海洋構造物の防食技術

蒔 田 實*

*建設省土木研究所

Corrosion Protection Technology of Marine Structures

Minoru Makita*

*Public Works Research Institute, Ministry of Construction

Key words; marine environment, marine structure corrosion of steel, low-alloy corrosion resistant steel, stainless steel, titanium alloy, polyethylene lining resin mortar lining, heavy duty coating, fibre-concrete lining, cathodic protection.

1. ま え が き

近年、我が国において海上長大橋、河口堰などの大型構造物が建設されており、さらに今後も、国土の狭小な我が国においては沿岸海域のスペース利用がきわめて重要であるとの観点から、海上空港、海上都市、海上廃棄物処理施設、海底沈埋トンネル、浮防波堤など、海底に固定あるいは海中に浮遊した各種の構造物の建設が計画され、あるいは検討されている。海洋は陸上とは比較にならないほどの激しい腐食性を有する環境であるため、海洋構造物にはその耐久性を確保するための十分な防錆防食対策が必要とされる。しかし、海洋石油掘削装置、海洋土木作業台、シーバース等の従来の海洋構造物の防食方法の耐用年数は短く、比較的頻繁な補修を要し、保守管理に多大の経費を要している。今後開発の期待されている海洋構造物は、いずれも大規模で50年あるいは100年といった非常に長い耐用年数を期待するものであるだけに、より耐久性の優れた新しい防食技術の開発を図らない限り、このような大規模な海洋構造物の実用化は極めて困難なものとなる。

以上のような状況を背景に、近年、海洋構造物の防食技術の開発研究が各方面で積極的に進められている。本文では、海洋構造物の防食技術の現状と問題点について解説する。

2. 海洋構造物の防食技術

2.1 海洋環境における鋼材の腐食

2.1.1 環境条件と腐食傾向

海洋における鋼の腐食傾向は、一般に図1のようになることが知られている。すなわち、飛沫部が最も腐食が激しく、腐食速度が最大となる。しかし、干満部になるにしたがって腐食速度は低下し、海中部に入ると海面直下で再び大きくなり極大値をとる。さらに水深が深くなるにつれて腐食速度は低下する。腐食速度が干満部で小さく、海面直下で極大値をとるのは、海水面をはさんで酸素の濃淡による腐食電池が形成されるためである。すなわち、図1のような腐食傾向を示すのはあくまで鋼材が海上大気中から海中まで連続して異なる環境に接する場合である。したがって鋼材がそれぞれの環境に別々に

図1 環境条件と鋼の腐食傾向 (シートパイルの腐食, Kure Beach 5年の結果¹⁾)

* 〒305 茨城県筑波郡豊里町大字旭 1 (1-Oaza-Asahi, Toyosato-Machi, Tsukuba-gun, Ibaraki-ken, 305 Japan)

接する場合には、図2の実線のような腐食傾向を示し、当然の事ながら酸素濃淡電池が形成されないため、水面

図2 連続した場合と連続しない場合の試験片の腐食速度(6ヶ月暴露)¹⁾

直下の海中部より干満部の腐食速度の方が大きくなる。

2.1.2 各環境条件下での腐食速度

(1) 海上大気中

大気中における鋼材の腐食は、雨量、湿度、気温、日照量、大気汚染物質(亜硫酸ガス等)や海塩粒子の影響を受けるが、腐食量(Y ; $\text{mg}/\text{dm}^2 \cdot \text{day}$)に最も影響を与えるのは海塩粒子(X_1 ; $\text{Cl}/\text{dm}^2 \cdot \text{day}$)及び亜硫酸ガス量(X_2 ; $\text{SO}_2/\text{dm}^2 \cdot \text{day}$)で、およそ次式の関係にあるといわれている。

$$Y = 4.4 + 39.7X_1 + 3.74X_2^{2)}$$

すなわち、海上大気中にある鋼材の腐食は、海塩粒子の影響を受けて、陸上大気中に比較して著しく促進される。海塩粒子の影響を示す調査結果の一例を図3に示す。

図3 海岸からの距離と腐食量及び海塩粒子量³⁾

図4 飛沫帯(大気中)における鋼と金属被覆の腐食速度⁴⁾

(2) 飛沫部

平均満潮線より少し上の部分の海水のしぶきのかかる飛沫部は、最も腐食の激しい箇所であり、鋼材の腐食は全面腐食と局部腐食の混った形態をとり、腐食生成物は硬くて厚いフレーク状を呈する。腐食速度は 1 mm/Y に達することもある。飛沫部の鋼材等の腐食量の調査結果の

図5 鋼管杭の水深方向の腐食速度⁵⁾
(東京湾・川崎沖)

一例を図4に示す。

(3) 干満部

潮の干満により周期的に浸漬と露出がくり返され、飛沫部とよく似た環境であるが、図2に示す通り、鋼材の設置状況によって腐食速度が異なる。

(4) 海中部

海水面直下で局所的に腐食速度が大きくなるが、水深が深くなるにつれて腐食速度は減少し、浅海ではほぼ一定の値となる。しかし、海域によっては水深方向に水質の異なる海水が層状に存在する場合など、特定的水深部分で局所的に腐食速度が大きくなる場合もある。このような実例の一つを図5に示す。

深海での腐食は(図6に示すように)、溶存酸素の分布と関連し、大深度では腐食速度が減少する。

海中での鋼材の腐食速度は、上述の溶存酸素のほか、水温、流速等の影響を受ける。 5°C 以下にもなるオホーツク海に比べて 30°C 近くになる熱帯海域では腐食速度は2倍にもなる。また、潮流のある場合には流速が大きくなるにしたがって、腐食速度は大きくなる。

2.2 各種海洋構造物の防食技術の現状

我が国における各種海洋構造物に実際に用いられている防食方法の現況を表1に示す。

鋼材は主として普通鋼が用いられているが、一部に耐候性鋼や耐海水鋼も使用されている。各構造物とも腐食環境及び部位によって異なった防食方法が採用されている。一般に海上大気部及び飛沫部では重防食塗装を施したものが多く、海中及び海底土中部では電気防食が行われている。

図6 大水深海域における水深と腐食速度及び溶存酸素⁶⁾

表 1 我が国の海洋構造物の防食方法の概要¹⁾

分 類	調査 件数	鋼 材	防 食 法			備 考
			海上大気部	飛 沫 帯	海中・海底土中	
海洋石油掘削 装置 (リグ)	12	普通鋼または 普通鋼+高張 力鋼の併用	塗 装 a) (ジंकリッチプ ライマー+エポ キシまたはター ルエポキシ系)	重塗装 (同左) 一部電気防食の併 用あり	電気防食または電防 +塗装 電防: A1陽極 塗装: 同左	a) 補修の簡単な場所 は目的に応じた塗装 (主甲板: デッキベ イント 居住区: 合成樹脂 塩化ゴム・エ ポキシなど)
海洋土木作業 台 (プラットフォーム フォーム) b)	9	同 上	塗 装 (ウォッシュプラ イマー+合成樹 脂系)	重塗装 (ウォッシュプラ イマー+エポキ シまたはター ルエポキシ系)	塗 装 (同左) 電気防食との併用 は少ない	b) 自己昇降式作業台 (SEP)は補修が可 能なためリグや固定 式作業台に比べて防 食性に劣る塗装系が 採用されている
シーバース	45	① 棧橋・ドル フィン方式 は同上 ② 係留方式は 普通鋼のみ	—	重塗装 (無機ジंकリッチ プライマー, ター ルエポキシまたは 無機ジंकリッチ プライマー+ター ルエポキシ)	電気防食または電防 +塗装 c) (電防: A1陽極 d) 塗装: タールエポ キシ)	c) 塗装以外に一部ア スファルトなどのラ イニングあり d) 古いものは外部電 源方式のほうが多い
海中展望塔e) 海中レストラ ン アクアボリス	6	普通鋼または 普通鋼+高張 力鋼の併用	塗 装 エポキシまたは合 成樹脂系など	重塗装 エポキシまたはタ ールエポキシ系	電防+塗装 (電防: A1陽極 塗装: エポキシ系 または塗装 (タールエポキシ)	e) 海中展望塔の調査 4 件中 2 件は各環境 とも FRP ライニン グ
観 測 塔 灯 標 プ イ 実 験 台	19	普通鋼 (一部耐候 性鋼, 耐 海水性鋼 が併用)	塗 装 エポキシ, タール エポキシまたは合 成樹脂	重塗装 f) (同左)	塗装または電防+塗 装 (電防: A1または Zn 陽極 塗装: 合成樹脂ま たはター ルエポキシ系)	f) 灯標の飛沫帯で一 部, 樹脂, コンクリ ート, ステンレスな どのライニングあり
海 底 パイプライン	25	普通鋼	—	—	パイプ外面: 電防+ 塗覆装 (電防: 外部電源方 式が主体 塗覆装: コンクリ ート+アス ファルト系) パイプ内面: 防食な しが多い	—
沈埋トンネル g)	4	普通鋼	—	—	電防+塗装 h) (電防: 外部電源 塗装: タールエポ キシ)	g) すべてのコンクリ ートの外面を鋼板で包 んだ構造 h) 塗装なし電防のみ もあり

2.3 防食技術開発の現況と問題点

2.3.1 海上大気部の防食技術

海洋構造物の大気中の部位は, 他の部位に比べては補修が容易であること, 美観上あるいは安全上の点から着色が必要とされることにより, 今後も防食技術として塗装が行われていくものと考えられる。他の部位に比べて補修が容易とはいっても海上作業であり, 気象条件の影響, 付着塩分の除去等作業は困難な点が多い。また, 比

較的頻繁な補修は莫大な維持経費を要することにもなる。このようなことから, 近年長期防錆型塗装系の開発研究が積極的に進められ, 関門橋, 本州四国連絡橋等の海上長大橋には耐久性に優れた新しい長期防錆型の塗装系が採用されてきている。

近年の技術開発の結果から, 海洋構造物に適した長期防錆型の塗装系として, 表 2 の塗装系が取りあげられている。これらの塗装系は, 従来の塗装系に比べて耐久性

は格段に優れていると考えられるが、長年月の間には劣化するものであり、やがては塗替えを必要とする。

表2における塗装系 A, B, C, D は、着色が自由であり、実績からいって最も信頼性の高いものであるが、何といても塗り重ね回数が多く、補修時の海上作業と

いう条件下で果たして的確な施工が行い得るものかどうか、塗替え後十分な耐久性が得られるか否か、問題点が多いと考えられる。塗装系Eは、実績も多く信頼性は高いが、着色が自由にならない点で適用箇所が限定される。また、塗装系Fは、着色も自由で耐久性も優れてお

表2 海上大気部に適用する塗装系（上塗りまで工場で塗装）⁶⁾

塗装系	素地調整	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層	第7層	記号（塗料名）
A	ブラスト	H・Z	M	H・E	H・E	PU	PU	—	H・Z：厚膜無機ジンク Z：無機ジンク M：ミストコート HE：厚膜型エポキシ PU：ポリウレタン H・V：厚膜ビニル Ph・Z：フェノールジンクフロメート Ph・M10：フェノールM10 Ch：塩化ゴム H・ME：厚膜変性エポキシ T・E：タールエポキシ GF・PE：ガラスフレーク入りエポキシ
B		—	JISK-5633(1種)	H・V	H・V	H・V	H・V	—	
C		—	—	Ph・Z	Ph・M10	Ph・M10	Ch	Ch	
D		Z	H・ME	H・ME	H・ME	H・ME	—	—	
E		—	T・E	T・E	T・E	—	—	—	
F		ブライマー	GF・PE	GF・PE	—	—	—	—	

表3 飛沫帯・干満帯部の防食被覆⁶⁾

分類	被覆の種類	杭試験片				分類	被覆の種類	杭試験片			
		C	A	C	A			C	A	C	A
金属被覆	耐海水鋼(Cu-Cr-Al系)巻き(6mm)	○	○	○	○	有機質ライニング(ポリエステル)	ガラスフレーク入りポリエステル(1mm)			○	
	ステンレス鋼(25Cr-13Ni系)巻き(3mm)	○		○			ガラスフレーク入りポリエステル(2mm)			○	
	モネル巻き(2mm)				○	同上(ポリエチレン)	ポリエチレン(押出し成形, 4mm)	○	○	○	○
	チタンクラッド(0.5mm)				○		ポリエチレン(押出し成形, 4mm)			○	○
	アルミ溶射(100μm)+タールエポキシ(300μm×2)	○		○			粉体ポリエチレン(8mm)			○	
金属溶射+塗装	アルミ溶射(100μm)×ビニロクロス補強タールエポキシ(300μm×3)	○		○		同上(ポリウレタン)	ポリエチレンシュリンクチューブ(3mm)			○	
	アルミ溶射(100μm)+ガラスクロス補強タールエポキシ(300μm×3)		○		○		エポキシ粉体塗装(0.3mm)+ポリエチレン(押出し成形, 4mm)			○	○
	アルミ溶射(封孔処理, 200μm)	○		○			ポリウレタンゴム(4mm)		○	○	
	亜鉛溶射(100μm)+タールエポキシ(300μm×2)	○		○		同上(その他)	発泡ポリウレタン(10mm)			○	
塗装	HB無機ジンク(75μm)+タールエポキシ(300μm×3)	○	○	○	○		ウレタンマシック(3mm)		○	○	
	HB無機ジンク(75μm)+ガラスクロス補強エポキシ(300μm×3)	○	○	○	○		ブチルゴム(4mm)			○	
	HB無機ジンクリッチペイント(100μm)			○		無機質ライニング	クロロブレンゴムシート(5mm)			○	
有機質ライニング(エポキシ)	レジシモルタル(エポキシ20wt%, 4mm)	○	○	○	○		アスファルトマシック(10mm)			○	
	レジシモルタル(エポキシ33.3wt%, 5mm)			○			ペトロラタム含浸テープ(2mm)+FRP(3mm)			○	
	ガラスフレーク入りエポキシ(2mm)				○		スチールファイバーコンクリート(型枠10mm)	○			
	水中硬化型エポキシ(5mm)				○		スチールファイバーコンクリート(吹付け5mm)	○			
	タールエポキシマシック(14mm)				○		セメントモルタル(47mm)+FRP(3mm)		○	○	○
	不織布含浸エポキシテープ(3mm)				○		ガラス繊維入りセメントモルタル(20mm)			○	○

注：① ○印は暴露場所（C：東京湾千葉市沖，A：茨城県阿字ヶ浦沖）。

② 杭の大きさ（Cではφ508mm×145m・防食部分6m，Aではφ609.6mm×116m・防食部分6m）。

③ 試験片の大きさφ100mm×12m。

り、塗り重ね回数も少ない、と利点は多いが、施工上に問題点が残されており、特に塗替え時の現地施工方法には検討の余地が残されている。

以上述べたごとく耐久性に優れた長期防錆型塗装系が開発されてきていて、大いに期待されるが、維持管理技術を含めて一貫した技術としては、なお今後の技術開発の推進が期待されている。

2.3.2 飛沫部、干満部の防食技術

飛沫部、干満部では絶えず波浪、しぶきの影響を受けて腐食が最も激しいのみならず補修が極めて困難となるため、最も耐久性の優れた防食が必要とされる。従来の海洋構造物では飛沫部、干満部でも一般に重防食塗装が行われているが、近年、飛沫部、干満部に適用する新しい防食材料の研究開発が進められている。その例を表3に示す。代表的な防食材料の約10年間の暴露試験結果を表4に示す。これら防食材料は構造物の形状等によっては必ずしも適用できないものもあり、これらの適用性を表5に示す。

これらの防食材料の中には非常に耐久性の優れたもの

もあり、耐海水性のステンレス鋼などの金属被覆はメンテナンスフリーと期待されるが、実構造物の適用に当たっては加工技術の確立とコスト的にどこまで合理化できるかなどの課題が残されている。ポリエチレンライニング(押出し成型)は、10年間の実海域の暴露で生物付着、波浪等による損傷も非常に少なく、さらに長期の耐久性が期待できるが、鋼管板など円柱形の形状のものにしか適用できない。従来から一般に用いられてきた重防食塗装よりはるかに耐久性の優れた防食材料が開発されているが、それぞれ一長一短あり、海洋構造物の種類に応じて適材適所の利用をはかっていくことが重要である。

2.3.3 海中及び海底土中部の防食技術

海中及び海底土中部では電気防食が最も信頼性の高い防食方法であり、従来から一般に用いられている。電気防食を行う場合には、構造物の設置される環境条件に応じて、適切な防食電位及び防食電流密度を定める必要がある。電気防食の方法には外部電源方式と犠牲陽極方式の二通りの方式があるが、従来の海洋構造物では一般に犠牲陽極方式が行われている。

表4 防食鋼管杭の調査結果のまとめ(千葉沖)⁹⁾

防 食 被 覆 の 種 類	被 覆 の 状 況	生物の付着状況
無 処 理	全体的にかなり腐食が進行している。	フジツボ、い貝
ステンレス鋼(25Cr-13Ni系)巻き(3mm)	溶接部にさび色の変色があるが、腐食の進行は認められない。被覆境界部の無処理ぐいに凹凸腐食が多数発生している。	フジツボ、い貝
耐海水鋼(Cu-Cr-Al系)巻き(6mm)	全体的に腐食は進行している。干満帯は比較的緻密なさび層で覆われている。被覆境界部の無処理ぐいに凹凸腐食がみられる。	フジツボ、い貝
アルミ溶射(200 μ m)(封孔処理)	大気～飛沫帯では白さびが点在し、干満帯では犠牲防食効果のため、アルミの消耗が進んでいる。	フジツボ、い貝 緑色のこけ
アルミ溶射(100 μ m)+タールエポキシ塗装(300 μ m $\times$ 2)	大気部は塗膜の剥離、ふくれが数箇所発生している。飛沫帯干満帯で塗膜の剥離が著しく、アルミ溶射もほとんど消耗し、赤さびが発生している。	フジツボ、い貝
アルミ溶射(100 μ m)+ビニロクロス補強タールエポキシ塗装(300 μ m $\times$ 2)	大気～飛沫帯は塗膜の剥離が各所にみられ、赤さび及び白さびが混在している。干満帯では比較的大きな塗膜の剥離があり、赤さびが発生している。	フジツボ、い貝
亜鉛溶射(100 μ m)+タールエポキシ塗装(300 μ m $\times$ 2)	大気～飛沫帯は比較的良好であるが、干満帯に大きな塗膜の剥離があり、亜鉛溶射もほとんど消耗し、赤さび及び白さびが混在している。	フジツボ、い貝
無機ジンクリッチペイント塗装(75 μ m)+タールエポキシ塗装(300 μ m $\times$ 3)	大気～飛沫帯は小さくなく、ふくれが数箇所みられる程度であるが、干満帯は比較的大きな塗膜の剥離があり、赤さび及び白さびが混在している。	フジツボ、い貝
無機ジンクリッチペイント塗装(75 μ m)+ガラスクロス補強エポキシ塗装(300 μ m $\times$ 3)	大気～飛沫帯には小さくなく数箇所あり、若干発錆しているが、干満帯の塗膜に異状は認められない。	フジツボ、い貝 緑色のこけ
ポリエチレン押出しライニング(4mm)	全般的に外観は良好	フジツボ、い貝
エポキシ系レジンモルタルライニング(4mm)	大気部の大きなうちきずによる剥離及び一部の被覆にクラックの発生がみられる。全般的に薄さび色を呈している。	フジツボ、い貝 緑色のこけ
ファイバーコンクリートライニング No.12(型枠:100mm) No.12'(吹付け:50mm)	全面にスチールファイバーによる点線状のさびがあり、杭の上部に小さなクラックが生じている。	フジツボ、い貝 緑色のこけ

表 5 飛沫部・干満部の防食技術の適用性⁹⁾

防 食 法		人 工 島		鋼 管	ケー	浮 体
		鋼矢板	鋼管矢板	基 礎	ソン	構造物
塗 装	クロス材併用なし	○	○	○	○	○
	“ あり	×	×	○	×	×
有機ライニング	ポリエチレン(押出し)	×	×	○	×	×
	“ (粉末)	△	○	△	△	△
	レジンモルタル	○	○	○	○	○
	防 食 テ ー プ	×	×	○	×	×
無機ライニング	—	○	○	○	○	○
	FRP 型 枠 使 用	×	△	○	×	×
金 属 溶 射	—	○	○	○	○	○
耐食性金属被覆	—	○	○	○	○	○
低合金系耐海水 鋼犠牲鉄板巻き	—	○	○	○	○	○

注) ○適用容易, △適用困難, ×適用不可能

表 6 電気防食装置の設計基準 (代表的な例)¹⁰⁾

環 境 因 子 (1)					
地 域	海水抵抗 (oh/m-cm)	水温 (℃)	波 浪 作 用 (Wave Action)	潮 流	代表的な設計電流密度(2) mA/ft ² (mA/m ²)
Gulf of Mexico	20	22	Moderate	Moderate	5~ 6 (54~ 65)
U.S.West Coast	24	15	“	Low	7~ 8 (76~ 86)
Cook Inlet	50	2	Low	High	35~40 (380~430)
North Sea	26	12	High	Moderate	8~15 (86~162)
Persian Gulf	15	30	Moderate	Low	7~10 (76~108)
Indonesia	19	24	“	Moderate	5~ 6 (54~ 65)

注(1) 河口から離れた, 平均的条件に基づいた代表的数値。
注(2) 通常の中水中では, 上記設計電流密度によって分極が達成し, 石灰質被膜が形成すると, 構造物を防食電位に保持するには設計値より小さい電流密度で十分である。
(注意) 暴風雨により復極を生じることがある。

実際の海洋構造物で採用されている電気防食の設計基準値の例を表 6 に示す。また, 近年行われた電気防食の設計方法に関する研究の結果, 海洋環境条件に応じた防食電位と防食電流密度の設計基準値として表 7 及び 8 の値を取るべきことが明らかにされている。防食電位に応じて犠牲陽極の種類, 初期電流密度に応じて陽極の設置箇所数, 定常電流密度に応じて 1 箇所当たりの陽極重量が定まる。

しかし, 陽極の設置箇所数は, 構造物の形状等によっても異なるはずであり, 形状に応じた設置方法, メンテナンスを容易にするための設置方法など, 海洋構造物の種類に応じて適切な陽極の設置を行う必要がある。また, 電気防食をより合理的に行うために, 電気防食と塗装を併用することが考えられ, 近年, 電気防食と併用するための塗装材料が開発されてきている。

表 7 防食電位 (単位 mV)¹¹⁾

電 気 防 食 の 種 類	電 気 防 食	複 合 電 気 防 食 (塗装併用)
環 境		
清 浄 海 域 (低温, 希釈環境を含む)	-770	-770
汚 染 海 域	-900	ただし下限を -1,100とする
高 潮 流 海 域	770	

(vs. SCE)

3. 浮遊式構造物用の係留系の防食技術

3.1 係留技術の現状

浮遊式海洋構造物の場合, 定位置に固定するために構造物を係留する必要がある。係留の方法として, 索鎖によって浮体を直接係留するカタリナ係留, ドルフィンに浮体を係留するドルフィン係留等がある。係留材としてチェーン及びロープが用いられている。一般にチェーン

表 8 防食電流密度 (mA/m^2)¹¹⁾

電気防食の種類 環 境		電 気 防 食		複合電気防食（塗装併用）	
		初期防食電流密度	定常防食電流密度	初期防食電流密度	定常防食電流密度
清 浄 海 域 (低温、希釈環境を含む)	海水中	100	50	左記の値に塗膜のはく離率を乗じた値	左記の値に塗膜のはく離率を乗じた値
	土 中	20	10		
汚 染 海 域	海水中	$100 \times K$	$50 \times K$		
	ヘドロ中	150	100		
高 潮 流 海 域	土 中	$20 \times K$	$10 \times K$		
	2 m/s	230	115		
	5 m/s	270	135		

備考：Kは汚染の程度に応じて1.2より1.5までの範囲とする。

図 7 BAHAMA 島沖深海ブイの電気防食¹²⁾

には高張力鋼，ロープにはワイヤーロープ及び合成繊維ロープ（ナイロン等）が用いられている。しかし，従来係留系の損傷による浮体の流出事故が多く，その対策が問題となっている。一般には1～2年ごとに点検補修を行い，数年で取り替える必要があるといわれている。係留系の損傷原因には，衝突，突風，台風等による設計値以上の衝撃力の作用と係留材の摩耗腐食，疲労腐食による劣化が考えられている。

3.2 係留系の防食技術と問題点

係留系の防食には一般に犠牲陽極による電気防食が行われている。図7及び8に電気防食例を示す。係留系では摩耗腐食及び疲労腐食の影響を受けるため，その設計に当たっては，構造技術の面と防食技術の面と両面からのつめが不可欠である。しかし，実際の海洋環境での係留系の摩耗腐食及び疲労腐食については不明点が多く，またその電気防食の効果についても十分な説明がなされていず，係留系の防食技術はまさに今後の研究課題

図 8 ブイチェーンの電気防食¹³⁾

といえる。浮遊式海洋構造物の実用化をはかるには，防食技術を含めた係留システムの総合的な開発が不可欠である。

4. あとがき

海洋構造物の防食技術には，今後開発していくべき技

術的問題点が多く残されている。現在, 各方面で積極的に技術開発が行われているが, なかでも科学技術振興調整費による「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究」の一環として実施されている「海洋構造物の耐久性向上技術の開発に関する研究」では, 各省庁はもとより民間機関が協力して, 海洋構造物の防食技術に関する研究が総合的に実施されており, 今後の成果が期待されている。
(1986 年 4 月 14 日受理)

文 献

- 1) H. A. Humble: *Corrosion* **5**, 292 (1949).
- 2) 栄 幸雄: 金属材料, **10**, [9], 12 (1970).
- 3) 小若正倫ほか: 住友金属, **19**, [2] (1967).
- 4) 森 芳徳ほか: 東京湾における鋼材の腐食, 土木技術資料, **16**, [11] (1974).
- 5) 建設省土木研究所ほか: 東京湾における鋼材の腐食防食試験, 土木研究所資料, No. 1245 (1977).
- 6) F. M. Reinhart: U.S. Naval Engineering Laboratory, Technical Note, N-900 (1967).
- 7) 鋼材倶楽部: 海洋構造物の設計施工指針, (1976).
- 8) 建設省土木研究所: 海洋構造物の保守管理技術に関する報告書, (1982).
- 9) 鋼管杭協会: 鋼管杭とその海洋ばくろ試験記録 (その 10) (1983).
- 10) NACE Standard RP-01-76: 固定式沖合プラットフォーム, (1976).
- 11) 建設省土木研究所, (財) 土木研究センター: 電気防食設計指針・同解説 (1985).
- 12) L. J. Waldron *et al.*: *Mater. Prot.* **4**, [8] (1965).
- 13) R. W. Drisko: *Ocean Industry*, (1972).