

ショットピーニングによる既設鋼橋溶接部の疲労強度向上効果

岐阜大学大学院 学生会員 ○須川清諒 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

ヤマダイインフラテクノス株式会社 正会員 山田翔平 亀山誠司

1. はじめに

鋼橋溶接継手部に発生する疲労き裂は、発見・対応が遅れると鋼橋の落橋に伴う甚大な社会損失が生じるため、予防保全を実施することが望まれている。鋼材表面に無数のショット材を高速で衝突させることにより表面に圧縮残留応力を導入させるショットピーニング（以下、SP）技術¹⁾は、アメリカでは既設鋼橋溶接継手部の疲労強度向上に有効な技術の一つとして試みられているが²⁾、我が国で既設鋼橋への適用を想定した場合、環境保護のためショット材の飛散防止対策が大掛かりになることや、現場でのショット材の回収が困難であることから、これまでに適用されてこなかった。そこで著者らは、既設鋼橋の塗替塗装時に実施するグリッドブラスト（以下、GB）処理と同様の設備を使用し、ショット材を回収し循環利用することを可能とした SP 技術を開発し³⁾、既設鋼橋溶接継手部の疲労き裂予防保全工法として本技術の適用を進めてきた⁴⁾。本概要では、本技術を用いて SP 処理された溶接継手部の疲労強度向上効果の検討を目的に、疲労き裂予防保全工法の一環として既設鋼橋溶接継手部及び面外ガセット溶接継手試験体に対して SP 処理し、残留応力計測を実施した。その上で、面外ガセット溶接継手試験体を用いた疲労試験を実施した。

2. 残留応力計測

図-1 および図-2 に対象とした既設鋼橋溶接継手部および面外ガセット溶接継手試験体を示す。それぞれの溶接継手に対して SP 処理を 2 回実施し、その後、塗装塗替えを想定した GB 処理を実施した。なお、面外ガセット溶接継手試験体に対して、SP 処理回数を 1 回、3 回と変えた試験体を別途製作し、圧縮残留応力と疲労強度向上効果に対する SP 処理回数の影響を検討した。図-3 に残留応力計測箇所を示す。それぞれの計測箇所において、溶接止端から 2mm 離れた位置で、溶接止端と平行方向に 1mm 間隔で 3 点ずつ計測を実施した。残留応力は溶接止端に対して直交する方向の応力成分を計測している。面外ガセット溶接継手試験体においても同様の位置で残留応力を計測した。残留応力計測にはパルステック工業株式会社製の μ -X360n を使用した。すべての計測位置において、SP 処理前に板厚方向に

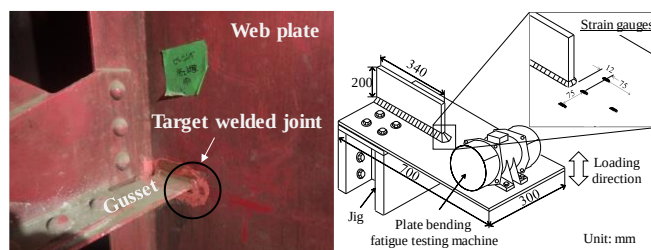


図-1 対象の溶接継手部 図-2 試験体寸法と試験機

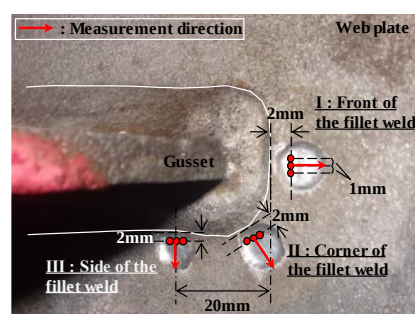


図-3 残留応力計測箇所

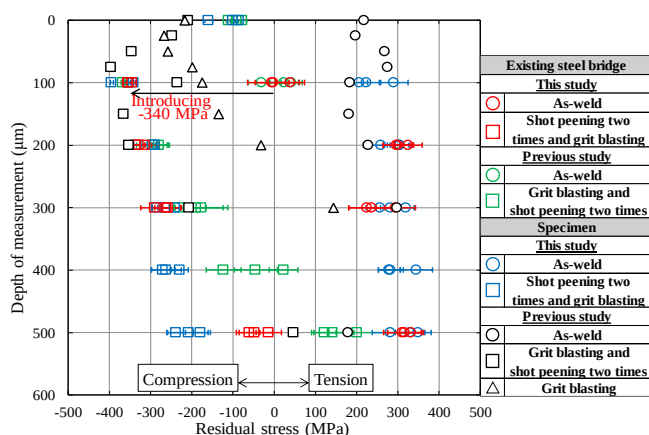


図-4 SP 処理前後の残留応力計測結果

500 μ m 程度まで随時計測し、処理後に同様の位置を板厚方向に 500 μ m 程度、すなわち深さ 1000 μ m 程度まで随時計測を実施した。

図-4 に既設鋼橋及び試験体の SP 処理前後の残留応力計測結果を示す。紙面の都合上、回し溶接部前面（図-3 の I の位置）における計測結果のみを示している。図中には既往の計測結果⁴⁾を合せて示している。また、図中の SP 処理後における計測点の深さは処理前にすでに 500 μ m 電解研磨しているため、実際の深さと異なるが、ここでは処理後の表面からの深さとして整理した。本研究で対象とした既設鋼橋溶接継手部の SP 処理前後の

キーワード ショットピーニング、既設鋼橋溶接部、面外ガセット溶接継手、疲労強度向上、残留応力
連絡先 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学 社会基盤工学科 TEL058-293-2424

残留応力計測結果より、処理前では深さ 100 μm の表層で 0MPa 程度であるが、処理後では 340MPa 程度の圧縮残留応力が導入され、深さ 500 μm まで圧縮残留応力が保持していることが確認された。一方、面外ガセット溶接継手試験体の残留応力計測結果は深さ 100 μm で 400MPa 程度の圧縮残留応力を示し、計測深さが深くなるにつれ徐々に圧縮残留応力が減少した。両者の計測結果より、表層で同程度の残留応力が導入されており、その傾向は深さ 500 μm までよく一致したことから、SP 処理による既設鋼橋溶接部の疲労強度向上効果は面外ガセット溶接継手試験体と同程度となると予想される。一方で、既往研究⁴⁾では GB 処理を実施し、その後、SP 処理を 2 回実施している。既往研究の計測結果と本研究のそれとを比較すると、導入された圧縮残留応力の最小値や深さ方向の分布傾向が概ね一致していることが分かる。以上より、SP 処理前後に実施される GB 処理が導入残留応力に与える影響は小さいと考えられる。

図-5 に SP 処理回数の異なる試験体の回し溶接部前面(図-3 の I の位置)における残留応力計測結果を示す。図より SP 処理後では計測深さが深くなるにつれ、導入された圧縮残留応力が徐々に減少する傾向が確認できる。一方、SP 処理後の深さ 100 μm における圧縮残留応力に着目すると、SP 処理回数が 1 回の 1 体のみ、圧縮残留応力導入量が -300MPa より小さい。したがって SP により安定した圧縮残留応力導入量を確保するために、SP 処理回数は 2 回以上が望ましいと考えられる。

3. 疲労試験

残留応力計測に用いた面外ガセット溶接継手試験体を使用して板曲げ疲労試験を実施した。図-2 に試験装置を示す。応力比は全ての試験体で $R=-1$ とした。回し溶接部の止端から発生した疲労き裂が溶接部から離れて主板を 20mm 進展した段階である N_{20} で疲労試験を終了した。図-6 に N_{20} 時の疲労試験結果を示す。図中には JSSC により提案された疲労強度曲線及び、既往の試験結果⁴⁾を合せて示している。疲労試験結果より、溶接まま試験体は、F 等級から G 等級を示している。一方、SP 処理試験体の疲労試験結果より、全ての試験体で応力範囲 80MPa では繰返し回数 1,000 万回まで疲労き裂が発生せず、応力範囲を 120MPa 程度に上げて試験を継続したところ、疲労き裂の発生、進展を確認した。ここで、SP 処理試験結果の回帰直線を最小二乗法により求め、繰返し回数 1000 万回を疲労限としかつ、高応力範囲において面外ガセット溶接継手試験体の溶接ままの強度曲線 (G 等級) を結んだ曲線を、SP の疲労強度曲線と定義する。この回帰直線の傾きは 7 程度となり、IIW より提案されている HFMI 処理を施した溶接継手の疲労強度曲線の傾き 5 と比較して緩やかな勾配であった⁵⁾。

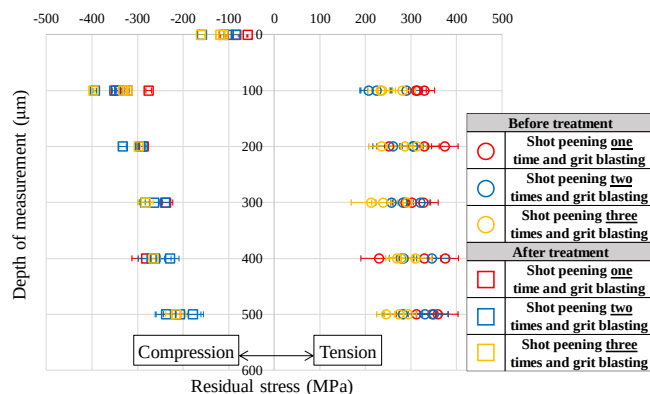


図-5 SP 処理回数の異なる試験体の残留応力計測結果

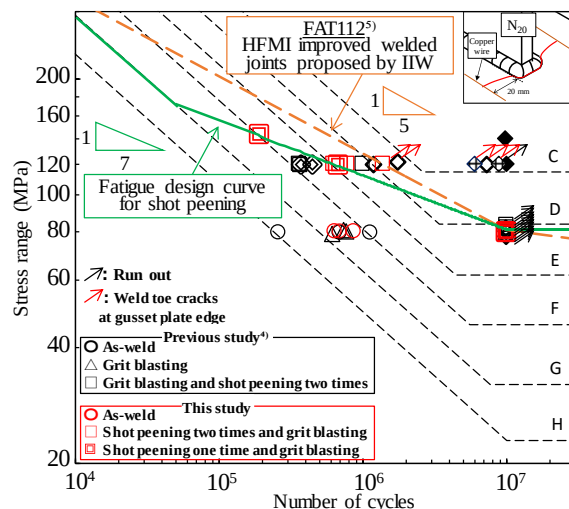


図-6 N_{20} 時の疲労試験結果

4. 結論

- ✓ 既設鋼橋及び試験体の回し溶接部前面に SP により導入された圧縮残留応力は同程度であった。
- ✓ SP 処理前後の GB 処理が溶接継手部の圧縮残留応力導入量や疲労強度向上効果に及ぼす影響は小さいと考えられる。
- ✓ 圧縮残留応力の導入量を安定させるためには、2 回以上 SP を実施することが望ましいと考えられる。ただし、今回の試験では SP 処理回数によらず、疲労強度向上効果は同程度であった。
- ✓ SP 処理試験体の試験結果の最小二乗法により求めた傾き 7 程度の回帰曲線に基づく SP の疲労強度曲線を提示した。

〈参考文献〉1)村上ら:ばね鋼の疲労強度に影響を及ぼす介在物,ショットピーニング,脱炭層,微小表面ピットの総合的評価,ばね論文集,Vol.39,pp7-16,1994. 2)Metal Improvement company Inc., Carlstadt, New Jersey: A Concept for Preventing Repeated Weld Repairs of Bridge Structures, pp.208-226, 1990. 3)Kinoshita et al: Fatigue Strength Improvement of Welded Joints of Existing Steel Bridges by Shot-Peening, International Journal of Steel Structures, Vol.19, No.2, pp.495-503, 2019. 4)Kinoshita et al: Application of shot peening for welded joints of existing steel bridges, Welding in the World, Vol.64, pp.647-660, 2020. 5)Marquis, G. and Barsoum, Z., IIW Recommendations for the HFMI Treatment, Springer, Singapore, 2016.