

溶接継手の疲労強度に及ぼす表面改質の効果

広島工業大学 正員 村中 昭典 広島工業大学 正員 皆田 理
トーカロ (株) 重村 貞人

1. はじめに 溶接継手部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、または圧縮の残留応力が発生する。従って、溶接継手の疲労寿命を決定するその形状、及び残留応力は溶射皮膜によって補整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。

本研究は、高速フレイム溶射法を用い、溶射皮膜を形成した溶接継手(ガセット継手)の疲労寿命の向上効果を検討するために実施した一連の試験結果の報告である。

2. 高速フレイム溶射 溶射とは、コーティング材料を、加熱により溶融もしくは軟化させ、微粒子状にして加速し、被膜対象表面に衝突させ、扁平に潰れた粒子を凝固・堆積させることにより被膜を形成するコーティング技術の一種である。本研究で使用した高速フレイム溶射は、著しく加速した粒子を基材鋼板上にたたきつけながら成膜する溶射法であるが、溶射皮膜に発生させる残留応力の種類によってその溶射プロセスは異なる。

3. 溶射皮膜の強度特性 (1)試験要領 本試験に用いた溶射試験片の溶射材料は WC-12%Co で、高速フレイム溶射法にて作製した。溶射皮膜強度特性を明らかにするために、鋼板(30×100×3)の片面に溶射を施した試験片を用い、溶射前後の平面度変化量測定、曲げ試験、皮膜断面観察、硬さ試験を実施した。

(2)試験結果、及び考察 図-1に荷重一変位曲線の一例を示す。表-1は曲げ試験結果を示したもので、表中 P、及び σ_b はそれぞれ3点曲げ試験で溶射皮膜に亀裂が生じたときの荷重、及び曲げ強度を示す。同表より、引張残留応力皮膜を有する試験片の曲げ強度 σ_b は圧縮残留応力皮膜を有する試験片の曲げ強度 σ_b 比して低い。また、両試験片ともブラスト粒度による違いは見られなかった。表-2はマイクロビッカース硬さ試験結果を示したものであるが、この結果より、溶射プロセスによるマイクロビッカース硬さに明瞭な差は見られなかった。皮膜の断面観察結果でも両皮膜とも組織は緻密であり、空隙率は小さかった。また、溶接止端部近傍における溶射皮膜表面の残留応力は引張皮膜で213MPa、圧縮皮膜で-152MPaであった。一方、別途実施した溶接による残留応力の影響のない溶射鋼板の皮膜残留応力は引張皮膜で91MPa、圧縮皮膜で-85MPaであった。

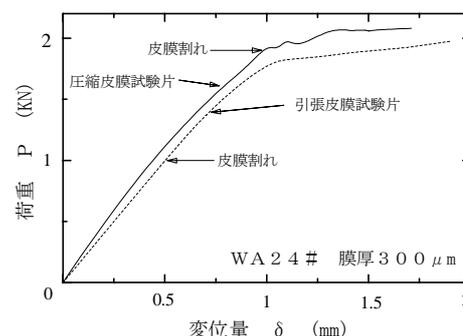


図-1 荷重一変位曲線(3点曲げ試験)

表-1 曲げ強度試験結果

	ブラスト粒度	膜厚(μm)	P(N)	σ_b (MPa)
引張皮膜	WA #24	150	800	242
		300	1000	275
	WA #60	150	960	290
		300	1000	275
圧縮皮膜	WA #24	150	1750	529
		300	2000	551
	WA #60	150	1750	529
		300	2000	551

表-2 硬さ試験結果

	引張皮膜	圧縮皮膜
最大値	1419	1333
最小値	1022	1077
範囲	397	256
平均値	1252	1243

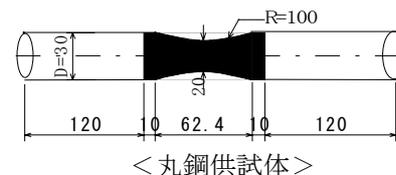
(HV0.3)

キーワード：溶射、疲労、溶接継手、残留応力

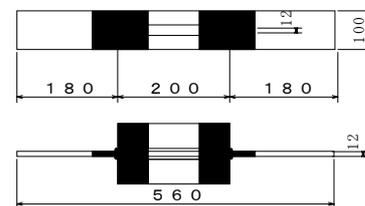
連絡先：広島工業大学 工学部 建設工学科 〒731-5193 広島市佐伯区三宅 2-1-1

TEL082-921-3121 FAX082-923-7083 E-mail:mura@cc.it-hiroshima.ac.jp

4. 疲労試験 (1)試験要領 引張、及び圧縮の残留応力皮膜を溶射した丸鋼素材及び、溶接継手を用い、溶射による皮膜残留応力が疲労強度に及ぼす影響について検討を行った。図-1に供試体の形状・寸法を示す。使用鋼材はSM490Yである。図に示す薄墨部分が溶射領域を示す。溶射材料はWC-12%Coを用い、0.3mmの皮膜厚さを目標に、高速フレーム溶射法にて溶射した。疲労試験は周波数8Hzとする完全片振り引張荷重で実施した。



<丸鋼供試体>



<溶接継手供試体>

図-2 供試体の形状・寸法

(1)丸鋼素材の疲労試験結果及び考察 図-3に丸鋼素材のS-N_f曲線を示す。同図より、機械加工のままの供試体に比して溶射を施した両供試体の疲労寿命は短い。これは、表-2に示すように、溶射皮膜は非常に硬い材料であり、高応力下では先に溶射皮膜に亀裂が生じ、荷重の繰返しによって皮膜の亀裂部が素材を傷つけ、そこを起点として素材の亀裂が進展し破断に至るものと推定される。また、引張残留応力皮膜供試体の疲労寿命は圧縮残留応力皮膜供試体の疲労寿命に比して約3倍程度長い。これは、皮膜に生じた圧縮残留応力により、基材表面には引張残留応力が発生し、逆に引張残留応力皮膜では基材に圧縮残留応力が発生していることによるものと考えられる。これより、溶射試験体の疲労強度の向上を考える場合、溶射皮膜に引張残留応力を形成させることが有効と考えられる。

(2)溶接継手疲労試験結果及び考察 図-4に溶接継手のS-N_f曲線を示す。図中にはJSSC疲労設計基準S-N線、並びに既往の研究結果²⁾を併記している。同図より、圧縮残留応力皮膜を施した供試体の200万回疲労強度はAs weld供試体の200万回疲労強度に比して、10~14%程度低下を示している。これに対して、引張残留応力皮膜を施した供試体の200万回疲労強度は約71%程度向上し、TIG処理と同程度の改善効果を示し、ほぼB等級レベルの疲労強度まで向上する。ここで得られた溶射溶接継手の疲労強度は、近年開発された低変態温度溶接棒を用いた溶接継手の疲労強度³⁾に匹敵する改善効果を有する。また、図中には示していないが本試験で用いたブラスト粒度における表面粗さの違いによる疲労強度の差は見られなかった。圧縮残留応力皮膜を施した供試体の疲労強度を見る限り、溶射による溶接継手端部の形状補整の影響は小さいものと考えられる。溶射溶接継手の疲労寿命向上要因をみるため、別途実施した亀裂伝播試験の結果、溶射皮膜試験片と溶射しない試験片(CTSP)とでは亀裂伝播速度に明瞭な差は見られなかった。このことより、溶射皮膜による寿命向上効果は、亀裂の発生時期を遅らせることにあるものと考えられる。

5. まとめ ここでは、溶射皮膜を有する溶接継手の疲労強度に注目して検討を行った。本研究の結果より、溶射による引張残留皮膜が継手の疲労強度を向上させる要因となることが明らかとなった。今後、溶射の防食効果、有効かつ経済的皮膜材の選定等について検討して行く予定である。

【参考文献】 1)小林 武史他4名：WC サーメットおよび13Cr 鋼溶射被覆材の疲労強度評価、材料、Vol.46,No.10,pp.1124~1129,1997. 2)Anami,K.,Miki,C.,Tani,H. and Yamamoto,H.:Improving fatigue strength of welded joints by hammer peening and tig-dressing,J.Struct.Mech.Earthquake Eng.,JSCE,No.647/I-51,pp.67~78,2000. 3)太田 昭彦他7名：低変態温度溶接材料を用いた角回し溶接継手の疲労強度向上、溶接学会論文集、第18巻、第1号、pp.141~145,2000.

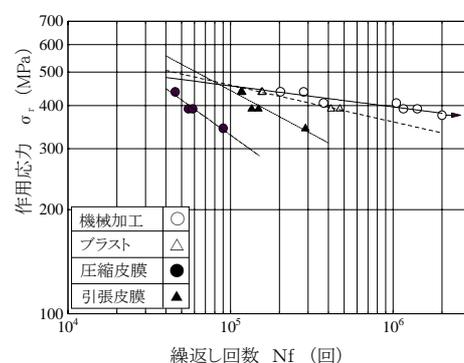


図-3 丸鋼素材のS-N関係

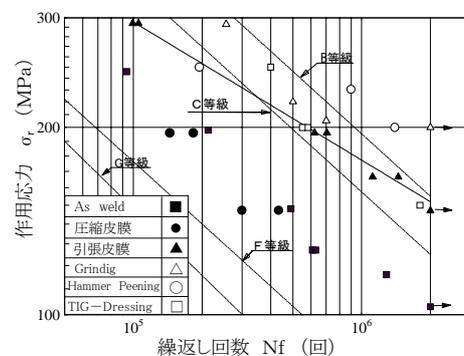


図-4 溶接継手のS-N関係