

海洋環境において腐食した円形鋼管の圧縮耐力低下の将来予測

株式会社 IHI 正会員 橋本 和朗
 広島大学大学院 正会員 藤井 堅
 広島大学大学院 学生会員 時乗 良彦
 広島大学大学院 フェロー会員 中村 秀治

1. はじめに

鋼構造物の腐食という問題に関して、これまで腐食促進試験や曝露試験による腐食のメカニズム、進展についての研究や、実際の腐食構造を用いた耐荷力実験、腐食表面測定データをもとにした数値シミュレーションによる耐荷力の検討等は行われてきたが、腐食進展が及ぼす将来的な影響について説得力を持って予測するに至っていない。そのため、腐食に対しては対症療法的な維持管理しか行えていないのが現状であり、実用性をもつ信頼できる維持管理手法の開発が望まれる。

このような背景をもとに、本研究では腐食表面生成モデルを用いた構造物の強度低下予測手法を提案する。まず構造物の将来の腐食表面を予測することが可能な腐食表面生成モデルを開発し、それを用いて作成された将来の腐食表面をもとに、海洋環境における円形鋼管の圧縮耐力低下の将来予測を行う。また、通常、腐食対策として施工されている防食工の劣化を将来予測に盛り込むことで、防食工の管理状況が円形鋼管の残存耐力にどのような影響を及ぼすかをモデルにより再現する。

2. 腐食表面生成モデル

本モデルでは鋼表面に欠損を与える因子（本論文ではアタック因子と呼ぶ）の考えを用いてシミュレーションを行う。以下にこのアタック因子による腐食進展過程を示す。

1) 実際の腐食表面は空間的に連続であるが、これを離散化して、対象とする鋼部材の表面を Fig.1 a) のようにメッシュ状に区切る。この格子点上に腐食深さを与え、凹凸を表現する。2) アタック因子は鋼表面のランダムな座標上に落下し、その座標周囲の一定領域内にある深さだけ掘り下げる。3) アタック因子は、毎年 n 個、 T 年間落下し、鋼表面に n 個の腐食

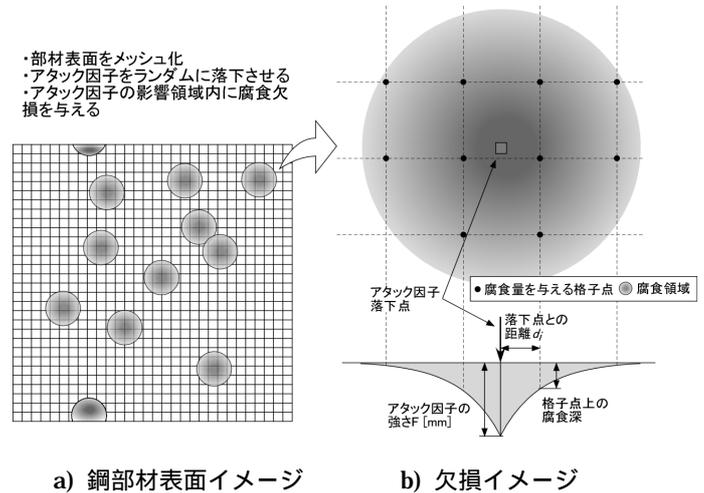


Fig.1 アタック因子による欠損イメージ

欠損ができ、その腐食深は加算される。

このとき、アタック因子が落下した座標の周囲には Fig.1 b) の薄墨部に示すような空間的な広がりをもつ腐食欠損できると考える。その腐食深さは、実現象の再現性を考慮すると、落下座標との距離が離れるほど小さくするのが妥当であると思われる。腐食孔の形状を次式のように定義する。

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

ここに、 V_i は 1 つのアタック因子によって発生する格子点 i の腐食深、 F はアタック因子の与える最大腐食深さ (mm)、 d_i は格子点 i とアタック因子落下座標との距離、

は距離減衰定数である。この腐食深が上記過程 3) に示すように加算されるので、格子点 i の最終的な腐食深 Z_i は次式のように表すことができる。

$$Z_i = \sum_T \sum_n V_i \quad (2)$$

実測した腐食表面の平均腐食深・腐食深の標準偏差・腐食表面を波形とみなして得られるパワースペクトル密度分布といった指標が一致するように上式中の各パラメータを選択することで、実際の腐食表

面を再現でき、さらに経過年数 T 年を増加させることで将来の腐食表面を予測することができる。

海洋環境において 19 年間暴露されたスパイラル鋼管（公称寸法：直径 406.4mm×板厚 9mm）を測定した結果を基に、本モデルにより腐食表面を作成した。作成結果を Table 1 のパラメータ一覧および Fig.2 の板厚等高線図に示す。このように、本モデルにより実際の腐食の統計的性質をとらえた腐食表面を作成することが可能である。

3. 塗装の劣化を考慮した鋼管の劣化予測

腐食表面作成エリアに防食能力を設定し、腐食の攻撃因子と同様の考えを用いた塗膜劣化因子を部材表面に落下させることで塗膜の劣化を表現する。防食能力が劣化し、0 以下となった座標で腐食が始まるものとする。また、防食能力を再設定すれば共用期間中の塗膜塗り替えを表現することも可能である。この塗膜劣化モデルを用いた例として、Fig.4 に塗膜欠損の状態を等高線図として示す。図中の黒い部分は塗膜が欠損し鋼表面が露出している領域である。このような塗膜状態時の腐食表面を Fig.4 に示す。塗膜劣化部に腐食欠損が生じていることが確認できる。塗装塗り替え期間を変化させて腐食進展の将来予測を行い、作成された腐食表面に対し板厚の統計値を使用する簡易強度評価法を用いて残存強度を得ることで、Fig.5 に示すように、円形鋼管の圧縮耐力低下の低下予測を行うことができる。

4. まとめ

- 3つのパラメータを設定することで簡単に使用することができる腐食表面作成モデルを提案した。これにより、凹凸形状を表現した腐食表面を作成できる。作成される腐食表面は、支配指標（平均腐食深・腐食深の標準偏差等）をよく満たし、実際の腐食の特徴をよく捉えることができている。
- 作成した腐食表面に対し、簡易評価法を用いることで海洋環境において腐食した円形鋼管の強度評価を行うことが可能である。さらに将来的な強度低下についても、その整合性について検証不可能ではあるが一定の説明力を持って評価可能である。
- 塗膜劣化をモデル化し、腐食表面作成時に導入することにより、塗装の更新が将来の残存耐力低下に与える影響について表現可能である。

Table 1 腐食表面パラメータ

	平均板厚 t_{ave} [mm]	最小断面 平均板厚 [mm]	板厚標準 偏差 [mm]	F [mm]	n	
実測結果	7.53	7.31	0.88	-	-	-
腐食モデル	7.53	7.19	0.87	2.28	34	0.1

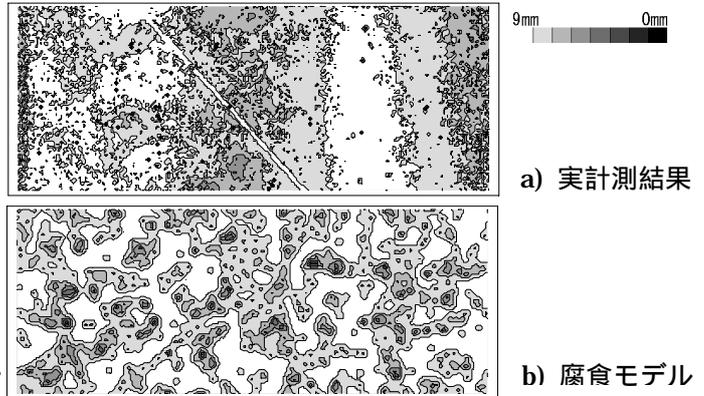


Fig.2 腐食板厚等高線図

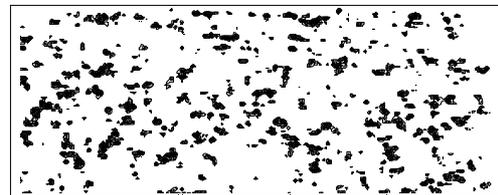


Fig.3 塗膜劣化状態 50年経過
(黒い部分が鋼露出部)

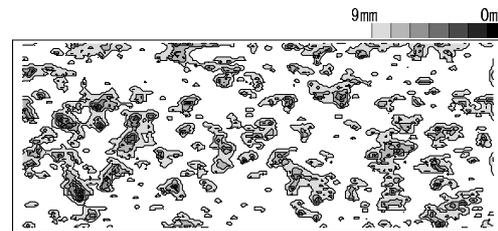


Fig.4 塗膜モデル 50年経過

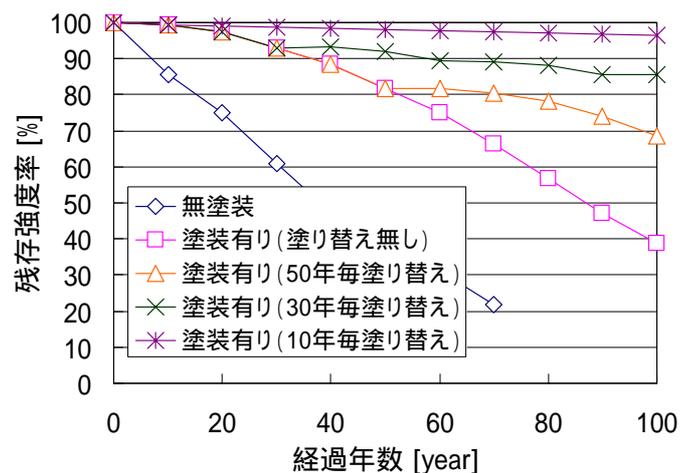


Fig.5 強度低下予測

5. 謝辞

なお、本研究では日本鉄鋼連盟の 2007 年度「鋼構造研究・教育助成事業」による研究助成金を頂いております。ここに記して深く謝意を表します。