

鋼構造部材の局部腐食孔の応力集中に対する工学モデルに関する基礎的研究

(株)東京鐵骨橋梁 正会員 ○細見 直史 九州大学 正会員 貝沼 重信

1. はじめに 桁端部などの鋼構造部材では、腐食環境の差異などにより局所的かつ急速に進行する局部腐食が生じる。鋼構造部材に局部腐食が発生すると、断面欠損に加え、高い応力集中による疲労き裂の発生が懸念される。そのため、局部腐食孔の幅や深さの寸法を簡易計測することで、鋼構造部材の疲労耐久性を評価することが望まれる。これまで、著者らは特に局部腐食が著しく生じる鋼構造部材のコンクリート境界部の腐食特性と疲労挙動、その応力集中係数の評価手法について検討してきた¹⁾⁴⁾。本研究では鋼構造部材の局部腐食孔に対する応力集中係数を簡便に評価するための工学モデルについて基礎的検討を行うために、腐食促進試験後の試験体の腐食表面性状を対象として、FEM応力解析を行なった。

2. 対象とした試験体と FEM 応力解析²⁾ 既往の研究¹⁾では、境界部の経時腐食挙動を明らかにするため、図-1 の JIS 1A 号試験片にコンクリートを巻きかためたモデル試験体の腐食促進試験を行なった。この腐食サイクルには S6-cycle を用い、その繰返し回数は 600cycle 毎に 600cycle から 2,400cycle とした。試験体の表面性状はレーザーフォーカス深度計(分解能: 0.1 μ m)により 100 μ m で測定した。その測定範囲は、鋼コンクリートの境界線から上部に 100mm、内部に 20mm とした。試験体の腐食表面性状の測定結果を図-2 に示す。ここでは S6-2400cycle について示す。FEM 解析モデルは境界線から 40mm の範囲をモデル化した。要素には 8 節点ソリッド要素を用いた。境界条件は一端を固定とし、一端に 9.8MPa の等分布荷重を作用させた。解析モデルの要素分割例を図-3 に示す。最小要素寸法は、0.4 $\times$ 0.4 $\times$ 0.4mm とした。

3. 応力集中係数の評価方法^{3),4)} 鋼部材の腐食表面における腐食孔の切欠き底部に生じる最大応力集中係数は、1) 平均腐食深さによる公称応力の増加、2) 腐食表面性状による応力集中、3) 切欠き底部の残存板厚による応力集中、の影響を受けるものと考えられる^{3),4)}。そこで、公称応力が応力集中に及ぼす影響を検討するため、板厚減少を考慮しない最大応力集中係数 $K_{t(g),max}$ (以下、総断面の最大応力集中係数と呼ぶ。)と、板厚減少を考慮した最大応力集中係数 $K_{t(n),max}$ (以下、純断面の最大応力集中係数と呼ぶ。)を用

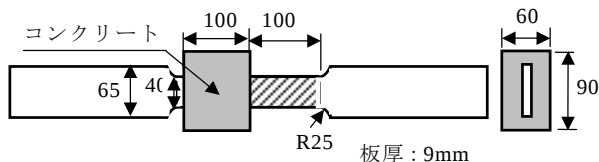
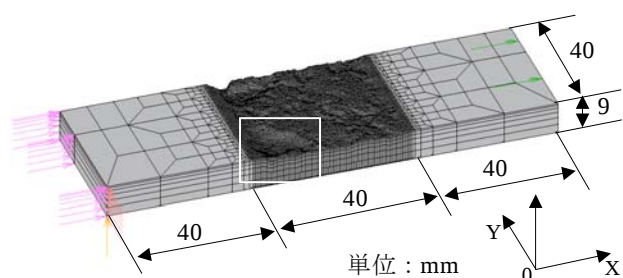
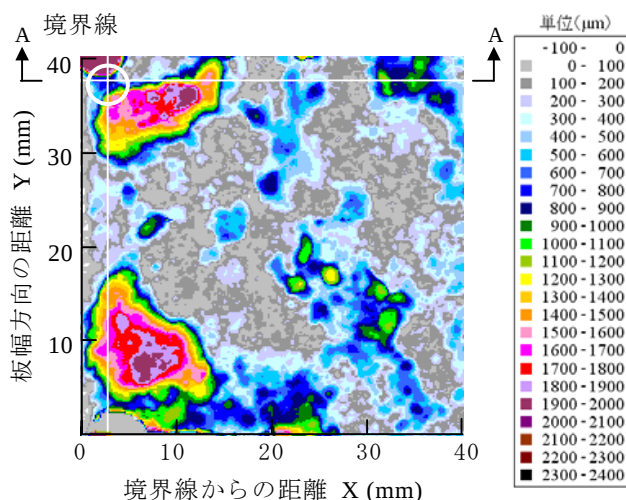
図-1 供試体の形状および寸法¹⁾ (単位: mm)図-3 解析モデル³⁾

図-2 試験体の腐食表面性状

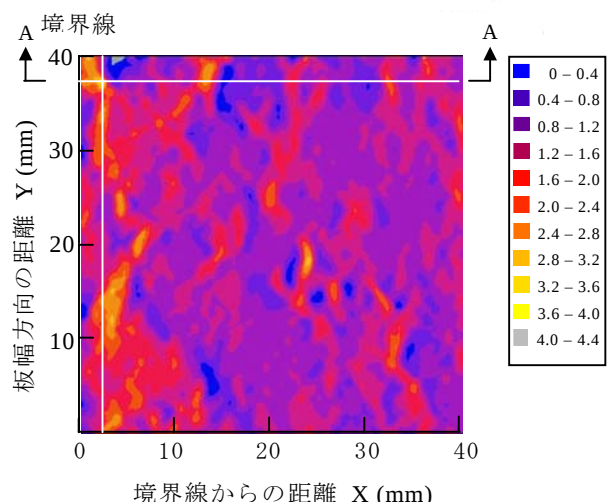


図-4 総断面の応力集中係数の分布

キーワード 腐食, 応力集中, 鋼構造部材, 腐食形状, 工学モデル

連絡先 〒302-0038 茨城県取手市下高井 1020 (株)東京鐵骨橋梁 橋梁事業本部 TEL 0297-78-1119

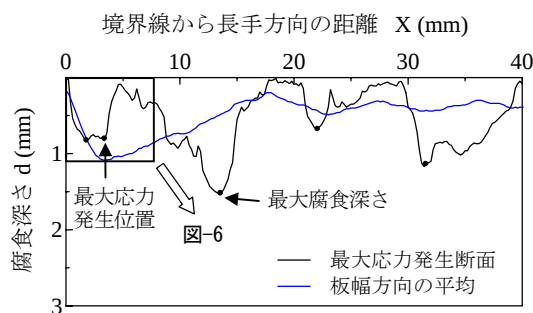
いて検討した⁴⁾。さらに、純断面の最大応力集中係数 $K_{t(n),max}$ を残存板厚の影響を受けない腐食表面性状の凹凸のみによる応力集中係数（以下、腐食表面性状による最大応力集中係数 $K_{t(gcp),max}$ と呼ぶ.）と腐食後の残存板厚による応力集中係数を定める残存板厚係数 α を用いた残存板厚による最大応力集中係数 $K_{t(gcp),max}$ を提案することで、次式により定義した⁴⁾。

$$K_{t(g),max} = K_{t(n),max} \times t_0 / t_d \quad \text{—— (1)}, \quad K_{t(n),max} = K_{t(gcp),max} \times K_{t(pt),max} \quad \text{—— (2)}$$

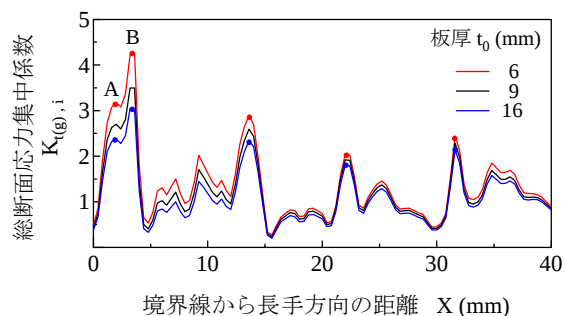
$$K_{t(pt),max} = \alpha / t_d + 1 \quad \text{—— (3)}$$

$K_{t(g),max}$ ：総断面の最大応力集中係数， $K_{t(n),max}$ ：純断面の最大応力集中係数， t_0 ：腐食前の板厚（mm）
 t_d ：腐食後の板厚方向の平均板厚（mm）， $K_{t(gcp),max}$ ：腐食表面形状による最大応力集中係数，
 $K_{t(pt),max}$ ：残存板厚による最大応力集中係数， α ：残存板厚係数

4. 局部腐食孔のモデル化 腐食表面形状による最大応力集中係数 $K_{t(gcp),max}$ の推定方法を示すことで、腐食形状の工学的なモデル化について検討する。無限板が引張りまたは圧縮力を受ける場合、遠方に生じる一軸一様引張り応力を基準応力にとると、最大応力点に生じる切線応力の示す応力集中係数は、楕円の深さを b 、楕円の幅を a 、底の曲率半径を ρ とすると、理論的に b/a または b/ρ によって次式で与えられる。



(a) 腐食深さ



(b) 総断面応力集中係数

図-5 板幅方向の腐食深さと応力集中係数

$$K_{t(gcp),max} = \left(\frac{2b}{a} + 1 \right) = 1 + 2\sqrt{\frac{b}{\rho}} \quad \text{—— (4)}$$

$K_{t(gcp),max}$ ：腐食表面形状による最大応力集中係数

a ：楕円の幅（mm）， b ：楕円の深さ（mm）

ρ ：底の曲率半径（mm）

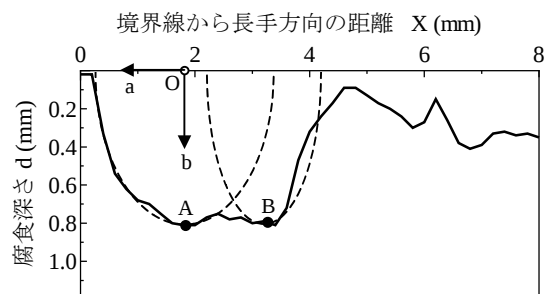


図-6 腐食表面形状の工学モデル

図-2 および図-4 に示す A-A 断面の腐食深さと総断面の応力集中係数を図-5 (a) および (b) に示す。図中の●印はピーク応力の発生位置を示している。ピーク応力の発生位置は腐食孔の底面の位置と一致している。ここで、 $K_{t(gcp),max}$ と b は既知であるため、式(4)から a または ρ を推定する。その結果を図-6 に破線で示す。図中の実線は腐食深さであり、破線は式(4)から求めた腐食表面形状の工学モデルを示している。両者は比較的良く一致しているため、応力方向の腐食孔の幅とその深さを計測することで、腐食表面形状の応力集中係数を求めることができると考えられる。また、これに式(1)の平均板厚および式(3)に示す残存板厚の影響を考慮することで、腐食鋼板の応力集中を簡易に評価できる可能性がある。しかし、腐食表面形状は、腐食深さと腐食孔の幅、隣り合う腐食孔の位置など実際には周囲の腐食孔の形状も影響すると考えられる。これら詳細な検討および式(3)に示す残存板厚係数の評価方法については今後検討する必要がある。

5. まとめ (1) 局部腐食した鋼構造部材の最大応力集中係数の評価方法を明らかにした。(2) 純断面の応力集中係数に残存板厚の影響を考慮することで、腐食鋼板の応力集中を簡易に評価できる可能性を示した。

参考文献 1) 貝沼重信，細見直史，金仁泰，伊藤義人：鋼構造部材のコンクリート境界部における経時的な腐食挙動に関する研究，土木学会論文集，No.780/I-70，pp.97-114. 2005.，2) 貝沼重信，細見直史：鋼構造部材のコンクリート境界部における経時的腐食表面性状の数値シミュレーション，土木学会論文集 A，Vol.6，No.2，pp.440-453，2006.，3) 細見直史，貝沼重信：コンクリート境界部で腐食した鋼構造部材の疲労挙動に関する基礎的研究，土木学会論文集 A，Vol.64，No.2，2008.，4) 細見直史，貝沼重信：鋼構造部材のコンクリート境界部における応力集中係数の評価・予測手法に関する研究，土木学会論文集 A，2009.（投稿中）