

腐食鋼板の疲労強度評価法

法政大学 学生会員 ○坂口 了太

法政大学 正会員 森 猛

(株)宮地鐵工所 正会員 林 暢彦

1. はじめに

鋼部材に発生する腐食は鋼橋の損傷事例のなかでも特に多く、安全性や耐久性を左右する重要な因子であり、腐食が原因で架け替えに至った例もある。日本鋼構造協会の「鋼構造物の疲労設計指針・同解説」(JSSC 指針)では、腐食した鋼材の疲労強度評価を、純断面応力範囲を用いて疲労強度等級 B として行うこととしている。しかし、腐食した鋼材の表面形状は様々であり、それにより疲労強度の支配因子である応力集中が異なることも考えられる。本研究では腐食した鋼材の疲労強度を整理するためのパラメータと腐食の程度と疲労強度の関係を明らかにすることを目的とし、著しい腐食が発生したために撤去されたトラス橋の上横構から切り出した腐食鋼板の疲労試験、そしてそれらを対象とした3次元弾性有限要素応力解析を行う。

2. 試験体

上横構から写真1に示す JIS1A 号試験片(幅 40mm, 標点間距離 200mm)を採取した。試験体総数は 19 体で、それらの試験体は様々な腐食表面形状を有している。ここでは腐食の形態によって、1箇所腐食が集中している局部腐食、局部腐食が何箇所かに点在する部分腐食、表面全体が腐食している全面腐食の3タイプに試験体を分類した。

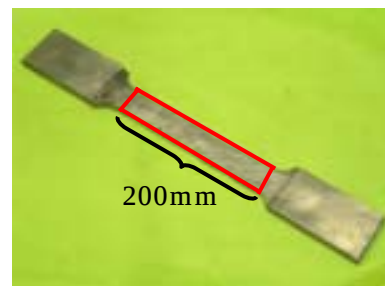


写真1 試験片

3. 有限要素解析

各試験体表面での応力性状を明らかにする目的で、レーザ変位計を用いて計測した表面形状を利用して要素分割を行い(図1)、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 $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ とした。用いた要素は 8 節点固体要素である。要素寸法による応力集中係数の違いを調べる目的で、3体の試験体について要素寸法を 1.0mm, 0.5mm, 0.2mm, 0.1mm とし解析を行った。ここで求めた応力集中係数と要素寸法の関係を図2と図3に示す。図2では腐食前の断面積を基準とした応力(総断面応力)で、図3では腐食で減少した断面を基準とした応力(純断面応力)で解析から得られた最大の応力を無次元化することにより応力集中係数を求めている。いずれの場合も、要素寸法が小さくなるにしたがって、応力集中係数は高くなっているが、その程度は3体の試験体でほぼ同じである。したがって、試験体間の応力集中係数の相違・相対比較は、要素寸法を 1mm 程度とすれば可能と考えられる。ここでは、疲労試験を行った 19 体の試験体すべてについて要素寸法を 1.0mm とし応力解析を行った。

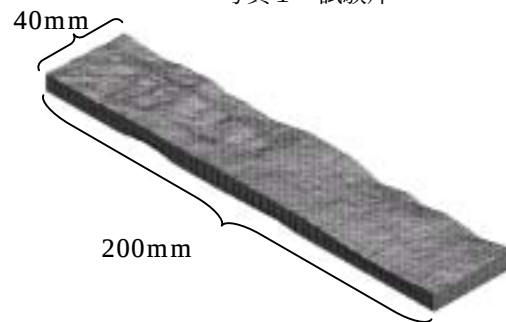


図1. 解析モデル

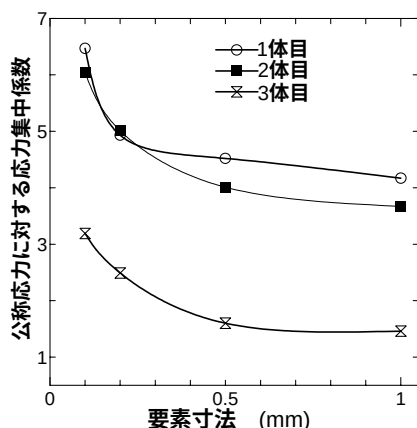


図2 応力集中係数に対する要素寸法の影響 (公称応力基準)

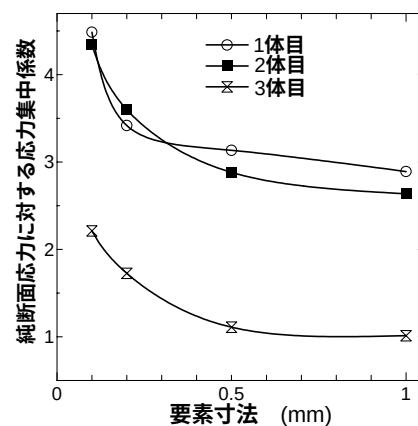


図3 応力集中係数に対する要素寸法の影響 (純断面応力基準)

キーワード: 腐食, 疲労強度, 表面形状, 応力集中係数, 最大腐食断面欠損率

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 Pone042-387-6287

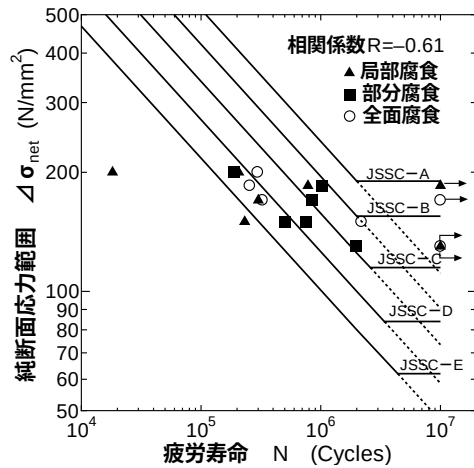


図4 純断面応力範囲で整理した疲労試験結果

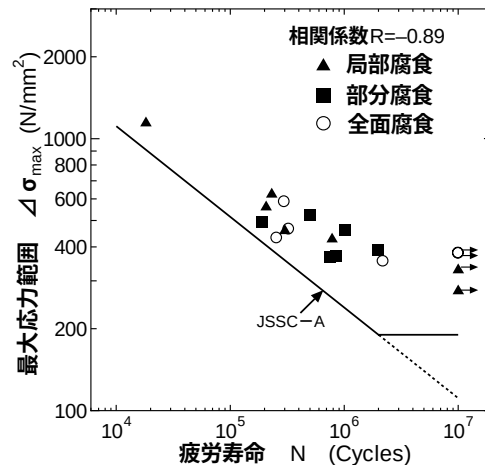


図5 最大応力範囲で整理した疲労試験結果

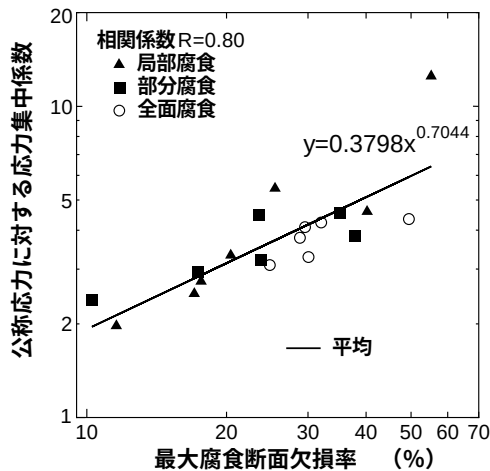


図6 応力集中係数（公称応力基準）

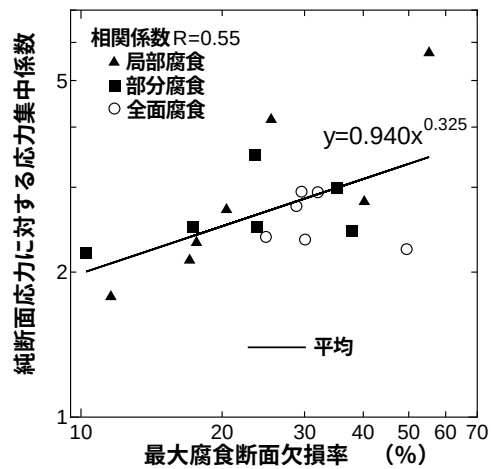


図7 応力集中係数（純断面応力基準）

4. 疲労試験と疲労強度評価パラメータ

疲労試験は、電気油圧サーボ式材料試験機を用いて、繰り返し速度を 10Hz とした片振り引張荷重下で行なった。その際の荷重は、腐食による断面欠損が最も大きい部分での純断面応力 $\Delta \sigma_{\text{net}}$ が 130, 150, 170, 185, 200 N/mm² となるように設定した。疲労試験より求めた純断面応力範囲 $\Delta \sigma_{\text{net}}$ と疲労寿命 N の関係を図4に示す。図中のマークは、先に分類した腐食形態により変えている。また、図中には JSSC 指針に示されている疲労強度等級 A～E の設計 $\Delta \sigma_{\text{net}}-N$ 関係も示している。ここで得られた結果は B 等級を満たさないものが大半であり、JSSC 指針にしたがえば危険な評価を行なうことになる。また、 $\Delta \sigma_{\text{net}}$ と N の相関係数も 0.61 と低いため、純断面応力範囲をそのまま疲労強度評価パラメータとして用いることは不適切と判断される。図5は要素寸法を 1mm とした解析から求めた最大応力範囲 $\Delta \sigma_{\text{max}}$ で疲労試験結果を整理したものである。 $\Delta \sigma_{\text{net}}$ で整理した場合と比べて、相関係数が 0.89 と高い。したがって、 $\Delta \sigma_{\text{max}}$ が腐食鋼板の疲労強度を評価するためのパラメータとしてより適切と考えられる。最大応力範囲 $\Delta \sigma_{\text{max}}$ を求めるための応力集中係数を、最大腐食断面欠損率から推定することを考えた。最大腐食断面欠損率とは最大の腐食断面積を腐食前の断面積で除したものである。図6と図7に応力集中係数と最大腐食断面欠損率の関係を示す。図6 公称応力、図7では純断面応力を基準として応力集中係数を求めている。いずれの場合も、最大腐食断面欠損率が高くなるにしたがって、応力集中係数も高くなる傾向が認められるが、両者とも応力集中係数のばらつきが大きく、最大腐食断面欠損率から $\Delta \sigma_{\text{max}}$ を求めることは困難である。また、腐食形態による応力集中係数の顕著な差も認められない。

5. まとめ

腐食鋼板の疲労強度は、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。JSSC 指針に従って、最も腐食による断面欠損が著しい部分の純断面応力範囲を用い、その疲労強度等級を B とすることは、危険側の評価となる。