

均一な減肉部を有するトラス主構部材の圧縮耐荷力に関する解析的検討

東京都立大学	学生会員	○黄	子平	東京都立大学	正会員	村越	潤
東京都立大学	正会員		岸 祐介	東京都立大学	フェロー	野上	邦栄

1. はじめに

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圧縮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)}。本稿では、模擬腐食を有する箱形断面の圧縮斜材を対象に、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模擬腐食の概要を示す。この解析モデルは過年度の研究^{1),2)}において実施した、載荷試験で用いた実橋部材を対象としている。腐食部としては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、もしくは路面からの水、土砂等のはねによる局所的な減肉部を想定して食とした。解析には MSC.MARC 2018 を用いる。

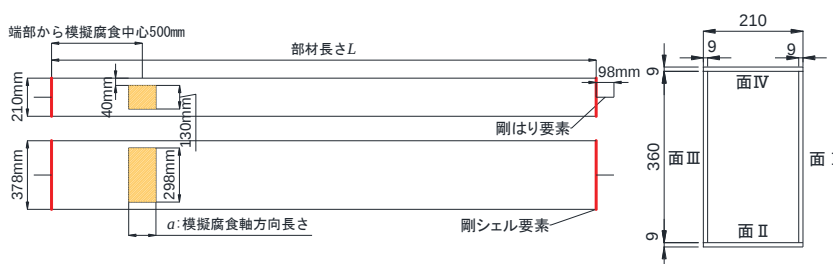


図-1 解析モデルと模擬腐食の概要

鋼種は SS400（降伏強度 $\sigma_y=285\text{N/mm}^2$ (材料試験値)）であり，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，剛シェル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 $1.0\sigma_y$ ，各辺中央部に $-0.1\sigma_y$ で自己平衡状態となる直線分布形状で導入した．

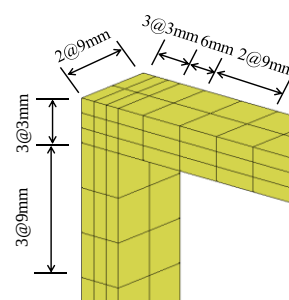


図-2 健全断面四角部の要素分割例

解析パラメータとしては、表-1 の通り細長比パラメータ，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²⁾．

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

$$\lambda = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y L}{E r}} \quad (1) \quad R_A = \frac{A_0 - A_{min}}{A_0} \times 100(\%) \quad (2)$$

ここに、 E ：弾性係数、 r ：断面2次半径、 R_A ：最大断面欠損率、 A_0 ：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($L=7036\text{mm}$)に対して、 λ に対応する部材長さ L は、それぞれ2994, 4695, 7485, 10473mmとした。

3. 解析結果に対する強度算定式の検討

解析より求まる残存耐力(最大荷重) P_u , P_u を健全断面の断面積 A_0 で除した終局強度 σ_u について、既往研究³⁾における柱の座屈及び柱を構成する両縁支持板の局部座屈による強度算定値との比較を行った。なお、終局時の破壊性状については、最大荷重時以降の耐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边の断面降伏(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3パターンに分類して整理した。

鋼合成構造標準示方書³⁾における圧縮柱及び両縁支持板の耐荷力曲線はそれぞれ次式(3), (4)で表される.

$$\frac{\sigma_{crg}}{\sigma_y} = \begin{cases} 1.0 & (\lambda \leq 0.2) \\ \frac{1}{\gamma_{12}} (S - \sqrt{S^2 - 4\lambda^2}) & (0.2 < \lambda) \end{cases}, \quad S = 1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2, \quad \alpha = 0.089 \text{ (平均值)}, \quad \alpha = 0.224 \text{ (下限值)} \quad (3)$$

キーワード トラス橋，主構部材，局部腐食，圧縮耐荷力，弾塑性有限変位解析

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

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

ここに、 R は幅厚比パラメータである。箱断面の各面の強度評価にあたって、図-3に示すように模擬腐食部分の幅厚比パラメータを計算した。

耐力算定にあたって、圧縮部材の耐力 $P_{u,cal}$ は、積公式による連成座屈強度の形で、断面力表示により次式(5)で与えられるとする。

$$P_{u,cal} = \gamma \cdot \sigma_{crg} \cdot A_0 \quad (5)$$

ここに、 γ は、式(4)の両縁支持板の耐力曲線を基本として、減肉部の板要素の影響を考慮した係数（補正係数）である。この補正係数について、各面I~IVの幅厚比パラメータ R_i を基に、以下の3つの評価方法について検討した。

評価法1：4面の R の最大値 $R_{max}(= \max\{R_i, i=1, \dots, 4\})$ を基に評価

$$\gamma = \sigma_{crl}(R_{max})/\sigma_y \quad (6)$$

評価法2：4面の R の平均値 $R_{mean}(= \sum R_i/4)$ を基に評価

$$\gamma = \sigma_{crl}(R_{mean})/\sigma_y \quad (7)$$

評価法3：減肉部と健全部の強度を基に評価

$$\gamma = (\Sigma(\sigma_{crl}(R_i) \cdot A_i) + \Sigma(\sigma_y \cdot A_c)) / (\sigma_y \cdot A_{min}) \quad (8)$$

ここに、 A_i ：減肉部分の残存面積、 A_c ：角部分の面積である。

図-4に、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（式(6)により σ_{crl} を算定した場合）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。

図-5~図-7に、それぞれ各評価による γ を用いた場合の耐力の算定値 $P_{u,cal}$ と解析値 $P_{u,fem}$ の関係を示す。評価法1の R_{max} による場合（図-5）、算定値は解析値に対して低め（安全側）となっている。様々な腐食形態を想定した場合、実務的には簡便かつ安全側の評価法と考えられる。これに対して、評価法2の R_{mean} による場合（図-6）、算定値は解析値と比較的良好一致を示している。ただし、 λ が大きくなると相対的に低くなる傾向がみられる。また、評価法3の場合には（図-7）、一面腐食の場合に耐力を大きく評価する傾向がみられており、評価法2,3ともに改善の余地がある。

4. おわりに

模擬腐食部の断面について、幅厚比パラメータの計算方法を示

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、模擬腐食部の強度評価の方法を検討し、解析値を概略評価できる可能性を示した。

参考文献

- 1) 小峰他：断面欠損を有する鋼トラス橋圧縮部材残存耐力に関する実験的検討，土木学会論文集 A1, Vol.73, 2017.3.
- 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力に関する数値解析的検討，構造工学論文集, Vol.65A, 2019.3.
- 3) 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，2016.

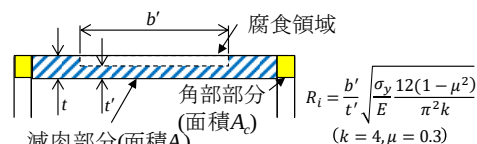


図-3 模擬腐食部の幅厚比パラメータ R の設定方法

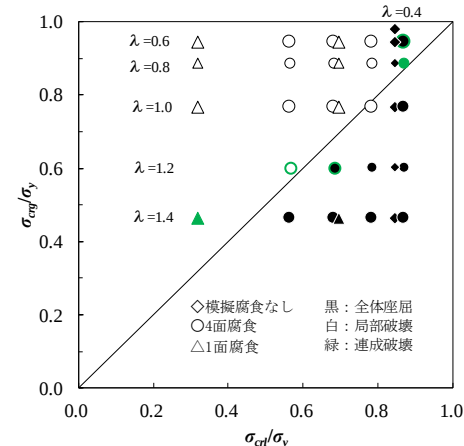


図-4 柱の座屈強度，模擬腐食部の局部座屈強度と破壊性状の関係

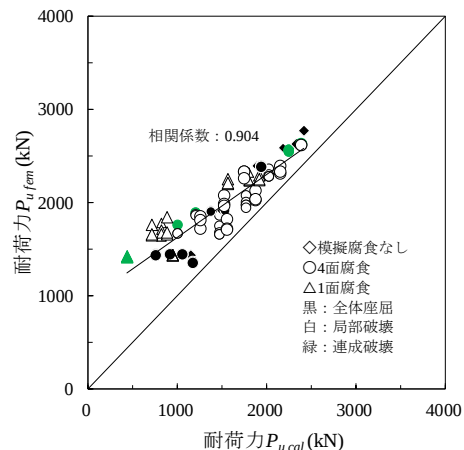


図-5 評価法1による算定値と解析値の比較

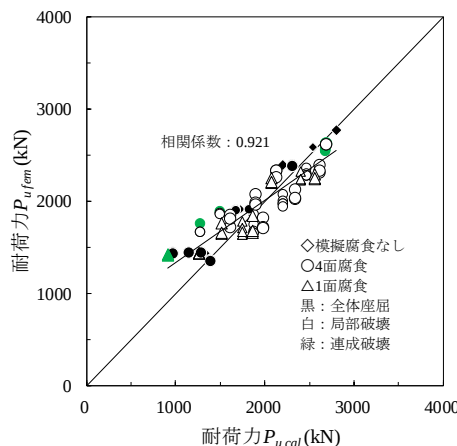


図-6 評価法2による算定値と解析値の比較

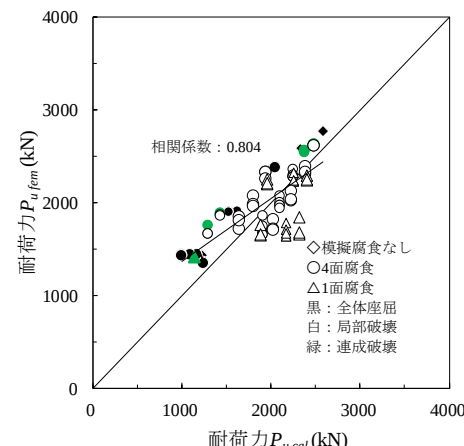


図-7 評価法3による算定値と解析値の比較