スプリンクラー配管の腐食機構の解析と対策

ANALYSIS OF CORROSION MECHANISM OF SPRINKLER PIPING AND CORROSION PROTECTION

山手利博*

Toshihiro YAMATE

The water leakages due to corrosion occurred from the dry sprinkler piping and the wet sprinkler piping which both are galvanized steel pipes after 1.5 year and one years of use respectively. The cause of corrosion was investigated by the electrochemical analysis of the cut sample pipes and the reproduction experiments. It was clarified that the cause of corrosion depended on the reversal phenomenon of electrical potential between the zinc and the steel, and the high density of dissolved oxygen caused by high pressure in piping. For preventing corrosion, the water in dry sprinkler piping should be pulling out and the airs in dry and wet sprinkler piping should be substituted for nitrogen.

Keywords : *Sprinkler Piping, Galvanized Steel Pipe, the Reverse of Electrical Potential between the Zinc and the Steel, Hyperbaric Air, Substitution with Nitrogen*
スプリンクラー配管, 亜鉛めっき鋼管, 亜鉛と鋼の電位の逆転, 高圧空気, 窒素置換

1. 序

国内で一般的に使用される湿式スプリンクラー配管においては、これまで腐食による漏水などの問題はほとんどきかれなかった。配管の切り取りによる実態調査においても管内面の腐食は非常に軽微であることが明らかにされている¹⁾。この理由は、配管内には水が充填されているが水の入替えがほとんどないため、水中の溶存酸素が配管表面の腐食反応に消費され、その後補給されないためである(配管内の溶存酸素濃度は高くても約8~10mg/Lであり、水中の全溶存酸素が配管表面と反応しても腐食量としては全く問題にならない)。ところが、倉庫のスプリンクラー配管において使用開始わずか1年で腐食により漏水する事故が発生した。また、予作動式(乾式)スプリンクラー配管は管内の水が凍結する恐れのある寒冷地で主に適用されるが、湿式スプリンクラー配管の誤作動時の出水による事故を回避する目的で、最近では寒冷地以外での適用がみられる。この場合、管内には空気が充填されているため腐食の問題は発生しないと考えられてきた。しかし、最近の調査により予作動式スプリンクラー配管において度々腐食による漏水事故が発生している実態が明らかになった。予作動式スプリンクラー配管における腐食漏水事故は早いもので使用開始から1.5年で発生し、約3~4年と短期間での発生例が多くみられる。このように、従来、腐食が進みにくいと考えられてきたスプリンクラー配管の腐食事故は非常時の消火機

図1 事例Aにおける乾式スプリンクラー配管系統図

能を損なわせるものであり、その原因究明と対策は建物の維持管理上非常に重要である。本研究においては、使用開始後短期間で発生した予作動式スプリンクラー配管および湿式スプリンクラー配管の腐食原因の究明と対策の検討を行う。研究の方法として漏水事故が発生した配管サンプルの分析と水質分析および使用条件を考慮した再現実験を行い、腐食事象を検証する。さらに、実験の結果を踏まえて対策案について提案する。

なお、本論文は既口頭発表論文^{2) 3)}に追加検討を加え、再編したものである。

2. 予作動システムにおける腐食事例Aの解析

2.1 腐食発生の経緯と配管システム

* 榊竹中工務店技術研究所 主任研究員・博士(工学)

Chief Researcher, Technical Research Laboratory Takenaka Corporation, Dr. Eng.

表1 事例A・建物概要と漏水の経緯

建物種別	工場
規模	1F
竣工	1997年1月
1回目の漏水	1998年7月(100A横管)
2回目の漏水	2000年8月(80A横管)
漏水発生部位	1F天井
配管材質	亜鉛めっき鋼管

写真1 サンプル管の内面状態

写真2 配管穿孔部の内面および断面状態

塩素 Cl

硫黄 S

図3 配管穿孔部断面における EPMA 分析結果

表2 腐食生成物の EDX 定性分析結果と X 線回折法による同定結果

試料採取位置 (図1)	検出された主な元素 (EDX)	同定された物質 (X線回折法)
試料A (管内表面健全部)	Zn > O > C, Fe, Al, Mg	ZnO, Zn(OH) ₂
試料B (さびこぶ表層表面側)	Zn, O, Fe > C, Mn, Cl, S > Si, Al	ZnO, Zn(OH) ₂ , Fe ₃ O ₄ , Fe, α-FeO(OH), γ-FeO(OH)
試料B (さびこぶ表層内面側)	Fe, O > Zn > C > S, Si, Al	
試料C (さびこぶ内部)	Fe, O > Zn > C > Si, Al	Fe ₃ O ₄ , Fe, α-FeO(OH), γ-FeO(OH), β-FeO(OH), FeCO ₃ , ZnO, Zn(OH) ₂
試料D (さびこぶ下食孔内)	O, Fe > C, Cl, S, Si, Cu, Zn, Cr, Al	α-FeO(OH), γ-FeO(OH), ZnO

他に、試料Cで存在の可能性が示唆される物質 σ-FeCr

表3 事例Aにおけるスプリンクラー配管母材の微量元素成分の分析結果 (Wt%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu
0.10	0.26	0.43	0.029	0.024	0.06	0.08

Si, Mn, P, Cr, Cu: 固体発光分光分析法, C, S: 高周波燃焼赤外線吸収法, JIS G 3452 P ≤ 0.040%, S ≤ 0.040%

図2 腐食生成物分析用試料の採取位置 (食孔断面)

電極外観

腐食部

健全部

写真3 電位測定用電極

建物概要と漏水の経緯を表1に示す。使用開始後1年6ヶ月で配管口径100Aの横管から漏水し、3年7ヶ月後に80Aの横管から漏水した。経過時間と配管の肉厚から平均腐食速度はそれぞれ2.67mm/年、0.98mm/年と計算される。設備配管の腐食の実態調査結果¹⁾や淡水中の腐食速度が約0.1mm/年といわれる⁴⁾ことから、本件で発生した腐食の速度は非常に大きいといえる。スプリンクラー配管システムの系統図を図1に示す。地下に設置された消火水槽から消火ポンプにより1階の各ヘッダーおよび一斉解放弁までは水が充填され、一斉解放弁から先の2次側配管には3.95気圧の圧縮空気が充填されている。腐食による漏水はいずれもヘッダー2の2次側配管システムにおいて発生し、配管内にはバルブ試験時の水が排水されずに滞留していた。

2.2 腐食現象の解析

2.2.1 サンプル管の観察と配管材質・腐食生成物の分析

使用開始3年7ヶ月後に漏水した漏洩部の配管(80A、配管厚さ3.5mm、横管)を切り取り、配管内面の観察と配管材質および腐食生成物の分析を行った。配管内面の状態を写真1に、腐食部の内面および断面の状態を写真2に示す。配管の内面状態は水平方向で上下に分かれ下面側では全面に白色生成物が生成してその中にさびこぶが散見され、さびこぶの下では局部腐食が発生していた。上面側では白色生成物が少なく灰色の金属下地が覗いている。上面側は空気層、下面側では水が滞留していたものと考えられる。腐食部は写真2に示すように内面が円形、断面が碗形の食孔で底部が穿孔している。穿孔部の腐食速度は前述のように0.98mm/年と計算される。腐食生成物については図2に示すようにさびこぶの表面側とさびこぶの内面側、食孔の内と外および健全部に分けて採取し、EDX(エネルギー分散型X線分析法)およびX線回折法によって分析した。また、食孔の断面の元素の分布状態を調べるためEPMA(X線マイクロアナライザー)による分析を行った。EDXおよびX線回折法の分析結果を表2に示す。表2によれば健全部では主に酸化亜鉛 ZnO 、水酸化亜鉛 $Zn(OH)_2$ が生成しており、酸化亜鉛は半導体的性質を有する不動態皮膜としての挙動から亜鉛の電位を貴化させるといわれる^{5) 6)}。食孔断面のEPMA面分析結果を図3に示す。図3において食孔内部にCl、S(Sは硫酸根 SO_4 に起因すると考えられる)の濃化部が検出されていることから、以下に示す加水分解反応によって塩酸 HCl 、硫酸 H_2SO_4 が生成し、食孔内のpHが低下して腐食が促進されたと考えられる。

配管材質の分析結果を表3に示す。P、SについてはいずれもJISG3452の規格の範囲内であり、材質的に正常であった。

2.2.2 水質

管内滞留水と補給水の水質分析を行った。スプリンクラー配管内滞留水および補給水(原水)の水質分析結果を表4に示す。補給水の特徴として国内の水道水の平均値⁷⁾に比べて電気伝導度、硬度、Mアルカリ度、塩化物イオン、硫酸イオン、硝酸イオン、溶解性蒸発残留物および蒸発残留物が高く、飽和指数が(+)であることが挙げられる。管内滞留水の水質には配管の腐食による鉄、亜鉛の増加、配管表面あるいは水中での析出反応による硬度の減少、還元反応による硝酸イオンの減少などの傾向がみられる。また、過マンガン酸

表4 スプリンクラー配管内滞留水、補給水および印西市水の水質分析結果

分析項目	単位	試料 補給水(原水)	管内滞留水	印西市水(千葉県)
濁度	度	<1	123	<1
色度	度	<2	15	<2
pH		7.2	8.5	7.0
電気伝導度	mS/m	77.0	68.2	27.9
Mアルカリ度	mg/L	300	280	43
カルシウム硬度	mg/L	228	10	57
全硬度	mg/L	394	32	81
塩化物イオン	mg/L	47.3	37.7	25.8
硫酸イオン	mg/L	45.1	36.3	47.2
アンモニウムイオン	mg/L	0.01	1.71	0.02
亜硝酸イオン	mg/L	<0.01	0.12	<0.01
硝酸イオン	mg/L	29.2	0.62	13.1
溶解性蒸発残留物	mg/L	508	491	199
蒸発残留物	mg/L	535	688	204
溶性珪酸	mg/L	17	6	21
全珪酸	mg/L	17	11	21
過マンガン酸カリウム消費量	mg/L	2	59	2
全鉄	mg/L	<0.1	53.3	<0.1
亜鉛	mg/L	0.05	22.7	<0.05
銅	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05
マンガン	mg/L	<0.01	0.21	<0.01
クロム	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05
飽和指数(25℃)		+0.2	+0.1	-1.4

図4 ガルバニック電流測定用電極とガルバニック電流の測定方法

カリウム消費量の増加は微生物の活動や有機物による汚染あるいは配管から溶出した Fe^{2+} の酸化($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$)によるものと考えられる。この中で、硝酸イオン NO_3^- 、炭酸水素イオン HCO_3^- (Mアルカリ度 $\times 1.22$)の濃度が高いことは亜鉛の電位を貴化させる要因と考えられる^{6) 8) 9)}。

2.2.3 腐食原因の推定

写真1において広範囲に亜鉛めっき層の残存する健全部が見られる中で素地の鋼が腐食されていることから、鋼に対する亜鉛の犠牲陽極作用が及ばないことを示している。また、局部腐食の平面形態が円形であることから、健全部が腐食部に対して強いカソードとして作用したことを示唆している。さらに表2において健全部から酸化亜鉛が検出されていること、表4において管内滞留水の炭酸水素イオンと補給水の硝酸イオン濃度が高いことなどから亜鉛(健全部)と鋼(腐食部)の電位逆転によるガルバニック電池作用(電位差による腐食電流の流れ)で局部腐食を生じたと考えられる。この場合、実際の配管内面ではカソード面はアノード周囲の相対的に広い面積に及ぶことから、アノード部の電流密度が増大して局部腐食が促進されたものと考えられる。なお、ヘッダー2系統の2次側配管のみで腐食による漏水が発生した原因としては、配管内に残留水があったことが原因と考えられる。

2.3 腐食現象の再現実験

2.3.1 実験方法

サンプル管の健全部、腐食部から試験片各4ヶを切り出して管外面にリード線を半田付けし、写真3に示すように管内面だけを露出して他を樹脂で被覆した電極を作製した。同様にして管外面の亜鉛めっきを露出させた電極と湿式#400で研磨して管内面の素地の鋼を露出させた電極各3ヶを作製した。健全部と腐食部の電極については大気圧下、室温、静止状態で管内の滞留水中に浸漬させて飽和カロメル電極(SCE)を参照電極としてエレクトロメータにより自然電位を測定した。亜鉛めっき部と素地の鋼の電極については滞留水、補給水および一般的な水道水と比較するため伊西市水中に浸漬させ、大気圧下、室温、静止状態で同様にして自然電位を49日間測定した。また、亜鉛と鋼の電位逆転によるガルバニック電池作用について調べるため、図4に示すように健全部からカソード電極を腐食部からアノード電極を作製し、両者を組み合わせて大気圧下、室温、静止状態で無抵抗電流計によりガルバニック電流を測定した。スプリンクラー配管の内圧が $4 \times 10^5 \text{ Pa}$ (3.95気圧)と大気圧より高いため管内滞留水中の溶存酸素濃度が大気圧下での値(25℃における飽和濃度は8.11mg/L)より高いと考えられることから、試験槽上面をフィルムで覆って気相部に純酸素を流しながら純酸素雰囲気(空気圧4.76気圧相当)中でガルバニック電流の挙動について検討した。さらに対策法として脱酸素の効果について検討するため、気相部を純窒素ガスに置換してガルバニック電流の挙動を調べた。

2.3.2 実験結果および検討

1) 自然電位

各電極の自然電位の測定結果を図5に示す。管内滞留水中において、亜鉛の電位はサンプル管の健全部(亜鉛めっき層残存部)、配管外面の亜鉛めっきとも時間とともに貴化し、鋼の電位はサンプル管の腐食部、母材(素地の鋼)とも浸漬開始時に比べて卑化した。サンプル管の健全部の電位、腐食部の電位がそれぞれ配管外面の亜鉛め

図5 スプリンクラー配管の自然電位の測定結果

図6 健全部と腐食部から構成されるガルバニックセルにおけるガルバニック電流の測定結果

図7 気相部の酸素濃度が健全部と腐食部から構成されるガルバニックセルのガルバニック電流に及ぼす影響

っきの電位、サンプル管の母材の電位に比べて貴であるのは腐食により分極(金属表面に出入りする電流によって自然電位から電位が変化する現象)したためと考えられる。また、サンプル管の健全部の電位は浸漬開始時において既に腐食部の電位より貴になっており、49日目には約320mVの電位差が認められた。すなわち、亜鉛(健全部)と鋼(腐食部)の電位の逆転が認められた。異種金属接触腐食防止のための電位差は50mV¹⁰⁾といわれることから、320mVはガルバニック電池作用を及ぼしうる十分な電位差といえる。

配管外面の亜鉛めっきの電位は管内滞留水中の電位が最も貴化し、49日目では約-450mV (vs. SCE)を示して母材の鋼(約-690mV)との

電位逆転が生じた。補給水中での電位貴化傾向は時間と共に緩やかになり49日目で約-780mVを示す。印西市水中では一旦貴化した電位が再び卑化した。このような亜鉛の電位挙動の違いは、金属表面に形成される酸化皮膜の成分や性状によるもので前述したように水質に影響されるものと思われる。

2) ガルバニック電流

ガルバニック電流の測定結果を図6～図7に示す。健全部/腐食部によるガルバニックセル(健全部/腐食部面積比:10.9)において、図6に示すように健全部をカソード、腐食部をアノードとして約0.0325mAのガルバニック電流(安定後の値)が観測された。写真2に示す食孔の形態からアノード面は1cmφと想定できるためガルバニック電流の電流密度から腐食速度は0.48mm/年と計算される。気相部を純酸素雰囲気とした場合、ガルバニック電流は図7に示すように空気雰囲気と比べ約6倍(0.075mA/0.012mA)と酸素分圧比(4.7倍)以上に増加している。このことから、実際のスプリンクラー配管内(3.95気圧)ではガルバニック電流は3.95倍以上になっていると推定され、腐食速度は $0.48 \times 3.95 = 1.896$ mm/年以上と計算される。この数値は今回生じた局部腐食の腐食速度の水準とほぼ一致する。

また、気相部を酸素から再び空気に戻した場合、図7に示すようにガルバニック電流は酸素置換前の約2倍までしか低下しない。これは純酸素雰囲気時に水の溶存酸素濃度が増大して健全部の皮膜の酸化が進み電位が貴化したためと考えられる。さらに、気相部を窒素で置換することによって試験水を脱気するとガルバニック電流は徐々に低下して0.3μA以下に低下した。これは溶存酸素濃度の低下により以下に示すカソード還元反応が大きく減少したため、本腐食現象の対策方法として配管内面の窒素置換が有効であることを示している。

3. 湿式システムにおける腐食事例Bの解析

3.1 腐食発生の経緯と配管システム

建物概要と漏水の経緯を表5に、スプリンクラー配管の系統図を図8に示す。使用開始1年後に縦主管から横管への分岐ねじ部から漏水し、使用開始1年5ヶ月後に同じ高さの同一仕様部位から漏水した。ねじ部の肉厚はねじ切りにより薄くなっており穿孔後に水が浸み出したと想定すれば¹¹⁾、最初の漏水時の穿孔部の配管厚さが約1.75mm(32A)であるため平均腐食速度は1.75mm/年以上と推定される。消火用水には雨水を濾過処理し塩素滅菌した雑用水が供給されており、雑用水量が不足するときは雑用水槽に水道水が補給される。管内圧は9.5気圧、消火水槽はモルタル仕上げのコンクリート製である。

3.2 腐食現象の解析

3.2.1 サンプル管の観察と配管材質・腐食生成物の分析

漏水部のさびこぶの平面形状は不定形であるが内部に円形の局部腐食が発生していた。漏水部と同じ高さおよびそれより下方の非漏水部の配管内面状態(いずれも横管)を写真4に示す。漏水部と同じ高さの配管においては随所にさびこぶがみられ、漏水箇所と同様な局部腐食が進行していた。それ以外では亜鉛の腐食生成物とみられ

図8 事例Bにおける湿式スプリンクラー配管系統図

表5 事例B・建物概要と漏水の経緯

建物種別	倉庫
規模	1F(吹抜け)
竣工	2000年3月
1回目の漏水	2001年3月 (T字管接続部 32A 横管)
漏水発生部位	1F天井(21.7m)
配管材質	亜鉛めっき鋼管
所在地	千葉県

漏水系統

A-1～A-4,

B-1～B-4

は電位測定
位置

非漏水系統

写真4 サンプル管の内面状態

表6 腐食生成物のEDXによる元素分析結果およびX線回折法による同定結果

試料名	検出された主な元素(EDX)	同定された物質(X線回折)
漏水系統健全部	Zn, O > Fe, C, Cl, S	ZnO, Zn(OH) ₂ , (CaCO ₃)
漏水系統腐食部	Fe, O > Zn, C, S	Fe ₃ O ₄ , ZnO, (α-FeOOH, γ-FeOOH)
非漏水系統健全部	Zn, O > Fe, C, Cl, Ca, Mg, Si, S	ZnO, Zn(OH) ₂ , (CaCO ₃)

(): 存在する可能性のある物質

表7 事例Bにおけるスプリンクラー配管母材の微量元素成分の分析結果(Wt%)

C	Si	Mn	P	S
0.065	0.010	0.37	0.017	0.005

化学分析法, JIS G 3452 P ≤ 0.040%, S ≤ 0.040%

る白色の生成物が均一に厚く生成していた。また、さびこぶの分布は配管末端に行くほど減少しており、スプリンクラーヘッド付近ではさびこぶはみられなかった。一方、非漏水部である下方の配管においては全面的に白色生成物が生成しているが、生成物層の厚さは漏水発生部の配管に比べて少なく、さびこぶはみられない。漏水部の高さより上方の配管においては、僅かに灰色がかった変色がみられる程度でさびこぶや健全部に分布する白色生成物はみられない。このことは漏水部より上では水がなかったことを示唆しており、その後、縦波超音波法(縦波超音波を入射させ、配管内に存在する水からの反射波を捕らえることにより水の有無と水位を測定する)により水がないことを確認した。すなわち、漏水部より上部においては配管内の空気が抜け切れずに大量の圧縮空気が充填された状態となっていた。その原因は配管システムの最上部に開放弁などが設置されていなかったためと考えられる。

漏水箇所および非漏水箇所の腐食生成物の分析結果を表6に示す。漏水箇所、非漏水箇所とも健全部においては酸化亜鉛 ZnO 、水酸化亜鉛 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ が生成しており、炭酸カルシウム CaCO_3 存在の可能性も示される。また、食孔断面の EPMA 面分析結果において食孔底部および内部に S、Cl の濃化部がみられ、前述のように加水分解反応による酸の生成が示唆される。

配管材質の分析結果を表7に示す。P、S についてはいずれも JISG3452 の規格の範囲内であり、材質的に正常であった。

3.2.2 水質

消火水槽水の水質分析結果を表8に示す。電気伝導度、溶解塩類濃度は一般的な水道水の水質範囲⁷⁾にあり、水道水の割合が多いと推察される。また、pH、M アルカリ度が高くモルタル仕上げの消火水槽からアルカリ分が溶出した影響と考えられる。

3.2.3 スプリンクラー配管の電位測定

漏水した高さの配管(漏水系統)と漏水部より下方の配管(非漏水系統)各2ヶについて管外面および切断面を塗料で被覆して管内面(亜鉛めっきの残る健全部)だけを露出させ、管外面にリード線を接続した。サンプル管を消火水槽から採取した水(表8)中に浸漬し、銀塩化銀電極(飽和 $\text{KCl}-\text{Ag}/\text{AgCl}$ 、電位は SCE 基準に比べて 25°C で 42mV 貴に表示される)を参照電極としてデジタルメータにより管内面の自然電位を13日間測定した。電位の測定位置を写真4に示す。比較のため鋼(SS400、湿式#400で研磨)の自然電位の測定を行った。自然電位の測定結果を図9に示す。漏水系統では全ての管内面の電位が鋼の電位より貴になっており、鋼との電位差は $80\sim 240\text{mV}$ であった。非漏水系統では浸漬初期には管内面の電位は鋼より卑であったが、時間とともに貴化し13日後には $40\sim 120\text{mV}$ 逆転した。また、漏水系統、非漏水系統とも白色系の生成物が多くみられる部位のほうが電位が貴な傾向を示した。これらのことから漏水部の環境では亜鉛と鋼の電位の逆転が生じやすいことおよび管表面の白色生成物が電位貴化の要因になっていることが示唆される。

3.2.4 腐食原因の推定

腐食部の際まで亜鉛めっき層が残存していたにも拘わらず母材の鋼に局部腐食が発生していたこと、および漏水部、非漏水部とも亜鉛の残存する健全部の電位が腐食部の電位より貴になっていたことから鋼と亜鉛の電位の逆転が生じていたと推察される。亜鉛層表面に発生した孔食により亜鉛めっき層が穿孔され、露出した母材

表8 消火水槽水の水質

分析項目	単位	消火水槽水
pH		9.0
電気伝導度	mS/m	30.5
Mアルカリ度	mg/L	60
カルシウム硬度	mg/L	30
全硬度	mg/L	33
塩化物イオン	mg/L	30.0
硫酸イオン	mg/L	41.8
硝酸イオン	mg/L	9.7
ナトリウムイオン	mg/L	35.1
溶性珪酸	mg/L	15.0
全鉄	mg/L	<0.05
亜鉛	mg/L	0.03

図9 スプリンクラー配管の自然電位の測定結果

図10 スプリンクラー亜鉛めっき鋼管の腐食機構
矢印は腐食電流の流れ、 E_{Zn} ・ E_{Fe} は亜鉛と鋼の電位を表わす

図11 スプリンクラー配管の腐食防止対策

の鋼に対して亜鉛は犠牲陽極作用を示さず、逆に鋼の腐食を促進したと考えられる。管内圧が9.5気圧と高いことが亜鉛の電位の貴化を促し亜鉛層に孔食を発生させて亜鉛層を穿孔させた。さらに、露出した母材の鋼との電位逆転によるガルバニック電池作用を促進し孔食状の局部腐食を発生させたと考えられる。水の炭酸水素イオン濃度が高いことも亜鉛の電位の貴化に作用したと考えられる⁶⁾⁸⁾⁹⁾。これらの腐食機構の概要を図10に示す。また、腐食はいずれも水線付近で発生しており配管末端やスプリンクラーヘッド付近ではほとんど腐食していなかったことから、とくに水線付近の亜鉛層の電位が貴化されたものと考えられる。一般的には水中での溶存酸素の拡散(濃度拡散)により時間が経てば溶存酸素濃度が均一化すると考えられるが、今回の事象では水線付近と下方では溶存酸素濃度に差が生じていることが示唆される。

4. まとめ

理論的にも実態的にもほとんど腐食しないと考えられていたスプリンクラー配管が短期に腐食により漏水する事故が発生した。予作動式および湿式の各腐食事例について解析し再現実験を行った結果、予作動式、湿式ともに腐食原因として亜鉛と鋼の電位逆転現象を確認することができた。主な解析結果を以下に示す。

- 1) 予作動式、湿式ともに配管内面の健全部(亜鉛めっき層残存部)の電位が腐食部(鋼)に比べて貴化していた。電位差はいずれもガルバニック電池作用を及ぼし得ると考えられる50mV以上であった。
- 2) 予作動式では健全部/腐食部(面積比10.9)からなるガルバニック電池において、実際の腐食速度に相当する水準のガルバニック電流が観測された。
- 3) 予作動式、湿式とも健全部のスプリンクラー配管表面には電位の貴化を示唆する酸化亜鉛が検出された。
- 4) 予作動式、湿式とも高圧の空気層から水中へ酸素が溶解し、溶存

酸素濃度が高くなって亜鉛層の電位の貴化を促した。その結果、亜鉛層に孔食を誘起し露出した母材の鋼と亜鉛層との間で電位逆転下におけるガルバニック電池作用が働いて母材の鋼に局部腐食を発生させ、短期に穿孔するに至った。

5. 対策

スプリンクラー配管の腐食による穿孔は安全面から建物維持管理上重大な障害となるため、適切な対策が望まれる。図11に腐食原因の解析結果に基づいた対策方法を提案する。腐食対策としては配管内面の腐食環境を改善する環境処理と材料に耐食性を持たせる材料選択に大別される。環境処理対策として予作動式では配管内の水抜きあるいは脱酸素のため窒素を充填する方法が考えられる。湿式では空気抜き弁などにより空気層を排除する方法、気相部を窒素と置換する方法および配管内の水に腐食抑制剤を添加する方法が考えられる。材料選択において、高圧の空気に接する鋼管では水線部付近で酸素濃淡電池が形成され局部的に腐食される可能性がある。

現実的問題として、予作動式では従来の配管システムにおいてはバルブ試験時の水を完全に抜くことが難しいので、配管の各部位の最下部にそれぞれ水抜き弁を取り付けて水抜きを行うか、あるいは、配管内の空気を窒素と置換する必要がある。窒素ガスの適用は、最近、水道水配管の腐食防食のための水処理法(窒素置換法)としても行われており、コストや運用面からも可能である。湿式システムにおいては、配管各部位の最上部に開放弁を設置し大量の空気層の存在を解消するやり方が実用的であると考えられる。なお、事例Aについては配管内に窒素ガスを充填する方法で対策を行い、その後腐食による漏水は発生していない。事例Bについては水線部付近で腐食の進行がみられたため部分的に配管を改修し、また、配管の最上部に開放弁を設置して空気を排除した。その後腐食による漏水は発生していない。

謝辞

本研究における湿式スプリンクラー配管システムの腐食事例Bの解析については、著者が(社)腐食防食協会・腐食センターのメンバーとして参加し対応したものであります。関係者の方々に記して謝意を表します。

[参考文献]

- 1) 山手利博：既存ビルでの設備配管の腐食状況に関する調査研究，日本建築学会計画系論文報告集，No.426，pp.67～81，1991.8
- 2) 山手利博：スプリンクラー用亜鉛めっき鋼管の腐食事例解析，日本建築学会大会学術講演梗概集D-1，pp.525～526，2001.9
- 3) 山手利博：スプリンクラー用亜鉛めっき鋼管の腐食事例解析，材料と環境2002，pp.225～228，2002.5
- 4) 松島巖：腐食防食の実務知識，オーム社，p.94，2002
- 5) P.T.Gilbert：The Nature of Zinc Corrosion Production，Journal of The Electrochemical Society99，pp.16～21，1952
- 6) 藤井哲雄：防錆の科学、工業調査会、pp.126～127、2001
- 7) 高崎新一：建築設備における淡水水質と腐食性指数、(社)腐食防食協会第25回技術セミナー、pp.13～22、2001
- 8) R.F.Hoxeng, C.F.Prutton, Electrochemical Behavior of Zinc and Steel in Aqueous Media, Corrosion 5, pp.330～338, 1949
- 9) 松川安樹、宮下守、岡田勝行、宮田義一、朝倉祝治：亜鉛と鋼の電位逆転現象に関する研究(その3)各種アニオンの影響、第45回材料と環境討論会.B-203、pp.175～178、1998
- 10) G.Wranglen、吉沢四郎・山川宏二・片桐晃共訳：金属の腐食防食序論、化学同人、p.87、1973
- 11) 山手利博：建築設備配管の腐食診断とモニタリング、材料と環境2004，pp.215～218，2004.4

(2005年6月9日原稿受理、2005年9月21日採用決定)