602 大規模海洋構造物における犠牲陽極発生電流量の逆解析 Inverse Analysis of Sacrifice Electrode Current for Large-Scale Marine Structures

大野 弘樹 (東工大) 天谷 賢治(東工大) 大西 有希(東工大)

Hiroki OHNO, Tokyo Institute of Technology 2-12-10-okayama, Meguro-ku, Tokyo, Japan 152-8552

Kenji AMAYA, Tokyo Institute of Technology 2-12-10-okayama, Meguro-ku, Tokyo, Japan 152-8552

Yuki OHNISHI, Tokyo Institute of Technology 2-12-10-okayama, Meguro-ku, Tokyo, Japan 152-8552

Key Words: Inverse Problems, Cathode Protection, Seaside Structure, Current, Potential, BEM, FEM

1. はじめに

平成22年竣工の羽田空港D滑走路は栈橋構造を有しており大量の鋼材を使用している。これらの鋼構造物は、厳しい腐食環境下にさらされるので、腐食対策が十分になされることが大変重要である。また、これらの腐食対策を長期間有効に機能させるためには、腐食問題に対する効率の良い維持管理技術を早急に確立することが必要である。[1]

鋼製の栈橋は主に犠牲陽極により防食されている。犠牲陽極の寿命は犠牲陽極からの電流に比例するので犠牲陽極の電流を把握することは重要である。[2]-[8]

本研究では、大規模海洋構造物の実例として羽田空港D滑走路島の栈橋を対象とし、図1に示すように比較的容易に計測が実施できる海中の電位から犠牲陽極の電流を同定する逆問題について検討する。

Fig.1 Inverse problem identifying currents on anodes from potential measurements.

2. 基礎式

図2のように海水中の構造物周囲の海水が占める領域を Ω とする。この領域の境界は、構造物表面の境界 Γ_c 、犠牲陽極表面の境界 Γ_a 、また海水を仮想的に分割した測定領域の境界 Γ_n からなる。領域内の電位を ϕ とすると電位 ϕ は次式のLaplace方程式を満足する。

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (1)$$

境界条件は次式でモデル化する。

$$i_a : \text{未知} \quad \Gamma_a \text{上} \quad (2)$$

$$\phi = -Ri + \phi_c \quad \Gamma_c \text{上} \quad (3)$$

$$i = 0 \quad \Gamma_n \text{上} \quad (4)$$

ここで、 R は鋼材の表面抵抗、 ϕ_c は鋼材の自然電位であり、 i_a は犠牲陽極上の電流密度とする。また、犠牲陽極上の電流密度を一定として近似し、ひとつの犠牲陽極の表面積および電流を S_a および I_a とし、 $I_a = S_a \times i_a$ と表すことにする。

本問題においては海水領域内の複数位置における電位 ϕ_{in} の計測から未知量であるアノードおよびカソード上の電流量 i_a および i_c を同定する。観測方程式は次式で与えられる。

$$\{\phi_m\} = [A]\{I_a\} + \{b\} \quad (5)$$

ここで $\{\phi_{in}\}$ は計測した電位を成分とするベクトル、 $\{I_a\}$ は各犠牲陽極の電流量を成分とするベクトルである。また $[A]$ および $\{b\}$ はこれらの量を関係付ける係数行列および定数ベクトルであり、式(1)~(4)を適当な数値解析手法で離散化することにより求めることができる。

Fig.2 Domain for analysis and its boundary
本逆問題は計測値である $\{\phi_{in}\}$ から犠牲陽極の電流量 $\{I_a\}$ を同定する問題である。犠牲陽極の電流量は次式のように求めることができる。

$$\{I_a\} = [A]^+ (\{\phi_m\} - \{b\}) \quad (6)$$

ここで $[A]^+$ はムーアペンローズの一般逆行列をあらわす。

3.解析領域の検討

解析対象の栈橋構造物は幅 500m の大規模であるが、電氣的にすべてが短絡されている。犠牲陽極の電流の変化や欠落の影響が電氣的にどのくらいの規模の領域まで影響するかを把握することは重要である。本節では境界要素法の電場解析を実施し、解析の規模を合理的に決定する。

栈橋は図 1 に示すような桁構造の単位が縦横格子状にそれぞれ数十基ずつ約 30 m の水深の海に並んだ構造をしている。犠牲陽極が構成する大規模な電場を把握するために境界要素法による 2 次元解析を実施した。

図 3 はこの栈橋構造のモデル化を表し、円内の拡大図は一つの桁構造の単位を示している。実際の構造物の鋼部と犠牲陽極の面積が等価になるように設定した。図中赤丸で示した箇所の横一列にある構造単位の犠牲陽極を順に欠落させた境界条件を与え、赤丸で示した領域の電位の変化を計算した。得られた電位を図 4 に示す。計測箇所の構造単位の番号は 6 番であり、欠落箇所が自身の 6 番以外の構造単位にある場合にはほとんど電位変化が生じないことが分かる。すなわち、隣の構造単位で犠牲陽極が欠落しても電位変化は生じないことが確認できた。

Fig.3 2D model of the cloud of truss units

Fig.4 Potential change induced by lack of anode

4.順解析例

実際の栈橋単位構造を文献[1]を参考にして模した FEM モデルを用いて電場解析を実施し、犠牲陽極からの電流が構造物周囲の電位にどのように影響するかを確認した。構造物表面の電位を図 3 および図 4 に示す。

Fig.5 Potential distribution on the structure.

Fig.6 Close view of potential distribution on the structure.

参考文献

- [1] Ishida M. 石田 雅己「羽田空港再拡張事業-D滑走路の鋼材の防食について」-日本鋼構造協会第 30 回鉄構塗装技術討論会資料
- [2] Nakayama, J., Amaya, K., Yamamoto, N. & Terai, K., Development of monitoring method for coating condition inside ballast tank using numerical inverse analysis. Ziryo-to-Kankyo, 57, pp. 542, 547, 2008.
- [3] Kishimoto, Y., Amaya, K., & Hayabusa, K., Estimation Method of Copper Electroplating Current Densities by Inverse Analysis of Electric Potentials in Cells and Its Experimental Verification
- [4] 青木繁, 天谷賢治, 宮坂松甫:” 境界要素法による腐食防食問題の解析”, 裳華房,(1998).
- [5] 天谷賢治, 成瀬直樹, 青木繁, 宮坂松甫: 境界要素法論文集,15 (1998), 59.
- [6] 青木繁, 天谷賢治, 郷家一紀: 日本機械学会論文集 A,62-599 (1996), 1741.
- [7] 岸本喜久雄, 天谷賢治, 青木繁: 日本機械学会論文集 A,56-525 (1990), 1282.