建築設備の腐食事例とその対策

松 島 俊 久*

* 鹿島建設株式会社建築工務部

Case Studies on the Causes and Cures of Corrosion in Building Equipment

Toshihisa Matsushima*

* *Archictuaral Technology Development, Kajima Co.*

Building equipment is subdivided into three categories: electrical, plumbing and air conditioning equipment. The plumbing equipment is further divided into cold and hot water supplies and drainage system as well as gas supplies, and fire-fighting installations. Depending on its purposes, the plumbing equipment is also subdivided into cooling water supply, chilled water and hot water supplies, the return condensation and the oil supply. In this paper, plumbing and air conditioning equipment related to water use in general is discussed. Because very little research has been conducted on building equipment, the technology nedded to evaluate it is insufficient in many respects compared with industrial plant construction works. The problems of corrosion experienced with building equipment were reported a decade ago. They were: grooving corrosion on electric resistance welded pipes; pitting corrosion and red water on galvanized steel pipes; stress corrosion cracking on stainless hot water tanks; pitting corrosion, corrosion and fatigue cracking on copper pipes for hot water supply; dezincification on brass valves; corrosion on condenser tubes for the refrigeration machine; and macro-cell corrosion on underground pipes. However, problems with building equipment are on the decline because their causes and cures have been clarified and identified in recent years. In this paper, individual cases of corrosion have been examined to determine causes and cures.

Key words: building equipment, case studies of corrosion, fresh water, sanitary, air-conditioning

1. はじめに

建築設備の分野で過去約 10 年程前に経験された種々の腐食事例として、電縫管の溝状腐食、白ガス管の孔食・赤水、ステンレス製貯湯槽の応力腐食割れ、給湯用銅管の孔食・潰食・疲労割れ、青銅製バルブの脱亜鉛腐食、冷凍機コンデンサーチューブのパンクおよび土中埋設管のマクロセルなどがあり、それらの原因と対策は明らかになってきており、問題の発生が減少しつつある。

第一次オイルショック以後、建設業は冬の時代から近年の繁栄の時代へと変化する中で、建築設備の領域で使用する材料は、ステンレス配管の採用、集合住宅でのポリブテン管・架橋ポリエチレン管の採用など高級化や

樹脂化の傾向にある。また、給水の赤水および土中埋設管のマクロセル腐食の防止のため、金属と樹脂の複合化も行われている。しかし、建築設備システム、使用環境、ライフおよび施工側の対応に対する配慮が十分でないために、新たな問題が顕在化してきている。また、従来から経験されてきたトラブルの発生もあり、現場担当者が十分に対応しきれていないのが実情である。ここでは建築設備の概要を紹介すると共に、各設備において、最近、我々が経験した事例について、その状況と原因・対応策などを述べる。

2. 建築設備と水環境

建築設備の分野は腐食・防食の研究対象としてはなじみが薄く、実務レベルで処理されている。今回、建築設

* 東京都港区元赤坂 1-2-7 (2-7 Motoakasaka, 1 Minato-ku, Tokyo, 107 Japan)

表 1 建築設備の用途区分とシステムの構成

区分	用途	システムの主な構成		備考
		機 器	配 管	
衛生設備	給 水	ポンプ・受水槽・高置水槽・水栓・洗面器・便器など	・塩ビライニング鋼管 ・ポリエチレン粉体ライニング鋼管 ・ステンレス管 ・銅管 ・硬質塩化ビニル管 ・外面被覆鋼管 ・铸铁管	
	給 湯	ボイラ・貯湯槽（ストレージタンク）・ポンプ・水栓など	・銅管 ・ステンレス管 ・耐熱塩ビライニング鋼管 ・耐熱塩ビ管	
	消 火	ポンプ・消火水槽	・黒ガス管 ・白ガス管 ・外面被覆鋼管 ・銅管 ・铸铁管	
	排 水	排水槽・ポンプ・便器など	・白ガス管 ・排水用塩ビライニング鋼管 ・タールエポキシコーティング鋼管 ・硬質塩化ビニル管 ・銅管 ・铸铁管 ・ヒューム管 ・軟質塩ビコーティング管	
	ガ ス	ガスコック・ガスメータなど	・黒ガス管 ・白ガス管 ・外面被覆鋼管 ・ステンレス管	
空調設備	冷却水	冷凍機パッケージ型空調機・ポンプ・冷却塔（クーリングタワー）など	・白ガス管 ・塩ビライニング鋼管 ・ポリエチレン粉体ライニング鋼管 ・ステンレス管	
	冷・温水	冷凍機・ポンプ・ボイラ・熱交換器・蓄熱槽・空調機・ファンコイルユニット・コンベクタなど	・白ガス管 ・塩ビライニング鋼管 ・ポリエチレン粉体ライニング鋼管 ・銅管 ・ステンレス管	
	蒸気還水	ボイラ・放熱器・ポンプ・還水タンク（ホットウェルタンク）	・黒ガス管 ・ステンレス管	
	油	貯油槽・ポンプ・ボイラなど	・黒ガス管 ・銅管 ・外面被覆鋼管	

備の詳細の説明は省くが、業種別に分けると、電気、衛生および空調に分類され、その中で特に水環境とかかわりのある衛生および空調に焦点を当てて述べる。衛生に

図 1 酸素溶解度曲線

図 2 給湯循環の往管と返り管の流速変化

は、給水、給湯、消火、排水およびガスに分けられ、空調も同様に使用目的別に、冷却水、冷水・温水、蒸気還水および油などに分類される。このように水環境が各々異なり、これらの設備は水環境とかかわりがある機器と水を搬送する配管によって構成されている。表 1 に現在一般に使用されている主な配管材料、機器を示す。

1) 衛 生

給水は、水道法¹⁾の基準に合うように残留遊離塩素を含んでいるとともに、冬と夏の水温が約 20℃ 程差があり、図 1 に示すように、溶存酸素の量も異なる²⁾。また、水の安定度指数³⁾も一般には 10~12 の範囲にあり腐食性を示す。蛇口から吐出した水量が配管内に補給されるシステムで、受水槽から蛇口まで一過式となっている。

給湯は、蛇口から直ぐ湯がでるようにポンプによって配管を循環するシステムを一般に採用している。この方式を中央式又はセントラル方式と呼ぶ。この方式は蛇口から湯を出した時、給水系統から循環系に補給され、それ以外は管内の給湯水は循環するだけである。従って、ポンプを 24 時間運転する場合は、湯を使わない時の循環量が非常に多い傾向を示す。さらに、循環系に加熱や圧力の低下を生ずる場所では、気液分離が生じ気泡が発生し、停滞することがある。また、蛇口を開くと給湯配管の返り管の水量が減少することがある。この一例を図

2 に示す。この現象は返り管に近い蛇口を開く時に顕著に現れ、補給水が往管と返り管に別れ、返り管の方は循環方向とは逆に流れ、蛇口に供給されるためである。その往管と返り管の水量の割合は配管などの損失抵抗によって決まる。この逆流している部分では乱流状況と考えられ、潰食が生じやすい領域と判断される。

消火は、定期点検以外は停滞水となり死水となっている。定期点検時の放水の場合でも水の入替えはある該当するルートに限定され、それ以外は初期の水張り状態のままである。

排水は、便所からの汚水と洗面所などからの雑排水、雨水などに分かれる。特に、小便器からの尿および小便器洗浄用の洗剤などは腐食性が高い。また、厨房、住宅の台所流しの排水は油脂が多く温排水となる。

ガスは、配管が直接水環境ではないが、管内面の結露がたまって腐食することがまれにある。特に土中埋設管のマクロセル腐食や電食の問題があったが、対策が施されている。ほかに、工業用水、温水、井水および排水の再利用などの水環境がある。

2) 空 調

冷却水は、配管方式によって水質が異なり、配管方式には、開放回路と密閉回路とがある。一般には開放回路が多い。開放回路は、開放形の冷却塔で、大気と水が接触し溶存ガスは大気と平衡になる。また、イオン類が濃縮され、pH 値が上昇する。適正な濃縮を維持するためにブローを行っており、葉注している例が多い。大気と水が接触しているため、大気が炭酸ガス、亜硫酸ガスなどによって汚染されている場合、アルカリ分が消費され pH 値も低下して腐食性を示すことがある。

冷水・温水にも開放回路と密閉回路があるが一般には密閉回路が多い。開放回路は蓄熱槽の水を空調機などのコイルと直接熱交換する場合で、配管内を循環する水は蓄熱槽で大気と水が平衡状態になっている。密閉回路の場合、初期封入した水は配管内を循環する間、遊離炭酸や酸素が消費され pH 値は 9~10 程度に上昇し、溶存酸素は約 1~2 ppm に低下する⁴⁾。

また、冷水および温水配管は同一配管で兼用する場合

図 3 蒸気還水の pH 値の年間推移例

が多く、温水と冷却水配管も兼用する場合がある。

蒸気還水は、蒸気の凝縮水で省エネルギーを考慮しボイラへ補給水の一部として戻している。一般にボイラ水の前処理は単純軟化装置だけのことが多いため、補給水のアルカリ分がボイラで炭酸ガスに分解し蒸気と随伴し放熱器で凝縮した水は pH が 4 程度低下することがある。図 3 に蒸気還水の pH 値の年間推移例を示す。

油配管は内部に水分が混入しない限り問題ないが、土中埋設の環境でマクロセル腐食が発生する。最近では埋設しない施工としてビットの中に配管している。

3. システムの影響

配管内の水質は、どの部分も大きな差は無いが、水質以外の水環境は流速、圧力、重力、温度および運転時間などがシステムや配管方法によって異なり、開放回路と密閉回路では溶存酸素の量が異なる。配管の横引管と立管によっても腐食の形態が異なり、重力の影響を受けている場合がある。また、同一系統でも管内の各部分の流速も異なる場合が一般である。特に、冷温水の流速は、室内の温度によって自動弁を制御し変流量となる場合も多くなって来ている。さらに、最近では、ポンプのインバータによる回転数制御が採用され始め、ますます流量が複雑になってきている。また、給湯配管の場合は、図 4 に示すような循環部と非循環部があり、それらで腐食の

図 4 循環部と非循環部

図 5 配管方式

差がある。銅管を使用した場合、非循環部ではほとんど問題ないが、耐熱塩ビライニング鋼管をした場合に施工のばらつきによっては非循環部で赤水として現れることがある。また、各機器への流量を均一にするため、リバーシターン方式という配管方式を給湯、冷温水、冷却水などに採用することがある。図 5 にリバーシターン方式を示す。

4. 用途別の腐食事例

4.1 給 水

赤水の問題が最近多く、塩ビライニング鋼管を使用した場合でも発生している。これは継手に管端コアの挿入を忘れたり、水栓エルボ部分のコーティング不良、鉄製の持出しソケットなど、鉄地肌を水に接触させたために生じたものである。現在はコア内蔵形の継手が主流になって来ている。しかし、この継手もどこまでねじ管理が出来るか施工の問題が残る。

鋳鉄製のポンプが 2~3 時間程ポンプが停止していたため、赤水の原因となる例もある。対策は材質をステンレスまたはナイロンコーティングとするかポンプを強制

図 6 土中埋設管のマクロセル腐食

図 7 被覆鋼管の異常形態腐食

図 8 被覆鋼管外面の曲げ部貫通孔

表 2 捕集水中の塩素イオン及び硫酸イオン（亜硫酸イオン）濃度

(mg/ℓ H ₂ O)		
捕集系	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ (SO ₃ ²⁻)
A 邸	台所系	17.0
	室内空気	1.4
B 邸	給水系	12.7
	室内空気	1.5
C 邸	給湯器系	46.0
	給水系(1)	52.4
	給水系(2)	50.2
	室内空気	30.6
(注) 東京都上水 昭和61年11月30日定量		
	17~30	27~53

的に運転し停止時間を短くする方法が講じられている。

ステンレス製の受水槽などで気相部に孔食が発生したことがあり、内部結露によって塩素イオンが高濃縮になった結果で、その部分を耐塩素性のステンレスに仕様を変更する対策も一部で実施されている。

現在でも比較的多い事例は土中埋設配管のマクロセル腐食である。図 6 は防食テープ巻の場合を示す。特に、防食テープ巻の事例が多く、その原因はテープ巻き不良と施工中の傷によるものである。そこで外面被覆鋼管が使われるようになったが、当初、継手は従来の防食テープ巻であったため、継手部分が集中的に腐食した事例もある。また、外面被覆鋼管を使用する場合も絶縁継手が必要である。その理由はもし施工中で傷が存在すれば防食テープ巻より短期間に腐食するためである。しかし、外面被覆鋼管の接地抵抗が大きいので、一般に言われている管径の 3 倍の長さの絶縁継手を使用しても効果は少ない。その問題を解決する方法は犠牲陽極を併用することが有効と考えられ、設置する犠牲陽極の量も少なくすみ経済的である。

被覆材に溝が付いた被覆鋼管を給水管に使用し、短期間に外面から腐食した事例がある。腐食は図 7 に示すよ

うに蟻の巣状に発生し、既に報告のある⁹⁾有機溶剤による異常形態腐食と類似していた。この銅管は集合住宅で使用されており、図8に示すように結露水がたまりやすいベンダ曲げ部の黒色の被膜の周辺に貫通孔がある。被覆銅管の保温の末端処理は何もしていなく、溝内に室内空気が出入し結露・乾燥を繰り返す状況であった。その結露水を採取し分析した結果を表2に示す。塩化物イオンと硫酸イオンが検出されたほか特に腐食因子は特定できなかった。同じように被覆銅管を温水配管に使用しても漏水がないことから結露水が腐食要因の一つと推定さ

図9 給湯横銅引管の孔食分布パターン

図10 給湯用銅管の潰食の例

れた。そこで対策は結露を発生させないように被覆の端部の隙間をシール材で充填し、その上からテーピングを施し溝内を密閉にした。その後漏水は発生していない。

4.2 給湯

給湯配管の70~80%の割合で銅管が使用されており、継手の施工性、信頼性およびコストの面から今後も使われると考えられる。しかし、銅管は孔食、潰食など生ずることがあり、ほとんどの場合、使用温度が60°C近くの場合が多い。一概に孔食といっても孔食の分布のパターンが幾つかに層別され、各々管内環境が異なり、その原因もおのずと異なる。そのパターンの概念図を図9に示す。潰食も孔食と同様にその分布によって管内環境が異なり、全面に発生したもの、図10に示すようなエルボ後に斜めに生じたもの、切断面のバリ近くに発生しているもの、局部的に点在しているものに分けられ、これらの分布によって潰食の度合いがある程度判断できる。

集合住宅の住戸内配管で、被覆銅管を床コンクリートに埋設し、曲り部でクッション材を巻かずに埋設したために疲労割れを生じた。また、施工中に作業者が配管の交差部分に乗り、交差部に荷重が集中し銅管がへこみ、その傷の部分が腐食したことがある。その状況を図11に示す。

銅管の内面状況は、循環部分と非循環部分で異なり、

外観状況

内面状況

図11 銅管へこみ傷部の腐食の例

酸化被膜は循環部分の方が厚く、スケールも厚く付着している傾向がある。孔食の対策として、フィチン酸を0.5 ppm 注入し効果があった²⁾。また、夏期と冬期の給水温度により溶存酸素濃度も異なり、寒冷地などはさらにその差が顕著に現れる。給湯循環部分は半密閉系であるため、溶存酸素は給湯温度の飽和値以上の場合が多く、給水の濃度より高い場合も観測された⁴⁾。従って、薬剤による対策以外は、この溶存酸素を飽和値まで下げないように脱気することが有効で、潰食の対策にもなる。この脱気方法として、循環系の一部を大気へ開放するようにすれば解決でき、具体的には開放系貯湯槽、開放形脱気装置が最近採用されている。

銅管は特に流速の影響もあり、おおむね循環流速が0.5 m/S 以下のとき孔食、1.2 m/S 以上のとき潰食が発生することがあるため、流速の測定も試験項目に入れなければならない。最近、外面から容易に測定できる超音波流量計がある。適正流速を確保するために、定流量弁を分岐系統に入れることも良い方法である。また、返りの温度を検出し循環ポンプを運転するシステムまたはタイマーによる運転とし、必要以上に強制的に循環させないことも銅管を使用する上で重要である。脱気が不可能な場合、温度をできる限り下げることが重要である。さらに、立管頂部に自動空気抜弁を設ける方法も有効である。

銅管の疲労割れや傷の対策は、熱収縮を吸収するためにエルボ部に架橋ポリエチレン保温材を巻き、コンクリートに埋設する。床上配管の交差部分は極力少なくなるようにルートを検討すると共に、図12のような養生を行う。また、被覆銅管を使用する場合、交差部分の下部配管は給湯用とすることが望ましい。最近、銅管に代わり

図12 被覆銅管の交差の養生

ステンレス配管や耐熱塩ビライニング鋼管が採用されてきている。しかし、ステンレス配管は現場で溶接接合が非常に難しく、内面の酸化スケールをなくすようなバックシールの管理、酸洗が現実には難しい。現在は工場でのプレハブ化で対応している。また、耐熱塩ビライニング鋼管はねじ管理が難しく赤水が生じることがある。特に水が管内を停滞する時間が長い非循環部の場合に多い。

内面グラスライニングされ、外電防食と犠牲陽極の併用の電気防食の電気温水器で、使用後2年で給湯口から赤水が発生した。その量は毎朝使い初めの約200 l 程であった。図13に示すように配管取出口に赤錆が確認され、タッピング部の材質が鉄で、ねじ部のグラスライニングが不完全であったことと、電気防食がタッピング部の奥まで有効に働かなかった。その原因は電気防食の電極の近くの電熱コイルに防食電流が多く流れ、また、返湯口にはステンレス管が突き出しており、防食電流が中に入らずすべてステンレス管に流入したためであった。対策は電気防食を有効に働かすため、電極の位置をタッピング部の近くに移動し、電熱コイルと缶体に抵抗

図13 配管取出口の錆の状況

表 3 排水水質分析結果

測定項目	測定値
pH値	3.5
比抵抗 (Ωcm)	470
塩素イオン ppm	318
硫酸イオン ppm	35
硝酸イオン ppm	21
有機物含有量 (%)	99
総硬度 (as CaCO_3 ppm)	174

図18 排水継手 (MD 継手) の内面状況

図19 ブリスタの発生状況

部にこの酸性の排水が残りにピット状の腐食が進行したものと考えられた。

また、内面エポキシコーティングの排水継手 (MD 継手) で 3 年経過後の状況を図 18 に示す。サンプルは横引部の継手で底部と頂部との差が大きく、底部の側に腐食が発生している。図 19 に示すように腐食の発生していない頂部でもブリスタが生じていた。コーティングの膜厚が $70\sim110\mu\text{m}$ では完全な防食は難しいが、3 年経過後の状況から判断すると実用上問題無い程度と思われる。

4.4 消 火

消火配管は黒ガス管が多く使われているが、最近、定期点検の時に赤水が放出されるため、白ガス管を使用す

ることが増えてきている。埋設部分は給水の場合と同様なマクロセル腐食が発生することがある。

4.5 ガ ス

管内面で結露水がたまり腐食した事例のほか、埋設部分はマクロセル腐食の例が多く、外面被覆管と絶縁継手によって対策されている。

4.6 冷 却 水

開放回路が一般的で、今までの多い事例は電縫管の溝状腐食、コンデンサーチューブの腐食などが発生することがある。腐食を進行させる要因はほとんどが水質管理の不備、低濃縮運転の状態が続いて pH が低下し、水の安定度指数も $7\sim8$ の範囲で運転している場合が多い。冷却水の水質管理が適正でない場合、腐食の問題とスケールの問題のどちらかの現象が生じる。前者の場合の事例として、図 21 に示すように、冷凍機の冷却水系の吸収器、凝縮器の水室内の塗装が大半剥離し、刷毛塗りの方向に添って赤錆が発生していた。塗装はタールエポキシ樹脂塗料を使用しているが 1 回塗の場合が多く、本来、 $300\mu\text{m}$ の膜厚がないと防食効果が小さく、刷毛塗りの場合、最低 3 回塗りを施さなければならない。また、メンテナンスで定期的 ($1\sim2$ 年) に補修塗装が必要である。それ以外に当然冷却水の濃縮管理を適正に行わなければならない。水の安定度指数を $6.5\sim7.0$ の範囲で、若干のスケール傾向で運転する必要がある。昔も今も変わらず多い事例として冷却塔と煙突の隔離距離が十分とれていない場合による配管およびコンデンサチューブの腐食が生じることがある。対策として中和剤を投入する方法があるが、薬剤の量が使用者の経済的な負担となり、永続的に費用が掛かる。この場合、できるだけ煙突からの重

図20 冷凍機の冷却水系の水室内の赤錆状況

硫酸ガスを冷却水中に溶け込ませない工夫を計画時からすべきである。スケール障害も水質管理に起因することが多く、補給水によって水質目標値を設定し、X-R 管理図で管理していく必要がある。また、水質管理の状況と同時にその結果を何らかのデータで把握しなければならない。例えば、冷媒凝縮温度と冷却水出口温度の差の変化をとらえていく方法もある。ただし、この差は機器およびメーカーなどによって異なるため、一シーズンのデータからスケール付着との相関を見極めておく必要がある。水質管理の基本は水の安定度指数の値を 6.5~7.0 の範囲で管理すると共に、シリカについては、単独に管理値を 120~150 以下となるように、濃縮倍数の管理が重要で、夏期のスライム障害対策も必要である。最近、水質管理の方を軽視し、配管材料をステンレスや塩ビライニング鋼管などを採用する傾向がある。

4.7 冷 温 水

密閉回路の場合であっても配管内の水は、表 4 に示すように鉄および亜鉛がそれぞれ 50~150 ppm 近くになることがある。原因はポンプのグランドからの漏れが多いため、配管内の水の入れ替え頻度が約 1 回/日と多く、密閉とはいいい難い状況になっていたと推測された。対策

表 4 密閉回路の冷温水水質分析

分析項目	補給水	冷温水 7 月	冷温水 4 月
pH 値	7.1	8.8	10.1
Mアルカリ度(as CaCO ₃ ppm)	26	22	26
全硬度(as CaCO ₃ ppm)	45	26	20
塩素イオン ppm	12	9	20
シリカ ppm	38	2	3
全鉄 ppm	0.18	122	1.5
亜鉛 ppm	0.04	133	8.6
電気伝導度 μs/cm	216	106	94
入替え頻度		0.24~0.73回/日	0.0005回/日

表 5 冷温水開放回路での腐食・漏水事例一覧表

建物用途	内 容	経過年数
(1)事務所ビル	ファンコイルチューブの孔食(100台中半数)	0.5年
(2)事務所ビル	エアハンドリングユニットチューブの孔食	1年
(3)事務所ビル	ファンコイル回り銅管の孔食	1.5年
(4)事務所ビル	パネル放熱器の腐食	2年
(5)事務所ビル	冷凍機チューブの孔食	4年
(6)事務所ビル	フート弁の腐食による作動不良	4年
(7)病院	ファンコイル水抜きバルブの腐食	5年
(8)病院	白ガス管の孔食	5年
(9)美術館	エアハンドリングユニットチューブの孔食	6年

としてグランドパッキンからの漏れ量を適正値の 2~5 cc/分にした結果、pH が 10 近くに上昇し、鉄・亜鉛も減少した。このように配管内の密閉度を保つことが腐食抑制となる。また、初期の補給水に含まれる溶存酸素および遊離炭酸を消費させる部材の選定、その部材が広い面積を占める配管システムが望ましい。さらに、グランドパッキンの選定およびそのメンテナンスが重要である。

開放回路の場合の腐食事例を表 5 に示す。約 1 年以内に発生した非常に腐食速度が速いものと、4~5 年以降に生じたもの、10 年経過の 3 パターンに層別できる。特に 1 年以内に発生する機器銅チューブの漏水の要因として図 21 に示すようなフラックスの残渣、図 22 に示すような硬ろう部分の高温酸化部の不均一、ヘアピン曲げ加工時のマンドレルによる傷など、既に通水する前から腐食の原因が存在していると考えられ、製作・据付から通水するまでの間に腐食の起点が成長し、蓄熱槽で供給される酸素が腐食を進行させていると思われる。従って、ろう付け時の不活性ガスによるバックシールおよび通水まで窒素ガス封入が望ましい。また、流速によっても腐食の進行速度が異なり、流速が遅い程、腐食速度が速い傾向である。給湯での銅管と異なる点はスケール下の酸化被膜の色が給湯の場合のような黒色（酸化銅）で

直管部

バンド部

図21 空調機銅チューブのフラックス残渣による初期腐食

通水後 3 カ月

通水前

図22 ベンド部硬ろう付部の高温酸化状況

なく、茶褐色で酸化被膜が亜酸化銅だけで厚さも薄く、スケール表面および酸化被膜の状況が不均一で、給湯に比べ腐食速度が速い（腐食速度平均 0.7 mm/y ）傾向である。この不均一を生ずる要因として、チューブのヘアピン、ベンドなどの加工時の傷、フラックスおよび加工油の残渣、塩素系有機溶剤などの脱脂剤の残渣、加工油に含まれる未精製分または極圧剤として含まれるイオウ分、ろう付け時の加熱（高温酸化被膜）、銅の質別、流速および構成部材の材質の影響が考えられる。従って、加工メーカーの製作工程を把握し、腐食状況との相関を見いださなければ要因はつかめない。また、通水しない前の加工した新品チューブを数週間大気に放置し、それを半割りして初期状態を観測することは要因把握の上で効果があった。鉄系の腐食に対しては、水の安定度指数を $6.5 \sim 7.0$ の適正範囲に維持しなければならない。最近、銅チューブおよび配管内のスケール付着、管内の汚れの

下部に有機物による腐食も考えられ、問題にしている研究者もいる。

4.8 蒸気還元

還元配管の腐食の事例で、竣工後から還元水の全鉄が高く、ボイラ缶内の全鉄も非常に高くなりドレン回収ができない場合があった。蒸気ボイラは蒸気圧 8 kg/cm^2 で主に食品生産用に使用していた。腐食形態は全面腐食および底部に川のような溝状であり、還元水の pH は $5 \sim 6$ の範囲で原水より低下していた。これはボイラ給水処理が軟化装置のみのためボイラで発生した炭酸ガスが凝縮水に溶解し還元水の pH が低くなったと考えられた。この場合には、脱塩処理、純水装置を考慮しなければならない。もし不可能ならば配管などの材質をステンレスにしなければならない。

4.9 その他

アルミ製シルミン鋳物の水中ポンプの腐食事例を図23に示す。ポンプは図24に示すようにコンクリート製の水槽（表面塗膜防水）内に設置されて接続されている配管はステンレス鋼管（SUS304）である。ポンプケーシングの表面が約2年で孔食およびクラックが発生しており、ケーシング全面に白い粉状の酸化物が付着していた。特に、ステンレス製の銘板取り付け部およびコンクリートの側面に最も近い部分に腐食が進行していた。なお、クラックは孔食を起点として発生し、その腐食深さは最大 3 mm であった。原因はアルミ表面の樹脂コーテ

図23 アルミ製の水中ポンプの腐食

図24 水中ポンプの設置(ポンプピット断面)

図25 自然電位とマグネシウム設置後の電位

キングの欠陥部の存在、コンクリート槽とポンプのマクロセル、ステンレスとの異種金属接触により腐食したと考えられ、腐食部位によって原因が異なると判断された。対策はマグネシウムの犠牲陽極を図24のように設置し、配管に樹脂製の絶縁継手を取り付け、ステンレス配管部分をベトロラタムで被覆した。ポンプの自然電位およびマグネシウム設置後の電位を図25に示す。因みにマクロセル電流は2.3 mAであった。

5. 最近の問題点

最近の傾向について述べると、例えば、高級な金属を使うのは良いが、コストの関係から同じ金属を使わず、卑な金属と混用することが多い。すなわち、異種金属接触となる。一方で、非常に過敏になって何でも絶縁しなければならないという考えがあるが、実用上問題ない場合も多い。設備用途や配管のシステムが異なるもので一概に決めることは問題である。腐食の事例から十分解析し問題を明確化すべきで、その解析を十分行わないとオーバースペックとなったり、逆に腐食を促進させたり、

別の現象を引き起こす可能性がある。また、現状では施工の信頼性、作業員の能力低下などの問題があり、メーカー側の要求を満足できない状態も発生しつつある。

さらに大きな問題として、設計、施工、メーカーがばらばらに腐食問題に取り組んでおり、現在、一部で献身的活動によって支えられているのが実情である。例えば、冷温水の開放系で機器のチューブなどが非常に早い時期0.5~1年で腐食・漏水することを報告したが、メーカーの情報提供不足、解析能力、調査費用などの問題があり、原因を追求できないで終わることが多く、水質の要因として済まされている。これらの原因追求ができる場合はまれで、納得いく解決ができたとしても1年以上の調査期間が掛り、建物のオーナー、設計者、設備会社、特にメーカーの全面的な協力と理解がなければ不可能といつてよい。建築設備の場合、事例解析の数が少なく、解析も不十分で、かつ、それらが公表されず体系的にも整理されていないことも問題の解決を困難にしている。また、メーカーによる新しいシステム、機器の開発に伴う腐食が今後新たな形態で生じることが懸念される。

6. おわりに

今回、腐食事例を体系的にまとめるように試みたが、建築設備の分野は非常に多岐にわたっており、断片的な記述や一部片寄った記述になったように思う。現場サイドにいる者として、腐食の状況を正しく研究者へ情報伝達できることを願っている。最後に腐食事例の解析で最も重要なことは、結果である腐食の状況を種々の角度から十分過ぎるほど分析・解析することで、安易に原因を推測してはならないことである。解析に当たっては、必ず健全部と腐食部があるはずでミクロばかりでなく、マクロ的な目・鳥瞰的な目をもってその差が何による「差」か追求することによって要因を絞り込める。また、現場サイドと研究サイドの連携強化を計らなければならない。今後、何らかの役に立てば幸いである。

(1989年12月22日受理)

文 献

- 1) 上水試験方法, 日本水道協会 (1978).
- 2) 松島俊久: 給湯用銅管の孔食防止対策事例 建築設備と配管工事, '85.2.
- 3) 三村 胖: 配管材料の腐食, p. 52, 理工評論社, (1975).
- 4) 建築配管用銅管腐食対策指針, p. 394, (社) 日本銅センター (1987).
- 5) 山内重徳, 永田公二, 佐藤史郎, 下野三樹雄: 銅管の異常形態腐食について, 伸銅技術研究会誌, 22, 132 (1983).