

腐食劣化を受ける耐候性鋼橋のベイズ理論を用いた性能予測手法の提案

ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) ○瀬戸大輔

愛媛大学大学院 正会員 大賀水田生

愛媛大学大学院 正会員 全邦釘

1. はじめに

耐候性鋼橋は緻密な保護性さびを形成し、腐食速度を低減させるといった防食作用を持つ橋梁である。しかし、過度な飛来塩分によって異常を示すさびが発生する場合があります。耐候性鋼橋の性能低下を引き起こす恐れがある。耐候性鋼橋を使用する際に、腐食と保有性能低下の関係を正確に把握する必要があるが、耐候性鋼橋の保有性能評価は調査技術者の目視点検による経験的評価に依存しているのが現状である。そこで、本研究では着目橋梁の将来的な腐食量を予測した上で、腐食劣化が耐候性鋼橋の保有性能の低下に及ぼす影響を有限要素解析と簡易的な計算によって定量的に評価する手法の提案を目的とする。

2. 着目橋梁の腐食量予測手法の提案

耐候性鋼橋の腐食量の変化は堀川らの式¹⁾を変形した式(1)がよく一致していることが知られている。

$$Y = AX^B \quad (1)$$

Y : X 年目の腐食量(mm), X : 年数, A, B : 係数

従来の研究では、旧建設省土木研究所が行った全国暴露試験の調査結果を参考に耐候性鋼材の腐食量は予測されている²⁾。しかし、これでは着目橋梁の腐食特性を考慮していないため、その橋梁の腐食量予測式として必ずしも正しいとは限らない。そこで、本研究ではベイズ理論による着目橋梁の腐食特性を従来の研究に反映させて、橋梁特有の腐食量予測手法を提案する。なお、本報告では高知県的高速道路橋の平瀬橋を対象とした。ベイズ理論の公式を式(2)に記す。

$$\text{事前分布} \times \text{尤度関数} \propto \text{事後分布} \quad (2)$$

これは全国暴露試験等で得られた情報(事前分布)に着目橋梁の腐食量の計測結果(尤度関数)を掛け合わせ

ることで、着目橋梁の個別特性を考慮した腐食量情報(事後分布)を算出する式である。本手法において、式(2)は式(1)の係数 A を対象に計算を行っている。

将来的な腐食量増加にはばらつきが発生するため、モンテカルロ法を用いて腐食量予測区間を信頼率 95% で作成し、事前分布と事後分布の将来的な腐食量増加を図 1 に示す。事後分布の腐食量のばらつきは事前分布と比べても抑えられており、片面腐食量の予測精度を向上させることが可能となった。

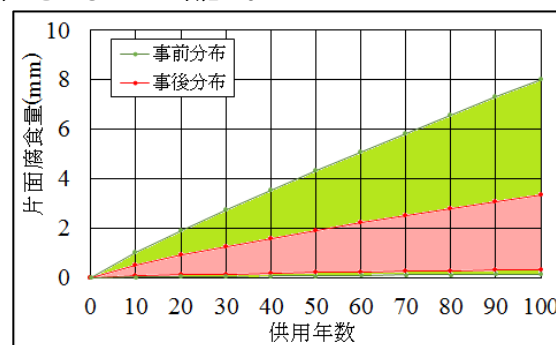


図 1. 将来的な腐食量予測区間

3. 既存の耐候性鋼橋の概要と有限要素解析の妥当性

本解析手法の曲げ引張応力評価手法の妥当性を検討するために、既存の耐候性鋼橋である平瀬橋に車両載荷試験を行い、そこで得たひずみの計測結果と有限要素解析の結果による比較を行った。

実際の腐食による表面凹凸はランダムであるため有限要素モデルを厳密に一致させることは不可能である。そこで、非常に多くのパターンの腐食形状を復元して確率的に解析するため、モンテカルロ法により供用年数 21 年目を想定した架空の平瀬橋 400 橋を再現した。図 2 には、実際の計測結果に動的な挙動除去したひずみと、解析結果の 400 橋の平均と信頼率 95% ひずみを表しており、その信頼率 95% の領域に計測結果が概ね収まっ

ている。すなわち、本研究のベイズ理論により腐食形状を再現した有限要素モデルの高い精度が確認でき、本解析モデルは妥当性を有するといえる。

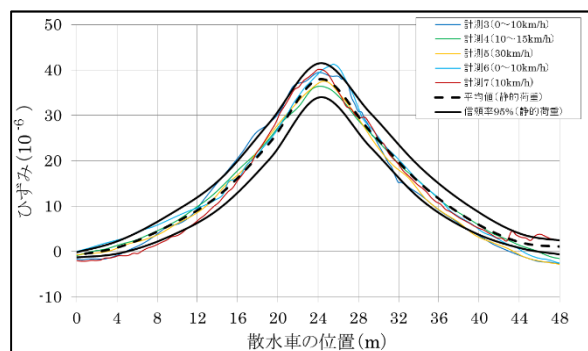


図2. 計測結果と解析結果の比較

4. 下フランジの性能予測評価

本研究で提案した腐食量予測手法から確率的な腐食劣化を再現した平瀬橋の有限要素モデルを構築し、モンテカルロ法を基本とした確率有限要素解析からL荷重を載荷させた際の最大曲げ引張応力の予測区間を導出した。具体的には、平瀬橋の供用年数20, 40, 60, 80, 100年目を想定したモデルをそれぞれ400パターン作成し、図2のように解析結果から将来的な応力の推移をグラフ化した。なお、同じ色で挟んだ区間を信頼率95%としている。図3は第3スパンの応力状態を予測したものであるが、事前分布のみのベイズ更新前の予測では35年後には許容応力度を超える危険性があり、対策をとる必要があったが、ベイズ更新後では35年後におそらく許容応力度を超えることはなく、約70年後に対応すれば十分安全であることが分かった。

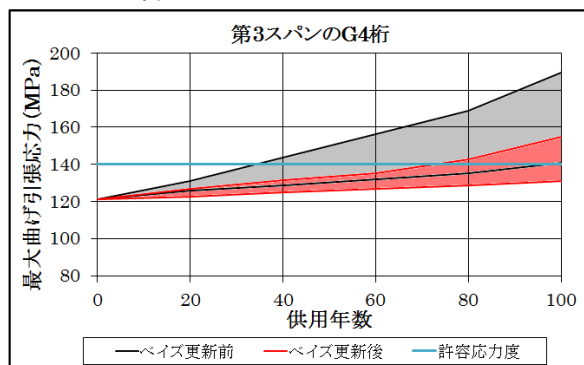


図3. 将来的な最大曲げ引張応力の予測区間

5. 簡易的な計算

本研究では有限要素解析を行わずに腐食後の応力状態を簡便に導出する手法についても構築した。具体

的には、腐食損傷を受けて不均一になった下フランジを式(3)に示す有効板厚 t_{eff} により代表させ、その場合の断面二次モーメントを計算し、曲げ応力の公式から曲げ引張応力を導出した。

$$t_{eff} = 2 \times t_{min} - t_0 \quad (0.56t_0 < t_{min}) \quad (3)$$

t_{min} : 最小板厚(mm), t_0 : 初期板厚(mm)

簡易計算法で求めた応力は有限要素解析により求めた応力に対して誤差率は5%以内に存在し、非常に精度の良い評価方法が得られたことが明らかとなった。その応力の比較結果を図4に示す。

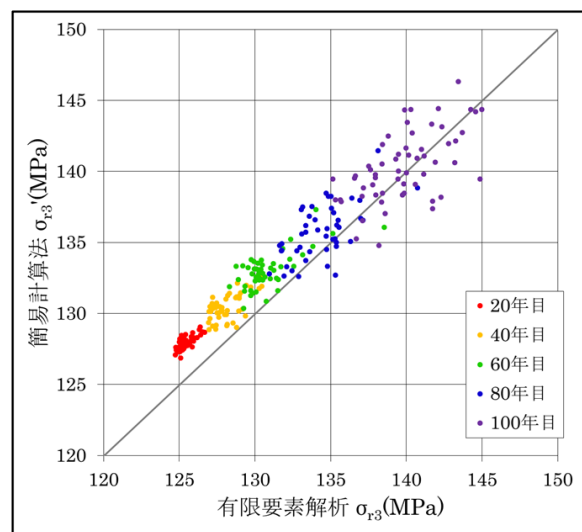


図4. 有限要素解析と簡易計算法の比較

6. 結論

- (1) 板厚計測により得られた平瀬橋の腐食劣化情報をベイズ理論で反映させた結果、予測のばらつきを抑えることができた。
- (2) 腐食を模擬した有限要素解析にモンテカルロ法を用いた確率有限要素解析により、最大曲げ引張応力を対象とした将来的な応力変化を導出した。
- (3) 最大曲げ引張応力は、最小板厚を導入した有効板厚によって精度の良い推定をすることが可能となった。

今後の課題として、他の橋梁にも有効板厚 t_{eff} の提案式の有用性について検討を行う。

参考文献

- 1) 堀川一男, 滝口周一郎ら: 防食技術, 1967
- 2) 旧建設省土木研究所, (社)鋼材倶楽部, (社)日本橋梁建設協会: 耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書(XV), 整理番号 第71号, 1992