





# TAPS 工法による既設鋼橋桁端部の Al-Mg 合金溶射施工マニュアル (Draft)

[技術委員会内部用 Full version]

-   意見・指摘に基づく，あるいは関連する変更および追加
-   自主検討およびその後の作業による変更・追加・差替え

※討議時の参照用の行番号を付けています。

2018 年 4 月

TAPS 工法研究会 技術委員会



# 目次

1. 基本事項	1
1.1 適用の範囲	1
1.2 用語の説明	1
1.3 字句の意味	5
1.4 参考とする基準・規格類	6
参考文献	6
2. 計画	7
2.1 一般	7
2.2 防錆の仕様	9
2.3 事前調査	14
2.4 構造ディテールの改良	15
2.5 施工時の安全確保	20
参考文献	21
3. 施工	22
3.1 施工手順および機器類	22
3.2 施工方法および留意点	24
3.2.1 塗膜除去	24
3.2.2 素地調整	25
3.2.3 金属溶射	28
3.2.4 封孔処理	31
3.3 品質管理および施工不良部の補修	34
3.3.1 品質検査と補修の流れ	34
3.3.2 事前確認試験	36
3.3.3 現地検査および気象確認	39
3.3.4 施工不良部の補修および作業前の改善対策	44
3.3.5 品質記録および写真撮影	46
3.4 安全管理	47
3.5 技術者の要件	48
3.6 防錆の施工記録	49
参考文献	50
4. 維持管理	51
4.1 一般	51
4.2 点検および調査	51
4.3 劣化部の補修	53
参考文献	53

付属資料

資料 1	既存塗膜の除去に関する安全管理 .....	A1-1
A1.1	作業環境および廃棄物の処理に関する主な法令等 .....	A1-1
A1.2	既存塗膜が含有している恐れのある主な有害物質の概要 .....	A1-2
資料 2	既往の主な塗膜剥離工の施工状況 .....	A2-1
資料 3	金属溶射が施工可能な部材表面の最低温度グラフ .....	A3-1

## 1. 基本事項

### 1.1 適用の範囲

5 本マニュアルは、既設鋼橋の桁端部の防錆を目的として行う TAPS 溶射装置を用いる Al-Mg 合金溶射の施工に適用する。

#### 【解説】

本マニュアルでは簡潔な記述のために便宜上「桁端部」という表記を用いるが、Al-Mg 合金による防錆溶射の適用は I 桁構造あるいは箱桁構造に限定せず、トラス橋やアーチ橋などの主構や横組  
10 部材、鋼製橋脚、支承や耐震部材などの付属物などに対しても可能であることから、本マニュアルの対象に含まれているものとする。

なお施工主との協議によって、本マニュアルの記載内容を適宜調整して当該工事に適用することも可能である。

15

### 1.2 用語の説明

本マニュアルの用語のうち、主なものの意味は次のとおりである。

#### (1) TAPS<sup>®</sup> (タップス)

20 Transfer Arc Plasma Spraying (アーク移行型プラズマ溶射) の略称で、初めにトーチ内部の電極とノズルとの間で生じたアークが、ただちに電極と溶射線材との間に移行してプラズマガスを発生させることからこのように名付けられた。プラズマアーク溶射方式を用いた溶射機のひとつである。

#### (2) プラズマアーク溶射

25 ガントーチ内部にアークを発生させることにより、トーチ中央の噴出ガスを高温のプラズマガスに変化させ、このプラズマガスによって溶射線材を溶融させて対象物に吹き付ける溶射方法をいう。

#### (3) Al-Mg 合金, アルミニウム・マグネシウム合金, アルマグ合金, など

30 アルミニウムを主原料とし、質量比 5%程度 of マグネシウムを含む溶射用の合金材料をいう。特に塩分供給の著しい環境において、この合金による溶射皮膜が優れた防食性能を発揮することが知られている。

#### (4) 金属溶射および金属皮膜

35 金属溶射とは、TAPS 工法による一連の作業のうち、TAPS 溶射装置を用いて溶融した Al-Mg 合金を鋼部材に吹き付ける作業をいう。金属皮膜とは、金属溶射により鋼部材表面に形成される Al-Mg 合金皮膜で封孔処理前の状態のものを指し、封孔処理後の状態も含めた皮膜全般に用いられる「溶射皮膜」と特に区別する場合に用いる。

#### (5) 犠牲防食

40 鋼よりも腐食しやすい金属（亜鉛、アルミニウムなど）を鋼部材の表面に取り付け、鋼の代わりにその金属を犠牲にして腐食させることで鋼部材を防食する方法をいう。金属の腐食メカニズムに基づいて犠牲陽極、腐食させる金属を犠牲陽極金属などと呼ぶこともある。

(6) 構造ディテール

一般には、橋梁の構造部材の様々な細部を示す語句である。本マニュアルでは、溶射の品質や防錆効果に影響を及ぼす詳細部分としてのスカラップ、部材の角部、部材・板要素・部品どうしの交差部・遊間、鋼部材とコンクリート部材の境界部、水切り構造などの総称として用いる。

5 (7) スカラップ

溶接線と交差するように板材を組立てるときに、溶接ビードと板材との干渉を避けるために板材に設けられる1/4円や半円などの扇形の切欠きのこと。その形状がホタテ貝に似ていることからスカラップと呼ばれる。(図-1.2.1を参照)

(8) ビードあるいは溶接ビード

10 溶接作業時に、電気エネルギーによって溶融された溶接金属が母材と溶融凝固したものをいう。(図-1.2.1を参照)

(9) スパッタ

溶接作業中に飛散した金属粒子およびスラグをいい、金属溶射作業における未溶融の金属粒子もこのように呼ばれている。

15 (10) スラグ

溶接部（溶接金属および熱影響部を含む部分）に発生する非金属物質をいう。

(11) 限度見本帳

限度見本版とも呼ばれている。素地調整後の除錆度の見本となる写真を収めたもので、ISO 8501「塗料およびその関連製品の施工前の鋼材の素地調整 ー表面清浄度の目視評価ー」のPart 1「未塗装鋼板および旧塗膜全面除去後の原板の錆の等級および素地調整の等級」で規定されている。

(12) 除錆度（じょせいど）

20 素地調整後の鋼材表面において、錆、塗膜、油脂といった皮膜の防食性能に悪影響を及ぼす付着物が除去されている程度をいう。ISO 8501-1の限度見本帳では、ブラスト後の素地面に関して最も清浄な状態から順に Sa 3, Sa 2 1/2, Sa 2, Sa 1, 工具による処理後の素地面に関して同様に St 3, St 2 にそれぞれ区分されている。

(13) ターニング現象

ブラスト処理した鋼材表面に赤錆が浮き出る現象をいう。

(14) 露点または露点温度

30 空気中で水蒸気が冷却され、露を結び始める時の温度をいう。溶射対象部材の表面が結露するときの温度として注意を要する。

(15) 清浄度

ブラスト後の素地面や封孔処理前の溶射皮膜表面において、埃や油脂といった皮膜の性能を阻害する付着物の除去されている程度をいう。

35 (16) 気孔

溶射皮膜の内部に残存する空隙のことで、皮膜内に閉ざされている密閉気孔と、外部に通じている開口気孔があり、開口気孔のうち溶射皮膜の表面から鋼素地まで達しているものを特に、貫通気孔と呼んでいる。

40 (17) 横組部材

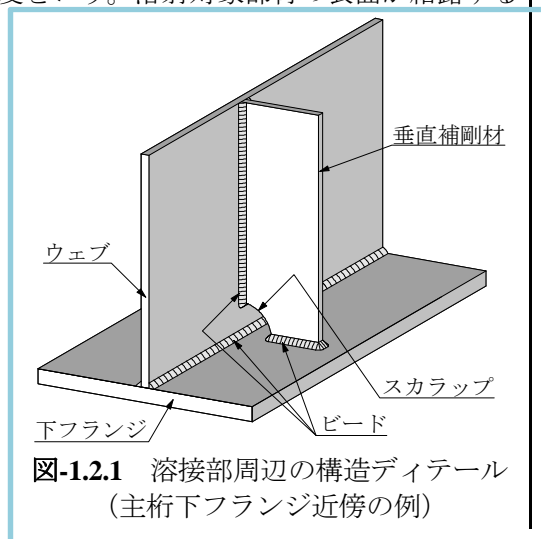


図-1.2.1 溶接部周辺の構造ディテール  
(主桁下フランジ近傍の例)

橋軸方向（車両進行方向）に配置される主桁や主構に対して、橋軸直角方向（幅員方向）に配置されている部材のことで、対傾構、横桁、横構などがある。（図-1.2.2 および図-1.2.3(b)を参照）

(18) ガセットプレート

対傾構や横構において2つ以上の部材を連結するために設けられている台形，不等辺四角形，三角形などの形状の板材をいう。（図-1.2.2 および図-1.2.3 を参照）

(19) 補剛材（ほごうざい）あるいはスティフナー

鋼橋の主桁や横桁のウェブ（腹板）に取り付けられている幅 80～200mm 程度の補強鋼板のことで、荷重の作用によりウェブが面外方向に変形することを抑制している。配置方向に応じて垂直補剛材と水平補剛材の2種類があり、支承直上の垂直補剛材を特に支点上補剛材という。（図-1.2.2 および図-1.2.3 を参照）

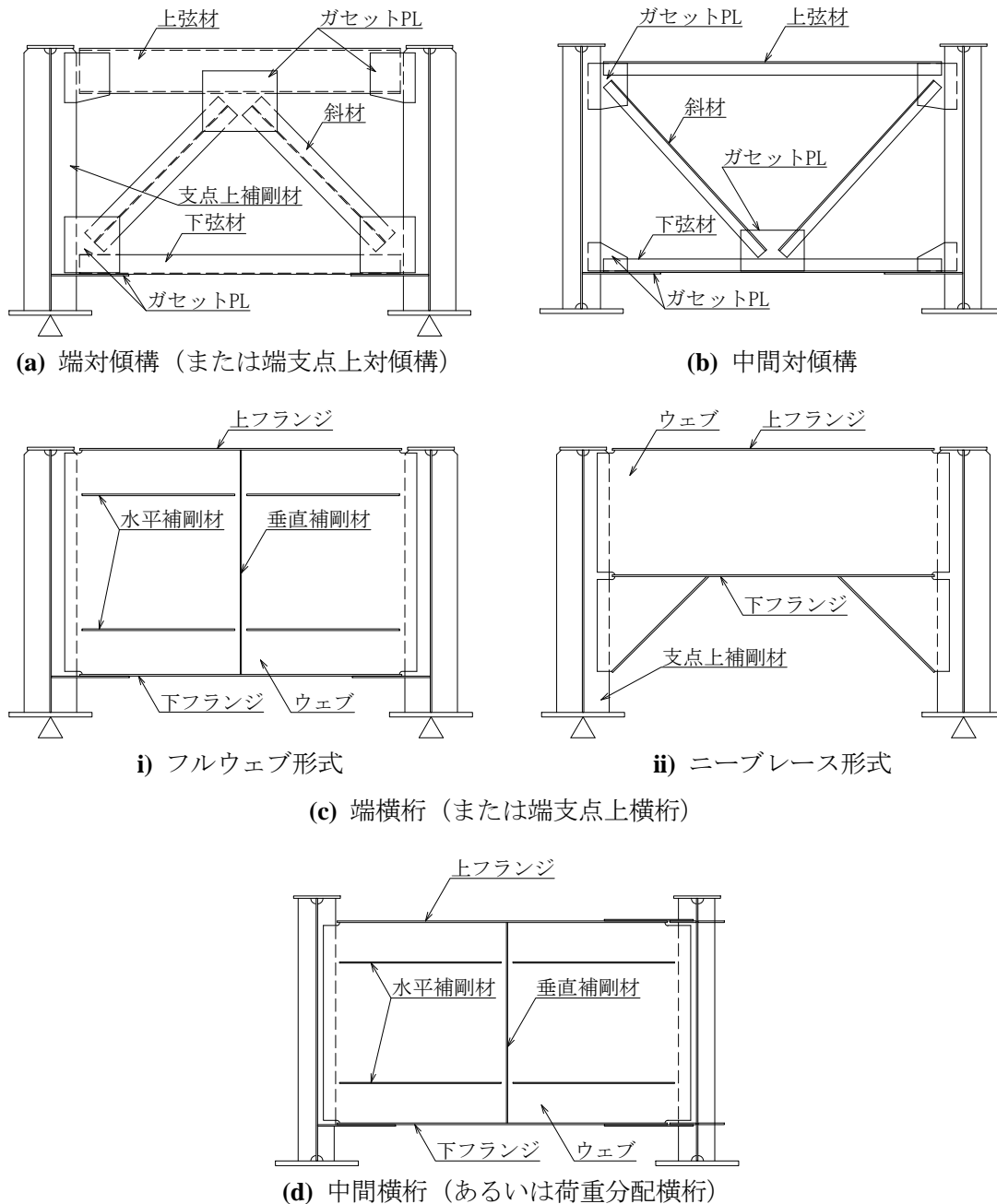
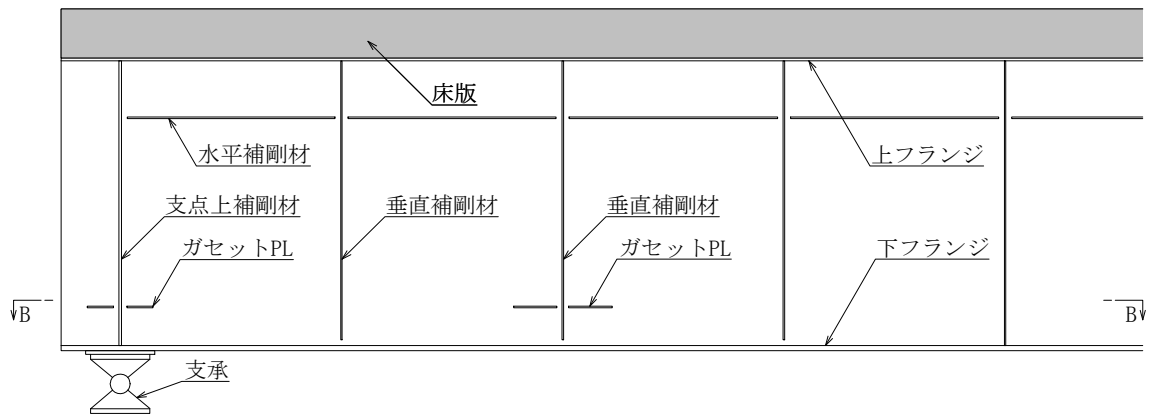
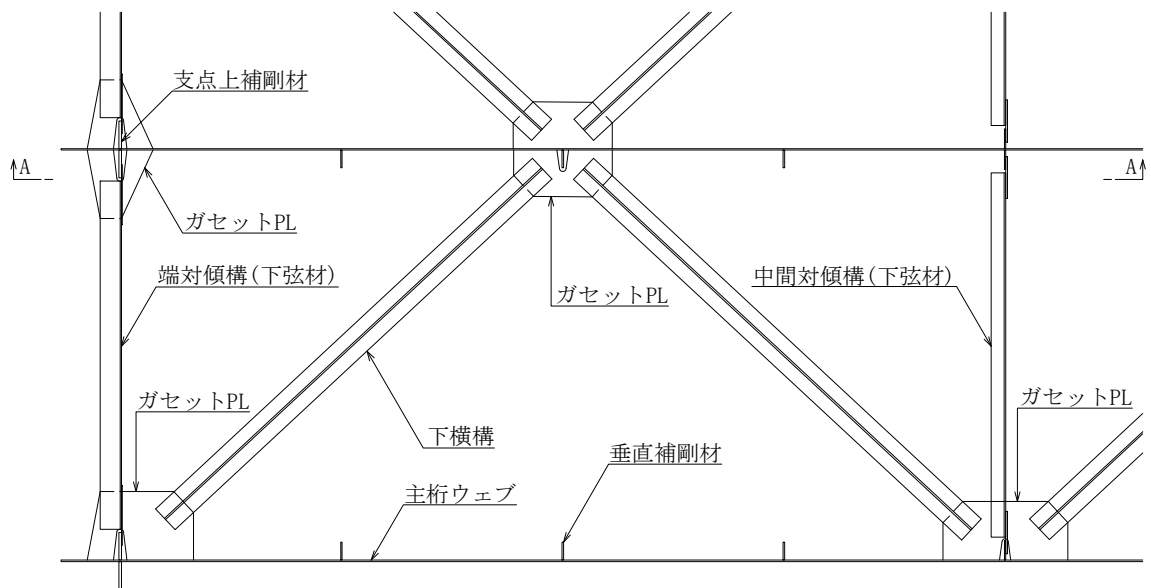


図-1.2.2 鋼橋の部材名称・部品名称（その1：橋軸方向に見た図）



(a) 主桁ウェブ側面図 (A-A 矢視)



(b) 下横構 (平面図 ; B-B 矢視)

図-1.2.3 鋼橋の部材名称・部品名称 (その2 : 橋軸直角方向に見た図)

(20) 減肉

鋼板、形鋼などが腐食によって痩せ細り、厚みが減少している状態をいう。(図-1.2.4 を参照)

(21) 孔食

鋼材に生じる局所的な腐食の一種で、鋼材表面の局所的な欠陥から腐食が発生して、深さ方向へ孔状に成長することをいう。被覆(塗膜、めっき皮膜、黒皮など)が局所的に薄いあるいは不連続となっているところから生じやすい。

(22) 既存塗膜および旧塗膜

既存塗膜とは、防錆工事の対象とする既設の鋼部材を被覆している塗膜全般を指し、旧塗膜とは、そのうち Al-Mg 合金溶射や部分的塗装のために除去された、あるいは除去対象範囲の塗膜をいう。

(23) 補修および補強

補修とは、構造物を損傷や劣化の発生前の状態に回復させること、あるいは工事において目標品質に施工できなかったときの是正などをいい、補強とは、構造物の性能を初期状態よりも向上させることをいう。なお、腐食による減肉部分の原状回復のために鋼板を添える工法は、健全な構造部材の強度増加にも適用されていることから慣用的に「当て板補強」と呼ばれることもある。



(a) 主桁の下フランジ上面の例



(b) 支点上補剛材の例（孔食を伴うもの）

図-1.2.4 腐食による減肉の状況

【解説】

(3) TAPS 工法で形成された Al-Mg 合金皮膜の防食性を定量的に評価した結果が、文献[1]に示されている。

5

1.3 字句の意味

本マニュアルの文章の末尾に用いられる字句の意味は、表-1.3.1 のとおりである。

表-1.3.1 末尾に用いられる字句の意味

末尾の字句	意味の区別
<ul style="list-style-type: none"> <li>.....する。</li> <li>.....とする。</li> <li>.....による。</li> <li>.....とおりとする。</li> <li>.....としなければならない。</li> </ul>	<p>明確な根拠や理由がない限り、守らなければならないもの。</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>.....原則として.....する。</li> <li>.....を基本とする。</li> <li>.....を標準とする。</li> </ul>	<p>記述の趣旨を逸脱しない範囲であれば、方法や数値が必ずしも合致しなくてもよいもの。</p>

10

## 1.4 参考とする基準・規格類

本マニュアルに示した規定のほか、次に示す基準や規格を参考にして品質の確保および向上を図るのがよい。

5	(1) 構造物施工管理要領	東・中・西日本高速道路株式会社	平成 29 年 7 月
	(2) 保全点検要領 構造物編	東・中・西日本高速道路株式会社	平成 29 年 4 月
	(3) 設計要領第二集 橋梁保全編	東・中・西日本高速道路株式会社	平成 29 年 7 月
	(4) 設計要領第二集 橋梁建設編	東・中・西日本高速道路株式会社	平成 28 年 8 月
10	(5) 道路橋示方書 (I 共通編)・同解説	公益社団法人 日本道路協会	平成 29 年 11 月
	(6) 道路橋示方書 (II 鋼橋・鋼部材編)・同解説	公益社団法人 日本道路協会	平成 29 年 11 月
	(7) 鋼道路橋防食便覧	公益社団法人 日本道路協会	平成 26 年 3 月
	(8) アルミニウム・マグネシウム合金溶射設計施工管理要領 《保全編 (桁端部)》	西日本高速道路株式会社	平成 27 年 7 月
15	(9) 溶射工学便覧 (改訂版)	一般社団法人 日本溶射学会	平成 29 年 9 月
	(10) 日本工業規格	一般財団法人 日本規格協会	
	1) JIS H 8200 溶射用語		平成 25 年 3 月
	2) JIS H 8300 亜鉛, アルミニウム及びそれらの合金溶射		平成 23 年 10 月

### 20 【解 説】

これらの基準・規格等は、本マニュアル策定時点の最新版を列挙したものである。基準や規格の改定・改正情報にも注意を払い、常に最新版を参照することが必要である。

25

### 参考文献 (1 章)

- [1] 貝沼重信, 郭 小童, 小林淳二, 武藤和好, 宮田弘和: NaCl による高腐食性環境における Al-5Mg 合金溶射皮膜の耐食・防食特性に関する基礎的研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.72, No.3, pp.440~452, 2016 年 (平成 28 年) 12 月.

30

## 2. 計画

### 2.1 一般

#### (1) 現地調査

5 防錆工の着工前に現地調査を行い、桁端部の変状および環境を把握して施工範囲および工種と照合し、必要に応じて施主と協議のうえ施工範囲や工種を変更・追加するなどして、適切な施工結果が得られるよう計画を策定する。

#### (2) 構造ディテールの改良

10 確実な溶射の実施と施工後の再劣化抑制のために既設部材の構造ディテールの改良を計画し、溶射工の前後にそれらを実施する。

#### (3) 施工時の安全確保

溶射工の一連の作業において、作業員や周辺に対する安全が確保できる工法および方策を計画し、それらを適切に実施する。

### 15 【解説】

(1) 施工対象の橋梁の状況を十分把握し、Al-Mg 合金溶射以外の工種も含めて適切な施工結果が得られるよう、現地調査を実施したうえで施工計画を策定することが重要である。

1) 一般に想定される変状や環境とそれらへの対応は次のとおりである。

20 a) 実構造物の腐食程度・範囲が工事図書の施工内容と整合しない場合には、損傷調査結果をもとに更に適切な施工内容に変更する。

b) 伸縮装置の破損や漏水が生じている場合（**図-解 2.1.1** および**図-解 2.1.2**）には、伸縮装置の止水性能の回復を行ったうえで溶射工に着手する。

25 c) 鉄筋コンクリート床版（以下「RC 床版」）のひび割れなどから漏水が生じている場合にはこれを補修し、防水性能を改善したうえで溶射工に着手する。

30 d) 橋面からの排水構造および下部工の橋座面の排水構造が不適切な場合（**図-解 2.1.3** および**図-解 2.1.4**）には、これらの改善も併せて行うことを原則とする。

e) その他に上部工、下部工および付属物に損傷などが認められた場合には、補修・補強の緊急性や必要性を検討のうえ部材の性能回復を行う。

35 2) 関連工の施工の結果、部材の置かれている環境が施工前から変化することがあるため、施工後の橋梁の状況を想定しながら施工範囲および関連工の適性を事前確認する必要がある。例えば、溶射工と同時に**図-解 2.1.5**のような水切り構造を設置する場合、下フランジの伝い水が下部工検査路に垂れ落ちないこと、水切り構造を RC 床版補強用縦桁の下フランジ



**図-解 2.1.1** 伸縮装置の破損



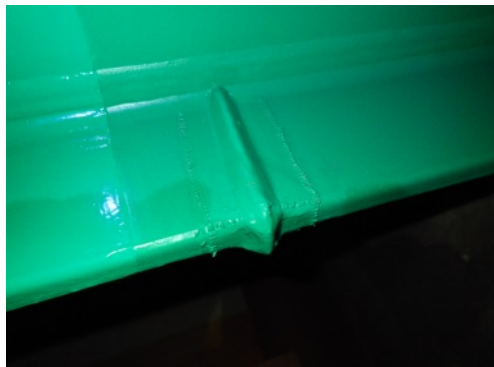
**図-解 2.1.2** 伸縮装置からの漏水



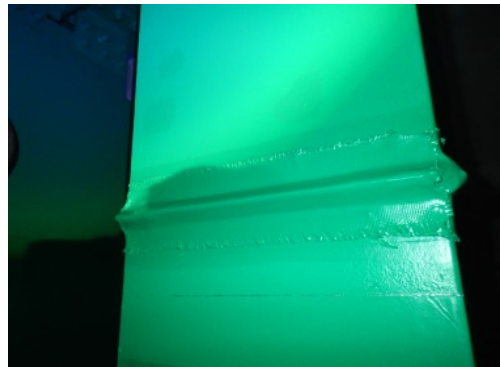
図-解 2.1.3 不適切な橋面排水



図-解 2.1.4 橋座における滞水・植生



(a) 下フランジ上面の状況



(b) 下フランジ下面の状況

図-解 2.1.5 鋼桁下フランジへの水切り構造の設置

に水切りを設ける場合には、伝い水が下横構の腐食の原因にならないこと、などの観点から水切り構造の位置を決定する必要がある。

- (2) 鋼橋は多くの鋼板・形鋼で構成されており、それら構成要素の接合部や近接部において、良質な溶射皮膜の形成が困難なことがある。そこで 2.4 節に示す構造ディテールの改良を実施して、適切な施工と再劣化抑制を図ることを基本とする。
- (3) 施工対象橋梁の防食性能の回復のみを優先させず、作業員や周辺の安全確保を最優先のうえ施工をすることが最も重要である。施工条件として特に重要な事項は次のとおりである。

1) 既存塗膜の除去への配慮

除去対象となる既存塗膜に鉛、PCB（ポリ塩化ビフェニル）、六価クロムなどの有害物質が含まれていることがあるため、あらかじめこれらの有無を調査し、適切な塗膜除去方法を計画する。

2) 作業員の安全に配慮した溶射施工範囲の設定

端横桁などの支承線上の横組部材と橋台パラペットとの空間に作業員が進入可能であったとしても、金属溶射作業中の事故の際の避難が困難な場合がある。主部材や検査路などの付属物の配置を考慮に入れて、作業員の安全が確保できない場合には他の防錆仕様への変更などを検討する。

## 2.2 防錆の仕様

(1) 溶射対象部位への防錆溶射の仕様は、表-2.2.1 および表-2.2.2 のとおりとする。

表-2.2.1 一般部に対する溶射の仕様

工程	工種	素地調整程度または 使用材料	皮膜厚または 使用量	施工間隔
素地調整	ブラスト	除錆度：Sa 3 [ISO 8501-1] 粗さ：Ra 8 μm 以上 Rz 50 μm 以上	—	4 時間以内
金属溶射	TAPS 溶射	アルミニウム・マグネシウム (5%) 合金線材	100 μm 以上	
封孔処理	1 次封孔処理	アクリルシリコン樹脂塗料 (ミストコート)	125 g/m <sup>2</sup> 以上	7 時間以内
	2 次封孔処理	アクリルシリコン樹脂塗料	125 g/m <sup>2</sup> 以上	24 時間以上 30 日以内

表-2.2.2 高力ボルト摩擦接合継手の接触面に対する溶射の仕様

工程	工種	素地調整程度または 使用材料	皮膜厚または 使用量	施工間隔
素地調整	ブラスト	除錆度：Sa 3 [ISO 8501-1] 粗さ：Ra 8 μm 以上 Rz 50 μm 以上	—	4 時間以内
金属溶射	TAPS 溶射	アルミニウム・マグネシウム (5%) 合金線材	100 μm 以上※1 または 200 μm 以上※2	
封孔処理	1 次封孔処理	アクリルシリコン樹脂塗料 (ミストコート)	125 g/m <sup>2</sup> 以上	7 時間以内

[注記] 1) 摩擦接合の接触面には、原則として封孔処理を実施しない。ただし、皮膜厚の目標値を「100 μm 以上」とする場合、その他で必要な場合には封孔処理を行う。

2) ※1 … 封孔処理を施す場合、※2 … 封孔処理を施さない場合。

(2) Al-Mg 合金溶射を行わない部位に対しては、可能な素地調整程度に応じて、次に示す塗装仕様を適用することを原則とする。

1) ブラストにより十分な素地調整が可能な部位への塗装の仕様は、表-2.2.3 および表-2.2.4 を標準とする。

表-2.2.3 一般外面に対する塗装仕様

工程	素地調整程度 または 使用塗料	塗布方法・ 標準使用量 (g/m <sup>2</sup> )	標準膜厚 (μm)	塗装間隔
素地調整	1 種 Sa 2 1/2 [ISO 8501-1]	—	—	4 時間以内
下塗第 1 層	有機ジンクリッチペイント	スプレー 600	75	
下塗第 2 層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	同上 240	60	1 日以上 10 日以内
下塗第 3 層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	同上 240	60	同上
中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	同上 170	30	同上
上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	同上 140	25	同上

表-2.2.4 特殊部（添接板，高力ボルト接合部，支承）に対する塗装仕様

工 程	素地調整程度 または 使用塗料	塗布方法・ 標準使用量 (g/m <sup>2</sup> )	標準膜厚 (μm)	塗装間隔
素地調整	1種 Sa 2 1/2 [ISO 8501-1]	—	—	4 時間以内 1 日以上 10 日以内 同上 同上 同上
下塗第1層	有機ジンクリッチペイント	スプレー 600	75	
下塗第2層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	同上 240	60	
下塗第3層	厚膜形エポキシ樹脂塗料 (300μm 形)	同上 1100	300	
中 塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	同上 170	30	
上 塗	ふっ素樹脂塗料上塗	同上 140	25	

2) ブラストによる素地調整が困難な部位に対する塗装の仕様は、表-2.2.5 を標準とする。ただし、施工対象面が研削材によって清浄できない極狭隘部で、塗料の膜厚管理が困難な場合には、施主との協議によって塗料の使用量および標準膜厚などの管理値の取り扱いを決定のうえ施工する。また、塗装による防錆効果が期待できない場合には、塗装以外の防錆工の適用も検討の対象とする。

表-2.2.5 ブラストが困難な部位に対する塗装仕様

工 程	素地調整程度 または 使用塗料	塗布方法・ 標準使用量 (g/m <sup>2</sup> )	標準膜厚 (μm)	塗装間隔
素地調整	3種 St 3 [ISO 8501-1]	—	—	4 時間以内 1 日以上 10 日以内 同上 同上 同上 同上 同上 同上 同上 同上 同上
タッチアップ 1回目	有機ジンクリッチペイント	刷毛 240	30	
タッチアップ 2回目	有機ジンクリッチペイント	同上 240	30	
タッチアップ 3回目	変性エポキシ樹脂塗料下塗	同上 200	60	
タッチアップ 4回目	厚膜型エポキシ樹脂塗料 (300μm 形)	同上 1000	300	
下塗第1層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	同上 200	60	
下塗第2層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	同上 200	60	
中 塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	同上 140	30	
上 塗	ふっ素樹脂塗料上塗	同上 120	25	

(3) 表-2.2.1 の溶射と表-2.2.3～表-2.2.5 の塗替え塗装の境界部の仕様および施工手順は、施工後に形成される溶射皮膜と塗膜の重なり状態に十分配慮したものでなければならない。

(4) 表-2.2.1 の溶射と既存塗膜の境界部は金属皮膜と塗膜の突合せ構造とし、突合せ部位置から塗膜側へ約 50mm の位置まで 2 次封孔処理剤を延長して、この範囲を塗料の重ね構造とすることを標準とする。

【解説】

(1) Al-Mg 合金を用いる防錆溶射の仕様は、西日本高速道路(欄管内)におけるこれまでの検討結果と施工実績に基づき、表-2.2.1 および表-2.2.2 によるものとする。

(2) 施工範囲において Al-Mg 合金溶射を行わない範囲に対する塗装仕様は、ブラストの可否と実施可能な素地調整程度に応じて適切なものを用いることが重要である。

- 5 1) 2.1 節に記したように、ブラストによる十分な素地調整が可能であっても金属溶射の施工が不可能な部位がある。この場合には、素地調整程度 1 種ののちに耐久性に優れたふっ素樹脂塗料を用いる重防食塗装系を適用することとし、構造物施工管理要領<sup>[1]</sup>に規定される塗替え塗装系のうち、一般部に対する c-3 塗装系（以下、「c-3-(1)塗装系」）、添接板、高力ボルト接合部および支承に対する g-3 塗装系（以下、「g-3-(1)塗装系」）をそれぞれ標準とした。強溶剤形と弱溶剤形の使い分けも、上記基準によって選択することを標準とする。また、主桁の下フランジやウェブ下縁などに対する増し塗りも、施工条件や環境条件に応じて適用するのがよい。なお、c-3(1)塗装は鋼道路橋防食便覧<sup>[2]</sup>における Rc-I 塗装系と同一である。なお、表-2.2.3 および表-2.2.4 の仕様における塗布方法は、施主との協議により刷毛塗りに変更することも可能である。
- 10 2) スカラップ部など十分な素地調整が困難な部位に対しては、構造物施工管理要領<sup>[1]</sup>に規定されている素地調整程度 3 種ののちに有機ジンクリッチペイントを塗布し、上塗りにふっ素樹脂塗料を用いる塗装系のうち、添接板、高力ボルト接合部および支承に対する g-3 塗装系（以下「g-3-(3)塗装系」）を適用することとした。これと同種の塗装系として、一般部に対する c-3 塗装系（以下「c-3-(3)塗装系」）、ならびに鋼道路橋防食便覧<sup>[2]</sup>に規定される Rc-III 塗装系を表-解 2.2.1 および表-解 2.2.2 に参考としてそれぞれ示す。
- 15 (3) Al-Mg 合金溶射は防錆溶射のうち特に高塩分環境で防食性能に優れ、ふっ素樹脂塗装を用いる重防食塗装系は鋼橋の防錆塗装で特に耐久性に優れるものである。しかし既往の研究によると、溶射皮膜の上にふっ素樹脂塗装を重ね塗りして出来上がる皮膜が溶射皮膜単体と同等以上の耐久性を有しているとは言い切れないようである。

25 文献[3]および文献[4]には、各種の金属溶射皮膜の上に、ふっ素樹脂塗料を上塗りとする塗装が重ね塗りされた防錆皮膜に対する複合サイクル促進腐食試験結果が示されている。重ね塗り試

表-解 2.2.1 c-3-(3)塗装系の仕様<sup>[1]</sup>

工程	素地調整程度 または 使用塗料	塗布方法・ 標準使用量 (g/m <sup>2</sup> )	標準膜厚 (μm)	塗装間隔
素地調整	3 種 St 3 [ISO 8501-1]	—	—	
タッチアップ 1 回目	有機ジンクリッチペイント	刷毛 240	30	4 時間以内
タッチアップ 2 回目	有機ジンクリッチペイント	同上 240	30	1 日以上 10 日以内
タッチアップ 3 回目	変性エポキシ樹脂塗料下塗	同上 200	60	同上
下塗第 1 層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	同上 200	60	同上
下塗第 2 層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	同上 200	60	同上
中 塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	同上 140	30	同上
上 塗	ふっ素樹脂塗料上塗	同上 120	25	同上

表-解 2.2.2 Rc-III 塗装系の仕様<sup>[2]</sup>

工程	素地調整程度 または 使用塗料	塗布方法・ 標準使用量 (g/m <sup>2</sup> )	標準膜厚 (μm)	塗装間隔
素地調整	3種 St 3 [ISO 8501-1]	—	—	4時間以内
下塗第1層	変性エポキシ樹脂塗料下塗 (鋼材露出部のみ)	刷毛 (200)	60	
下塗第2層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	同上 200	60	
下塗第3層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	同上 200	60	10日以内
中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	同上 140	30	同上
上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	同上 120	25	2日以上 10日以内

[注記] 塗料は全て「弱溶剤形」とする。

表-解 2.2.3 高速道路総合技術研究所による試験<sup>[3],[4]</sup>における防錆仕様

工程	溶射金属				皮膜厚など
	Zn	Zn-Al 合金	Al	Al-Mg 合金	
素地調整	ブラスト：除錆度 Sa 2 1/2		ブラスト：除錆度 Sa 3		—
金属溶射	Zn 線材	Zn-Al(15%) 合金線材	Al 線材	Al-Mg(5%) 合金線材	100 μm 以上
封孔処理	(不明)				(不明)
下塗	エポキシ樹脂下塗塗料				120 μm
中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗				30 μm
上塗	ふっ素樹脂塗料上塗				25 μm

験体の仕様は表-解 2.2.3 に示すように、封孔処理後の溶射皮膜の上に下塗、中塗および上塗の 3 層を全面に塗り重ねた“塗装仕上げ”と、同じく封孔処理後の溶射皮膜上に中塗および上塗の 2 層を全面に塗り重ねた“着色仕上げ”の 2 種類があり、これらにクロスカットを与えて複合サイ

5 クル試験に供した結果が示されている。溶射線材の種類や溶射方式による差異はあるものの、溶射皮膜の上にふっ素樹脂塗料を重ね塗りした部分に傷が生じると、膨れが生じて腐食が進行する傾向が報告されている。

文献[5]には、表-2.2.1 に示した防錆仕様のうち封孔処理前の金属皮膜に Rc-I 塗装系を部分的に重ね塗りした仕様、ならびに 1 次封孔処理まで施した皮膜に Rc-I 塗装系を部分的に重ね塗りした仕様の試験体に傷を与えた複合サイクル促進腐食試験結果が示されている。文献[3]および[4]と

10 同様に傷の周辺に膨れが発生し、電子線マイクロアナライザ (EPMA) 分析によって Al-Mg 合金の早期の腐食現象が確認されている。なお、Rc-I 塗装系を構成する有機ジンクリッチペイント下塗層が金属皮膜の腐食現象を助長している様子は無いようである。

これら 2 つの試験では封孔処理剤の種類や傷の加工方法・寸法などが異なっており、同じ扱いにはならないものの、有機ジンクリッチペイント下塗層の有無にかかわらず、いずれも溶射皮膜

15 の異常が早期に発生する危険性を示唆している。膨れが生じる詳細なメカニズムなどは、今後さらに検討が進められるものと考えられるが、腐食因子の遮蔽性に優れた塗料を溶射皮膜に重ね塗りする際には、傷が生じた場合の溶射皮膜の早期劣化にも十分な配慮が必要であると考えられる。

(4) 金属皮膜と既存塗膜との境界部では、どちらの皮膜にも覆われない鋼素地の露出部が生じないように、溶射皮膜の 2 次封孔処理剤を既存塗膜側に延長して、塗料の重ね構造部分を設けること

20 で鋼素地を被覆するのを標準とする。封孔処理剤の重ね塗りの手順を図-解 2.2.1 に示す。

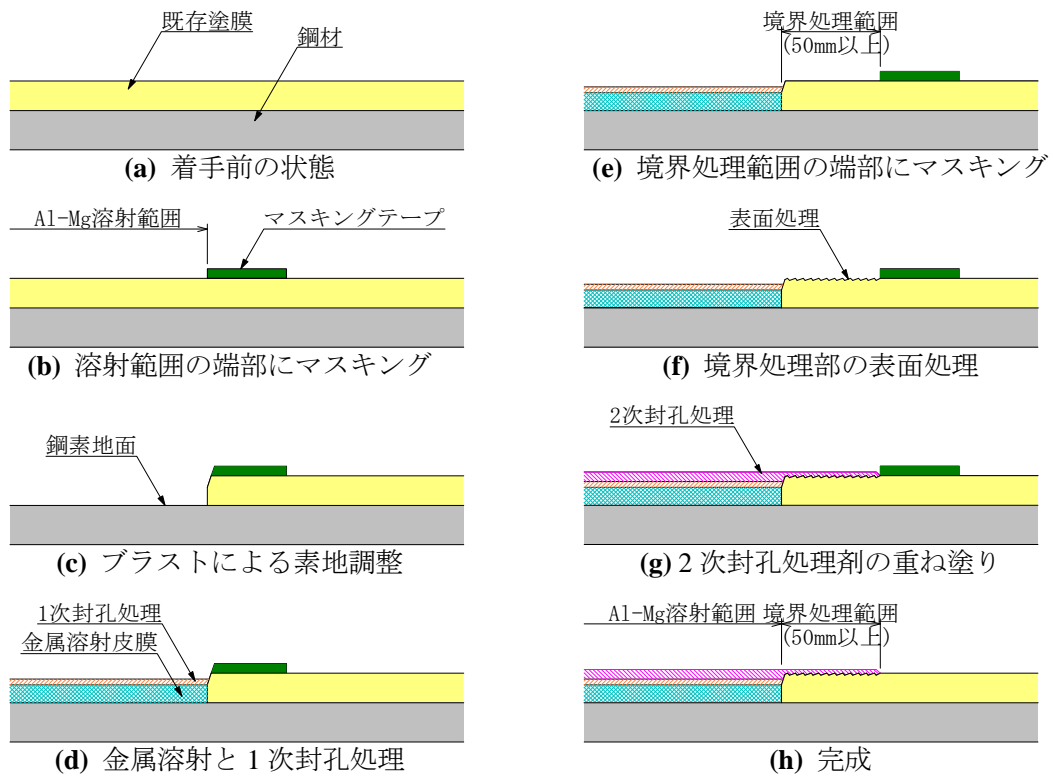


図-解 2.2.1 溶射皮膜と既存塗膜の境界部における封孔処理剤の重ね塗りの例<sup>[6]</sup>

## 2.3 事前調査

5 金属溶射工の計画策定のために事前調査を行い、これによって橋梁の状況を詳細に把握することで適切な施工結果が得られるようにする。調査には書類調査と現地調査があり、これらの調査によ

- 10
- (1) 部材の変状程度とその発生範囲
  - (2) 損傷原因および劣化因子
  - (3) 溶射工およびその他の補修・補強工の支障となる部材形状および部材配置
  - (4) 橋梁周辺の環境
  - 10 (5) 溶射対象部位と周囲の防食仕様

### 【解説】

- 15 (1) 部材の変状程度に応じて、金属溶射工による防錆のみで建設当初の状態に回復できる場合と他の工種の追加実施が必要な場合に分けられる。また、変状の発生範囲に応じて追加実施する工種
- 15 が変化することもある。したがって、現地調査によって現地状況を把握し、それらと工事図書の工種・施工範囲と照合して、必要に応じて施工内容を変更・追加することが重要である。
- (2) 部材の損傷原因には、腐食した部材自体の条件（鋼材の種類、被覆方法など）と部材周辺の条件（伸縮装置や排水装置などからの漏水、滞水・土砂等の堆積による湿潤環境、付属物・添架物との取合い・位置関係など）がある。また、劣化因子には水分（淡水）、凍結防止剤由来あるいは
- 20 海水由来の塩分、その他の有害物質がある。事前調査でこれらを把握することによって次に挙げる事項を確認でき、工事内容を更に適切にすることが可能になる。
- ① 当該部材の防錆被覆としての Al-Mg 合金溶射の適性
  - ② 溶射の施工範囲の妥当性（予防保全の観点を含む）
  - ③ 関連工の追加の必要性とその範囲
- 25 (3) 事前調査で部材形状および部材配置を把握することで、追加すべき関連工が明確になる、金属溶射の施工範囲が早期に確定される、などのメリットが予想され、不慮の工事中断や期間延長の防止への効果が期待できる。
- (4) 橋梁の立地と周辺環境を把握することで、機材の搬入・搬出の制約、工事騒音の許容レベルなどを施工計画に反映することが重要である。
- 30 (5) 溶射の対象部位と周囲の防食仕様によっては、異種金属接触、錆の完全除去、施工境界部の処理など、Al-Mg 合金溶射による防錆に支障をきたす場合があるため、事前調査によって防食仕様を把握しておき、上記(2)に示した①～③の事項を確認することが重要である。

## 2.4 構造ディテールの改良

Al-Mg 合金溶射が適切に実施でき、施工後の早期劣化の原因を排除するために、構造ディテールの改良をあらかじめ実施することを基本とする。

### 【解説】

構造ディテールを改良する目的には、主に次の2つが挙げられる。

- ① 溶射施工性の確保 …… 溶射施工面に対して適切な距離・角度で“溶射機器が配置できる状態”に改善すること
- ② 早期劣化の防止 …… 溶射対象部材の状態を改善することで、部材形状と周辺状況を原因とする“施工後の早期劣化”を防止すること

従来の溶射機器よりもコンパクト化された TAPS 溶射装置であっても、適切な溶射皮膜の生成が可能な作業空間寸法には限界があり、特に既設鋼橋には溶射可能な空間寸法に満たない狭隘部分が存在することを踏まえ、できるだけ広範囲に Al-Mg 合金溶射が適用可能になるよう上記①を目的とする改良を行う。また、防錆対象とする部材の錆を除去し、既存塗膜を Al-Mg 合金皮膜に置き換えるだけの単純な内容の施工のみでは、施工後の早期劣化が懸念されることから、これを防止するために上記②を目的とする改良を行う。

構造ディテールの改良例の一覧を表-解 2.4.1 に、改良の具体的な内容などを図-解 2.4.1～図-解 2.4.7 にそれぞれ示す。これらの改良後の構造のうち、図-解 2.4.2(b)は、1980 年代後半頃から鋼橋の工場製作時に適宜採用されていたもので、1991 年（平成 3 年）刊行の参考資料<sup>[7]</sup>によって広く適用されるようになった構造詳細である。図-解 2.4.5(a)に示した“R=2mm の曲面加工”（以下、R2 加工）は 1990 年（平成 2 年）改訂の鋼道路橋塗装便覧<sup>[8]</sup>で新設鋼橋に対して初めて記載され、2005 年（平成 17 年）改訂の鋼道路橋塗装・防食便覧<sup>[9]</sup>で標準とされるようになった構造詳細である。このように、本節に示した改良後の構造が、溶射の着工前に既に反映されている場合もあるため、鋼橋の製作年代を念頭に入れて事前検討を行うことで、現地調査のポイント把握や構造ディテール改良の要否判断などが迅速になる場合がある。表-解 2.4.1 に示した改良の対象部位・内容ごとの注意点は次の通りである。

図-解 2.4.1 の改良において下フランジを切断する場合には、耐震構造上求められる桁かかり長を満足させる必要がある。切断後の桁かかり長が最新の規定<sup>[10]</sup>を満足することが望ましいが、建設後の耐震補強の有無、下部構造の変位の影響による桁かかり長の変化などの各種要因に留意し、事前に現地状況を踏まえたうえで切断の可否を判断する必要がある。

図-解 2.4.2 の改良では、斜角が小さい橋梁の支点上補剛材と水平補剛材の交差部において、水平補剛材の切断角度が 45° では溶射ガンの配置に必要な空間を確保できない場合があることに注意を要する。

図-解 2.4.3(a)に示す切断加工の対象に図-解 2.4.3(b)に示す構造ディテールを含めないこととし、主桁ウェブの座屈強度の低下あるいは横桁および対傾構の取付部としての強度低下の原因とならないように十分に注意する。

表-解 2.4.1 構造ディテールの改良例

目的	部位・部材等	構造ディテール改良の内容	図の参照
施工性の確保	ガーダーエンド部 (主に橋台近接部)	<p>目標：主桁・縦桁等の先端部が溶射可能となる空間の確保                      方法：主桁・縦桁等のウェブ先端を部分的に切断して、80mm以上の離隔を設ける。構造上の問題が生じない場合には、下フランジ先端も同様とする。</p> <p>留意点：1) ウェブ先端の切断によって、支点上補剛材からのウェブの張出長に不足が生じ、支点部の強度低下の原因とならないことをあらかじめ照査する。通常の供用状態については、ウェブの板厚の12倍の長さが確保できれば問題ない。地震時については耐震部材との取合い、地震力に対する強度不足に注意を要する。                      2) 下フランジ先端の切断に関しては、切断時・切断後の支承本体・ソールプレート・補強リブなどへの影響、桁かかり長についてあらかじめ照査する。                      3) 主桁と橋台が接触しているときは、別途、調査および対策を講じたうえで着手する必要がある。</p>	図-解 2.4.1
	垂直補剛材と 水平補剛材の交差部	<p>目標：垂直補剛材・水平補剛材の溶接部・周辺が溶射可能となる空間の確保                      方法：水平補剛材のコーナーを溶接ビード付近から45°の方向に切断する。                      留意点：1) 切断時に両補剛材の溶接ビードを損傷させないこと。                      2) 水平補剛材が垂直補剛材に溶接されている場合は対象外とし、交差部のスカラップ周辺には塗装を適用することを基本とする。</p>	図-解 2.4.2
	垂直補剛材下端部 (下フランジ近接部)	<p>目標：垂直補剛材の溶接部・周辺が溶射可能となる空間の確保                      方法：垂直補剛材のコーナーを溶接ビード付近から45°の方向に切断する。                      留意点：1) 切断時に補剛材とウェブおよびフランジとウェブの溶接ビードを損傷させないこと。                      2) 下フランジに溶接されている、あるいは接している補剛材は対象外とし、スカラップ周辺には塗装の適用を基本とする。</p>	図-解 2.4.3(a) 図-解 2.4.3(b)
	塗装足場用吊金具 など	<p>目標：所定の溶射皮膜が現地で形成できない部品の除去・交換                      方法：主桁等に溶接されている吊金具を撤去し、工場溶射あるいはめっき済みの代替の吊金具で復旧する。                      留意点：取合い等の支障が無ければ溶接ビードを残し、撤去時の主桁等への熱影響を最小限にする。</p>	図-解 2.4.4
早期劣化の防止	鋼板・形鋼などの 角部	<p>目標：所定の溶射皮膜厚が確保できる形状への改善                      方法：角部をR=2mmの曲面加工あるいは2mmの面取り加工で仕上げる。                      留意点：対象部分の厚さ・形状、加工機器や施工ヤードの制約に応じて面取り加工の適用を判断する。</p>	図-解 2.4.5
	沓座モルタル との接合部	<p>目標：支承ベースプレートと沓座モルタルの界面腐食の防止                      手順：1) ベースプレートのコバを覆っているモルタル等の部分的な除去                      2) ベースプレートの角部を仕上げたうえで、金属溶射工                      3) パテ充填によりモルタル撤去範囲を復旧（シーリング）                      留意点：支承を現地溶射で防錆する場合に適用する。</p>	図-解 2.4.6
	コンクリート床版 との接合部	<p>目標：上フランジのコバと床版の界面腐食の防止                      手順：1) 鋼部材のコバを覆っているコンクリートの部分的な除去                      2) 鋼部材の角部を面取り加工のうえ、金属溶射工                      3) パテ充填によりコンクリート撤去範囲を復旧（シーリング）                      留意点：1) 床版から漏水等が生じている場合には、それらの補修や再劣化対策を講じたうえで実施する。                      2) 除去対象範囲に腐食やコンクリートの劣化などが見られない場合には、経過年数なども考慮に入れて、除去の可否を検討する。</p>	図-解 2.4.7
	主桁・縦桁など (橋軸方向部材)	<p>目標：伝い水による腐食範囲の拡大を防止                      方法：下フランジに水切り構造を設置する。                      留意点：1) 金属溶射の施工後に実施する。                      2) 新たな腐食原因にならないように取付け位置に注意する。</p>	図-解 2.1.5

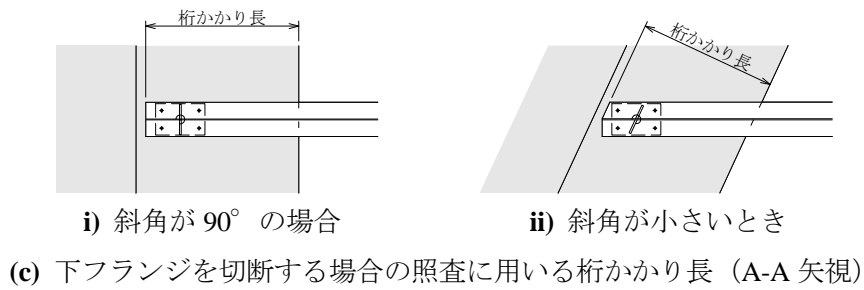
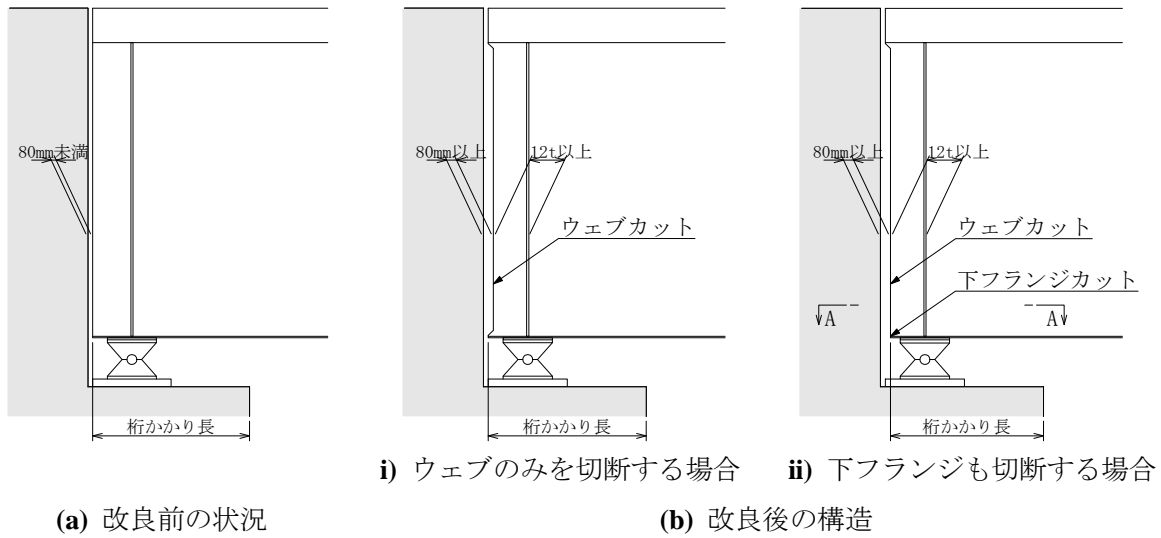


図-解 2.4.1 ガーダーエンド部の改良

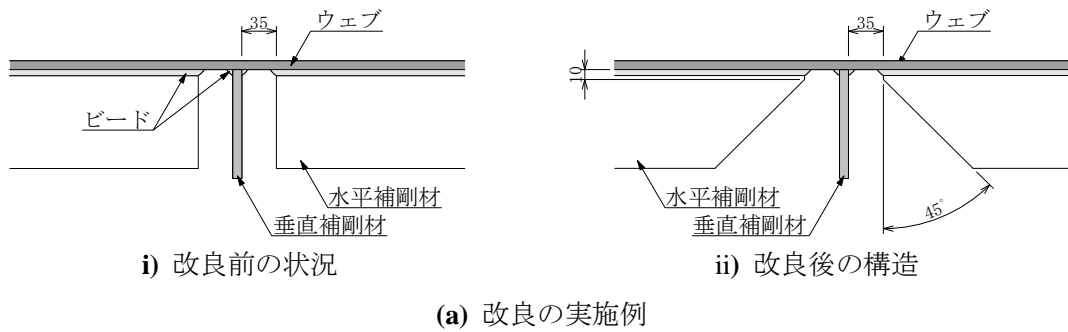
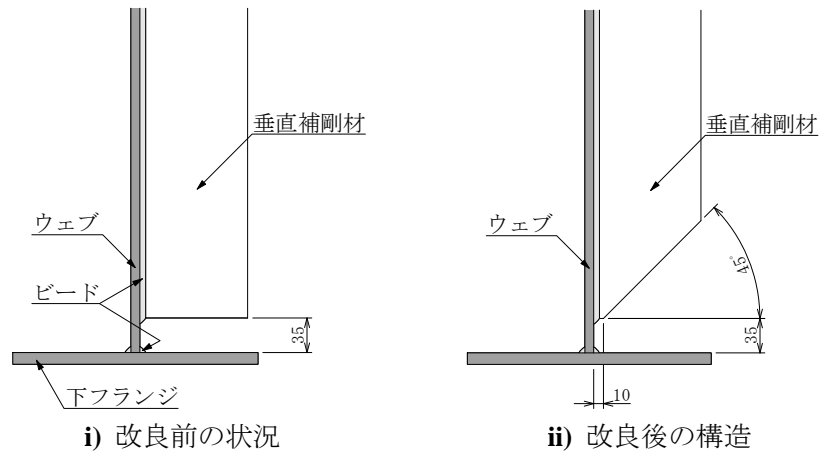


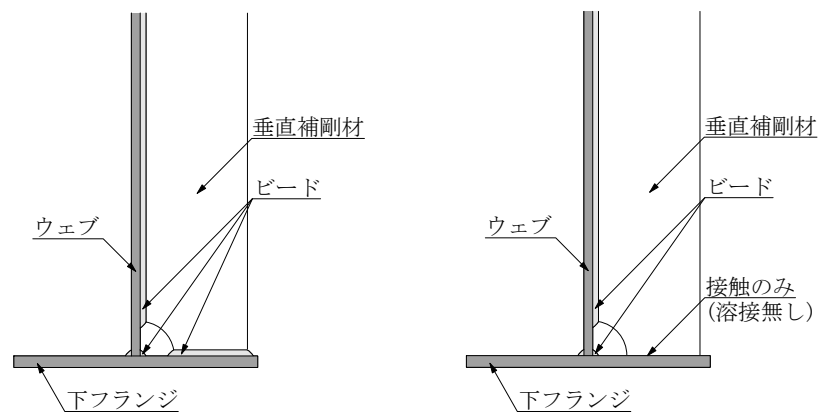
図-解 2.4.2 垂直補剛材と水平補剛材の交差部の改良



i) 改良前の状況

ii) 改良後の構造

(a) 改良の実施例

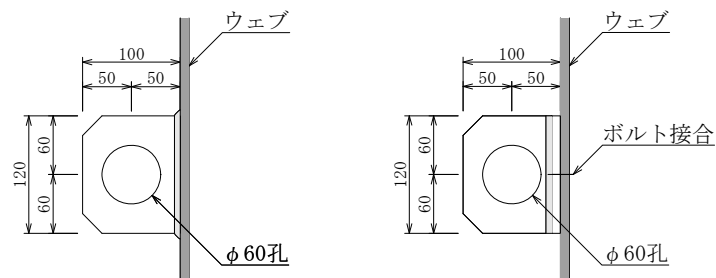


i) 下フランジに溶接されているとき

ii) 下フランジに接触しているとき

(b) 加工の「対象外」とする補剛材下端の状況

図-解 2.4.3 垂直補剛材下端部の改良



(a) 改良前の状況

(b) 改良後の構造

図-解 2.4.4 塗装足場用吊金具などの改良

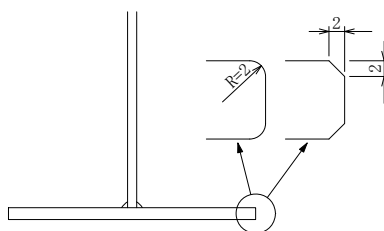


図-解 2.4.5 鋼板・形鋼などの角部の改良

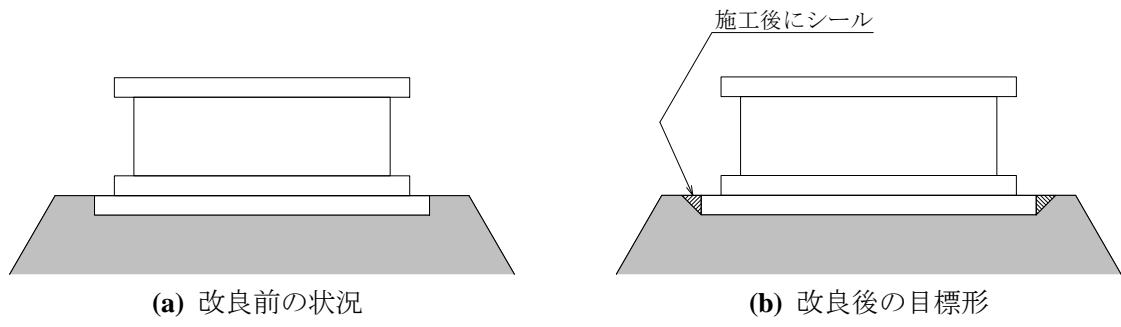


図-解 2.4.6 沓座モルタルとの接合部の改良

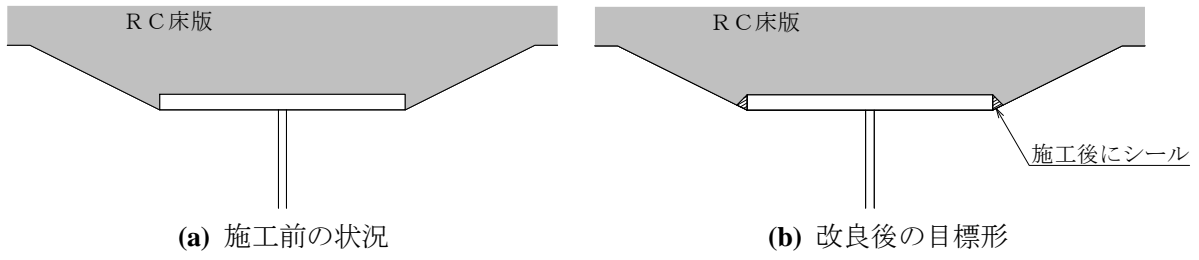


図-解 2.4.7 コンクリート床版との接合部の改良

## 2.5 施工時の安全確保

施工時の作業員の安全確保に必要な設備を用意するとともに、作業員の安全確保に配慮した溶射の施工範囲の設定にも留意する必要がある。次に示す方策を適宜講じる。

### 1) 既存塗膜の剥離に関する有害物

既設塗膜に含有される有害物が塗膜除去の際に飛散しないよう、適切な除去工法の採用と防護工の設置を行う。

### 2) 施工時の安全性と利便性に配慮した足場工の採用

作業員の歩行条件を良好に保つことが可能な足場工を採用し、安全性や利便性の向上を図る。

### 3) 溶射作業時の退避可能な溶射範囲の確保

溶射作業中の作業員が異常時に速やかに退避できることに留意して、溶射の施工範囲を設定する。

### 【解説】

Al-Mg 溶射と関連工の目的は、良質な溶射皮膜の形成により鋼部材の防錆を図ることと鋼橋の全体的な状態を改善することであるが、その他に“施工時の作業員の安全確保”も重要事項のひとつである。

1) 既設塗膜の剥離にあたっては、塗膜の含有物を事前に調査し、法令に基づく対策を講じる。作業環境と廃棄物処理に関する法令および既設塗膜が含有する恐れのある有害物の概要を資料 1 に示す。

2) 従来の施工足場内では吊チェーン間隔が小さく、作業員の歩行に対して支障になっていたケースがあった。足場工や防護工の工夫によって作業ヤードの改善を行い（例えば、図-解 2.5.1），作業性の向上を図ることが望ましい。

3) 橋台パラペット近傍など、緊急時の作業員の退避に支障をきたすような狭隘空間には溶射範囲を設定しない、などの配慮を払うのが望ましい。このような狭隘空間の例を図-解 2.5.2 に示す。端支点



(a) 橋梁側面の状況



(b) 吊チェーン間隔の拡大



(c) 朝顔の省略

図-解 2.5.1 足場工の改良による作業ヤードの改善例

上の横組部材が高さの大きい横桁であり，溶射作業を  
 中のハッチングの空間で行うと，退避の際に端横桁下フ  
 ランジとパラペット間の狭隘部，フランジ下面と橋座面  
 との狭隘部を通らなければならず，迅速な移動が困難で  
 危険な状況に陥りかねない。このような場合には，ハッ  
 チングの空間を全て溶射範囲とするのではなく，作業姿  
 勢も考慮に入れたうえで塗装の施工範囲を適宜設定し，  
 作業員の危険を低減することが必要である。

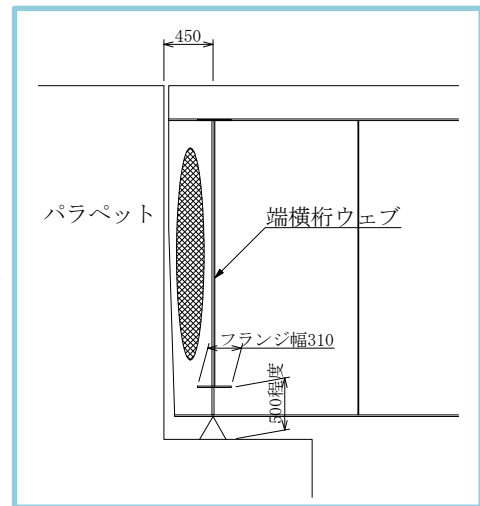


図-解 2.5.2 迅速な退避が困難な狭隘空間の例

10

15

#### 参考文献 (2 章)

- [1] 東・中・西日本高速道路株式会社：3-2-2 塗替え塗装仕様，3 保全編，構造物施工管理要領，pp.III-1~III-4，2017年（平成29年）7月。
- [2] 日本道路協会：7.3.2 塗替え塗装仕様，第II編 塗装編，鋼道路橋防食便覧，pp.II-116~II-120，2014年（平成26年）3月。
- [3] 服部雅史：金属溶射の複合サイクル促進試験による耐久性 ―クロスカットの影響試験―，土木学会第70回年次学術講演会講演概要，V-093，2015年（平成27年）9月。
- [4] 服部雅史，古谷嘉康，広瀬 剛：金属溶射鋼板の促進試験による傷・仕上げ・溶射方法の影響評価，鋼構造年次論文集，Vol.24，No.104，pp.715~722，2016年（平成28年）11月。
- 25 [5] 貝沼重信，藤本拓史，杜 錦軒，楊 沐野，武藤和好，宮田弘和：Al-5Mg合金溶射と重防食塗装の取合部における耐食・防食特性に関する基礎的研究，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.73，No.2，pp.496~511，2017年（平成29年）8月。
- [6] 西日本高速道路株式会社：アルミニウム・マグネシウム合金溶射設計施工管理要領《保全編（桁端部）》，2015年（平成27年）7月。
- 30 [7] 日本道路協会：鋼道路橋の細部構造に関する資料集，1991年（平成3年）7月。
- [8] 日本道路協会：1-4 構造設計時の留意事項，鋼道路橋塗装便覧，pp.11~13，1990年（平成2年）6月。
- [9] 日本道路協会：3.2.1 腐食対策，鋼道路橋塗装・防食便覧，p.II-49，2005年（平成17年）12月。
- 35 [10] 日本道路協会：13.3.5 必要桁かかり長，道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説，pp.285~290，2017年（平成29年）11月。

### 3. 施工

#### 3.1 施工手順および機器類

(1) TAPS 工法による溶射工の施工フローチャートは、**図-3.1.1** のとおりである。なお、2次封孔処理は、素地調整から1次封孔処理までの作業とは別の日に、**複数日の施工範囲**をまとめて実施することを標準とする。

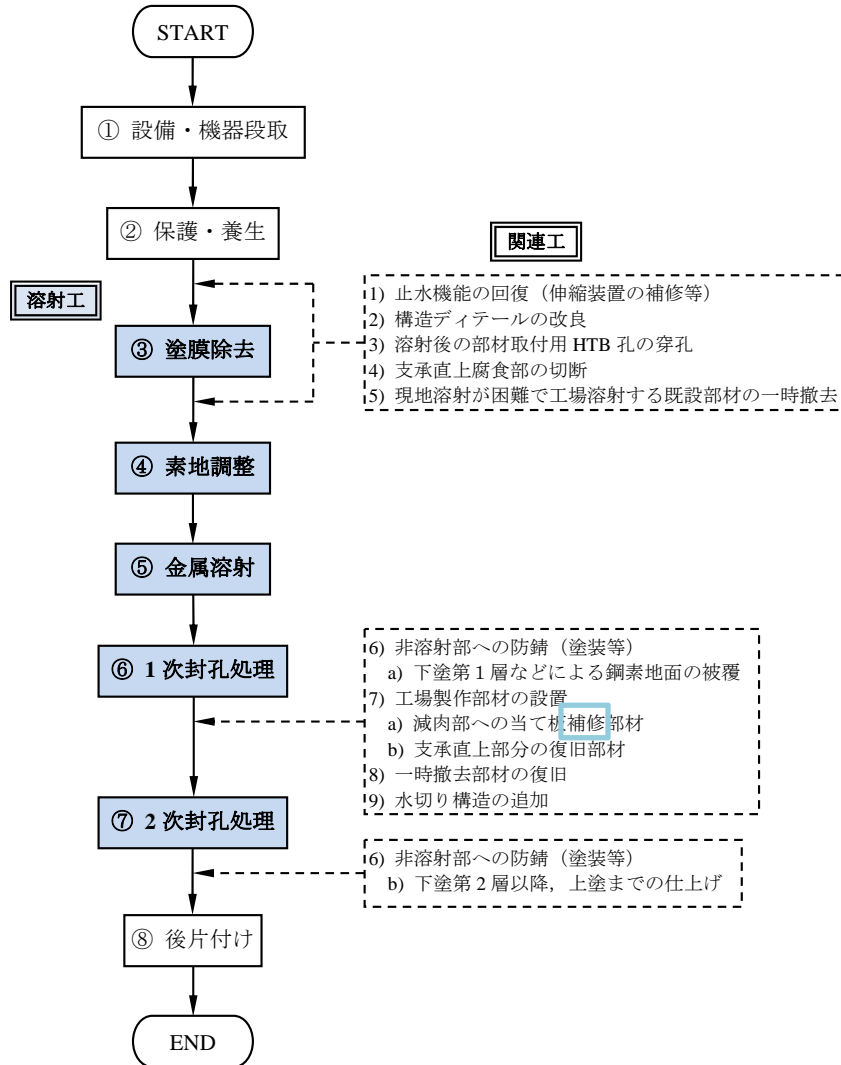


図-3.1.1 TAPS 工法による溶射工の標準フローチャート

(2) 溶射工に使用する機器類は表-3.1.1 に示すものを標準とし、現地条件を考慮に入れて適切な機器を使用する。

表-3.1.1 TAPS 工法による溶射工において使用する標準的な機器類

工種	機器	型式・能力等	備考
素地調整	ブラスト装置	直圧式	
	ブラストホース		
	ブラストノズル		狭隘部用では特殊ノズルを使用する
金属溶射	TAPS 溶射機		
封孔処理	ローラーまたは刷毛		
共通機器	エアーコンプレッサー	エンジン式 50~100 馬力	
	エアドライヤー	50~100 馬力対応	
	集塵機		
	発電機	エンジン式 45~60kVA	
	照明機器	100V 電源用	

【解説】

- (1) 溶射工の標準的な作業フローチャートならびに関連工との関係を示した。関連工の実施時機は、それらの内容・施工量と溶射対象部位の種類・数量の関係を考慮に入れて、工事ごとに設定する。
- 5 (2) 表-3.1.1 は、図-3.1.1 に示す「素地調整」以降の工種に関する機器類である。塗膜除去工については、3.2.1 項のとおり適切な工法を選定し、それに応じた機器を適用する。
- 表-3.1.1 に示した機器類の型式・能力に適した部品を用いることとし、使用状況に応じた交換時機にも注意が必要である。ブラストノズルに関する例を表-解 3.1.1 に示す。

表-解 3.1.1 ブラストノズルの適用条件・交換時機の例

コンプレッサー能力	ブラストノズル径	ノズルの交換時機
50 馬力	φ8 以下	摩耗により内径が 20%増加したとき
100 馬力	φ12 以下	同上

## 3.2 施工方法および留意点

### 3.2.1 塗膜除去

#### (1) 施工の基本

溶射工の施工範囲に対する既存塗膜の除去を健康に悪影響の生じない方法で実施し、排出された塗膜等を安全かつ確実に処理しなければならない。

#### (2) 工法の選定

既存塗膜の除去は、作業時の所要時間や安全管理の難易度、塗膜の剥がれ程度、適用可能な部位、素地調整以降の各工程の品質等に及ぼす影響、市場性および経済性などを考慮に入れて選定した工法を、単一あるいは複数の組合せによって用いることで実施する。

#### 【解説】

(2) 既存塗膜の除去に適用可能な工法は、次の3つのグループに分類できる。

① 薬剤法 …… 薬剤を塗膜内に浸透させて鋼部材表面からの剥離を促すもの

② 加熱法 …… 機器によって部材表面を加熱して塗膜の剥離を促すもの

③ 接触法 …… 機器の一部を塗膜に接触しながら運動させることで直接剥がし取るもの

各グループに属するいずれの工法にも長所と短所があるため、素地調整の工程を経て金属溶射に適切な素地状態となるように、単一工法あるいは複数工法を組み合わせることで安全で確実な塗膜除去を行う。塗膜除去の施工状況の一例を資料2に示す。

これらの既存工法に代わる塗膜除去と金属溶射に適する素地面形成が同時に実現可能な「スラリーブラスト工法」が現在開発途中にあり、塗膜除去に要する費用と時間の大幅な低減が期待される。参考として、開発段階の比較

比較投射試験における大気中の浮遊物測定結果<sup>[1]</sup>を図-解3.2.1に示す。

塗膜除去無しで現行の直圧式ブラスト（乾式ブラスト）で既存塗膜に直接投射した上段の結果に比べて、下段のスラリーブラストでは浮遊物が1/10程度に減少している

ことがわかる。

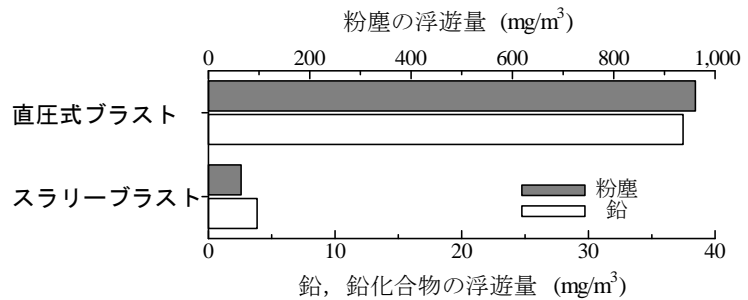


図-解 3.2.1 ブラスト時の大気中の浮遊物測定結果<sup>[1]</sup>

### 3.2.2 素地調整

#### (1) 施工の基本

- 1) 溶射のための素地調整はブラストにより行う。
- 2) ブラストのみでは完全に除去できない油脂や水分がある場合には洗浄や乾燥によって、強固な付着物がある場合には電動工具等によって、それぞれを確実に除去したうえでブラストを実施する。

#### (2) 材料の規格・選定と投射条件の設定

- 1) ブラストに用いる研削材は、JIS Z 0312「ブラスト処理用非金属系研削材」に規定される材料から選定することを原則とする。
- 2) 対象部材の強度や寸法、腐食程度、現地条件に応じて適切な研削材と投射条件を設定する。研削材は市販品を単一で、あるいは複数を混合して用いる。

#### (3) 施工内容および品質目標

- 1) 溶射のためのブラストは、2.2節(1)の表-2.2.1 および表-2.2.2 に示す素地調整程度が得られるように実施する。
- 2) 溶射を行わない部位を塗装するためのブラストは、2.2節(2) 1)の表-2.2.3 および表-2.2.4 に示す素地調整程度が得られるように実施する。
- 3) 研削材の投射後に素地面を十分に清掃し、付着している塵や研削材を完全に除去する。
- 4) 金属溶射直前の素地面における塩分付着量 (NaCl 換算量) が  $50 \text{ mg/m}^2$  未満となるように、素地調整作業と溶射までの養生を行う。

#### (4) その他の留意点

- 1) ブラスト作業時に投射範囲外を研削材で損傷させないように、確実な養生を行っておく。
- 2) ブラスト後の素地面に早期のターニング現象が生じないように、ブラスト着手時の温度・湿度とその変化に注意し、ターニング現象が予想されるときはブラスト作業予定を変更するのがよい。
- 3) 作業員の安全が確保できる服装および設備を確実に準備し、作業員どうしの連絡方法を事前に徹底する。
- 4) 施工中の低騒音化に配慮した防音設備を設ける。
- 5) ブラスト後の素地面に品質低下の原因となる有害物が付着しないよう、作業後の取り扱いに注意しなければならない。

#### 【解説】

##### (1) ブラスト施工の基本

- 1) 溶射に有害な物質を部材表面から除去するだけでなく、素地面と溶射皮膜との間に所定の密着強度が得られるような粗さを付加する必要があることから、素地調整はブラストによって行う。
- 2) 溶接時にビードに固着したスパッタを残存させたまま金属溶射まで行った例を図-解 3.2.2 に示す。スパッタが立体的な障害物となり、研削材および溶射金属が当たらないブラインド部分ができってしまうため、



図-解 3.2.2 スパッタの残存状況

ブラスト完了までに適宜これを確実に除去することが重要である。スラグの固着なども同様である。

## (2) 研削材の選定

- 1) ブラスト処理用の研削材の JIS 規格には, JIS Z 3012  
5 と JIS Z 0311「ブラスト処理用金属系研削材」がある。スチールグリットなどの金属系研削材は主に工場施工時に使用され、投射対象部材の表面が黒皮あるいはミルプライマーのように比較的清浄なときに転用が可能である。既設鋼橋に対する現場ブラスト  
10 では、対象部材の錆や残存塗膜が研削材に付着するため転用はやや困難で、使い捨てが可能ないように比較的安価なガーネットや溶融アルミナが用いられることが多い。

[最新規格情報] JIS Z 0311 : 2004 年 3 月

15 JIS Z 0312 : 2016 年 3 月

- 2) 部材表面の有害物が完全に除去でき、かつ表面を削り過ぎない投射条件と研削材を選定することが重要である。そこで、研削材の粒度および投射条件（ノズル寸法、空気圧、単位時間当たり投射量など）を試験板などで確認し、その材料・投射条件を現地事前ブラストで再評価したうえで本施工に適用することを基本的な手順とする。

## (3) 施工内容と品質

- 1) 2.2 節(1)に示された素地調整程度を満足することが  
25 必要であるが、過剰なブラスト作業とならないように注意が必要である。

- 2) 2.2 節(2) 1)に示された素地調整程度を満足することが必要であるが、除錆度 Sa 2 1/2 を目標に作業すると仕上がりにばらつきが生じやすく、Sa 2 に近い素  
30 地面が形成される恐れがあるため、除錆度 Sa 3 に近い状態を目標とするのが望ましい。

- 4) 道路橋防食便覧<sup>[2]</sup>に準じて、金属溶射前の素地面における付着塩分量が  $50 \text{ mg/m}^2$  未満になるような一連の作業と金属溶射開始までの養生を行う必要がある。また、投射対象部分の孔食が顕著であったり、塩分などの付着が視認できる場合には、ブラスト前に水洗いを行うなどして塩分の一部を除去してから  
35 ブラストするのが望ましい。

## (4) その他の留意点

- 40 1) 投射範囲外の養生が不十分なために生じたブラ



(a) 損傷位置



(b) 損傷部の拡大（光沢の範囲）

図-解 3.2.3 溶射済み範囲の封孔処理剤を損傷させた不具合事例



図-解 3.2.4 溶射範囲外の既存塗膜を損傷させた不具合事例



図-解 3.2.5 ブラスト作業時における作業者の防護

ト作業時の損傷事例を**図-解 3.2.3** および**図-解 3.2.4** に示す。

- 2) 早期のターニング現象が予想されるときは、作業を休止する、錆などの除去を目的とする程度のブラストと所定の除錆度と表面粗さを実現するためのブラストの2回投射にする、などの変更を行うのがよい。
- 5 3) 作業員の安全確保のために、作業員の服装および作業時の合図などの連絡方法を事前に徹底しておく必要がある。
  - a) 作業員の肌が露出しないよう防護マスクと保護服を着用して、身体への研削材の衝突を防止する。(図-解 3.2.5 を参照)
  - b) 作業中は集塵機を常時作動させ、発生した粉塵を吸引・収集する。作業後も床面に堆積した研削材や塵を回収して施工ヤードを清掃する。
  - c) ブラストノズルを操作する作業員とブラスト機本体の作業員は、研削材の噴射開始および停止などの連絡（合図）の方法をあらかじめ取り決めておき、意思疎通の不足による事故を防止する。
- 4) 施工中は機器の周辺や民家側の境界部に防音シートを設置し、低騒音化に努める。
- 15 5) 入念な研削材の投射を行っても、作業後の素地面の管理が不十分であれば、金属溶射時に良好な状態が得られないことになる。素地面の付着物の除去はエアブローあるいはワイヤブラシによって除去する、ブラスト後の素地面を素手あるいは軍手で触れないようにする、などブラスト後に不純物が付着しないように注意する必要がある。

### 3.2.3 金属溶射

#### (1) 施工の基本

1) 金属溶射は、次のいずれの状態にも該当しない場合にのみ実施可能とする。

- ① 気温が 5°C 未満であるとき
- ② 溶射対象部材の表面温度が露点より 3°C 以上高くないとき
- ③ 相対湿度が 85% 以上のとき
- ④ 降雨、降雪または結露などにより溶射対象面が湿潤状態にあるとき
- ⑤ 2.2 節(1)の表-2.2.1 および表-2.2.2 に示す除錆度・粗さの素地調整が行われていない状態
- ⑥ 素地面の清浄度が確保できていない状態
- ⑦ 素地面の塩分付着量が NaCl 換算で 50 mg/m<sup>2</sup> 以上のとき

2) 金属溶射は、素地調整後 4 時間以内に行うことを原則とする。

#### (2) 使用材料

溶射に使用する線材は、JIS H 4040「アルミニウム及びアルミニウム合金の棒及び線」の合金番号 5056 とする。

#### (3) 施工内容および品質目標

1) 溶射作業中は、溶射対象面と溶射ガンの距離および溶射ガンの向きを適切な範囲に保つようにする。

2) 溶射作業中の部材表面は常に清浄な状態に保つようにする。

3) 溶射の繋ぎ施工部に金属皮膜の不連続部分が生じないように、前施工時に封孔処理剤の無い金属皮膜のみの範囲を設け、後施工の際にはこの範囲と鋼素地の範囲に溶射を行い、前施工で封孔処理済みの範囲に金属皮膜が重ならないようにする。また、前施工の皮膜端部に異常が生じている場合には、適切な処置ののちに後施工に着手する。

#### (4) その他の留意点

1) 溶射ガンに用いる圧縮エアが常に清浄で乾燥した状態に保たれるように、機器の点検・整備を確実に行って異常が生じたまま施工しないようにする。

2) 溶射線材が溶射ガンノズルに良好に供給されているかを確認する。

3) 溶射皮膜の表面状態に注意を払い、付着物の除去も慎重かつ確実に行う。

4) 作業員の安全が確保できる服装および設備を確実に準備する。

#### 【解説】

(1) TAPS 工法で生成される溶射皮膜が所定の品質となるよう、溶射作業に着手可能な条件を示したものである。

1) JIS H 8300<sup>[3]</sup> および鋼道路橋防食便覧<sup>[4],[5]</sup> に準じて溶射開始の条件を列挙した。②の露点を知るためには、現地の気温と相対湿度から電卓あるいはパソコンなどを用いてやや煩雑な計算を必要とするので、資料 3 に溶射可能な部材表面の最低温度が簡易に把握できるグラフを掲載する。

2) JIS H 8300<sup>[3]</sup> および鋼道路橋防食便覧<sup>[6]</sup> に準じて、ブラスト後 4 時間以内の作業を原則とするが、天候の急変への対応による作業時間の変更あるいは機器の不調などを原因として 4 時間を超過する状況も想定される。このような場合には、溶射直前の素地面にターニング現象や有害物質の付着が生じていないことを入念に確認したうえで、溶射を行うこととする。

一方、ブラスト後4時間以内であっても、高温多湿な環境下ではターニング現象が発生することが予想され、除錆度 Sa 3 の素地面に比較的早期に点錆が発生した試験結果も報告されている<sup>[7]</sup>。これらのことから、金属溶射の実施にあたってはブラスト後の経過時間のみにとらわれず、ブラストから溶射までの気温・湿度の推移と素地面の状態に、常に注意を払うことが重要である。

(2) 溶射に使用する線材は、JIS H 8261「溶射用の線材、棒材およびコード材」の記号 AlMg5 の成分規定を満足しなければならない。TAPS 工法で使用する JIS H 4040 の合金番号 5056 の化学成分の規定値を表-解 3.2.1 に示す。これは JIS H 8261 の溶射用アルミニウム合金 AlMg5 の規定値と同一である。

表-解 3.2.1 TAPS 工法で用いるアルミニウム合金の化学成分

[単位：質量%]									
合金番号	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	その他	Al
5056	0.30 以下	0.40 以下	0.10 以下	0.05 ~0.20	4.5 ~5.6	0.05 ~0.20	0.10 以下	個々：0.05 以下 合計：0.15 以下	残部

10 [最新規格情報] JIS H 8261：2007年12月，JIS H 4040：2015年11月。

(3) 施工内容と品質

1) 良好な溶射皮膜が形成できるように、TAPS 溶射ガンのノズル先端と対象面との距離を3~20cm に、ノズルからの溶射金属の噴出方向と対象面との角度を35°以上に、それぞれ保ちながら溶射を行う。

15 2) 溶射作業中に付着したスパッタを放置して作業を継続すると、生成される皮膜が局部的にポーラスな組織となって皮膜の耐久性や鋼素地との密着性に悪影響を及ぼすことから、このような有害物を確実に取り除きながら溶射を行う必要がある。

3) 封孔処理済みの前施工部分に後施工の金属皮膜が

20 重ならないように、図-解 3.2.6 に示す施工手順で繋

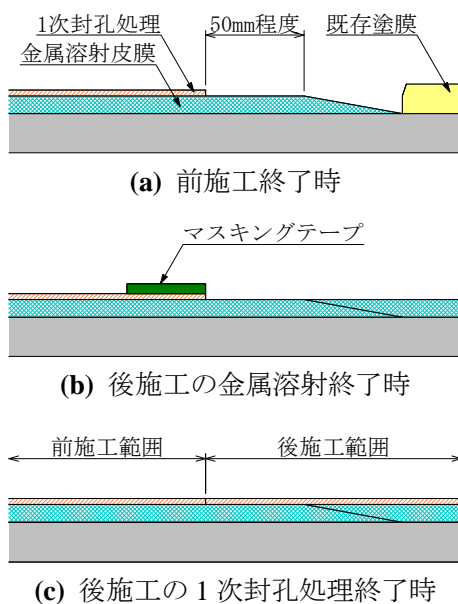


図-解 3.2.6 溶射の繋ぎ施工部のイメージ



図-解 3.2.7(a) 前施工部の皮膜剥離位置に溶射を重ねた不具合事例(その1)



図-解 3.2.7(b) 同上(その2)

ぎ施工を行う。また、前施工部分で剥離している皮膜はあらかじめブラストにて除去してから後施工に着手しなければならない。前施工部分の皮膜に剥離が生じたまま、後施工の溶射を行った不具合事例を図-解 3.2.7 に示す。

(4) その他の留意点

- 5 1) コンプレッサから供給される圧縮エアにはオイルミストや水分が混入しており、これらが素地面に汚れとして付着したり、ガントーチ内でのショートの原因となることから、圧縮エアの供給路にエアドライヤーなどを設けてエアの清浄化と乾燥を行う。  
エア供給設備のほかに、ガントーチの異常も施工不良の原因となる。エアーノズルの噴出孔の変形、トーチ本体やトーチ固定部品の亀裂、異物の付着が生じていないことを点検したう
- 10 2) 金属溶射の本施工の前に、溶射ガンのワイヤ通路部分に線材が円滑に供給されていること、ノズルから現れた線材に折れなどが生じていないことを試運転にて確認し、線材がノズルの噴出孔（プラズマガス）の中心に安定した速度で供給されるようにする。
- 15 3) 溶射ガンによる熔融金属の吹付け時だけでなく、生成された皮膜の取り扱いに十分配慮し、犠牲防食効果を阻害しないようにする必要がある。溶射皮膜の表面を素手あるいは軍手で触れる、工具・器具類で溶射皮膜を傷つける、などが生じないようにするとともに、皮膜の付着物はエアーブローあるいはスクレーパーなどによって除去するなどの注意が必要である。
- 20 4) 金属溶射の施工中は、溶射ガンから高温のプラズマガスが噴出される状態が継続しており、作業員の安全確保に細心の注意を払う必要がある。熔融金属による火傷防止のために肌が露出しない服装とし、空気中を浮遊する熔融金属や粉塵を吸引しないように防護マスクの着用を徹底する。また、気密性や遮光性の高い足場内での溶射作業であるため、換気設備および照明設備を必ず準備しなければならない。

### 3.2.4 封孔処理

#### (1) 施工の基本

- 1) 封孔処理は、それぞれの目的に合致するように1次封孔処理と2次封孔処理の2回に分けて行う。
- 2) 1次封孔処理および2次封孔処理は、2.2節(1)の表-2.2.1および表-2.2.2に示す施工間隔に従って実施することを原則とする。
- 3) 2次封孔処理は、素地調整から1次封孔処理までの作業とは別の日に、複数の施工単位をまとめて実施することを標準とする。

#### (2) 使用材料および塗布前の調整

- 1) 封孔処理剤にはアクリルシリコン樹脂塗料を用い、用途および作業環境に適するように希釈したものを塗布する。
- 2) 溶射皮膜への塗布直前に材料調整（攪拌・希釈・調合）を適切に行う。

#### (3) 施工内容および品質目標

- 1) 溶射皮膜表面の清浄度が確保されていることを確認してから、塗布作業に着手する。
- 2) 1次封孔処理では、溶射皮膜へ塗料を十分に含浸させるように塗布する。
- 3) 繋ぎ施工部では、前施工範囲の1次封孔処理部分に50mm以上の重ね塗りとなるように、後施工範囲の1次封孔処理を行う。

#### (4) その他の留意点

- 1) 刷毛あるいはローラーを用いて、封孔処理部分に擦れ、垂れ、気泡などが生じないように丁寧に施工する。
- 2) 封孔処理剤塗布後の表面状態に注意を払い、付着物の除去も慎重かつ確実に行う。
- 3) 封孔処理の仕上がり状態の確認は、できるだけ多人数で実施し、不良部分の見落としが生じないようにする。
- 4) 作業員の安全が確保できる服装および設備を確実に準備する。

### 【解説】

#### (1) 施工の基本

1) 封孔処理とは、溶射皮膜の耐久性を高めること、皮膜表面の汚れを防止することなどを目的として行う溶射皮膜への後処理である。1次封孔処理は、主に開口気孔を塞ぐことによって皮膜の耐久性を確保するために行われるもので、開口気孔へ確実に含浸させることが重要である。2次封孔処理は、主に皮膜表面の汚れを防止したり、外部からの腐食因子の進入を防ぐものであるから、形成される塗膜の緻密性や1次封孔処理面との密着性が求められる。

2) 金属溶射の終了直後から金属皮膜の気孔内に水蒸気が進入して結露し、溶射粒子間に腐食生成物が生じ始める。溶射から封孔処理までに時間が経過するほど腐食生成物は増加し、その後に封孔処理を行っても皮膜内への十分な含浸は望めず、金属皮膜の表面付近で膜状に硬化する傾向がある。したがって、金属溶射から7時間以内に1次封孔処理を実施することを原則とした。

1次封孔処理後の時間経過に伴って2次封孔処理剤との密着性が減少するが、その一方、1次封孔処理部分が完全に乾燥していない状態で2次封孔処理を実施することは、施工性や塗料の各層の性能に悪影響が及ぶ恐れがある。よって、1次封孔処理から4時間以上経過し、かつ

30日以内に2次封孔処理を実施することを原則とした。なお、重ね塗りの施工間隔を延長せざるを得ない場合には、その経過時間・環境での密着性を別途確認したうえで施工する、あるいは所定の施工間隔になるよう作業計画を変更する、などの処置が必要である。

(2) 使用材料および塗布前の調整

5 1) これまで行った複合サイクル試験や試験施工の結果に基づき、1次封孔処理および2次封孔処理には「リリカタイトエナメル」を用いる。この塗料の仕様を表-解 3.2.2 に示す。なお、この塗料の重ね塗りの時間間隔のメーカー推奨は1時間以上・7日以内であるが、これまでの現地施工において封孔処理部分に層間剥離が確認されていないことを考慮に入れて、作業効率の確保のために施工間隔を30日以内まで許容している。

10 2) 良好な環境で保管されていた塗料を用い、直前に攪拌・希釈・調合の材料調整によって塗料の性質を整えてから塗布作業を行う。

a) 保管状態

15 製造後1年以内で、かつ冷暗所に保管されていたものを用いる。

b) 攪拌

塗料中で顔料が沈殿している場合があるので、機器を用いて十分に攪拌し、均一な状態にする。

c) 希釈

20 封孔処理の用途と作業環境に合うよう、専用のシンナーを用いて希釈する。1次封孔処理剤としては、ミストコートに適するように塗料重量の50%のシンナーを添加する。2次封孔処理剤としては10%のシンナー添加を基本とし、気温や材料温度に応じて5%~15%の範囲で調整して、刷毛塗りに適した粘度とする。

d) 調合

30 主剤と硬化剤が所定の重量比(100:7.14)で混合された塗料が、その日の使用量に仕上がるように計量と攪拌をその都度行う。攪拌後の可使用時間は5時間である。

(3) 施工内容と品質目標

3) 前施工範囲に後施工で1次封孔処理を重ね塗りする手順は、図-解 3.2.6 のとおりである。

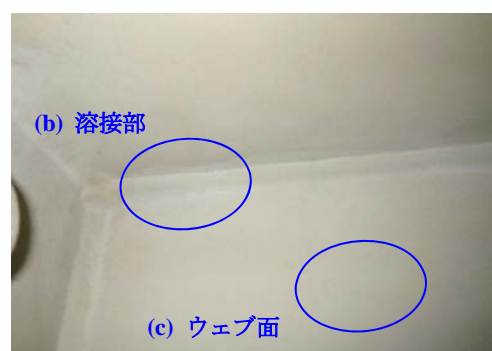
35 (4) その他の留意点

1) 図-解 3.2.8 および図-解 3.2.9 は封孔処理における施工不良部分の例である。

2) 封孔処理作業はやや大きな範囲を、素地調整や金属溶射に比べて短時間で実施するものであるため、仕

表-解 3.2.2 封孔処理剤の仕様

製品名	リリカタイトエナメル
種類	アクリルシリコン樹脂塗料
適合規格	日本建築学会 建築工事標準仕様書 JASS 18 M-404
塗布方法	刷毛、ローラー
塗布量	1次封孔処理：125 g/m <sup>2</sup> 以上 2次封孔処理：125 g/m <sup>2</sup> 以上
希釈率	1次封孔処理：50% 2次封孔処理：0~10%



(b) 溶接部における<sup>むら</sup>斑



図-解 3.2.8 封孔処理剤の塗り<sup>むら</sup>斑の事例

上がり状態を作業担当者のみで確認して不良部分の見落としが生じることのないよう、現地作業者全員で確認するとともに、管理者が全体を通して最終的な確認を行う。

- 5 3) 金属溶射と同様に、シンナーの使用などに対する作業員の安全確保に細心の注意を払う必要があり、防護マスクの着用を徹底する。足場内での換気設備および照明設備の準備も金属溶射の場合と同様である。



**図-解 3.2.9** コバ部における封孔処理の施工漏れの事例

### 3.3 品質管理および施工不良部の補修

#### 3.3.1 品質検査と補修の流れ

(1) 品質を管理するための品質検査は「作業着手前の事前確認試験」と「現地検査」によるものとし、施工結果が品質基準を満足しない場合の補修とともに、**図-3.3.1**に示す基本的な流れに従つ

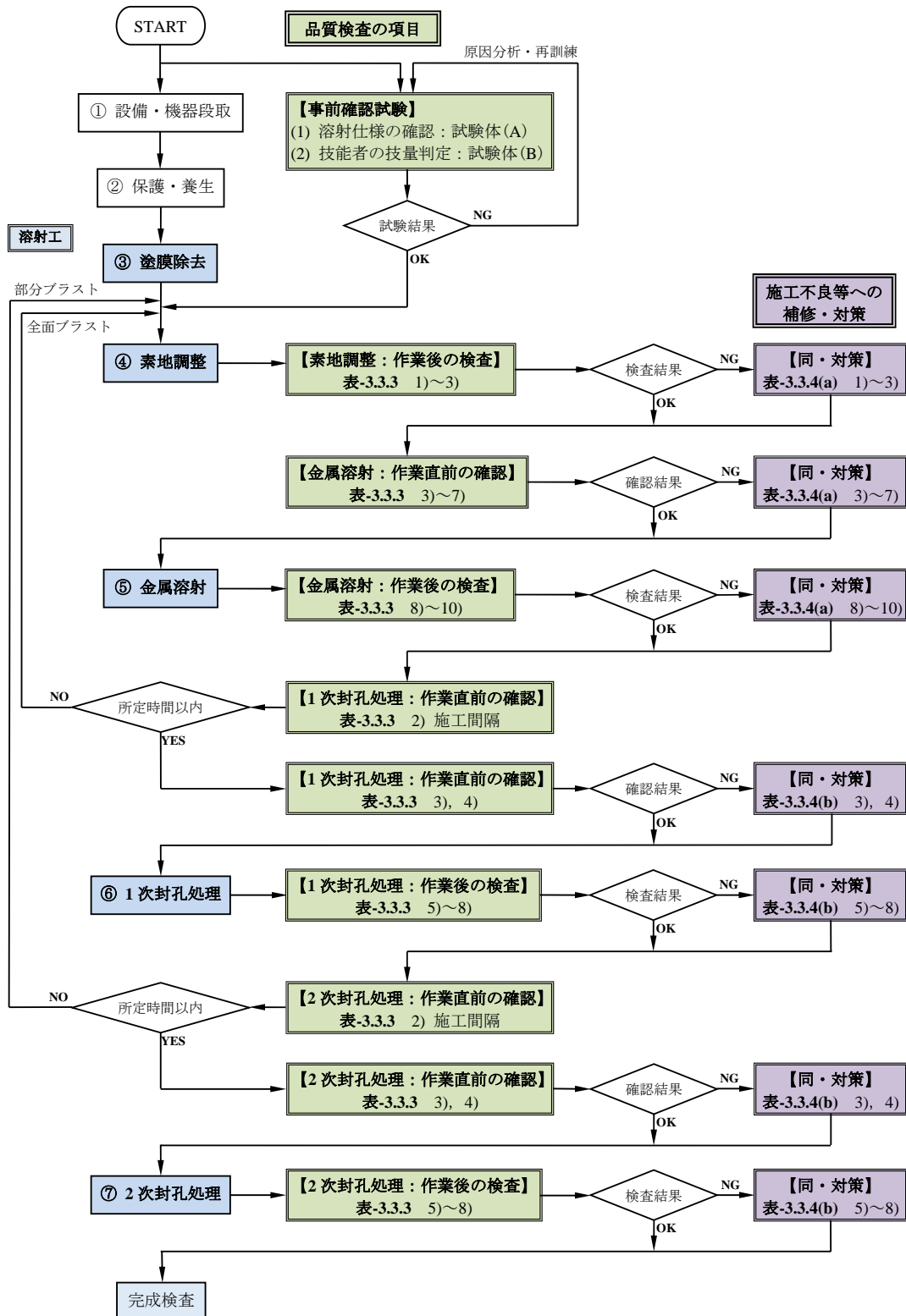


図-3.3.1 TAPS 工法による溶射工における品質検査・補修のフローチャート

て実施する。

(2) 素地調整から2次封孔処理までの各工程における現地検査は、全ての施工日に実施する。ただし、次に示す現地検査は図-3.3.1のフローとは別に、時機に応じて実施する。

① 使用材料の確認 …………… 着工前

② 塩分付着量の確認 …………… 金属溶射開始までのいずれかの時機

③ 材料使用量の確認 …………… 封孔処理作業の完了時

(3) 図-3.3.1に示す現地検査のほか、気象確認を随時実施して、必要な条件を満足していることを確認しながら施工を進める。

## 10 【解説】

(1) 工種ごとに「現地検査と結果に応じた補修・対策」を繰り返しながら次工程に移る基本的な流れを示した。

図-3.3.1において“素地調整からのやり直し”が示されているのは、施工間隔が所定時間を満足しなかった次の2ケースである。

15 ・1次封孔処理：当日の金属溶射範囲の全面ブラスト

・2次封孔処理：所定時間を超過している1次封孔処理範囲のブラスト（部分ブラスト）

このほかの“不良部分に対する局所的な素地調整からのやり直し”は、工種ごとの「補修・対策」に含まれている。

(2) 現地検査を全ての施工日に実施することを基本とするが、時機に応じて実施する項目を示した。

20 なお、塩分付着量は金属溶射開始直前の時点で基準値を満足している必要があり、付着量の確認は、確認後の付着量の増加の有無を見込んで、適切な時機に実施することに注意が必要である。以下、本マニュアルの一覧表などでは、便宜的に「金属溶射の作業直前」の検査項目に含める。

(3) 溶射工の対象面の状態のほかに、作業日の気象条件も、形成される溶射皮膜の品質に大きな影響を及ぼすことに注意が必要である。

### 3.3.2 事前確認試験

#### (1) 適用の基本

TAPS 工法による溶射の現地着手前に、溶射仕様の確認と従事予定の技能者の技量判定のために事前確認試験を行う。ただし、従事予定者が次のいずれかの条件を満たしている場合には、その試験結果の提出を以て試験体(B)の作製と技能試験を省略することができる。

- ① 直近 1 年以内に実施された TAPS 工法による溶射工事の従事技能者として、事前確認試験に合格している場合
- ② 直近 1 年以内に事前確認試験に合格している場合

#### (2) 試験項目および試験体の種類・作製方法

- 1) 事前確認試験では次の試験を実施する。各試験の方法と判定基準は表-3.3.1 のとおりとする。
- ① 外観試験 …………… ブラスト後の素地面、金属皮膜の表面、封孔処理後の表面の状態をそれぞれ目視で確認する。
  - ② 素地粗さ試験 …… 素地面の粗さを機器を用いて測定する。
  - ③ 皮膜厚さ試験 …… 金属皮膜の厚さを機器を用いて測定する。
  - ④ 密着性試験 ……… 金属皮膜と鋼素地との密着強度を機器を用いて測定する。
- 2) 試験体には、溶射仕様の確認に用いる試験体(A)と技能者の技量確認に用いる試験体(B)の区分があり、試験体(A)は用途と試験項目に応じて、試験体(A-1)、試験体(A-2)および試験体(A-3)の3種類を作製する。
- 3) 試験体の諸元・仕様と作製方法は、表-3.3.2 および図-3.3.2 のとおりとし、これら全てを原則として監督員立会いにより作製する。試験体(A-1)は2次封孔処理ののちに監督員に提出し、試験体(A-2)は標準見本板として溶射作業時に常備する。

#### (3) 試験結果の報告

表-3.3.2 の合否判定に基づく試験結果を所定の様式により監督員に報告する。

表-3.3.1 試験方法と判定基準

試験項目	試験方法・規格	判定基準
外観試験	1) ISO 8501-1	1) 鋼素地の除錆度が Sa 3 であること。 2) 皮膜に膨れ、割れ、スパッタなど、性能に悪影響を及ぼす欠陥が無いこと。
素地粗さ試験	JIS B 0601	算術平均粗さ Ra が 8 μm 以上、かつ最大高さ粗さ Rz が 50 μm 以上であること。
皮膜厚さ試験	JIS H 8401	皮膜厚さが 100 μm 以上・300 μm 以下であること。
密着性試験	JIS H 8300 (A 法)	引張密着強度が 4.5 N/mm <sup>2</sup> 以上であること。

表-3.3.2 試験体の諸元・用途と作製方法

試験体 区分	記号	寸法 (mm) および材質	作製数	用途	試験項目				作製方法
					①	②	③	④	
試験体(A)	A-1	150×300 ×3.2 [SS400]	1 体/1 工事	監督員提出	○	○	○	—	片面をブラストしたのち、長手方向を4等分して、 i)ブラストのみ、ii)金属溶射まで、iii)1次封孔処理 まで、iv)2次封孔処理まで、の4種類に仕上げる。
	A-2		1 体/1 工事	標準見本板	○	○	○	—	
	A-3	1 体/1 工事	破壊試験	○	○	○	○	片面をブラストしたのち金属溶射に仕上げる。	
試験体(B)	B	150×300×6 [SS400]	1 体/1 技能者	技能試験	○	○	○	○	片面をブラストしたのち、長手方向の100mmを ブラストのみ、200mmを金属溶射まで、に仕上げる。

[試験項目別の測定回数・合否判定]

- ① 外観試験 …………… 限度見本帳 (ISO 8501-1) などと対比して、外観上の不具合が無いこと。
- ② 素地粗さ試験 …………… 1 体につき 5 点で測定し、全点で基準値を満足していること。
- ③ 皮膜厚さ試験 …………… 1 体につき 5 点で測定し、全点で基準値を満足していること。
- ④ 密着性試験 …………… 1 体につき 4 点で測定し、全点で基準値を満足していること。

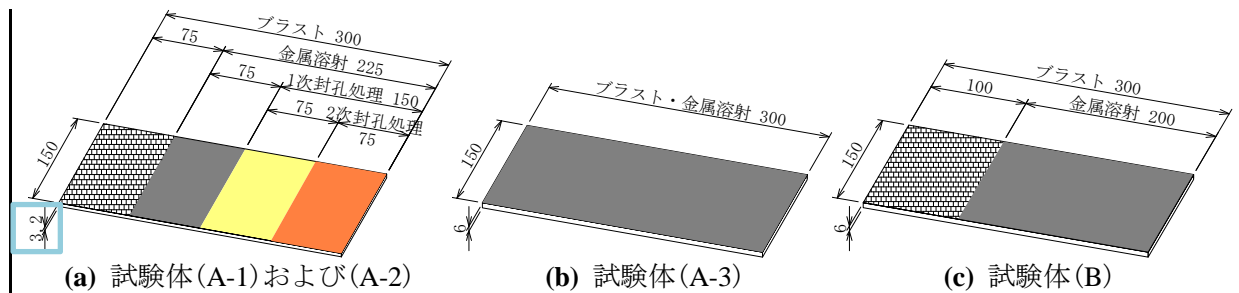


図-3.3.2 試験体の仕様

(4) 不合格時の分析・報告

各試験において不合格となった場合には、原因を分析して監督員に報告し、再試験を実施する。

【解説】

5 (1) 従事を予定している技能者の技量を、試験体(B)の作製とそれを用いた非破壊試験および破壊試験で確認したうえで現地に配置することが原則であるが、従事予定者が過去1年以内の試験合格実績あるいは現地作業実績を有している場合には技量が保たれているものとみなす。これに加えて、従事予定者が3.5節に示す要件を満足する技能者であること、同じく3.5節に示す技術者の管理のもとで品質確保が可能な施工体制であることを考慮に入れて、技量確認を省略できるものと

10 した。

(2) 事前確認試験のうち、ブラストおよび金属溶射に関する実施状況を示す。

1) ブラストに関する試験状況

所定寸法の基材に現地使用予定の種類研削材を用いて直圧式ブラストを実施し(図-解3.3.1)、鋼素地仕上がりを確認するために外観試験と素地粗さ試験それぞれ行う。

15

外観試験では、限度見本帳(ISO 8501-1)との対により除錆度Sa3相当であることを目視で確認する(図-解3.3.2)。

20

素地粗さ試験では、触針式表面粗さ計の測定値が準値を満足していることを確認する(図-解3.3.3)。

限度見本帳および触針式粗さ計の写真は、3.3.3項



図-解 3.3.1 ブラストの状況  
(現地使用予定の研削材を用いる)に



図-解 3.3.2 鋼素地の外観試験  
(限度見本帳との対比)



図-解 3.3.3 素地粗さの測定  
(触針式表面粗さ計による)

それぞれ示した。

2) 金属溶射に関する試験状況

ブラストに関する試験後の試験体に対して、TAPS 溶射装置を用いて Al-Mg 合金溶射を行い (図-解 3.3.4)、皮膜厚さ試験と密着性試験をそれぞれ行う。

- 5 皮膜厚さ試験は、電磁式膜厚計による測定値が基準値を満足することを確認する (図-解 3.3.5)。引張密着性試験は図-解 3.3.6 に示す試験機を用いて行い、破壊試験結果が基準値を満足することを確認する。

引張密着性試験に用いるジグは、 $\phi 25\text{mm}$  を用いることを基本とする。このジグにより引張密着強度が基準値に等しいときの引張荷重値は、2209 N である。図-解 3.3.7 は4点の試験が終了した試験体の状況である。

10

電磁式膜厚計の一例は、3.3.3 項 (図-3.3.6) に示した。



図-解 3.3.4 Al-Mg 合金溶射の状況 (TAPS 溶射装置による)



図-解 3.3.5 溶射皮膜厚さの測定 (電磁式膜厚計による)



図-解 3.3.6 引張密着性試験機



図-解 3.3.7 引張密着性試験後の試験体

### 3.3.3 現地検査および気象確認

- (1) 現地検査および施工日の気象確認を表-3.3.3のとおり実施する。作業後の品質が基準を満足しない場合には、3.3.4項に従って補修等の是正作業を行う。また、施工対象面の作業前の状態が基準を満足していない場合には、施工対象面の状態改善作業を行ったうえで本施工に着手し、気象等が必要な条件を満足していない場合には、それらが回復したのちに本施工に着手する。
- (2) 目視による検査は次の要領で行う。

表-3.3.3 現地検査と気象確認の項目一覧

工程・気象	検査項目・確認項目		検査・確認方法			測定・確認方法および判定基準・作業可能条件	
			時機	密度・頻度	手段		
素地調整	作業後	1) 除錆度	◎	施工面全域	目視判定	限度見本帳および標準見本板との対比：Sa 3	
		2) 素地外観	◎	同上	同上	・標準見本板との対比：同等以上 ・施工漏れの無いこと	
		3) 素地粗さ	◎	5点/日以上 ・研削材の ロット変更時	機器測定	一般部位・狭隘部で全ての姿勢の施工面を対象。 ・触針式表面粗さ計：Ra $\geq$ 8 $\mu$ m, Rz $\geq$ 50 $\mu$ m ・レーザー散乱光粗さ計：「青赤同時点灯」以上	
金属溶射	準備工	1) 使用材料の確認	着工前	受入れ毎	書類確認	品質証明書等：材料規格の適合・有効期限内	
		2) 素地の塩分付着量	適時	適度	測定等	NaCl換算値で50mg/m <sup>2</sup> 未満	
	(a) 作業直前	3) 施工間隔	◎	施工面全域	計時	素地調整後、原則4時間以内	
		4) 除錆度	◎	同上	目視判定	錆などが生じていないこと	
		5) 素地の清浄度	◎	同上	同上	埃や油脂などが付着していないこと	
		6) 結露の有無	◎	同上	同上	結露が生じていないこと	
		7) 部材表面温度	◎	午前・午後 各1回	表面 温度計	露点より3℃以上高いこと	
		(b) 作業後	8) 皮膜厚	◎	5点/日 以上	機器測定	一般部位・狭隘部で全ての姿勢の施工面を対象。 ・電磁式膜厚計：100 $\mu$ m以上
	9) 皮膜の外観		◎	施工面全域	目視判定	・標準見本板との対比：スパッタ、膨れ、割れなどが 無いこと ・施工漏れの無いこと	
	10) 密着性		◎	1回/部材	テープテスト	金属皮膜の剥れが無いこと、異物の付着が無いこと	
1) 使用材料の確認	着工前		受入れ毎	書類確認	品質証明書等：材料規格の適合・有効期限内		
1次封孔 処理	準備工	2) 施工間隔	◎	施工面全域	計時	金属溶射後、原則7時間以内	
		(a) 作業直前	3) 金属皮膜の清浄度	◎	同上	目視判定	埃や油脂などが付着していないこと
	4) 結露の有無		◎	同上	同上	結露が生じていないこと	
	(b) 作業後		5) 表面の外観	◎	同上	同上	・標準見本板との対比：塗料の垂れ、気泡、著しい色 斑などが無いこと ・施工漏れの無いこと
			6) 乾燥度合	◎	同上	指触確認	塗料の保証乾燥時間後に指で強く押す：粘着性の消失
			7) 密着性	◎	1回/部材	テープテスト	塗料の剥れやテープへの付着物が無いこと
			8) 材料の使用量	完了後	—	計量ほか	空缶数・残量確認：標準量以上の使用
	2次封孔 処理	準備工	1) 使用材料の確認	着工前	受入れ毎	書類確認	(1次封孔処理に同じ)
(a) 作業直前			2) 施工間隔	◎	施工面全域	計時	1次封孔処理後、原則24時間以上・30日以内
		3) 1次処理面の清浄度	◎	同上	目視判定	(1次封孔処理に同じ)	
		4) 結露の有無	◎	同上	同上	(1次封孔処理に同じ)	
		(b) 作業後	5) 表面の外観	◎	同上	同上	(1次封孔処理に同じ)
			6) 乾燥度合	◎	同上	指触確認	(1次封孔処理に同じ)
			7) 密着性	◎	1回/部材	テープテスト	(1次封孔処理に同じ)
8) 材料の使用量			完了後	—	計量ほか	(1次封孔処理に同じ)	
気象	日常	1) 天気	◎	午前・午後 各1回	目視・ 予報	作業前に降雨・降雪および強風が無いこと。ただし、 防護内作業は結露の恐れが無ければ実施可能とする。	
		2) 気温	◎	同上	気温計	・金属溶射：5℃以上 ・封孔処理：塗料の可使範囲内	
		3) 湿度	◎	同上	湿度計	・金属溶射：85%未満 ・封孔処理：塗料の乾燥時間の影響範囲内	
		4) 露点	◎	同上	露点表等	(金属溶射が可能な部材表面温度の算出に使用)	

- [注記] 1) 「時機」欄の◎印は、当該工種を実施する全ての施工日に実施することを示す。  
2) 「標準見本板」とは、事前確認試験で作製した「試験体(A-2)」のことである。

1) 除錆度の判定 [素地調整：作業後]

鋼素地面の状態を限度見本帳（**図-3.3.3**）と比較し，Sa 3 に該当していることを確認する。

2) 清浄度の判定 [全ての工程：作業の前後]

標準見本板などと対比して同等以上の状態であることや，埃，油脂などの汚れ・不純物の付着が無いことを確認する。

(3) 機器測定による検査は次の要領で行う。

1) 素地粗さの測定 [素地調整：作業後]

a) 鋼素地の粗さの測定は，触針式表面粗さ計（**図-3.3.4**）を用いて行い，機器からの出力値のうち，JIS B 0601 で定義されている算術平均粗さ（Ra）と最大高さ粗さ（Rz）がそれぞれ基準値を満足していることを確認する。

b) レーザー散乱光粗さ計（**図-3.3.5**）を触針式表面粗さ計と併用する。コントローラーの LED ランプの表示が，青色点灯あるいは青赤同時点灯であることを確認する。

c) 素地粗さは，触針式表面粗さ計による検査とレーザー散乱光粗さ計による検査の両方で規定を満足したときを合格とする。

d) 素地粗さの測定は，施工日ごとのほかに，ブラスト機に投入する研削材のロットが変更となった場合も実施する。ロット変更後の初回投入時も施工日ごとと同様に 5 点以上を測定し，ロット変更によって素地面の仕上がりの著しい変化が生じていないことを確認する。

2) 塩分付着量 [金属溶射：作業直前までのいずれかの段階]

塩分の付着量を，① 電導度法，② ガーゼ拭き取り法，③ ブレッセル法，のいずれかの方法によって測定し，許容値未満であることを確認する。

3) 金属皮膜厚の測定 [金属溶射：作業後]

金属皮膜の厚さを電磁式膜厚計（**図-3.3.6**）によって測定し，一般部あるいは摩擦接合の接触



**図-3.3.3** 限度見本帳（表紙）



**図-3.3.4** 触針式表面粗さ計の例



**図-3.3.5** レーザー散乱光粗さ計



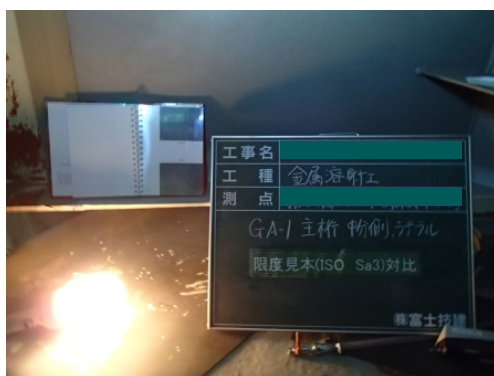
**図-3.3.6** 電磁式膜厚計の例

面などの仕様に応じた基準値を満足していることを確認する。

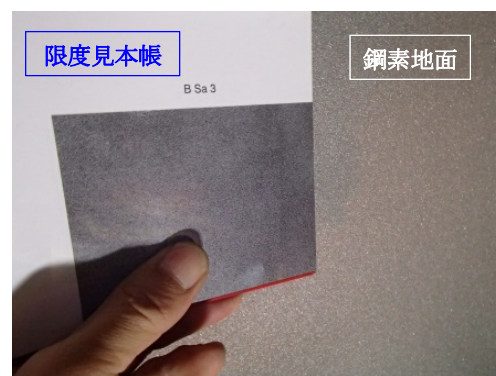
- (4) 金属皮膜および封孔処理剤後の皮膜に対する密着性試験は、JIS Z 1524「包装用布粘着テープ」に規定される性能を有するテープを用いて行う。

## 5 【解説】

- (1) 現地作業により形成される金属皮膜の密着強度が  $4.5 \text{ N/mm}^2$  以上となっていることを検証する必要があるが、TAPS 溶射装置による十分な施工実績を有し、3.5 節に示す要件を満たす技術者が、同じく 3.5 節に示す教育・指導能力を有する技術者のもとで作業する場合には、皮膜の破壊試験を省略できるものとする。
- 10 気象確認は所定の施工結果を得るために実施するほか、作業能率の確保や作業者の健康の面からも重要な事項である。
- (2) 目視による検査のうち、素地調整後に実施する限度見本帳を用いた除錆度の確認状況を図-解 3.3.8 に示す。
- (3) 機器測定による検査
- 15 1) 素地調整後に実施する素地粗さの測定のうち、触針式表面粗さ計を用いる粗さの測定状況を図-解 3.3.9 に、レーザー粗さ計による測定状況を図-解 3.3.10 にそれぞれ示す。
- 2) 塩分の付着量の測定方法の詳細は、鋼道路橋防食便覧の付属資料<sup>[8]</sup>を参照のこと。
- 3) 金属皮膜厚の測定状況を図-解 3.3.11 に示す。



(a) ブラスト後の素地面と限度見本帳の対比

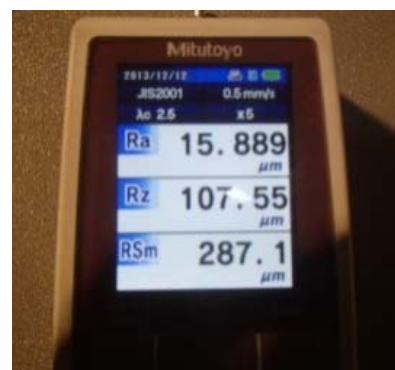


(b) 同・拡大

図-解 3.3.8 鋼素地面の除錆度の確認状況



(a) 粗さ (Ra および Rz) の測定

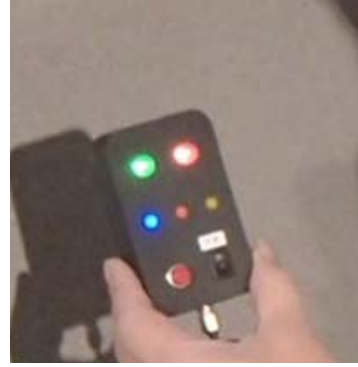


(b) 測定値のディスプレイ表示

図-解 3.3.9 触針式表面粗さ計による測定状況



(a) 測定状況



(b) LED ランプの点灯状況

図-解 3.3.10 レーザー散乱光粗さ計による測定状況



(a) 測定状況



(b) 測定値のディスプレイ表示

図-解 3.3.11 電磁式膜厚計による金属皮膜厚の測定状況

(4) JIS Z 1524 の性能規定 (表-解 3.3.1) を満足するよう、3.00 (N/10mm)の粘着力を有する幅 50mm の布粘着テープを密着性試験に使用する。試験の状況を図-解 3.3.12 に示す。

[最新規格情報] JIS Z 1524 : 2009 年 12 月

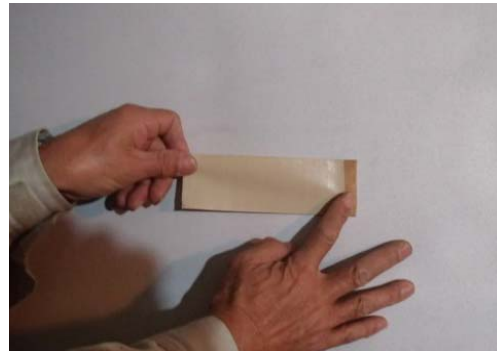
表-解 3.3.1 布粘着テープの性能規定 (JIS Z 1524)

試験項目		種類	1 種		
			1 号 [C1-1]	2 号 [C1-2]	3 号 [C1-3]
粘着力 (N/10mm)	常態		2.00 以上		
	促進保存性処理後		2.00 以上		
引張強さ (N/10mm)	常態		59.0 以上		35.0 以上
	浸水処理後		59.0 以上	29.0 以上	17.0 以上
引裂強さ (軸方向)	(N)		4.40 以上	—	—
透湿度	(g/m <sup>2</sup> ・24h)		20 以下		
透水性	(g/m <sup>2</sup> ・24h)		250 以下	—	—
保持力	(mm)		3.5 以下		
巻戻し力	(N/10mm)		12.0 以下		

注記：種類の号番の下の [ ] 内は記号を示す。



(a) 粘着テープによる密着性試験



(b) 同・拡大

図-解 3.3.12 テープテストによる密着性試験の状況 (封孔処理面の検査例)

### 3.3.4 施工不良部の補修および作業前の改善対策

- (1) 品質基準を満足しない施工結果となったときは表-3.3.4(a)および表-3.3.4(b)に示す補修を行い、補修後の状態を再度検査して基準を満たしていることを確認したうえで、次の工程に着手する。
- 5 (2) 作業直前の対象面の状態が所定の条件を満足していないときには、同様に表-3.3.4(a)および表-3.3.4(b)に示す改善対策を行ったうえで、作業に着手する。

表-3.3.4(a) 補修等の対策一覧（その1：素地調整および金属溶射）

工程・気象	検査項目・確認項目	判定基準・作業可能条件を満足しない場合の補修・その他の対策		
素地調整	作業後	1) 除錆度	不良部分とその周辺に“素地調整の再施工”を実施。	
		2) 素地外観	不良部分に“素地調整の再施工”を実施。	
		3) 素地粗さ	a) ブラスト機の設定および研削材の粒度をそれぞれ確認し、機器の再設定や研削材の交換などの処置ののち、“素地調整の再施工”を実施。 b) レーザー散乱光粗さ計の測定結果のみが不合格（赤色点灯）の場合は、赤色点灯部分の粗さが所定値を満足していることを触針式表面粗さ計で確認し、かつ項目 1)および 2)を全て満足していれば、合格とみなしてよい。	
金属溶射	準備工	1) 使用材料の確認	規格適合・有効期限内の材料を新規手配。	
		2) 素地の塩分付着量	洗浄などによる塩分除去ののち、再度測定。	
	(a) 作業直前	3) 施工間隔	a) スイープブラストなどにより素地状態を整えることを原則とする。 b) 素地の状態が項目 4)～6)を全て満足しており、かつ金属溶射の終了時刻までに不適合状態へ悪化しない項目が無いことが明白な場合には、金属溶射の着手を検討してよい。	
		4) 除錆度	不良部分とその周辺に“素地調整の再施工”を実施。	
		5) 素地の清浄度	不良部分とその周辺に“素地調整の再施工”を実施。	
		6) 結露の有無	a) 項目 7)を満足している場合：露を除去してから金属溶射を開始。 b) 項目 7)を満足していない場合 ① 部材表面温度が露点より高いとき 露を除去してから、項目 7)の対策 b)を実施。 ② 部材表面温度が露点以下のとき 部材温度の自然上昇を待ち、所定温度に達したのち金属溶射を開始。なお、露の除去は適時に実施する。	
		7) 部材表面温度	a) 気温上昇や日射による部材温度の自然上昇で所定値に達するまで、金属溶射を開始しないことを原則とする。 b) 部材表面温度が露点より高い場合には、施工対象範囲をヒーターなどで加熱していったん『露点より 3℃以上高い状態』とし、加熱停止後の温度降下状況を確認する。金属溶射の終了時刻までに露点以下にならないことが明確な場合には、金属溶射の開始を検討してよい。それ以外は上記 a)に同じとする。	
		8) 皮膜厚	該当部分に“追加溶射”を実施。	
		(b) 作業後	9) 皮膜の外観	・スパッタ、膨れ、割れなど：ディスクサンダー、皮すき（スクレーパー）、サンドペーパーなどにより除去。 ① ディスクサンダーやサンドペーパーを用いたとき、あるいは除去後に鋼素地が露出するときは、該当部分とその周辺を「素地調整」からやり直す。 ② 除去後に鋼素地が露出せず、健全な皮膜で連続的に覆われているときは、残存皮膜厚などに応じて“追加溶射”を適宜実施。 ・施工漏れ：該当部分とその周辺に“追加溶射”を実施。
			10) 密着性	再ブラストで不良部分を除去する。 ① 皮膜が鋼素地から剥離しているときは「素地調整」からやり直す。周辺の皮膜にも除去作業の影響が及ぶ場合には、周辺部も補修対象とする。 ② 皮膜層内で剥離が生じているときは、剥離部分を完全に除去したのちに“追加溶射”を実施。

表-3.3.4(b) 補修等の対策一覧（その2：封孔処理および気象）

工程・気象	検査項目・確認項目	判定基準・作業可能条件を満足しない場合の補修・その他の対策	
1次封孔処理	準備工	1) 使用材料の確認 規格適合・有効期限内の材料を新規手配。	
	(a) 作業直前	2) 施工間隔 塗布対象範囲全てを「素地調整」からやり直す。	
		3) 金属皮膜の清浄度 汚れ・異物を拭き取る。完全に拭き取れないときは、金属皮膜の一部あるいは全厚をディスクサンダー、皮すき（スクレーパー）、サンドペーパーなどにより除去する。 ① 除去後に鋼素地が露出するときは、該当部分とその周辺を「素地調整」からやり直す。 ② 除去後に鋼素地が露出せず、健全な皮膜で連続的に覆われているときは、残存皮膜厚などに応じて“追加溶射”を適宜実施。	
		4) 結露の有無 露を除去する。封孔処理の終了時刻までに再び結露する恐れがある場合には、ヒーターなどで皮膜温度を保ちながら封孔処理を実施する。	
		5) 表面の外観 ・塗料の垂れ、気泡、色斑など：不良部分をエアブロー、サンドペーパーなどで除去してから、“追加封孔処理”を実施。 ・施工漏れ：該当部分とその周辺に“追加封孔処理”を実施。	
	(b) 作業後	6) 乾燥度合 不良部分をサンドペーパーなどで除去してから、“追加封孔処理”を実施。	
		7) 密着性 不良部分をサンドペーパーなどで除去してから、“追加封孔処理”を実施。	
		8) 材料の使用量 施工範囲全体を目視確認し、封孔処理の度合いが少ないと認められる範囲に“追加封孔処理”を実施。	
	2次封孔処理	準備工	1) 使用材料の確認 規格適合・有効期限内の材料を新規手配。
		(a) 作業直前	2) 施工間隔 所定時間を超過している範囲を「素地調整」からやり直す。
3) 1次処理面の清浄度 汚れ・異物を拭き取る。完全に拭き取れないときは、不良部分をサンドペーパーなどで除去し、1次封孔処理の塗膜減少分を補填するように2次封孔処理で増し塗りなどを行う。			
4) 結露の有無 (1次封孔処理に同じ)			
5) 表面の外観 (1次封孔処理に同じ)			
(b) 作業後		6) 乾燥度合 (1次封孔処理に同じ)	
		7) 密着性 (1次封孔処理に同じ)	
		8) 材料の使用量 (1次封孔処理に同じ)	
気象	日常	1) 天気 ・作業前であれば開始せず、作業中の急変であれば作業を中止する。 ・回復後に作業を開始する。	
	2) 気温 同上		
	3) 湿度 同上		

【解説】

品質基準を満足しない結果になったとき、および作業直前の対象面の状態が所定の条件を満足していないときの一般的な補修・対策を示したものであり、現地における構造物の状態、橋梁周辺の環境、当日の作業設備や他の作業との関係、作業員の配置・健康状態などを考慮に入れて適宜検討を行い、その都度適切な方法を選択することが重要である。

金属溶射の作業直前における“結露”への対策には「部材表面温度と露点の大小関係」も同時に関連することから、表3.3.4(a)のとおり「部材表面温度が“露点”より高いか」も対策選定の条件に加えた。この部分を抜き出して、「結露の有無」と「部材表面温度」に関する場合分けに整理したも

10 のが表-解3.3.2である。

表-解 3.3.2 結露の有無と部材表面温度に関する対策の選定一覧

項目 6) 結露の有無	項目 7) 部材表面温度		金属溶射の作業着手までの対策
	条件①： 結露が無い	条件②： 「露点+3℃」 より高い	
有る	高い	—	露を除去
有る	低い	高い	1) 露を除去 2) 条件②を満足する状態まで人工的に加熱 [項目 7)の対策 b)]
有る	低い	低い	・条件②を満足する状態になるまで待機 [項目 7)の対策 a)] ・露は適宜除去する
無い	低い	高い	条件②を満足する状態まで人工的に加熱 [項目 7)の対策 b)]
無い	低い	低い	条件②を満足する状態になるまで待機 [項目 7)の対策 a)]

注記：OKはその条件を満足する場合、NGは満足しない場合をそれぞれ示す。

### 3.3.5 品質記録および写真撮影

- 5 (1) 事前確認試験および品質検査の結果を所定の様式に記録し、それらを保管する。  
 (2) 事前確認試験、作業中・作業後、および品質検査に関して写真を撮影し、それらを保管する。

#### 【解説】

溶射工の一連の作業と品質検査の結果を確実に保存し、工事後の維持管理に有効な情報となるようにする。なお、ブラスト作業中の写真撮影は、研削材の飛散によって機器の故障・破損が生じる場合があるので、省略してもよい。

10

### 3.4 安全管理

関連法規および施主の基準等の規定を順守し、工種に応じた安全設備および作業者への指導により、安全管理を確実に行う。

5

#### 【解説】

TAPS 工法の各工種における主な安全対策には、次のようなものが挙げられる。

1) 素地調整工

a) 有害物を含む既設塗膜の事前除去 (2.5 節および 3.2.1 項を参照)

10 b) ブラストホース接続部の事前確認

2) 金属溶射工

・消火設備

このほかに、共通事項として次のものが挙げられる。

3) 共通事項

15 a) 保護具の着用

b) 熱中症対策

c) 作業足場内における火災対策

i) 粉塵爆発対策

ii) 可燃性物質の除去

20 d) 橋梁添架物 (通信ケーブル等) の破損防止

### 3.5 技術者の要件

TAPS 工法による溶射工の現場には、金属溶射に関する一般的な知識・技能・作業経験のほか、TAPS 溶射装置の操作・日常メンテナンスに関する基本的な知識および品質管理に関する知識を有し、ブラスト、金属溶射、封孔処理の各工程においてそれらを常実践できる技術者、ならびにそれらの事項を教育・指導できる技術者をそれぞれ配置する。

#### 【解説】

溶射皮膜の品質確保のためには、従事する技能者の自己管理だけではなく、日常作業には従事せず独立した立場から技能者を指導・管理できる技術者の配置が不可欠であるという認識に基づき、TAPS 工法研究会認定の資格を有する技術者を現場に配置するものとする。そして、資格を有しない一般の技能者はブラストおよび金属溶射の作業に従事できないものとする。

TAPS 工法研究会の認定する資格は、現在運用中の「金属溶射・品質管理に関する技術講習」を発展させるもので、その概要は表-解 3.5.1 のとおりである。これらの有資格者の現地配置を平成 30 年度以降に必須要件に設定できるよう準備中である。

表-解 3.5.1 TAPS 工法研究会の認定資格（予定）

資格の名称	位置付け	担当内容	保有資格・配置条件など
TAPS 工法 監理技術者	施工管理者 品質管理者 安全管理者	1) 溶射工事の計画、管理、品質検査 2) 品質記録の作成 3) 下位資格者および一般技能者に対する品質管理の教育・指導	a) 計画・管理・検査に専従する。 b) 溶射技能士（防食または肉盛）資格を有することを必須とする。 c) 1 現場に 1 名配置する。
TAPS 工法 一級技術者	作業責任者	1) ブラスト、金属溶射、封孔処理の各作業および作業後の出来形確認 2) 下位資格者および一般技能者に対する作業教育・指導	1 現場に 1 名以上配置する。
TAPS 工法 二級技術者	ブラスト作業者 溶射作業者	ブラスト、金属溶射、封孔処理の各作業	必要人数を配置する。

### 3.6 防錆の施工記録

#### (1) 現地部材への施工記録

1) Al-Mg 合金溶射の施工記録を溶射施工範囲かつ既存の塗装記録の付近に設け、竣工後に現地で施工内容が確認できるようにする。記録内容は次のとおりとする。

- ① 防食仕様
- ② 防食完了年月日
- ③ 素地調整の除錆度および粗さの規格値
- ④ 金属溶射の規格値
- ⑤ 封孔処理剤の種類など
- ⑥ 施工会社および責任技術者

2) 溶射工と同時に塗装を実施した場合には、その記録も Al-Mg 合金溶射記録の付近に設ける。

3) 施工記録をシール等で取り付ける場合には、健全な既存塗膜面に取り付けることを基本とする。

#### (2) 既存塗装記録の保存

溶射施工範囲に既存の塗装記録がある場合には、その復元も行う。

#### (3) 設計図書への記録

溶射などの施工範囲や防錆仕様に変更が生じた場合には、設計図書その他に確実に記録し、維持管理の際に正確な情報が容易に得られるようにする。

### 20 【解説】

(1) 現地部材への施工記録は、塗装塗替え時の記録方法と同様とし、**図-解 3.6.1** に示す体裁で行う。図中の寸法は参考値であり、文字が判読可能な程度で、かつ記録対象面（例えば、主桁ウェブ）に取り付いている他の部材と干渉しない程度で適宜決定する。

**図-解 3.6.2** は、溶射範囲に施工記録をシールで貼り付けた事例である。溶射皮膜の表面は、**健全な塗膜表面**に比べてマクロレベルの凹凸が多く、シール等が数年程度で剥れることも予想されることから、このような材料と設置方法の場合には健全な既存塗膜表面に取り付けることを基本とした。

防 錆 記 録	
施 工 箇 所	上り・A1, 下り・P2(P1側)
防 食 仕 様	Al・Mg(5%)合金プラズマアーク溶射
防食完了年月日	平成 年 月 日
素 地 調 整	Sa 3 Ra $\geq$ 8 $\mu$ m, Rz $\geq$ 50 $\mu$ m
金 属 溶 射	皮膜厚 100 $\mu$ m 以上
封孔処理材料	1次封孔処理剤：○○○○ 2次封孔処理剤：○○○○
施 工 会 社	○○○○会社
工事監理技術者	○○ ○○
溶射管理技術者	○○ ○○

400mm 程度

350mm 程度

図-解 3.6.1 溶射施工記録の記載例



図-解 3.6.2 溶射範囲にシールタイプの施工記録を取り付けた例

- (2) 既存塗膜の塗装記録は、桁端部の主桁ウェブに記録されている場合がほとんどである。したがって、溶射工によりこれが失われないよう必ず復元を行って、工事後の維持管理の支障とならないようにする。
- (3) 防錆溶射工事の当初予定から、防錆施工範囲の追加、溶射から塗装等への部分的変更ならびに
- 5 塗装仕様の変更などが生じることも考えられる。そのような施工範囲および防錆仕様の変更が生じた場合には完成図面等にそれらを反映し、維持管理のための記録を確実に残すようにする。

## 10 参考文献（3章）

- [1] 武藤和好, 入江政信, 井上 靖: アルミニウム・マグネシウム合金溶射による既設鋼橋桁端部の長寿命化技術の開発と現地施工, 高速道路と自動車, Vol.58, No.11, pp.27~32, 高速道路調査会, 2015年(平成27年)11月.
- [2] 日本道路協会: 4.5 輸送・架設, 第V編 金属溶射編, 鋼道路橋防食便覧, pp.V-30~V-32, 15 2014年(平成26年)3月.
- [3] 日本道路協会: 5.3.5 付着塩分測定上の注意点, 第V編 金属溶射編, 鋼道路橋防食便覧, p.V-46, 2014年(平成26年)3月.
- [4] 日本規格協会: 6 施工工程, JIS H 8300 (亜鉛, アルミニウム及びそれらの合金溶射), 2011年(平成23年)10月改正.
- 20 [5] 日本道路協会: 4.6.1 保管・輸送, 第II編 塗装編, 鋼道路橋防食便覧, pp.II-57~II-59, 2014年(平成26年)3月.
- [6] 日本道路協会: 5.3.1 品質管理基準, 第V編 金属溶射, 鋼道路橋防食便覧, pp.V-42~V-43, 2014年(平成26年)3月.
- [7] 武藤和好, 藤川圭介, 宮田弘和, 元井邦彦: 鋼素地面の点錆発生時間に及ぼす湿度の影響分析  
25 と一試算, 土木学会第71回年次学術講演会講演概要, I-452, 2016年(平成28年)9月.
- [8] 日本道路協会: 付 II-1. 付着塩分量測定方法, 第II編 塗装編, 鋼道路橋防食便覧, pp.II-154~II-162, 2014年(平成26年)3月.

## 4. 維持管理

### 4.1 一般

5 防錆工事後の溶射皮膜の変状の有無を把握し、変状の種類と程度に応じて必要な措置を講ずることにより、長期の防食性能を確保する。

#### 【解説】

腐食試験の結果により、Al-Mg合金溶射皮膜は他の溶射皮膜あるいは塗膜に比べて、高塩分環境における防食性能に優れていることが知られている。しかし、実際の橋梁における各部位の溶射皮膜がさらされている自然環境は、腐食試験の条件よりも厳しい場合があり、それに加え、望ましくない構造詳細、部材配置あるいは排水設備の損傷などを原因として腐食性が更に厳しくなっている場合には、皮膜の早期劣化が生じ、鋼素地の腐食発生に至ることがある。そこで、工事後における溶射皮膜の変状発生に注意し、必要かつ適切な措置を講ずることで、Al-Mg合金溶射皮膜が本来有する長期防食性能を良好に持続させることが重要である。

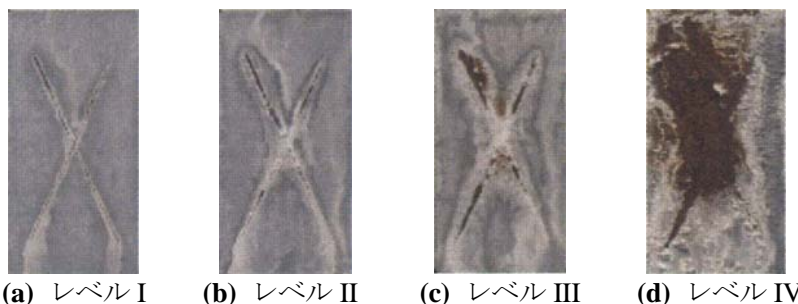
15

### 4.2 点検および調査

- 20 (1) 溶射皮膜（金属皮膜、封孔処理剤）の劣化や鋼素地の腐食の有無を把握するために、定期的に点検を実施する。
- (2) 点検により溶射皮膜の劣化や鋼素地の腐食が認められた場合には、詳細な調査を実施し、劣化原因、溶射皮膜の劣化の進行性および残存寿命、部材強度への影響などを評価するための情報を収集する。

#### 25 【解説】

(1) 実橋におけるAl-Mg合金溶射皮膜の状態は、腐食試験の試験体と同一ではなく、溶射時の施工条件の影響を受けたものである。また、前記の通り溶射皮膜のさらされている環境は部位に応じて様々であることから、施工後の溶射皮膜の経年変化は腐食試験による変状と必ずしも一致しない。したがって、腐食試験の結果を以て維持管理の対象外とはせず、所定の点検を定期的実施することで溶射皮膜と鋼素地の変状を見逃さないようにする。橋梁構造物の点検は、保全点検要領<sup>[1]</sup>、橋梁定期点検要領<sup>[2]</sup>などに基づき実施する。溶射皮膜の劣化レベルの判定には、**図-解 4.2.1** および**表-解 4.2.1** に示す鋼道路橋防食便覧の劣化レベル<sup>[3]</sup>などを用いる。



**図-解 4.2.1** 金属溶射皮膜の劣化レベルの例（アルミニウム系）<sup>[3]</sup>

表-解 4.2.1 金属溶射皮膜の劣化レベル (アルミニウム系) [3]

レベル	金属溶射皮膜の状況
I	表面的な変化は見られない。 ただし、施工の不均一な部分、局部的な原因による劣化部では、鋼素地からの錆の発生したものが見られる。 狭隘部等における代替塗装施工部の膜厚不足箇所等に軽微な点錆の発生が始まる。
II	皮膜表面および皮膜内部が安定している時期で防食性を維持している。 皮膜の薄くなりやすい部材端、傷つき部、エッジ部等や皮膜の薄い箇所に赤錆が出始める。
III	皮膜内部の不働態化が進み、皮膜の電気化学的防食作用の低下が始まる時期である。 皮膜の薄い箇所は環境遮断効果の低下がみられ、赤錆の範囲が広がり始め、周辺は皮膜の消耗が早くなる。
IV	30%以上の面積で赤錆が発生する。溶射金属の消耗と相まって環境遮断効果および電気化学的防食機能が消失する。 外観的には概ね全面にわたって赤褐色に変色する。

注：上記はいずれも劣化の進行パターンを示したもので、経年数は各々異なる。  
表中で使用している溶射皮膜の劣化レベルを図-解 4.2.1 に示す。

(2) 点検結果に基づき詳細な調査を行うことで、溶射皮膜の劣化原因、詳細な状態、部材強度への影響を評価するための情報を得る。調査項目および留意事項の例は次の通りである。

1) 表面状態

携帯式デジタル顕微鏡およびデジタルカメラを利用して、変状の観察と記録を行う。封孔処理剤の表面、あるいは金属皮膜が露出している場合には、封孔処理剤や溶射金属の残存状況を目視で確認する。赤錆（鉄の酸化物）あるいは白錆（アルミニウムやマグネシウムの酸化物）の発生状況、鋼素地が露出している場合には腐食や減肉の状況を確認する。

作業が簡易で結果が速やかに得られるが、定性的な情報であり、詳細な対策検討のためには他の調査項目と併用する必要があることがある。

2) 皮膜厚

電磁式膜厚計を用いて残存膜厚を測定し、劣化部位における施工時の皮膜厚不足の有無および今後の防食性能の判断のための情報を得る。ただし、封孔処理に用いた塗料を含めた厚さを測定することがあるため、状況に応じて塗膜を除去し、金属皮膜表面を完全に露出させてから測定する。また、劣化が皮膜表面以外から進行している場合や皮膜内部で腐食が生じている場合には、測定値が劣化度合いや防食性能の低下度合いの指標にはならないことに注意が必要である。

3) テープテスト

溶射皮膜と鋼素地の密着性を確認し、鋼素地の被覆材および犠牲陽極金属としての性能を確認する。作業が簡易で結果が速やかに得られるが、性能を定性的・間接的に判断することに注意を要する。

4) 鋼素地の減肉量

皮膜の劣化部位における板厚の残存量、減肉部分の表面形状などを測定する。板厚の残存量を測定する場合には、皮膜の劣化部位の反対面にも溶射皮膜あるいは塗膜が存在するため、測定値にはそれらの皮膜厚や皮膜表面の凹凸の影響が含まれていることに注意が必要である。

5) 環境

劣化部位の位置する環境や架橋条件を定性的あるいは定量的に確認する。

a) 定性的な調査

目視により劣化部における塩分等の付着状況を確認する。固化化した塩の付着・堆積による光沢の有無、塗膜（封孔処理剤）、金属皮膜、金属酸化物などと塩分による混和物の粘性・湿潤状態の有無などを確認し、塩分の影響の有無を把握する。

塩分などの腐食因子のほかに、皮膜を湿潤環境にする要因を確認する。排水設備の損傷あるいは不適切な設置による漏水、土砂・粉塵の堆積による湿潤環境形成の有無を把握し、補修後の再劣化防止対策に反映する。

b) 定量的な調査

- 5 溶射皮膜の消失速度の詳細な把握や今後の維持管理の基本データの収集を目的として、腐食因子の供給量を測定する。飛来海塩の付着量、凍結防止剤の飛沫の付着量のほか、亜硫酸ガスなどの測定を行い、再劣化防止の対策選定のための情報とする。

## 10 4.3 劣化部の補修

皮膜の劣化部の補修は、劣化原因の分析結果に基づき選定した工法を用い、劣化因子を完全に排除、あるいは皮膜に求められる耐久性が満足できる程度に低減させてから実施しなければならない。

### 15 【解説】

皮膜の劣化部のみを補修し回復させたとしても、劣化因子の影響を低減させなければ再劣化の危険性が払拭されないため、劣化因子の排除あるいは低減を行うことを基本とする。

20

### 参考文献（4章）

[1] 東・中・西日本高速道路：保全点検要領 構造物編，2017年（平成29年）4月。

[2] 国土交通省道路局：橋梁定期点検要領，2014年（平成26年）6月。

[3] 日本道路協会：6.2 金属溶射皮膜の劣化，第V編 金属溶射編，鋼道路橋防食便覧，

25 pp.V-51~V-53，2014年（平成26年）3月。

## 付 属 資 料

## 資料1 塗膜除去に関する安全対策

### A1.1 作業環境および廃棄物の処理に関する主な法令等

- 5 労働安全衛生法 [昭和47年法律第57号, 改正平成29年法律第41号]  
労働安全衛生法施行令 [昭和47年政令第318号, 改正平成29年政令第218号]  
労働安全衛生規則 [昭和47年労働省令第32号, 改正平成29年厚生労働省令第127号]  
有機溶剤中毒予防規則 [昭和47年労働省令第36号, 改正平成29年厚生労働省令第29号]  
特定化学物質障害予防規則
- 10 [昭和47年労働省令第39号, 改正平成29年厚生労働省令第60号]  
鉛中毒予防規則 [昭和47年労働省令第34号, 改正平成29年厚生労働省令第29号]  
粉じん障害防止規則 [昭和54年労働省令第18号, 改正平成29年厚生労働省令第58号]  
酸素欠乏症防止規則 [昭和47年労働省令第42号, 改正平成15年厚生労働省令第175号]
- 15 鉛等有害物を含有する塗料の剥離やかき落とし作業における労働者の健康障害防止について [基案労発0530第1号・基安化発0530第1号, 平成26年5月]
- ポリ塩化ビニフェル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法  
[平成13年法律第65号, 改正平成28年法律第34号]
- 20 ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法施行令  
[平成13年政令第215号, 改正平成28年政令第264号]  
ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法施行規則  
[平成13年環境省令第23号, 改正平成28年環境省令第19号]  
低濃度PCB廃棄物の処理に関するガイドライン [環境省, 平成25年策定]
- 25 低濃度PCB廃棄物・収集運搬ガイドライン [環境省, 平成25年策定]
- 毒物及び劇物取締法 [昭和25年法律第303号, 改正平成27年法律第50号]
- 廃棄物の処理及び清掃に関する法律 [昭和45年法律第137号, 改正平成22年法律第34号]
- 30 廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令  
[昭和46年政令第300号, 改正平成22年政令第248号]  
廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行規則  
[昭和46年厚生省令第35号, 改正平成23年環境省令第1号]
- 35 特別管理一般廃棄物及び特別管理産業廃棄物の処分又は再生の方法として環境大臣が定める方法 [平成4年厚生省告示第194号, 改正平成21年厚生省告示第70号]  
特別管理一般廃棄物及び特別管理産業廃棄物に係る基準の検定方法  
[平成4年厚生省告示第195号, 改正平成12年厚生省告示第633号]

## A1.2 既存塗膜が含有している恐れのある主な有害物質の概要

### (1) 鉛化合物

従来の塗料用顔料の中に着色顔料，防錆顔料，硬化促進剤などとして多く使われており，鉛丹，亜酸化鉛，一酸化鉛，シアナミド鉛，塩基性クロム酸鉛などの形態で含有されている。血中の濃度が一定量以上になると，慢性中毒による貧血，腹部症状，神経症状等を引き起こす。

鉛を含む塗膜の除去および素地調整作業は「鉛中毒予防規則」の適用対象であり，また，平成 26 年 5 月に厚生労働省より「鉛等有害物を有する塗料のはく離や搔き落とし作業における労働者の健康障害防止について」が発出されている。

### 10 (2) クロム化合物

従来の塗料原料中に多く含まれていた重金属の一種で，クロム単体および三価クロムは無害であるが，六価クロム化合物は毒性が極めて高い。発癌性があり，鼻腔から長期間吸引すると鼻中隔穿孔と呼ばれる症状を引き起こす。

クロム酸またはクロム酸塩を含む塗膜の除去および素地調整作業において，含有量（重量比）が 15 1%を超過すると「特定化学物質障害予防規則」の適用対象となる。

### (3) PCB（ポリ塩化ビフェニル，polychlorinated biphenyl）

ポリ塩化ビフェニル化合物の総称で，物理的・化学的に安定な性質を有することから，様々な用途でかつて使用されていた。塗料においては，主として昭和 40 年代に製造された塩化ゴム系塗料に可塑剤としていた。最近では，塩化ゴム系塗料以外でも低濃度の PCB が検出される事例が報告されている。

脂肪に溶けやすいため，人体内に蓄積される。皮膚や爪に色素が沈着し，塩素ざ瘡ができるなど皮膚への影響や，神経障害，肝機能障害を引き起こす。

PCB を含む塗膜の除去および素地調整作業において，含有量（重量比）が 1%を超過すると「特定化学物質障害予防規則」の適用対象となる。1%以下の場合でも人体への暴露および環境への拡散を極力防がなければならない。

### (4) コールタール

タールエポキシ樹脂塗料はコールタールを主原料の一つとしており，防食性や経済性に優れているため長年にわたって使われてきている。コールタールに含まれるベンゾ[a]ピレンなどの化学物質は，発癌性が指摘されている。

資料2 既往の主な塗膜剥離工の施工状況



図 A2.1 塗膜剥離剤によるもの



図 A2.2 IH式塗膜剥離工法（小型タイプ）



図 A2.3 レーザー光を用いるもの



図 A2.4 機械工具によるもの

### 資料3 金属溶射が施工可能な部材表面の最低温度グラフ

金属溶射の施工が可能な部材表面の温度は、本編 3.2.3 項および 3.3.3 項のとおり「露点より 3°C 以上高いこと」と定められている。施工可能な最低温度が簡易に把握できるグラフを掲載する。

5

[グラフの説明]

横軸：気温（単位：°C）

横軸：相対湿度（単位：%RH）

青実線・青2点鎖線・黒実線の曲線：部材表面の最低温度（露点から 3°C 高い温度）

10

[使い方]

例：気温が 30°C，相対湿度が 50%RH の場合

手順 1) 図-A3.1 において、横軸の気温 30°C の位置から鉛直方向、縦軸の相対湿度 50% の位置から水平方向の交差位置を求める。

15

手順 2) 求めた交差位置付近を通る曲線を確認する。

交差位置が 21°C の曲線と 22°C の曲線の間にあるので、求める温度がこの付近にあることが分かる。

もう少し詳しい数値を知りたいときは、

手順 3) 図-A3.2 において手順 1) および手順 2) と同じことを行う。

20

交差位置が 20.5°C の曲線と 21.5°C の曲線の間にあることから、求める温度が 21.0°C と 21.5°C との間にあることが分かる。

なおこの例では、交差位置が 21.5°C の曲線に接近して、やや下方にあるので、求める温度が 21.4°C 程度であることも判断できる。

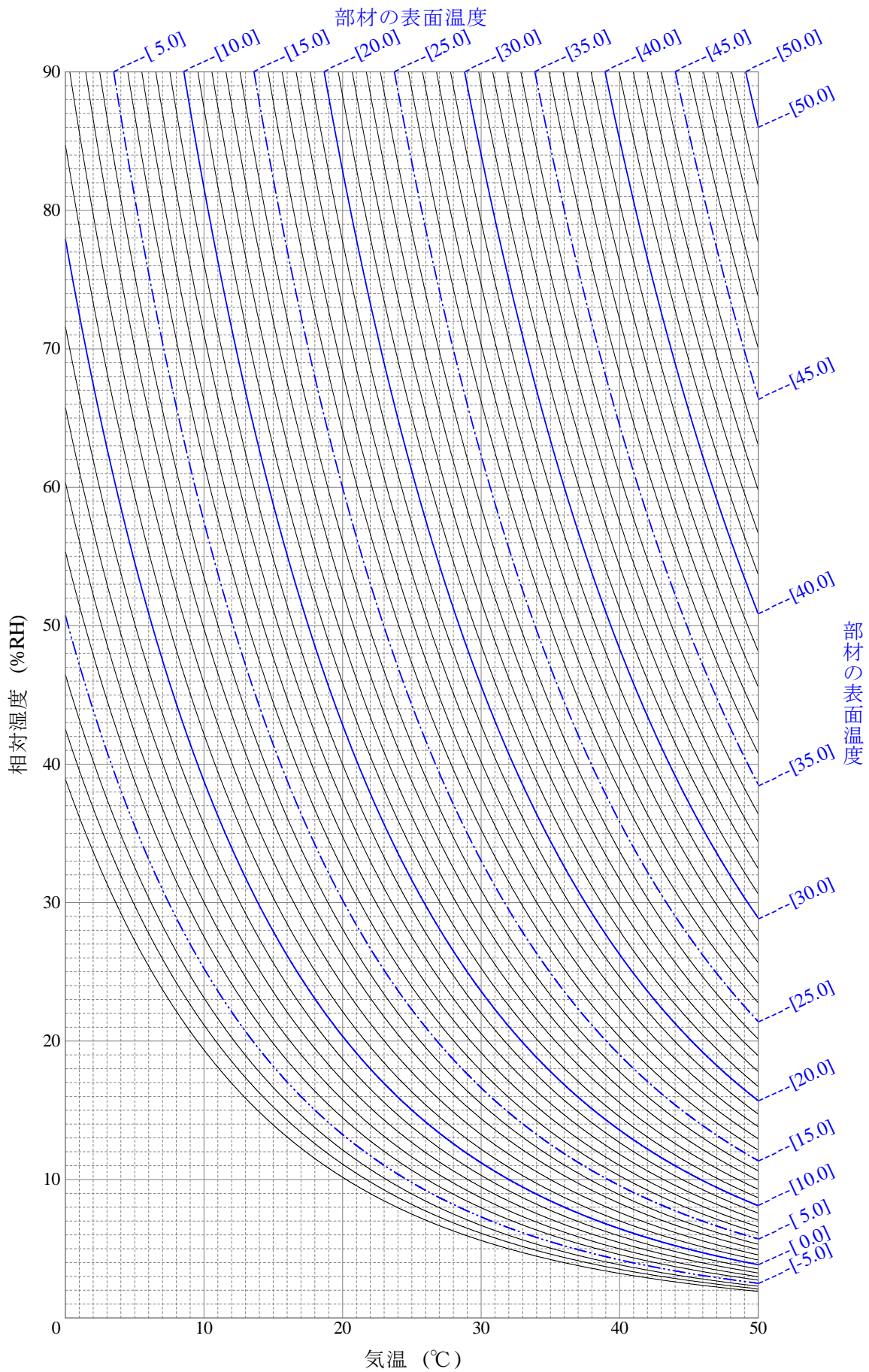


図-A3.1 溶射が可能な部材表面の最低温度 (その 1 : 0.0°C から 1°C 間隔)

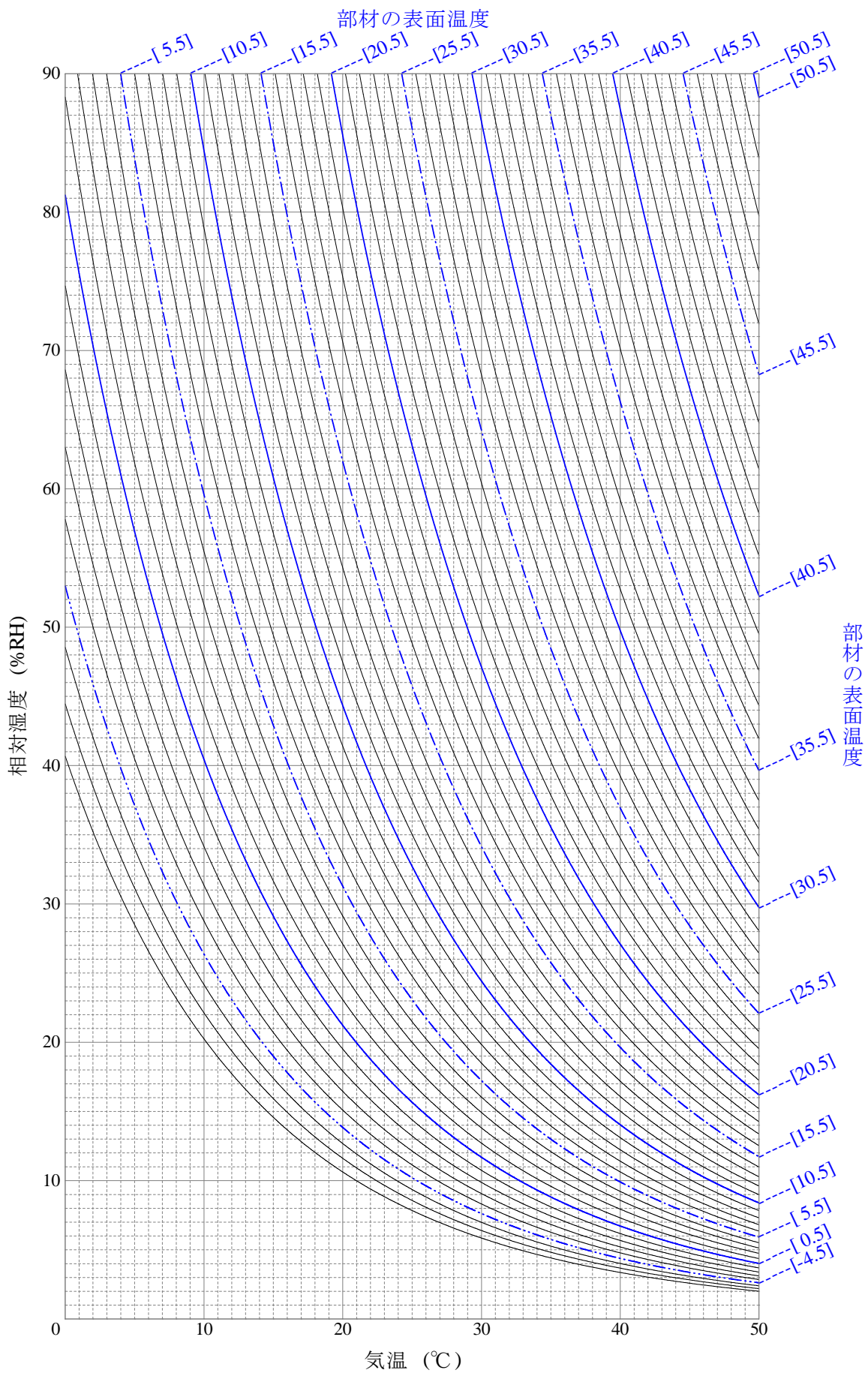


図-A3.2 溶射が可能な部材表面の最低温度 (その2 : 0.5°Cから 1°C間隔)

TAPS 工法による既設鋼橋桁端部の  
Al-Mg 合金溶射施工マニュアル [技術委員会用]

---

2018 年 4 月 初版

[編集] TAPS 工法研究会 技術委員会

[作成] 武藤 和好・原 利治

本書は技術委員会の内部資料です。

本書内の図・表・写真の著作権は作成者・撮影者に帰属しています。