

腐食フランジの残存圧縮強度に対する評価指標の提案

広島大学大学院工学研究科博士課程
広島大学大学院工学研究科

学生会員 ○海田 辰将 *1
正会員 藤井 堅 *1

1. はじめに

近年、鋼構造物の腐食損傷が顕在化しつつあり、かなり激しい腐食を受けた鋼橋が数多く供用されている現状にある。これに対し、鋼橋における腐食損傷の評価基準のほとんどは技術者の目視によるものであり、力学的根拠に基づく強度評価はあまりなされていない。これらの背景を考えると、腐食部材の残存強度を精度良く推定するための評価指標を確立することは火急の工学課題といえる。しかし、一般に腐食部材は単に減肉するだけでなく荷重偏心も伴うため、全ての要因を含めた形で残存強度を評価することは難しい。そこで本研究では偏心の影響が無い腐食モデルを作成し、その弾塑性有限要素解析結果から残存強度を簡便かつ精度良く表すための評価指標を提案する。今回は、解析モデルとして全面腐食したプレートガーダーフランジを取り上げ、フランジパネルの残存圧縮強度の簡易評価法についても提案する。

2. 腐食表面形状の想定

本解析では、過去に著者らが提案した空間的自己相関の概念¹⁾を用いて腐食表面形状を作成した。各点の独立腐食深はポアソン分布に従うものとし、互いに近接する点 i, j の腐食深を式 (1) によって求めた。

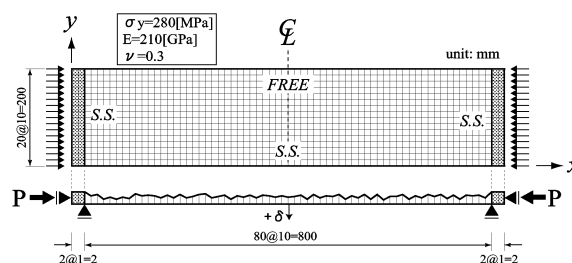
$$Z_i = \sum_{j \in \Omega} \left(e^{-\beta d_{ij}} \right) V_j \quad (1)$$

ここに Z_i : i 点の腐食深, d_{ij} : ij 間の距離, V_j : j 点の独立腐食深, β : 距離減衰パラメータ (0.4), Ω : 空間的自己相関の影響範囲 (50mm) である。平均腐食深 Z_{avg} は 0~3mm を想定した。

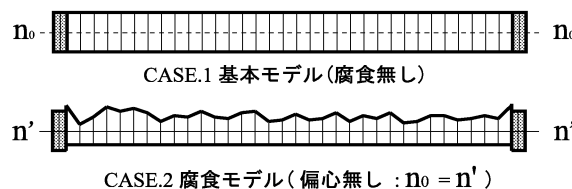
3. 解析モデルおよび解析条件

図-1(a) に解析モデルを示す。境界条件は 3 辺単純支持 1 辺自由とし、等変位圧縮を両端に与えた。要素は 4 節点アイソパラメトリックシェル要素を用い、応力-ひずみ関係は完全弾塑性とした。

腐食減肉することによって平均中立面は図-1(b) に示すように $n_0 \rightarrow n'$ と移動し、平均偏心量 e_{avg} を生じる。これを補正して $n_0 = n'$ とするためモデル両端に



(a) 腐食フランジ解析モデル



(b) 解析パターン

図-1 解析モデル

端部要素 (薄灰色部分) を設け、その中央面と平均中立面を一致させて荷重偏心の影響をできる限り小さくした。また、端部要素の幅は他の要素幅の 1/10 とし、変形に伴って端部に曲げが発生しないよう配慮した。

4. 残存圧縮強度と評価指標

適当な有効板厚 t_e を求め、腐食の無い鋼板の座屈強度曲線から腐食鋼板の残存圧縮強度を評価できるならば、1 本の座屈強度曲線で腐食の有無に関わらず強度を評価できることになる。本研究では評価指標として平均板厚 t_{avg} とその標準偏差 σ_{st} を用いて上記有効板厚 t_e を求めることを試みる。

元の板厚 $t_0 = 8\text{mm}$ から平均板厚 $t_{avg} = 7\text{mm}$ にまで減肉し、それぞれ異なる標準偏差を有する腐食フランジの解析結果を腐食深等高線図と共に図-2(a) に示す。等高線図には最大腐食深 Z_{max} と y 方向の最小断面 A_{min} の発生位置も併せて示す。荷重-たわみ関係から、標準偏差が大きくなるにつれてその最大耐荷力 σ_u/σ_y は上昇することがわかる。これは、表面の凹凸によって終局時の座屈波形が高次のものに变化することに起因する。特に標準偏差が大きい場合は腐食減肉しているにも関わらず、 $t_0 = 8\text{mm}$ を有する腐食の無い基本モデルよりも耐荷力が大きくなる場合もある。よって、

key words: corroded steel plate, remained compressive strength, parameter for estimation, width-thickness ratio

*1 〒739-8527 広島市鏡山 1-4-1 TEL: 0824-24-7790

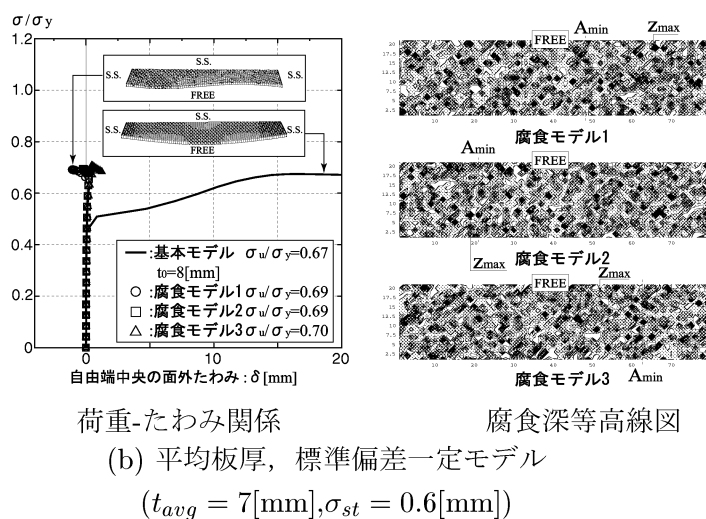
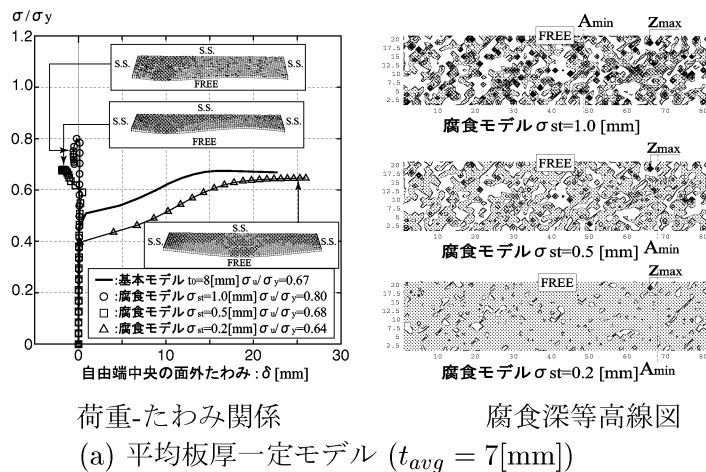
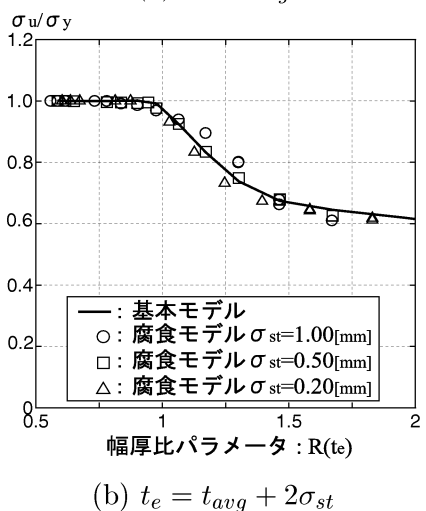
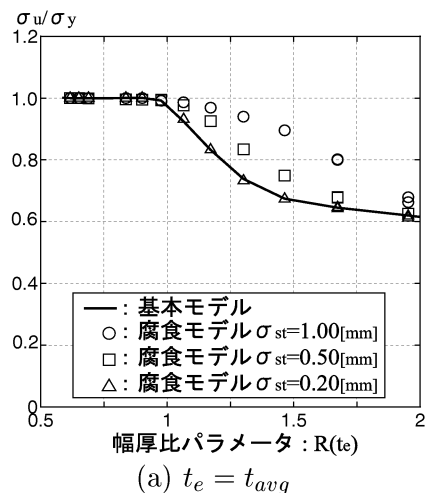


図-2 残存強度を評価するパラメータ

図-3 有効板厚 t_e と $R - \sigma_u/\sigma_y$ 関係

有効板厚に用いる評価指標としては平均板厚のみでは不十分である。

図-2(b) に元の板厚が $t_0 = 8\text{mm}$ で腐食後の平均板厚と標準偏差がそれぞれ等しいモデルの荷重-たわみ関係と腐食深等高線図を示す。これらの腐食モデルは各々全く異なる表面形状を有していることが等高線図からわかる。しかしながら、これらの腐食モデルの耐荷力 σ_u/σ_y は3ケースともほぼ等しくなる。よって、全面腐食の場合、平均板厚と標準偏差が同一ならば、同じ耐荷力をもつと考えて良いと判断される。

いま、幅厚比パラメータ

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (2)$$

の板厚 t に t_{avg} および $t_{avg} + 2\sigma_{st}$ を用いて解析結果をプロットすると図-3が得られる。実線は基本モデルの座屈強度曲線である。先に述べたように、基本モデルの座屈強度曲線を用いて腐食鋼板の強度を評価することを考えると R に t_{avg} を用いた場合、図-3(a) に示すように腐食モデルの解析結果は標準偏差が大きいほど基本モデルから離れ、耐荷力も大きくなる。一方、 $t_{avg} + 2\sigma_{st}$

を用いて R を表すと、腐食モデル全ての解析結果が基本モデルの座屈強度曲線上にほとんど一致することが図-3(b) からわかる。よって、全体腐食を受けるフランジの残存圧縮強度は、有効板厚 $t_e = t_{avg} + 2\sigma_{st}$ を用いて幅厚比パラメータ R を表せば、基本モデルの座屈強度曲線と同等に扱うことができる。

5. まとめ

- 1) 標準偏差が大きい場合は表面の凹凸によって高次の座屈波形を示す。また、その時の耐荷力は腐食前の耐荷力よりも大きくなる場合がある。
- 2) 有効板厚に $t_e = t_{avg} + 2\sigma_{st}$ を用いて幅厚比パラメータ R を求めると腐食の有無に関わらず腐食の無い板の座屈強度曲線から強度評価が可能である。

参考文献

- 1) 藤井堅, 海田辰将, 平井勝志, 奥村誠: 腐食鋼板表面形状モデル作成における空間的自己相関モデルの適用性, 構造工学論文集, Vol.48A, pp.1031-1038, 2002.
- 2) Nukulchal, W.K.: Simple and Effective Finite Element for General Shell Analysis, int.J.for Numerical Method in Engineering, Vol.4, pp.179-200, 1979.