

## 連成効果を考慮した腐食山形鋼の残存強度評価に関する解析的研究

広島大学大学院 学生会員 ○高見 文也  
 広島大学大学院 フェロー会員 藤井 堅

## 1. はじめに

近年、腐食した橋梁の崩落事例が報告されるようになり、橋梁の健全性を正確に把握することが工学的な重要課題となっている。さらに今後の我が国の財政状況を考慮すると、近接目視の損傷グレード評価ではなく、残存強度に基づいた定量的な健全度評価が不可欠である。

これまでに、腐食部材の残存圧縮耐荷力に関する研究が精力的に行われてきた。とくに、円形鋼管やH型鋼の座屈挙動は解明されつつあり、様々な残存強度評価式が提案されている。しかし、トラス橋の主構として用いられることもある山形鋼に関する研究は数少ない。さらに圧縮作用下の健全部材では、連成座屈の発生により強度が低下することが明らかとなっているが、腐食部材に生じる連成座屈については未解明な点が多い。そこで本研究では、腐食山形鋼を対象とした弾塑性FEM解析を実施し、連成効果を考慮した簡易な残存強度評価法を提案した。

## 2. モデル化、複合非線形解析概要

100×100×10mmの等辺山形鋼を4節点シェル要素でモデル化し、1辺10mmのサイズで要素分割した。モデル全体図をFig.1に示す。境界条件は両端固定支持で、片端に軸方向に強制圧縮変位を与える変位制御法にて解析を行った。仮定した腐食形態は、腐食区間を一定の板厚で減少させるフラット腐食とした。本解析で考慮したパラメータは、部材長さ $L$  (1500, 3700, 5000mm)、腐食位置(Pattern I-IV)とその長さ $l$  (100, 300, 500,  $L_{mm}$ )、減肉率(20, 40, 60, 80%)の4つである。また、本解析で取り扱った腐食パターンをFig.2に示す。解析ケース名は、(腐食パターン)-(部材長さ)-(腐食長さ)-(減肉率)と定義した。

## 3. 腐食した山形鋼の残存強度評価法の提案

まず、解析結果として現れた3つの破壊モードをFig.3に示す。また、この3つの破壊モードは、Fig.4に示す2つの健全モデルの破壊モードで再現可能と考えられる。具体的には、全体座屈は両端固定支持の山形断面柱モデルにより、局部座屈は3辺単純支持1辺自由の圧縮板モデルにより、

キーワード 腐食, 山形鋼, 耐荷力, 大変形弾塑性 FEM, 連成座屈, 維持管理

連絡先 〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1 広島大学大学院工学研究科 社会基盤環境工学専攻

TEL : 082-424-7819・7828

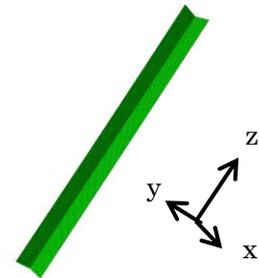


Fig.1 要素分割図 (部材長さ 1500mm モデル)

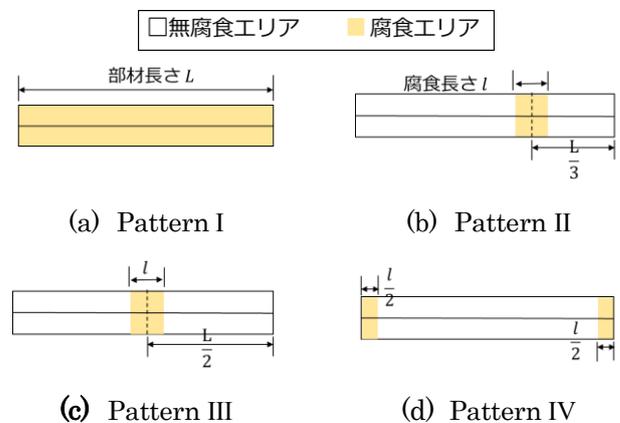


Fig.2 本解析で取り扱った腐食パターン

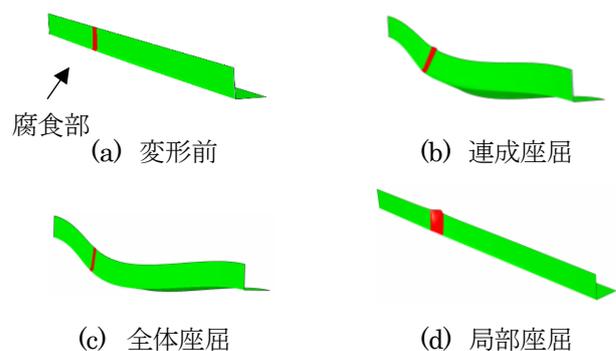


Fig.3 現れた破壊モード

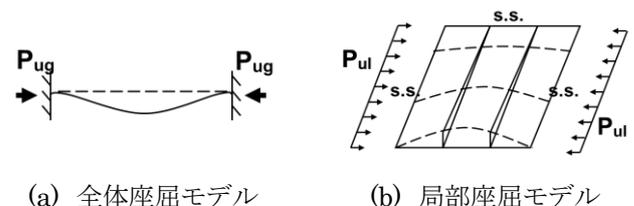


Fig.4 破壊モード再現モデル

デルにより、そして連成座屈は 2 つのモデルが合わさった破壊モードで表現される。したがって、腐食部材の残存強度は破壊モードに依存して決定されるという考え方にに基づき、部材の曲げ座屈と板要素の局部座屈に分類し、各々の座屈様式ごとに耐荷力評価することが適切といえる。そして、各々の耐荷力の最小値を以て、腐食部材の終局耐荷力は評価できると推測される。

以上の議論から、本研究では、不確実性係数 $\alpha = 0.035$ としたときの ECCS 柱強度曲線<sup>2)</sup>と細長比パラメータを用いて全体座屈強度を、本解析値の近似曲線と幅厚比パラメータを用いて局部座屈強度を、それぞれ評価した。なお、全体座屈と局部座屈の評価板厚には、健全部と腐食部を合わせた部材全体の平均板厚、腐食部の平均板厚をそれぞれ用いている。一方、連成座屈強度は道路橋示方書の積公式<sup>3)</sup>を用いて評価した。なお、本研究では解析結果を真値とし、残存強度評価を行う。

では、解析ケース III-5000-500-(20~80) の 4 つのモデルを例に挙げて、先の 3 つの座屈耐荷力評価式を用いた簡易な終局荷重推定プロセスを提案する。まず、3 つの評価式より算出された座屈荷重を Fig.5 にて比較すると、積公式の考え方を踏襲した連成座屈荷重は全体座屈荷重と同等かそれ以下の値で算出されていることがわかる。そして、提案する評価法では、この連成座屈荷重(連成を考慮した全体座屈荷重)と局部座屈荷重の大小比較を行い、最小の荷重値が終局荷重と推定されるため、★で記す座屈荷重が各ケースの終局荷重と推定される。また、板厚の減少に伴い破壊モードが変化することも示された。すなわち、本評価法は終局荷重推定と同時に破壊モードの特定も可能となる。また、全解析ケースに対して、本評価法および解析結果より算出された終局荷重の比較を Fig.6(a)にて行った。評価値と解析値の相関係数は 0.99 であり、非常に高い相関を示していることがわかる。しかし、本評価法が、断面 100mm×100mm×10mm 以外の断面寸法を有する山形鋼に適用可能であるは定かではない。そこで、断面寸法の異なる 2 種類の山形鋼に対して、座屈解析を追加で実施し、その結果および本評価法より得られた終局荷重を Fig.6(b)にて比較することで、本評価法の汎用性を検証した。Fig.6(b)より、解析値と評価値の差異は多くのケースで 10%未満であり、山形断面部材に対して、本評価法は十分に適用可能であるといえる。

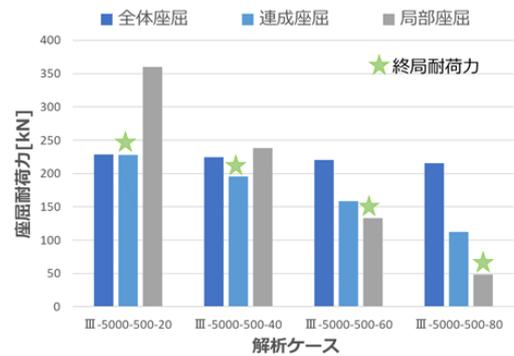


Fig.5 本評価法による終局荷重推定と破壊モード特定

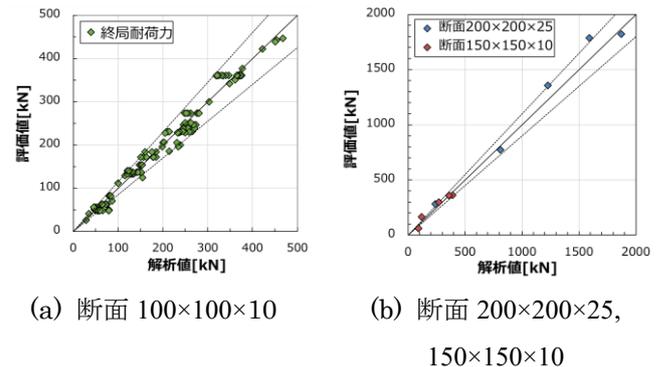


Fig.6 解析値と評価値の終局荷重比較

#### 4. まとめ

- (1) 腐食山形鋼の残存強度特性は破壊モードに依存するという考え方にに基づき、座屈様式の違いを考慮した残存強度評価を行った。具体的には、全体座屈強度は部材全体の平均板厚を ECCS 柱強度評価式に適用し、局部座屈強度は腐食部の平均板厚を適用することで、それぞれ精度よく評価できた。連成座屈強度は積公式の考え方を適用し、連成効果を考慮した全体座屈強度として評価した。
- (2) 本研究で行ったような、簡易に残存強度を推定する考え方は、腐食を有する他断面部材の残存強度評価においても適用できる可能性を見出した。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、一般社団法人日本鉄鋼連盟より多大なるご協力とご支援を受け賜った。ここに関係各位へ感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 鋼 H 形断面柱部材の連成座屈強度特性と設計公式、土木学会論文集, No.398, pp.311-318, 1988.10
- 2) Eurocode 3, Common Unified Code of Practice for Steel Structures (draft), July 1983.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・解説, 2012.3