

LPWA を用いた疲労き裂進展モニタリング手法の開発

関西大学大学院 学生員 ○松本 直樹
 関西大学 正会員 石川 敏之
 株式会社アスコ 正会員 公門 和樹

1. はじめに

筆者らは、鋼構造の疲労き裂の発生の検知として、疲労き裂の発生によって溶接残留応力が解放されることによる内部応力のつり合いの変化を、ひずみで計測する方法を提案している¹⁾。この方法は、作用荷重によるひずみ範囲の計測が不要であり、無荷重時のひずみを静的に計測し続け、その変化から疲労き裂の発生を検出する。したがって、ひずみ波形などの大容量のデータが必要なく、定期的に無荷重時のひずみを計測すれば良いため、低電力で長距離通信が可能な LPWA(Low Power Wide Area)を用いたモニタリングに適した方法と考える。これまでに、面外ガセット溶接継手の疲労試験において、疲労き裂の発生・進展によって、溶接止端近傍の無荷重時のひずみが大きく変化することを明らかにしている¹⁾。しかし、実橋において、疲労き裂の発生が確認され、恒久対策を行うまでの間に、き裂進展を監視する場合は、溶接止端近傍ではなく疲労き裂先端近傍のひずみを計測することが有効的と考えられる。これは、疲労き裂がまわし溶接部から離れ、主板部に進展していた場合、すでに残留応力が解放され、溶接止端近傍の内部応力のつり合いの変化によるひずみ変化が小さい可能性があるためである。

このような背景から、本研究では、疲労き裂先端部のひずみ変化に着目した。疲労き裂が発生した試験体のき裂先端近傍にひずみゲージを貼付し、製作した LPWA を用いた無線ひずみ計測機器によって、無荷重時のひずみの変化を計測し、き裂進展モニタリングが可能かどうかを明らかにする。

2. 無線データロガーの概要

製作した無線ひずみ計測機器を、図-1 に示す。本研究では、シングルボードコンピュータ Arduino Uno R3 と LPWA 通信装置 Sigfox Shield for Arduino : UnaShield V2S、ひずみ計測のための 2 チャンネルひずみアンプシールド(計装アンプ AD8426 使用)を組み合わせる製作した。この無線ひずみ計測機器では、計測できるひずみ範囲がおよそ $-2,000 \sim 2,000 \mu$ である。本研究では、 120Ω のひずみゲージを 3 線式結線法で接続し、電源は PC の USB 接続からの常時供給とした。

3. 試験体とひずみゲージの貼付位置

疲労試験は、文献 1)と同様にして、板曲げ振動疲労試験機を用いて、応力範囲 $\Delta\sigma = 120 \text{ N/mm}^2$, 100 N/mm^2 (応力比 $R = -1$)で実施した。製作した無線ひずみ計測機器を用いて、10 分

キーワード 疲労き裂、き裂進展、ひずみ、IoT、モニタリング

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



図-1 製作した無線ひずみ計測機器

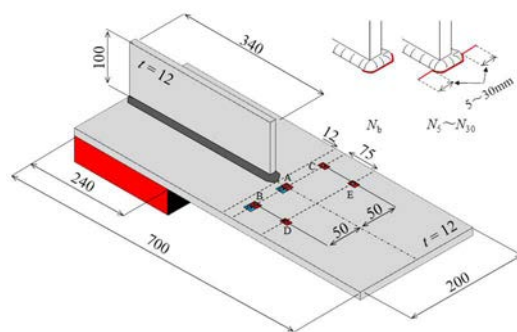


図-2 試験体の寸法と主板部のひずみゲージ位置

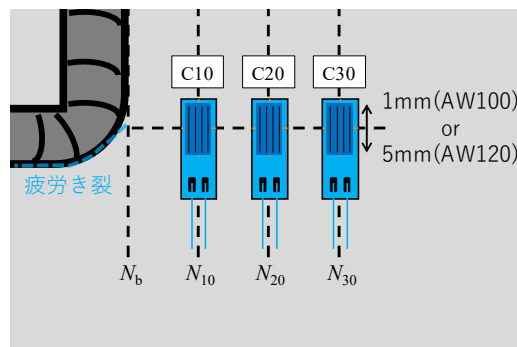


図-3 き裂先端部のひずみゲージ貼付位置

間隔で計測したひずみデータをインターネット上のプラットフォーム SORACOM Air for Sigfox (ソラコム IoT プラットフォーム)で確認できるようにした。図-2 に面外ガセット試験体の寸法と主板部のひずみゲージ貼付位置を示す。図-3 に、き裂先端部のひずみゲージ貼付位置を示す。本研究では、疲労き裂を N_b まで発生させ、き裂先端を基準に、AW100 はゲージ長 1mm のひずみゲージを N_{10} , AW120 はゲージ長 5mm のひずみゲージを N_{10} , N_{20} , N_{30} の位置に貼付した。また、比較のために、図-2 の CH-A~E のうち、溶接止端部の CH-A, B のひずみも計測した。本研究では、応力比 $R = -1$ で実施したため、平均ひずみが無荷重時のひずみとなる。

4. 疲労試験結果

図-4 に AW120 の疲労試験から得られた、CH-A, B の平均ひずみと繰返し回数の関係を示す。溶接止端近傍の CH-A, B のひずみは、溶接ままの初期状態から計測しており、図に示すように、平均ひずみが、疲労き裂の発生・進展によって変化していることが分かる。しかし、初期状態から N_b まではひずみの変化が大きいものの、 N_b 以降の変化は小さく、CH-A の N_b までの変化量は約 980μ に対して、 $N_b \sim N_{30}$ の変化量は約 460μ であった。次に、図-5 に、AW120 と AW100 から得られた、き裂先端部の平均ひずみと繰返し回数の関係を示す。図より、疲労き裂が計測位置に近づくにつれて、平均ひずみが大きく増加していることがわかる。これは、疲労き裂先端の応力集中により、き裂先端部の微小範囲が局所的に降伏し、引張塑性ひずみを計測したためと考える。本研究では N_{10} , N_{20} , N_{30} とひずみゲージの中心が一致するように貼付しているため、疲労き裂が進展し、ひずみを計測する金属抵抗体を切断したことで、き裂長さに達する前に、計測不能となった。

したがって、溶接止端近傍の CH-A, B よりも、き裂先端部の局所的な降伏による塑性ひずみの方が大きく変化することがわかった。また、ゲージ長さの違いによる影響は見られなかったが、疲労き裂の進展方向は予測が難しく、ゲージ長 1mm のひずみゲージでは、き裂先端の塑性域から外れた位置になる可能性があるため、き裂先端部の計測には、ゲージ長の長いひずみゲージが適していると考えられる。

5. おわりに

本研究では、疲労き裂先端部のひずみ変化に着目した。疲労試験において、LPWA を用いた無線ひずみ計測機器によって、き裂先端部の無荷重時のひずみを計測した結果、き裂先端の局所的な降伏による塑性ひずみの計測およびひずみゲージの金属抵抗体の切断によって、き裂先端部の無荷重時のひずみが増加するため、すでに発生している疲労き裂に対して、き裂進展モニタリングが可能であった。

謝辞： 本研究は、2022 年度近畿建設協会研究助成を受けて実施しました。ここに記して謝意を示します。

参考文献 1) 石川ら：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.

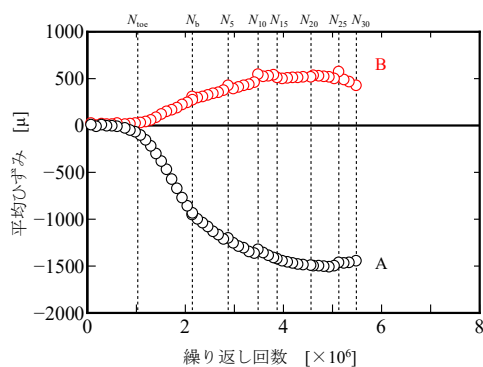
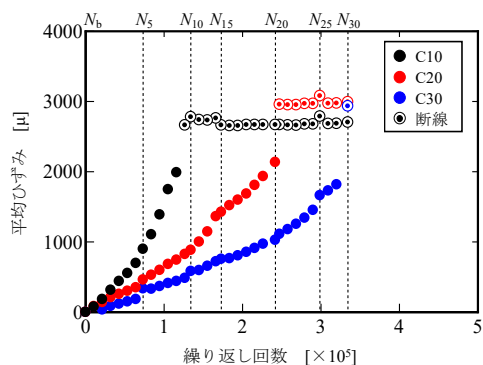
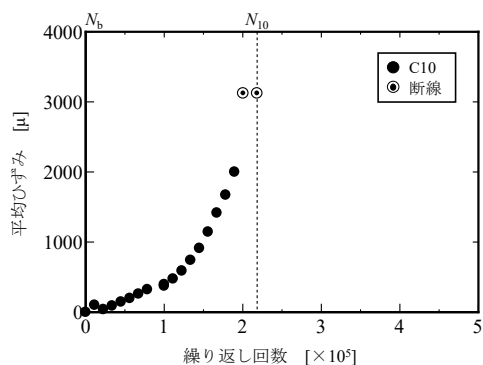


図-4 CH-A, B の平均ひずみと繰返し回数



(a) AW120



(b) AW100

図-5 き裂先端部の平均ひずみと繰返し回数