

大阪大学大学院 工学研究科 学生員	○田中 颯人
JFE スチール株式会社 正会員	カン ウンブン
JFE スチール株式会社 正会員	崎本 隆洋
大阪大学大学院 工学研究科 正会員	堤 成一郎

1. 緒言

鋼橋などの社会基盤構造物では、自動車等の繰返し荷重によって、部材の接合部に用いられる面外ガセット継手の溶接止端部を起点とする疲労損傷が多く報告¹⁾されている。そのため、疲労耐久性の高い構造物・継手の開発やそれら性能を適切に評価可能な疲労性能評価手法の確立が求められている。近年、溶接後の追加施工を要することなく疲労強度の向上を図る溶接方法として分割回し溶接¹⁾が近年提案されている。本手法は従来の回し溶接とは異なり、面外ガセット継手のガセット短辺および長辺で分割して溶接を行う。またこれまで、弾性 FEM 解析によって分割回し溶接継手による応力集中の低減が確認¹⁾されているが、疲労亀裂発生と進展寿命のそれぞれに対する分割回し溶接形状の影響など、詳細なメカニズムは明らかにされていない。一方、著者らは繰返し弾塑性応答を高精度に再現可能な材料モデルを開発するとともに、それを導入した弾塑性 FEM 解析結果を活用する疲労性能評価手法を提案²⁾しているが、面外ガセット継手のような 3 次元的な溶接部形状を呈する継手に対する検討は行われていない。

そこで本研究では、弾塑性解析に基づく疲労性能評価手法の面外ガセット継手への適用性検証を行うとともに、分割回し溶接による疲労寿命延伸メカニズムの解明を目的とする。面外ガセット継手の疲労試験および本手法による疲労亀裂の発生および進展評価を行い、分割回し溶接の疲労性能に及ぼす影響評価を行う。

2. 面外ガセット継手疲労試験

本研究で採用した供試鋼材は板厚 12mm の SM490YB である。図-1 に示す主板の中央にガセットを溶接した面外ガセット溶接継手を製作した。図-1 (a)に示した外観写真は、従来通り隅肉溶接した溶接継手 (Joint-A) であり、図-1 (b)は分割回し溶接による溶接継手 (Joint-B) である。応力比 $R=0.1$ として実施した疲労試験により得られた各試験体の応力範囲 $\Delta\sigma$ と破断寿命 N_f の関係 (S-N関係) を図-2 に示す。この図より、分割回し溶接によって破断寿命が 2 倍以上向上し、分割回し溶接を面外ガセット溶接継手に適用することで、疲労等級が 1 等級向上することが確認できる。

3. 疲労性能評価手法

疲労亀裂発生および進展寿命の評価には、繰返し弾塑性 FEM 解析を活用する手法を採用する。まず応力集中部の節点で評価された弾塑性応答と実験データベースに基づく評価式²⁾を活用することにより、疲労亀裂発生寿命 N_c を算出する。次に、亀裂進展速度の評価は、所定の亀裂長さ a における亀裂先端での疲労亀裂発生寿命 N_c を算出するとともに、 N_c の間に疲労亀裂が Δa の距離を進展するとして、次式に従って疲労亀裂進展速度を算出する。

$$da/dN = \Delta a/N_c \quad (1)$$

ここに、 Δa は亀裂進展速度に関する材料関数もしくは定数である。これにより、進展速度 da/dN を積分することによって、進展寿命を算出することができる。

4. 面外ガセット継手の疲労性能評価

従来および分割回し溶接継手を模した 3 次元 FE モデル (要素タイプ: 6 面体, 4 面体 1 次要素) 用いて、疲

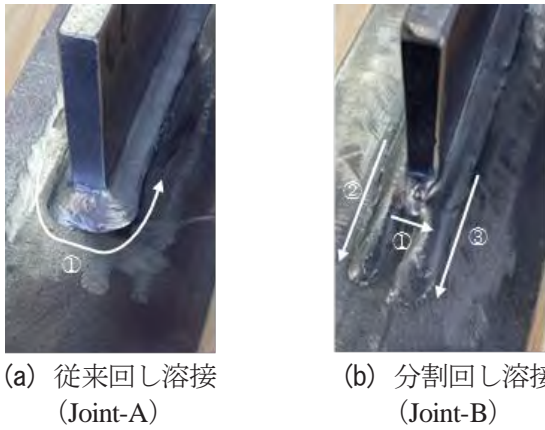


図-1 面外ガセット継手

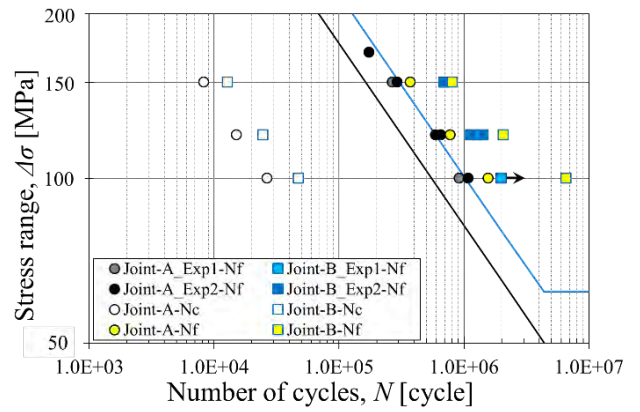
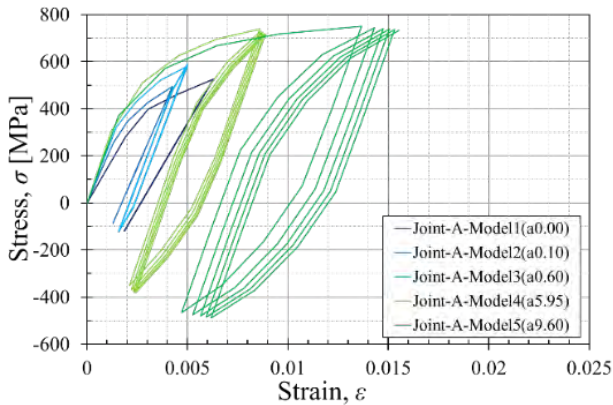
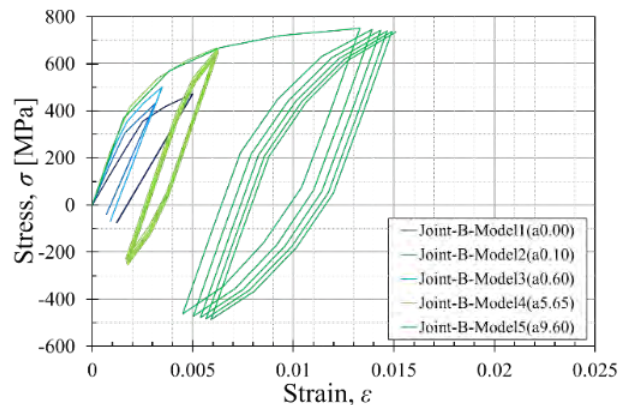


図-2 疲労試験および疲労性能評価結果



(a) 従来回し溶接 (Joint-A)



(b) 分割回し溶接 (Joint-B)

図-3 亀裂先端の応力ひずみ応答

労 SS モデル²⁾を採用した弾塑性解析を実施した。疲労亀裂は、溶接止端部中央を発生点として荷重載荷直角方向に進展するものと仮定し、疲労試験結果に基づいて設定した亀裂形状を持つ解析モデルをそれぞれ作成した。

図-3 に中央部亀裂の各亀裂長さ a における亀裂先端節点の応力ひずみ応答を示す。ここに、最終サイクルにおける最大荷重載荷時の最大主ひずみ方向を軸方向とした。これより、亀裂発生前の止端部における応答のみならず、短い亀裂および延伸ビード通過時の亀裂において、分割回し溶接の亀裂先端の塑性ひずみは、従来手法と比較して低減していることが分かる。次に、得られた応力ひずみ応答より、各亀裂モデルの中央・最深部において疲労亀裂進展速度 da/dN を求めた。これより、疲労亀裂の発生直後から延伸ビードに達する間およびその後、延伸ビード部を通過する間において、疲労亀裂進展速度が低下する傾向が確認された。図-2 に疲労亀裂発生寿命 N_c と進展速度 da/dN を積分することにより評価した疲労亀裂進展寿命 N_p の和である破断寿命 N_f の予測結果を示す。以上より、疲労試験結果を概ね再現可能であることが示された。

5. 結言

弾塑性解析に基づく疲労性能評価手法によって、面外ガセット継手の疲労試験の結果を概ね再現可能であることを示した。また、分割回し溶接により、溶接止端部および亀裂先端の弾塑性ひずみが低減し、疲労亀裂発生および進展寿命の両者に延伸効果があり、さらにそれら比率を明らかにした。今後、残留応力や HAZ 強度分布の影響などの考慮が望まれる。

参考文献

- 1) 高木芳史, 崎本隆洋, 植田圭治, 森影康, 半田恒久, 伊木聡: 分割回し溶接による溶接継手の疲労強度向上技術, 溶接学会論文集, 第 64 巻, 第 2 号, pp.114-116, 2025.
- 2) 柴田誉, 桐生泰輔, 佐藤啓介, フィンカト・リカルド, 堤成一郎: 弾塑性変形履歴と累積損傷を考慮した鋼材の疲労亀裂進展寿命予測手法, 土木学会論文集, 81 巻 15 号, 24-15028, 2025.