

T-16 海水腐食

1. 概要

海水は塩化物、硫酸塩などの塩類を多量に含むため、多くの金属に対して腐食性を示す。例えば、炭素鋼は不均一腐食や全面腐食を呈する。ステンレス鋼には局部腐食（孔食、隙間腐食、応力腐食割れ）が生じる。また、塩類を多く含むため電気伝導度が高く、その為、異種金属接触腐食を生じやすい。海水が汚染されると、銅合金が特に腐食されやすくなる。汚染海水による腐食は「T-16-2 汚染海水腐食」で説明するので、本解説では通常の清浄海水による腐食について説明する。

2. 損傷を受ける材料

炭素鋼、ステンレス鋼、銅、銅合金、アルミニウム、アルミニウム合金、ニッケル、ニッケル合金、チタン

3. 損傷機構

3.1 海水の性状¹⁾

海水の主要成分を表 1 に示す。塩類濃度の地域依存性は比較的少ない。アニオン成分では Cl^- 濃度が最も高く約 19000ppm で、 SO_4^{2-} がそれに続く。カチオン成分としては、 Na^+ が最も多く、 Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ の順でそれに続く。pH はやや高く 8.1～8.3 である。海面近くでは、通常空気が飽和しており、溶解酸素濃度は 0～30℃の間で 11～5ppm の値を示す（温度が低いほど飽和濃度が高い）。

表 1. 海水の主要成分

主 な 成 分	ppm	epm
塩 化 物 Cl^-	18980.0	535.3
硫 酸 塩 SO_4^{2-}	2649.0	55.1
重 炭 酸 塩 HCO_3^-	139.7	2.3
臭 化 物 Br^-	64.6	0.8
ふ っ 化 物 F^-	1.3	0.1
ほ う 酸 H_3BO_3	26.0	
		593.6
ナ ト リ ウ ム Na^+	10556.1	459.0
マ グ ネ シ ウ ム Mg^{2+}	1272.0	104.6
カ ル シ ウ ム Ca^{2+}	400.1	20.0
カ リ ウ ム K^+	380.0	9.7
ス ト ロ ン チ ウ ム Sr^{2+}	13.3	0.3
		593.6

3.2 腐食に及ぼす塩化物イオン (Cl^-) と流速の影響

海水中に含まれる多量の Cl^- は、腐食性生物の保護性および安定性に影響をもたらす腐食挙動に大きな影響を与える。流速ゼロの場合は、鉄の腐食速度は 0.1 mm/年程度であり、淡水中と大きな差異はない。図 1 は、淡水を模擬した水（塩化物イオン 25ppm）と海水を模擬した水（塩化物イオン 1200ppm）中での炭素

鋼や各種鋳鉄の腐食速度の相違を示す。淡水中では、流速とともに腐食速度は増大するが、一定の流速を超えると腐食速度は低下する。これは流速の増大に伴って、酸素の供給が増大し、皮膜の保護性が高まるためと解釈される。一方、塩化物イオンを多く含む水（模擬海水）中では、流速と共に腐食速度は増大し、かつ増大したままとなる。淡水中のように、流速の増大による腐食速度の低下は生じない。海水中では、塩化物イオンが多いため、皮膜が保護性を示さないためである。

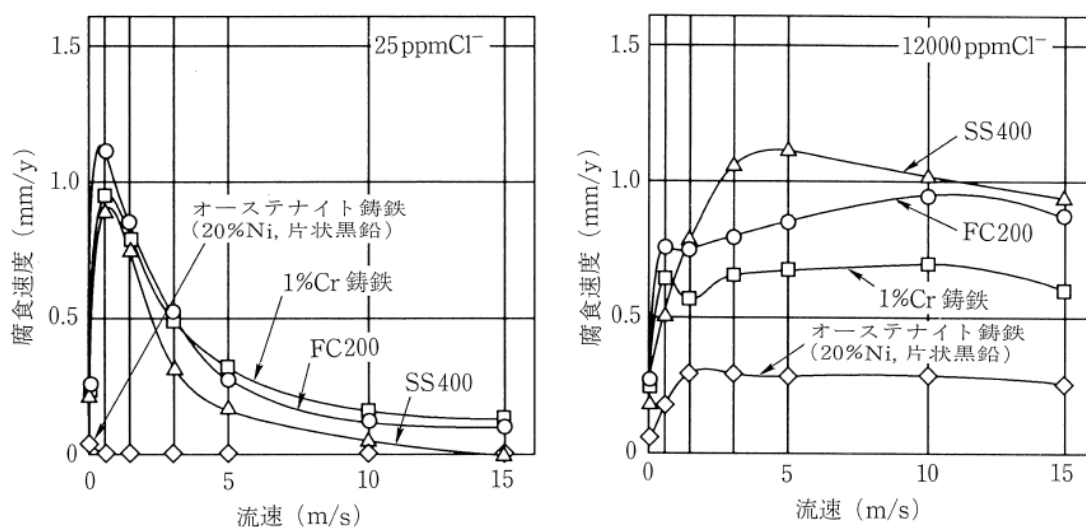


図 1. 炭素鋼、各種鋳鉄の流水中における腐食速度²⁾

銅は表面に Cu_2O 、 CuO などの腐食性生物を形成し、これが保護皮膜として作用するので、銅は海水中で耐食性を示す。しかし、これらの保護皮膜は、海水の流速が早くなると、剥離するため、銅はエロージョン・コロージョンを生じる。

Cl^- は不動態皮膜を破壊する性質を持つため、不動態金属は、海水中で様々な形態の局部腐食を生じる。ステンレス鋼および一部のニッケル基合金は孔食およびすきま腐食を発生しやすい。海水の温度が上昇すると、ステンレス鋼は応力腐食割れを生じるようになる。チタンも高温の海水中で、すきま腐食を生じる。

図 2 に、各種材料の海水腐食と流速の関係を示す。鉄、鋳鉄は流速の増加にしたがって腐食速度が増す。銅合金は一定の流速を超えると腐食が増加しだす。ステンレス鋼、チタン、ニッケル合金は高流速下でも全面腐食は無視できる。ステンレス鋼の孔食はむしろ 1 m/s 以下の低い流速下で発生しやすい。

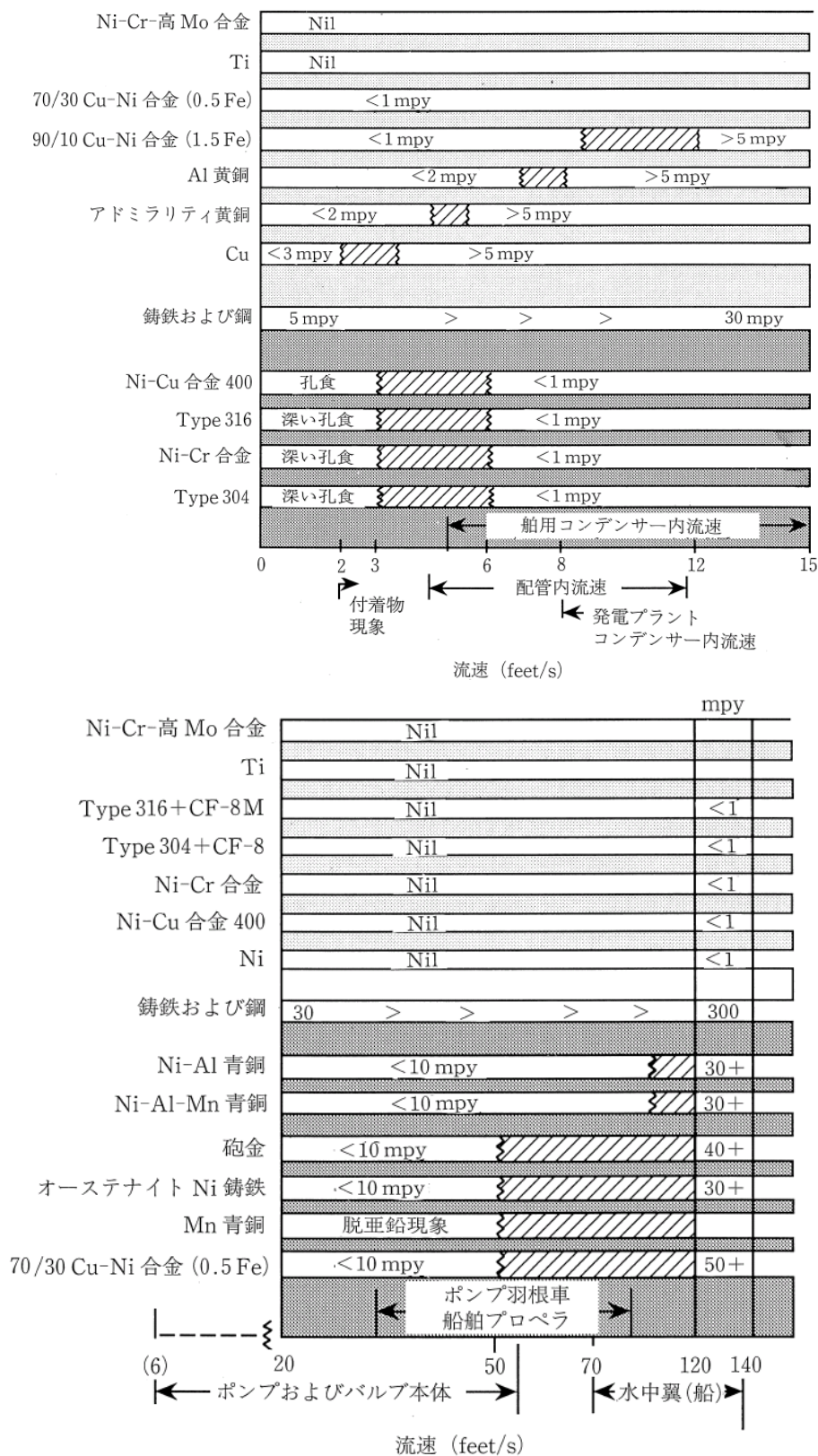


図2. 海水中における各種金属の流速と腐食の関係
(上図：低～中流速域、下：高流速域) ³⁾

3.3 海水中の異種金属接触腐食

海水は、塩類を多量に含むため、結果として電気伝導度が高い。その為、異種金属接触腐食が生じやすい。

表 2. 海水の電気伝導度¹⁾

温 度 (℃)	10	15	20	25
電気伝導度 (S/m)	3.74	4.22	4.71	5.21

図 3 は、海水中における各種金属の電位である。電位が大きく異なる金属が接触すると、卑な金属の腐食が加速される。一方、貴な金属は防食される。卑な金属（亜鉛、アルミ）を犠牲陽極として使用し、金属を防食（電気防食）する事は、広く適用されている。

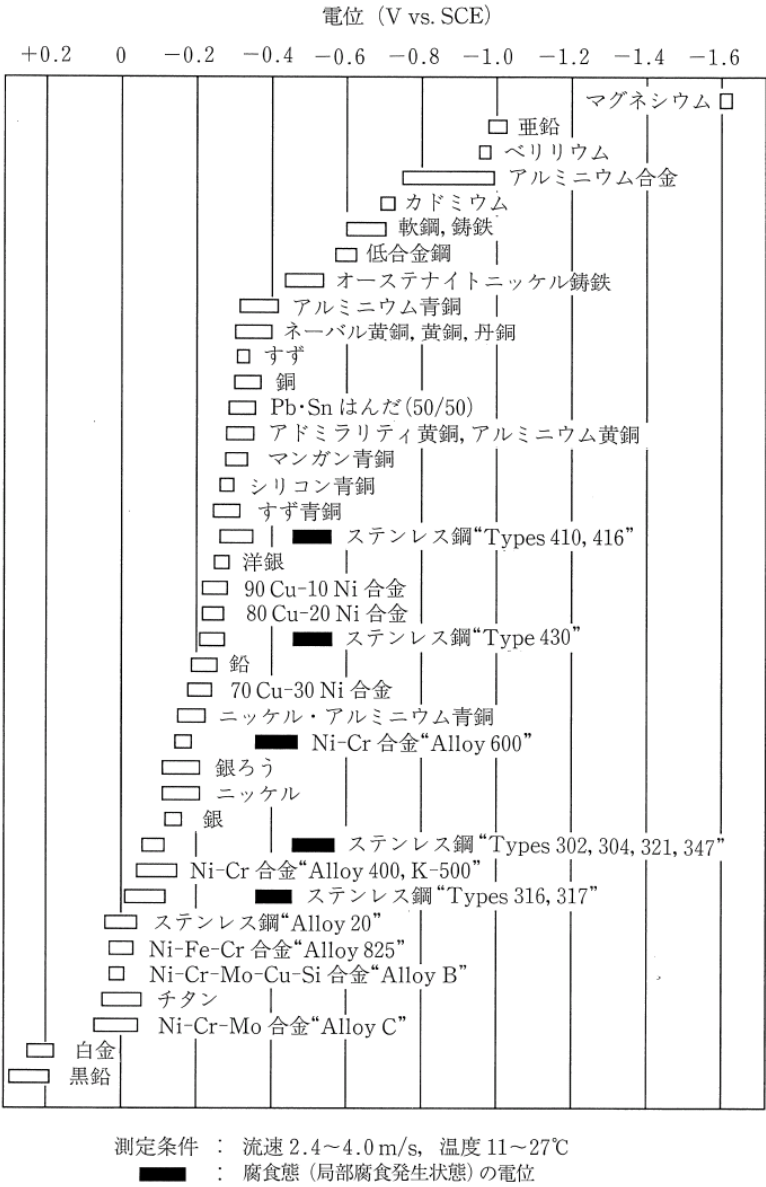


図 3. 海水中における電位列¹⁾

4. 損傷事例と対策例⁴⁾

海水中の異種金属接触腐食の事例、およびすきま腐食の事例として、大型の

海水ポンプの事例を引用して紹介する⁴⁾。

大型の鋳鉄製の海水ポンプは、開発にともなって、当初、ごく一部の部品をステンレス鋼に置き換えることから始まった。この場合鋳鉄部品は犠牲陽極をも兼ねることになり、ステンレス鋼は陰極防食される。その後、次第に部品のステンレス化が図られたが、ステンレス化が図られるにしたがって、鋳鉄部の腐食はステンレス鋼によって加速されるようになった。対策として、鋳鉄部を塗装で防食したが、結果的に、塗装のピンホール等の欠陥部が激しく腐食された。小さなアノード（鋳鉄塗装のピンホール部）と大きなカソード（ステンレス鋼）の組合せとなり、塗装欠陥部が激しく腐食した。このような場合、アノード部（鋳鉄）に塗装するのではなく、カソード（ステンレス鋼）に塗装することにより、局所的な激しい腐食は防止できる。鋳鉄とともにステンレス鋼の両者の防食のためには、犠牲陽極として亜鉛を取り付けることが行われている。

時代の変化にともなって、材料の高級化が図られ、全ステンレス鋼の大型海水ポンプも一般的に使われるようになったが、このようなポンプでは、すきま腐食がしばしば問題になる。

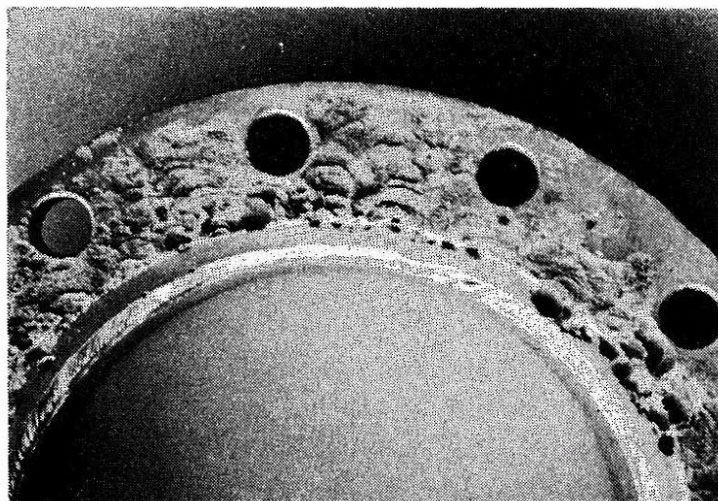


図 4、ステンレス鋼製海水ポンプフランジのすきま腐食⁴⁾

図 4 は、ステンレス鋼製海水ポンプフランジのすきま腐食である。対策として、シール材を用いて、すき間部に海水が侵入しないようにする方法と、フランジ部にすき間腐食を発生しない耐食材料で肉盛りする方法等が実施されている。耐食材料としては、高 Cr-高 Mo ニッケル基合金（例えば、Ni30%Cr-10%Mo）が優れた実績を示している。

5. 参考文献

- 1) 腐食・防食ハンドブック 腐食防食協会編集、丸善株式会社発行（平成 12

年 2 月)

2) 木下和夫、市川克弘、北嶋宣光：防食技術、32、31(1983)

3) A.H.Tuthill、C.H.Schillmoller：Guidelines for Selection of Marine Materials, INCO International,p13(1965)、腐食・防食ハンドブック 腐食防食協会編集、丸善株式会社発行（平成 12 年 2 月）

4) 北嶋宣光、市川克弘、木下和夫、宮坂松甫：防食技術、35、633(1986)