

応力比が負の条件下におけるニードルピーニング処理された溶接継手の疲労強度

岐阜大学 学生会員 ○齊藤匡平
 岐阜大学 正会員 木下幸治
 岐阜大学 正会員 阪野裕樹

1 はじめに

鋼橋において車両通行に伴い発生する繰り返し応力により、応力集中箇所や引張残留応力下にある溶接継手部から疲労き裂が発生、進展し、部材破断や落橋につながる恐れがあるため、疲労き裂に対する事前の対策を行う必要がある。その溶接部の疲労強度向上手法の1つとして、金属ピン・ハンマーによる打撃により、圧縮残留応力の導入および止端形状の若干の改善を図るピーニング処理がある。これまでにピーニング処理による高い疲労強度向上効果が示されており、JSSCテクニカルレポート No.120 では、ピーニング処理された溶接継手の疲労設計曲線が提案されている¹⁾。

ピーニング処理による疲労強度向上効果は、応力比や最大応力が高い場合²⁾には、その効果は減少することが知られており、上述したピーニング処理された溶接継手の疲労設計曲線においても、応力比が高い場合にはピーニング処理の疲労強度向上効果を低減するよう提案されている¹⁾。しかしながら、応力比が負の条件下におけるピーニング処理された溶接継手の疲労強度は十分には検討されていない³⁾。

本研究では、応力比が負の条件下におけるピーニング処理された溶接継手の疲労強度を明らかにすることを目的に疲労試験を実施した。本発表では、応力比 R=-1 の条件下におけるピーニング処理の1種である Portable Pneumatic needle-Peening (PPP)処理された溶接継手の疲労試験結果を報告する。

2 試験体概要および試験条件

図-1 に本研究で用いた面外ガセット溶接継手試験体の諸寸法を示す。試験体は、板厚 12mm と板幅 200mm の主板に板厚 12mm、高さ 100mm の付加板が CO₂ 半自動溶接により接合されている。鋼材は橋梁用高降伏点鋼材(SBHS400, 500, 700)とした。SBHS400

試験体 2 体, SBHS500 試験体 2 体, SBHS700 試験体 2 体とした。試験体の一覧を表-1 に示す。疲労試験は、試験体を治具に片持ち梁状に設置した上で、その他端に取付けた板曲げ疲労試験機⁴⁾により、溶接止端に繰返し面外曲げ応力を与えることにより実施した。溶接止端位置の公称応力範囲は、図-1 に示すひずみゲージ B と C の応力範囲の平均値とゲージ D と E の応力範囲の平均値から溶接止端の位置の応力範囲を外挿した上で、面外曲げ応力に対する補正係数 1.11¹⁾を乗じて算出した。疲労試験開始後に疲労き裂が発生せず、繰返し回数が 1,000 万回に到達した試験体は、Run-out として応力範囲を増加させた上で、継続して疲労試験を実施した。疲労試験は、初期き裂として、図-1 のゲージ F のひずみ範囲が载荷初期の 5%低下した際の繰返し回数を N_{5%}、溶接止端から離れて主板に進展した際の繰返し回数を N_b、溶接止端から離れて主板に 10mm 進展した際の繰返し回数を N₁₀、20mm 進展した際の繰返し回数を N₂₀ と定義した。

3 疲労試験結果

表-1 に各試験体の疲労試験結果を示す。R=-1 で実施した試験体 6 体はいずれの試験体も応力範囲

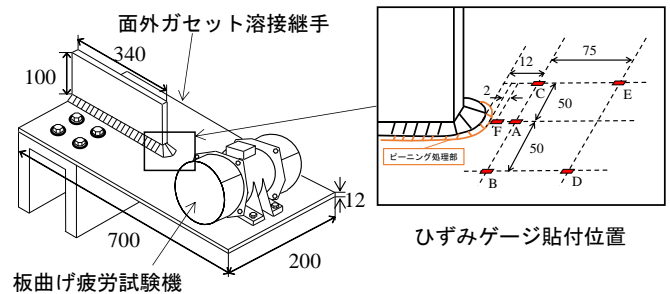
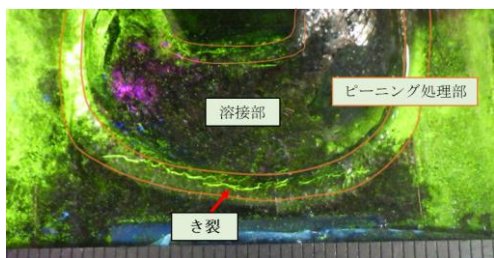


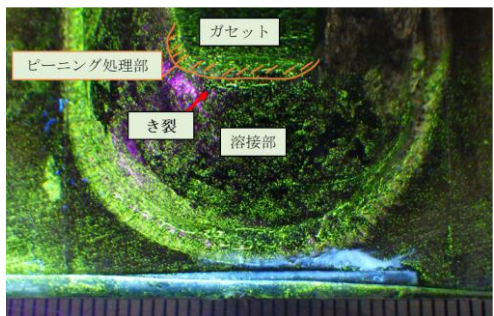
図-1 試験体寸法とひずみゲージ貼付位置 [単位:mm]

表-1 試験体一覧と疲労試験結果

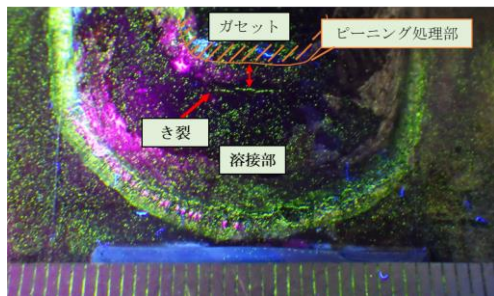
試験体名称	止端処理	応力比 R	溶接止端位置の公称応力範囲 (MPa)	疲労試験結果(回数)				き裂発生位置
				N _{100%} N _{5%}	N _b	N ₁₀	N ₂₀	
SBHS400_No.1	PPP	-1	158	10,000,000				き裂なし
			200	10,000,000				き裂なし
			300	403,970	442,913	500,000	-	主板とピーニング処理部
SBHS400_No.2	PPP	-1	120	10,000,000				き裂なし
			160	10,000,000				き裂なし
			200	10,000,000				き裂なし
SBHS400_No.2	PPP	-1	300	1,000,000	1,109,000	1,132,400	1,155,400	ピーニング処理部(a)
			120	10,000,000				き裂なし
			160	10,000,000				き裂なし
SBHS500_No.1	PPP	-1	200	10,000,000				き裂なし
			300	313,000	318,000	324,500	328,200	ガセット側ピーニング処理縁(b)
			160	10,000,000				き裂なし
SBHS500_No.2	PPP	-1	200	10,000,000				き裂なし
			300	200,000	557,600	562,600	563,800	ガセット側ピーニング処理縁(b)
			120	10,000,000				き裂なし
SBHS700_No.1	PPP	-1	160	10,000,000				き裂なし
			200	10,000,000				き裂なし
			300	443,000	488,700	496,700	511,200	ガセット側の溶接部(c)
SBHS700_No.2	PPP	-1	160	10,000,000				き裂なし
			200	10,000,000				き裂なし
			300	400,000	499,100	515,800	528,600	ガセット側の溶接部(c)



(a) ピーニング処理部からのき裂 (SBHS400_No.2)



(b) ガゼット側ピーニング処理縁からのき裂 (SBHS500_No.2)



(c) ガゼット側の溶接部からのき裂 (SBHS700_No.2)

図-2 磁粉探傷試験によるき裂検出例

200MPa 以下で疲労き裂の発生は確認されなかった。応力範囲を 300MPa に増加させた後、5 体の試験体は、ピーニング処理部以外からき裂が発生し、1 体の試験体のみ主板側のピーニング処理部よりき裂が発生した。磁粉探傷試験によるき裂検出例を、図-2 に示す。面外ガゼット溶接継手は応力集中が大きい溶接止端部からのき裂が多く確認されている^{1,2)}が、図-2 (b), (c) のように、主板側のピーニング処理部以外からのき裂が確認された。この理由に関して、図-2 (b) はガゼット側ピーニング処理縁の疲労強度が主板側溶接部のピーニング処理部の疲労強度よりも小さいことが起因したと考えられる。図-2 (c) のガゼット側の溶接部からのき裂は溶接部の若干のへこみによる応力集中が影響したと考えられる。

N₁₀ で整理した疲労試験結果の S-N 線図を図-3 に示す。図中には、JSSC 疲労設計指針に基づくピーニング処理された溶接継手の疲労設計曲線および既往研究²⁾で実施された溶接まま(AW)と PPP 処理の疲労試験結果^{1,2)}を示す。図より、唯一 PPP 処理部よりき裂が発生した SBHS400_No.2 の疲労強度等級は A 等級で最も疲労強度等級が高い結果であった。また、そのほかの試験体は、PPP 処理部以外からき裂が発生し、その疲

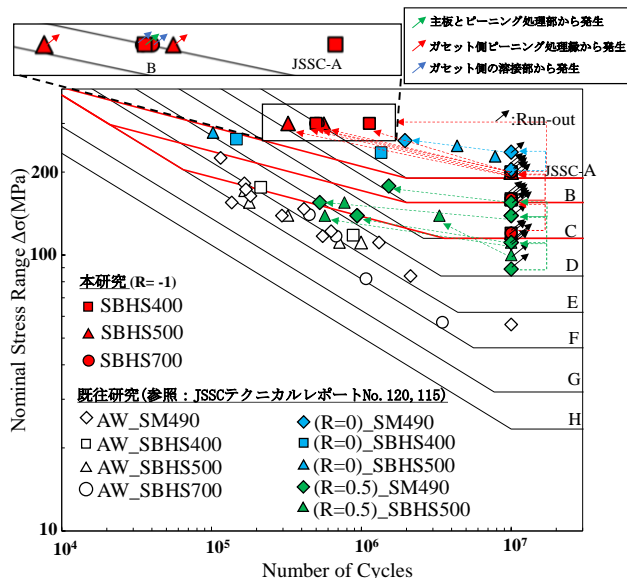


図-3 N10 で整理した S-N 線図

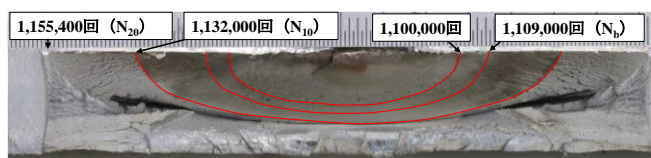


図-4 SBHS400_No.2 の疲労破面

労強度等級は B 等級以上であった。以上より、PPP 処理された溶接止端部の疲労強度等級は B 等級以上であることがわかった。AW の疲労強度等級 F 等級と比較すると、いずれも 4 から 5 等級の疲労強度向上効果があったと言える。

図-4 に主板側のピーニング処理部からき裂が発生した試験体 SBHS400_No.2 の疲労破面を示す。図中に示されている模様はビーチマークである。PPP 処理部を起点に半楕円状にビーチマークが入っており、き裂の進展の様子が示されている。板曲げ疲労試験であるため、疲労き裂の進展は、板厚方向には主板の 8 割程度で停滞したことが確認された。この傾向は JSSC の既往研究¹⁾と同様であった。

謝辞：本研究は、一般社団法人・日本鋼構造協会「鋼橋の強靱化・長寿命化研究委員会」(委員長・舘石和雄・名古屋大学教授)の「疲労強度研究会」(部会長・穴見健吾・芝浦工業大学教授)における活動の一部として実施した。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献：1) 日本構造協会：JSSC テクニカルレポート, No.120, 2020. 2) 日本構造協会：JSSC テクニカルレポート, No.115, 2018. 3) 津村秀一, 穴井陽祐, 安藤孝弘, 岩田知明, 丹羽敏男：応力比が負の条件下における HFMI 処理の疲労強度改善効果及び板厚効果, 日本船舶海洋工学会論文集, 34 巻, 2021. 4) 山田健太郎, 小藪江朋亮, 小塩達也：垂直補鋼材と鋼床板デッキプレートのみ肉溶接の曲げ疲労試験, 鋼構造論文集, Vol.14, No.55, pp.1-8, 2007