

無薬注型防食システムによる既設地域冷暖房施設の腐食対策 (第7報) アニオン交換処理による炭素鋼の腐食抑制効果に対する流速の影響

○山田 育弘 (新菱冷熱工業)
松川 安樹 (新菱冷熱工業)
佐藤 浩司 (新菱冷熱工業)
丸尾 敬仁 (東武エネルギー・マネジメント)

津波古 敦信 (新菱冷熱工業)
安保 奈々子 (新菱冷熱工業)
宮崎 久史 (新菱冷熱工業)
佐藤 智一 (東武エネルギー・マネジメント)

建築設備の長寿命化を実現するために、設備機器の腐食対策は重要である。筆者らは、冷温水系統で炭素鋼鋼管の腐食により不具合が発生している運用中の地域冷暖房施設において、防錆剤を使わずに腐食を抑制する対策を考案、設備に実装した。本対策では、アニオン交換樹脂を用いて循環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する処理を行った。対象施設の冷水および温水系統の循環水、約7,000 トンを1.5年かけて腐食しにくい水に改質した。腐食対策の効果を確認するため、各系統の試験片ホルダーに炭素鋼の試験片を設置し、アニオン交換処理前後に180日間の腐食試験を実施した。試験の結果、炭素鋼製部材の局部腐食が抑制されていることを確認した。しかし、重量減少量から求められる平均の腐食速度については、腐食抑制効果が確認できなかった。要因として、試験片設置環境が低流速(約0.1 m/s)であることが推察された。

本報(第7報)では、試験片廻りの流速を約1.0m/sとして腐食試験を実施した。その結果、平均の腐食速度は、アニオン交換処理前より小さいことが確認された。アニオン交換処理による腐食対策の有効性を改めて示すことができた。

はじめに

第5報¹⁾では、既設の地域冷暖房施設において、アニオン交換処理後の炭素鋼の腐食試験を実施し、アニオン交換処理により、局部腐食が抑制されることを確認した。しかし、全面腐食の指標である平均の腐食速度については、アニオン交換処理の効果を明確に確認することはできなかった。要因として、低流速(約0.07 m/s)の影響が考えられた。本報では、流速を約0.80 m/sに設定して腐食試験を実施し、炭素鋼の腐食抑制効果に対する流速の影響を確認した。

1. フィールド試験の内容と期間

試験の内容と期間を表-1に示す。今回は、試験流速を約0.80 m/sに設定し、アニオン交換処理後の腐食試験を行った。試験期間は、冷水・温水系統とも約6ヶ月間とした。

2. アニオン交換処理後の腐食試験

2.1 腐食モニタリング装置

アクリル管(内径20mm)内の流速を約0.80m/sに設定するため、流量を15 L/minに調整した。本報で使用した腐食モニタリング装置内試験片ホルダ廻りの外観を写真-1、腐食モニタリング装置の系統図を図-1、腐食モニタリング装置の主要機器の名称と仕様を表-2に示す。

表-1 フィールド試験の内容と期間

No.	内容	期間	報告
1	防食システム導入に向けた課題の抽出	2017年8月～ 2018年4月	第1報 ²⁾
2	抽出した課題に対する検証試験	2017年8月～ 2018年4月	第2報 ³⁾
3	アニオン交換処理前の腐食試験 試験流速：約0.07 m/s	2018年7～12月	第3報 ⁴⁾
4	循環水のアニオン交換処理	温水:2019年3月～ 2020年4月 冷水:2019年1月～ 2020年7月	第4報 ⁵⁾
5	アニオン交換処理後の腐食試験 試験流速：約0.07 m/s	温水:2020年4～10月 冷水:2020年7月～ 2021年1月	第5報 ¹⁾
6	維持管理改善と熱源機器効率向上の検証	2020年12月～2021年3月(温水系統のみ)	第6報 ⁶⁾
7	アニオン交換処理後の腐食試験 試験流速：約0.80 m/s	2021年9月～ 2022年3月	本報

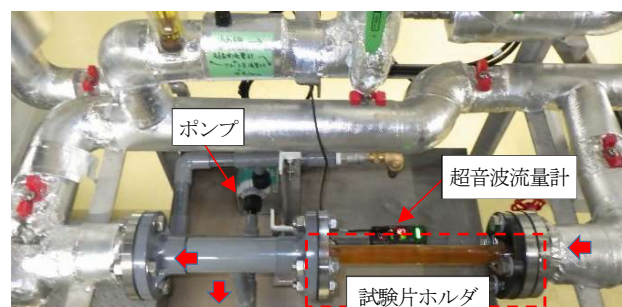
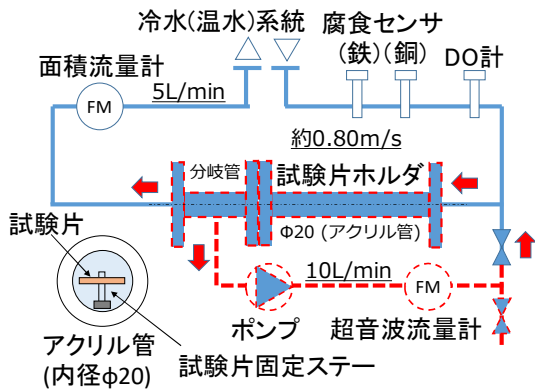


写真-1 腐食モニタリング装置内試験片ホルダ廻りの外観



※ 破線部は、第5報の腐食モニタリング装置より変更した箇所
図-1 腐食モニタリング装置の系統図

表-2 冷水・温水両系統に設置した腐食モニタリング装置の主要機器の名称と仕様

No.	名称	仕様
1	溶存酸素濃度計 (DO計)	HAMILTON 社製 Visi Water (DO VP120 型)
2	腐食センサ	COSASCO 社製 9030Plus LPR Instrument 用センサ 鉄 (K 03005)、銅 (C 11000)
3	試験片ホルダ	アクリル管 (φ20、308 mm) 試験片 (SS400) 15×30×2 mm 各3枚
4	ポンプ	イワキ社製 MD-15RM-N
5	超音波流量計	キーエンス社製 FD-Q10C
6	面積式流量計	日本フローセル社製 NSP-5 型

腐食試験中、循環水の溶存酸素濃度と鉄および銅の腐食速度をリアルタイムで計測し、中央監視装置にて1分ごとに記録した。

2.2 試験片

試験片および試験片ホルダの形状を図-2に示す。試験片 (SS400、15 mm×30 mm×2 mm) をエタノールとアセトンで脱脂洗浄後、浸せき試験に用いた。再現性を確認するため、各系統に3枚設置した。また、局部腐食を発生しやすくするために、試験片は地面と水平に設置した。

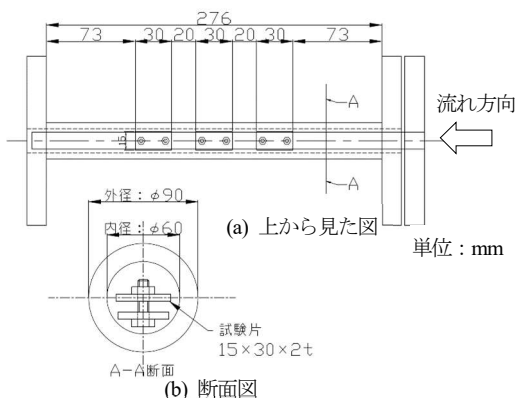


図-2 試験片ホルダへの試験片の設置状況

2.3 評価項目および方法

1) 試験片の外観と凹凸状態

腐食試験後の試験片の外観をデジタルカメラで撮影した。除錆後の試験片について、ワンショット 3D 形状測定機 [VR-3200: キーエンス(株)] により表面の凹凸状態を確認した。

2) 平均の腐食速度 (全面腐食を評価)

試験前後の試験片の重量減少量と浸せき期間より、平均の腐食速度を算出した。腐食生成物の除去には、7%塩酸 0.5%腐食抑制剤 (朝日化学工業製) を用いた。

3) 最大侵食深さ (局部腐食を評価)

除錆後の試験片について、ポイントマイクロゲージで残存肉厚を測定した。腐食試験前後の差より、最大侵食深さを求めた。

上記の項目について、第5報のアニオン交換処理後の腐食試験結果 (流速約 0.07 m/s) と比較した。

3. 試験結果および考察

3.1 試験期間中の温度・水質

試験期間中の温度と水質の範囲を表-3に示す。

表-3 試験期間中の温度と水質

項目	単位	冷水	温水
1. 温度	°C	7~12	32~43
2. 溶存酸素濃度	mg/L	0.07~0.49	0.05~0.97
3. 鉄の腐食速度	mm/年	6.3~11	51~165
4. pH (現地測定)	-	7.8~8.2	7.9~8.4
5. カルシウム硬度	mgCaCO ₃ /L	52~54	31~53
6. 塩化物イオン	mgCl/L	4.5~4.7	4.4~4.6
7. 硫酸イオン	mgSO ₄ ²⁻ /L	0.2~0.4	0.3~0.7
8. 炭酸水素イオン	mgHCO ₃ ⁻ /L	117~119	95~118

3.2 外観観察

試験終了後の試験片の観察結果を表-4に示す。比較として、第5報で示したアニオン交換処理後の腐食試験データ (試験流速: 約 0.07 m/s) も示す。除錆前後の外観について、大きな差は確認されなかった。

試験片表面の凹凸状態の測定結果を表-5に示す。表-4と同様、比較として、第5報で示したアニオン交換処理後の腐食試験データも示す。アニオン交換処理後の循環水中に設置した試験片は、試験流速の違いにかかわらず、均一腐食の様相を呈していた (固定用の穴付近は、評価対象外)。

表-4 腐食試験後の試験片の外観（除錆前後にデジタルカメラで撮影、試験期間約6ヶ月間、炭素鋼）

流速	冷水系統（アニオン交換処理後）		温水系統（アニオン交換処理後）	
	除錆前	除錆後	除錆前	除錆後
約0.07 m/s				
約0.80 m/s				

注：○内の固定用穴付近は評価対象外

表-5 試験片表面の凹凸状態の測定結果

（ワシヨット3D形状測定機[VR-3200：キーンズ株式会社]を用いて除錆後に高倍率モードで測定、試験期間約6ヶ月間、炭素鋼）

流速	冷水系統	温水系統
約0.07 m/s		
約0.80 m/s		

注：固定用穴付近は評価対象外

3.3 平均の腐食速度

平均の腐食速度の算出結果について、第5報で報告した試験結果（流速約0.07 m/sにおけるアニオン交換処理前後の腐食試験データ）と比較して図-3に示す。アニオン交換処理後の腐食速度は、冷水・温水とも試験流速の増加により、腐食速度は小さくなった。一般的な水道水環境

における炭素鋼の腐食速度は、約0.7 m/sで極大値を示すことが報告されている（図-4）。本試験結果より、アニオン交換処理した冷水・温水中では、これらとは異なる挙動を示した。炭素鋼表面の不動態化が0.8 m/sの流速付近でも生じることが推察される。

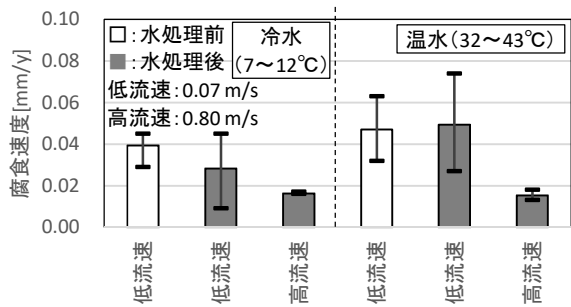


図-3 平均の腐食速度の比較

(試験片:SS400、DO:0.0~0.1 mg/L、試験期間:約180日
腐食試験前後の試験片の重量減少量より算出)

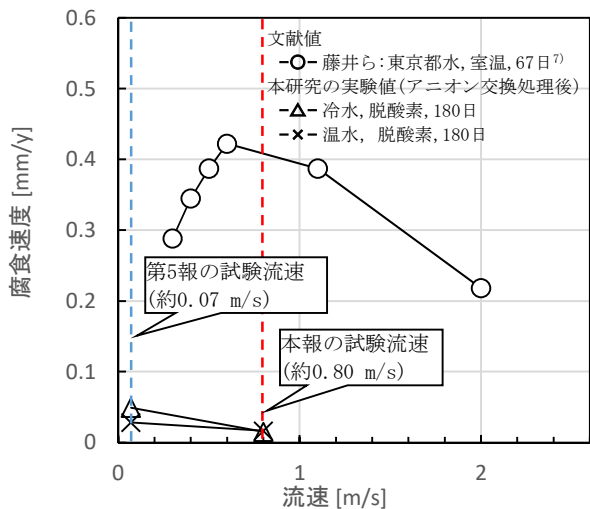


図-4 炭素鋼の腐食速度と流速の関係

3.4 最大侵食深さ

最大侵食深さの測定結果について、第5報で報告した試験流速約 0.07 m/s におけるアニオン交換処理前後の腐食試験データと比較して図-5に示す。アニオン交換処理後の冷水系統で流速の増加に伴い最大侵食深さは減少している一方、アニオン交換処理後の温水系統においては、最大侵食深さは流速の増加に伴い増加した。ただし、3.2

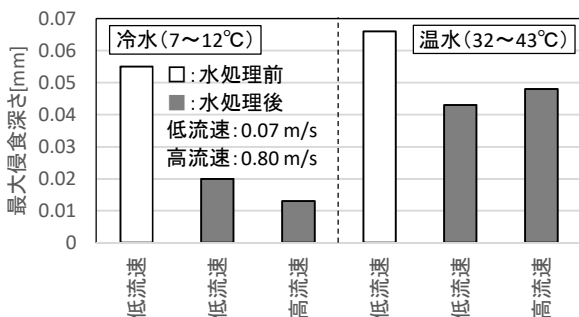


図-5 最大侵食深さの比較

(試験片:SS400、DO:0.0~0.1 mg/L、試験期間:約180日
ポイントマイクロゲージにより測定)

節で示したとおり、アニオン交換処理後の試験片表面は、均一腐食の様相を呈していることから、局部腐食により漏水が発生するリスクはないと考える。

4. まとめ

既設の地域冷暖房施設において、試験流速 0.80 m/s で炭素鋼の腐食試験を実施し、腐食抑制効果に対する流速の影響を確認した。試験結果より得た知見を次に示す。

- 1) アニオン交換処理後の水道水中では、流速の増加に伴い、炭素鋼の平均の腐食速度は減少する傾向を示す。
- 2) アニオン交換処理後の水道水における炭素鋼の最大侵食深さと流速の関係は、温度の影響により異なる傾向を示した。しかし、アニオン交換処理後の冷水・温水中では、炭素鋼は均一腐食の様相を呈することから、局部腐食による漏水のリスクは回避できることが推察される。

以上の結果より、既設配管における炭素鋼製部材の腐食リスクは、循環水をアニオン交換処理することにより低減されることが示された。

参考文献

- 1) 山田, 他: 無薬注型防食システムによる既設地域冷暖房施設の腐食対策 (第5報), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, B-52 (2021), pp.209-212
- 2) 丸尾, 他: 無薬注型防食システムによる既設地域冷暖房施設の腐食対策 (第1報), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, B-20 (2020), pp.81-84
- 3) 山田, 他: 無薬注型防食システムによる既設地域冷暖房施設の腐食対策 (第2報), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, B-21 (2020), p.85-88
- 4) 安保, 他: 無薬注型防食システムによる既設地域冷暖房施設の腐食対策 (第3報), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, B-22 (2020), p.89-92
- 5) 津波古, 他: 無薬注型防食システムによる既設地域冷暖房施設の腐食対策 (第4報), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, B-51 (2021), pp.205-208
- 6) 丸尾, 他: 無薬注型防食システムによる既設地域冷暖房施設の腐食対策 (第6報), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, B-53 (2021), pp.213-216
- 7) 藤井, 他: 炭素鋼管の腐食に及ぼす淡水水質及び水流条件の影響, 防食技術, Vo1.31 (1982), p.637-642