

全橋解析による腐食した鋼ポニートラス橋の耐荷力推定

宇部興産機械株式会社
愛媛大学大学院

正会員 ○小山 諒子
学生会員 山根 達郎

周南市建設部道路課
徳山工業高等専門学校

非会員 今井 努
正会員 海田 辰将

1. はじめに

中山間地域や過疎地域における老朽化橋梁の維持管理方針を決定する上で、交通実情や生活・防災上の通行ニーズ¹⁾を把握した上で最低限要求される活荷重を想定し、残存耐荷力およびその余裕分をできるだけ正確に推定することが非常に重要である。また、そのためには、実際の腐食損傷を考慮する必要がある。

本研究では現存する鋼ポニートラス橋を対象に、シェル要素を用いて腐食を考慮した全橋解析モデルを構築した。そして、地域の交通実情および通行ニーズを踏まえた車両荷重を想定した解析を実施する。また、終局強度解析を実施して、本橋の崩壊性状を予測し、崩壊のトリガーとなりうる部材や腐食損傷について考察する。

2. 対象橋梁の概要

本解析対象は1920年（大正9年）に建設された下路単純曲弦ワーレントラス（支間長29.3m、有効幅員4.5m）である。各部材はリベット接合で組み立てられており、主構はレーシングバーによる組合せ部材である。

3. 全橋解析モデルと荷重条件

本研究では、汎用有限要素解析ソフトABAQUSを用いて、シェル要素によって図-1に示す全橋モデルを構築し、複合非線形解析を実施した。要素分割は概ね40mmとし、鋼材の材料特性は引張試験結果²⁾の値を用いており、応力-ひずみ関係は完全弾塑性とした。境界条件は固定支持とし、部材同士の接合はメッシュ結合拘束を適用した。また、RC床版のモデル化はしていない。腐食損傷は、貫通孔はその部分の要素を消去し、減肉箇所はその最小板厚を用いて板厚を一様に減らした。床版死荷重は縦桁上に外力として、鋼材死荷重は物体力として与えた。また本解析では、2つの活荷重を想定した。まず車両荷重として、T-4、T-6、T-9、T-14荷重を1台ずつ片側の主構に偏載荷し、スパン中央上弦材(U4)の影響線を用いる。終局解析においては、現行道路橋示方書のL荷重(p2のみ)を想定し、活荷重倍率 α を徐々に増加させて終局強度解析を行った。

キーワード ポニートラス、腐食、活荷重倍率、崩壊性状、終局耐荷力

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 TEL 0834-29-6331



図-1 解析モデル

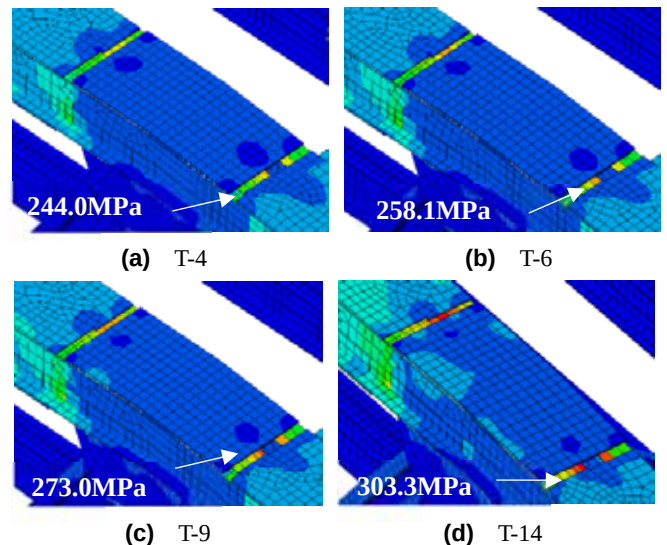


図-2 下流側 U4 の溝状腐食周辺の Mises 応力

4. 解析結果と考察

4.1. 車両荷重に対する安全性の検討

腐食を考慮していないモデルに T-14 を載荷した時、U4 に発生していた最大 Mises 応力は 171.1MPa（降伏安全率 1.8）であった。また、大きな変形が生じていないことから、本橋は新設時に T-14 荷重を通行させる耐荷力を有していたと推定される。

次に、腐食を考慮したモデルに車両荷重を載荷した時、図-2に示すように上弦材の溝状腐食に応力が集中していた。この時、T-14では303.3MPaに達しているが、橋梁全体に大きな変形は発生していない。

ここで、最低限要求されると考えられる³⁾T-4の結果に着目すると、建設時を想定したモデルと腐食を考慮したモデルでは、降伏安全率が2.5から1.3まで低下している。さらに、材料強度のばらつき²⁾を見込んだ場合、T-4荷重に対する降伏安全率は最小で約1.0となる。

しかし、本解析モデルでは実際よりも大きく腐食をモデル化していることや実際の交通状況から 2t 以上の車両の通行頻度は低いと考えられることから、たちまち危険な状態であるとは考えにくいものの、本橋の将来を考える場合には、荷重制限や上弦材の溝状腐食に対する抜本的な性能回復を検討すべきと判断される。

4.2 終局強度解析

建設時を想定したモデルでは、 $\alpha_{cr}=6.91$ で終局に至り、**図-3(a)**に示すように両主構が内側に倒れこむように面外座屈が発生している。その後、 $\alpha=6.62$ まで減少すると、**図(b)**に示すように下流側 U4 が部材の両端付近を節にして S 字状の面外座屈が発生している。これは、終局を迎え変形が大きくなり、2 次応力が卓越する格点部付近が塑性ヒンジとなったためだと考えられる。

腐食を考慮したモデルでは、 $\alpha_{cr}=5.28$ で終局に至った。健全時を想定したモデルと比較すると、終局耐力が約 24%低下した。終局時における変形図を**図-4**に示す。 $\alpha_{cr}=5.28$ の時、**図(a)(b)**に示すように下流側の主構が大きく面内変形している。これは、上フランジの孔食内部の局部座屈が発生の起因となっていた。

以上の結果より、面外座屈に特に注意が必要であり、大きな圧縮力が発生する上弦材に生じている腐食は部材の面内外への座屈を引き起こすトリガーになりうるということがわかった。上弦材接合部付近の溝状腐食は、減肉量は多いものの局所的な降伏に留まっていた。これは、格点部近傍はリベット接合によって剛性が高いためだと考えられる。これに対して、上弦材の上下フランジに発生している孔食や断面欠損は、大きな圧縮力によって局部座屈を起こしやすく、橋梁全体の終局耐力を決定付ける要因になりうることを確認された。

4.3 本橋の維持管理に対する考察

以上の結果より、本橋の安全性に対しては溝状腐食と孔食に注視する必要がある。抜本的な補修の時期については管理者が策定する修繕計画によるため、それまでの比較的短期間を想定した延命化を考える場合には、現状の使用状況を鑑みた荷重制限や腐食の抑制対策が有効と考えられる。このことから、本橋では、上記の解析結果に基づき、有効幅員の減幅による通行制限措置と水処理に配慮した防食工事が実施された。

また、本研究では静的荷重を想定した場合の上弦材の降伏に対する安全率の推定値を求めているが、これは橋梁全体の耐力の一側面を捉えたものであり、維

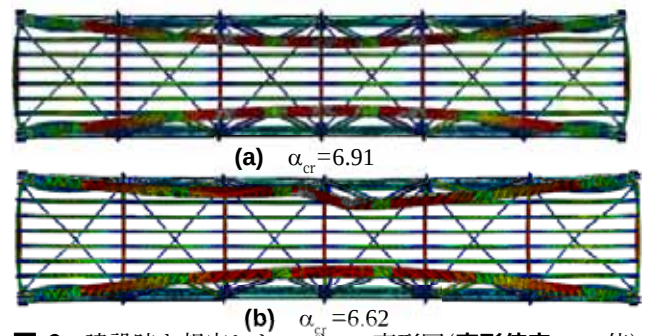


図-3 建設時を想定したモデルの変形図(変形倍率×20 倍)

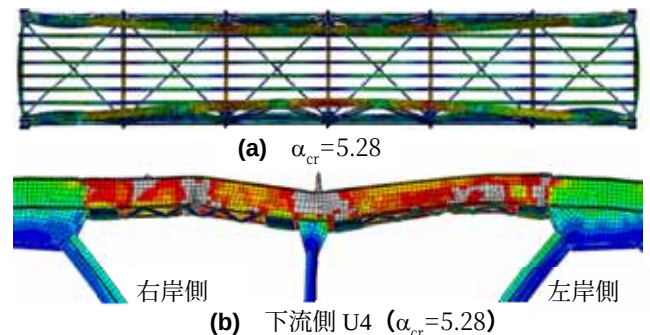


図-4 腐食を考慮したモデルの変形図(変形倍率×20 倍)

持管理の上で考えられる限界性能の設定値とは意味合いが異なる。このことから、実際の通行ニーズを妨げない範囲での通行制限および地域住民との協働による日常的なモニタリング等の柔軟な対応を視野に入れることがこの種の老朽化鋼橋の延命化に有効と考えられる。

5. おわりに

本研究では、ポニートラス橋の全橋モデルをシェル要素で構築し、車両荷重を用いた解析と終局強度解析を行った。主な結論を以下に示す。

- 1) 腐食を考慮したモデルでは、上弦材の溝状腐食応力が集中しており、地域住民からのニーズに対する降伏安全率は最小で約 1.0 と推定された。
- 2) 終局解析において、腐食の有無によって終局耐力が約 24%減少し、崩壊性状は主構全体の面外変形から、スパン中央上弦材の面内座屈に変化した。
- 3) 今後、延命化を考える際には、溝状腐食と孔食に着目した補修が必要である。

参考文献

- 1) 小山諒子, 海田辰将, 今井努: 周南市最古の鋼橋「松室大橋」における損傷調査と維持管理を意識した住民アンケート, 第 68 回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.59-60(I-30), 2016.5.
- 2) 西岡裕希, 海田辰将, 藤井堅: 旧余部橋梁主桁における腐食状況と鋼材の性質に関する特徴, 第 64 回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, I-10, 2012.6.