

金属溶射による疲労強度改善効果に関する基礎的研究

○大阪大学工学部 学生員 清水健太
JR 西日本 正会員 中山太士

大阪大学大学院 正会員 大西弘志
大阪大学大学院 フェロー 松井繁之

1. 研究の背景

これまでに建設された多数の橋梁が経年数の増加に伴い種々の損傷を受けている．中でも発生件数の比率が最も大きいのが腐食による損傷である．局部腐食により鋼材表面に凹凸が生じた場合，応力集中が発生し疲労寿命の低下につながるということが知られている．腐食損傷の防止のため，これまででは一般に塗装による防食が行われてきたが，新しい防食法として金属溶射が注目されている．本研究では金属溶射が防食の効果を持つのに加えて応力集中を緩和し疲労寿命を改善する可能性について検討した．

2. 溶線式プラズマ溶射

溶射とは，粉末・線状の材料を加熱して半熔融状態として微粒子状態で基材に吹きつけ，表面を被覆する方法である．溶射法は一般的に材料の熔融熱源によって分類される．鋼橋の防食において施工事例のある方法として常温溶射，ガスフレイム溶射などがある．本研究において検討を行う溶線式プラズマ溶射の特徴は，プラズマを用いて熔融することでほかの熱源による場合に比べて皮膜の付着強度が高いこと，線材料を用いることで皮膜の品質を一定に保つことがより容易であることなどである．溶射皮膜は鉄に対して犠牲陽極作用による防食の効果を持つ金属を使用することで防食の機能を果たす．本研究において検討する溶射材料は，犠牲陽極作用を示し以前から防食を目的として溶射に用いられてきた材料であるアルミーマグネシウム合金（以下 Al-Mg 合金と表記）に加えて，それ自身の強度および皮膜の付着強度がより大きいと考えられる 13クロム鋼（以下 13Cr 鋼と表記）を使用し，疲労寿命改善の効果について比較することとした．

3. 溶射による疲労強度改善の要因

本研究では溶射による疲労強度改善の効果をもたらす二つの点に関して注目した．ひとつは溶射を行うことによる効果，もうひとつはブラストによって表面に発生する残存圧縮応力の効果である．溶射による効果には表面形状の変化の影響や皮膜の強度がもたらす効果が含まれる．加えて，溶射施工途中に行われるブラストによる効果にも注目することとした．溶射の施工においてブラストは基材と皮膜の付着強度を生み出すために必要な工程である．ブラストを行うことで基材表面に複雑な凹凸形状が形成され，ここに溶射材料が噛み付くことで皮膜の付着強度が生まれると考えられている．既往の研究において溶射による疲労強度改善効果について，ブラストの効果と分けて考慮した例は少ないため本研究ではこの点についても検討することとした．

4. 疲労試験

(1) 試験概要

溶射による疲労強度改善の効果に関して検討するため疲労試験を実施した．図-1に示すシェンク式疲労試験機を用いて曲げ疲労試験を行うこと

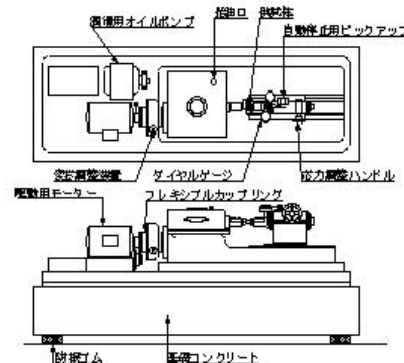


図-1 シェンク式疲労試験機

キーワード 溶射，疲労強度，プラズマ溶射，ブラスト，残存圧縮応力

〒565-0871 吹田市山田丘2-1 大阪大学大学院工学研究科 TEL 06-6879-7618 FAX 06-6879-7621

とし、試験片には構造用鋼材である SS400, SM490 を使用した。試験片中央に切り欠きを設け、この部分への溶射による疲労強度改善効果を検討することとした。また、先に述べたようにブラストによる効果に関して検討を行うため、ブラストのみ施した試験片を製作し、同様の試験を行って検討することとした。溶射の施工に際して、皮膜厚さの管理は一般に防食機能を達成するのに必要な最低厚さとされている $200\mu\text{m}$ 以上とした。また、防食効果を発揮するためには一定以上の範囲への溶射が必要ことから、溶射範囲は図 2 に示すとおりとした。

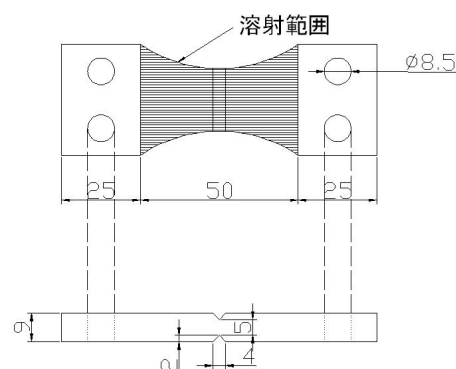


図-2 疲労試験片

(2) 疲労試験結果

図-3～図-5 に SM490 材の場合ブラスト, Al-Mg 合金溶射, 13Cr 鋼溶射試験片についてそれぞれ疲労試験結果を示す。それぞれの図に補修を行わない場合の試験結果, および S-N 曲線として近似曲線を共に描いている。

ブラストした試験片の場合、疲労寿命が無補修の場合に比べて約 1.6 倍に伸びた。同様に行った Al-Mg 合金溶射試験片の疲労寿命は約 1.7 倍に伸びた。これらの結果から、Al-Mg 合金を溶射した場合疲労寿命改善の効果は主にブラストによってもたらされることが分かる。一方、比較対象として行った 13Cr 鋼溶射試験片の場合には疲労寿命は約 9 倍に伸びた。この結果から 13Cr 鋼溶射の場合には溶射の効果が大いことが分かる。

溶射の効果の中でも表面形状の変化の影響に関しては、試験片の横断面の切り欠き底の半径を測定することで簡単に検討を行うことができる。ブラストした試験片と Al-Mg 合金, 13Cr 鋼を溶射された試験片の切り欠き底の半径を比較した結果、溶射による曲率半径の増大が確認された。これにより応力集中が緩和されることに加えて、溶射皮膜の材質によりもたらされる効果もあると考えられる。

5. 結論

局部腐食による損傷を受けた鋼材に金属溶射を行うことで疲労寿命が改善されることが分かった。この効果はブラストによる効果、溶射による効果に分けられる。溶射による効果は形状改善による効果に加えて、溶射皮膜の材質の効果もあるものと考えられる。

今後溶射による効果について、応力集中係数の変化、皮膜の材質による影響などについて種々の検討を行う必要があると考えられる。

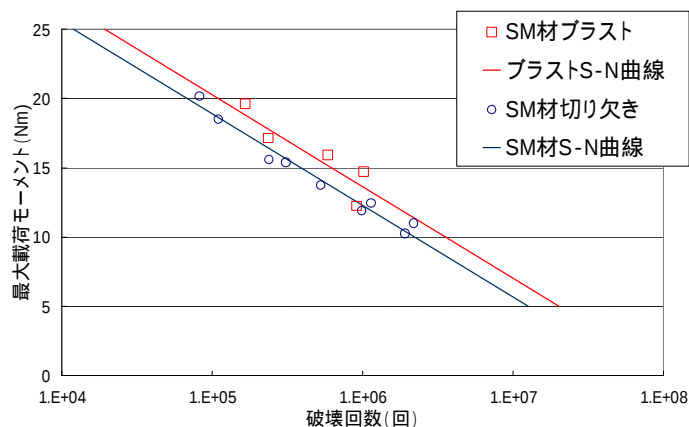


図-3 プラスト試験片疲労試験結果

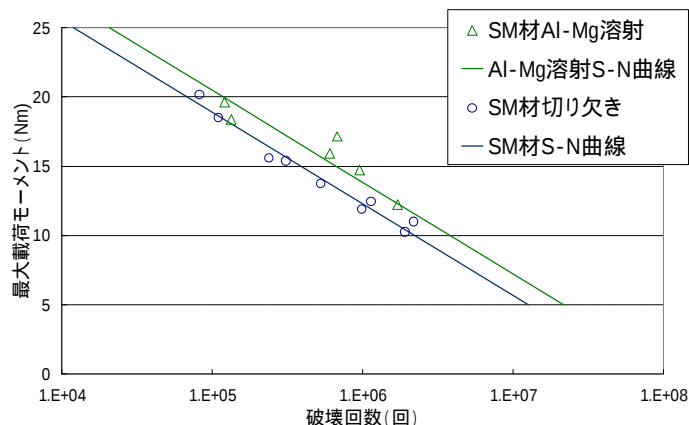


図-4 Al-Mg 合金溶射試験片疲労試験結果

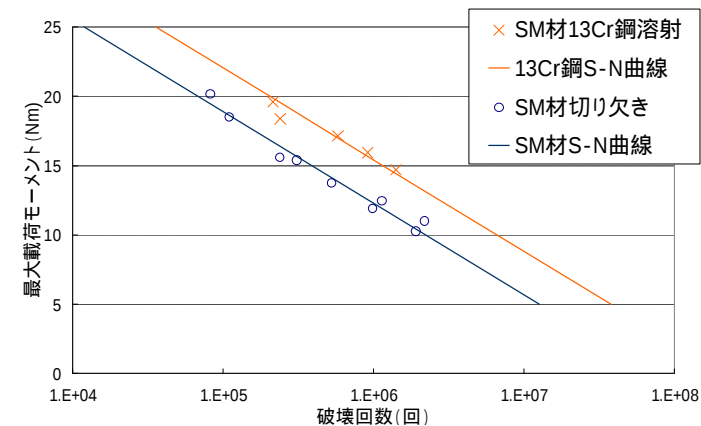


図-5 13Cr 鋼溶射試験片疲労試験結果