両振り載荷時の鋼材の極低サイクル疲労強度

名古屋大学 日本学術振興会特別研究員 (PD) ○正会員 判治 剛 名古屋大学 正会員 舘石 和雄 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 南 邦明

1. 背景および目的

阪神・淡路大震災において鋼構造物のひずみ集中部で極低サイクル疲労によると考えられる損傷事例が多数報告された.これまでに著者らは、極低サイクル疲労領域において試験可能な試験システムを新たに開発し、それにより鋼材の極低サイクル疲労強度予測手法を提案している^{1,2)}.大震災以後に行われた鋼製橋脚の地震応答解析によると、損傷発生位置のひずみ履歴は引張あるいは圧縮の一方向に偏る傾向があることが示されていることから、これまでに行われた研究のほとんどは片振り載荷疲労試験であり、両振り載荷時の極低サイクル疲労強度については検討されていない。そこで本研究では、両振り載荷用の試験治具を新たに開発し、その治具を用いて極低サイクル疲労試験を行うことにより両振り載荷時の疲労強度について検討した。

2. 極低サイクル疲労強度予測手法

著者らが提案した疲労強度予測手法を式(1)に示す。これは極低サイクル疲労領域において寿命を推定する場合、ひずみの繰り返しによる損傷 D_{cyclic} (Miner 和の形) に加え、大きな塑性変形による損傷 $D_{ductile}$ を考慮し、両者の和が 1.0 に達したときにき裂が発生するとしたものである。その詳細は参考文献(1)、(2)を参照されたい。

$$D = D_{cyclic} + D_{ductile} = \begin{cases} \sum_{i} \frac{n_{i}}{N_{i}} + \frac{\left|\varepsilon\right|_{\max} - \varepsilon_{pD}}{\varepsilon_{f} - \varepsilon_{pD}} & \text{if } \left|\varepsilon\right|_{\max} > \varepsilon_{pD} \\ \sum_{i} \frac{n_{i}}{N_{i}} & \text{if } \left|\varepsilon\right|_{\max} \le \varepsilon_{pD} \end{cases}$$
(1)

ここで、 $|\varepsilon|_{max}$: ひずみの最大絶対値、 ε_{pR} : 破断ひずみ、 ε_{pD} : 損傷発生限界 ひずみである。 $D_{ductile}$ は損傷力学において単調引張載荷時の材料の挙動から 導かれたものである。そのため、ひずみが圧縮域から引張域にかけて変動するような両振り載荷の場合にこの考え方が適用できるかは不明である。具体 的には、 $|\varepsilon|_{max}$ を用いて算出した $D_{ductile}$ により寿命を推定することは適切かどうかを検討する必要がある。そこで、 $D_{ductile}$ を算出する際のパラメータと してひずみの最大絶対値 $|\varepsilon|_{max}$ および試験中にひずみが変動した範囲の最大値 $\Delta\varepsilon_{max}$ (以下、最大ひずみ範囲と呼ぶ)に着目し(図-4 参照)、両者を 用いて推定したそれぞれの寿命と試験結果を比較することにより、両振り載

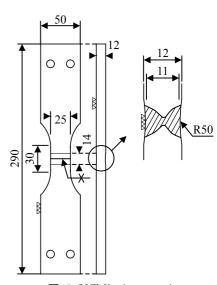
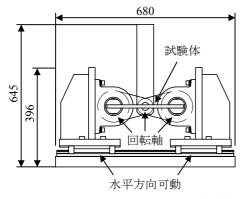
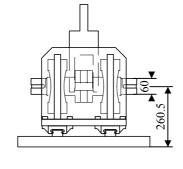


図-1 試験体 (Unit:mm)





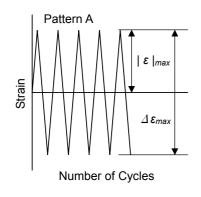
→ 繰り返し載荷 試験体 デジタルカメラ

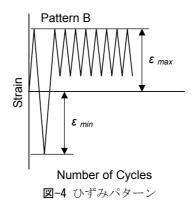
図-2 試験治具 (Unit:mm)

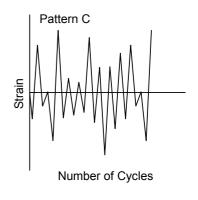
図-3 試験状況

キーワード 極低サイクル疲労強度,両振り載荷,画像計測,損傷力学,溶接継手

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学エコトピア科学研究所 TEL052-789-3741







荷時の D_{ductile} の算出方法について検討を加えた.

3. 試験体および試験システム

試験体は鋼素材のものと長手方向中央に突合せ溶接を施した突合せ溶接継手の2種類であり、その形状および寸法を図-1に示す. なお、鋼種はSM490Aである. 板厚12mmの平板であり、長手方向中央部の板厚を滑らかに削り込んだ形状とした. また、載荷軸方向に入念に研磨することにより、試験体表面の傷を除去した. 開発した

両振り載荷用試験治具の形状を図-2 に、試験状況を図-3 に示す. 試験機のアクチュエーターを上下させることにより、試験体両端部を取り付けた軸部が回転し、試験体に曲げ変形を与える構造となっている. 試験体に生じるひずみは参考文献(1)、(2)と同様に画像計測により求め、そのひずみ値を制御することにより試験を行った.

4. ひずみの変動パターン

試験体に与えたひずみの変動パターンを図-4に、その詳細を表-1にまとめる。パターン A は完全両振りの一定振幅ひずみ載荷である。パターン B は、最初に引張圧縮の大ひずみを与え、その後はひずみの最大値を固定し、一定振幅ひずみ下で試験を行うというパターンである。またパターン C はランダムひずみ波形である。全てのパターンにおいて $\Delta \varepsilon_{max}$ と $|\varepsilon|_{max}$ は異なっており、与えたひずみレベルは極低サイクル疲労領域となるように決定した。

5. 疲労試験結果

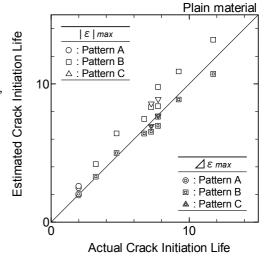
式(1)で示す $D_{ductile}$ を用いて推定した寿命と、式(1)の $|\varepsilon|_{max}$ を $\Delta \varepsilon_{max}$ と置き換えて、それにより推定した寿命の比較を図-5 に示す、横軸は実際の疲労試験から得られた寿命であり、縦軸はそれぞれの方法で推定した寿命である。図より、どのひずみパターンにおいても、 $|\varepsilon|_{max}$ の場合に比べ、 $\Delta \varepsilon_{max}$ を用いて推定した寿命のほうが実際の寿命とよく一致していることがわかる。したがって本研究では、極低サイクル疲労強度予測手法として式(1)の $|\varepsilon|_{max}$ を $\Delta \varepsilon_{max}$ と置き換えた式を提案する。

参考文献

1) 舘石和雄ら:極低サイクル疲労領域における変動振幅ひずみ下の低サイク ル疲労寿命予測モデル,土木学会論文集,No.773/I-69,pp.149-158,2004.

表-1 設定したひずみパターンの詳細

パターン	試験体	ε_{min}	ε_{max}	$ \varepsilon _{max}$	$\Delta \varepsilon_{max}$
A	鋼素材	-0.20	0.20	0.20	0.40
	溶接	-0.15	0.15	0.15	0.30
В	鋼素材	-0.15	0.20	0.20	0.35
		-0.20			0.40
	溶接	-0.10	0.15	0.15	0.25
		-0.15			0.30
С	Random				



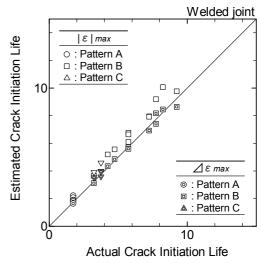


図-5 推定した疲労寿命の比較

2) 舘石和雄ら:溶接部を対象とした極低サイクル疲労強度予測モデル,構造工学論文集, Vol.51A, pp.1275-1282, 2005.