

常温アーク溶射を用いた面外ガセット溶接継手の疲労強度改善の試み

三井造船(株) 正会員 ○内田 大介  
法政大学 正会員 森 猛

**1. 目的** 面外ガセット溶接継手は廻し溶接部の溶接止端に高い応力集中が生じるため疲労強度が低い。疲労強度を向上させる方法としては、溶接止端部のグラインダ処理、ピーニング処理、付加溶接などがある。そして、溶接止端を金属溶射で覆う方法も考えられる。すなわち、溶射部での力の伝達により、溶接止端のひずみ集中が軽減され、疲労強度が向上することが期待される。第2著者らは、面外ガセット溶接の廻し溶接部に、種々の金属、合金を粉末式フレーム溶射、あるいはプラズマ溶射し、疲労試験を実施したが、顕著な疲労強度向上効果は認められなかった<sup>1)</sup>。この理由として、溶接部と母板表面の下地処理が不十分で溶射金属との付着が十分ではなかったこと、溶射部の弾性係数が想定していたものよりも小さかったことなどが考えられた。一方、文献2)では13Cr鋼を十字溶接継手部にプラズマ溶射した場合の疲労強度に関する検討が行われ、疲労強度が向上する可能性が示されている。本研究では、溶射後の弾性係数の低下が比較的少ない線材を溶射材料とし、熱ひずみの発生がない常温アーク溶射法を適用、そして下地処置にブラストを用いて、金属溶射による面外ガセット溶接継手の疲労強度の向上効果について検討した。また、疲労強度に与える影響の大きい、溶射部の弾性係数についても4点曲げ試験を行うことにより計測した。

**2. 溶射部の弾性係数** 供試鋼材は板厚9mmのSS400である。試験体の形状と寸法を図1に示す。試験体は溶射を施していないPL試験体、PL試験体の裏面に防錆材として用いられる亜鉛アルミ線材を溶射したPL-Zn-Al試験体、溶射後の弾性係数が比較的高くなると考えられるSM490相当の軟鋼用溶接ワイヤを溶射したPL-SM試験体とHT850相当の高強度鋼用溶接ワイヤを溶射したPL-HT試験体の4種類である。溶射は、鋼材表面をブラスト処理した後、常温アーク溶射法で用い、溶射厚1mmを目標として試験体片側表面の320mm×50mmの部分に施した。実測した溶射厚は0.95~1.21mmであった。溶射部の弾性係数は、試験体の溶射面を下面とした4点曲げ繰返し荷重試験を、動的能力100kN電気油圧サーボ式材料試験機を用いて行い、荷重と上面に貼付したひずみの関係を調べることによって行った。その際

の支点間距離は360mm、荷重点間距離は120mmとした。繰返し荷重は、試験体の種類によらず、下限荷重0.5kN、上限荷重1.62kNとした。曲げ試験の状況を写真1に示す。この試験で得られた各試験体の荷重-ひずみ関係を図2に示す。この傾きと溶射厚を用いて各試験体の溶射部の弾性係数を求めた。すなわち、

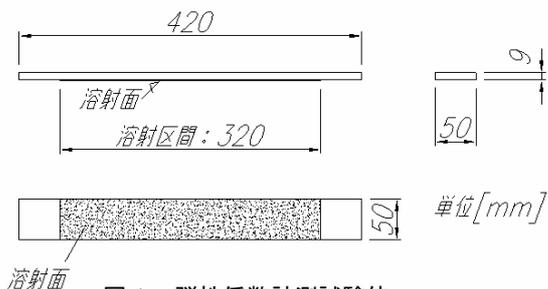


図1 弾性係数計測試験体

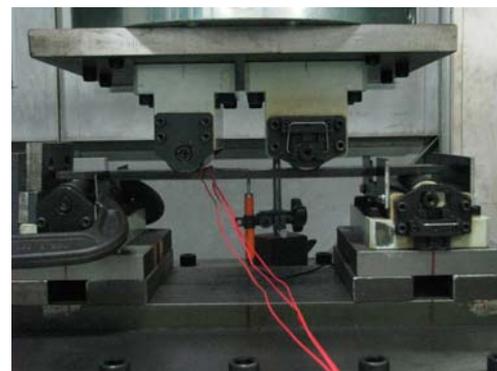


写真1 4点曲げ試験状況

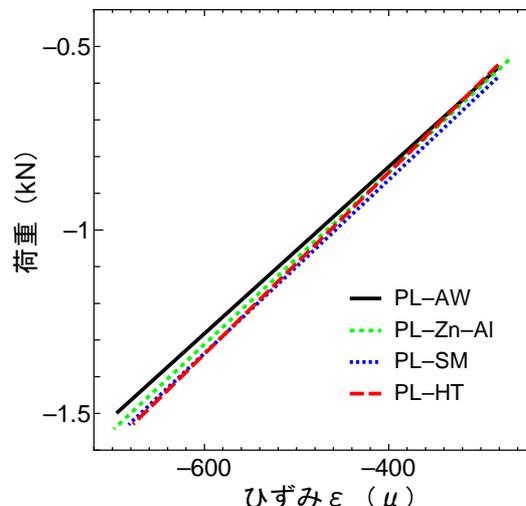


図2 荷重-ひずみ関係

表1 弾性係数算出結果

| 試験体      | 弾性係数(N/mm <sup>2</sup> ) |
|----------|--------------------------|
| PL-AW    | 2.01 × 10 <sup>5</sup>   |
| PL-Zn-Al | 0.19 × 10 <sup>5</sup>   |
| PL-SM    | 0.39 × 10 <sup>5</sup>   |
| PL-HT    | 0.42 × 10 <sup>5</sup>   |

キーワード 面外ガセット溶接継手, 常温アーク溶射, 疲労強度

連絡先 〒103-0027 東京都中央区日本橋1丁目3番16号 三井造船(株)鉄構・物流事業本部 企画管理部 TEL 03-5202-3901

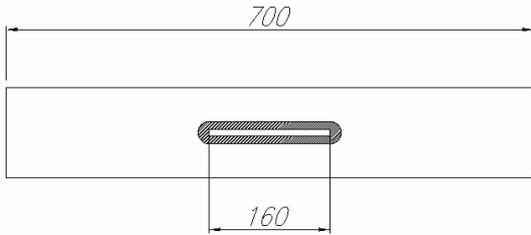


図3 疲労試験体

溶射した試験体を弾性係数の異なる2つの材料からなるハイブリッド梁とみなし、梁理論から溶射部の弾性係数を算出した。得られた結果を表1に示す。PL試験体の弾性係数は、 $2.01 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ であり、この手法により、精度よく弾性係数が求められているといえる。各溶射部の弾性係数は、PL-SMで鋼材の0.19、PL-HTで0.21、PL-Zn-Alでは0.09となっている。

**3. 疲労試験** 供試鋼材は板厚10mmのSM490YAである。試験体の形状と寸法を図3に示す。試験体は溶接のままのAW試験体、廻し溶接部にブラストを施したBL試験体、ブラストの後、Zn-Al、軟鋼用溶接ワイヤ、高強度鋼用溶接ワイヤを溶射したZn-Al試験体、SM試験体、HT試験体の5種類である。溶射条件は弾性係数計測時と同じである。表2に各試験体の溶接止端部形状の平均値を示す。表中の溶射厚とは廻し溶接部先端における、鉛直方向の厚さであり、溶射前後に2次元レーザー変位計を用いて計測した。ブラストによる形状改善効果は認められない。疲労試験は、動的能力500kN電気油圧サーボ式材料試験装置を用いて、軸引張荷重下で行った。繰返し荷重は、試験体の種類によらず下限荷重を10kNとし、応力範囲が $100 \text{ N/mm}^2$ となるように設定した。写真3に試験体の破断面の一例を、図3に疲労試験結果を示す。疲労き裂の起点は溶接止端部であった。各試験体の疲労寿命の平均はAW試験体で67万回、BL試験体で127万回、Zn-Al試験体で582万回以上、SM試験体で108万回、HT試験体で280万回であった。ブラスト処理は疲労寿命を1.9倍長くし、さらに、亜鉛アルミ線材あるいは、高強度鋼用溶接ワイヤを溶射することにより2倍以上の寿命が長くなっている。しかし、軟鋼用溶接ワイヤを溶射材料とした場合の疲労強度改善効果は認められなかった。

**4. FEM解析** 表1, 2に示した弾性係数と溶接形状を用い、弾性FEM解析を行った。溶射材は溶接部、母板と剛結させた。図4に最大主ひずみのコンター図の一例を、表3に溶接止端部と溶射表面、溶接部と溶射材の境界面の溶射材要素におけるひずみ集中係数の一覧を示す。溶射試験体のひずみ集中係数は溶射表面、溶射材の境界面、溶射表面の順で大きい。このことから、荷重の繰返しにより、溶射材の付着が切れ、溶接止端部より疲労き裂が発生したというメカニズムも考えられる。

参考文献1) 森ら：溶接止端を金属溶射で被覆した面外ガセット継手の疲労強度，鋼構造年次論文報告集，第9巻，pp.255-262，2001.11.  
 2) 清水ら：13Cr鋼溶射皮膜の基本的性質と鋼材溶接部疲労寿命延長の効果，鋼構造年次論文報告集，第16巻，pp.487-494，2008.11.

表2 溶接止端部の形状

| 試験体   | 脚長(mm) |      | 主板側止端半径(mm) | 主板側フランク角(°) | 溶射厚(mm) |
|-------|--------|------|-------------|-------------|---------|
|       | ガセット側  | 主板側  |             |             |         |
| AW    | 12.0   | 11.9 | 1.1         | 128.6       | —       |
| BL    | 12.3   | 12.0 | 1.0         | 127.4       | —       |
| Zn-Al | 12.4   | 14.7 | 3.2         | 145.6       | 3.53    |
| HT    | 12.9   | 13.9 | 2.6         | 140.7       | 4.45    |
| SM    | 13.4   | 15.0 | 3.0         | 145.1       | 2.26    |



写真2 破断面の一例

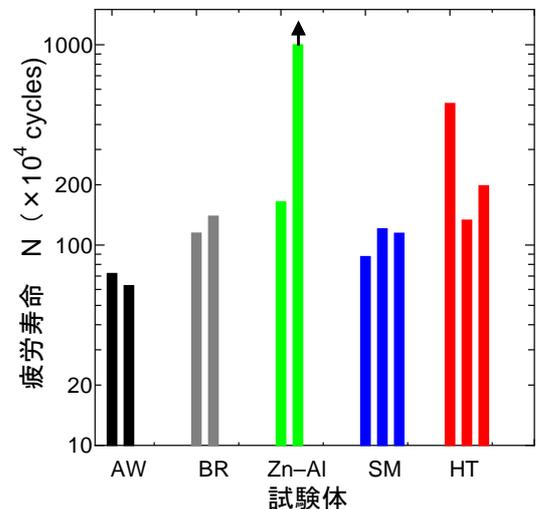


図3 疲労試験結果

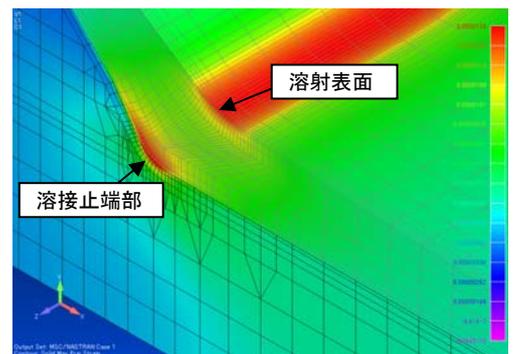


図4 最大主ひずみコンター

表3 ひずみ集中係数

| 試験体   | ひずみ集中係数(最大主ひずみ/公称ひずみ) |      |       |
|-------|-----------------------|------|-------|
|       | 溶接止端                  | 溶射表面 | 溶射境界面 |
| AW    | 3.15                  | —    | —     |
| Zn-Al | 2.53                  | 2.68 | 2.75  |
| SM    | 2.14                  | 2.46 | 2.38  |
| HT    | 2.20                  | 2.73 | 2.43  |