

1. はじめに

我が国では、昭和 30 年代の高度成長期に多くの橋梁が架設されたが、それらが 50 年以上を経過して、腐食損傷事例が多数報告されるようになり、社会的な大問題となっている。一方、昨今の我が国の経済事情は大変厳しい状態にあり、老朽した橋梁の架け替えは安易には行えないといった状況である。したがって、適切な維持管理を行い、既設橋梁をできる限り長寿命化して利活用を図る必要がある。従来、鋼構造物の腐食に対する維持管理は、専ら防食対策が重要視されてきたが、最近の安全性を脅かす重篤な腐食損傷が出現し始めている現状に鑑みると、橋梁の安全面から残存強度を評価・把握し、信頼性の高い将来予測を行うとともに、適宜適切な維持管理計画と対策を実施することが、今後の維持管理には不可欠である。

以上の議論から、筆者らは実環境下で腐食した鋼部材の表面の再現するモデル（以下、腐食表面生成モデル）の開発を進めてきた。これまでに、腐食表面生成モデルの基本概念はほぼ完成しており、一定の精度をもった説明力のある腐食表面の再現が可能であることを示した³⁾。しかし、本モデルが、実現現象を、一定の説得力を持って予測できるか否かについては、さらに防食機能を考慮した腐食進展予測の信憑性についても十分には検討されていない。そこで、本研究では、実現現象における腐食進展現象の再現を目的として、塗装された鋼板の腐食進展解析を実行して、実構造物の腐食形状や塗膜劣化現象と比較することにより、本解析モデルが実際の腐食進展予測に適用できるか否かの適用性について検証する。

2. 腐食表面生成モデルの概要

実際の腐食は化学的には鉄の酸化現象であるが、本研究で用いる腐食表面生成モデルは、単純に鋼表面を劣化させる因子（アタック因子）を鋼表面上に落下させることにより鋼表面が腐食するものとしてモデル化している。また、過去の研究³⁾と同様に、腐食表面形状に影響を与える因子には 3 つのパラメータ（ F : アタック因子の強さ、 β : 距離減衰係数、 n : 単位面積あたりのアタック因子の数）を用いている。ここで、

アタック因子とは、鋼部材の表面に欠損を与える因子のことであり、距離減衰係数とは、腐食欠損の広がりに影響する係数である。また、過去の研究²⁾ではパラメータの β のみを 3 つに増やして腐食表面を再現していたが、今回は F , β , n を 1 つの腐食表面作成時に 3 パターン使用した。式(1)に 1 つのアタック因子による周囲の格子点 i における腐食深 V_i を示す。

$$V_i = F \exp(-\beta \cdot d_i) \quad (1)$$

3. 塗膜劣化モデルの概要

塗膜劣化モデルの基本的な考えは腐食表面生成モデルと同様で、単純に塗装の防食能力を劣化させる因子（劣化因子）を塗膜上に落下させることにより塗装の防食能力が低下すると仮定する。使用するパラメータは、劣化因子の強さ $D(\text{mm})$ 、1 年間に降る個数 $m(\text{個})$ 、劣化因子の距離減衰定数 κ 、初期の防食能力 A_0 の 4 つである。式(2)、(3)に塗膜厚減少量（防食能力の低下量） δA_i と T 年経過したときの塗膜厚さ（防食能力） C を示す。パラメータの種類はそれぞれ 1 種類としている。また塗膜劣化を再現する際に、もしアタック因子が塗膜上に落下したら、防食能力が 0 の部分にだけその影響範囲分の腐食が塗膜下に生じることになる。イメージ図を図-1 に示す。

$$\delta A_i = D \cdot e^{-\kappa d_i} \quad (2)$$

また、 T 年後の防食能力 C は、

$$C = A_0 - A_i^t = A_0 - \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m D \cdot e^{-\kappa d_i} \quad (3)$$

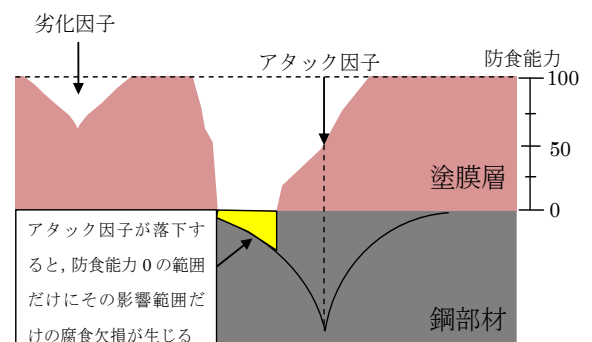


図-1 塗膜劣化のイメージ図

4. 腐食進展予測の再現

4.1 腐食進展予測のためのパラメータ

本研究で腐食進展予測を目的として腐食表面生成モデルを使用するにあたり、過去のモデルのままで行くと毎年同じ腐食量となり、経過年と腐食速度の関係は線形的なものとなる。だが実際の腐食の現象としては、腐食速度が経過年の増加とともに減少していく傾向にある。よって本モデルでは、新しいパラメータ γ と ρ 、平均腐食深 V_i を用いた腐食速度減衰係数 α を式(1)にかけることで、その現象を再現する。式(4)に腐食速度減衰係数 α を示す。

$$\alpha = 1 - \gamma^{\rho V_i} \tag{4}$$

4.2 腐食進展予測の再現手順

腐食進展の予測のフローは以下に示すとおりである。①経年した部材の X 年ごとの計測結果から T 年目の塗膜厚減少量・腐食深統計値を取り出す。②統計値に沿うように劣化因子、アタック因子のパラメータを仮定する。③劣化因子の計算を行い、防食能力の判定によってアタック因子の計算の有無を決め、腐食表面の作成を行う。④統計値の比較を行い、合わなければ②、③を繰り返し行う。⑤統計値に沿えば X 年毎の統計値も取り出しながら要求される耐用年数まで行くと、腐食進展の予測が可能となる。

4.3 腐食進展予測の再現

20 年暴露試験における飛沫部の無防食鋼材の腐食深計測結果 2) を対象として、本モデルを用いて再現した結果と比較した。また、塗装による防食対策を施工した実測値はないので、実測結果との比較はできないが、初期に塗装した場合についても解析した。これらの解析に使用したパラメータを表-1 に示し、図-2 に平均腐食深と時間変化の関係、図-3 に腐食速度の時間変化を示す。

図-2 に示すように、塗装なしモデルは実測値をに沿うような形となっており、腐食の経年変化を精度よく評価できている。また塗装ありの塗り替えなしモデルでは、15 年目までは防食能力により腐食は進まず、徐々に腐食が進展していく様子が表現できている。

表-1 使用したパラメータ

	F(mm)	n(個/年)	β	γ	ρ
Kind 1	0.5	33	0.1	0.01	1.3
Kind 2	0.7	67	0.8		
Kind 3	0.8	41	1.5		
	D(mm)	m(個/年)	κ	A_0 (%)	
	30	65	0.5	100	

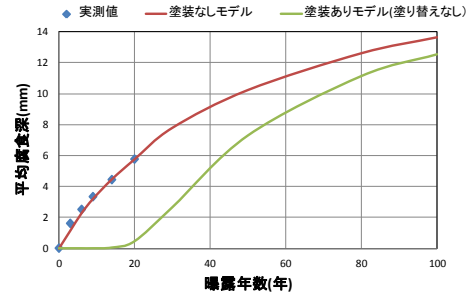


図-2 平均腐食深と時間変化の関係

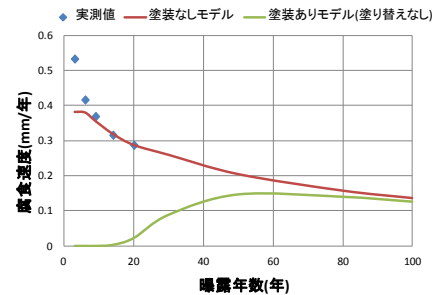


図-3 腐食速度と時間変化の関係

5. 結論

- 1) 20 年暴露試験の飛沫部の無防食鋼材の腐食深の時間変化の計測結果を本モデルで再現したところ、適切に腐食進展の評価が可能であることを示した。
- 2) 本モデルによって塗膜の塗り替えの防食効果、腐食進展などの実現象を一定の説明力を持って示すことが可能であることを示した。

参考文献

1) 藤井堅, 橋本和朗, 渡邊英一, 伊藤義人, 杉浦邦征, 野上邦栄, 永田和寿, 中村秀治: 海洋環境における鋼管杭の圧縮強度の経年変化予測法, 土木学会論文集, Vol.66, No.1, pp. 92-105 (2010)

2) 吉崎信樹, 守屋進: 20 年海洋暴露での鋼材腐食と一般塗装鋼材の劣化挙動について, 土木学会論文集, Vol.65, No.2, pp.222-229 (2009)

3) 井上太郎, 藤井堅: 鋼腐食表面の再現手法の精緻化とその腐食部材の残存強度解析への適用性, 土木学会, 平成 24 年全国大会第 62 回年次学術講演