GS1-6

石油備蓄タンクの底板内面コーティングに関する余寿命評価システムの開発

Development of Remaining Lifetime Assessment of the Coating on Bottom Plate of Oil Storage Tank

○ 伊藤 大輔

横浜国立大学 大学院工学研究院

Daisuke ITO

Yokohama National University, Tokiwadai 79-5, Hodogaya-ku, Yokohama-shi

横山 隆

横浜国立大学 大学院工学研究院

Takashi YOKOYAMA

Yokohama National University

岡崎 慎司

横浜国立大学 大学院工学研究院

Shinji OKAZAKI

Yokohama National University

Key Words: Coating, Oil Storage Tank, Remaining Lifetime Assessment

論文要旨

現行の石油タンク検査周期は、容量 1 万 kl 以上のタンクに関して、基本開放検査周期を 8 年と定め、個別延長期間 2 年、腐食量に係る管理等の状態が良好であればさらに 3 年が認められている。更なる開放周期の延長には、コーティングの健全性を精度よく定量的に評価し、余寿命を算定することが求められている。本発表では、これまでに行った多くの実タンク調査において電気化学インピーダンス法を用いた独自の等価回路解析手法を適用させ劣化の程度を定量的に表現した事例を紹介する。

1. 研究概要

石油備蓄タンクは、雨水や結露による水分の影響による素地鋼板の腐食を抑える目的で有機系樹脂コーティングが施工されている。通常、コーティングは、開放検査時にその健全性を検査し、不具合（キズ、膨れ等）が見つければ補修または補強を行っている。開放検査周期は、特定屋外貯蔵タンクとして消防法（昭和 23 年法律第 186 号）によって運用されており容量 1 万 kl 以上のタンクに関して、基本開放検査周期を 8 年と定め、個別延長期間として腐食防止等、貯蔵管理等の状況が良好であれば 2 年、腐食量に係る管理等の状態が良好であればさらに 3 年が認められている。内面コーティングの耐用年数については、20 年とされている。

このような背景の中で、平成 21 年に行われた規制改革会議において「屋外タンクにおける開放検査の性能規定化」の課題として、屋外タンクの開放検査に係る検査基準は厳しく、長期間に及ぶ工期が通油ダウン等、製造計画へ影響を及ぼし、更に莫大な費用を要するため、結果的に国民負担を招いていることを挙げている。その具体的施策としては、適宜腐食状況をモニタリングする状態監視保全を行うことで、開放検査周期の更なる延長を行うことが求められている。

著者らの研究グループは、これまでに国共備蓄石油タンク底板内面コーティングの電気特性データの継続的な蓄積を行うとともに、そのデータを解析して経年劣化状態を判定することが可能な余寿命評価技術に関する基礎研究を行ってきた。近年は、実タンク数十基のインピーダンス測定を行い、解析結果を用いた内面コーティング余寿命の算出方法の開発を進めている。

本発表では、実タンクにおける調査を中心に具体的な測定方法および測定から得られるデータの解析方法、最終的な余寿命評価システムの開発プロセスを説明する。

2. インピーダンス測定による実タンク底板内面コーティングの劣化評価

有機系コーティングの劣化評価は、交流インピーダンス測定によりコーティングの劣化及び素地鋼板の腐食状態を電気回路に置き換えて検討されてきた。これまでの研究では、コーティングの劣化および素地鋼板の腐食が単純な抵抗 (R) とコンデンサー (C) の組み合わせによる集中定数系回路素子を用いた等価回路モデルを適用させ解析が行われてきた¹⁻³⁾。現在、石油タンク内面コーティングに使用されている塗装は、ガラスフレークを含有させたビニルエステル系樹脂塗料が主流である。この塗膜は、外部から浸透する水分をガラスフレークによって妨害し、素地への到達を遅らす効果を狙った構造になっている。そこで著者らは、コーティング内には水分の浸透により導電率及び誘電率に勾配や分布が存在する可能性があると考え分布定数系の回路素子 CPE (Constant Phase Element) を導入した⁴⁾ 新しい等価回路モデルにより解析した。

実タンクにおけるインピーダンス測定は、Agilent Technology 社の LCR メーター (4284A) を使用し、周波数 1 MHz ~ 20 Hz の範囲で実施された。電極には導電性ペースト (3 wt.% 食塩水) とアルミ箔および磁石を組み合わせた電極系 (面積 10cm²) を適用した。塗膜内の導電性を確実にするために、実際の測定はアルミ箔塗布 1 日後に行った。素地金属との導通は、溶接線から得た。

Fig.1 Impedance measurement of the coating on bottom plate of oil storage tank.

3. 測定結果から推測する実タンクの劣化特性

図2に、測定されたインピーダンススペクトルを Nyquist 線図及び Bode 線図として示す。結果より、 $|Z|$ および θ の周波数依存性が、非常に大きいといえる。特に、低周波数部での θ の広がり、 $-60^\circ \sim -85^\circ$ の範囲で分布していた。また、周波数 $10^3 \sim 10^4$ の領域で、大きく湾曲を示す傾向があり、その程度の違いもいくつかあることが分かった。

Fig.2 Impedance measurement results of field test. (Nyquist plots and Bode plots)

データの解析には、2つの CPE 素子を並列にした等価回路モデルを用いた。CPE のインピーダンス特性は、以下のような関係を有する。

$$Z = \frac{1}{T (j \omega)^n}$$

(n , T : 特性パラメーター、 j : 虚数単位、 ω : 角周波数)

この等価回路モデルにおいて、膨れ想定部（経年劣化、膨れなど）のインピーダンス（CPE_d 素子の n_d, T_d ）、健全想定部のインピーダンス（CPE_s 素子の n_s, T_s ）の計 4 つである。図3は、解析結果 n_d 値のヒストグラムである。 n 値は、1 に近づくとも理想的なコンデンサーの特性を示し、0 に近づくとも理想的な抵抗体の特性を示す。図より、コーティングの健全性を示す $n_d = 0.8$ 以上の値が非常に多く存在することがわかる。 $n_d = 0.5$ 以下の値も少ないことからコーティング全体として健全性を保っているといえる。このように、コーティングの

劣化状態を定量的に扱うことができる可能性が示唆された。

Fig.3. The histogram of the n_d value obtained by CPE equivalent circuit model analysis.

図4には、解析結果である劣化パラメーター T_d と n_d の関係を示す。これは、CPE を構成するパラメーターの相互関係を調べることで、タンク毎またはコーティング毎に差異があるかを検討した。結果より、右下がりの傾向を示した。別途調査した数基のタンクにおいても同様の傾向が認められた。線上からのバラツキは、測定時の環境条件や膜厚の違い等によると考えられる。この点に関しては、すべてのデータに関して測定箇所、環境、膜厚などと比較し補正する必要がある。最終的なコーティングの余寿命の算出には、例えば n_d 値の限界値を設定することで、リスクアセスメント手法を用いたリスク曲線を作成し、定量的な値として算出することができると考えられる。

Fig.4 Plot of CPE parameters ($\ln T_d$) vs. (n_d)

4. まとめ

本稿では、石油タンク内面コーティングの劣化を定量的に表現できる測定手法、劣化パラメーターの導出方法、余寿命評価への考え方を示した。今後は、余寿命算出のための劣化限界値を明らかにするとともに、実タンクにおける劣化の種類を詳細に調査する予定である。

参考文献

- 1) F.Wormwell, J. Iron & Steel Inst., 164, 141 (1950)
- 2) 岡本, 電気化学, 23, 15 (1955)
- 3) 水流, 金属表面技術, 39, 2 (1998)
- 4) L.Young, Farady Soc., 51, 1250 (1955)