

橋梁用ショットピーニングの処理方法に関する検討

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
ヤマダイインフラテクノス株式会社 正会員 山田翔平

1. はじめに

鋼橋溶接継手部に発生する疲労き裂は、発見・対応が遅れると落橋や供用停止の事態を引き起こしかねず、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。疲労き裂の発生を防止する技術の一つに、鋼材表面にショット材を高速で衝突させ、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）技術がある^{例え}¹⁾。米国では、既設の鋼橋溶接継手部に対する SP 処理が既に 1990 年代に試みられている²⁾。一方、我が国では近年まで既設鋼橋への SP の適用は見送られていた。これは環境保護のためにショット材の飛散防止・回収対策が大掛かりとなるためと考えられる。この課題に対して著者らは、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）処理の設備を活用し、ショット材を回収・循環可能な設備を開発し³⁾、橋梁用 SP の検討⁴⁾を進めてきた。また本 SP を施した試験体の疲労試験結果より、応力比 $R=-1$ の条件下では、他のピーニング処理手法と同程度の疲労強度向上効果が得られることを示した⁵⁾。しかし、SP 処理に使用するノズル形状により、試験体に導入される圧縮残留応力の塑性域深さが浅くなることが明らかとなった。そこで本概要では、ノズル形状を含み残留応力分布に影響を及ぼすと考えられる SP の処理方法に関する検討を行った。具体的には、ノズル形状、投射距離、投射角度に着目し、それらを変化させた処理方法により SP を施した平板の残留応力測定を実施した。また、ノズル形状の影響に関して既往研究結果を再整理した。

2. SP 処理方法

まず、著者らの既往研究で使用した面外ガセット溶接継手試験体を図-1a)に示す。試験体は板厚 12mm の SM490YA 材（降伏強度は 434MPa）を用いて製作され、また鋼橋狭隘部での SP 処理を考慮し、立て板を有しスカラップ部を模擬した試験体を別途製作した。これらの試験体溶接部に対して SP 処理を施した。なお SP 処理前後に GB 処理を実施している³⁾⁻⁵⁾。本研究では、それら試験体の疲労試験終了後に、切り出した図-1b)に示す平板部に対して、図-2 に示すパラメータを設定し SP を施した。表-1 に試験体ごとの SP 処理方法を示す。また各種試験体に対して、図-3 に示す各種ノズル（ストレートノズル、 $R=200\text{mm}$ 程度の曲線ノズルおよび 90° ノズル）を用いて SP 処理及び GB 処理を実施した。

3. 残留応力測定方法

図-4a)に既往研究^{3),5)}における溶接部の残留応力測定箇所を示す。溶接止端から 0.5mm または 2mm 離れた

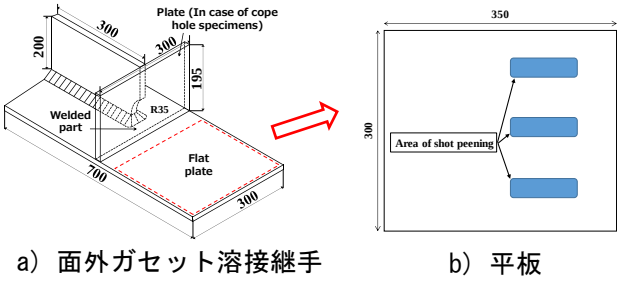


図-1 試験体

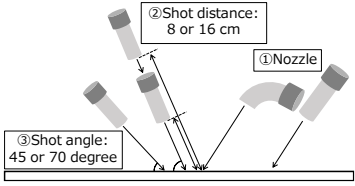


図-2 SP 処理のパラメータ



図-3 各種ノズル

表-1 試験体ごとの SP 処理方法

	previous study[3],5)]			this study			
case	I	II	III	IV	V	VI	VII
specimen	welded part			flat plate			
	gusset	cope hole	gusset				
nozzle	90°	90°	straight	straight	curve	straight	straight
shot distance	5-10cm	-	5-10cm	8cm	8cm	8cm	16cm
shot angle	60-80°	-	60-80°	70°	70°	45°	70°
treatment condition	GB→SP		SP→GB	only SP			
shot coverage	over 80%		over 90%	-			
shot material	RCW10PH						
shot diameter	0.8-1.0mm						
compressed air	over 0.6MPa						
exposure time	36sec/50cm (2 times)						
injection quantity	over 38kg/min						
surface roughness	under 80μm						
arc height	over 0.312mmA						

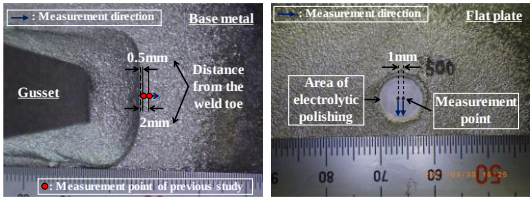


図-4 残留応力測定箇所

位置で、溶接止端に対して直交する方向の応力成分を測定した。図-4b)に本研究における平板部の残留応力測定箇所を示す。1mm の間隔を設けた 2 点を測定箇所とし、同方向の応力成分を測定した。溶接部の残留応力

測定には微小部 X 線応力測定装置（リガク製）及び μ -X360n（パルステック工業製）を使用した。平板部の残留応力測定には後者の装置を使用し、測定精度を向上させるために揺動法を利用した。すべての測定箇所において、SP 処理による板厚方向の圧縮残留応力を明らかにするために、板厚方向に 25~100 μ m 毎に随時、電解研磨を行い、測定を実施した。

4. 残留応力測定結果

図-5 に溶接部試験体の残留応力測定結果^{3),5)}を示す。図より測定結果(I)と(III)の as-weld 試験体では、表面から深さ 500 μ m まで 180~350MPa 程度の溶接残留応力が測定された。一方、90°ノズル及びストレートノズルを使用し SP 処理した試験体では、深さ 100 μ m 程度でともに約-400MPa の圧縮残留応力を確認した。また、深さ 500 μ m では、90°ノズルでは圧縮残留応力が消失しているのに対し、ストレートノズルでは約-200MPa の圧縮残留応力を保持していた。(II)の狭隘部に対しては、(I)と比較して塑性域深さには大きな違いが無いが、圧縮残留応力の最大値は小さかった。

図-6a)にノズル形状（ストレート、曲線）をパラメータとして平板に SP 処理した試験体の残留応力測定結果を示す。図より、ストレートノズルを使用した場合は深さ 100 μ m において約-410MPa の圧縮残留応力が導入され、塑性域深さ（残留応力がほぼ 0 になる深さ）は 700 μ m であった。一方、曲線ノズルを使用した場合は深さ 50 μ m において約-370MPa の圧縮残留応力が導入され、塑性域深さはばらつきがあるが、700 μ m 程度であった。したがって、ノズル形状を曲線的なものとするすることで、導入できる圧縮残留応力の最大値が小さくなった。以上より、ノズル形状の比較より、ストレートノズルから曲線、または 90°ノズルとすることにより、圧縮残留応力の最大値が小さく、ならびに塑性域深さが浅くなる可能性が伺えたことから、今後、ノズル形状にあわせた疲労強度向上効果を決定する必要があると考えられる。

次に、ストレートノズルを使用した投射角度と投射距離に関する検討結果を示す。図-6b)に投射角度（70°、45°）をパラメータとして SP 処理した試験体の残留応力測定結果を示す。図より、投射角度 45°では深さ 125 μ m において約-440MPa の圧縮残留応力が導入され、

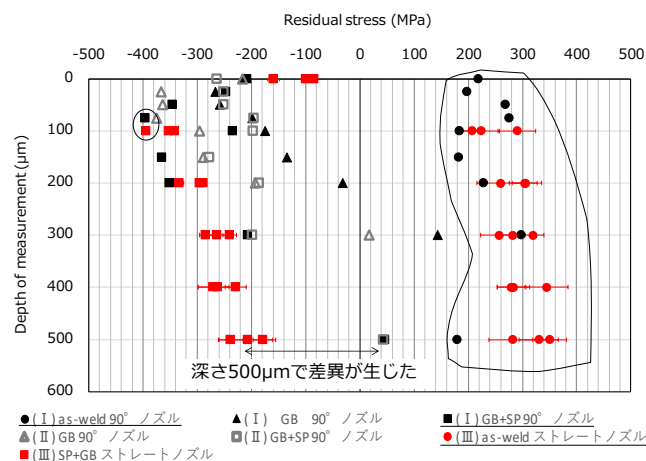


図-5 溶接部試験体の残留応力測定結果^{3),5)}

塑性域深さは 700 μ m であった。よって、塑性域深さは投射角度にはよらないが、圧縮残留応力の最大値は 45°の方が 70°よりも 30MPa 程度大きくなった。

図-6c)に投射距離（8cm, 16cm）をパラメータとして SP 処理した試験体の残留応力測定結果を示す。図より、投射距離 16cm では深さ 125 μ m, 200 μ m において約-350MPa の圧縮残留応力が導入され、塑性域深さは 800 μ m 程度であった。したがって、投射距離 16cm では 8cm と比較して、塑性域深さは 100 μ m 程度深くなったが、圧縮残留応力の最大値は 60MPa 程度小さくなった。以上のように、投射角度や投射距離について検討した結果、投射角度を 45°程度と浅くても、残留応力分布に与える影響は小さかったが、投射距離が長くなると、圧縮残留応力の最大値が小さくなる傾向が伺えた。よって、SP 施工時には投射距離が長くないように細心の注意が必要である。

〈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)須川ら:橋梁用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,日本材料学会東海支部第 15 回学術講演会講演論文集,pp.17-18,2021.

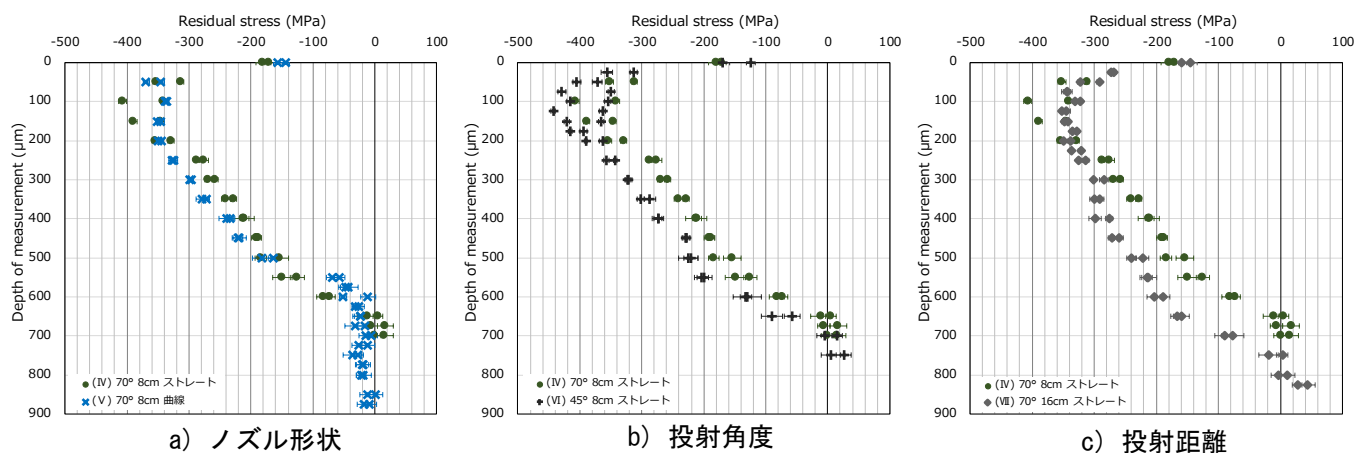


図-6 パラメータ毎の残留応力測定結果