

腐食鋼材の残存耐荷力推定法における空間的自己相関モデルの適用性

○岡山県庁 正会員 平井 勝志
 広島大学工学部 正会員 藤井 堅
 広島大学工学部 正会員 奥村 誠

1. はじめに

現在、橋梁の腐食損傷評価の判断はほとんどが目視によるものであり、補修・補強の要否、架け替えなどの経済的かつ合理的な判断基準の確立が早急の課題である。しかし、腐食鋼材の耐荷力低下は単に板厚の減少のみならず、鋼材表面の腐食領域の広がり起因する断面欠損や剛性低下が原因となる。本研究では広がりをもって分布する鋼板表面の腐食現象を空間的自己相関の概念により表現する。また弾塑性有限要素解析による残存耐荷力推定法に空間的自己相関モデルを適用し、その妥当性を検討する。

2. 腐食鋼材データ

今回、空間的自己相関により想定を行う試験片¹⁾は15年間供用後撤去されたフェリー渡橋の横桁のウェブ、フランジ、床版のリブ部分から幅30mm、長さ100mm～450mmに切り出したものである。また、試験片には5mm間隔のメッシュをけがき、全格子点の板厚と偏心量を全33体についてマイクロメーターで測定した。

3. 空間的自己相関による腐食現象のモデル化

空間的自己相関を考慮して腐食現象を、独立的外力のみ起因する腐食量(以下独立腐食深と呼ぶ)の発生、ある点の腐食量はその周囲の点の独立腐食深による影響を受け、その影響度は2点間の距離に依存する、という2段階に分けて表現する。上記の概念を式(1)に示す。ここに、 Z_i : i番目の計測点の腐食深、 d_{ij} : i, j間の距離、 V_j : j番目の計測点の独立腐食深、 β :

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

$$= \begin{bmatrix} 1 & e^{-\beta d_{12}} & \dots & e^{-\beta d_{1n}} \\ e^{-\beta d_{21}} & 1 & \dots & e^{-\beta d_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e^{-\beta d_{n1}} & e^{-\beta d_{n2}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

距離減衰の強さを表すパラメータ($\beta=0.4$ 文献²⁾参考)、 Ω : 空間的な影響を及ぼす領域(50mm)

3. 1 独立腐食深の想定

鋼板表面の腐食量頻度分布は腐食状況に応じて分布形状を大きく変化させる。今回使用した腐食鋼材は平均腐食量が約0.5mm以下の場合、腐食量0mm付近で最大頻度となり最大腐食量値まで急勾配となる指数分布的な形状であった。また平均腐食量値が約0.5mm以上の場合、平均腐食量値付近で最大頻度となり、両側に緩やかで広い正規分布的な形状となった。そこで、独立腐食深の想定には上記のような性質を考慮し、また腐食の程度を容易に表現できるという理由でポアソン分布型乱数列を採用した。ポアソン分布に従う確率分布およびその分布形状をFig.1に示す。Fig.1には $m=0.1, 0.5, 1.0, 2.0$ の場合を示しているが、このように m のみの変化により腐食の程度を容易に表現することが可能である。

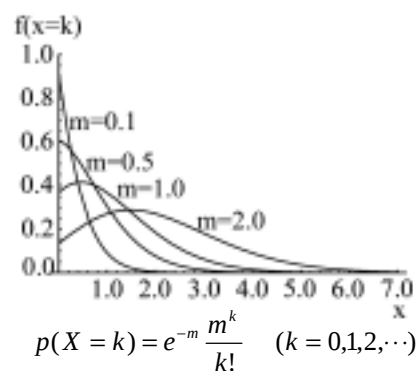


Fig.1 ポアソン分布の確率分布

3. 2 腐食鋼材の表面形状想定結果

腐食量を想定する際には実測値の平均腐食量と、想定値の平均値がほぼ一致するよう形状パラメータ m を決定し表面形状の想定を行った。Fig.2に横桁のウェブ部分から切り出した長さ200mmのCW-200-3の腐食量等高線図を示す。また、空間的自己相関モデルにおける腐食領域の広がり再現性について検討するため、空間的自己相関を考慮しないでポアソン乱数のみで腐食量を想定したポアソン乱数モデルも同様に示す。

キーワード：空間的自己相関、腐食鋼材、残存耐荷力、ポアソン乱数列

連絡先：〒739-0025 広島県東広島市鏡山 1-4-1 TEL 0824-24-7790 FAX 0824-24-7792

Fig.2 からポアソン乱数モデルには腐食領域の広がりのみならず、実際の腐食鋼材の表面形状と類似する部分はない。しかし、空間的自己相関モデルは、腐食領域の広がりおよび最大腐食量は実際の測定値にかなり類似している。

4. 空間的自己相関モデルによる残存圧縮耐力推定

空間的自己相関モデルの適用性を残存耐力の面から評価するため、2次元弾塑性解析を行う。解析は、4節点アイソパラメトリックシェル要素を用い座標更新法に基づく複合非線形有限要素解析である。また応力-ひずみ関係式は完全弾塑性とし、材料特性は引張試験結果を用いた。Fig.3に3種類のモデルにおける全33体の残存耐力解析結果を示す。なお、グラフの縦軸は3種類のモデルの結果をそれぞれ座屈荷重実験値で割り無次元化したものを、また横軸は平均腐食量を示す。平均腐食量が0.0～1.0mm区間では、3種類のモデルの座屈荷重実験値に対する比の平均値は差がない。つまり腐食領域の広がりに起因する耐力低下は起こらない。平均腐食量が1.0～2.0mm区間ではポアソン乱数モデルと実験値との間に大きなずれ($P_{ra}/P=1.33$)が生じたことから、腐食領域の広がりが耐力低下に大きく寄与している。しかし、空間的自己相関モデルは、ポアソン乱数モデルにくらべ座屈荷重実験値を精度良くとらえている($P_{sa}/P=1.08$)ことから腐食領域の広がりに起因する耐力低下を再現できている。平均腐食量が2.0mm～区間では腐食領域の広がりが耐力低下に大きく寄与している。また、空間的自己相関モデルは、ポアソン乱数モデルと比べると腐食領域の広がりに起因する耐力低下を再現できているが、実測値モデルとのずれはかなり大きい。つまり空間的自己相関モデルにおける表面形状の再現性は薄れ、推定が困難である。これは腐食現象に時系列変化を考慮していないことが原因に挙げられる。また、実測値モデルでも座屈荷重実験値に対して大きなずれが生じているが、これは腐食量増加に伴う孔食先端部での応力集中などを十分に表現し得ないことに起因する。

Fig.4に実測値モデルと空間的自己相関モデルにおける残存耐力推定値の相関について示す。実測値モデルと空間的自己相関モデルの相関係数は0.99であった。つまり空間的自己相関モデルを用いた解析結果は腐食鋼材の表面形状測定結果を解析に反映させた結果と同程度の残存耐力推定が可能である。

まとめ

実際の腐食鋼材の表面形状と異なるにもかかわらず空間的自己相関モデルによる残存耐力推定結果は実測結果による解析結果と非常に高い相関(相関係数 0.99)を示し、実際の表面形状を十分表現できている。

平均腐食量0.0～1.0mm区間は腐食領域の広がりに起因する耐力低下は起こらない。また1.0～2.0mm区間は腐食領域の広がりに起因する耐力低下は大きく現われるが、空間的自己相関モデルはその耐力低下を評価できる。また、2.0mm～区間は腐食領域の広がりとともに孔食先端部分での応力集中などの原因により耐力低下は極めて大きい。そのため腐食現象を時空間的にとらえ更に応力集中問題として解析を行う必要がある。

参考文献

- 1) 羽島克利: 腐食した鋼材の残存耐力評価, 広島大学卒業論文, 1994。
- 2) 奥村誠, 藤井堅, 塚井誠人: 空間的自己相関を考慮した鋼板腐食形状のモデル化, 土木学会論文集, (印刷中)

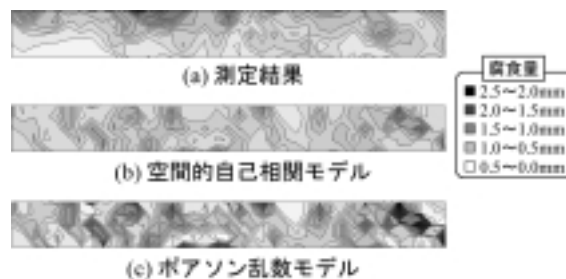


Fig.2 腐食量等高線図 (CW-200-3)

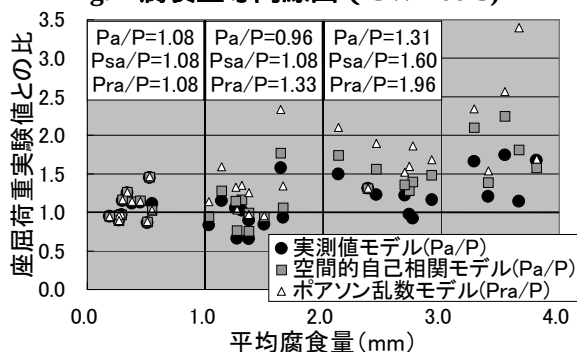


Fig.3 残存耐力推定結果

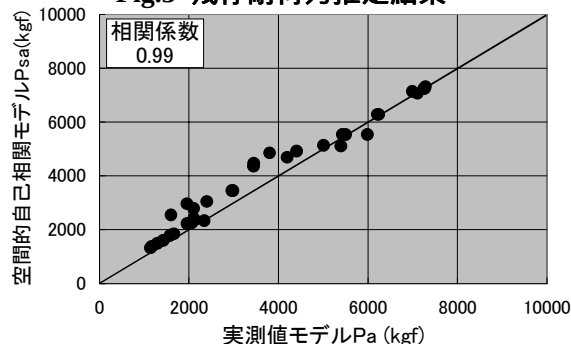


Fig.4 実測値モデルと空間的自己相関モデルの相関