

鉄道橋合成桁におけるピーニング処理により導入した圧縮残留応力変化に関する考察

○西日本旅客鉄道（株）正会員 船木 啓太

西日本旅客鉄道（株）正会員 高田 大輔

西日本旅客鉄道（株）非会員 上野 元秀

1. 背景と目的

経年 19 年の支間 51.3m の鉄道橋合成桁（以下、本橋という）のソールプレート前面溶接止端部付近（下フランジ側止端から 10mm の位置の下フランジ下面）において、供用開始から 1 年後、列車通過時、**図-1** に示すような 2.5Hz 程度の共振は見られるが、それを除いて考えても比較的大きな圧縮応力が確認できる。通常、支点部付近の下フランジには列車載荷による応力はほとんど作用しないが、支承の可動不良に起因して、ソールプレート前面付近の下フランジに面外曲げが発生し、応力が増加したものと考えられる¹⁾。本橋のソールプレート溶接部を、カバープレートをすみ肉溶接で取り付けた継手をもつ母材（疲労強度等級 G 等級：疲労限 32MPa）²⁾に相当するものとみなすと、**図-1** に示した作用応力範囲は疲労限を超過している。またこれに加え、一般に、溶接止端部には引張残留応力が作用していることを考慮すると、本橋のソールプレート溶接部には疲労き裂が発生する恐れがあると考えられる。そのため、本橋では予防保全対策としてピーニング処理により溶接止端部の疲労強度向上を目指すこととしたが、一般にピーニング処理後に当該溶接部に圧縮応力が作用すると、ピーニング処理により導入した圧縮残留応力が消失し疲労強度改善効果が得られない場合がある³⁾。そこで、本研究では、ソールプレート溶接部におけるピーニング処理の効果の持続性を評価することを目的に、列車載荷により圧縮応力が作用した際のピーニング処理部の残留応力の変化を調査した。

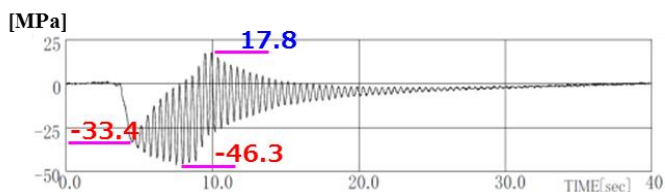


図-1 ソールプレート前面溶接止端部付近の列車通過時の応力波形

2. ピーニング処理の方法

ピーニング処理とは、溶接止端部をハンマー等で打撃し塑性変形させ、処理部に圧縮残留応力を導入する方法である。また、ピーニング処理には、圧縮残留応力を導入する効果に加えて、溶接止端部の形状を変化させて応力集中を緩和する効果もあり、溶接止端部の疲労強度を向上させることができる。

本研究のピーニング処理には、**写真-1** に示すエア式ニードルピーニング装置（PPP，東洋精鋼）を用いた。ピーニング処理の打撃位置はソールプレート前面溶接の下フランジ側止端部とし、処理範囲はソールプレート溶接 4 辺のうちの前面 1 辺とした。対象部位の鋼種は、SMA490 である。施工条件として、ピーニングピン先端径 3mm、打撃角度は下フランジ下面からの俯角 $60 \pm 10^\circ$ 、空気圧は $0.65 \pm 0.10 \text{ MPa}$ とした。また、**写真-2** に示すように、打撃痕が連続して打ち飛びがなく、帯状の形状となるまで打撃を加えた。



写真-1 ピーニング機器

写真-2 処理痕

3. ピーニング処理部の残留応力測定

X 線残留応力測定装置（可搬式残留応力測定装置： μ -x360，パルステック工業）により、**図-2** に示すように、主桁ウェブ直下位置のソールプレート前面溶接止端から 3mm、4mm、5mm、6mm の位置の残留応力を測定した。測定は、可動側の左右 2 支承および固定側の左右 2 支承の計 4 支承において、ピーニング処理前（初期値）、ピーニング処理後、および、ピーニング処理後の初列車通過後の計 3 回行った。測定結果を**図-3** に示す。測定結果の概要は以下のとおりである。

①ピーニング処理前の残留応力は支点によりばらつき

キーワード 鋼・合成鉄道橋、ソールプレート溶接部、ピーニング処理、圧縮残留応力

連絡先 〒920-0036 石川県金沢市元菊町 68-2 西日本旅客鉄道（株）金沢土木技術センター TEL076-223-3206

が大きかったが、ピーニング処理により各支点とも止端から 3mm 位置において、 $-300\text{MPa} \sim -400\text{MPa}$ 程度まで圧縮残留応力が導入されたことが確認できた。

②列車通過後の残留応力の変動は概ね小さくなく、今回の測定結果のうち最も変動が大きかった箇所（固定左支承）でも、溶接止端から 3mm 位置で 69MPa の圧縮残留応力が消失する程度であり、各支点とも十分に圧縮残留応力領域のままであることが確かめられた。

4. 考察

ピーニング処理後に圧縮応力が作用した場合の疲労強度改善効果の低下について、例えば文献 4 では、面外ガセット溶接試験体（すみ肉溶接）によりその評価が行われている。その結果によれば、溶接止端から 12mm の位置で圧縮残留ひずみの消失量が 400μ 程度（ 80MPa 程度）までであれば、疲労強度改善効果の低下は小さいとされている。本橋では、列車通過後、溶接止端から 3mm の位置においても最大 69MPa しか圧縮残留応力の消失が生じていない。本橋ソールプレート溶接の疲労等級は面外ガセット溶接（すみ肉溶接）と同じ G 等級（すなわち止端部の応力集中が同程度）であることを踏まえると、文献 4 の結果から推察して、列車通過後も十分に疲労強度改善効果が発揮され则认为られる。

5. まとめ

本研究により、既設の鉄道橋合成桁に対しピーニング処理を行うことで、圧縮の残留応力が導入されることが確認できた。また、ピーニング処理による圧縮残留応力導入後に列車荷重が作用しても、圧縮残留応力が大きく消失することなく、導入されたままであることが分かった。このことより、既設橋のソールプレート溶接止端部へのピーニング処理は、溶接止端からの疲労き裂発生防止に効果があるものと考えられる。

参考文献

- 1) 坪川他：北陸新幹線合成桁ソールプレート溶接部の疲労に対する維持管理方針の検討，土木学会第 74 回年次学術講演会，VI-1017，2019。
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説-鋼・合成構造物，丸善，2009。
- 3) 日本鋼構造協会：JSSC テクニカルレポート No.120「鋼橋の強靱化・長寿命化に向けた疲労対策技術資料」，2020。
- 4) 石川他：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。

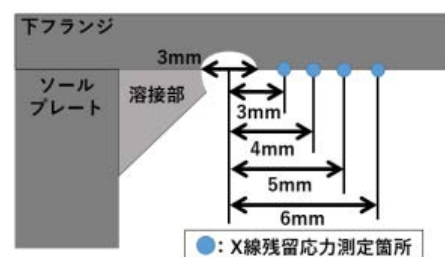
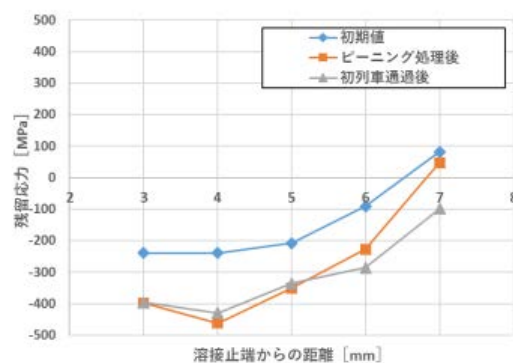
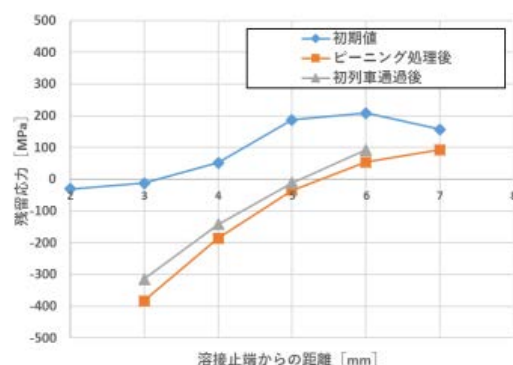


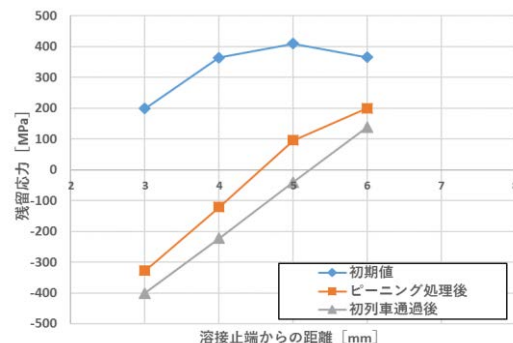
図-2 X線残留応力測定位置図



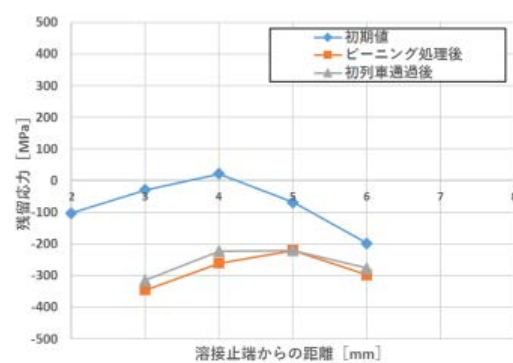
(a) 可動左支承



(b) 可動右支承



(c) 固定左支承



(d) 固定右支承

図-3 X線残留応力測定結果