

海水電解による海洋生物付着防止システムの 計算手法に関する研究

(その2 実証実験による検証)

正員 宇佐美 正 博* 正員 黄 一**
正員 植 田 健 二*** 正員 岩 田 光 正****

A study on Calculation Method of Antifouling System by Sea Water Electrolysis
(Report 2 Verification with Actual Tests)

by M. Usami, *Member* Y. Huang, *Member*
K. Ueda, *Member* M. Iwata, *Member*

Summary

The antifouling system for ship hull and ocean structures by sea water electrolysis has been developed. In this system, the ClO^- ions, which are effective for antifouling, is generated by the sea water electrolysis reaction caused by electric current supplied from electro-conductive coatings on the surface of ship hull or the ocean structure. In order to design a reasonable antifouling system, therefore, the technique to estimate the polarizing potential distribution and the current density distribution on the interface between sea water and electro-conductive coatings is expected.

In report (1), based on the Interface Electro-double Layer theory, a finite element method for the numerical analysis of the potential field caused by the antifouling system was developed, and the validity and usefulness of which was confirmed by its application to a test tank model.

For the analysis of the potential field caused by the antifouling system of a ship hull, however, it is very difficult to apply the finite element method to the semi-infinite sea water domain under water surface. Therefore, in this paper a new numerical analyzing technique by using both of finite element method (for electro-conductive coatings and Ti foil potential filed) and boundary element method (for sea water potential field) jointly is developed and the validity of which is verified by its applications to a small-size passenger boat and a steel sea water pipe, for which the antifouling systems were undertaken and the antifouling efficiency tests have been performed.

1. 緒 言

海水中の鋼構造物や船体の表面には、微生物・藻・貝などの海洋生物が付着するので、構造物では異常局部腐食の発生、船舶では航走抵抗の増大が大きな問題となる。その対策として、トリブチル錫 (TBT) 化合物系の防汚塗料が効果を発揮したが、これは環境汚染をもたらすため、1990

年に自主規制された。そこで、海水の電気分解反応を利用した無公害防汚システムを開発したり。

本防汚システムは、船体外板や構造物の表面に絶縁塗膜を施工し、その上に導電塗料を塗装して、これに微少電流を流し、その表面に次亜塩素酸イオン (ClO^-) を発生させて生物の付着を防止するものである。有効な防汚状態を保持するためには、船体や構造物の表面全体にわたって防汚に必要な最低限度以上の電流密度を確保する必要がある。一方、電流密度が高くなると導電塗膜の劣化が早まるので、導電塗膜の寿命の観点から、電流密度の上限値を設定せざるを得ない。従って、電流密度の上下限の範囲内で導電塗膜表面の電流密度分布を可能な限り均一化し、かつ経済的な塗膜仕様で施工する必要がある。

導電塗膜に対する必要性能は電流分布を均一化するため

* 三菱重工業(株)技術本部長崎研究所

** 広島大学工学部

*** 三菱エンジニアリング

**** 広島大学大学院国際協力研究科

原稿受理 平成 10 年 1 月 9 日
春季講演会において講演 平成 10 年 5 月 14, 15 日

の高導電性と電極としての耐久性であるが、それを同時に満たす材料がなく、下層に高導電性、上層に耐電解性の2層構造としている。さらに、高導電性の導電塗料も導電材として金属粉を使うことができず導電性が十分でないため、金属箔との組み合わせで対処している。金属箔の配置、導電塗膜厚さなどの導電塗膜の構成と電流密度分布の関係を明確にした上で、塗装面積が数万 m² にも及ぶ大型の船体や構造物に対しても最適な導電塗膜の構成が提案できる設計技術の開発が強く期待されている。前報²⁾において、界面電気二重層の理論に基づき、導電塗膜と電解液(海水)との隣接面における電氣的挙動を外部分極特性によって取扱、有限要素法を用いて、金属箔領域、導電塗膜領域、界面電気二重層及び電解液(海水)領域によって構成される防汚システムの電場を一括解析し、導電塗膜と電解液との隣接面における分極電位分布及び電流密度分布を算出する数値解析手法を提案した。さらに、提案した解析手法を、防汚システムを施工した試験水槽に応用し、本解析手法の妥当性を検証すると共に、実機施工時の設計手法として適用できる可能性が高いことを明らかにした。

しかしながら、船体防汚システムの電場解析をする際には、海水領域が海面下半無限領域となるために、有限要素法の適用は繁雑となる。そこで本報では、有限要素法と境界要素法との併用による、すなわち、金属箔領域及び導電塗膜領域と電解液(海水)領域とを、それぞれ有限要素法と境界要素法により離散する船体防汚システムの電場解析技術を検討したので報告する。さらに、防汚試験を行った小型客船と発電所取水管の電場解析を行い、解析結果と実験結果との整合性により本解析技術の妥当性を評価した。

2. 防汚原理と導電塗膜システムの構成

本防汚システムを船体に適した場合の防汚原理を Fig. 1 に示す。左舷と右舷に導電塗膜を塗り分け、各導電塗膜を陽極、陰極としてその間に電流を流すと、陽極表面上に発生する次亜塩素酸イオン(ClO⁻)により海洋生物の付着を防止でき、一定時間毎にその極性を変えることで船体全面の防汚を図ることができる。

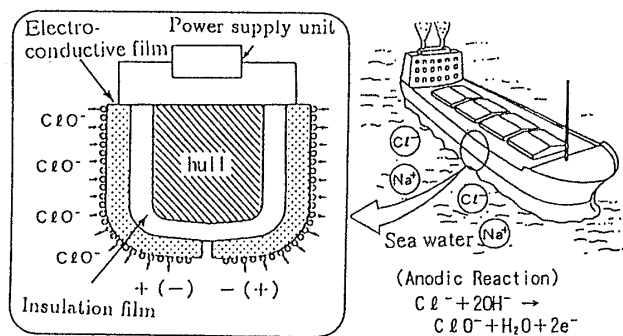


Fig. 1 Principle of present antifouling system using electro-conductive film

本システムに用いられる導電塗膜に必要な性能は前述のように高導電性と電解耐久性である。両性能を兼ね備えた導電塗料は開発されていないので、導電塗膜は下層に高導電性、上層に耐電解性の2層構造としており、さらに下層の高導電性塗膜の下地に一定間隔で带状金属箔を貼り付けており、その金属箔に通電端を設けてそれから電気を流すようにしている。

従って、電流の経路は、直流電源→通電端→金属箔→高導電性導電塗膜→耐電解性導電塗膜となり、その表面上でClO⁻を発生し、海水を介して対極の導電塗膜に流れて直流電源に戻ってくる。

3. 数値解析法

Fig. 2 において船体防汚システムの電場解析モデルを示している。有限要素法を適用する電気比抵抗の異なる金属箔領域及び導電塗膜領域を一つの分領域(固体分電場領域, Ω_s)とすると、この分領域はTi箔と導電塗膜の比抵抗が異なり、かつ領域で源点も吸点もないポテンシャル場となる。なお、境界要素法を適用する海水分領域(Ω_s)において、海水の電気比抵抗を常数とすると、この分領域の電場はラプラス方程式を満足する。従って、Fig. 2 に示した防汚システムの電場が次式で表される。

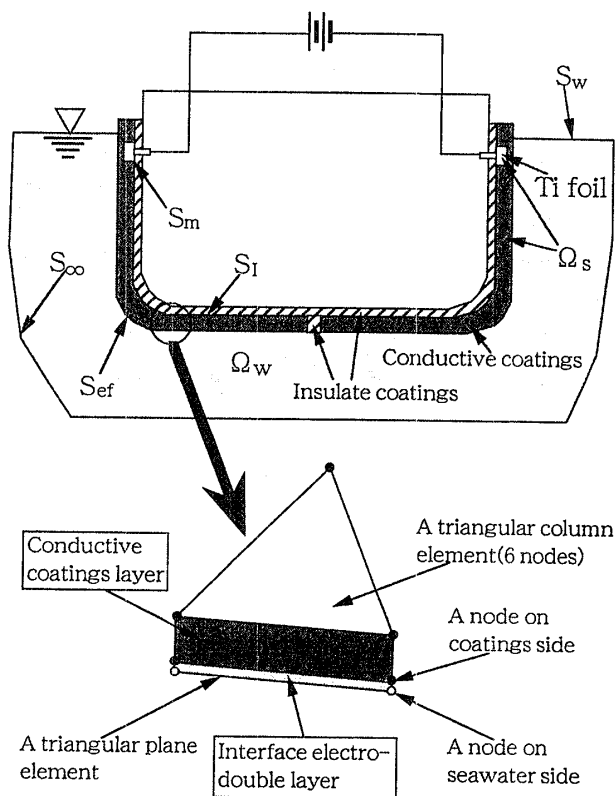


Fig. 2 The calculating model for the antifouling system of ship hull

$$\begin{cases} \nabla \cdot \left(\frac{1}{\rho} \nabla \phi \right) = 0 & \text{in } \Omega_s \\ \frac{1}{\rho} \nabla^2 \phi = 0 & \text{in } \Omega_\omega \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 ρ と ϕ は、それぞれ電場領域における電気比抵抗と電位である。

導電塗膜と海水との隣接面 (S_{ef}) において、界面電気二重層が生じ、この層を構成する正の電荷層と負の電荷層間の電位差は分極電位であり、それと電流密度との関係は外部分極特性である。すなわち、導電塗膜-海水隣接面において、界面電気二重層の導電塗膜側の電位 ϕ_f と海水側の電位 ϕ との差 ($\phi_f - \phi$) は、通常照合電極 (Ag/AgCl など) を用いた計測電位に相当するものである。そこで、一般的非線形の外部部分極特性を部分的に直線で近似する際に、その直線が次式で与えられる。

$$q = (\phi_f - \phi - \phi_c) / R_p \quad \text{on } S_{ef} \quad (2)$$

ここに、 q は電流密度、 ϕ_c は電流密度が 0 のときの界面電気二重層の電位差、 R_p は分極抵抗である。なお、導電塗膜電極の海水中での分極特性において、この ϕ_c と ($\phi_f - \phi$) は分極特性の測定に用いた照合電極を基準とした電位である。

(1)式及び(2)式の電位 ϕ と ϕ_f の基準点を定義するために、通常固体分電場領域 (Ω_s) における一点 (例えば、陰極となる通電端) に電位値を与え、これが一般的なポテンシャル問題の基本境界条件に相当し、次式で与えられる。

$$\phi = \phi_0 \quad (3)$$

Fig. 2 に示した防汚システムの電場領域において、仮想無限遠境界 ($S_\infty, q=0$)、海面境界 ($S_\omega, q=0$)、絶縁境界 (S_I) 及び通電端となる金属箔の端断面境界 (S_m) などの、電流密度を与える自然境界条件が次式で表される。

$$q = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \phi}{\partial n} = q_0 \quad \text{on } (S_\infty + S_\omega + S_I + S_m) \quad (4)$$

ここに、 n は電場境界上での外向き単位法線である。なお、個体分電場領域 (Ω_s) と海水分電場領域 (Ω_ω) との共通境界として、界面境界 S_{ef} における自然境界条件が(2)式によって与えられる。

従って、上述固体分電場領域 (Ω_s) 及び境界 (S_I, S_m, S_{ef}) と関連する諸式と等価の汎関数 χ は次式ようになる。

$$\begin{aligned} \chi = & \int_{\Omega_s} \left\{ \frac{1}{2\rho} \nabla \phi \cdot \nabla \phi \right\} d\Omega - \int_{S_m} q \phi dS \\ & + \int_{S_{ef}} \frac{1}{2R_p} (\phi_f - \phi - \phi_c)^2 dS \end{aligned} \quad (5)$$

また、上述の海水分電場領域 (Ω_ω) 及び境界 ($S_\infty, S_\omega, S_{ef}$) と関連する諸式に基づく境界積分方程式は次式のようにになる。

$$\begin{aligned} \frac{1}{\rho} C_p \phi_p + \int_{S_{ef} + S_\omega + S_\infty} q^*(P, Q) \phi(Q) dS \\ = \int_{S_{ef}} \phi^*(P, Q) \frac{(\phi_f - \phi - \phi_c)}{R_p} dS \end{aligned} \quad (6)$$

ここに、 C_p は形状係数、 P と Q はそれぞれ源点と積分

点、 $\phi^*(P, Q)$ は基本解である。なお、 $q^*(P, Q)$ は次式で与えられる。

$$q^*(P, Q) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \phi^*(P, Q)}{\partial n} \quad (7)$$

ここで、積分点 Q の海面境界 (S_ω) に関する写像を Q' とし、 P と Q 及び P と Q' の点間距離をそれぞれ $r(P, Q)$ 及び $r(P, Q')$ で表して、基本解 $\phi^*(P, Q)$ を次の式で与えると、

$$\phi^*(P, Q) = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{r(P, Q)} + \frac{1}{r(P, Q')} \right) \quad (8)$$

海面境界 (S_ω) において $q^*(P, Q) = 0$ になる。また、仮想境界 (S_∞) において電位が一定であるために、積分方程式の(6)式が次式のようにになる。

$$\begin{aligned} \frac{1}{\rho} C_p \phi_p + \int_{S_{ef}} q^*(P, Q) \phi(Q) dS + \frac{1}{\rho} \phi_\infty \\ = \int_{S_{ef}} \phi^*(P, Q) \frac{(\phi_f - \phi - \phi_c)}{R_p} dS \end{aligned} \quad (9)$$

ここに、 ϕ_∞ は、(3)式で定義した基準電位に対する仮想境界 (S_∞) における電位である。

汎関数(5)式の体積積分領域 (Ω_s) を 6 節点三角柱アイソパラメトリック要素で、境界の面積積分領域 S_m 及び S_{ef} を三角形線型或いは四角形双線型の平面要素で分割し、また界面電気二重層境界 (S_{ef}) の両側に 2 重節点を設けることによりその汎関数を離散化し、さらに体積領域 (Ω_s)、面積領域 (S_m) 及び界面電気二重層境界 (S_{ef}) の導電塗膜側の節点電位 $\{\Phi^{(i)}\}$ についてその汎関数の停留値をとると、次式が得られる。

$$\begin{aligned} \sum \left\{ \frac{\partial \chi^{(i)}}{\partial \{\Phi^{(i)}\}} \right\} = & \sum \{ {}_{(as)} [K^{(i)}] {}_{(as)} \cdot \{\Phi^{(i)}\}_{(as)} \\ & + {}_{(f)} [K^{(i)}] {}_{(f)} \cdot \{\Phi^{(i)}\}_{(f)} - {}_{(e)} [K^{(i)}] {}_{(e)} \cdot \{\Phi^{(i)}\}_{(e)} \\ & - {}_{(f)} [F^{(i)}] {}_{(f)} \cdot \{\Phi^{(i)}\}_{(f)} - q_0 {}_{(f)} [F^{(i)}] {}_{(f)} \} = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

ここで、 (i) は要素番号、マトリクス及びベクトルに付した下付き添字 (Ω_s)、 (f) 及び (e) は体積領域、界面電気二重層境界 (S_{ef}) の導電塗膜及び海水側をそれぞれ意味する。すなわち ${}_{(as)} [K^{(i)}] {}_{(as)}$ は三角柱要素のマトリクス、 ${}_{(f)} [K^{(i)}] {}_{(f)}$ 、 ${}_{(e)} [K^{(i)}] {}_{(e)}$ 及び ${}_{(f)} [F^{(i)}] {}_{(f)}$ は界面境界 (S_{ef}) の導電塗膜側における平面要素のマトリクスである。

さらに、左下付き添字が示す領域の節点番号及び右下付き添字が示す領域の節点番号を、それぞれ(10)式の全体マトリクスの行番号及び列番号として、各要素マトリクスをその全体マトリクスに組込むと、次の構成方程式が得られる。

$$[K_S \ K_F \ K_E] \begin{Bmatrix} \Phi_S \\ \Phi_F \\ \Phi_E \end{Bmatrix} = \{I_F\} \quad (11)$$

ここに、 $\{\Phi_F\}$ 及び $\{\Phi_E\}$ はそれぞれ界面境界 (S_{ef}) の塗膜側における節点電位ベクトル及びその海水側における節点電位ベクトルで、 $\{\Phi_S\}$ は固体分電場領域 (Ω_s) における $\{\Phi_F\}$ 以外の節点電位ベクトルである。なお、マトリクス

$[K_E]$ が(10)式中の ${}_s[K^{(i)}]_{(e)}$ によって構成され、節点電位ベクトル $\{\Phi_E\}$ と対応する部分である。

上述界面境界(S_{er})の要素分割に基づき、海水分領域の積分方程式(9)式が次式のように離散化される。

$$[H]\{\Phi\} + \phi_\infty = [G]\left\{\frac{\phi_f - \phi - \phi_c}{R_p}\right\} \quad (12)$$

ここで、 $[H]$ 及び $[G]$ は界面境界(S_{er})の形状に依存する係数マトリクスである。

さらに(12)式を、係数マトリクス $[H]$ 及び $[G]$ と未知の節点電位ベクトル $\{\Phi_F\}$ 及び $\{\Phi_E\}$ との対応関係に従って整理すると、次式が得られる。

$$[G_F(H_E + G_E)I]\begin{Bmatrix} \Phi_F \\ \Phi_E \\ \phi_\infty \end{Bmatrix} = \{I_B\} \quad (13)$$

ここで、

$$\begin{cases} [G_F] = -\frac{1}{R_p}[G] \\ [G_E] = \frac{1}{R_p}[G] \\ [H_E] = [H] \\ [I] = [111LL1]^T \\ \{I_B\} = -[G]\left\{\frac{\phi_c}{R_p}\right\} \end{cases}$$

である。

また、海水分領域が開領域で、 ϕ_∞ が未知となっているために、次式で表す電流保存則を一つ方程式として追加する必要がある。

$$\int_{S_{er}} \frac{(\phi_f - \phi - \phi_c)}{R_p} dS = 0 \quad (14)$$

上述と同様に、界面境界(S_{er})の要素分割を用いて、(14)式を離散化すると、次式が得られる。

$$[S_F \ S_E]\begin{Bmatrix} \Phi_F \\ \Phi_E \end{Bmatrix} = \{I_C\} \quad (15)$$

ここで、

$$\begin{cases} [S_F] = \frac{1}{R_p}[S] \\ [S_E] = -\frac{1}{R_p}[S] \\ \{I_C\} = [S]\left\{\frac{\phi_c}{R_p}\right\} \end{cases}$$

である。なお、 $[S]$ は界面境界(S_{er})における節点と対応する面積係数マトリクスである。

上述した(11)、(13)及び(15)式を、マトリクス $[K_S]$ 、 $[K_F]$ 、 $[K_E]$ 、 $[G_F]$ 、 $[H_E + G_E]$ 、 $[S_F]$ 、 $[S_E]$ 及び $[I]$ との未知の節点電位ベクトル $\{\Phi_S\}$ 、 $\{\Phi_F\}$ 、 $\{\Phi_E\}$ 及び ϕ_∞ との対応関係に従って纏めると、次式のように、有限要素法と境界要素法との併用により、防汚システムの電場解析のための構成方程式が得られる。

$$\begin{bmatrix} K_S & K_F & K_E & 0 \\ 0 & G_F(H_E + G_E) & I & \\ 0 & S_F & S_E & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_S \\ \Phi_F \\ \Phi_E \\ \phi_\infty \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} I_F \\ I_B \\ I_C \end{Bmatrix} \quad (16)$$

(16)式を解いた結果に基づいて、界面境界(S_{er})における分極電位($\phi_f - \phi$)が得られ、さらに分極特性を表す(2)式によってその電流密度分布が算出できる。

本手法を利用してフィールド試験の電位・電流分布を試算し、実測値との相関性を評価することとした。

4. 実 験

4.1 小型客船「つばめII」実証実験

4.1.1 実験

三菱重工業(株)の長崎造船所では長崎市の立神工場と香焼町の香焼工場間をFig.3のような小型客船「つばめII」を交通船として運航させており、その外板に導電塗膜を施工して、防汚性能を検証中である。

「つばめII」への導電塗膜の施工は、平成7年4月に行い、平成7年5月より通電を開始した。平成9年7月後半までノドックで通電させ、通電後28ヶ月後に補修塗装を行ったが、それまでに上架して防汚性能を調査した。Fig.4

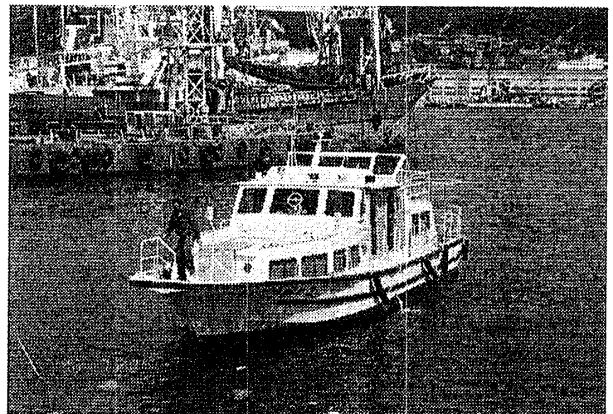


Fig. 3 Small-size passenger boat 「Tsubame II」

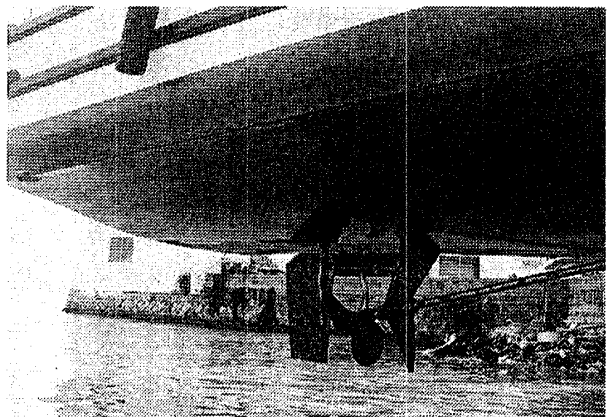


Fig. 4 The small-size passenger boat 「Tsubame II」 (after 13 months. H8.7.21)

は通電約 14 ヶ月後の平成 8 年 7 月に上架して調査した結果である。浮遊物による受傷跡のような部分的な導電塗膜の剝離部は見られるが、外板には生物の付着がなく防汚性能は良好であった。

〈実験船「つばめ II」〉

材質 FRP 船

寸法 長 約 13m × 幅 約 4m

〈導電塗膜塗装仕様〉

プライマー エポキシ系プライマー 100 μm

導電塗膜 (下層) 高導電性塗料 350 μm

導電塗膜 (上層) 耐電解性塗料 250 μm

金属箔は、両舷の水線付近に長手方向に各一条貼り付けた。(Fig. 6 参照)

〈通電条件〉

極性切換方式(左舷/右舷に塗り分け一定時間ごとに極性を換える)

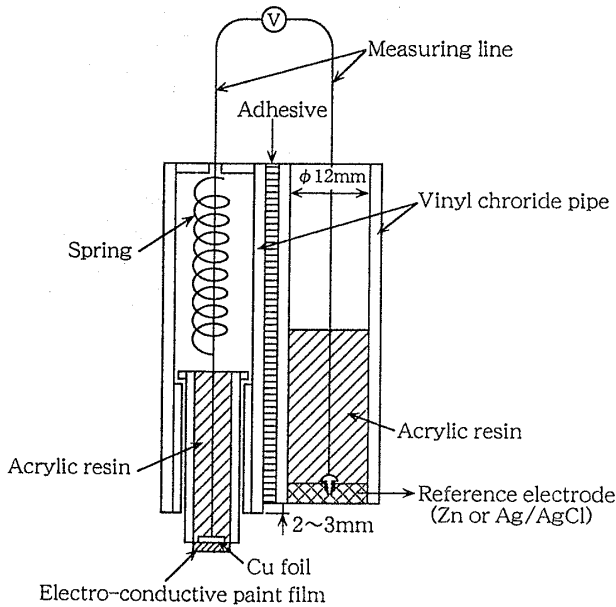


Fig. 5 Sensor for polarizing potential measuring

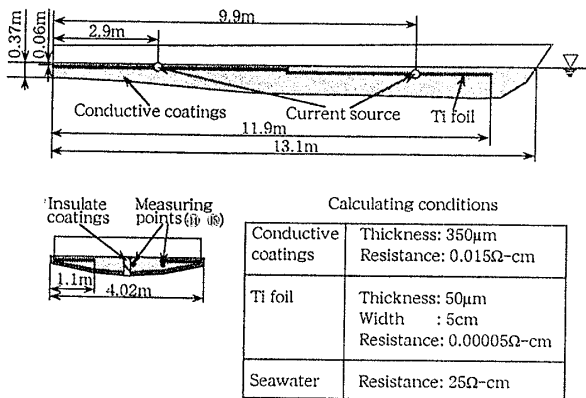


Fig. 6 The antifouling system of a ship hull and calculating model

電流密度 0.2 A/m², 0.1 A/m²

防汚性能と船体各部の電位 (電流密度) との関係の評価するため就航 13 ヶ月後に Fig. 5 に示すような特殊なセンサーで船体各部の電位を計測した。電位の計測は潜水夫がセンサーを船体の計測点に押し付け、船上の計測員が電位計で数値を読み取る手法で行った。

4.1.2 電位計測結果と解析

本実証実験を解析するための計算モデルを Fig. 6 に、電位計測位置を Fig. 7 に示す。また、数値解析に用いた導電塗膜の分極特性の一例を Fig. 8 に示した。

電位計測点での電位計測結果を Table 1 に示す。本解析手法を用いて 0.2 A/m² で通電した場合の数値解との関係を Fig. 9 に示した。電位分布の傾向はよく一致しており、陰極時の数値に若干のずれは見られるが全体的に計測値と

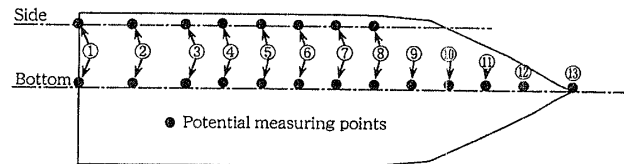


Fig. 7 Polarizing potential measuring positions

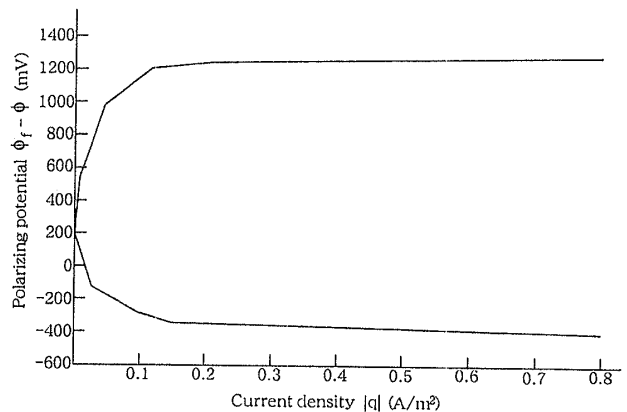


Fig. 8 Polarization characteristics used in calculations of ship hull model

Table 1 The measured potential values (V)

(a) On anodic surface and the average current density is 0.1A/m²

Point No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
Side	1.160	1.132	1.150	1.125	1.138	1.117	1.126	1.129	—	—	—	—	—	1.138	1.131
Bottom	1.113	1.100	1.100	1.093	1.095	1.095	1.103	1.097	1.124	1.141	1.141	1.151	1.153	—	—

(b) On anodic surface and the average current density is 0.2A/m²

Point No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
Side	1.248	1.251	1.357	1.264	1.255	1.265	1.224	1.222	—	—	—	—	—	1.215	1.213
Bottom	1.206	1.173	1.195	1.185	1.171	1.173	1.177	1.184	1.207	1.226	1.225	1.235	1.230	—	—

(c) On cathodic surface and the average current density is 0.2A/m²

Point No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
Side	-0.379	-0.302	-0.516	-0.410	-0.396	-0.312	-0.374	-0.368	—	—	—	—	—	-0.346	-0.343
Bottom	-0.325	-0.314	-0.297	-0.288	-0.294	-0.302	-0.317	-0.322	-0.351	-0.368	-0.368	-0.386	-0.412	—	—

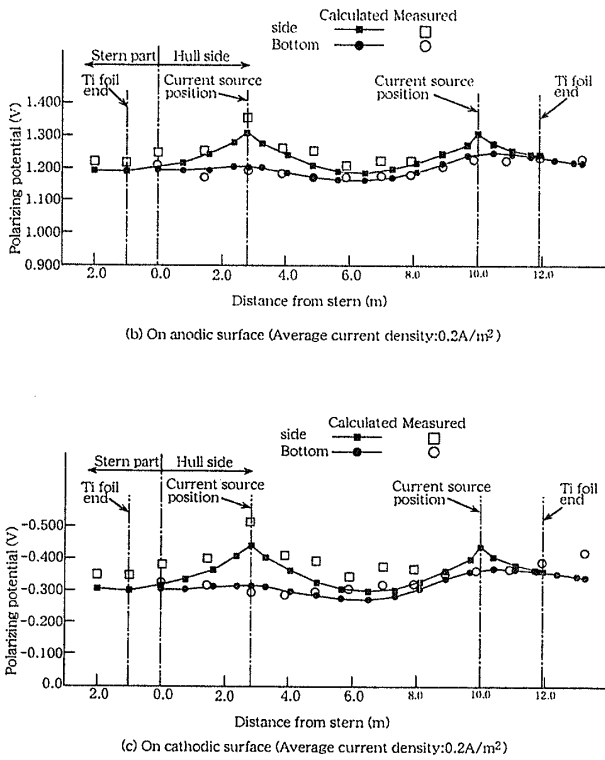


Fig. 9 Comparison between calculated and measured polarizing potential values on ship hull surface

数値解と良い相関が得られている。

4.2 発電所取水管での実証実験

4.2.1 実験

発電所では冷却水として海水を多量に使用しており、その海水取水系に海洋生物が付着するのを防ぐため、各種の対策を実施している。その対策として本導電塗膜システムの適用性を評価することとなり、Y 発電所の取水管の一部に導電塗膜を施工し、実証実験を行った。実験内容は次の

とおりである。

〈導電塗膜施工区画〉

鋼製取水管 内径 2.3 m×長さ 5 m (A・B 2 区画)

〈導電塗膜仕様〉

下層導電塗料 (高導電膜) 350 μm 以上

上層導電塗料 (電極膜) 350 μm 以上

〈通電方式〉

連続通電 (A 部) 電流密度 0.1 A/m²

極性切換 (B 部) 電流密度 0.2 A/m², 0.1 A/m²

導電塗膜の施工区画と仕様は上記の通りであり、Fig. 10 の施工図のように Ti 箔や対極を取り付けた。また、電位計測点を Fig. 10 のように設けて各部の電位の経時変化を自動記録した。

実証実験は、平成 3 年 11 月から約 3 年間実施した。当初



Fig. 11 The antifouling state by the antifouling system undertaken for the steel sea water pipe in Y power plant (B part) (H6.3.18)

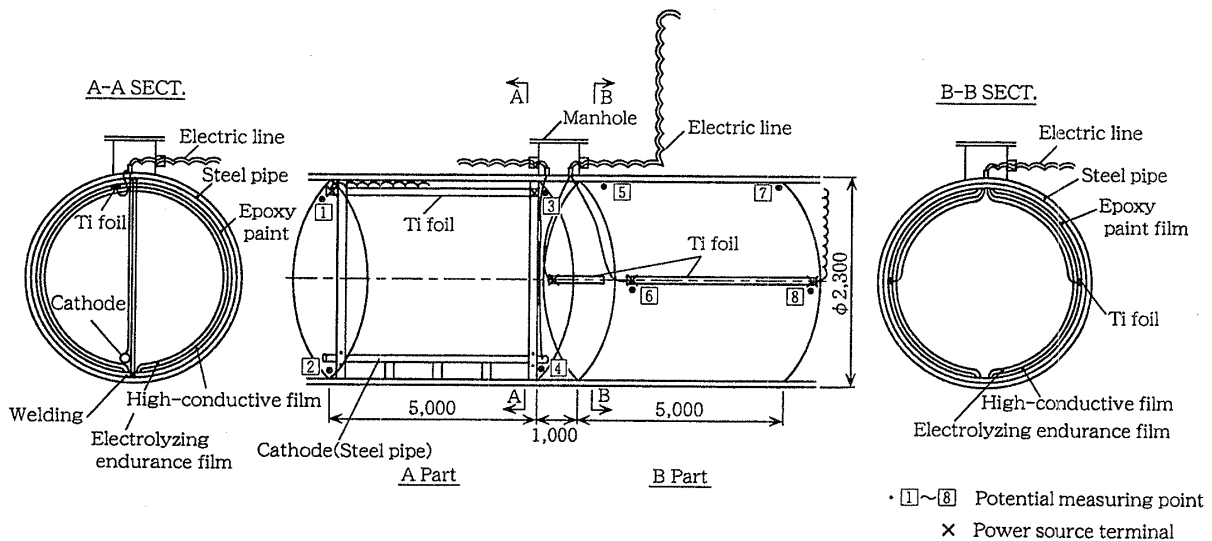
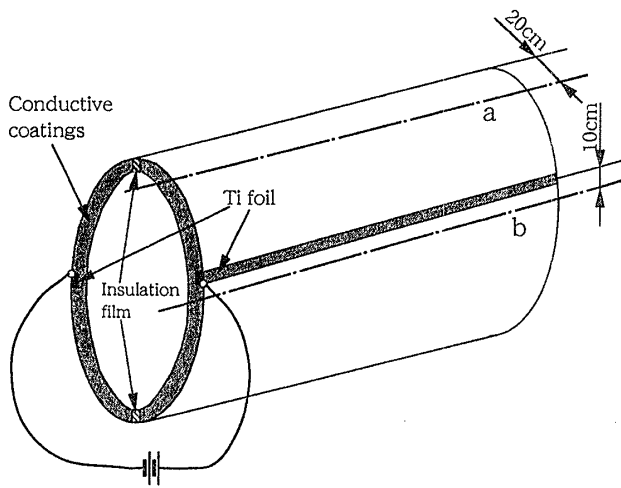


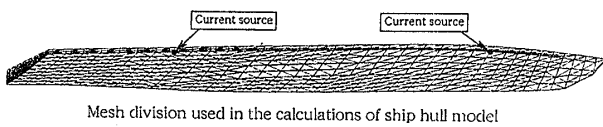
Fig. 10 The steel sea water pipe for tests set in Y power plant



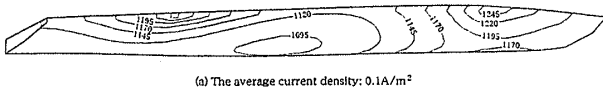
Calculating conditions

1. Conductive coatings	: thickness→660 μm resistance→0.015 Ω - cm
2. Ti foil	: thickness→50 μm width→5cm resistance→0.00005 Ω - cm
3. Insulation film	: width→5cm
4. Seawater	: resistance→25 Ω - cm
5. Average current density	: 0.1A/m ²

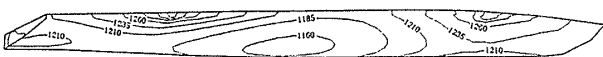
Fig. 12 The calculating model of sea water pipe (Length 5 m, Inside diameter 2.3 m)



Mesh division used in the calculations of ship hull model

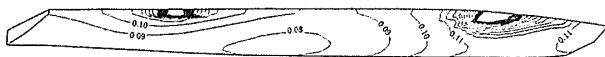


(a) The average current density: 0.1A/m²

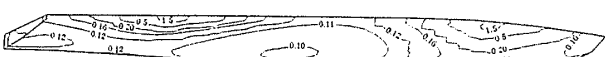


(b) The average current density: 0.2A/m²

The polarizing potential contours on ship hull surface (Anode)



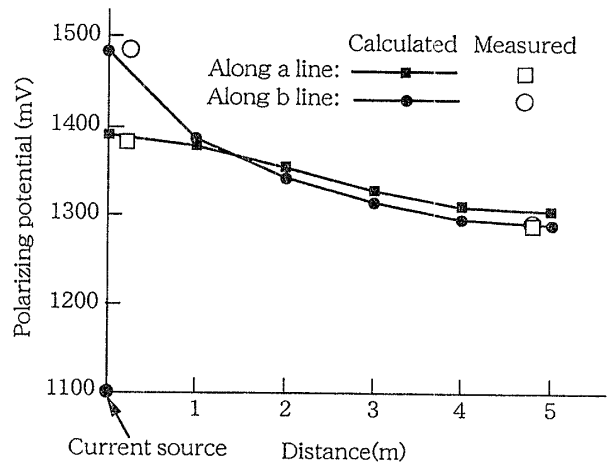
(a) The average current density: 0.1A/m²



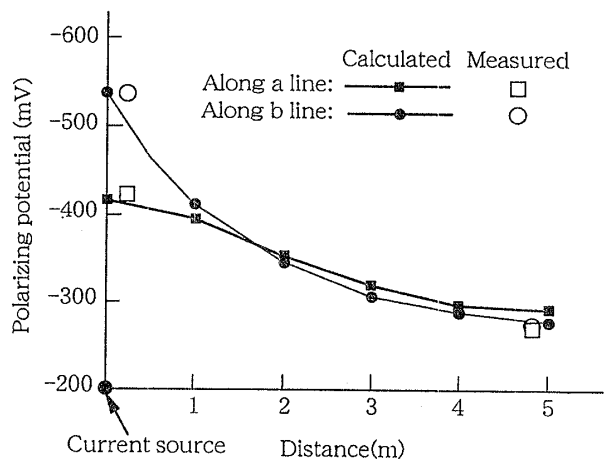
(b) The average current density: 0.2A/m²

Fig. 14 The current density contours on ship hull surface (Anode)

は片側から通電し、11ヶ月後からは両側から通電した。その後17ヶ月試験を継続し最後に防汚性能の調査と塗膜の健全性を確認した。最後の調査結果の一例としてB区画の状況をFig. 11に示す。連続通電方式は通電端付近に導電塗膜の劣化が見られ、その付近に防汚性能の低下が見られ



(a) On anodic surface



(b) On cathodic surface

Fig. 13 Comparison between Calculated and measured polarizing potential values for steel sea water pipe model

たが、極性切換方式の導電塗膜施工面はFig. 11のとおり、生物の付着はまったく見られず防汚性は良好であった。

4.2.2 電位計測結果と解析

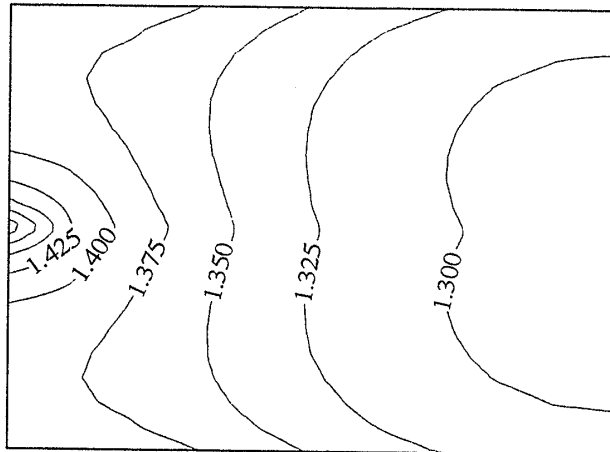
B区画の極性切換方式で片側通電の場合について、取得データと本解析法による数値解との相関性を検討した。

数値解を得るための計算条件をFig. 12に示す。数値解のa線部とは導電塗膜を縦割で両面に塗りわけた境界の絶縁部から20cm離れた部位、b線部はTi箔はり付け部から10cm離れた電位計測点に相当する。

電流値として平均電流密度0.1 A/m²で通電した時の電位データと数値解の結果をFig. 13に示すが、陽極・陰極面とも良い一致が見られる。

4.3 実証実験のまとめ

小型客船と発電所取水管でのフィールド試験で取得した電位データと本手法による数値解と良い一致が見られたので、計算に利用した分極特性カーブから小型船の場合と取水管の場合について電流密度分布を推算した。その結果と



(a) Potential contours(V)

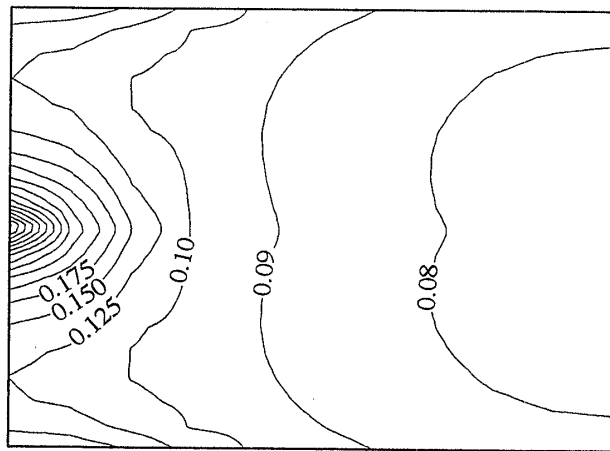
(b) Current density contours(A/m²)

Fig. 15 Polarizing potential distribution and current density distribution on seawater-coatings interface of the steel sea water pipe model (Potential contours and current density contours)

して等電位・等電流密度分布曲線 Fig. 14, Fig. 15 に示す。小型船の電流密度分布状況を見ると通電端付近に電流の集中部分が見られるので、その対策を十分に行う必要があ

ることが明確になった。

5. 結 言

海水の電解反応を利用した導電塗膜による無公害防汚システムの性能評価と最適設計に資する目的で、船舶のような半無限開放領域と発電所の取水管のような閉鎖領域の場合について、導電塗膜施工面各部の電位・電流密度分布を評価できる数値解析法を開発し、その精度を2ケースのフィールド実験データとの相関で評価し、本解析法の有効性を確認した。

得られた成果を要約すると次のとおりである。

- (1) 小型客船での実測電位分布データと本数値解と良い一致が見られた。そこで本手法により電流密度分布を推算し、通電端付近に電流が集中するので、その対策が必要であることが明らかとなった。
- (2) 発電所の取水管を利用したフィールド実験で取得した各部の電位データと本数値解とほぼ一致しており良い相関性が得られた。
- (3) 本解析法が導電塗膜を利用した電解防汚システムの導電塗膜構成の最適設計手段となることが明らかとなったので、さらに多くの実機データを解析し本手法の精度アップを図っていきたい。
- (4) 計算時間の大幅な短縮が可能な簡易型計算手法³⁾でも検討中であるため、本手法による数値解で、精度を評価しながら、適用の可否を検討していきたい。

参 考 文 献

- 1) 宇佐美正博, 植田健二, 友重清美: 導電塗膜による無公害海洋生物付着防汚システム, 日本造船学会誌, 第767号, (1993), pp. 302-305.
- 2) 黄一, 宇佐美正博, 岩田光正, 植田健二: 海水電解による海洋生物付着防止システムのCADに関する研究(その1) 平成7年度秋季造船学会, (1995.11), p. 601~p. 608
- 3) 宇佐美正博, 植田健二, 真崎哲朗: 導電塗膜による海水生物付着防止技術西部造船会会報: 第92号, (平成8年8月), p. 309~p. 319