

第 I 部門

溶融池形成解析により得られる溶接ビード形状と HAZ 強度特性を反映した
疲労き裂発生寿命予測

大阪大学 接合科学研究所 学生員 ○北村 拓也
正会員 堤 成一郎
Fincato Riccardo
大阪大学大学院 工学研究科 荻野 陽輔
平田 好則
浅井 知

1. 緒言

これまでに、低サイクルに限定されることなく、高サイクル疲労条件下にも適用可能な繰返し弾塑性モデルとそれを用いた FEM シミュレーションによる疲労寿命評価技術¹⁾の開発を行い、継手のビード形状や残留応力、強度分布などが疲労き裂発生寿命に与える影響に関して考察を行ってきた。

一方で、近年、溶接プロセスの主要素の一つである溶融池現象に注目した数値解析研究が盛んにおこなわれており、著者らによって溶融姿勢・重力やトーチ角度などの種々のプロセス条件が溶込み深さやビード形状に与える影響がシミュレートされている。

本研究では、上記 2 種のシミュレーション技術を連携させ、溶接プロセス条件に影響を受ける隅肉溶接継手の形状²⁾に加えて、温度履歴によって変化する HAZ 組織分布³⁾を考慮することにより、それぞれの因子が疲労き裂発生寿命に与える影響に関して評価することを目的とする。具体的には、トーチのねらい位置などの溶接条件を変化させた溶融池形成解析とその解析によって得られたビード形状および温度履歴に依存した HAZ 組織分布を考慮した解析モデルを作成し、弾塑性シミュレーションを実施、得られた弾塑性応答を基にして予測される疲労き裂発生寿命予測に対して考察を行った。

2. 解析モデルの概要と結果

Fig.1(a)に本研究で採用した溶融池形成解析の概要を、加えて Fig.1(b)および(c)に解析例として溶接プロセスにおける表面の温度分布およびビード形状を示す。また Fig.2 に溶融池形成シミュレーションにおいて溶接ねらい位置をルート部(Bead-1)、および横板側止端から 2mm(Bead-2)に変化させた場合の中央断面形状および動断面の最高到達温度分布を示している。Fig.3(a)は溶融池形成シミュレーションにより得られた Bead-2 に対して、均一な母材特性を配置し、疲労試験($P=250\text{MPa}$, $R=0$)を模擬した繰返し弾塑性解析($N=100$)後の累積相当塑性ひずみ分布を示している。一方 Fig.3(b)では Bead-2 に対して最高到達温度に依存した 4 種類の HAZ (CG, FG, IC, SC)材料特性分布を考慮して、Fig.3(a)の場合と同様に疲労試験を模擬した繰返し弾塑性解析後の累積相当塑性ひずみ分布を示している。この図より、均一な母材特性

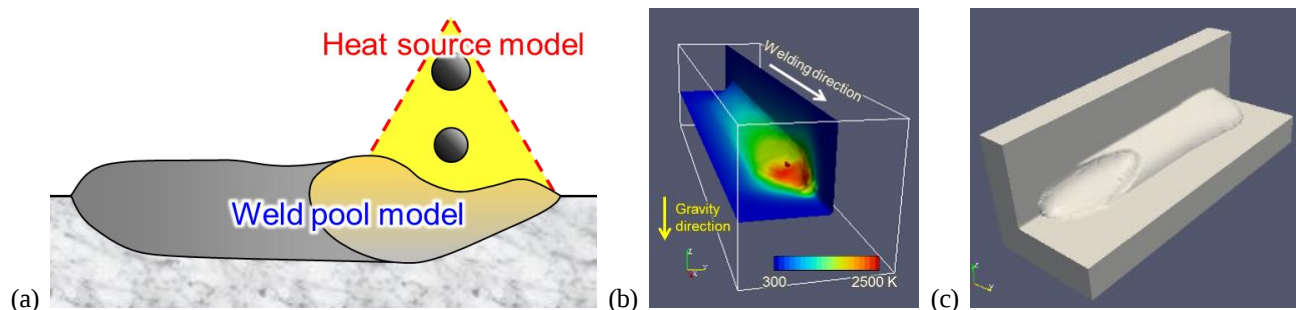


Fig.1 溶融池形成シミュレーション概要および解析結果例(温度分布・ビード形状)

を考慮した Fig.3(a)は止端部のみに累積相当塑性ひずみが集中しているが、HAZ 組織分布を考慮した Fig.3(b)では、止端部に配置した CGHAZ に加え、母材に対し軟化な材料特性を配置した CGHAZ 部でも若干ながら塑性ひずみが集中する様子が予測されている。

次に、上記のモデルより得られた解析結果を用いて疲労き裂発生寿命評価を行った結果を Fig.4 に示す。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より算出した。

$$\Delta \varepsilon_p / 2 = 0.415 N_c^{-0.606} + 0.00412 N_c^{-0.115}$$

これより、溶接条件に依存して応力集中が比較的小さくなる Bead-2 は、Bead-1 と比較して塑性化が抑制されることにより、疲労寿命が数倍程度長くなる結果が得られた。また、HAZ の考慮により若干ではあるが高寿命側の予測結果となることが示された。しかしその程度は非常に小さい。これは過去の検討で示したように、応力集中が高い場合は、材料の強度上昇に伴う寿命延伸効果が発揮されにくいという検討結果に対応していると考えられる。今後オーバーマッチの程度が変化する場合や、応力集中が比較的小さくなる突合せ溶接継手などを対象とした数値解析と通じて HAZ 材料特性の影響を確認するとともに、疲労き裂伝播を考慮した疲労寿命評価なども行う予定である。

謝 辞 本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議の SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）【溶接部性能保証のためのシミュレーション技術の開発】（管理法人：JST）によって実施されました。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 森田花清, 堤成一郎, Fincato Riccardo, 平出隆志, 伊木聡, 池田倫正 : “溶接継手熱影響部の強度分布とビード形状を考慮した疲労き裂発生寿命評価”, 溶接学会平成 28 年度秋季全国大会
- 3) 平出隆志, 伊木聡, 田川哲哉, 池田倫正, 堤成一郎 : “溶接熱影響部の材料の繰返し弾塑性挙動と疲労寿命”, 溶接学会平成 28 年度秋季全国大会

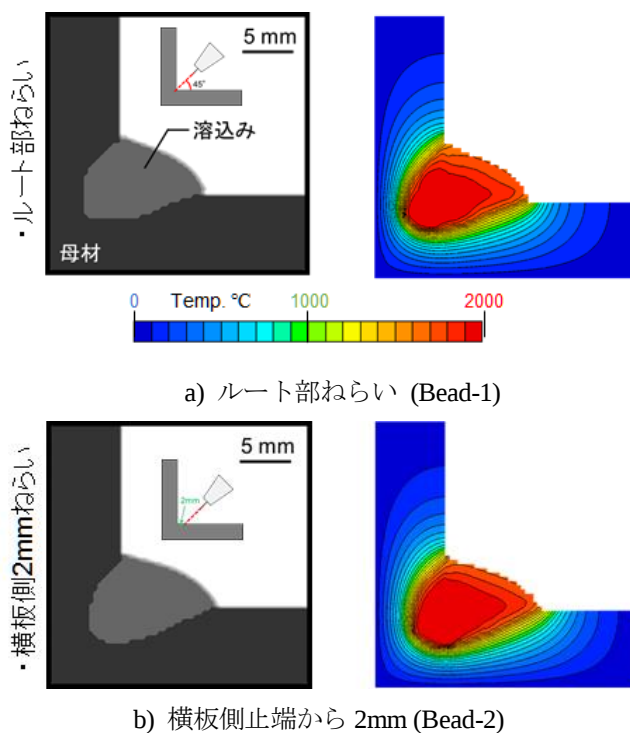


Fig.2 異なる溶接条件による断面形状および温度履歴

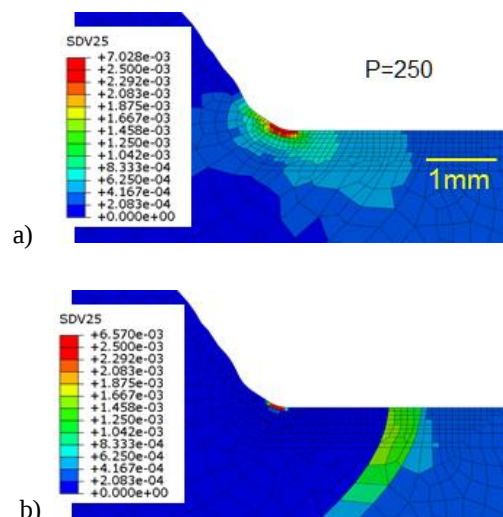


Fig.3 累積相当塑性ひずみ分布 (Bead-2, P=250MPa, N=100)

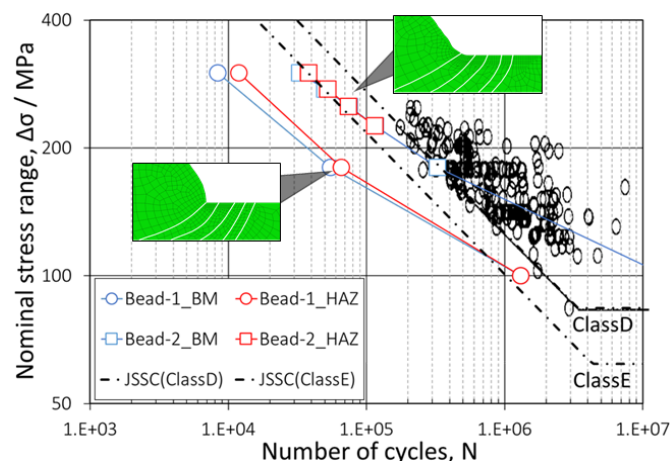


Fig.4 S-Nc 線図(JSSC 疲労強度等級添書)