第 I 部門 弾塑性 FEM 解析によるアルミニウム合金接合体の疲労き裂発生寿命評価手法の確立

大阪大学 接合科学研究所 学生員 〇 佐 野 萌 正会員 堤 成一郎 Fincato Riccardo

1. はじめに

近年, ライフサイクルコストが重視されるようになり, 軽量で耐食性に優れたアルミニウム合金の社会基盤構造物への適用 拡大が期待されている.また一般に, 機械や構造物の破断の 6~7 割が金属疲労に起因すると言われており, 疲労寿命の高精 度予測が必要なことは明らかである.しかし,大型溶接構造物に対する一般的な疲労設計では,実構造物の複雑な 形状や様々な外的因子を十分には考慮しておらず,精度にも疑問がある.そうした背景から,任意形状の構造体の 寿命評価を可能とする数値シミュレーション技術の開発が期待される.そこで本研究では,アルミニウム合金接合 体を対象として,繰返し弾塑性 FEM 解析を活用した疲労き裂発生寿命評価手法の確立を目的とした.まず,溶接性 に優れるとされる A5083-O 材を対象として,実験により得られた単調および繰返し負荷時の弾塑性変形挙動を材料 モデルにより再現した.加えて,過去の実験結果を参照することにより疲労き裂発生規準の定式化を行った.最後 に、突合せ溶接継手に対する疲労試験を模した弾塑性解析を行い,得られた弾塑性挙動および評価式により予測さ れた疲労き裂発生寿命と実験結果との比較を通じて予測精度の検証を行った.

2. 繰返し弾塑性モデルによる材料挙動の再現

本研究では、鋼材を対象に開発が進められてきた疲労 SS モデル¹⁾を、アルミニウム合金に適用できるように拡張 した.本提案モデルを用いて単調引張試験とひずみ制御繰返し試験(ひずみ比=-1)を模擬した解析を行い実験結 果と比較した(図1および図2参照).

3. 疲労き裂発生評価式の規定

疲労き裂発生規準の定式化を行うにあたり、全ひずみ範囲と破断寿命の関係を文献^{2,3,4)}より取得し、図3に示す ように最小二乗法を適用することで近似曲線を求めた($\Delta \varepsilon_t/2 = 14.5 N_f^{-0.488} + 0.168$).次に、文献^{3,4)}より取得した疲労 き裂発生寿命(肉眼き裂長さ 0.5~1.0mm 程度)と破断寿命の関係として次の関数を同定した($N_c = 0.654 N_f^{-1.027}$). 以上2式から全ひずみ範囲とき裂発生寿命の関係を導き、これを本研究で用いる疲労き裂発生評価式とした

(Δε_t/2 = 11.9 N_C^{-0.475} + 0.168). なお,本研究では応力が引張側のひずみ範囲を用いて寿命評価を行う.

4. 接合体の疲労き裂発生寿命評価および考察

図5に示した突合せ溶接継手の繰返し載荷試験 ⁴を模して FEM 解析を行った. 試験片形状を参考に 2 次元平面 ひずみ要素で FE メッシュ化(節点数 5874, 要素数 4840)し、応力集中が予想される溶接止端部の要素サイズは 50µm 四方程度とした.また、角変形なし、角変形 0.5°および角変形 1.0°を想定した解析モデルを作成し、それ ぞれについて疲労き裂発生寿命評価を行った.解析は汎用 FEM ソフト Abaqus/Standard を使用し、ユーザサブルー チン機能を通して提案材料モデルを実装し、公称応力範囲一定、応力比 *R*=0 で解析を行った.繰返し荷重載荷 *N*=100回で得た累積相当塑性ひずみ値が最も大きい値を示す要素でき裂が発生すると定義し、その要素での引張り 応力側のひずみ範囲を疲労き裂発生評価式に代入することで疲労き裂発生寿命予測値を求めた.本研究で得られた 疲労き裂発生寿命予測結果を図8に示す. △印は文献値(肉眼き裂長さ 0.5mm)、◇印、〇印および□印はそれぞ れ、角変形なし、角変形 0.5°および角変形 1.0°の予測結果を示す.これらの図より、ビード形状および角変形を 考慮することにより、疲労き裂発生寿命に関する文献値を再現可能であることが明らかになった.今後は、提案手 法の汎用性を高めるために、材料モデルの高精度化と疲労き裂発生評価式の高精度化が望まれる.また、疲労き裂 伝播寿命予測、残留応力の影響等についての検討および他材料への適用も期待される.

Moe SANO, Seiichiro TSUTSUMI, Riccardo FINCATO

tsutsumi@jwri.osaka-u.ac.jp

平成29年度土木学会関西支部年次学術講演会



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) Horikawa, K., Cho, S., "Cyclic Hardening Property and Low Cycle Fatigue Behavior of Aluminum Alloys", Transactions of JWRI, 14(2), 343-349, 1985. 3) 林守仁, 栗山良員: "耐食性アルミニウム合金(A 5083 P-O)の低サイクル疲労強度に関する研究", 東海大学紀要工学部, 30(1), 103-112, 1990. 4) 飯田國廣, 簔田和之, 高允宝: "アルミニウム合金 5083-O 溶接継手の低サイクル疲労強度に関する一研究", 日本造船学会論文集, 1978.144 (1978), 371-380.