

鋼道路橋への防食溶射技術

赤沼 正信, 片山 直樹, 田中 大之,
斎藤 隆之, 黒田 清一*, 石井 宏和*

Anticorrosion Technique for Steel bridges using Thermal-Spraying

Masanobu AKANUMA, Naoki KATAYAMA, Hiroyuki TANAKA
Takayuki SAITOU, Seiichi KURODA*, Kazuhiro ISHII*

キーワード：道路橋，橋梁，溶射，防錆，防食，塗装

1. はじめに

溶射は、めっきやスパッタリングと同様に、基材表面の機能向上を目的として行う表面処理技術の一つである。鋼の防錆・防食を目的とした溶射については、1900年代初期から主に欧州において研究開発が進められてきた。特に、溶射と塗装を組み合わせた重防食溶射法は数十年単位での長期防錆効果があるといわれている。近年になって、ふたたび欧米では海岸地域での油田設備、軍需設備、橋梁等にこの重防食溶射法が積極的に利用されるようになってきた。このことは、この技術の利点が広く認知されるようになったことを意味し、すなわち重防食溶射法について、以前はイニシャルコストの高い技術として敬遠されていたが、近年になってあらためてメンテナンスコストをも考慮した、50年、100年単位でのトータルコスト（LCC）として見直すと、この重防食溶射法は塗装法等、他の防食法と比べて、十分低コストになることが理解されるようになったからと考えられる。

日本国内でも、1990年以降、特に九州を中心として鋼製の橋梁に重防食溶射が採用される例が多くなってきた。このような背景をうけ、2002年3月には橋梁設計の際に指針となる「道路橋示方書・同解説」に代表的防錆防食法として塗装、亜鉛めっき、耐候性鋼材の利用に加えて、新たに金属溶射も明記され、また2005年12月には「鋼道路橋塗装・防食便覧」にも、防食技術における金属溶射法の位置づけが明記され、より具体的な施工技術内容及び留意点等が記載されるように

なった。

本報告では、北海道溶射工業会と連携して実施した、道内外での防食溶射施工に関する実態調査結果と、2003年より開始した、道内4ヶ所（釧路、富良野、稚内、函館の各近隣地区）での防食溶射皮膜に対する屋外暴露試験の内容と途中経過を紹介する。さらに、2003年に行った、耐候性鋼材を使用した既存橋への補修を目的とした防食溶射の施工例も紹介する。

2. 防食溶射施工実績

表1は、本州における主な橋梁への防食溶射施工例である。日本での橋梁への防食溶射施工例としては、1963年、皇居の二重橋への亜鉛溶射が最初であり、さらに長大橋への施工例では、1971年に完成した関門橋が最初である。これまで、溶射材料は亜鉛からアルミニウムあるいは亜鉛・アルミニウム合金へと変遷し、一方上塗り塗装は塩化ゴム系からポリウ

表1 橋梁への防食溶射の施工例（本州）

発注官庁	施工年	橋梁名	架設箇所	防食金属溶射仕様	
				金属溶射種別	上塗り回数(回数)
日本道路公団	1971	関門橋	北九州市 門司区	亜鉛溶射 (75 μ m)	フェノールMIO 塩化ゴム系上塗り (6回)
国土交通省 (旧運輸省)	1993	羽田空港 進入灯	東京都 大田区	アルミ溶射 (120 μ m以上)	ポリウレタン樹脂 (2回)
福岡市 港湾局	1999	海の中道 大橋	福岡市 東区香椎浜	アルミ溶射 (160 μ m以上)	フッ素樹脂 (2回)
国土交通省 (旧運輸省)	2001	香椎かもめ 大橋	福岡市 東区	アルミ溶射 (150 μ m以上)	フッ素樹脂 (2回)
福岡北九州 高速道路公社	2003	福岡 高速5号線	福岡市 金の隈ランプ 野多目区間	亜鉛アルミ合金 (100 μ m以上)	無機系封孔処理 (1回)
山口県小野田 湾岸道路建設 事務所	2004	新厚東川橋 藤曲高架橋 栄川大橋	計画道路 宇部湾岸線	アルミ溶射 (160 μ m以上)	無機系封孔処理

* 株式会社宇佐美商会

事業名：一般試験研究

課題名：橋梁への重防食溶射技術に関する調査研究（H15～16）

レタンあるいはフッ素樹脂へと仕様が変わってきている。また、封孔処理剤も有機系のもの以外に無機系のものも使用されるようになってきた。欧米では、溶射材料にアルミニウム・マグネシウム合金の溶射皮膜が耐海水性に優れているとされ、北海油田の海上プラットフォーム等、海上構造物への適用例が多い。その際、使用される溶射装置は溶線式溶射ガンよりむしろ電気アークガンの方が良いとされ、その理由としては形成された溶射皮膜の基材との密着性が高いこと、さらに溶射歩留まりが高いことがあげられている。



図1 海の中道大橋（福岡市）



図2 福岡都市高速道路5号線（福岡市）

図1は、1999年福岡市に設置された海ノ中道大橋である。この橋にはアーチリブ全面（全長260m、1万4千 m^2 ）に、 $160\mu m$ 以上のアルミニウム溶射が施され、さらに封孔処理後2度塗りのフッ素樹脂塗装が行われた。図2は、福岡都市高速道路5号線での連続鋼床版箱桁部の写真である。2001から2006の期間内を、4期に分けられて全長18kmの新設工事が進められている。1期工事では約20万 m^2 に及び $100\mu m$ 以上の亜鉛-アルミニウム合金溶射が施され、さらに初めて有色で無機系の封孔処理剤が使用されたことから、世界でも例のない規模と仕様のため、国内外から注目されている。

一方、道内においても防食溶射施工例は橋梁の他、水管橋や広告塔など数多くあるが、ただし橋梁への応用は本州ほど多くはない。図3は、鋼道路橋への防食溶射の応用例である



図3 道路橋への防食溶射（北斗市）



図4 広告塔への防食溶射（苫小牧市）



図5 広告塔で観察されたさび

が、75 μm以上の亜鉛溶射を施した後に、塩化ゴム系の上塗り塗装を施した例である。図4は、海岸地域に隣接した広告塔への防食溶射施工例である。この場合は、150 μm以上のアルミニウム溶射が施され、エポキシ樹脂で封孔と下塗り塗装（約60 μm）が行われた後、さらにポリウレタン系の上塗り塗装（25～50 μm）が施工された例である。この広告塔は、1981年に施工されたもので、すでに25年が経過している。図5に示すように、3本の主軸の一部と軸の支え部のコーナーに発錆が確認されるが、その程度は塗り替えの必要な面積率5%以上ではない。このことから防食溶射の有効性を証明しているといえる。

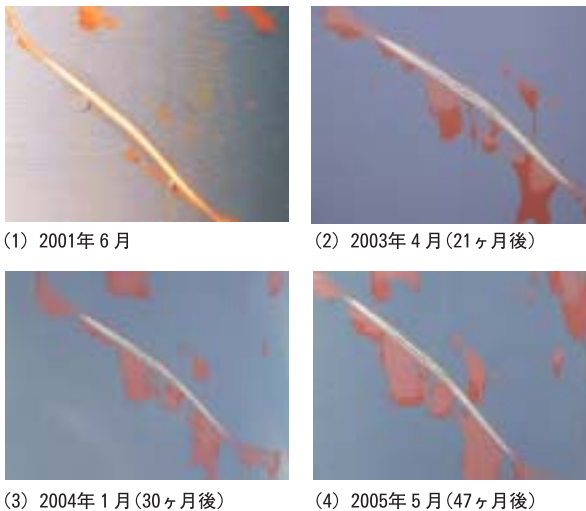


図6 広告塔で観察された引っ掻き傷の経時変化

図6は、図5に示した広告塔の主軸に偶然観察された引っ掻き傷を2001年6月から2005年5月までの4年間、経過観察した結果の写真である。引っ掻き傷の部分では、表面の塗料は明らかに剥離しているが、下地となっている溶射皮膜は露出しているが皮膜の剥離は認められなかった。その後、引っ掻き傷の経時変化を約4年間観察すると、上塗りの塗装膜が次第に剥離していくことが写真からもわかるが、下地のアルミニウム溶射皮膜あるいは基材の鋼材からの発錆は全く認められなかった。このように、溶射+塗装という重防食では、仮に塗膜が劣化あるいは剥離しても、下地の溶射皮膜が健全であれば、基材からの発錆はないといえ、また使用する塗膜の劣化予測を行った上で、経過年数に応じて塗膜のみの塗り替え作業を行っていけば、基材を発錆させることなく、鋼道路橋等屋外の鋼構造物のメンテナンスを低価格で実施できるといえる。

3. 屋外暴露試験

内陸地の富良野地区（中富良野町渋毛牛）の他、海岸に近い釧路地区（浜中町後静）、稚内地区（幌延町浜里）、函館地区（上磯町茂辺地）、以上4ヶ所で屋外暴露試験を行った。



図7 暴露試験片の設置状況

表2 屋外暴露試験に用いた試料の種類

試験板の種類	枚数	防食仕様	試験目的
腐食量測定用基準片	2枚	軟鋼板、溶融亜鉛めっき鋼板	腐食環境の把握
防錆塗装	2枚	一般環境用塗装 腐食環境用塗装	防錆機能、耐久性の評価
金属溶射	15枚	亜鉛溶射 アルミニウム溶射 亜鉛-15%アルミニウム溶射	防錆機能、耐久性、封孔処理効果の把握
金属溶射+防錆塗装	1枚	Zn-Al溶射+エポキシ樹脂 +ポリウレタン樹脂	防錆機能、耐久性の評価
超厚膜エポキシ被覆	1枚	2回塗り(600 μm)	防錆機能、耐久性の評価

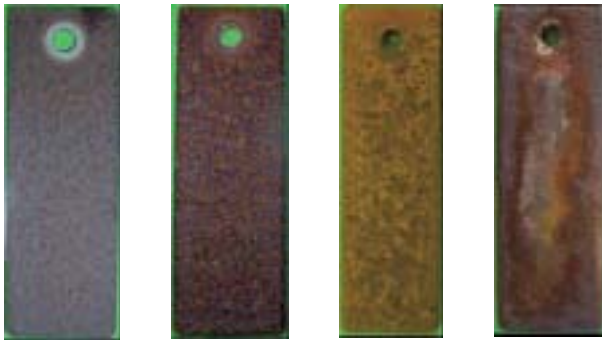
図7に、暴露試験試料の設置状況を示す。試料は、各地区での鋼道路橋の主桁側部に設置した。これらの試料は、表2に示すように、軟鋼の基板（50×150×3.2mm）の他、その表面に塗装等各種の表面処理を施したものである。また、試料表面には基板からの発錆状況を観察する目的で、ナイフでクロスカット処理を施した。なお、溶射皮膜の形成（最小皮膜厚さ：150 μm以上）はJIS法に準じて行い、その際の使用機器はガス溶線式溶射ガン、メテコ12Eガンである。

図8と図9は、暴露試験期間3年後の軟鋼板とその軟鋼基板にフタル酸樹脂を塗装した試料の表面写真である。図8と図9の結果から、腐食の程度は、富良野地区、釧路地区、函館地区、稚内地区の順に大となることがわかった。一般環境用の塗膜、フタル酸樹脂では釧路地区、函館地区、稚内地区のような海岸地域での塗膜には不適であることが確認できた。ポリウレタン樹脂のような腐食環境用塗膜の場合でも、函館地区、稚内地区の試料で、クロスカット部での発錆と塗膜全面における変色と割れが観察された。従って、厳しい腐食環境においてはポリウレタン樹脂の塗装単独では長期耐久性が期待できないといえる。

暴露試験期間がまだ3年と短期であるため、上記試料以外では基材からの発錆（赤錆）が観察されたものはない。その他、これまでの観察結果によって明らかとなった事項を列記すると、海岸地域では、溶融亜鉛めっきあるいは亜鉛溶射

皮膜よりアルミニウム溶射皮膜や亜鉛・アルミニウム合金溶射皮膜の方が白錆の発生が少ない。溶射皮膜に封孔処理をすると皮膜表面での白錆発生が少なくなり、有効である。特に、亜鉛・アルミニウム合金溶射皮膜と無機系封孔処理剤(市販品)の組み合わせが、最も白錆発生に対する抑制効果が顕著である。

今後も試料間での有意差を把握するため、暴露試験を継続していく予定である。



富良野 釧路 函館 稚内

図8 軟鋼板の表面写真(3年後)



富良野 釧路 函館 稚内

図9 フタル酸樹脂塗装板の表面写真(3年後)

4. 既設道路橋の補修

1970年以降、日本では橋梁材料としてCu, Crを微量含んだ耐候性鋼材(SMA材)が、多用されるようになった。その理由としては、この鋼材の表面に形成される錆は大気中において安定錆となるため、無塗装(裸仕様)でも鋼材はほとんど腐食が進行しないと考えられ、その結果メンテナンスフリーの橋梁となると期待されたからである。しかし、実際には海岸に近接した橋梁では腐食による過度の減肉現象(層状剥離)が認められる場合もあり、従って耐候性鋼材の採用に際しては十分周囲の環境に注意するよう喚起されてきた。最近では、橋梁の設置場所における飛来塩分量の大小によって、耐候性鋼材が使用できるかどうか判断するよう指針(基準)が定められ(0.05mg/100cm²/day以下)、一般化された。

北海道においても、耐候性鋼材を橋梁部材として使用した



図10 厚岸郡浜中町後静橋の外観



図11 足場の架設作業

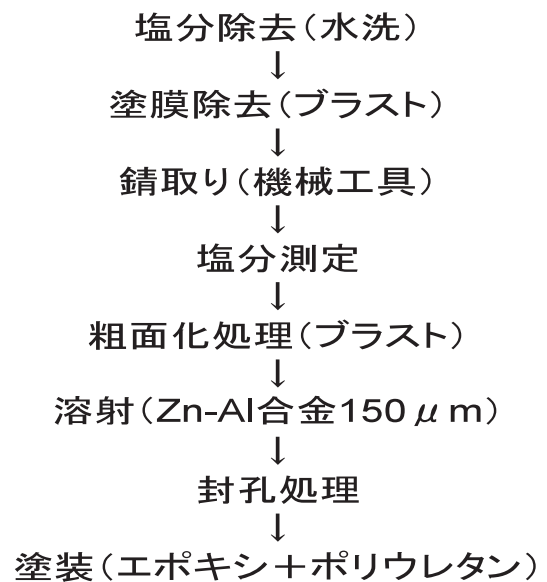


図12 作業手順

例は、これまでに数多くあると考えられる。また、施工後10年以上経過した橋梁においては、腐食により損傷を受け補修を必要としているものも数多くあると推定される。このような背景を受け、北海道溶射工業会の会員企業、(株)宇佐美商会

(本社、札幌市)では、道路橋への防食溶射技術は新設だけではなく、既設道路橋の補修にも適用可能であり、今後ニーズが高まる可能性があるとの推測し、また早期に施工技術を確立しておく必要があるとの考えから、実際に既設の道路橋である厚岸郡浜中町後静橋に対して、2002年11月に釧路土木現業所の協力を得て、補修を目的とした防食溶射のモデル施工を行った。なお、この橋は本橋部が耐候性鋼材の塗装仕様で1978年11月に架設され、さらに歩道添加部が耐候性鋼材の裸仕様で1987年8月に架設されたものである。図10は、橋の外観写真であり、図11は足場の架設作業を示す。図12に、作業手順の概略を示す。2003年以降、初期欠陥の発生の有無を調べるため毎年点検を行っている。現在、施工後約4年が経過するが、溶射皮膜の剥離あるいは基材からの発錆等、大きな欠陥の発生は認められていない。

5. まとめ

1983年北海道に溶射工業会が設立され、以来当场では工業会と連携して溶射技術に関する試験研究の実施と普及活動を行ってきた。

北海道において、これまで溶射技術を有効に利用してきた業界は、機械製造業である。そのため、この業界では溶射技術の特徴が良く理解されているといえる。一方、建設業においては表面処理といえばイニシャルコストの低い塗装に限定される場合が多かったため、これまで溶射技術はさほど知られていなかったといえる。

2002年3月改訂の「道路橋示方書・同解説」に、金属溶射が代表的防錆防食法の一つとして明記されるようになった。これを契機に溶射技術がLCCの観点からも有効な防食技術であると認知され、今後は建設業においても有効利用されることを期待する。

謝辞

本研究を進めるにあたり、防食溶射施工実績の調査及び道内での屋外暴露試験の実施等で多大なご協力を頂いた北海道溶射工業会に対し、深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) BS5493, Code of practice for protective coating of iron and steel structures against corrosions, British Standards Institution, (1977)
- 2) Terry Lester: Offshore thermally sprayed aluminum, Product Finishing, Vol.49, No.8, pp.10-14, (1996)
- 3) T.Cunningham, R.Avery: Sealer coatings for thermal-sprayed aluminum in the offshore industry, Materials Performance, Vol.39, No.1, pp.46-48, (2000)
- 4) T.Call, R.A.Sulit: Protecting the infrastructure with thermal spray coatings, Journal of Thermal Spray Technology, Vol.2, No.4, pp.323-327, (1993)
- 5) 山田謙一: 福岡高速5号線鋼製高架橋への防食溶射の適用, 溶射技術, Vol.21, No.4, pp.36-39, (2002)
- 6) 三木千壽,市川篤司: 現代の橋梁工学 - 塗装しない鋼と橋の技術最前線 -, 数理工学社, pp.64-65, (2004)