

T-15 淡水腐食

1. 概要

水道水、工業用水、河川水、地下水、湖沼水、雨水などのように水中の溶存塩類の少ない水を淡水とよんでいる。これらの水による炭素鋼、その他の金属の腐食を淡水腐食とよび、塩類濃度が濃い海水による腐食と区別している。

2. 損傷を受ける材料

炭素鋼管、亜鉛めっき鋼管、銅管、銅合金管、ステンレス鋼

3. 損傷機構、損傷事例

淡水腐食に関係する主な水質項目は pH、溶存酸素濃度、カルシウム硬度、M アルカリ度、全溶解固形物濃度、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 濃度、温度等などである。これに流速が加わり、淡水腐食は複雑な挙動を示す。腐食に及ぼす因子は、材料によって異なるので、材料別に解説する。

3.1 炭素鋼

図 1 は炭素鋼の腐食速度と pH の関係である。(a) HCl、NaOH で pH を調整した水では、pH4～10 の領域では、腐食速度は溶存酸素の拡散速度によって律速されるため、腐食速度はほぼ一定となる。pH4 以下では水素イオン濃度の増大に起因して腐食速度は増大するが、pH10 以上では不動態化皮膜を形成し腐食速度は低下する。一方、水の pH を CO_2 ガスと重炭酸ナトリウムを用いて調整した水、さらに塩化物イオンを添加した水中では、炭素鋼の腐食速度の pH 依存性は異なった挙動を示す。この場合、pH8 付近で腐食速度が増大するのは、この付近で pH 緩衝能が小さくなるため、腐食が局在化するためとされている。自然に存在する淡水の場合は、色々な成分を含んでおり、腐食速度は pH によって微妙な影響を受ける。

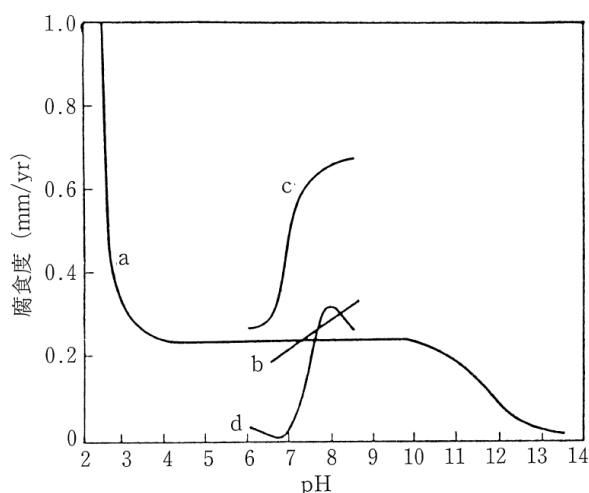


図 1. 淡水中における炭素鋼の腐食速度と pH の関係¹⁾

- a : 軟水+ (HCl,NaOH)、室温
- b : 東京都水+ (CO_2 、NaOH)、0.16m/s、室温、32 日
- c : 2.5epmNaHCO₃+2.5epmNaCl+ CO_2 、2.6 cm/s、19～28℃、16 日
- d : 2.5epmNaHCO₃+0.5epmNaCl+ CO_2 、4.2 cm/s、22～31℃、16 日

炭素鋼の腐食速度に及ぼす重要な因子として、溶存酸素濃度と流速の組合せがある。図 2 腐食速度に及ぼす流速の影響である。流速の増大とともに、溶存

酸素の供給量が増大し、酸素によるカソード反応の増大に起因して腐食速度も増大するが、流速が一定の値以上になると、炭素鋼は不動態化の傾向を示し、腐食速度は逆に低下する。図3は水道水を用い、溶存酸素濃度を変えて実験を行った結果である。溶存酸素濃度が低い場合（例えば 0.5mg/l）は流速とともに腐食速度は増大するが、溶存酸素濃度が高い場合（例えば非脱気）では、流速が速くなるほど不動態化の傾向を示し、腐食速度は低下する。炭素鋼の腐食量の依存性は酸素供給量（溶存酸素濃度×流速）で概略整理ができ、供給量の増大に基づいて腐食量は増大するが、一定の供給量を超えると、逆に腐食量は低下する傾向を示す。

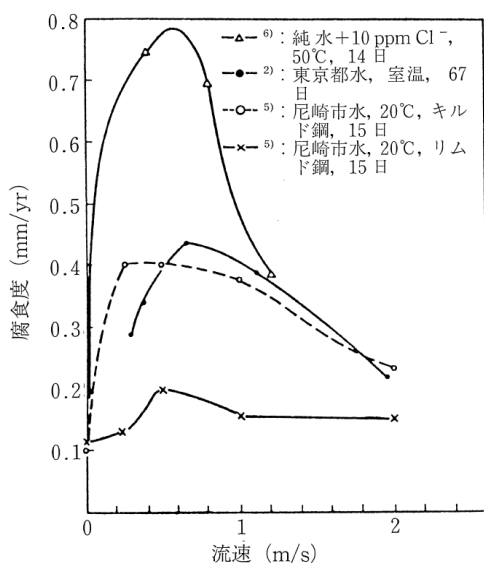


図2．腐食速度に及ぼす流速の影響¹⁾

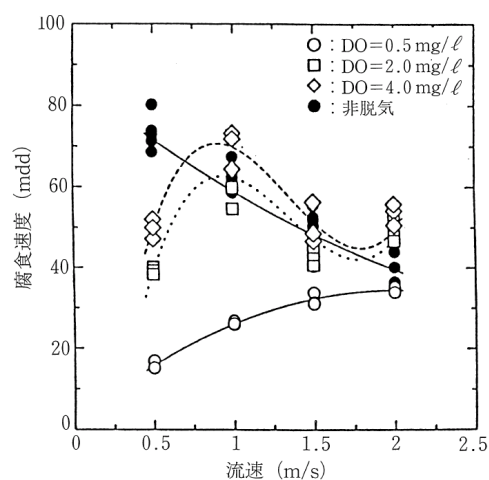


図3．一過性水道水中の炭素鋼の腐食に及ぼす溶存酸素濃度と流速の影響¹⁾

他に重要な腐食因子として、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、温度等は加速因子であり、M アルカリ度は抑制因子として働く。図4に、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、M アルカリ度の腐食に及ぼす関係を示す。

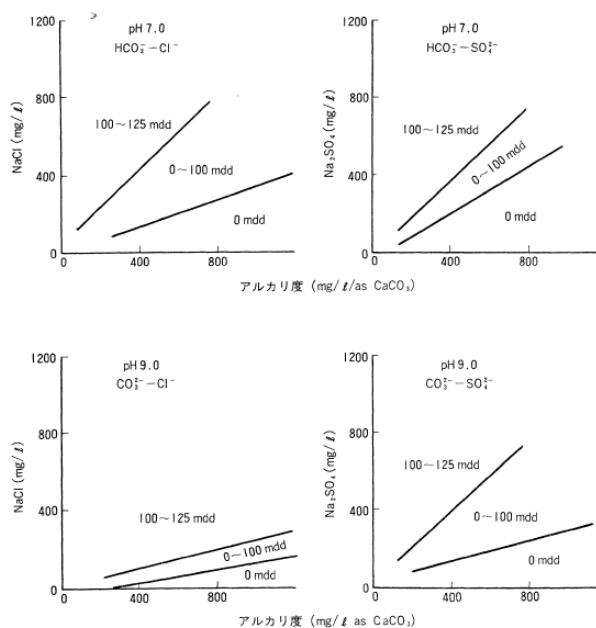


図4．腐食速度に及ぼす NaCl 、 Na_2SO_4 およびアルカリ度の影響²⁾

炭素鋼は淡水中で、さびこぶを伴う不均一腐食を生じることがある。大きなこぶ状のさび（さびこぶ）が成長し、その下で孔食状の局部腐食が生じる。写真1は、炭素鋼管に生じたさびこぶであり、図5は、さびこぶを伴う腐食のメカニズムである。さびこぶの周りでは溶存酸素が十分供給されるが、さびこぶの下では、酸素はさびこぶに妨げられてほとんど供給されない。その結果、周辺部をカソード、さびこぶ下をアノードとする腐食電池（通気差電池）が形成され、周辺での溶存酸素の反応に見合ってさびこぶ下の腐食が進行する。

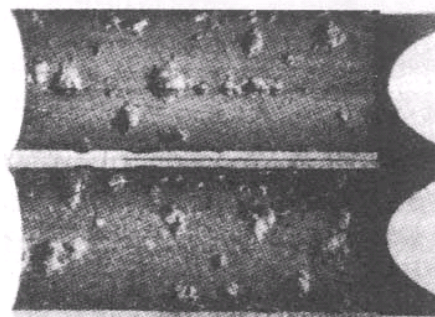
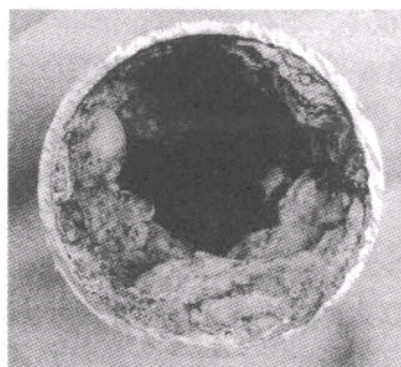


写真1．炭素鋼水配管のさびこぶとさびこぶ下の孔食³⁾

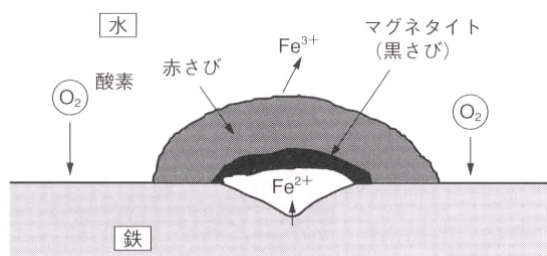


図5．さびこぶ下の孔食発生機構

淡水中で電縫鋼管の電縫溶接部では、写真2に示すような溝状の腐食を生じることがある。この現象は溝状腐食と呼ばれ、解説「T-22 溝状腐食」で解説されているので、説明は省略する。

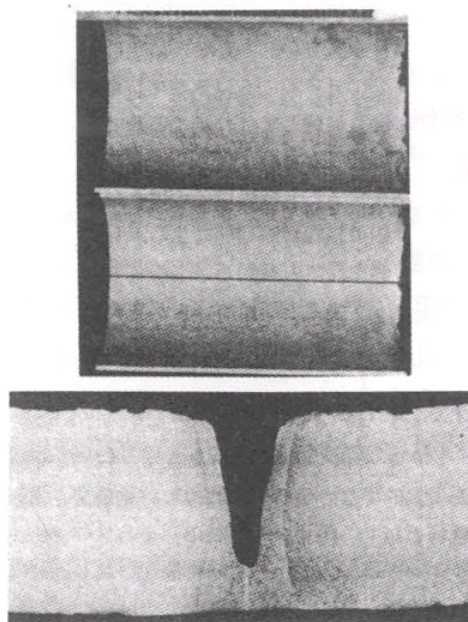


写真2．電縫鋼管電縫溶接部のみぞ状腐食³⁾

3.2 亜鉛めっき鋼管

亜鉛めっき層の電位は下地の鉄より電位が卑であり、鉄に対して犠牲アノードとして働く場合もあるが、シリカや重炭酸イオンなどと塩類皮膜を形成し耐食性を示す場合もある。

図6は、水道水中の腐食試験結果であり、亜鉛めっき鋼管の腐食速度とpHの関係を示す。腐食速度はpH6.5以下で腐食速度は急増する。

特定の水質、温度条件では亜鉛は不動態化し、亜鉛の電位は鉄のそれよりも高くなる。そのような場合、斑点状の赤さびが生じ、その下部ではボルト孔状、鍋底状等の孔食を生じる。この現象を、電位逆転現象とよんでいる。

pHが比較的高い水で生じやすい。重炭酸イオン (HCO_3^-) は電位の逆転を促進する傾向にあるが、 Cl^- 、 SO_4^{2-} は電位の逆転を妨げる効果がある。

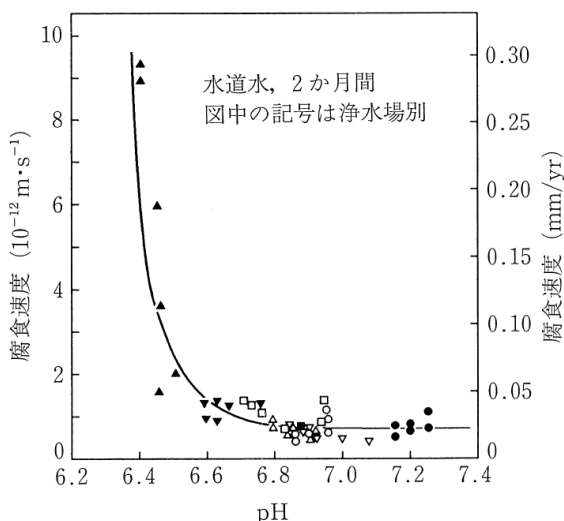


図6．亜鉛めっき鋼管の腐食速度とpHの関係¹⁾

3.3 銅および銅合金

図7に示すように、通常pH7以下では銅の腐食速度は0.01 mm/年以下であり、銅は通常の淡水環境では耐食性を示す材料である。淡水中で、銅の表面には亜酸化銅 (Cu_2O) または酸化銅 (CuO) の皮膜が形成され、これが酸素拡散のバリアーとなって腐食を抑制している。銅の皮膜としては塩基性硫酸銅や塩基性炭酸銅が形成される場合もある。硫酸イオン濃度が比較的高い日本の軟水では塩基性硫酸銅が形成されやすく、欧米のように重炭酸イオン濃度が高い硬水では塩基性炭酸銅が生じやすい。

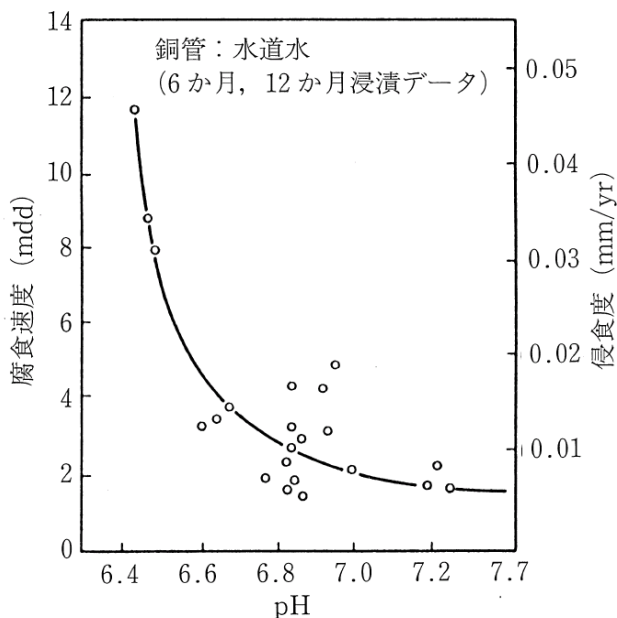


図6．水道水中における銅管の腐食速度に及ぼすpHの影響¹⁾

銅は、流速が高いとエロージョン・コロージョンを生じやすくなる。また、特定の水質では孔食が発生する。孔食はType I と Type II に分けられ、I は間口が広い孔食で

あり、Ⅱは間口が狭い孔食である。環境因子としては、Ⅰは遊離炭酸濃度が高い（15ppm 以上）場合に生じやすい。Ⅱは $\text{SO}_4^{2-}/\text{HCO}_3^{-} > 1$ で生じやすい。最近日本国内ではマウンドレス孔食（腐食生成物の盛り上がりがない）とよばれる孔食が見いだされているが、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{HCO}_3^{-} > 0.5$ でかつ SiO_2 濃度が高い（20ppm 以上）水中で発生している。

3.4 ステンレス鋼

ステンレス鋼の淡水環境での用途は、水道水配管をはじめとする各種配管、槽類、熱交換器、給湯器などがある。水中に Cl^{-} が一定濃度以上含まれると、孔食、すき間腐食、応力腐食割れが生じる。日本の河川水や水道水中の Cl^{-} 濃度は比較的 low、大きな問題を生じることはないが、温水環境で使用する場合は、前述の腐食が問題となる（L-01 孔食、L-02 すき間腐食等を参照）。

ステンレス鋼は水道水に接して使用されることが多いが、水道水の殺菌残留塩素は酸化剤であり、腐食を誘発する（T-26 湿潤塩素・次亜塩素酸腐食を参照）。

4. 対策

淡水は海水のように特定の物質を多く含むというわけではなく、主要な化学種が 0.5mmol/L 前後の濃度で溶解している。したがって、腐食性が特別に強いわけではない。しかし、化学種の濃度変化や、水温や流速条件によっては、各材料に全面腐食や局部腐食をもたらす。

淡水を使用する機器の腐食対策としては、薬品処理があるが、使用する薬品は、対象となる金属の種類によって異なる。鉄鋼材料にはホスホン酸、重合リン酸塩、亜鉛塩、モリブデン酸塩、天然有機物、高分子電解質が使用されている。銅・銅合金用の腐食抑制剤としてはベンゾトリアゾールが有効である。

薬品を使用しない、あるいは薬品の使用量を少なくするための水質改善技術も広く使用されている。腐食性を制御する観点からは、脱酸素処理（脱気処理）が最も有効であり、膜等が使用されている。懸濁物質の除去（ろ過）や溶存イオンの除去（膜、イオン交換樹脂）等も腐食性を弱めるのに有効である。

5. 参考文献

- 1) 腐食・防食ハンドブック：編集（社）腐食防食協会、発行丸善株式会社（平成12年）
- 2) 小玉俊明、藤井哲雄：防食技術、Vol.26、No.11、641～（1977）
- 3) 防錆・防食技術総覧：発行所（株）産業技術サービスセンター（2000）