

PPP 処理速度とパス数が溶接継手の疲労強度向上効果に及ぼす影響

岐阜大学 学生会員 ○阪野裕樹 岐阜大学 正会員 木下幸治
東洋精鋼 (株) 半田充

1. 目的

鋼橋の溶接継手部の疲労強度向上技術の一つで、溶接止端部に圧縮残留応力を導入することにより疲労強度向上を行う PPP 処理 (Portable Pneumatic needle-Peening) があり、これまでに溶接継手部に対する高い疲労強度向上効果が明らかにされてきた¹⁾²⁾。その上で、PPP 処理の品質管理に関して、処理速度やパス数²⁾ による管理方法が提示されてきている。従来、ピーニング処理時の速度とパス数は安定したピーニング処理による疲労強度向上効果を得る上で重要であることが知られている³⁾。しかし、比較的新しい手法である PPP 処理速度とパス数が疲労強度向上効果に及ぼす影響に関してはいまだデータの蓄積が少なく明確にはなっていない。そこで本研究では、PPP 処理速度とパス数がその疲労強度向上効果に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、面外ガセット溶接継手の疲労試験を行った。

2. 試験概要

図-1 に疲労試験概要を示す。試験体鋼材は SM490 である。主板、付加板の板厚は 12mm である。CO₂半自動溶接により、開先加工し溶接止端部の付加板から 50mm 程度の範囲を完全溶け込み溶接とし、残りの区間をすみ肉溶接とした。試験体一覧を表-1 に示す。本研究では山田ら⁴⁾により開発された板曲げ試験機を用いて、応力比 R=-1 の両振り板曲げ振動疲労試験を実施した。図-1 (b) にひずみゲージ貼付け位置を示す。溶接止端から長手方向に 12mm の位置で試験体中央から左右 75mm 離れた位置に貼付けたひずみゲージ A, B で応力範囲 120MPa 程度の大きさを与えた。試験体にはき裂検知用の被覆銅線を貼付し、回し溶接部止端で検知されたものを N_{toe}、回し溶接部端部の止端で検知されたものを N_b、回し溶接部止端部から母材部に 10mm 進展したものを N₁₀、母材部に 20mm 進展したものを N₂₀ と定義し繰り返し数を計測した。

3. PPP 処理

PPP 処理は、圧縮空気による高速振動を装置先端に取り付けた先端曲率半径 1.5mm の金属製ニードルに伝達し、振動したニードルが溶接止端部を打撃することにより、塑性変形を生じさせ、圧縮残留応力の導入と、止端形状改善による応力集中の緩和を同時に行う方法である。表-1 に PPP 処理速度を示す。本研究では、1 パスにおける処理延長をピーニング時間で除したものを PPP 処理速度と定義した。ルート部からの疲労き裂発生を防止する目的でガセット側溶接止端にも処理を施した。既往研究²⁾より、処理速度 0.1m/min 程度で、かつ 2 パス程度が検討されていることを参考に、本研究では処理速度 0.1m/min かつ 1 パス、処理速度 0.2m/min かつ 2 パス、処理速度 0.1m/min かつ 2 パスとした。

4. 疲労試験結果

図-2 に N₂₀における疲労試験結果を示す。縦軸に応力範囲、横軸に繰り返し数を示す。図中には既往研究¹⁾の疲労試験結果を併記した。また、表-1 に疲労試験結果を示す。

図-2 並びに表-1 より、処理速度 0.1m/min かつ 1 パスで実施したものは F 等級と AW と比べ 1 等級程度の疲労強度向上効果が得られた。処理速度 0.2m/min かつ 2 パスで実施し

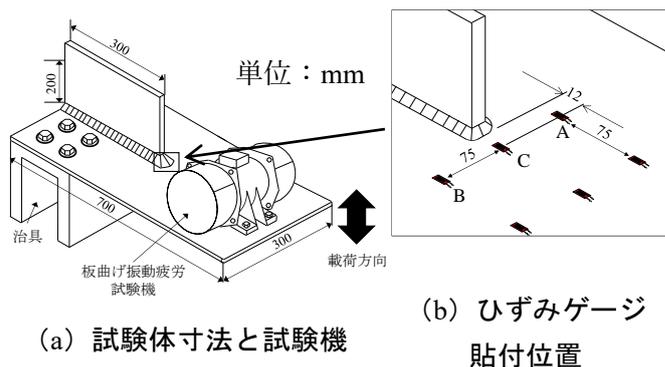


図-1 疲労試験概要

表-1 疲労試験結果

試験体名	試験片タイプ	処理方法	処理速度 (m/min)	パス数 (回)	応力範囲 (MPa)	疲労試験結果 (回数)				破壊起点	備考
						N _{toe}	N _b	N ₁₀	N ₂₀		
P1	標準	PPP処理	0.1	1	120.0	-	281,300	312,800	374,300	止端	銅線検知不良のため、N _{toe} 検知できず
P2					120.0	149,700	326,200	383,600	449,000	止端	-
P3			0.2	2	120.0	-	8,795,200	-	-	ガセット側止端	溶接内欠陥よりき裂発生
P4					120.0	-	6,048,500	-	-	ガセット側止端	溶接内欠陥よりき裂発生
P5			0.1	2	120.0	10,000,000				き裂なし	応力範囲140MPaにて再試験
	140.0	-			-	9,759,200	9,807,600	止端	銅線検知不良のため、N _{toe} 、N _b 検知できず		

たものはC等級以上を示し、AW と比べ4等級程度以上の疲労強度向上となった。いずれの試験体も溶接内在欠陥を起点にガセット側溶接止端から疲労き裂が発生した。処理速度 0.1m/min かつ 2 パスで実施したものは C 等級を示し、処理速度 0.2m/min かつ 2 パスと同程度の疲労強度向上効果となった。以上より、PPP 処理による疲労強度向上効果は、処理速度に依存しないと言える。

5. パス数に関する検討

以上のように、処理速度 0.2m/min かつ 2 パスは処理速度 0.1m/min かつ 2 パスと同等程度の疲労強度向上効果が得られた。そこで各パス数において適切な処理が実施されたか止端形状計測、溶接部近傍圧縮残留応力、及び破断面観察より考察した。

5.1 止端形状計測

処理後の止端形状は、各試験体の止端部、並びに処理部の型を歯科印象材により採取し、1.0mm 程度の厚さにスライスしたものを画像上で拡大し計測を行った。図-3 に止端半径計測結果を示す。縦軸に止端半径 ρ 、横軸に試験体を示す。各パス数において止端半径の最小値が 1.5mm 以上となっていることから、PPP 処理に用いた金属製ニードルの先端曲率半径である 1.5mm を概ね満足していることが確認できた。

5.2 圧縮残留応力計測

図-4 に溶接部近傍における圧縮残留応力計測結果を示す。縦軸に圧縮残留応力、横軸に PPP 処理時間を示す。圧縮残留応力計測は、図-1 (b) に示すひずみゲージ C にて行った。処理速度 0.1m/min かつ 1 パスは-120MPa 程度の圧縮残留応力が確認された。処理速度 0.2m/min かつ 2 パスは-150MPa 程度と処理速度 0.1m/min かつ 1 パスと同等程度以上の導入量であった。以上より、処理速度によらずパス数を増やすことによって、同等程度の圧縮残留応力が導入できると考えられる。

5.3 破面観察結果

図-5 に P2 破面観察結果を示す。図-5 (a) より疲労き裂は回し溶接部中央に示す赤枠を起点に発生していることがわかった。走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて起点付近の破面観察を行った図-5 (b) より、鋼材表面と疲労破面の境界部に 1.4mm 程度の PPP 処理時に導入されたと考えられる巻き込みと思われる箇所が確認され、この巻き込みを起点に疲労き裂が発生していることが確認できた。以上より、パス数が少ない場合、PPP 処理時により生じた巻き込みを再度押しつぶす効果が得られず、残留する巻き込みサイズにより十分な疲労強度向上効果が得られない可能性が示唆された。

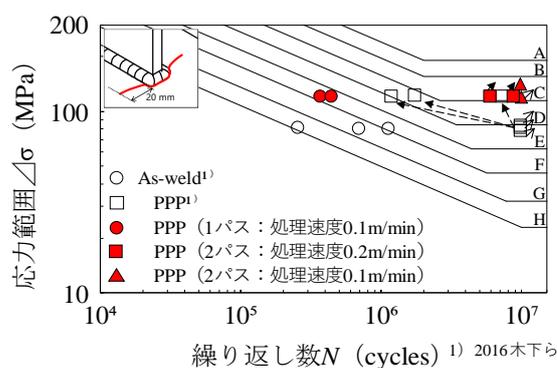


図-2 N_{20} における疲労試験結果

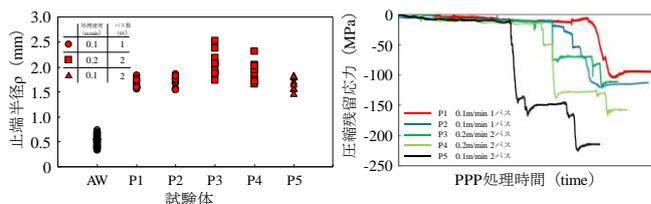


図-3 止端半径 ρ 計測結果

図-4 溶接部近傍
残留応力計測結果

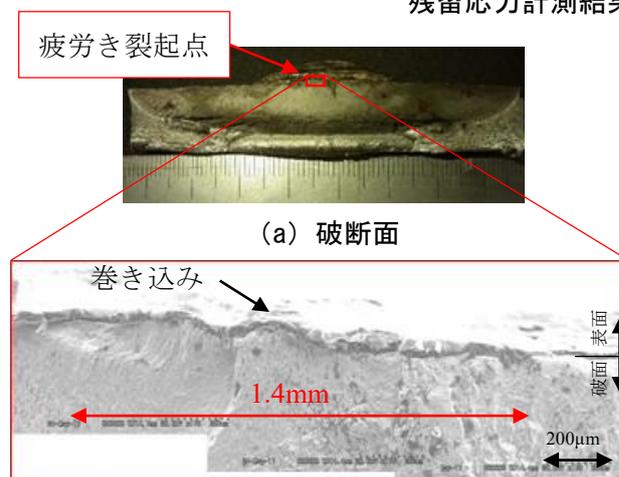


図-5 P2 破面観察結果

6. 結論

疲労試験結果より、PPP 処理による疲労強度向上効果は処理速度 0.2m/min かつ 2 パスでは処理速度 0.1m/min かつ 1 パスと比較して 3 等級向上した。また、破面結果より、疲労き裂起点付近に 1.4mm 程度の巻き込みと思われる箇所が確認された。以上より、パス数を増やすことで PPP 処理によって生じた巻き込みを再度押し込むことが可能であれば十分な疲労強度向上効果を得ることが可能であると言える。

〈参考文献〉

- 1) 木下ら：ニードルピーニングによる溶接継手部の疲労強度向上効果、鋼構造年次, 2016
- 2) 井上ら：エア式ニードルピーニングによる面外ガセット溶接継手部の疲労強度向上対策、東京鐵骨橋梁技術報, No.57, pp.38-45, 2016
- 3) ANAMI, et al.: IMPROVING FTIGUE STRENGTH OF WELDED JOINTS BY HAMMER PEENING AND TIG-GRESSING, Journal of Structure Mechanics and Earthquake Engineering, JSCE, No.647, pp.57s-68s
- 4) 山田ら：垂直補剛材と鋼床版デッキプレートの隅肉溶接の曲げ疲労試験、鋼構造論文集, 第 14 卷, 第 55 号, pp1-8, 2007.9