

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.17 (1985) No.2

---

水島製鉄所港湾構造物における電気防食設備と維持管理

Cathodic Protection System and the Maintenance of Harbor Facilities at Mizushima Works

橋本 正治 (Masaharu Hashimoto) 岡本 勝昭 (Katsuaki Okamoto) 森川 孝義 (Takayoshi Morikawa)

---

要旨：

水島製鉄所における港湾構造物延長約 22 km の防食対策は外部電源方式による電気防食を主体とし計画的に維持管理している。これらの防食効果を知るために、電位測定、テストピースによる確認、さらに実杭の厚み測定を行い、海中における鋼管杭、鋼矢板に対しその腐食量を非防食の 1/10 程度に押えることができおり、防食効果は十分発揮されていること、水島港における海中での非防食の鋼材の腐食量は運輸省基準より若干大きい値であることが確認された。これらの測定結果について述べるとともに、計画的な維持管理による電極の延命、使用電力量の削減など、維持管理の実態およびその重要性について記述した。

---

Synopsis：

Harbor structures at Mizushima Works, extending in total length of about 22 km, are now systematically controlled, maintained and protected against corrosion mainly by means of the impressed current cathodic protection system. The satisfactory effect of the system on steel pipe piles and steel sheet piles in the seawater, has been ensured by potential measurement, test piece examination and thickness measurement of exposed steels. The corrosion rate has been controlled to under one tenth of the unprotected corrosion rate which is slightly over the guide line set up by the Japanese Ministry of Transportation for corrosion without cathodic protection. This report describes the systematic corrosion control, and increased anode life and power economy due to the protection, in addition to the test results.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

橋本 正治<sup>\*2</sup> 岡本 勝昭<sup>\*3</sup> 森川 孝義<sup>\*4</sup>

## Cathodic Protection System and the Maintenance of Harbor Facilities at Mizushima Works

Masaharu Hashimoto, Katsuaki Okamoto, Takayoshi Morikawa

### 要旨

水島製鉄所における港湾構造物延長約 22 km の防食対策は外部電源方式による電気防食を主体とし計画的に維持管理している。

これらの防食効果を知るために、電位測定、テストピースによる確認、さらに実杭の厚み測定を行い、海中における鋼管杭、鋼矢板に対しその腐食量を非防食の 1/10 程度に抑えることができ、防食効果は十分発揮されていること、水島港における海中での非防食の鋼材の腐食量は運輸省基準より若干大きい値であることが確認された。これらの測定結果について述べるとともに、計画的な維持管理による電極の延命、使用電力量の削減など、維持管理の実態およびその重要性について記述した。

### Synopsis:

Harbor structures at Mizushima Works, extending in total length of about 22 km, are now systematically controlled, maintained and protected against corrosion mainly by means of the impressed current cathodic protection system.

The satisfactory effect of the system on steel pipe piles and steel sheet piles in the seawater, has been ensured by potential measurement, test piece examination and thickness measurement of exposed steels. The corrosion rate has been controlled to under one tenth of the unprotected corrosion rate which is slightly over the guide line set up by the Japanese Ministry of Transportation for corrosion without cathodic protection.

This report describes the systematic corrosion control, and increased anode life and power economy due to the protection, in addition to the test results.

### 1 はじめに

水島製鉄所は、昭和 36 年より建設を開始し昭和 50 年に製鉄所周辺の岸壁と護岸が完了した。これらの岸壁と護岸は殆んどが鋼管杭、鋼矢板による鋼構造物であり、その防食対策が重要な課題であった。当所では防食対策として、外部電源方式による電気防食を主体に行っており、その規模は対象面積約 140 万 m<sup>2</sup>、防食電流約 50 000 A と 1 事業所単位では国内最大級のものである。建設当初以来長年月にわたって計画的な維持管理を行い、常に電気防食設備の状況把握を行うと共に、計画的に防食・非防食のテストピースによる防食効果の調査、および基礎鋼管杭の厚み測定による腐食量の調査を行い、メンテナンスに生かしてきた。

一般通念として、土木の基礎は、半永久的なものにとらえられてきたが、現実には半永久的にできるほどの投資はしてきていない。また、それで十分時代のニーズにも答えられてきたのである。たとえば、高度成長期に建設された、土木・建築構造物の劣化の顕在化が生じているが、機械設備のリフレッシュ時期にも合致してきているのである。

最近、港湾構造物の腐食による事故例が報告されており、公共性上重大な問題に発展することが懸念され、特に運輸省を中心として港湾構造物の腐食量調査を全国的に実施している。当所においても、長期間にわたる腐食・防食に関するデータが得られているので、以下これらのデータをもとに電気防食設備の実情とメンテナンスについて述べる。

### 2 電気防食設備の概要

水島製鉄所の電気防食設備は、Table 1 に示すように岸壁延長 5 954 m、護岸延長 16 342 m 計 22 296 m に達しておりその殆んどが外部電源方式である。古いものは既に建設から 20 年以上経過したのもあり設備の劣化も顕在化してきている。Fig. 1 に Key plan を示す。図中の ㊶, ㊷, ㊸, ㊹, および ㊺ はそれぞれ石灰、鉍石、石炭、スクラップの原料岸壁を示す。

#### 2.1 防食方式について

電気防食法は給電の方法によって外部電源方式と流電陽極方式の 2 方式に分けられる。外部電源法には更に単式外部電源方式と複式外部電源方式の 2 種類がある。

水島製鉄所では建設当初、

- (1) 現在のように優れたアルミニウム陽極が開発されていなかったこと、
  - (2) 建設当初より大型岸壁が施工され、構造上陸側土壌中の構造物に対しても防食の必要があること
- などの理由、および陽極のコストを考えた経済的設計により施設の 99.7% を外部電源方式で防食している。

(1) 外部電源方式	—— 単式	2 675 A	5.0%
	—— 複式	48 046 A	94.7%
(2) 流電陽極方式		134 A	0.3%

\*1 昭和60年1月23日原稿受付

\*2 エンジニアリング事業部土木技術部建材技術室主査(課長)技術士

\*3 水島製鉄所土建部土建技術室主査(掛長)

\*4 水島製鉄所土建部土建技術室主査(掛長)

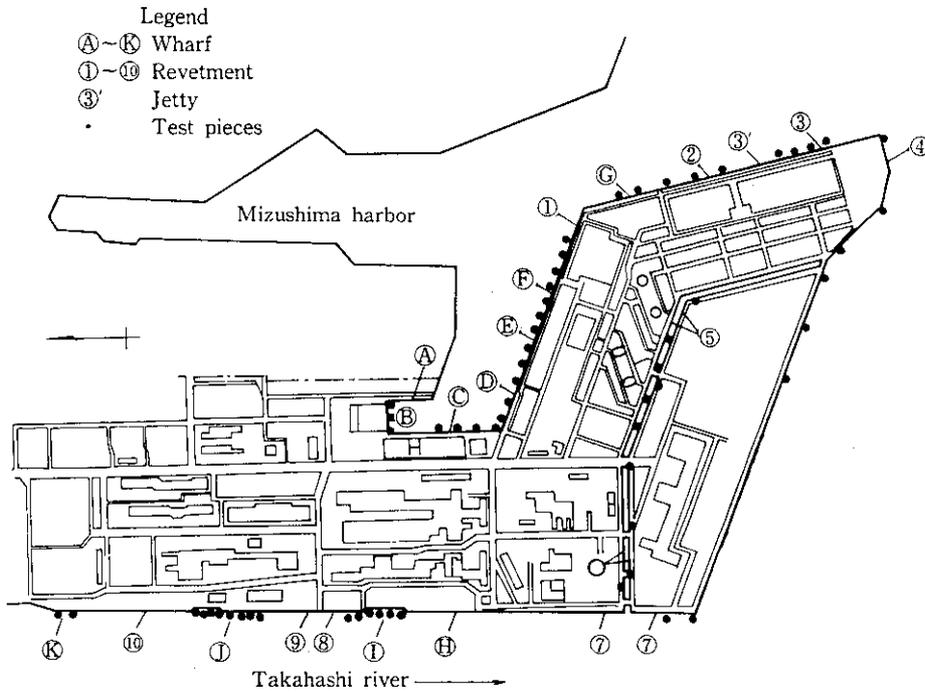


Fig. 1 Key plan

Table 1 Cathodically protected length of harbor facilities

Year	Wharf (m)	Revetment (m)	Sum (m)	Protective current (A)
1963	186	0	186	300
1964	696	0	696	1 700
1965	0	0	0	0
1966	522	0	522	3 966
1967	626	211	837	4 125
1968	436	0	436	2 310
1969	932	261	1 193	5 470
1970	849	0	849	3 145
1971	0	2 220	2 220	0
1972	931	509	1 440	4 890
1973	0	0	0	360
1974	186	10 859	11 044	11 060
1975	591	2 282	2 873	13 530
Total	5 954	16 342	22 296	50 855

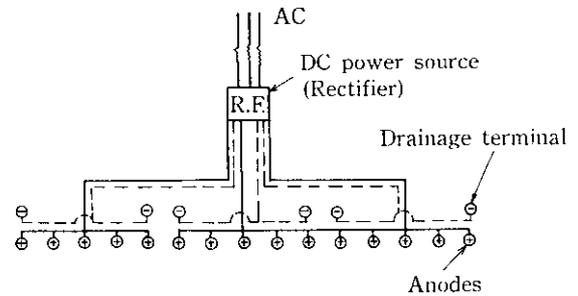


Fig. 2 Impressed current system with single power source

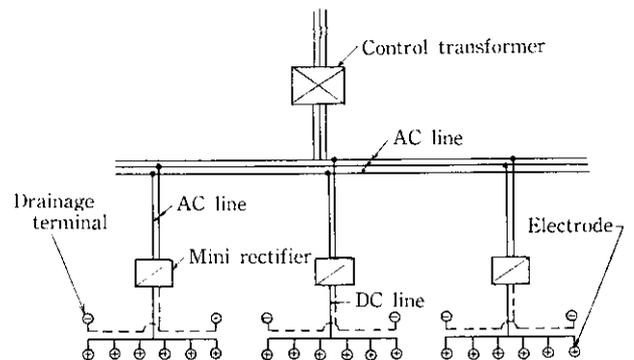


Fig. 3 Impressed current system with multiple power sources

2.2 単式外部電源方式

水島製鉄所の建設当初に建設された④岸壁等 (Fig. 1 参照) では使用電流も大きくなく単式外部電源方式が採用された。この方式は Fig. 2 に示すような配線系路で防食を行うものであり、一般に行われている外部電源方式である。

2.3 複式外部電源方式

昭和 41 年より本格的な大型岸壁として、鉾石、石炭岸壁等の原

料岸壁の建設が開始された。これらの岸壁は防食電流が大きく、また岸壁上にクレーンやベルトコンベア等の施設があり、電源装置の設置場所の制限や、配線延長の増加による電力ロスを考慮して、複式外部電源方式を採用した。この方式は Fig. 3 の配線系統図に示すように小型の整流器を岸壁コーピング内の収納箱内に設置し、小型整流器の入力電圧を一括コントロールする制御変圧器を別に取付け、防食電流をコントロールする方式である。この方式は単式に

比べ操作・管理が容易なこと、維持電力量が半減すること等の長所があり大型岸壁施設に適している。

### 3 電気防食の原理

水中や土中でおこる金属の腐食原因は、電気化学的なものである。天然の水や土壌は、塩類を溶解しており、電導性の良い電解質となっている。金属が電解質に接触すると、一見均質にみえる同一金属体であっても金属の組成、組織、結晶の方向、応力、付着皮膜等の金属側の諸因子とイオン濃度、溶存ガス濃度、比抵抗、水温、流速等の電解質側の諸因子に差異が生じるため、金属表面に無数の電位の異なるアンバランスな状態が生じる。これがいわゆる局部電池で、鉄の場合を模式的に Fig. 4 に示す。この図は電位差により陽極部と陰極部が生じ陽極部の金属は陽イオンとなって電解質中に溶出することを意味している。

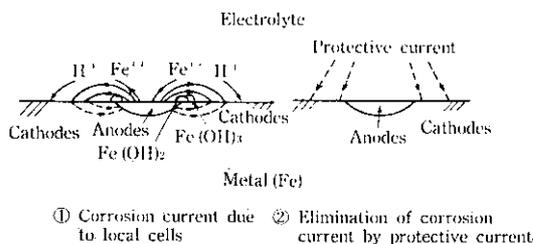


Fig. 4 Schematic illustration of cathodic protection

腐食の根源は金属表面に生じる局所的な電池作用に基づくものであるから、陽極部と陰極部の電位差を消滅させれば腐食は防止できることになる。

電気防食は、被防食体に外部から電解質中を通して、電流をその表面に流入させて局部電池を消滅させる電気化学的な1つの防食法である。金属表面に電流を流入させると陰分極が生じ金属の電位は降下する。局部電池を形成している場合、電流は最初陰極部に流入し、さらに電流を増大するにしたがい両者の電位差はなくなり、局部電池は消滅して防食状態になる。この状態の電位を防食電位という。すなわち電気防食は腐食の根源を消滅させる確実な防食法であるといえる。

## 4 防食状況

### 4.1 電位測定による防食効果の確認

電気防食を施した施設の防食効果を確認する方法の1つに鋼材の電位を測定する方法がある。この方法によれば簡便でしかも即座に防食効果が確実に把握でき、一般に使われ、運輸省基準にも採用されている。

この方法は Fig. 5 に示すように海水に浸漬した基準電極を移動することにより水中の任意の鋼材の電位を簡単に測定することができる。

防食電位の値は飽和甘汞電極基準で  $-770\text{ mV}$  であり、この値は運輸省基準や他の諸外国の基準でも同様である。一般に電気防食を行っていない海水中の鋼材の電位は  $-660\text{ mV}$  前後である。

水島製鉄所での電位測定は1回路当たり3点、深度方向に任意の Water level (WL) と海底の2点を1年2回行っている。

最近の電位測定結果では全測定点 2448 点中 312 点の約 12% 程

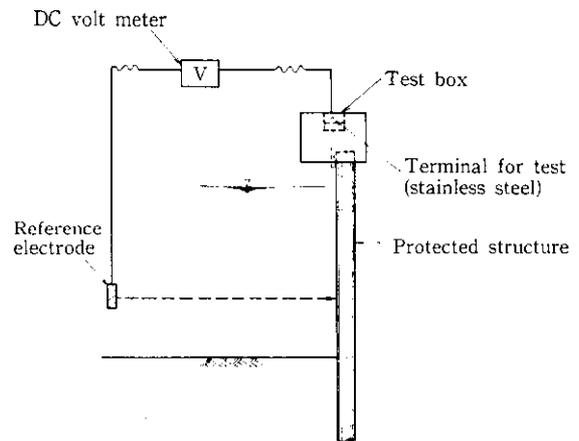


Fig. 5 Manual of measurements

度が防食電位に達していなかった。この電位不良を原因別にみると、小型整流器の故障に起因するものが173点、1次側不通電によるものが60点、その他は79点となる。その他の中で、Fig. 1の③護岸の29点、②護岸の33点はいずれも電流不足によるもので、調整により解決された。不良原因の半数以上は、小型整流器の故障で鉾石岸壁やスクラップ岸壁に集中している。この原因はハンドリングマグネットで収納箱が壊されたり、鉾石やスクラップの粉塵により排水パイプが目詰りを起こし冠水することなどにより小型整流器の寿命が縮まったため、10数年で故障を生じている。

特異なケースとして、④岸壁のように電極不良が約56%に達しても電位良好な箇所がある。一方、②、③護岸の如く電防設備としては正常な移動状況にありながら電位不良が生じる箇所もありこれは水質とか電極位置、すなわち電流分布不良が関係していると推定される。以上述べたような結果を配慮しながら優先順位をつけて年次的に補修を行っている。

### 4.2 テストピースによる防食効果の確認

防食効果の確認方法として、電位測定の他にテストピースを用いて防食効果を確認することも行っている。

水島製鉄所構内には Fig. 1 に示すように85組のテストピースを取付けており定期的に引上げ、観察と秤量を行い、防食状況の把握を行っている。

#### 4.2.1 設置状況

今回用いた試験片の構造を Fig. 6 に示す。この諸元は

- 材質 : 一般構造用鋼材 SS-41
- 形状寸法:  $20\text{ mm}\phi \times 50\text{ mm}L$
- 有効面積:  $31.4\text{ cm}^2$
- 重量 : 約 82 g

である。防食試験片は支持電線に直接取りつけて、電気的につながっている。しかし、非防食試験片は支持電線の間に絶縁材をはさんで取付けられており、電気的にはつながっていない。試験片の取付けは Fig. 7 に示すように、H型とY型の2種類がある。H型は岸壁に、Y型は護岸を主体に取付けている。

85組のテストピースの内訳は引上済み21組、不良22組、残数42組となっている。これらの内、不良組は主としてH型のテストピースであり、設置後長年月を経過し、波浪等により電線が断線脱落したものや、リード線の切断により引揚げ不能となったためである。

#### 4.2.2 腐食量の算出

設置前および引上げ後のテストピースの重量計測を行い、次式に

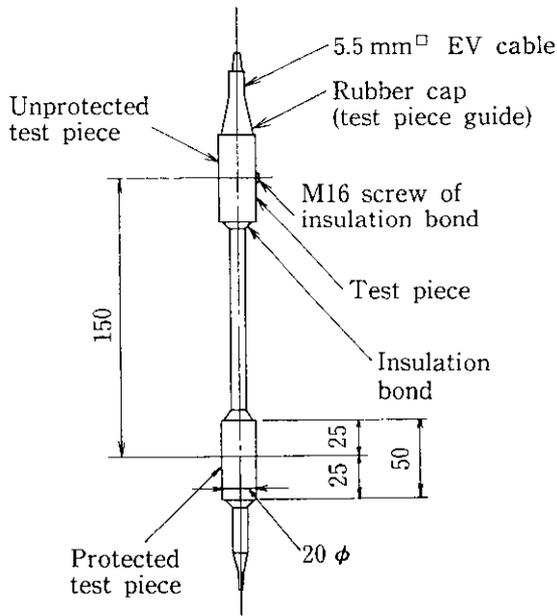


Fig. 6 Test piece

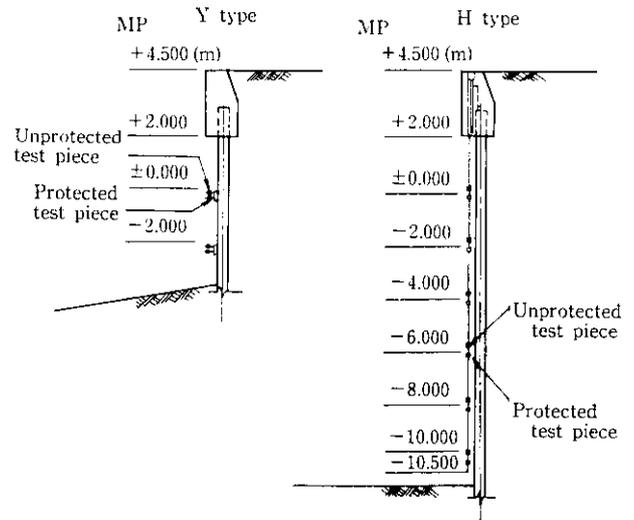


Fig. 7 General arrangement of test pieces

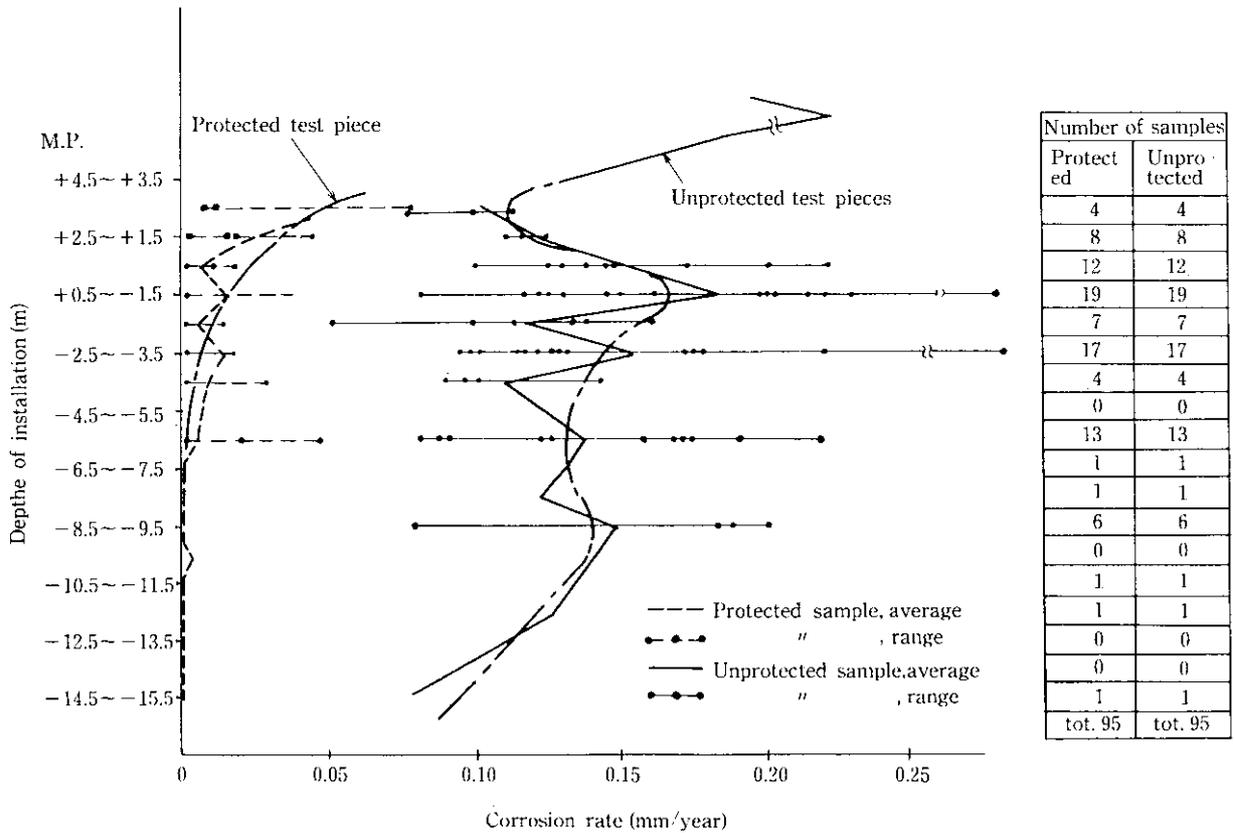


Fig. 8 Corrosion test results of test pieces

て侵食度，腐食度，防食率を求めた。

$$\text{侵食度 (mm/year)} = \frac{W \times T}{d \times S \times t \times 10^3} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{腐食度 (g/m}^2 \cdot \text{h)} = \frac{W}{S \times t} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{防食率 (\%)} = \frac{C \text{ の腐食度} - P \text{ の腐食度}}{C \text{ の腐食度}} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

P: 通電試験片

C: 不通電試験片

W: 重量減 (g)

d: 試験片の密度 (g/cm<sup>3</sup>)

S: 表面積 (m<sup>2</sup>)

t: 試験時間 (h)

T: 年時間, 8 760 (h)

4.2.3 侵食度の測定結果と考察

侵食度の測定結果を Fig. 8 に示す。この結果，非防食試験片の

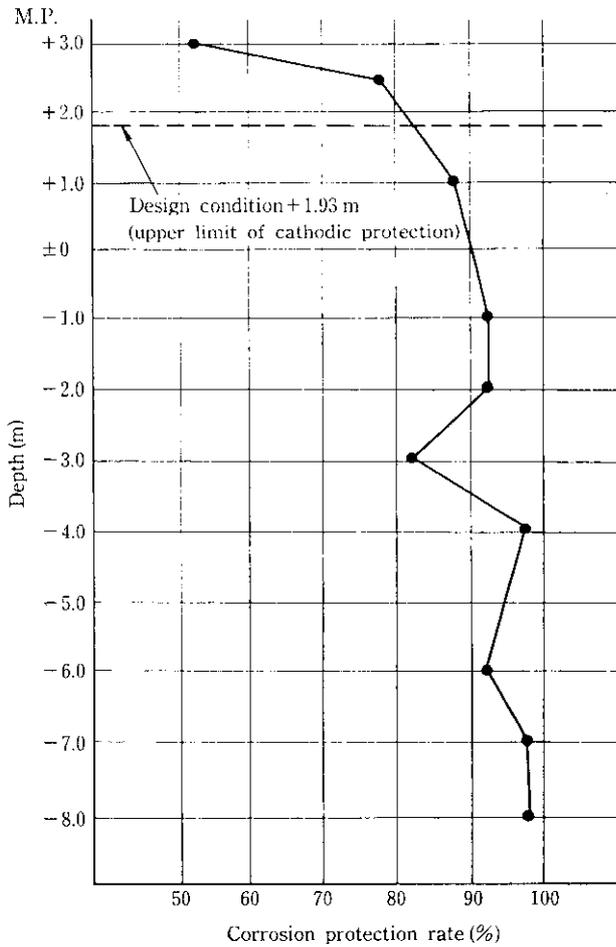


Fig. 9 Effect of exposure depth on the corrosion protection rate of cathodically protected specimens

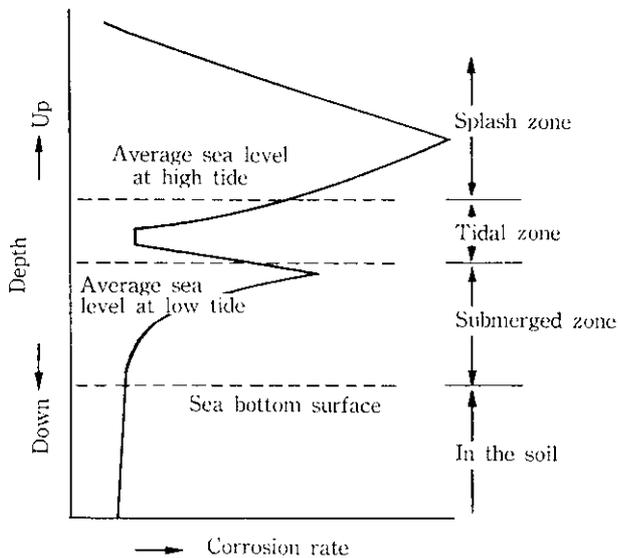


Fig. 10 Corrosion rate of steel sheet pile in the seawater (5 years submersion at Kure)

平均侵食度は 0.124 mm/year で、運輸省の基準 0.1 mm/year<sup>1)</sup> より若干大きい値を示している。防食片の平均侵食度は 0.016 mm/year であるが、水島港の H. W. L. (High water level) は M. P. (Mizushima Pale)+3.29 m で M. W. L. (Mean water level) は M. P.+1.93 m である。電気防食は、Fig. 9 の 1 例 (雨天岸壁) にみられる

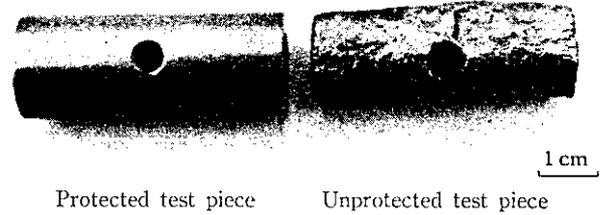


Photo 1 Appearance of the corrosion test pieces after six years' submersion in the seawater at the export quay

ように干満の影響をうける M. W. L. 以上ではその効果が低下している。電気防食範囲では非防食試験片の 1/10 以下、すなわち 90% 以上の高い防食率が得られている。

1 組の非防食試験片は相互に電気的な接続がないため、酸素濃淡電池などによるマクロセルの影響が生じないが、通常の港湾構造物など、深度方向に連続している構造物の場合、Fig. 10<sup>2)</sup> のような腐食形態を示し、L. W. L. (Low water level) 直下で大きな集中腐食を発生する傾向がある。このマクロセル電流の量は、潮位変動などにより変化するため、複雑で海域によって異なるが、大きい場合は 0.5 mm/year 以上になる場合もある<sup>3)</sup>。

水島製鉄所の場合、港湾構造物の大半が M. P.+1.0 m 以上がコンクリートで保護されており、コンクリート被覆されていない施設については M. P.+1.5 m 以上を塗装により防食を行っているため、事実上の腐食は 0.01 mm/year 程度になっている。

近年港湾構造物の腐食損傷事故が発生しているが、これは水際線部で酸素濃淡電池作用によってマクロセルを形成し、局所的な集中腐食が生じるためであり、港湾技術研究所等の研究によりその腐食量が明確となってきている。このことはテストピース引上げ時の非防食片でも明らかであり、テストピース引上げ時の状況の 1 例を Photo 1 に示す。

局部腐食は、通常一般腐食の 3~5 倍程度と言われている。すなわち無防食状態で放置されていれば、 $0.12 \text{ mm/year} \times 20 \text{ year} \times 3 = 7.2 \text{ mm}$  程度の腐食は十分考えられ、このような局部腐食が成長し、鋼板を穿孔する。この食孔は、発生しても場所いかんでは強度上問題とならないが、その発生箇所は極めて握み難い。この意味からも常時防食状態に保つことが必要である。

#### 4.3 厚み測定による防食効果の確認

昭和 56 年に実杭の電気防食効果を確認する目的で、全岸壁・護岸の鋼管杭および鋼矢板の厚み測定を実施した。

##### 4.3.1 測定方法

測定方法は Fig. 11 に示すように

- (1) 測定点は M. P.+0.8 m の海側のみである。
- (2) 測定は同一鋼管杭あるいは同一鋼矢板でそれぞれ 3 点である。
- (3) 電極装置より概ね 2.3 m 離れた位置とする。

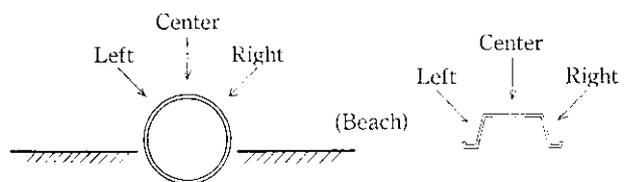


Fig. 11 Thickness measurement

No. of measurements	15	18	15	27	6	9	12	9	6	18	48	12	15	12	6	3	3	24	9	3
Year in service	10.8 ~18	11.2 ~15.2	12.4 ~14.4	10.7 ~11.9	7.1 ~11.9	7.1	7.6	6.9	9.9 ~10.1	6.9	6.9	10.8	6.8	6.9	10.0	7.2	6.7	11.3 ~10.4	6.7	11.9

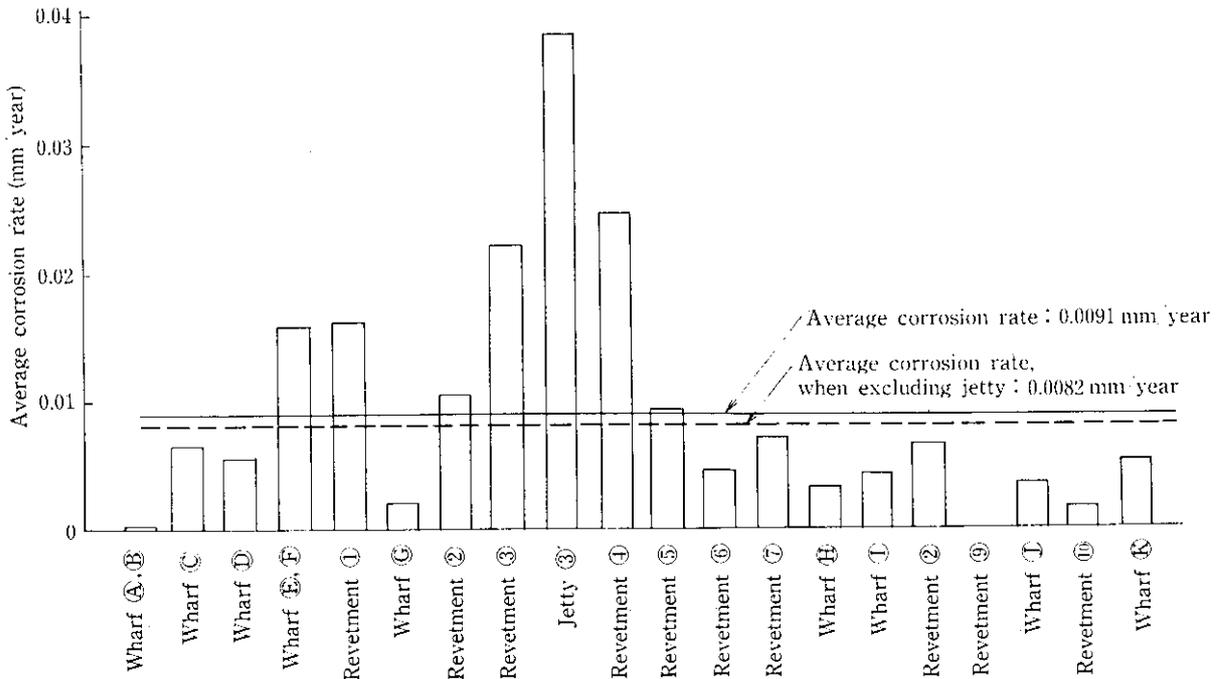


Fig. 12 Results of thickness measurement

の条件で超音波厚み計を使用し、干潮時を利用して測定したが、一部は水中用計測器を用いて測定した。

4.3.2 測定結果

測定結果を Fig. 12 に示す。全測点 270 点の年間平均侵食度は 0.0091 mm/year となり、テストピースによる結果よりもさらに小さな値を得た。この図から高梁川沿いに比べ、水島港側の岸壁と護岸の平均侵食度が大きいのがわかる。これは水質、水温、水流の有無などの違いにより起因されたものと推定される。また、③' の棧橋の侵食度が大きいのは、無防食期間が5年間あったためである。

なお、今回の厚み測定の基準厚みとして公称板厚を使用した。測定 270 点中基準厚みより若干プラス側に計測されたものが 98 点すなわち 36% 程度含まれていた。このことは供試体の初期肉厚が公称板厚に比べ若干プラス側に偏在していたものと推定され、これらは侵食度 0 として計算した。

製品許容差、測定誤差等を考慮しても全体的に腐食量は小であり電気防食の効果は十分発揮されていると考えられる。今後共、定期的に鋼管杭と鋼矢板の肉厚測定を継続して行う予定である。

4.4 陸側土壌中の防食状況

陸側の電気防食設備の実情は小型整流器の 27%、電極装置の 70% が不良のままになっている。

現在、全岸壁が稼働中であり陸側電極の再設置はボーリングや大々的なコンクリートの毀しなどを必要とし施工上非常に困難な状況である。

陸上中の腐食率は、運輸省基準では、残留水位以上が 0.03 mm/year、残留水位以下が 0.02 mm/year であるが、埋立当初の昭和 36 年に電気防食設計資料を得るために水島製鉄所構内で行ったコロージョンサウンド試験（土壌の比抵抗と復極率を測定し、土壌中にお

ける鋼の腐食速度を求める）では、最大 0.13 mm/year、平均 0.07 mm/year の腐食量が予測されていた。

また、同時に 10 cm×10 cm の試験片を切り取りマイクロメータで測定した結果では、無防食期間の年間平均腐食率は最大 0.093 mm/year、平均 0.076 mm/year の値であった。

しかし、最近行った陸上における工場基礎に使用されている鋼管杭の腐食量の調査では、Table 2 にみられるように年間腐食量は 0.01 mm/year であった。また、土質工学会による水島製鉄所内におけるコンクリートフーチングのある非防食の鋼管杭の腐食データも約 9.3 年間の平均値で 0.0141 mm/year、最大値で 0.0269 mm/year となっている。護岸背面の実測結果とは相当大幅な差異がみられるが、測定した鋼管杭の打設された環境、すなわち岸壁沿いか、あるいは工場基礎のように岸壁より離れた位置などの相異により一概に残留水位以下といっても、その環境差は大きく、それぞれを比較することはむずかしい。

昭和 56 年に貯鉱場護岸の背面を掘削する機会を得たので超音波厚み計により鋼管の肉厚を実測した結果、M. P.+1.0 m 付近で年間腐食率として最大値 0.032 mm/year、平均 0.018 mm/year の値を得た。この値は、護岸完成後 9.6 年における平均実測値であり、本護岸の電気防食設備は昭和 50 年から作動しておらず、防食期間 4 年間の腐食量を 0 とした場合、無防食期間の年間腐食率は最大値 0.054 mm/year、平均 0.03 mm/year の値となり、電気防食効果が首肯できるとともに、無防食期間中のみの対比では運輸省の基準値をかなり上回った腐食が考えられる。

今回は、たまたまこのように調査の機会が得られたが、現実には陸土中部の鋼管杭の腐食状況の把握は極めて困難である。従って岸壁の補修、増設、改良時など機会ある毎に、厚みを測定し、実態をさらに調査してゆく必要がある。

Table 2 Results of measuring corrosion rate of foundation piles

Name of plant	Piles size	Quantity of tested piles	Year in service	Above groundwater level			Under groundwater level		
				Average wall thickness (mm)	Amount of corrosion loss (mm)	Yearly corrosion rate (mm/year)	Average wall thickness (mm)	Amount of corrosion loss (mm)	Yearly corrosion rate (mm/year)
Cold reduction mill	508 $\phi$ $\times$ 7.1 t	2	13.25	—	—	—	6.90	0.20	0.015
Plate mill	762 $\phi$ $\times$ 7.9 t	2	14.42	—	—	—	7.88	0.02	0.0014
Plate mill	508 $\phi$ $\times$ 7.1 t	34	16.83	—	—	—	6.94	0.16	0.0095
Plate mill	318 $\phi$ $\times$ 6.4 t	22	16.83	6.23	0.17	0.01	6.24	0.16	0.0095
No. 1 continuous casting machine	318 $\times$ 6.4 t	10	15.75	—	—	—	6.18	0.22	0.014
Total	—	70	15.42	—	0.17	0.01	—	0.15	0.010

## 5 維持管理

電気防食は、非常に効果的な防食法であるが、長期にわたって維持管理が確実に行われた時にはじめてその効果を発揮するものである。このためこれらの設備を計画的に維持管理することが、経済的、構造的にも重要である。しかし維持管理については、公的な基準がなく、メーカーと施工者に全面的に頼っているのが現状である。特に、外部電源法の場合は、電気設備であるため、定期的な点検管理を行わないと、装置の寿命を極端に短くするだけでなく、維持に必要な電力料も高くなる。また、電気防食を行った設備では、設計上通常鋼管杭や鋼鉄板の腐食代を構造計算に考えていないのが現状であり、なおのことその防食効果を維持することの重要性がうかがい知れる。

以下に水島製鉄所における維持管理の実態を述べる。

### 5.1 電気防食設備の現況

陸上側のものを除けば、電気防食設備の不良は小型整流器の故障が一番多い。これは、冠水による絶縁不良および機器本体の腐食、異物混入、2次配線短絡による故障が主なもので、特に鉍石、石炭、スクラップ、石灰等の原料岸壁に多発している。これは原料粉体が収納箱の排水パイプの目詰りを起させ、排水不能となり生じている。点検開始以来、約120基の補修を行っているが、補修は部品の交換や、防食不用となった岸壁の既設整流器の転用などでカバーしている。

海側の電極装置については、耐用年数15年と推定されている。昭和45年以前に取り付けたものは全体の40%にあたり、それらは既に耐用年数を経過しているが、実際には15%程度しか補修を必要としていない。このことは電気防食を長年月継続して行くと、鋼材表面に白色のエレクトロコーティングが生成されるため、所要電流は初期の1/2程度まで減少することが報告されており<sup>9)</sup>、当所においては防食電位測定にもとづき初期電流の35~40%に調整・運転しているため、電極の消耗を少なくできているのが原因であると思われ、これは維持管理を適確に行った成果である。また、エレクトロコーティングを生じている岸壁では若干の電極に不良が生じても防食状態を維持できる。しかし、エレクトロコーティングの生成は、海水成分、水流、電極間隔など多種多様な条件により左右されるため、適正な防食電流の供給が必要であり、適確な維持管理が電極の延命および維持電力の削減など、経済的にも有効である1つの理由である。

電極故障の大半はリード線の断線で、これは通電による塩素ガスの発生により、リード線の被覆が劣化したものである。また原料岸壁での補修数量が多く、これは落鉍落炭による海面汚濁防止として取り付けられているカーテンウォールなど周辺施設の増設による消耗が加算されているものと推察されている。

配線関係の不良は、電防設備に近接して行われる他の工事に起因することが多く、例えば走行クレーンレール布設替えなどによる断線である。その他には結線箇所での断線などが生じているが、これらは点検時に補修している。

### 5.2 維持管理方法

水島製鉄所では昭和39年より、岸壁の竣工につれて逐次通電が開始され、全施設が完成する迄は竣工年月も浅いため、適時点検を行っていたが、昭和53年に土建部において「電気防食維持管理標準仕様書」を作成し、年2回計画的に電気防食設備の維持管理を行ってきた。

この標準仕様書は

- (1) 一般共通事項として、維持管理の範囲や、建設時の設計基準と注意事項
- (2) 定期点検の項として外部電源法と流電陽極法の場合の細部にわたる点検項目、点検方法、さらに成果の報告方法
- (3) 補修の項として各部品の補修時期
- (4) 管理台帳の項では各データの管理方法などが定められている。さらに点検項目は、(イ) 制御変圧器、(ロ) 整流器、(ハ) 回路点検、(ニ) 収納箱点検、(ホ) 電位測定、(ヘ) 電極調査であり、年間約700万円を費している。

補修は、損傷箇所の程度、補修の順序などを点検の結果より判定して行っており、年間約1200万円程度を費している。

### 5.3 維持管理によるメリット

維持管理は、電気防食設備の延命をはかるとともに電力量の削減をも目的としている。

電気防食に要する電力量は、Fig. 13にみられるように防食電位に達する迄は、小型整流器の定格容量の80%で調整通電し、一定電位に達した後、60%の電力量にて維持するのが一般的である。

$$\text{正規通電量} = (\text{整流器の定格容量} \times 80\%) - (\text{休止中のもの})$$

$$\text{維持電力量} = (\text{整流器の定格容量} \times 60\%) - (\text{休止中のもの})$$

となる。

電源が他の施設と共有されている場合もあり、明確な値を求めることは困難であるが、通電状況から電力量を算出すると一般的な維

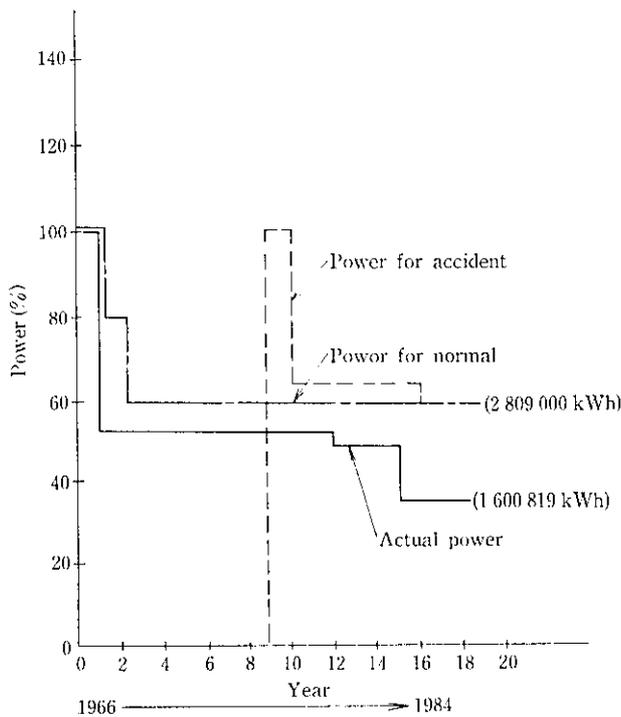


Fig. 13 Power consumption (Figures in parentheses indicate power consumption on the sea side.)

持電力量は、4 571 000 kW・h であり電力単価 20 円/kW・h とした場合、約 9 100 万円となる。しかし現状は若干休止のものもあるが、電位測定結果により調整・管理しているため 1 764 173 kW・h/year の電力量で維持管理しており、約 3 500 万円/year となる。陸側の設備のように一部が老朽化などにより、不通電の箇所もあり、かならずしもこの差額が維持管理のメリットとは言えないが、設備の機能のほぼ完全な海側のみについて比較すると維持電力量は 2 809 000 kW・h となるが、現在は電位測定結果による調整により、1 600 819 kW・h しか使用されておらず約 2 400 万円/year 程度の差額が生じ、点検費用を差し引いても維持点検による大きな金額メリットが考えられる。さらに電極など設備の延命による金額メリットが加算される。

## 6 今後の課題

### 6.1 流電陽極方式への切り替え

わが国において電気防食は、当初経済性の点から外部電源方式がよく採用されてきたが、昭和 45 年頃から高性能なアルミニウム陽極が開発され、その後経済性の点でも、外部電源法に比較し遜色がなくなってきたため、メンテナンスを殆んど必要としない流電陽極法に変わってきており、現在はアルミ陽極を用いた流電陽極法が主流となっているのが現状である。特に故障の多い鉱石、石炭、スクラップ、石灰などの原料岸壁では粉塵などの影響および走行クレーンなどの修理に伴う補修により、小型整流器の故障や電極の故障が

多発すると同時に補修費も高額化の傾向にあるため、流電陽極法への切り替えを検討する必要がある。さらに近い将来、現在の電気防食設備の老朽化にともない設備のリフレッシュが必要であり、今後のメーカー・施工業者のアフターサービスの衰退、当社の土建技術者のニーズの多用化にともなう省力化など時代の状況を考えても計画的に流電陽極法への切り替えが必要と思われる。

### 6.2 陸側防食の存続

陸側の鋼管杭の腐食量は海側に比べて少ないものの、貯鋳場護岸の厚み測定結果などからみると、かなりの腐食があることが推定される。現状では背面を掘削し厚み測定を行う以外に正確な腐食を知ることができないため、今後できるかぎり測定の機会を多くつかみ、納得のいく調査結果を得て対処方法を考えていく必要がある。

## 7 結論

昭和 38 年より、港湾構造物の防食対策として電気防食を行い、それら設備の維持管理を行ってきた結果、次のことが言える。

- (1) 電気防食の管理基準を定め、定期的に管理することによって概ね良好な結果で推移し、海中での腐食量も非防食の 1/10 程度に押えることができた。
- (2) 電気防食の維持管理を適切に行うことによって、電極等の装置寿命を長期化するとともに維持電力費も大幅に低減することができた。
- (3) 水島港における海中での非防食の鋼材の年間腐食量は、平均侵食度で 0.124 mm/year と運輸省基準より若干大きい値が得られている。
- (4) 原料岸壁に外部電源法を適用した場合には、岸壁の使用条件から損傷を受ける率が大きく、今後は、流電陽極法への切替への必要性、陸側土壌中の腐食の確認など、今後の検討課題が残されている。

水島製鉄所における岸壁・護岸の殆んどを、電気防食法により防食している。これらの設備の維持管理を計画的に行い、特にテストピースをはじめ、電位測定、実ぐいの厚み測定などで、水際線全域にわたって防食効果を把握し、構造物の安全性の確認を行ってきた。このため、腐食による港湾構造物の機能を逸するようなトラブルはこれまで皆無である。

これも、防食の実態を確実なデータとして把握できるように、テストピース等を計画的に設置してきた我々の先輩技術者に負うところが大きい。

今後も、引き続き計画的に維持管理を行うとともに流電陽極法への切り替えを逐次行い構造物の耐用性の長期保証を行ってゆかねばならない。

公共岸壁の腐食による事故の発生から、港湾構造物の維持管理のあり方について、見直しが行われている現在、今回の得られたデータは貴重な資料になると思われる。

最後に、今回の執筆に際し多大な御協力を頂きました中川防蝕工業(株) 善一章氏(元運輸省港湾技術研究所)、ならびに三谷薫隆氏に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 運輸省港湾局:「港湾施設の技術上の基準・同解説」, (1979)
- 2) H. A. Humble: Corrosion, 5 (1949) Sep., 292
- 3) 善一章, 阿部正美: 港湾技術研究所報告, 22 (1983) 2, 379
- 4) 大崎順彦:「鋼ぐいの腐食」, (1980), 25, [鋼材倶楽部]
- 5) 日本学術振興会:「金属防食技術便覧」, (1972), 581