

第 I 部門

疲労き裂の発生・進展による溶接残留応力の再分配の評価

関西大学大学院 学生員 ○松本 直樹, 正会員 石川 敏之

1. はじめに

現在, 日本では, 重交通路線を中心に, 鋼道路橋の疲労損傷が多数発生していることが報告されている. 今後も疲労損傷が発生すると考えられる. したがって, 効果的かつ低コストで実施できる疲労損傷の検出技術が求められている.

著者らは, 疲労試験において, 溶接止端部近傍の無荷重時のひずみの定期的な計測によって, 疲労き裂の発生・進展を評価する方法を提案している¹⁾. この方法は, 疲労き裂の発生によって, 溶接時に導入された引張残留応力が解放され, 鋼部材内部の応力のつり合いが変化することによるひずみ変化をモニタリングすることで疲労き裂の発生・進展を評価する方法である.

既往研究¹⁾では, 面外ガセット試験体の試験結果のみを用いて評価している. しかし, 試験体寸法や構造形式が異なると, 導入されている残留応力領域が異なると考えられるため, さらなる検討が必要である.

そこで本研究では, 小形要素試験体と小形部材試験体を用いて疲労試験を行い, 溶接止端部近傍の無荷重時のひずみの計測によって, 疲労き裂の発生・進展の評価が可能か明らかにする. また, 熱弾塑性解析によって, 面外ガセット試験体の溶接残留応力を簡易的に再現し, 疲労き裂の発生・進展による残留応力の変化を調べる.

2. 疲労試験

本研究では, 図-1 に示すような, 幅 300mm の面外ガセット溶接継手試験体および垂直補剛材と上部デッキプレート, 下部デッキプレート, ウェブを接合した小形の箱型試験体を用いて疲労試験を行う. どちらの試験体も, 鋼床版の垂直補剛材とデッキプレートの接合部を模擬している. 箱型試験体は, デッキプレートと垂直補剛材の溶接止端部が一つの試験体につき 2 箇所あるため, “L” と “R” で区別している.

図-2 に, それぞれの試験体の溶接止端部近傍に貼付したひずみゲージ位置を示す. 試験体中央の溶接止端部から 12mm の位置は 2 方向ゲージを用いた.

面外ガセット試験体は, 板曲げ振動疲労試験機²⁾を利用し, バネを用いて圧縮の予荷重を与え, 応力比 $R=-\infty$, 応力範囲 70N/mm^2 で疲労試験を行った. 箱型試験体は, 最大載荷能力 400kN の油圧サーボ試験機を利用し, 試験体上面の中心 $200\text{mm}\times 200\text{mm}$ の位置を, 試験力 $2\text{kN}\sim 32\text{kN}$ の範囲で繰

返し载荷を行った. そのため, 本研究では, 無荷重時のひずみは最大ひずみおよび最小圧縮荷重時のひずみとした.

疲労試験において, 面外ガセット試験体と箱型試験体から

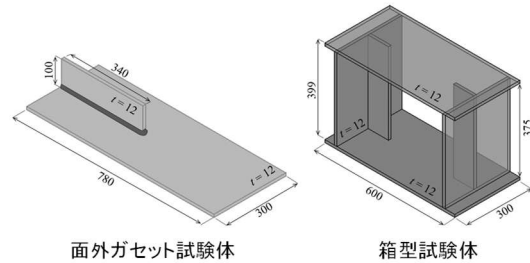


図-1 小形要素試験体と小形部材試験体の寸法

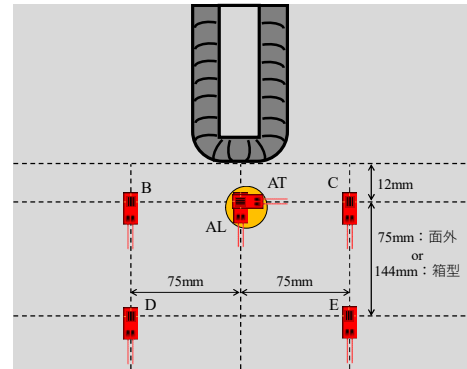
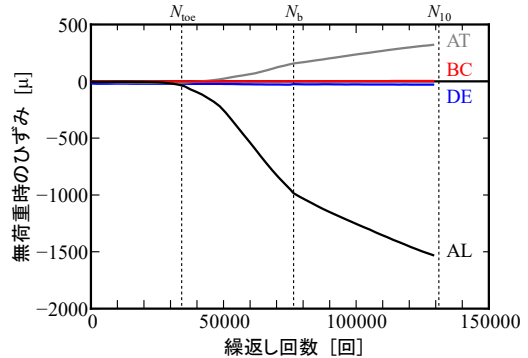
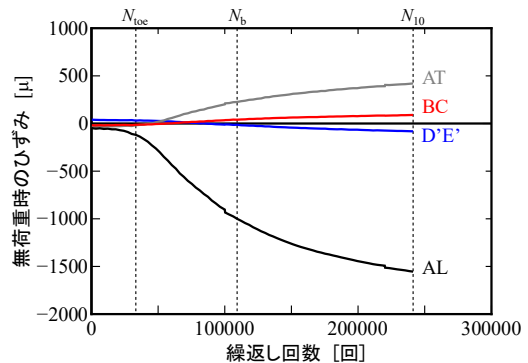


図-2 ひずみゲージ貼付位置



(a) 面外ガセット試験体



(b) 箱型試験体

図-3 無荷重時のひずみと繰返し回数の関係

得られた、溶接止端部近傍に貼り付けたゲージ位置の無荷重時のひずみの変化と繰返し回数の関係を図-3に示す。箱型試験体はL側の試験結果を示している。図より、面外ガセット試験体と箱型試験体ともに、疲労き裂の発生・進展によって、引張残留応力領域であるゲージALが圧縮側に変化し、圧縮残留応力領域のゲージATが引張側に変化していることがわかる。これは、既往研究1)と同様に、疲労き裂の発生によって、残留応力が解放され再分配されるためと考える。

したがって、構造形式の異なる試験体においても、溶接止端部近傍の無荷重時のひずみの定期的な計測によって、疲労き裂の発生・進展を評価できると考える。

3. FEM解析

FEM解析によって、溶接残留応力および疲労き裂進展をシミュレーションし、疲労き裂による残留応力の変化を確認する。有限要素解析プログラムMARCを用いて、熱弾塑性解析を行い、面外ガセット試験体の溶接残留応力の再現を行う。解析モデルは、図-4に示すように、疲労試験と同寸法の面外ガセット試験体とする。対称性を考慮して、1/2モデルとしている。熱導入部は、図-4に示すように、溶着金属部と溶接熱影響部とした。ただし、本研究では、熱源の移動を考慮していない。境界条件および材料の機械的性質、物理定数の温度依存性などの解析条件は、文献3)を参考に設定した。

常温に達した後、MARCのDEACTIVATION機能を用いて、段階的に疲労き裂を模擬した幅0.05mmの要素を無効にして、疲労き裂の進展を再現する。主板上面において、溶接止端から10mm離れた位置(N_{10})まで、疲労き裂の発生・進展を再現した。

図-5に、試験体モデル中央の長軸方向および長軸直角方向のひずみの変化量とき裂長さの関係を示す。図より、き裂の進展によって、長軸方向ひずみが減少し、長軸直角方向ひずみが増加していることがわかる。これは、本研究の疲労試験と同様の傾向である。計測位置5mmの方が、12mmよりも熱導入部に近いため、導入された残留応力が大きく、ひずみの変化量も大きくなったと考える。

図-6に、長軸方向の応力コンター図を示す。図より、溶接止端部近傍には、長軸方向では引張残留応力が導入されていることがわかる。AWと N_{10} を比較すると疲労き裂を進展させることで、溶接止端部の残留応力が変化していることから、疲労き裂の発生によって残留応力が再分配されることがわかる。さらに、疲労き裂が主板まで進展すると、残留応力の解放によって、き裂先端部に残留の応力集中が生じることがわかる。

4. おわりに

本研究では、小形要素試験体と小形部材試験体を用いて疲労試験を行い、溶接止端部近傍の無荷重時のひずみの計測を

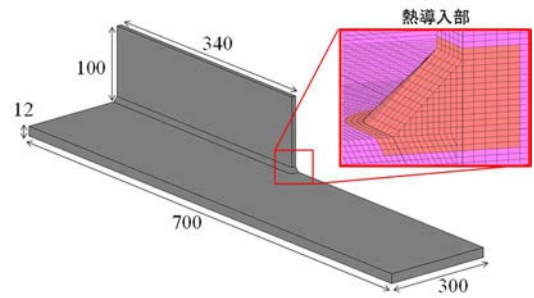


図-4 解析モデルと熱導入部

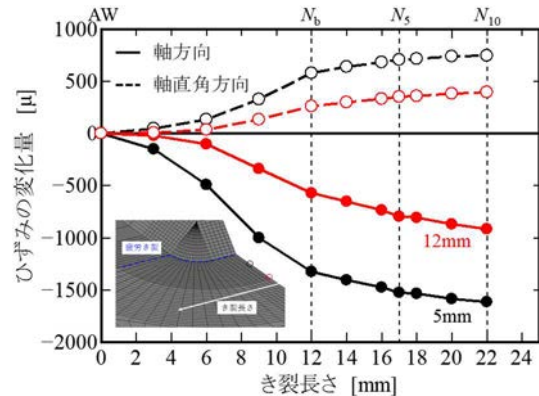


図-5 ガセット軸方向および軸直角方向ひずみとき裂長さの関係

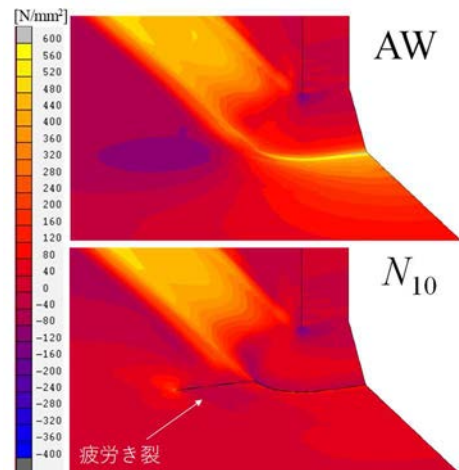


図-6 ガセット軸方向の応力コンター図

行った。また、熱弾塑性解析によって、面外ガセット試験体の溶接残留応力を簡易的に再現し、疲労き裂の発生・進展による残留応力の変化を調べた。その結果、幅300mmの面外ガセット試験体、箱型試験体において、溶接止端部近傍の無荷重時のひずみによって、疲労き裂の発生・進展の評価が可能であった。さらに、疲労き裂の進展によって、溶接止端部近傍の残留応力が再分配されることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 石川敏之, 松本直樹: 疲労き裂の発生・進展による無荷重時のひずみ変化の評価, 構造工学論文集 Vol.68A, pp.554-563, 2022.
- 2) 山田健太郎, Ya Samol: Uリブすみ肉溶接のルートき裂を対象とした板曲げ疲労試験, 構造工学論文集, Vol.54A, pp.675-684, 2008.
- 3) 廣畑幹人, 伊藤義人: 簡易熱源を用いた熱処理によるすみ肉まわし溶接継手の残留応力緩和に関する研究: 土木学会論文集 A1, Vol.71, No.2, 208-220, 2015.