

板曲げを受けるすみ肉溶接継手に発生する疲労き裂への ICR 処理の効果

名古屋大学 学生員 ○小山翔生, 柿市拓巳, 正会員 山田健太郎, 石川敏之

1. はじめに

鋼橋に発生した疲労き裂に対する安価で簡易な補修方法として、ICR 処理¹⁾が開発されている。ICR 処理は、図-1 に示すように疲労き裂前面の母材を叩いて、鋼材を塑性流動させることによってき裂表面を閉口させ、疲労寿命を向上させる工法である。この工法では、市販のフラックスチップとエアコンプレッサを用い、先端のタガネを約 90Hz で振動させ、き裂近傍の母材に衝撃を与えることによってき裂表面を閉口させる。現在までに、板曲げを受ける面外ガセット継手に ICR 処理を行い、大幅な疲労寿命の向上が確認されている。本研究では、板曲げを受けるすみ肉溶接継手の止端部より発生した疲労き裂に対し、ICR 処理を行い、疲労寿命向上効果を疲労試験により確認する。また ICR 処理は、衝撃によって鋼材表面を塑性流動させることから、疲労き裂発生前に ICR 処理を施すことによって、溶接止端部に圧縮残留応力を導入し、疲労強度向上が期待できる。そこで疲労き裂発生前に ICR 処理を施した試験体でも疲労試験を行い、その効果を確認する。

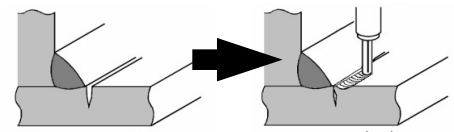


図-1 ICR 処理方法

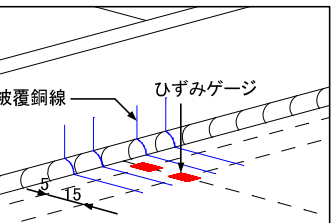
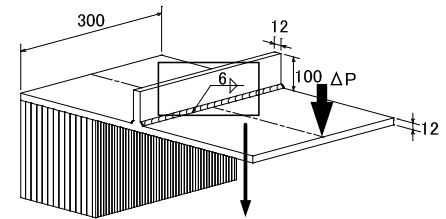


図-2 試験体(mm)

2. 試験方法

本研究で用いた試験体は、図-2 に示す T 字溶接継手試験体である。板厚 12mm、幅 300mm の平板に、板厚 12mm、高さ 100mm のリブが脚長 6mm ですみ肉溶接されている。疲労試験機には図-3 に示す板曲げ振動疲労試験機²⁾を用いた。本試験機は加振器を振動させて荷重を与える。応力比 $R=0$ で試験を行うために、コイルばねで試験体を押し下げて予荷重を与えた。

評価応力として、固定端側と荷重側の板幅中央部の、溶接止端から 20mm 離れた位置にそれぞれひずみゲージを貼り付け、それらの値を内挿した溶接止端部の公称応力を用いた。また、き裂の発生や進展を検出するために、溶接止端に被覆銅線 ($\phi=0.04\text{mm}$) を 10~15mm の間隔で貼り付けた。本研究で行った試験体タイプを以下に説明する。

(1) as-welded 試験体：溶接したままの試験体。本研究で行った疲労試験結果に加え、過去に同タイプの試験体で行われた板曲げ疲労試験の結果³⁾も利用する。

(2) RT 試験体：図-4 に示すように、ICR 処理によりき裂を閉口させた試験体。閉口させるき裂の長さをコントロールするために、固定端側中央部に、長さ 12mm(RT-12)もしくは 24mm(RT-24)の未処理部を設けた。未処理部表面にき裂が 12mm(RT-12)もしくは 24mm(RT-24)進展した段階で、ICR 処理によりき裂を閉口させた。き裂発生後の ICR 処理は、RT-12 試験体ではき裂の両端から 20mm ずつ程度(52mm 程度)の範囲を処理し、RT-24 試験体では、固定端側溶接止端部全面(300mm)の範囲を処理した。

(3) 疲労き裂発生前に ICR 処理を行った試験体

- (a) AT 試験体：固定端側と荷重側両方の溶接止端部全面を処理した。
 (b) ST 試験体：固定端側のみ 3 箇所、長さ 12mm(ST-12 試験体)もしくは 24mm(ST-24 試験体)の未処理部を設けた。

3. 試験結果

疲労試験の結果を S-N 線図として図-5 に示す。図の横軸は破断時(N_f)の繰返し回数である。また、Fretting と示した試験体は固定端からき裂が発生し破断した試験体である。図-5(a)には、as-welded 試験体と RT 試験体の結果を示している。RT 試験体では、ICR 処理によって疲労き裂を閉口させてから試験体が破断するまでの繰返し回数を用いて整理している。図より、RT 試験体は as-welded 試験体のばらつきの上限よりも疲労強度が高いことが分かる。また、RT-12 試験体よりも RT-24 試験体のほうが、疲労強度が高い傾向を示した。これは、RT-12 ではき裂発生後、ICR 処理が部分的に行われたので、ICR 処理を止めた先端において、き裂発生前の ICR 処理によって導入された圧縮残留応力が開放され、その部分よりき裂が発生したためと考えられる。

図-5(b)には as-welded 試験体と AT 試験体および ST 試験体の結果を示している。図より、ST 試験体は as-welded 試験体のばらつきの上限程度まで疲労強度が向上し、AT 試験体は as-welded 試験体よりも大幅に疲労強度が向上したことが分かる。ST 試験体では未処理部より発生したき裂の進展を、ICR 処理部に導入された圧縮残留応力が抑制するため、若干の疲労強度向上がみられた。AT 試験体では、き裂発生前の ICR 処理によってき裂の発生と進展の

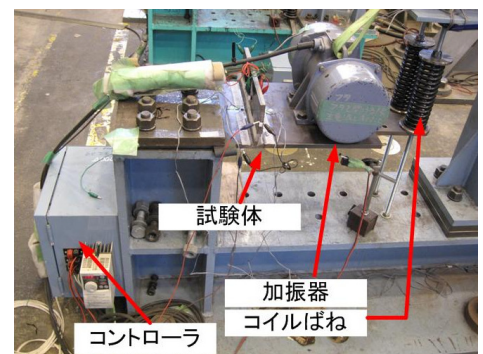


図-3 板曲げ振動疲労試験機

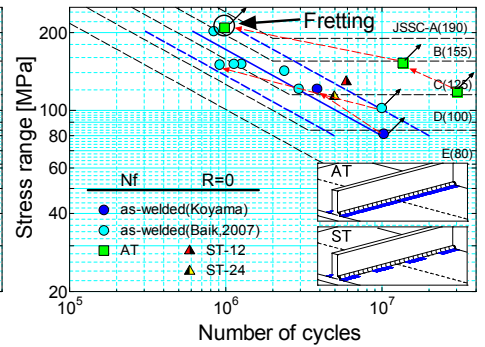
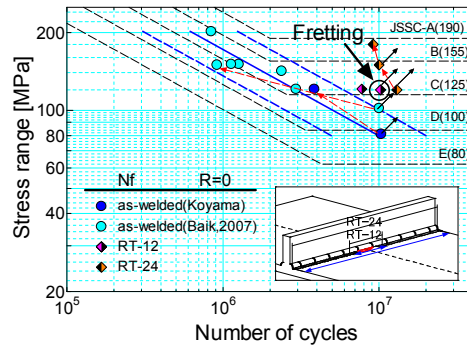
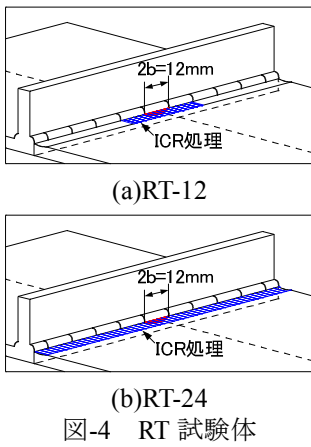
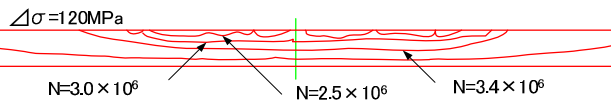
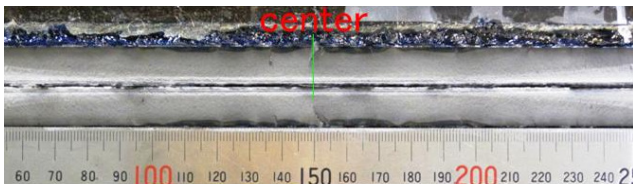
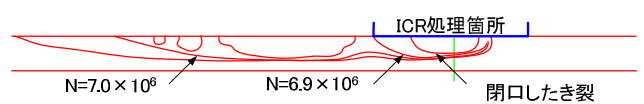
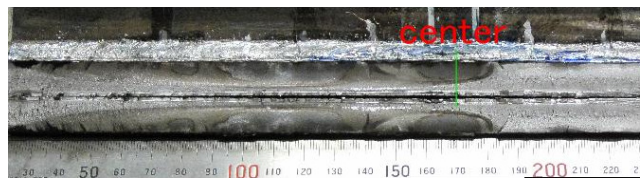


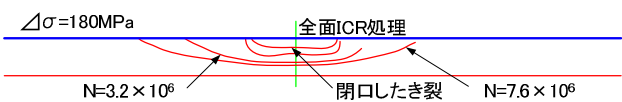
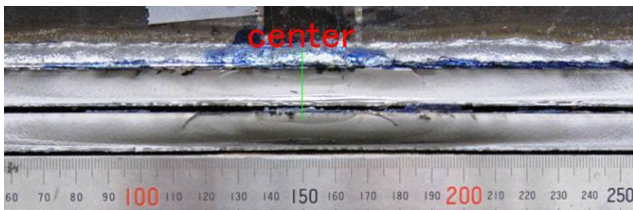
図-5 S-N 線図



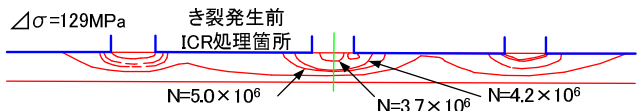
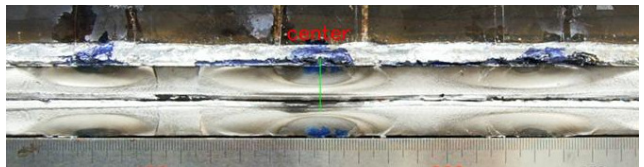
(a)as-welded 試験体



(b)RT-12 試験体



(c)RT-24 試験体



(d)ST-12 試験体

図-6 試験体破面

両方が抑制されたため ST 試験体以上の疲労強度向上が見られた。

図-6 に as-welded 試験体, RT-12 試験体, RT-24 試験体および ST-12 試験体の破面を示す。as-welded 試験体の破面では、数箇所から疲労き裂が発生し、それらが合体することによって扁平なき裂になり、進展している。RT-12 試験体は、き裂発生後の ICR 処理を止めた先端から疲労き裂が発生し、閉口したき裂と合体して破断に至った。RT-24 試験体は、応力範囲を 180MPa に上げることで、閉口させたき裂が再び開口することによって進展し、破断に至った。ST-12 試験体は、as-welded 試験体と比較してき裂がより半円に近い楕円形となり進展している。また、それぞれの未処理部から発生した疲労き裂が合体することによって進展し、破断に至った。

4. まとめ

板曲げを受ける T 字溶接継手に対して、ICR 処理を行い、その疲労強度の向上効果の確認を行った。疲労試験の結果から、ICR 処理によって疲労き裂を閉口させると、as-welded の場合よりも疲労強度が向上した。また、き裂発生前に ICR 処理を行うことによって、疲労強度を向上させることができた。さらに、ICR 処理は部分的に行うよりも、溶接止端部全面に行うことで、より高い効果が得られた。

5. 参考文献

- 1)山田健太郎, 石川敏之, 柿市拓巳: 疲労き裂を閉口させて寿命を向上させる試み, 土木学会論文集 A, vol.65, No.4, pp.961-965 2009.
- 2)山田健太郎, 小菫江朋亮, 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 2007.
- 3)白彬, 山田健太郎: 板曲げを受けるすみ肉溶接継手の疲労挙動, 構造工学論文集, vol.54A, pp.530-537 2008