

建築設備配管の腐食と水質に関する調査研究

(その1, その2)

喜 田 大 三
田 中 辰 明
宮 川 保 之
守 屋 正 裕

概 要

1. 建築設備配管の腐食防止の設計および管理のために、関東・関西の両地区において、約75の建物で採取した各種用水すなわち給水、給湯、冷温水および冷却水について、腐食に関する水質組成の分析および腐食性の指標である電解電流量の測定を行なった。その結果、各種用水のうち冷却水の水質が特に悪くて腐食性が大きいことが判明した。その主原因は、濃縮による塩類濃度の増大だけでなく、大気中の亜硫酸ガスによる硫酸の生成であると判定された。

2. 上述の水質調査の最中に、東京の某ビルにおいて、冷却水配管が局部的に激しく腐食し穴があくという予期しない事故が起きた。そこで、この腐食原因を調査し、その機構を次のように推定した。冷却水の水質は、大気中の亜硫酸ガスの溶け込みとその濃縮によって異常に悪化した。その結果、冷凍機の銅パイプの銅が溶け出し、この銅が溶接部およびサーモスタット部に沈着して、配管の鉄との間に局部電池が構成され、配管の鉄が異常に腐食したのである。

(その1) 各種用水の水質に関する調査(喜田・田中・宮川・守屋)

1. まえがき

近年、建築設備配管の腐食による損傷が多くなってきている。特に冷却水用の鉄製配管が、2～3年で激しい腐食のために使用に耐えなくなったという例もある。このような現状において、対策として各種防食剤がしばしば使用されているが、現在のところ、その適正な質、量ともに明確にされていない状態である。そして、設備配管の設計および設備管理上、このような腐食による配管の損傷の程度を予測し、適切な予防法を確立することが要望されている。しかるに、これまで水質に関する調査は全く行なわれていなかった。

一般に、設備配管の腐食に関する因子は内的因子と外的因子とに大別される。内的因子である材質の影響もさることながら、外的因子である管内を流れる水の組成の影響を無視することはできない。そこで、配管の腐食防止に関する研究を行なうには、まづ第一に実際に使われている各種用水の水質を把握することが必要になってくる。

ここでは、東京を中心とした関東地区および大阪を中心とした関西地区において、当社で施工した建物のうち約75の建物で採取した各種用水について、腐食に関する水質組成の分析および腐食の指標であるポテンシオスタットによる電解電流量の測定を行ない、ビル用水の種類別による水質組成および腐食傾向の違い

などについて調査検討した。

2. 試料水と実験法

2.1. 試料水

関東地区で25の、関西地区で50の建物について、給水、給湯、冷温水および冷却水の別に試料水を約300個採取した。

採取は1968年8月から1969年8月にわたって行なった。

2.2. 水質組成の分析

(1) pH ガラス電極 pH 計で測定する。

(2) 総硬度 (CaCO_3 , ppm) 水中に存在するカルシウムイオン (Ca^{2+})、マグネシウムイオン (Mg^{2+}) の含量を、EBT (エリオクロームブラック T) を指示薬として、EDTA (エチレンジアミン四酢酸) によるキレート滴定法によって求め、 CaCO_3 量に換算する。

(3) 硫酸イオン濃度 (SO_4^{2-} , ppm) クロム酸バリウム法により、 SO_4^{2-} と置換して遊離したクロム酸イオンを光電比色計で比色定量し、間接的に求める。

(4) 塩素イオン濃度 (Cl^- , ppm) Cl^- と反応した水銀イオンの過剰分が、ジフェニルカルバゾン指示薬と反応して紫色を呈することを利用した硝酸水銀滴定法によって定量する。

(5) Mアルカリ度 (CaCO_3 , ppm) メチルレッド、クレゾールグリーン混合指示薬を用いて希硫酸で滴定

し、そのアルカリ分を CaCO_3 に換算して表示する。

2.3. ポテンシostatによる電解電流量の測定

図-1 に島津製作所製ポテンシostat PS-2 型の装置の全容を示す。写真中央の本体に、自動記録装置(右側)、自動加電圧装置(左側)、およびセルが組合わされている。

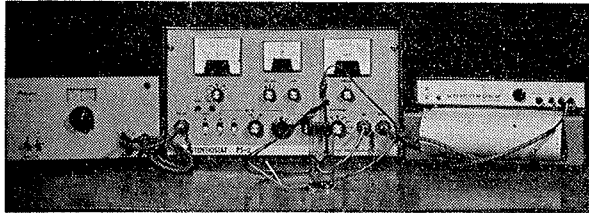


図-1 ポテンシostat

さて、採取時の液温にもどした試料水をセルに入れ、これを電解液として、 1cm^2 の炭素鋼の電極とその電解用対極(白金電極)と基準電極(飽和カロメル電極)を電解液の中に入れ、加電圧 -0.5V から $+0.5\text{V}$ までの炭素鋼の電解電流量の変化を自動記録させて、その分極曲線を得る。この分極曲線において 0V 時の電流量を読み取り、この電流量の値(mA/cm^2)から、その試料水の腐食性を比較する。この値が大きいほど腐食性が大きいと判断する。

なお、参考までに図-2 に希塩酸、希硫酸を電解液とした場合の電流量と実測腐食量との関係を示す。同図の関係式がそのままビル用水の場合に適用できるとは限らないので、本実験では、 0V 時の電流量で相対的に腐食傾向を比較することにする。

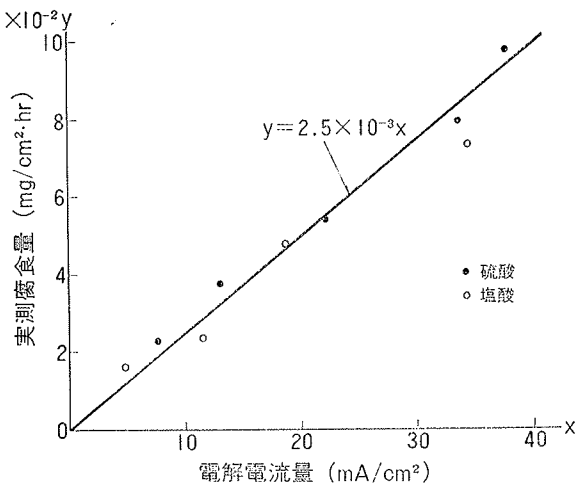


図-2 希酸液中における鉄の腐食量と電解電流量との関係

3. 実験結果と考察

3.1. 水質組成

関東地区の場合を表-1、図-3に、関西地区の場合を表-2、図-4にそれぞれ示す。

用水の種類	電解電流量 (mA/cm^2)	水質組成			
		PH	総硬度 (ppm)	SO_4^{2-} (ppm)	Cl (ppm)
給水	0 ~ 1.38 (0.18)	6.8~7.6 (7.1)	48~520 (106)	9~46 (26)	3~241 (27)
給湯	0 ~ 1.07 (0.31)	6.3~10.9 (7.4)	0~88 (61)	6~45 (29)	2~109 (26)
冷温水	0.01~1.55 (0.40)	6.5~10.3 (8.0)	62~280 (114)	3~140 (47)	8~393 (70)
冷却水	0 ~ 9.90 (1.67)	3.2~8.2 (6.8)	90~1352 (533)	2~935 (370)	4~1094 (149)

() 内は平均値

表-1 関東地区の水質分析結果

用水の種類	電解電流量 (mA/cm^2)	水質組成			
		PH	総硬度 (ppm)	SO_4^{2-} (ppm)	Cl (ppm)
給水	0 ~ 0.60 (0.15)	6.3~7.6 (7.1)	12~285 (51)	0~92 (21)	2~113 (16)
給湯	0.40~0.79 (0.42)	6.4~8.4 (7.3)	19~337 (72)	3~39 (30)	4~50 (17)
冷温水	0 ~ 2.01 (0.33)	6.6~7.8 (7.1)	5~172 (51)	12~126 (41)	4~65 (18)
冷却水	0 ~ 2.84 (0.59)	3.6~7.5 (6.6)	46~1003 (340)	10~655 (174)	8~295 (71)

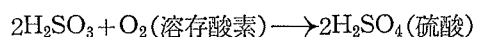
() 内は平均値

表-2 関西地区の水質分析結果

(1) pH 関東および関西の両地区における各種用水の水質分析結果のうち、pH の測定結果に着目すると、関東地区の給湯および冷温水の中に10を越えるアルカリ性のものが2、3あるが、これはアルカリ性の防食剤添加による影響と思われる。これらの例外を除けば、関東、関西の両地区ともに、冷却水を除く給水、給湯、冷温水のpHは6.3~7.8の範囲内であり、7付近に集中している。

一方、冷却水では、一部でアルカリ性の防食剤を使用しているにもかかわらず、全般的にpHは低い傾向を示し、関東地区ではpH約3を示すものが数個みられた。冷却水として使用する以前の水は給水と同じであるから、冷却水はそれを使用している間に汚染され、水質が悪化し、pHが低下したと判断できる。

さて、このような冷却水のpH低下は、後述の SO_4^{2-} の分析結果も考慮して、主として大気中の亜硫酸ガス(SO_2)によるのである。すなわち、冷却水がクーリングタワーで大気と接触し、熱を放出する際に、汚染された大気中に含有される亜硫酸ガスが冷却水中に溶け込み、次式のような反応により、強酸である硫酸が生成するのである。



次に、水のpHと配管の腐食性について考える。一

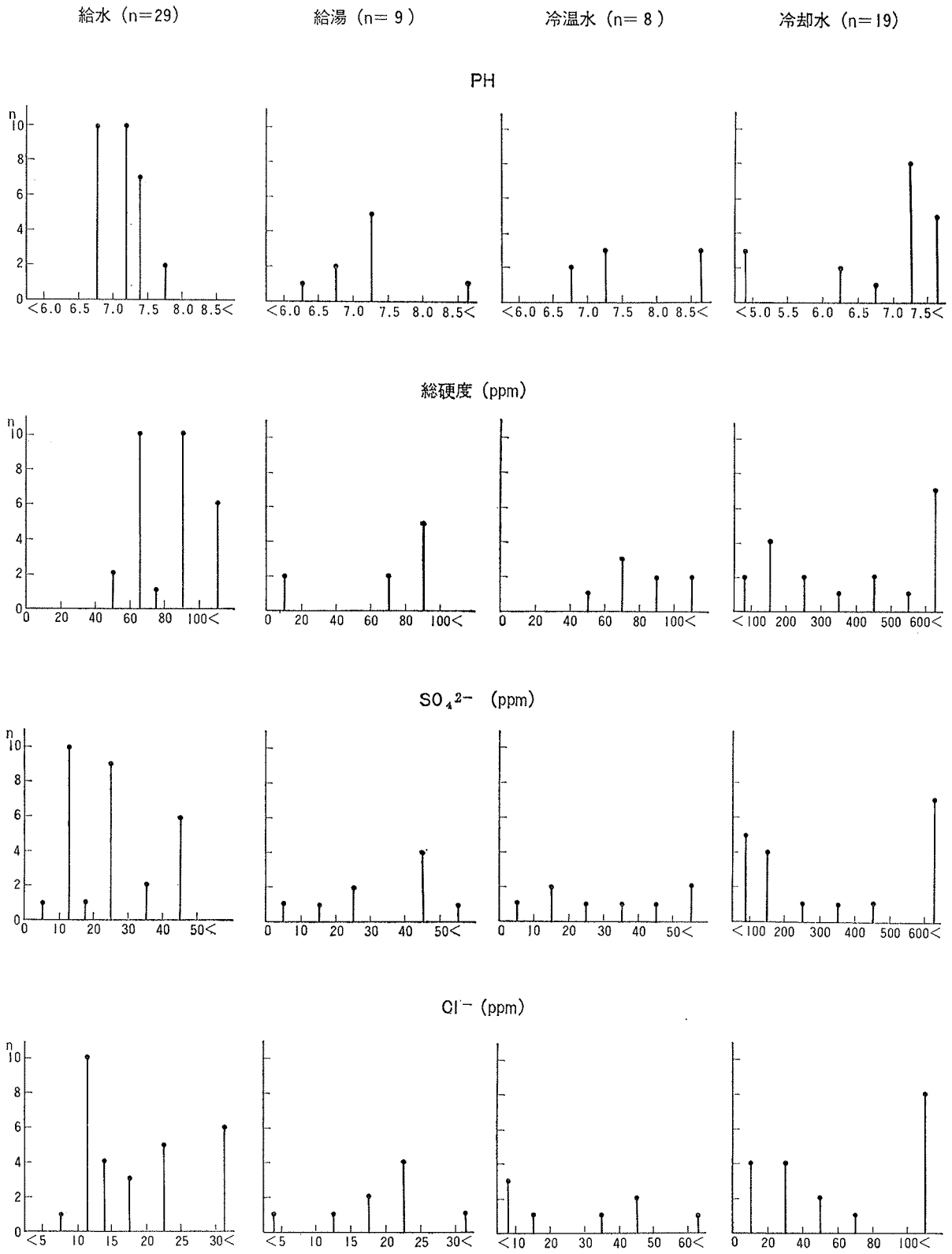


図-3 関東地区の水質分析結果

般に、pH が4以下では鉄は溶解するので、少なくとも pH 4 以下の用水の使用は極力さける必要がある。現に、水質分析の結果、pH 3 近い値を示した東京の某ビルの冷却水系統においては配管腐食事故が起きており、分析結果から明らかのように、冷却水の pH は

低下する傾向があるから注意する必要がある。

一方、pH 4 以上では鉄の腐食は溶存酸素、塩類濃度および水酸化鉄あるいはスケールなどの保護皮膜によって影響されるので、pH のみから判断することはできない。

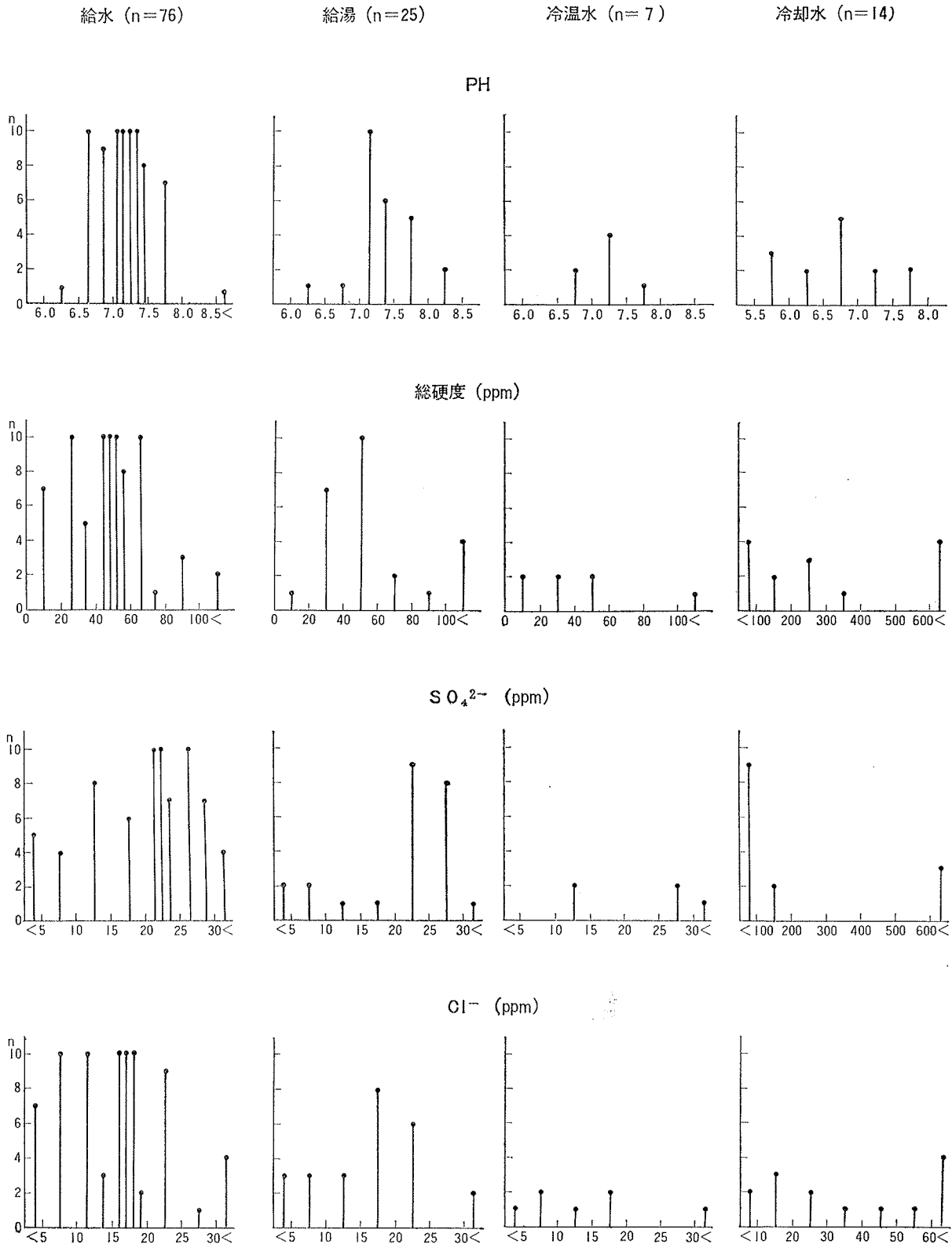


図-4 関西地区の水質分析結果

(2) 総硬度 総硬度は、給水、給湯、冷温水ではほぼ類似しているが、冷却水では著しく大きくなっている。おそらく、冷却水では濃縮によって硬度が大きくなったのであろう。

さて、硬度として表わされる水中のカルシウムイオ

ン、およびマグネシウムイオンは、適当な条件のもとで炭酸塩として沈着し、炭酸塩皮膜と呼ばれるスケールを形成し、配管の腐食が軽減される。一方、この炭酸塩沈着が多量に起こると、配管がつまるという悪影響をおよぼす。

そこで、配管内を流れる水の水質組成から、ある温度における炭酸塩皮膜形成の有無、およびその程度を計算によって近似的に判断する方法が Langelier によって考えられ、さらに Ryzner によって安定度指数(S)が定義された。以下にその計算式を示す。

$$(pH_s) = P(Ca^{2+}) + P(AIK) + P(K_2) - P(K_s)$$

$$(S) = 2(pH_s) - (pH)$$

ここで、

(pH_s) : CaCO₃ が飽和となる PH

(Ca²⁺) : CaCO₃ 含有量 (総硬度)

(AIK) : Mアルカリ度

(K₂) : CaCO₃ の第二段電離定数

(K_s) : CaCO₃ の溶解度積

(S) : 安定度指数

(pH) : 常温における pH

なお、P は各項の負対数を示す。

上式によって計算された安定度指数が、6 以下で小さいほど炭酸塩皮膜が形成され易く、7 以上であれば炭酸塩皮膜は形成されず、8 以上で大きいほど腐食の起こる傾向が強い。

そこで、関西地区で採取した各種用水について、その水質分析結果から安定度指数を算出してみた。その結果を図-5 に示す。図中縦軸は各種用水ごとの全試料数を 100 とした時の割合である。同図から明らかなように、各用水ともほとんど安定度指数が 8 以上であり、腐食が起こり易い状態であることを示している。分布状況をみると、給湯と冷温水は給水に比べ若干炭酸塩皮膜の形成され易い側に集中している。これは温度の影響によるものと思われる。冷却水は安定度指数が 5~14 と他の用水に比べて広い範囲に分布している。このことは、冷却水の水質が変化し易いことを示している。

以上の結果から、給水、給湯、冷温水は、炭酸塩沈着によって配管がつまるような心配はない、また、炭酸塩皮膜形成による防食作用は期待できない。一方、冷却水は使用条件によって水質が変化し易く、したがって安定度指数も変化し易い。

(3) 硫酸イオン(SO₄²⁻)濃度および塩素イオン(Cl⁻)濃度 図-2, -3, 表-1, -2 から明らかなように、冷却水中の SO₄²⁻ および Cl⁻ の濃度は、他の用水に比べて非常に高い傾向を示している。たとえば、冷却水の原水である給水に比べて、関東および関西の両地区における SO₄²⁻ の平均濃度はそれぞれ約 14 倍および約 8 倍に、Cl⁻ の平均濃度では約 6 倍および約 5 倍に増大している。

さて、上記の Cl⁻ の 5~6 倍の濃度増加は、冷却水

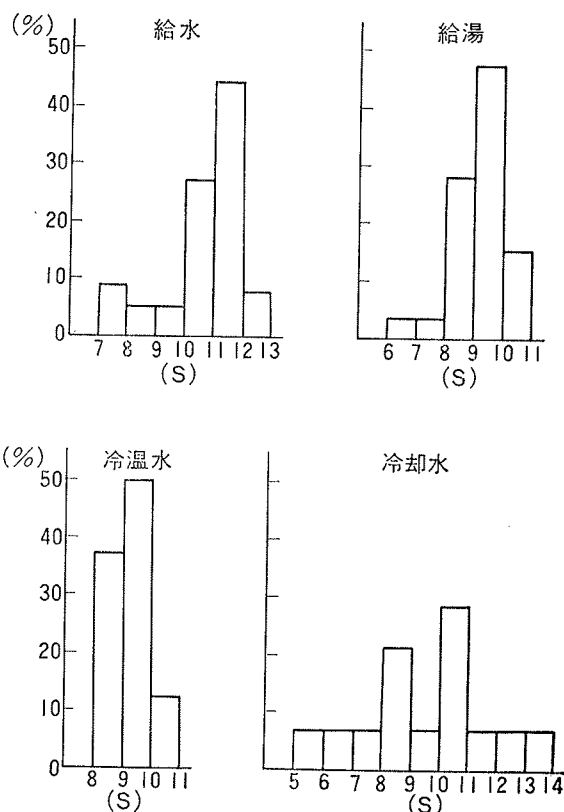


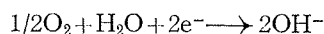
図-5 関西地区用水の安定度指数(S)分布図

の濃縮割合を示すものと考えられる。すなわち、冷却水は循環水であり、冷凍機で受け取った熱をクーリングタワーで放散する際に、一部の水が蒸発することによって減少する。この結果 Cl⁻ は濃縮されその濃度が高くなるのである。したがって、同じ冷却水を長い期間使用するほど Cl⁻ 濃度は増加するはずである。このような濃縮過程によって他の塩類の濃度も増加する。

一方、SO₄²⁻ の濃度増加が Cl⁻ のそれよりもさらに大きいのは上記のような単なる冷却水の濃縮だけではなく、(1)PH の項でも述べたように、大気中の亜硫酸ガスが溶け込むことが大きな原因となっている。

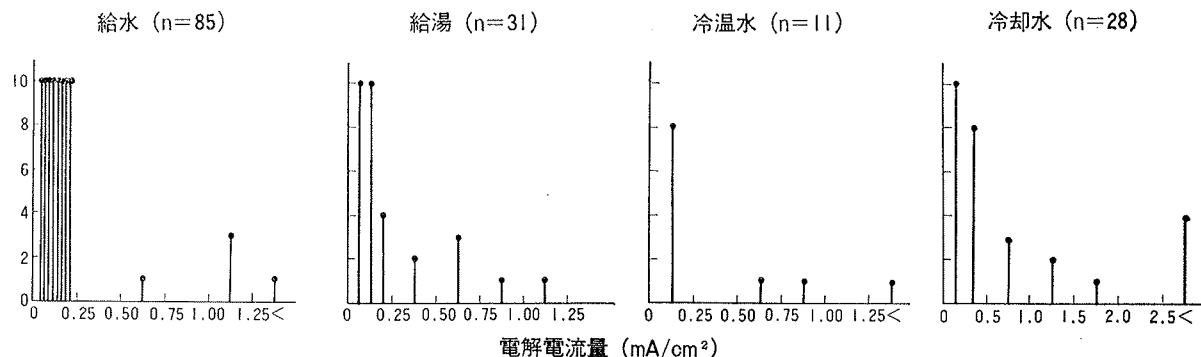
一般に、SO₄²⁻、Cl⁻ に限らず溶存塩類の増加は鉄の腐食に対して次のような影響をおよぼす。

溶存塩類の少ない水は電導度が低いので、鉄が腐食する際のマイクロなアノード部とカソード部はかなり接近して存在しなければならない。したがって次式

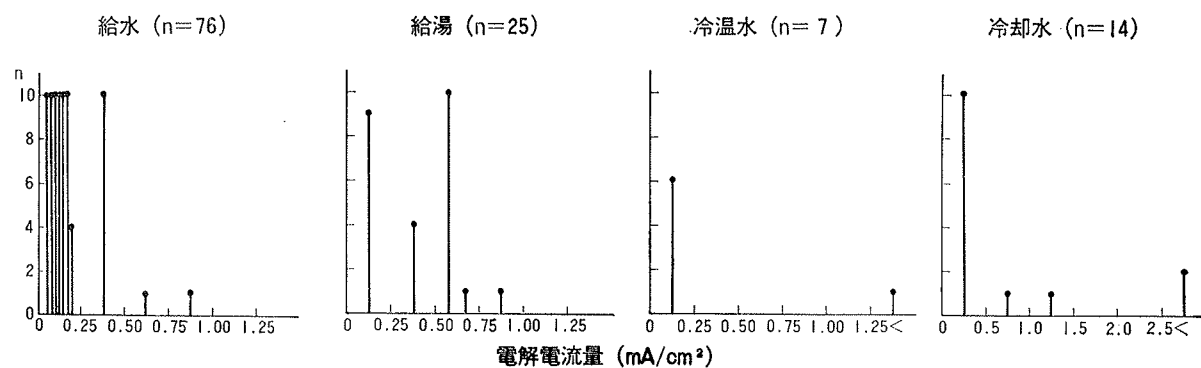


によってカソード部に生成する OH⁻ は常に近傍のアノード部で生成する Fe²⁺ の近くに存在し、その結果水酸化第一鉄の皮膜は鉄表面の近くにできるので、これが酸素拡散障壁として有効に作用する。したがって腐食速度は遅い。一方、SO₄²⁻、Cl⁻ その他溶存塩類の多い水では電導度が大きいので、お互いに離れたアノード部とカソード部も作用し合う。その結果、カソー

関東地区



関西地区



図一六 電解電流量の測定結果

ド部で生成する NaOH などのアルカリは、アノード部で生成する FeCl_2 , FeSO_4 などと直ちには反応できず、これらは溶液内へと拡散して、鉄表面からずっと離れたところで反応して水酸化第一鉄となる。このような水酸化第一鉄が、鉄表面に保護作用のある障壁層とならないことは明らかである。したがって鉄の腐食速度は大きくなる。

3.2. 電解電流量

表一1, 一2および図一6にポテンシオスタットによる電解電流量の測定結果を示す。2.3で述べたように、この電流量が大きいほどその液中において鉄が腐食され易いことを意味している。しかし、この測定は短時間に行なわれる試験であり、この結果から実際の配管の定量的な腐食量を算出することはできないが、電流量の値から水の腐食性の大、小を比較することはできる。

さて、測定結果から次のようなことが明らかとなった。大部分の給水の電流量は $0\sim 0.25\text{mA/cm}^2$ の範囲内にあり、少なくともこの範囲に入る水では配管の腐食事故は起きていない。給湯および冷温水では、給水に比べて腐食傾向が若干大きくなっている。一方、水質分析結果から冷却水の腐食傾向が他の用水のそれに

比べて大きいと判断されたように、電解電流量の測定結果からも同様の傾向がみられる。すなわち、冷却水以外の用水の電流量は $0\sim 2\text{mA/cm}^2$ の範囲であるのに対し、冷却水の電流量の範囲は 2mA/cm^2 を越している。しかも関東地区の冷却水では 10mA/cm^2 に近い値を示すものもあり関西地区の冷却水よりも関東地区の冷却水のほうが腐食傾向が大きいことが判明した。

3.3. 水質組成と電解電流量

各種ビル用水の配管腐食性にどのような水質組成が大きく関与しているかについて、本水質分析結果から検討してみた。なお、用水の配管腐食性を表わす指標として、ポテンシオスタットによって測定した電解電流量の値をそのまま用いた。

用水の pH, 総硬度, SO_4^{2-} 濃度, Cl^- 濃度, さらに表示しないが、酸度, Mアルカリ度などの単独因子と腐食性の指標である電解電流量との関係について、電子計算機によって重相関分析の計算を行なった。その結果、これら因子のうち SO_4^{2-} 濃度, Cl^- 濃度, 硬度および酸度などが電解電流量に寄与していることが示された。しかし、それぞれの因子と電解電流量との間にはっきりした相関図を作成することはできなかった。おそらく、腐食性を左右するのは、前記のような

因子の単独の作用より、多くの因子の複雑な相互作用によるのではないかと考えられる。この点については、今後さらに検討する必要がある。

しかし、少なくとも3.1および3.2において冷却水について特に説明したように、pHが低下し、また SO_4^{2-} 濃度、 Cl^- 濃度が増加した場合には、その液の腐食性が大きくなるといえる。

4. まとめ

関東、関西の両地区の建物の各種用水について、水質組成の分析およびポテンショスタットによる電解電流量の測定を行なった結果、次のようなことが明らかになった。

(1) 水質組成において、給水、給湯、冷温水に比べて、冷却水のPHは低下し、総硬度、硫酸イオン濃度および塩素イオン濃度は著しく大きくなっている。冷

却水では、クーリングタワーで大気中の亜硫酸ガスが溶け込み、pHが低下し、硫酸イオン濃度が増加したと推定される。また、その濃縮過程で総硬度、塩素イオン濃度だけでなく硫酸イオン濃度も大きくなったと判定される。

(2) 電解電流量から判定すると、その腐食性は給水 \leq 給湯、冷温水 \ll 冷却水の順位で大きくなっている。冷却水の腐食性の大きい原因として、pHの低下、硫酸イオン濃度の増加などが考えられる。

(3) 関西地区の各種用水の炭酸塩皮膜形成性について検討したところ、用水の種類にかかわらず大部分の安定度指数が8以上であり、炭酸塩皮膜は形成されず、腐食の起こり易い状態であることがわかった。また、冷却水は安定度指数が変化し易いため、注意する必要がある。

(その2) 冷却水配管の腐食事故の原因調査(喜田・守屋)

1. まえがき

(その1)で報告したように、各種用水の水質調査の結果、冷却水の水質が最も悪化し易く、腐食傾向も大きいことが明らかとなった。事実、設備配管の腐食事故の多くは冷却水システムで起きている。(その1)の調査研究の最中に、冷却水の水質が最も悪かった東京の某ビルにおいて、冷却水配管の一部が局部的に激しく腐食し、穴があくという全く予期しない事故が起きた。この腐食形態は一般にみられる全面腐食と異なり、局部的でしかも腐食速度が非常に速いことなどから、特異な事故例といえるかもしれないが、この腐食原因を調査することは設備配管の設計上また管理上非常に重要である。そこで、この腐食原因を水質組成およびスケールの組成などから調査し、腐食機構を推定した。

なお、本報における水質分析法その他の実験法は省略する。

2. 腐食状況と経過

当ビルの冷却水配管は、厚さ6.9mmの白ガス管(亜鉛メッキ鋼管)であり、腐食箇所の詳細は図-7に示すとおりである。図中、溶接部周辺の斜線で示した部分はうすくなり(0.5mm~2.2mm、平均1.4mm)一部では0.5mm以下となって穴があいた。また、サーモスタット取り付け部周辺の斜線で示した部分もうす

くなり、(2.2mm~6.5mm、平均3.6mm)、一部では2mm以下の厚さにもなった。

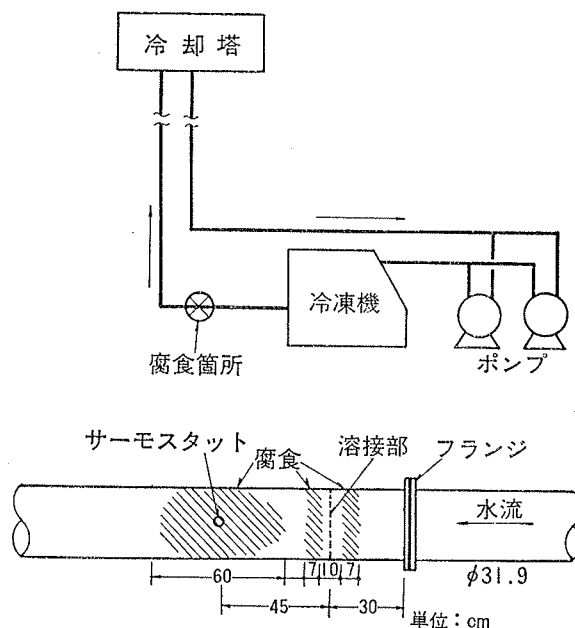


図-7 冷却水システムおよび腐食配管の概略図

当ビルは昭和41年に竣工し、その後約3年間でこのような腐食事故が起きている。そして、当ビルにおける冷却水の使用期間は5月中旬から10月中旬であるため、実質その平均腐食速度は溶接部で約3.7mm/年、サーモスタット部で約2.2mm/年と驚くべき速さである。

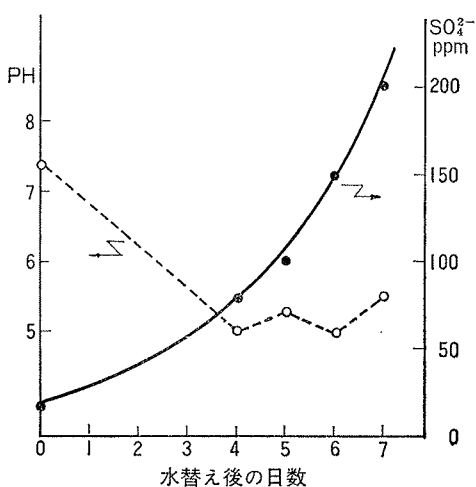
3. 原因の究明とその機構の推定

3.1. 冷却水水質の悪化

当ビルの冷却水の水質が非常に悪くなった一例を表一3に示す。硫酸イオン濃度および pH から推定して水の腐食性は非常に大きいと考えられ、ポテンシオスタットによる電解電流量の値も 9.9mA/cm^2 と大きな値である。このように水質が悪化する原因としては、蒸発による濃縮だけでなく、特に大気中の亜硫酸ガスの影響による硫酸の生成が考えられる。この点については(その1)で説明したのでここでは省略する。なお参考までに、当ビルの冷却水中の硫酸イオン濃度、および pH の水替え後における経時変化の一例を図一8に示す。

成分(項目)	分析値	成分(項目)	分析値
P H	3.9	硫酸根	762.5ppm
総硬度	990ppm	塩素	43.4ppm
総酸度	181.5ppm	銅	33.8ppm
鉍酸酸度	1.8ppm	電解電流量	9.9mA/cm ²

表一3 冷却水の水質分析結果(昭和44年6月)



図一8 冷却水水質の水替え後における経時変化

以上のように水質が悪化し、そのうえ溶存酸素を多量に含んだ冷却水が、以下に順を追って説明するように当腐食事故の根本原因になっている。

3.2. 冷凍機からの銅の溶出

腐食した配管内の溶接部に付着していたスケールを蛍光X線分析により定性分析したところ、多量の銅が検出された。そして、化学分析を行なった結果、表一4に示すように、スケールの約64%が銅であることが判明した。このスケール中の銅は他の部分から溶出し

た銅が沈着したものである。事実、表一3の水質分析結果からも明らかのように、冷却水中に銅イオンが約34ppmも含まれていることもあった。

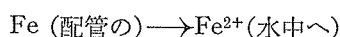
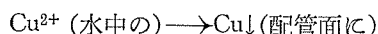
成分	SiO ₂	Fe	CaO	MgO	CuO
含有率(重量%)	2.46	18.16	0.43	0.41	64.23

表一4 スケールの分析結果

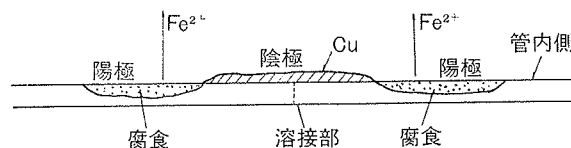
さて、この銅の溶出源であるが、冷却水系統においては、冷凍機の熱交換パイプ以外に銅を使用している箇所がないことから、この銅パイプが溶存酸素を多量に含んだ硫酸酸性の冷却水の作用によって腐食され、銅が溶出したのであると判断できる。このようにして溶出した銅が、次に述べるように、配管の溶接部およびステンレス製サーモスタット外管部に沈着して、配管の鉄との間に電池が構成され、配管が腐食されるのである。なお参考までに、銅はうすい硫酸液中で溶存酸素が全く含まれない場合には腐食されない。

3.3. 溶接部周辺の腐食機構

配管の溶接部は溶接時の熱影響による結晶粒度の变化などから、他の部分に比べて鉄が活性化し易い状態になっている。一方、冷凍機から溶け出た銅イオンは鉄よりもイオン化傾向が小さいので、鉄と電子の授受を行ない金属の銅として析出する傾向がある。その結果、下記の反応の様式で配管の溶接部に冷凍機に由来する銅がいち早く析出し沈着する。この現象は表一4のスケールの分析結果からも明らかである。



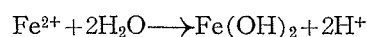
このようにして溶接部に銅が沈着した結果、図一9に示すように、配管の溶接部が陰極、その周辺部が陽極となるような局部電池が構成されることになる。

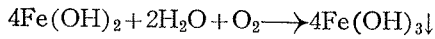


図一9 溶接部周辺の電池構成腐食

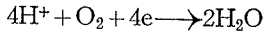
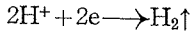
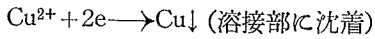
そして、(その1)において述べたように、冷却水中の電解質 (SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} ……) 濃度は高いので、局部電池の陽極部、陰極部において、主として以下に示すような反応がそれぞれ起こり、陽極部となる溶接部周辺の鉄の腐食が異常に進んでいく。

陽極部において





陰極部において、



以上のように、配管の溶接部周辺においては、冷凍機から溶出した銅イオンの影響によって局部電池が構成され、腐食が進行していったのであると推定される。

3.4. サーモスタット周辺の腐食機構

サーモスタットの外管はステンレス製であり、取り付け部において配管と直接接触している。ステンレスは鉄に比べて電位が貴（腐食しにくい）であるため、鉄とステンレスとを接触させて電解質の液に浸漬した場合、鉄が陽極、ステンレスが陰極である電池が構成される。この陰極部に、冷却水中のイオン化傾向の小さい銅イオンが金属の銅として沈着して電位差の大きな電池を構成するようになる。その結果、溶接部周辺の腐食と同様の機構により、サーモスタット周辺の鉄が腐食したと推定される。

なお、鉄とステンレスの異種金属が接触していても銅イオンがなく、電解質濃度の小さい淡水中であれば腐食速度は遅く問題にならない。しかし、当ビルの冷却水は、前述のように水質が悪く、電解質の塩類や、硫酸などの濃度が高いので、上記のような電池構成による腐食が進み易い状態にある。さらに、冷凍機に由来する銅イオンが陰極部において前記のような放電反応を行ない、腐食の進行を速めるとともに陰極部に沈

着し、鉄との電位差をより高めることによって腐食を異常に促進させることになる。

4. まとめ

東京の某ビルにおいて、冷却水配管の溶接部周辺およびサーモスタット取り付け部周辺で、配管が局部的に激しく腐食するという予期しない事故が発生した。その平均腐食速度は溶接部周辺で3.7mm/年、サーモスタット部周辺で2.2mm/年であった。

そこで、このような腐食原因を究明し、その機構を推定した。

(1) 冷却水に大気中の亜硫酸ガスが溶け込み、また濃縮されることによって、冷却水のpHは低下し、硫酸イオンその他電解質塩類の濃度は増大した。そして、溶存酸素を多量に含んだ硫酸酸性の冷却水の作用によって、冷凍機の熱交換用銅パイプの銅が溶出して、下記の電池構成腐食に関与した。

(2) 鉄が活性化し易い状態の溶接部に、銅イオンが沈着して、局部電池が構成された。そして、冷却水中の電解質濃度が高いので、陽極部の鉄が異常に溶出した。

(3) ステンレス製サーモスタット外管は陰極、この周辺の配管は陽極になるので、この陰極部に銅イオンが沈着して、上述の溶接部と同様の局部電池が構成され、陽極部の鉄が異常に溶出した。

なお、この予期しない事故後に冷却水に防食剤を添加する処置を行なっている。