

[23] 台湾の海洋環境下における構造物の防食法に関する基礎的研究

佐久田 昌 昭 (日本大学理工学部)

正会員 ○ 川 上 光 男 (日本工業大学建築技術センター)

正会員 陳 文 源 (日本大学理工学部研究生)

1・はじめに

人類が人類として発展するようになったのは、鉄という金属を発見し、使用し始めた事からと言っても過言ではない。特に近代社会の生活は、金属によって支えられており、鉄鋼は現代文明に不可欠なものである。不幸にも、この貴重な材料は、常温の水と酸素の存在下で、湿食と呼ばれる腐食が発生する。省資源・省エネルギーが世界共通の目的となった現在、適切な防食手段を講じて、腐食による損失を防止することが一層重要となっている。我が国の生産・製造面から見た腐食対策費の総計は、年間3兆円に達するとの報告もある。これに腐食が原因となった操業停止、災害などの間接損失を加えれば、さらに数字は拡大する。

一般に、直接損失と間接損失を加えた腐食損失は、腐食対策が講じられない場合は非常に大きく腐食対策がある程度以上投入されると急速に減少する。腐食損失と腐食対策の和が最小となる場合が、最適な防食対策と考えられる。しかし、防食対策はその成果の確認に長期間を必要とし、金属の腐食程度並びにその進行状況については、その設置された環境条件に大きく左右される為、現状では、必ずしも満足する最適腐食対策が講じられているとは言えない。

先進諸国では、創造的技術開発の推進として、新材料・バイオテクノロジー・宇宙開発・海洋開発等の次世代の技術革新を計り、産業構造の高度化を展開しており、腐食対策はより一層重要視されると考える。

2・研究の目的

海洋構造物において、特に鉄鋼材料の腐食を抑制する必要がある、その防食法を検討する上で、まず海洋環境下における鋼材劣化の現状を把握しなければならない。本研究では、高温・多湿等の気象条件及び海象条件により、腐食が促進され易いと考えられる亜熱帯環境下の台湾における、沿岸域構造物及び各種作業機械等の工作物に使用されている、金属材料の腐食状況の調査を行い、調査対象の立地条件及び環境条件による劣化傾向の違い等を把握する。その上で、使用する金属材料の防食法(主として塗料による被覆)について、具体的方策を導くことを目的とする。

3・調査研究

3・1 調査方法

本調査は、沿岸域構造物・工作物及び海洋コンクリート構造物のひび割れ、剥離、鋼材・鉄筋の腐食等の被害状況を構造物に傷つける事のないように配慮し、綿密に観察した。又一部、内部鉄筋の腐食状況及びコンクリートの中酸化測定の為はつり作業を行った。同時に腐食状況のスケッチを行い、写真を撮影した。

3・2 調査対象地域の概要

I) 台湾の気象条件

台湾全島は、亜熱帯気候に属し、年間平均気温は、21.3℃～24.6で、北部から南部に向かって温度は上昇する。又、年間平均湿度は、75%～90%と非常に高い。年間降雨量は、北部海岸が最高で年間平均3000mmで、他の地域は1000mm程度である。

II) 調査対象地域

1) 西南部海岸の浸食が激しいA港

a) 1～10・31～57埠頭

b) 沿岸域鉄筋コンクリート構造物

2) 西部沖合のB島

B島は、台湾海峡の中にあり、大小64の小島と岩礁からなり、海岸線の全長は約326 kmである。

A港の配置を図-1に、A港22埠頭の配置を図-2に、B島略図を図-3に、それぞれ示す。

3.3 調査結果

A港第1港口と第2港口、B島の港口における鋼矢板の腐食状況及び海水の性状について調査した結果を表-1に示す。

表-1 調査港口の鋼矢板の腐食状況及び海水の性状

項目	海水抵抗率 (Ωcm)	海水NaCl濃度 (%)	腐食量 (mm/y)	最大腐食深さ (mm/y)
A-第1港口	20	3.4	0.66	4.2
A-第2港口	23	3.3	0.35	4.0
B島-港口	32	3.0	0.12	5.0

1) 西南部海岸の浸食が激しいA港

a) 1~10・31~57埠頭

コンクリート構造埠頭は、海水の浸食によりコンクリートが劣化し、又船舶の接岸衝撃によるコンクリートの損傷が調査箇所全域で認められた。護岸用鋼材は、層状腐食形態(B型)で指先で容易に落とせる程もろい状態の箇所も認められた。

b) 沿岸域鉄筋コンクリート構造物

第22埠頭に建つ経年10年の鉄筋コンクリート支柱では、調査箇所全部に内部鉄筋の腐食膨張による、ひび割れが認められた。一部コンクリートをはつき取り、内部鉄筋の腐食状況及びコンクリートの中性化測定を行った。ひび割れの著しい箇所の内部鉄筋は、鉄筋断面が欠損していた。結果の一部を表-2に示す。又、このコンクリート表面は、エポキシ樹脂塗料にて被覆してあるが、チョーキング劣化が著しく、その役割を果たしていない。

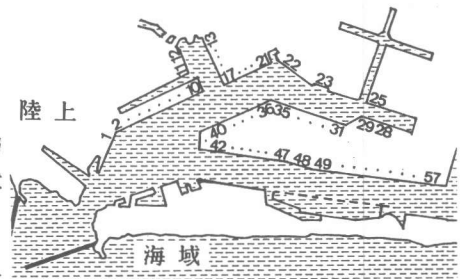


図-1 A港配置図 (数字は埠頭番号)

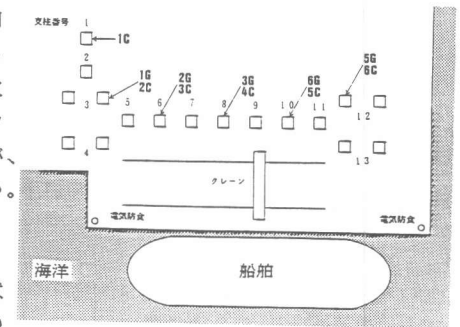


図-2 第22埠頭配置図

2) 西部沖合のB島 PC橋

本橋は、調査時点で12年経過しており、その劣化状況は著しいものである。橋梁主桁部側面は、内部鉄筋の腐食膨張により、コンクリートに大きなひび割れ(3mm以上)が発生し、主桁部下面では、コンクリートの剝離・剝落が起きている。内部鉄筋は腐食により断面欠損しており、PC鋼材用シースも腐食膨張により、その形態を失っている箇所も見受けられる。同様に、橋手摺部コンクリートにも内部鉄筋の腐食膨張による、ひび割れが発生しており、錆汁の流下も認められる。

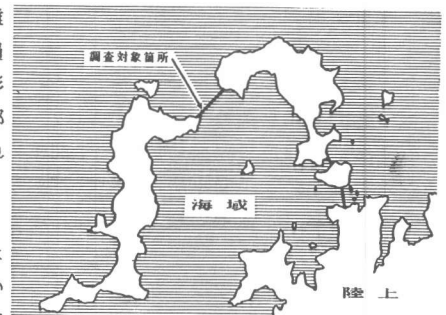


図-3 B島概略図

本調査結果より、台湾の沿岸域における、鋼材を主とした構造材料の腐食劣化は、日本本土と比べると著しいものがあり、現状の防食法では十分な抑制効果を期待出来ないと考えられる。

4・実験研究

亜熱帯気候地域である台湾の沿岸域は、その高温・多湿という環境条件ゆえ、金属の腐食を急速に促進させ、沿岸域構造物に対して多大なる被害を及ぼしていることを、再認識させられた。

本実験においては、こうした過酷な海洋環境下での金属部材の防食法として、部材を外部環境から保護することにより劣化を抑制する、塗装による防食法を主として、各種被覆材料の海洋環境下での適用性を問うと共に、さらに電気防食法を併用した場合、防食電位が塗膜に対していかなる影響を及ぼすかを分析し、その有効性を確認することを目的とする。

4・1 実験概要

本実験においては、海洋構造物被覆材料として良好とされる被覆材料を用いて、鋼製円柱・鋼製角柱・鉄筋コンクリート柱を被覆し、さらに電気防食も併用した上で台湾北部海洋環境下に投じ、その防錆能力について確認検討を行うものである。 表-2 調査結果(腐食・中性化)

1) 試験体形状

試験体の形状は、図-4に示す。尚、試験体は、鋼製円柱・角柱・鉄筋コンクリート柱の3種類で、合計38本(No. 1~No. 38)を製作した。本実験に使用した被覆材料の種別を表-3に示す。

4・2 実験方法

試験体を塗装による防食の他に、陰極防食法として外部電源法(自動制御方式)を併用し図-5に示す位置に設置した。暴露期間は、20ヵ月とした。

1) 測定項目

測定は、暴露実験開始より1・3・5・7・13・20ヵ月に行った。又、測定項目は、次の5項目である。a) 塗膜の付着力(kg/cm²) b) 塗膜の塩分量(mg/m²) c) 塗膜の電気抵抗(Ω/cm²) d) 塗膜の劣化(tanδ値) e) ピンホールテスト(個)

4・3 実験結果

暴露実験開始から20ヵ月後までに得られた結果の一部を表-3に示す。

1) 塗膜の付着力

① 付着力の低下は、鋼材では防食電位-1500mvの場合が、-880mvの場合よりも著しい。

② 鉄筋コンクリート柱の場合、防食電位の差による影響は少ない。

③ 付着力を比較的維持しているのは、エポキシタール系塗料で、低下の著し

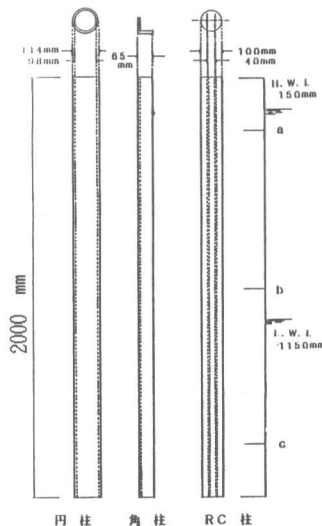


図-4 試験体の形状

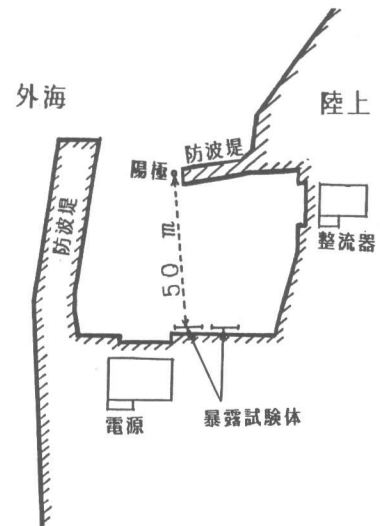


図-5 試験体設置場

いものは、塩化ゴム系塗料である。その他の塗料は、類似した傾向を示し、差異は少ない。

2) 塗膜の塩分量

- ① 全体的に防食電位の差による影響は少ない。
- ② 塗膜の塩分量は、角柱に被覆した場合の方が、円柱に被覆した場合に比較して少量多い。
- ③ 塗膜の塩分量の増加の著しいものは、塩化ゴム系塗料で5ヵ月以降急激に増加している。エポキシ系・エポキシタール系塗料も実験開始13ヵ月以降急激に増加している。

3) 塗膜の電気抵抗

- ① 電気抵抗の低下は、鋼材では防食電位-1500mvの場合が-880mvの場合よりも著しい。
- ② 鉄筋コンクリート柱の場合、防食電位の差による影響は少ない。
- ③ 電気抵抗の低下は、角柱に被覆した場合の方が、円柱に被覆した場合に比較して著しい。
- ④ エポキシ系・エポキシタール系塗料は、良好な結果を示し、塩化ゴム系塗料を除く他の塗料も良い結果を示している。

4) 塗膜の劣化

- ① 全般的に、防食電位-1500mvの場合が-880mvの場合よりも塗膜の劣化が大きい。
- ② 塗膜の劣化の著しいものは、塩化ゴム系塗料である。
- ③ エポキシ系・エポキシタール系塗料は、実験開始13ヵ月以降の劣化が急激である。又、この2種類の塗料については、角柱に被覆した場合の方が、円柱に被覆した場合に比較して劣化が大きい。

5) ピンホールテスト

- ① ピンホールテストで劣化の著しいものは、塩化ゴム系塗料である。
- ② 防食電位-880mvの場合、角柱・円柱の形状による影響は少ない。防食電位-1500mv場合、エポキシタール系・エポキシのガラスフレック系塗料において防食効果を示している。

5・まとめ

海洋環境下における鋼材腐食の事例調査より、調査対象とした台湾の沿岸域構造物においては、外観からも確認できる程度の鋼材の腐食と共に、内部鉄筋の腐食膨張による鉄筋コンクリート構造物の劣化が、観察された。亜熱帯気候である台湾の沿岸域では、日本本土と比べると著しいことを確認した。又、本実験結果より、台湾の海洋環境下で使用する塗料は、エポキシタール系・エポキシのガラスフレック系塗料が適応性が高いことを確認した。塩化ゴム系塗料を除く他の塗料は、一長一短の被覆性能であるが、適切な選択を行えば、使用可能と考える。

表-3 測定結果 (円柱試験体)

試験体番号	塗装膜の種類	付着力 (kg/cm ²)		ピンホールテスト (個)		塗膜劣化 (tan δ)		塗膜と電気防食の効果
		1ヵ月	20ヵ月	1ヵ月	20ヵ月	1ヵ月	20ヵ月	
1	無溶剤型	36	32	無	5	0.022	0.069	有り
20	エポキシ塗料	36	26	無	15	0.022	0.097	
2	無溶剤型	37	33	無	40	0.028	0.096	有り
21	エポキシタール塗料	36	31	無	5	0.026	0.121	
3	塩化ゴム塗料	27	19	無	80	0.086	0.302	過防食
22		27	8	無	全面	0.084	0.454	
4	エポキシの	36	30	無	10	0.068	0.143	有り
23	ガラスフレック塗料	35	24	無	5	0.067	0.152	
5	ビニールエステルの	35	31	無	10	0.058	0.134	有り
24	ガラスフレック塗料	35	27	無	15	0.064	0.173	
6	テープラッピング	—	—	無	10	—	—	—
25		—	—	無	10	—	—	
7	FRP 積層	33	29	無	15	0.064	0.132	有り
26		33	23	無	15	0.064	0.191	
8	無被覆	—	—	—	—	—	—	—
27		—	—	—	—	—	—	

試験体番号 上段 -880mv 下段 -1500mv