

腐食進展を考慮した鋼トラス橋の全橋解析による耐荷力低下予測に関する基礎研究

徳山工業高等専門学校 学生会員 ○寺西 冨映
 東京大学大学院 学生会員 山根 達郎
 広島大学名誉教授 フェロー会員 藤井 堅

徳山工業高等専門学校 正会員 海田 辰将
 中電技術コンサルタント 正会員 川見 周平

1. はじめに

鋼橋に生じる腐食損傷は、部材全体の視点から見ると極めて局所的な箇所で開催するケースが多いものの、その根本的な腐食原因を取り除くことは容易ではない。例えば、仕口などの狭隘部ではケレンが難しいことから再塗装しても劣化しやすく、貫通孔をとまなう腐食損傷に発展することも珍しくない。

一方、長寿命化を意識した鋼橋の合理的な維持管理計画を策定する場合には、現時点で生じている腐食損傷を考慮した橋梁全体としての現有耐荷力を推定する技術はもちろん、数 10 年先の耐用年数に至るまでの耐荷力低下を予測する技術が不可欠である。

そこで本研究では、橋齢 99 年の高齢トラス橋を対象としたはり要素による全橋解析モデルを作成し、実際の鉛直材に生じている腐食進展を考慮した耐荷力解析を実施する。本解析を通じて、橋梁全体としての耐荷力に関する劣化曲線を解析的に描く手法を示し、本解析に関わる種々の仮定や今後改善すべき課題について考察する。

2. 対象橋梁の概要と着目する腐食損傷

2.1 橋梁概要

本解析対象は、橋齢 99 年の単純曲弦プラットトラス橋の主径間¹⁾(支間長 50.19m、有効幅員 5.5m)である。その主構部材は複数の形鋼をレーシングバーで形状保持した組み合わせ断面であり、総リベット接合されている。また、本橋は平成 24 年の橋梁点検時に鉛直材や格点付近において貫通孔をとまなう局所的な腐食損傷が確認されたため、緊急補修工事が実施され、現在は 8t の荷重制限の下で供用が再開されている。その後、本研究に関連して平成 28 年に再度、腐食損傷調査が実施された¹⁾。

2.2 橋梁全体の腐食状況

図-1 は平成 24 年と平成 28 年に実施された腐食損傷調査結果から作成した腐食マップである。図中の●印はいずれも貫通孔や断面欠損をとまなう重度の腐食損傷を示している。

下流側の主構には、特定の鉛直材 (V5,V9) に損傷が集中していることがわかる。また、図中に赤い●印で示すように、鉛直材の上弦材付近が多く損傷している。これは、写真-1 に示すような対傾構と鉛直材の接合部が非常に狭隘であるため、滞水やケレン不足により再劣化

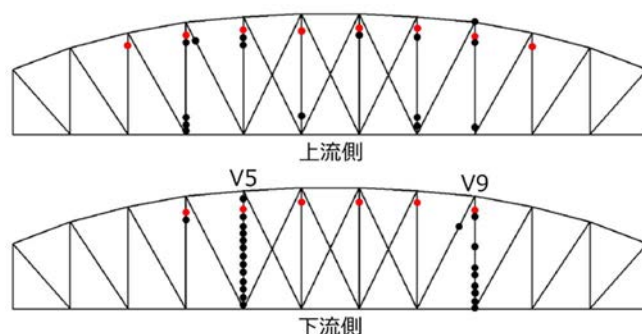


図-1 主構の腐食マップ



写真-1 鉛直材ウェブの貫通孔

が生じ易く、腐食進展が著しいことに起因する。本研究では、このような腐食の進展を抑制することが難しい損傷を対象として、点検の際に記録された腐食形態と残存板厚に関する情報を活用して、将来的な進展状況を数値的に生成し、橋梁全体の耐荷力への影響を予測する。

3. 腐食進展を考慮した全橋解析

3.1 腐食進展予測モデルによる腐食表面の生成

本研究では、腐食進展予測モデル²⁾によって図-1 に赤い●印で示した鉛直材の腐食領域 (14 か所) の腐食表面を 20 年毎に生成した。この腐食進展予測モデルでは、鋼表面をメッシュ分割して離散化し、腐食を生じさせる原因となるアタック因子が降り注ぐことで腐食表面が生成される。1 個のアタック因子が落下地点に生じさせる腐食深を $F[\text{mm/year}]$ 、アタック因子の落下地点と格子点 i の距離を $d_i[\text{mm}]$ 、距離減衰係数を β とすれば、格子点 i に生じる腐食深 V_i は、式(1)により求められる。

キーワード 腐食損傷, トラス橋, 腐食進展予測モデル, 骨組解析, 最大活荷重倍率

連絡先 〒745-8585 山口県周南市学園台 徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 海田研究室 TEL 0834-29-6331

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

このアタック因子が1年間に n 個ほど降り注ぐとして、それを m 年間繰り返すと、 m 年後の格子点 i における腐食深が数値的に予測できる。本研究では、鉛直材の腐食領域を実測結果に基づいて高さ130mm×鉛直材の幅 [mm]に設定し、メッシュ分割を10mmとした。式(1)に示した F 、 d_i 、 β は全ての鉛直材で一定とした。また、写真-1に示した貫通孔が少なくとも建設から90年後には生じていたと仮定し、図-2に示すように、生成された腐食表面から計算した最小板厚 t_{min} が90年経過後に0mmとなるようアタック因子の数 n [個/year]を各鉛直材で調整している。

3.2 解析モデルと解析条件

本研究では、はり要素 (B31) を用いて全橋解析モデルを構築し、ABAQUS 6.14-5 による弾塑性非線形有限要素解析を行った。鋼材の材料特性は SS400 を仮定し、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、降伏応力は $\sigma_y=245$ [MPa]である。荷重は、鋼材と RC 床版の死荷重および B 活荷重を考慮し、活荷重倍率 α を最初の部材が降伏するまで増加させた。活荷重は、鉛直材 V5 に対して最も不利な状態を想定した。

また、主構および床組部材の断面形状には等価断面として中空箱形断面を採用し、腐食減肉を考慮した組み合わせ断面と全く等しい断面性能を与えている。

3.3 解析結果と考察

解析結果の一例として、腐食を 120 年分進展させた場合の変形図および Mises 応力分布を図-3 に示す。死荷重を載荷した後、徐々に活荷重倍率 α を増加させていくと、 $\alpha_{max}=3.90$ (最大活荷重倍率) に達したとき、鉛直材 V5 に隣接する斜材 D5' が先行して降伏した。このとき、V5 の腐食領域に生じた応力は 166MPa であり、降伏までに 79MPa の余裕を残していた。これは、ブレース材である D5' の断面積が V5 の約半分であることに加え、腐食減肉によって局所的に失われるべき断面積が等価断面への置換によって全断面に平均化され、中空箱形断面の寸法形状として反映されることに起因する。

このことは、図-4 に示した耐力低下曲線において、その低下量は 120 年後でも健全時の約 1/40 であり、局所腐食の影響がほとんどないことから理解できる。

4. おわりに

本研究では、鉛直材 14 か所の局所腐食を考慮した全橋解析モデルによって、最大活荷重倍率から橋梁全体の耐力低下を予測することを試みた。しかし、はり要素モデルでは、部材断面の一部で進展する腐食減肉の影響を等価断面に置換する過程において実現象と著しく異なる結果が得られることが明らかになった。このことから、

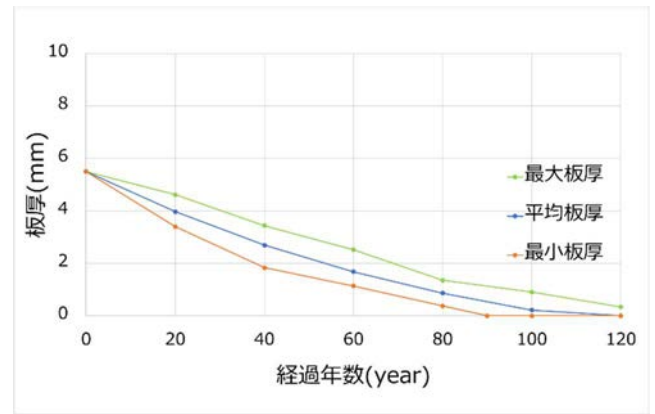


図-2 生成した腐食表面による板厚の経時変化

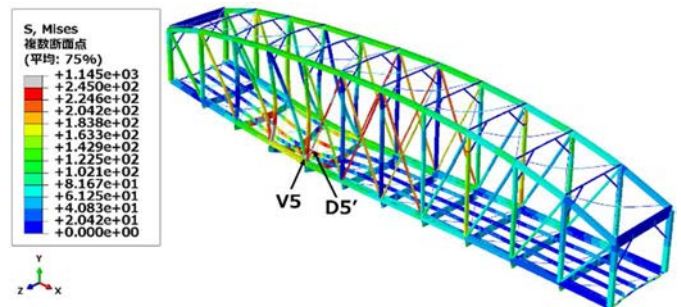


図-3 120 年後の解析結果 (変形倍率×20)

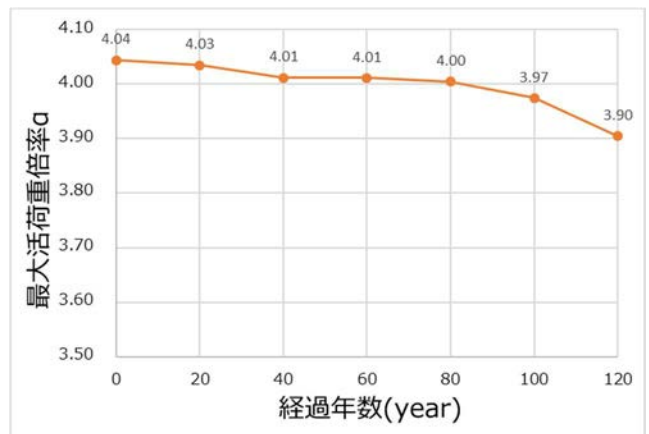


図-4 耐力低下曲線

今後はシェル要素を用いた解析モデルを構築し、局所腐食が橋梁全体の耐力に与える観点から、その低下予測を試みる。また、腐食進展予測モデルに使用する各種パラメータの決め方として、定期点検時に記録した腐食形態や板厚測定結果を反映させる方法について検討する。

【参考文献】

- 1) 川見周平, 海田辰将, 加納匠, 平原義之, 福田洋顕, 山根達郎, 佐竹亮一, 藤井堅: 実橋載荷実験による高齢化したプラットラス橋の軸応力評価と力学挙動, 構造工学論文集, Vol.65A, pp.90-97, 2019.3.
- 2) 藤井堅, 橋本和朗, 渡邊英一, 伊藤義人, 杉浦邦正, 野上邦栄, 永田和寿, 中村秀治: 海洋環境における鋼管杭の圧縮強度の経年変化予測法, 土木学会論文集 A, Vol.66, No.1, pp.92-105, 2010.3.