

IoT を用いたひずみ計測による疲労き裂の検出法の開発

関西大学 学生員 ○松本 直樹 正会員 石川 敏之
京橋ブリッジ 正会員 公門 和樹

1. はじめに

現在、我が国では、重交通路線を中心に鋼橋の疲労き裂の発生が報告されており、今後も、定期点検時の近接目視によって発見される疲労き裂や塗膜割れが増加することが考えられる。そのため、簡便かつ低コストな疲労き裂の非破壊検査やモニタリングが求められている¹⁾

文献2)では、板曲げ振動疲労試験において、面外ガセット溶接継手の溶接引張残留応力が導入されている溶接止端近傍の無荷重時のひずみと、その溶接引張残留応力とつりあう圧縮残留応力が導入されている位置の無荷重時のひずみの変化を計測することで、疲労き裂の発生・進展を評価できることが明らかにされている。この様に、引張残留応力位置と圧縮残留応力位置の無荷重時のひずみを計測することで、引張残留応力位置のひずみの大幅な減少と、圧縮残留応力位置のひずみの増加によって、疲労き裂の発生・進展が評価でき、実橋においても IoT (Internet of things)による損傷検知のモニタリングが可能になると考える。さらに、文献2)の方法を用いたモニタリングでは、1日に数回のひずみ計測でよく、ひずみ波形のような大容量のデータが必要ないため、1度に通信用のデータ量に制限があるが、低電力で長距離通信が可能な LPWA によるモニタリングに適している²⁾と考える。

そこで、本研究では、ボードコンピュータと Low Power Wide Area (LPWA) を用いた無線ひずみ計測とデータ転送システム(IoT)を利用して、板曲げを受ける面外ガセット溶接継手に対して、無荷重時のひずみ計測による疲労き裂の発生・進展のモニタリングが可能かどうかを明らかにする。

2. 疲労試験概要

本研究では、面外ガセット溶接継手試験体を用いて、板曲げ疲労試験を行い、動ひずみ計を用いたひずみ計測と LPWA を用いた無線ひずみ計測を行い、無荷重時のひずみの変化から疲労き裂の発生・進展を評価する。動ひずみ計のひずみゲージ位置を図-1、無線ひずみ計測のひずみゲージ位置を図-2に示す。同じ位置のひずみゲージは横に並べて貼り付けた。本研究では公称応力範囲が 95N/mm^2 と 150N/mm^2 の2パターン(AW95, AW150)の試験を行った。文献2)と同様に、載

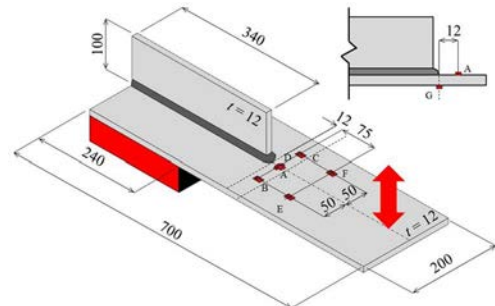


図-1 動ひずみ計のひずみゲージ貼り付け位置

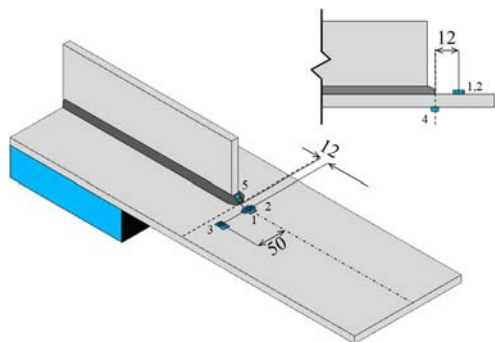


図-2 無線ひずみ計測のひずみゲージ貼り付け位置

表-1 試験体と応力範囲と疲労強度

試験体	応力範囲 (N/mm^2)	疲労強度($\times 10^4$ 回)			
		N_{10e}	$N_{5\%}$	N_b	N_{10}
AW95	94.6	11.7	24.6	60.0	110.0
AW150	151.1	4.1	5.5	11.5	17.8

荷初期のひずみゲージ B, C から計測されたひずみ範囲の平均値に鋼材のヤング係数($E_s = 200\text{kN/mm}^2$)を乗じて、応力範囲とした。応力比は $R=-1$ としたため、本研究では平均ひずみが無荷重時のひずみになる。試験体一覧を表-1に示す。

3. 計測機器構成

本研究では、IoT として LPWA(Sigfox)と Arduino 社製のボードコンピュータ(Arduino Uno R3)を用いた。ボードコンピュータに Sigfox Shield for Arduino (UnaShield V2S)と 2CH ひずみアンプシールドを接続して LPWA 通信とひずみ計測を可能にした。本研究では 4CH での計測を行うため、ひずみアンプシールドを2つかスケードしている。本研究では、バッテリー駆動ではなく、動ひずみ計測を接続しているノート

キーワード LPWA, モニタリング, 平均ひずみ, 残留応力, 疲労試験
連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL.06-6368-0926

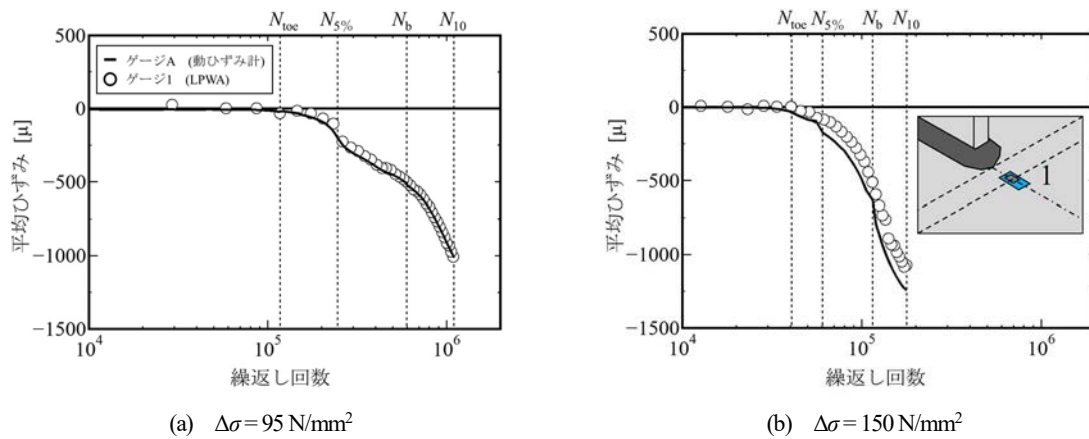


図-3 ゲージAとゲージ1の平均ひずみの変化と繰返し回数

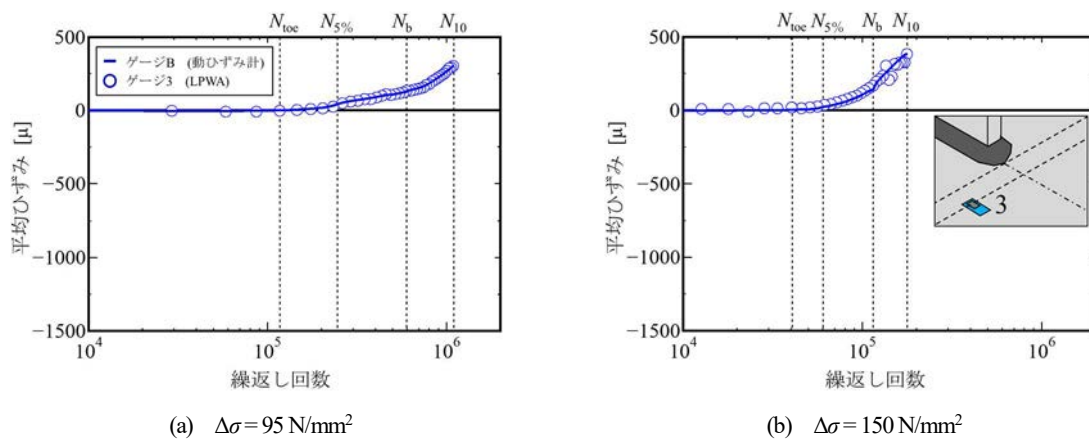


図-4 ゲージBとゲージ3の平均ひずみの変化と繰返し回数

PCから計測機器に電源を供給した。

4. 疲労試験結果

図-3にゲージAとゲージ1から得られた平均ひずみ(無荷重時のひずみ)の変化と繰返し回数の関係を示す。図には各き裂長さに対する繰返し回数も示している。図より、動ひずみ計を用いたひずみ計測の平均ひずみの変化とLPWAを用いた無線ひずみ計測の平均ひずみの変化が、ほぼ一致し、疲労き裂の発生・進展を評価できることがわかる。ひずみゲージによる平均ひずみの変化は、ひずみゲージを貼り付けた時点が基準(0 μ)となるので、引張残留応力が減少する現象が圧縮ひずみとして計測され、その結果、平均ひずみが減少する。AW150において、ゲージAとゲージ1に若干の差が生じているが、これは、2軸ひずみゲージを並べて貼り付けたため、計測位置が少しずれたことが原因であると考えられる。

次に、図-4にゲージBとゲージ3から得られた平均ひずみの変化と繰返し回数の関係を示す。図より、ゲージ3でも動ひずみ計を用いたひずみ計測の平均ひずみの変化とLPWAを用いた無線ひずみ計測の平均ひずみの変化が、ほぼ一致していることがわかる。ゲージ3は引張残留応力が導入されている溶接止端部とつりあうように圧縮残留応力が導入されており、その圧縮残留応力が減少する現象が引張ひずみとし

て計測されるため、平均ひずみが増加している。

したがって、引張残留応力と圧縮残留応力が導入されているゲージ1と3の位置の計測は、平均ひずみの変化の増加と減少が確認できるため、温度変化の影響と疲労き裂発生による変化の区別が出来る可能性がある。

5. おわりに

本研究では、ボードコンピュータとLow Power Wide Area (LPWA)を用いた無線ひずみ計測とデータ転送システム(IoT)を利用して、板曲げを受ける面外ガセット溶接継手に対して、疲労き裂の発生・進展のモニタリングが可能かどうかを検討した。その結果、面外ガセットの板曲げ振動疲労試験に対して、LPWAを用いた無線ひずみ計測の平均ひずみの変化は動ひずみ計を用いた計測の平均ひずみの変化とほぼ一致し、疲労き裂の発生・進展の評価が可能であった。さらに、引張残留応力と圧縮残留応力が導入されているゲージ1、3の位置を同時に計測すると、疲労き裂の発生・進展によって、平均ひずみの変化の増加と減少の両方を確認できた。

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22，2013。
- 2) 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，2022。(印刷中)