

大ひずみ領域における溶接部の低サイクル疲労強度

名古屋大学
名古屋大学
サクラダ

正会員
学生会員
正会員

○館石
判治
南

和雄
剛
邦明

1. 背景および目的

1995 年の阪神・淡路大震災およびそれ以降の研究により，土木構造物において低サイクル疲労き裂のほとんどは溶接部から発生すること，またその箇所では 15%を超えるようなひずみが繰り返されていることが明らかとなった．よって，大ひずみが繰り返されて破壊が生じるような領域（以下，大ひずみ領域と呼ぶ）における溶接部の疲労強度を明らかにする必要がある．そこで本研究では，開発した試験システムを用いて，大ひずみ領域での突合わせ溶接継手の疲労試験を行い，素材の過去のデータと比較することにより，溶接部，特に HAZ の疲労強度について検討した．

2. 試験体

試験体の形状および寸法を図-1 に，供試鋼材のミルシートによる機械的性質を表-1 に示す．試験体は板厚 14mm の平板から採取し，長手方向中央部に突合わせ溶接を行い，板厚 12mm まで板の両面を機械切削した．その後，溶接部に変形が集中するように，溶接部近傍の板厚を 0.5mm ずつ滑らかに削りこんだ．削り込んだ部分ではひずみが一様でなくなることが想定されたが，できるだけひずみが均一に分布するように削り込み幅，深さを有限要素解析により決定した．また，試験体表面は傷がなくなるまで载荷軸方向に入念に研磨した．

3. 試験システム

本研究で用いた低サイクル疲労試験システムを図-2 に示す¹⁾．鋼板に板曲げ変形を与え，その際に生じるひずみを試験体の側面から撮影した画像より計測するものである．片振り試験としたため，試験体の表面において平均ひずみの大きさが異なっている．以後，圧縮の平均ひずみが作用する側を圧縮側，引張の平均ひずみが作用する側を引張側と呼ぶ（図-2 参照）．なお，設定したひずみ振幅は 7，10，11，14%である．

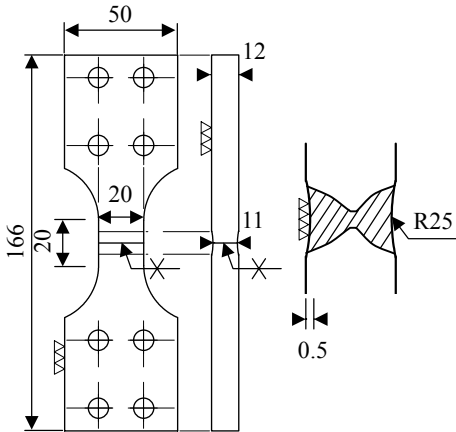


図-1 試験体の形状および寸法（mm）

表-1 供試鋼材の機械的性質

鋼種	引張試験		
	降伏点 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)
母材 (SM490A)	371	536	29.1
溶接部	459	560	27.9

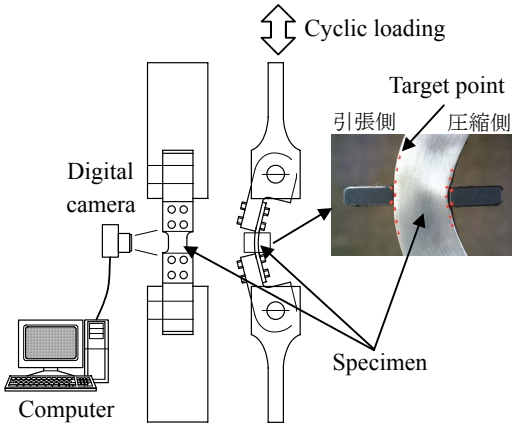


図-2 試験システムの概要

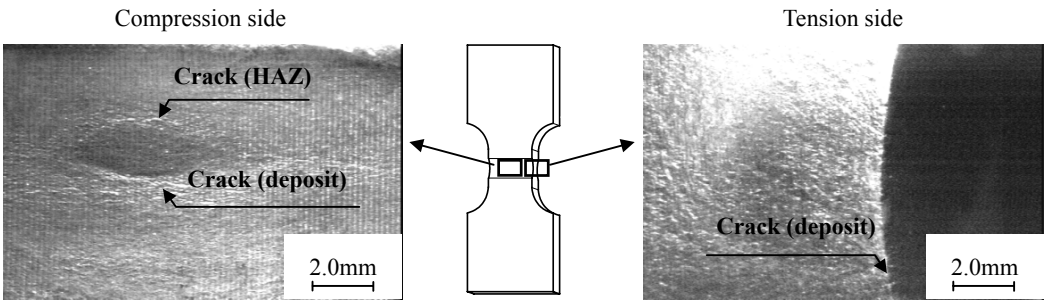


図-3 き裂発生状況（ひずみ振幅 14%）

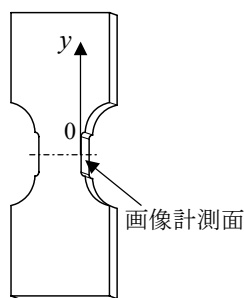


図-4 座標系

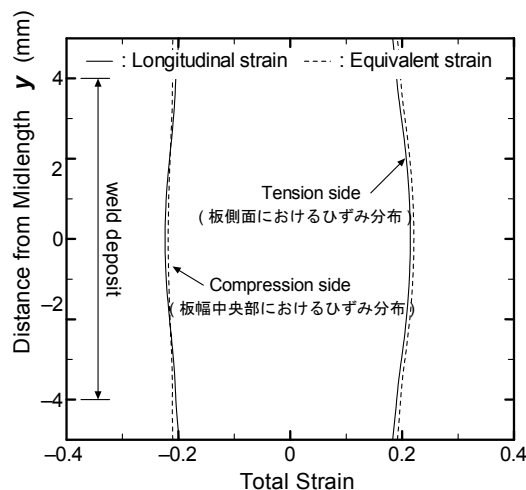


図-5 等価ひずみと長手方向のひずみの比較

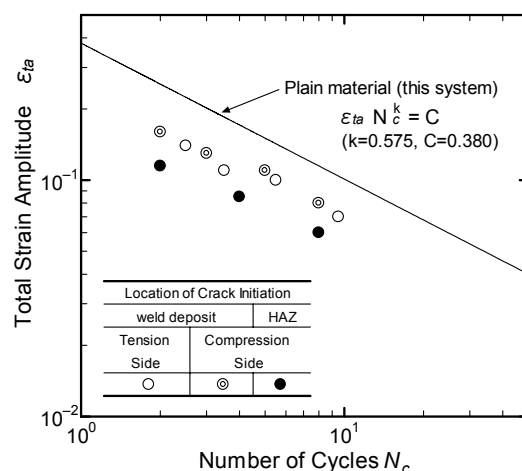


図-6 大ひずみ領域における溶接部の疲労強度

4. き裂発生状況

例として、ひずみ振幅 14%のときのき裂発生状況を図-3 に示す。これはマイクロ스코プ (KEYENCE VH-6300, 倍率: ×25) で、図中に示す領域の様子を撮影したものである。どの試験体も、き裂は引張側、圧縮側の両側から発生した。板幅方向についてのき裂発生位置は、引張側、圧縮側で異なっており、引張側では板の側面から、圧縮側では板幅中央部からき裂が生じた。また長手方向の位置については、引張側では中央部、すなわち溶接金属部から、圧縮側では溶接金属部の他に HAZ 付近からも発生した。なお、HAZ の位置は試験前にエッチングを行うことにより確認した。ただし、ひずみ振幅 11%のときは HAZ 付近からき裂は発生しなかった。最終的にはいずれの試験体も、溶接金属部のき裂が支配的となり、破断位置は板幅中央部である。

5. ひずみの多軸性の影響

今回の試験では引張側と圧縮側でき裂発生位置が異なっているため、塑性拘束の違いによりひずみの多軸性の強さも異なっている可能性がある。塑性拘束が異なる場合においては、八面体せん断ひずみ説に基づく等価ひずみを用いることにより低サイクル疲労強度を整理できるとされている。そこで有限要素解析を行い、それにより等価ひずみを算出し、検討を加えた。長手方向のひずみと等価ひずみの比較を図-4に示すように座標軸をとり、図-5に示す。引張側は板側面の、圧縮側は板幅中央部の解析結果であり、実線は長手方向のひずみの分布、破線は等価ひずみの分布である。図より、どちらの側も長手方向の位置によらず等価ひずみは長手方向のひずみとほとんど一致しており、本載荷方法ではひずみの多軸性の影響は小さいものと考えられる。よって、長手方向のひずみ振幅を用いて疲労試験結果を整理した。また今回の疲労試験においては、圧縮側では板幅中央部から生じたため、き裂発生位置でのひずみを計測できていない。そこで圧縮側から生じたき裂に関しては、有限要素解析より求めた板側面と板幅中央部のひずみの比を用いて、そのひずみ振幅を補正し、結果を整理した。

6. 試験結果

き裂発生寿命とひずみ振幅の関係を図-6 に示す。ここで、き裂発生寿命は試験中、試験体表面をマイクロ스코プで観察し、試験体表面にき裂を確認したときの繰返し数とした。結果として、そのときのき裂長さは約 0.5mm 程度であった。図中の線は鋼素材に対する実験結果¹⁾から求めたき裂発生寿命-ひずみ振幅の関係式である。○は引張側の溶接金属部から、◎は圧縮側の溶接金属部から、●は圧縮側の HAZ からそれぞれき裂が発生したものである。図より大ひずみ領域において、溶接継手の低サイクル疲労強度は素材のそれよりも減少していることがわかる。特に HAZ に関しては、溶接金属部の疲労強度をさらに下回っており、その寿命は素材の約 30%程度である。これより溶接継手においては、大ひずみの繰返しによりまず HAZ からき裂が発生し、進展するものと考えられ、これまで提案されてきた素材に対する強度曲線では危険側の評価を与えることとなる。この強度低下の原因については、HAZ と母材の機械的性質の違いや HAZ の冶金的な要因が考えられるが、その詳細については今後検討をしていく必要があると考えている。

参考文献

- 1) 舘石和雄, 判治剛: 画像計測を用いた試験システムによる突合わせ溶接継手の低サイクル疲労強度の検討, 土木学会論文集, No.752/I-66, pp.277-287, 2004.