

過大な圧縮荷重が作用したピーニング処理された溶接継手部の疲労強度

岐阜大学 学生会員 ○大平茉諒 岐阜大学 正会員 木下幸治
 岐阜大学大学院 学生会員 阪野裕樹 芝浦工業大学 正会員 穴見健吾
 関西大学 正会員 石川敏之

1. はじめに

大型車輛や過積載車輛の走行量の増加に伴い、鋼道路橋では疲労損傷の発生事例が報告されている¹⁾。このような疲労損傷の対策技術の一つとして、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の向上を図るピーニング処理技術が挙げられる。我が国では **Portable Pneumatic Needle-Peening** (以降, PPP) 処理が開発され、これまでに高い疲労強度向上効果が得られることが明らかにされている²⁾。一方で、架設段階や過積載車の通過による過大な圧縮荷重 (以降, 圧縮の OL) が作用する場合、溶接止端部に導入された圧縮残留応力が消失し、疲労強度向上効果が低減することが懸念されている³⁾。そこで、本研究では、過大な圧縮荷重が作用したピーニング処理された溶接継手部の疲労強度を明らかにすることを目的として、PPP 処理された面外ガセット溶接継手試験体を対象に、圧縮の OL 作用後の溶接止端部近傍の残留応力計測および板曲げ疲労試験を実施して、圧縮の OL が疲労強度に与える影響について検討した。

2. 試験体

図-1、表-1 に試験体形状および板曲げ疲労試験、試験体一覧を示す。図中に示すように、板厚 12mm、板幅 200mm の主板に板厚 12mm、高さ 100mm の付加板が半自動 CO₂ ガスシールドアーク溶接されている。なお、試験体鋼材には SBHS400 材の鋼板を用いた。

3. 载荷試験

疲労試験に先立ち、OL を作用させた際の PPP 処理部から 2mm の位置の残留応力を計測した。図-2 に圧縮の OL の载荷状況を示す。OL はガセット端部から 245mm の位置で図-1 に示す公称応力位置で -20MPa ずつ静的に载荷した。図-3 に残留応力計測状況を示す。本研究では、X 線残留応力測定装置 μ -X360n (パルステック工業株式会社製) を用いて計測を行った。この装置は入射 X 線を中心に 360 度全方向に回折した全ての回折 X 線 (回折環) を取得し、無応力状態の試料の回折環を基準に、測定試料の回折環との差から残留応力計測を行う $\cos\alpha$ 法を用いて計測を行っている。なお、残留応力の計測は、圧縮の OL

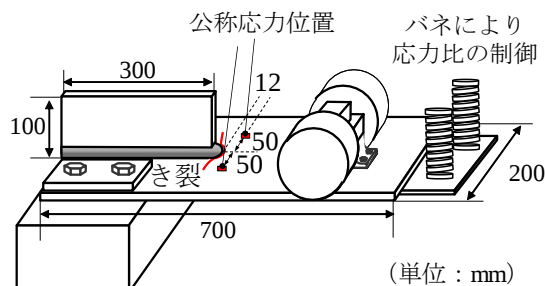


図-1 面外溶接継手試験体および板曲げ疲労試験

表-1 試験体一覧

試験体名	鋼種	静的载荷試験条件		疲労試験条件	
		载荷荷重 (kN)	公称応力値 (MPa)	応力比 R	公称応力範囲 (MPa)
PPP_OL1	SBHS400	5.8	-236	0.5	80
PPP_OL2		3.8	-174		80
					100
					80
PPP_OL3		2.5	-112		100
					125



図-2 圧縮の OL 载荷

図-3 残留応力計測

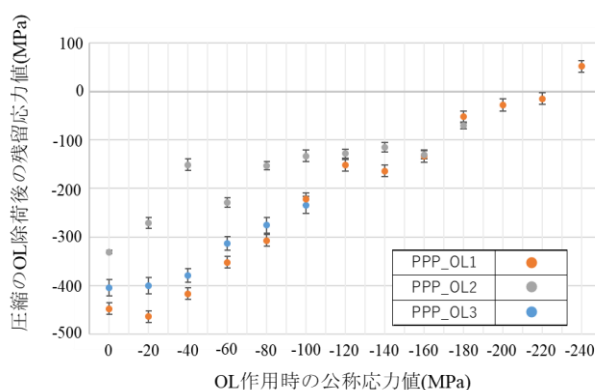


図-4 圧縮の OL 载荷試験の残留応力計測結果

载荷中に随時計測を行っている。図-4 に残留応力計測結果を示す。図-4 より、圧縮の OL が増加するに従い、圧縮残留応力が線形的に消失していることがわかり、圧縮の OL が 5.8kN (公称応力値では -236MPa) 以上作用した場合、圧縮残留応力が完全に消失することがわかった。

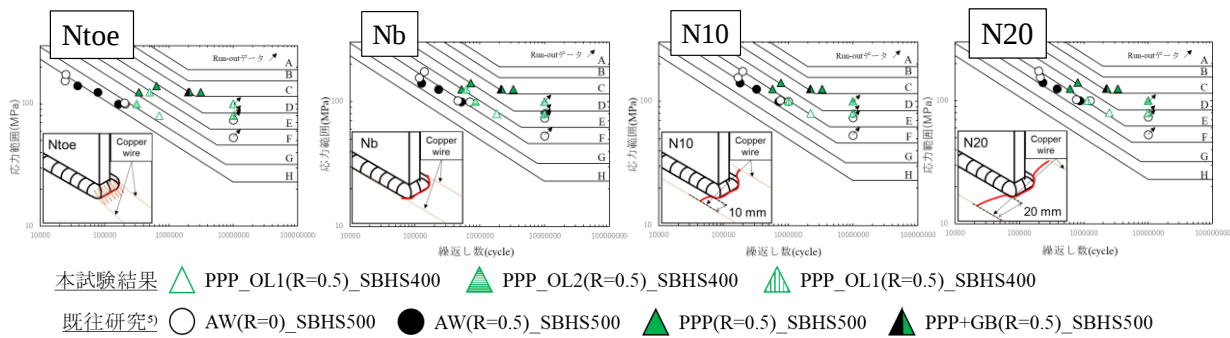


図-5 疲労試験結果

4. 疲労試験

本研究では図-1 に示すように、板曲げ疲労試験機⁴⁾を用いて疲労試験を実施した。実橋での応力状態を想定して、自由端側に設けたバネにより平均応力を制御し、応力比が $R=0.5$ となるように調整した。図-5 に疲労試験結果を示す。図中に示す回し溶接部および母材に貼付した銅線がき裂の発生・進展により切断された段階 (Ntoe, Nb, N10, N20) で整理している。本検討では、繰返し载荷回数が 1000 万回に到達してもき裂が発生しなかった試験体は Run-out データとし、応力範囲を上げて再度試験を実施している。OL=-236MPa を作用させた PPP_OL1 は、 $\Delta\sigma=80\text{MPa}$ の疲労試験下で約 70 万回载荷後にき裂が発生し、AW と同程度の G 等級 (Ntoe 時) であった⁵⁾。対して、OL=-174MPa を作用させた PPP_OL2 は、 $\Delta\sigma=80\text{MPa}$ ではき裂が未発生であり、 $\Delta\sigma=100\text{MPa}$ に応力範囲を増加させた結果、約 30 万回载荷後にき裂が発生した。OL=-112MPa 作用させた PPP_OL3 では、 $\Delta\sigma=80\text{MPa}$ 、 $\Delta\sigma=100\text{MPa}$ ともにき裂が未発生であった。その後、 $\Delta\sigma=125\text{MPa}$ に応力範囲を増加させた結果、約 50 万回载荷後 (Ntoe 時) にき裂が発生した。以上より、圧縮の OL 値が大きいほど疲労強度が低減すると言える。

図-6 に OL 荷重作用後から、疲労試験を開始、試験中と継続して残留応力を計測した結果を示す。ただし、ここで計測した残留応力は、公称応力を含んだ残留応力を計測した結果となっている。各試験体の残留応力は、作用させた OL が大きいほど、疲労試験荷重を作用させた際に、引張側にシフトしていることがわかる。疲労試験結果と合わせると、今回の試験では、異なる OL を作用させた各試験体で、最大の疲労試験荷重作用時の残留応力計測値が 300MPa 程度以上になるとき裂が生じ破断に至る傾向が一致していた。

5. 結論

1) PPP 処理により導入された圧縮残留応力は圧縮の OL の増加に伴い線形的に消失し、5.8kN の圧縮の OL (公称応力値-236MPa 程度) が作用し

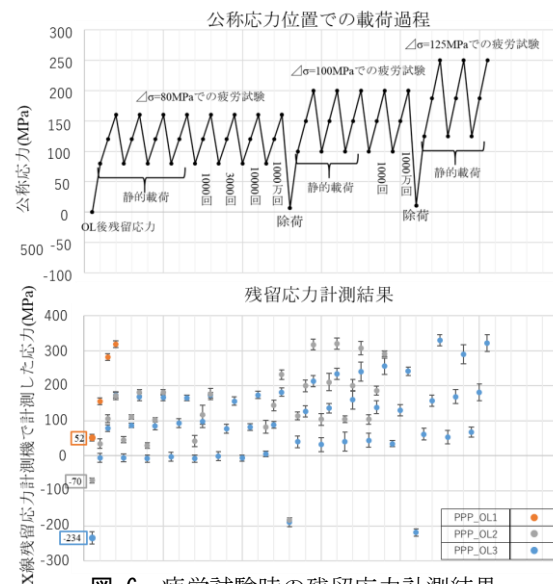


図-6 疲労試験時の残留応力計測結果

た場合、圧縮残留応力は完全に消失した。

2) 圧縮残留応力が完全に消失した PPP_OL1 試験体の疲労強度は As-welded と同程度となったが、圧縮残留応力が完全に消失していない PPP_OL2 と PPP_OL3 では、圧縮残留応力が大

3) 疲労試験時の応力状態が一定以上になると破断に至る傾向が各試験体で一致していたことから、導入圧縮残留応力の消失と作用疲労試験荷重により疲労強度を整理できると言える。

参考文献

- 1) 日本道路協会：鋼橋の疲労，丸善，1997.
- 2) 井上諒，細見直史，入部孝夫：エアー式ニードルピーニングによる面外ガセット溶接継手の疲労強度向上対策，東京鉄骨橋梁技術報，No.57，pp.38-45，2016.
- 3) 石川敏之，清水優，軀一，河野広隆，山田健太郎：ICR 処理による疲労強度向上効果に圧縮の過荷重が与える影響，鋼構造年次論文報告集，第 19 巻，pp.345-350，2011.
- 4) 山田健太郎，小藺江朋亮，小塩達也：鋼床版デッキプレートのすみ肉溶接の曲げ疲労試験，鋼構造論文集，第 14 巻，第 55 号，pp.1-8，2007.
- 5) JSSC テクニカルレポート，No.115，鋼橋の疲労対策のために技術資料，2018.