

電気防食とその応用

日本防蝕工業株式会社

佐藤 俊 二

金属の腐食は化学的または電気化学的に酸化還元される現象であり、その金属がおかれた環境（海水・土壌等）によって腐食形態が異なる。

電解質、即ち水分が存在する場合の腐食は、主として電気化学反応であり、その腐食を湿食と称している。また高温ガス環境中で金属の酸化が生じ化学的に損傷される腐食を乾食と称している。

通常、金属体での腐食が問題になるのは、水分が介在した腐食が大部分であり、金属体表面でアノード部（陽極）とカソード部（陰極）による腐食電池が形成されアノード部が腐食する。

この湿食には「自然腐食と呼ばれる中性環境域で生じる腐食」と「直流電気軌道からの漏れ電流によって生じる電食」に大別されるが自然腐食には1)全面腐食2)集中腐食3)孔食4)粒界腐食5)異種金属接触腐食の腐食形態に分類できる。

【海洋鋼構造物の腐食形態】

海洋鋼構造物の設置環境は大気中、飛沫帯、干満帯、海水中、海底土中に区分され、それぞれの環境ごとの腐食形態は、同一環境にある場合とは大きく異なっている。

これら環境中で最も大きな腐食速度を示す部位は、常時しぶきが掛かる飛沫帯であり、次に大きい腐食速度を示す部位は平均干潮面(M.L.W.L.)下1～2m付近の部位で、干満帯に比べ酸素が少ないことから干満帯との間で酸素濃淡電池が形成されることによる。逆に干満帯はカソード側となり腐食速度は小さい。

平均干潮面(M.L.W.L.)下1～2M以深の海水中は、ほぼ一定した腐食速度を示すが浮泥土等が厚く堆積した海底面付近においては、イオン化合物やバクテリアの発生によりやや大きな腐食速度を示すことがある。

海底土中は酸素の供給が少ないことから一般的には腐食速度は小さい。

【電気防食法】

電気防食法は金属表面に生じる局部腐食電池に対して、外部から電流(防食電流)を供給することにより、金属表面に生じた局部電池を消滅(腐食電流の打消し)させるものであり、通常、陰極防食(カソード防食)法と言われている。

電気防食法が適用できる環境は中性域(PH4～10)にある電解質(海水、土壌、コンクリート等)中に存在する金属体が対象となる。

海洋鋼構造物では、鋼矢板、鋼管矢板等で築造された岸壁や護岸、鋼管杭、H杭等で築造された栈橋、鋼板とコンクリートを組み合わせ合わせた合成構造による沈埋函外面、鋼製橋脚、栈橋上部工コンクリート中の鉄筋等に適用されている。

【電気防食の方式】

防食方式には流電陽極方式と外部電源方式の2方式がある。

・流電陽極方式

海水中や海底土中にある被防食体の固有電位(鋼管杭等)よりも低い電位の金属(アルミニウムや亜鉛等)を陽極として、被防食体と電氣的に接続し、両者の電位差による電池作用で連続的に被防食体に電流を供給する方式。

・外部電源方式

海水中に難溶性電極(鉛銀、白金等)を設置して、この電極のリード線を直流電源装置の+端子に接続し、被防食体に接続したリード線を-端子に接続して被防食体に防食電流を強制的に連続して供給する方式。

【防食電位】

電気防食法を適用した金属表面には炭酸カルシウムや水酸化マグネシウムなどから成る電解質被覆が生成し、この皮膜をエレクトロコーティングと称し時間の経過と共に強固な皮膜が形成され防食状態が維持される。

・防食効果の判定

防食効果の確認は基準電極(海水塩化銀電極、飽和硫酸銅電極等)と被防食体間の電位差を計測し、計測された値が海水環境であれば「 -780 mV (Vs:海水塩化銀電極)より低い(卑な)電位」を示せば、被防食体は防食状態を維持しており、この電位を「防食電位」と称している。

【電気防食設計】

- ・適用範囲と防食対象：平均干潮面 (M.L.W.L) 以下の鋼材全表面積
- ・防食率：90%以上

注) 平均干潮面 (M.L.W.L) 以上については、塗覆装による防食工法を適用する。

【維持管理】

電気防食を適用した施設については、良好な防食状態を維持させるための維持管理点検が必要であり、維持管理法は年1回の定期点検と、5年に1回の詳細点検を実施することが望ましい。

【まとめ】

電気防食法は電解質中における金属体の腐食対策としては、施工が安易で、なおかつ、防食効果の信頼性も非常に高い防食法であると言われている。

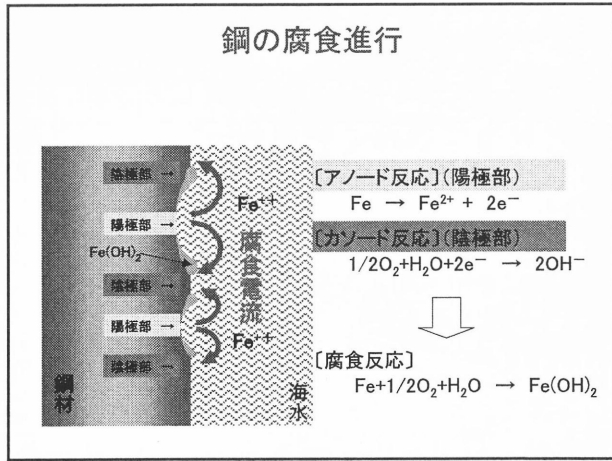
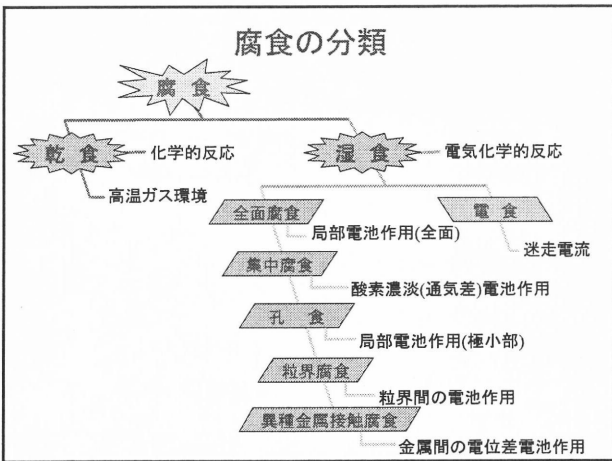
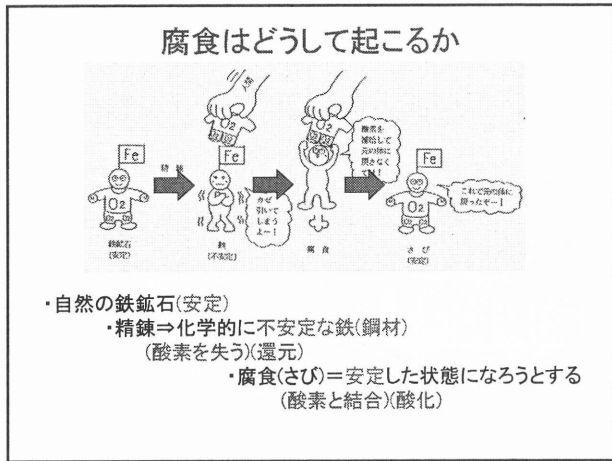
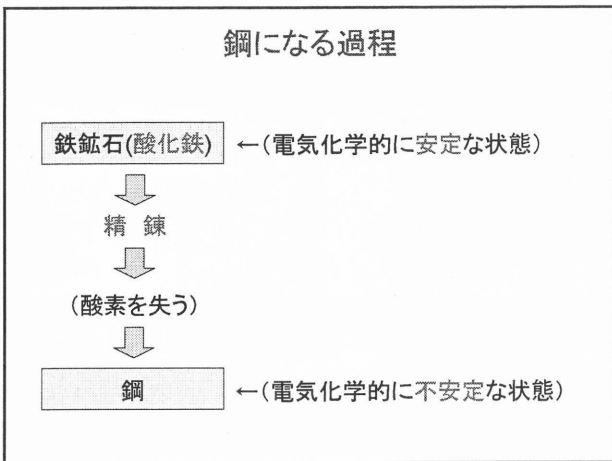
今後も海洋鋼構造物に対する防食法として電気防食は社会的に大きく寄与すると言える。

以上



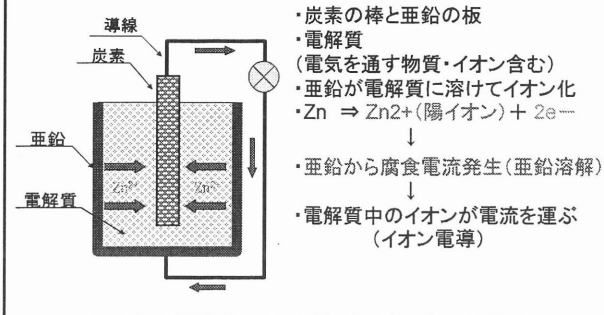
目次

- 鉄が腐食するしくみ
- 電気防食の方式
- 電気防食装置の適用例
- 応用事例

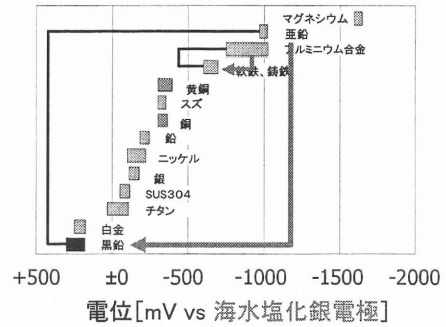


腐食のしくみ

〔乾電池の例〕



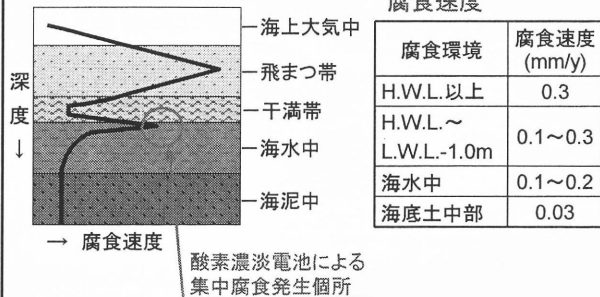
金属の自然電位列



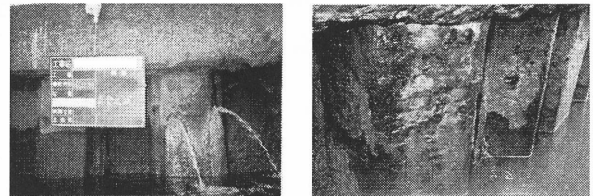
海洋構造物の腐食特性

板厚減少のプロフィール

港湾における鋼材の腐食速度



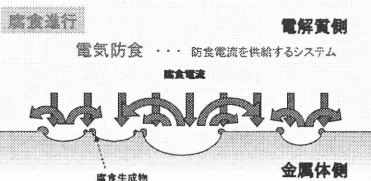
鋼矢板の干満帯に発生した腐食



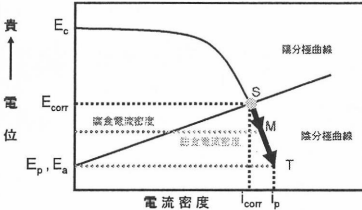
腐食して孔のあいた鋼矢板から背面水が噴出している状況

鋼矢板が腐食して錆びが附着している状況

腐食と防食の原理



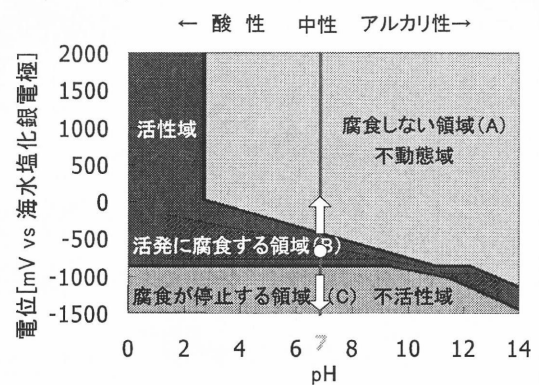
金属の腐食は、土壌などの電解質中で金属表面からの電流(腐食電流)の流出によって生じるものです。



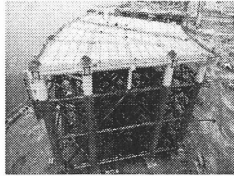
E_c : 腐食電池の陰極部電位
 E_a : 腐食電池の陽極部電位
 S : 腐食状態
 E_{corr} : 腐食電位
 i_{corr} : 腐食電流密度
 T : 防食達成状態
 E_p, E_a : 防食電位
 i_p : 防食電流密度

電気防食の原理を示す分極図

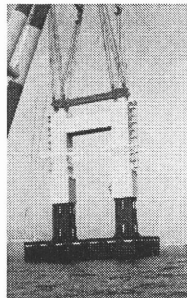
鋼の電位-pH図



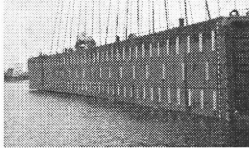
電気防食の適用施設事例(アラノード)



ジャケット式



連絡橋

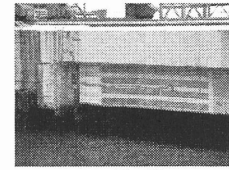


沈埋函

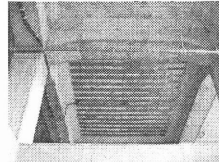
電気防食の適用施設事例(チタントレイ)



道路橋



栈橋



高架橋

電気防食の方式

流電陽極方式

防食対象物(鋼材)よりも低い電位の金属(AI)を陽極とし、両者の電位差によって電流を防食対象物に流して防食する方法

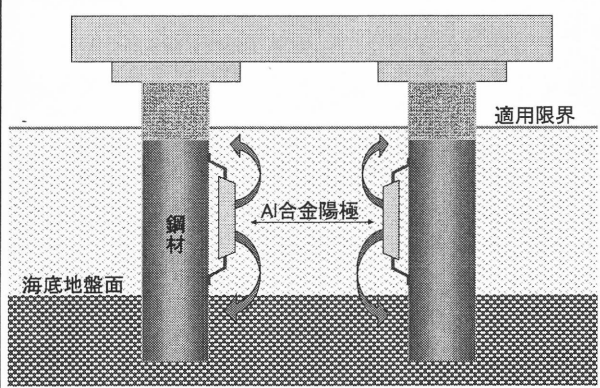
外部電源方式

直流電源装置を用いて、不溶性電極から防食対象物(鋼材)に電流を強制的に流して防食する方法

防食方式の特徴

方式	特徴
流電陽極方式	<ol style="list-style-type: none"> 1. メンテナンスが容易である。 2. 長期的な防食に適している。 3. 施工が容易である。 4. 陽極寿命を自由に選定できる。 5. 小規模、独立した設備にも適用できる。 6. 電源のない場所でも施工が可能である。
外部電源方式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 出力電圧を自由に調節できる。 2. 高流速下、河川水混入下など、変化の激しい特殊な環境にも対応できる。

流電陽極方式概念図



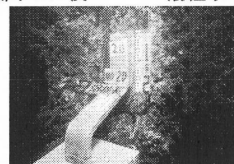
AL取付状況写真



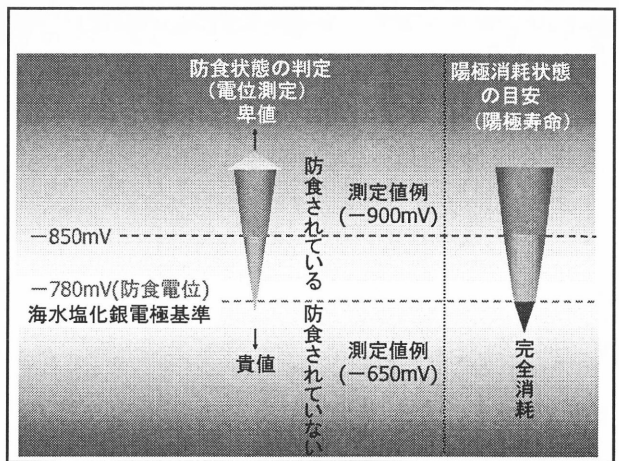
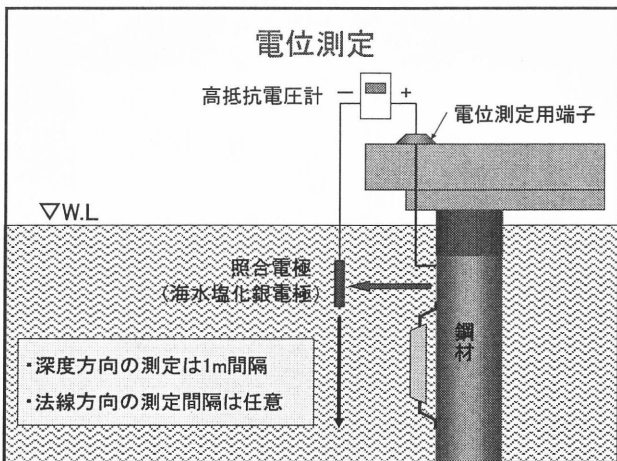
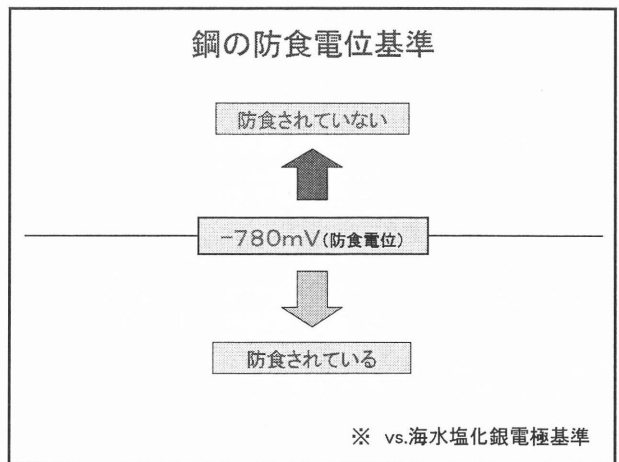
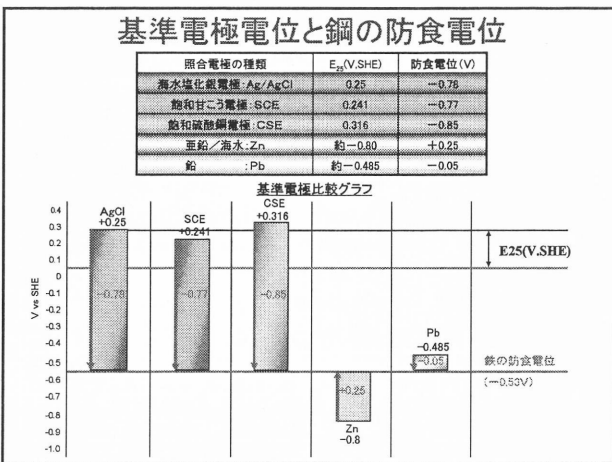
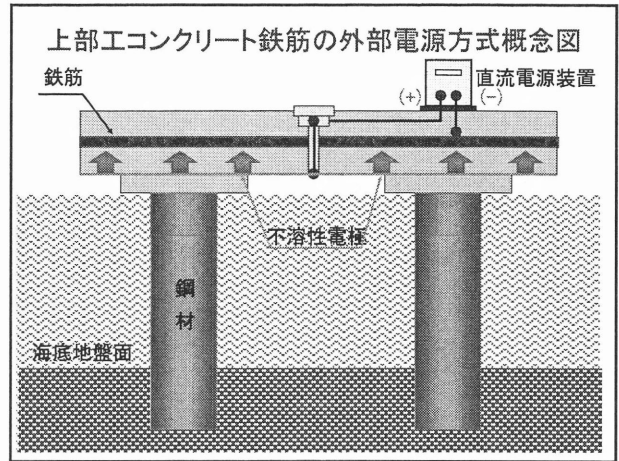
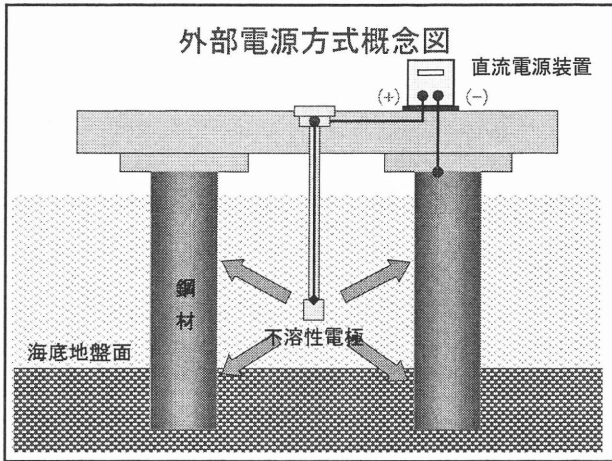
陽極取付部ケレン後



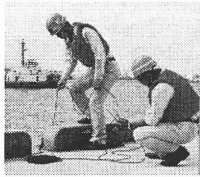
陽極水中溶接状況



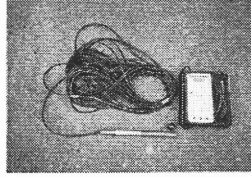
陽極水中溶接後の取付状況



電位測定状況写真



電位測定状況

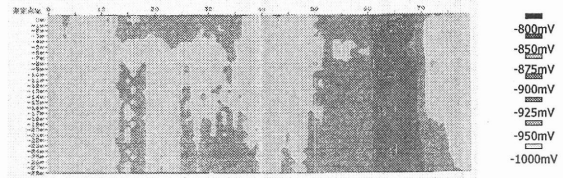


高抵抗電圧計と
海水塩化銀電極



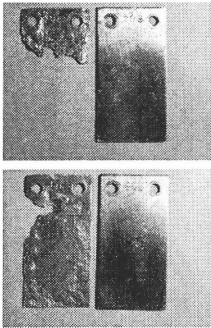
電位測定用端子

電位分布マップ



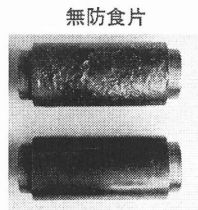
試験片

平型テストピース



(左)無防食片 (右)防食片

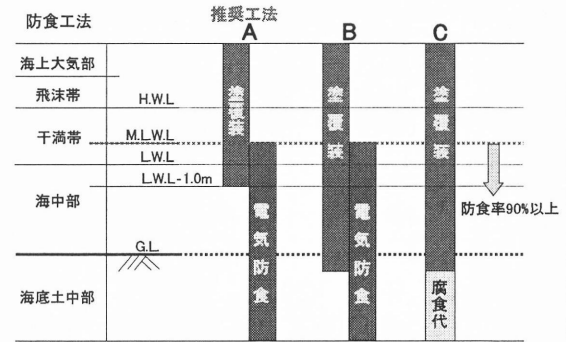
丸型テストピース



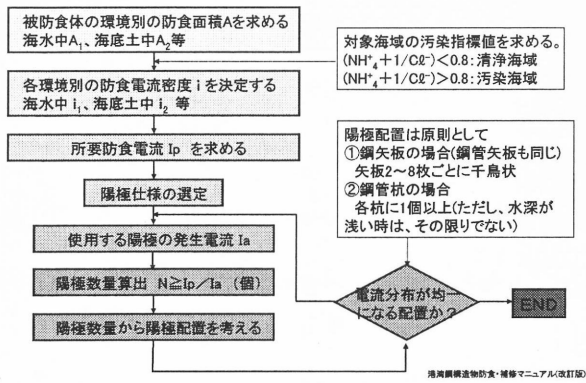
防食片

防食工法

港湾鋼構造物に対する防食方式は、腐食環境区分に適した防食工法と防食適用範囲の決定



電気防食の設計手順



防食電流密度

		清浄海域
海水中	裸	100 mA/m ²
	コンクリート	10+100S mA/m ²
	塗装	20+100 mA/m ²
	チタン・ステンレス鋼	100 mA/m ²
石積中		50 mA/m ²
海底土中		20 mA/m ²

S : 劣化損傷率

S = (防食被覆材の劣化損傷面積) / (全防食被覆材の面積)

汚染海域は清浄海域の1.3~1.5倍

陽極の選定・配置

【耐用年数の選定】

- ・港湾施設に応じた耐用年数(10~50年)の選定
- ・供用開始前の建設期間は未防食期間となることが多いことから、仮設陽極(2~3年耐用寿命)の設置が望ましい。

【発生電流の選定】

- ・標準型である2.0A 2.5A 3.0A 3.5A型より選定
- ・防食効果の均一化

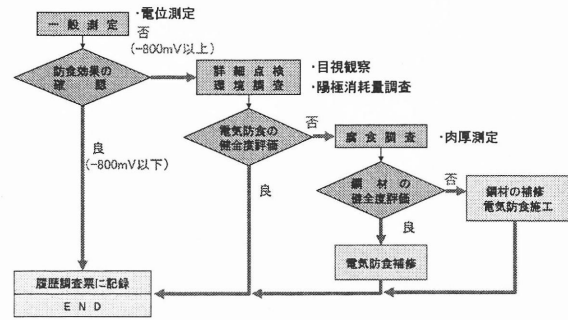
【法線方向】

- 鋼矢板・鋼管矢板 ⇒ 矢板2~8枚ごと凸部に千鳥状に配置する
- 鋼管杭 ⇒ 各杭に1個以上の陽極を配置する
(水深が浅い場合はこの限りでない)

【水深方向】

- 水深-5m未満 ⇒ 1 段配置
- 水深-5m~-10m未満 ⇒ 2 段配置
- 水深-10m~-15m未満 ⇒ 3 段配置

電気防食の維持管理の手順



アルミニウム合金陽極更新時期

1. 陽極更新時期の目安

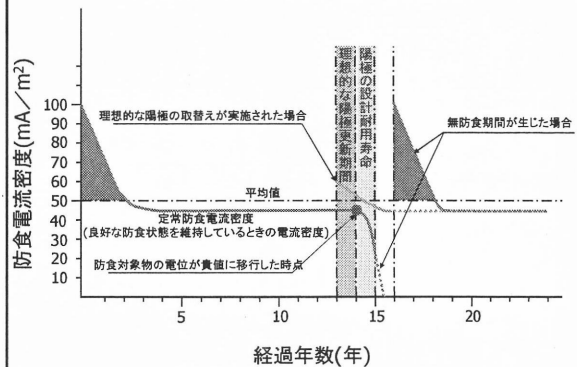
陽極更新時期の目安は、防食対象施設の電位が経年的に貴値傾向を示してから、 -800mV (vs. Ag/AgCl; 以降電位は同電極基準) より貴値になる前、即ち無防食状態の時期が生じない時期が最も有効的な陽極更新時期である。

2. 推奨する陽極の更新時期

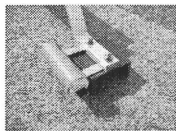
- ① 防食対象施設の電位が防食電位より貴値(腐食状態の電位)の状態に移した後に陽極を更新した場合、初期に大きな防食電流を必要とするので陽極の消費量は多くなる。
- ② 安定した防食状態が維持され、無防食の期間が生じる前に陽極を更新した場合、分極に必要な防食電流が不要となる。初期段階の陽極の消費を抑制できる。

②の更新方法は継続的に安定した防食状態を維持するとともに、陽極寿命を延命させることになり、経済性の点からも有利性のある有効的な更新法といえる。

防食電流密度の変化と流電陽極の理想的な取替時期の概念図



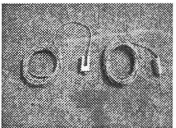
維持管理システム



電流センサー

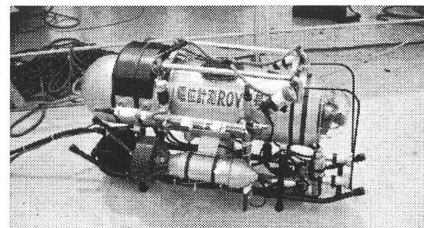


水中回収シャント



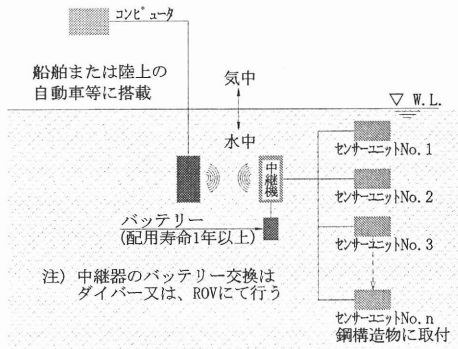
電位センサー

維持管理システム

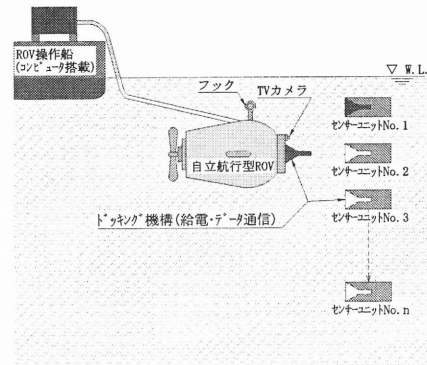


ROV

超音波送受信機による モニタリングシステム



ROVによるモニタリングシステム



おわり