

鋼の微視組織因子を考慮した疲労寿命予測モデルの開発

03140926 上田航也
指導教員 柴沼一樹 講師

1. 背景・目的

構造物や機械部品のほとんどの破壊現象の原因として、疲労が問題となっている。疲労の原因として構造設計や維持管理なども考えられるが、先に述べた問題をすべて防ぐためには、材料の疲労に対する強度の向上が必要であると考えられる。材料の疲労現象の原因には、微視組織の影響や施工・工作制度、外力変動などが考えられるが、なかでも微視組織の影響は材料自体の性質を理解するうえでも最も本質的に重要であると考えられる。

疲労亀裂の形成と成長の初期段階において、微視組織は支配的な影響を持っているため、高サイクル疲労の抵抗値を向上する設計変数として、マイクロ組織情報を用いたアプローチによって研究がなされている。

すべり帯を考慮したモデルでは、Tanaka *et al.* がすべり帯に基づく疲労亀裂のメカニズムを模した、亀裂と粒界の相互作用モデル[1]を提案しており (Fig.1), これを元に多くの研究がなされている。しかし、このモデルは、現象を理解するためには画期的である一方、実用の点において未だ課題が残されている。また、疲労寿命は微視組織の影響を受けるため、本質的にばらつきを持つ。微視組織の影響によるばらつきを評価したモデルが Shibamuna *et al* [2,3]などによって提案されている。

本研究では、それらに基づき微視的組織を考慮したフェライト・パーライト鋼の疲労寿命予測を行うモデルの構築を行う。

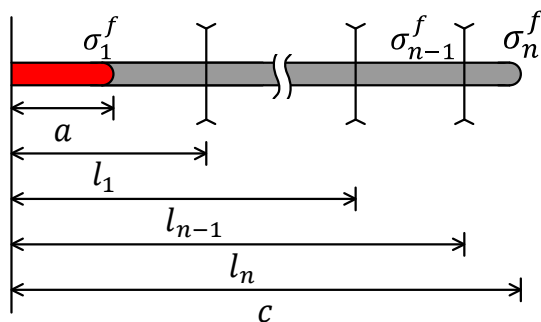


Fig.1 crack tip slip band model

2. モデル

本研究では、亀裂とすべり帯の相互作用モデル[1]を拡張することによって、微視的な組織が寿命に与える影響を考慮したモデルを作成する。本研究では疲労亀裂の発生進展課程に基づき、疲労亀裂が発生する部材表面部と、亀裂が発生した面に垂直な面での2次元×2次元でマイクロ組織をモデル化する。

(Fig.2)

計算手順を以下に示す。

1. 疲労亀裂の発生する可能性がある場所をアクティブゾーンとして定義する。
2. アクティブゾーンを面積要素に分割する。
3. 面積分率に応じて面積要素にモンテカルロ法を用いて粒を充填し、ランダムに結晶方位を与える。
4. 有限要素解析によって面積要素ごとの応力テンソルを取得する。
5. 各粒において応力テンソルと結晶方位から亀裂発生を判定する。
6. 亀裂が発生すると、亀裂が発生した面と垂直方向に、亀裂の進展を考える。
7. 進展を考える際の粒は Fig.3(a)のような粒の配置を Fig.3(b)のように粒を平均化して、亀裂の発生した粒を中心に対称な粒の並びを生成する。この過程は Fig.4 のようにして行う。これにより、1次元の亀裂とすべり帯の相互作用モデルを2次元に拡張している。
8. パリス則に基づき疲労寿命を予測する。

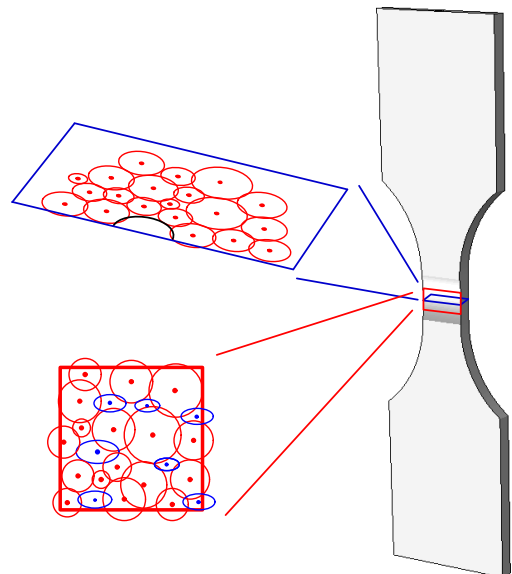


Fig.2 Schematic diagram of 2D×2D model

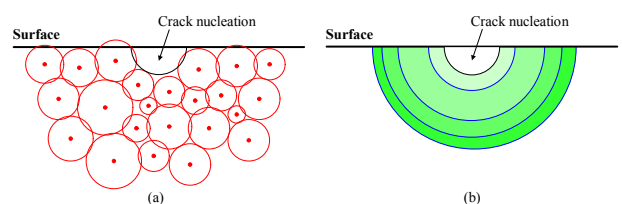


Fig.3 Schematic diagram of grains

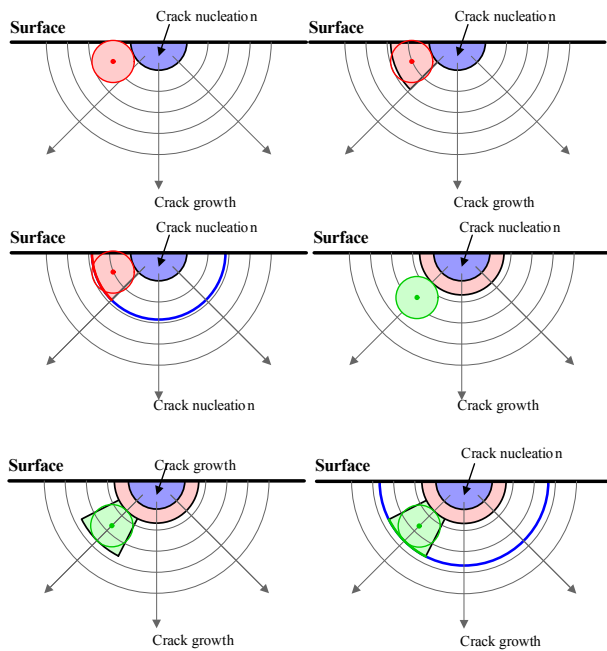


Fig.4 Schematic diagram of arrangement of grains

3. 実験

炭素濃度および粒径分布の異なる3種類の鋼種を用いて疲労試験を行った。疲労試験において、ある回数で試験片の表面を観察し、試験片表面上の疲労亀裂の進展を観察した。亀裂の発生点を観察し、亀裂がフェライト粒内部から発生しているのを確認した。

また、モデルに必要なマイクロ情報を得るため、EBSD法による観察からフェライトの粒径分布を取得し、光学顕微鏡による観察と画像処理を用いてパーライトバンド幅の分布を取得した。

4. 提案モデルの再現解析

亀裂の進展を求める際に用いるパラメータは鋼材Bを用いた試し計算により行った。この際、実験の結果を反映し、フェライトからのみ亀裂が発生するものとした。実験結果と整合するように、 C, n の値の求めた。その結果、 $C=2.55, n=3.2 \times 10^6$ を用いることとした。この時の予測結果を Fig.5 に示す。鋼材Bで合わせこんだ C, n を用いて、鋼材A, Cの疲労寿命予測計算を行った。その結果を Fig.6, 7 に示す。鋼材A, Cともに実験結果と良好な精度で一致し、本モデルは微視的な疲労を再現しているといえる。

5. 結論

フェライト・パーライト鋼を対象に、亀裂とすべり帯の相互作用モデルを拡張することで、微視的要素が与える影響を考慮した疲労寿命予測モデルを構築した。疲労試験により、S-N曲線を取得するとともに、詳細観察を行うことでフェライトから亀裂が発生することを確認した。本モデルによる疲労寿

命の予測結果は、良好な精度で実験結果と一致した。

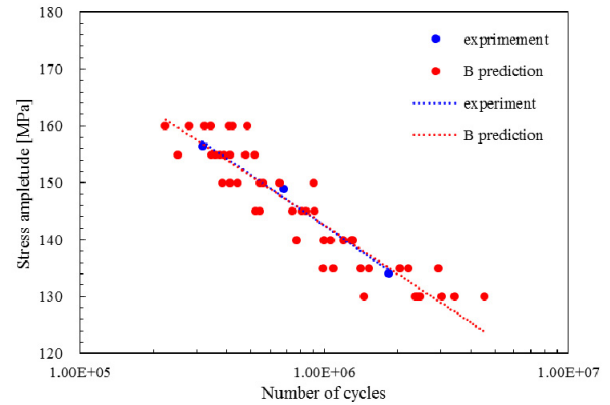


Fig.5 Result of calibration ($n = 2.55, C = 3.2 \times 10^6$)

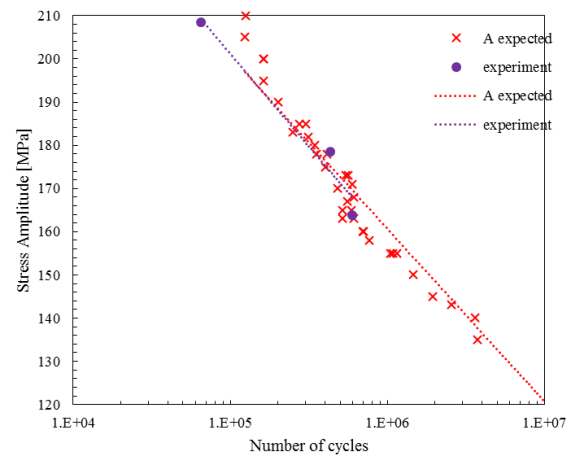


Fig.6 Comparison between experimental and predicted results of steel A

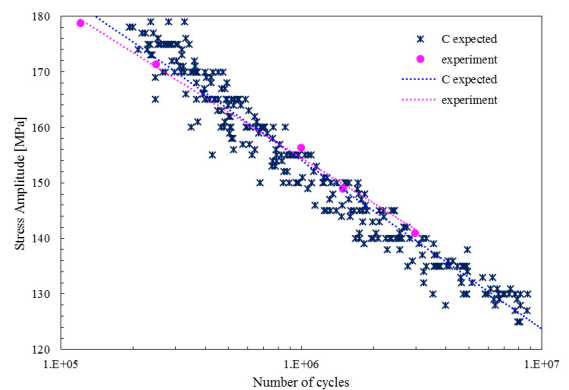


Fig.7 Comparison between experimental and predicted results of steel C

参考文献

- 1) K. Tanaka, T. Mura, Journal of Applied Mechanics, Vol.48, pp.97-103, 1981.
- 2) K. Shibanuma, S. Aihara, K. Suzuki. *Engineering Fracture Mechanics*, 2015.
- 3) Y. Nemoto, K. Shibanuma, K. Suzuki, S. Aihara, T. Hiraide, International Journal of Offshore and Polar Engineering, submitted.