

鋼桁端部腹板の腐食減肉分布に着目したせん断耐荷力評価に関する解析的検討

構造工学研究室 上村大河

1. はじめに

近年、鋼橋の腐食損傷の問題が顕在化しており、特に鋼桁端部の腹板減肉を主要因として落橋等の事例も報告されている。既往研究から桁位置によって腐食減肉分布が異なることが報告されており、せん断耐荷力に影響を及ぼすことが指摘されている。鋼・合成構造標準示方書では腹板のせん断強度算定にバスラー式を推奨している。腐食腹板のせん断耐荷力を算定する場合は、平均板厚を用いて適用するのが一般的である。しかしながら、図-1に示す腐食分布では平均板厚を用いて算定が困難であり、せん断耐荷力評価法の構築が求められている。そこで本研究では、腐食減肉分布に着目し、せん断耐荷力評価法を提案することを目的に、パラメトリック有限要素解析を行った。



図-1 桁端部の腐食状況と腐食分布

2. 解析概要

(1) 解析モデル

解析モデルを図-2に示す。解析には汎用解析プログラム MSC.Nastran を使用し、要素は4節点シェル要素を用いた。着目部のせん断座屈が卓越するように、着目部以外の腹板については板厚を32mmと厚く設定した。上フランジ厚は実橋におけるRC床版の剛性効果を考慮して50mmとした。なお、残留応力は考慮していない。支点上はピン及びピンローラーの単純支持とした。載荷方法は桁中央に400ステップで鉛直方向に30mmの強制変位を与えるものとした。また、初期たわみはウェブ中央部で最大となるよう正弦波を仮定し、次式より設定した。

$$w = w_0 \sin(\pi x/a) \sin(\pi y/b) \quad \text{式(1)}$$

最大初期たわみ w_0 は、道路橋示方書より $b/150$ を用いた。

(2) 解析パラメータ

図-1より腐食分布は、水平補剛材上と腹板中央に集中していることが分かる。そこで本研究では、それぞれの腐食部位が耐荷力にどのような影響を与えるか検討するために、腐食を個別に再現して解析を行った後、複合して腐食した場合の解析を行った。なお、腹板中央腐食は腐食の影響を単純化するために水平補剛材を取り除き、その際の幅厚比の影響を考慮し、板厚を10.5mmとした。

これらの腐食領域での板厚減少率をパラメータとし、健全時から欠損時まで25%間隔で減肉することで腐食を再現した。

3. せん断強度の算定方法

図-4に板厚9mm健全時におけるP- δ 図を示す。縦軸はせん断力である。横軸は鉛直変位で、スパン中央での下フランジの変位である。本研究では最大せん断耐荷力 V_{max} を V_u としている。鋼・合成構造標準示方書では新設橋設計において、せん断耐荷力の算定はバスラーの式を推奨しており、バスラー式は次式で表される。

$$V_u = bt_{ave} \cdot \tau_{cr} + bt_{ave} \cdot \sqrt{3}/2 \cdot (1 - \tau_{cr}/\tau_y) \tau_y / (\sqrt{1 + \alpha^2}) \quad \text{式(2)}$$

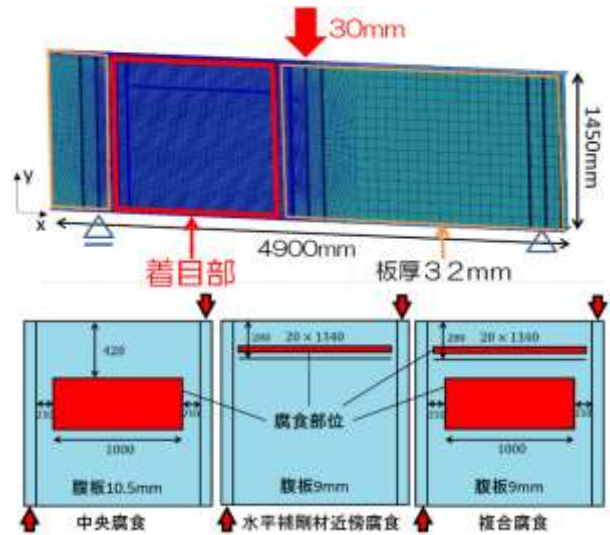


図-3 着目部の腐食部位

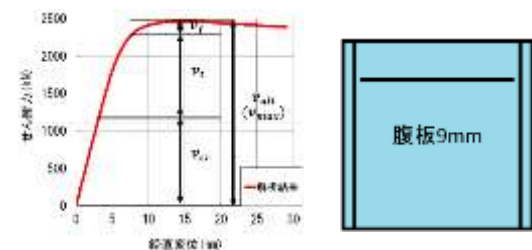


図-4 腹板9mm健全時P- δ

ここで V_u はせん断耐荷力、 b は腹板高さ、ただし、水平補剛材がある場合は下フランジから水平補剛材までの高さである。 τ_{cr} はせん断座屈応力、であり次式で表される。

$$\tau_{cr} = k_\tau \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad \text{式(3)}$$

k_τ は座屈係数で支持条件によって値が変動する。本研究では腐食形状や腐食の進行具合により、四辺単純支持条件と三辺単純支持条件を想定している。 ν はポアソン比である。 t_{ave} は平均板厚とし、腐食形状によって腹板全面から算出する場合と斜め張力場領域で算出する場合の二通りとした。 τ_y は降伏せん断応力、 σ_y は降伏応力、 α は縦横比である。水平補剛材がある場合のせん断耐荷力の評価は、鋼・合成構造標準示方書より、上下パネルで適用してそれらの合計をせん断強度とする。本論文では上記バスラー式の適用方法を検討する。

4. 解析結果

4.1 中央腐食時

図5に腹板中央が腐食したモデルの V_{max} 時における相当応力分布を示す。図5より上下フランジのアンカー部Cに変化は見られない。また、張力場領域に腐食部位があることを考慮して、腹板中央腐食時には平均板厚を張力場領域で算出すべきと考えた。図6にFEM解析結果とバスラー式を比較したグラフを示す。図5よりバスラー式の板厚は、腹板全面で平均板厚を算出するよりも、張力場領域で算出するとより正確にせん断耐荷力を評価できることがわかる。

4.2 水平補剛材近傍腐食時

図7に水平補剛材近傍が腐食したモデルの V_{max} 時の相当応力分布を示す。図7より、腹板全体で形成されていた斜め張力場が、水平補剛材より下のパネルで形成されるようになることがわかる。この場合、斜め張力場面積が減少するため、後座屈強度が減少することが考えられる、したがって、図-8に示すように、後座屈強度に斜め張力場面積の減少率 β を乗じて算出することとした。 β は次式で表せる。

$$\beta = A/B \quad \text{式(4)}$$

また、座屈係数は板厚の減少に伴い、低下することが予想されるが、明確な値を判断することは難しいため、欠損時のみ三辺単純支持条件とし、その他は四辺単純支持条件とした。表-1に支持条件と β を示す。図-9にバスラー式とFEM結果を示す。 β を用いることでより正確に耐荷力を評価できると考える。

4.3 複合腐食時

図10に4.1と4.2で検討した結果を適用したものの、適用しなかったもの、及びFEM解析結果をプロットしたグラフを示す。図-10より、検討結果を適用したバスラー式で算出した結果の方がより正確にせん断耐荷力を評価できることがわかる。

5. まとめ

中央腐食が生じる場合、バスラー式の板厚 t は斜め張力場領域での平均板厚を用いることで評価できる。

水平補剛材近傍に腐食が生じる場合、腐食が進行し破断に至る過程で、腹板全体に形成されていた斜め張力場が水平補剛材より下のパネルに形成されることで、斜め張力場面積が減少するため後座屈強度が減少する、したがって、斜め張力場の面積減少率 β を後座屈強度に乗じることで評価できる。

参考文献

- 1) 下里哲弘, 玉城喜章, 有住康則, 矢吹哲哉, 三木千壽: 実腐食分布を有する鋼プレートガーダー版のせん断強度特性に関する実験的研究, 土木学会論文集 A1, Vol.70, No.3, 359-376, 2014.
- 2) 土木学会: 2016年制定 鋼・合成構造標準示方書 総則編・構造計画編・設計編, 2016.7

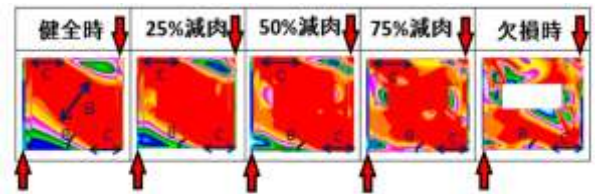


図-5 中央腐食 V_{max} 時 von-mises 応力

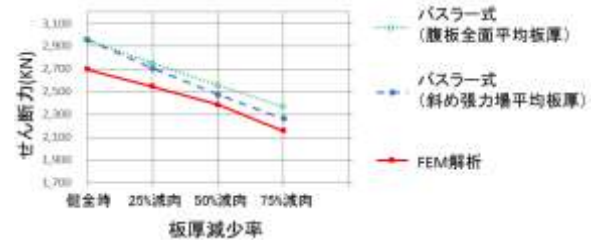


図-6 中央腐食のせん断強度と残存板厚減少率

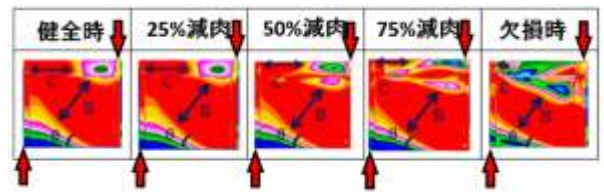


図-7 水平補剛材近傍腐食 V_{max} 時の mises 応力

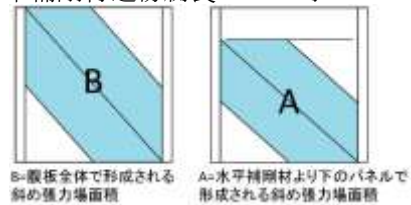


図-8 β の定義

表-1 支持条件と β

水平補剛材上板厚減少率	健全時, 25%減肉, 50%減肉	75%減肉	欠損時
支持条件	四辺単純支持	四辺単純支持	三辺単純支持
β	1	A/B	A/B

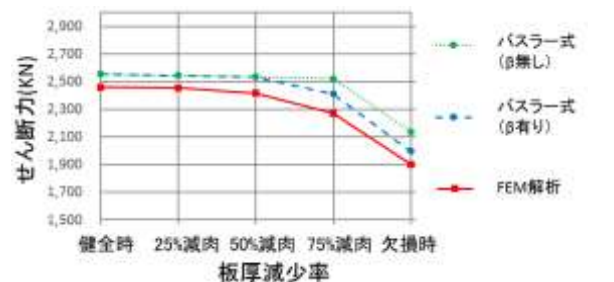


図-9 水平補剛材近傍腐食のせん断強度と板厚減少率

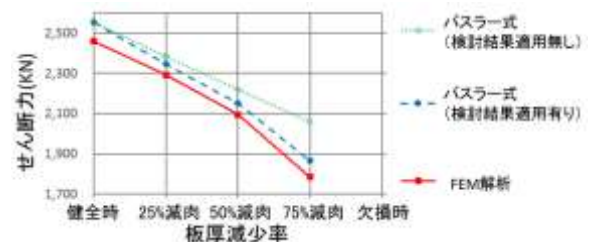


図-10 複合腐食のせん断強度と板厚減少率