局部的な均一減肉部を有するトラス橋箱形断面部材の圧縮耐荷力評価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 フェロー	野上	邦栄	東京都立大学	正会員	岸 祐介

1. はじめに

鋼トラス橋では,主構部材の RC 床版埋込部等に局所的な腐食 減肉が発生する事例が報告されている.本文では,このような局 部減肉を有する箱形断面の圧縮部材を対象に,実用的な残存耐荷 力評価法を提案することを目的として,同部材の弾塑性有限変位 解析を行い,減肉断面が耐荷力に及ぼす影響とその評価法につい て検討した結果について述べる.

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と模擬的に設けた各面の減 肉部の範囲(4 面減肉の場合)を示す.この断面諸元は過年度の研 究^{1),2)}において実施した,載荷試験で用いた寸法諸元の異なる 2 断面(以下, A2,A3)の実部材試験体を対象としている.減肉部とし 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腐食 減肉を想定している.減肉形状は均一な深さで模擬した.

鋼種は SS400 (降伏強度試験値 σ_y : 285N/mm²(断面 A2), 261N/mm²(断 面 A3)) であり,構成則としては材料試験による応力-ひずみ関係を 5 点折れ線で近似した.解析モデルには 6 面体ソリッド要素を用いた. 両端ピン支持部は,剛シェル及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²⁾.

解析パラメータとしては、表-1の通り細長比パラメータ、減肉状況 (深さ、長さ、面数等)を考慮し、これらを組み合せた計 112 ケース のモデルについて解析を行った.図-2 に断面 A2 を例に、解析対象と した減肉面を示す.表中のパラメータ *λ*、*R*₄ は次式で表される.

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

ここに, E: 弾性係数, r: 断面2次半径, $R_A:$ 4辺全体の最大断面欠損率, $A_0:$ 健全部材の断面積, $A_{min}:$ 最小断面積である.なお,図-1(a)のように各面の 減肉範囲は,面の角部を除いた幅全体の欠損幅b',部材軸方向に50mmの欠 損長aを基本とし,均一の減肉深さを変えることにより R_A を調整している.

3. 解析結果に対する耐荷力評価式の検討

解析より求まる残存耐荷力(最大荷重)*Pu*, *Pu*を健全断面の断面積*A*₀で除した終局強度*ou*について,既往研究^{1),2),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.道路橋示方書(道示)⁴における溶接箱形断面部材及び両縁支持板の基準耐荷力曲線はそれぞれ式(3), (4)で表される.ここに,*R*は





表-1 解析パラメータ

断面	A2, A3
細長比パラメータλ	0.4, 0.6, 1.0, 1.4
減肉面数	4面, 3面, 2面, 1面
最大断面欠損率R _A (%)	0, 5, 10, 20, 30, 40
減肉軸方向長さa (mm)	0, 50, 150, 250

(6)

$$\frac{\sigma_{crg}}{\sigma_{y}} = \begin{cases} 1.0 & (\lambda \le 0.2) \\ 1.059 - 0.258\lambda - 0.190\lambda^{2} & (0.2 < \lambda \le 1.0) \\ 1.427 - 1.039\lambda + 0.223\lambda^{2} & (1.0 < \lambda) \\ \frac{\sigma_{crl}}{\sigma_{y}} = \begin{cases} 1.0 & (R \le 0.7) \\ (\frac{0.7}{R})^{1.83} & (0.7 < R) \end{cases}$$
(4)

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, 破壊性状を 踏まえ、図-3に示すように減肉部分の幅厚比パラメータRiを計算した.ま た,終局時の破壊性状は,最大荷重時減肉部の角部の塑性化状況と弱軸に 関する対面する構成板中央のひずみ変化挙動を踏まえ、全体座屈、連成破 壊及び局部破壊³⁾に分類することとした.

耐荷力評価にあたって、連成破壊の場合、全体座屈として評価した場合 に対して、局部的な破壊の耐荷力への影響は小さかったことから、圧縮部 材の耐荷力 Pucal は道示の連成座屈を考慮した式(積公式)を適用せずに, 全体座屈・連成破壊と局部破壊の2区分に対して次式で与えられるとした.

$$P_{u \, cal} = \begin{cases} \sigma_{crg} \cdot A_0 \ (2 \text{ 体座屈, 連成破壞の場合}) \\ \gamma \cdot \sigma_y \cdot A_{min} & (局部破壞の場合) \end{cases}$$
(5)

ここに、γは、式(4)を基本として減肉部の板要素の影響を考慮した係数であ る. この係数について, 減肉部を有する断面において各面I~IVの幅厚比パラ メータ Riを基に、以下の2つの評価方法により検討した.

評価法1:4面のRの最大値Rmax(=Max{R_i, i=1~4})を基に評価

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

評価法2:減肉部と健全部の強度を基に評価

$$\gamma = (\Sigma(\sigma_{crl\,i}(R_i) \cdot A_i) + \Sigma(\sigma_y \cdot A_c))/(\sigma_y \cdot A_{min})$$
 (7)
ここに、 A_i :減肉部分の残存面積、 A_c :角部分の面積(図-3参照)であ
る.なお、破壊性状については、溶接箱形断面部材及び両縁支持板の基準
耐荷力を比較することにより概略区分できる.

図-4,図-5に,先行研究²⁾の44ケースの結果を含めて計156ケースを対 象に、それぞれ各評価によるγを用いた場合の式(5)の計算値 P_{u cal}と弾塑性

有限変位解析による解析値 Pufemの関係を示す.評価法1の Rmaxによる場合(図-4),計算値は解析値に対して低め (安全側)となっており、4面のうち厳しい減肉面の情報が得られれば概略評価は可能である.評価法2(図-5)は 破壊形態を反映し、4 面の終局強度を考慮した式を想定している.計算値は解析値と比較的良い一致を示してい る.計算値には、式(3),(4)の安全余裕や、各面の幅厚比Rの仮定の影響等が含まれるためばらつきは見られるが、 計算値は解析値に対して安全側かつ比較的良い一致を示している.

なお, これらの評価法を不均一な実際の腐食減肉に適用するにあたっては, 1) 腐食部位の点検・詳細調査時に 最小板厚と減肉範囲を概略特定する、2)減肉範囲を包含するように、最小板厚の均一な矩形減肉部にモデル化す る,3)各面の幅厚比パラメータを計算し上記の評価法を適用する、という手順により、比較的簡易かつ実用的な 評価が可能と考えられる.

4. おわりに

る.

減肉部の断面について、幅厚比パラメータの計算方法を示し、破壊性状に基づき、既往の局部座屈強度式、全 体座屈強度式を用いた評価法で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荷力に関する実験的検討, 土木学会論文集 A1, Vol.73, pp.69-83, 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荷力に関する数値解析的検討,構造工学論文集, Vol.65A, pp.76-89. 2019.3.

3) 黄他:均一な減肉を有するトラス箱形断面部材の圧縮耐荷力の解析的検討,鋼構造年次論文報告書, Vol.28, pp.84-93, 2020.11.

4) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説,II鋼橋・鋼部材編,2017.11.



図-3 減肉部の幅厚比パラメータのRの 設定方法



