

## 腐食切れの生じた鋼トラス橋斜材の連成座屈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

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。鋼トラス橋の圧縮斜材は鋼板の6mm程度のすみ肉溶接により構成されているが、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。圧縮斜材は、荷重の作用下において、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も生じないように設計されている。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が、損傷への対処方法は明確な基準が定められていない。

著者らは、腐食切れの生じた圧縮斜材の座屈応力に着目したレベル分けを作成し、圧縮斜材に生じた腐食切れの長さで連成座屈応力の関係に照らし合わせる健全性評価方法の提案を行った<sup>1)</sup>。しかし、腐食切れの生じた圧縮斜材の連成座屈応力を求めるために用いた弾塑性有限変位解析は、計算が完了するまでに多くの時間を要し、扱いが非常に煩雑である。

本研究では、腐食切れの生じた圧縮斜材の連成座屈応力の簡易的な評価方法の構築を目的とし、腐食切れの生じた圧縮斜材に適用可能な座屈応力式を用いて、連成座屈応力を求めることとした。

## 2. 腐食切れの生じた圧縮斜材の座屈応力式

本研究では、腐食切れの生じた圧縮斜材に適用可能な座屈応力式を用いて、圧縮斜材の連成座屈応力 $\sigma_{cr}$ を求める。そこで、我が国で規定されている座屈応力式が腐食切れの生じた圧縮斜材に適用可能であるか確認するために、圧縮斜材と腐食切れの生じた板の弾塑性有限変位解析を行い、道路橋示方書と鋼・合成構造標準示方書の座屈応力式との比較を行った。

まず、箱型断面部材の弾塑性有限変位解析を実施した<sup>1)</sup>。その結果、全体座屈応力 $\sigma_{crg}$ は道路橋示方書の座屈応力式<sup>2)</sup>の値に近いので、本研究では、道路橋示方書の式<sup>2)</sup>を用いて、柱の全体座屈応力 $\sigma_{crg}$ を求める。



写真-1 腐食切れの一例

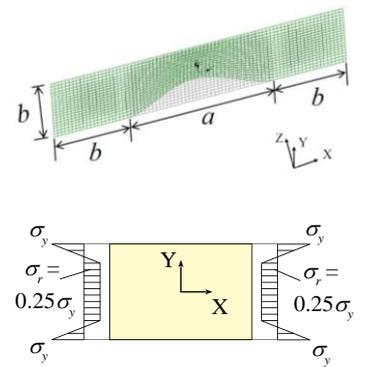
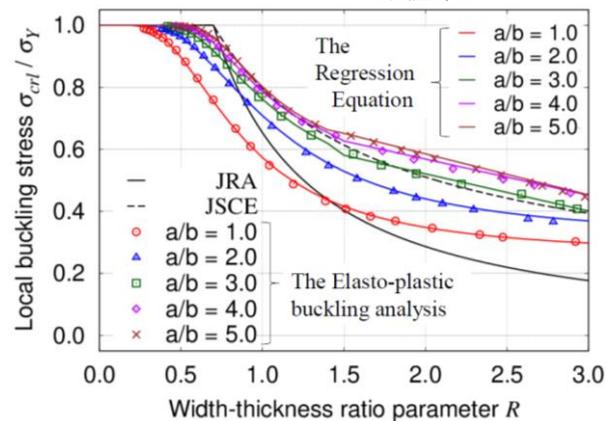
図-1 腐食切れの生じた板要素の数值解析モデル<sup>2)</sup>

図-2 腐食切れの生じた板の座屈応力式の適用性

続いて、腐食切れ部を自由辺とした4辺単純支持された板の弾塑性有限変位解析を実施した。その解析モデルを図-1に示す。ここで、 $a$ は腐食切れ長さ、 $b$ は314mmの板幅とし、腐食切れ長さ $a$ は板幅 $b$ の1.0から5.0倍を対象としている。また、残留応力分布は図-1<sup>2)</sup>とし、初期たわみは板要素の中央部に板幅 $b$ の108倍の鉛直変位を与える正弦半波として考慮している<sup>3)</sup>。

図-2に腐食切れの生じた板の弾塑性有限変位解析結果と道路橋示方書<sup>4)</sup>と鋼・合成構造標準示方書<sup>5)</sup>に規定されている座屈応力式を比較した結果を示す。これより、板の局部座屈応力 $\sigma_{crl}$ は、腐食切れ比 $a/b$ の値により、幅厚比パラメータ $R$ と局部座屈応力 $\sigma_{crl}$ の関係が変化し、既往の座屈応力式を適用できないことがわかった。そこで、弾塑性有限変位解析の結果を回帰分析し、腐食切れ比 $a/b$ と幅厚比パラメータ $R$ の関

キーワード 鋼トラス橋, 圧縮斜材, 腐食切れ, 連成座屈, 弾塑性有限変位解析

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

数となる板の座屈応力式を新たに作成することとした。

本研究で用いた回帰式を以下に示す。

$$\sigma_{cr} / \sigma_Y = \begin{cases} 1.00 & \left( R \leq \frac{c_2}{2c_3} \right) \\ c_0 + \frac{c_1}{1 - c_2 R + c_3 R^2} & \left( \frac{c_2}{2c_3} < R \right) \end{cases}, \quad (1)$$

$$\sigma_{cr} / \sigma_Y = d_0 R + d_1. \quad (2)$$

ここで、幅厚比パラメータ  $R$  と局部座屈応力  $\sigma_{cr}$  の関係は、腐食切れ比  $a/b$  ごとに曲線の形状が異なるため、 $1.0 \leq a/b < 3.0$  の場合と  $3.0 \leq a/b \leq 5.0$  かつ  $R < 1.5$  の場合は式(1)、 $3.0 \leq a/b \leq 5.0$  かつ  $1.5 \leq R \leq 3.0$  の場合は式(2)を回帰式とした。また、式(1)と式(2)に含まれるパラメータ ( $c_0 \sim c_3, d_0, d_1$ ) は、腐食切れ比  $a/b$  の関数となり、 $a/b$  ごとに値が変化する。

板の弾塑性有限変位解析の結果と回帰分析を用いて作成した座屈応力式の比較を図-2 に示す。これより、新たに作成した板の座屈応力式は、局部座屈応力  $\sigma_{cr}$  を精度よく計算できていることがわかる。

また、式(1)と式(2)を用いて、局部座屈応力  $\sigma_{cr}$  を求めるためには、幅厚比パラメータ  $R$  と腐食切れ比  $a/b$  の関係を事前に把握しておく必要がある。幅厚比パラメータ  $R$  の導出手順は、以下のようになる。

まず、腐食切れ部を自由辺とした4辺単純支持された板を対象として、有限要素法による線形座屈解析を実施し、板の局部座屈応力  $\sigma_{cr}$  を求める。続いて、求めた局部座屈応力  $\sigma_{cr}$  を初期不整のない完全系の板の局部座屈応力式である式(3)に代入することで、幅厚比パラメータ  $R$  を得る。

$$\sigma_{cr} / \sigma_Y = 1/R^2 \rightarrow R = \sqrt{\sigma_Y / \sigma_{cr}^{FEA}}. \quad (3)$$

### 3. 腐食切れの生じた圧縮斜材の連成座屈応力の簡易的な評価方法

本研究では、作成した局部座屈応力式と線形座屈解析を用いて腐食切れの生じた圧縮斜材の連成座屈応力  $\sigma_{cr}$  を簡易的に評価するために、本研究で提案する方法(以下、本手法)、積公式<sup>2)</sup>とQ-factor法<sup>6)</sup>を用いることとした。本手法による連成座屈応力  $\sigma_{cr}$  の導出手順を以下に示す。

まず、式(1)、(2)と鋼・合成構造標準示方書の両縁支持板の局部座屈応力式<sup>5)</sup>を用いて、斜材を構成する4枚の板要素ごとの局部座屈応力  $\sigma_{cr}$  を計算する。続いて、計算した局部座屈応力の最小値  $\sigma_{cr}^{\min}$  と道路橋示方書の

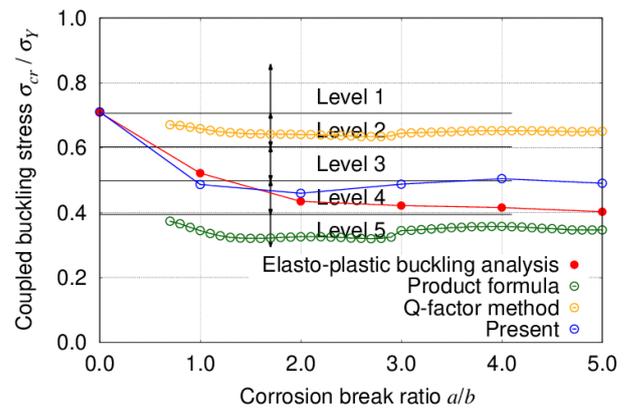


図-3 腐食切れ比  $a/b$  と連成座屈応力  $\sigma_{cr}$  の関係

箱型断面部材の全体座屈応力式<sup>2)</sup>を用いて求めた全体座屈応力  $\sigma_{cr}$  を比較し、小さい値を腐食切れの生じた圧縮斜材の連成座屈応力  $\sigma_{cr}$  とする。

図-3 に実橋の圧縮斜材を対象として、作成した局部座屈応力式と線形座屈解析により求めた腐食切れ長さ  $a$  と連成座屈応力  $\sigma_{cr}$  の関係と弾塑性有限変位解析結果の比較を示す。これより、本手法は積公式<sup>2)</sup>及びQ-factor法<sup>6)</sup>よりも、精度よく連成座屈応力  $\sigma_{cr}$  を計算することができている。また、腐食切れ長さ  $a$  が増加すると、本手法の連成座屈応力  $\sigma_{cr}$  が弾塑性有限変位解析の結果を上回っているが、五年に一度の橋梁の定期点検を行った結果、 $a/b=2.0$  以上の腐食切れが突然生じる可能性は低いため、本手法は実用的に使用できる。

### 4. まとめ

本研究では、腐食切れの生じた圧縮斜材の連成座屈応力を簡易的に評価するために、弾塑性有限変位解析結果を回帰分析することで、腐食切れの生じた板要素に適用可能な局部座屈応力式を作成した。また、積公式<sup>2)</sup>やQ-factor法<sup>6)</sup>よりも腐食切れの生じた圧縮斜材の連成座屈応力を精度よく評価できる方法の提案を行った。

### 参考文献

- 1) 山本 寧音, 岩崎 英治: 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, 令和元年度土木学会 全国大会第74回年次学術講演会, I-159, 2019.
- 2) 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. 110-119, 2017.
- 3) 土木学会: 座屈設計ガイドライン, 技報堂, pp. 44-46, 1987.
- 4) 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.
- 5) 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. 68-74, 2016.
- 6) 土木学会: 同上, 丸善, pp.54-56, 2016.