

## 第501工区(横手)高架橋(仮称)の 亜鉛・アルミニウム金属溶射の施工

板橋 健一<sup>1)</sup> 庄山 修<sup>2)</sup>

近年、鋼橋の防食工法は建設コスト削減を目的とした全工場塗装システムや、ライフサイクルコストミニマムを達成するための防食工法として、耐候性鋼材、溶融亜鉛めっき、金属溶射等が検討されている。耐候性鋼材は使用環境による制限があり、溶融亜鉛めっきについては部材の大きさの制限、部材の変形等の問題がある。今回、福岡北九州高速道路公社 福岡高速5号線では亜鉛・アルミニウム金属溶射が採用された。本文は第501工区(横手)高架橋(仮称)の亜鉛・アルミニウム金属溶射の施工について報告するものである。

キーワード：金属溶射，MS工法，粗面化处理，封孔処理

### まえがき

福岡高速5号線はライフサイクルコスト削減を念頭においており、上部工については、合成床版を用いた連続合成開断面箱桁の橋梁である。また、防錆処理仕様としては、長期の耐久性を期する亜鉛・アルミニウム金属溶射を鋼製橋脚外面、開断面鋼箱桁外面および合成床版下面の外面部に採用している。本工事の金属溶射においては、ブラスト処理を軽減できる亜鉛／アルミニウム擬合金常温溶射（MS工法）を採用した。本文では、第501工区(横手)高架橋上下部工(鋼橋)新設工事(その18)における亜鉛／アルミニウム擬合金常温溶射（MS工法）の工場施工について報告する。

### 1. 工事概要

本工事の概要は下記のとおりである。

工 事 名：第501工区(横手)高架橋上下部工(鋼橋)新設工事(その18)

発 注 者：福岡北九州高速道路公社

路 線 名：福岡高速5号線

工事箇所：福岡市南区横手地内

形 式：上部工 4径間連続鋼開断面箱桁  
(5P57～5P61) 2連  
下部工 T形鋼製橋脚  
(5P58, 5P59) 2基  
橋 長：210.000 m (Ⅱ測線上)  
支 間 長：39.250+63.000+61.000+45.250 m (Ⅱ測線上)  
幅 員：標 準 部 9.000+9.000 m  
非常駐車帯部 10.250 m

なお、本工事は駒井・トピー建設工事共同企業体で受注したものである。

本工事の位置図を図-1に、一般図を図-2に、また上部工仮組立全景図を写真-1に示す。

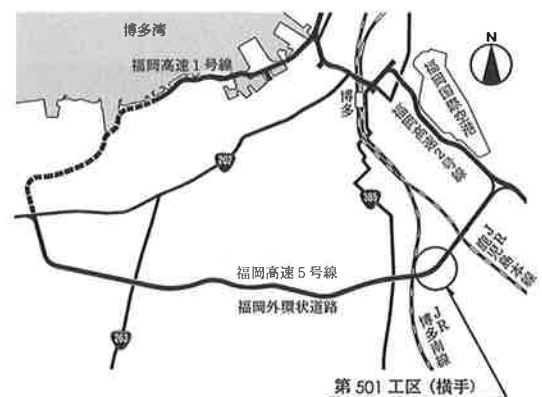
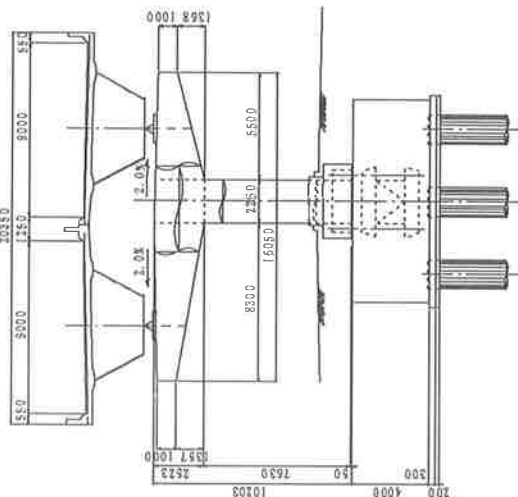


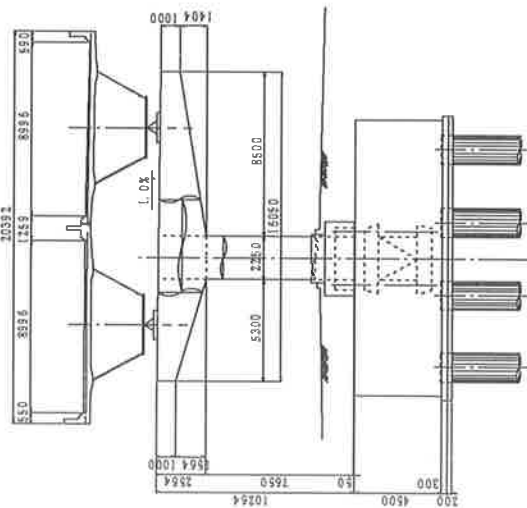
図-1 位置図

1) 富津工場橋梁部工務課係長 2) 富津工場橋梁部部长

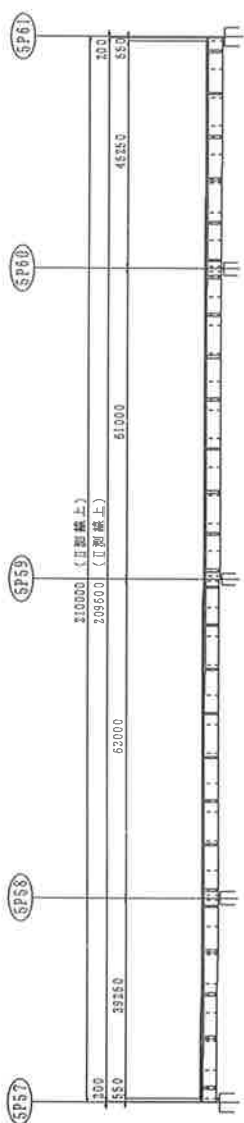
5 P 5 8 橋脚正面図



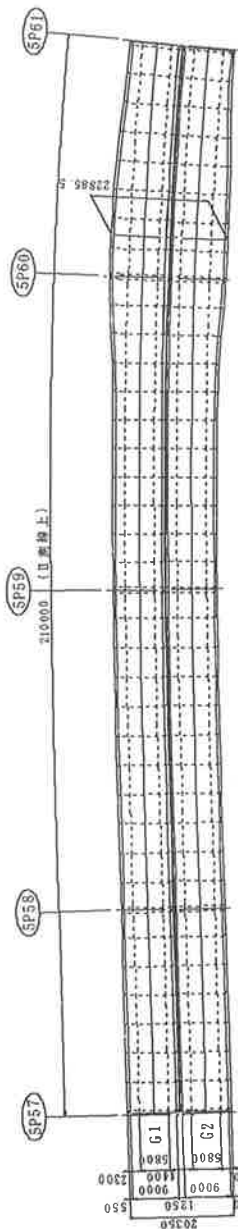
5 P 5 9 橋脚正面図



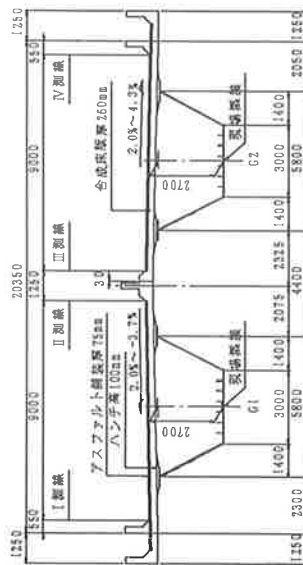
側面図



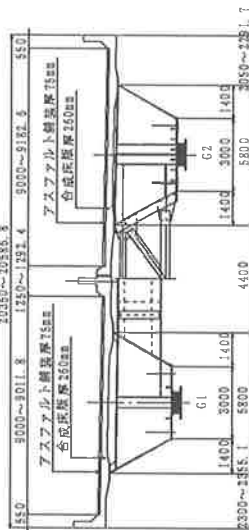
平面図



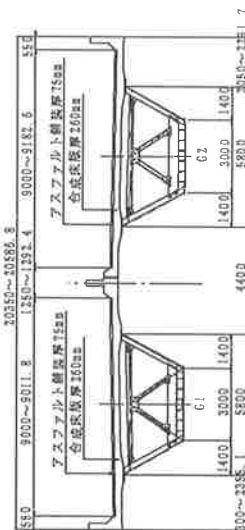
断面図



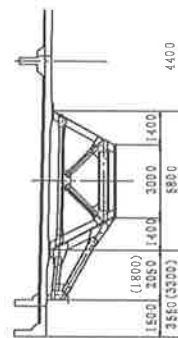
支点上ダイヤフラム  
端支点上横桁  
中間支点上横桁



中間ダイヤフラム



本線非常駐車帯部



( ) 内は皿鋼板の寸法を示す。

図-2 一般図

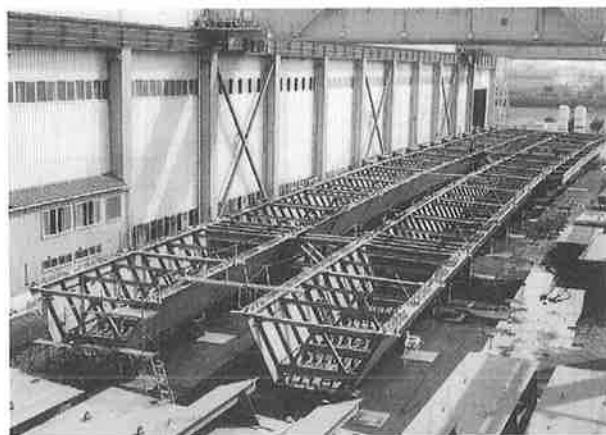


写真-1 仮組立全景

## 2. 溶射

溶射とは JIS H 8200 において、「燃焼または電気エネルギーを用いて溶射材料を加熱し、溶融またはそれに近い状態にした粒子を素地に吹き付けて皮膜を形成すること」と定義され、装飾や防食から、肉盛り、機能皮膜の形成など幅広い分野に応用されている技術である。

溶射法を熱源の種類で分類すると図-3のようになる。鋼構造物の防食には、亜鉛、アルミニウムおよび亜鉛・アルミニウム合金などを材料とするガス溶線式、および、アーク式溶射法が主流である。本工事で採用している亜鉛／アルミニウム擬合金常温溶射（MS 工法）は溶線式アーク溶射の一種である。

今回、福岡高速 5 号線においては、MS 工法の他に亜鉛・アルミニウム合金を使用した溶線式フレーム溶射など、溶射法の違いの他に素地調整および封孔処理剤の違いなどがある金属溶射が採用されている。

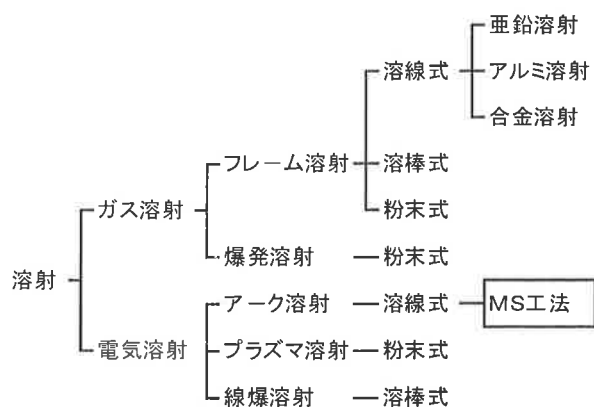


図-3 溶射の種類

## 3. 亜鉛／アルミニウム擬合金常温溶射

亜鉛／アルミニウム擬合金常温溶射（MS 工法）とは、亜鉛とアルミニウムの 2 本の線材（体積比 50 : 50 の割合）を溶射材料としたアーク溶射である。溶射ガンは、圧縮空気をアーク周辺のノズルから噴射させてアーク点を冷却しない構造となっている。常温金属溶射装置の構成を図-4、写真-2 および写真-3に示す。また、溶射ガンの構造を図-5および写真-4に示す。



写真-2 溶射電源

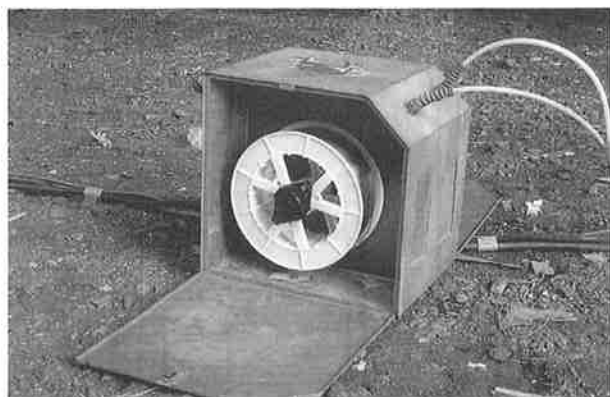


写真-3 搬線ボックス



写真-4 溶射ガン

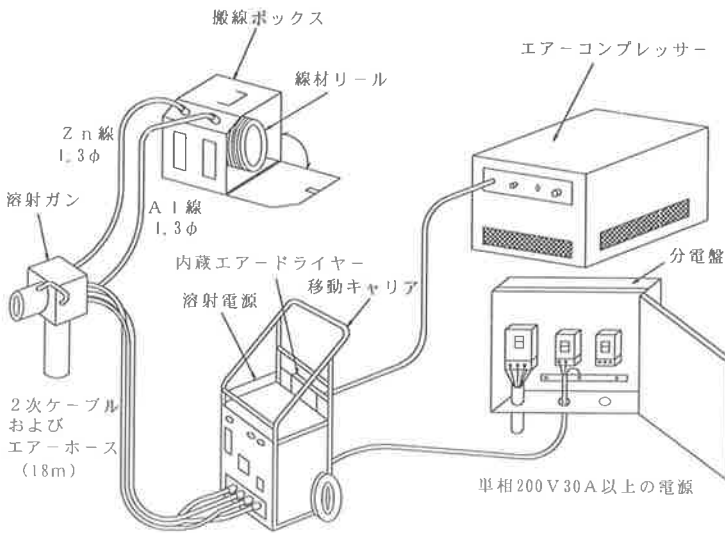


図-4 常温金属溶射装置

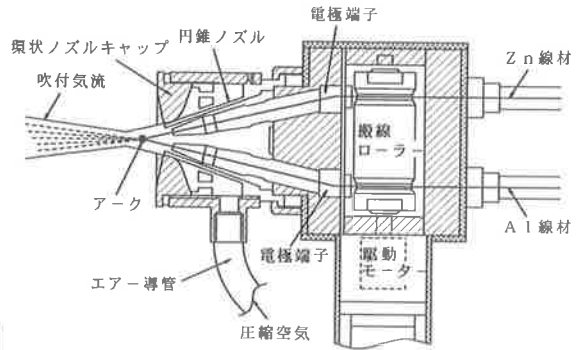


図-5 溶射ガン

亜鉛／アルミニウム擬合金常温溶射（MS 工法）は、溶射に必須の高度なブラスト処理を軽減するために、エアープレーにて粗面形成剤を塗布することで、鋼材表面に安定した表面粗度と導電性のある皮膜を形成し、その上からの溶射で擬合金皮膜を形成させる。この亜鉛アルミ擬合金皮膜の空孔を封孔処理剤で充填シールすることにより溶射皮膜を安定させ、耐久性を向上させる。以下にMS工法の特徴を示す。

- ①粗面形成剤の使用により、ブラスト処理を軽減できる。
- ②溶射速度が速く、溶射時の皮膜の温度を低くできるため、本体への熱影響の心配がない。

③亜鉛アルミ擬合金の封孔された緻密な皮膜が水蒸気透過度を小さくし、バリアー効果と犠牲防食作用により、長期の耐食性がある。

#### 4. 防食仕様

本工事の防食仕様を表-1 に、金属溶射仕様を表-2に、また、上部工の色分けについて図-6に示す。添接板およびフィラープレートについては、現場溶接である上フランジを除き、内外面ともすべて金属溶射＋封孔処理仕様である。高力ボルトについては溶融亜鉛めっき高力ボルト（F8T）を使用し、腹板ではボルト径 M24 を使用している。

表-2 金属溶射仕様

施工場所	工程	使用材料	標準使用量 (g/m <sup>2</sup> )	標準膜厚 (μm)	施工間隔 (20℃)
ミルメーカー	一次表面処理	G-a ブラスト法 ISO-Sa2.5 または SPSS-Sd2, Sh2			・2日～6ヶ月
	一次プライマー	無機ジंकリッチプライマー	200	15	
工場施工	二次表面処理	G-d パワーツール法 ISO-St3, SPSS-Pt3 同等以上 またはブラスト法 SPSS-Ss 同等以上			・鋼面露出 4時間以内 ・膜残存 24時間以内 ・屋内施工 1日～7日 ・屋外施工 1日～3日 ・24時間以内
	粗面化処理	ブラスノン# 21	100	—	
	常温溶射	亜鉛／アルミニウム擬合金常温溶射	Zn : 530 Al : 210	最小 100 注)	
	封孔処理	MS シーラー (指定色)	250	—	

注) 溶射皮膜の厚さを最小 100 μm とし、ブラスノン# 21 の標準使用量 100g / m<sup>2</sup> を考慮し、金属溶射後の電磁微厚計計測値 130 μm を管理膜厚平均値とする。

#### 「使用材料」

材料名	商品名	内容	規格
粗面形成材	ブラスノン# 21	アーク溶射用エポキシ樹脂系塗布型粗面形成材	大日本塗料(株)社内規格
亜鉛線	—	亜鉛線材	JIS H 2107-1999
アルミニウム線	—	アルミニウム線材	JIS H 2102-1999
封孔処理材	MS シーラー (指定色)	ブチラール樹脂系溶射皮膜用封孔処理材	大日本塗料(株)社内規格

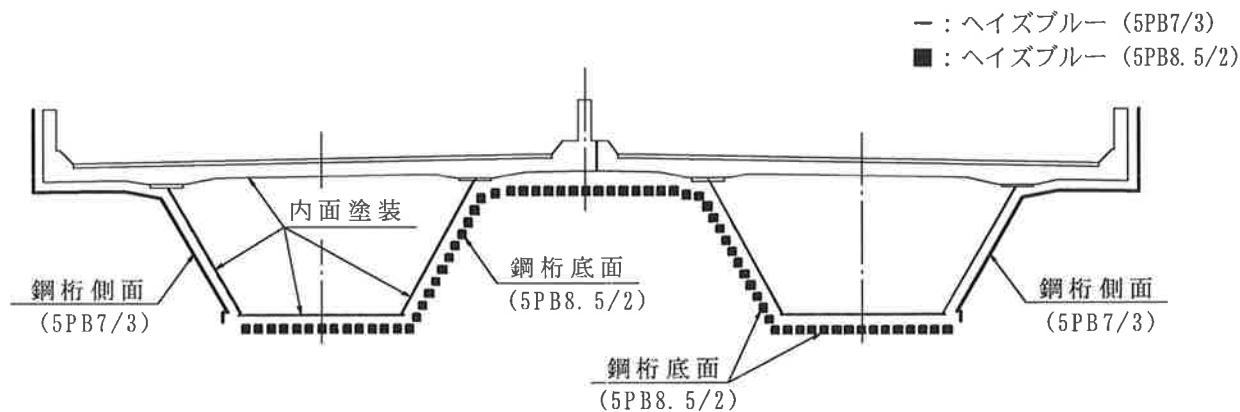


図-6 上部工色分け図

表-1 防食仕様

部		位	防錆処理	塗装色・封孔処理色
鋼製橋脚		外 面	金属溶材	N7.5
		内 面	内面塗装	2.5Y8.5/4
上部工	外面	側 面	金属溶材	5PB7/3
		上記以外		5PB8.5/2
	内 面	内面塗装	2.5Y8.5/4	
合成床版	底面	側 面	金属溶材	5PB7/3
		桁 間		5PB8.5/2
		桁 内	内面塗装	2.5Y8.5/4

## 5. 施 工

亜鉛／アルミニウム擬合金常温溶射（MS 工法）施工のフローチャートを図-7に示す。

### （1）素地調整

素地調整の目的は、素材の付着障害物および酸化物を除去し、溶射皮膜との密着性を確保するとともに、犠牲陽極作用を働かせるために素地との導電性を確保するために行われる。ここでの密着性の確保とは、次工程で行う粗面化処理でのアンカーパターンとは異なり、密着を阻害する物質の除去を意味する。本工事ではスイープブラストにて素地調整を行い、表面状態の確認を行った。

（写真-5）

### （2）粗面化処理

粗面化処理は、溶射皮膜の密着性を向上させるために、素地に不規則な凹凸を付ける前処理である。赤錆色の二液性溶剤型エポキシ樹脂系粗面形成剤をエアースプレーにて塗布し、塗布後に塗面状態および乾燥状態の確認を行った。（写真-6）

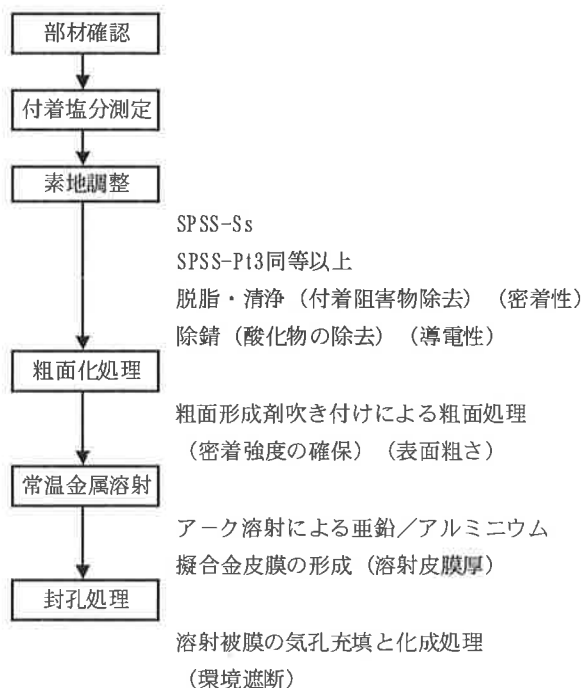


図-7 常温金属溶射施工フローチャート

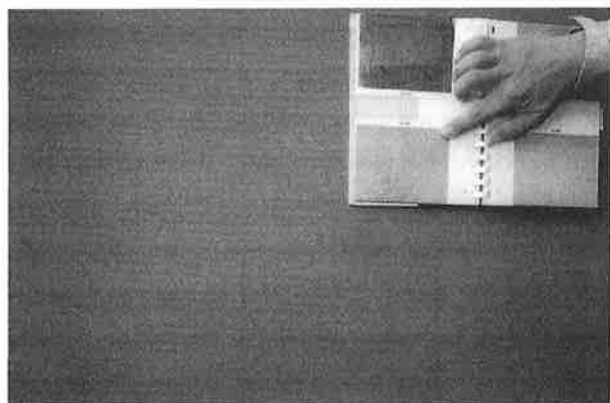


写真-5 グレード確認



写真-6 粗面形成剤塗布



写真-7 金属溶射（主桁）

### （3）金属溶射

本工事の亜鉛／アルミニウム擬合金常温溶射は、直径 1.3 mm の亜鉛とアルミニウムの 2 種類の線材をアークにより熔融し、これを低温の空気流によって微粉化し、急激に冷却する。そして、液状の過冷却の状態、高速で素材表面に吹き付け、亜鉛とアルミニウムの複合金属皮膜を形成することである。

溶射ガンと溶射される面との距離は溶射ガン先端から 200 mm～300 mm で、溶射角度は溶射面に対し 45°～90° で施工する。また、溶射ガンの運行速度は 50～80 cm/sec である。

溶射後の管理として表面状態、膜厚および付着性の確認を行った。（写真-7, 8）



写真-8 金属溶射（縦桁）

### （4）封孔処理

溶射したままの皮膜の内部には多くの気孔が存在する。封孔処理を施さない溶射皮膜は、腐食性因子が気孔を通して素地に達して素地を腐食することにより、密着が損なわれ剥離する。封孔処理はその気孔の充填を目的に行われる。また、本工事では、着色顔料を封孔処理剤に混入させ、溶射面に色づけを行い（図-6参照）、外観への配慮がなされている。（写真-9）



写真-9 封孔処理（横桁）

## 6. すべり試験

亜鉛／アルミニウム擬合金常温溶射では、添接部の摩擦接合面に封孔処理剤を塗布しても、すべり係数 0.4 以上が満足できる仕様となっている。

当工場においては初めての金属溶射施工であったため、施工後に本工事の作業従事者および使用

した溶射設備にて、すべり係数 0.4 以上を満足しているかどうかの確認をした。また、溶射皮膜表面を表-3のとおり変化させた状態についての確認も併せて実施した。

試験結果については表-4に示すとおり、どの状態においてもすべり係数 0.4 以上を満足していた。試験CおよびDの溶射皮膜を表面研磨した状態については、表面粗さが通常の溶射表面に比べ若干落ちているが、規定である摩擦接合面  $Ry=70 \mu m$

表-3 すべり係数確認試験条件

試験 番号	部材の表面状態	
	母材	添接板
	摩擦面	摩擦面
A	通常の溶射状態	通常の溶射状態
B	溶射の粗粒子（ブツ） が付着した状態	溶射の粗粒子（ブツ） が付着した状態
C	溶射後ペーパーにて 表面研磨した状態	通常の溶射状態
D	溶射後ペーパーにて 表面研磨した状態	溶射後ペーパーにて 表面研磨した状態
E	溶射膜厚を 200 $\mu$ m 表面は通常の溶射状態	溶射膜厚を 200 $\mu$ m 表面は通常の溶射状態

- 注 1) 各試験に対し試験体数は 3 体とする。  
 2) 全ての試験体について封孔処理を行うものとする。  
 3) 試験 E を除く各試験における溶射膜厚は溶射後の膜厚計測で 130 $\mu$ m を標準とする。  
 4) 試験 C および D はサンドペーパー # 220 を使用し、動力工具にて軽く溶射表面を研磨し、封孔処理を行うものとする。  
 5) 溶融亜鉛めっき高力ボルト M22 (F8T) を使用し、ナット回転角法にて締め付ける。

表-4 すべり係数確認試験結果

試験 番号	No.	すべり 係数 $\mu$ 1	すべり 係数 $\mu$ 2	表面粗さ (最大高さ) Ry ( $\mu$ m)	膜厚 ( $\mu$ m)
A	1	0.504	0.564	129	142
	2	0.495	0.554	138	141
	3	0.497	0.556	147	141
	平均	0.499	0.558	138	141
B	1	0.494	0.559	196	146
	2	0.539	0.601	197	143
	3	0.502	0.570	204	146
	平均	0.512	0.576	199	145
C	1	0.501	0.570	115	141
	2	0.438	0.491	114	145
	3	0.497	0.557	115	144
	平均	0.479	0.540	115	143
D	1	0.478	0.534	111	144
	2	0.458	0.513	114	147
	3	0.469	0.520	105	142
	平均	0.468	0.523	110	144
E	1	0.538	0.614	152	219
	2	0.541	0.629	144	218
	3	0.524	0.596	136	220
	平均	0.534	0.613	144	219

- $\mu$  1 : 締付直後の軸力に対するすべり計数値である。  
 $\mu$  2 : 締付 48 時間後の軸力に対するすべり計数値である。  
 Ry : 母材, 添接板で合計 8 点計測した平均値である。  
 試験 C は母材のみの平均値である。  
 膜厚 : 母材, 添接板で合計 8 点計測した平均値である。  
 試験 C は母材のみの平均値である。

は確保しているため、0.4 以上の値となっていると思われる。これをさらに研磨した場合、すべり係数値は減少するであろうと思われる。

### あとがき

今後、鋼橋の防食方法の一つとして、金属溶射を選択するケースが多くなっていくであろう。しかし、亜鉛/アルミニウム擬合金常温溶射が鋼橋に適用されたのは、最近になってからである。そのため、コスト、品質、外観の色むら、設備の小型化、自動化等の施工性の改善、材料の開発、狭隘部への適用、溶射に適した鋼橋の構造、高力ボルトの仕様、現場施工性、品質管理基準の確立、既設橋も含めた補修要領、環境対策など技術的な改善課題は多く残されている。これらを改善することにより、鋼橋のライフサイクルコスト縮減に大きく貢献することができると考えられる。

最後に、本工事の施工にあたり多大なご指導を賜りました福岡北九州高速道路公社福岡事務所、大日本塗料株式会社の方々、神鋼ボルト株式会社の方々ならびに関係者各位に対して深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 土木構造物常温溶射研究会：鋼橋の常温溶射設計・施工マニュアル（案），2001.4.
- 2) 村上佳市・高瀬和男・藪下 勲：宇美川橋リニューアル工事，駒井技報，Vol.19, pp.39-47, 2000.4.
- 3) 松岡栄三・岩井哲夫・鮫島能章：アイランドシティ・雁の巣連絡橋（仮称）のアルミ溶射の施工，駒井技報，Vol.19, pp.48-52, 2000.4.