

下フランジに腐食減肉の生じた鋼I桁の腐食部応力の簡易評価法に関する研究

長岡技術科学大学大学院 学生会員 ○富永 佑輔
長岡技術科学大学大学院 正会員 岩崎 英治

1. 研究背景及び目的

近年、重要な社会基盤構造物の一つである橋梁の老朽化が進行しており、長期間供用している橋梁の腐食損傷事例が数多く報告されている¹⁾。そのため、適切な維持管理が求められる。最も損傷数の多いのは主桁であり、損傷の原因のほとんどが腐食である。

鋼I桁橋における、支間部の腐食は発生する割合は少ないものの、桁橋の主たる抵抗機構である曲げ強度に大きく影響を及ぼすことから、橋梁システムとしての耐荷性能に与える影響は大きく、無視できない損傷のひとつである。

一様な腐食が十分な長さにわたって生じている場合には、力のつり合い条件式により腐食部応力が求められるが、そうでない場合には、腐食部と健全部の境界部近傍での応力分布の乱れにより誤差が生じる。そこで、腐食長さが変化した場合の補正係数の提案を行うことが本研究の目的である。

2. 腐食が生じた下フランジ応力の推定式

図1のようなI桁を想定し、力のつり合い式を用いて健全時の桁中央の下フランジ応力と下フランジの腐食による図心の移動を考慮したときの応力を求める。非合成桁における下フランジが腐食した場合の腐食後の応力 σ'_s と腐食前の応力 σ_s の比率を次に示す。なお、 α は残存率である。

$$\frac{\sigma'_s}{\sigma_s} = \frac{\alpha\beta_1 + \beta_2 + 1}{\beta_1 + \beta_2 + 1} \cdot \frac{3\beta_2(2\beta_1 + 1)^2 + 3\beta_1(2\beta_2 + 1)^2 + (\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 + 3(\beta_2 - \beta_1)^2}{3\beta_2(2\alpha\beta_1 + 1)^2 + 3\alpha\beta_1(2\beta_2 + 1)^2 + (\alpha\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 + 3(\beta_2 - \alpha\beta_1)^2} \quad (1)$$

式(1)を用いることで腐食前後の応力変化を確認することができる。

3. 解析モデル

既往の研究²⁾において用いられた断面諸元を使用し、FEM解析を行った。橋軸方向のモデル化範囲はすべての断面において(ウェブ高さH)×2+(腐食長

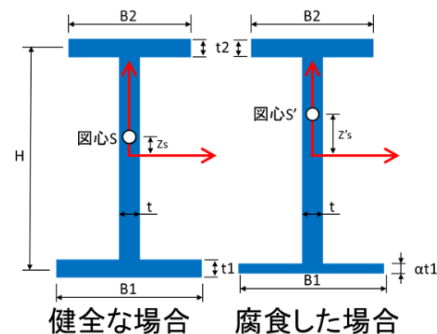
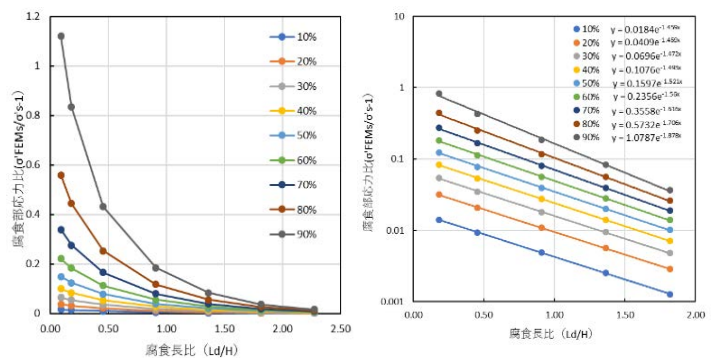


図1 I桁の断面諸元

図2 S-NN-20-G1-1²⁾の腐食部応力比と腐食長比の関係(右図:縦軸対

さLd)とした。部材はすべて4節点シェル要素でモデル化し、メッシュサイズは25×25mmとした。支持条件は片方を可動、もう片方を固定とし、可動側は橋軸方向変位および橋軸直角軸回りの回転を許容、固定側では橋軸直角軸回りの回転のみを許容した。荷重条件は両端部に曲げモーメントが作用するものとした。また、桁の中央部に腐食減肉を再現するために各腐食長さにおいて腐食率 $c(=1-\alpha)$ を10%から90%まで10%ごとに変化させ、解析を行った。

4. 補正係数の導出

4. 1 解析結果

FEM解析により求めた腐食後の応力 σ'^{FEM}_s と力のつり合い条件式により求めた腐食後の応力 σ'_s の比を補正係数 k とし、次式のように表す。

キーワード 鋼I桁, 腐食, 応力, FEM解析, 補正

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1 長岡技術科学大学 TEL 0258-47-9617

$$\text{補正係数 } k = \frac{\sigma_s'^{\text{FEM}}}{\sigma_s'} = Ae^{-B\left(\frac{L_d}{H}\right)} + 1 \quad (2)$$

式(2)を変形し、

$$\frac{\sigma_s'^{\text{FEM}}}{\sigma_s'} - 1 = Ae^{-B\left(\frac{L_d}{H}\right)} \quad (3)$$

これを図2に S-NN-20-G1-1²⁾の解析結果として示す。縦軸の「腐食部応力比-1」が0の時、式(1)で求められる値となることを表している。どの腐食率においても腐食長さが長くなると FEM 解析値は式(1)の値に近づくが腐食長さが短い場合には差が大きく、力のつり合い式で求められる応力では腐食長さが短い場合において不十分であることが分かる。

4. 2 補正係数の導出

各断面において FEM 解析を行い、式(3)のパラメータ A 及びパラメータ B を求めて腐食率の関数とすると次式のような関係があることが分かった。

$$A = a_1 e^{-a_2 c} \quad B = b_1 c + b_2$$

ここで、 a_1 , a_2 , b_1 , b_2 : パラメータ, c : 腐食率

また、パラメータ a_1 , a_2 , b_1 , b_2 を下フランジとウェブの断面積比 β_1 の関数とし、次に示すような関係となった。パラメータ b_1 , b_2 においては断面積比 β_1 と β_2 の大小関係によって、とる値の傾向が異なることが分かった。そのため、 $\beta_1 \leq \beta_2$ と $\beta_1 > \beta_2$ で分け、別の式とすることとした。

$$\text{パラメータ } a_1 = a_{11}\beta_1^2 - a_{12}\beta_1 + a_{13}$$

$$\text{パラメータ } a_2 = a_{21}\beta_1 + a_{22}$$

$$\text{パラメータ } b_1 = b_{11}e^{b_{12}\beta_1}$$

$$\text{パラメータ } b_2 = b_{21}\beta_1 + b_{22}$$

下フランジの応力の補正を行う係数であるため、 β_2 の影響は小さいことから、これは使用せず、 β_1 のみを使用した。

本研究において補正係数 k を導出した断面は断面積比 β_1, β_2 の比である β_2/β_1 がおよそ 0.75~1.2 の範囲であるため、補正係数 k の適用範囲は $0.75 \leq \beta_2/\beta_1 \leq 1.2$ とする。

4. 3 補正係数の誤差

4.2 節において導出した式の精度を確かめるために、新たに連続桁 (C-NN-40-G1-1²⁾) の断面の解析を行い、 $\sigma_s'^{\text{FEM}}/\sigma_s'$ の値を求め、4.2 節において求められた式を用いて、FEM 解析値との誤差を求めた。

補正係数の導出に用いていない断面において、4.2 節において導出した式を用いてもおよそ 5% 以内

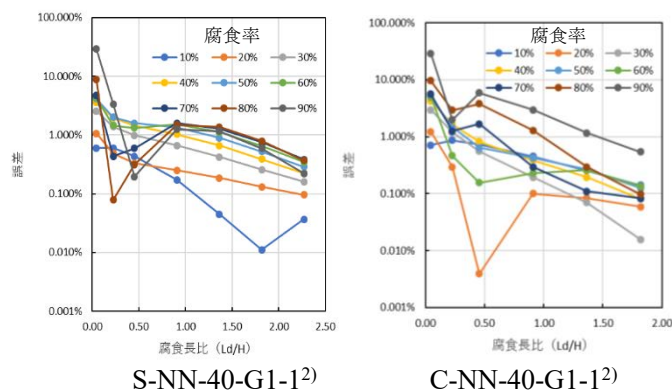


図4 解析結果との誤差

に収まっており、大きな誤差がないことが結果となった。また、腐食率が 60% 以内のものは誤差が 3% 以内におさまっており、大きな誤差が出ているのは腐食率が高く、腐食長さが非常に短い場合である。この他の断面においても同様の結果となった。また、単純桁から導出した補正係数 k は連続桁においても使用できることが確認できた。

5. まとめ

腐食減肉の生じた下フランジに生じる応力を、力のつり合い条件にもとづく図心の移動を考慮して導出し、補正係数の提案を目的として、有限要素法による解析を行い、その値をもとに補正係数 k を導出した。この補正係数 k は力のつり合い条件式により求めた腐食後の下フランジの応力 σ_s' をかけることで腐食後の腐食長さに応じた下フランジの応力 σ_{sk}' の推定値を求めることが可能である。精度に関しては腐食長さが非常に短い場合を除き、問題ないと思われる。また、単純桁から求めた補正係数 k は連続桁中央の腐食部応力も推定できることが確認できた。

腐食長比が小さい場合の高精度化に関しては解析モデルの腐食部の再現方法の改善が必要であると考えられる。現在は健全部と腐食部の境目は非連続的に変化しているため、段階的に腐食量を変化させることで改善するのではないかとと思われる。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局: 道路メンテナンス年報, pp. 63-80, 2021.08
- 2) 土木研究所: 鋼道路橋の部分係数設計法に関する検討, 土木研究所資料, 第 4141 号, 2009.3