

土木建築における腐食に関する研究（その8）

——蓄熱システムにおける水質管理法の提案——

喜田大三 守屋正裕

Study on Corrosion in Civil Engineering and Building Construction (Part 8)

—Water Control Method for Heat Storage System—

Daizo Kita Masahiro Moriya

Abstract

The objects of the study are corrosion protection and prevention of other troubles due to water in the heat storage system. This paper proposes a method of controlling such water. The principal contents of the paper are as follows: (1) comments on troubles due to water, (2) explanation of the causes of water contamination and prevention thereof, (3) proposal of standard values of water quality, (4) explanation of the control method, (5) examples of troubles due to water.

概要

近年、空調系統に大規模な蓄熱システムを導入する建物が増加している。それに伴い、蓄熱体である循環水の水質に起因した配管の腐食やスケールトラブルが少なからず発生している。特に、腐食は大きな被害をもたらす例がある。

これらのトラブルを防止し、同システムの経済的メリットを損わないために、循環水の水質管理が非常に重要であり、管理指針の確立が望まれている。

そこで、本報は、一連の調査研究成果に基づき、設備管理者の参考資料として、水質管理法を提案している。主な内容は次のようである。(1) 水質に起因するトラブルの説明。(2) 水質悪化原因とその防止法。(3) 目安となる水質基準の提示と解説。(4) 管理方法の説明。(5) トラブル事例の紹介。

1. はじめに

近年、空調系統に大規模な蓄熱システムを導入する建物が増加している。蓄熱システム導入の基本的な目的は、エネルギーの有効利用であり、経済性の追求である。したがって、同システムの設計、施工上はもちろんのこと運転管理面においても経済的メリットをできるだけ損わないようにすることが重要である。

ところで、蓄熱システムにおける熱媒体（蓄熱体）としては、水が一般に使用される。使用する水量は、同システムの大規模化に伴って必然的に増大し、一回の水替えに用する費用もばかにならない。まして、水質に起因した配管や設備機器の腐食やスケールトラブル等が頻発するような事態となれば、同システムの経済的効果は半減する。特に腐食によるトラブルは、直接、間接に著し

い被害をもたらすことがある。

そこで、蓄熱システムの運転管理上、水質管理を適正に行ない、蓄熱体としての循環水をできるだけ有効に利用し、なおかつ水質に起因する腐食などのトラブルを防止あるいは極力抑制していくことがきわめて重要である。

本報では、上述の観点から、蓄熱システムにおける腐食、防食問題を中心として、循環水の水質管理指針を提案する。

2. 水質に起因するトラブル

2.1. 腐食

金属元素のうち、一部の貴金属を除く多くの実用的な金属は、自然界には酸化物や硫化物などの安定な化合物として存在し、それを人工的に単体の金属にまで還元し、

製錬，加工して金属材料が誕生する。したがって，これらの金属は自然に水や酸素などの環境物質と反応し，元の安定な化合物の状態に戻ろうとする性質を持っている。この自然変化が腐食である。

腐食は，金属と環境物質との反応によるものであることから，内的要因である金属の材質の他に，様々な環境因子が外的要因として，その発生形態や速度に影響する。

腐食をその発生形態から分類すると，全面腐食，局部腐食および機械的作用を伴った腐食とに大別される。全面腐食は，全体的にはほぼ均一に腐食する形態で，腐食の進行速度（侵食率）は比較的ゆるやかである。局部腐食は，部分的に腐食が集中する形態で，一般に侵食率が非常に大きい。また局部腐食は，さらにその形態によって，孔食，隙間腐食，脱成分腐食等に分けられる。機械的作用を伴った腐食には，エロージョンコロージョン，キャビテーション，応力腐食などがある。このような腐食も通常は局部的に集中して発生することが多いために局部腐食の一形態として分類されることもある。

蓄熱システムにおいて，早期に発生する腐食トラブルは，局部腐食による場合が多い。局部腐食は，金属面に局部的な電池が形成され，その電位差が駆動力となって発生する。局部電池の形成原因には，内的要因として，金属の材質や組織の不均一，溶接や冷間加工による残留応力，非金属介在物の偏析などがあり，外的要因としては，酸素濃度の濃淡，pHの差異，異種金属の接触などがある。

たとえば，配管材として最も多用されている炭素鋼鋼管には，製造法によって，継ぎ目なし管，鍛接管および電気抵抗溶接管（電縫管）とがあるが，電縫管では，その電縫部において，ひずみの残留，非金属介在物の偏析などの原因で，電縫部に沿った局部腐食が発生し易い。また，配管面へのスケールの不均一な付着やスラッジの沈着部あるいはジョイント部等では，金属表面に微細な隙間が形成され，酸素の濃淡による局部腐食が発生し易い。

銅管は，材質が柔らかいため，水流による機械的作用を伴ったエロージョンコロージョンが発生し易い。特に，エルボや異径管のジョイント部のように，流速が大きく乱流となるような部位においてこの種の腐食が発生し易い。したがって，流速が過大とならないよう注意を要する。

また，黄銅製の継ぎ手やバルブ等では，脱成分腐食の一種である脱亜鉛腐食が発生する場合もある。

ところで，循環水の水質は，上述のいずれの腐食形態においても重要な環境因子である。

したがって，水質如何によっては，配管類が急速に腐食し，腐食貫通による漏水や腐食生成物による配管の閉塞，ストレーナーの目詰りなどのトラブルが発生する。甚しい場合には数年で配管類の取り替えを余儀なくされることもある。

水質成分の影響については後述している。

2.2. スケールトラブル

循環水には，様々な物質がイオン状態，コロイド状態で溶解しており，これらのうちいくつかの成分は，その濃度，温度，pHなどの条件によっては溶解度を越す過飽和状態となり，配管面に析出沈着する場合がある。これがスケールと呼ばれる。

スケールがヒートポンプや冷凍機あるいはファンコイルの熱交換器面に付着すると熱交換効率は著しく低下し，甚しい場合には熱交換器や小口径の配管が閉塞し，通水能力の低下や高圧カットなどのトラブル原因となる。

既設蓄熱槽について調査した結果では，約1割の建物で，スケールトラブルが発生している。

スケールの成分は，水中から析出する物質としてカルシウム塩やシリカがあり，その他に腐食生成物（サビ）がスケールの成分となる。カルシウム塩やシリカは，一般の上水や地下水中に必ず含まれている成分で，その濃度が高いとスケールトラブルが発生し易い。また，蓄熱槽のセメント系材料から，これらの成分が循環水に溶出し，次第に濃度が増加してスケールトラブルにつながる場合もある。

スケールとして析出するカルシウム塩は溶解度の低い炭酸カルシウムが多く，循環水のカルシウムイオン濃度が高く，M-アルカリ度，pH，温度が高いほど析出し易い。また，シリカ濃度も高い場合には，カルシウムイオンとシリカとが反応し，カルシウムシリケートとして析出する場合もある。

一方，スケールは，配管面に均一に付着した場合には，逆に皮膜効果として配管の腐食を抑制する作用も示す。

2.3. スライムトラブル

水中でバクテリアや藻が繁殖し，その粘着性物質が熱交換器や配管面に付着してスケール障害と同様のトラブルを引き起こすことがある。これをスライムトラブルという。

バクテリアや藻が多量に繁殖する条件としては，そのエサとなる栄養物質の存在が不可欠である。一般上水中にはそのような物質はほとんど含まれていない。しかし，地下水や河川水では，アンモニウム塩や各種有機物質等の栄養分がかなり含有している場合がある。そのような水を原水として使用したり，あるいはまた蓄熱槽のひび割れなどによって地下水が槽内に侵入しているような場

合には、スライムトラブルが発生する。

このようなトラブルは、通常、極くまれであるが、水質によっては注意を要する。

2.4. スラッジトラブル

配管類の腐食が進むと、腐食生成物が腐食面から剝離したり、腐食溶出した金属イオンが水酸化物となって水中で析出する。また、蓄熱槽材料からの溶出成分が析出したり、地下水を原水としている場合には、井戸からの砂や粘土の混入によって泥状の沈でん物が発生する場合がある。このような異物をスラッジと呼び、スラッジは水槽の汚れやストレーナーの目詰りを引き起こす原因となる。

3. 経時的な水質の悪化とその要因

蓄熱システムにおいては、通常、循環水の蒸発による溶解成分の濃縮はほとんどなく、汚染した大気と強制的に接触するような条件もないことから、本来ならば経時的な水質の変化はほとんどないはずである。しかし、実際には次のようないくつかの原因によって水質が次第に悪化し、前述のようなトラブルの発生原因となる。

3.1. 蓄熱槽材料の影響

循環水と接する蓄熱槽の内装材、例えばコンクリート、モルタル、防水材、断熱材等からそれらに含まれている水溶性の成分が溶出し水質を悪化させる。

特にコンクリートやモルタル等のセメント系材料では、その中に多量含有している遊離石灰（水酸化カルシウム）が溶出し、pHの異常な上昇（アルカリ化）やカルシウム量の増加が起こり、スケールトラブルやスラッジトラブルあるいは配管類の局部腐食を誘発する原因となることがある。

既設蓄熱槽についての調査結果では約1割強の建物でpHの経時的な上昇が、約1割弱で硬度の増加傾向が認められている。これらはおそらく上述の原因によると思われる。潜在的にはさらに多くの蓄熱槽で同様の現象が発生しているものと思われる。

遊離石灰の溶出実験の結果によると、コンクリートとモルタルとではモルタルの方が遊離石灰が溶出し易く、防止策としては次のような方法が考えられる。

(1) 蓄熱槽の設計、施工においては、循環水に接触する部分でのモルタルの安易な使用を避ける。特に、モルタルを多量に使用するコンクリートブロックの使用は極力避けたい。

(2) 循環水に接するコンクリートおよびモルタルはできるだけ密実な調合とする。

(3) コンクリートやモルタル面に、遊離石灰の溶出防止効果のある表面塗布剤（ハードナー等）を塗布する。

(4) 施工後、水張りまでの養生期間を十分にとるとともにアク抜きを十分に行なう。

(5) 水張り前にドライアイス等を使って槽内の炭酸ガス濃度を高め、コンクリートやモルタル表面の中性化（遊離石灰を炭酸カルシウムとして固定する）を促進する。

なお、参考までに、表-1に主な断熱材および防水材についての水溶性成分の分析データの一例を、図-1、2に、モルタルからの遊離石灰溶出量の測定例を示す。

供試体	浸漬条件			浸漬液の分析結果(溶出成分)						
	温度 ℃	期間 日	W/S*	導電率 μV/cm	pH	Cl ⁻ ppm	Br ⁻ ppm	Na ⁺ ppm	SO ₄ ²⁻ ppm	
断熱材	現場発泡ウレタン	室温	70	4.6	4.8	7.2	<0.2	<0.2	0.48	4.2
	"	室温	70	4.8	4.7	7.0	<0.2	<0.2	0.30	2.0
	"	50~80	70	6.0	7.0	4.4	12	<0.2	3.4	3.2
	ポリスチレンフォーム	50	30	3.1	10	6.7	<0.2	<0.2	0.54	2.0
" (低発泡)	50	30	3.1	41	6.7	7.6	<0.2	0.54	5.0	
						SiO ₂ ppm	Ca ⁺⁺ ppm			
防水材	ラテックス系セメントモルタル	50	30	8.2	2250	12.1	9.8	98	74	22
	エチレン酢ビ系セメントモルタル	50	30	9.4	1770	11.8	7.7	352	38	12
	エポキシ系セメントモルタル	50	30	10.8	1020	12.0	38.5	92	24	6.2
	エチレン酢ビ系セメントモルタル	50	30	9.1	1850	11.4	3.4	636	7.6	4.2

* W/S=浸漬液量(g)/供試体重量(g)

(浸漬水:イオン交換水)

表-1 断熱材、防水材の溶出成分分析例

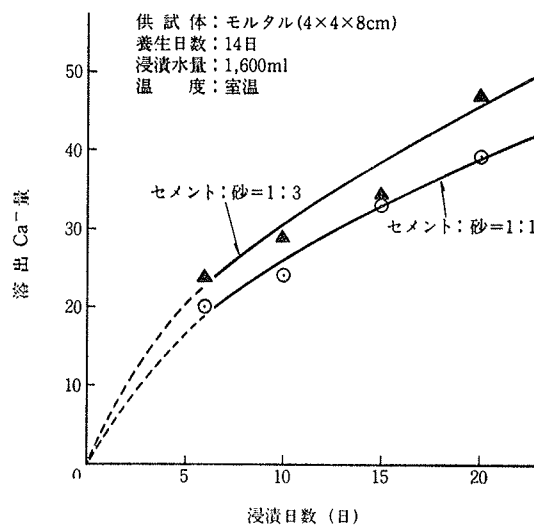


図-1 遊離石灰の経時的な溶出

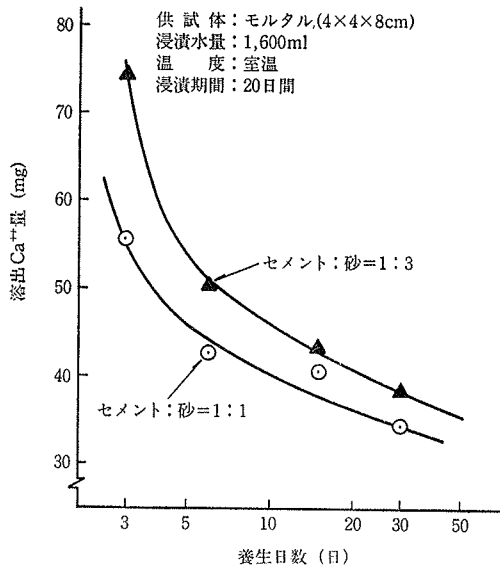
3.2. 配管類の腐食による影響

腐食の進行に伴って、金属イオンが循環水中に溶出すると前述のようなスラッジトラブルの原因となる。また、銅管の腐食によって溶出した銅イオンは、その電気化学的作用で鋼管の腐食を促進することもある。

このように、配管類の腐食に伴う金属イオン濃度の増加も水質悪化の一要因である。

3.3. その他の要因

蓄熱槽のひび割れによる地下水の侵入や不適正な水処



図一2 養生日数と遊離石灰溶出量

項目	基準値
pH (25°C)	6~8
導電率(25°C, $\mu\text{v}/\text{cm}$)	400 以下
塩素イオン Cl^- (ppm)	40 以下
硫酸イオン SO_4^{2-} (ppm)	30 以下
全硬度 CaCO_3 (ppm)	150 以下
M-アルカリ度 CaCO_3 (ppm)	100 以下
シリカ SiO_2 (ppm)	50 以下
アンモニア $\text{NH}_3, \text{NH}_4^+$	検出されないこと
全鉄 T-Fe(ppm)	1.0 以下
参考項目	銅イオン 飽和指数

表一2 水質基準値 (参考値)

理剤の添加も水質を悪化させる要因となる。

また、特殊な例としては、汚水や冷却水が漏水や配管工事のトラブルによって、蓄熱槽内に混入するようなこともある。

4. 水質管理基準値

水質管理を行なう上で、目安となる水質基準値が明確化しており、それに沿った管理を行なうことによってトラブルが完全に防止できしかも最も経済的な運転が行なえることが理想である。しかし実際には腐食問題一つを見ても関連因子は非常に多く、それらが相乗的に作用して腐食速度や腐食形態が変化する。また、配管類の材質や運転状況、温度、流速なども個々に考慮する必要がある。

したがって、一率に最適な水質基準値を定めることは困難であるが、ここでは、これまでの水質調査例やトラブル例、実験例をふまえて、一応の目安としての基準値を表一2に提示し、各項目ごとに以下に若干の解説を添える。

(1) pH pHは、水質を判定する際の重要な指標の一つであり、腐食およびスケール形成に関与する。腐食に関しては、一般にpHが低いと腐食促進作用が高い。銅はアルカリ側でも腐食が若干増加し、中性付近で最も安全である。また、鉄(鋼)は、アルカリ環境においては不動態化し腐食しないことが知られているが、電縫部やスケール・スラッジの沈着部、継ぎ手部等においては局部的に不動態化しない部分が発生する。その部分ではPassive-active cellによる急激な腐食が誘発されることが確認されている。したがって、やはりpHは中性付近が望ましい。

他方スケール形成に関しては、アルカリ側では炭酸カルシウムを主体とするスケールが発生し易く、酸性側ではシリカが沈着し易い。

以上の点から、pHは6~8の中性付近に維持することを目標とする。

なお、循環水の経時的なpH変化は、蓄熱槽からの遊離石灰の溶出などによってアルカリ側に变化する例が多く、酸性側に变化することはきわめてまれである。

(2) 導電率(電気伝導率) 水の導電率は、水中のイオンの種類と濃度および温度によって変化するが、水中の塩類濃度の増減および概略の水質を知る指標として有効である。この値が異常に高くなった場合には、腐食やスケールトラブルの発生する危険性が大きい。

一般上水の値は通常100~200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ である。この値が経時的に次第に高くなるようであれば何らかの水質成分の変化が起きているものと判断し、その原因を調査しておくことが大切である。

トラブルの発生を防止するためには、一応の目安として400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下に管理することが望ましい。

(3) 塩素イオン (Cl^-) 塩素イオンは、重要な腐食因子である。鋼管に対しては全面腐食および局部腐食を著しく促進し、また、ステンレスに対しては孔食を誘発する。したがって、当然ながらその濃度はできるだけ低い方がよい。

一般上水の濃度は、およそ10~40 ppmで、通常の地下水では10 ppm以下、海水や工場排水の混入している地下水では、数千から一万 ppmに達する場合もある。

蓄熱槽の循環水においては、経時的な濃度変化は少なく、比較的安定している。したがって、目安としては、40 ppmを越えて次第に増加するようならば何らかの異

常があると判断し、原因を明らかにした上で適切な対策が必要である。

(4) 硫酸イオン(硫酸根, SO_4^{--}) 硫酸イオンも塩素イオンと同様重要な腐食因子の一つであり、この濃度が高い場合には鋼管や銅管の腐食を促進し、銅管の孔食原因ともなる。

一般上水の濃度はおよそ5~30 ppmで、循環水の経時的な濃度変化はほとんどなく、通常は比較的安定している。したがって、30 ppmを一応の目安とし、それ以上に次第に増加するようであれば何らかの異常があると判断し、原因を明らかにした上で適切な対策をとる。

(5) 全硬度 全硬度は、水中のカルシウムイオン(Ca^{++})およびマグネシウムイオン(Mg^{++})の含量をそれと当量の炭酸カルシウム(CaCO_3)濃度で表わしたもので、主としてカルシウムスケールの形成傾向を判定する指標の一つである。

一般上水の値はおよそ30~80 ppmであるが、前述のように、蓄熱槽のセメント系材料から遊離石灰が溶出することによって、循環水の全硬度は次第に増加する例が比較的多い。

全硬度があまり高くなるとカルシウムスケールが発生する。したがってこの値が次第に増加の傾向を示す場合にはスケール形成に注意を要する。

カルシウムスケールの発生を防止するため、pHやM-アルカリ度にもよるが、一応、150 ppm以下に管理することを目標とする。

(6) M-アルカリ度 この値は、水中の水酸化アルカリ(強アルカリ)、炭酸塩、重炭酸塩などのアルカリ分の全量を示す。カルシウムスケールの形成傾向を判定する指標の一つであり、この値が高いほどカルシウムスケールが形成し易い。

一般上水の値は20~50 ppmで、100 ppmを越えるとスケールトラブルが発生し易い。

蓄熱槽の循環水では、遊離石灰の溶出やアルカリ性薬剤の添加によって増加する。

(7) シリカ(珪酸, SiO_2) シリカはスケールの成分で、一般上水ではおよそ30~50 ppm含有している。地下水では50 ppm以上の場合もある。また、循環水のシリカ濃度は、珪酸塩系の腐食抑制剤の添加等によって増加する。

水中にはイオンおよびコロイドとして存在する。その溶解度は、pHが低くなるほど減少する。したがって、シリカ濃度が高く、pHが低いほどスケールとなり易い。

一般に、シリカ質のスケールは非常に硬く、熱交換器等に一担沈着すると清掃除去しにくいので十分注意する

必要がある。

管理上の目安としては、50 ppmを越すとスケールトラブルの発生する例が多いので、50 ppm以下に維持する。

なお、蓄熱槽で遊離石灰が溶出し、全硬度が高い場合には、カルシウムシリケートのスケールが沈着し易くなるので、さらに低濃度に維持することが望ましい。

(8) アンモニア(NH_3 , NH_4^+) アンモニアは、一般水上ではほとんどの場合検出されない。しかし、汚染した地下水や河川水には含有している場合がある。アンモニアは鋼管に対して強い腐食作用を示すほか微生物の栄養源となってスライム発生の原因となることもある。

したがって、一応はチェックし、検出されないことを確認しておくことが望ましい。

(9) 全鉄 これは、水中に存在する各種形態の鉄分(二価、三価のイオン、水酸化物、酸化物、炭酸塩、コロイド)の総量である。

一般上水では0.3 ppm以下であるが、循環水では鋼管の腐食によって生成するサビが水中に懸濁あるいは溶解し、次第に濃度が増加する。したがって、鋼管の腐食状況を知る目安ともなる。

全鉄濃度が増加すると、ストレーナーの目詰りや銅管面に沈着して孔食を誘発する原因ともなる。

(10) 銅イオン(Cu^{++}) 水道水の水質基準では1 ppm以下であり、一般上水で検出されることはほとんどない。

循環水に数 ppm 検出される場合があるが、それは銅管の腐食によって溶出したものと判断できる。したがって、銅イオンが次第に増加する傾向にある場合には、熱交換器等の銅管の腐食が進行しつつあると判断してほぼ間違いはない。

水中の銅イオン濃度が高くなると、電気化学的作用によって鋼管の腐食を促進するおそれもある。

管理上の基準値は提示しないが、参考までにチェックしておくことが望ましい。

(11) 飽和指数(Langelier index) 炭酸カルシウムの解離平衡をもとに、水質分析値からスケールの形成傾向を判定する指標である。

pH, M-アルカリ度, カルシウム硬度, 溶解固形物量から次のように判定する。

図-3の計算図表をもとに、水質分析値からpHsを求め、飽和指数(Is)を算出する。

こうして求めた飽和指数が負で大きいほどスケールが形成しにくい。逆に正で大きいほどスケールが形成し易いと判定する。

水質管理上は、理論的には飽和指数がゼロ付近にある

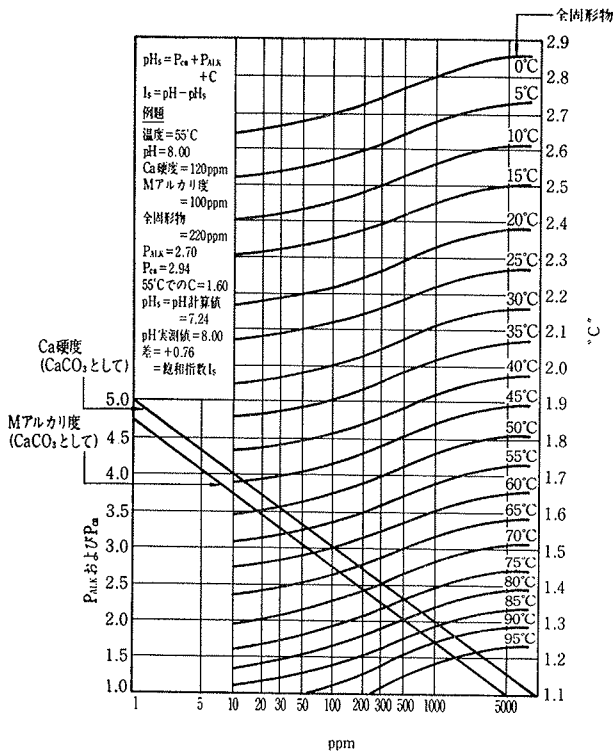


図-3 飽和指数計算図表

ことが望ましい。

なお、蓄熱槽の循環水では、概算で、カルシウム硬度の値に全硬度を、また、溶解固形物量として全硬度の2倍の値を用いてもよい。

5. 管理方法

5.1. 水質検査

(1) 検査法 JIS K 0101(工業用水試験方法) またはこれに準ずる方法による。

ただし、多少精度は低くても、管理現場で容易に分析できる簡易分析法も有効である。

一般には、分析センターや水処理業者に依頼して分析している場合が多いが、pH や 導電率などの簡単な項目については、できるだけ管理現場で随時検査すべきである。

(2) 検査頻度と検査項目 循環水の経時的な水質の変化傾向、その程度および特徴は、原水の水質のみでなく、蓄熱槽の構造、内装材の種類と材質、温度、運転状況などによって異なる。したがって、竣工後、1, 2シーズンは前章に提案した項目について、できるだけ頻繁(月1回程度)に検査し、経時的な水質変化の有無とその特徴を把握することが大切である。その結果によって、その後は特に注目すべき項目について適宜検査する。ただし、全項目についての検査も年2, 3回は必要である。

5.2. 水質保全対策

水質検査の結果、異常が認められた場合、あるいはトラブルが発生した場合には、その原因および状況に応じて次のような処理を行なう。

(1) 原水に原因がある場合には、例えば井水から市水、井水の併用または市水のみ水源を変更する。

(2) 蓄熱槽のひび割れなどによって、水質の悪い地下水やその他の汚染水が槽内に混入しているような場合には、可能な限り、早急にその原因を取り除く。

(3) 経時的に水質が悪化する場合には、保有水量の一部あるいは全量をブローし、水を入れ替える。

一般的には、毎年1回、シーズンオフに全ブローする例が多い。しかし、大型の蓄熱槽では、1回のブローに要する水代や動力費も相当な額となるので、水質を十分見極めた上で対処する必要がある。

また、経時的な水質の悪化が著しい場合には、少しずつ連続的にブローする例もある。

(4) 原水の水質が悪く、あるいは経時的な水質悪化が著しく、良好な水質に維持することができない場合には、その状況に応じて化学的な水処理を行なう。水処理剤には、腐食抑制剤、中和剤、スケール防止剤、スライム防止剤などがある。

場合によっては、ブローを減らして水処理を行なった方が経済的かつトラブル防止に有効となるケースもある。

なお、水処理は、使用する薬剤の選定、添加濃度の決定、およびその後の水質管理が適切でないと、十分な効果が得られないだけでなく、かえって逆効果となる恐れもある。

したがって、薬剤処理およびその後の水質管理に当たっては、その都度、信頼できる水処理コンサルタント、薬剤メーカー等に相談することが大切である。

また、薬剤使用後には、テストチューブ等によってその効果を確認しておくことも必要である。

(5) 以上の他に、事前に設計段階で考慮すべき点として、近年、給水系統を中心に広く普及してきている耐食性のライニング鋼管、あるいは銅管やステンレス鋼管などの配管材料を適材適所で活用することも必要であろう。

6. トラブル例

(1) アルカリ化による孔食例 某ビルの蓄熱槽で、循環水の pH、硬度が異常に高くなり、槽内に白色の沈でん物が多量発生した。また、配管にカルシウムスケールの沈着傾向が認められた。さらにその後、配管(亜鉛メッキ鋼管)の各所で孔食が発生した。

調査の結果、蓄熱槽のモルタルから遊離石灰が溶出し、pHの上昇と硬度の増加を来し、槽内の沈でん物およびスケールの原因となったことが判明した。

孔食の原因は、循環水のpHが著しく上昇したために、配管内面が不働態化する条件となり、一方で、スケールの下面やサビの内部および電縫部等は局部的に不働態化せず、Passive-active cellが形成されたことによる。

したがって、根本的には、遊離石灰の溶出による水質の悪化が原因であった。

対策は、中和剤によるpHコントロール（pHの上昇を抑制）を行なうとともに、カソード抑制型の腐食抑制剤を添加し、水質管理を十分実施することとした。

(2) スラッジトラブル例 某ビルで、竣工後間もなく、空調機廻りのストレーナーが、灰白色のスラッジによって目詰りした。

スラッジを分析した結果、表一3に示すように、主成分は亜鉛およびシリカであった。

成分	CaO	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
含有率%	5.12	23.94	3.78	1.36	0.36
成分	Cl	SO ₄	ZnO	Na ₂ O	Ig. loss
含有率%	0.14	<0.03	47.98	0.04	17.00

表一3 スラッジ分析結果

このスラッジは、亜鉛メッキ鋼管の亜鉛が急速に腐食溶出し、水中で、水酸化物 (Zn(OH)₂) および酸化物 (ZnO)として析出するとともに、原水に由来するシリカが亜鉛イオン (Zn⁺⁺) と反応して析出したものである。

水質分析の結果では、循環水の亜鉛イオン濃度が 2.4 ppm、原水のシリカ濃度が 30 ppmであった。

亜鉛メッキは、本来犠牲的に腐食溶出して、母材の鋼管を腐食から保護する役割を持つ。当事例では、亜鉛の溶出が異常に急速に進んだためにこのようなトラブルを招いたのである。

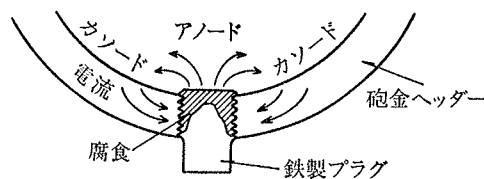
なお、亜鉛の異常な溶出原因については、継続して調査中である。

(3) 異種金属の接触による腐食例 竣工後約7年経過したビルにおいて、ファンコイルユニットの鉄製プラグの腐食で漏水した。このプラグは、ドレン抜き用の穴に取り付けられていたもので、腐食原因は次のように判明した。

原因の一つは、冷却水の一部が循環水（冷温水）に混入し、水質が悪化したことである。さらに、図一4に示すように、ファンコイルユニットの砲金製ヘッダーとの間で、異種金属の接触による局部電池が形成され、腐食を促進した。

この種の腐食では、当事例のように、カソードとなる金属の面積に対して、アノードの面積が小さいほど腐食速度が大きくなる。

対策は、冷却水の混入を防止するとともに、プラグをヘッダーと同じ材質に替えた。



図一4 異種金属接触腐食

7. おわりに

ここに提案した水質管理法は、蓄熱システムにおける水質に起因したトラブルの防止を目標に、設備管理者の参考資料としてまとめたものである。

本報を参考に、個々の条件に応じて、適切な水質の管理を行ない、トラブルの防止に寄与することを願っている。

なお、この内容は、筆者が参加している空気調和衛生工学会、蓄熱システム研究委員会にも提出している。