

引張荷重を受けて生じた微小き裂への ICR 処理の効果

川田工業(株) 正会員 ○田中一夫, 非会員 原 考志
 関西大学 正会員 石川敏之

1. まえがき ICR 処理(Impact Crack Closure Retrofit Treatment)は、鋼橋の溶接部の疲労き裂の補修法であり、き裂近傍の母材を叩き、き裂表面を閉口させることにより溶接部の疲労寿命を延命させる工法である。ICR 処理は部材の曲げ試験による疲労寿命の向上は確認されているものの、純引張試験に対する効果は明らかになっていない。そこで、本研究では、引張疲労試験により、引張に対しての ICR 処理による疲労寿命向上効果を明らかにすることを目的としている。また、本研究では、溶接止端から発生した数 mm の微小な亀裂を対象としている。

2. 実験条件 本研究の試験体は、図-1 に示すように面外ガセットが主板の片面に溶接されている。試験体は、溶接止端に MT で微小なき裂(き裂長さ 5mm 程度)が観察された段階で ICR 処理した試験体(N_{toe}+ICR)、溶接止端に沿って進展し、き裂が止端を離れて主板に進展する直前の状態(き裂長さ 15mm 程度)で ICR 処理した試験体(N_b+ICR)とした。ICR 処理する前に、青の野書きインクをき裂に浸透させ(ダイマーキング)、ICR 処理の際のき裂の寸法がわかるようにした。また、比較のために、溶接ままの状態の試験体(AW)、溶接ままの状態ですり止め溶接止端に ICR 処理した試験体(AW+ICR)試験も行った。

疲労試験は、最大容量 50kN のアクチュエーターを用いて実施した(写真-1)。応力範囲は 180, 150 および 120N/mm² とし、全ての試験体で応力比 R がほぼ 0 の状態となるように疲労試験を実施した。

3. 疲労試験結果

3.1 S-N 関係 疲労試験結果を表-1 に示す。試験体 N_{toe}+ICR, N_b+ICR では、総繰返し回数に加え、ICR 処理を行った際の繰返し回数も示している。試験体 N_{toe}+ICR では、今回疲労試験を行った全ての応力範囲に対して、溶接したままの試験体 AW の疲労寿命の 10 倍の繰返し回数に達しても疲労破断しなかった。

疲労試験結果の S-N 関係を図-2 に示す。この図には、文献 4)で報告されている疲労試験結果も示しており、試験体 N_{toe}+ICR および試験体 N_b+ICR の疲労試験結果は、総繰返し回数を示している。この図から明らかのように、片面の面外ガセット溶接継ぎ手に対して、き裂が N_{toe} の段階、N_b の段階で ICR 処理を施すことによって、溶接したままと比べて、疲労寿命の延命効果があることがわかる。また、き裂が小さい段階で ICR 処理することにより、さらに疲労寿命の延命効果が高いことがわかる。

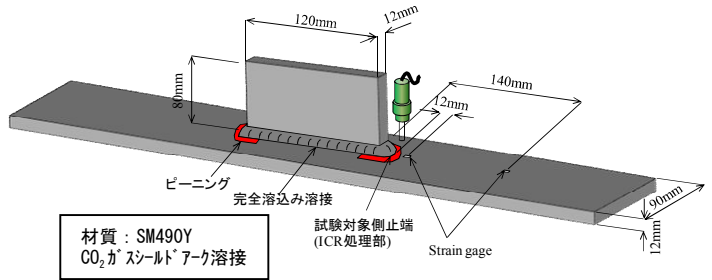


図-1 疲労試験体



写真-1 疲労試験の状況

表-1 疲労試験体一覧と疲労強度

試験体	応力範囲 Δσ (N/mm ²)	繰返し回数 N _f (×1000)	ICR 処理前までの 繰返し回数(×1000)	
AW	1	180	235.2	
	2	150	292.0	
	3	150	335.8	
	4	120	895.2	
N _{toe} +ICR	1	180	3,230.5*	50.5
	2	150	5,180.5*	90.5
	3	120	5,243.5*	225.0
N _b +ICR	1	180	559.2	135.0
	2	150	1,670.5	162.0
	3	120	1,643.9	607.0
	4	120	2,021.6	930.0
AW+ICR	1	180	5,400.0*	
	2	150	5,185.0*	
	3	120	5,400.0*	

* : run_out データ

キーワード ICR 処理, 疲労き裂, 引張疲労試験, 疲労耐久性

連絡先 〒550-0014 大阪府大阪市西区北堀江 1-22-19 TEL 06-6532-4897 FAX 06-6532-4890

次に、ICR 処理を施してからの疲労進展寿命を評価する。

図-2 から明らかなように、試験体 $N_{toe}+ICR$ は、AW+Peening と同程度の疲労寿命の延命効果があったため、図-3 では、試験体 N_b に対して、ICR 処理してから疲労破断するまでのき裂進展寿命 $N_b \rightarrow N_f$ を示している。試験体 AW に対しては、 N_b 相当の応力範囲の低下となった時点の繰返し回数から N_f までの繰返し回数を、試験体 AW の進展寿命 $N_b \rightarrow N_f$ としてプロットしている。この図から、 $N_b \rightarrow N_f$ までの進展寿命は、 N_b の段階で ICR 処理を行うことで 4 倍以上向上していることがわかる。

3.2 疲労破面 試験体 AW, $N_{toe}+ICR$ および N_b+ICR 疲労破面の一例を写真-2~5 に示す。試験体 AW では、 N_{toe} に相当するき裂の大きさに対して、ダイマークを行っている。写真-2 から、 N_{toe} に相当するき裂では幅方向に複数のき裂が発生しており、深さは全て 1mm 以内であった。写真-3 の試験体 $N_{toe}+ICR$ では、 N_{toe} のき裂が ICR 処理によって完全に閉じたため、き裂の形状が不鮮明になっている。これまでの文献 1) ~3) の ICR 処理の成果から、ICR 処理によってき裂表面の 1 ~2mm 程度が完全に閉口するため、き裂の初期段階で ICR 処理を行うことで、き裂を閉口させ、本試験で行った公称応力 $180N/mm^2$ 程度の応力範囲では疲労き裂が再進展しなかったと考えられる。写真-4, 5 の試験体 N_b+ICR では、 N_b のき裂のダイマークが明確に残されていることがわかる。試験体によって N_b のき裂の幅や深さは異なっているが、き裂深さが 3.0mm 以上の試験体 N_b+ICR 3, 4 のき裂の遅延効果が、き裂深さ 2.5mm 程度の試験体 N_b+ICR 1, 2 と比べて小さかった。したがって、引張荷重を受ける場合、ICR 処理を行う際の疲労き裂の深さが、き裂進展の遅延効果に影響を与えられられる。

4. まとめ 面外ガセットを有する試験体による引張疲労試験の結果より、引張を受ける微小な疲労き裂に対する ICR 処理の有効性が明らかとなった。今後、き裂の進展状況、深さの影響が ICR 処理後の延命効果に与える影響を検証する必要がある。

<謝辞> JFE スチールの森影康氏、中西克佳氏、建設技術研究所の輅一氏に、文献 4) の結果を頂いた。ここに記して謝意を示す。
<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、李蒼：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, Vol. 66, No. 2, pp. 264-272, 2010.

3) 柿市拓巳、石川敏之、山田健太郎：鋼板の側面にガセットプレートがすみ肉溶接された継手への ICR 処理による疲労強度向上効果、鋼構造論文集, Vol. 18, No. 70, pp. 39-47, 2011.

4) 森影 康、中西克佳、伊木 聡、村上 琢哉、輅 一：母材打撃ハンマーピーニングによる継手疲労強度向上、鋼構造年次論文報告集, 第 21 巻, pp. 790-794, 2013

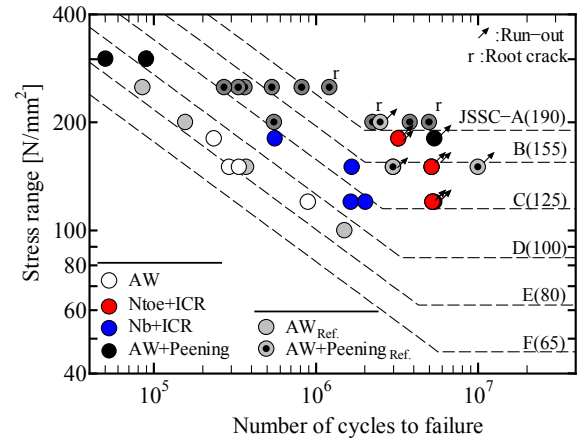


図-2 S-N 関係

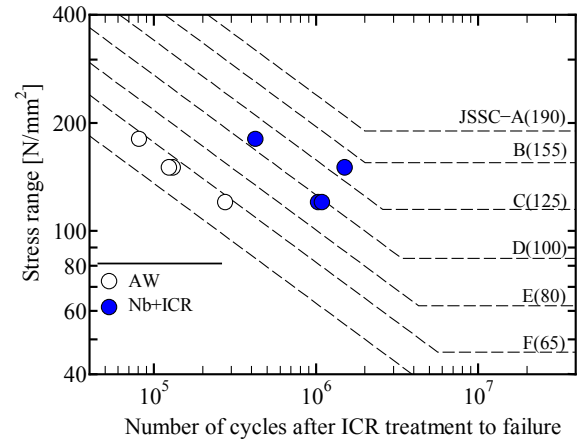


図-3 試験体 N_b+ICR のき裂進展寿命 ($N_b \rightarrow N_f$)

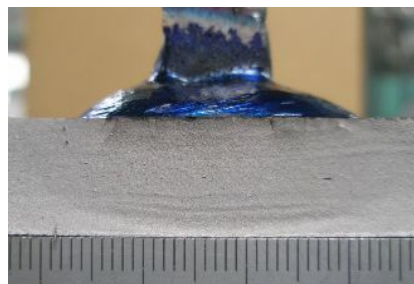


写真-2 試験体 AW-3 のき裂破面



写真-3 試験体 $N_{toe}+ICR$ 3 のき裂破面

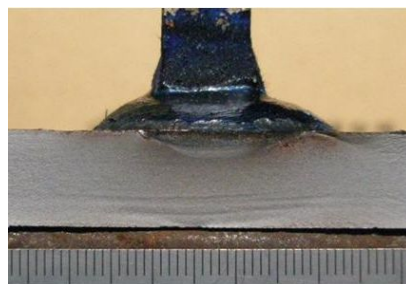


写真-4 試験体 N_b+ICR 2 のき裂破面

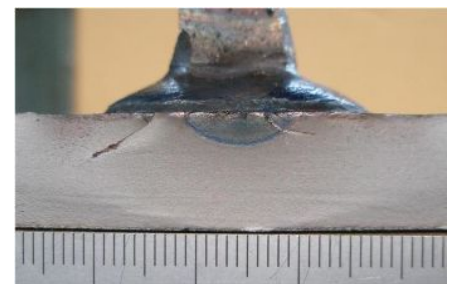


写真-5 試験体 N_b+ICR 4 のき裂破面