

突合わせ溶接継手の低サイクル疲労強度に関する基礎的研究

名古屋大学 学生員○ 判治 剛 名古屋大学 正 員 館石 和雄

1. はじめに

低サイクル疲労に関する研究は機械や造船の分野で数多く行われたが、そのほとんどは砂時計型試験片、もしくは平行部を有する丸棒型試験片を用いたものである。しかし試験片の形状上、砂時計型は溶接部の試験が容易ではなく、また丸棒型は与えられるひずみレベルが低く、き裂発生点の特定が困難である。低サイクル疲労ではき裂発生点とその箇所におけるひずみ振幅が重要となるが、実構造物を考える上では、溶接部の低サイクル疲労強度は切り離せない問題である。そこで本研究では酒井ら¹⁾の試験システムを参考にし、平板曲げ試験において画像計測を用いたひずみ制御低サイクル疲労試験を行った。本手法ではき裂発生点の特定とその箇所におけるひずみ振幅の制御が可能であり、また溶接継手部にも適用できると考えられる。そこで、まず素材の試験片に対し、画像計測によるひずみ制御低サイクル疲労試験を行い、本手法の有効性を確認する。

2. 計測システム

計測システムを図-1に示す。用いたカメラは市販の一般撮影用デジタルカメラであり、その画像サイズは2160×1440である。カメラと試験機はPCに接続されており、試験作業をPC側から制御することが可能である。

3. ひずみ計測手法

低サイクル疲労試験でのひずみ計測は以下の流れで行う。

- (1) 試験片側面の変形前と変形後の画像をパソコンに取り込む。なお、試験片の側面には、エッジに沿ってひずみ計測用の標点を設ける。画像処理による形状認識を容易にするため、標点は赤色とする。
- (2) デジタルカメラから入力された画像情報から、しきい値を設定し、赤色の標点のみを抽出する。この時点では、標点以外のノイズ成分も画像内に含まれる。
- (3) ノイズを除去し、各標点の重心を求める。そして標点間の重心間距離を算出し、それより標点間の真ひずみを求める。標点は試験片側面のエッジに沿って設けるので、長手方向のひずみ分布を求めることができる。

4. 試験概要

試験片の形状と寸法を図-2に示す。鋼材はSM490Aであり、素材のものと中央に突合わせ溶接されたものの2種類を用意した。またひずみの一様性を確保するため、平行部を有する形状とした。試験方法を図-3に示す。試験機のヘッドを上下することで試験片に圧縮、引張が作用する構造であるが、今回は板を完全両振りとすることができなかったため、片振り試験とした。また画像計測によるひずみ値の精度を検討するため、試験片のエッジから約5mmの箇所にひずみゲージ（東京測器製YFLA型）を貼付した。今回の画像計測の標点間隔は約3mmであり、ひずみゲージのゲージ長は10mmである。

試験のフローを図-4に示す。画像計測は変位～ひずみ関係が定常状態となるまで行い、それ以降は変位制御で試験を行った。図-5に試験中に記録した画像の例を示す。画像には

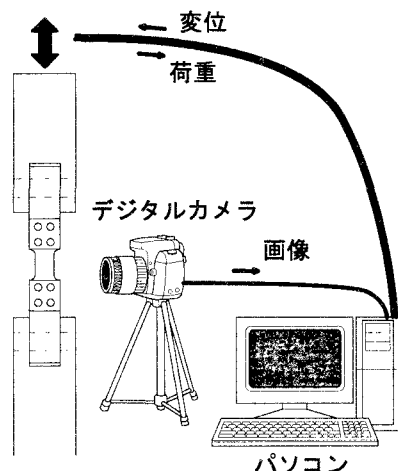


図-1 計測システム

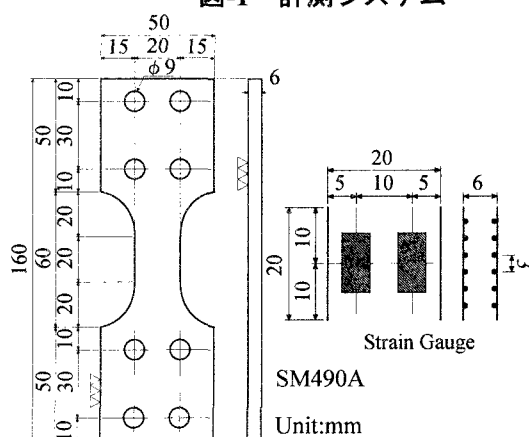


図-2 試験片及びゲージ貼付位置

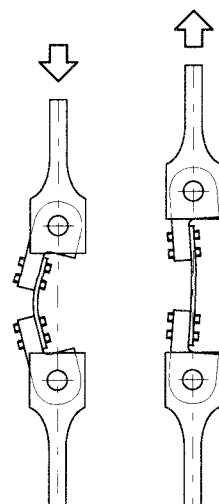


図-3 試験方法

試験片の他に、キャリブレーション用の基準体も同時に写し込んである。この基準体は試験片の側面に沿って取付けてあり、これにより変形前と後の画像における1画素の大きさの違いを補正した。

5. 素材試験片における試験結果

図-6 に画像計測とひずみゲージにおけるひずみ履歴の比較を示す。使用したゲージは塑性域ゲージであるが、塑性ひずみの繰返しには不向きであり、繰返しにより引張 (+) 方向にドリフトする傾向があるため、最初の1サイクル目のみを考慮した。その結果、画像計測とひずみゲージはほぼ一致し、本手法により大ひずみ領域では疲労試験上十分な精度で計測できるものと考えられる。

図-7 にき裂発生寿命とひずみ振幅、図-8 に破断寿命とひずみ振幅の関係を示す。併記した直線は西村・三木 (1978) ²⁾ による提案式であり、次式に示す。本試験では弾性ひずみ振幅 ε_{ea} 、塑性ひずみ振幅 ε_{pa} を明確に計測できないため、全ひずみ振幅 ε_{ia} で整理した。

$$\varepsilon_{ia} = \varepsilon_{ea} + \varepsilon_{pa}$$

$$\varepsilon_{ia} = C_p \cdot (N_c)^{-kp} + C_e \cdot (N_c)^{-ke}$$

$$\varepsilon_{ia} = C_p \cdot (N_f)^{-kp} + C_e \cdot (N_f)^{-ke}$$

N_c : き裂発生寿命, N_f : 破断寿命

C_p, C_e, k_p, k_e : 定数

試験中、表面をルーペで観察し、約 0.5mm 程度のき裂を確認したときをき裂発生寿命とした。本手法によるき裂発生寿命は直線付近に分布し、画像計測を用いた低サイクル疲労試験の有効性を確認することができる。また、今回の試験片と比較した砂時計型では断面サイズが異なるため、サイズの小さい砂時計型ほうが破断寿命は短くなるはずであるが、両者は比較的良好に一致している。これは定常状態となってから変位制御で試験を行ったことにより、き裂発生後き裂周辺部にはより大きな変形が生じ、そのため破断寿命が短くなったためと考えられる。

6. 今後の予定

素材試験片において本手法の有効性を確認できたので、溶接継手試験片における低サイクル疲労特性を実験的に求め、溶接が疲労強度にどのような影響を与えるか検討する。

【参考文献】

- 1) 酒井理哉, 松浦真一: 画像計測を用いたひずみ制御の低サイクル疲労試験システム, 電力中央研究所報告, U00068, 2001

- 2) 西村俊夫, 三木千寿: 構造用鋼材のひずみ制御低サイクル疲れ特性, 土木学会論文報告集, 第 279 号, pp.29-44, 1978

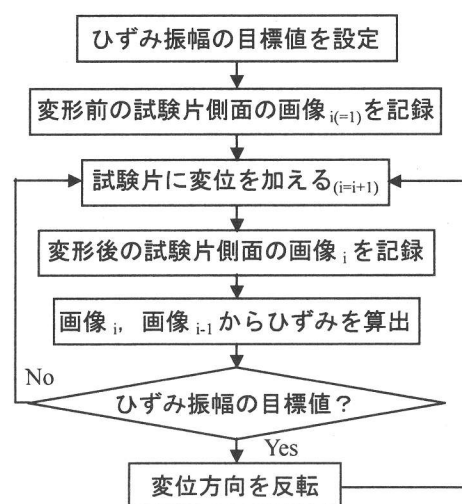


図-4 試験のフロー

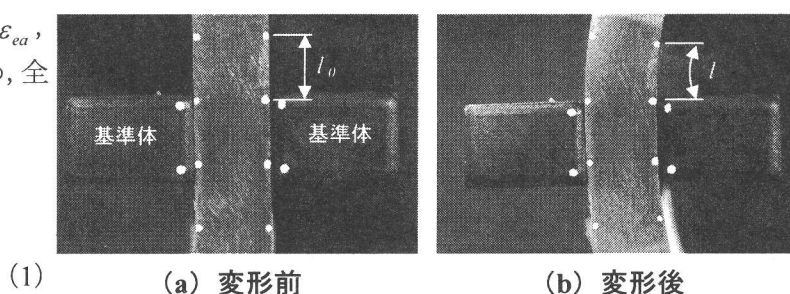


図-5 記録した画像の例

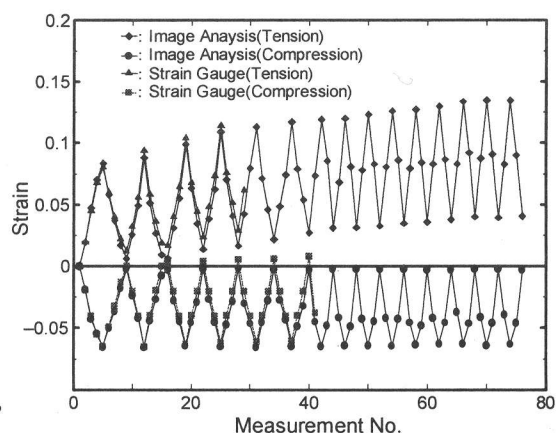


図-6 ひずみ履歴

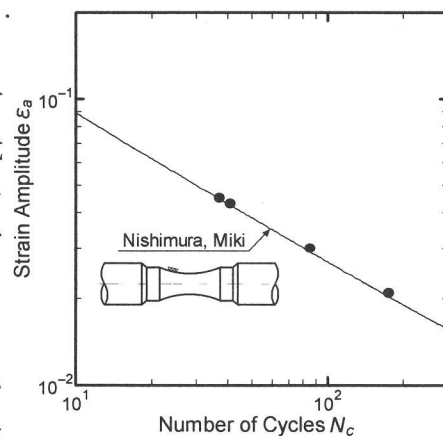


図-7 き裂発生寿命

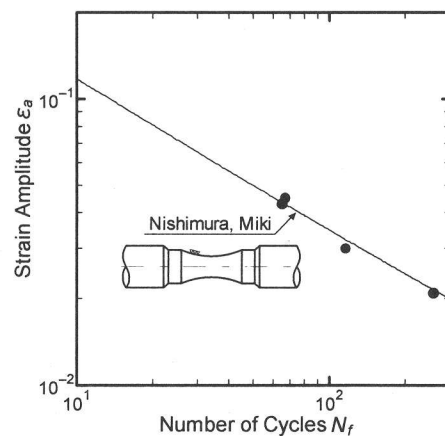


図-8 破断寿命