

表面改質したカバープレートすみ肉溶接継手の皮膜残留応力と疲労強度

新開発コンサルタント（株） 正会員 ○増田 宏
 広島工業大学 正会員 皆田 理
 広島工業大学 正会員 村中 昭典

1. はじめに

溶接継手の止端形状に基づく応力集中や引張残留応力を低減または緩和させて継手の疲労強度を向上させる技術はこれまでに多数考案されている。溶射技術は、材料表面に皮膜を形成させて品質の向上を図ろうとするものであり、その皮膜材料は自由に選択できる。その際、溶射された皮膜には引張、または圧縮残留応力が発生する。従って、溶接継手の疲労強度を決定するその形状や残留応力は溶射皮膜によって補正することが可能と考えられる。すなわち腐食環境下に置かれる鋼構造部材の腐食、さらには溶接部の疲労寿命が溶射技術を用いて同時に改善し得るならば、鋼構造物の耐久性の向上と維持管理の省力化、効率化に寄与することができる。

前報¹⁾で溶射の形成によってカバープレートすみ肉溶接継手の疲労強度が向上することを明らかにした。本研究は溶接継手の疲労強度に及ぼす溶射皮膜残留応力の効果を破壊力学的観点から明らかにすることを目的として実施した研究結果の報告である。

2. 供試体及び試験要領

図1に本研究で用いたカバープレートすみ肉溶接継手の形状、寸法を示す。鋼種はSM490Yである。また、溶射材料はSUS316、膜厚の目標値は300 μm である。疲労試験は、繰り返し速度8Hzとする完全片振り荷重で実施した。疲労試験に供した継手は溶接止端部非処理継手(As weld)、溶射を施した継手(Spray coating)、溶接止端部をグラインダー処理した継手(Grinder)の3種類である。

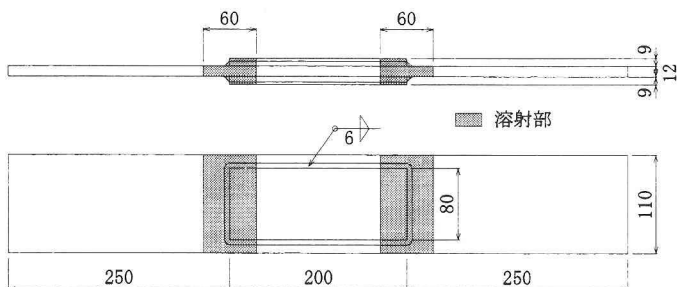


図1 継手の形状及び寸法(mm)

3. 疲労試験結果

図2に3種類の継手の疲労試験によって得られたS-N曲線を示す。各継手の200万回疲労強度をAs weldの場合と比較するとGrinderは約77%、Spray coatingは約89%向上した。

溶射皮膜を有する鋼板の内部応力をFEM解析によって求めた。解析に用いたSUS316溶射皮膜の弾性係数、及び残留応力は別途実施したそれらの測定結果に基づき、それぞれ $E_s=9.18 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、及び $\sigma_R=54 \text{ N/mm}^2$ である。

解析結果を図3に示す。同図より、溶射皮膜表面には引張残留応力が発生し、鋼板との境界面付近ではそれとほぼ同等の圧縮残留応力が発生していることが分かる。この結果から、溶射皮膜の形成によって生ずる母材圧縮残留応力が継手疲労強度の向上に寄与する一要因であることが推測される。

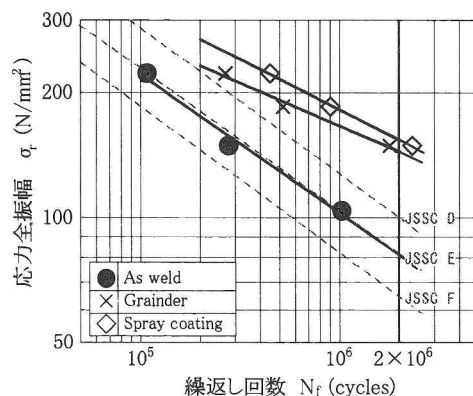


図2 S-N曲線

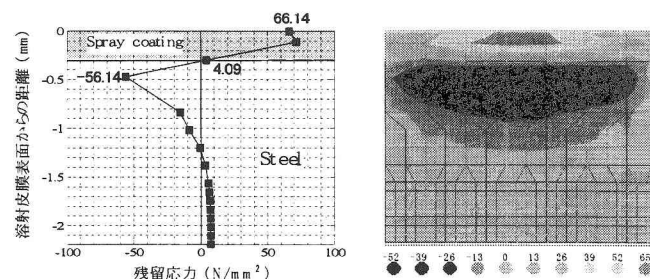


図3 解析結果

4. 破壊力学的検討

4.1 ビーチマーク試験

ビーチマーク試験は応力範囲196 N/mm^2 とし、50000回ごとに上限応力を一定としたままで、下限応力を半減(98 N/mm^2)して実施した。供試体として用いた鋼板の寸法は400 $\times$ 100 $\times$ 16mmである。疲労亀裂を供試体中央部から発生させるために、中央部に幅6mm、深さ2mmの人工ノッチを入れた。皮膜はノッチの反対側に溶射してある。

破壊力学的手法に基づき疲労亀裂進展速度を次式により求めた。

$$\frac{da}{dN} = C \Delta K^m \quad (1)$$

ここで、 C 、 m は材料定数である。
式(2)において、応力拡大係数範囲 ΔK は次式で表される。

$$\Delta K = F \cdot \Delta \sigma \cdot \sqrt{\pi a} \quad (2)$$

ここに、 $\Delta \sigma$: 公称応力範囲

a : 亀裂寸法

F : 補正係数 ($F = F_g \cdot F_e \cdot F_s \cdot F_t$)

図4にビーチマーク試験によって得られた供試体の破面写真を示す。図5は図4の疲労破面から求めた亀裂進展速度と応力拡大係数との関係である。同図より、Spray coating PL. (溶射あり) と uncoated PL. (溶射なし) との $da/dN - \Delta K$ 関係は近似しており、溶射皮膜の残留応力の影響を見ることは出来ない。しかし、図4より、亀裂深さが9mmに到達してから次の5万回での亀裂進展幅は、uncoated PL. で4.85mmに対して、Spray coating PL. では2.73mmとなっている。この事実は、溶射皮膜の効果がその近傍で現れていることを示している。

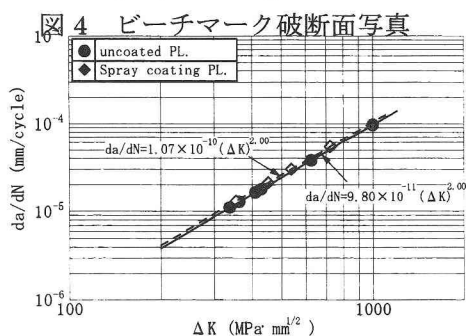
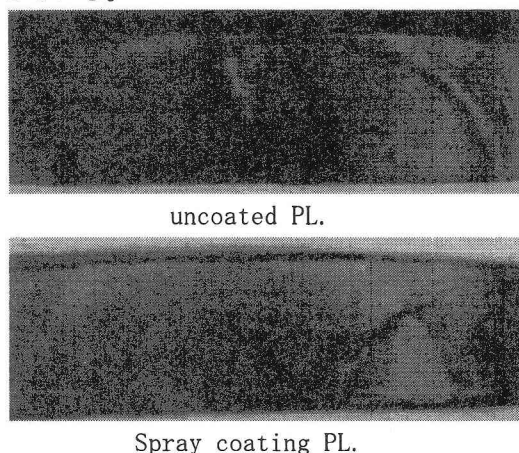


図5 応力拡大係数と亀裂進展速度

4.2 フラクトグラフィーによる破面解析

ビーチマーク試験供試体の破断面をSEMにより観察し、ストライエーション間隔 ΔS から溶射による皮膜残留応力が亀裂の進展速度に及ぼす影響を検討した。図6はSEMで撮影したストライエーション模様を示す。

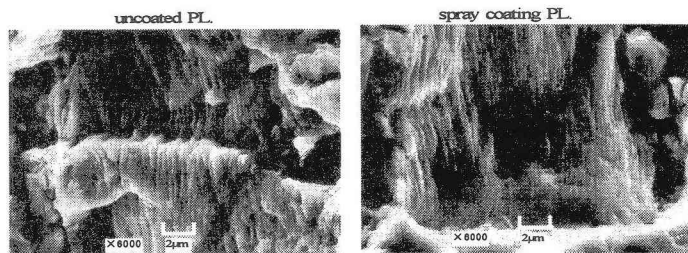


図6 ストライエーション模様

図7(a)はSEM写真より測定した亀裂深さとストライエーション間隔との関係を示したものである。同図より、uncoated PL. の ΔS に比してSpray coating PL. の ΔS は亀裂深さ約10mmをすぎた辺りから、すなわち、疲労亀裂が溶射皮膜に近づくとき一定値に漸近する傾向を示す。この結果は溶射によって生ずる母材圧縮残留応力が亀裂進展速度を遅らせていることを示すものと推測される。

図7(b)はカバープレートすみ肉溶接継手の疲労試験後のSEM写真より測定した亀裂深さとストライエーション間隔との関係を示したものである。(b)図は(a)図と同様の傾向を示しており、継手においても溶射による母材圧縮残留応力が亀裂進展速度を遅らせる要因であることを示している。

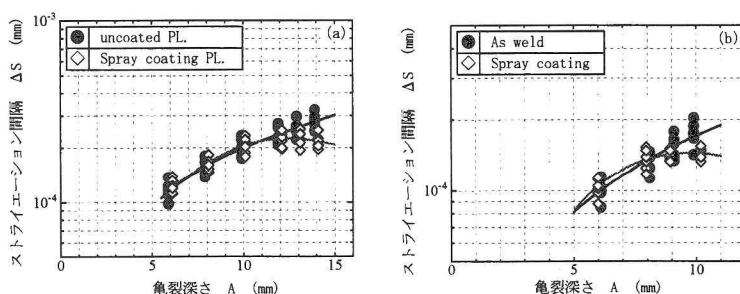


図7 亀裂深さとストライエーション間隔との関係

6. おわりに

本研究は、溶射皮膜を形成したカバープレートすみ肉溶接継手の疲労強度向上要因を破壊力学的視点から検討を加えた。本研究の結果から、引張残留応力を有する溶射皮膜は継手母材に圧縮残留応力を発生させ、それが継手の疲労寿命の向上に寄与していることが明らかとなった。

<参考文献>

- 1) 増田、皆田、村中：溶接継手の疲労強度に及ぼす溶射皮膜の効果、土木学会中国支部第55回研究発表会、pp.53-54、平成15年5月
- 2) (社)日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説、技報堂出版、pp.54-56、1993。