

# 海洋鋼構造物に対する新防食法 ( IECOS ) の開発

## Development of New Anti-Corrosion Method ( IECOS ) for Marine Steel Structures

鈴木 靖 庸 技術開発本部生産技術センター生産技術開発部  
赤 嶺 健 一 技術開発本部生産技術センター生産技術開発部 部長 博士 ( 水産科学 )  
兼 坂 薫 物流・鉄構事業本部社会基盤事業部開発部  
今 関 正 典 物流・鉄構事業本部社会基盤事業部開発部 主査

海洋鋼構造物は重要な社会資本である場合が多く、維持管理のための防食法は重要な役割を担っている。そこで、海洋鋼構造物の寿命延長、超長期防食を目的に、電着工法と電気防食工法を併用する IECOS 工法を新たな防食法として開発した。初期に強制的に外部電源で電着被膜を生成させることで、従来法である電気防食工法と比較して、防食電流密度が大幅に低減可能であった。IECOS 工法は、優れた防食性能をもっていることを水槽実験および実海域での鋼管ぐいを対象とした試験施工によって確認した。

Marine steel structures are important infrastructures, so effective anti-corrosion methods are essential for maintenance management. IHI has developed a new anti-corrosion method, IECOS, which consists of two methods, "Electro-deposition" and "Cathodic protection." IECOS can achieve a long-lasting service life by providing super-long-term anti-corrosion for the marine structures. In the first stage of application, the electro-deposition film is increased to adequate thickness with an external electric power supply. As a result, the required current density for corrosion protection can be sharply reduced compared with the conventional cathodic protection method. IECOS was confirmed to be an excellent anti-corrosion method by tank tests and marine tests applied to steel pipe piles.

## 1. 緒 言

港湾施設、石油開発施設などの海洋鋼構造物の多くは、1960年代の高度経済成長期に建設された。すでに建設後40年以上を経た構造物も多く、鋼材の腐食が進行しており、今後老朽化した構造物が急速に増加することが予想されている。しかし、これら構造物を更新、改造するには多大な費用が必要であり、また近年は、社会資本にかかわる厳しい財政事情の背景もあり、適切な維持管理による既設構造物の寿命延長が望まれている<sup>(1)</sup>、<sup>(2)</sup>。さらに、新設の海洋鋼構造物はますます巨大化し、耐用年数は超長期化(50～100年)する傾向にあり、ライフサイクルコストの観点から優位性のある防食技術の開発が望まれている<sup>(3)</sup>。

そこで防食性能、経済性に優れた新たな防食法を確立することを目的に、これまで当社が船舶向けに開発したIHI Electrocoating System (アイエコス:以下、IECOSと呼ぶ)<sup>(4)</sup>、<sup>(5)</sup>を海洋鋼構造物の新防食法として適用した。本稿では、IECOS工法の概要について報告する。

## 2. IECOS工法の特長

海洋鋼構造物の海中部における防食法として、施工お

よび維持管理が簡便なAl合金を用いた電気防食法(流陽極方式)が一般的に適用されている。海洋鋼構造物に電気防食法を適用した場合、副生成物として鋼材表面に薄い電着被膜が析出し、電気防食における所要防食電流密度の低減および防食電流分布に対する有効性がすでに報告されている<sup>(6)</sup>、<sup>(7)</sup>。最近では、外部電源で鋼構造物に人為的に通電して電気防食では得られない厚い電着被膜を生成し、この電着被膜によって防食を図る工法として電着工法がある<sup>(8)</sup>。しかし、電着工法は①厚膜化するために施工期間が長期化すること②施工後の点検診断が容易ではないこと、から一般的に適用されるには至っていない。そこで、海洋鋼構造物の新しい防食法として、電着工法と電気防食工法を併用するIECOS工法の適用を検討した。

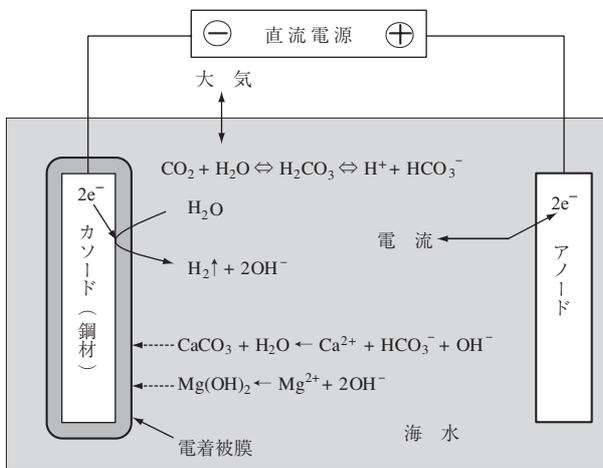
電気防食工法の観点からは、電着被膜によって防食電流密度の低減が期待でき、経済的な電気防食設計が可能になる。一方、電着工法の観点からは、被膜厚の低減、すなわち電着施工期間の短縮が期待でき、電気防食工法を併用することで維持管理手法も容易になる。第1表にIECOSの特長を既存の防食法と比較して示す。

電着被膜生成反応の概略を第1図に示す。電着被膜の生成は、鋼材側に電流を流入させることで鋼材表面の

第1表 IECOSの特長  
Table 1 Characteristics of IECOS

防食工法 項目	IECOS 工法	電気防食工法 <sup>(9)</sup> (流電陽極方式)	電着工法 <sup>(9)</sup>
防食原理	電着被膜による防食効果と電気防食の相互補完によって防食を達成している。	鋼材よりも卑な金属を接続して防食電流を供給することで鋼材の溶出を防止し、防食を達成している。	外部電源を用いて鋼材表面に電着被膜を生成し、外部環境(酸素、海水)と鋼材を遮断することで防食を達成している。
適用範囲	M. S. L. 以下	M. L. W. L. 以下	M. S. L. 以下
耐用年数	50年以上(目標)	~50年	20年の実績あり
施工性	・電着工法と比較して施工期間が短い。 ・電気防食工法と比較して陽極個数の低減が可能である。	・防食設計方法、施工方法は標準化されている。	・厚膜化(5~20mmを目安)するために施工期間が長期化する(4~6か月)。
維持管理	・電着被膜がはく離した場合、電気防食による自己補修効果がある。 ・電気防食と同様の維持管理で済む。	・標準化されており、容易である。	・電着被膜がはく離した場合、補修が必要である。 ・精密な鋼材の腐食調査が必要である。
適用実績	少ない	一般的	少ない

(注) M. S. L. : 平均水面  
M. L. W. L. : 平均干潮面

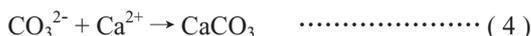
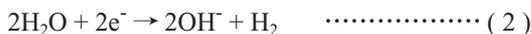


第1図 電着被膜生成反応の概略  
Fig. 1 Schematic of electrodeposit forming reaction

pHが上昇し、このpH上昇によって海水中のCa<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>が、次式に従ってCaCO<sub>3</sub>、またはMg(OH)<sub>2</sub>の形で鋼材表面に電気化学的に析出・付着する<sup>(6), (7), (10), (11)</sup>。



または



および



IECOS工法は、この現象に着目し、初期に外部電源を用いて強制的に通電を行うことで電着被膜を短期間で生成させ、電気防食における所要防食電流密度の低減を図る防食工法である。

本稿では、まず基礎的検討として、3章で電気防食併用時における電着被膜厚の検討、4章で海水循環水槽における適用性の検討について報告し、5章で実機試験および6章で実機適用例について紹介する。

### 3. 電気防食併用時における電着被膜厚の検討 (室内試験)

IECOS工法では、電気防食を併用するため、電気防食併用時における電着被膜厚と防食電流密度の関係を明らかにし、適切な防食設計を行う必要がある。そこで、さまざまな条件で生成させた電着被膜付試験片に対して電気防食を適用し、その時の防食電流密度を測定した。

電着被膜生成条件を第2表に示す。なお、被膜組成比を変化させるため、陰極電流密度を0.5, 1.0, 2.0 A/m<sup>2</sup>の3水準とし、さらに通電時間を調整することで膜厚を変化させ、さまざまな電着被膜を生成した。電着被膜生成後、試験片の電位を鋼材の防食電位である-770 mV vs.

第2表 電着被膜生成条件(室内試験)  
Table 2 Experimental conditions (Laboratory tests)

項目	単位	仕様
電解液	試験液体	— 自然海水
	採取場所	— 館山(千葉県)沖
	pH	— 8.00 (at 26.5°C)
	塩分濃度	% 3.2
陰極	材質	— SS400 (JIS G 3101)
	大きさ	mm 40×70×3.2
	有効表面積	cm <sup>2</sup> 48
陽極	材質	— Mg
	大きさ	mm φ20×150
陰極電流密度	A/m <sup>2</sup>	0.5, 1.0, 2.0

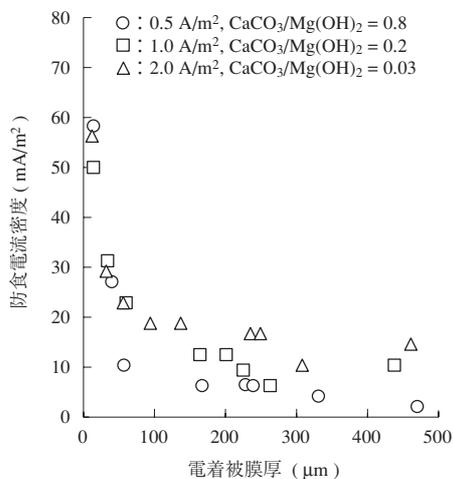
SCE<sup>(12)</sup>に定電位保持した電気防食試験を行い、防食性能を評価した。

第2図に電着被膜厚と防食電流密度の関係を示す。電着被膜付試験片の防食電流密度は、被膜組成に関係なく、膜厚が100 μmより大きくなると急激に低下し、その後は膜厚の増加と共に緩やかに低下することが分かる。これは、電着被膜が腐食因子（酸素、海水）の拡散を抑制していることによる。また、同じ膜厚で防食電流密度を比較した場合、0.5 A/m<sup>2</sup>で生成した電着被膜が、ほかに比べわずかであるが低くなっている。第2図に被膜組成比（CaCO<sub>3</sub>/Mg(OH)<sub>2</sub>, mass%比）を記載したが、0.5 A/m<sup>2</sup>で電着した場合、CaCO<sub>3</sub>/Mg(OH)<sub>2</sub>が大きい値となっている。この電着被膜は、被膜中に結晶質であるCaCO<sub>3</sub>が多く含有されているため（Mg(OH)<sub>2</sub>は非結晶質）、ほかの電着被膜と比較して密度が高くなり、腐食因子の環境遮断効果が向上していることが推察される。

以上の結果から、IECOS 工法の場合、電気防食における電着の必要最小膜厚は約100 μmであること、また、電着被膜厚100 μm以上の防食電流密度は、被膜厚、被膜組成に依存するが、2～20 mA/m<sup>2</sup>程度であることが分かった。

#### 4. 海水循環水槽における適用性の検討（実環境模擬試験）<sup>(13)</sup>

電着と電気防食併用工法における適用範囲および実用性能を評価するため、独立行政法人港湾空港技術研究所内の海水循環水槽を利用して干満帯を模擬した実環境模擬試験を行った。

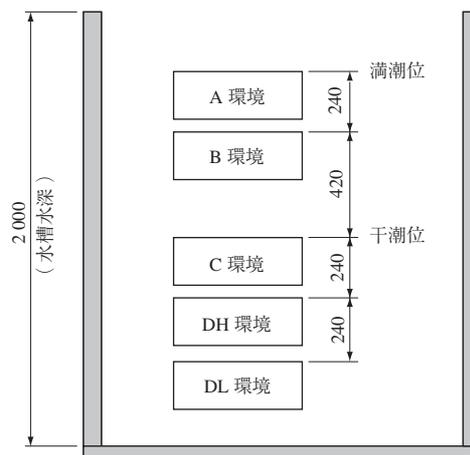


第2図 電着被膜厚と防食電流密度の関係

Fig. 2 Relationship between film thickness and protective current density

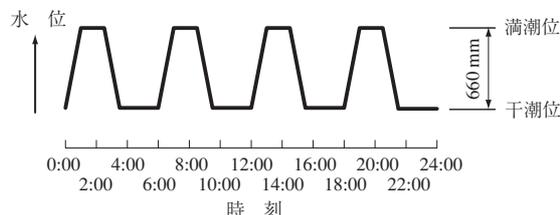
試験片の設置環境を第3図に示す。設置環境は、A（満潮位）、BおよびC（干潮位）、DHおよびDLの5環境とした。また、第4図に海水循環水槽の水位変動を示す。1日に4サイクルの水位変動を行い、干満帯を模擬した。

第3表に示す条件で電着被膜を生成させ、前述の電位を一定に保持した電気防食試験（電位：-770 mV vs. SCE）を行い、防食性能を評価した。なお、電着被膜を生成した「電着被膜付試験片（記号：EC, EC-A, -B,



第3図 試験片の設置環境（単位：mm）

Fig. 3 Installation environment of test pieces (unit: mm)



第4図 海水循環水槽の水位変動

Fig. 4 Changes in tidal level at circulation test cell

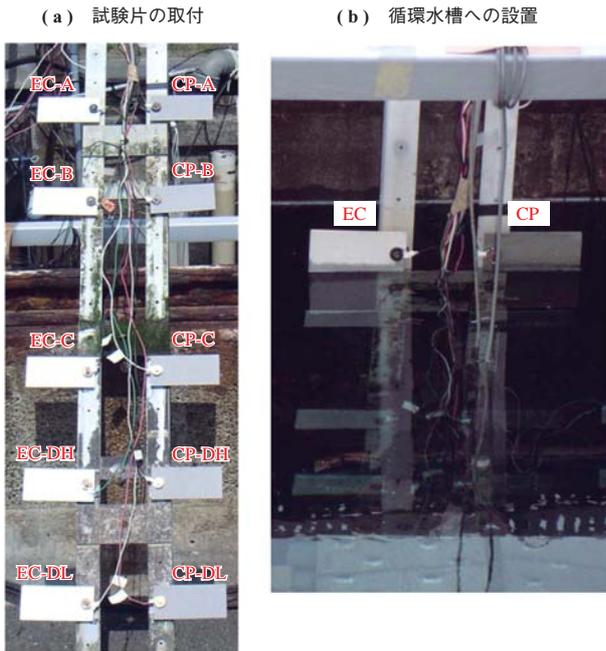
第3表 電着被膜生成条件（実環境模擬試験）

Table 3 Experimental conditions (Trial tests under actual environment)

項目	単位	仕様
電解液	試験液体	— 自然海水
	採取場所	— 久里浜（神奈川県）沿岸
	pH	— 7.94（at 26.5℃）
	塩分濃度	% 2.8
陰極	材質	— SS400（JIS G 3101）
	大きさ	mm 70×150×3.2
	有効表面積	cm <sup>2</sup> 220
陽極	材質	— 鉛・銀合金
	大きさ	mm φ25×250
陰極電流密度	A/m <sup>2</sup>	2.0
試験片の設置環境	—	A B, C, DH, DL
通電量	A·d/m <sup>2</sup>	7.0 14.0

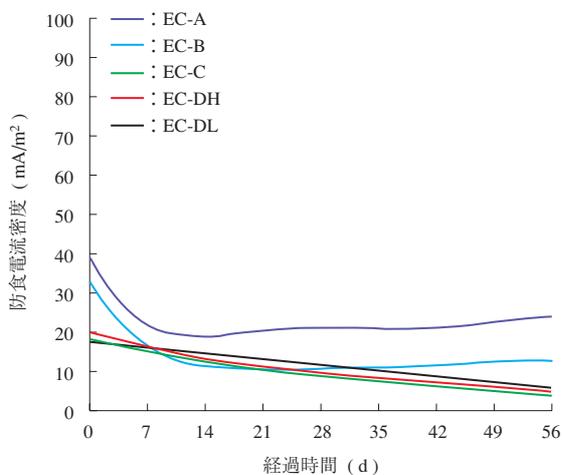
-C, -DH, -DL)」と比較するため、通常の電気防食である「電気防食試験片（電着被膜なし、記号：CP, CP-A, -B, -C, -DH, -DL）」を水槽内の同位置に設置し、電気防食試験を行った。第5図に各試験片の設置状況を示す。

第6図に電着被膜付試験片（EC）、第7図に電気防食試験片（CP）における各環境での防食電流密度の経時変化を示す。ECの防食電流密度（第6図）は、CP（第7図）と比較してすべての設置環境において低減しており、



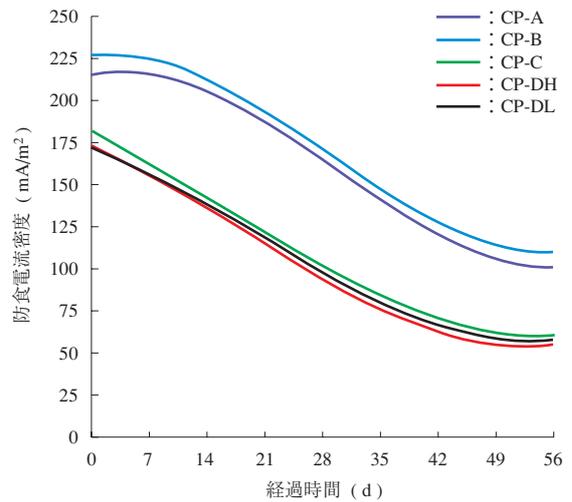
(注) EC, EC-\*, EC-\*\* : 電着被膜付試験片  
CP, CP-\*, CP-\*\* : 電気防食試験片

第5図 各試験片の設置状況  
Fig. 5 Installation of each test piece



(注) EC-\*, EC-\*\* : 電着被膜付試験片

第6図 ECにおける防食電流密度測定結果  
Fig. 6 Measured results of protective cathodic current density of EC



(注) CP-\*, CP-\*\* : 電気防食試験片

第7図 CPにおける防食電流密度測定結果  
Fig. 7 Measured results of protective cathodic current density of CP

電着被膜による防食効果が確認できる。また、すべての試験片において、防食電流密度が電気防食開始時と比較して減少しており、これは、試験片表面にごく薄い電着被膜が生成<sup>(6), (7)</sup>したことに起因すると考えられる。

第4表に各環境別に試験終了時（56日経過後）の防食電流密度を比較した結果を示す。CPの海中における防食電流密度は、50～60 mA/m<sup>2</sup>程度であり、海水中での鋼材の防食電流密度に関する既往の報告と良く一致している<sup>(9)</sup>。これに対し、ECでは3～5 mA/m<sup>2</sup>程度であり、初期に電着被膜を生成させることで、防食電流密度が1/10程度低減されることが分かった。

第8図に電気防食試験における試験片の外観を示す。ECとCPの試験片を比較した場合、ECはすべての試験片において発錆が認められないが、CPではA, B環境において発錆が認められた。第9図に各試験片の重量変化の測定を行い、各環境における腐食速度を算出した結果

第4表 防食電流密度の比較  
Table 4 Comparison of protective current density

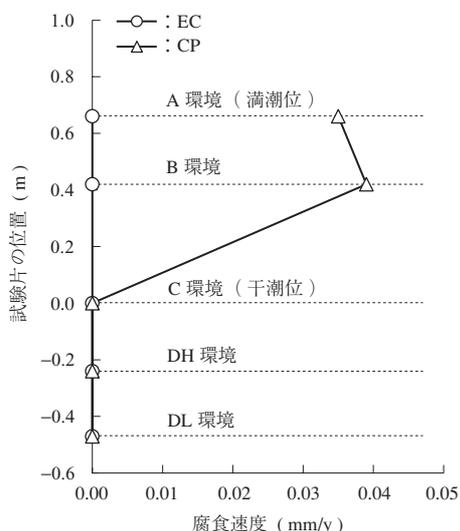
試験片設置環境	防食電流密度 (mA/m <sup>2</sup> )	
	CP	EC
A	116.3	24.9 (96 μm)
B	118.7	13.0 (153 μm)
C	60.7	3.3 (173 μm)
DH	53.4	4.0 (189 μm)
DL	58.0	5.0 (224 μm)

(注) CP : 電気防食試験片  
EC : 電着被膜付試験片  
( ) : 試験終了時の電着被膜厚

試験片	経過時間	試験片の設置環境				
		A	B	C	DH	DL
EC	電着終了時					
EC	56日経過後					
CP	56日経過後					

(注) EC：電着被膜付試験片  
CP：電気防食試験片

第 8 図 電気防食試験における試験片の外観  
Fig. 8 Appearance of test pieces in cathodic protection tests



(注) EC：電着被膜付試験片  
CP：電気防食試験片

第 9 図 電気防食試験における腐食速度  
Fig. 9 Corrosion rate of cathodic protection tests

を示す。EC ではすべての試験片において腐食速度がゼロであるのに対し、CP では A, B 環境において腐食速度が 0.04 mm/y 程度となっており、初期に生成した電着被膜が干満帯の防食効果をもつことが確認された。

以上の結果から、IECOS 工法では、電気防食単独の方法と比較して、防食電流密度を大幅に低減可能であることが確認され、さらに電気防食法のみでは腐食を抑制することが難しい干満帯上部の防食も十分可能であることも確認された。

次に、電着工法（電気防食併用なし）の観点から電着

被膜による鋼材の腐食抑制効果を定量的に明らかにすることを目的に、浸せき試験によって電着被膜の防食性能を評価した。

電着被膜生成条件を第 3 表に示す。通電量を  $22 \text{ A} \cdot \text{d}/\text{m}^2$  とし、すべての試験片を没水した状態で通電を行い、電着被膜（膜厚：166～189  $\mu\text{m}$ ）を生成した。この電着被膜試験片（EC）と無防食試験片（比較用）を第 3 図、第 4 図に示す環境下に約 5 か月（154 日）浸せきし、試験片の重量変化の測定を行い腐食速度を算出した。

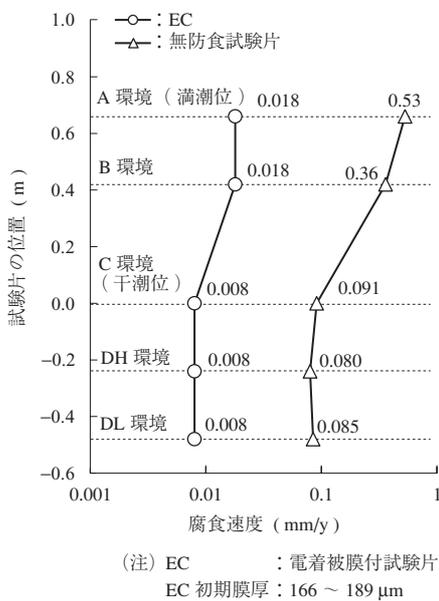
第 10 図に浸せきにおける試験片の外観を示す。EC は、干満帯上部において発錆が確認できるが、海中部においては発錆が確認されず、良好な防食状態であることが分かる。第 11 図に浸せき試験における腐食速度を算出した結果を示す。各環境において、EC の腐食速度は、無防食試験片と比較して 1/10 程度小さくなっており、電着被膜によって鋼材の腐食速度が抑制されていることが確認できる。また、海中部においては、無防食試験片の腐食速度は、0.1 mm/y 程度であり、鋼材の腐食速度に関する既往の報告と良く一致している<sup>(9)</sup>。これに対し、EC の腐食速度は、0.01 mm/y 程度であり、電着被膜による防食効果が定量的に明らかとなった。

今後、腐食形態（局部腐食の有無）、電着被膜の長期耐久性、最適膜厚などの検討を行う必要があるが、従来の電着工法とは異なり、200  $\mu\text{m}$  程度の電着被膜においても鋼材の腐食速度が大幅に抑制されている。このため、電気防食を併用しない電着工法も、特に既設構造物の寿命延長を図るうえで、一つの防食工法に成り得ると考えている。

試験片	経過時間	試験片の設置環境				
		A	B	C	DH	DL
EC	電着終了時					
EC	154日経過後					
無防食試験片	154日経過後					

(注) EC：電着被膜付試験片

第 10 図 浸せき試験における試験片の外観  
Fig. 10 Appearance of test pieces in immersion tests



第 11 図 浸せき試験における腐食速度  
Fig. 5 Corrosion rate of immersion tests



第 12 図 試験対象鋼管ぐいの外観  
Fig. 12 Appearance of steel pipe piles under for marine tests

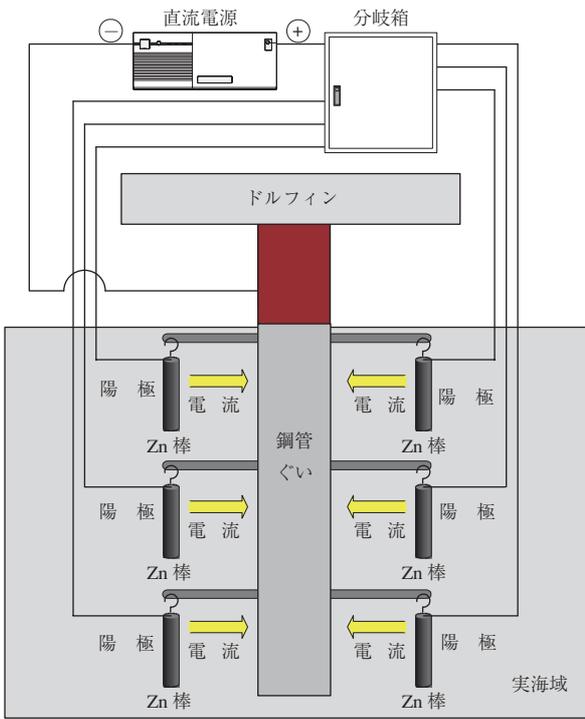
## 5. 実機試験

IECOS 工法の防食効果を実海域における構造物で確認する目的で、国土交通省九州地方整備局管内の関門航路舩外排送施設（新北九州空港北側護岸，北九州市門司区地先沖合 3 km）における管理橋鋼管ぐい（海中部）に対し実証試験を行った。

試験を実施した鋼管ぐいの外観を第 12 図に示す。施工対象は、鋼管ぐい（φ 600 × 8 000 mm × 2 本）のさく望平均干潮面（以下，L. W. L. と呼ぶ）以深であり，電着施工面積は 30.2 m<sup>2</sup> である。なお，試験片を L. W. L.

L. W. L. -2 m, L. W. L. -4.7 m の 3 か所に取り付けた。この鋼管ぐいは設置後無防食状態で 1 年が経過していることから，高圧洗浄によって鋼管ぐい表面の除錆処理を行った。第 13 図に電着システムの概要を示す。通電用陽極として Zn 棒（φ 45 × 750 mm × 6 本）を用い，通電量を 35 A · d/m<sup>2</sup> とし，電着被膜を生成した。この電着被膜厚は，同一環境・条件で行った予備試験結果から 670 μm 程度と推定される。

電着被膜生成後の各鋼管ぐいに対し，電気防食を併用するため，流電陽極として Al 合金を L. W. L. +2 m, L. W. L.



第13図 電着システム概要図  
Fig. 13 Schematic of electrodeposition system

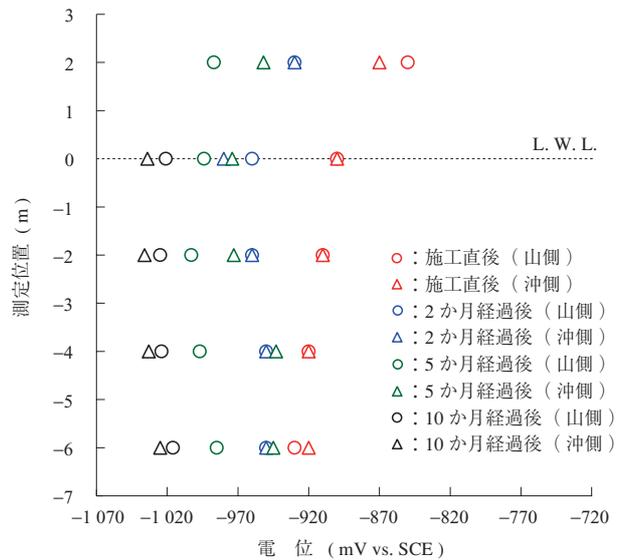
-1 m および L. W. L. -4 m の3か所に取り付けた。

第14図に海中部に位置する鋼管ぐい表面の外観を示す。第14図から分かるように、電着被膜生成後10か月が経過した時点では、海生生物が鋼管ぐい表面に付着しているものの外観上腐食は認められず良好な状態である。第15図に鋼管ぐいの電位計測結果を示す。この図から鋼管ぐいの電位はすべての測定位置において海水中での鋼材の防食電位である  $-770 \text{ mV vs. SCE}$  <sup>(12)</sup> 以下となっており、すべての部位で防食が完全に達成されていることが確認された。

第5表に鋼管ぐいから採取した試験片の分析結果を示す。なお、分析値は3枚の試験片の平均値である。被膜組成について、電着被膜生成直後の  $\text{CaCO}_3/\text{Mg}(\text{OH})_2$  は0.1 であるのに対し、電着被膜生成後5、10か月が経過した時点では1.6～2.0と  $\text{CaCO}_3$  含有率の高い良質（ち密）



第14図 鋼管ぐい表面の外観  
Fig. 14 Appearance of steel pipe pile surface



第15図 鋼管ぐいの電位  
Fig. 15 Cathodic potential of steel pipe piles

第5表 被膜組成と防食電流密度  
Table 5 Composition of calcareous deposits and protective current density

試験片	被膜組成			防食電流密度 ( $\text{mA}/\text{m}^2$ )
	$\text{CaCO}_3$ (mass %)	$\text{Mg}(\text{OH})_2$ (mass %)	$\text{CaCO}_3/\text{Mg}(\text{OH})_2$	
電着被膜生成直後	9.3	90.7	0.1	—
5か月経過後	62.0	38.0	1.6	9.7
10か月経過後	66.6	33.4	2.0	10.8

な被膜に変化していることが分かる。また、3章と同様に電位を一定に保持した電気防食試験（電位： $-770 \text{ mV vs. SCE}$ ）を行い、防食性能を評価した。試験片における防食電流密度は、 $10 \text{ mA}/\text{m}^2$  程度であることが確認され、鋼管ぐいにおいても防食電流密度が大幅に低減されていることが推定される。

以上の結果から、IECOS工法を施工した鋼管ぐいは、外観観察、電位測定から良好な防食状態であることが確認された。また、電気防食における所要防食電流密度が大幅に低減されることが確認され、実環境においてもIECOS

工法の有効性が実証された。

## 6. ジャケット式栈橋鋼管ぐいへの適用

博多港アイランドシティ地区では、港湾機能の強化を目的に、コンテナターミナルの整備が進められている（2008年秋に供用開始予定）。この岸壁工事は、ジャケット工法が採用されており、ジャケット式栈橋鋼管ぐいの防食工法として IECOS 工法を適用した。工事概要を以下に示す。

工事名称 博多港（アイランドシティ地区）岸壁（-15 m）（耐震）築造外1件工事  
 発注者 国土交通省九州地方整備局博多港湾空港整備事務所

請負者 東洋・佐伯・吉田特定建設工事共同企業体・石川島播磨重工業株式会社（現株式会社 IHI）

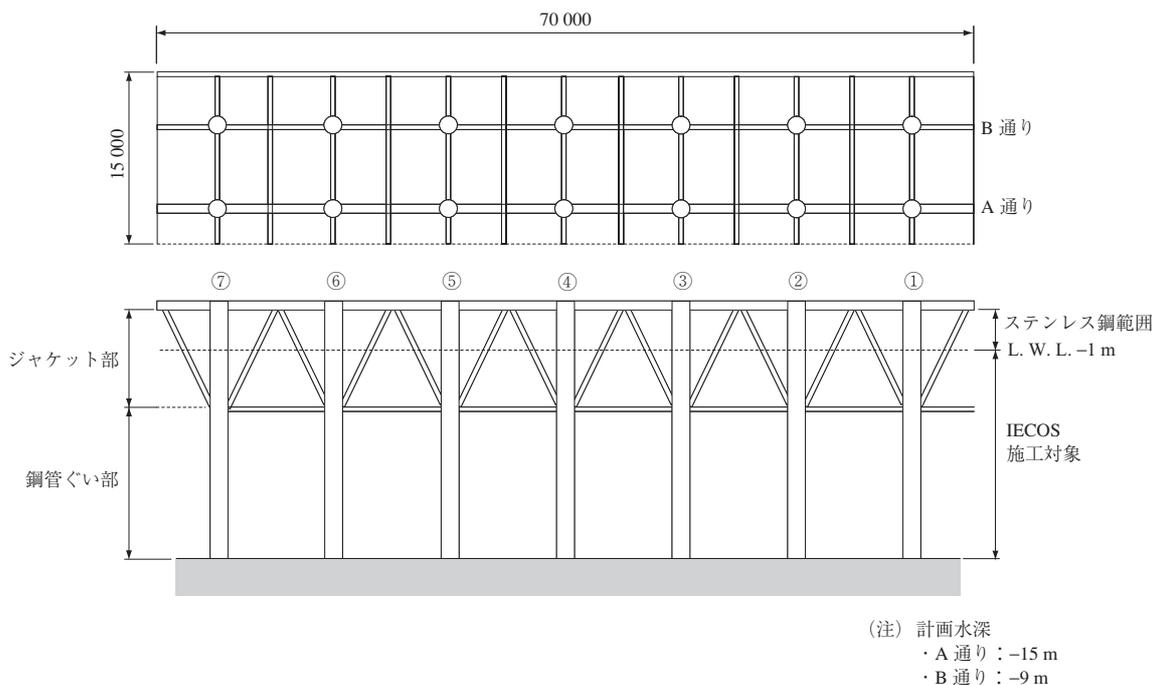
据付け場所 福岡県福岡市東区香椎浜3丁目地先

施工対象 J2ジャケット 約1700 m<sup>2</sup>

施工対象構造物の外観を第16図に、概略図を第17図に示す。施工対象構造物は、L. W. L. -1 m まで耐海水性ステンレス鋼が被覆されており、IECOS 施工対象は、L. W. L. -1 m 以深である。通電用陽極は溝型鋼（250 × 90 × 9/13）を用い、電流分布が均一になるように配置し、電着被膜を生成した。通電量は、54 A・d/m<sup>2</sup> 程度とした。電着被膜生成後の各鋼管ぐいに対しては、電気防食を併用するため、流電陽極として Al 合金を L. W. L. -1 m、L. W. L. -5 m の位置に取り付けた。なお、IECOS 工法に



第16図 施工対象構造物の外観  
 Fig. 16 Appearance of structure to be constructed



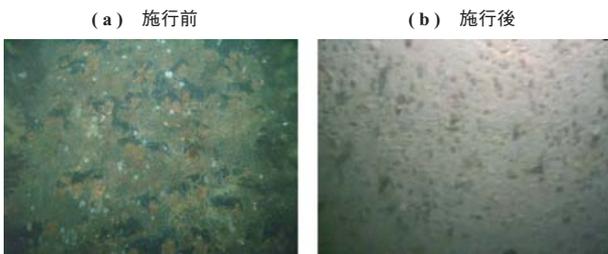
第17図 ジャケット式鋼管ぐいの概略図（単位：mm）  
 Fig. 17 Schematic of steel pipe pile jacket (unit : mm)

おける設計防食電流密度を第 6 表に示す。今回の防食設計は、耐用年数を電気防食と同一とし、従来の電気防食と比較して、防食電流密度（海中部）を 20 mA/m<sup>2</sup> とすることで、流電陽極の使用数量を低減化して設計を行った。

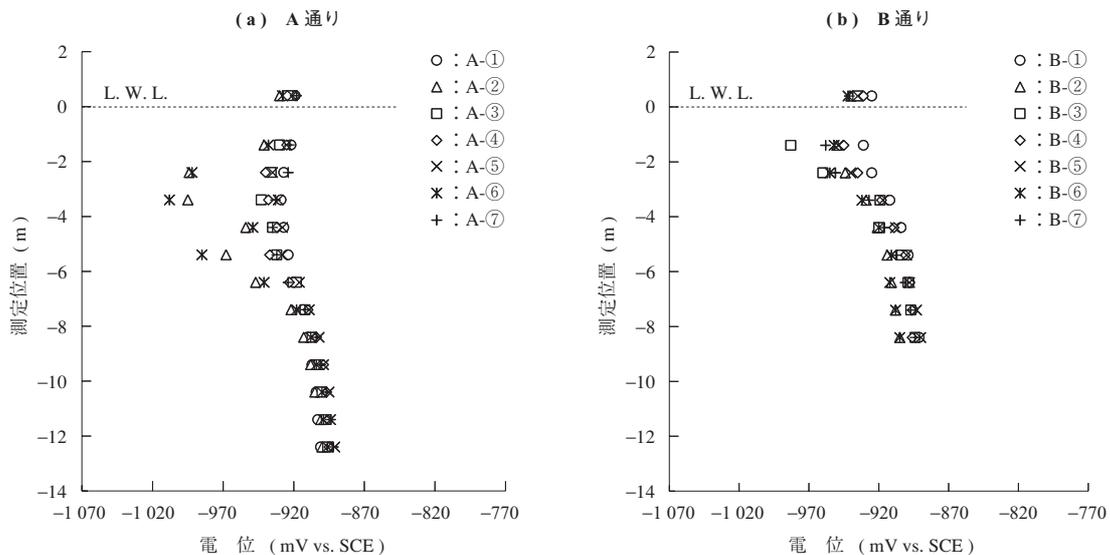
第 18 図に海中部に位置する鋼管ぐいの外観を示す。第 18 図から、電着被膜の生成が確認でき、電着被膜厚は、水中膜厚計による計測結果から、710 μm（平均）であった。第 19 図に IECOS 施工後の電位計測結果を示す。A 通り、B 通りの電位は、すべての測定位置において海水中での鋼材の防食電位である -770 mV vs. SCE<sup>(12)</sup> 以下となっており、すべての部位で防食が完全に達成されていることが確認された。なお、別途ジャケット部に取り付けた試験片の膜厚も要求仕様を満足するものであり、2007 年 8 月に工事を完了した。

第 6 表 清浄海域における防食電流密度（初期値）  
Table 6 Protective current density at clean sea area (Initial value)

腐食環境	単 位	IECOS 工法	電気防食 <sup>(9)</sup> 比較
海 水 中	mA/m <sup>2</sup>	20	100
海底土中	mA/m <sup>2</sup>	20	20



第 18 図 海中部鋼管ぐいの外観  
Fig. 18 Appearance of steel pipe piles immersed in seawater



第 19 図 IECOS 施行後の電位  
Fig. 19 Cathodic potential after IECOS method

## 7. 結 言

電着工法と電気防食工法を複合活用した IECOS 工法は、電気防食時における設計防食電流密度が小さくてよい、ミニマムメンテナンスが可能な海洋鋼構造物の新しい防食工法であるといえる。特に、今後急速に増加することが予想される老朽化した既設構造物の寿命延長に有効な防食工法であると考えられる。

今後は、実機データを蓄積し、さらなる施工方法の改善、防食設計の最適化を図り、防食性能、経済性に優れた工法に改良していきたい。

## — 謝 辞 —

本試験を進めるに当たっては、独立行政法人港湾空港技術研究所の関係各位に多大なご指導とご支援をいただきました。また、実機施工に当たっては、東洋・佐伯・吉田特定建設工事共同企業体の関係各位に多くの有益なご助言をいただきました。ここに記し、深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 宮島正悟, 浅見靖伸, 東方真次, 澤田隆志: 港湾施設の維持管理における LCM の考慮 - 栈橋の点検結果による対応策の試行的検討 - 海洋開発論文集 第 22 巻 2006 年 7 月 pp. 9 - 14
- (2) 禮田英一, 深海正彦: 既存栈橋における維持管理工法の決定支援に関する一考察 沿岸センター研究論文集 No.4 2004 年 7 月 pp. 77 - 80

- (3) 金井 久, 石田雅己: 産業別に見た防錆技術 - 海洋構造物 - 防錆管理 第 43 巻第 5 号 1999 年 5 月 pp. 167 - 185
- (4) 赤嶺健一: 船舶バラストタンク内新防食法 (IECOS) の開発 日本金属学会会報 第 38 巻第 1 号 1999 年 1 月 pp. 49 - 51
- (5) 赤嶺健一: 無塗装防食法 (IECOS) の港湾施設への適用 石川島播磨技報 第 42 巻第 3 号 2002 年 5 月 pp. 121 - 126
- (6) G. C. Cox: Anticorrosive and Antifouling Coating and Method of Application U.S. Patents No. 2200469 (1940. 5)
- (7) H. A. Humble: Cathodic Protection of Steel in Sea Water with Magnesium Anodes Corrosion Vol. 4 No. 7 (1948. 7) pp. 358 - 370
- (8) 阿部正美, 濱田秀則: 防食鋼管杭の長期暴露試験結果 - 波崎海洋観測栈橋における現地試験 - 基礎工 第 28 巻第 12 号 2000 年 12 月 pp. 40 - 44
- (9) 財団法人沿岸開発技術研究センター: 港湾鋼構造物防食・補修マニュアル 1997 年 4 月
- (10) K. Akamine and I. Kashiki: Corrosion Protection of Steel by Calcareous Electrodeposition (Part 1) - Mechanism of Electrodeposition - Zairyou-to-Kankyou Vol. 51 No. 11 (2002. 11) pp. 496 - 501
- (11) K. Akamine and I. Kashiki: Corrosion Protection of Steel by Calcareous Electrodeposition (Part 2) - Mechanism of Growth - Zairyou-to-Kankyou Vol. 52 No. 8 (2003. 8) pp. 401 - 407
- (12) 日本学術振興会: 金属防蝕技術便覧 日刊工業新聞社 1978 年 12 月 pp. 577 - 579
- (13) 濱田秀則, 兼坂 薫, 鈴木靖庸, 宮田義一: 鋼材における電着および電気防食併用工法の防食性能に関する実験的検討 港湾空港技術研究所資料 No. 1113 2005 年 12 月 pp. 1 - 14