

腐食鋼板の疲労強度評価法に関する一考察

宮地鐵工所 正会員 ○ 林 暢彦
法政大学 正会員 森 猛

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）の資料編には、いくつかの腐食鋼材の疲労試験データが示され、最も腐食の著しい断面での純断面応力範囲で整理すれば、疲労強度等級 B の設計疲労曲線が試験データの下限に位置すると述べられている。ここでは、腐食した鋼材の疲労強度を整理するためのパラメータ、そして疲労強度と腐食の程度を明らかにすることを目的とし、著しい腐食のために撤去されたトラス橋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実施することにより腐食鋼板の疲労強度評価法についての考察を行った。

2. 試験体と有限要素解析

上横構から写真 1 に示す JIS 1A 号試験片（幅 40 mm、標点間距離 200 mm）を 19 体採取し、それらを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 タイプに分類した。

各試験体表面での応力性状を明らかにする目的で、レーザ変位計により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。解析に用いたポアソン比は 0.3、弾性係数は $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ とした。使用した要素は 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 1.0 mm、0.5 mm、0.2 mm、0.1 mm として解析を行い検討した結果、試験体間の応力集中係数の相違・相対比較は要素寸法を 1 mm 程度とすれば可能という結果が得られた。そのため、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 1.0 mm として解析を実施した。

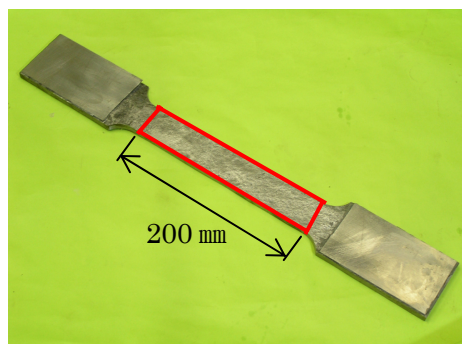


写真 1 試験片

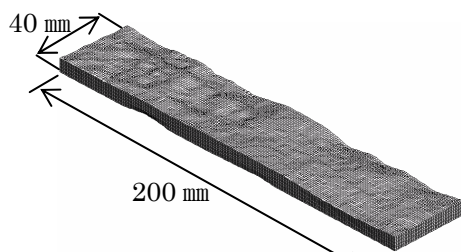


図 1 解析モデル

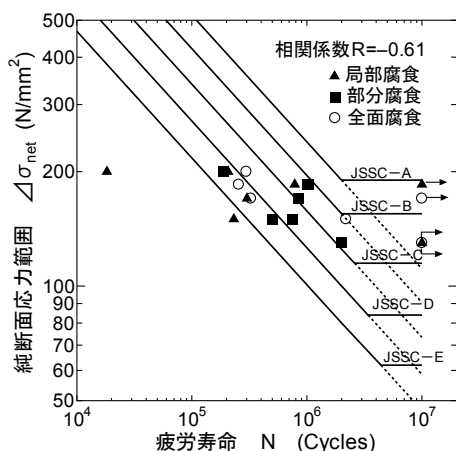


図 2 純断面応力範囲で整理した疲労試験結果

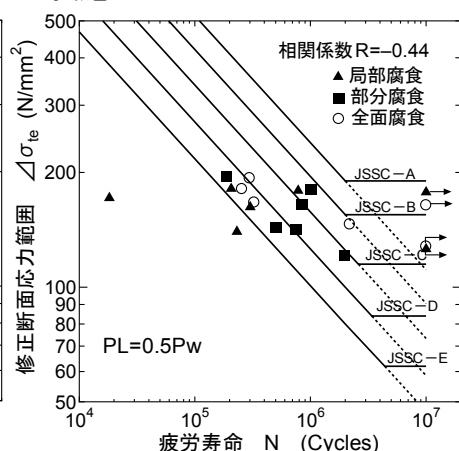


図 3 修正腐食断面欠損率 (PL=0.5PW) で整理した疲労試験結果

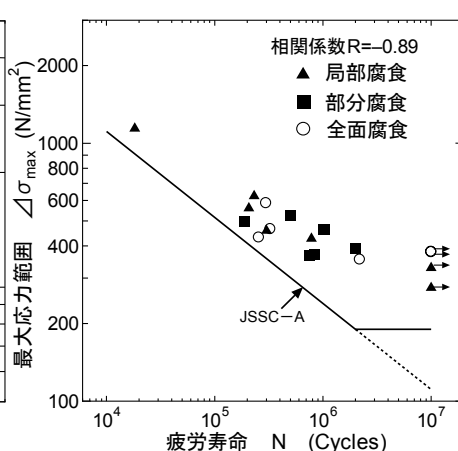


図 4 最大応力範囲で整理した疲労試験結果

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 〒290-8580 千葉県市原市八幡海岸通 3 番地 宮地鐵工所 TEL 0436-43-8110

3. 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範囲 $\Delta \sigma_{net}$ が 130, 150, 170, 185, 200N/mm² となるよう設定した。

疲労試験より求めた純断面応力範囲 $\Delta \sigma_{net}$ と疲労寿命 N の関係を図 2 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 $\Delta \sigma_{net}$ — 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 指針に示されているデータとは異なる。また、 $\Delta \sigma_{net}$ と N の相関係数も 0.61 と低いため、純断面応力範囲 $\Delta \sigma_{net}$ 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。

既往の研究で腐食鋼板の引張耐力や降伏耐力は板長手方向長さ(PL)を板幅(PW)の 0.5 倍とした時の領域での修正腐食断面欠損率をパラメータとして整理でき、修正腐食断面欠損率分だけ板厚を一様に減じた板の引張耐力で整理できるとしている。本研究においても同様の考え方を用い、板長手方向長さを板幅の 0.5 倍とした領域での修正腐食断面欠損率を求め、欠損率分だけ一様に板厚を減じた断面の応力範囲 $\Delta \sigma_{te}$ で疲労試験結果を整理した。その結果を図 3 に示す。腐食鋼板の引張り耐力評価するうえで最適とされている板幅の 0.5 倍の領域の修正腐食断面欠損率を用いたものでも、相関係数は 0.44 と低く、腐食鋼板の引張耐力を評価するパラメータとして提案されている修正腐食断面欠損率は、腐食鋼板の疲労強度を評価するうえでのパラメータには適していないと言える。

図 4 は要素寸法を 1.0mm とした解析から求めた最大応力範囲 $\Delta \sigma_{max}$ で疲労試験結果を整理したものである。前述の $\Delta \sigma_{net}$ 、 $\Delta \sigma_{te}$ で整理したものとは比べて、相関係数が 0.89 と高い。したがって、最大応力範囲 $\Delta \sigma_{max}$ 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。

4. 応力集中係数の推定

最大応力範囲 $\Delta \sigma_{max}$ 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 5 と図 6 に応力集中係数と最大腐食断面欠損率の関係を示す。図 5 は公称応力、図 6 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 $\Delta \sigma_{max}$ を求めることは困難である。また、鋼材表面の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、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。
- 腐食鋼板の引張耐力や降伏耐力を評価する上で提案されている修正腐食断面欠損率は、腐食鋼板の疲労強度を評価するパラメータとして適切ではない。
- 要素寸法を 1.0 mm とした有限要素解析で得られた応力集中係数を用いた最大応力範囲で疲労強度を整理すると、腐食鋼板の疲労強度は JSSC 指針における強度等級 A とすれば、安全側の評価となる。

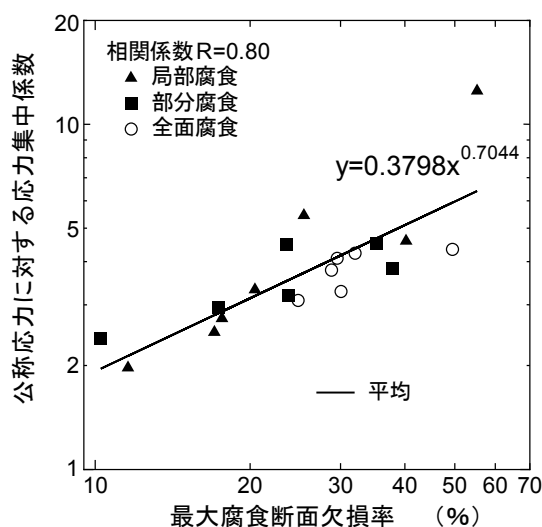


図 5 応力集中係数（公称応力基準）

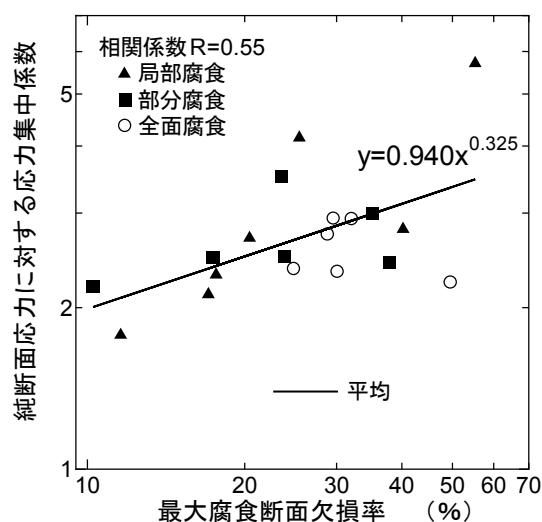


図 6 応力集中係数（純断面応力基準）