

腐食鋼板の疲労強度評価方法構築の試み

法政大学大学院 学生会員 ○田村 修一
(株)宮地鐵工所 正会員 林 暢彦

法政大学 正会員 森 猛
横浜国立大学大学院 濱田 哲

1. はじめに

腐食は鋼橋の損傷の中でも特に事例が多く、安全性や耐久性を左右する重要な因子である。著者らは、腐食鋼板の疲労試験と 3 次元 FEM 解析を行い、その疲労強度は腐食表面形状による応力集中を考慮した最大応力範囲で整理できることを示した。しかし、腐食鋼板の応力集中係数に対する支配因子、またそれを用いた応力集中係数算定式を提示するには至らなかった。本研究では、腐食鋼板の疲労強度評価方法の確立を目的とし、腐食鋼板の疲労試験と弾性有限要素応力解析を行う。

2. 試験体

試験体は、著しい腐食が生じたために取り替えられたトラス橋の上横構から、写真 1 に示す JIS1A 号試験片（幅 40mm、標点間距離 200mm）を 36 体採取した。腐食した鋼板の表面形状測定には、レーザ変位計を用いた。腐食表面形状の測定は、試験体表裏面の 40mm×200mm の領域で行った。

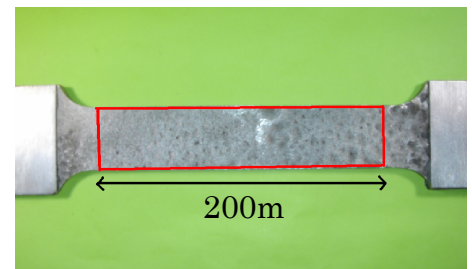
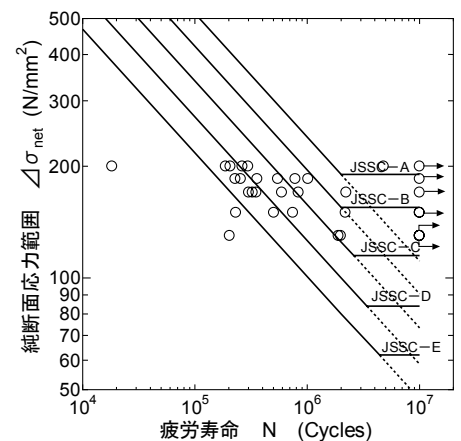


写真 1 試験片

3. 疲労試験

疲労試験は電気油圧サーボ式材料試験機を用いて行った。荷重範囲は、腐食による断面欠損率が最大の部分での純断面応力範囲 $\Delta\sigma_{net}$ が 130、150、170、185、200(N/mm²)となるように設定した。疲労試験結果を図 1 に示す。図中の実線は、日本鋼構造協会の疲労強度指針（JSSC 指針）で規定されている設計 $\Delta\sigma-N$ 関係であり、指針の付録では B 等級が適切との試験結果が示されている。しかし、B 等級以下のデータも多数あり、またばらつきも大きい。

図 1 $\Delta\sigma_{net}-N$ 関係

4. 試験体の応力解析

腐食鋼板の表面形状測定結果に基づいて要素分割（図 2）を行った 36 のモデルを対象として、3 次元弾性有限要素応力解析を行った。その際、ポアソン比は 0.3、弾性係数は 2.0×10^5 N/mm² とした。荷重は、解析モデル長手方向に様な引張応力与えた。用いた要素は 8 節点固体要素である。

その結果求められた最大の応力範囲と疲労寿命の関係を示したのが図 3 である。この結果から、応力集中を加味した最大応力範囲で疲労照査を行う場合の強度等級は A が妥当と考えられる。図中の破線は、眼鏡形の切欠きを有する鋼材の疲労試験から求められている $\Delta\sigma_{max}-N$ 関係であり、この結果から、応力集中を加味した最大応力範囲で疲労照査を行う場合、この関係はデータのほぼ下限に位置しており、この関係を用いて疲労強度の評価を行うことも考えられる。

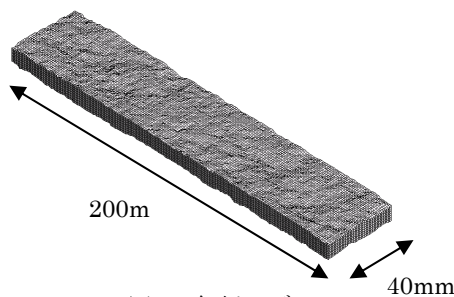
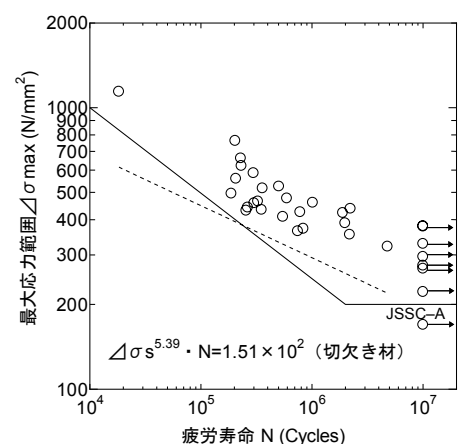


図 2 解析モデル

図 3 応力集中が最大の点での $\Delta\sigma_{max}-N$ 関係

キーワード : 腐食鋼板、腐食表面形状、板厚変動係数、疲労強度、応力集中係数

連絡先 : 〒184-8584 東京都小金井市梶野町3-7-2 法政大学工学部 TEL : 042-387-6287

5. 応力集中係数の支配因子の検討

腐食表面形状の特徴である腐食深さの度数分布、着目点の腐食深さと隣接点の腐食深さの関係をもとに、著者らは腐食形状を模擬するプログラムを開発した。このプログラムを用いて、様々な腐食表面形状を有する解析モデルを200体作成した。解析モデルの寸法は試験体モデルと同様である。

村中らは、腐食鋼板の疲労強度は亀裂発生位置における荷重軸方向（板長手方向）の板厚変動係数から推定した応力集中係数 K_t を用いて整理することができるとしている。試験体モデル、シミュレーションモデルの解析より得られた応力集中係数（腐食前の断面を基準として算出した係数）と応力集中位置における荷重軸方向の板厚変動係数の関係を図4に示す。板厚変動係数が増加するにしたがって、応力集中係数も高くなる傾向が認められるが、データのばらつきは大きい。これは、一方向の板厚変動係数のみでは腐食表面形状による影響が十分に考慮できないためとも考えられる。

応力集中係数は、腐食表面形状に依存すると考えられる。そのため、応力集中に対する腐食表面形状の影響を修正断面欠損率を算出する領域での板厚変動係数（修正板厚変動係数）で考慮することを考えた。修正腐食断面欠損率とは板幅（40mm）の0.5倍の領域での平均的な腐食断面欠損率のうちの最大のものである。公称断面を基準として算出した応力集中係数と修正板厚変動係数の関係を図5に示す。板厚変動係数で整理した場合と比べて、高い相関係数となっている。しかし、この場合にもデータのばらつきは大きく、応力集中係数を整理するための適切なパラメータとは言えない。

6. 簡便な疲労強度評価方法の提案

実構造物を対象とした場合、応力集中係数を求めること、また最小の断面積を求めることは困難である。ここでは、最小板厚を有効板厚と考えた応力範囲（有効応力範囲）で疲労試験結果を整理することを考えた。有効応力範囲 $\Delta\sigma_{net}$ と疲労寿命 N の関係を図6に示す。応力集中を加味した最大応力範囲で整理した場合と比べてデータのばらつきは大きい、純断面応力範囲で整理した場合と比べて試験データのばらつきは小さい。この場合、データの下限がほぼD等級に位置している。ここでは、最小板厚に基づく有効応力範囲を用い、疲労強度等級をDとして腐食鋼板の疲労強度評価を行うことを提案する。

また、有効板厚を算出する領域による影響を調べるため、最小板厚及びその周辺の8点（3mmの範囲）、24点（5mmの範囲）の板厚に着目し、算出領域による有効板厚（9、25点着目の場合は平均）の変化を図7に示す。誤差範囲は小さいため、板厚を算出する領域を多少変えても、 $\Delta\sigma_{net}$ - N 関係はほぼ同じになる。

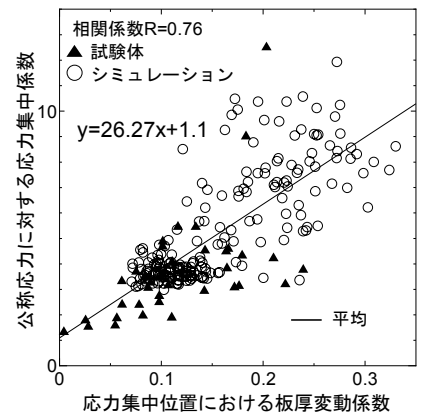


図4 応力集中位置における荷重軸方向の板厚変動係数と応力集中係数の関係

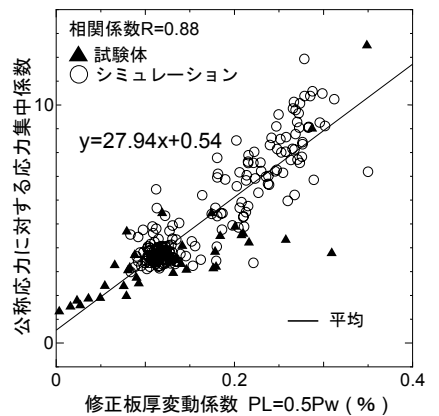


図5 板幅の0.5倍の領域の修正板厚変動係数と応力集中係数の関係

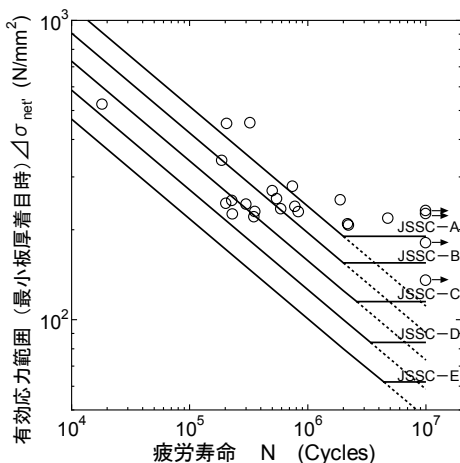


図6 最小板厚着目時の $\Delta\sigma_{net}$ - N 関係

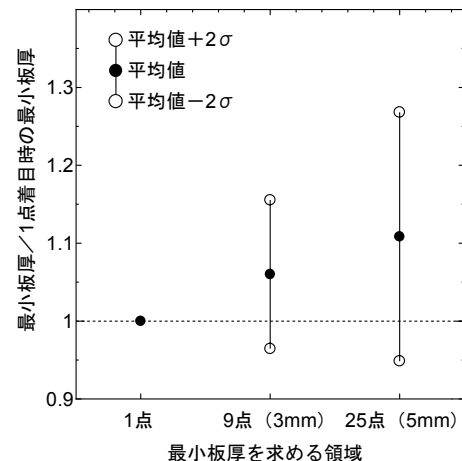


図7 有効板厚算出領域による影響