

腐食切れの生じたトラス橋斜材の健全性評価に関する数値解析的検討

長岡技術科学大学大学院 学生会員 ○山本 寧 音
長岡技術科学大学 正会員 岩崎 英 治

1. まえがき

現在、我が国は供用年数が 50 年を超える橋梁が急激に増加している。しかし、老朽化した橋梁の急増に対して、それらの補修工事が追いついておらず、補修工事の優先度や緊急性の明確化と、より効果的かつ効率的な維持管理方法の確立が求められている。

鋼トラス橋の主な経年劣化原因として腐食が挙げられる。鋼板の 6mm 程度のすみ肉溶接により構成されたトラス橋の斜材は、腐食が進行すると、写真-1 のようにすみ肉溶接が切れる (以下、腐食切れ) ことがある。トラス橋の圧縮斜材は、荷重の作用下において、斜材の柱としての部材座屈だけでなく、斜材を構成する板の局部座屈が生じないように設計されている。そのため、板の溶接部が腐食切れにより分離すると、溶接切れ部が自由辺となり、板の局部座屈強度は低下すると考えられる。しかし、損傷への対処方法は経験に基づいて行われており、明確な基準が定められていない。

本研究では、トラス橋の腐食切れ長さと同斜材の座屈の関係性を初期たわみや残留応力の影響を考慮した設計式と有限要素解析により明らかにし、腐食切れの生じた斜材の健全性評価の方法の提案を目的とする。

2. 腐食切れの生じた斜材を構成する板の局部座屈による腐食切れレベル

本研究では、荷重作用下において、腐食切れの生じたトラス橋斜材を構成する板の局部座屈 σ_{cr1} による腐食切れレベルを、2つのタイプに分類した。まず、トラス橋斜材の柱としての全体座屈応力 σ_{cr2} が鋼材の降伏応力 σ_Y 以上 ($\sigma_Y \leq \sigma_{cr2}$) である場合を Type A とし、そのレベル分けを表-1 に示す。ここで、 ρ_{cr2} と ρ_{cr1} は σ_{cr2} / σ_Y 、 σ_{cr1} / σ_Y であり、 σ_D は死荷重による応力、 σ_{Ld} は示方書の活荷重による応力、 σ_{Lr} は実活荷重による応力 ($< \sigma_{Ld}$)、 ν は安全率を表す。続いて、トラス橋斜材の柱としての全体座屈応力 σ_{cr2} が鋼材の降伏応力 σ_Y より小さ



写真-1 すみ肉溶接部の腐食切れの一例

表-1 腐食切れレベル:Type A ($\rho_{cr2} = 1$)

Level 1	$\rho_{cr1} = 1$
Level 2	$(\sigma_D + \sigma_{Ld}) / (\sigma_Y / \nu) \leq \rho_{cr1} < 1$
Level 3	$(\sigma_D + \sigma_{Lr}) / (\sigma_Y / \nu) \leq \rho_{cr1} < (\sigma_D + \sigma_{Ld}) / (\sigma_Y / \nu)$
Level 4	$\sigma_D / (\sigma_Y / \nu) \leq \rho_{cr1} < (\sigma_D + \sigma_{Lr}) / (\sigma_Y / \nu)$
Level 5	$\rho_{cr1} < \sigma_D / (\sigma_Y / \nu)$

い場合 ($\sigma_{cr2} < \sigma_Y$) を Type B とする。Type B では、全体座屈応力 σ_{cr2} と局部座屈応力 σ_{cr1} の連成座屈を考慮する必要がある。連成座屈を積公式により表すことにすると、表-1 中の σ_Y の代わりに、 σ_{cr2} を用いるとよい。

3. 腐食切れの生じたトラス橋斜材の座屈応力式

表-1 中の ρ_{cr1} は、腐食切れの生じた斜材を対象にして初期たわみと残留応力を考慮した弾塑性有限変位解析を行うことで得られるが、この解析は非常に煩雑なため、局部座屈応力 σ_{cr1} と板の幅厚比パラメータ R との関係式 (座屈応力式) を用いることにする。道路橋示方書と鋼・合成構造標準示方書の座屈応力式^{1)・4)}は補剛材のような縦横比の大きな板に対する座屈応力式のため、腐食切れの生じたトラス橋斜材の座屈応力に適用できるか確認する必要がある。そこで、本研究では、種々の腐食切れ長さに対する弾塑性座屈解析を行った。

腐食切れ部を自由辺とした 4 辺単純支持された板を 4 節点シェル要素でモデル化したものを図-1、その弾

キーワード トラス橋, 斜材, 腐食切れ, 座屈解析, 有限要素法

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 大学院工学研究科 TEL: 0258-47-9617

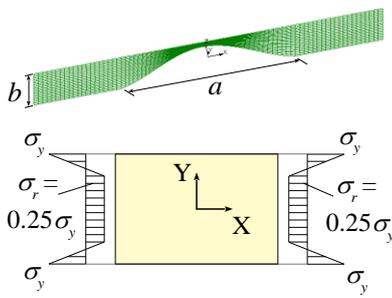


図-1 板のモデル化と残留応力分布

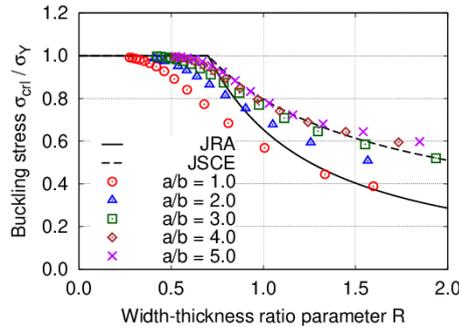


図-2 板の座屈応力式の適用性

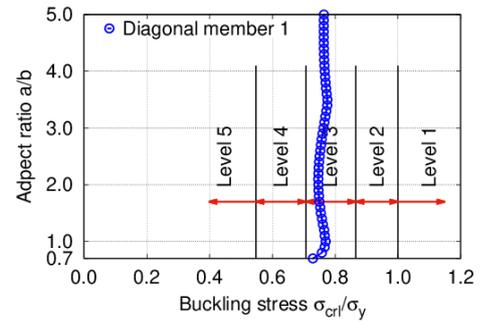


図-3 座屈応力と腐食切れ長さの関係

塑性座屈解析の結果と道路橋示方書¹⁾(JRA)と鋼・合成構造標準示方書⁴⁾(JSCE)の座屈応力式を比較した結果を図-2に示す。板幅 b は314mm,自由辺の中央に $b/108.0$ の初期たわみを考慮した。また,残留応力は図-1のように与え,種々の板厚 t に対して,変位増分法により解析を実施した。降伏応力は 355 N/mm^2 に固定し,腐食切れ長さ a と板幅 b の比である縦横比 a/b は1.0から5.0に変化させた。

これより,幅厚比パラメータ R の値に係らず,縦横比 a/b の増大に伴って,有限要素解析による板の座屈応力 σ_{cr} は大きくなり,鋼・合成構造標準示方書の座屈応力式の値へと近づく。また,縦横比 a/b が小さい場合には既往の座屈応力式を適用できないため,弾塑性座屈解析の結果を回帰分析し,本研究では,以下の座屈応力式を作成した。

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = \left(\frac{R_0}{R} \right)^{0.64}, \quad R_0 = 0.7(1 - 0.931e^{-0.760a/b}), \quad (R > R_0) \quad (1)$$

柱の座屈応力についても同様の検討を行ったが,FEAの結果は道路橋示方書の座屈強度式²⁾の値に近い。柱の座屈応力には道路橋示方書の式を用いる。

初期不整や残留応力のない完全系の板の局部座屈応力は,幅厚比パラメータ R を用いて,

$$\sigma_{cr} / \sigma_y = 1 / R^2, \quad (2)$$

により表される。本研究では,有限要素法による線形座屈解析により得られた板の座屈応力 σ_{cr}^{FEA} を用いて,種々の腐食切れ長さを有する斜材の幅厚比パラメータ R を,

$$R = \sqrt{\sigma_y / \sigma_{cr}^{FEA}}, \quad (3)$$

により表すこととして,これを式(1)に代入する。

4. 腐食切れの生じたトラス橋斜材の健全性評価

一例として実橋の斜材(以下,斜材1)を対象にして,有限要素法による線形座屈解析と式(1)による座屈応力と腐食切れ長さの関係を図-3に示す。また,同図に

表-1の腐食切れレベルも併記する。実荷重による応力 σ_L は調査されていないため,ここでは,設計活荷重 σ_{Ld} の50%としており,Type Bによるレベル境界を採用している。さらに,座屈モードを確認した結果,縦横比 $a/b < 0.7$ では,腐食切れ部分の板の局部座屈が生じないため,縦横比 $a/b \geq 0.7$ をレベル境界の有効範囲とする。

これより,検討に用いた斜材1において,腐食切れの生じていない斜材の座屈応力 σ_{cr} / σ_y は1.0であるが,縦横比 a/b が0.7まで増加すると,急激に座屈応力は低下し, $\sigma_{cr} / \sigma_y = 0.729$ となる。しかし,それ以降は縦横比 a/b が大きくなっても急激な座屈応力の低下はみられず,縦横比 a/b の値が増加してもLevel 3の範囲に入っていることが分かる。

5. まとめと今後の予定

本稿では,連成座屈を考慮するために,2つのタイプA,Bに分割して,腐食切れの生じたトラス橋斜材を構成する板の局部座屈 σ_{cr} による腐食切れレベルを示した。また,弾塑性座屈解析の結果を回帰分析し,縦横比 a/b の変化や初期たわみ,残留応力の影響を考慮した板の座屈応力式を作成した。さらに,有限要素解析を用いて,腐食切れの生じた斜材の健全性評価の方法の提案を行った。今後は,式(1)と(3)による結果の妥当性を明らかにするために,4枚の板で構成された斜材の座屈強度を弾塑性座屈解析により求め,1枚の板の座屈強度との比較を行う予定である。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説(II鋼橋・鋼部材編), 丸善, pp. 99-101, 2017.
- 2) 日本道路協会: 同上, 丸善, pp. 110-115, 2017.
- 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, 丸善, pp. 54-56, 2016.
- 4) 土木学会: 同上, 丸善, pp. 68-74, 2016.