

## 引張荷重を受ける溶接継手に対する ICR 処理の効果

名古屋大学 学生会員 ○鶴田 義隆      名古屋大学 フェロー会員 館石 和雄  
 名古屋大学 正会員 判治 剛          名古屋大学 学生会員 笹田 翔

### 1. 目的

鋼橋の疲労き裂補修法としてエアツールを用いた ICR 処理が提案されている<sup>1)</sup>。既往の研究<sup>1)</sup>により、板曲げを受ける溶接継手から生じたき裂に対しては高い補修効果が確認されているが、今後、実橋へ幅広く適用することを考えた場合、引張荷重下で発生したき裂に対する効果を明らかにしておく必要がある。そこで本研究では、引張荷重を受けるき裂に対する ICR 処理の効果を解析および実験により検討した。

### 2. 解析による ICR 処理の再現

解析による ICR 処理の再現方法として、ここでは処理部周辺に導入される圧縮ひずみに着目し、それを解析により導入することで ICR 処理を模擬することとした。本研究では ICR 処理部を熱膨張させて圧縮ひずみを導入した。解析モデルを図-1 に示す。今回は平板（板厚 6mm，降伏強度 413MPa）に対する ICR 処理を対象とし、図中に示す ICR 処理領域に熱を与えて要素を膨張させることによりその周辺に圧縮ひずみを導入した。処理領域の深さは、後述の疲労試験結果を基に決定した。また処理部は x 方向および z 方向のみに膨張するものと仮定し、y 方向の線膨張係数はゼロとした。熱量をさまざまに変化させて解析を行い、得られたひずみ分布が実際に ICR 処理を行った際の計測結果とよく一致するときの温度条件を求めた。

図-2 に解析結果と計測値の比較を示す。解析結果は温度上昇を 550°C としたときのものである。解析結果は計測結果とよく一致している。よって、本解析条件により ICR 処理によって生じるひずみ分布を再現できるといえる。

### 3. 応力拡大係数の比較

上述の方法によって ICR 処理によるひずみ場を再現できることが示された。そこで、平板にき裂を導入した解析モデルに対して同様の手法で ICR 処理を模擬し、それに曲げ荷重もしくは引張荷重を作用させたときの応力拡大係数を求めた。解析モデルは前章で用いた平板モデル中央部に半楕円形の表面き裂を入れたものであり、き裂部の詳

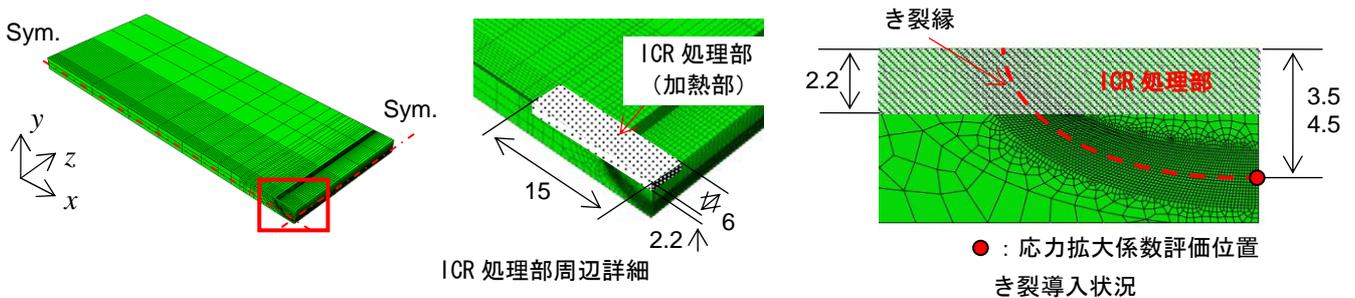


図-1 解析モデル

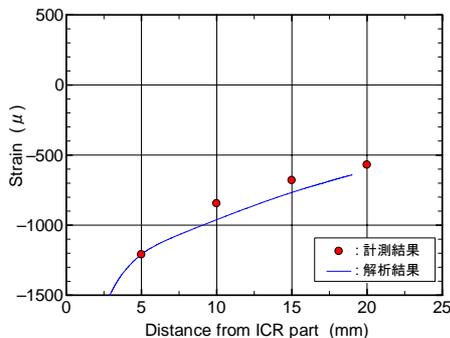


図-2 解析結果と計測値の比較

表-1 応力拡大係数の比較

算出方法	ICR 処理	応力拡大係数 (1/σ√πa)			
		き裂深さ 3.0 mm		き裂深さ 4.5 mm	
		曲げ	引張	曲げ	引張
Newman & Raju	なし	0.3938	1.0284	0.1046	1.1411
	あり	0.0971	0.9579	-0.2369	0.9638
FEM	なし	0.3739	1.0552	0.0902	1.0158
	あり	0.0971	0.9579	-0.2369	0.9638

キーワード ICR 処理, 引張荷重, 疲労強度

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL: 052-789-4620

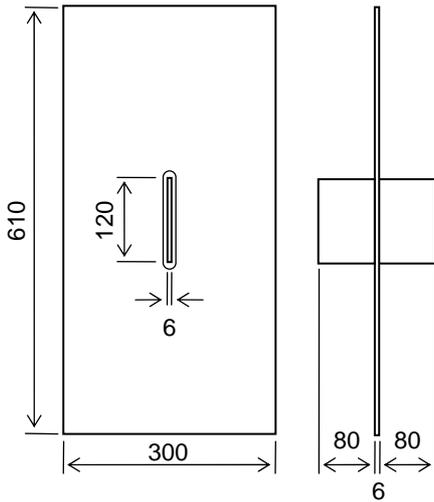
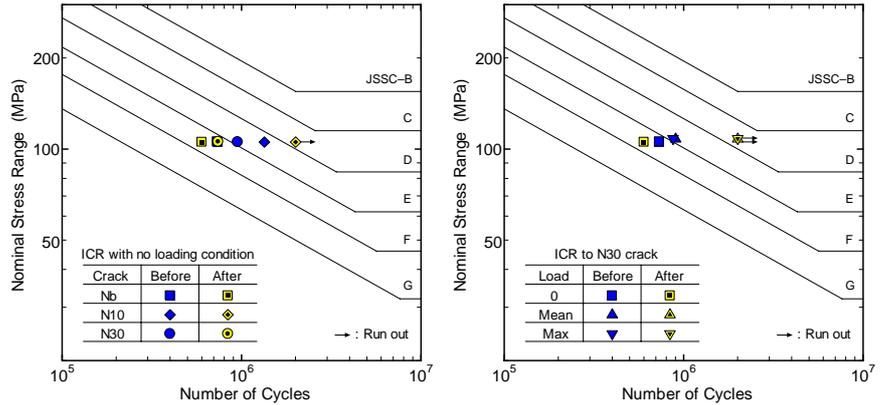


図-3 試験体 (単位:mm)



(a) 処理時のき裂長の違い

(b) 処理時の応力状態の違い

図-4 疲労試験結果

細は図-1中に示すとおりである。き裂深さは3mmと4.5mmの2種類とし、アスペクト比は0.5とした。き裂先端の最小要素サイズは0.05mm×0.1mm×0.1mmである。前章の解析条件のものでICR処理を再現した後、鋼板端部に曲げもしくは引張の単位荷重を載荷し、外挿法により応力拡大係数 $K_I$ を求めた。なおICR処理部に相当する領域は連続体と仮定して解析を行った。また比較のため、ICR処理を再現せずに外力を与えた解析も行った。

応力拡大係数の算出結果を表-1に示す。全ての結果は $\sigma\sqrt{\pi a}$  ( $\sigma$ :公称応力,  $a$ :表面におけるき裂半長)で除して無次元化している。曲げの場合では、ICR処理を施すことにより応力拡大係数が大幅に減少しているが、引張荷重の場合は曲げのときほど顕著な低下はみられない。今回の解析条件ではき裂長が変わってもこの傾向は同じであった。板厚やき裂寸法など限られた条件のもとでの結果ではあるが、曲げの場合に比べて引張の場合はICR処理の効果が小さくなる可能性が示された。

4. 疲労試験

図-3に示す面外ガセット溶接継手に対して引張荷重下(公称応力100MPa, 応力比0)の疲労試験を実施し、引張荷重でのICR処理の効果を検討した。ここでは、ICR処理時のき裂長と応力レベルを変化させて実験を行った。き裂長は、き裂がまわし溶接部から母材へと進展し始めたとき( $N_b$ と呼ぶ)、母材に10mm進展したとき( $N_{10}$ と呼ぶ)、同様に30mm進展したとき( $N_{30}$ と呼ぶ)の3種類とした。またICR処理時の応力レベルとして、無応力状態でICR処理を施したものの、繰返し荷重の平均応力もしくは最大応力状態で行ったものの3種類とした。

疲労試験結果を図-4に示す。疲労寿命は次のように定義した。ICR処理前の結果に対しては、 $N_b, N_{10}, N_{30}$ のき裂に達したときの繰返し数を、ICR処理後の結果に対しては、処理後にき裂が再進展して先端が処理部をぬけるまでの繰返し数を疲労寿命とした。全ての試験体において、ICR処理により元の状態と同程度までは疲労強度が回復しているが、曲げ荷重のときほど疲労強度が向上していないといえる。き裂長とICR処理効果の明確な相関はみられないが、ICR処理時の応力レベルにより効果に明確な差がみられた。無応力状態で処理したものに比べ、平均応力もしくは最大応力状態で処理したものは効果が高く、200万回載荷してもき裂の再進展は確認されなかった。

5. まとめ

本研究では引張荷重下のき裂に対するICR処理の適用性を検討することを目的として、有限要素解析および疲労試験を実施した。限られた条件のもとでの解析結果ではあるが、曲げに比べて引張の場合はICR処理の効果が小さくなる可能性が示された。また疲労試験より、平均応力もしくは最大応力が作用している状態でICR処理を施せば、ICR処理の効果が期待できる可能性が示された。

謝辞 本研究は国土交通省「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」制度(代表: 舘石和雄)によるものであります。ここに記して感謝いたします。

参考文献 1) 石川ら: 土木学会論文集 A, Vol. 66, No.2, pp.264-272, 2010.