コンクリート境界部で腐食した鋼構造部材の応力集中係数の評価・予測に関する研究

(㈱東京鐵骨橋梁 正会員 細見 直史 九州大学 正会員 貝沼 重信

40

\$ 9

40

40

単位:mm

40

1.はじめに 下路トラス橋の斜材に代表される鋼構造部材のコンクリート境界部では,雨水や凍結防止剤が長期 間停滞するなど,厳しい劣化環境に曝される.そのため,塗膜劣化後,この部位には局所的かつ急速に進行するマ クロセル腐食が生じる¹⁾.この腐食が生じると,局部的な断面欠損に加え,腐食損傷部に高い応力集中が生じる. そこで,著者らは境界部の腐食特性や疲労挙動について基礎的な検討を行なってきた.本研究では腐食させた試験 体¹⁾および数値シミュレーション²⁾で生成した腐食表面性状に対してFEM応力解析を実施した.その結果に基づき, コンクリート境界部で腐食した鋼構造部材の経時的な応力集中係数の評価・予測方法を検討した.

2.試験体 著者らは境界部の経時的な腐食挙動を明らかにするため,図-1 に示す JIS 1A 号試験片にコンクリートを巻きたてた試験体の腐食促進試験を行なった¹⁾.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.S6-2400cycle 終了後における試験体の腐食表面の測定結果を図-2 に示す.この試験体の境界部には,著しい局部腐食が生じている.

腐食後の鋼板の疲労挙動を明らかにするため,腐食試験終了後の試験体を用いて疲労試験を行なった³⁾.図-2 の赤矢印は,疲労き裂が発生した位置を示しており,青矢印は,最大腐食深さの位置を示している.疲労き裂が発 生した位置は,最大腐食深さの位置と一致していない.これは,腐食表面性状の応力集中が腐食孔の深さのみでは なく,腐食孔の寸法や孔底の曲率半径等の形状に依存するためである.図-2の黒矢印は,板幅方向の平均腐食深さ の最大値 *d_{c,max}*を示している.*d_{c,max}*の位置は,き裂発生位置と良く一致している.この傾向は試験体によらず同様 であった.したがって,境界部では*d_{c,max}*の近傍で疲労き裂が発生するものと考えられる.

<u>3.腐食表面の数値シミュレーションとFEM応力解析</u>²⁾ 腐食表面性状の数値シミュレーションは,腐食した試験体の表面性状から抽出した各空間統計量(平均腐食深さ,レンジおよびシル)に基づく統計学的手法を適用することで実施した.この数値シミュレーションにより,S6-cycleによる腐食深さの経時性と空間的自己相関を考慮した腐 食表面性状を生成した.腐食試験体¹⁾と数値シミュレーションによる腐食表面性状²⁾の応力分布を求めるために,



図-1 供試体の形状および寸法²⁾(単位:mm)



キーワード 腐食,疲労,応力集中係数,鋼構造部材,コンクリート,境界部 連絡先 〒302-0038 茨城県取手市下高井 1020 (株)東京鐵骨橋梁 技術本部 技術研究所 TEL 0297-78-1113



図-5 腐食サイクル数と最大応力集中係数の関係

FEM応力解析を行なった.解析モデルは図-1の境界線から右側に40mmの範囲内をモデル化することで作成した. 要素には8節点ソリット要素を用いた.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.なお,最小要素寸法は,0.4×0.4×0.4mmとした.腐食試験体の応力分布を図 -4に示す.図中の 印は最大応力の発生位置を示している.試験体には26MPaの最大応力が生じている.その発生 位置は,図-2で示したき裂の発生位置と良く一致している.したがって,本研究で用いた腐食表面性状のモデル化 や解析条件モデルは,妥当であると言える.

4.応力集中係数の評価・予測 ここで,腐食による鋼構造部材の断面減少量と腐食表面の応力集中を検討するため,板厚減少の考慮の有無における応力集中係数を考える.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.)は,腐食前の断面の公称応力に対する最大応力の比で定義した.また,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.)は,腐食後の断面の公称応力に対する最大応力の比で定義した.なお,これら最大応力は FEM 応力解析の結果から求めている.

腐食サイクル数 n_c と最大応力集中係数の関係を図-5示す.図-5(a)は総断面の最大応力集中係数 $K_{t(g,max)}$ を示している.図中の実線と点線は、 n_c とシミュレーションによる $K_{t(g,max)}$ の回帰直線 m とその $m \pm 2s$ (s:標準偏差)である.また、破線は腐食促進試験による $K_{t(g,max)}$ の回帰直線を示している、シミュレーションおよび腐食試験体に対する $K_{t(g,max)}$ は、 n_c が増加するにしたがってばらつきが大きくなるものの、 n_c とほぼ比例関係にある.また、試験体とシミュレーションの回帰直線は一致しており、シミュレーションは腐食試験体の傾向を良く表している.

図-5(b)に n_c と純断面の最大応力集中係数 $K_{t(n,max)}$ の関係を示す.S6-2400cycle 以降に相当するシミュレーションの $K_{t(n,max)}$ は,図-5(a)の $K_{t(g,max)}$ と同様に n_c と線形増加の傾向にあるとは言えない.そこで, n_c とシミュレーションによる $K_{t(n,max)}$ の累乗回帰を行なった.腐食試験体およびシミュレーションの累乗回帰の結果は,ともに高い相関を示していることから, $K_{t(n,max)}$ は n_c と累乗関係で表すことができる.以上から,コンクリート境界部で腐食した鋼構造部材の応力集中係数は,腐食が進むにつれ板厚減少による公称応力の増加の影響が大きくなるものと考えられる.

次に,境界部で腐食した鋼構造部材の応力集中係数の評価・予測について検討する.腐食サイクル数 n_c は塗膜劣化後の供用期間 t_s と実環境に対する腐食促進試験の腐食促進倍率 A_c を用いて表すことができる¹⁾.境界部で腐食した鋼構造部材の $K_{t(g_n,max)}$ および $K_{t(n,max)}$ は, A_c と t_s を用いることで,次式で示すことができる.

 $K_{t(g,\max)} = 1.46 \times t_s / A_c + 1$ (1), $K_{t(n,\max)} = 1.71 \times (t_s / A_c)^{0.65} + 1$ (2) $K_{t(g,\max)}$: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_s :塗膜劣化後の供用年数(年)

 A_c :腐食促進倍率

例えば,凍結防止剤が散布される下路トラス橋の斜材の平均的な腐食環境は,A_cが7に相当するため¹⁾,塗膜 劣化後10年では,K_{t(g,max}は約3となる.また,20年と50年については,それぞれ約5および約11となる.

<u>5.まとめ</u>(1)最大発生応力と最大腐食深さの位置は一致しない.(2)腐食サイクル数と最大応力集中係数との 関係を定式化した.(3)コンクリート境界部で腐食した鋼部材に対する応力集中係数の評価・予測方法を提案した.

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.62No.2,pp.440-453,2006.,3) 貝沼重信,細見直史,金仁泰,伊藤義人:コンクリート境界部を有する鋼 構造部材の腐食後の疲労挙動に関する基礎的研究,第60回年次学術講演会概要集,I-038,2005.