

TIG 処理による極低サイクル疲労強度の向上効果

名古屋大学 正会員 ○鬼頭 和也 名古屋大学 学生員 判治 剛
 名古屋大学 学生員 舘石 和雄 サクラダ 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、いくつかの鋼製橋脚の基部や隅角部に極低サイクル疲労によると考えられる損傷が発生した。このような損傷は土木鋼構造物ではこれまで経験したことがないものであり、鋼製橋脚の終局状態として局部座屈の他に、極低サイクル疲労を考慮する必要があることが明らかとなった。したがって、極低サイクル疲労破壊を防止するための耐震設計手法の開発とともに、既設橋脚に対する補強方法の確立が急務の課題であるといえる。そこで本研究では、TIG 処理を施した溶接継手試験体の極低サイクル疲労試験を行い、溶接ままの試験体の疲労試験結果¹⁾と比較することにより、極低サイクル疲労領域における TIG 処理の疲労強度向上効果について検討を行った。

2. 試験体および試験方法

試験体は平板をすみ肉溶接により T 字に継ぎ合わせた溶接継手試験体であり、その溶接止端部が滑らかな形状となるように TIG 処理を行った。試験体の形状、および機械的性質は別報¹⁾を参照されたい。溶接部のマクロ写真を図-1 に、溶接および TIG 処理の条件を表-1 に示す。疲労試験方法は別報¹⁾と同様である。設定した変位振幅は±4.0, ±6.0, ±8.0mm, そのときの荷重は約±80, ±89, ±93kN であった。また疲労試験中、一定サイクル毎に磁粉探傷試験を行い、き裂の発生、および進展を記録した。

3. き裂発生、進展状況

き裂発生、および破断状況の例を図-2 に示す。全ての試験体において、き裂は試験体長手方向の様々な位置から発生した（図-2 (b) 参照）。まず、TIG 処理部から少し離れた母材部から複数のき裂が発生した。これらのき裂は、試験体表面における非常に微細な凹凸を起点として生じたものである。また、ほぼ同じ繰り返し数で TIG 処理部からもき裂が生じた。どのき裂も、隣り合うき裂と結合しながら板幅方向に伸び、その後板厚方向に進展した。最終的には母材部から発生したき裂が支配的となり、母材部で破断した（図-2 (c) 参照）。

表-1 溶接条件および TIG 処理条件

	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (kJ/cm)
Submerged arc welding	800	30	70	20.6
TIG dressing	210	19	110	2.2

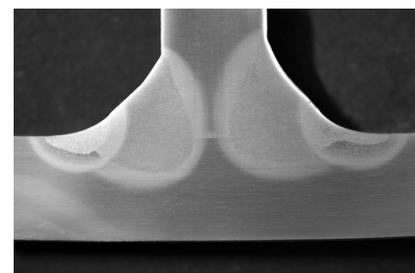
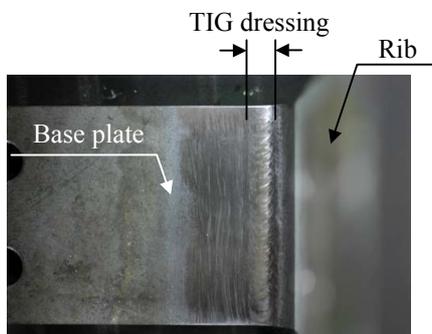
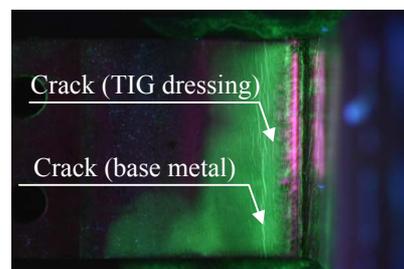


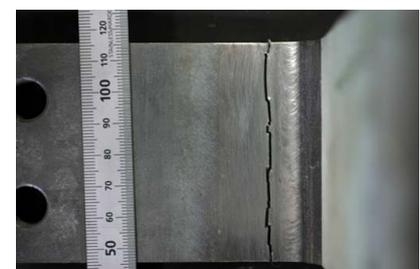
図-1 溶接部のマクロ写真



(a) 疲労試験前



(b) き裂発生状況



(c) 破断位置

図-2 き裂発生および破断状況

キーワード 極低サイクル疲労, TIG 処理, 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

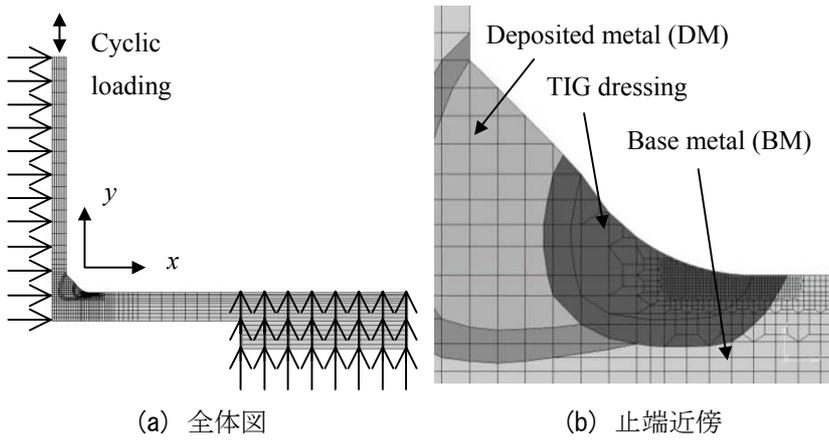


図-3 解析モデル

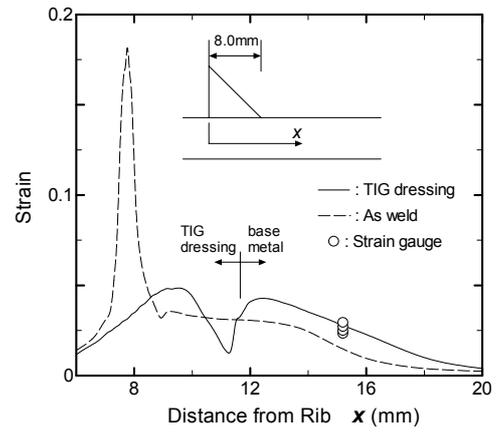


図-4 長手方向のひずみ分布

4. 溶接止端部におけるひずみ分布

TIG 処理を施したことにより、溶接止端部近傍のひずみ分布がどのように変化するかを確認するために、弾塑性有限要素解析を行った。

解析モデルおよび境界条件を図-3 に示す。溶接止端形状は止端形状測定結果を基に、止端半径は 7.08mm、止端角は 119.4 度とした。また母材部、溶接部、TIG 処理部を区別してモデル化し、それぞれに異なる降伏強度を設定した。母材部の機械的性質はミルシート値とし、溶接金属部とそれによる熱影響部、TIG 処理部の降伏強度は、あらかじめ計測した硬さ試験結果から概算した。その結果、母材部、溶接金属部、熱影響部、TIG 処理部の降伏強度はそれぞれ、407, 413, 434, 515MPa とした。なお以下に示す解析結果は、繰り返し载荷を行い、履歴が安定した後のひずみの値を用いて整理した。

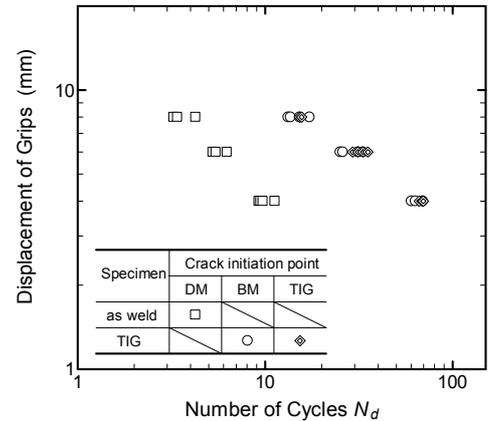


図-5 疲労寿命の比較

载荷点変位を+8.0mm としたときの試験体表面のひずみ分布を図-4 に示す。横軸はリブ側面からの距離である。なお図中には、溶接まま試験体の解析結果 ($\rho=0.73\text{mm}$, $\theta=134.6\text{deg.}$)、および疲労試験中に記録したひずみゲージの値も示した。ひずみゲージ値は解析値とよく一致しており、解析モデルの妥当性を確認することができる。また TIG 処理を行うことにより、溶接止端部に生じていたひずみが大幅に減少していることがわかる。しかしその一方で、母材部 (図-4 中の $x=12\text{mm}$ 付近) においても TIG 処理部とほぼ同程度のひずみが生じている。これは、今回の疲労試験でき裂が発生した位置と一致している。母材部にひずみの集中が生じる理由として、母材部と TIG 処理部の降伏強度の違いが挙げられる。TIG 処理を行うことによりその箇所は母材部に比べ硬くなるため、TIG 処理部から母材部へ少し入ったところで降伏点の違いによるひずみ集中が生じるものと考えられる。このように TIG 処理により、溶接止端形状によるひずみの集中は緩和されるが、降伏強度の違いによるひずみ集中が母材部に生じることがわかる。

5. 疲労試験結果

き裂発見寿命と変位振幅の関係を図-5 に示す。き裂発見寿命は試験中、試験体表面に最初にき裂を発見したときの繰り返し数である。TIG 処理を行った全ての試験体において、そのときのき裂長は約 2.0~5.0mm 程度である。なお、図中には溶接まま試験体の疲労試験結果²⁾も示してある。全ての変位振幅において、TIG 処理を行った試験体のき裂発見寿命は溶接ままのものより大幅に長寿命となっている。よって極低サイクル疲労領域において、TIG 処理は非常に効果の高い補強手法であるといえる。

参考文献

- 1) 判治剛, 館石和雄, 鬼頭和也, 南邦明: 局部ひずみによる溶接継手の極低サイクル疲労強度評価, 土木学会第 60 回年次学術講演会概要集.
- 2) 館石和雄, 判治剛, 鬼頭和也, 南邦明: 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.