

樹脂充填による溶接ルート部の疲労強度向上効果

関西大学 学生員 ○玉利 仁 関西大学 正会員 石川 敏之
 大阪大学 正会員 廣畑 幹人 大阪大学 正会員 堤 成一郎

1. 目的

鋼鉄道橋や重交通路線の鋼道路橋を中心に疲労き裂の発生が報告されている。溶接止端部からの疲労き裂の発生を予防する方法として、溶接止端部のグラインダー処理やピーニング処理が行われている。しかし、溶接止端部の疲労強度が向上した場合においても溶接ルート部から疲労き裂が発生している¹⁾ため、溶接ルート部の疲労強度の向上が望まれている。

溶接の前に部材を接着することにより、溶接ルート部の変位を抑制し、溶接ルート部の応力を緩和する工法²⁾を既存の溶接部へ適用することを考えた。本研究では、溶接部やその近傍に孔を設け、溶接ルート部近傍に樹脂を充填して、樹脂の充填による溶接ルート部の疲労強度向上効果を明らかにする。また、文献³⁾で提案されている変位を用いた疲労寿命の評価法を用いて、溶接ルート部に樹脂を充填した試験体の溶接ルート部の疲労寿命の評価を行う。

2. 試験概要

本試験では、すみ肉溶接されたソールプレートの疲労強度向上を目的に、ソールプレートのすみ肉溶接を模擬した試験体を用いて、溶接ままの試験体 AW と溶接ルート部へ樹脂を充填した試験体 RA の疲労試験を行った。試験体寸法とひずみゲージの位置を図-1 に示す。試験体は、主板上にソールプレートを模擬した鋼板を全周すみ肉溶接している。溶接ルート部には、1mm 程度のルートギャップが生じるように試験体を作製している。充填する樹脂として、エポキシ樹脂接着剤を用いた。載荷荷重は最小荷重 5kN、最大荷重 165kN と

した。

3. 試験結果

試験体 AW のひずみ範囲の変化を図-2 に、試験体 RA のひずみ範囲の変化を図-3 にそれぞれ示す。試験体 AW では、繰返し回数が 15~20 万回程度でひずみ範囲が低下し始め、ルートき裂が発生した。一方、試験体 RA では繰返し回数が 400 万回を超えてもひずみ範囲に変化が見られなかった。したがって、ソールプレートのすみ肉溶接を模擬した試験体において、溶接ルート部に樹脂を充填することにより溶接ルート部の疲労寿命を大幅に向上することができた。

4. 溶接ルート部の疲労寿命の評価

溶接ルート部に樹脂を充填した試験体では樹脂と溶接部の力の分担が明確ではないため、公称のど断面応力に基づく疲労照査を適用することができない。館石らは、ルートき裂に対する汎用的に使える疲労照査法として、溶接ルート部周辺の要素サイズを 1mm とした解析モデルの未溶着部の合成変位を用いる手法を提案しており、載荷方法によらず疲労設計曲線が次式を中心にならつくことを明らかにしている³⁾。

$$(d/b^{1/3})^3 N = 6.86 \times 10^{-4} \quad (1)$$

ここに、 $d = \sqrt{u^2 + 3v^2}$ は合成変位、 $u = |(u_B - u_{B0}) - (u_A - u_{A0})|$ はルート部の開口変位(mm)、 $v = |(v_B - v_{B0}) - (v_A - v_{A0})|$ はルート部のせん断変位(mm)、 b はリガメント長(mm)、 N は疲労寿命である。

本研究では、未溶着部の合成変位を用いることで、溶接ルート部に樹脂を充填した試験体 RA に対して、疲労強度向上効果を明らかにできると考えた。

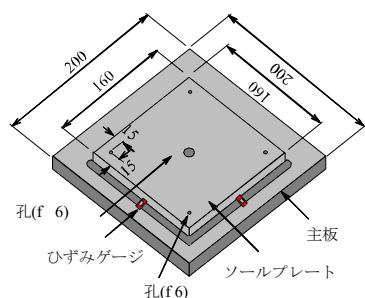


図-1 試験体寸法

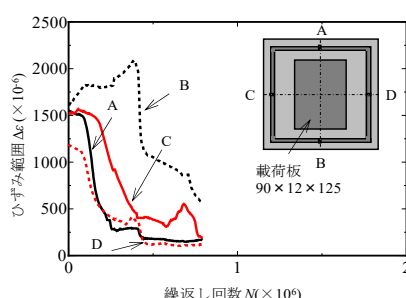


図-2 ひずみ範囲の変化(AW)

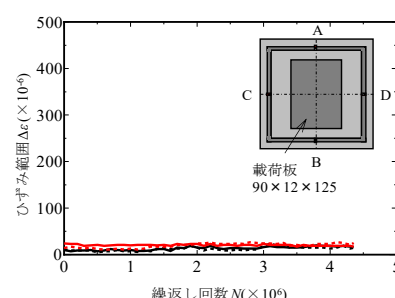


図-3 ひずみ範囲の変化(RA)

キーワード 疲労強度、ルートき裂、すみ肉溶接

連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL.06-6368-0926

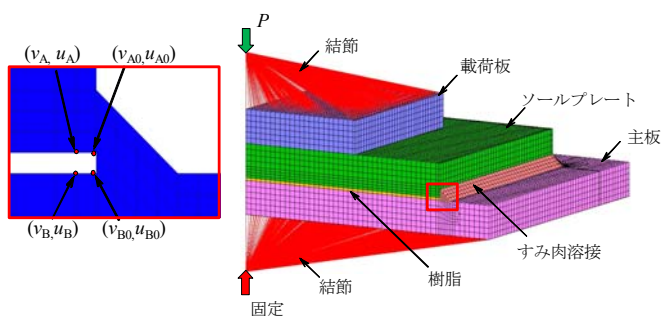


図-4 ソールプレートのすみ肉溶接を模擬した試験体の解析モデル

5. ソールプレートの疲労試験の疲労寿命の評価

図-4 に示すように疲労試験を実施した試験体について3次元解析モデルを用い、弾性FEM解析を実施した。材料特性は、鋼のヤング率 200kN/mm^2 、ポアソン比 0.3、樹脂のヤング率 2.0kN/mm^2 、ポアソン比 0.35 とした。鋼と樹脂は各節点で完全に結合されている。ソールプレートと載荷板との間は、接触を考慮し、摩擦係数は 0.4 とした。すみ肉溶接の脚長は、実測値の平均値(ソールプレート側 4.8mm, 主板側 5.4mm)のサイズとした。樹脂は、各試験体に合わせ、樹脂の充填量をモデル化している。

弾性 FEM 解析によって求めた合成変位 d とリガメント長 b のパラメータ ($d/b^{1/3}$) と疲労寿命 N の関係を図-5 に示す。この図には別途実施した樹脂が部分的に充填された試験体の解析結果も示している。この図に示すように、試験体 RA の解析結果は、溶接ルート部の変位が抑制されているため、 $d/b^{1/3}$ の値が試験体 AW より小さいことがわかる。以上から、試験体 AW, RA とともに式(1)によって概ね評価できていることがわかる。

6. 樹脂の充填量が疲労寿命に与える影響

樹脂の充填量が疲労寿命に与える影響について、解析を用いて評価する。式(1)を変形して、溶接ままの疲労寿命に対する樹脂を充填した場合の疲労寿命の比は、それぞれの合成変位を用いて、次式で与えられる。

$$\frac{N_{RA}}{N_{AW}} = \left(\frac{d_{AW}}{d_{RA}} \right)^3 \quad (2)$$

ここに、 N_{RA} , d_{RA} はそれぞれ溶接ルート部に樹脂を充填した場合の疲労寿命, 合成変位, N_{AW} , d_{AW} はそれぞれ溶接ままの疲労寿命, 合成変位を示す。

図-4 に示したモデルに対して、樹脂の充填範囲を変化させ、パラメトリック解析を行う。解析条件は、樹脂の充填範囲以外は 5 章と同様とした。試験体中央から溶接ルート部に 10mm ずつ樹脂充填半長 l_a を変化さ

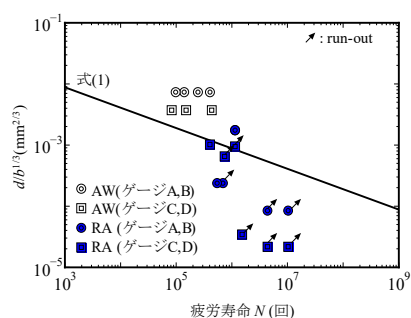


図-5 $d/b^{1/3}$ と疲労寿命 N との関係

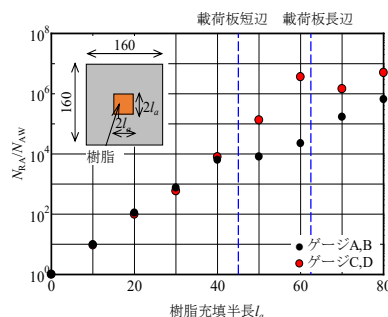


図-6 樹脂の充填量に対する N_{RA}/N_{AW} の変化

せた。弾性 FEM 解析から求めた合成変位と式(2)を用いて、樹脂の充填量が疲労寿命に与える影響を図-6 に示す。この図に示すように、樹脂充填半長 l_a が 10mm の場合であっても、溶接ままと比べて、疲労寿命が 10 倍程度向上することがわかる。また、樹脂充填半長 l_a が 80mm の場合において、溶接ままと比べて、疲労寿命が 10^6 倍程度向上することになる。ただし、本検討では、疲労限を考慮していないため、樹脂を充填することにより、疲労限以下となる可能性が考えられる。

7. まとめ

ソールプレートのすみ肉溶接を模擬した試験体を用いて、溶接ルート部に樹脂を充填することによりルートき裂に対する疲労寿命を大幅に向上することができた。また、溶接ルート部に樹脂を充填した場合の疲労寿命が式(1)と弾性 FEM 解析から求めた合成変位を用いて評価できた。また、樹脂の充填量に対するパラメトリック解析の結果から、部分的に樹脂が充填された場合においても、疲労寿命が向上することがわかった。

参考文献

- 1) 土木学会 鋼構造委員会：鋼橋の疲労対策技術，鋼構造レポート 22，丸善，2013。
- 2) 廣畑ら：すみ肉溶接と接着接合を併用したあて板継手の疲労特性，溶接学会論文集，Vol.33，No.3，pp.224-232，2015。
- 3) 館石ら：すみ肉溶接継手のルートき裂に対する変位基準の疲労強度評価法，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.71，No.3，pp.315-326，2015。