

腐食したトラス橋の腐食限界と余寿命の推定法の提案

広島大学 学生会員 ○福田 洋顕

広島大学 フェロー会員 藤井 堅

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 浅尾 尚之

1. 背景・目的

近年、我が国では腐食損傷が進行した橋梁が多数確認されており、そのような橋梁は、今後数十年間で急増することが指摘されている。それらを限られた労力と予算で適切に維持管理していくためには、腐食した橋梁の定量的な安全性評価が重要となる。すなわち、橋梁がどの程度の腐食状態で崩壊するか（腐食限界）、あと何年程度使用できるか（余寿命）等を把握する必要がある。その際、この種の維持管理分野における構造物の安全性の判定は、構造物全体の強度に基づいて行うのが適切といえる。これは、部材ごとに照査を行う設計時と異なり、維持管理の場合には対象とする構造物が完成された状態で存在しているためである。

そこで本研究では、橋梁全体の終局強度に着目して、腐食したトラス橋の腐食限界と余寿命を算定する手法を提案し、併せてその適用例を示す。

2. 腐食限界と余寿命の推定手法

腐食限界は、部材の腐食減肉により橋梁全体の耐力が低下し、橋梁に要求される強度に耐えることができなくなる時の腐食状態とする。これを推定するため、減肉量を変化させたモデルの終局耐力を求め、減肉量と終局耐力の関係を求める。終局耐力が要求される強度(今回は衝撃等を考慮し設計活荷重の3倍とする)を下回る時の減肉状態が腐食限界である。その後、鋼材の曝露年数と減肉量の関係を用い、腐食限界状態に達するまでの年数を求めることで余寿命を推定する。

減肉状態は式(1)に示す減肉率 R により表現する。

$$R = \frac{\text{減肉断面積}}{\text{設計断面積}} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

つまり、 $R=R_n\%$ は断面を構成する板材の板厚をそれぞれ $R_n\%$ 減少させた状態を表す。また、 $R=100\%$ は減肉対象部材が破断(要素消去)した状態を表している。

キーワード：終局耐力、全橋モデル、減肉速度

連絡先 〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科 社会基盤環境工学専攻 事務室

TEL：082-424-7819・7828

3. 検討例とモデル化概要

支間長50.0m、有効幅員6.0m、トラス高6.5mのA活荷重対応の鋼製下路式ワレントラス橋において、供用開始後15年でD4、L2、L3部材の減肉率が10%、D5部材の減肉率が20%となったモデルについて、腐食限界と余寿命を算定する。橋梁一般図と本研究で使用する部材名称をFig.1に示す。

腐食限界を算定するために、橋梁全体の終局強度を複合非線形有限要素解析により求める。構造全体のモデル化については文献1)を参考に、鋼材部分をはり要素、床版部分をコンクリート層と鉄筋層からなる積層シェル要素によりモデル化した。また、鋼材の材料構成則は、Ludwikの式を用いたFig.3に示すものを与え、コンクリートと鉄筋の構成則は鉄筋とコンクリートの付着を考慮し、テンションスティフニング効果を含んだものとして、文献2)を参考に、Fig.4に示すものを与えた。床版と鋼桁を接合するスラブアンカーは、Fig.5の骨格曲線の非線形バネを仮定した。

荷重は、まず死荷重 L_d を載荷し、その後、設計活荷重 L_l を式(2)における α を荷重増分パラメータとして最高荷重まで増加させる。活荷重の配置は、L3部材の部材力が最大になる配置とした。

$$L_{all} = L_d + \alpha \cdot L_l \quad (2)$$

4. 推定結果

腐食限界を推定するため、Table.1 に示す通り、減肉率 R を減肉倍率 β で漸増させた10ケースのモデルに対して解析し、それぞれのモデルの最高荷重時の活荷重倍率を求めた。その結果をFig.6に示す。これより、設計活荷重の3倍の荷重が作用した際に橋梁が崩壊に至るのは減肉倍率が6.7倍の時であった。よって、腐食限界は減肉倍率6.7倍(D4、L2、L3部材の減肉率が67%、D5部材の減肉率部材の減肉率が100%)の状態となる。

その後、文献 3)にて提案されている腐食表面生成モデルを用いて塗膜の防食能力とその劣化を考慮した鋼材の曝露年数と減肉量の関係を Fig.7 のように与えた。これより、腐食限界状態である減肉倍率 6.7 倍に達するまでの年数は 31 年となる。よって、現在の供用年数は 15 年であるので余寿命は 16 年となる。

4. まとめ

- (1) 文献1)を参考に、鋼製ワレントラス橋の鋼材部分にはり要素、床版部分に積層シェル要素を用いて橋梁全体をモデル化した。材料構成則に塑性域の挙動を考慮し、材料学的および幾何学的非線形性を考慮した複合非線形解析により、橋梁全体としての終局耐荷力を求めた。
- (2) 減肉により橋梁全体の耐荷力が低下し、橋梁に要求される強度(今回は、衝撃等を考慮し設計活荷重の3倍とした)を下回る時の腐食状態を腐食限界と定義し、腐食減肉を仮定した橋梁モデルの腐食限界、余寿命を算定した。ここでの余寿命とは、現在から腐食限界状態に達するまでの年数をいう。

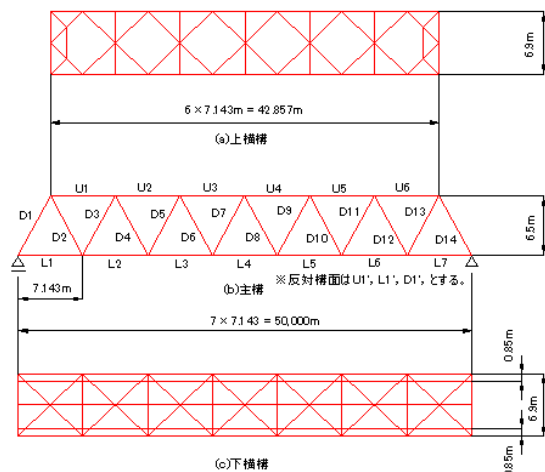


Fig.1 対象橋梁一般図と部材名称

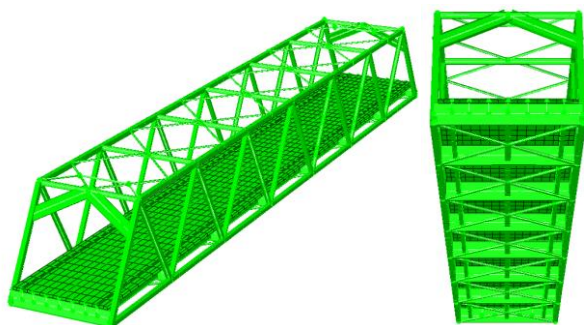


Fig.2 全橋モデル

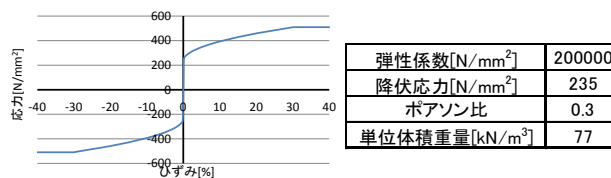


Fig.3 鋼材の構成則と材料特性

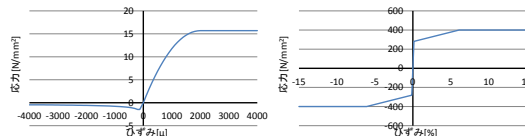


Fig.4 RC 床版の構成則 (左: コンクリート, 右: 鉄筋)

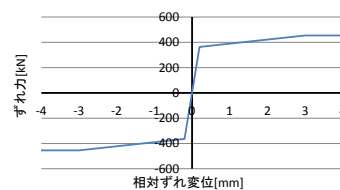


Fig.5 スラブアンカーの骨格曲線

Table.1 各解析ケースの減肉状態

減肉対象部材	減肉倍率β									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L2, L3, D4	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
D5	20	40	60	80	100	100	100	100	100	100

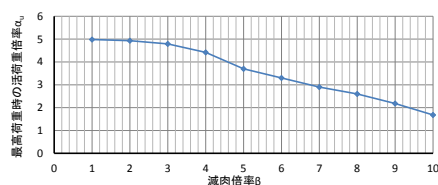


Fig.6 減肉倍率と終局強度の関係

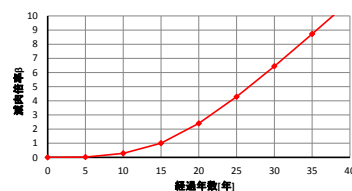


Fig.7 経過年数と鋼材の減肉量の関係

参考文献

- 1) 野中ら：連鎖的な部材破壊を考慮した鋼橋のリダンダンシー解析法の提案, 構造工学論文集, vol.56A, pp.779-791, 2010.3.
- 2) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書[設計編], 丸善, 2013.3
- 3) 藤井ら：経年劣化を考慮した腐食表面生成モデル, 構造工学論文集, Vol.50A, pp.657-665, 2004.3.