海洋構造物の重防食システム

藤 田 正 敏*

Heavy Duty Coating Systems for Marine Structures

Masatoshi FUJITA*

Key Words : Heavy Duty Coating, Weather Resisting Coating, Splash Zone, Long Suspension Bridge

海洋構造物の環境と腐食特性を述べ、防食が一番困難な飛沫帯への新しい防食提案と、防食と同時に美観が要求される海上長大橋の塗装システムについてフッ素などの高耐候性塗料の性能を含めて解説する。

1. まえがき

海洋開発の基本は海洋を人間の役にたてるように工学的に開発することにある。これを行うに必要な海洋構造物はその開発目的によって多くの種類が存在する。しかし、これらの構造物は防食塗装に関係する者にとって、最も難しい対象物ではないかと考えている。海洋構造物は簡単に塗り替えができないため長期のメンテナンスフリーが要求されること、塗料や塗装システムでの長期の防食実績が少ないこと、また、実際の構造物での防食性能を再現できる試験方法が十分に確立できていないことなどがその理由となる。とはいえ先輩諸氏の研究や努力によってある程度の防食方法や防食システムが確立されており、本文では海洋構造物の腐食特性を説明した後、海洋構造物で最も防食が困難な飛沫帯や干満帯への取り組みと海洋開発以外に華やかな観光資源としても位置づけられる海上長大橋の最新の防食システムについて詳

しく述べてみる。

2. 海洋環境と腐食特性

海洋構造物の防食設計を行うためには、海洋構造物を構成する材料が主として鋼材であり、この鋼材の海洋環境での腐食傾向をまず把握する必要がある。海洋環境は海土中、海中、干満帯、飛沫帯、そして大気暴露部の5つに区分できる。図1は鋼構造物の各環境での腐食程度を示したものである¹⁾。それぞれの環境の腐食特性を具体的に説明する。

2. 1 大気暴露部での腐食

大気暴露部での腐食要因には気象因子（気温、

図1 海洋環境と鋼材の腐食程度

* 関西ペイント(株) (〒254 神奈川県平塚市東八幡4-17-1) Kansai Paint Co., Ltd. (17-1, Higashi-Yawata 4-chome, Hiratsuka-shi, Kanagawa 254)

湿度、降雨量、日照、風向）や大気汚染因子（結露、海塩粒子、亜硫酸ガスなど）がある。海岸地域での鋼材の腐食速度と諸因子の関係式を下記に示す²⁾。

$$Y = 5.61 + 2.754X_1 + 6.155X_2$$

Y = 1年間の普通鋼の腐食量 (mdd)

X_1 = 平均海塩粒子量 (mg/dm²)

X_2 = 平均亜硫酸ガス量

$$(\text{SO}_3\text{mg/day} - 100\text{cm}^2 \text{ PbO}_2)$$

この式から、海岸地域の大気暴露において腐食を促進する因子は海塩粒子と亜硫酸ガスである。しかしながら、この調査は1970年代に行われており、当時に比べ大気汚染は大幅に改善されており、現在の亜硫酸ガスの影響はかなり小さく、腐食の因子の代表は海塩粒子と理解すべきであろう。

2. 2 飛沫帯腐食

図1で見られるようにHWL(High Water Level)より少し上の飛沫帯の腐食が最も激しい。この部分では海塩粒子の付着、日光の照射、酸素と水分の供給などによって大気中の約3倍の腐食となり、最も高度な防食設計が必要な箇所である。干満帯は似たような位置にもかかわらず、腐食が小さいのは海中部に連続していることで酸素濃淡電池のカソードとして作用するためである。しかし、塗装された部分が損傷した場合の腐食は飛沫帯と同じ腐食を示す。

2. 3 海水腐食

海水中の腐食は電気化学的であり、多くの因子が作用するために複雑な腐食現象が生じる。この因子については次のようなものがある。

(1) 溶解成分（塩分濃度）と電気電導度

塩分濃度はNaClが0.58%の時に最大の腐食量となる³⁾。従って高濃度塩水よりも河川水と海水が混合する環境での腐食が大きい。逆に比抵抗は塩分濃度が20%までは濃度に比例して低下するので電気化学的作用が大きくなり局部腐食を促進する。

(2) 溶存酸素

水中における金属の腐食は酸素拡散支配形であり、腐食は表面に供給される酸素量によって腐食速度が決定する。図2⁴⁾に水深と溶存酸素量の関係を示すが、水深の浅い表層では

図2 溶存酸素（水温、pH、塩分）と水深との関係

溶存酸素も大きく腐食も大きい。

(3) 海水温度

腐食は酸素の拡散速度と表面での化学反応が関係する。このため温度の上昇とともに促進される。

(4) 水流

水流の増加は酸素の拡散を助長し、分極を抑制するので腐食を促進する。

(5) 水深

図2から塩分量と水温は水深とともに低下し、1500～2000mではほぼ一定値になるが、溶存酸素は深度800mで極小値を示すため、水深約800mで最小の腐食量となる。

(6) 生物付着

鋼材表面に付着したフジツボやカキなどの生物は金属面に対し陰極に作用し腐食を促進する。また、深水域では生物の酸素の消費によって酸素濃淡電池を形成し、局部腐食の原因になる。

(7) 異種金属接触

鋼材よりも自然電極電位が高い異種金属と接触した場合、鋼材がアノードになり、著しい腐食を生じる。

(8) 海土中腐食

海土中での腐食は一般に減少するが腐食性物質が存在する場合や硫酸塩還元バクテリアなどが繁殖すると腐食は増大する。

3. 海洋構造物の防食システム

3. 1 飛沫帯と干満帯への防食の取り組み

飛沫帯や干満帯に推奨される新設塗装システムを表1に示す⁵⁾。素地調整と下塗は共通で、ブラスト処理と厚膜型ジンクリッチペイントを採用し、

エポキシ、タールエポキシ、塩化ビニル、フレーク入りポリエステル樹脂塗料をそれぞれ上塗りすることを基本としており、推奨合計膜厚は475μm～1015μmである。しかし、これらの期待耐久年数は10年程度とされており、海洋構造物の本体に期待される耐久性に比べてかなり短く感じられる。

これに対して、より長期の防食を期待する方法が最近提案されている。この塗装系はエポキシジンクリッチプライマーと超厚膜型エポキシ樹脂塗料を組み合わせており、すでに関西国際空港連絡橋の下

表 1 海洋構造物の飛沫帯、干満帯の防食仕様例

No.	塗装系	工 程	素地調整	下 塗 り (プライマー)	ミスト コート	中塗り～上塗り	上塗り ＜合計膜厚＞*
1-1	エポキシ樹脂塗料		SIS Sa 2 1/2	厚膜型無機質ジンクリッチ ペイント (75 μm)	有	エポキシ樹脂塗料 (200 μm × 2 回)	<475 μm>
1-2	エポキシ樹脂塗料 + ポリウレタン樹脂塗料		同 上	同 上	有	同 上	ポリウレタン樹脂塗料 (30 μm) <505 μm>
1-3	エポキシ樹脂塗料 + フッ素樹脂塗料		同 上	同 上	有	同 上	フッ素樹脂塗料 (30 μm) <505 μm>
2	タールエポキシ樹脂塗料		同 上	同 上	有	タールエポキシ樹脂塗料 (200 μm × 2 回)	<475 μm>
3	塩化ビニル樹脂塗料		同 上	同 上	有	塩化ビニル樹脂塗料 (200 μm × 2 回)	<475 μm>
4	ガラスフレーク入り塗料		同 上	有機質ジンクリッチプライマー (15 μm)	無	ガラスフレーク入り ポリエステル樹脂塗料 (500 μm × 2 回)	<1015 μm>

※一般に膜厚が厚いほど耐食性はよくなるが、構造物の寿命、補修の難易度、経済性などを勘案して膜厚は決められる。

表 2 関西国際空港連絡橋下部工の塗装系一覧表

塗装系 No.	適用箇所	塗装条件		1 次素地調整 (原板プラスト)	2 次素地調整 (製品プラスト)	第 1 層	第 2 層	第 3 層	第 4 層	第 5 層	第 6 層	合計乾燥 膜 厚	備 考
		工場	現場										
A	海上大気部 (一般外面)	○		無機ジンクリッチ プライマー 20 (200)	○	厚膜型無機 ジンクリッチペイント 75 (700)	ミストコート — (160)	厚膜型エポキシ 下 塗 100 (500)	厚膜型エポキシ 下 塗 100 (500)	ポリウレタン用 中 塗 30 (170)	ポリウレタン 上 塗 30 (140)	335	
B	飛 沫 部 干 満 部 (外 面)	○		無機ジンクリッチ プライマー 20 (200)	○	エポキシジンクリッチ プライマー 20 (200)	超厚膜型 エポキシ塗料 2500 (6000)	—	—	—	—	2,520	犠牲鋼板外面
C	海 中 部	○		無機ジンクリッチ プライマー 20 (200)	○	厚膜型無機 ジンクリッチペイント 75 (700)	ミストコート — (160)	タールエポキシ 150 (450)	タールエポキシ 150 (450)	—	—	375	フーチング鋼板外 面を含む
D	橋脚内面 (一般内面)	○		無機ジンクリッチ プライマー 20 (200)	○	厚膜型無機 ジンクリッチペイント 75 (700)	ミストコート — (160)	タールエポキシ 110 (330)	タールエポキシ 110 (330)	タールエポキシ 110 (330)	—	405	コンクリート埋設 部は除く
E	溶接内面 および外面	○		無機ジンクリッチ プライマー 20 (200)	○	厚膜型無機 ジンクリッチペイント 75 (700)	—	—	—	—	—	75	(注 1)
G	溶接外面 (橋脚内面)	○	○	—	(注 2)	ミストコート — (115)	タールエポキシ 80 (210)	タールエポキシ 80 (210)	タールエポキシ 80 (210)	タールエポキシ 90 (240)	—	330 (405)	(注 3)

注：a) 表中の数字は標準塗膜厚（単位：ミクロン）を示す。
b) 表中の（ ）は塗料標準使用量（単位：g/m²）を示す。
(注 1)：継手母材・スプレッドプレートの摩擦面および非接触面は、当塗装系とする。
(注 2)：a) 2 次素地調整以前に塗装系No.5の処理を施した部材を使用する。
b) 自腐等はパワーツールにて除去する。
c) 発錆部分はパワーツール処理後厚膜型エポキシジンクリッチペイント 30 (220) に補修塗装を行う。
(注 3)：第 2 層目以降に無溶剤型タールエポキシを用いる事ができる。
(注 4)：工場溶接継手部および現場溶接継手部の塗装系については、別紙塗装仕様書をご参照下さい。

部工や東京湾横断道路の人工島ジャケット用工事に採用されている。表2は関西国際空港連絡橋の下部工の塗装系一覧であるが、このうち塗装系NaBのエポキシジnkプライマー(20 μ m)+超厚膜型エポキシ樹脂塗料(2500 μ m)の塗装系がそれである⁶⁾。この下部工の防食は塗料だけでなく、鋼材(防食板)やそれに注入したコンクリートを含めた複合的な耐久年数を推定し、構造物本体と同じ耐久性を期待した設計になっている。

図3はこの複合的な防食による腐食対策の考えかたであり⁷⁾、構造物本体の耐久年数と同じ100年という長期の防食性を意識した新しい取り組みである。

3. 2 海上長大橋の防食システム

橋梁構造物のほとんどは公共のものであり、この防食設計や維持管理は便覧、指針、基準書などに準じて行われる。これらの便覧、指針、基準書は、監督官公庁、その分野の専門家や学識経験者、そして、橋梁製作会社、塗料メーカーなどの実務担当者が参画して作成される。防食システムには

共通点が多いためその内容はいずれもよく似ている。ここでは、最も先端にある本州四国連絡橋公団の防食システムをその代表として説明する。

(1) 防食設計の基本

具体的な防食システムの説明前に防食設計に必要な情報をまとめてみる。図4は海上の筏に水平暴露された試験片の塗装膜厚と防食性との関係をまとめたものであり、海上で長期間安定な防食性を維持するために必要な膜厚が250 μ m以上であることが判る⁸⁾。図5は素地調整と防食性との関係で、ブラスト処理と機械工具(パワーツール)処理した鋼材にエポキシ樹脂塗料をそれぞれ100 μ m, 200 μ m, 300 μ mの膜厚で塗装し、海浜地区に5年間暴露した結果である。機械工具処理した試験片では膜厚をかなり厚くしても防食性は十分でなく、一方、ブラスト処理面ではある程度の膜厚を確保すれば良好な防食性が維持されており、防食の基本として言い尽くされている素地調整の大切さが再認識できる。

また、図6はジンクリッチペイントの効果を示

- (注) 1. 厚塗塗装の耐用年数を素地発錆まで20年、塗膜消失まで30年とする。
2. 鋼材の浸食度は飛沫帯で孔食深さ1mm/年、平均0.5mm/年とする。
3. コンクリートの防食効果は、調査・試験データから推定。
参考：海洋コンクリート構造物の防食指針(案)(JCI)では、かぶり厚さ12.5cmで半永久的耐久性あり。

図3 100年間無補修防食の考え方

すものであり、損傷部を想定して暴露前に傷をつけて試験した部分はジンクリッチペイントの有無によって大きな差があり、ジンクリッチペイントを下塗りした試験片は傷からのさび成長が抑制されている。実際の工事において塗膜の損傷を避けることは事実上不可能である。特に工事期間が長くなる大型構造物ではできるだけ損傷部を小さく、それに準じた補修面積も小さくすることが大切で

あり、下塗りとしてジンクリッチペイントは優先して採用すべきである。すこし乱暴なまとめかたをすれば、現在の重防食設計は、ブラスト処理を原則とし、ジンクリッチペイントとエポキシ樹脂塗料を必要な耐久性に合わせどのような膜厚で組み合わせるかがポイントといえる。上塗り塗料については耐候性を含めて後で述べる。

(2) 外面の塗装システム

表3は本州四国連絡橋公団の海峡部に架設される新設橋梁の塗装系一覧である⁹⁾。外面用は塗装系記号Eであり、海上環境で15年の耐久性が求められている。すでに10年を経過した大三島橋は同様の塗装システムで塗膜が健全であること、8年経過した因島大橋のポリウレタン樹脂塗料の消耗度などから判断して¹⁰⁾要求されている15年という塗膜寿命はそれほど困難でないことが確認されつつある。

この塗装システムは工程面で大きな特徴がある。海上長大橋は大型であり工場製作から現地架設までに長期間を要する。このため、従来の塗装工法のように工場塗装と現地塗装に区分すると塗装間隔が長くなり、工場と現地塗膜の層間で付着不良が懸念され、また、海上輸送や架設後に付着する海塩粒子なども同じく層間での付着性に不安を与える。さらに現地での水洗、素地調整、塗装作業などには種々の制約があり、管理も十分にできな

図4 海上筏暴露における塗膜厚と耐久年数

素地調整	ブラスト処理 (SSPC SP-10)			パワーツール処理 (SSPC SP-3)		
エポキシ樹脂塗料乾燥膜厚	100μm	200μm	300μm	100μm	200μm	300μm
暴露5ヶ年						
一般部	1~3%錆	異常なし	異常なし	全面錆	全面ふくれ錆	全面ふくれ錆
カット部錆幅	10mm	35mm	35mm			

暴露場所：千葉県千倉海浜暴露場(海岸線より10m以内：水平暴露)

図5 素地調整レベルとエポキシ樹脂塗料の膜厚との関係

い。これらの問題を回避するために、工場において上塗り塗料までのすべての工程を塗装し、現地では継手部と損傷部の補修塗装のみとする工法を

採用している。素地調整には製品ブラスト方式、すなわち、橋梁をブロックの形に製作した後にブラスト処理する方法を採用し、問題のあったショッ

素地調整	ブラスト処理 (SSPC SP-10)				
ジンクリッチペイント乾燥膜厚	エポキシジンクリッチプライマー		15μm	エポキシジンクリッチペイント75μm	無機ジンクリッチペイント75μm
エポキシ樹脂塗料乾燥膜厚	100μm	200μm	・ 300μm	250μm	
暴露5ヶ年
一般部	0.03%錆	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
カット部錆幅	2mm	1mm	0mm	0mm	0mm

暴露場所：千葉県千倉海浜暴露場(海岸線より10m以内：水平暴露)

図 6 海浜暴露におけるジンクリッチペイントの効果

表 3 本州四国連絡橋公団 新設塗装系一覧表（海峡部橋梁）

一般塗装部別	塗装系記号	塗装仕様 適用部位	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	乾燥塗膜厚(μm)
			1 次	2 次								
海峽部	E	外 面 用	原 板 ジ ン ク リ ッ チ ブ ラ ス ト イ マ ー 20	製品ブラスト	厚膜型無機ジンクリッチペイント 75	ミストコート	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗 60	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗 60	エポキシ樹脂塗料中塗 30	フッ素樹脂塗料上塗 25		250
	F	内 面 用		パワー	酸性エポキシ樹脂塗料 90	酸性エポキシ樹脂塗料 90	酸性エポキシ樹脂塗料 90					270
	G	継手部外面用（工場・現場継手部）		製品ブラスト	厚膜型無機ジンクリッチペイント 75	ミストコート	超厚膜型エポキシ樹脂塗料 300	エポキシ樹脂塗料中塗 30	フッ素樹脂塗料上塗 25			430
	H ₁	工場継手部内面用			厚膜型無機ジンクリッチペイント 75	ミストコート	酸性エポキシ樹脂塗料 90	酸性エポキシ樹脂塗料 90	酸性エポキシ樹脂塗料 90			345
	H ₂	現場継手部内面用			厚膜型無機ジンクリッチペイント 75	無機和型酸性エポキシ樹脂塗料 (90)	無機和型酸性エポキシ樹脂塗料 (90)	無機和型酸性エポキシ樹脂塗料 (90)				345
	I	トラス部材継手の内面用			厚膜型無機ジンクリッチペイント 75	ミストコート	超厚膜型エポキシ樹脂塗料 (300)					375
	J	系 接 板 用			厚膜型無機ジンクリッチペイント 75							75
	K	鋼床版上面用			厚膜型無機ジンクリッチペイント・鋼床版上面用 50							50
	L	鋼床版現場溶接部の裏面用		パワー	エポキシ樹脂プライマー (30)	超厚膜型エポキシ樹脂塗料 (300)	エポキシ樹脂塗料中塗 (30)	フッ素樹脂塗料上塗 (25)				385
	M	近距離つき面用		油脂等除去	段々型処理エポキシ樹脂プライマー (20)	酸性エポキシ樹脂塗料 (60)						80
橋梁部	N ₁	ケーブル管用、主ケーブル	パワー	防 錆 処 理	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗 (40)	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗 (40)	エポキシ樹脂塗料中塗 (30)	フッ素樹脂塗料上塗 (25)	ノンスリップフッ素樹脂塗料			135
	N ₂	ケーブル管用、ハンガーロープ・ハンドロープ			厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗 (40)	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗 (40)	エポキシ樹脂塗料中塗 (30)	フッ素樹脂塗料上塗 (25)				135
	N ₃	ケーブル管用、ハンガーロープ（浸せき塗装）			厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗（浸せき110）	フッ素樹脂塗料上塗（浸せき25）						135
	N ₄	ケーブル管用、ケーブルバンド（外面）			厚膜型無機ジンクリッチペイント 75	ミストコート	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗60	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗60	エポキシ樹脂塗料中塗30	フッ素樹脂塗料上塗 25	ノンスリップフッ素樹脂塗料	250
	N ₅	ケーブル管用、ケーブルバンド（内面）			厚膜型無機ジンクリッチペイント 75							75
	O	塗装困難な場所用			厚膜型無機ジンクリッチペイント 45	ミストコート	エポキシ樹脂ガラスフレック塗料 350	エポキシ樹脂ガラスフレック塗料 350	エポキシ樹脂塗料中塗 30	フッ素樹脂塗料上塗 25		800

（注）表中の数字で（ ）のないものはスプレー塗装での乾燥塗膜厚を、（ ）があるものは、はけ塗りでの乾燥塗膜厚を示す。ただし、N は浸せき塗装での乾燥塗膜厚を示す。

プライマー損傷部や溶接線などの素地調整のバラツキを防止している。塗料の種類は先に述べたように厚膜型ジンクリッチペイントとエポキシ樹脂塗料を防食用に採用し、合計膜厚も海上部で安定な防食性に必要な膜厚とされる 250 μm となっている。

(3) 継手部の塗装システム

現地での継手部外面用の塗装システムは表 3 の塗装系記号 G であり、特徴は超厚膜型エポキシ樹脂塗料 300 μm の採用にある。過去に調査された本州四国連絡橋での早期の塗膜欠陥は、鋼材端部（エッジ部）と継手部のボルト、ナット部がそのほとんどであり、早急な対策が必要な箇所とされている。いずれも形状が角ばっており、防食に必要な膜厚が確保できないことがその原因である。鋼材端部は塗装システムではなく、均一な膜厚が確保できるようにエッジ部を丸く加工することで解決を計っており、ボルト、ナット部はこの超厚膜型エポキシ樹脂塗料を使用することで対策をとっている。

(4) 美観、景観用の上塗り塗料

外面の美観と景観保持に新たにフッ素樹脂塗料が上塗り塗料として採用されていることも最新塗装システムの特徴である。このフッ素樹脂塗料は明石海峡大橋から採用される予定で、これ以前の本州四国連絡橋のほとんどはポリウレタン樹脂塗料上塗りが採用されてきた。しかし、ポリウレタン樹脂塗料は、海浜地区で 3 カ年程度大気暴露試験されると光沢保持率が極端に低下し、10 年間暴露した試験結果では年間 2 μm 程度は白亜化などによって消耗するなどの情報があり¹³⁾、防食面での期待感に比べて長期の景観、美観面では問題ありとの印象が強かった。このため、高耐候性上塗り塗料として、フッ素樹脂塗料やアクリルシリコン樹脂塗料などが登場し、このうち、フッ素樹脂塗料が本州四国連絡橋公団に採用されている。図 7 は橋梁に使用される各種上塗り塗料の光沢保持率を促進耐候性試験で調査した結果であるが、フッ素樹脂塗料やアクリルシリコン樹脂塗料の耐候性がポリウレタン樹脂塗料などの従来品よりかなり高いレベルにあることが確認されている。光（紫外線）、酸素、熱、水などが塗膜の表面劣

図 7 各種上塗り塗料の促進耐候試験における光沢保持特性

化に作用するが、特に紫外線は塗膜を構成する樹脂の結合エネルギーの弱い部分を解離、励起し、表面劣化させる働きが強い。フッ素樹脂塗料は結合力の強い炭素とフッ素で主な樹脂が構成されており、紫外線のエネルギーによって解離、励起が少ないことが良好な耐候性の理由である。

また、明石海峡大橋の色彩は従来の本州四国連絡橋のグレー（マンセル値 N-7.5）色と違ってグレーグリーン色（マンセル値 5GY 7.5/1.5）に決定している。このため、光沢保持性だけでなく、色彩の変化に関しても高度なレベルが要求される。このように長大橋梁では架設環境への景観設計も重要なテーマとなっており、最近では色彩設計も各方面で注目され、その色彩も多様化する傾向にある。この色彩設計を完成させ、長期にその色彩を維持するためにも、フッ素樹脂塗料やアクリルシリコン樹脂塗料の役目はますます重要となってくる。

4. あとがき

新設における飛沫帯の防食設計には新しい提案がなされているが、既設の防食には目新しい提案がなく、防食、施工、経済面ですべてに有効な防食方法の完成を目指した研究が今後も必要であろう。海上橋なども同様で新設設計はほぼ満足のいくレベルにあるが、やはり、既設橋梁への塗り替え設計にはもう少し研究が必要である。塗装業界も世間にいわれる 3K 職種の代表のひとつであり、近い将来、この業務に従事する人的な確保は難し

くなる。このため、塗装の合理化と長期のメンテナンスフリーを目指した防食設計は我々の命題であるといえる。

(1992-3-12 受理)

文 献

- 1) 清水義明, 玉田明宏, 藤田 栄, 庄司憲生, 木田昭男; 海洋構造物の防食法, 日本鋼管技報, No35 (1982)
- 2) 陸上鉄骨構造物研究会; 防食技術, 22, 106 (1973)
- 3) A. Hache; Revue de Metallurgie, 53, No 1, (1956)
- 4) K. O. Gray; Environment of Deep Ocean Test Site, U. S. Naval Civil Engineering Laboratory, Technical Note, N-657 (1965)
- 5) 建設省土木研究所; 海洋構造物の防食指針, 同解説 (1989)
- 6) 関西国際空港㈱; 空港連絡橋塗装基準 (案) (1986)
- 7) 関西国際空港㈱; 空港連絡橋の鋼構造物の防錆防食指針 (案) (1986)
- 8) 桐村勝也, 橋本達知, 佐藤 靖, 大川敏夫; 鉄道技術研究所報告, No1070, (1978)
- 9) 本州四国連絡橋公団; 鋼橋等塗装基準, 同解説 (案) (1990)
- 10) 山本紀夫, 古家和彦, 杉山剛史; 因島大橋塗膜調査, 本四技報, 16, No61 (1992)
- 11) 関西ペイント技術資料; Wearing Rate of Weathered Various Coatings. (1985)