

腐食進展にともなう鋼構造物の保有性能の低下予測

広島大学 正会員 ○藤井 堅

広島大学大学院 学生会員 山本 治

広島大学 フェロー会員 中村 秀治

1. 目的

高度成長期に架設された多数の土木構造物に腐食損傷が現れ、これらの構造物を今後どのように維持・管理していくかという解決策が強く要求されている。しかしながら、十分な説明力を持ったこれらの保有性能の将来予測手法はもちろん、腐食鋼構造物の現況の保有性能評価法も十分には確立されていないのが現状である。そこで本研究では以下の3つの手順をもとにした腐食損傷評価手法を示す。①計測された腐食状態の測定結果に基づいて腐食表面を再現し、その腐食進展を予測できるモデルをもとに、腐食表面の再現をおこない、②強度解析によって現状の強度評価、さらには③腐食表面の将来変化を予測し、その予測結果に基づいて強度低下の予測をおこなう。これにより、将来の補修計画や維持管理計画において説明力のある判断材料あるいは評価資料を提供できる維持管理システムの構築に寄与する。

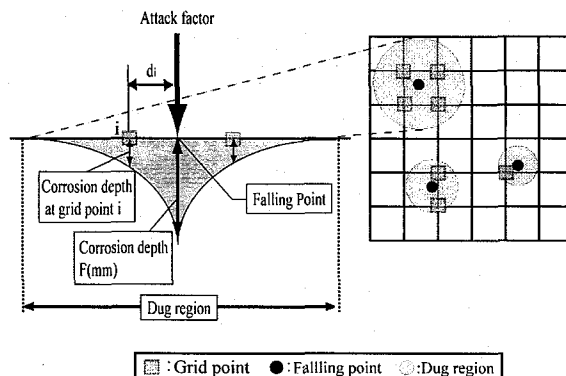


図-1 腐食のモデル化

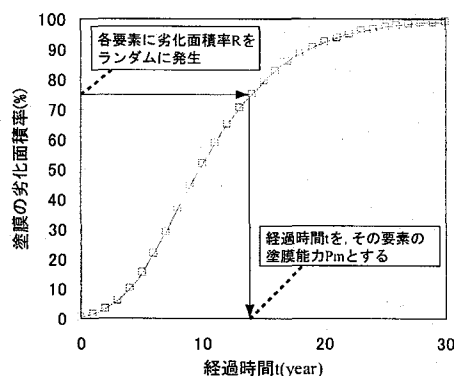


図-2 塗膜劣化のモデル化

2. 経時劣化を考慮できる腐食表面モデル

2.1 腐食表面の生成方法

腐食鋼板の腐食表面は、文献 1) によって提案された腐食進展を考慮できる経時変化モデルによって作成する。経時変化モデルによる腐食表面生成手順を簡単に示すと以下の4つの手順となる。①湿気や飛来塩分のような腐食を引き起こす外的因子をアタック因子 (Attack Factor) として、これが鋼表面に落下し、F [mm]の孔が出来る。②図-1の薄墨部分で示すように、腐食孔は腐食深が大きくなるとともに、放射状にその腐食領域を拡大する。この薄墨部分を、腐食深とする。③アタック因子が、毎年 n 個落下し、n 個の腐食孔があく。④上記の①～③を経過時間 T [年]繰り返す。

本モデルでは、3つのパラメータ (アタック因子の強さ F [mm], 個数 n [個/year], 距離減衰定数 β) を変化させて、経過時間 T 年を変化させることにより、各時間 T における腐食表面を簡単に再現できる。

2.2 塗膜による防食効果のモデル化

塗膜の防食性能及び塗膜劣化は以下のように考慮

する。次式で塗膜劣化面積率 y_t (%) を表し、

$$y_t = \frac{\text{塗膜のはがれた面積} [m^2]}{\text{鋼板の面積} [m^2]} \times 100 [\%] \quad (1)$$

この塗膜劣化面積率は図-2に示すような Gompertz 曲線にしたがって増加するとする²⁾。この曲線は、

$$y(t) = a^{b^{t_{\text{paint}}}} \quad (4)$$

として表され、 t_{paint} は塗膜の経過年数 (year), a, b は曲線を決める係数である。

3. 鋼表面の腐食進展にもとづく鋼板圧縮強度低下の経時予測

2で述べた経時変化モデルを用いて、塗装替え期間と耐力低下の問題を解析的に求め、塗装替え期間と強度低下の相関について考察をおこなう。

3.1 解析概要

解析モデルとして、プレートガーダーの圧縮フランジを想定した3辺単純支持1辺自由の鋼板 (図-3) を

想定し、圧縮強度解析をおこなった。初期不整については、道路橋示方書に規定されている値を用いた。残留応力については、圧縮残留応力: $0.3\sigma_y$ 、引張残留応力 σ_y を与えた。解析は、汎用構造解析プログラム ABAQUS を用い、要素は 4 節点シェル要素を使用し、応力-ひずみ関係は完全弾塑性、Mises の降伏条件を用いた。材料特性は SS400 クラスを想定し、降伏応力 $\sigma_y=235\text{MPa}$ 、弾性係数 $E=206\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ とした。

腐食表面の生成には、以下の仮定と条件を用いた。

1) 要求性能を保持する期間は 100 年とする。2) 塗装の耐用年数は 20 年とする。3) 一回の塗装に有する費用は 1 とする。同じ手法で同じ塗料を用いると仮定した場合、100 年間でかかる費用は、100 年間に行なう塗装替えの回数に比例して、図-5 中の□で示す右下がりの直線となる。

以上のような仮定をもとに 3 ケースの腐食表面を作成した。3 ケースの条件として、塗膜を 100 年間で 10 回塗り替えた Case-1、20 年おきに 5 回塗り替えた Case-2、30 年おきに 3 回塗り替えた Case-3 とする。

3.2 解析結果

それぞれの腐食表面をもとに、100 年間の強度劣化を求めると、図-4 のようになる。Case-1 ではほとんど腐食が進行せず耐力低下が起きないが、Case-3 は塗膜が劣化した期間に耐力が大きく低下することが分かる。この解析をもとに、塗膜の回数を横軸にして、縦軸を塗装費用と $T=100[\text{year}]$ 時の強度劣化率[%]とすると、図-5 に示す◇の強度低下率曲線を求めることができる。図-5 から、塗膜の塗替え期間が 25 年以上よりも長い、つまり塗装の塗替え回数が 4 回以下になると、100 年を供用できないことがわかる。もしも、この構造物の要求耐用年数が 100 年で、架設当初の安全率が 1.7 だけあったと仮定して、その安全率が 1.0 まで低下することを許容するならば、強度が約 40% 低下しても一応健全であるということになるから、6 回の塗替えが必要ということがわかる。

同じく塗膜の耐用年数を変えて図-5 と同様の図を作成することができれば、塗膜の塗替えと強度劣化率の関係が分かり、どの耐用年数の塗膜を、どの間隔で塗り替えることが最適な維持管理につながるかを示すことができる。以上の方法から、本モデルを用いれば、維持管理計画の立案・更新に対して有益な情報を簡易

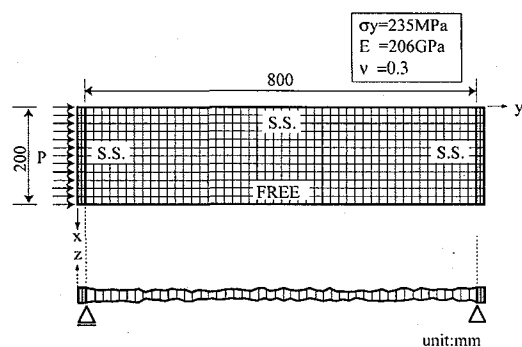


図-3 解析モデル図

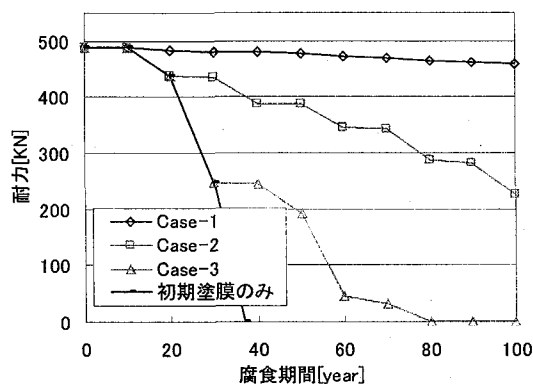


図-4 塗膜の塗替え期間の違いによる耐力低下の変化

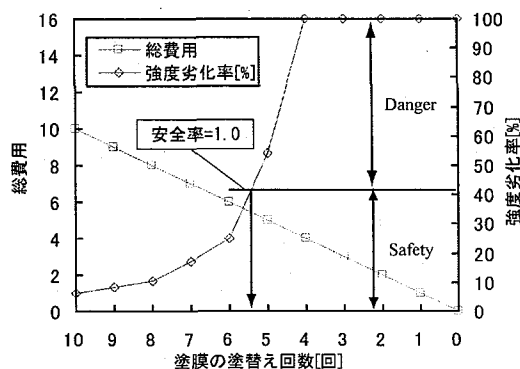


図-5 塗膜の塗替え回数の変化による塗替え費用と強度劣化率 (塗膜の耐用年数 20 年)

に求めることができる。

4. 結論

1) 塗膜の防食能力の低下を考慮できる腐食表面の経年変化モデルを用いて、防食能力の劣化と腐食進展の関係、強度低下の予測を示した。2) 塗装替え期間の変化にともなう強度変化予測などのいくつかの例題を通して、本モデルが、一定の説明力を持って維持管理費用、維持管理計画に使用できることを示した。

参考文献: 1) 藤井ら: 鋼表面の腐食進展に基づく鋼板圧縮強度低下の経時予測, 構造工学論文集, Vol.52A, 2006.

2) 伊藤ら: 素地調整が異なる塗装鋼板の腐食劣化に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.766/I-68, pp.291-307, 2004.