

海域における土木鋼構造物の電気防食 に関する共同研究報告書

—海域における土木鋼構造物の電気防食指針(案)・同解説—

平成 3 年 3 月

建設省土木研究所
地質化学部化学研究室
(財)土木研究センター

海域における土木鋼構造物の電気防食 に関する共同研究報告書

—海域における土木鋼構造物の電気防食指針(案)・同解説—

化学研究室 室 長 片 脇 清

財土木研究センター 常 務 参 与 田 中 柳之助

研究開発部長 森 芳 徳

専門調査役 戸 村 寿 一

〃 清 水 一 夫

〃 海 野 武 人

〃 田 辺 弘 往

要 旨

海域における鋼構造物の海中部および海底土中部における腐食対策として、電気防食は効果的で信頼性の高い方法である。

これまで財土木研究センターと共同研究を行ってきた電気防食に関する研究成果を指針(案)・同解説としてとりまとめたものである。

キーワード：海洋構造物，鋼構造物，防食，電気防食，維持管理

ま え が き

近年、海域に横断橋、空港、人工島などの鋼構造を有する大規模な土木構造物が建設される例が多くなってきている。

海域は、鋼材に対して極めて腐食性の厳しい環境であるため、建設された土木鋼構造物の長期に亘る耐久性の確保と機能の維持を図るには、適切な防食を施す必要がある。

電気防食は、腐食性の厳しい海域に建設される鋼構造物の海中部および海底土中部の防食に極めて有効であり、信頼性の高い防食方法である。

そこで、建設省土木研究所は、(財)土木研究センターと共同で「電気防食の設計法に関する研究」を行い、得られた知見を踏まえて、昭和58年11月に「電気防食設計指針(案)・同解説」を作成し、現在に至るまで、この指針(案)が、海域における土木鋼構造物の電気防食設計のために利用されてきている。

しかし、上記指針(案)は、その細部については必ずしも十分でない点もあり、より詳細な試験による検証が必要と考えられていた。

その後、昭和58年度から開始した「海洋構造物の耐久性向上技術に関する研究」において、建設省土木研究所と(財)土木研究センターとが駿河湾内に設置した海洋技術総合研究施設を利用した共同研究として、「海中部における電気防食設計技術に関する研究」を行う機会を得た。また、引続いて、潮流海域の鳴門海峡等においても検証試験を行う機会を得たので、上記指針(案)にこれらの試験の成果を加味し、その改訂版として、この度「海域における土木鋼構造物の電気防食指針(案)・同解説」を作成した。

本指針(案)は、海域に建設される土木鋼構造物に電気防食を行う場合の設計、施工、維持管理に関する基本的な事項を体系的にとりまとめたもので、広くご利用頂ければ幸いである。

なお、本指針(案)の利用の便を考慮し、巻末に「指針(案)の構成と主な内容」として、章節ごとの主な内容を記載したのでご照覧頂きたい。

目 次

まえがき

1. 総 則	1
1.1 適用範囲	1
1.2 用 語	2
1.3 構造物に関する事前調査	3
2. 電気防食	5
2.1 電気防食による防食効果	5
2.2 防食電位	6
2.3 電気防食法の種類と選定	9
3. 設 計	12
3.1 設計一般	12
3.2 調 査	12
3.3 防食電流密度	15
3.4 設計要領	23
3.4.1 防食面積	23
3.4.2 所要防食電流	24
3.5 流電陽極方式	26
3.5.1 陽極の性能	26
3.5.2 陽極の形状および寸法	26
3.5.3 陽極個数の算出	28
3.6 複合電気防食方式	29
3.6.1 複合電気防食方式用塗装系	29
4. 施 工	32
4.1 施工計画	32
4.2 陽極性能の確認	32
4.3 現場作業者	33
4.4 作業準備	33
4.5 施工方法の選定	33
4.6 施工方法	34
4.7 施工管理	34

5. 点検および維持管理	36
5.1 点検一般	36
5.2 定期点検	36
5.3 詳細点検	37
5.4 補修	39
参考文献	41
付録1 陽極規格	43
付録2 塗料規格	47
指針(案)の構成と主な内容	55

1. 総 則

1.1 適用範囲

本指針は、土木鋼構造物の海中部および海底土中部の電気防食の設計、施工および維持管理を行う場合に適用する。

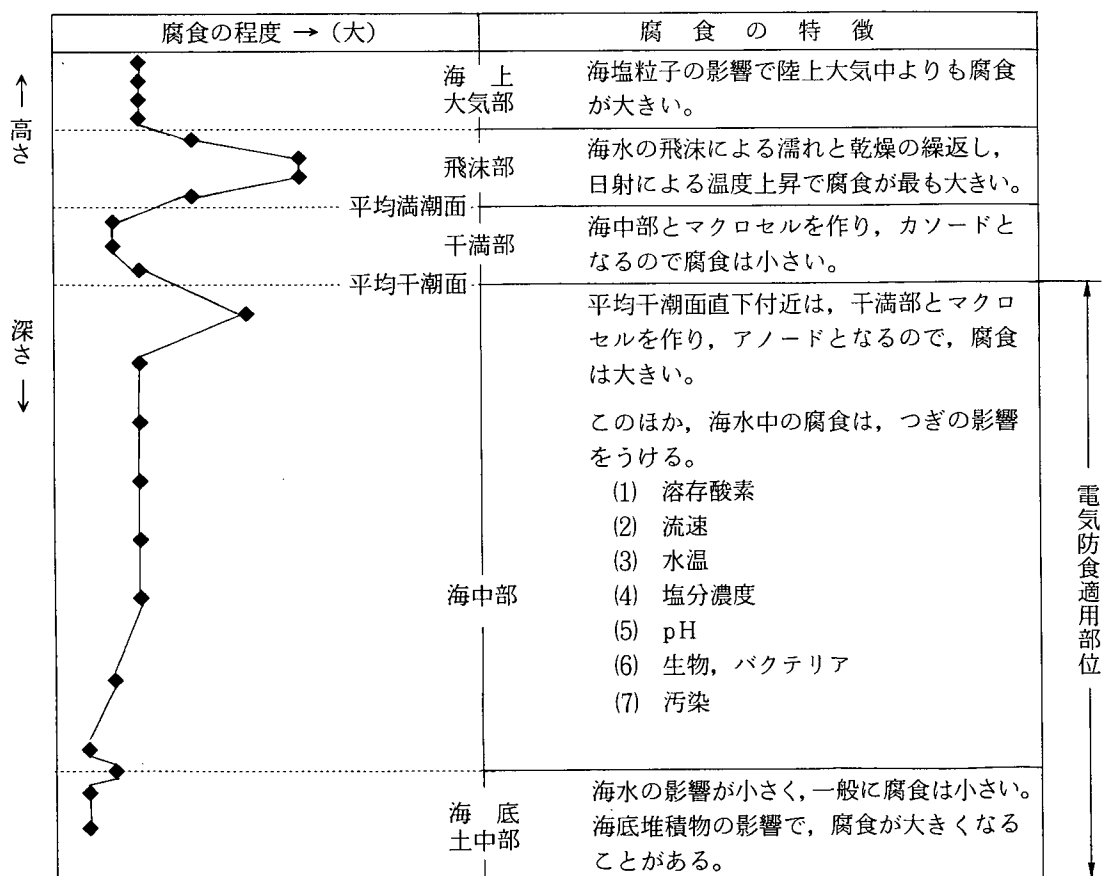
〔解 説〕

(1) 適用範囲

海域は、鋼材に対する腐食性の相違から、図解 1.1.1 に示すとおり、海上大気部、飛沫部、干満部、海中部および海底土中部の 5 つの環境に区分される。

海域に設置される土木鋼構造物においては、一般に、これらの異った環境に接するため、それぞれの環境区分に適した防食法を適用する必要がある。常時海水に接している海中部および海底土中部にたいしては、電気防食が有効かつ最も信頼性の高い防食法である。

本指針は、海域に設置される土木鋼構造物の海中部および海底土中部の電気防食の設計、施工および維持管理を行う場合に適用する。



図解 1.1.1 環境区分と電気防食適用部位

(2) 電気防食の適用部位

電気防食の適用は、平均干潮面以下の海中部および海底土中部を対象とする。

平均干潮面より上部の海上大気部、飛沫部および干満部の防食については、別に定められる基準によるものとする。

1.2 用 語

① 電気防食

電気防食は、海水や海底土を通して直流電流（防食電流という）を構造物に流入させ、鋼表面の電位を卑方向へ変化させて腐食を防止する方法である。

② 複合電気防食

複合電気防食は、防食電流の軽減または電流分布の均一化を図る目的で塗装を併用する方法をいう。

③ 防食電位

防食電位は、腐食防止に必要な電位をいい、飽和甘汞電極（SCE）の電位を基準として mV で表わす。

④ 管理電位

管理電位は、防食管理を行う際に基準となる電位をいい、飽和甘汞電極（SCE）の電位を基準として mV で表わす。

⑤ 防食電流密度

防食電流密度は、腐食防止に必要な単位面積当りの電流で、mA/m²で表わす。防食初期の電流密度を初期防食電流密度、防食状態の維持に必要な電流密度を定常防食電流密度という。

⑥ 海域

一般海域は、汚染海域や潮流海域に属さないごく一般的な海域で、多くの海域がこれに属する。

汚染海域は、内湾等で海水および海底土が著しく汚染されている海域とする。

潮流海域は、海峡部等で速い流速がみられる海域とする。

〔解 説〕

(1) 用語については、通常用いられる主要なものにとどめた。

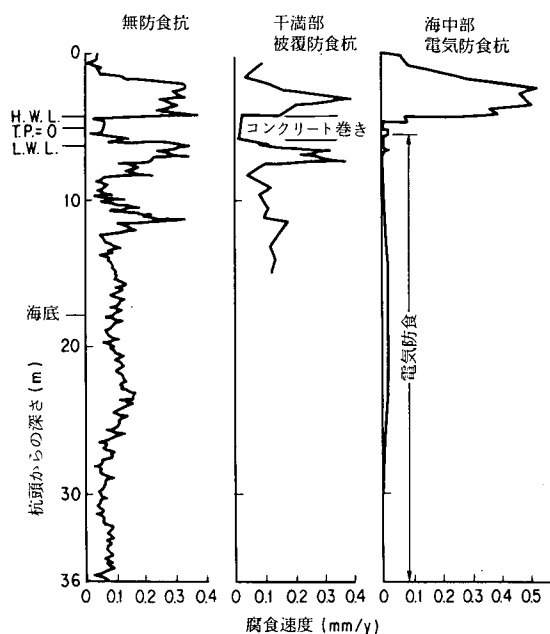
(2) 電位の相対的な表示および電位変化の方向を表す用語として、通常「(より) 高い」と同様の意味で「(より) 貴」、また「(より) 低い」と同様の意味で「(より) 卑」が用いられている。本指針においても、その用法にしたがっている。

1.3 構造物に関する事前調査

設計にあたっては、構造物全体に整合した防食方法を選定する必要があるため、構造物の規模、形状および構造物が設置されている地点の立地条件や今後の開発計画の影響について調査する。

〔解 説〕

- (1) 合理的で経済的な電気防食の設計を行うためには、構造物の形状が単純であることが望ましい。ただし、構造が複雑であっても、陽極の適切な配置や塗装との併用等によりある程度までは解決が可能なので、構造物の規模と形状の調査は不可欠である。
- (2) 構造物によっては、構造物の一部に塗装や有機・無機材による防食被覆（以下塗覆装という。）が施される場合がある。電気防食は、図解 1.3.1 の川崎沖で鋼管杭を使用して約 3 年間試験した防食例に示す如く防食の効果が完全な範囲は、平均干潮面以下のため、塗覆装が施されている範囲を把握し、構造物全体として十分な防食効果が期待できるよう配慮する必要がある。



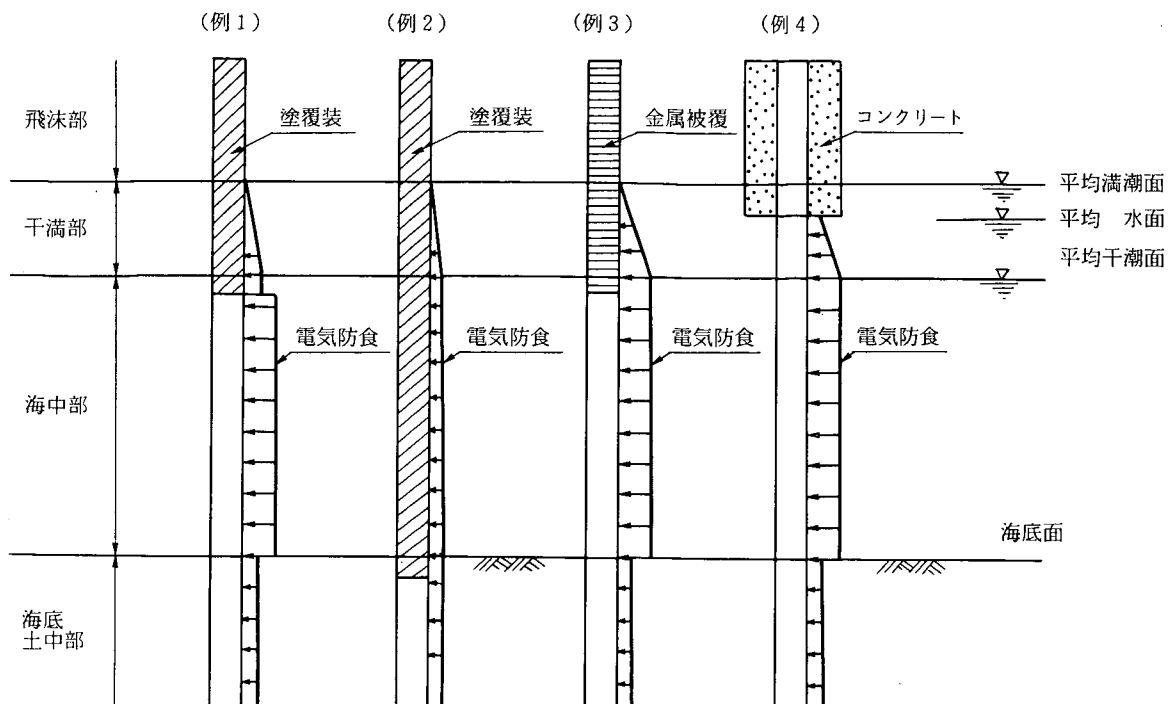
図解 1.3.1 腐食速度の測定結果¹⁾

鋼材の防食方法には、防食材料の組み合わせによる種々の方法がある。防食方法の例を図解 1.3.2 に示す。

(例 1) 平均干潮面より上部に塗覆装を施し、平均干潮面から下部に電気防食を適用する標準的な例である。塗覆装の範囲は、鋼管杭等の打ち込み誤差や平均干潮面直下に生じる集中腐食を完全に防止するため、平均干潮面より -1 ～ -2 m 程度まで被覆する例が多い。本例の場合は図解 1.3.3 に示すように海中部に適用した電気防食の効果が、没水率に比例して干満部までおよぶため、干満部の塗覆装の欠陥を補強し、塗覆装の寿命を延長する複合効果がある。

(例 2) 海底面まで塗覆装によって防食を行う場合である。塗覆装は良質なもので経年劣化や建設時のハンドリング、流木等による損傷が避けられない。また、海中部は海洋生物の付着の影響もあって、塗覆装の損傷、劣化の発見がむずかしく、維持管理に支障をきたすので、そのような欠点のない塗覆装を採用する必要がある。なお、電気防食と塗覆装の併用は、防食電流の著しい低減をはかれる利点がある。

(例 3) 平均干潮面より上部に耐食性金属被覆（ステンレス鋼、チタン、モネル等）を行った場合で

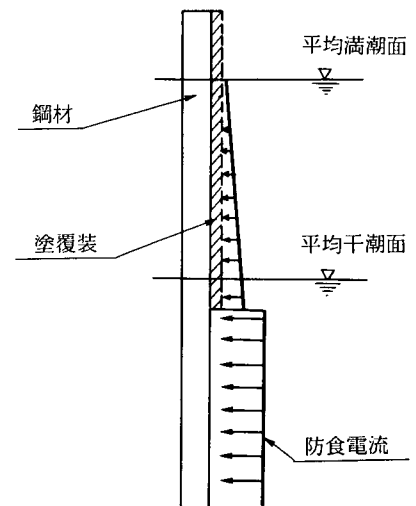


図解 1.3.2 鋼材の防食方法の例

ある。本例の場合は、耐食性金属のほとんどが鋼材より貴な電位を示し、鋼材との間で異種金属接触腐食を生じ鋼材側の腐食が増大するため、海中部の鋼材には、電気防食の適用が不可欠となる。

(例4) 平均水面付近までコンクリート被覆がある場合で、比較的多い例である。本例の場合、平均干潮面とコンクリート下端までの間(干満部の露出部)の電気防食効果は、ほぼ没水率に比例するので電気防食の適用のみでは十分な防食効果が得られないため、干満部の露出部分は、塗覆装による防食が必要である。

(3) あらかじめ、構造物が設置される地点の立地条件と今後の開発計画を調査することは、腐食環境の変化を予測するのに極めて有効なので、実施する必要がある。



図解 1.3.3 干満部への防食電流流入モデル

2. 電気防食

2.1 電気防食による防食効果

海中部以下の鋼構造物の電位を防食電位より卑に維持することによって十分な防食効果が得られるので、電気防食の設計、施工および維持管理にあたっては、常にこのことに留意しなければならない。

〔解説〕

(1) 電気防食法の原理

水中や土中で腐食している金属は、図解 2.1.1 で説明すると、表面において電位の低い陽極部（アノード部： E_a ）と電位の高い陰極部（カソード部： E_c ）とからなる腐食電池を構成しており、陽極部から電流が流出し、当該部分が腐食している。この腐食状態（通常の自然腐食状態に相当する： S ）における腐食電位を E_{corr} 、腐食電流密度を i_{corr} で示す。

電気防食法は、このような腐食している金属表面全体を陰極として、外部の陽極から電流を流入させ金属の腐食を防止する方法である。

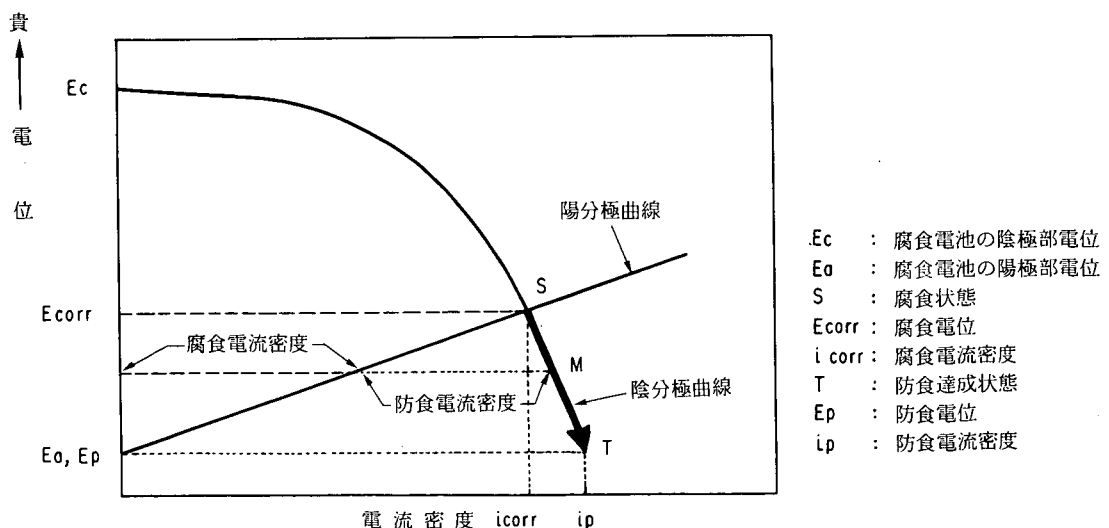
外部から電流を流入させることにより、腐食状態（ S ）の自然電位（ E_{corr} ）は、次第に低下する。 M では、外部からの防食電流によって腐食電流が減少していることを示す。

このように、 S から T まで陰分極させると、電位が陽極部の電位（ E_a ）と等しくなり、電位差が消滅し、腐食電流密度 i_{corr} はゼロとなり、腐食は停止する。

これが電気防食法の原理で、この腐食停止時（ T ）の電位が防食電位で、 i_p が防食電流密度である。

(2) 防食率と防食電位

海中部に電気防食を適用した場合、鋼材の電位を、防食電位より卑（防食電位より低い電位）に



図解 2.1.1 電気防食の原理を示す分極図

維持すれば、原理的に腐食は生じない。この効果を確認するために行った試験^{1), 2)}で鋼について防食率97～99%が得られることが確認されている。

図解 1.3.1 に見られるように、海中での鋼材の腐食は局部腐食が認められる場合もあるが、仮に無防食鋼の平均腐食速度を0.1 mm/y とすると、電気防食による防食率97%の場合の腐食速度は0.003 mm/y となる。これは、100年間で0.3 mmの肉厚減にすぎないので、事実上腐食はないものとして取り扱うことができる。また、たとえ局部的に大きな腐食速度を生じる場合でも、電気防食はこれらの局部腐食を消滅させる効果を有することが確かめられている。このように局部腐食を消滅させ極めて高い防食率が得られる電位を本指針では防食電位としている。

したがって、電気防食の設計にあたっては、防食電位を長期間保持できるような電流量を確保するようにし、防食状態の管理が円滑に行えるよう若干余裕のある電位を設定する必要がある。

また、構造物が建設されてから電気防食が適用されるまでにある程度の期間を必要とする場合には、無防食期間に応じた塗装を施すか、あるいはその海域に見合った腐食しるを、あらかじめ見込んでおくなどの配慮が必要である。

2.2 防食電位

各種の環境における防食電位は表 2.1 に示す値を基準とする。

表 2.1 防食電位

単位：mV (SCE)

電氣防食 の種類 環 境	電 気 防 食 法	複 合 電 気 防 食 法 (塗 装 併 用)
一 般 海 域	- 770	- 770 ただし下限を - 1050
汚 染 海 域	- 900	
潮 流 海 域	- 770	

〔解 説〕

(1) 防食電位を決定するための各種試験結果

防食電位を決定するため、各種の環境条件下で実施した試験²⁾の結果を以下に示す

なお、本指針において、電位は、飽和甘汞電極の電位を基準としたので、mV (SCE) と表記することとした。

(a) 一般海域における防食電位

標準環境（清浄海水、25℃、微速、溶存酸素飽和）で行った試験により得られた図解 2.2.1 から -770 mV (SCE) より卑な電位で、高い防食効果が得られることが明らかにされているので、一般海域における防食電位を -770 mV (SCE) とした。

また、水温が低い場合（5℃）および海水が希釈された場合（例えば、河川水等の流入により抵

抗率が標準海水の場合の約10倍 ($300 \Omega \cdot \text{cm}$) になった場合) も、一般海域と同様であった。

(b) 汚染海域における防食電位

汚染海域の海底から採取したヘドロを用いた室内試験の結果は、図解 2.2.2 に示したように、発錆処理鋼は、 -800 mV (SCE) では、防食率 74%， -900 mV (SCE) では防食率 93% 以上を示している。 -800 mV (SCE) における腐食速度は 0.02 mm/y 以下であるが、このような環境では鋼材は局部腐食を生じる傾向にあり、この点を考慮すると防食率 74% では低過ぎる。したがって、別に行った試験¹⁾で、試験期間中の電位が平均 -900 mV (SCE) 程度で $0.004 \sim 0.01 \text{ mm/y}$ の腐食速度が計測されるので、この点も考慮に入れて汚染海域における防食電位を -900 mV (SCE) とした。

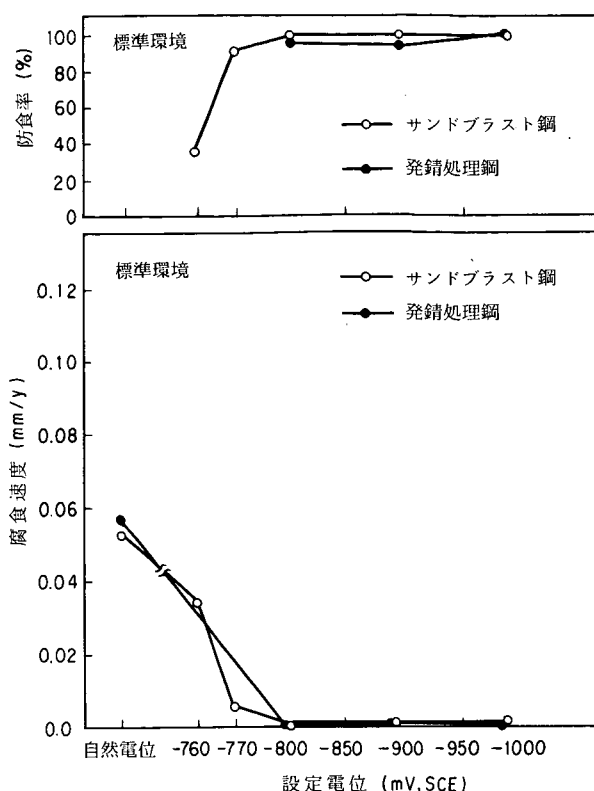
(c) 潮流海域における防食電位

流速環境下での試験結果を図解 2.2.3 に示す。図解 2.2.3 では、流速が $0.5 \sim 8 \text{ m/s}$ の範囲内で -800 mV (SCE) より卑な電位で高い防食率を示している。同時に行った試験で、流速が $1 \sim 4 \text{ m/s}$ の範囲内で、標準的な防食電位である -770 mV (SCE) に保持すれば 98% 以上の防食率が得られている。

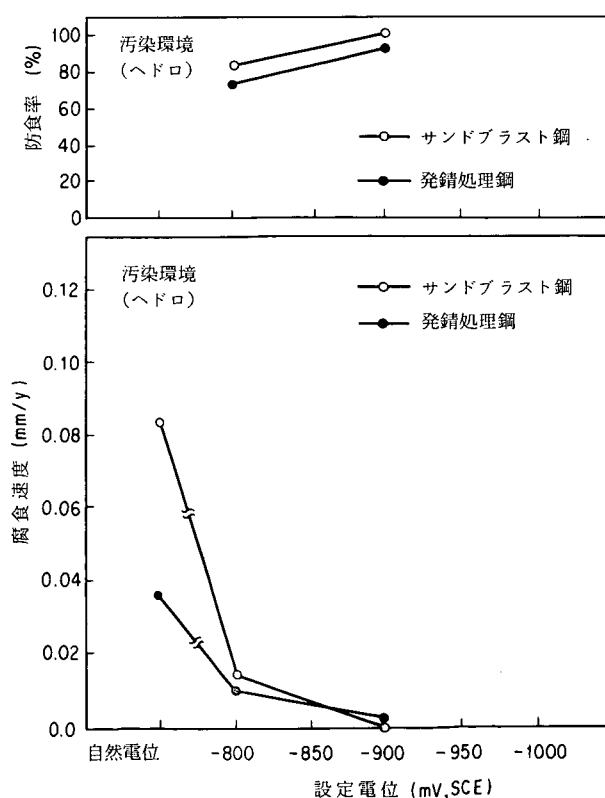
これらの試験結果から、潮流海域における防食電位を -770 mV (SCE) とした。

(d) 塗装を併用する場合の防食電位

塗装鋼材に過剰な電流を流すなどの不適切な電気防食を施すと、陰極部（カソード部）となる鋼材表面が強アルカリ性を呈することにより、塗膜が劣化しやすくなる。電位が -1100 mV (SCE) より卑になると、カソード反応による水素ガスの発生によって、塗膜劣化が急速に進行するようになる。したがって、



図解 2.2.1 電位と防食率の関係

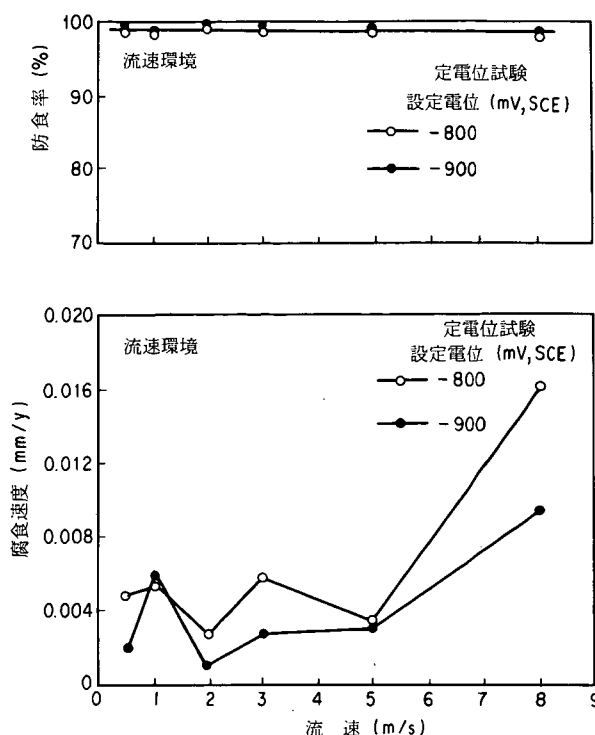


図解 2.2.2 電位と防食率の関係

塗装と電気防食を併用する場合は、塗膜の異状を最小限に抑えることができる防食電位に維持することと耐久性に優れた塗装系を用いることが必要である。

種々の塗装系について行った試験結果を表解 2.2.1 に示す。設定電位が -900mV (SCE) の場合には耐久性の良好な塗装系が多い。しかし、 -1500mV (SCE) では、いずれの塗装系も劣化が著しく、とくに、防食下地の損傷が顕著であった。そこで、無機ジंकリッチペイント防食下地に対する適正な電位を選定するための試験を行ったところ、図解 2.2.4 に示したように、設定電位が、 -1200mV (SCE) より卑になると、塗膜の耐久性は著しく低下し、短期間に塗膜の異状が発生することが分かった。

また、実海域（駿河湾）での試験³⁾において、ジंकリッチペイントを防食下地とする



図解 2.2.3 各流速における防食率の関係

表解 2.2.1 塗装鋼材の電気防食特性試験の総合評価
設定電位 -900mV (SCE) の場合

塗 料 種	膜 厚 (μm)	防食下地	スクラッチなし						スクラッチあり		
			塗膜 外観	電流 密度	交流 抵抗	付着性	衝撃性	評価	塗膜 外観	電流 密度	評価
タールエポキシ JIS K 5664 1種 (ポリアミド)	100	なし	×	×	×	◎	○	D	×	×	D
		O-ZRP	◎	○	×	◎	○	B	◎	◎	A
		I-ZRP	◎	○	△	○	◎	B	◎	◎	A
	200	なし	○	○	×	◎	×	C	○	×	C
		O-ZRP	◎	○	△	◎	◎	B	◎	◎	A
		I-ZRP	◎	○	×	△	◎	B	◎	◎	A
	400	なし	◎	◎	◎	◎	○	A	○	◎	A
		O-ZRP	◎	◎	◎	○	○	A	◎	◎	A
		I-ZRP	◎	◎	◎	◎	◎	A	◎	◎	A
エポキシ (ピュアエポキシ)	200	なし	◎	◎	◎	◎	◎	A	○	○	B
		O-ZRP	◎	◎	◎	○	◎	A	◎	◎	A
		I-ZRP	◎	◎	○	△	◎	A	◎	◎	A
G F P (ポリエステル系)	2000	なし	◎	◎	◎	◎	◎	A	◎	◎	A
		O-ZRP	◎	◎	◎	◎	◎	A			
		I-ZRP	◎	◎	◎	○	○	A			

注 1) O-ZRP:有機ジंकリッチペイント (エポキシ系)

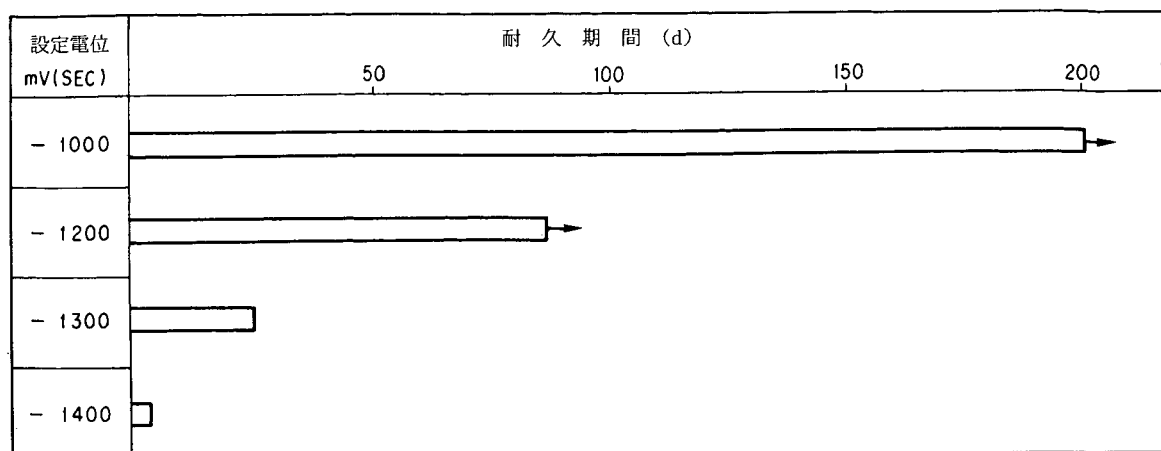
I-ZRP:無機ジंकリッチペイント

GFP:ガラスフレーク入りポリエステル

2) 浸漬日数は、GFP: 620日, その他: 980日

3) 評価基準 (各試験) ◎:非常に良好, ○:良好, △:不良, ×:著しく不良

(評価) A:非常に良好, B:良好, C:不良, D:著しく不良



注1) 無機ジンクリッチペイントを防食下地とした。

注2) 耐久期間は、剥離ふくれ等塗膜に異常が認められるまでの日数。

→印は、当該日数でまだ塗膜に異常が認められないことを示す。

図解 2.2.4 適正電位選定試験結果

塗装系について、塗膜にスクラッチ傷を付け、設定電位 $-1030 \sim -1080$ mV (SCE) で通電試験を行ったところ、2年間にわたり電流密度が 1.5 mA/m^2 以下と極めて小さい値を示し、塗装系によっては、スクラッチ傷に沿ってふくれの発生が認められたものもあるが、それ以外の部分には塗膜の異常は認められず、良好な状態であった。さらに、塗膜損傷率と防食電流密度の関係を調べる目的で、防食下地および塗料の種類を変えた試験片に、塗膜の損傷を想定したスクラッチ傷および塗り残し部を設け、設定電位 $-1010 \sim -1070$ mV (SCE) で2年間にわたり通電試験を行った結果、ジンクリッチペイントを防食下地とする塗装系では、塗膜損傷部の周辺にわずかにふくれの発生が認められたのみで、それ以外の部分には塗膜の異常は認められず、防食電流密度の増加もわずかであった。

以上の成果および諸外国 (例えば DnV など) の事例等を参考にして、塗装と電気防食を併用する場合の防食電位は、 -770 mV (SCE) とし、さらに下限値として、 -1050 mV (SCE) を設けることとした。

2.3 電気防食法の種類と選定

電気防食法は、流電陽極方式、複合電気防食方式および外部電源方式の3種類とするが、土木鋼構造物に適用する電気防食法は、アルミニウム合金陽極を用いる流電陽極方式を原則とする。

〔解 説〕

- (1) 土木鋼構造物に対する電気防食法の適用は、海水中、海底土中において有効で、すでに実績も多い。電気防食は、表解 2.3.1 に示したように、それぞれ特徴を有しているので、腐食環境と防食

表解 2.3.1 各種電気防食方式の特徴

特 徴	特 徴
流電陽極方式	1. メンテナンスが容易である。 2. 電源が不要である。 3. 施工が容易で水中施工も可能である。 4. 維持電力費が不要である。 5. 構造物の規模、形状のいずれにも応じられる。 6. 防食期間に幅広く応じられ、長期間の防食に適している。 7. 分極状況に応じた必要電流が得られる。 8. 土木鋼構造物に対する実施例が多い。
複合電気防食方式	1. 複雑な形状の構造物に対して電流分布の均一化が得られる。 2. 防食電流密度を大幅に軽減できるので、大規模対象物の場合などに適している。 3. 防食塗装と併用する場合は、適切な塗装系と組み合わせる必要がある。
外部電源方式	1. 電源装置、電極、配線が必要である。 2. 運転中は電力費が必要である。 3. 適切な防食電流を維持するための管理が必要である。 4. 印加電圧の調節で防食電流を任意に変えられる。 5. 防食電流供給は手動および自動方式の選択が可能である。 6. 流速、水深、抵抗率など環境の変化に対応できる。

対象構造物の規模・形状に応じて、十分防食効果の得られる方式を選定することが必要である。しかしながら、土木鋼構造物に適用する電気防食は、技術的に十分な配慮がなされていれば、防食方式が異なっても同等の防食効果が得られるので、現在では電源を要しないこと、施工が簡易なこと、メンテナンスが容易であること、経済性がすぐれていることなどから、特殊な場合を除きアルミニウム合金陽極を用いる流電陽極方式が主体となっており、本指針もこれによることを原則とした。

- (2) 流電陽極方式は、被防食体を陰極とし、これより卑な電位を有する金属を陽極として両者を電氣的に接続し、両者の電位差を利用して被防食体に対して連続的に防食電流を供給して電気防食を行う方式である。
- (3) 複合電気防食方式は、防食塗装に電気防食法を併用する方式である。
- (4) 外部電源方式は、直流電源装置を用いて、被防食体を(-)極として、電解質中に設置した電極(+)極から強制的に防食電流を供給して電気防食を行う方式である。
- (5) 各種電気防食方式の特徴を表解 2.3.1 に示す。
- (6) 流電陽極材料には、アルミニウム系、亜鉛系、マグネシウム系があり、それぞれ特徴を有しているため、環境や条件に応じて適切な材料を選ぶ必要がある。各種流電陽極材料の一般的な性能を表解 2.3.2 に示す。

アルミニウム合金陽極は、単位重量当たりの発生電氣量が最も大きく、陽極電位も鋼の防食に十分卑な値を有することから、土木鋼構造物の電氣防食に最も多く用いられている。

近年、アルミニウム合金陽極の高性能化の研究開発が進み、発生電氣量 $2600 \text{ A} \cdot \text{h/kg}$ 以上の性能を有するものの使用が可能となったので、本指針では、これを使用することとした。

本指針で定めたアルミニウム合金陽極の規格を巻末の付録 1 に示す。

純亜鉛および亜鉛合金陽極は、自己腐食が小さく電流効率は最も高いが、理論発生電氣量がアルミニウム系の 30% 程度と著しく小さく、発生電氣量は $780 \text{ A} \cdot \text{h/kg}$ 程度である。また、陽極重量が大きくなることが作業上の難点となっている。

マグネシウムおよびマグネシウム合金陽極は、軽量なうえに、鋼との有効電位差が最大で発生電流も大きいという利点があるが、自己腐食が著しく大きく、発生電氣量は、アルミニウム系の 50% 以下を示し、電流効率も約 50% にとどまる。マグネシウム系陽極は、有効電位差が大きいことから、高抵抗率環境に適用されることがある。

表解 2.3.2 流電陽極材料の一般的性能

各種流電陽極材料の性能を表解 2.3.2 に

に示す。

特 性	アルミニウム 合 金	亜鉛 合金	マグネシウム 合 金
開 路 電 位 (V, SCE)	-1.08~-1.15	-1.0	-1.5
陽 極 効 率 (%)	80~95	95	50
発生電氣量 ($\text{A} \cdot \text{h/kg}$)	2300~2750	780	1100

- (7) 複合電氣防食方式は、電氣防食に必要な電流が著しく多くなる場合あるいは対象となる土木鋼構造物の形状が複雑で防食電流

の不均一が予想される場合の電流分布改善などの目的で採用される。

- (8) 河口付近などの高抵抗率の環境や環境の変化が著しい場所では、外部電源方式による電氣防食が適している場合がある。現在のところ、土木鋼構造物に対する外部電源方式による電氣防食の適用例が少ないことから、その適用に際しては、防食電流供給のための直流電源装置や配線関係材料等について関係法規を遵守するなど慎重な検討が必要である。

外部電源方式の電氣防食に用いる電極材料としては、長期間の使用に耐える必要があり、不溶性あるいは難溶性のものが適している。

代表的な電極材料の一般性能を表解 2.3.3 に示す。

表解 2.3.3 代表的な外部電源方式用電極の性能

種 類	消 耗 度 ($\text{kg/A} \cdot \text{y}$)	海水中の適正電流密度 (A/dm^2)
高けい素クロム鉄 (Fe-14.5% Si-4.5% Cr)	0.25 ~ 1.0	0.3
鉛 合 金 (Pb-2% Ag)	0.01	2
白金めっきチタン	8×10^{-6}	4

3. 設 計

3.1 設計一般

流電陽極方式による電気防食の設計においては、構造物が設置される環境の腐食性および立地条件等を十分把握したうえで、防食電流密度等の電気防食条件を定め、その条件に応じた使用材料の選定および数量を決定する。

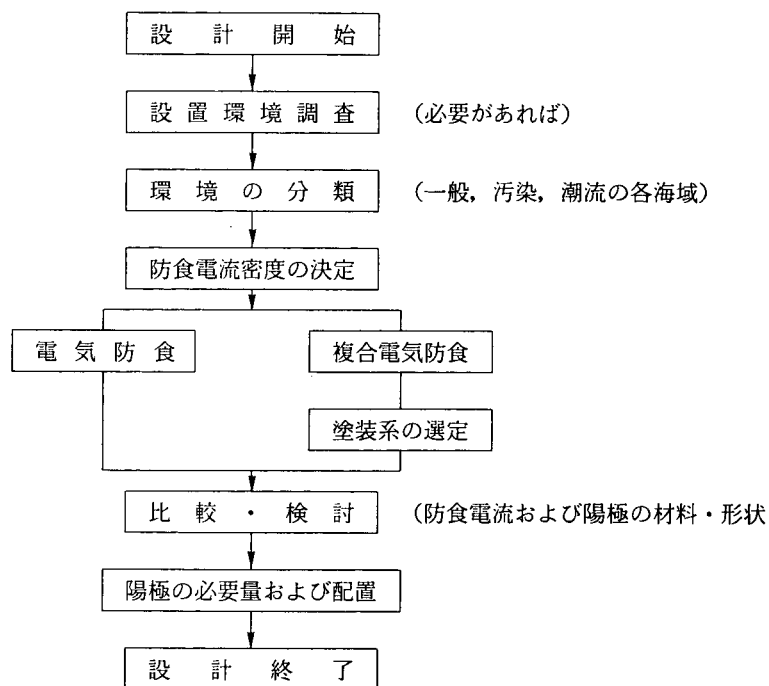
〔解 説〕

(1) 電気防食の設計

土木鋼構造物に流電陽極方式による電気防食を適用する場合に、適正な防食電流密度を決定し、その条件に応じた適正な陽極材料の選定および陽極の数量等を決定することを電気防食の設計という。

(2) 電気防食設計の手順

流電陽極方式による電気防食設計の基本的な手順は図解 3.1.1 に示すとおりである。



図解 3.1.1 電気防食設計の手順

3.2 調査

流電陽極方式による電気防食の設計で最も重要な事項は防食電流密度の選定である。防食電流密度を決定するために、海水および海底土の調査を行い、その結果に基づいて海域の分類を行う。より正確な防食電流密度を定める必要がある場合は、さらに通電試験を行って決定する。

〔解 説〕

電気防食設計に必要な防食電流密度は、海域環境を一般海域、汚染海域、潮流海域に分類し、それぞれ海域ごとに定めた防食電流密度の中から最も適切な値を選択する。

防食電流密度には、初期防食電流密度と定常防食電流密度がある。初期防食電流密度は、鋼構造物を防食するために必要な防食初期の電流密度で、定常防食電流密度は、防食状態の維持に必要な電流密度で、流電陽極の耐用年数に関係する。

とくに、汚染海域や潮流海域などの特殊な環境では、これらの防食電流密度が標準値と異なる場合があり、また、大規模構造物の場合は、より正確な防食電流密度を定める必要があるので、十分な調査を行うことが望ましい。

なお、海域環境の分類にあたっては、構造物が設置される環境の腐食性調査を行うことが望ましいが、既存の資料がある場合には調査を省略してもよい。また、環境の腐食性が明確でない小規模構造物にたいしては、本指針の一般海域における設計条件を適用してもよい。

(1) 海水および海底土に関する調査

海水および海底土に関する調査は、海域環境の分類を行ううえで必要なものである。電気防食の設計に必要な防食電流密度、防食電位が、構造物の設置される環境により異なることや、海水の抵抗率により陽極設計が異なることなどから、事前に建設予定地点において海水や海底土の調査を行うておくことが必要である。

調査内容は下記のとおりである。

(a) 海水に関する調査

夏期と冬期に、海水の水温、pH、塩化物イオン (Cl^-)、溶存酸素 (DO)、抵抗率、流速（最大値の平均）を測定する。

水深が深い場合は表層、中層、底層を、水深が浅い場合は中層を測定する。

(b) 海底土に関する調査

夏期と冬期に、海底土の外観、臭気の程度、pH、硫化物イオン (S^{2-})、酸化還元電位 (Eh) を測定する。

これらの調査結果を総合的に考慮して、設置環境が一般海域、汚染海域および潮流海域のいずれに該当するかを決定する。

分類の目安は表解 3.2.1 に示す。

なお、水質分析結果の参考例を表解 3.2.2 に示す。

表解 3.2.1 海域分類の目安

海 域	一般海域	汚染海域
pH	7.5 ~ 8.5	7.5 未満
溶 存 酸 素 (mg/l)	5 ~ 10	4 以下
塩 化 物 イ オ ン (mg/l)	18,000 程度	15,000 以下
硫 化 物 イ オ ン (mg/l)	なし	あり
酸 化 還 元 電 位 (mV)	300 以上	300 未満
臭 気	なし	あり
潮 流 海 域 (m/s)	0.5 以上	

表解 3.2.2 水質分析結果 (例)

海 域	1	2	3	4	5	6
p H	8.2	8.0 ~ 8.6	7.4 ~ 8.6	6.6 ~ 6.7	7.8 ~ 8.2	8.0
抵 抗 率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	23.0	20.9 ~ 22.4	21.6 ~ 27.2	47.2 ~ 50	18.9 ~ 23.1	22.2
溶 存 酸 素 (mg/l)	9.6	6.7 ~ 11.6	3.6 ~ 8.1	0.8 ~ 1.1	6.8 ~ 8.9	7.2
塩 化 物 イ オ ン (mg/l)	18,400	17,370 ~ 18,640	16,290 ~ 18,280	7,100 ~ 7,640	18,500 ~ 20,100	19,000
硫 化 物 イ オ ン (mg/l)	なし	なし	Tr	0.4 ~ 1.2	—	—
酸 化 還 元 電 位 (mV)	468	420 ~ 430	372 ~ 420	-464 ~ -479	—	408
海 域 分 類	一般海域	一般海域	一般海域	汚染海域	一般海域	潮流海域

注) 海域の1~6は、下記の海域、分析機関、分析年を示す。

1. 岸和田沖：(財)土木研究センター，昭和61年
2. 阿字が浦：鋼管杭協会，昭和51年~昭和57年
3. 千葉沖：鋼管杭協会，昭和50年~昭和57年
4. 田子ノ浦：運輸省港湾技術研究所，昭和60年
5. 駿河湾：建設省土木研究所，昭和59年~平成元年
6. 鳴門海峡：建設省土木研究所，昭和60年

(2) 通電試験

電気防食設計を行ううえで重要な要素である防食電流密度は、海域の諸条件によって異なる。水質分析調査等により、海域の分類ができれば、一応防食電流密度は決定できるが、その海域に最も適した防食電流密度を求めるためには、構造物の建設予定地において、通電試験を行う必要がある。

通電試験には、概略の初期防食電流密度を求めるための陰分極試験と定常防食電流密度を求めるための仮通電試験がある。

(a) 陰分極試験

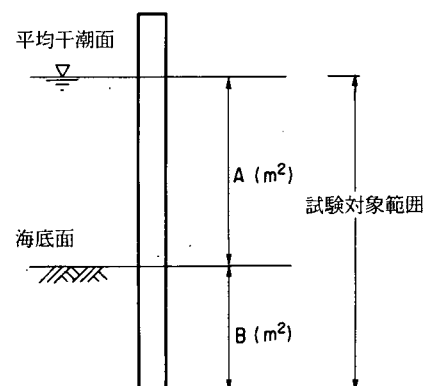
陰分極試験は、有効面積当たりの電流密度と電位の関係から、必要な防食電流密度を求める試験であり、短時間で試験を終えることができる。

有効面積とは、図解 3.2.1 に示す海底土中部のような海水環境以外の腐食環境にある防食試験体(B)の面積を海水中の面積に換算し、試験対象範囲全体の面積に置換した面積をいう。海底土中部がある場合の有効面積は、次式によって求める。

$$\text{有効面積 (m}^2\text{)} = A \text{ (m}^2\text{)} + \frac{B \text{ (m}^2\text{)}}{5} \quad \text{..... (解 1)}$$

ここに A：海中部の面積，B：海底土中部の面積

防食電流密度は、防食試験体に対し防食電流を徐々に増加させ、そのときの防食試験体の電位



図解 3.2.1 陰分極試験の
防食試験体の区分

を基準電極で測定して、電流密度と陰極電位の関係を示す陰分極曲線（E-log i 曲線）を作成し、その曲線から求める。

陰分極試験で求めた電流密度は、概略の初期防食電流密度であり、設計上の目安となるものである。

(b) 仮通電試験

仮通電試験は、建設予定地点の載荷試験杭、地質調査用架台および観測用架台等に使用される鋼材を利用して、陰分極試験で得られた初期防食電流密度に相当する電流をアルミニウム合金陽極を用いて供給する方法で行う。

通電電流は、通電開始以後、徐々に減少し、ある期間経過後定常状態となる。これらの値から適正な初期防食電流密度や定常的な防食電流密度を求めることができる。

通電期間は、通常 2～3 カ月程度が必要であるが、通年の季節変動を把握できれば、さらに適切な防食設計が可能となるので、できれば 1 年以上継続することが望ましい。

3.3 防食電流密度

代表的な環境における防食電流密度は、表 3.1 に準拠する。

表 3.1 防食電流密度

単位：mA/m²

環 境			電 気 防 食		複 合 電 気 防 食
			初 期 防食電流密度	定 常 防食電流密度	防 食 電 流 密 度
一 般 海 域	内湾性	海水中	100	50	左の値に P を乗じた値
		土 中	20	10	
	外洋性	海水中	$100 \times F$	$50 \times F$	
		土 中	$20 \times F$	$10 \times F$	
特 殊 海 域	汚 染	海水中	$100 \times K$	$50 \times K$	
		へドロ	150	100	
		土 中	$20 \times K$	$10 \times K$	
	潮 流	1 m/s	160	80	
		2 m/s	230	115	
		5 m/s	270	135	

備考 F は、海域の波浪、潮流の程度に応じて 1.0～1.5 までの範囲とする。

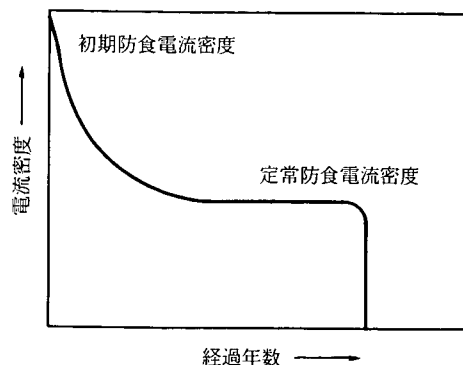
K は、汚染の程度に応じて 1.2～1.5 までの範囲とする。

P は、塗膜の劣化・損傷等によって生じる鋼の露出率で、塗装系により 0.1～0.25 までの範囲とする。

〔解 説〕

防食電流密度は、図解 3.3.1 に示したように、電気防食開始当初から時間の経過とともに減少し、ある期間経過後は、ほぼ一定値に落ち着く。図において電気防食開始当初の防食電流密度を初期防食電流密度といい、次第に減少して定常状態となったときの値を定常防食電流密度という。

初期防食電流密度は、土木鋼構造物が接する海水や海底土の腐食性により異なる。すなわち、防食電流密度は、汚染海域では、水温が高くなる夏期に、大きい値が必要になるなど、環境条件の変動の影響を大きく受けるので仮通電試験を行うことが望ましいが、仮通電試験の実施が困難な場合が多いので、本指針では、環境の腐食性調査結果に基づいて構造物が設置される環境を分類し、環境別に定めた防食電流密度をそれぞれ適用することとした。



図解 3.3.1 防食電流密度の経時変化モデル

室内試験として、建設省土木研究所における試験²⁾、実海域試験として、東京湾で行った試験¹⁾、駿河湾で行った試験³⁾、および潮流海域として、鳴門海峡で行った試験³⁾をもとに定めた代表的な環境の防食電流密度は、つぎのとおりである。

(1) 一般海域における防食電流密度

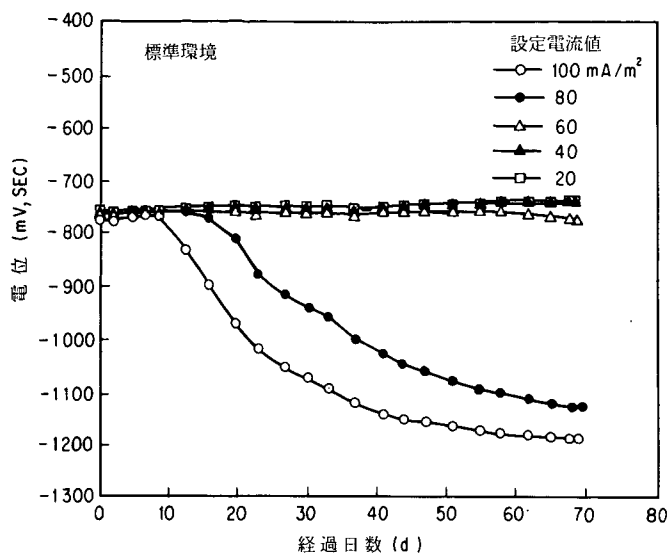
室内試験で行った定電流試験結果は、図解 3.3.2 に示したとおりで、一定の電流密度以上では陰分極が進み、 -770 mV (SCE) の防食電位に達する。 -770 mV (SCE) の防食電位に達するのに要する日数と電流密度は、鋼材の表面状態や海水条件により多少異なるものの、電流密度が 80 mA/m^2 以上であればほぼ 1 カ月以内にいずれの場合も -770 mV (SCE) に達している。したがって、初期防食電流密度は、 80 mA/m^2 と推定できるので、内湾性海域の場合としては、実構造物での実績等を考慮して、本指針では、初期防食電流密度を 100 mA/m^2 とした。

電流密度は、被防食体表面の分極の進行に伴って低減し、定常防食電流密度を示すようになる。そこで、自然流電試験を行い、定常防食電流密度を求めた。試験結果を図解 3.3.3 に示す。

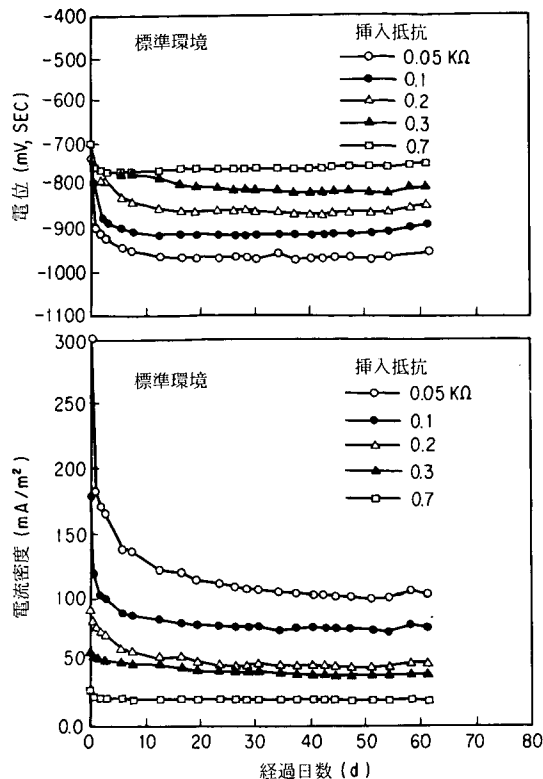
試験開始初期における、電流密度の低減および陰分極は、挿入抵抗が小さいほど大きく、ほぼ 1 カ月以内に定常値となることがわかる。定常となった電位と電流密度の関係は図解 3.3.4 に示したとおりで、 -770 mV (SCE) を維持するのに必要な定常防食電流密度は、表面状態や環境条件により多少異なるが、 $30\text{ mA/m}^2 \sim 40\text{ mA/m}^2$ であるので、本指針では、定常防食電流密度を 50 mA/m^2 とした。

なお、防食電流密度について、運輸省港湾技術研究所が港湾施設 28 例について調査した結果⁴⁾でも、定常防食電流密度は、 $20 \sim 50\text{ mA/m}^2$ が多く、なかでも $40 \sim 45\text{ mA/m}^2$ が最も多いとしている。

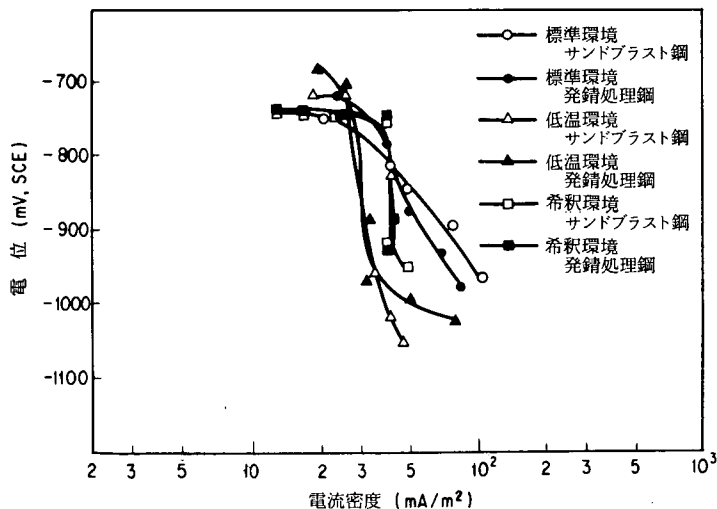
実海域の試験結果は、図解 3.3.5 に示したとおりであって、初期に 100 mA/m^2 の電流密度で通電した場合、防食電位に達するまでに数か月を要した。また、試験初期では、電流の低減も少なかった。こ



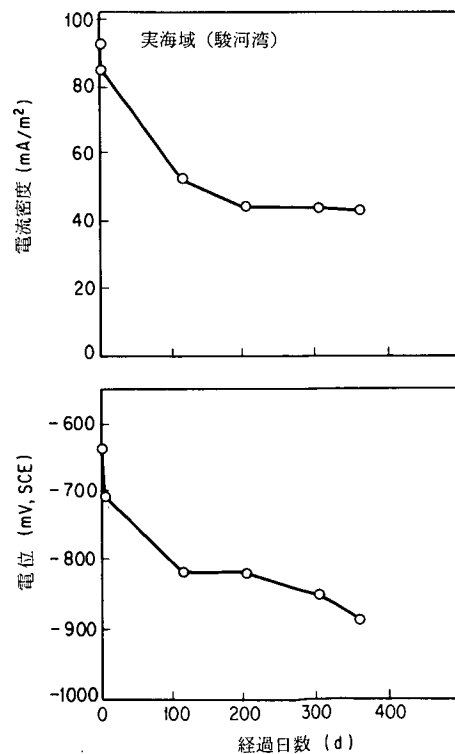
図解 3.3.2 電位の経時変化
(定電流試験)



図解 3.3.3 電位, 電流密度の経時変化
(自然流電試験)



図解 3.3.4 定常電位と定常電流密度の関係
(自然流電試験)



図解 3.3.5 実海域における電流密度
と電位の経時変化
(自然流電試験)

の原因は、内湾に比べて常に波浪がある場所であり、波の影響によって分極がしにくかったものと考えられる。

したがって初期には、その環境に見合った電流密度が与えられないと、満足する防食効果は得られない。すなわち、初期に十分な電流密度を与えた試験では、陰分極も大きく、電流の低減も大きい。

すなわち、外洋性海域では、常に波浪や漂砂等の影響を受けるので、初期防食電流密度は設計値として $120 \text{ mA/m}^2 \sim 150 \text{ mA/m}^2$ が必要となり、このときの定常防食電流密度は $1/2 \sim 1/3$ 程度になることが明らかになったので、内湾性海域での所要電流密度に、ある倍率を乗ずる必要がある。

以上の試験結果から、内湾性海域では表 3.1 の防食電流密度で十分防食が達成されるが、外洋性海域においては、波浪や潮流等を考慮して、初期防食電流密度を $120 \text{ mA/m}^2 \sim 150 \text{ mA/m}^2$ にする必要があるので、1.0 から 1.5 までの係数 (F) を乗ずることとした。

海底土中における防食電流密度は、試験を行っていないため、従来より用いられている初期防食電流密度 20 mA/m^2 、定常防食電流密度 10 mA/m^2 をそのまま用いることとした。

また、防食対象となる鋼材が高張力鋼 (780 N/mm^2 以上) の場合、鋼種によっては、過剰な防食電流を供給すると、鋼材表面に発生する水素を吸収して、水素脆性を起こすことがあるので、防食電流密度を選択する際には十分な配慮が必要である。

(2) 汚染海域における防食電流密度

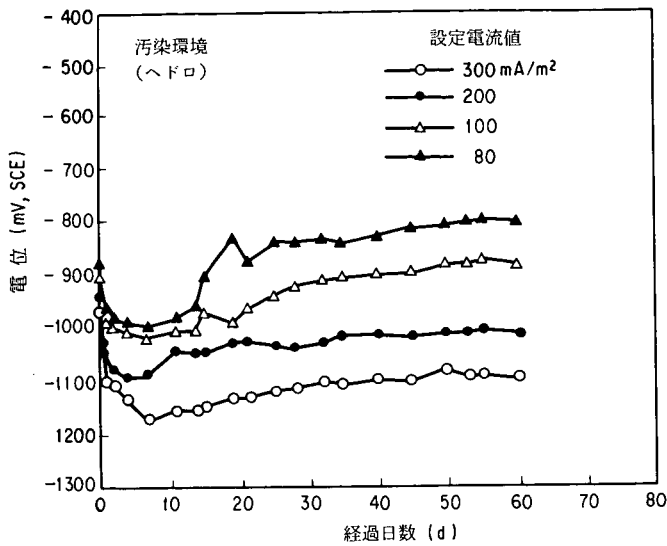
汚染海域では、ヘドロ中での防食が重要である。ヘドロ中で行った定電流試験の結果は、図解 3.3.6 に示したとおりで、試験開始初期には陰分極が大きい、その後電位は貴方向へ変化した後はほぼ定常値を示した。鋼材の表面状態の違いによる電位の差異は小さく 80 mA/m^2 の電流密度で約 -800 mV (SCE) 、 100 mA/m^2 で $-850 \sim -890 \text{ mV (SCE)}$ 、 200 mA/m^2 で -1000 mV (SCE) である。したがって、ヘドロ中における防食電位 -900 mV (SCE) に対する初期防食電流密度は $100 \sim 200 \text{ mA/m}^2$ であるので、その平均値をとり 150 mA/m^2 とした。

定常防食電流密度を求めるために行った自然流電試験の結果を、図解 3.3.7 に示す。図から、試験開始初期には、電流密度の低減および分極が大きく、その後電流密度が増減するなどして、 -900 mV (SCE) を維持するのに必要な電流密度は、 $80 \text{ mA/m}^2 \sim 100 \text{ mA/m}^2$ とみなせる。これらの結果から、ヘドロ中の場合の定常防食電流密度を 100 mA/m^2 とした。

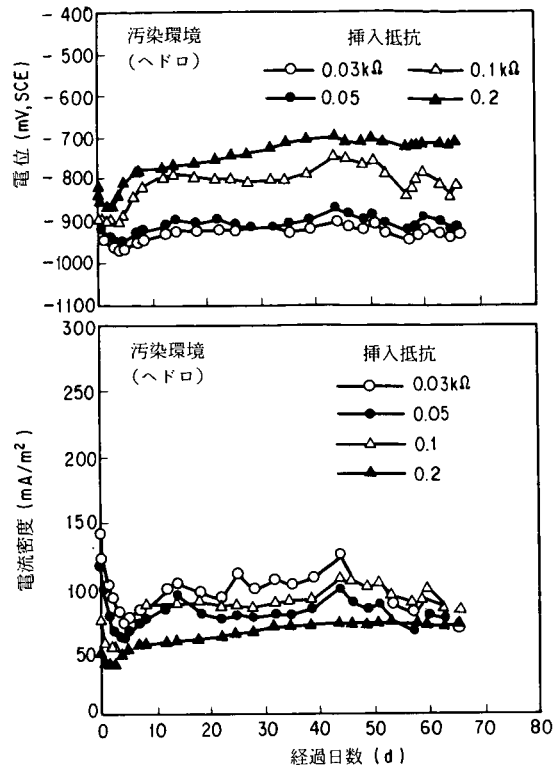
汚染海域の海水中での防食電流密度は、汚染の程度により異なるが、清浄海域と比較して大きな値となる。

汚染された状態での実海域の試験¹⁾では、一般海域の海水の場合に比べて、1.38 倍の防食電流密度が必要であったので、一般海域の場合の防食電流密度の値に $1.2 \sim 1.5$ までの係数 (K) を乗ずることとした。

ヘドロ以外の海底土中での防食電流密度も、同様の考えから、海水の汚染の程度に応じて最高 50 % まで割増することとした。



図解 3.3.6. 電位の経時変化
(定電流試験)



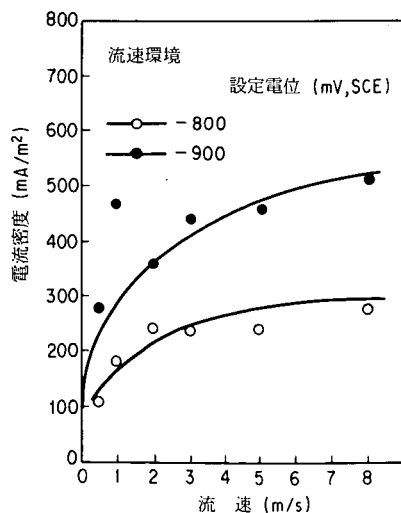
図解 3.3.7 電位, 電流密度の経時変化
(自然電流試験)

(3) 潮流海域における防食電流密度

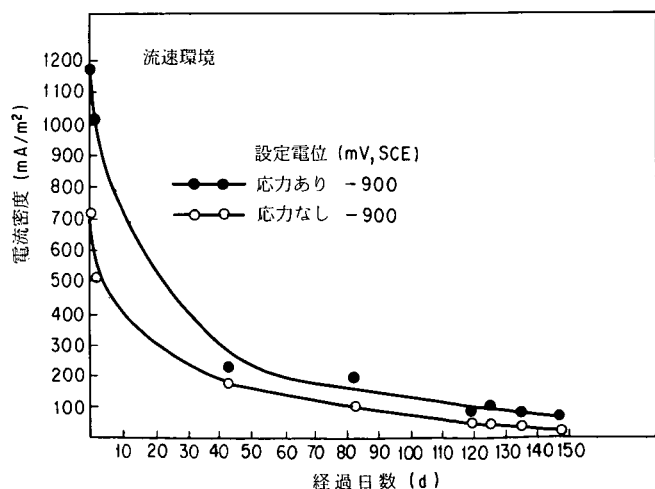
室内試験で、流速と電流密度の関係を求めた結果を図解 3.3.8 に示す。ここで求めた定常電流密度は、設定電位 -800 mV (SCE) の場合に $0.5 \sim 8$ m/s の流速に対して $110 \sim 290$ mA/m² であった。しかし、実海域では潮汐等があり常時一定の流速条件下におかれることはないので、過去の流速条件下での試験を考慮して、室内試験により得られた値の 50% 程度を定常防食電流密度とすることとした。

このことを実海域で確かめるため、鳴門海峡で実海域試験を行った。

試験の結果は、図解 3.3.9 に示すとおりで、外力による歪の影響を受けない供試体は、試験開始



図解 3.3.8 流速と電流密度の関係
(定電位試験)



図解 3.3.9 応力条件下の流速と電流密度の関係
(定電位試験)

初期から急速に分極が進み、約43日後には 170 mA/m^2 の電流密度となった。この電流密度は、試験完了時には約 40 mA/m^2 の値に低減した。

この結果、初期防食電流密度は、表 3.1 とほぼ一致し、定常防食電流密度は、やや小さい値を示したが、試験が定電位法のため、通電開始直後の防食電流が非常に大きいことや一般海域における定常値が初期値の $1/2 \sim 1/3$ であることなどから考え、定常防食電流密度は、初期防食電流密度の $1/2$ とした。

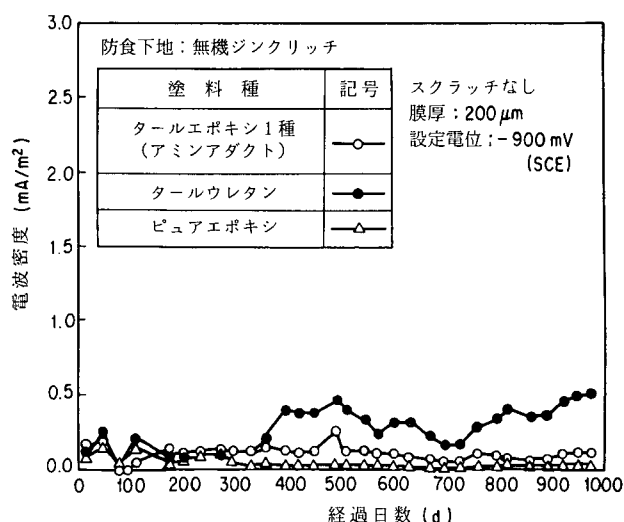
また、この試験で、外力による歪の影響を受ける構造の供試体と外力を受けない供試体との防食電流密度の比は、初期の防食電流密度から終始 $1.6 \sim 1.8$ 倍程度の値を示し、応力発生に対応する所要防食電流密度が大きいことが明らかとなった。したがって、係留系など常に歪を受けるような構造物では、防食電流密度を割増す必要がある。

潮流や波浪のある流速環境下では、流速の増加に伴って防食電流密度も増加する。また、海域によっては、漂砂によるサンドエロージョンが生じることもあるので、この点についても考慮する必要がある。

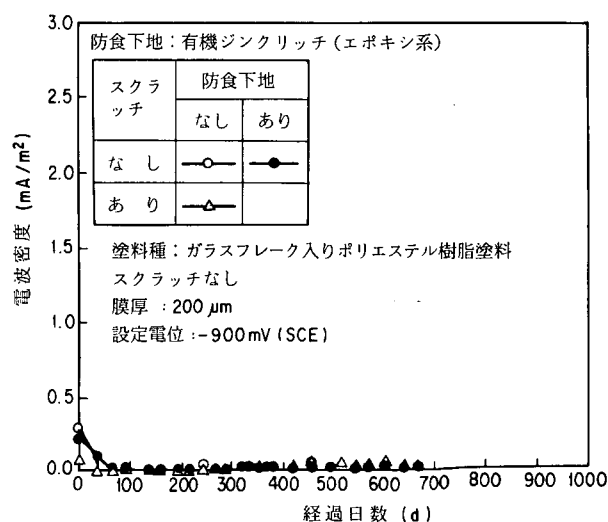
(4) 塗装を併用した複合電気防食の場合の防食電流密度

(a) 裸鋼材に電気防食を施す場合に期待されるエレクトロコーティングの生成による防食電流の低減は、初期の $30 \sim 60\%$ 程度であることが知られているが、環境によっては、エレクトロコーティングの効果が期待できない場合がある。その点、塗装を併用すると、エレクトロコーティングとは比較にならない防食電流の節減効果が期待できるので、海水の腐食性が大きく、大きな防食電流密度が必要になる場合に有利であり、これにより、ランニングコストや電気防食設備費を軽減できる大きな利点がある。

(b) 塗装鋼材に電気防食を行った室内試験結果の一部を、図解 3.3.10 および図解 3.3.11 に示す。タールエポキシ樹脂塗料 (JIS K 5664-1 種) を塗装した場合には、1000 日経過後も電流密度の増加は認められず、また、ガラスフレーク入りポリエステル樹脂塗料を塗装した場合は、600 日経



図解 3.3.10 電流密度の経時変化



図解 3.3.11 電流密度の経時変化

過後も防食電流の増加は認められず、塗膜の耐久性は良好であった。この限りにおいては、防食電流はほとんど必要としない。

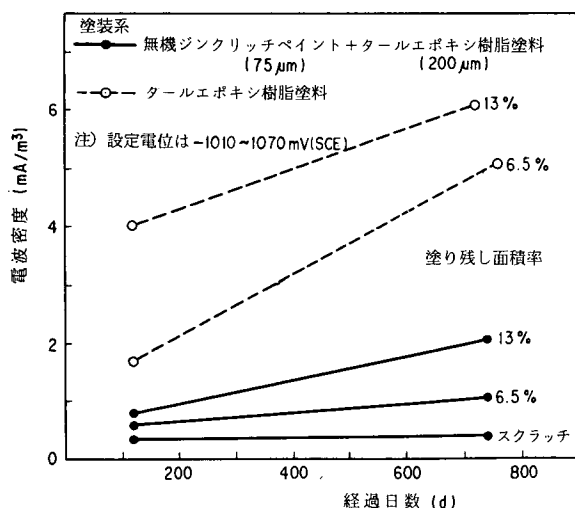
しかし、実海域では、塗膜の損傷は避けられない場合がある。そこで、塗膜の損傷を想定して、塗料の塗り残し部がある供試体を用いて、鋼の露出率と防食電流密度の関係を調べるため、実海域（駿河湾）で試験を行った。試験結果を図解 3.3.12 に示す。

スクラッチ傷を付した各塗装供試体では、約 2 年間にわたる電流密度の経時変化はほとんどないが、一定の塗り残し面積を与えた供試体では、塗膜の塗り残し部が大きい供試体ほど電流密度は増加の傾向にあった。

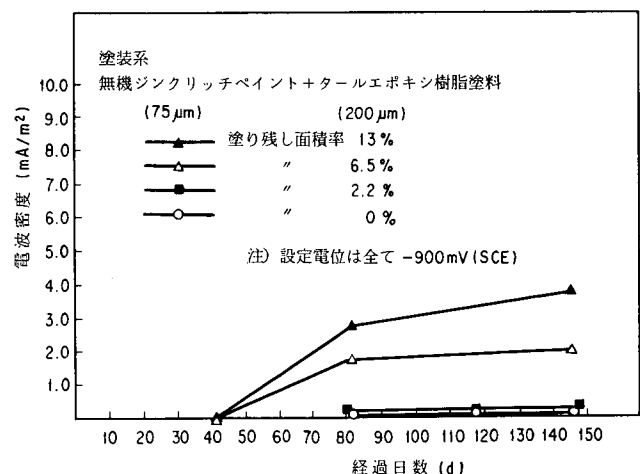
潮流海域（鳴門）における試験結果を図解 3.3.13 に示す。これからも、塗膜の塗り残し面積が大きくなるにしたがって、電流密度が増加する傾向にあることが分かる。

このことは、実海域における電流密度が鋼材の露出率と相関があることを示している。

また、長時間にわたり塗装と電気防食を併用する場合は、塗膜の劣化や予期せぬ浮遊物の衝突等によって生じる塗膜の損傷等を考慮する必要がある。



図解 3.3.12 塗り残し面積率と電流密度（駿河湾）



図解 3.3.13 潮流環境における塗装鋼材の電流密度（鳴門）

(c) 塗膜が健全であれば塗装鋼材の電気防食に必要な電流密度は、 0.5 mA/m^2 以下で十分であるが、実海域の構造物では、塗膜の損傷等による鋼素地の露出をきたし、防食電流が増加する場合があるので、適当な鋼の露出率を見込む必要がある。したがって、長期間における塗膜損傷を考慮して、安全のために $0.1 \sim 0.25$ までの鋼の露出率（P）を見込むこととした。しかし、既設構造物等で塗膜の劣化損傷が著しく、鋼の露出率で対応できない場合は、裸鋼材とみなした設計を行うことが望ましい。

以上のことから、塗装を併用した複合電気防食の場合、その防食電流密度を決定するときは、塗装系に見合った鋼の露出率を推測し、各海域の防食電流密度に当該露出率を乗じた値を当該海

域の防食電流密度とする。

例えば、一般海域における防食電流密度は、露出率 0.1 の場合で $50 \text{ mA/m}^2 \times 0.1 = 5 \text{ mA/m}^2$ 、
0.25 の場合は、 $50 \text{ mA/m}^2 \times 0.25 = 12.5 \text{ mA/m}^2$ となる。

(d) 試験結果から得られた鋼の塗り残し面積率と防食電流密度の実測値を表解 3.3.1 に示す。

表解 3.3.1 塗り残し面積率と防食電流密度

単位：mA/m²

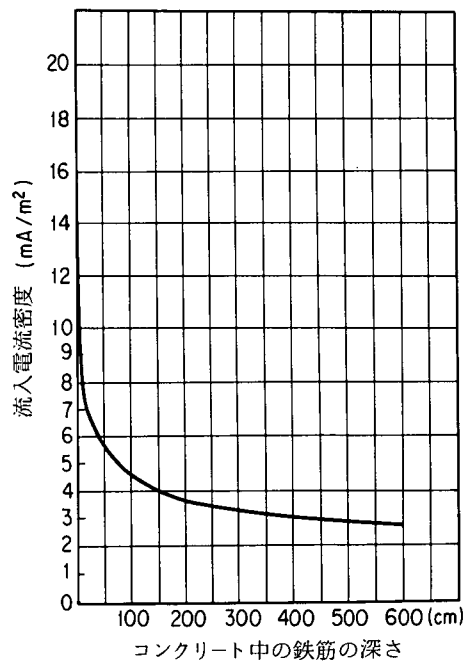
	塗 り 残 し 面 積 率				裸 鋼 (比較)	備 考
	スクラッチ	2.2%	6.5%	13%		
駿 河 湾	0.1 以下	—	1.2	2.0	43 (365 日)	725 日 -1010 ~ -1070 mV (SCE)
鳴 門 1.5 m/s 乱流	0.1 以下	0.1 以下	1.7 (120 日)	3.7	50 ~ 100	146 日 - 900 mV (SCE)

注) 塗装系：無機ジンクリッチペイント (75 μm) + タールエポキシ樹脂塗料 (200 μm)

塗装鋼材の電流密度は、裸鋼材に比較して流速環境下でも非常に小さく、電気防食を設計する場合、塗装併用を考えれば、経済性の点でも有利である。ただし、設計する際の防食電流密度の選定は、一般海域とは異なり、非常に苛酷な環境条件であることを十分認識したうえで選定する必要がある。

(5) コンクリート中の鋼材の防食電流密度

海中部のコンクリート中の鋼材に電気防食を施す必要がある場合の防食電流密度は、図解 3.3.14 から求めることができる。図から、コンクリート中の鋼材に対しては、通常、 4 mA/m^2 程度の防食電流密度で所要防食電流を計算すればよいことが分かる。



図解 3.3.14 コンクリート中の鋼材と電流密度の関係^{5), 6)}

3.4 設計要領

3.4.1 防食面積

防食面積は、各環境別に算出するものとする。

〔解 説〕

- (1) 電気防食の適用範囲は、1.1に示したように平均干潮面以下であるので、平均干潮面以下の鋼構造物の表面積を各環境ごとに求める。構造物の構造形式によっては、鋼矢板や鋼管矢板が使用されるが、これらの鋼材は形状によって周辺長が異なるので、周辺係数等を用いて正確な表面積を計算する。

防食対象となる土木鋼構造物には、ジャケット構造、多柱式構造、鋼矢板または鋼管矢板を用いた構造、あるいは鋼殻基礎構造等の諸構造物がある。

(2) 防食面積の算出

土木鋼構造物のうち、多柱式構造、矢板構造および鋼殻構造を例にとり、その防食面積の算出例を以下に示す。

(a) 多柱式構造

多柱式構造の例を図解 3.4.1 に示す。

電気防食の適用範囲は、平均干潮面以下の海中部および海底土中部とする。

しかし、海底土中の深層部の腐食は、過去の調査結果では非常に小さいので、ボーリング調査等で腐食性が小さいと判断される場合は、防食対象外としてよい。

防食面積は、各環境ごとに、次式によって求める。

$$S_i = D \times \pi \times L \times N \quad \dots\dots\dots (解 2)$$

ここに S_i ：各環境での防食面積 (m^2)

D ：鋼管の直径 (m)

L ：防食対象物の長さ (m)

N ：鋼管の本数

(b) 矢板構造

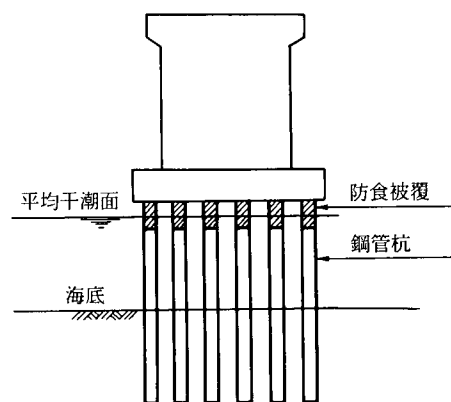
矢板構造の例を図解 3.4.2 に示す。

電気防食の適用範囲は、多柱式構造と同じである。

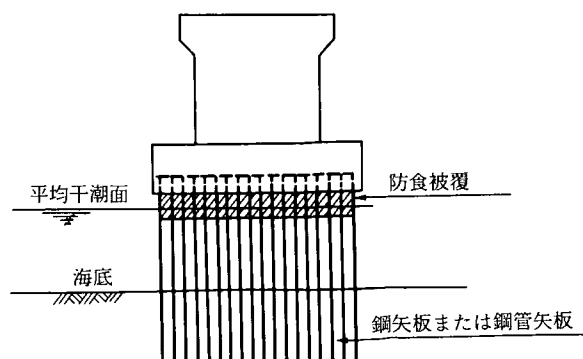
防食面積は、各環境ごとに、次式によって求める。

$$S_i = W \times L \times \alpha \quad \dots\dots\dots (解 3)$$

ここに S_i ：各環境での防食面積 (m^2)



図解 3.4.1 多柱式基礎の例



図解 3.4.2 矢板構造の例

W：防食対象物の水平方向の長さ（m）

L：防食対象物の鉛直方向の長さ（m）

α ：矢板の周辺係数

(c) 鋼殻構造

鋼殻構造の例を図解 3.4.3 に示す。

電気防食の適用範囲は、平均干潮面以下の海中部分および海底土中部とする。

鋼殻基礎は、根入れ深さが浅い場合が多く、内面にも若干の防食電流が流入するので、根入れ先端までを適用範囲とする。

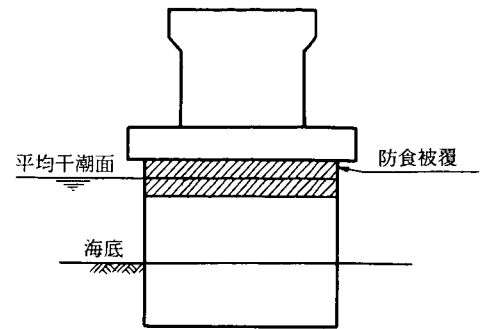
防食面積は、各環境ごとに次式によって求める。

$$S_i = W \times L \quad \dots\dots\dots (\text{解 4})$$

ここに S_i ：各環境での防食面積（ m^2 ）

W：鋼殻の周辺長（m）

L：鋼殻の鉛直方向の長さ（m）



図解 3.4.3 鋼殻構造の例

3.4.2 所要防食電流

土木鋼構造物が異なる腐食環境に接する場合の所要防食電流は、各環境ごとに求めた防食電流の総和とする。

〔解 説〕

(1) 所要防食電流は、各環境ごとに求めた防食電流の総和で、次式によって求める。

$$I = \sum_{i=1}^n I_i \times S_i \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (\text{解 5})$$

ここに I：所要防食電流（A）

I_i ：各環境ごとの初期防食電流密度（ mA/m^2 ）

S_i ：各環境ごとの防食対象面積（ m^2 ）

(2) 構造物の一部に塗装以外の防食被覆が施される場合がある。この場合防食被覆の種類によっては被覆部に流入する防食電流を加算する必要がある。電気防食と組み合わせられる代表的な防食被覆を表解 3.4.1 に示す。

(a) コンクリート系被覆と組み合わせられる場合は、防食電流の一部がコンクリート中に流入することが考えられるので、防食の目的と範囲に応じて、防食電流に算出しておく必要がある。ただし、

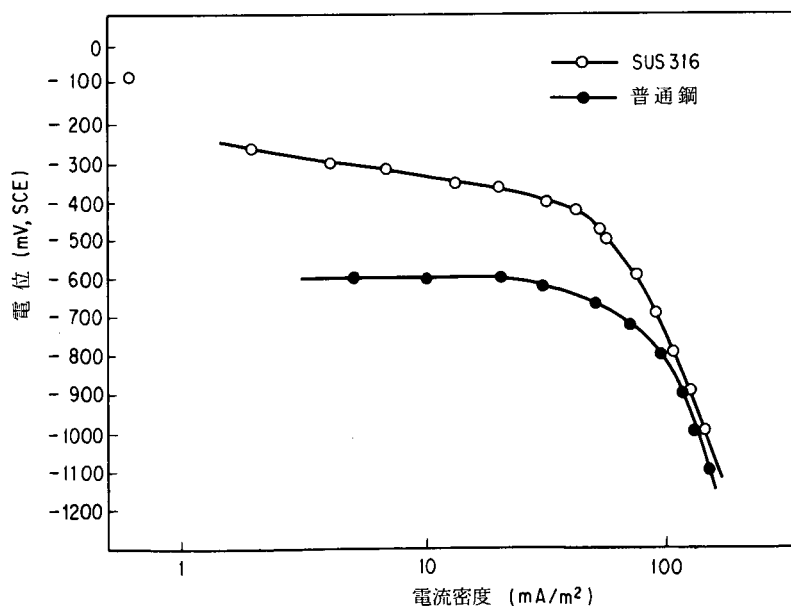
表解 3. 4. 1 電気防食と組み合わせられる代表的な防食被覆

種 類	代 表 的 な 防 食 被 覆
コンクリート系被覆	セメント硬化体によるライニング，セメント硬化体+保護型枠
金 属 系 被 覆	耐海水鋼被覆，耐食性金属被覆（ステンレス鋼，キュプロニッケル，モネル，チタン等）
有 機 ラ イ ニ ン グ	ポリエチレンライニング，厚膜無溶剤型樹脂ライニング（エポキシ樹脂系，ポリウレタン樹脂系，タールウレタン樹脂系），水中硬化型樹脂ライニング，ペトロラタム系防食材+保護カバー

保護型枠としてFRP等の絶縁性の高い材料を使用する場合は，電気防食対象範囲から除外してよい。

- (b) 金属系被覆がある場合は，当該金属材料が，水中で鋼材と接触するとき，その境界部付近の鋼材に，異種金属接触腐食（ガルバニック腐食）が生じるので，金属被覆系に対しても電気防食を併用しなければならない。

このときの金属系被覆に対する電流密度としては，当該金属材料が鋼の防食電位 -770 mV (SCE) まで陰分極する電流密度が必要である。ステンレス鋼の場合は，図解 3. 4. 4 の陰分極曲線に示すように，海中部の鋼と同じでよい。



図解 3. 4. 4 普通鋼とステンレス鋼の陰分極（天然海水 18°C ）⁷⁾

- (c) 有機ライニングと組み合わせられる場合は，被覆が健全であれば，その被覆面積部分を，電気防食対象面積から除外して差し支えないが，損傷の発生が予想される場合は，その損傷度合いに見合った防食電流を見込む必要がある。

- (3) 構造物の付近に直流電鉄軌道があり，軌道からの洩れ電流により電食が発生する危険性が予想さ

れる場合は、別途、調査を行い、電気防食による対応が適当と判断された場合は、電食電流に見合った電流を防食電流に加算する必要がある。

3.5 流電陽極方式

3.5.1 陽極の性能

アルミニウム合金陽極は、発生電氣量が 2600 A・h/kg 以上の性能を有するものとする。

〔解 説〕

- (1) 一般に、海域での土木鋼構造物は、防食期間が長年月となることから、陽極としての性能が優れているアルミニウム合金陽極が使用されている。陽極の耐用年数は、構造物の耐用年限、構造上の許容腐食量、環境の腐食性等を考慮して決定するものとする。
- (2) アルミニウム合金陽極は、発生電氣量が多いほど陽極を軽量化することができ、また、施工性および経済性を高めることもできる利点がある。アルミニウム合金陽極は、表解 2.3.2 に示したように、発生電氣量が 2300～2750 (A・h/kg) のものがあるので、本指針では、2600 A・h/kg 以上のものを使用することとした。
- (3) 陽極の規格を付録 1「陽極規格」に示す。

この陽極規格は、一般海域の標準的な土木鋼構造物に使用する場合の陽極規格である。特殊な海域の場合は、その環境に応じた陽極の設計が必要である。

3.5.2 陽極の形状および寸法

陽極の形状および寸法は、防食対象物への取付けの容易さと、電位分布および取付け個数の節減を考慮して選定するものとする。

〔解 説〕

- (1) 防食対象物の面積が大きい場合には、陽極 1 個当たりの発生電流の大きい形状および寸法の陽極を使用すれば、取付け個数が少なくてすむ。しかし、各環境に応じた適正な電位分布が得られるような形状および寸法の陽極を取り付ける必要がある。
- (2) 陽極の発生電流は、陽極の断面積と長さによって決まる。
- (3) 陽極の接水抵抗は、次式によって求める。

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(2.3 \log \frac{4L}{r} - 1 \right) \dots\dots\dots (解 6)$$

ここに R：陽極の接水抵抗 (Ω)

ρ：海水の抵抗率 (Ω・cm)

L：陽極の長さ (cm)

r : 陽極の等価半径 (cm)

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

ただし、陽極の一部を防食対象面に密着して取り付けの場合は、陽極断面の有効周長から算出する。

この場合の等価半径 (r') は、次式によって求める。

$$r' = \frac{L'}{2\pi} \quad \text{ただし } L' : \text{断面有効周長}$$

A : 陽極の断面積 (cm²)

- (4) 陽極の発生電流は、被防食体 (鋼) と陽極間の電位差によって発生する電流で、電位差と接水抵抗からオームの法則に基づいて、次式によって求める。

$$I_g = \frac{E}{R} \quad \dots\dots\dots (\text{解 7})$$

ここに I_g : 陽極 1 個当たりの初期発生電流 (A)

E : 有効電位差 (V) (初期の有効電位差は 0.25 V)

R : 陽極の接水抵抗 (Ω)

- (5) 陽極の形状寸法は、必要とする陽極の正味重量によってきまり、陽極の正味重量は、有効電気量と陽極の平均発生電流および耐用年数によって決定される。なお、耐用年数には、5 % の安全率を見込むものとする。

陽極の正味重量は、次式によって求める。

$$W = \frac{T \times s}{Q} \times \frac{I_g}{2} \quad \dots\dots\dots (\text{解 8})$$

ここに W : 陽極の正味重量 (kg)

T : 耐用年数 (y)

s : 安全率 (1.05)

Q : 有効電気量 (A・y/kg)

$\frac{I_g}{2}$: 平均発生電流 (A)

(防食電流密度の低減に見合う陽極 1 個当たりの発生電流をいう。)

ただし、汚染海域のヘドロ中にある場合は $I_g \times 2/3$ とする。

- (6) 流電陽極方式による電気防食に塗装を併用した複合電気防食を行う場合には、当該部分の防食電流の算定は、次式によって求める。

$$I' = Si \times Ii \times P \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (\text{解 9})$$

ここに I' : 当該部分の所要防食電流 (A)

S_i : 各環境ごとの防食対象面積 (m^2)

I_i : 各環境ごとの初期防食電流密度 (mA/m^2)

P : 表 3.1 に示した鋼の露出率 (0.1 ~ 0.25)

3.5.3 陽極個数の算出

陽極の必要個数は、電気防食対象面全域に均等な電位分布が得られるような配置を考慮のうえ、決定しなければならない。

〔解 説〕

- (1) 防食に必要な陽極の個数は、次式によって求める。

$$N = \frac{I}{I_g} \dots\dots\dots \text{(解 10)}$$

ここに N : 陽極個数 (個)

I : 所要防食電流 (A)

(各環境ごとに求めた所要防食電流の総和)

I_g : 陽極 1 個あたりの初期発生電流 (A)

(陽極の形状によって定まる値)

- (2) 環境の腐食性が同程度ならば、陽極の配置は、防食対象物に対し、各陽極の受け持ち面積が均等になるように配置すればよい。しかし、土木鋼構造物の場合、水深方向の腐食性を考慮すると、海水中では、その上層部の方が下層部より酸素の供給が多く、また、波浪の影響を受けるため、下層部に比べ大きな防食電流密度を必要とする。したがって、陽極を配置する場合は、腐食性の激しい海水中の上層部に対しては、防食電流密度が若干大きくなるように陽極を配置する必要がある。

- (3) 駿河湾の一般海域において、施設本体の電位分布状況についての試験を行った。はじめに鋼管杭 1 本に対し、初期発生電流 3 A/個のアルミニウム合金陽極を 3 個取付け、電位の経時変化を調査したところ、試験開始から約 7 カ月後には、陽極から 2 m の範囲内は防食電位に達し、分極が認められた範囲は約 3.5 m であった。試験開始から 1 年経過後に陽極を 4 個追加取付けし、取付け 4 カ月後には 6 m、1 年後には 10 m の範囲まで防食電位に達していた。

初期の試験結果では、ジャケット構造のような比較的複雑な構造物の場合、格点部で若干電位の不均一が認められたが、1 年後では電位が均一化していることが確認されている。

この試験での防食電流の到達距離は、裸鋼材で最大 10 m であったが、一般に防食管理上均等な電位分布を得るためには、6 m 以下の間隔で陽極を配置することが望ましい。

- (4) 鋼管杭を使用した構造物の場合は、杭 1 本に対し最低 1 個の陽極を取付けることが望ましい。その理由は、鋼管杭相互間が仮に電氣的に接続されていない場合でも、それぞれの鋼管杭を完全に防食することができるからである。ただし、鋼管杭 1 本の所要防食電流が非常に小さく、陽極を杭 1

本に対し1個取付けることが不経済となる場合には、鋼管杭相互間を電氣的に接続し、電流分布を考慮した陽極配置とする必要がある。

- (5) 鋼矢板を使用した構造物の場合は、陽極を平面的に取付けるため、電流の分布は、鋼管杭の場合と異なり半球状の分布となる。したがって、陽極間隔は、一般的に4 m以下とする。水深が深い場合は、多段階配置とする。

また、陽極を凹面に取付けると電流分布が悪くなるので、凸面に取付けた方がよい。しかし、止むを得ず陽極を凹面に取付ける場合は、電流分布の改善を考慮した陽極配置が必要である。

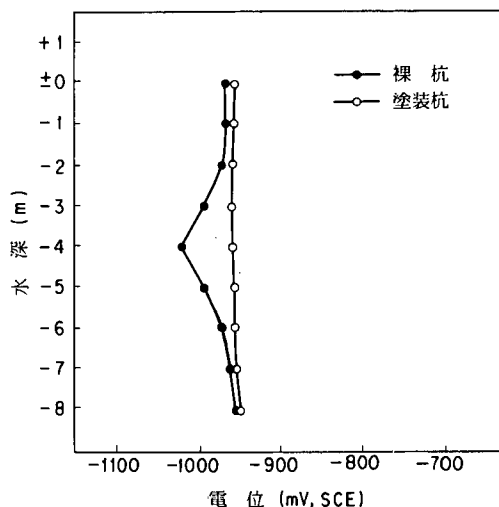
3.6 複合電気防食方式

複合電気防食方式は、防食電流の節減と電位分布の改善を行う場合に適用する。

〔解 説〕

- (1) 防食対象となる構造物の規模や形状あるいは環境条件等により、防食電流が著しく大きくなったり、均一な電位分布が得られない場合がある。このようなとき、塗装を併用することによって、これらの問題を解決することができる。

塗装された鋼管杭の陰分極状況は、図解3.6.1に示すとおり、鉛直方向の電位分布は平均化しており、裸杭に比べて塗装併用による効果の大きいことが分かる。



図解 3.6.1 塗装された鋼管杭の陰分極状況
(駿河湾3年1ヵ月後)

3.6.1 複合電気防食方式用塗装系

- (1) 塗装系は、電気防食条件下で長期の耐久性を有するものの中から選定する。
- (2) 電気防食との併用に適した代表的な塗装系は、つぎの3種類とする。
- (a) 無機ジンクリッチペイント(75 μm) + タールエポキシ樹脂塗料(150 $\mu\text{m} \times 2$)
 - (b) 無機ジンクリッチペイント(75 μm) + 厚膜型エポキシ樹脂塗料(150 $\mu\text{m} \times 2$)
 - (c) エポキシ樹脂ジンクリッチペイント(75 μm)
+ ガラスフレーク入りポリエステル樹脂塗料(500 $\mu\text{m} \times 2$)

〔解 説〕

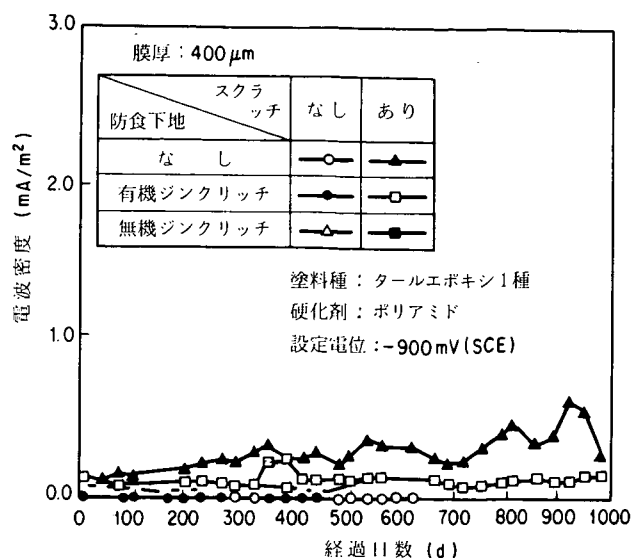
- (1) 塗装と電気防食を併用する方法は、防食電流の節減と電位分布の改善に、極めて有効である。しかし、電気防食条件下では、塗装鋼材の金属面が強アルカリを呈する等の原因により塗膜が劣化し

やすいので、併用する塗装系は、これらの条件下で長期の耐久性を有するものでなければならない。

- (2) 塗装鋼材の電気防食特性試験として、各種塗料について、防食下地の種類と有無、硬化剤の種類、膜厚、スクラッチの有無等の影響について行った実験結果の一部を図解 3. 6. 2 に示す。

これらの結果から、(a)無機ジンクリッチペイントを防食下地とするタールエポキシ樹脂塗料の塗装系、(b)無機ジンクリッチペイントを防食下地とする厚膜型エポキシ樹脂塗料の

塗装系、(c)エポキシ樹脂ジンクリッチペイントを防食下地とするガラスフレーク入りポリエステル樹脂塗料の塗装系が、電気防食との併用に適していることが明らかとなった。



図解 3. 6. 2 電流密度の経時変化

表解 3. 6. 1 電気防食と併用する塗装系

工程		塗装系	I	II	III
仕 様	下 地 処 理		除錆度 Sd 2 以上または Sh 2 以上、表面粗さ 35~70 μm RZ		
	第1層	塗料の種類 乾燥膜厚	無機ジンクリッチペイント 75 μm 平均		エポキシ樹脂 ジンクリッチペイント 75 μm
	第2層	塗料の種類 乾燥膜厚	ミストコート (タールエポキシ樹脂塗料)	ミストコート (厚膜型エポキシ樹脂塗料)	専用プライマー
	第3層	塗料の種類 乾燥膜厚	タールエポキシ樹脂塗料 150 μm	厚膜型エポキシ樹脂塗料 150 μm	ガラスフレーク入り ポリエステル樹脂塗料 500 μm
	第4層	塗料の種類 乾燥膜厚	タールエポキシ樹脂塗料 150 μm	厚膜型エポキシ樹脂塗料 150 μm	ガラスフレーク入り ポリエステル樹脂塗料 500 μm
	合 計 膜 厚		375 μm	375 μm	1,075 μm

注) 1): 除錆度の表示は、日本造船研究会編「塗装前鋼材表面処理基準」による。

2): 表面粗さの表示は、「JIS B 0601 表面粗さ」の10点平均あらさ表示法による。

3): ミストコートは、合計膜厚に算入しない。塗装時気温が10℃以下の場合、タールエポキシ樹脂塗料、厚膜型エポキシ樹脂塗料のいずれも低温型を用いる。

4): 専用プライマーは、エポキシ樹脂ジンクリッチペイントとガラスフレーク入り塗料との層間付着性を向上させるために使用する。

これらの結果を踏まえ、飛沫部および干満部に適用される塗装系との関連性も考慮して、電気防食と併用する塗装系として表解 3.6.1 の塗装系を選定した。

ここに選定した塗装系は、現在市販されている塗料を対象として、検討したものであるので、今後より耐久性が優れた塗料が開発される可能性がある。この場合は、電気防食条件下で、長期の耐久性を有することが確認できれば、使用して差し支えない。

(3) 塗料の品質規格を付録 2「塗料規格」に示す。

4. 施 工

4.1 施工計画

施工にあたっては、現場の立地環境等を十分に考慮し、施工計画をたてなければならない。施工は、設計計算書、施工計画書を提出し承認を受けた後に行う。

〔解 説〕

- (1) とくに、海象、気象については、十分な調査を行い安全な作業ができるような施工計画書を作成し、この計画書にしたがって施工する。
- (2) 設計計算書は、環境の腐食性調査、仮通電試験等の調査結果および過去の実績等の設計根拠を記載する。

4.2 陽極性能の確認

電気防食に使用する陽極は、アルミニウム合金陽極とし、陽極の発生電気量が $2600 \text{ A} \cdot \text{h/kg}$ 以上、陽極電位は -1050 mV (SCE) 以下であることを確認する。

〔解 説〕

- (1) 陽極の性能を確認する場合は、(社)腐食防食協会が定めた試験法（流電陽極試験法および同解説：54-1（流電陽極試験法）分科会，1982）があり、アルミニウム系、亜鉛系およびマグネシウム系の陽極の性能を判定するための諸条件を定めているので、このうち、アルミニウム系陽極の性能試験に適用する条件や基準を用いて確認すればよい。

試験結果の表示方法は、様式1による。

（様式1）

アルミニウム陽極性能試験成績表			
		平成 年 月 日	
		試験実施者（社）	印
1	件名		
2	陽極名称		
3	試験条件		
	1. 試験液		
	2. 試験温度		
	3. 試験期間		
	4. 陽極電流密度		
4	試験結果		
試料No	陽極電位 (mV, SCE)	発生電気量 ($\text{A} \cdot \text{h/kg}$)	備 考

- (2) 陽極の保管にあたっては、雨ざらしなどを避け、取付け金具等に錆が生じないように処置を講じる。

4.3 現場作業者

現場作業者は、各工種に適合した有資格者で、現場作業に対する知識、および経験を有する者でなければならない。

〔解 説〕

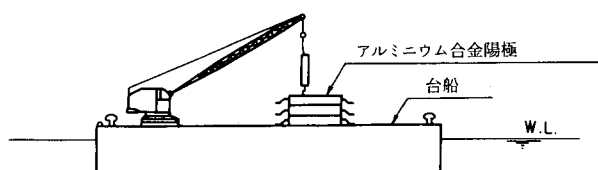
陽極の取付けを水中溶接により行うときは、水中溶接を行う作業者は、潜水士でかつJIS Z 3801の技能検定に合格した溶接士であることが必要である。なお、施工前にテストピースを用い現場において溶接を行い、その技能が認められた者を溶接作業に従事させる。その他、玉がけ作業、クレーン操作等の場合は、それぞれ有資格者が必要である。

4.4 作業準備

工事着工前に関係官庁への届出を行うとともに、作業用の台船、資材置場および作業員詰所等の準備を行う。

〔解 説〕

現場作業開始前に関係官庁に対し、必要な工期、工事概要を記載した書類を提出し許可を受ける。また、図解 4.4.1 に示すように台船にクレーンを装備し、必要な資材置場および作業員詰所を設置するための届出を行う。



図解 4.4.1 作業用台船

4.5 施工方法の選定

現場の状況に適した施工方法を選定し、作業の安全確保につとめなければならない。

〔解 説〕

陽極を取付ける際、陸上から陽極を吊り下げた方がよい場合と、台船を使用した方がよい場合など現場の状況に応じた適切な施工方法を選定する。

4.6 施工方法

陽極の取付けは、原則として溶接により行うものとする。

〔解 説〕

(1) 陽極の取付けは、陸上での溶接によることが望ましいが、土木鋼構造物の場合は、構造物施工後、水中溶接によって取付けることが多い。

(2) 水中溶接による陽極取付けの手順は、図解 4.6.1 に示すとおりである。

(a) 陽極数量の確認

現場に搬入された陽極の数量を確認する。

(b) 取付位置の付着物の除去およびマーキング

陽極取付位置のマーキングは、現場にて潜水士が設計図面に基づいた取付位置の付着物をスクレーパー等によって除去し、水中用のチョーク等でマーキングを行う。

(c) 陽極の吊り下げ

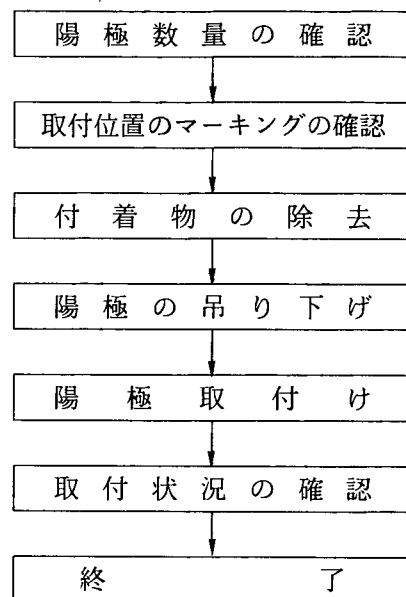
陽極取付位置にクレーン等によって吊り下ろす。取付ける陽極は、あらかじめ、防食対象物に仮留用のフックを溶接しておき、このフックに陽極を焼きなまし鉄線等で所定の位置に吊り下げる。また、場合によっては、ク

レーン等で吊り下ろした陽極を直接、防食対象物の所定の位置に水中溶接で取付けてもよい。

(d) 陽極取付

被防食体の溶接箇所の付着物や錆等を十分に除去した後、陽極の取付金具をすみ肉溶接により取付ける。

なお、陽極の取付けは、水深の深い部位から浅い部位に向けて作業を行えば、潜水士が減圧する上で好ましく、また作業性の向上にもなる。



図解 4.6.1 陽極取付けの手順

4.7 施工管理

施工計画に基づいた施工が行われるよう管理しなければならない。

〔解 説〕

(1) 溶接

陸上溶接の場合は、JIS に準拠して行うものとする。水中溶接の場合は、急冷による脆化を避け

るため、二層、三層の溶接は行わず一層溶接で十分な強度が得られる溶接長およびのど厚を得られるようにする。

(2) 使用機器

水中溶接に使用する溶接機は、作業の安全性を考慮し、直流の溶接機を使用しなければならない。溶接機は、DC 200 ~ 250 A 程度のもので、漏電遮断機を備えたものを使用する。

また、潜水士に空気を供給するためのコンプレッサーは万一の故障に備えて、十分な空気量を貯蔵することができる予備タンクを備えたものを使用しなければならない。

コンプレッサー運転時は、適正な空気圧が保たれているよう管理する必要がある。

(3) 陽極取付

陽極取付時は溶接電流によって適正な溶接が行われているかどうかの管理を行う必要がある。この場合の管理方法としては、電流回路に固定抵抗を挿入し、自動記録計にその電流値を記録し、管理する方法もある。

また、陽極取付後は、設計書どおりの陽極数量が、所定の位置に取付けられていることを潜水士によって確認する。なお、個々の陽極については、溶接長、のど厚、脚長等の確認を併せて行うとともに、陽極取付数の5%程度の写真撮影を行い取付状況の確認を行う。

(4) 手直し作業

施工後、電位不足等がある場合は、潜水士により陽極の脱落の有無や、溶接状況の確認等を行いその原因を究明し、万一陽極が脱落している場合は、必要に応じ補強対策等を講じた後、改めて所定の位置に水中溶接により手直しを行う。手直し完了後は、再度電位測定による防食効果の確認を行う必要がある。

(5) 安全対策

作業は、ほとんどが水中作業であるため、潜水士の健康管理には、十分な配慮が必要である。また、水深-10m以深での作業では、作業時間に応じた減圧時間が必要である。

作業海域の気象、海象、水路状況、船舶の航行状況等を十分に把握して、無理のない施工計画を立案する。例えば、潜水作業中は、標識を掲げるとともに警戒船および見張員を立て、また、気象情報に留意して、風速10m/s以上、波高0.8m以上、視界1000m以下の場合は作業を中止する等労働災害の未然防止に万全を期するほか、労働安全衛生規則、港則法、海洋汚染および海上災害防止に関する諸規則を遵守して作業を行う。

(6) 塗装

複合防食法に用いる塗料の品質は、本指針の付録にある塗料規格によって確認するとともに、塗装にあたっては、(社)日本道路協会「鋼道路橋塗装便覧」または別に定められた塗装仕様によって施工するものとする。

5. 点検および維持管理

5.1 点検一般

1. 点検は、土木鋼構造物が適正な電気防食状態にあるか否かを確認する目的で行う。
2. 点検の種類は、定期点検と詳細点検とし、それぞれ以下のように行う。
 - (1) 定期点検：1年に1回行うことを原則とする。ただし、点検により異常が認められない場合は、点検の間隔を延長できるものとする。
 - (2) 詳細点検：定期点検により異常が認められた場合、またはアルミニウム合金陽極の計画耐用年数に達したときに行う。

〔解 説〕

- (1) アルミニウム合金陽極を用いる流電陽極方式は、維持管理が容易で、電位をチェックすることのみで防食状態が把握できる利点を有しているが、船舶の衝突や浚渫などによる陽極の脱落、海域の水質等環境条件の悪化、塗膜の損傷や劣化による防食対象面積の増加等により電気防食状態の維持が困難になる場合がある。したがって、定期点検を行って電気防食状態を確認し、異常が認められた場合には、詳細点検によりその原因を明らかにし、それを排除して適正な防食状態に維持するようにつとめる必要がある。
- (2) 定期点検は、構造物が設置されてから1年後に、第1回目の点検を行うことを原則とするが、流電陽極方式による電気防食を適用した場合は、著しい環境の変化、陽極の脱落等がない限り、支障なく経過するので、定期点検によって異常が認められないときは、点検の周期を2～3年に延長することができる。
- (3) 詳細点検は、定期点検で異常が認められた場合や、アルミニウム合金陽極の計画耐用年数に達する前後に行うこととしたが、とくに、計画耐用年数に近づいたら、綿密な点検を行う必要がある。

5.2 定期点検

定期点検は、構造物の電位を測定し、管理電位と照合する方法で行うものとする。

〔解 説〕

(1) 電位測定

基準電極を、あらかじめ所定の防食対象面に設置しておくか、あるいは測定する時に基準電極を防食対象面に沿って下ろし、任意の位置で電位を測定し、管理電位と照合することによって、防食状態にあるか否かを判断する。

防食対象物の電位測定は、電気防食装置が計画どおり作動しているかどうか知るうえで最も重要な測定で定期的に年1回程度行う必要がある。また測定は、施設の防食状況が把握できる程度の測定点を選定することが望ましいが、一般には深度方向では、表層、中層、底層の各1点と、水平方向では、20～30mに1点程度行う。

(2) 大規模な構造物の場合は、電位測定を行う際に基準電極を、その都度、防食対象面に沿っておろすのではなく、予め測定位置を選定しておき、その部位に基準電極を設置し、随時、容易に測定ができるような設備を施すことが望ましい。この場合に使用する基準電極としては、海水中の場合では、飽和甘汞電極または海水塩化銀基準電極、海底土中では、亜鉛基準電極が一般的に使用されている。

(3) 管理電位は、環境の相違や塗装の有無等によって異なってくるが、これまでの研究結果をもとに定めた管理電位を表解 5.2.1 に示す。

表解 5.2.1 管理電位

単位：mV (SCE)

環境	電気防食の種類	電気防食法	複合電気防食法 (塗装併用)
一般海域		-800より卑	-800から -1050 までの間
汚染海域		-900より卑	
潮流海域		-800より卑	

例えば、一般海域の防食電位は、表 2.1 に示したように -770 mV (SCE) であり、この電位にあれば、防食状態に達したものである。したがって、-770 mV (SCE) より貴（例えば -700 mV）な電位では、防食状態に達していないということになる。実海域にお

いては、何らかの環境の変化があり得るし、不測の事態も発生するので、これらに対して弾力的に対応できるよう防食電位よりやや卑な電位を管理電位として設定し、測定した構造物の電位を管理電位またはそれより卑な電位に保つことによって、完全な防食状態を維持することとした。

5.3. 詳細点検

詳細点検は、以下の項目について行う。

- (1) 構造物の電位
- (2) 陽極消耗量
- (3) その他必要な項目

〔解説〕

- (1) 定期点検によって、異常が認められた場合、すなわち、管理電位に達しない状態が生じたときは、その原因を明らかにし適切な対応策をたてるため、詳細点検を行うものである。

また、陽極は、最初の設計時に、陽極1個あたりの耐用年数を設定し、その期間中、常時防食電流を発生させるように計画されているので、陽極の耐用年数は、構造物に取付けられている陽極の全数が同じ年数をもっていることになる。しかしながら、構造物をとりまく海水環境は微妙に変動

するのが常であり、陽極も、取付個数の全数が同時に消耗してしまうことは少ないので、耐用年数に近づいたら、詳細点検を行う必要がある。

(2) アルミニウム合金陽極を用いた流電陽極方式で、管理電位より貴になる原因には、次のような場合が想定される。

(a) 使用陽極の発生電流が不足している場合

(b) 陽極が何らかの理由により脱落した場合

(c) 防食電流が不足している場合

(a)の例は、通常、陽極は製造出荷前にアルミニウム合金陽極試験法により通電試験を行うため、この種の例は生じない。

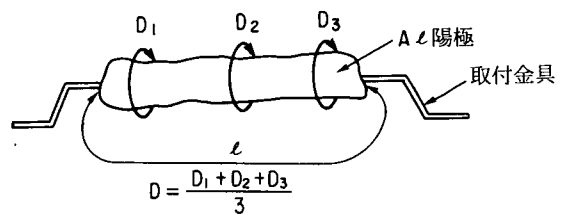
(b)の例は、船の衝突や浚渫などによって、陽極が脱落する場合である。

(c)の例は、海域の環境が当初と大幅に変化し、防食電流が不足する場合、塗膜の損傷や劣化が当初の予測より大幅に進み、防食電流が不足する場合、構造物に新たな施設が加わり、防食対象面積が大幅に増加し、防食電流が不足する場合等である。

(3) 陽極消耗量の測定

陽極の消耗量は、陽極の発生電流から、その概略を知ることができるが、取付けてある陽極を陸上に引き上げた後、腐食生成物を入念に除去し、芯金の重量を控除して、残重量を測定する方法がより正確である。

陽極を引き上げることができない場合は、水中で陽極表面に付着している腐食生成物を除去し、図解 5.3.1 に示す要領で、陽極の形状寸法を実測し、その寸法から残重量を次式によって求める。



図解 5.3.1 陽極の測定要領図

$$\text{陽極の残重量 (kg)} = \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 \times \pi \times L - V \right] \times \text{密度} \times 10^{-3} \quad \left\{ \begin{array}{l} D: \text{陽極の平均直径 (cm)} \\ L: \text{陽極の有効長 (cm)} \\ V: \text{芯金の体積 (cm}^3\text{)} \end{array} \right.$$

注) 陽極の密度は、組成によって異なるが $2.70 \sim 2.77 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ である。

当初の重量から残重量を差し引くことによって、消耗量が求められる。

(4) 電流測定

被防食体と陽極との間に電流計測用の固定抵抗を挿入し、その電圧降下から電流値を求める方法と、被防食体と陽極との電流回路に、直接、無抵抗電流計を使用して測定する方法とがある。

このようにして測定した電流値から、防食電流密度ならびに陽極の消耗量を概算することができる。測定にあたっては、何回かの測定を繰り返し、その平均電流値を計算する。

(a) 防食電流密度の算出

防食電流密度は、陽極の平均発生電流から概算する。

防食電流密度 (A/m²) = 平均発生電流 (A) ÷ 陽極 1 個が受持つ防食対象面積 (m²)

(b) 陽極の消耗量の算出

$$\text{消耗量 (kg)} = \frac{\text{平均発生電流 (A)} \times \text{経過年数 (y)}}{0.2968 \text{ A} \cdot \text{y/kg}}$$

注) アルミニウム合金陽極の 1 kg 当たりの発生電気量は

$$\frac{1 \text{ kg} \times 2600 \text{ A} \cdot \text{h/kg}}{8760 \text{ h/y}} = 0.2968 \text{ A} \cdot \text{y}$$

(c) 陽極の残存寿命の算出

$$\text{残存寿命 (y)} = \frac{[\text{陽極の初期 Net 重量 (kg)} - \text{消耗した重量 (kg)}] \times 0.2968 \text{ A} \cdot \text{y/kg}}{\text{平均発生電流 (A)}}$$

(5) 試験片による防食効果の判定

試験片による方法では、被防食体と接続した通電試片と、絶縁した不通電試片を同時に取付け、一定期間後に取り外した後、それぞれの腐食減量を比較して防食効果を判定する。

(6) 被防食体の肉厚測定

鋼構造物の被防食部分の現有肉厚を経時的に測定し、防食効果の判定をすることは、構造物自体の寿命を確認するためにも重要なことである。

肉厚の測定は、超音波厚さ計を用いるのが一般的である。また、肉厚測定箇所は、長期間にわたって腐食の動向を調査することとなるので、あらかじめ、測定点を決めておく必要がある。したがって、新設する構造物については、施工前に鋼材の初期肉厚を非破壊調査の肉厚測定と同一の方法で測定し、将来非破壊調査を行うときに、正確な照合ができるように配慮することが望ましい。

(7) モニタリング装置

定期点検または詳細点検を行うとき、その点検項目は、指針に示された項目にしたがって実施するが、これらの点検実施の便を考慮し、主要な土木鋼構造物にあっては、あらかじめその構造の状況に応じたモニタリング装置を取付けておくことが望ましい。

腐食や防食のモニタリングの目的は、腐食、防食に関する情報を得ることにある。このような情報は、陽極の寿命を推定したり、取替えの時期を決めるために利用される。また、モニタリングは、腐食の原因を見極めたり、あるいは、防食効果の判定に用いられるほか、鉄道併用橋の場合は、軌条からの漏れ電流の監視にも役立つ。

このように、モニタリングは、電位および電流を連続的または断続的に測定することで構造物の管理に役立っているが、最近では、自動制御による管理システムも登場している。

5.4 補 修

詳細点検の結果、補修の必要が生じた場合は、ただちに適切な措置を講じなければならない。

〔解 説〕

- (1) 定期点検の結果、管理電位より貴となった場合は、詳細点検を行って、原因を究明し適切な補修を行わなければならない。

補修の必要性は、詳細点検の結果に基づいて判断されるが、台風、地震、船舶衝突等の突発的事態から補修が必要になる場合がある。また、陽極は、消耗による更新がある。

いずれの場合においても、的確な補修計画を定め、常に管理電位が確保されるように配慮しなければならない。

参 考 文 献

- 1) 土木研究所資料第1245号, 東京湾における鋼管杭の腐食防食試験, 昭52.3
- 2) 土木研究所資料第2121号, 電気防食の設計法に関する研究最終報告書, 昭59.3
- 3) 建設省土木研究所, 海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書, 昭63.3
- 4) 港湾技術研究所報告, Vol.25, No.1, 1986.3
- 5) 土木研究所資料第1689号, 電気防食の設計法に関する研究, 昭56.3
- 6) 関西国際空港(株), (財)土木研究センター, 空港連絡橋の鋼構造物の防錆防食指針(案), 昭61.3
- 7) (財)土木研究センター, 海中部における電気防食設計技術に関する研究委員会資料, 平元.3

付 録 1

陽 極 規 格

15-Ⅰ型 アルミニウム合金陽極

15-Ⅱ型 アルミニウム合金陽極

15-Ⅲ型 アルミニウム合金陽極

30-Ⅰ型 アルミニウム合金陽極

30-Ⅱ型 アルミニウム合金陽極

30-Ⅲ型 アルミニウム合金陽極

陽極の種類

陽極は、表 1 に示すものの中から選択する。

表 1 アルミニウム合金陽極の種類

形 式	15-I 型	15-II 型	15-III 型	30-I 型	30-II 型	30-III 型
設計耐用年数 (y)	15	15	15	30	30	30
形 状 寸 法 (mm)	(100+120)× 130×1500	(100+120)× 130×1800	(100+120)× 130×2230	(180+200)× 190×1150	(180+200)× 190×1400	(180+200)× 190×1830
初期発生電流 (A) ($\rho = 30 \Omega \cdot \text{cm}$ の場合)	2.0	2.5	3.0	2.0	2.5	3.0
正 味 重 量 (kg)	56.5	67.9	84.2	110.7	134.9	176.0
発生電気量 (A・y)	15.9	19.1	23.8	31.2	38.1	49.7

- (1) 表 1 に示したアルミニウム合金陽極の種類は、陽極の設計等の便宜を図るために、海水の抵抗率が $30 \Omega \cdot \text{cm}$ 程度の一般海水の場合で、耐用年数を 15 年および 30 年の 2 種類を規格化することとして、有効電気量等から、重量および形状を定めたものである。

本表に、陽極 1 個あたりの初期発生電流 (I_g) が示されているので、所要防食電流 (I) が求められれば、直ちに、式 (解 10) により陽極の個数 (N) を算出することができる。

- (2) 市販のアルミニウム合金陽極は、メーカーにより若干組成が異なるため、所定の重量を確保するために、表 1 に示した標準形状寸法の長さ、若干、変動が生じる場合がある ($\pm 5 \text{ cm}$ 以下) が、実用上の発生電流への影響はない。

陽極の総使用重量 (使用個数 $\times$ 1 個当たりの正味重量) は、耐用年数に影響するため、設計値を下まわってはならないが、アルミニウム合金陽極は、鋳造品であるため、陽極各々の重量は、 $\pm 2\%$ 程度の誤差は避けられない。

- (3) 陽極が、目標とする耐用年数を満足しているかどうかについては、次の各式を用いて検証すればよい。

$$P = \frac{W \times 2,600 \text{ A} \cdot \text{h/kg}}{8,760 \text{ h/y} \times s}$$

ここに、P：発生電気量 (A・y)

W：陽極正味重量 (kg)

s：安全率 (1.05)

$$R = \frac{\rho}{2 \pi L} \left(2.3 \log \frac{4L}{r} - 1 \right)$$

ここに、R：陽極の接水抵抗 (Ω)

ρ : 海水の抵抗率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)

L : 陽極の長さ (cm)

r : 陽極の等価半径 (cm)

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

ただし、陽極の一部を防食対象面に密着して取り付けの場合は、陽極断面の有効周長から算出する。

この場合の等価半径 (r') は、次式によって求める。

$$r' = \frac{L'}{2\pi} \quad \text{ただし、} L' : \text{断面有効周長}$$

A : 陽極の断面積 (cm^2)

$$I_g = \frac{E}{R}$$

ここに、 I_g : 陽極 1 個当たりの初期発生電流 (A)

E : 有効電位差 (V) (初期の有効電位差は 0.25 V)

R : 陽極の接水抵抗 (Ω)

$$T = P \div \frac{I_g}{2}$$

ここに、 T : 耐用年数 (y)

付 録 2

塗 料 規 格

DK-DB-1 無機ジンクリッチペイント

DK-DB-2 エポキシ樹脂ジンクリッチペイント

DK-DB-3 タールエポキシ樹脂塗料

DK-DB-4 厚膜型エポキシ樹脂塗料

DK-DB-5 ガラスフレーク入りポリエステル樹脂塗料

無機ジンクリッチペイント

1. 適用範囲

この規格は、無機ジンクリッチペイントについて規定する。

備考 無機ジンクリッチペイントは、亜鉛末・アルキルシリケート・顔料および溶剤をおもな原料とした、1液1粉末のものである。

2. 品 質

無機ジンクリッチペイントの品質は、表1の規定に適合しなければならない。

表1 無機ジンクリッチペイントの品質

項 目 \ 種 類	粉	液	混 合 物
容 器 の 中 で の 状 態	微小で一様な粉末であること	かき混ぜたとき堅いかたまりがなく、一様になること	—
乾 燥 時 間	—	—	5時間以内
塗 膜 の 外 観	—	—	塗面に流れ・むら・われ・はがれがないこと
ポ ッ ト ラ イ フ	—	—	20℃で使用できる時間が5時間以上であること
耐 衝 撃 性	—	—	500mmの高さから500gのおもりを落したとき、おもりの衝撃で塗膜にわれおよびはがれができないこと
厚 塗 り 性	—	—	3分間隔で乾燥膜厚約65μmで2回塗り、合計130±10μmとしたとき、塗面にわれ・はがれがないこと
塩 水 噴 霧 試 験	—	—	360時間の塩水噴霧に耐えること
加 熱 残 分	—	—	70%以上
加熱残分中の金属亜鉛	—	—	75%以上
耐 電 気 防 食 性			食塩水〔塩化ナトリウム溶液(3W/V%)〕中で、陰極電位を-1100mV(SCE)に設定して通電し、240時間経過しても異状がないこと

1. 適用範囲

この規格は、エポキシ樹脂ジンクリッチペイントについて規定する。

備考 エポキシ樹脂ジンクリッチペイントは、亜鉛末・エポキシ樹脂・顔料・硬化剤および溶剤をおもな原料とした、2液1粉末または2液（亜鉛末を含む液と硬化剤）のものである。ただし、硬化剤にはポリアミド、アミンアダクトなどを用い、低級アミンは使用しないものとする。

2. 品 質

エポキシ樹脂ジンクリッチペイントの品質は、表1の規定に適合しなければならない。

表2 エポキシ樹脂ジンクリッチペイントの品質

項 目 \ 種 類	粉	液	混 合 物
容 器 の 中 で の 状 態	微小で一様な粉末であること	かき混ぜたとき堅いかたまりがなく一様になること	—
乾 燥 時 間	—	—	6 時間以内
塗 膜 の 外 観	—	—	塗面に流れ・むら・われ・はがれがないこと
ポ ッ ト ラ イ フ	—	—	20℃で使用できる時間が5時間以上であること
耐 衝 撃 性	—	—	500mmの高さから500gのおもりを落したとき、おもりの衝撃で塗膜にわれおよびはがれができないこと
厚 塗 り 性	—	—	3 分間隔で乾燥膜厚約65 μmで2 回塗り、合計130±10 μmとしたとき、塗面にわれ・はがれがないこと
塩 水 噴 霧 試 験	—	—	240時間の塩水噴霧に耐えること
耐 水 性	—	—	水に240時間浸しても異状がないこと
加 熱 残 分	—	—	75% 以上
加熱残分中の金属亜鉛	—	—	70% 以上
耐 電 気 防 食 性			食塩水〔塩化ナトリウム溶液（3 W/V %）〕中で、陰極電位を-1100 mV（SCE）に設定して通電し、240 時間経過しても異状がないこと

1. 適用範囲

この規格は、タールエポキシ樹脂塗料について規定する。

備考 タールエポキシ樹脂塗料は、エポキシ樹脂・コールタール・ビチューメン・顔料・硬化剤および溶剤をおもな原料とした2液型のものである。ただし、硬化剤にはポリアミドやアミンアダクト等を用い、低級アミンは使用しないものとする。

2. 種類

タールエポキシ樹脂塗料は、つぎの2種類に分ける。

A：タールエポキシ樹脂塗料

B：タールエポキシ樹脂塗料・低温用

3. 品質

タールエポキシ樹脂塗料は、表1の規定に適合しなければならない。

表1 タールエポキシ樹脂塗料の品質

項 目 \ 種 類	A	B
容器の中での状態	主剤・硬化剤ともかき混ぜたとき堅いかたまりがなく一様になること	
混 合 性	均等に混合すること	
乾 燥 時 間	16時間以内	
低 温 乾 燥 性	—	5℃で24時間以内
塗 膜 の 外 観	塗面を見て平らさは良好で、流れ・つぶ・しわ・むら・われ・ふくれ・あな・はがれがないこと	
ポ ッ ト ラ イ フ	20℃で使用できる時間が5時間以上であること	5℃で使用できる時間が5時間以上であること
耐 衝 撃 性	300mmの高さから300gのおもりを落したとき、おもりの衝撃で塗膜にわれおよびはがれができないこと	
碁 盤 目 試 験	25/25であること	
耐 屈 曲 性	7日間放置したのち直径10mmの心棒で試験して、折り曲げに耐えること	
耐 揮 発 油 性	試験用3号揮発油に48時間浸しても異状がないこと	
塩 水 噴 霧 試 験	192時間の塩水噴霧に耐えること	
耐 湿 性	温度50±1℃、相対湿度95%以上で120時間の試験に耐えること	
混合塗料中の加熱残分	60%以上	
耐 電 気 防 食 性	食塩水〔塩化ナトリウム溶液(3W/V%)〕中で、陰極電位を-1100mV(SCE)に設定して通電し、240時間経過しても異状がないこと	

1. 適用範囲

この規格は、厚膜型エポキシ樹脂塗料について規定する。

備考 厚膜型エポキシ樹脂塗料は、顔料・エポキシ樹脂・硬化剤および溶剤をおもな原料とした2液型のものである。ただし、硬化剤にはポリアミド・アミンアダクト等を用い、低級アミンは使用しないものとする。

2. 種 類

厚膜型エポキシ樹脂塗料は、つぎの2種類に分ける。

A：厚膜型エポキシ樹脂塗料

B：厚膜型エポキシ樹脂塗料・低温用

3. 品 質

厚膜型エポキシ樹脂下塗の品質は、表1の規定に適合しなければならない。

表1 厚膜型エポキシ樹脂塗料の品質

種 類 項 目	A	B
容器の中での状態	主剤・硬化剤ともかきまぜたとき堅いかたまりがなく一様になること	
混 合 性	均等に混合すること	
つ ぶ	40 μm 以下	
乾 燥 時 間	16時間以内	
低 温 乾 燥 性	—	5℃で24時間以内
塗 膜 の 外 観	塗面をみて平らさは良好で、流れ・つぶ・しわ・むら・われ・ふくれ・あな・はがれがないこと	
ポ ッ ト ラ イ フ	20℃で使用できる時間が5時間以上であること	5℃で使用できる時間が5時間以上であること
耐 衝 撃 性	500 mm の高さから300 g のおもりを落したとき、おもりの衝撃で塗膜にわれおよびはがれができないこと	
碁 盤 目 試 験	25/25 であること	
耐 屈 曲 性	7日間放置したのち直径10 mm の心棒で試験して折り曲げに耐えること	
塩 水 噴 霧 試 験	192時間の塩水噴霧に耐えること	
混合塗料中の加熱残分	60 % 以上	
混合塗料中の溶剤不溶物	40 % 以上	30 % 以上
耐 電 気 防 食 性	食塩水〔塩化ナトリウム溶液(3 W/V %)〕中で、陰極電位を-1100 mV (SCE) に設定して通電し、240時間経過しても異状がないこと	

1. 適用範囲

この規格は、ガラスフレーク入りポリエステル樹脂塗料について規定する。

2. 品 質

ガラスフレーク入りポリエステル樹脂塗料の品質は表1の規定に適合しなければならない。

表1 ガラスフレーク入りポリエステル樹脂塗料の品質

項 目	品 質
容器の中での状態(主剤)	かき混ぜたとき堅いかたまりがなく一様になること
混 合 性	均等に混合すること
作 業 性	エアレススプレーの作業に支障がないこと
乾 燥 時 間	24時間以内
塗 膜 の 外 観	見本品に比べて流れ、穴、しわの程度が大きくないこと
ポ ッ ト ラ イ フ	20℃で利用できる時間が1時間以上であること
耐 衝 撃 性	500mmの高さから300gのおもりを落したとき、おもりの衝撃で割れおよびはがれができないこと
冷 熱 繰 返 し 試 験	-20℃と80℃との冷熱の繰返しを3回行っても塗膜に異状がないこと
塩 水 噴 霧 試 験	240時間の塩水噴霧に耐えること
耐 湿 性	温度50±1℃、相対湿度95%以上で240時間の試験に耐えること
耐 電 気 防 食 性	食塩水[塩化ナトリウム溶液(3W/V%)]中で、陰極電位-1100mV(SCE)に設定して通電し、240時間経過しても異状がないこと

指針（案）の構成と主な内容

項 目	内 容	頁
1. 総 則		
1.1 適用範囲	・本指針(案)が適用される土木鋼構造物の構造部位と範囲。	1
	・本指針(案)が適用される土木鋼構造物の海上大気部～飛沫部～干満部～海中部～海底土中部における鋼材の腐食の特徴、腐食程度の相対比較。	1
1.2 用語	・本指針(案)で用いられる用語の説明。	2
1.3 構造物に関する事前調査	・電気防食の設計に際して必要な構造物に関する事前調査の項目、内容および必要性。	3
	・海域に建設された土木鋼構造物に適用される防食方法の代表例の解説。	3～4
2. 電気防食		
2.1 電気防食による防食効果	・電気防食における防食電位の意義。	5
	・電気防食の原理、防食率と防食電位の関係。	5
2.2 防食電位	・電気防食法を適用する場合の海水水質、潮流、塗装併用などの種々の条件下における防食電位。	6
	・種々の条件下で行われた電気防食に関する室内試験の結果。	6～9
2.3 電気防食法の種類と選定	・電気防食法の種類と選定および各種電気防食方式の特徴。	9～10
	・流電陽極方式電気防食法で使用される陽極材料の種類と性能。	10～11
	・外部電源方式電気防食法で使用される陽極材料の種類と性能。	11
3. 設 計		
3.1 設計一般	・電気防食設計の内容説明。	12
	・電気防食設計の基本的な手順。	12
3.2 調査	・海域を分類し防食電流密度を決定するための海水や海底土の腐食性調査。	12～13
	・海水および海底土についての調査項目。	13
	・海域分類の目安と水質分析結果例。	13～14
	・より適切な電気防食設計を行うための試験（陰分極試験、仮通電試験）。	14～15
3.3 防食電流密度	・海域分類、環境の分類に応じた初期防食電流密度および定常防食電流密度の決定。	15
	・塗装を併用する電気防食方式（複合電気防食方式）における塗膜の劣化・損傷を考慮した鋼の露出率の決定。	15
	・防食電流密度を求めるために、実験室や実海域で行った各種試験の結果。	16～22
3.4 設計要領	・代表的な構造型式の土木鋼構造物を対象とした防食面積の計算方法。	23～24
	・所要防食電流の計算方法。	24

項 目	内 容	頁
3.5 流電陽極方式	・電気防食と被覆との組み合わせ。 ・アルミニウム合金陽極の性能と規格。 ・アルミニウム合金陽極の形状、寸法の選定。 ・塗装を併用するアルミニウム合金流電陽極方式電気防食における防食電流の計算方法。	24～25 26 26～27 27～28
3.6 複合電気防食方式	・電気防食に必要なアルミニウム合金陽極の個数の算出および配置。 ・電気防食と塗装を併用する複合電気防食方式の適用とその特長。 ・塗装鋼材の陰分極試験結果および電気防食特性試験結果。 ・電気防食と併用する塗装系の選定および塗装仕様。	28～29 29 29～30 29～31
4. 施 工		
4.1 施工計画	・電気防食の施工計画。	32
4.2 陽極性能の確認	・アルミニウム合金陽極の性能確認のための試験法、陽極の保管方法。	32～33
4.3 現場作業者	・溶接、潜水、玉がけ、クレーン操作など現場作業者に求められる技能、資格。	33
4.4 作業準備	・工事着手前の関係官庁への届出と作業の準備。	33
4.5 施工方法の選定	・現場の状況に適した作業方法の選定および作業の安全確保。	33
4.6 施工方法	・陸上または水中における溶接作業による陽極の取付。 ・水中溶接による陽極取付けの手順。	34 34
4.7 施工管理	・溶接時の溶接長、のど厚および脚長等の確認など、陽極取付の管理。 ・溶接機の規格、潜水土に空気を供給するためのコンプレッサーの機能および管理方法。 ・陽極の電位計測による防食効果の確認および取付けが不備な場合の手直し。 ・潜水土の健康管理、作業海域の気象、海象、水路状況、船舶の航行状況等の把握その他、諸規則の遵守による作業者の安全対策。 ・塗装施工上の注意事項。	34～35 35 35 35 35
5. 点検および維持管理		
5.1 点検一般	・点検の目的、点検の種類と内容。	36
5.2 定期点検	・点検時の電位計測と管理電位との照合、管理電位の説明。	36～37
5.3 詳細点検	・陽極消耗量測定と陽極寿命の算出。 ・防食電流の測定方法。 ・電気防食効果の判定方法。 ・点検に便利なモニタリング装置。	37～38 38 39 39

項 目	内 容	頁
5.4 補修	・詳細点検により電位が管理電位より貴となった原因が明らかとなった場合に行う補修の内容および方法。	39 ～ 40
参 考 文 献	・引用または参考にした文献，資料。	41
付録1 陽極規格	・アルミニウム合金陽極の設計耐用年数と型式。	43 ～ 46
付録2. 塗料規格	・電気防食と併用する塗装系に用いる塗料の種類と品質。	47 ～ 53