第Ⅰ部門　　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

関西大学　学生員　○松本　直樹
関西大学　正会員　　石川　敏之

1.　はじめに

現在，我が国では，鋼橋の疲労損傷が多数報告されているため，効果的でかつ低コストな疲労対策技術や疲労き裂の非破壊検査およびモニタリング技術が求められている[1]．

一般に疲労試験では，ひずみ範囲の変化を用いて疲労き裂の発生・進展を評価している．一例として，面外ガセット溶接継手の板曲げ疲労試験中に計測された溶接止端のひずみ範囲と平均ひずみを**図-1** に示す．**図-1** から，疲労き裂が進展すると溶接止端から 20mm の位置のひずみ範囲が徐々に低下するため，ひずみ範囲の変化から疲労き裂の発生・進展を評価できることがわかる．他方，平均ひずみ(R=-1 の場合，無荷重時のひずみ)も，疲労き裂の発生・進展による残留応力の解放によって変化しているため，無荷重時のひずみの変化による疲労き裂の発生や進展の評価が実橋へも適用できると考える．しかし，疲労き裂の発生による無荷重時のひずみの変化量は，残留応力に依存しており，その変化量の大きさや計測位置については検討する必要がある．

そこで，本研究では，無荷重時のひずみの変化による疲労き裂の検出のための基礎的な研究として，板曲げ振動疲労試験機を用いて面外ガセット溶接継手の疲労試験を行い，発生した疲労き裂とひずみ範囲の関係および平均ひずみの関係を明らかにすることを目的とする．

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疲労試験を行う．疲労試験には，板曲げ振動疲労試験機[2]を用いた．**図-2** に示す位置にひずみゲージを貼付し，載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=200kN/mm^2)を乗じて，公称応力範囲とした．本研究では応力比はすべて R=-1 としたため，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.　ひずみ範囲と平均ひずみの変化

一例として，**図-3**に，No.4の試験体のゲージAのひずみ範囲および平均ひずみの変化と繰返し回数の関係を示す．図より，疲労き裂が発生するN_{toe}の繰返し回数あたりで，ひずみ範囲と平均ひずみが共に減少し始めている．疲労き裂が溶接止端を離れ，母材に10mm進展したN_{10}に着目すると，平均ひずみの減少量は，ひずみ範囲の減少量と比べて大きいことが分かる．ひずみ範囲の減少は，き裂の発生により，溶接止端で連続性が失われ，応力伝達がなくなるために生じる．したがって，作用応力範囲以上の変化は生じない．一方，平均ひずみの減少は，溶接時に導入された溶接止端部の引張残留応力が解放されることにより生じる．ひずみゲージによる無荷

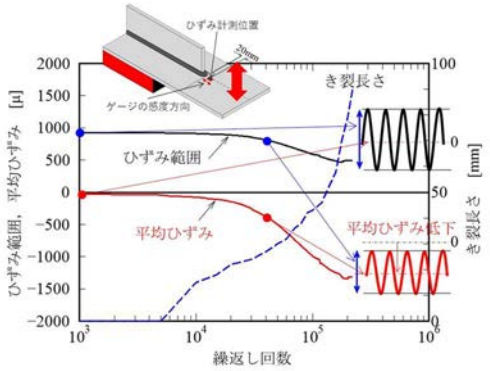

図-1　疲労試験時のひずみ範囲と平均ひずみ

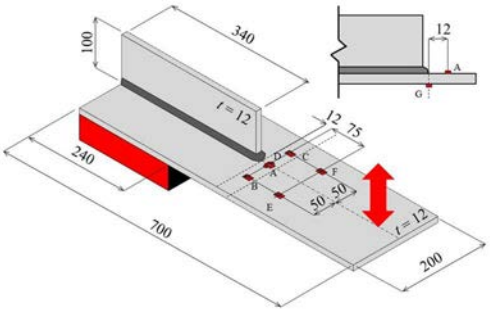

図-2　試験体寸法とひずみゲージ貼付け位置

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(×10^{4}回)			
		N_{toe}	$N_{5\%}$	N_b	N_{10}
No.1	60.4	131.0	144.2	233.7	321.6
No.2	62.0	—	58.7	167.4	277.5
No.3	76.6	64.4	99.0	134.0	193.5
No.4	94.6	11.7	24.6	60.0	110.0
No.5	94.8	—	19.5	—	75.8
No.6	119.3	10.8	12.3	34.7	50.3
No.7	129.7	6.9	9.9	22.9	33.2
No.8	151.1	4.1	5.5	11.5	17.8
No.9	178.6	1.2	2.2	5.7	8.3

Naoki MATSUMOTO and Toshiyuki ISHIKAWA
k172603@kansai-u.ac.jp

重時のひずみの変化は，ひずみゲージを貼付した時点が基準(0μ)となるので，引張残留応力が低下する現象が圧縮ひずみとして計測され，その結果，導入されていた残留応力に応じて,無荷重時のひずみが減少する．

図-4に，ゲージAのN_{10}に対するひずみ範囲および平均ひずみの変化量と応力範囲の関係を示す．図では，縦軸がひずみの変化量，横軸が応力範囲を示している．図より，平均ひずみの変化量は残留応力のばらつきを含んでいるが，応力範囲に依存するひずみ範囲の変化量よりも大きく変化し，1,000μ以上となっている．溶接止端近傍では，高い引張残留応力が生じているため，残留応力に依存する平均ひずみの変化量も大きくなると考える．このように，溶接止端近傍では，高い引張残留応力の解放によって平均ひずみ，すなわち無荷重時のひずみが，載荷荷重に依存せずに大きく変化するため，平均ひずみによる疲労き裂の発生・進展の評価が可能であると考える．

図-5に，No.4の試験体のゲージBのひずみ範囲と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Bの平均ひずみの変化は，ゲージAと比べると少ない．ゲージBの位置は，疲労き裂が発生すると，残留応力が再分配され，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，平均ひずみは増加する方向に変化している．

図-6 に，ゲージ B の N_{10} に対するひずみ範囲および平均ひずみの変化量と応力範囲の関係を示す．図よりゲージ A と同様に残留応力のばらつきを含んでいるが，平均ひずみの変化量の方がひずみ範囲の変化量よりも大きく変化している．このように，溶接止端から離れた位置では，平均ひずみの変化量は小さくなるが，平均ひずみの変化量は，本試験の応力範囲以内であれば，ひずみ範囲の変化量よりも大きくなる．

4. おわりに

本研究では，無荷重時のひずみの変化による疲労き裂検出のための基礎的な研究として，板曲げ振動疲労試験機を用いて面外ガセット溶接継手の疲労試験を実施し，ひずみ範囲と平均ひずみの変化量を調べた．その結果，面外ガセットの溶接止端近傍において，疲労き裂の進展に伴って，残留応力の解放により，平均ひずみが変化するため，疲労き裂の発生・進展の評価ができることが分かった．さらに，溶接止端近傍だけではなく，残留応力が影響する位置であれば，ひずみ範囲の変化量と比べて，平均ひずみの変化量が大きくなる傾向であった．ただし，疲労き裂の発生位置で高い引張残留応力が導入されている溶接止端近傍から，ひずみの計測位置が離れると，変化量が小さくなる．

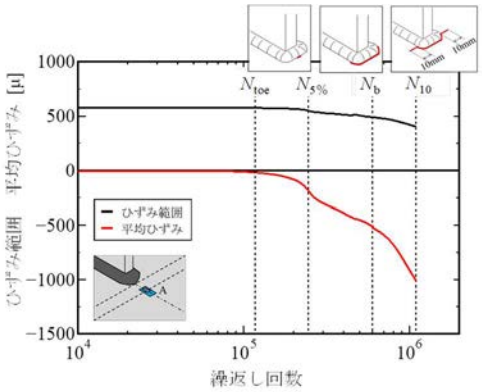

図-3 ひずみの変化と繰返し回数(ゲージ A)

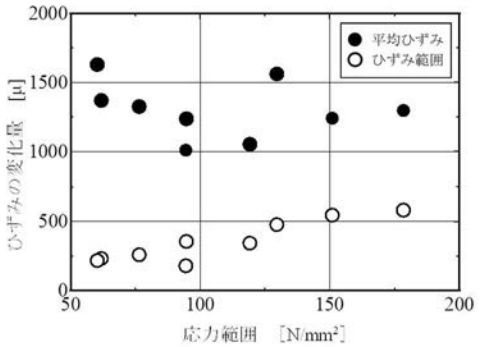

図-4 ひずみの変化量と応力範囲(ゲージ A)

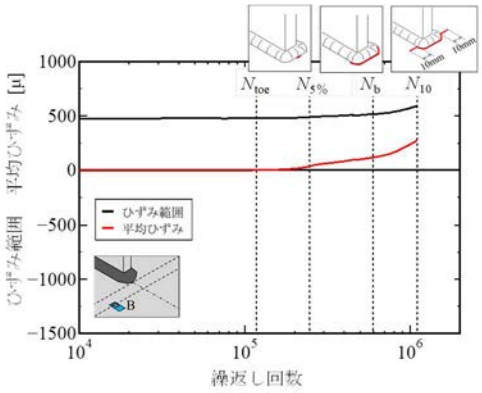

図-5 ひずみの変化と繰返し回数(ゲージ B)

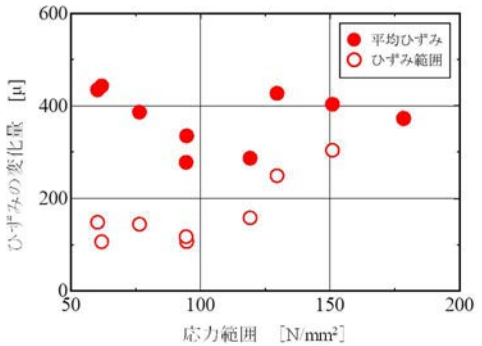

図-6 ひずみの変化量と応力範囲(ゲージ B)

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) 山田健太郎，小薗江朋尭，小塩達也：垂直補剛材と鋼床版デッキプレートのすみ肉溶接の曲げ疲労試験，鋼構造論文集，Vol.14，No.55，pp.1-8, 2007.