

鋼板の側面に平板が直角に溶接された継手への ICR 処理の適用

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋 正会員 ○山田健太郎
 JFE エンジニアリング 正会員 柿市 拓巳
 京都大学 正会員 石川 敏之
 名城大学 近藤 明雅 野々目泰介

1. はじめに

板曲げの繰返しによって発生している疲労き裂を、低コストで簡易に補修する方法として、著者らは、衝撃き裂閉口処理¹⁾(以下、ICR 処理)を開発した。ICR 処理は、き裂が発生した近傍の母材を叩いて鋼材を塑性流動させることで、き裂表面を閉口させ、疲労寿命を向上させる工法である。これまでに、板曲げを受ける平板に発生したき裂および面外ガセット溶接継手に発生したき裂に ICR 処理を行い、大幅な疲労寿命の向上効果を確認している^{1), 2)}。本研究では、疲労強度が低い鋼板の側面に平板が溶接された継手(以下、T 形継手)を対象にして、母材側面から発生したき裂に ICR 処理を行い、その効果を確認するとともに、as-welded の状態で ICR 処理した場合の疲労強度の向上効果を板曲げ振動疲労試験により確認した。

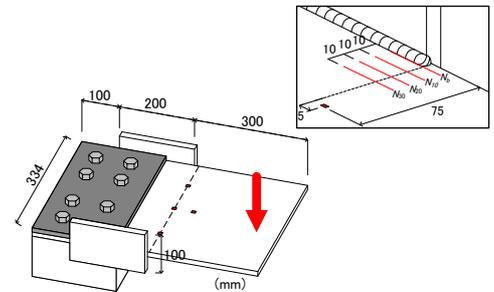
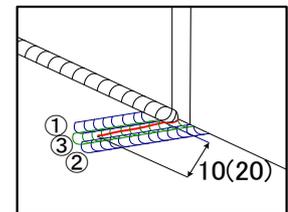


図-1 疲労試験体



(a) $N_{10}(N_{20})+ICR$ 試験体



(b) TS-ICR 試験体

図-2 ICR 処理の方法

2. T 形継手の疲労試験

本研究で用いた試験体は、図-1 に示す T 形継手試験体である。試験体は、板厚 12mm、幅 334mm、長さ 600 mm の鋼板(SM400A)の側面に、板厚 12mm、幅 200 mm、高さ 100 mm の鋼板が直角に脚長 6 mm ですみ肉溶接されたものである。疲労試験は、板曲げ振動疲労試験機を用い、応力比 $R=-1$ または $R \geq 0$ で行った。試験体には、疲労試験中のひずみの変化を計測するために図-1 に示すようにひずみゲージを貼り付けた。また、き裂が発生、進展したときに疲労試験機を停止してそのときの繰返し回数を記録し、その段階で ICR 処理を行うために、図-1 に示す位置に 0.04mm ϕ の被覆銅線を貼り付けた。試験体は以下に示す通りである。

- a) $N_{10}(N_{20})+ICR$ 試験体：溶接止端から発生したき裂が 10mm または 20mm 進展した段階で ICR 処理を行った試験体。ICR 処理は図-2(a)に示す手順で行った。
- b) T-ICR, TS-ICR 試験体：T-ICR 試験体は、as-welded の状態に対して、まわし溶接止端に沿って ICR 処理した試験体。TS-ICR 試験体は、まわし溶接止端を ICR 処理した後に、図-2(b)に示すように母材の両側から鋼板をクランプで固定し、コバ面に対しても ICR 処理を行った試験体。
- c) C-ICR 試験体：as-welded の状態に対して、既往の研究³⁾を参考に疲労き裂の進展経路を予測して、予めそのラインに沿って ICR 処理した試験体。これは、T-ICR, TS-ICR 試験体とは異なり、き裂進展を遅延させることを目的として行った。

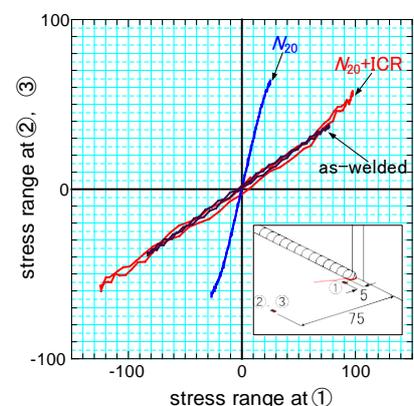


図-3 き裂近傍の応力の変化

3. 疲労試験の結果

$N_{20}+ICR$ 試験体において ICR 処理前後に、き裂縁から 5 mm 離れた位置

キーワード：ICR 処理，T 形継手，板曲げ，疲労寿命向上

連絡先：〒460-0003 名古屋市中央区錦 1-8-11 TEL：052-212-4551

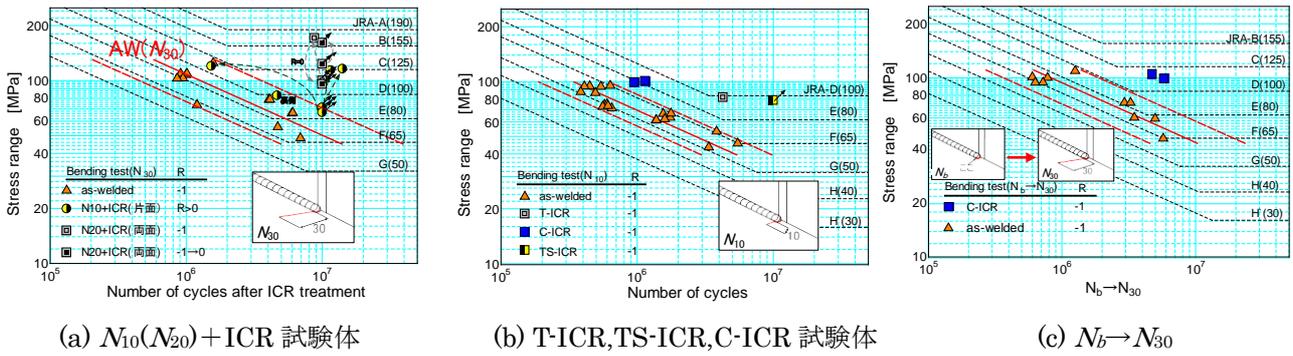


図-4 疲労寿命の向上効果を示す S-N 線図

と板幅方向に 75 mm 離れた位置で測定した応力の関係を図-3 に示す。as-welded と N_{20} のき裂の状態の応力を比較すると、 N_{20} のき裂では、直線の傾きが大きくなることからわかる。これは、き裂が生じることでき裂縁から 5 mm 離れた位置で、応力伝達が小さくなったためである。しかし、ICR 処理によりき裂表面を閉口させることで、き裂縁から 5 mm 離れた位置に生じる応力が as-welded と同程度まで回復していることから、ICR 処理によりき裂表面が閉口し、再び応力が伝達されていることがわかる²⁾。

疲労試験の結果を S-N 線図として図-4 に示す。図の横軸はき裂が溶接止端から 10mm または 30mm 進展した時点の繰返し回数であり、ICR 処理後の繰返し回数を示している。また、図には JRA の疲労強度等級に加え、過去に行われた T 形継手の as-welded の結果³⁾ も示されている。図-4(a)に示す $N_{10}(N_{20})+ICR$ 試験体の結果では、低い応力範囲では 1000 万回の繰返し载荷を行ってもき裂の進展がみられず、応力範囲を 2 倍に上げて再度試験を行ったところ、き裂が進展し、破断に至った。その結果、as-welded 試験体と比べて少なくとも 1~2 等級程度の疲労寿命の向上効果を確認することができた。また、T-ICR、TS-ICR 試験体は、as-welded に比べて 1~2 等級程度の疲労強度の向上がみられ、TS-ICR 試験体のほうがより高い疲労強度の向上効果を確認することができた。これは、TS-ICR 試験体では、鋼板のコバ面を ICR 処理したことで T-ICR 試験体に比べて導入された圧縮残留応力が大きかったためである。

C-ICR 試験体では、き裂発生段階の疲労強度の向上効果がみられなかったため、き裂進展寿命を比較した結果を図-4(c)に示している。この図から、as-welded と比較するとき裂の進展が遅延されていることがわかる。したがって、C-ICR 試験体に対して TS-ICR と同様に溶接止端および鋼板のコバ面を ICR 処理することにより、疲労き裂の発生が抑制され、さらに、き裂の進展を遅延することが可能であると考えられる。

図-5 に N_{10} の段階で ICR 処理をした試験体($R=0.3$)の疲労破面を示す。ICR 処理により閉口したき裂が低い応力範囲では進展せず、応力範囲を上げたところ、き裂が内部で楕円形状として進展したことがわかる。その後、内部のき裂がある程度進展すると、表面へき裂が進展し、破断に至った。



図-5 $N_{10}+ICR$ の疲労破面

4. まとめ

本研究では、板曲げを受ける T 形継手試験体に発生するき裂に対して ICR 処理を行った。その結果、き裂発生後に ICR 処理した試験体で、1~2 等級程度の疲労寿命の向上効果を確認した。また、as-welded の状態に対して ICR 処理を行った場合、溶接止端および鋼板のコバ面に対して ICR 処理を行うことで、より高い疲労強度の向上効果を得ることができることを確認した。ICR 処理は、現場で比較的簡単に処理できることから、点検中に見つかった疲労き裂をすぐに対策するなどの適用が考えられる。

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)石川敏之, 山田健太郎, 柿市拓巳, 李薔: ICR 処理による面外ガセット溶接継手に発生した疲労き裂の寿命向上効果, 土木学会論文集 A, 2010. (印刷中) 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.