

第 I 部門

溶接継手ルート部からの疲労き裂発生伝播寿命評価

大阪大学 接合科学研究所 正会員 ○堤 成一郎

学生員 柴田 誉

Fincato Riccardo

1. 緒言

近年，社会基盤構造物の疲労が問題となっており，機械・構造物の損傷の約 80%を占める¹⁾といわれるように主要な破損原因である．そのことを受け，2002 年の道路橋示方書・同解説²⁾改定時には，鋼橋の設計時に疲労の影響を考慮するものと規定されている．特に溶接継手は，入熱による金属組織変化や残留応力などの影響により耐疲労性を劣化させる箇所であり，溶接継手の疲労強度を精度よく評価することが非常に重要である．溶接継手には様々な種類があるが，その中でも施工性や経済性に優れる片側すみ肉溶接継手は，施工が難しい箇所や現場の溶接に多く用いられている．しかし，施工時に未溶着部が発生し，疲労き裂の起点となりやすい．そのため，未溶着部から発生する疲労き裂の発生伝播寿命を精度よく評価する必要がある．

そこで本研究では，阿部らによる荷重伝達型片側すみ肉溶接構造物における疲労挙動の観察結果³⁾を対象とし，弾塑性シミュレーションおよび疲労き裂伝播解析を実施し，得られた応答から予測される疲労き裂発生寿命および疲労き裂伝播寿命に対して考察を行った．

2. 疲労き裂発生寿命評価の数値解析概要および結果

疲労試験片を模して作成した FE モデル（要素タイプ：六面体一次要素，要素数：8580，節点数：10285）を Fig.1 に示す．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⁴⁾および ABAQUS6.14-5 を使用した．また，未溶着部の開口変位は 0.05mm とし，降伏応力は，モデル全領域において， $\sigma_y=245\text{MPa}$ とした．荷重は，疲労試験を模擬し，このモデルの下端に荷重比 0.05，荷重振幅 ΔF_a ，繰返し数 $N=100$ とし与えた．なお，疲労き裂発生寿命は下記に示す全ひずみ幅を基にした寿命予測式 $\Delta \varepsilon_t = 0.83N_c^{-0.606} + (1 + a\sigma_y)N_c^b$ より算出した．また，疲労き裂発生評価位置は，解析モデル板厚中央部の要素とし，最小要素サイズは， $0.05 \times 0.05 \times 0.05(\text{mm})$ である．これより Fig.2 に示す応力ひずみ関係および累積相当塑性ひずみの分布が得られ，未溶着部周辺で塑性化が進んでいることが確認された．本研究で得られた疲労き裂発生寿命を Fig.3 に示す．なお，Fig.3 には次章で述べる疲労全寿命予測結果も併せて示す．

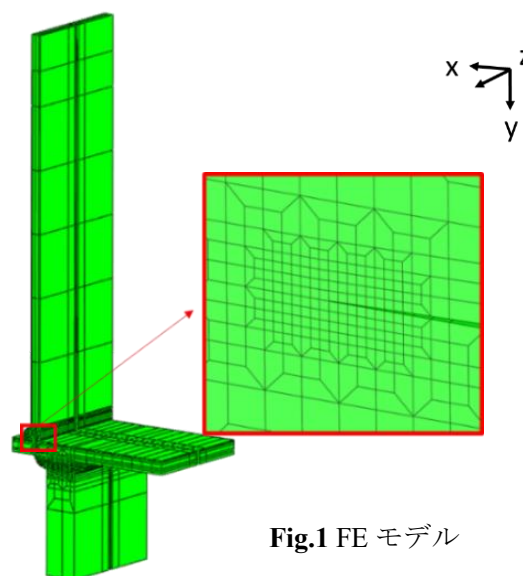


Fig.1 FE モデル

3. 疲労き裂伝播寿命評価の数値解析概要および結果

本研究では X-FEM 解析を活用した破壊力学ベースの評価を行った．き裂進展則として，パリズ則 $da/dN = C\{\Delta K\}^m$ を採用した ($C: 1.1 \times 10^{-12}$, $m=2.75$)．なお，初期き裂は未溶着部先端に挿入し，幅方向一様に深さ 0.05mm とし，き裂長さ 8mm までの繰返し数を疲労き裂伝播寿命と設定した．これより得られた各荷重条件における疲労き裂発生寿命と疲労き裂伝播寿命を Fig.4 に示す．

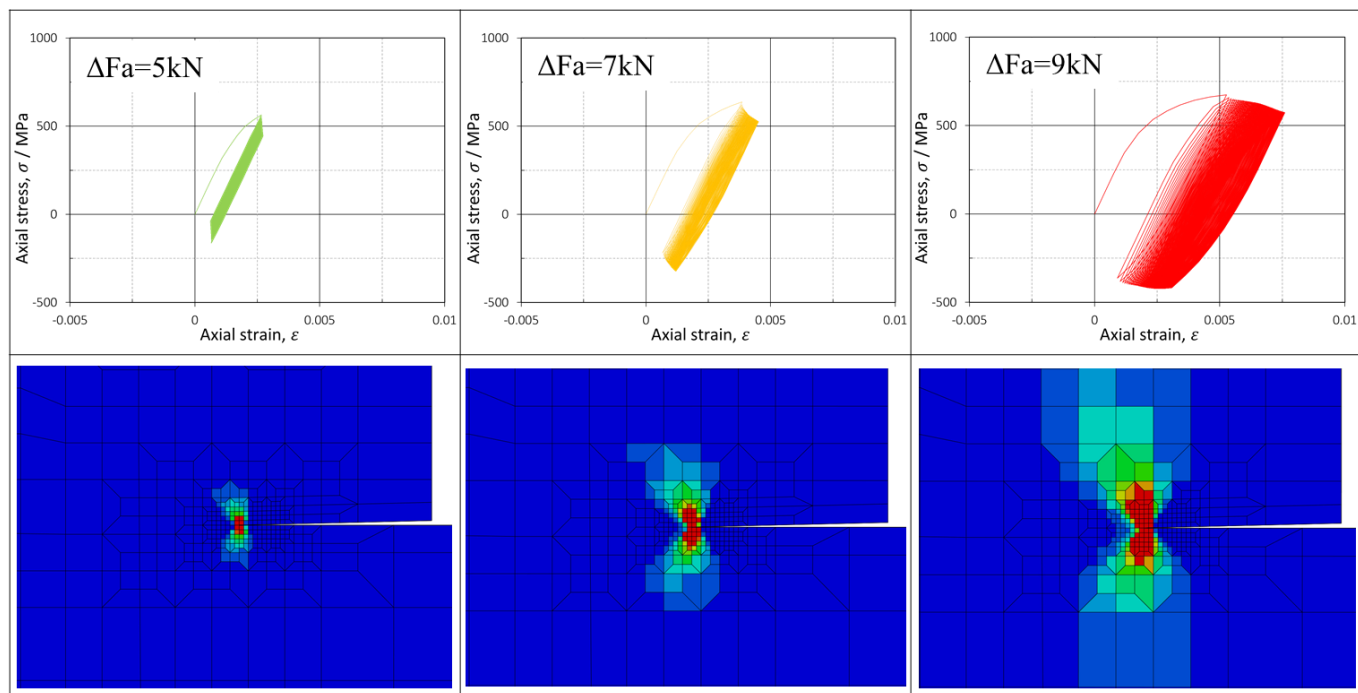


Fig.2 疲労き裂発生予測要素の応力ひずみ関係および累積相当塑性ひずみ分布

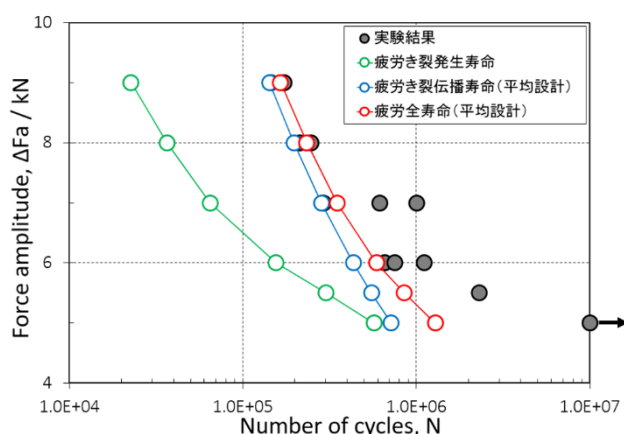
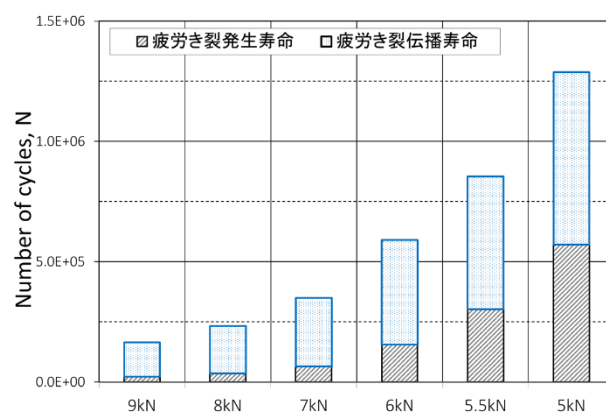


Fig.3 疲労き裂発生寿命予測結果


 Fig.4 疲労き裂発生寿命
と疲労き裂伝播寿命

4. まとめ

本研究では、片側すみ肉溶接継手を対象とした疲労き裂発生伝播寿命評価を目的として、数値解析による寿命予測を行った。その結果、1. 疲労全寿命予測に対する寄与率では、高応力側では疲労き裂伝播寿命が卓越しているが、低応力側では同程度の寄与率となったこと 2. 数値解析により実験結果を定性的に再現できているが、低応力側においては、過度に安全側の予測となったことを明らかにした。今後、詳細な HAZ 強度分布や未溶着部の開口変位、ルートギャップ、溶接角変形、初期き裂形状などの検討が望まれる。

参考文献

- 1) 日本材料学会編：疲労設計便覧，pp1，株式会社養賢堂，1995.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（II鋼橋編），2002.
- 3) 阿部孝正，曙紘之，加藤昌彦，菅田淳：荷重伝達型片側すみ肉溶接構造物における疲労き裂進展挙動の観察，日本機械学会論文集，Vol. 82，No. 833，2016.
- 4) 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.