

溶射封孔

溶射って何ですか？

溶射は、ガス燃焼または電気エネルギーを用いて材料を溶かし、その溶滴を素材に吹き付ける技術で、1910年スイスのショー博士により発明されました。

当初、この溶射は、裸像に銀を溶射したり、犬の文鎮に純金を溶射したりの如く美術工芸に利用されていましたが、その後、溶射技術、材料の開発が進み、現在は

溶射方法

ガス式 : フレーム溶射(溶線式、溶棒式、高速フレームHVOF、HVOF)、爆発溶射
電気式 : アーク溶射、プラズマ溶射、線爆溶射

溶射材料

金属 : 亜鉛、アルミ、銅、ステンレス、ニッケル、合金 等
セラミックス : アルミナ、ジルコニア、チタニア、タンガステンカーバイド 等
サーメット : Al_2O_3+Ni/Cr 等金属酸化物、 $WC-Co$ 等の金属炭化物、 $BN+Ni/Cr/Fe/Al$ 等の窒化物、グラファイト 等
プラスチック : ポリエチレン、ナイロン、エポキシ 等

溶射の目的

耐摩耗性、耐食性、耐熱性、絶縁性、下地効果、断熱性、気密性等の向上

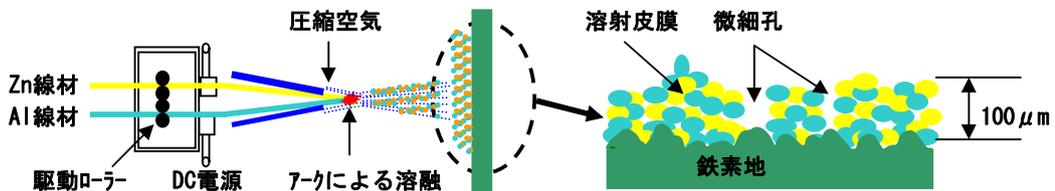
のように、多種多様な工法、材料で、多くの用途に使われています。

ご存知のように、鋼材は建築、橋梁等構造物の構造材料として多用され、その防錆防食・意匠性付与に、従来は塗装(海岸地区等過酷な条件下においては、塗料を何層も塗り重ねる重防食塗装)および亜鉛めっき/塗装が使われていますが、

近年、亜鉛、7%Alを鋼面に溶融・吹き付け、皮膜化し防錆防食させる金属溶射が、初期工事費、維持管理費を含めた50年、100年間のライフサイクルコストが低廉化できることで注目を集め、高速道路鉄骨橋梁工事等に採用されつつあります。

では、鉄骨橋梁の溶射によく使われているZn/Alアーク溶射をモデル図にてご説明します。

11Vの直流電源によって荷電されたZnとAlの1.3mmφ線材が駆動ローラーで押し出されて接触することにより発生した約6,000°Cのアークによって、Zn、Alが溶融され、圧縮空気の噴射によって溶滴を微細化して鉄素地に吹き付けて溶射皮膜を形成します。



このZn、Alの溶滴は、鑄鋼グリッド等を用いてフラスト粗理面処理をされた鉄素地に扁平状の積層となって皮膜を形成していきますが、溶滴の積層であるがゆえに、その溶滴間にマイクロオーダーの微細孔をたくさん作ってしまいます。

このマイクロオーダーの微細孔は、溶射皮膜容積の5-15%程度ですが、この微細孔の中には鉄素地にまで至るものもあり、この微細孔を如何に塞ぐかは

- 1) 腐食環境に曝される溶射皮膜の表面積を減少させる(微細孔の表面積は大きい)ことで溶射皮膜の腐食を減少
- 2) 鉄素地への腐食液やガスの進入を防止し、素地そのものの腐食を防止する
- 3) 加圧シールもれ防止
- 4) セラミック皮膜の絶縁性を保持
- 5) 溶射皮膜表面のなめらかさ付与、皮膜内部の強化

防錆防食溶射は該当せず

等の溶射皮膜性能を向上させる意味で非常に重要となります。

溶射皮膜の微細孔をどうやって塞ぐの？

封孔剤（細孔を塞ぐ剤）を、皮膜表面に刷毛、スプレー等により塗布することにより、封孔剤を皮膜の微細孔に浸透させ硬化させることにより、微細孔を塞ぎます

その為、封孔剤に必要な特性は、①浸透性、②溶射皮膜に及ぼす機械的作用に対する耐久性、③使用環境への耐性、④作業安全性、⑤皮膜/素材への無害性 等となりますが、

封孔剤の需要が小さかった為、封孔剤そのものの開発が行われず、従来は、ポリビニルブチラル樹脂、フェノール樹脂、ポリウレタン樹脂、ふっ素樹脂等の塗料をアルコール、トルエン等の溶剤によって樹脂成分が10-20%になるように希釈されたものが封孔剤として使用されてきました。

然しながら、大量の溶剤で希釈した塗料は粘度も低く、表面張力も小さくなり、微細孔に浸透はしますが、溶剤が蒸発することにより、溶剤の蒸発跡が空隙として残ってしまいますから、細孔を完全に塞ぐことはできませんでした。

近年、金属溶射が注目されてきたことより、1部大手塗料会社等により封孔剤が上市されてきましたが、従来の塗料希釈の領域を出ておらず、且つこれらの封孔剤では塗装における上塗り（防錆、意匠性の付与）の機能を持たせてないことより、封孔処理後、ウレタン樹脂、ふっ素樹脂等各種塗料による上塗りが必要となっています。

メーカー	上市された封孔剤
A社	ブチラル樹脂塗料を溶剤希釈し、防錆剤を添加
B社	溶剤系エポキシ樹脂（無機系シンクリッチペイントの溶剤）
C社	ウレタン樹脂を溶剤希釈

弊社は、耐候性、耐熱性、撥水性等の優れた特性を持つシリコン樹脂の原料分子であるアルコキシラン化合物の低粘度、低表面張力、硬化特性に注目し、その組成調整により、無溶剤系において

- ① ミクロンオーダーの微細孔へアルコキシラン化合物が空気を置換しつつ、浸透（無溶剤ですから、浸透するのはアルコキシラン化合物のみです）
- ② 浸透時に大気中の水分を吸収
- ③ この水を媒体としてアルコキシランが縮合し、微細孔の中で無機系ポリマーを形成
- ④ 金属溶射皮膜表面は、微細孔と同様、無機系ポリマーの塗膜を形成

させることにより、微細孔の完全封孔と共に、溶射皮膜表面に塗膜を形成させることができ、封孔と塗装を1工程で完了させることができる封孔剤パテを開発し、特許：第3816354号を取得しております。

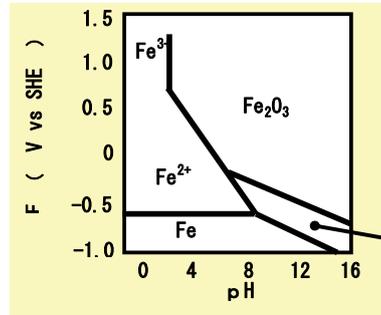
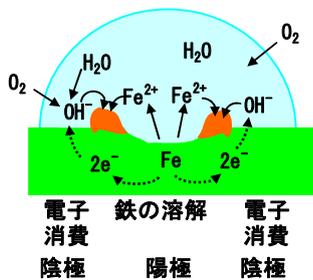
なお、浸透硬化の詳細については”パテの浸透・硬化”をご参照願います。

溶射封孔と重防食塗装、亜鉛めっき塗装との違いは？

3つの防食工法共に、犠牲防食作用を利用して鉄の腐食を防止していますから、先ず、①鉄がなぜ錆びるのか？、②犠牲防食作用って何か？ についてご説明します。

鉄はなぜ錆びるのですか？

大気や海水環境など湿った雰囲気には曝された鉄は、酸化皮膜の欠陥、不純物の存在、加工度の違い等の表面の不均一さに加え、水滴中の酸素濃度の濃淡が引き金になって、下図のような電気化学的反応が生じて腐食していきます。



電位-pH図において、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Fe_3O_4 の範囲が鉄の腐食域であることより、電位及びpHをずらすことにより、防食ができることとなります。

塗装において塗膜が部分的に損傷した場合、上記の局部電池が形成され腐食が進むことになります。

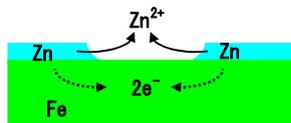
犠牲防食作用って何ですか？

鉄の腐食はFeが Fe^{2+} イオンになって溶け出すことから始まっていますように、金属にはイオンになりやすい金属と、なりにくい金属があり、次のようになっています。



イオン化傾向が大きい（腐食し易い）

鉄表面にめっき、溶射等によってZnのようにイオン化傾向の大きい金属皮膜を作っておくと、もしこの金属皮膜が損傷し鉄表面が剥き出しになった場合に、この金属皮膜が陽極となって腐食し、鉄を陰極（鉄の電位をよりマイナスに移動）化することにより、鉄の腐食を防止します。このように他の金属が犠牲陽極となって鉄の腐食を防止することを、犠牲防食作用と言っています。



ジソクリッチェイも、この犠牲防食作用を応用して鉄を防食しようとしています。鉄と亜鉛片、亜鉛片と亜鉛片の接触が完全でない場合（ジソクリッチェイ塗膜の電気抵抗が大きい）は、犠牲防食が不完全となります。

犠牲防食作用を活用した3つの工法において、溶射封孔はどんな特徴をもっているのですか？

鋼製橋梁等の防錆防食溶射は、構造物の置かれる腐食環境等により、Zn、Al単体もしくはZn/Al擬合金を選定して行われますが、重防食塗装、亜鉛めっき塗装との差異を簡単に見てみますと下表のようになります。

	Zn/Al溶射・封孔	重防食塗装 C2系	亜鉛めっき塗装
1. 犠牲防食作用	有り (Al単体の場合は無し)	有り	有り
2. 工事費	高い	安い	安い
3. 工期	短い	長い	長い
4. 耐用年数	長い	短い	短い
5. ライフサイクルコスト	安い	高い	高い
6. 施工制約	現場施工可能	現場施工可能	めっきは工場施工のみ 塗装は現場施工可能

溶射封孔は、短期間の現場施工が可能で、工事費は高いものの、耐用年数が長いので、ライフサイクルコストが一番安くなる特徴を持っています。

更に、これら工法の差異を、より詳細に見てみますと下表のようになります。

	Zn/Al溶射・封孔	重防食塗装 C2系	亜鉛めっき塗装
素地	鋼板	鋼板	亜鉛めっき鋼板 (HDZ55)
防食仕様			
素地調整	ブラスト Sm/Rz<4、Rz>40	ブラスト ISO Sa2 1/2	スイブブラスト Sm/Rz<20
第1層	Zn/Al溶射 Min. 100μm	無機ジソクリッチペイント 75μm	ハニエイトHS-200 66μm
第2層	ハニエイトHS-100 72μm	ミストコート	
第3層		エポキシ樹脂下塗 60μm	
第4層		エポキシ樹脂下塗 60μm	
第5層		ポリウレタン樹脂中塗 30μm	
第6層		ポリウレタン樹脂上塗 25μm	
合計	172μm	250μm	66μm
作業工程	3 工程	7 工程	3 工程
工期	1 日	7 日	1 日+めっき
期待耐用年数 (海岸部等厳しい環境)			
景観維持	42 年	10 年	20 年
防食維持	81 年	41 年	41 年
防食工事費			
新設	16.0 千円/m ²	9.3 千円/m ²	9.3 千円/m ²
景観維持補修	7.2 千円/m ²	7.0 千円/m ²	7.2 千円/m ²
ライフサイクルコスト (景観維持時の新設・補修工事費累計)			
15年間 補修回数	0 回	3 回	1 回
工事費累計	16.0 千円/m ²	30.3 千円/m ²	16.5 千円/m ²
50年間 補修回数	2 回	10 回	5 回
工事費累計	30.4 千円/m ²	79.3 千円/m ²	45.3 千円/m ²

- 耐用年数は、建設省土木研究所資料第2810号、日本橋梁建設協会及び日本塗料工業会重防食塗料作業部会にて取り纏められている塗装の耐用年数、及び弊社における促進耐候性、CASS及び温水浸漬/乾燥繰返し等性能評価試験をベースに推定しています。
- 防食工事費は、平板300m²程度の施工規模を前提として積算されたものですから、実際の施工に当たっては見積徴収をお願いします。

防錆防食溶射をハ^o-ミイトで封孔すると防食性はどれぐらいあがるの？

Zn/Al溶射とそれをハ^o-ミイトHS-100によって封孔処理したサンプルを腐食促進試験であるCAS試験で評価しますと

溶射のみ : 直ぐに白錆を発生し、6年後は白錆が全面を覆い、20年後に赤錆発生

封孔処理 : 27年間全く異常なく、この時点で僅かなマイクロクラックが発生

と、封孔処理が防食および美観維持において圧倒的に優位であることが実証できています。

試料 : Zn/Al溶射 (皮膜厚さ約160μm) の無封孔、及びハ^o-ミイト封孔130g/m² (塗膜厚さ56μm) 品

試験方法 : JIS H8502 7.3に準拠 (NaCl : 50g/L, CuCl₂ · 2H₂O : 0.26g/L, 酢酸にてpH3~3.2に調整)

促進倍率 : 溶融亜鉛めっきの CASS腐食速度/海岸部暴露腐食速度 (30mg/m² · Y) 比より約500倍と設定

試験時間	試験開始前	5日後	10日後	20日後	
大気暴露相当年数		6.8年後	13.7年後	27.4年後	
Zn/Al溶射 封孔せず					6年後 : 全面に白錆発生 13年後 : 白錆成長、赤錆なし 20年後 : 部分的に赤錆点発生 27年後 : 赤錆は白錆に覆われ 見かけ上減少、白錆量大
Zn/Al溶射 ハ ^o -ミイトHS-100 にて封孔					20年後まで全く異常なし 27年後 : μ ^o で観察できるマイクロクラックが4点発生 このクラックより極く微量の白錆が発生

この封孔処理による防食性については、下記研究論文が発表されています。

Zn/Al7-7溶射の封孔について、大阪大学・カリフォルニア大学・鈴鹿高専の研究論文

H. Kanematsu, Dana M. Barry, Paul McGrath, A. Ohmori, "Corrosion Protection of a Metal Spray Coating By Using An Inorganic Sealing Agent For Its Micropores", International Thermal Spray Conference & Exposition, Osaka, Japan, 10-12, May, 2004

Al-Y-Coガラスマ溶射の封孔について、ミズーリ大学の研究論文

Y.Kato, D.C.Van Aken : "Salt Fog Corrosion Testing of Al-Y-Co based Nano-crystalline and Amorphous Coatings Produced by Atmospheric Plasma Spray", The ASM international Surface Engineering Congress and Exposition Orland (FL2004)

アルマイトの封孔について、名古屋大学・大阪大学・鈴鹿高専の研究論文

Hideyuki Kanematsu, Shinji Fujimoto, Kiyoshi Nogi & Takeo Oki : "Application of Inorganic Silicon Sealer to Anodic Oxide Co Proceedings of AESF Sur/Fin 2004 & Interfinish 2004 World Congress, Navy Pier, Chicago, IL, June 28-July 1, p.478-p.485 (2004)

防錆防食溶射・封孔はどうやるの？

Zn、Al単体及びZn/Al擬合金の防錆防食溶射および封孔には、厳しい作業基準と工事管理が非常に重要です。弊社は、溶射工事会社とSIC工法協会（Sparying with Inorganic Coating for Corrosion Prevention）を組織し、工法協会として工事の受注活動、工事施工から報告書作成までを一環して行っております。

SIC工法における標準的な工程、仕様、品質管理は下記の如くとなっておりますが、構造物仕様およびお客様のご要望に応じて、部分的変更等詳細は協議させていただきます。

工程	作業項目	仕様及び主要管理基準等
1. 仮設工事	1. 仮設工事 2. 重機、ハローカー手配	作業所、電源、足場、防煙シート等セティング
2. 機材搬入	1. 工事現場への搬入・設置・調整	溶射機、プラスト装置：SIC工法認定機種 溶射金属：JIS認定品 封孔剤：SICシーラーHS-100 溶剤：SICシーラー用シンナー（機材洗浄用） 研削材：JIS認定品 消耗品：工事仕様により決定 <div style="border: 1px dashed black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: 20px;">SICシーラーは、SIC工法協会へのOEM供給製品であり、ハローミットと同一です。</div>
3. 素地調整	1. 作業前確認	プラスト装置：始業点検 被プラスト面目視検査：外観・傷・結露の有無、自由端角部面取り有無 研削材：品質、量 作業環境：温度5℃以上、湿度85%以下
	2. 粗面形成プラスト	Zn及びZn/Al溶射：Sm/Rz<4.0 & Rz>40 Al溶射：Sm/Rz<3.0 & Rz>60
	3. 検査	粗面度測定 目視検査：付着物・油脂分の有無、除錆度：ISO8501-1 Sa2.5以上
4. 溶射	1. 作業前確認	溶射機：始業点検 被溶射面目視検査：3.2項及び結露有無の目視検査 溶射金属：品質、量 作業環境：温度>5℃、湿度<85%、プラスト完了後4Hr以内
	2. 金属溶射	溶射距離：被溶射面より20～25cm 溶射角度：被溶射面に対し45～90° 溶射膜厚、溶射金属使用量：工事仕様にて規定
	3. 軽研磨	サトハロー等による小突起除去
4. 溶射	4. 検査	溶射膜厚測定 測定点数・最小/最大/平均膜厚は工事仕様にて規定 皮膜付着力測定：布テープ圧着テスト（剥離なし確認） 目視検査：溶射もれ・小突起・付着物の有無
5. 封孔	1. 作業前確認	作業機材：始業点検 被封孔面目視検査：4.4項及び結露有無の目視検査 封孔剤：品質、量 作業環境：温度>5℃、湿度<85%、溶射完了後24Hr以内
	2. 封孔	作業方法：刷毛、ローラー、スプレー 1次封孔時の置換空気をなめ返しにより完全に除去 2次封孔は1次封孔塗膜の硬化前に施工 塗布量：基準塗布量は130g/m ² なれど工事仕様にて規定
	3. 検査	目視検査：封孔もれ・付着物の有無、色調 塗布量：封孔剤使用量の確認（膜厚達成の事前確認）
6. 完了検査	1. 完了検査	封孔作業完了後少なくとも24Hr後（タックなし）に実施 封孔膜厚測定 測定点数・最小/最大/平均膜厚は工事仕様にて規定 目視検査：封孔もれ・付着物の有無、色調

7. 報告書作成

8. 報告書ご提出・竣工お引渡し

溶射作業



封孔作業



溶射封孔工事実績は？

SICシーラーによって封孔された溶射工事は、主として公共事業の大型橋梁工事に採用されています。



第2京阪道路防護施設（防球ネット支柱）設置

発注者 : 国土交通省近畿地方整備局
元請会社 : 新日本製鐵
施工会社 : 日本電通、福永工機ほか

素地 : 耐候性鋼
下地処理 : プラスト Sa2 1/2
溶射 : Zn/Al 100 μ m
封孔 : SICシーラーHS-100 130g/m²
施工面積 : 約6,000m²



福岡都市高速橋梁設置

発注者 : 福岡北九州高速道路公社
元請会社 : 新日本製鐵・高田機工・瀧上工業
施工会社 : 福永工機、エイシテックほか

素地 : 鋼板
下地処理 : プラスト Sa2 1/2
溶射 : Zn/Al 100 μ m
封孔 : SICシーラーHS-100 130g/m²
施工面積 : 約9,000m²



神戸空港進入灯橋梁設置

発注者 : 神戸市みなと総局
元請会社 : 清水建設・三菱重工業・寄神建設
施工会社 : コーリンテックスほか

素地 : 鋼板
下地処理 : プラスト Sa2 1/2
溶射 : Al 150 μ m
封孔 : SICシーラーHS-100 130g/m²
施工面積 : 約9,700m²



六本木ヒルズ[®]防風スクリーン設置

発注者 : 森ビル
元請会社 : 戸田建設
施工会社 : 大樹ビルト

素地 : 鋼板
下地処理 : プラスト Sa2 1/2
溶射 : Zn/Al 100 μ m
封孔 : SICシーラーHS-200 130g/m²
施工面積 : 約200m²

溶射封孔工事についてのご質問等ございましたら下記までご一報願えれば幸いです

日本電通（株）

大阪府大阪市港区磯路2-21-1

TEL:06-6577-4711 FAX:06-6577-4713

設備営業部官公庁営業グループ 次長 山本耕司

（株）永照

福岡県太宰府市水城2丁目18番12号

TEL:092-921-3725 FAX:092-921-3726

取締役 谷内田徹

黒肥地工業（株）

大阪府高石市高砂1丁目8番地

TEL:072-268-0700 FAX:072-268-0702

代表取締役社長 児玉芳文

（株）摩郷

石川県金沢市問屋町1丁目87番地

TEL:076-237-5001 FAX:076-237-5031

金沢支店営業工務部長 二木洋一