

第 I 部門

疲労寿命延伸効果に対する付加溶接プロセス条件の影響評価

大阪大学接合科学研究所 学生員 ○清川 裕樹 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

近年、社会基盤構造物の老朽化が問題となっており、中でも疲労は、機械・構造部の損傷の60%を占めるといわれるように主要な破損原因である。特に溶接部は、構造的な応力集中に加えて、溶接ビードの形成による局所的な応力集中や1000°Cを超える溶接入熱による材料特性の変化など、様々な要因によってき裂の発生・伝播を伴う疲労破壊の起点となる。そこで溶接部の疲労寿命を延伸させる取組みとして、耐疲労特性に優れた鉄鋼材料や溶接金属の開発に加えて、新たな溶接プロセスや付加溶接・グラインダ・ピーニング処理といった補修・補強施工が開発されている。こういった取組みによる疲労寿命延伸効果は、特定の条件下における実験によって確認されているが、時間やコストの制約からその検証にも限界がある。特に、溶接時の入熱量や姿勢、ねらい位置等の溶接プロセス条件によって溶接ビード形状は大きく変化するため、それぞれの要因が疲労寿命に与える影響は明らかになっていないとは言い難い。

そこで本研究では、近年開発が進められている溶接プロセスを模擬可能な溶融池形成シミュレーション¹⁾と疲労荷重に伴う局所的な弾塑性応答を予測可能な非線形 FEM 解析の両者を用いて、付加溶接プロセス条件が継手の疲労寿命延伸効果に与える影響を評価した。

2. 溶接プロセスの解析

溶融池形成シミュレーション¹⁾は簡易熱源モデル、溶滴移行モデルおよび溶融池内流動と表面変形を考慮した溶融池モデルからなる。本研究においては、一次溶接に引き続いて行われる付加（二次）溶接に対して、溶着量と単位長さ当たりの入熱量を変化させるため、溶接速度を45~120 cm/minの5段階に変化させた解析を行った。Fig.1 に変化させた溶接プロセス条件および得られた溶接継手中央断面形状と最高到達温度分布を示している。この図より、付加溶接の溶接速度の上昇に比例して、溶着量および高温領域が減少する傾向が分かる。

3. 疲労試験の解析と疲労き裂発生寿命評価

2 で述べた溶融池解析から得られる溶接ビード形状と最高到達温度を基に 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 Abaqus を使用した。また、最高到達温度および再現熱サイクル材に対して得られた応力ひずみ関係に基づいて HAZ 強度特性 (CGHAZ : 1100°C以上, SCHAZ : 600~700°C, ICHAZ : 700~900°C, FGHAZ : 900~1100°C) および材料定数を決定した³⁾。荷重は疲労試験を模擬し、応力振幅 $\Delta\sigma=100/180/300$ [MPa], 応力比 $R=0$, 繰返し数 $N=100$ として与えた。Fig.2 に弾塑性解析によって得られた100回目における軸ひずみ範囲最大の要素(A)における応力ひずみ関係を示す。

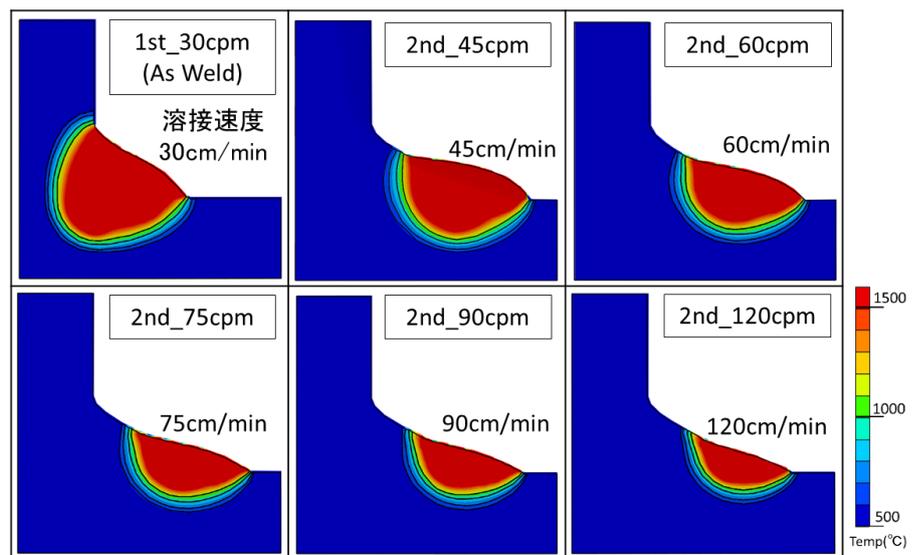


Fig.1 溶接プロセス条件および断面形状, 最高到達温度分布

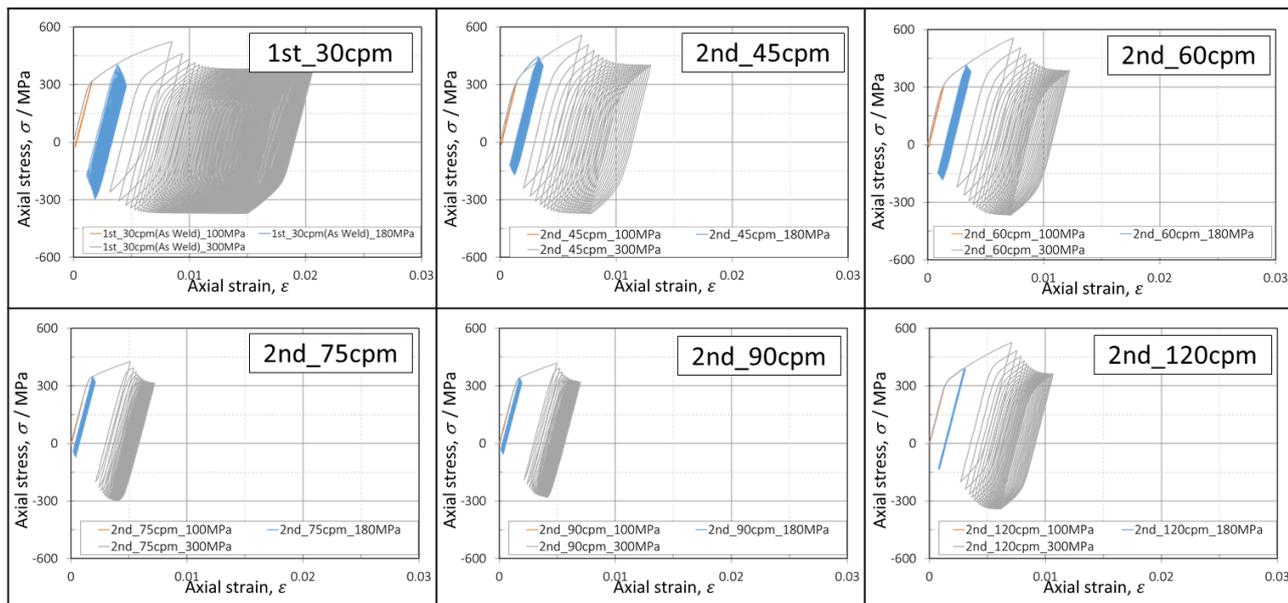


Fig.2 軸ひずみ範囲最大の要素における応力ひずみ関係

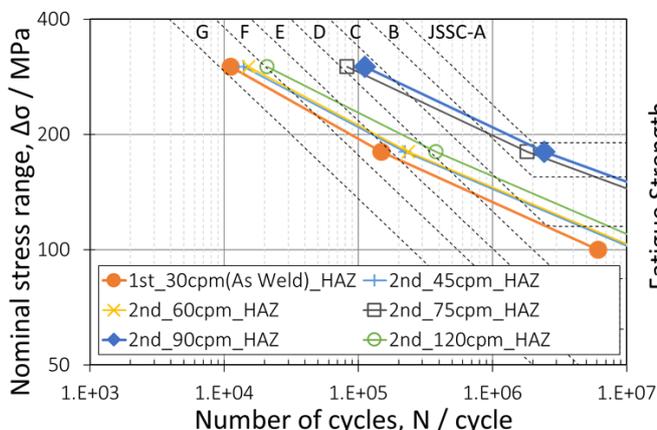


Fig.3 疲労き裂発生寿命予測結果

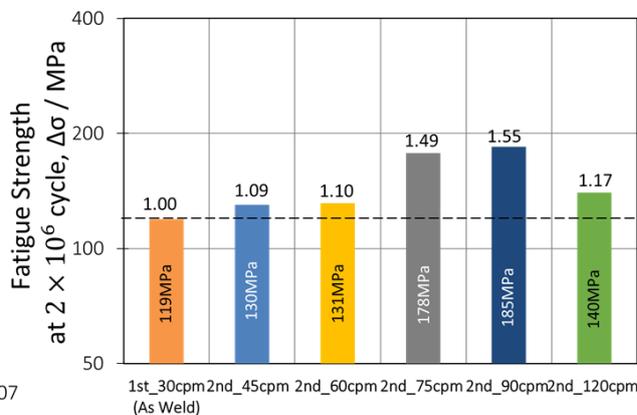


Fig.4 溶接プロセス条件と 200 万回疲労強度の関係

この結果より、付加溶接によってひずみの集積量は減少し、Model 2nd_90cpm で最小となることがわかる。次に、疲労き裂発生寿命予測を行った結果を Fig.3 に示す。なおき裂発生寿命 N_c の算出には、先に定義した要素(A)の軸ひずみ範囲を次式、 $\Delta\epsilon/2=0.415N_c^{-0.606}+0.00412N_c^{-0.115}$ 、に考慮して算出した。これより付加溶接によって疲労寿命が延伸していることが分かる。また、2nd_90cpm で疲労寿命延伸効果が最大となっており Fig.4 に示す 200 万回疲労強度においては、一次溶接のみのモデルに対して 1.55 倍となっていることが分かる。これは溶接速度の上昇に伴い溶着量が減少し、応力集中が減少すること、また溶着量が減少しすぎると逆に止端部の形状が悪化することによる結果と考えられる。

4. 結言

本研究では、溶接プロセス計算により得られる溶接ビード形状および HAZ 強度特性を反映し、疲労き裂発生寿命予測を行うことで付加溶接条件が疲労き裂発生寿命に与える影響を評価した。これにより疲労寿命延伸効果が最大となる付加溶接プロセス条件 (2nd_90cpm) があることを示した。今後は実験結果との比較検証やワイヤ供給速度等、複数プロセス条件での影響評価を予定している。

参考文献

- 1) 荻野陽輔, 高部義浩, 平田好則, 浅井知: “継手形状・溶接姿勢を考慮した 3 次元溶融池モデル”, 溶接学会論文集 第 35 巻 第 1 号 pp.13-20 (2017)
- 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) 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”, 溶接学会全国大会 (2016 年 9 月)