

建築設備用水配管システムの腐食対策

第3報——アニオン交換処理水の炭素鋼に対する腐食抑制効果とイオン交換率の関係

中 村 勇 二^{*1}
松 川 安 樹^{*1}
朝 倉 祝 治^{*2*3}

山 田 育 弘^{*1}
岡 崎 慎 司^{*2}

筆者らは、建築設備の水配管システムの腐食対策として、アニオン交換樹脂により水道水中の腐食促進アニオンを除去した水(アニオン交換処理水)を用いた防食法に関する一連の研究を行っている。これまでに、アニオン交換処理水の炭素鋼に対する腐食抑制効果とその機構について報告した。第1報では処理水中に浸漬した炭素鋼の腐食電位の挙動および腐食速度から、腐食抑制作用は不動態化によるものと推定した。第2報では、プルベダイアグラムを用いた検討および腐食試験に伴う水質変化から、その作用の本質は熱力学的にも不動態化に起因し、カルシウムやシリカを主成分とする皮膜の影響が少ないことを示した。本報(第3報)では、アニオン交換処理水を作製する際のイオン交換率が流速などの影響を受けることを考慮し、アニオン交換処理水の腐食抑制効果が維持される水質範囲を検討した。イオン交換率の変化を模擬するため、水道水とそのアニオン交換処理水を任意の割合で混合した溶液を作製し、炭素鋼に対する腐食性を調べた。混合割合と炭素鋼の腐食速度の関係では、アニオン交換処理水の割合が高い水溶液中では炭素鋼に腐食が生じず、ある混合割合を超えると腐食が発生し、腐食速度が急激に上昇した。この腐食と非腐食との境界を水質で整理し、腐食性評価指標であるSS比とラーソン指数の両者によって、炭素鋼の腐食を抑制できる水質範囲を明らかにした。

はじめに

建築設備用水配管システムの長寿命化を図るために、腐食対策は重要な課題である。筆者らは、アニオン交換樹脂により、水道水中に含まれる腐食促進イオン(Cl^- , SO_4^{2-})を腐食抑制イオン(HCO_3^-)に置換した“アニオン交換処理水(以降、処理水という)”の腐食抑制作用に着目して、一連の研究を行っている。第1報¹⁾では、国内3地域の水道水(以降、非処理水という)について処理水を作製し、いずれの処理水中でも炭素鋼の腐食が大幅に抑制されることを示した。さらに、腐食電位の挙動および腐食速度から、処理水の腐食抑制作用は、不動態皮膜の形成または安定化によるものと推察した。第2報²⁾では、腐食試験で得られた結果に更なる解析・評価を加え、得られた知見を系統的に整理した。その結果、腐食試験に伴う水質変化から、処理水の腐食抑制作用が炭酸カルシウムやケイ酸塩皮膜などに依らないことが示唆された。

さらに、溶液のpHと金属の電位から腐食状況を判定できるプルベダイアグラム上に処理水のpHと炭素鋼の腐食電位をプロットし、炭素鋼が不動態領域にあることを実証した。

炭素鋼の腐食を抑制できる処理水を作製する際に使用するアニオン交換樹脂のイオン交換率は、流速などの影響を受けて変化する。このイオン交換率を処理水/(処理水+非処理水)として考えると、処理水と非処理水の両者を混合することで模擬できると考えられる。イオン交換率の低下に伴って、腐食促進イオンの濃度が高くなることから、腐食が生じやすい水質になると考えられるが、その許容範囲は明らかではない。そこで、本報では、イオン交換率と腐食の関係を調べた。具体的には、イオン交換率の低下を模擬するため、国内3地域で採取した非処理水とその処理水を任意の割合で混合した溶液の腐食性を評価した。この際の混合割合を非処理水体積/(処理水体積+非処理水体積)と定義した。これは、イオン交換

^{*1} 新菱冷熱工業(株)

^{*2} 横浜国立大学

^{*3} (株)ベンチャー・アカデミア

率よりも混合割合が腐食促進イオンの増加に伴う腐食挙動の変化を、より直感的かつ実用的に取り扱えるためである。本研究で採用しているアニオン交換処理は、全硬度、カルシウム硬度、溶性シリカ濃度などに影響を及ぼさない。一方で、炭酸水素イオン濃度と比例関係にある酸消費量 pH4.8、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度、硝酸イオン濃度などは、その影響を受ける。これらを考慮すると、非処理水とその処理水を混合した溶液の水質は、図-1 のようになる。このように、水質の異なるそれぞれの水溶液で得られた結果を整理することで、混合割合の変化に伴う水質と腐食の関係について調べられると考えた。表面状態の変化、電位挙動、平均腐食速度と水質の関係より、炭素鋼の不動態が維持され、腐食が抑制される水質範囲を検討した。

1. 実験方法

1.1 試験溶液

既報^{1,2)}の腐食試験でも使用した国内3地域の非処理水とその処理水を用いて、混合溶液を作製した。処理水に対する非処理水の混合割合 MR (Mixing Ratio, $MR = \{非$

処理水体積 / (処理水体積 + 非処理水体積) $\}$)を 0~100% の間で変化させ、12 条件 (0, 1, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100%)の混合溶液を作製して試験溶液とした(計 36 条件)。非処理水と処理水の水質を表-1 に、混合に伴う溶解成分の変化のうち代表的な結果を図-2 に、水質成分の比などから求められる水質指標であるランゲリア指数^{3,4)}、ラーソン比⁵⁾、SS 比⁶⁾の変化を図-3 に示す。水質指標の詳細な考え方や算出方法は、前報²⁾を参照されたい。

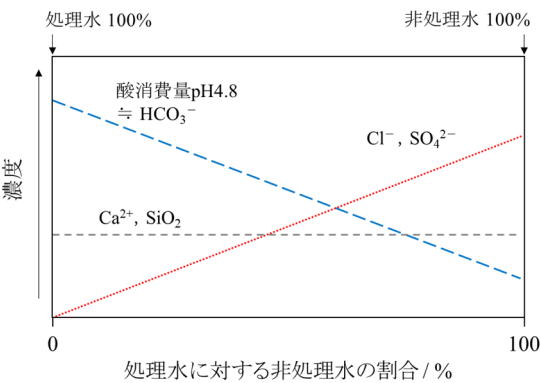


図-1 非処理水とその処理水の混合に伴う水質変化に関する概念図

表-1 試験溶液の作製に用いた国内3地域の非処理水とその処理水の水質および腐食指数

項目	単位	地域 1		地域 2		地域 3	
		非処理水	処理水	非処理水	処理水	非処理水	処理水
pH (25 ℃)	—	7.98	8.44	8.01	8.4	8.24	8.22
電気伝導率	mS / m	27.5	22.9	20.6	18.4	22.3	20.4
全硬度	mg / L as CaCO ₃	71	72	66	67	60	62
カルシウム硬度	mg / L as CaCO ₃	45	45	53	53	42	44
酸消費量 pH4.8	mg / L as CaCO ₃	45	127	53	100	72	110
塩化物イオン	mg / L	35.6	0.3	12.4	0.14	14.7	0.14
硫酸イオン	mg / L	28.5	0.01	22.6	0.01	13.3	0.01
溶性シリカ	mg / L	6	6	16	15	38	36
ランゲリア指数 ^{†1,2)}	—	-0.41	0.51	-0.22	0.45	0.04	0.23
ラーソン指数 ^{†3)}	—	1.78	0.00340	0.774	0.00208	0.480	0.00189
SS 比 ^{†4)}	—	3.0	0.00042	0.88	0.0010	0.22	0.00017

注^{†1)} 炭酸カルシウムが飽和する pH である pHs と実際の pH の差から求められる腐食指数, pH-pHs
^{†2)} pHs の算出にあたり、温度は 25℃を用いた。
^{†3)} 炭酸水素イオンと塩化物イオンおよび硫酸イオンのモル濃度で求められる腐食指数, $\{ ([Cl^-] + 2[SO_4^{2-}]) / [HCO_3^-] \}$
^{†4)} 溶性シリカと硫酸イオンのモル濃度で求められる腐食指数, $([SO_4^{2-}] / [SiO_2])$

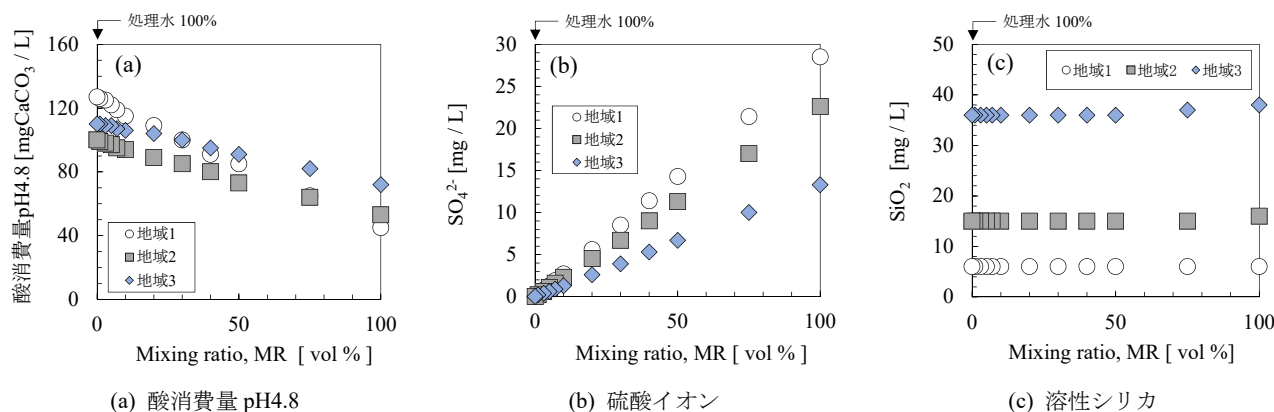


図-2 混合割合(MR)と水質成分の濃度の関係

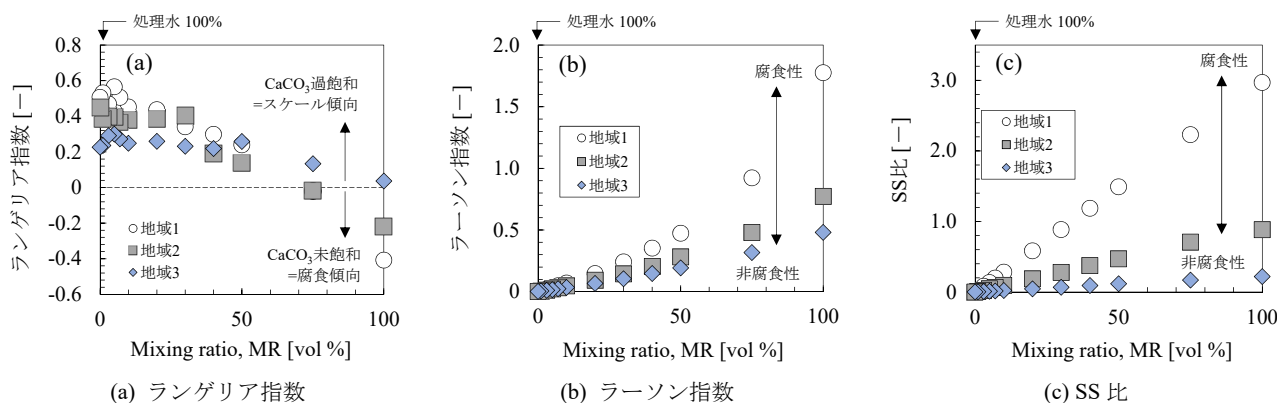


図-3 混合割合(MR)と腐食指数の関係

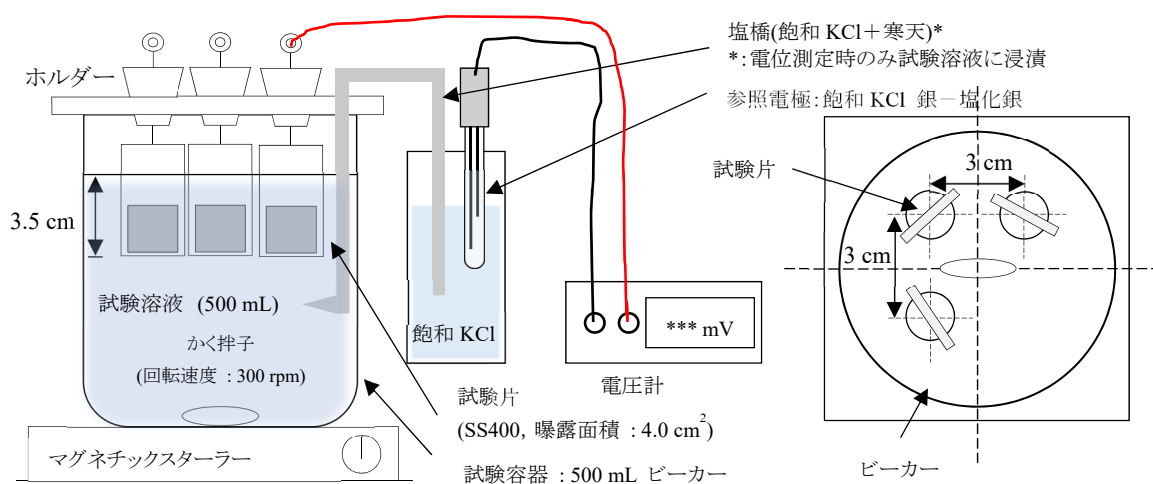


図-4 実験装置の模式図

図-2 より、硫酸イオンなどの腐食促進成分は MR が大きいほど高濃度であり、腐食抑制成分である酸消費量 pH4.8 は、MR が小さいほど高濃度であることがわかる(図-2 (a), (b))。一方、溶性シリカといったアニオン交換処理の影響を受けない水質項目の値は MR に関係なくほぼ一定であることがわかる(図-2 (c))。また、図-3 より、MR が大きくなるとランゲリア指数は正から負に転じ、ラーソン指数、SS 比の値は大きくなるがわかる。

よって、MR が大きくなるに伴って、試験溶液の腐食性は高くなる。

1.2 試験片の作製と前処理および後処理

一般構造用圧延鋼材 SS400 (50 mm, 25 mm, 3 mm, 表面 400 番研磨仕上げ) を供試材にした。試験溶液中における金属の露出面積は 4.0 cm² (2.0 cm × 2.0 cm) とした。供試材をエタノールおよびアセトンで洗浄後、ドライヤーで乾燥した。その後、重量を測定し、露出箇所以外を耐薬

品性粘着テープで被覆した。続いて、金属と粘着テープの境界部のすきまで生じる腐食を防止するため、境界部をエナメル樹脂で塗装した。試験後、粘着テープおよびエナメル樹脂を取り外し、化学的洗浄によって腐食生成物を除去した。腐食生成物の除去方法は、JIS K 0100-1990⁷⁾を参考にし、7%塩酸に0.5%の腐食抑制剤(酸洗浄用腐食抑制剤)を加えた溶液中に5分間浸漬した。

1.3 浸せき試験

500 mL の試験溶液に試験片を720時間浸せきした。実験装置の模式図を図-4に示す。温度は25℃とし、試験溶液を大気開放下で常時緩やかにかく拌した(かく拌子の回転速度:300 rpm)。腐食現象は様々な影響に対して鋭敏に応答して結果がばらつくため、各溶液中に3枚の試験片を浸せきした。比液量は、多くの規格で推奨されている20 mL/cm²以上を満足する約40 mL/cm²である。

1.4 測定方法

(1) 表面状態

試験終了時および化学的洗浄後に、デジタルマイクロスコープ(KH-8700, HIROX 製)で試験片表面を観察した。

(2) 平均腐食速度 v_w

腐食生成物をすべて除去後、試験片の重量を測定し、腐食減少量を求めた。腐食生成物の除去に用いた酸は、素地金属をわずかに溶解させる。その溶解量が腐食量に含まれないようにするため、新品の試験片に対して化学的洗浄を行い、その重量減少量を測定した。その値を差し引いて、腐食試験により生じた重量減少量とした。得られた重量減少量を、平均腐食速度 v_w [mm/年]に換算した。

(3) 腐食電位 E_{corr}

浸せきした炭素鋼の腐食電位 E_{corr} を測定した。入力インピーダンスが1 GΩ以上の電圧計、先端部が約0.5 mm φのガラス製ルギン管の内部にKCl飽和溶液を寒天で固めて充填した塩橋、内部液がKCl飽和溶液のAg / AgCl参照電極(SSE)を用いた。塩橋から溶出するCl⁻が試験結果に与える影響を抑制するため、電位測定時の数秒間のみルギン管を試験溶液に浸し、断続的に電位を測定した。なお、この方法によるCl⁻の溶出量は、概ね0.5mg/L未満であった。

2. 非処理水とその処理水を混合した溶液中における腐食挙動

2.1 試験終了時における表面状態

化学的洗浄後の試験片の表面状態を図-5に示す。MRが低いと、いずれの溶液でも腐食による顕著な減肉が認められず、金属光沢が広範囲で残存していた。そのMRは、地域1で10以下、地域2で20以下、地域3でMR

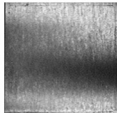
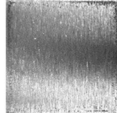
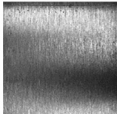
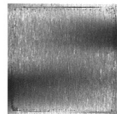
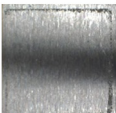
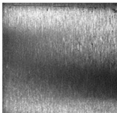
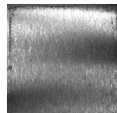
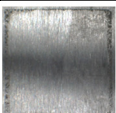
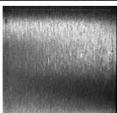
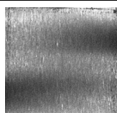
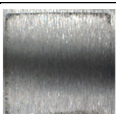
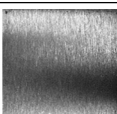
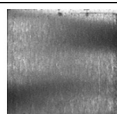
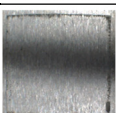
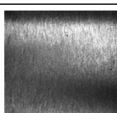
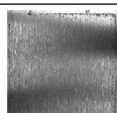
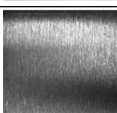
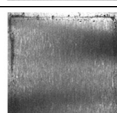
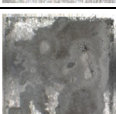
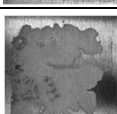
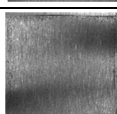
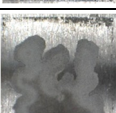
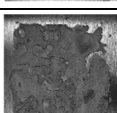
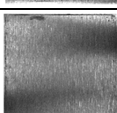
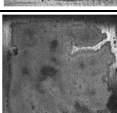
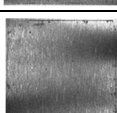
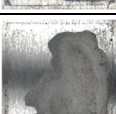
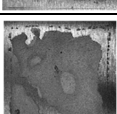
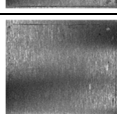
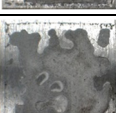
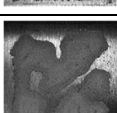
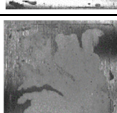
MR	地域 1	地域 2	地域 3
0			
1			
3			
5			
7			
10			
20			
30			
40			
50			
75			
100			

図-5 試験終了後の試験片の表面状態
(化学的洗浄後、炭素鋼、試験期間:720時間)

が75以下であった。混合溶液の作製に用いた非処理水とその処理水の水質により、腐食が抑制されるMRが異なった。

2.2 平均腐食速度 v_w

重量減少量より求めた平均腐食速度 v_w を図-6 に示す。MR=100 では、地域 1 で v_w が最も大きく、地域 3 が最も小さい。一方、MR が小さい範囲では、いずれの試験溶液でも v_w はほぼゼロであった。そして、MR が増加すると、ある値から腐食速度が急激に大きくなった。その MR は、地域 1 で 20 以上、地域 2 で 30 以上であった。地域 3 では、MR が 75 まで腐食速度はほぼゼロであり、MR=100 のみで腐食が発生した。この結果より、処理水は 10%~75% の非処理水に相当する腐食促進イオンが混入しても、炭素鋼の腐食を抑制できるものといえる。さらに、その許容割合は、非処理水とその処理水の水質によって異なり、非処理水(MR=100)の腐食性が高いほど、より小さくなる傾向にあった。なお、腐食速度が急激に大きくなる MR は、表面状態(図-5)で、顕著な減肉が認められた MR と一致した。

2.3 腐食電位の時間変化

それぞれの試験溶液中における腐食電位の時間変化を図-7 に示す。浸せき直後の腐食電位 E_{corr} は、試験溶液に寄らず約 -200 mV vs. SSE であった。時間経過に伴って E_{corr} が変化し、その挙動は試験溶液で異なった。それぞれの試験溶液中における E_{corr} の挙動を、変化の方向で整理すると、低下または上昇のいずれかに二極化するという特徴が得られた。

2.4 腐食速度と電位挙動の関係の整理

それぞれの試験溶液中における化学的洗浄後の表面状態と v_w から、腐食状況を非腐食(○)と腐食(×)の2つに分類した。続いて、 E_{corr} の変化を上昇(↗)と低下(↘)のいずれかに分けて、腐食状況との関係を整理すると、表-2 が得られた。電位の上昇(↗)と非腐食(○)、電位の低下(↘)と腐食(×)は対応した。これは、処理水と非処理水を混合した溶液の腐食性を、 E_{corr} の挙動のみで判定できることを示している。さらに、試験終了時の E_{corr} と v_w の関係は、図-8 の通りであった。試験終了時の E_{corr} が -650~-450 mV vs. SSE では v_w が大きく、 E_{corr} が十分に高く、-200~100 mV vs. SSE では v_w はほぼゼロであった。この関係によれば、腐食性を調べたい溶液中における炭素鋼の電位の値のみから腐食状況を推定できることになる。

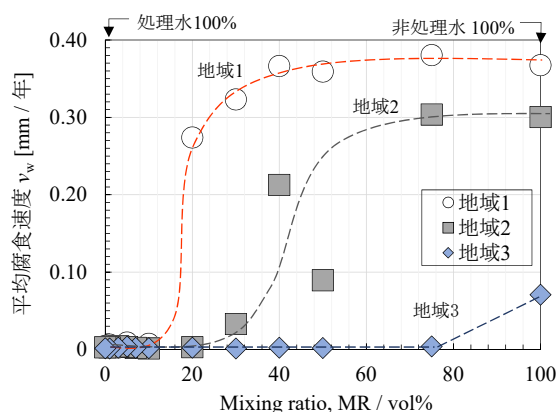
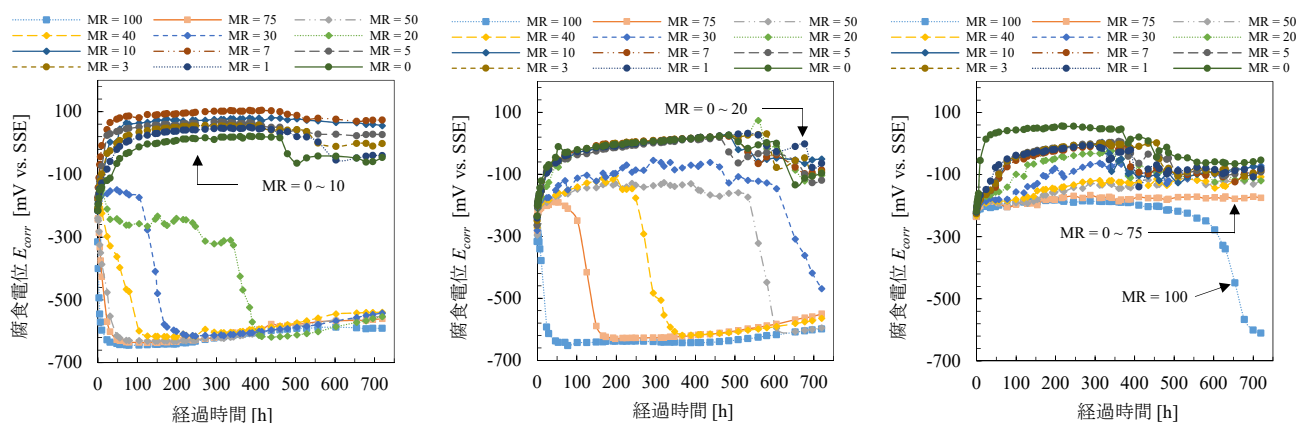


図-6 非処理水と処理水の混合溶液中における炭素鋼の腐食速度 (SS400, 25°C, 4cm², 720 時間, かく拌あり)



(a) 地域 1 の混合溶液

(b) 地域 2 の混合溶液

(c) 地域 3 の混合溶液

図-7 非処理水とその処理水を混合した溶液中における炭素鋼の腐食電位の時間変化

表-2 非処理水とその処理水を混合した溶液中で炭素鋼に生じた腐食状況と腐食電位挙動の関係

MR	100	75	50	40	30	20	10	7	5	3	1	0
地域 1	↘ ×	↘ ×	↘ ×	↘ ×	↘ ×	↘ ×	↗ ○	↗ ○	↗ ○	↗ ○	↗ ○	↗ ○
地域 2	↘ ×	↘ ×	↘ ×	↘ ×	↘ ×	↗ ○	↗ ○	↗ ○	↗ ○	↗ ○	↗ ○	↗ ○
地域 3	↘ ×	↗ ○	↗ ○	↗ ○	↗ ○	↗ ○	↗ ○	↗ ○	↗ ○	↗ ○	↗ ○	↗ ○

凡例 : ↘ = 腐食電位が低下, ↗ = 腐食電位が上昇, ○ = 非腐食, × = 腐食

電位が上昇して保持される溶液中では、前報²⁾で述べたように、処理水の炭素鋼に対する強力な腐食抑制作用の本質である不動態皮膜の安定化が生じていると考えられる。これは、大気中で生成した炭素鋼表面の不動態皮膜⁸⁾($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$)が水和して安定化^{9,10)}することによって考えられる。一方、電位が低下した溶液の水質は不動態皮膜の安定化に不十分であり、時間経過とともに不動態皮膜が破壊され、腐食が進行したと考えられる。

3. 炭素鋼の不動態が維持される水質条件

3.1 v_w と水質成分濃度の関係に基づく検討

試験溶液の酸消費量 pH4.8、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度の値と v_w の関係を図-9 に、腐食速度が著しく小さな値が得られた試験溶液の酸消費量 pH4.8、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度の範囲を表-3 に示す。硫酸イオンについてみると、地域1では5.6、地域2では6.7以下で腐食が抑制された。一方で、地域3では10.0以下で腐食が抑制された。このように、腐食が生じない

範囲が大きく異なった。塩化物イオンも、硫酸イオンと同様の傾向にあった。これは、アニオン交換処理による影響を受けない水質成分、例えば溶性シリカなどが腐食抑制に影響を与えていることを示している。すなわち、1つの水質成分の濃度のみから、混合水の腐食性を評価することは困難であると考ええる。よって、複合的な要因を考慮できる腐食性評価指標がより適していると考ええる。

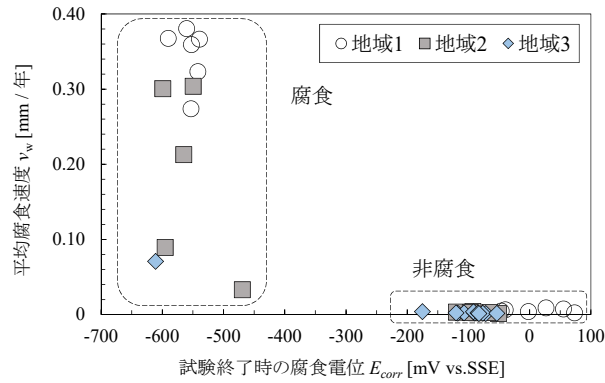


図-8 試験終了時の腐食電位と平均腐食速度の関係

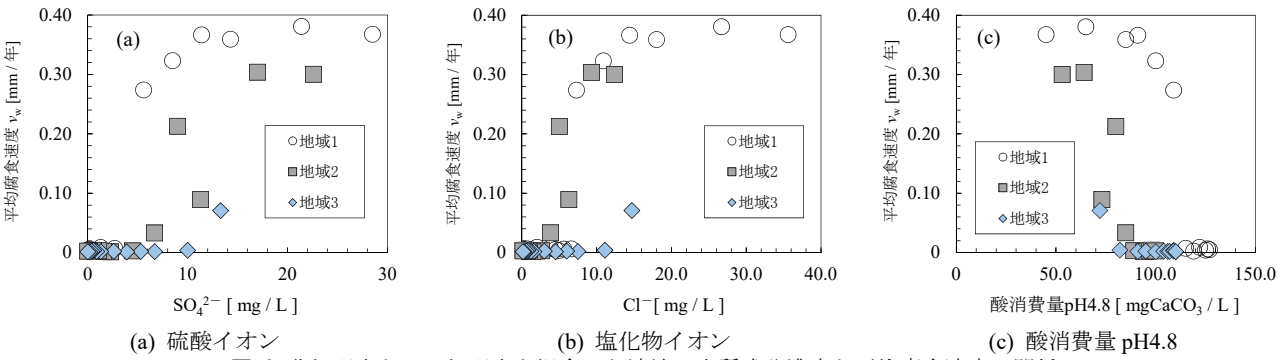


図-9 非処理水とその処理水を混合した溶液の水質成分濃度と平均腐食速度の関係

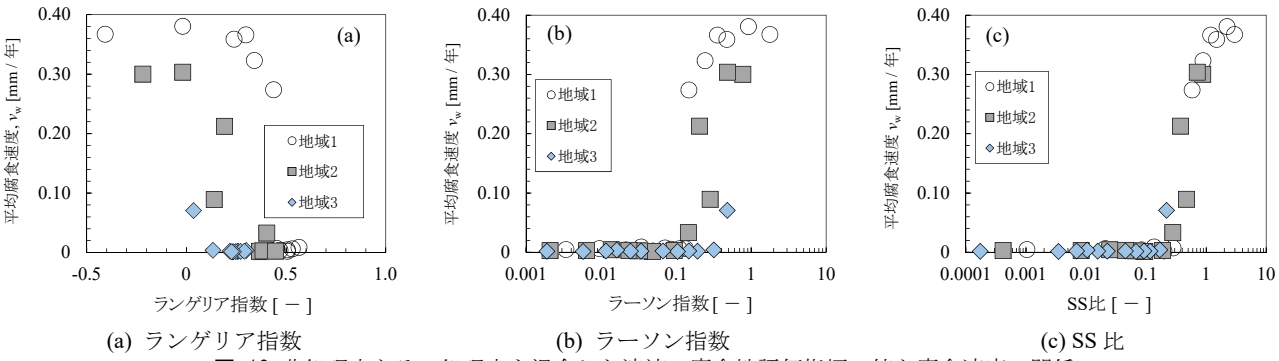


図-10 非処理水とその処理水を混合した溶液の腐食性評価指標の値と腐食速度の関係

表-3 炭素鋼の腐食が抑制された混合水の水質成分濃度

水質項目	SO_4^{2-}	Cl^-	酸消費量 pH4.8
地域 1	< 5.6	< 7.3	109<
地域 2	< 6.7	< 3.8	85<
地域 3	< 10.0	< 11.1	82<

表-4 炭素鋼の腐食が抑制された混合水の腐食性評価指標の値

評価指標	ランゲリア指数	ラーソン指数	SS 比
地域 1	> 0.453	< 0.071	< 0.232
地域 2	> 0.384	< 0.094	< 0.188
地域 3	> 0.133	< 0.318	< 0.168

3.2 v_w と腐食性評価指標の関係に基づいた検討

それぞれの試験溶液の腐食性評価指標の値と v_w の関係を図-10 に、腐食速度が著しく小さい値が得られた試験溶液のランゲリア指数、ラーソン指数、SS 比の範囲を表-4 に示す。ランゲリア指数では、正の範囲でも、高い腐食速度が得られた(図-10 (a))。一般的にランゲリア指数が正の場合は、 CaCO_3 の皮膜形成により腐食が抑制されるといわれている³⁾。しかしながら、正の値でも腐食が発生し、地域により腐食速度が異なった。これは、ランゲリア指数が腐食促進イオンの影響を考慮していない指標であることに起因する⁸⁾。

ラーソン指数および SS 比(図-10 (b), (c))では、従来の知見^{5,6)}と一致し、その値が小さいほど腐食が抑制される傾向にあった。ラーソン指数では、地域 1 で 0.071、地域 2 で 0.094 以下において、腐食が生じなかった。地域 3 では 0.318 で腐食が抑制され、その許容値は著しく大きい。これは、ラーソン指数が SiO_2 の影響を考慮しておらず、地域 3 の非処理水および処理水中の SiO_2 濃度が大きいことに起因すると考える。しかし、地域 1 と地域 2 で腐食が抑制されるラーソン指数の値が近いことは、 SiO_2 濃度が小さい溶液では、ラーソン指数による評価が有効であることを示していると考ええる。

SS 比では、腐食が抑制される条件は 0.168～0.232 であり、ラーソン指数と比較して、その範囲が小さい。これは、SS 比では、ラーソン指数に考慮されていない SiO_2 の影響を反映していることによると考える。

上述の結果から、ラーソン指数と SS 比の両者を用いて、腐食が抑制される水質条件を検討した。腐食速度が著しく小さい値が得られたラーソン指数、SS 比の範囲(表-4)から、それぞれの最も小さな値を腐食抑制に必要な条件とすると、ラーソン指数 ≤ 0.071 かつ SS 比 ≤ 0.168 が得られる。この値は、3 地域の混合水の結果を複合的に考慮した結果である。よって、前述の水質条件を満たす処理水であれば、腐食が抑制されると考える。

4. 腐食と非腐食の境界条件

炭素鋼に腐食が生じる水溶液では、浸漬後の電位は時間経過に伴って低下し、試験終了時は $-650 \sim -400$ mV vs.SSE で安定となった。その溶液の水質範囲をラーソン指数と SS 比によって整理すると、ラーソン指数 ≥ 0.071 かつ SS 比 ≥ 0.168 が得られた。一方で、炭素鋼に腐食が生じた水溶液では、浸漬後に電位が時間経過に伴って増加し、試験終了時には、 $-200 \sim 100$ mV vs.SSE で安定となった。この溶液の水質範囲を腐食した条件と同様に整理すると、ラーソン指数 ≤ 0.071 , SS 比 ≤ 0.168 となった。2.4 節で述べたように、電位が高くなり腐食が発生しなかった条件では、炭素鋼は不動態域にあり、表面は水和した Fe_2O_3 で形成されていると考えられる。対して、腐食した条件では、大気中で生成された酸化皮膜が破壊され、腐食が進行したと考えられる。これらの知見を集約すると、図-11 の通りとなる。腐食と非腐食の境界は、腐食性評価指標の値や、浸漬後の腐食電位挙動、一定時間経過後の電位で整理できることが示された。

ま と め

アニオン交換樹脂を用いて、水道水中に含まれる腐食促進イオンを腐食抑制イオンに置換したアニオン交換処理水中では、炭素鋼が不動態化し、腐食が抑制される。

本手法で用いるイオン交換法では、処理時の流速などの影響を受けて、イオン交換率が変わる。イオン交換率が低下すると、アニオン交換処理水中に含まれる腐食促進イオンの濃度は増加するが、この許容値は明らかではない。そこで、イオン交換率の低下を模擬するため、国内 3 地域で採取した水道水とそのアニオン交換処理水を任意の割合で混合した混合溶液を作製し、炭素鋼に対するその腐食性を 720 時間の腐食試験より評価した。表面状態の変化、腐食電位挙動、平均腐食速度、水質より、不動態皮膜が形成・維持される水質範囲と、その溶液の腐食性評価するための手法を検討したところ、次の知見を得た。

腐食状況	腐食	非腐食
腐食性評価指標の値	ラーソン指数 ≥ 0.071 、SS 比 ≥ 0.168	ラーソン指数 ≤ 0.071 、SS 比 ≤ 0.168
浸漬後の腐食電位挙動	時間経過に伴って低下	時間経過に伴って増加
一定時間経過後の電位	$-650 \sim -400$ mV vs.SSE	$-200 \sim 100$ mV vs.SSE
水溶液中における表面状態の変化	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow$ 不動態の破壊 	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 1.99\text{H}_2\text{O} \text{ or } \gamma\text{-Fe}_3\text{O}_4$ 

図-11 得られた知見より推察した非腐食と腐食の境界条件とそれに伴う表面状態の変化

- 1) イオン交換率が低下すると、腐食速度が急激に増加する。腐食性の高い水道水ほど、腐食抑制に必要な処理水の割合が大きい。すなわち、腐食性の低い水溶液を得るためには、高いイオン交換率が必要となる。
- 2) 処理水の腐食抑制作用が維持できる腐食促進イオンの許容値は、腐食促進イオンの濃度のみでは正確に決定できない。これは、アニオン交換処理の影響を受けない水質成分の作用によると考えられる。
- 3) ラーソン指数が 0.071 以下、SS 比が 0.168 以下の水溶液であれば、炭素鋼の不動態が維持され、腐食が抑制される。
- 4) イオン交換率が低下した処理水であっても、炭素鋼の浸せき直後の腐食電位挙動や、一定時間経過後の腐食電位の値から、その腐食性を評価・管理できる。

参 考 文 献

- 1) 中村勇二・山田育弘・松川安樹・岡崎慎司・朝倉祝治：建築設備用水配管システムの腐食対策（第 1 報）アニオン交換処理した水道水による炭素鋼の腐食抑制作用，空気調和・衛生工学会論文集，No297(2021-12)，pp57-66
- 2) 中村勇二・山田育弘・松川安樹・岡崎慎司・朝倉祝治：建築設備用水配管システムの腐食対策（第 2 報）腐食指数およびプルベダイアグラムに基づいたアニオン交換処理水の腐食抑制機構の推察，空気調和・衛生工学会論文集，No303(2022-6)，pp19-28
- 3) W. F. Langelier : THE ANALYTICAL CONTROL OF ANTI-CORROSION WATER TREATMENT, JAWWA, 28-10(1936), pp1500-1521
- 4) W. F. Langelier : Chemical Equilibria in Water Treatment, JAWWA, 38-2(1946), pp169-178
- 5) T. E. Larson and R. V. Skold: Laboratory studies Relating Mineral Quality of Water to Corrosion of Steel and Cast Iron , CORROSION, 14-6(1958-6), pp.285-288
- 6) 中村勇二・松川安樹・岡崎慎司・朝倉祝治：水道水環境における炭素鋼の腐食（Ⅰ）新しい水質指標を用いた腐食性評価方法，材料と環境，69-10(2020-10)，pp271-276
- 7) 日本産業規格，工業用水腐食性試験方法，JIS K0100(1990)
- 8) 永山政一：中性水溶液中における鉄の不動態皮膜の構造と役割，電気化学および工業物理化学，33-1(1965)，pp2-12
- 9) H.H.ユーリック・R.W.レヴィー著，松田清吾・松島巖訳：腐食反応とその制御(第 3 版)(1989)，産業図書株式会社，pp.28-29
- 10) Kiyokatsu kudo, Toshio Shibata, Go Okamoto and Norio Sato : Ellipsometric and radiotracer measurements of the passive oxide film on Fe in neutral solution, Corrosion Science, 8-11(1968-11), pp.809-814

Corrosion Countermeasure for Building Equipment in Water Piping System

Part3—Relation Between Corrosion Prevention Effects of Anion Exchange Treated Water and Ion Exchange Ratio

by Yuji NAKAMURA^{*1}, Ikuhiro YAMADA^{*1}, Yasuki MATSUKAWA^{*1},
Shinji OKAZAKI^{*2} and Shukuji ASAKURA^{*2*3}

Synopsis : The authors have published a series of papers on countermeasures against the corrosion of building equipment in water piping systems. In these previous papers (first and second), we showed that tap water treated with anion exchange resin drastically reduced corrosivity. In practice, carbon steel did not corrode for 720 h in the treated water. The time trajectory of corrosion potential versus pH on the Pourbaix diagram was analyzed. At the same time, the water qualities before and after corrosion tests were compared. The corrosion prevention mechanism was established based on these studies. We found that the passivity of carbon steel in treated water plays a key role in corrosion prevention. We also found that the corrosivity of treated water was influenced by the quality of the pumped up water and the conditions of the anion exchange processes. The relation

between these variables was studied. The criteria to provide negligible corrosivity by anion exchange treatment could successfully be determined. To express the completeness of anion exchange, the ion exchange ratio was introduced.

The corrosivity of the water mixture was evaluated by corrosion testing. When the ratio of treated water was sufficiently high, corrosion did not occur due to the presence of passivation film. When the ratio of untreated water was increased, corrosion occurred abruptly. The water quality required for the passivation of carbon steel was related to corrosion indexes such as the Larson-Skold index and SS ratio. The quality criteria to minimize corrosion were SS ratio $\leq$ 0.168 and Larson-Skold index $\leq$ 0.071.

The relation between the corrosion potential and corrosion rate for carbon steel was also studied using a water mixture.

^{*1} SHINRYO CORPORATION

^{*2} Yokohama National University

^{*3} Venture Academia Co., Ltd.