腐食減肉の生じたトラス主構部材の圧縮耐荷力に関する解析的検討

首都大学東京	学生会員	○黄	子平	首都大学東京	正会員	村越	潤
首都大学東京	正会員	岸	祐介	首都大学東京	フェロー	野上	邦栄

1. はじめに

I-51

著者らは、これまで鋼トラス橋の主構部材の腐食事例を踏まえ、腐食減肉の生じた場合の残存耐荷力への影響や その評価法について検討を行ってきた^{1),2)}.本研究では、圧縮斜材を模擬した箱形断面柱を対象に、汎用性のある残 存耐荷力評価法を提案することを目的として、弾塑性有限変位解析により、腐食減肉状況を変化させたパラメトリ ック解析を行い、各種パラメータと残存圧縮耐荷力の関係について検討を行った.

2. 解析対象と解析方法

図-1 に対象とした箱形断面圧縮柱の解 析モデルと減肉箇所を示す.この解析モデ ルは過年度の研究^{1,22}において実施した載 荷試験で用いた実橋部材によるものであ る.腐食部下路トラス橋の下側格点部付近 における,斜材の RC 床版埋込部内部,路 面からの水,土砂等のはねによる局所的な

腐食減肉部を想定している.腐食形状としては均一な減肉(模擬腐食)を導入した. 解析には MSC.MARC 2018 を用い,非線形解析には弧長増分法を採用している.

鋼種は SS400 (降伏強度 $\sigma_y = 285$ N/mm²(材料試験値)) であり,柱部材の解析モデル にはソリッド要素を用いた.両端ピン支持部は,剛板および剛はり要素でモデル化し た.また,板厚方向の要素分割は3分割とした(図-2)²).柱の初期たわみには部材長 の 1/5000 を有する正弦半波を導入し,残留応力については角部で 1.0 σ_y ,各辺中央部 に-0.1 σ_y で自己平衡状態となる直線分布形状で導入した.

解析パラメータとしては、表-1の通り細長比、初期不整、腐食状況(深さ、長さ、 面数等)を考慮し、計58ケースのモデルについて解析を行った。表中のパラ メータは次式で表される.

 $\lambda = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{L}{r}} \qquad (1) \qquad \qquad R_A = \frac{A_0 - A_{min}}{A_0} \times 100(\%)$

ここに, σ_y :降伏強度,E:弾性係数,r:断面2次半径, R_A :最大断面欠損率, $\lfloor^{|m| R_{+}}$

A₀:健全部材の断面積, A_{min}:最小断面積である.実橋斜材の部材長さL=7036mmに対して, λに対応する部材長さL は、それぞれ2994、4695、7485、10473mmである.

(2)

3. 解析結果

図-3に、無次元終局強度σ_u/σ_yと細長比パラメータλの関係を示す.ここに、終局強度σ_uは耐荷力P_uを健全断面の断 面積A₀で除した値である.図中には、過年度実施した解析値も載せている(小さな記号表記).また、道路橋示方書 の箱形断面柱の耐荷力曲線³および鋼合成構造標準示方書⁴⁾の耐荷力曲線(式(3),平均値、下限値)を併せて示す.

$$\frac{\sigma_{crg}}{\sigma_{y}} = \begin{cases} 1.0 & (\lambda \le 0.2) \\ \frac{1}{2\lambda^{2}} \left(S - \sqrt{S^{2} - 4\lambda^{2}} \right) & (0.2 \le \lambda) \end{cases}, \quad S = 1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^{2}, \quad \alpha = 0.089 \, (\text{\Psi} b \, \text{if}), \quad \alpha = 0.224 \, (\text{\Psi} B \, \text{if}) \end{cases}$$
(3)

終局時の破壊性状については,最大荷重時以降の耐荷力低下の要因に応じて,全体座屈,模擬腐食部を有する断面 の一辺の断面降伏(局部破壊),全体座屈と局部破壊がほぼ同時に発生する場合(連成破壊)に分類している.腐食

キーワード トラス橋, 主構部材, 局部腐食, 残存耐荷力, 有限要素解析

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 TEL: 042-677-2782 E-mail: huang-ziping@ed.tmu.ac.jp



図-1 解析モデルと模擬腐食の寸法形状

ē

a@9mm

図-2 健全断面四角部の要 素分割例

^{3@3mm}6mm 2@9mm

表-1 解析パラメータ

細長比パラメータλ	0.4, 0.6, 1.0, 1.4
腐食面数	1面(面 I), 4面
最大断面欠損率 R_A (%)	0, 10, 20, 30, 40
腐食軸方向長さa (mm)	0, 50, 150, 250

1.2

深さR₄が大きくなるにつれて、後述の幅厚比パラメータRが大きくなり終 局強度が低下している.この傾向はλの違いにおいても見られる.なお, 健全断面の場合(◆印),概ね平均値曲線に近い値を示している.

模擬腐食部分の強度評価にあたって、図-4に示すように当該面の幅厚 比パラメータRを設定して、4面の中での、その最大値を用いて局部座屈 強度*σ_{cl}*を算出した.図-5に,各解析結果に対して,全体座屈強度(式(3): 平均値式)と鋼合成構造標準示方書の両縁支持板の局部座屈強度(式(4): 平均値式)に対する破壊性状の関係を示す.斜線の上側は局部破壊主体, 下側は全体座屈主体であり、既往式により破壊性状を概ね区分できるこ とを確認した.

$$\frac{\sigma_{crl}}{\sigma_y} = \begin{cases} 1.0 & (R \le 0.571) \\ \frac{0.968}{p} - \frac{0.286}{p^2} + \frac{0.0338}{p^3} & (0.571 \le R) \end{cases}$$
(4)

図-6に、積公式による連成強度式(式(5))により計算した耐荷力Pu call と 解析値Pufemを比較して示す. 模擬腐食部の局部座屈強度を4面の最大幅 厚比パラメータにより評価しているため、解析値に対して算定値は低め (安全側)の評価をしている.

$$\sigma_u = \sigma_{crg} \cdot \sigma_{crl} / \sigma_y \quad , \quad P_u \, call = \sigma_u \cdot A_0 \tag{5}$$

さらに、積公式による連成座屈の精度の高めるために、模擬腐食断面 内において各面の腐食部局部座屈強度*ocrli*(*i*:各面I~IV)と健全部分の降 伏強度σ,を考慮した、次式による局部座屈による強度低下の補正係数 γ を用いて評価する方法について検討した.

$$P_{u \ cal2} = \gamma \cdot \sigma_{crg} \cdot A_0 \tag{6}$$
$$\gamma = (\Sigma(\sigma_{crli} \cdot A_i) + \Sigma(\sigma_y \cdot A_j))/(\sigma_y \cdot A_{min}) \tag{7}$$

ここに, A_i: 減肉部分の残存面積, A_i: 健全部分面積である (j: 各面I~IV). 式(6)により計算した算定値と解析値を図-7に比較して示す.算定方法に 改善の余地はあるが、算定値は解析値により近い結果となっている.

4. おわりに

フランジおよびウェブ面に均一な模擬腐食を有する限定された圧縮 箱断面部材を対象として、各種パラメータと残存耐荷力の関係について 検討した. 模擬腐食部の断面について, 幅厚比パラメータRの計算方法

3000

詎

~1000

0

0

を示し,既往の局部座屈強度 式,全体座屈強度式を用いた 積公式により解析値を安全 側に評価できることを示し た. また, 模擬腐食部の健全 断面を考慮することにより 解析値を概略評価できる可 能性を示した.

参考資料

1) 小峰他: 断面欠損を有する鋼 トラス橋圧縮部材残存耐荷力 に関する実験的検討, 土木学会 論文集, 2017.2.

2) 井上他: 断面欠損を有する鋼トラス橋箱型断面部材の圧縮耐荷力に関する数値解析的検討,構造工学論文集, 2019.3.

3) 日本道路協会:道路橋示方書·同解説, II 鋼橋·鋼部材編, 2017.

4) 土木学会:鋼・合成構造標準示方書総則編・構造計画編・設計編, 2007.



図-5 柱の座屈強度,模擬腐食部の局 部座屈強度と破壊性状の関係



5000 2000