

1. 緒言

これまで鋼道路橋などの鋼構造物において、疲労損傷事例は数多く報告されており¹⁾、高度経済成長期以降に建設された構造物の多くは、将来の疲労損傷による被害の拡大も予測される。そのため、疲労き裂発生寿命 N_c と疲労き裂伝播寿命 N_p の総和として与えられる疲労全寿命 N_f を予測し、低寿命箇所に対して予め対策を講じることは非常に重要である。また一般に、溶接構造物が繰返し荷重を受けると、応力集中部となりやすい溶接部周辺で疲労き裂が発生することが既往の事例や研究で明らかにされている。一方、近年鋼構造物のコスト削減や軽量化に伴い、高張力鋼板の適用拡大が期待されている。しかし、継手の疲労破壊のメカニズムは十分に明らかにされておらず、疲労強度設計においても母材や溶接ワイヤの高強度効果は加味されていないのが現状である。

そこで本研究では、高張力鋼板からなる重ね継手を対象として、溶接シールドガス条件および溶接ワイヤ特性が高強度継手の疲労き裂発生および伝播寿命に与える影響の検討を行った。

2. 疲労き裂発生寿命評価の数値解析概要および結果

本研究では HAZ 強度特性を反映した弾塑性 FE 解析を行った。なお材料モデルおよび解析ソルバーにはそれぞれ疲労 SS モデル²⁾および ABAQUS6.14-5 を使用した。解析に使用した二次元平面ひずみ FE モデルを Fig.1 に示す (要素タイプ: 四辺形一次要素, Model A: 要素数 2,031 節点数 2,702, Model B: 要素数 1,451 節点数 2,007, 最小メッシュ寸法 共に 0.05mm 程度)。また FEM 解析に反映した HAZ 強度分布を Fig.2 に示す。荷重は疲労試験を模擬し、右端に鉛直下向きの強制変位 $\Delta u=0.8/0.95/1.15/1.75/2.25$ mm(R=0)を繰返し数 $N=100$ として与えた。疲労き裂発生条件としては、従来の寿命評価式³⁾の適用範囲を高強度鋼まで拡張した式 $\Delta \epsilon_f = 0.83N_c^{-0.606} + (1+a\sigma_y)N_c^b$ を採用した。また、溶接止端部において各 HAZ 部の疲労強度を考慮して疲労き裂発生寿命評価を行い、最も短い N_c が予測された要素(A)にて評価した。以上の解析によって得られた、溶接止端部の累積相当塑性ひずみの分布を Fig.3 に、疲労き裂発生寿命予測結果を Fig.4 に示す。



Fig.2 FEM 解析に反映した HAZ 強度分布

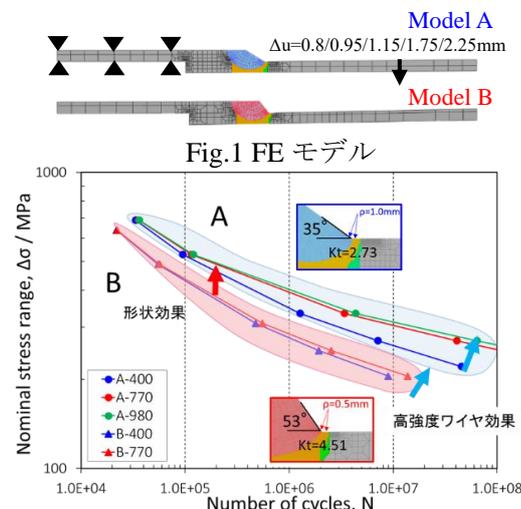


Fig.4 疲労き裂発生寿命 (S-N 関係)

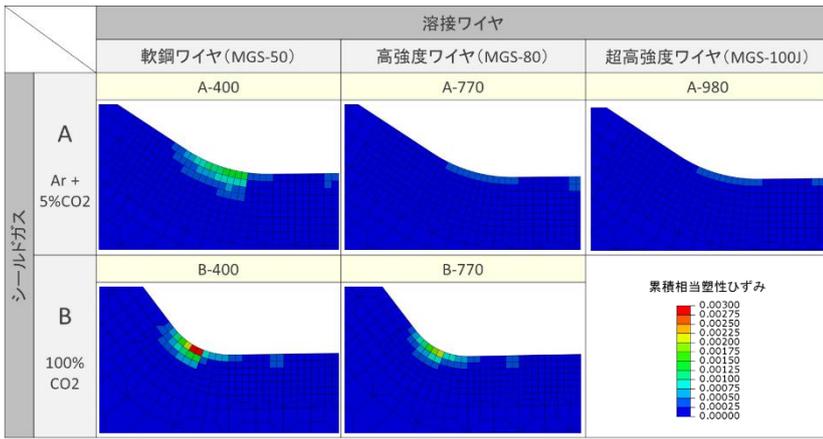


Fig.3 累積相当塑性ひずみの分布

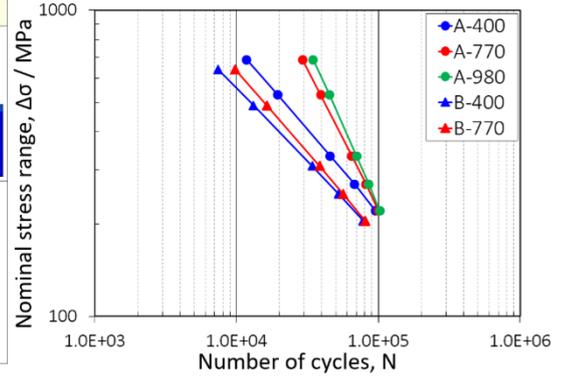


Fig.5 疲労き裂伝播寿命 (S-N 関係)

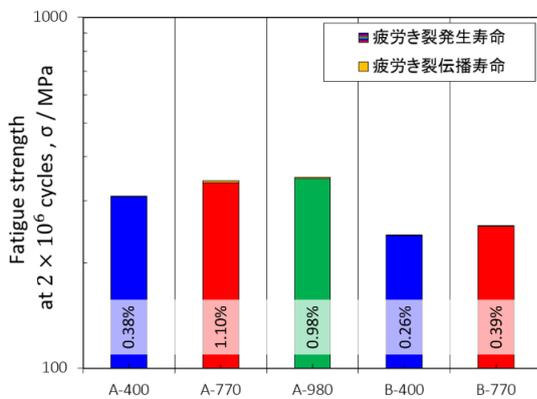


Fig.6 疲労き裂発生寿命と伝播寿命の 200 万回強度比

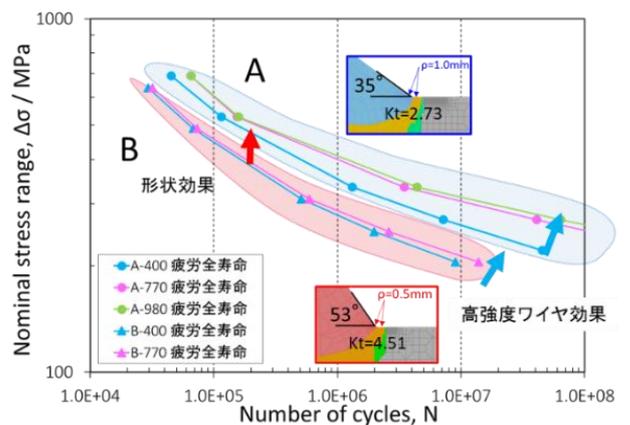


Fig.7 疲労全寿命 (S-N 関係)

3. 疲労き裂伝播寿命評価の数値解析概要および結果

疲労き裂伝播寿命にはパリズ則 $da/dN = C\{\Delta K\}^m$ ($C: 1.1 \times 10^{-12}$, $m: 2.75$) を採用して破壊力学的評価を行った。初期き裂は前章で疲労き裂発生が予測された要素(A)と次に短い N_c の要素(B)の間に挿入し、表面に垂直方向に深さ 0.05mm とした。以上より得られた疲労き裂伝播寿命の S-N 関係を Fig.5 に、疲労き裂発生および伝播寿命の総和である疲労全寿命予測結果を Fig.7 に示す。なお、Fig.6 には疲労き裂発生寿命と疲労き裂伝播寿命の 200 万回強度比を示しているが、疲労き裂伝播寿命は発生寿命に比べてかなり短いことがわかる。

4. まとめ

本研究では、高張力鋼板の継手疲労強度に及ぼす力学および材料因子の影響解明を目的として、数値解析による寿命予測を行った。その結果、1. 応力集中の大きい Model B と比較して、応力集中の小さい Model A の方が、高強度ワイヤを適用することによる継手部疲労強度向上の効果が大きいこと 2. 疲労き裂伝播寿命は、特に高応力側において、応力集中の大きい Model B の寿命が短くなったこと 3. 疲労き裂伝播寿命は、疲労き裂発生寿命と比較してかなり短くなることを確認し、疲労全寿命予測結果と実験結果の比較により、力学因子（応力集中）と材料因子（HAZ 強度分布）が疲労全寿命に与える影響を明らかにした。今後、より詳細な HAZ 強度分布や三次元形状など解析モデルの精緻化および実験データベースの拡充が望まれる。

参考文献

- 1) 三木千寿, 坂野昌弘, 館石和雄, 福岡良典: 鋼橋の疲労損傷事例のデータベースの構築とその分析, 土木学会論文集, 第 392 号, pp.403-410, 1988.
- 2) Tsutsumi, S. et.al., "Fatigue life assessment of a non-load carrying fillet joint considering the effects of a cyclic plasticity and weld bead shape", Fracture and Structural Integrity, 38, 240-250, 2016.
- 3) 日本材料学会編: 疲労設計便覧, pp123-129, 株式会社養賢堂, 1995.