

空調・衛生配管の腐食とその対策

(一財)建築コスト管理システム研究所・新技術調査検討会

1 はじめに

空調・衛生配管は、普段、目にすることは少なく、あまり意識されることもないが、快適で便利な建物環境をつくるためには必要不可欠な設備である。使用上、問題がなくて当たり前であり、万が一漏水等のトラブルが発生した場合は、建物機能がストップしてしまうこともある。

配管の材質としては、塩ビ管のように樹脂が使用されることもあるが、主に鉄、銅、ステンレスといった金属が使用されている。しかし、金属は時間経過とともに酸素と結合し腐食していくのが自然である。腐食が進行し配管に穴が開き、漏水して建物に大きな被害をもたらす事故も数多く発生している。また、腐食対策を疎かにした結果、数年で配管の更新をせざるを得なくなることもある。

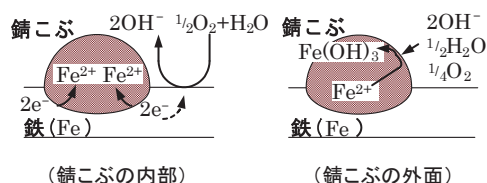
一方、ストック型社会が叫ばれる中、建物の長寿命化は重要な課題の一つである。適正な腐食対策を施すことで、配管寿命の延伸を図ることは、資源の有効活用のみならず、建物の長寿命化にも大きく貢献するものと考えられる。

空調・衛生配管の腐食について、これまで長い間多くの研究が行われ、様々な問題が解明されてきた。そして、効果的な対策が施されてきた結果、配管の寿命も大きく延びてきた。

本稿では、空調・衛生配管を代表する冷温水配管、給水配管、給湯配管によく見られる腐食について、その原因と対策、最近の課題等を紹介する。

2 腐食の原理

鉄などの金属は、水中に浸すと水中の酸素（溶存酸素）と反応して（腐食反応）、錆こぶを形成する（図1）。



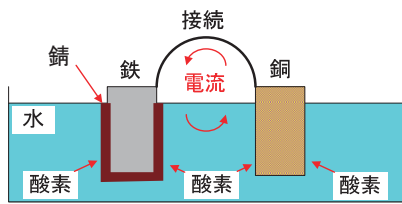
鉄原子が水中に溶け出して鉄イオン(Fe²⁺)となり、水酸化物イオン(OH⁻)、溶存酸素(O₂)と反応し、錆の元となる水酸化鉄(Fe(OH)₃)が形成される

図1 錆こぶ形成の模式図

図1は、鉄がイオンとなって水中に溶け出し、水中の溶存酸素と反応する状況を表したものである。この腐食反応は、溶存酸素の影響を大きく受けるが、その他にも残留塩素（消毒のために水道水に添加されている塩素）、pH、塩化物イオン(Cl⁻)、水温、流速等が関係している。

一方、空調・衛生配管において、配管システムは、1種類の金属で構成されることは少なく、配管、バルブ、熱交換器、水槽など、複数の金属で構成されるのが普通である。このことが空調・衛生配管に腐食をもたらす大きな要因となっている。

金属を水に浸すと金属の種類毎に異なる電位を示し、水に浸した2種類の金属を接続すると、電位の高い金属から低い金属に電流が流れ、電位の低い金属が水中に溶け出して腐食が進行する（異種金属接触腐食）（図2）。



銅(電位:高)と鉄(電位:低)を水中に浸し、接続すると電位の低い鉄が腐食する

図2 異種金属接触腐食の概念図

写真1はポリ粉体ライニング鋼管と青銅製バルブを直に接続した部分の断面であり、図3は腐食の状況を模式化したものである。ポリ粉体ライニング鋼管の管端部で電位の低い鉄が腐食している。

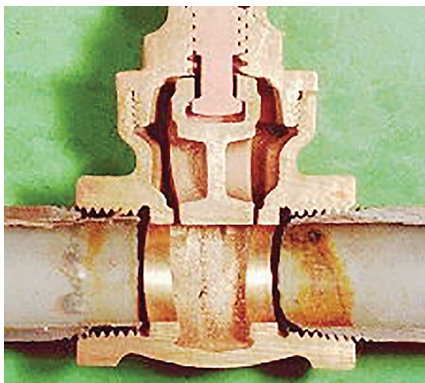


写真1 異種金属接触腐食 (ポリ粉体ライニング鋼管と青銅製バルブ)

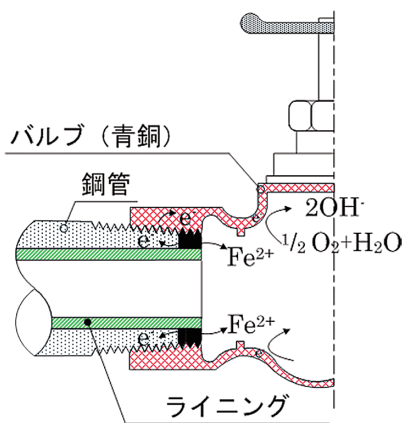


図3 腐食状況の模式図

この異種金属接触腐食は、2種類の金属の面積比に関係しており、電位の高い金属に対して低い金属の面積が小さいほど腐食の進行が速い。写真1の場合、バルブ内面(青銅)の面積に対してポリ粉体ライニング鋼管管端部の鉄の面積が小さい

ため、腐食が速く進行して、短期間で配管が脱落する危険性がある。

この異種金属接触腐食を防ぐためには、鉄と青銅が接触しないよう、異種金属接続用継手という継手を介して、鋼管とバルブを接続する必要がある。

3 空調配管の腐食

空調配管には、冷温水配管、冷却水配管、ドレン配管等があるが、管材としては主に配管用炭素鋼管 (SGP (白)) が使用されている。代表的な例として冷温水配管の腐食を紹介する。

冷温水配管のシステムには、配管内の水が大気に開放されていない密閉系と蓄熱槽等で大気に開放されている開放系がある (図4)。

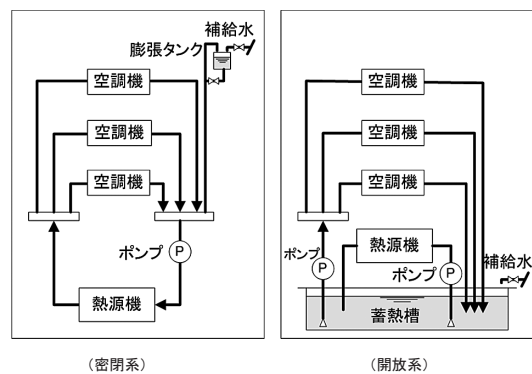


図4 冷温水配管のシステム

3.1 密閉系配管システム

管内の水が空気に触れないため、腐食を促進する溶存酸素が供給されない。したがって、腐食があまり進行しないシステムである。

しかし、ポンプの軸封部分(漏水を防ぐために回転軸をシールしている部分)からの漏水が多い場合など、システム内に補給される水の量が多くなると、補給水とともに溶存酸素も供給され、腐食が進行する危険性が高くなる。また、密閉系システムでは、温度変化による冷温水の体積変化を吸収するため、膨張タンクが設置されるが、配管への接続位置によっては、配管内に負圧の部分が生じて空気を吸い込む危険がある。事前に管内の

圧力分布と接続位置を確認する必要がある。

図5は、密閉系配管システムにおいて、配管の腐食速度を調査したものである。度数は事例の数、累積密度は対応する腐食速度以下の事例の割合を示している。腐食速度を0.07mm/年と仮定すると、呼び径20の鋼管のネジ部肉厚が1.25mmであることから、18年程度の寿命が推測される。しかし、補給水量が多い場合や24時間運転の場合は、腐食速度が速くなるため、配管の寿命は短くなることが予想される。

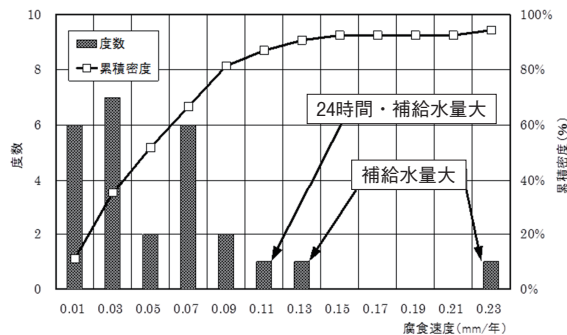


図5 密閉系配管システムの腐食速度

3.2 開放系配管システム

蓄熱槽等の水面で空中の酸素が溶解するため、水中の溶存酸素濃度が高く、密閉系配管システムよりも腐食が進行しやすい。

図6は、開放系配管システムにおいて、配管の腐食速度を調査したものである。腐食速度を0.15mm/年と仮定すると、推測される寿命は8年程度となり、密閉系配管システムに比べてかなり短くなる。また、開放系配管システムにおいても、24時間運転の場合は腐食速度が速くなり、配管寿命は更に短くなる。

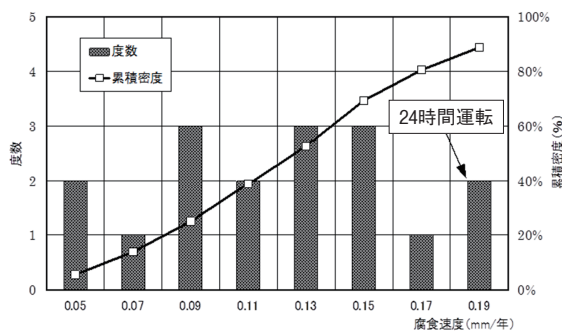


図6 開放系配管システムの腐食速度

したがって、開放系配管システムは腐食対策を積極的に行う必要がある。表1に開放系配管システムに対する腐食対策の例を示す。特に、配管に耐食材料を使用する場合は、バルブ等を含めて配管システム全体に耐食材料を使用する必要がある。

表1 開放系配管システムの腐食対策例

腐食対策	内容
耐食材料の使用	ステンレス鋼管や耐熱性硬質塩ビライニング鋼管などの耐食性材料を使用する
熱交換器の使用	蓄熱槽と配管システムの間熱交換器を設置し、配管システムを密閉系にする
防錆剤の使用	配管材料（鉄・亜鉛）用の防錆剤を使用する
大気との接触面積の低減	蓄熱槽にシートや多数のボールを浮かべることで、水と大気との接触面積を少なくする

4 衛生配管の腐食

衛生配管には、給水配管、給湯配管、排水配管等があるが、腐食が問題になるのは主に給水配管と給湯配管である。

4.1 給水配管

管材としては、50年以上前は水道用亜鉛めっき鋼管や配管用炭素鋼鋼管（SGP（白））といった亜鉛めっき鋼管が使用されていたが、現在は塩ビライニング鋼管、ポリ粉体ライニング鋼管、ステンレス鋼管が多く使用されている。

給水には一般的に水道水が利用されるが、水道水には溶存酸素が6～8mg/l程度、消毒のために残留塩素が0.4～1.0mg/l程度含まれており、水の使用に伴って常に供給されていることになる。

この溶存酸素と残留塩素の酸化作用で水道水に接している鉄が徐々に腐食するので、亜鉛めっき鋼管が使用されていた時代は、腐食した配管の鉄錆が水道水に混入し、赤水のトラブルが発生していた。そのため耐食性に優れたライニング鋼管やコーティング継手が使われるようになったが、ライニングがない管端部分や継手部分で腐食が問題

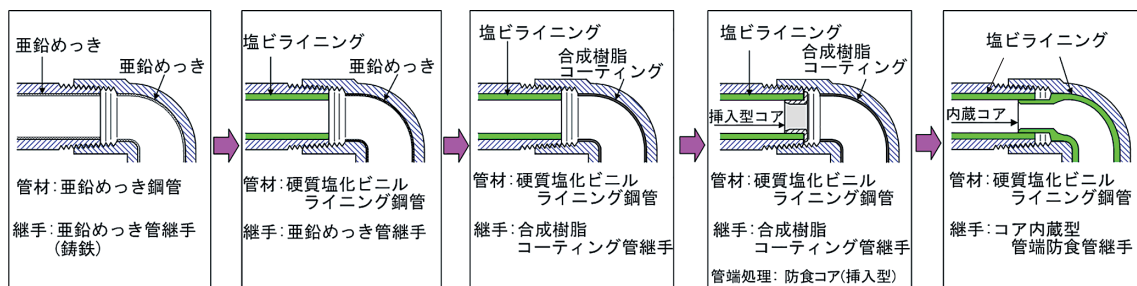


図7 給水配管と継手の変遷の状況

となり、赤水を防止することができなかった。その後、継手部分の改良が進められ、コア内蔵型の管端防食継手が使用されるようになり、赤水の発生はほぼ防止できるようになった。図7に給水配管と継手の変遷の状況を示す。

表2に給水配管等で発生する腐食の事例と対策の例を示す。

表2 給水配管等の腐食事例と対策

腐食事例	対策
亜鉛めっき鋼管やライニング鋼管管端部の腐食による赤水発生（古い既存施設）	配管更新・配管更生
ライニング鋼管とバルブ（量水器・減圧弁）との接続箇所での腐食が進行（異種金属接触腐食）	接続箇所にて異種金属接続用継手の使用
ステンレス製受水槽で低水位（SUS444部）で制御したことによりSUS444の気相部に腐食が進行	適正な水位（SUS329J4L部）で制御
ステンレス製受水槽で残留塩素により気相部分（SUS329J4L部）で赤錆発生	槽内換気、材質の変更（FRPなど）
給湯器や貯湯槽の補給水用のライニング鋼管で熱の影響によりライニングが剥離	給湯器や貯湯槽付近の補給水用配管に給湯配管と同じ管材を使用
ゴム製品（ガスケット、フレキシブル継手、バタフライバルブ等に使用）の劣化により黒水の発生	ゴム製品の交換、残留塩素濃度の管理

水道水に含まれる残留塩素は、気相部でガス化し（塩素ガス）、気相部に付着した水滴に溶解して、ステンレス表面を腐食させる。そのため、ステンレス製受水槽は、液相部にSUS444、気相部に耐食性を向上させたSUS329J4Lが使用されることが多い（図8）。

建物の使用水量が計画より大幅に少ない場合、水道水の水質保持のために受水槽の水位を下げて

運用されることがあるが、水位をSUS444の部分（液相部での使用が前提）まで下げると、SUS444の気相部露出部分で腐食が進行する（写真2）。そこで、受水槽の水位を耐食性の高いSUS329J4Lの部分に戻す必要がある。

また、耐食性を向上させたSUS329J4Lも完全ではなく、腐食が発生することがある。その場合は、気相部の換気や水槽材質の変更（FRP製等）等を検討する必要がある。

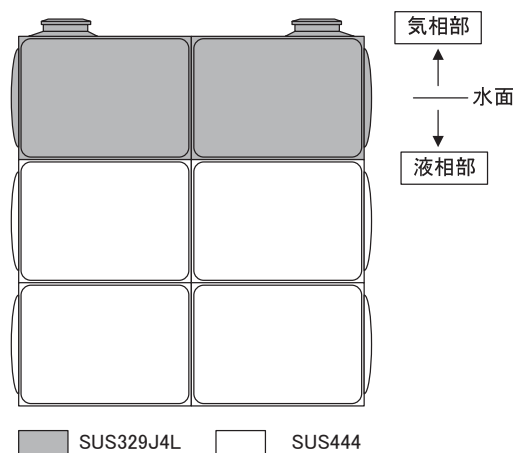


図8 ステンレス製受水槽の材質の例



写真2 ステンレス製受水槽の腐食（2年半使用）

4.2 給湯配管

管材としては、以前は銅管が普通に使われていたが、近年はステンレス鋼管が使われることが多い。

給湯配管も、給水配管同様、湯の使用に伴って水道水が補給されるため、溶存酸素と残留塩素が常に供給されている。更に温度が高いため、給湯配管は給水配管より腐食が進行しやすい。

表3に給湯配管等で発生する腐食の事例と対策の例を示す。

表3 給湯配管等の腐食事例と対策

腐食事例	対策
ステンレス鋼管 (SUS304) の溶接部に腐食発生	溶接品質の確保、給湯水質の事前確認
ステンレス鋼管 (SUS304) に漏水があり、漏水部外面に応力腐食割れが発生	配管更新、漏水部付近の保温材更新
ステンレス製貯湯槽 (SUS304L、SUS316L) の溶接部の近傍で腐食が発生	槽内面に電気防食を実施、槽外面に塗装を実施
耐熱性ライニング銅管管端部に腐食し、赤水や漏水が発生	配管更新、溶存酸素除去 (膜式脱気装置の採用)
給湯用銅管 (返湯管) に馬蹄形の損傷 (潰食) が発生	返湯管の流速低減、循環ポンプの間欠運転、気泡の除去、ポンプ揚程の低減
給湯用銅管に孔状の腐食 (孔食) が発生	配管材質の変更 (錫めっき銅管等)

給湯用のステンレス鋼管は主にSUS304が使用されているが、かつては溶接不良 (現場溶接) が原因で腐食が発生する事例が多かった (写真3及び写真4)。

これは、ステンレス鋼管を現場溶接すると、溶接不良となる場合が多く、その結果、数年で漏水が発生したためである。しかし、最近では給湯用ステンレス鋼管の工場溶接が一般化してきたことで、腐食事例は減少している。

また、ステンレス鋼管の溶接箇所や継手部から漏水が発生すると、漏水が周囲の保温材を濡らしてしまう。そして、保温材から水が蒸発することで漏水に含まれていた塩化物イオンが配管外面で

濃縮され、外面からの応力腐食割れ (配管にかかっている応力と腐食との相乗効果で生じる割れ) が発生する。この応力腐食割れは、連鎖的に発生して広範囲に及ぶことがある (写真5)。

図9に応力腐食割れの連鎖の状況を示す。漏水が発生した場合は、配管の修繕を行う際、濡れた保温材をすべて交換する必要がある。



写真3 ステンレス鋼管 (SUS304) 溶接部の腐食 (7年使用)



写真4 ステンレス鋼管 (SUS304) 溶接部の割れ (5年使用、溶接不良を引き起こしている)



写真5 ステンレス鋼管 (SUS304) の外面からの応力腐食割れ

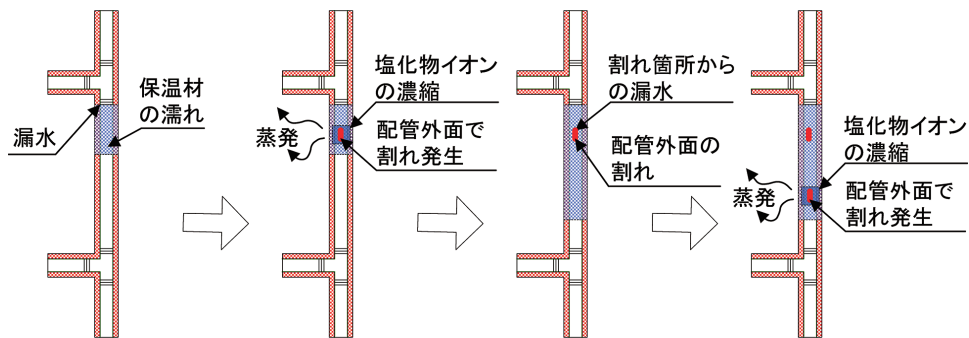


図9 給湯配管の応力腐食割れの連鎖

5 配管材料と配管工事費の関係

空調・衛生配管には、地下水、雨水、工業用水、温泉水など、水道水以外にも様々な水が利用される。溶存酸素や残留塩素等、配管の腐食が懸念される場合は、計画時に利用水の水質検査を行って適切な配管材料を選定するとともに、配管材料と配管工事費の関係について十分検討する必要がある。

図10、図11は、冷温水配管と給水配管の単価（直管、継手の材工価格に諸経費を加えた屋内配管の複合単価、2017年4月）を呼び径毎に比較したものである。

冷温水配管は、呼び径が大きくなると配管用炭素鋼鋼管（SGP（白））に対して、耐熱性ライニング鋼管（SGP-HVA）、ステンレス鋼管（SUS304）の単価が高くなる傾向がある。一方、給水配管は、呼び径100ではステンレス鋼管（SUS304）が高く、125では塩ビライニング鋼管（SGP-VA）、ポリ粉体ライニング鋼管（SGP-PA）が高くなるが、80以下は単価にあまり差がない状況にある。

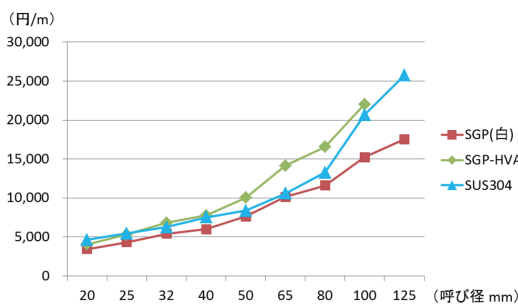


図10 冷温水配管の単価比較

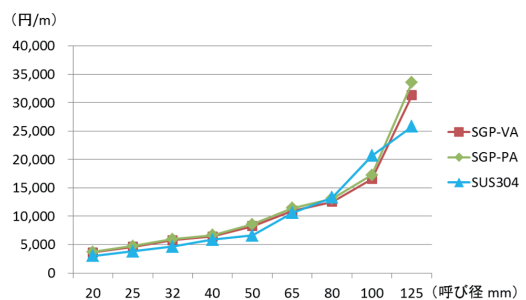


図11 給水配管の単価比較

また、図12、図13は、ある建物において冷温水配管と給水配管の配管工事費を呼び径毎に試算した例である。配管工事費を左軸、配管長さを右軸に表している。

冷温水配管については、配管長さは呼び径100：約400m、50：約200m、20：約80mであり、配管工事費は、合計値でSGP（白）：924万円、SGP-HVA：1,293万円、SUS304：1,186万円であった。SGP（白）に対して、SGP-HVA、SUS304はかなり割高な結果となった。

また、給水配管については、配管長さは呼び径20：約1,300m、25：約450m、50：約250mであり、配管工事費は、合計値でSGP-VA：1,834万円、SGP-PA：1,899万円、SUS304：1,677万円であった。価格の上ではSUS304が多少有利な結果となった。

ただし、以上の結果は一つの例であり、実際は、冷温水配管、給水配管とも、配管長さ、継手の状況等が建物によって大きく異なるため、計画建物に見合った条件で検討する必要がある。

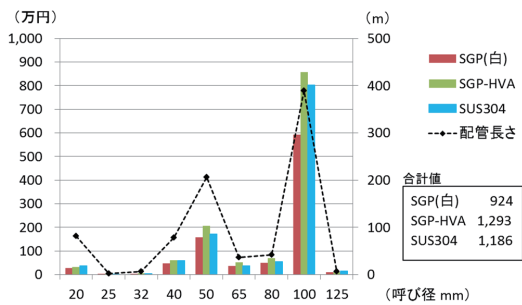


図12 冷温水配管の配管工事費の試算例

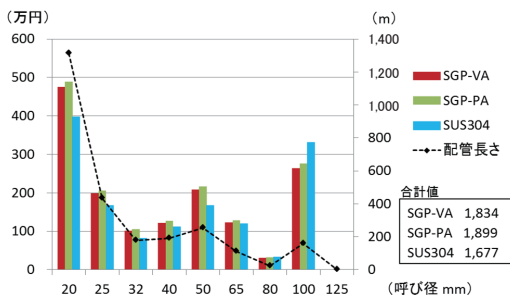


図13 給水配管の配管工事費の試算例

6 地下水のRO処理水¹とステンレス鋼管の腐食との関係

ステンレス鋼管は、耐食性に優れており、薄肉で軽量であることから、施工の容易さを考えると、価格面で塩ビライニング鋼管や銅管に対して有利になることが多い。そのため、近年は、給水配管や給湯配管に対して、ステンレス鋼管が広く使用されている。

一方、水道経費の削減、災害時におけるライフライン確保等の観点から、水道水に代えて地下水をRO膜（逆浸透膜）で浄化した水（地下水のRO処理水）を利用するケースが増えている。

しかし、給湯水に地下水のRO処理水を利用し、配管にステンレス鋼管を使用した場合、使用開始後から数年で漏水が発生する事故が多く報告されている。

事故例を写真6に示す。給湯補給水に地下水のRO処理水を使用した病院において、竣工後1年

で給湯配管（SUS304）が腐食し、漏水が発生した。

補給水の温度と水質は、以下のとおりであった。

- ・ 温度：70～80℃
- ・ 残留塩素濃度：0.25～0.4mg/l
- ・ pH：7.7
- ・ 酸消費量：66mg/l
- ・ 硫酸イオン濃度：17.1mg/l
- ・ 塩化物イオン濃度：75mg/l

腐食の原因としては、塩化物イオン濃度（Cl⁻（mg/l））が高いことが挙げられ、ステンレス協会の水質指針（図14）によると写真6のケースは表の太線枠内に相当しており、腐食が発生してもおかしくない状況にあった。また、RO処理水は、有機物がほとんど含まれていないことから塩素があまり消費されず、結果として、給湯水の残留塩素濃度が高くなって、ステンレス鋼管の腐食が進行しやすい。

給湯水に地下水のRO処理水を利用する場合、事前に水質を調査し、水質がステンレス鋼管に不適と考えられる場合は、ステンレス鋼管以外の配管材を検討することが望ましい。

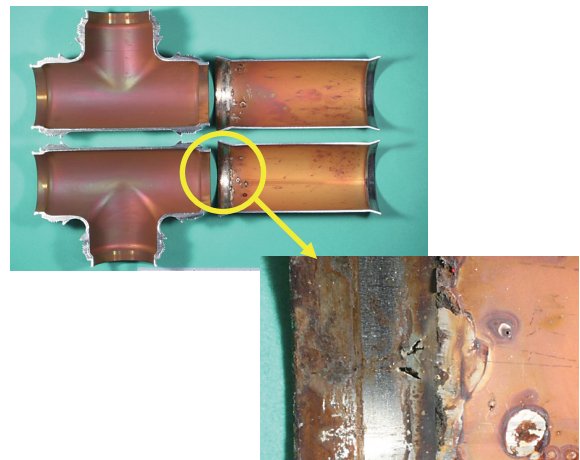


写真6 地下水のRO処理水が原因と考えられるステンレス鋼管の腐食

¹ 採取した水をRO膜（逆浸透膜）に通して浄化した水。有機物等の不純物が除去されるため、純水に近い状態をつくることもできる。

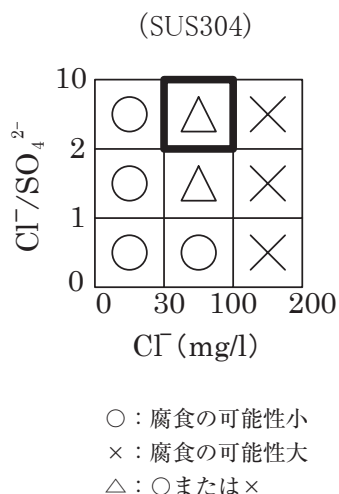


図14 ステンレス協会の水質指針（給湯・空調用）
 （酸消費量75mg/l未満の場合）

(参考文献)

- 1) 細谷清「冷温水配管系の防食」『冷凍』Vol.77, No.897, pp.42-46, (公社) 日本冷凍空調学会, 2002.7
- 2) 細谷清、高田康治「衛生設備の腐食事例と対策（その1：給水設備）」『建築設備士』41巻7号, pp.31-34, 建築設備技術者協会, 2009.7
- 3) 細谷清、高田康治「衛生設備の腐食事例と対策（その2：給湯設備）」『建築設備士』41巻8号, pp.28-31, 建築設備技術者協会, 2009.8
- 4) 高田康治、小倉利之、細谷清「ステンレス鋼の腐食事例の水質検討」『材料と環境2012講演集』pp.271-274 (社) 腐食防食協会

7 おわりに

空調・衛生配管の腐食について、冷温水配管、給水配管、給湯配管の腐食の事例と対策を紹介したが、空調・衛生配管には、蒸気配管、冷却水配管、污水配管、雑排水配管、消火配管など、他にも様々な配管が使用されている。

金属が腐食によって錆びるのは自然の摂理であり、避けることができないことではあるが、腐食対策の技術を向上させ、可能な限り、配管の寿命を延ばすことは、建物のライフサイクルにとって重要なことと考えられる。

しかしながら、配管の腐食については、配管材料、水質、温度、使用時間などが複雑に関係しており、腐食との因果関係に不明な点がまだ数多く残っている。

今後、腐食に関するデータが蓄積されるとともに研究が進められ、配管の長寿命化に有効な対策が増えていくことを期待したい。

なお、本調査をまとめるにあたり、三建設備工業(株)殿より資料提供等のご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。