

土木建築における腐食に関する研究 (その14)

——特異な腐食現象の調査事例——

喜田大三 守屋正裕

Study on Corrosion in Civil Engineering and Building Construction (Part 14)

——Examples of Investigation of Peculiar Corrosion——

Daizo Kita Masahiro Moriya

Abstract

This paper deals with investigation of peculiar corrosion of various materials used in buildings. Examples are as follows: (1) Stress corrosion cracking occurring on brass valve. (2) Corrosion of SUS 304 pad due to unsuitable heat treatment. (3) Pitting corrosion of hot water pipe. (4) Corrosion on back surface of colored sheet steel roofing.

概要

事例(1) 黄銅バルブの応力腐食割れ……空調機に付属の黄銅製ボールバルブに、わずか数箇月で割れが発生し漏水した。破面分析などを行ない調査した結果、応力腐食割れと判明した。

事例(2) ステンレス金物の発錆……某海外ビルの各階ベランダに取付けられたSUS 304製の金具表面が短期間で異常に発錆した。原因は、不適正な熱処理による表層のクロム欠乏によると判断された。

事例(3) 給湯銅管の孔食……施工後約20年経過した給湯用銅管の一部で、管内面からの孔食が発生した。原因は、酸化力の強い給湯中の残留塩素が、締付応力の加わった配管固定部に作用し、銅の孔食電位を越えたためと判断した。

事例(4) カラー鉄板屋根の局部腐食……約17年経過した某工場のカラー鉄板葺屋根に、裏面からの局部的な腐食が発見され、原因を調査した。工場内は、常時温度が高く、水蒸気が下地板の突合せ部から作用して腐食したものと判明した。

1. はじめに

土木建築の分野においては、鉄筋や鉄骨をはじめ、屋根材や内外装材、配管材、取付け金物などに、各種の金属材料が種々の条件で使われている。設計、施工に際しては、これら金属材料の防食処置として、耐食性材料の選定、めっき処理や化学的表面処理、塗装、電気防食などが十分に考慮される。しかしながら、腐食に関連する要因は様々であり、時には予期しない特異な腐食現象が発生している。異常な腐食現象が発生した場合には、その原因を調査究明し、その結果に応じて適切な対策を講じている。

ここにまとめた内容は、社内外からの依頼によって腐食原因を調査した事例の幾つかである。

2. 事例(1) 黄銅バルブの応力腐食割れ

2.1. 発生状況

天井吊ファンコイルユニットに付属した配管接続用黄銅製ボールバルブのボディに割れが発生し、漏水原因となった。材質は、JIS H 3250 C3771BDで、取付け後数箇月で、約300個のうち3個に写真-1、図-1に示すような割れが発生した。

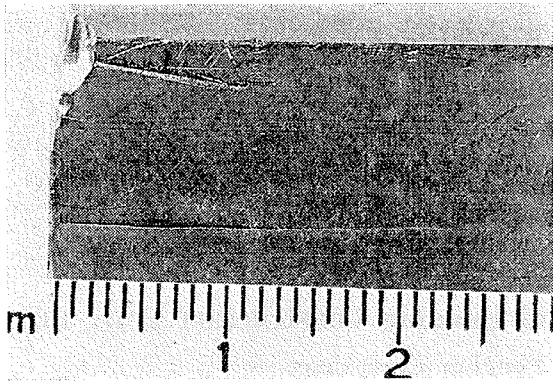
2.2. 調査内容

割れの発生したサンプルについて、その発生状況ならびに破面の状態を目視、顕微鏡、走査電子顕微鏡(SEM)で詳細に調査した。また、新品の同型バルブについてアンモニア雰囲気中での促進割れ試験を行なった。

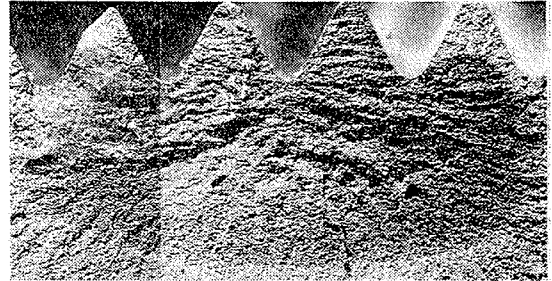
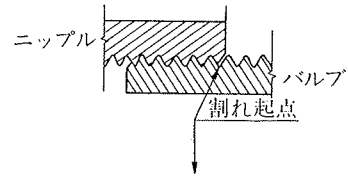
2.3. 調査結果

割れの発生部位は、ニップルのネジ込みに伴う引張応力が集中しやすい部分で、その応力の影響が関与したものと推定された。

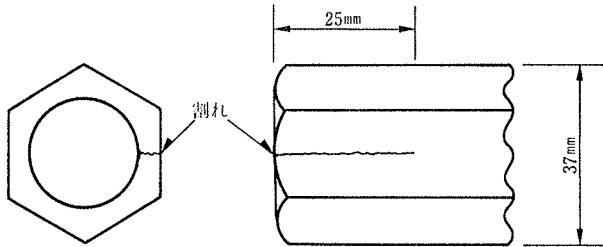
破面の状況は、写真-2に示したマクロ写真から明らかのように、割れ起点部と思われる箇所の周りが褐色に変色しており、腐食を伴っていると判定された。SEM



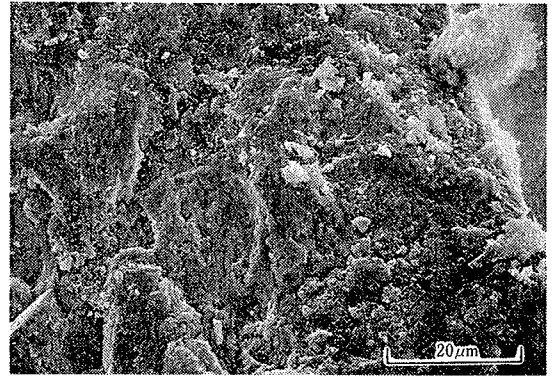
写真一 割れ発生状況



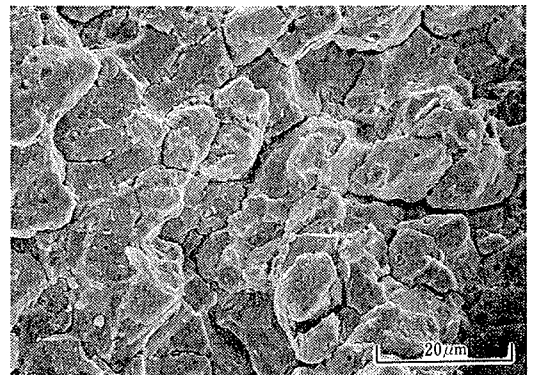
写真二 破面マクロ組織



図一 割れ発生部位



写真三 割れ起点付近の破面(SEM)



写真四 起点から離れた破面(SEM)

の観察によれば、割れ起点部周辺は、腐食生成物の付着が認められ（写真一三）、その他の部分は典型的な粒界破面の様相を呈していた（写真一四）。金属顕微鏡によるミクロ組織の観察結果では、材質的な異常は認められなかった。

これらの結果から、原因は、バルブ内部の接液部の一部を起点とした応力腐食割れ（SCC）によると判断した。

SCCは、部材に作用している引張応力と腐食性イオンを含む環境との組合せによって発生する。黄銅は、一般にSCCに対する感受性の高い材料で、加工時の残留応力などによって、空気中でも自然に割れる場合がある。

当ボールバルブの場合には、ニップル接合の締付け応力と内部流体の水質とが作用し、SCCが生じたものと判断される。

新品のバルブを使って、アンモニア雰囲気中で促進割れ試験を行なった結果では、ニップルを接続した場合に割れが発生した。また、バルブに接する水の分析結果によると、黄銅のSCCを促進しやすいアンモニウムイオンも検出された。

対策として、バルブの材質をSCCの生じにくい青銅製に取換えた。

3. 事例(2) ステンレス金物の異常発錆

3.1. 発生状況

海外の某高層ビルにおいて、各階ベランダのサッシュ枠に取付けた SUS 304（オーステナイト系ステンレス

鋼) 製アンカー用金具の表面が全体的に発錆した(写真-5)。通常の大気中において SUS 304 が短期間で全面的に発錆するのは異常であり、腐食が次第に進行すれば、錆じる流下による周辺の汚染や、いずれ耐力上の危具も生ずる。そこで、この発錆原因について調査を依頼された。

3.2. 調査内容

蛍光X線分析による材質のチェックおよびX線マイクロアナライザー(XMA)による断面元素分析を行なって検討した。

3.3. 調査結果

材質分析の結果、SUS 304と確認された。断面の一部を研磨し、走査電子顕微鏡で観察しながら XMA によるスポット分析を行なったところ、図-2、3に示すように、Cr(クロム)の含有率が表層部と内部で異なっており、表層部のCrが欠乏しているのが明らかとなった。同じ断面について、Crのライン分析を行なった結果によれば、写真-6に示すように、表面から約5 μ m程度の範囲でCrが欠乏していると判定された。Crの欠乏は、当然ながら耐食性の低下を来す。

当金具は、表面を黒色化するために、加工後に熱処理が行なわれており、おそらく、その過程で表層のCrが欠乏したものと考えられる。

これらの結果から、異常な発錆の原因は、不適正な熱処理による表層Crの欠乏によると判断された。なお、Cr欠乏層の厚さは、わずか数 μ m程度なので、強度上および長期的な耐食上は問題ないと判断した。

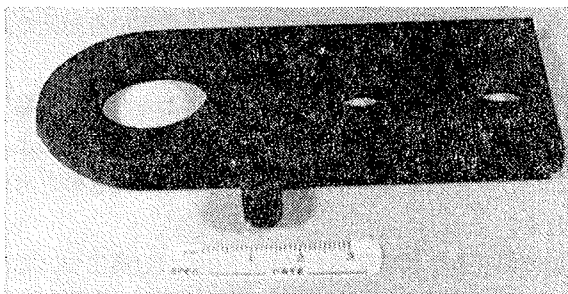


写真-5 発錆した SUS 金具

4. 事例(3) 給湯銅管の孔食

4.1. 発生状況

竣工後約20年経過した某ビルにおいて、給湯用銅管の一部で漏水が発生した。漏水原因を調査した結果、管内面からの孔食によると判明した。

孔食の発生箇所は、図-4に示すように、配管を支持するためのアングルとUバンドによる固定部で、管外面にはアングルの接触による傷が見られ、その部分に内面

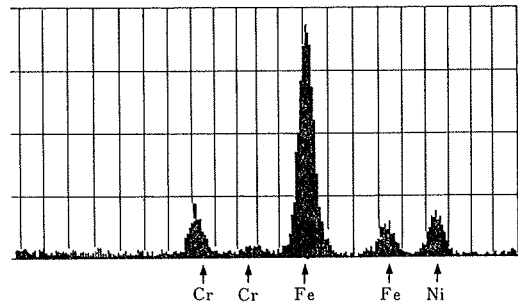


図-2 表層部断面の XMA スポット分析結果

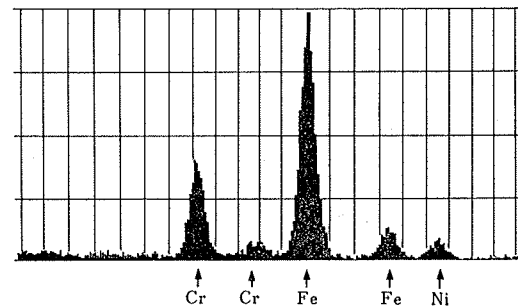


図-3 内部断面の XMA スポット分析結果

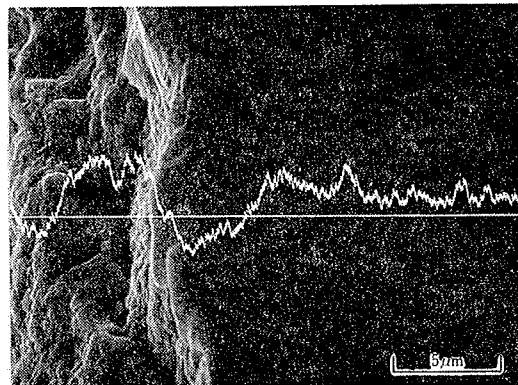


写真-6 断面の Cr ライン分析結果

からの孔食が発生していた。

4.2. 調査内容

管内面の腐食状況を目視調査するとともに、孔食部について、走査電子顕微鏡(SEM)、X線マイクロアナライザー(XMA)による調査分析および断面マイクロ組織の観察を行ない原因を検討した。

4.3. 調査結果

漏水箇所から切出したサンプル管を縦割りにし、内面の様子を調査した結果、孔食の貫通したアングルとの接触部(写真-7)の他に、反対側のUバンド接触部の内面にも貫通には至らない孔食が認められた。孔食部の周辺には、塩基性硫酸銅と思われる青緑色の腐食生成物が見られ、孔食部以外の面はシリカ質のスケールが付着して腐食している様子はなかった。

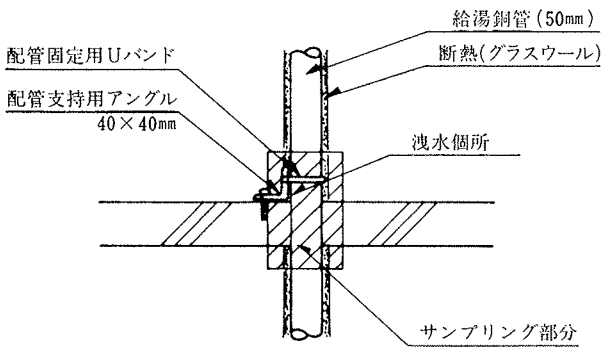


図-4 孔食発生部位

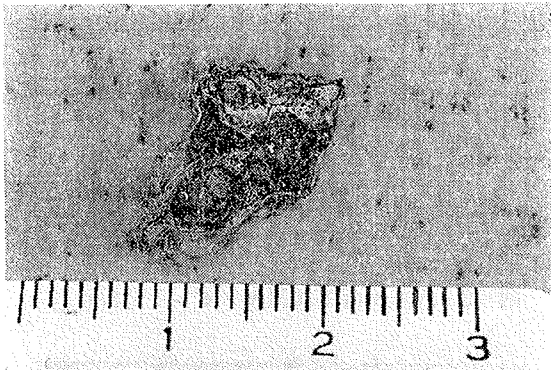


写真-7 孔食部 (管内面側)

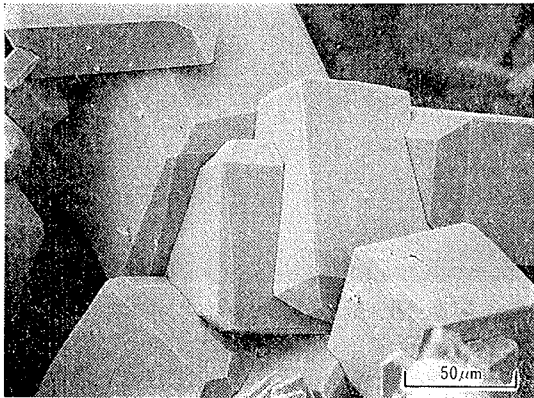


写真-8 孔食部に見られた結晶 (SEM)

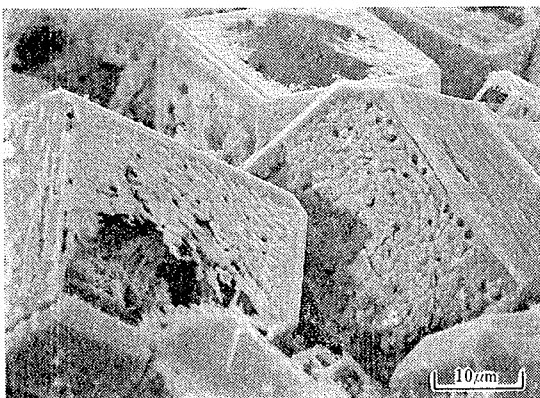


写真-9 同上

SEM, XMA 分析の結果では、ピット内部に酸化銅と考えられる六方晶形の結晶が認められ (写真-8, 9), 強い酸化作用を伴っていたことを示唆している。

断面の金属組織を調べると、孔食部の結晶粒は、明らかに变形しており、特に管外面側で变形が著しかった。これは配管支持金物による締付け応力によって生じたものと考えられる。

さて、一般に、銅管の孔食発生は、水質と深い関係があり、我が国のようにスケール成分の少ない軟水の場合には、スケール付着による保護効果が得られないため、硬水に比べて孔食が生じやすい。また、水中の炭酸イオン (HCO_3^-) と硫酸イオン (SO_4^{--}) との濃度比 ($\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{--}$) が1以下の場合に孔食が発生しやすいと言われているが、国内の都市の水道水のほとんどでその値は1以下である。さらに最近の研究では、上水の殺菌処理に由来する酸化力の強い残留塩素 (R-Cl) が銅管の孔食原因として注目されている。

銅の孔食現象についての電気化学的な検討結果によると、自然電位が水中の酸化剤 (酸素や R-Cl) によって上昇し、+150 mV (vs SCE) を越えると孔食が生ずると判明している。この電位を孔食電位と呼ぶ。再現実験の結果によると、銅の電位は、溶存酸素のみでは +80 mV 以上に上昇せず、R-Cl はわずか数 ppm で、その強い酸化力によって +150 mV の孔食電位を越え、孔食が発生しやすくなる。

当事例の場合にも、水中の R-Cl は数 ppm 存在し、強い酸化力が作用したことを示す酸化銅の大きな結晶が孔食部に認められる点などから、基本的には上述のような酸化作用で電位が貴にシフトし、孔食電位を越えて腐食が生じたものと考えられる。

なお、孔食が配管支持部の外力の加わった部分に発生していたのは、単なる偶然ではなく、機械的外力による結晶のひずみによって活性化しやすくなったものと考えられる。

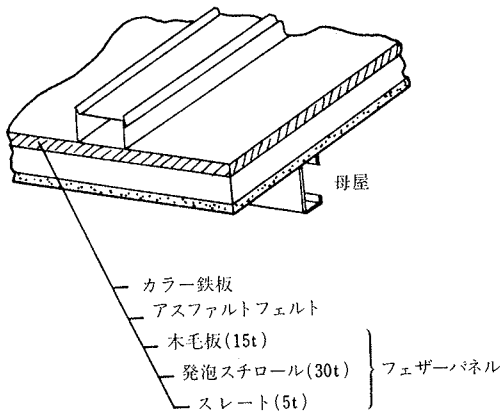
銅管の孔食を防止するための根本的な対策については、さらに検討を要するが、当事例の場合には、配管支持部の締付け状態のチェックと改善を行ない、しばらく様子を見ることにした。

5. 事例(4) カラー鉄板屋根の局部腐食

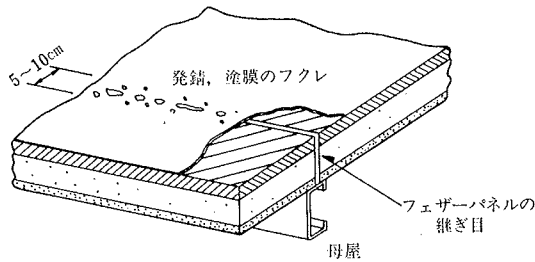
5.1. 発生状況

某工場において、竣工後約17年経過した時期に、カラー鉄板葺屋根の老朽化状況の調査を依頼され実施した。その調査の過程で、カラー鉄板の裏面からの部分的な腐食が発見され、その原因調査も行なった。

屋根の断面は、図-5 に示すように、母屋組の上につ



図一5 屋根断面



図一6 腐食発生状況

フェザーパネルを下地としてアスファルトフェルトを貼り、カラー鉄板瓦棒葺で施工されていた。

屋根上面の塗装は、数回のメンテナンスで全般的には良好に保全されていたが、部分的に膨れを伴った発錆が認められた。

5.2. 調査内容

腐食原因を究明するために、屋根面上の発錆箇所の分布状態について外観調査を行なうとともに、その一部について、カラー鉄板をはがし、腐食状況の詳細調査を行なった。

5.3. 調査結果

調査の結果、腐食箇所はいずれも図一6に示すように、下地パネルの突合わせ部で、カラー鉄板の裏面から生じていた。

工場建屋内は、年間を通じて温湿度が高く、その水蒸気が下地パネル突合わせ部の隙間から侵入し、建屋内外の温度差による水蒸気浸透によって一部がアスファルトフェルトを透過し、カラー鉄板の裏面に結露する状態となり、それが長年続いた結果、裏面からの腐食を誘発したものと判断した。

6. おわりに

ここにとりまとめた内容は、特異な腐食現象の調査事例である。これらの経験を設計、施工に生かし、同種の被害を防ぐ上で参考になれば幸いである。