

ショットピーニング処理された既設鋼橋溶接部の疲労強度向上効果

岐阜大学 学生会員 ○須川清諒 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

ショットピーニングは、鋼材表面に無数のショット材を衝突させることにより表面や溶接継手部に圧縮残留応力を導入する処理である。これは既に航空機関連の部品へ実用化されているが、既設鋼橋の現場ではショット材の回収が困難であったことから、これまで適用されてこなかった。そこで著者らは、既設鋼橋の塗替え塗装時に実施するブラスト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ショットピーニング技術を開発し¹⁾、この技術の既設鋼橋への適用を進めてきた²⁾。具体的には、ショットピーニング処理された既設鋼橋溶接部と面外ガセット溶接継手試験体に導入された圧縮残留応力が同程度であることを明らかとした上で、面外ガセット溶接継手試験体を用いた板曲げ疲労試験により、2 等級程度の疲労強度向上効果を確認してきた。本概要では、異なる既設橋梁と溶接継手試験体に対するショットピーニングによる導入圧縮残留応力と疲労強度向上効果について検討した結果を述べる。

2. 残留応力測定概要と結果

既設鋼橋溶接部及び同継手形状の疲労試験体を対象にショットピーニング前後で残留応力測定を実施した。実橋梁における残留応力測定箇所は図-1 に示す、回し溶接部前面、回し溶接部、回し溶接部前面から 20mm の位置の計 3 か所であり、それぞれ止端から 2mm 離れた位置である。残留応力は、ベルトグラインダーによる酸化皮膜や塗装の除去後、電解研磨を行った後に測定した。ただし、ショットピーニング後における残留応力測定では、測定位置表面の酸化皮膜や塗装は既に取り除かれているため、ベルトグラインダーによる表面処理を行わず電解研磨を行った後に実施した。電解研磨処理は直径 8mm の円孔で深さ 100 μ m ごととし、ショットピーニング施工前後とも深さ 500 μ m まで、電解研磨するたびに残留応力を測定した。残留応力測定にはパル



図-1 実橋梁における残留応力測定箇所

表-1 ショットピーニング及びグリットブラストの施工条件

	ショットピーニング		グリットブラスト	
除錆度	ISO Sa2.5		ISO Sa2.5	
研掃材	材質	RCW 10PH	材質	スチールグリット
	粒径	0.8-1.0 mm	粒径	0.8-1.0 mm
エアー圧力	0.6 MPa以上		0.6 MPa以上	
投射時間	72 s(36 s×2)		10-15 s	
カバレッジ	90%以上			
投射距離	5-10 cm		30-40 cm	
噴射量	38 kg/min以上		38 kg/min以上	
表面粗さ	80 μ m以下		80 μ m以下	

ステック工業株式会社製のポータブル型 X 線残留応力測定装置 (μ -X360n) を使用した。これは材料結晶面の格子面間隔を測定して残留応力を求めるもので、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、回折環の形状の変化から残留応力を測定する $\cos\alpha$ 法を利用している。表-1 にショットピーニングとグリットブラストの施工条件を示す。ショットピーニング施工の品質確保のために東洋精鋼株式会社製の簡易カバレッジ測定器を使用した。溶接部に対してショットピーニングは 2 度施工したが、施工のたびにカバレッジ率が 90%以上となるように管理し、溶接部が一様にショットされていることを確認した。またショットピーニング施工後に表-1 に示す施工条件でグリットブラストにより表面処理を実施した。

既設鋼橋及び疲労試験体の回し溶接部前面の位置における残留応力測定結果を図-2 に示す。縦軸は残留応力測定深さを示しており、横軸の正側は引張残留応力、負側は圧縮残留応力を示している。既設鋼橋のショットピーニング施工前の残留応力は概ね +100MPa 程度であるのに対し、ショットピーニン

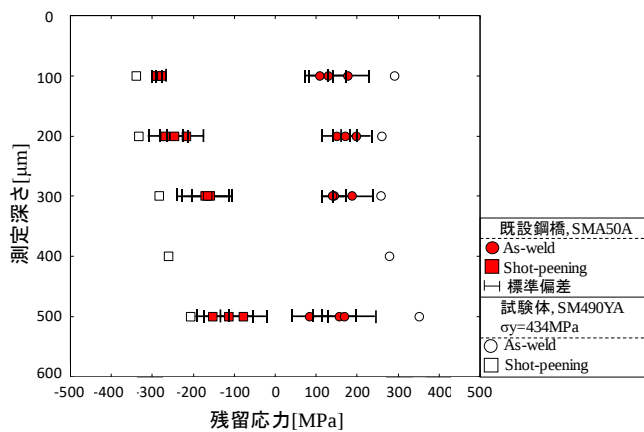


図-2 回し溶接部前面の残留応力測定結果

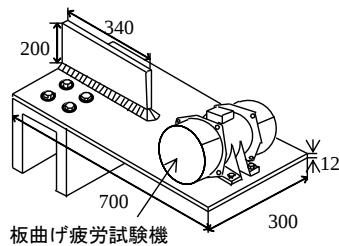
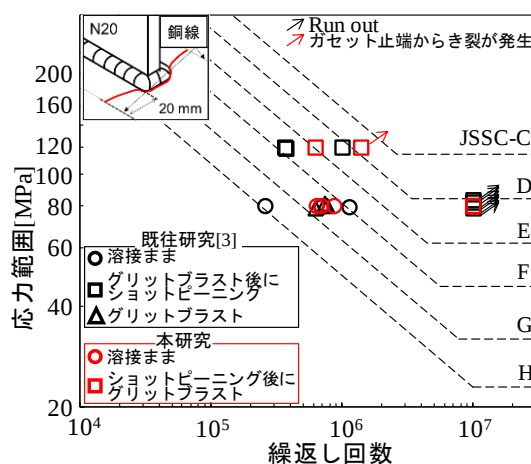


図-3 試験体寸法と試験機

図-4 N_{20} 時の疲労試験結果

グ施工後は測定深さ 100 μ m で少なくとも -300MPa の圧縮残留応力が導入されており、圧縮残留応力は測定深さ 500 μ m まで確保されている。一方疲労試験体もショットピーニングにより大幅に圧縮の残留応力が導入されており、対象物によらず深さ 500 μ m まで圧縮残留応力が導入されていることを確認した。

3. 疲労試験概要と試験結果

ショットピーニングによる疲労強度向上効果を確認するため、面外ガセット溶接継手試験体を対象として応力比 $R=-1$ の両振りの板曲げ疲労試験を実施した。図-3 に試験体寸法、並びに板曲げ試験機を示す。試験体鋼材には 12mm の SM490YA を用い、付加板は開先加工し、溶接止端部側の付加板端部から 50mm 程度の範囲を CO_2 半自動溶接により完全溶

け込み溶接とし、残りの溶接区間はすみ肉溶接とした。ショットピーニング及びグリットブラストは既設鋼橋と同様の条件で施工されたが、既往研究³⁾の試験体ではグリットブラスト後にショットピーニングされているのに対し、本研究ではショットピーニング後にグリットブラスト処理されている。

図-4 に N_{20} 時の疲労試験結果を示す。図より溶接まま試験体は応力範囲 80MPa で N_{20} までのき裂進展が確認され、疲労強度は G 等級となり、既往研究³⁾の溶接まま試験体及びグリットブラスト試験体と同程度となった。ショットピーニング試験体は応力範囲 80MPa でき裂の発生は認められず、繰返し回数 1000 万回に至った。応力範囲を 120MPa に上げて試験を継続した結果、ショットピーニング試験体 2 体の内 1 体はガセット側止端からき裂が発生し、もう 1 体は溶接止端近傍の電解研磨箇所からき裂が発生した。これらの疲労強度は D 等級から E 等級であり、ばらつきはあるが、既往研究³⁾のショットピーニング試験体と同程度となった。

4. 結論

残留応力測定結果より、既設鋼橋溶接部に試験体溶接部と同程度の圧縮残留応力がショットピーニングにより導入できたことが確認された。また、疲労試験結果より、ショットピーニングによる 2 等級程度の疲労強度向上が確認され、ショットピーニング後のグリットブラストが疲労強度に及ぼす影響が小さいことがわかった。以上より、塗装塗替えのためにショットピーニング処理後にグリットブラストされる既設鋼橋溶接部においても高い疲労強度向上効果が期待できる。

参考文献

- 1) 木下幸治, 秋山竜馬, 山田翔平, 半田充: ショットピーニングによる溶接継手部の疲労強度向上効果, 鋼構造年次論文集, Vol.24, No.97, pp.673-677, 2016.11.
- 2) Kinoshita, K., Ono, Y., Banno, Y., Yamada, S., and Handa, M. : Application of Shot-Peening for Welded Joints of Existing Steel Bridges. International Institute of Welding, IIW Document XIII-2750-18, 2018.
- 3) Kinoshita, K., Banno, Y., Ono, Y., Yamada, S., and Handa, M. : 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.