

# 腐食切れの生じた鋼トラス橋圧縮斜材の連成座屈強度式の検討

鋼構造研究室 藪 祥吾

指導教員 岩崎 英治

## 1. 研究背景と研究目的

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, 少子高齢化による技術者の不足もあり, 補修工事の優先度や緊急性の明確化, より効率的な維持管理方法の確立をするために, 構造物の健全性を簡易的に評価する手法の確立が求められる。

鋼トラス橋に生じる腐食パターンの一つとして, 圧縮斜材の箱型断面において, 腐食が進行し溶接の一部が分離する腐食切れ(写真-1)がある。この腐食切れが生じると, 部材の座屈強度が低下し圧縮斜材の健全性に影響を及ぼすことが明らかにされている。

連成座屈強度を簡便に求める手法として, 積公式および Q ファクター法が存在するが, 大きな誤差が発生する。

岩崎ら<sup>1)</sup>の既往の研究により, 腐食切れが発生した際の連成座屈強度式として修正積公式の提案が行われているがこの検討では少数の橋梁の諸元のみしか用いられていない。

そこで, 本研究では, 新たに複数の橋梁の諸元を追加して, 修正積公式の適合性を確認し, 必要に応じて修正積公式の再検討を行う。



写真-1 すみ肉溶接の腐食切れの一例

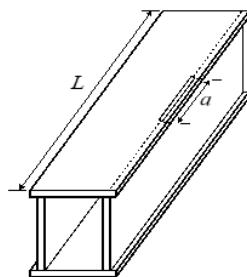


図-1 単一の腐食切れの生じた圧縮斜材

## 2. 既往の座屈強度式

斜材の連成座屈強度は, 柱としての全体座屈と斜材を構成する板の局部座屈の連成により表され, FEA による斜材全体の弾塑性有限変位解析により連成座屈強度は得られるが煩雑である。部材の連成座屈強度を簡便に求める方法として積公式<sup>1)</sup>や Q ファクター法<sup>2)</sup>があるが, 積公式は過小評価, Q ファクター法は過大評価する傾向があるため, 岩崎ら<sup>1)</sup>により, 修正積公式が提案されている。

## 修正積公式

$$\frac{\sigma_u}{\sigma_Y} = \frac{\sigma_{gu}}{\sigma_Y} Q \quad (4)$$

修正積公式では, 積公式に含まれる斜材を構成する 4 枚の板の局部座屈強度  $\sigma_{lu}$  に替えて, 4 枚の板の断面積比を重み係数とした局部座屈強度と降伏点との比率の平均値  $Q$  を用いて連成座屈を算出している。全体座屈強度は積公式と同様の式を用いている。

## 連成座屈強度の比較

図-2 は, 各手法により算出された座屈強度と, 実橋の斜材諸元を用いた FEA により求められた座屈強度を比較した結果を示している。FEA と修正積公式との誤差は  $-0.12\sigma_Y \sim 0.08\sigma_Y$  の範囲に収まっており, 既往の積公式や Q ファクター法と比較して高い精度を示した。

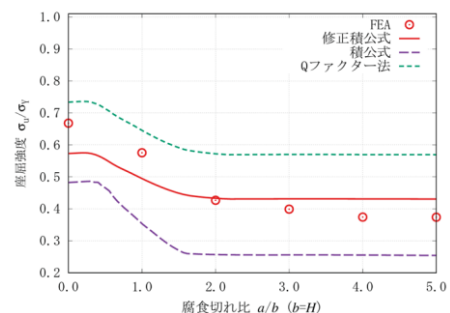


図-2 斜材 Dm2 における連成座屈強度の比較

## 3. 解析方法

斜材の全体座屈と局部座屈を考慮した連成座屈強度を評価するために, 腐食切れを中心とした長さ  $c$  の範囲をシェル要素, これ以外の部分は骨組み要素により, 図-3のようなモデルによって弾塑性有限変位解析を行う。斜材の支持条件は, 斜材の両端で単純支持としている。また, 骨組み要素とシェル要素の接合部断面では, 断面剛の仮定が成立するような従属関係を骨組み要素とシェル要素の接点に課している。要素タイプには, 4 接点四角形シェル要素を用い, ヤング係数は  $E=2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ , ポアソン比は  $\nu=0.3$  とする。応力-ひずみ曲線は等方硬化バイリニ

ア型を用い、降伏後の応力-ひずみ曲線の勾配は  $H = E/100$  としている。骨組み要素の両端から圧縮の軸力を加えて解析を行う。

今回は、修正積公式の提案の際に用いられた 12 本の斜材に加えて新たに 5 本の斜材を加えた 17 本の斜材の座屈強度を FEA により求めた。

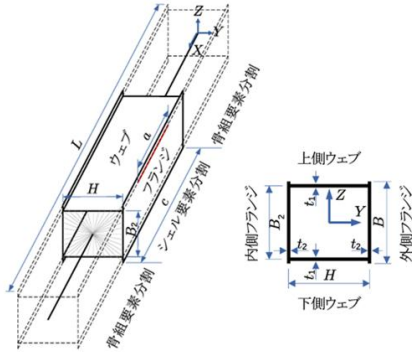


図-3 腐食切れの生じた斜材の有限要素分割

#### 4. FEA と算出式の比較

図-4 は、FEA により 17 本の斜材の修正積公式で算出した座屈強度と FEA による座屈強度の差を表す。Dm2 など 17 本の斜材のそれぞれの名前である。この差は  $-0.12\sigma_Y \sim 0.10\sigma_Y$  の範囲に収まっており、修正積公式の妥当性が確かめられた。しかし、依然として誤差があるので補正式の作成を行う。

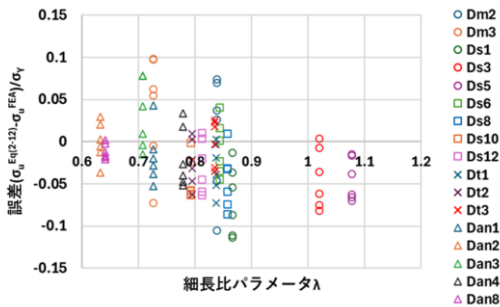


図-4 修正積公式と FEA の差

#### 5. 補正式の作成と FEA との比較

図-5 は縦軸に座屈強度と健全時の座屈強度の比を取った座屈強度比、横軸に Q 値と健全時の Q 値の比を取ったグラフである。修正積公式は理論上黒色の直線となるが FEA の結果をプロットすると少し外れている。そこで、FEA の結果を回帰分析し、2 次式とした。この式を補正係数  $Q'$  とし、健全時の座屈強度を利用した次式を補正式とする。

$$\frac{\sigma_{u}}{\sigma_Y} = \frac{\sigma_{gu}}{\sigma_Y} \cdot Q_{a=0} \cdot Q' \quad (5)$$

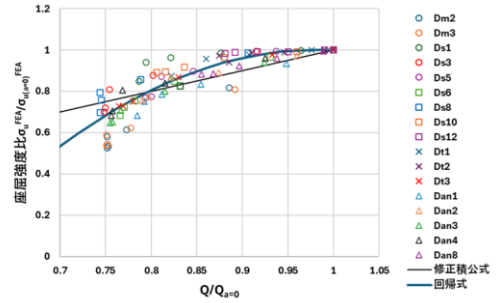


図-5 FEA の結果に基づく回帰分析

作成した補正式により算出した座屈強度と FEA による座屈強度の差を図-5 に示す。補正式では差が  $-0.12\sigma_Y \sim 0.06\sigma_Y$  の範囲にあることから、危険側の差が小さくなったことが分かる。

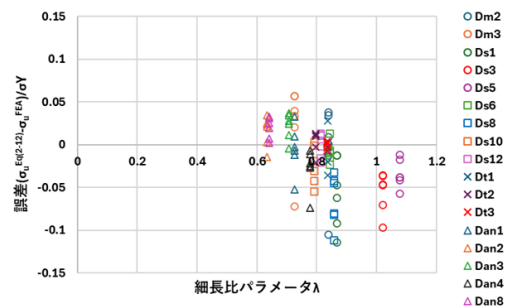


図-5 補正式と FEA の差

#### 6. まとめ

腐食による分離が生じた座屈強度を迅速かつ簡易に評価することを可能にするための検討を行った。

- 1)新たに 5 本の斜材を追加して FEA により座屈強度を求めたところ、修正積公式と FEA には  $-0.12\sigma_Y \sim 0.10\sigma_Y$  の差を確認した。
- 2)FEA の結果を基に補正式を作成したところ、FEA との差は  $-0.12\sigma_Y \sim 0.06\sigma_Y$  と差が小さくなった。
- 3)多様な斜材に可能な斜材に適用可能とするためには不足しているデータを補う必要がある。

#### 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, 2017.11.
- 2) 土木学会 鋼構造委員会：鋼・合成構造標準示方書 2016 年制定, I 総則編・II 構造計画編・III 設計編, 2016.
- 3) 岩崎英治, 仲井大樹, 山本寧々：腐食切れの生じた鋼トラス橋圧縮斜材の座屈強度と健全性評価, 土木学会論文集, Vol. 79, No. 8, 23-00035, 2023 年
- 4) 中島慧士：腐食切れが二辺に生じたトラス橋圧縮斜材の座屈強度式に関する検討, 2024 年