

## T-26 湿潤塩素・次亜塩素酸腐食

### 1. 概要

水道水受水槽・高架水槽の気相部や屋内プールの気相部（ドア、天井）では、腐食性が水中より高くなり、ステンレス鋼において発錆、孔食、応力腐食割れを生じることがある。気相部の結露水中には、塩素系滅菌剤に起因し、塩化物イオンが存在する。時には、塩化物イオンが濃縮、かつ pH の低下が生じる。それに加え、気相部の液膜は薄いいため、酸素の供給速度が速くなり、腐食性が高くなるためである。

### 2. 損傷を受ける材料

ステンレス鋼（オーステナイト系、フェライト系）

### 3. 損傷機構と損傷事例

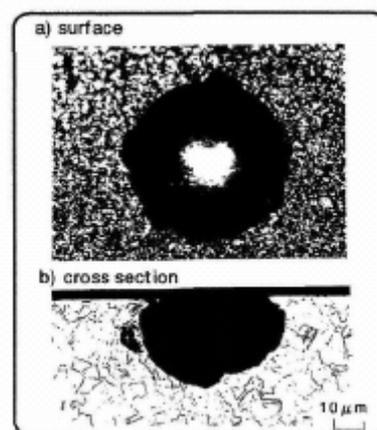
日本国内では、水道水は主に塩素ガス（Cl<sub>2</sub>）により消毒・滅菌が行われている。プール水には、次亜塩素酸ナトリウム（NaClO）水溶液が加えられ、消毒が行われている。

塩素ガス Cl<sub>2</sub> は水に極めて溶解しやすく、直ちに解離する。解離式を式（1）に示す。



その結果、pH の低下、アルカリ度の消耗、塩化物イオンが生成する。HClO（次亜塩素酸）と ClO<sup>-</sup>（次亜塩素酸イオン）の両者の和は遊離残留塩素と呼ぶ。塩素の酸化力（殺菌力）は、Cl<sub>2</sub>、HClO、ClO<sup>-</sup> の順に弱くなる。

水道水を扱う受水槽では、水中に残留する塩素 Cl<sub>2</sub>(aq) は、気相中に Cl<sub>2</sub>(g) として揮散する。したがって、気相中の結露水は数と共に、pH の低下と塩化物イオンの濃縮が生じ、



(1) 写真1. SUS304 製受水槽  
気相部に発生した孔食<sup>1)</sup>

腐食性が高くなる。

NaClO を水に注入すると、(2)式に示す解離反応により ClO<sup>-</sup> を生じる、ClO<sup>-</sup>イオンは、分解反応により、塩化物イオンと活性酸素[O]を生じるが、(2)の式では、水の pH 低下は生じない。NaClO のみが使われているのであれば、気相中の結露水では、pH の低下は生じないが、塩化物イオンの存在、あるいは濃縮が生じ、腐食性環境が高まる。



塩素 (Cl<sub>2</sub>)、次亜塩素酸ナトリウム (NaClO) の両薬剤が注入されている水では、(1)と(2)の反応が同時に生じ、気相部の腐食性を高くする。

また、気相部では、水膜が薄く、酸素の供給速度が早くなることから、腐食性環境は厳しさを増す。気相部では、乾湿交番条件にさらされる場合があり、このような場合も腐食性を高めている。そのため、水道水中では耐食性を示すステンレス鋼が、気相部で発錆や孔食 (写真1)、隙間腐食を示すことがある。場合によっては、応力腐食割れを生じることにもなる。

ステンレス鋼の塩化物イオンを含む、中性水溶液中では、応力腐食割れは、通常 50℃以上で生じる。しかし、上記気相環境中では、50℃以下にもかかわらず、SUS304 に応力腐食割れが発生した事例がある。この場合の応力腐食割れは、酸水塩化物水溶液中での応力腐食割れと考えることが出来る。すなわち、ステンレス鋼 (304鋼) は、塩化物イオンを含む酸性水溶液中では、常温でも応力腐食割れを生じる。(1)式を用いて説明したように、年月の経過とともに、気相中で形成される結露水の pH は低下し、塩化物イオン濃度は増大する。そのような塩化物を含む酸性水溶液環境中では、ステンレス鋼は、常温でも割れることになる。

塩素 (Cl<sub>2</sub>) や次亜塩素酸ナトリウム (NaClO) を使っている受水槽等では、気相部の腐食性は、年月の経過と共に高まる。腐食性の強弱は、使用する薬剤の種類と濃度ならびに、気相部の構造、換気の程度に依存する。従って、腐食性を予測することは簡単ではない。適切な

対策（換気、気相部の定期的な洗浄、耐食性材料の使用等）をするのが、確実がある。受水槽気相部の腐食性の経時変化について、モデル受水槽を使って調べた結果を図1に示す<sup>1)</sup>。この受水槽では、Cl<sub>2</sub>で滅菌処理を行っている。受水槽の天井には、排気孔はあるが、強制排気は行っていない。水道水は、ごく一般的な普通の水を使用している。

1、3、15、17ヶ月後に、結露水のpH、塩化物イオン濃度の分析を行っている

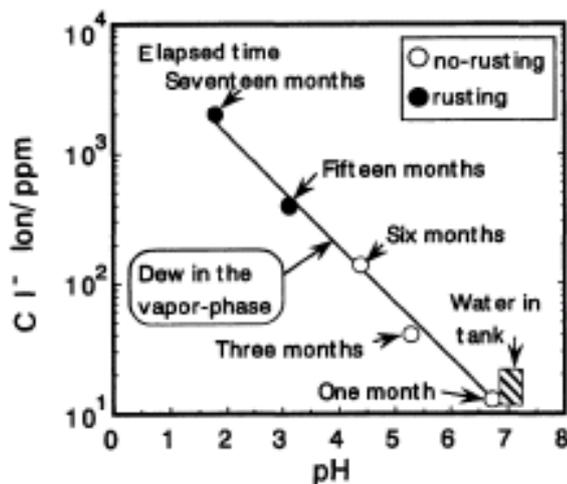


図1. モデル受水槽気相部結露水のpHと塩化物イオンの経時変化<sup>1)</sup>

横軸はpH、縦軸は塩化物イオンの濃度であり、月日がたつとともに、pHは低下し、塩化物イオンは濃縮している。なお、図中15ヶ月以上で、発錆ありと表示されているが、これはモデル受水槽の構成材料の25Cr-14Ni-0.8Mo-0.3Nの例であり、発錆の時期は材料によって異なる。汎用ステンレスのSUS304では、さらに早い時期に発錆が見られている。なお、図1の、pHと塩化物イオンの関係は(3)式従う。

$$pH = -1.09 - 2.19 \log [Cl^-] \quad (3)$$

実際のそれぞれの受水槽やプール設備のpHの低下、塩化物イオンの濃縮速度は、液相から気相へのCl<sub>2</sub>(g)揮散量に依存する。Cl<sub>2</sub>を多く注入し、Cl<sub>2</sub>(aq)濃度低く、かつ排気が行われてなければ、pHの低下、塩化物イオンの濃縮速度は速くなる。

#### 4. 対策

受水槽の天井には換気が行われるように、換気口をつける。強制換気が行われればより効果的である。また、定期的に、水道水を用いて、天井部等の気相部を洗浄する（洗い流す）。洗い流すことにより、腐食性環境は、元の通常な状況に戻すことが出来る。

耐食性の優れた材料をしようすることも有効な対策となる。

図 2<sup>1)</sup> は、モデル受水槽での 17 ヶ月後の各種ステンレス鋼の孔食深さを示す。孔食深さは、各ステンレス鋼の PI(孔食指数) に依存し、PI が大きくなると、孔食の深さは小さくなる。しかし、汎用ステンレス鋼 SUS04 や 316 では、数百  $\mu\text{m}$  の孔食となる。したがって、現実的には、定期的に水道水で、気相部を洗浄するのが、簡易な対策になるのかと思われる。どのくらいの頻度で、洗浄するかについては、個別設備ごとにより異なる。したがって、気相部の結露水の pH、塩化物イオンの濃度を分析し、洗浄の時期(間隔)を決める必要がある。

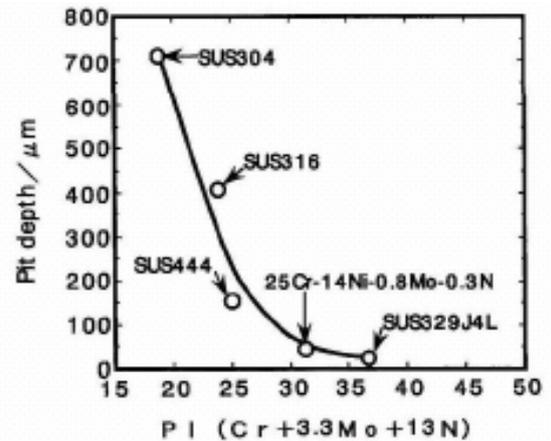


図 2. モデル受水槽気相部に暴露した、各種ステンレス鋼の孔食の深さ。横軸は PI(Pitting Index:Cr + 3.3Mo + 13N)で表示<sup>1)</sup>

## 5. 参考文献

- 1) 中田潮雄：材料と環境、Vol.48, 500-507 (1999)