

第 I 部門

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
大阪大学大学院	正会員	廣畑 幹人
大阪大学	正会員	堤 成一郎

1. はじめに

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ため、溶接ルート部の疲労強度の向上が望まれている。

本研究では、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⁾に着目し、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⁾で提案されている未溶着部の合成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、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。試験体寸法を図-1 に示す。試験体は、厚さ 12mm の主板上に、厚さ 12mm のソールプレートを模擬した鋼板を全周すみ肉溶接(脚長 4mm)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。樹脂を充填するために、ソールプレートの

中央($\phi 16\text{mm}$)および溶接部近傍に孔($\phi 6\text{mm}$)を設けている。充填する樹脂として、エポキシ樹脂接着剤(EP)とシアノアクリレートの速乾性接着剤(CA)を用いた。載荷荷重は最小荷重 5kN、最大荷重 165kN とした。主板を直置きし、ソールプレートに $90 \times 125\text{mm}$ の載荷板を介して荷重を載荷した。ひずみゲージを 4 辺のすみ肉溶接の中央(ゲージ A~D)に貼付け、疲労試験中に一定間隔でひずみの変動を計測した。

3. 試験結果

試験体 AW のひずみ範囲の変化を図-2、試験体 RA(EP)のひずみ範囲の変化を図-3 にそれぞれ示す。載荷板が長方形であることと溶接形状が計測位置でそれぞれ異なるため、ゲージ A~D のひずみ範囲は同じ試験体でも異なる。試験体 AW では、初期のひずみ範囲が $1,000\mu$ 以上であるが、試験体 RA(EP)では初期のひずみ範囲が 50μ 以下と大きく低下している。これは、試験体 AW の場合、溶接部を介して圧縮力が伝達されているが、溶接ルート部に樹脂を充填したことにより、樹脂が圧縮力を伝達したためである。また、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(EP)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。試験体 RA(CA)も試験体 RA(EP)と同様に初期のひずみ範囲が 100μ 以下と大きく低下し、繰返し回数が 1,000 万回を超えてもひずみ範囲に変化が見られなかった。

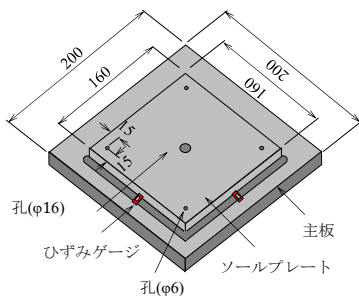


図-1 試験体寸法

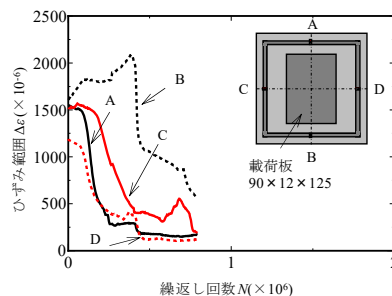


図-2 ひずみ範囲の変化(AW)

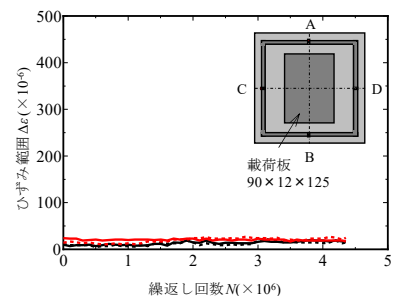


図-3 ひずみ範囲の変化(RA(EP))

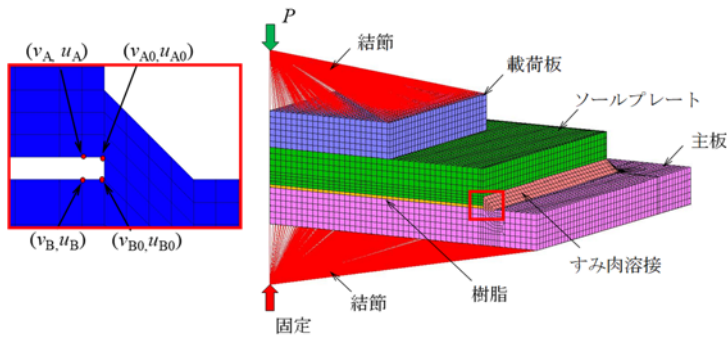


図-4 ソールプレートのすみ肉溶接を模擬した試験体の解析モデル

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

今回の試験において、溶接ルート部に樹脂を充填したため、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。舘石らは、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、疲労設計曲線は次式で与えられている³⁾。

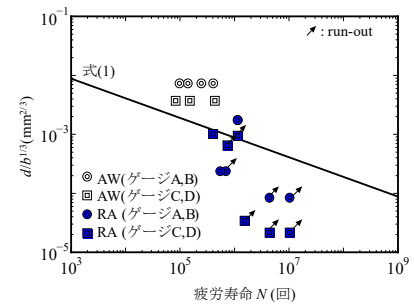
$$(d/b^{1/3})^3 N = 6.86 \times 10^{-4} \quad (1)$$

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手法により、ソールプレートの疲労試験の疲労寿命の評価を行った。

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ソールプレートのすみ肉溶接を模擬した試験体について 3 次元解析モデルを作製し、溶接ルート部の合成変位を求めた。解析には 8 節点ソリッド要素を用いた。対称面では対称条件を与え、1/4 モデルとした。材料特性は、鋼のヤング率 200kN/mm²、ポアソン比 0.3、樹脂のヤング率 2.0kN/mm²、ポアソン比 0.35 とし、線形として考えた。鋼と樹脂は各節点で完全に結合されている。ソールプレートと荷重板には、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、実測値の平均値の短辺 4.8mm、長辺 5.4mm のサイズとした。樹脂は、各試験体に合わ

図-5 $d/b^{1/3}$ と疲労寿命 N との関係

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 より小さくなっていることがわかる。また、試験体 AW の $d/b^{1/3}$ の値はゲージ A, B (荷重板の長辺側) よりゲージ C, D (荷重板の短辺側) の方が小さくなっており、荷重板の形状の影響も評価できている。この図に示すように、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. まとめ

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、溶接ルート部から発生する疲労き裂に対して、溶接ルート部に樹脂を充填することにより疲労寿命を大幅に向上することができた。また、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溶接ルート部に樹脂を充填して溶接ルート部の変位を抑制することによる疲労強度の向上効果が式(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。

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) 廣畑幹人，伊藤義人：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) 舘石和雄，早田直広，判治剛，清水優：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。