件の事例を含めて検討し、以下の結果を得た。

(1) 6件の事故例は、いずれも長い横引き配管の直管と曲管の溶接部の管底部及び近傍にほぼ限定され、微生物誘起腐食と推察される。立て配管には、腐食は認められていない。

長い横引き配管に限定される原因の一つとして、エアーストリ的存在が関与している可能性があり、1つの事例では、気体の滞留の存在が確認されている。

(2) 配管内面の腐食部を指で触ると“ヌルヌル”しており、バイオフィルムの存在が示唆されたこと、腐食部近傍で過酸化水素試験紙を濡らすと青～紫に変色したことから過酸化水素の存在が示唆されたこと、配管内から採取した水に直ちに電極を投入し自然電位の経時変化を測定した結果、自然電位が貴化し、0.3V(vs SCE)の最高値が認められたことなどから、好気性微生物の代謝反応により過酸化水素が生成され、自然電位が貴化し、耐食性が最も劣る溶接部において微生物誘起腐食が発生したものと推察された。

(3) 連結送水管の環境に対して、中性塩化物環境の腐食発生電位と自然電位の関係が適用できると仮定して、微生物の代謝反応によって自然電位がどこまで貴化するか文献を調査した結果、0.3V(vs SCE)～0.5V(vs SCE)と考えておけば良いと考えられる。

しかしながら、文献では井戸水、河川水や自然海水などであり、微生物も既に存在し、微生物が繁殖するための栄養分も豊富にあると推察されることから、ステンレス協会が推奨している水道水とは条件が異なると推察し、暫定的に自然電位を0.4V(vs SCE)に設定した。

(4) 自然電位を0.4V(vs SCE)に設定して得られた「SUS304TPD 連結送水管の耐食域判定図（暫定版）」について、腐食時の水質が明記された4件を当てはめた結果、3件は正しく判定されたが、1件は適用外となった。

腐食が発生していない案件の水質データを採取するなど、実績及び実験データを取り入れ、信頼性の向上を図りたい。

参考文献

- 1) 連結送水管に SUS304TPD を使用する場合の留意点：ステンレス協会配管システム普及委員会
- 2) ステンレス鋼便覧、第3版、日刊工業社、(1995)、299
- 3) 西川光昭、原田和加大、足立俊郎、名越敏郎：日新製鋼技報、77、25-40(1998).
- 4) 建築設備用ステンレス配管の水質指針—改訂版1【資料編】：ステンレス協会ホームページ掲載
- 5) 西尾淳一、幸 英昭：材料と環境、58、224-227(2009)
- 6) 天谷 尚、幸 英昭；溶接学会誌、64、146-149(1995)
- 7) 幸 英昭：腐食防食学会、第185回腐食防食シンポジウム、1-10(2016)
- 8) 幸 英昭：ステンレス協会講演資料