

# 腐食切れの生じた鋼トラス橋斜材の簡易的な耐荷力評価に関する研究

環境社会基盤工学専攻 2年 仲井 大樹  
指導教員 岩崎 英治

## 1. 研究背景

現在、我が国の橋梁は供用年数が50年を超えるもの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要因の一つに腐食がある。鋼トラス橋の斜材は鋼板の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、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。この損傷の健全度評価の明確な基準や手法は定められていなかったが、既往の研究<sup>1)</sup>により明確な基準と手法が提案された。



写真-1 すみ肉溶接部の腐食切れの一例

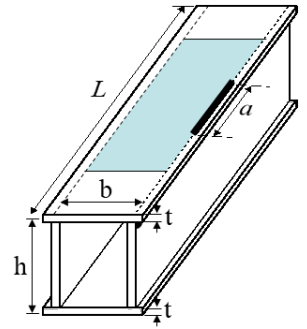


図-1 腐食切れの生じた圧縮斜材

## 2. 研究目的

既往研究<sup>1)</sup>により提案された手法にはいくつかの課題が存在しており、以下に主な課題を列挙する。

既往研究<sup>1)</sup>では、斜材の耐荷力を簡易的に評価する際に斜材の板ごとに線形座屈解析を実施する必要があり、手間や時間がかかる。また、既往研究<sup>1)</sup>で提案された腐食切れの生じた板要素に適用可能な座屈強度式では、腐食切れ比 $a/b$ が1.0より小さい場合に適用できないことや複雑な回帰式となっているなどの課題もある。

そこで、本研究では、既往研究<sup>1)</sup>の課題を改善し、より簡易的であり適切な評価手法の提案を行う。

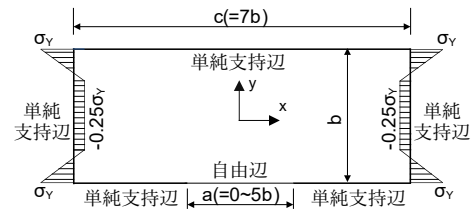
図-1に腐食切れが生じた圧縮斜材の概略図を示す。 $L$ は有効座屈長、 $a$ は腐食切れ長さ、 $b$ は局部座屈の生じる板の支持縁間隔を示す。本研究の目的は、このような斜材に対して、簡易的な耐荷力手法を構築することである。その手法を構築するにあたり、柱と板の座屈強度式を使用して、腐食切れの生じた斜材の耐荷性能を簡易的に求める手法<sup>1)</sup>を探求する。

## 3. 腐食切れ比 $a/b$ と座屈係数 $k$ の関係式の作成

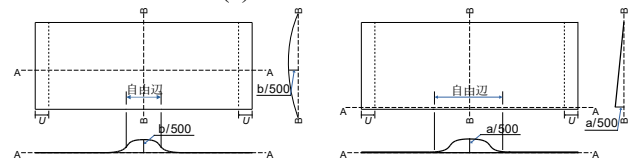
座屈係数  $k$  は、部材の縦横比と境界条件の影響を受ける無次元パラメータのことであり、以下に示す幅厚比パラメータ  $R$  の定義式に係数として含まれる。

$$R = \frac{b}{\pi t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{k}} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E}} \quad (1)$$

幅厚比パラメータ  $R$  は、幅厚比  $b/t$  を座屈応力度が降伏点に等しいときの幅厚比で無次元化したものである。こ



(a) 残留応力分布



(b) 初期たわみ ( $a < b$ ) (c) 初期たわみ ( $b < a < 5b$ )

図-2 腐食切れの生じた板の解析モデル

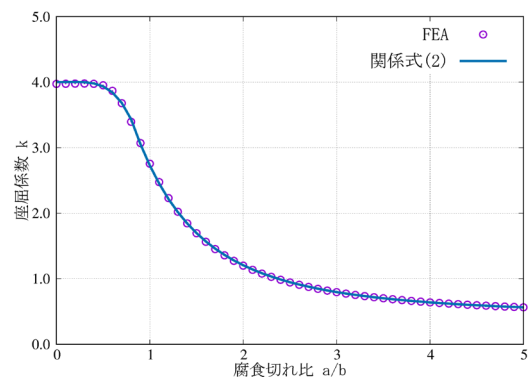


図-3 腐食切れ比  $a/b$  と座屈係数  $k$  の関係

の幅厚比パラメータ  $R$  に含まれる座屈係数  $k$  を算出するために、既往研究<sup>1)</sup>では線形座屈解析を実施していた。本研究の解析モデルを図-2に示す。解析モデルは、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ている。ここで、降伏応力は $355(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、ヤング係数  $E$  は  $2.0 \times 10^5(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、ポアソン比  $\nu$  は0.3として設定している。この解析モデルを用いて、線形座屈解析を実施した。解析結果を図-3に示す。解析結果を回帰分析し、以下に示す関係式を作成した。

$$k = \begin{cases} 4.0 + 0.140 \left(\frac{a}{b}\right)^2 - 1.603 \left(\frac{a}{b}\right)^4 & \left(\frac{a}{b} < 0.8\right) \\ 0.425 + \frac{1}{0.152 + 0.282 \left(\frac{a}{b}\right)^2} & \left(0.8 < \frac{a}{b} < 5.0\right) \end{cases} \quad (2)$$

関係式は、 $a/b$  の範囲によって曲線の形状が異なるため、式を2つに分けた。図中に関係式による曲線も示す。

#### 4. 腐食切れの生じた板の局部座屈強度式の作成

腐食切れの生じた鋼板の弾塑性座屈解析を実施した。解析モデルは図-2 を使用し、解析モデルの諸元は前節で示したものを使用する。解析方法は、腐食切れ比  $a/b$  ごとに板厚を  $t=3.5\sim 28\text{mm}$  の範囲で変化させ、図-2 に示す解析モデルについて、左右辺に一樣な強制変位を与え、種々の板厚  $t$  に対して座屈強度  $\sigma_u$  を算出する。

図-4 から図-5 に、 $a/b=0\sim 5.0$  の範囲において、解析により得られた幅厚比パラメータ  $R$  と座屈強度  $\sigma_u$  の関係を示す。解析結果と鋼・合成構造標準示方書<sup>2)</sup>(JSCE)の座屈応力式の結果との比較も図-4 から図-5 に示す。

腐食切れの生じた板の座屈強度  $\sigma_u$  は、腐食切れ比  $a/b$  の値により、幅厚比パラメータ  $R$  と座屈強度  $\sigma_u$  の関係が変化し、我が国で規定されている各示方書の座屈強度式<sup>2)3)</sup>を適用できない。そこで、弾塑性座屈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  $R$  の関数となる板の座屈強度式を作成した。以下に示す。

$$\frac{\sigma_u}{\sigma_Y} = \frac{1}{a_1 + a_2 R} \quad (R > R_0), = 1 \quad (R \leq R_0), R_0 = \frac{1 - a_1}{a_2} \quad (3)$$

パラメータ  $a_1$ 、パラメータ  $a_2$  を腐食切れ比  $a/b$  の多項式として表す。図-4 から図-5 には、式(3)による座屈強度曲線も実線で示す。

#### 5. 腐食切れの生じた圧縮斜材の耐荷力評価

実橋の斜材(橋梁 M-1)を対象として、本研究で提案する方法の妥当性を検証するために、本研究で作成した座屈係数の関係式(2)と局部座屈強度式(3)より求めた座屈応力と腐食切れ比の関係と斜材全体の弾塑性有限変位解析を実施した解析結果との比較を図-6 に示す。

このとき、連成座屈応力  $\sigma_{cr}$  は、以下に示す方法により求める。まず、式(2)と式(3)の座屈係数と局部座屈強度式を用いて、斜材を構成する4枚の板要素ごとの局部座屈強度  $\sigma_u$  を計算する。続いて、計算した局部座屈強度の最小値  $\sigma_u$  と斜材の全体座屈応力  $\sigma_{crg}$  の比較を行う。全体座屈応力  $\sigma_{crg} \leq$  最小局部座屈強度  $\sigma_u$  の場合、連成座屈応力  $\sigma_{cr} =$  全体座屈応力  $\sigma_{crg}$  とし、最小局部座屈強度  $\sigma_u <$  全体座屈応力  $\sigma_{crg}$  の場合、連成座屈応力  $\sigma_{cr} =$  最小局部座屈強度  $\sigma_u$  とする。

図-6 より、式(2)と式(3)を Q-factor 法<sup>2)</sup>と積公式<sup>3)</sup>に適用した連成座屈応力  $\sigma_{cr}$  に比べて、本手法では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、本手法を用いて計算した連成座屈応力  $\sigma_{cr}$  の値が弾塑性有限変位解析の結果を下回っており、安全側の連成座屈応力  $\sigma_{cr}$  を計算することができている。

#### 6. まとめ

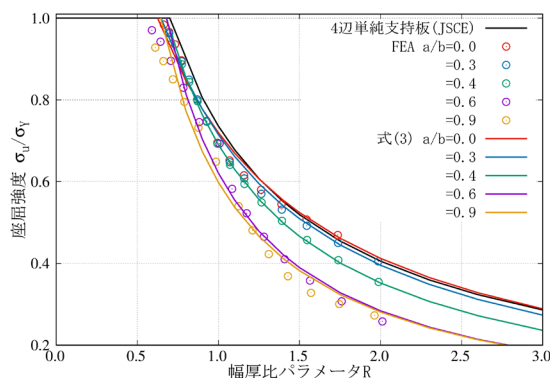


図-4 腐食切れの生じた板の解析結果( $0 \leq a/b \leq 0.9$ )

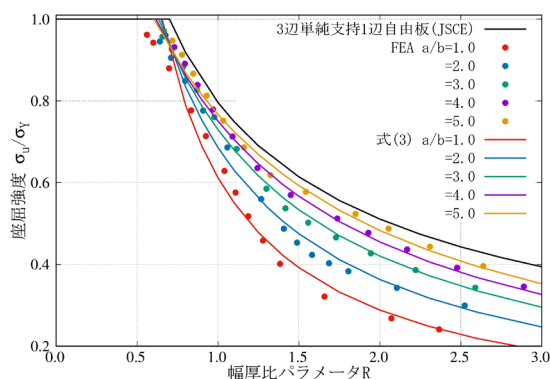


図-5 腐食切れの生じた板の解析結果( $1.0 \leq a/b \leq 5$ )

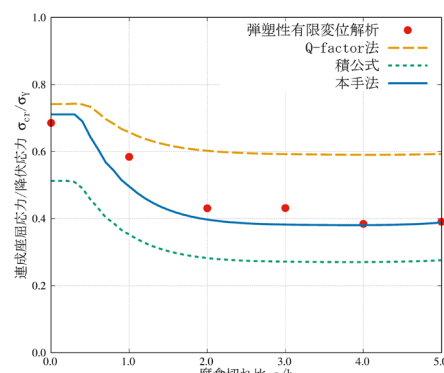


図-6 圧縮斜材の座屈応力と腐食切れ比の関係

本研究より得られた知見を以下に示す。

- 1) 腐食切れの生じた圧縮斜材の板の腐食切れ比  $a/b$  と座屈係数  $k$  の関係を明らかにし、関係式を作成した。
- 2) 弾塑性座屈解析の結果を回帰分析することで、腐食切れの生じた板要素の  $a/b=0\sim 5$  の範囲において、適用可能な局部座屈強度式を作成した。
- 3) 腐食切れの生じた斜材の連成座屈応力  $\sigma_{cr}$  を座屈係数  $k$  の関係式と腐食切れの生じた板要素の局部座屈強度式を組み合わせることで、簡易的に評価できる手法の提案を行った。

#### 参考文献

- 1) 山本寧々, 岩崎英治: 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, 令和2年度土木学会・全国大会第75回年次学術講演会 I-124, 2020.
- 2) 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.54-75, 2016.
- 3) 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.99-115, 2017.