

超高速カメラを用いたショットピーニングの速度計測とそれに基づく数値解析

岐阜大学大学院 学生会員 ○高井 教名
 岐阜大学 正会員 木下 幸治
 施工技術総合研究所 正会員 井上 一磨
 施工技術総合研究所 正会員 小野 秀一

1. はじめに

鋼橋の応力集中部である溶接継手部の疲労強度を確保するために、第2著者らは、その溶接継手部へのショットピーニング(以下 SP)の適用性を検討し、SPにより溶接部止端部周辺に導入した圧縮残留応力により疲労強度を向上可能であることを明らかにしている¹⁾。一方で、SP処理条件によりショット材の衝突時の運動エネルギーが異なる、すなわち、残留応力分布形態の変化に伴い疲労強度向上効果も変化するため、SP処理条件と残留応力分布形態との関係性から最適な SP 処理条件を見出すことは有意である。

SP 処理条件の一つであるショット材の投射速度は、ショット材の衝突時の運動エネルギーに主に関わるため、残留応力分布に及ぼす影響は大きい。ショット材の投射速度は一般的に $16\sim64\text{m/s}^2$ といわれているが、実際の投射速度を計測した例は少ない。ショット材の実際の投射速度を把握するは、より正確な導入残留応力分布の予測に繋がると考えられる。そこで、本研究では、超高速カメラを用いてショット材の投射速度計測を実施した。その上で、投射速度計測結果を反映させた数値解析により、数値解析の再現性を検討した。

2. ショット材の投射速度計測

ショット材の投射速度計測には、超高速カメラ(MEMRECAM Q1m)を用いた。図1に使用した超高速カメラを示す。ノズル形状および試験体とノズルとの投射距離がショット材の投射速度に及ぼす影響を調べるため、ノズル形状に関してはストレートと湾曲したノズルの2種類、また投射距離に関しては80mmと160mmの2通りの計4通りで計測を実施した。図2にノズル形状を示す。面外ガセット溶接継手試験体の溶接部に向けてショット材を投射した。ノズルの角度は45度、ショット材には



図1. 超高速カメラ



ストレートノズル 湾曲したノズル

図2. 投射ノズル形状

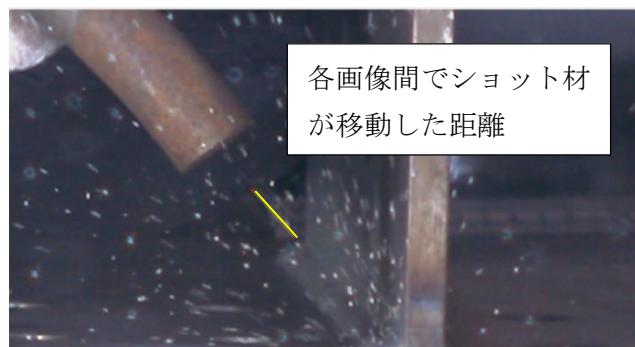


図3. ショット材の撮影結果

RCW10PH (1.0mm) を使用した。シャッタースピードは5000, フレームレートは3000で撮影を行った。図3に試験体溶接部から0~40mmの位置におけるショット材の撮影結果の一例を示す。ショット材投射速度は試験体から0~40mmの距離にある50個を対象に測定し、各画像の間でショット材が移動した距離を測定して算出した。

図4にショット材投射速度の計測結果を示す。図より、ノズル形状が湾曲しているとき、結果にややばらつきはみられるものの、ショット材投射速度は投射距離によらず概ね60m/s程度になることが分か

り、従来考えられていた値と良く一致した。また、ノズル形状がストレートで、かつ投射距離が 80mm の場合、投射速度が 60m/s となり、湾曲したノズルの計測結果と同様であったが、投射距離が 160mm の場合では、ショット材の投射速度は 90m/s 前後であることが分かった。

3. 動的陽解法有限要素法を用いた SP の解析

前章で示したショット材投射速度の結果に基づき、RADIOSS を用いた動的陽解法有限要素法により SP の解析を行った。図 5 に SP の解析モデルを示す。板厚 3.2mm、長さ 8mm、幅 8mm の鋼母材を対象にした。鋼母材とショット材中心までの距離は z 軸方向に 1.2mm、x 軸方向に -0.8mm とし、角度 45 度で鋼母材の中心に衝突するようにショット材の初期位置を決定した。このとき、重力加速度を定義していないため、鋼母材とショット材の距離が解析結果に与える影響はないと考えられる。鋼母材の要素寸法はショット材衝突箇所ですべて 0.04mm とし、衝突箇所から離れるにつれて段階的に大きくした。モデルの節点数、要素数はそれぞれ 176157、170280 である。モデルの境界条件は、鋼母材の底面における節点のみ z 方向変位を固定した。鋼母材の材料特性は SM490YA とし、降伏強度は 434MPa、2 次勾配を弾性係数の 1.0% 程度とするバイリニアモデルとした。ショット材は直径 0.9mm、5.6mg の剛体とした。ショット材の速度は 60m/s、90m/s の 2 通りで検討した。

図 6 に解析結果を示す。図中にはショット材を鋼母材に対して直角に投射した解析結果も示す。投射角度 45 度のとき、投射速度 90m/s では、投射速度 60m/s よりも圧縮残留応力はやや小さい、塑性域深さは深くなった。また、ショット材の投射角度の影響については、投射速度 60m/s のとき、投射角度が小さくなると、導入される圧縮残留応力も小さくなり、かつ塑性域深さも浅くなることがわかった。

4. 結論

超高速カメラを用いてショット材の投射速度を計測した結果、湾曲したノズルではノズル距離に関わらず速度 60m/s 程度となった。ストレートノズルでは、ノズル距離が 80mm のとき投射速度は 60m/s 程度であるが、ノズル距離が 160mm では 90m/s 程度

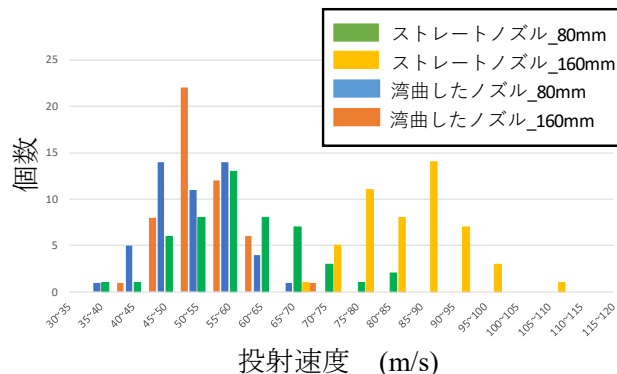


図 4. ショット材投射速度の計測結果

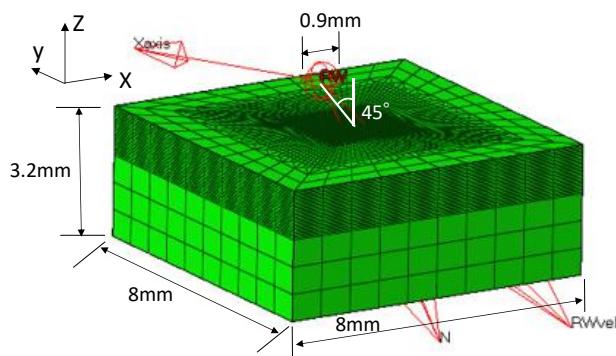


図 5. SP の解析モデル

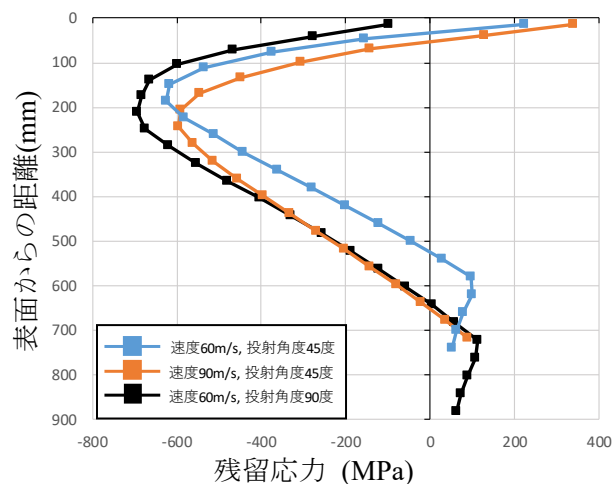


図 6. 解析結果

であった。計測結果を反映させた数値解析の結果、速度が速くなると圧縮残留応力の最大値がやや小さくなるが、塑性域深さは深くなることが確認できた。また、投射角度が小さくなると、圧縮残留応力が小さく、かつ塑性域深さも浅くなる傾向が掴めた。＜参考文献＞

- 1) Kinoshita K., Banno Y., Ono Y., Yamada S., 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.
- 2) 高橋孝幸, 山田毅, 石川孝司: ショットピーニングにおけるひずみ分布の有限要素解析, 塑性と加工, 第 50 巻第 557 号, 2009.