

# 高耐久性常温溶射の橋梁への適用

関東地区 新材料・新技術調査分科会

## 1 はじめに

関東地区委員会は、平成10年度から、新材料・新技術調査分科会を発足させた。

この調査分科会は、新しく開発された新技術と新材料について常時調査すると共に、そのうちで特に重要と考えられる内容を取り上げて詳細な調査開発を行うことを目標としている。

本年度は新材料・新技術について全般的な調査を行い、そのうちから次の項目について詳細な調査を行った。

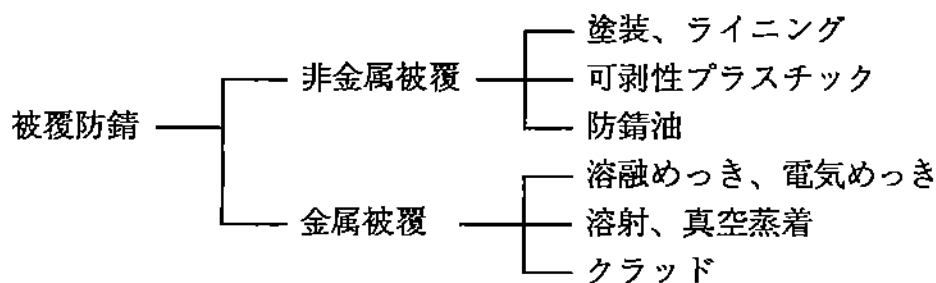
- 1) 現場に適用できる効率的な素地調整方法
- 2) 特殊機能性塗料の品質評価
- 3) 高耐久性常温溶射工法の評価

このうち、高耐久性常温溶射は橋梁の防錆の一部として、塗装業界として活用していこうと考えているので、実際に行った施工試験を中心にその概要を報告する。

## 2 溶射による防錆

鋼橋をはじめとする鉄鋼の防錆は、非金属又は金属の被覆による方法が最も一般的である。それぞれの被覆には図のような方法がある。

図 鉄鋼の被覆防食



非金属被覆の代表的なものは塗装である。非金属被覆では、防錆の機構はおもに、  
＜腐食性物質の遮断性および皮膜の電気絶縁＞により行われている。

一方、金属被覆では防錆の機構は、＜遮断性と電気化学的な陰極防錆＞により得られる。

溶射は被覆層がポーラス（透過性）なので、その防錆機構は、電気化学的な陰極防錆効果によっている。その原理の概要は次のようである。

鉄は自然環境で酸化腐食し、その際にイオン化して腐食電流を発生する。その起電力は自然電極を基準にしてマイナス 580 ミリボルトである。

鉄面に鉄よりも自然電極電位の低い金属を接触させれば、鉄面からの腐食電流の発生が抑制される。すなわち、接触させた金属は陽極になって犠牲作用により鉄面の発錆を防ぐ。この方法は鉄面を陰極にして防錆するので、陰極防錆と呼ばれる。

陽極となる金属には、亜鉛、マグネシウム、アルミニウム等があり、それぞれの自然電極電位は表のようである。

表 金属の自然電極電位

金属の種類	自然電極電位
鉄	-580 ミリボルト
亜鉛	-1100
アルミニウム	-830
マグネシウム	-1730

溶射に用いる金属としては亜鉛が一般的であるが、亜鉛単独の皮膜は塩類や水の影響で白錆が発生して皮膜の消耗が大きい。このため、高腐食環境では亜鉛とアルミニウムの混合皮膜を用いることが望ましい。

従来の溶射では、亜鉛・アルミ合金ワイヤーが使用されたが、常温溶射では亜鉛とアルミのワイヤーを別々に溶射機械に提供するので、両金属を任意の割合で安定して交合することができる。

### 3. 常温溶射工法

#### 3. 1 溶射とは

溶射とは、亜鉛、アルミニウム、亜鉛・アルミニウム合金などを加熱溶融し、それを鋼面に吹き付け金属皮膜を形成させるものである。

一般にガス式やアーク式溶射法が用いられ、吹き付けは溶射ガンによって行われる。

溶射は溶融亜鉛めっきなどとは異なり、溶射材が鋼面に物理的に付着するものであり、鋼との合金層は作らない。したがって付着のためのアンカーパターン形状が重要であり、通常はブラスト処理により素地調整を行う。

#### 3. 2 常温溶射の特長

通常の溶射は、溶射材として単一金属しか使用できないことや、溶射直後の金属皮膜温度が非常に高いなどの欠点を持っている。

常温溶射は基本的にはアーク溶射法であり、溶射材を加熱溶融し、高圧空気によって吹き付けることは通常の溶射と同じであるが、通常溶射と比較し、次のような特徴を持っている。

- ① 亜鉛とアルミニウムのように溶融温度の異なった 2 種の金属を同時に溶射できる。
- ② 溶射した金属皮膜の温度が常温に近く、冷却時の収縮ひずみによる皮膜のはく離がない。
- ③ 鋼材の表面粗度が不足している部分についても、粗面形成剤の適用で溶射が可能である。

従来の溶射ガンはすべて金属ワイヤーの溶点（メルティングポイント）の後方からエアアーが噴出する構造になっている。

常温溶射の場合、ガンはエアアーが溶点の周囲のノズルから噴出し、溶融金属を吸い出しながら前方へ送り出す構造、即ち減圧内容射の機構となっており、また高周波アークによって溶融させるため、入熱も少なくすむので亜鉛やアルミニウムなどを同時に溶融させることが可能になる。

この機構によって亜鉛とアルミニウムの場合、約2000℃で溶融し、エアアーで急冷しながら、20cm程度前方の被溶射面へ付着させるが、その付着時の温度は40℃前後という常温に近いものとなる。

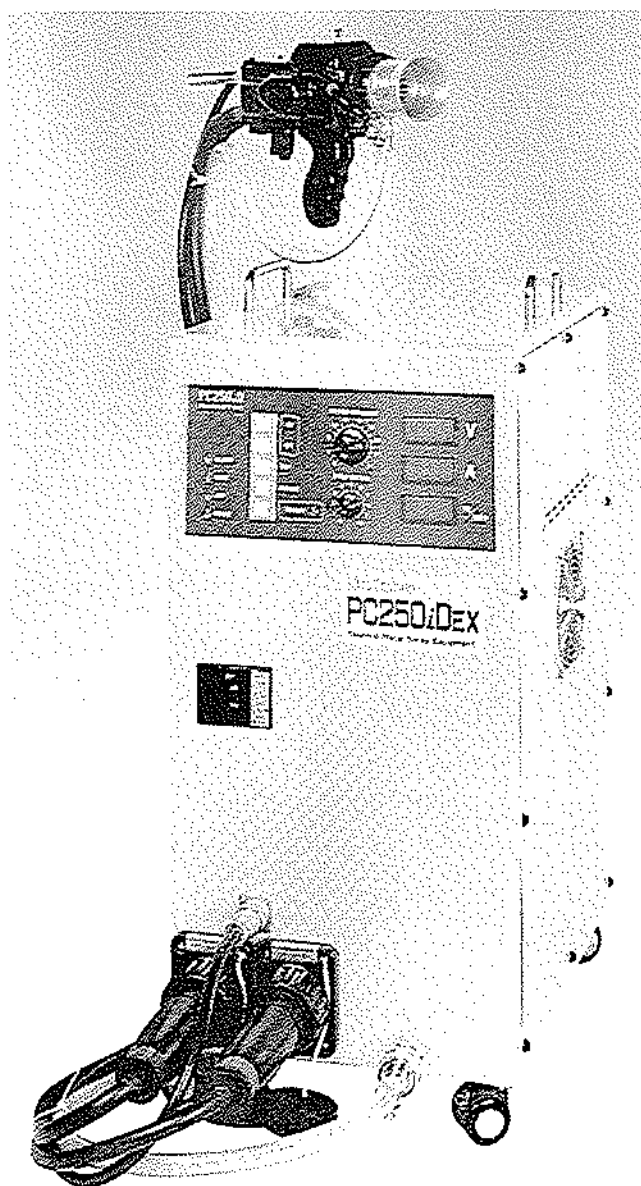
### 3. 3 溶射装置

常温溶射のメインになる装置としては次の3つがある。(下図参照)

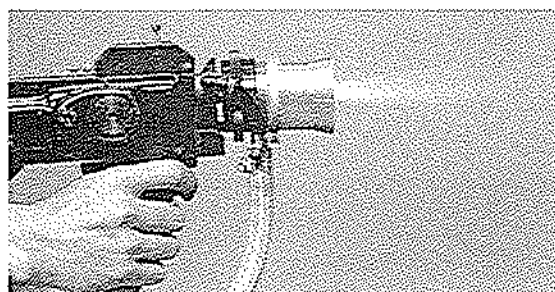
- ①常温アーク溶射電源装置
- ②溶射ガン
- ③ポビン搬線台 (亜鉛線とアルミニウム線を装填)

この他に電源 (3 相 200 V)、アフタークーラードライヤー付きコンプレッサー (30馬力以上) が必要である。

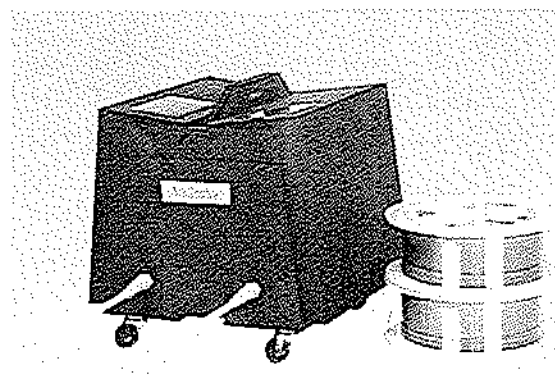
## 常温アーク溶射電源装置



## 溶射ガン

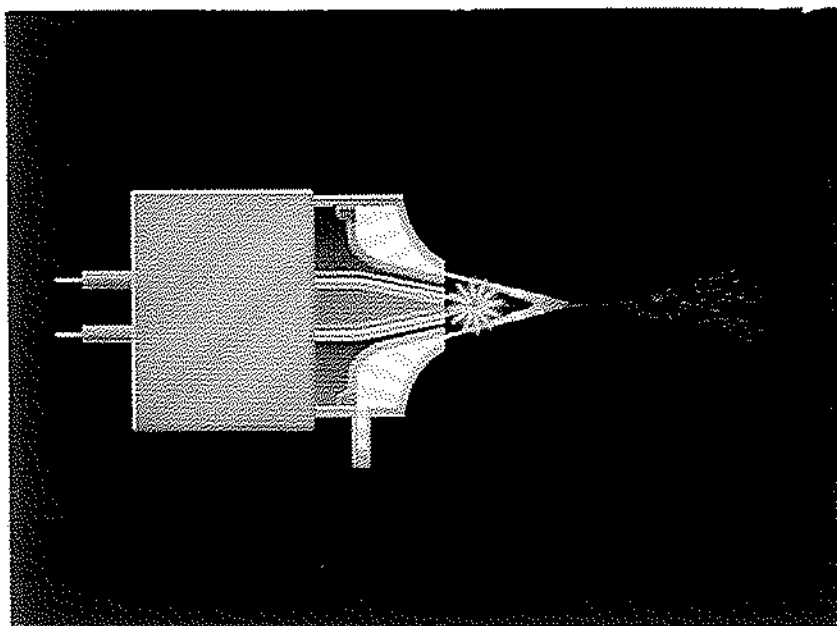


## ポビン搬線台

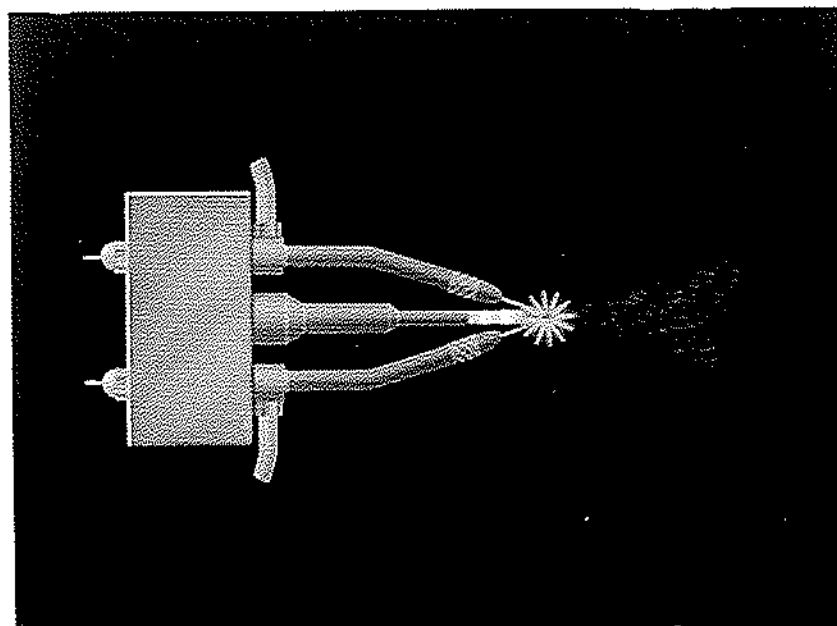


下図は常温溶射と通常溶射の場合について溶射ガンの概略構造と溶射金属の噴出状態を示したものである。

常温溶射ガンの場合



通常溶射ガンの場合



### 3. 4 施工要領

#### (1) 素地調整

溶射はミルスケール、さび、塗膜などをすべて除去し、鋼の地肌を全面的に露出させることが必要である。

また、溶射金属を鋼面に物理的に付着させるため、アンカーパターン（粗さおよび密度）を形成しなければならない。これらの条件を満たすためには素地調整はブラスト処理ということになる。

素地調整の程度は、ISO 2 1/2 以上

アンカーパターンは、粗さ： $65 \mu\text{m Rz} \leq$  密度： $\text{Sm/Rz} \leq 3$ が必要である。

なお、鋼面に必要なアンカーパターンが得られない場合は、その補助手段として粗面形成剤をスプレー塗装する。

この場合のアンカーパターンは 粗さ： $45 \sim 65 \mu\text{m Rz}$  密度： $\text{Sm/Rz} \leq 3$ が必要である。

#### (2) 溶射

使用する装置および溶射金属は次の通りとする。。

装置：常温アーク溶射電源（高速インバータードライブ電源）、溶射ガン、

ボビン搬線台、エンジン発電機（3相200V）、

コンプレッサー（アフタークーラードライヤー付き、30馬力以上）

溶射金属：亜鉛線、アルミニウム線（各1.3mmφ）

溶射ガンと被溶射面の距離は20cmが標準である。距離が長くなると溶射金属の固体化が進み、付着性が低下するので注意を要する。

溶射膜厚は送線速度とガン運行速度により調整する。溶射膜厚が不足の場合、追加溶射することが可能である。

#### 4. 常温溶射の主な実績

発注者	対象物件	完工年度
首都高速道路公団	五色橋橋脚柱補修工事 脚柱部およびアンカーボルト	1994
首都高速道路公団	都心環状線143工区 高架橋ゲルバー桁および端部 横桁	1995
JR東日本	東北新幹線第12栗橋高架橋 橋脚耐震補強板	1995
日本道路公団 東京第一建設局	東名高速道路・横浜緑IC-A ランプ橋脚	1995
中部地方建設局 浜松工事事務所	弁天小橋側道橋鋼桁補修	1997
東京都第一建設局	寛永寺陸橋橋脚耐震補強板	1997
三鷹市市立小学校 (教育委員会管理)	鋼製プール防錆工事	1998
東京都第一建設局	白鬚橋橋脚および支承	1999

#### 5. 常温溶射の試験

常温溶射試験は実大鋼桁塗装試験体を用いて、一般工法と粗面形成工法について行い、施工性を調べ、さらに鋼橋に実際に適用することを想定して上塗塗装を行った。なお、粗面形成工法については、素地調整は動力工具による2種ケレンとした。

##### (1) 素地調整 (下地処理)

一般工法及び粗面形成工法の素地調整は次の通りである。

##### ・一般工法 (ブラスト処理)

研削材 : ガーネット使用

処理程度 : ISO Sa 2 1/2

表面アラサ : 65~75  $\mu\text{m Rz}$ 、SM/Rz  $\leq 3$  を目標

##### ・粗面形成工法 (動力工具処理後粗面形成剤塗付)

動力工具 : 不織布サンダー及びディスクサンダーの2種類使用

粗面形成剤 : エポキシ樹脂にセラミック含有 (アークテクノ (株) 製

商品名 : サブナール)

処理程度 : 2種ケレン

表面アラサ : 粗面形成剤塗付後の表面アラサとして45~65  $\mu\text{m Rz}$ .

$SM/Rz \leq 3$ を目標

## (2) 溶射方法

亜鉛45%、アルミニウム55% (容量比) の混合溶射とし、インバーダー常温アーク溶射機 (アークテクノ株 製) を使用した。

200V、3相交流電源を40,000HzのDC (直流) に変換し、アークで溶融した。20V、250Aで、+極に $\phi 1.3\text{mm}$ のアルミニウムワイヤーを装着、送線速度15m/min、-極に $\phi 1.3\text{mm}$ の亜鉛ワイヤーを装着、送線速度12m/minで溶射した。

溶射装置はアークテクノ (株) 製の「高速インバータドライブ電源—PC250iDEX」及び「PCアークガン—iD25型」を使用して試験した。

溶射電源装置の諸源は次の通りである。

### 諸源

- |         |                |       |             |
|---------|----------------|-------|-------------|
| ・電源     | 200V・3相        | ・出力   | 120A        |
| ・電圧可変範囲 | 5V~22V         | ・搬線速度 | 3m~5m/min   |
| ・使用線径   | 1.3mm $\phi$   | ・重量   | 32.5kg (電源) |
| ・大きさ    | 300W×450D×600H |       |             |

## (3) 溶射面への塗装

塗装仕様は次の通りとした。

塗装仕様	①	②	③
ミストコート	特殊エポキシ樹脂塗料下塗	120g/m <sup>2</sup>	(100~200%希釈)
第1層目	特殊エポキシ樹脂塗料 下塗 240g/m <sup>2</sup> ・60 $\mu\text{m}$	—	特殊ポリウレタン樹脂 塗料 120g/m <sup>2</sup> ・25 $\mu\text{m}$
第2層目	ふっ素樹脂塗料 120g/m <sup>2</sup> ・25 $\mu\text{m}$	—	特殊ポリウレタン樹脂 塗料 120g/m <sup>2</sup> ・25 $\mu\text{m}$

ブラスト処理後溶射した面 (一般工法) には塗装仕様の①、②、③を適用。

動力工具処理後粗面形成剤塗付し、溶射した面 (粗面形成工法) には塗装仕様の②を適用した。



#### (4) 試験結果

##### 常温溶射の状態

溶射工程	素地調整程度	表面アラサ ( $\mu\text{m Rz}$ )	施工面積 ( $\text{m}^2$ )	作業効率 (分/ $\text{m}^2$ )	膜厚 ( $\mu\text{m}$ )	外観	付着性 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
ブラスト処理 溶射	ISO Sa 2 1/2	63~74 SM/Rz =1.0~1.3	3.96	4.25	105~142 (5点平均 126)	良好	(3点測定) 3.0 4.0 6.0
不織布サンダー 粗面形成 溶射	2種ケレン	(粗面形成膜) 49 SM/Rz =1.1	0.9	6.20	186~212 (3点平均 198)	良好	
ディスクサンダー 粗面形成 溶射	2種ケレン	(粗面形成膜) 57 SM/Rz =1.0	0.9		130~155 (3点平均 141)	良好	

- ・溶射皮膜の初期付着性は、 $300 \times 300 \times 3.2\text{mm}$ 鋼板を銲術への施工と同時にブラスト処理及び溶射を行い、エルコメーター社の引張り試験機を用いて測定した。
- ・粗面形成剤はエアースプレーで塗装、塗膜外観はややドライスプレーの傾向あり、赤系に僅かに着色した。

##### 溶射、塗膜の付着性

溶射工程	測定面	測定位置	基盤目試験		引張り強度			
			評価点	はく離層 鋼面—溶射間	$\text{N}/\text{mm}^2$	はく離層		
						鋼面— 溶射間	中塗— 上塗間	接着剤
ブラスト処理 溶射	特殊ポリウ レタン樹脂 塗料仕上げ	1			2.8		100%	
		2	1		2.5	100%		
		3			2.0		40%	60%
	ミストコー トのみ	1			3.3	30%		70%
		2	1		3.5	40%		60%
		3			5.2	30%		70%
	ふっ素樹脂 塗料仕上げ	1			3.8			100%
		2	1		3.5			100%
		3			4.0		25%	75%
不織布サンダー 粗面形成 溶射	ミストコー トのみ	1			1.9	100%		
		2	4	100%	2.1	100%		
		2			1.5	100%		
ディスクサンダー 粗面形成 溶射	ミストコー トのみ	1			2.8	40%		60%
		2	3	100%	2.5	100%		
		3			3.8	70%		30%



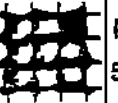
##### ・基盤目試験の評価

カッターによりきり込みガイドを用いて素地に達する切り込みを縦・横各

5 mm間隔で4本ずつ入れる。

切り込み部にセロファンテープ圧着後引き剥がし、塗膜のはく離程度を観察した。評価は次により行った。

#### 基盤目試験評価点

評価点	1	2	3	4
はく離状態				はく離 50%以上

- ・引張り強度の評価はエルコメーター社の引張り試験機を用いて行った。
- ・測定位置は次の通りである。

#### (5) 結果のまとめ

常温溶射の作業効率は平面の場合で焼く4～6分/m<sup>2</sup>とかなり良好である。

溶射後の表面状態は平面、コーナー、端部ともに均一な仕上がりであり、特に問題はない。

溶射皮膜の付着性は、ブラスト処理後溶射した面（一般工法）は実用的に問題ないと判断できる。粗面形成工法の場合は、不織布サンダー及びディスクサンダー処理面とも、付着性が十分であるとは言えない。粗面形成剤の硬化が不十分な状態での溶射が原因の一つと考えられる。

粗面形成工法は常温溶射業界では実績もあり、正常な施工でのはく離問題は発生していないとのことであり、必要なアンカーパターンが得られない場合の補助手段として適用できるものとする。

粗面形成剤については、塗膜は透明性が高く、わずかに赤系に着色している状態であり、塗装後の鋼面露出程度や塗膜状態の判断ができない。材料を十分に着色するなど、一工夫必要と思われる。

亜鉛、アルミニウムの混合溶射皮膜の持つ防食性を生かし、鋼橋の腐食性の激しい、例えば下フランジや端部、支承などに適用することで、塗り替え周期の大幅延長や、それに伴うメンテナンスコストの低減が期待できると考える。

## 6 橋梁への適用

施工試験によって、常温溶射は現場でも比較的容易に施工ができることが分かった。また、防錆効果にも優れていることが予想され、鋼橋の防錆に有効な手段になると考えられる。

ただし、プラストによる完全な除錆が必要なことと溶射機の数あまり多くないので、橋梁の全面への適用には支障がある。したがって、常温溶射は橋梁の部材のうちで特に腐食の激しい支承、高力ボルト接合部、下面などにかぎって施工すれば、橋梁塗装の総合的な寿命を延長することができる。この場合、溶射のままでは、海塩粒子や排気ガスなどの塩類や酸性物質の影響により、溶射金属が消耗しやすいので、その上には一般部と同様に塗装を行うことが望ましい。

常温溶射は、塗料の付着性がよいので、各種の塗装を行うことができ鋼橋に美観を付与することもできる。

標準的な橋梁への施工仕様は次のようになる。

工 程	塗 料	膜 厚	塗付量 (刷毛塗り)
素地調整	プラストにより、さびその他を完全に除去して鉄面の金属光沢面を表わす。鉄面に適度の粗面を形成する。		
溶 射	常温溶射		
ミストコート	変成エポキシ樹脂塗料下塗	—	130 g/m <sup>2</sup>
下 塗	変成エポキシ樹脂塗料下塗	60 μm	240
中 塗	ポリウレタン樹脂塗料用中塗 または、ふっ素樹脂塗料用中塗	30	140
上 塗	ポリウレタン樹脂塗料上塗 または、ふっ素樹脂塗料上塗	25	120

## 7 おわりに

常温溶射は複雑な形状の部材にも適用できて、塗装業者でも容易に施工できることが分かった。このため、日本鋼橋塗装専門会としては、常温溶射を塗装工事の一部として取り入れて活用してゆきたいと考えている。

### 関東地区 新材料・新技術調査分科会の構成

分科会長	実石 欣哉 (平岩塗装 (株))
分科会委員	公木 考一 (公木塗工 (株))
	小山 春雄 (公木塗工 (株))
	入江 孝良 (吉田塗装工事 (株))
	伊藤 光平 ((株) 森山塗工)
	細谷 英夫 (A & H 技研 (株))
	徳永 康夫 (アーケテクノ (株))
	阿部 米雄 ((社) 日本鋼橋塗装専門会)