

金属溶射皮膜の無機系封孔処理剤

「セラテクトGSシール」

Inorganic Sealer for Metal Coatings by Thermal Spraying



関西ペイント販売(株)
建設塗料本部
防食塗料技術センター(大阪)
松村眞佐男
Masao
Matsumura

1. はじめに

鋼構造物の防食方法の一つとして、防食効果のある金属を鋼材表面に溶射して皮膜を作り、さびの発生を押さえて腐食を抑制する方法がある。溶射金属としては亜鉛、アルミニウム、およびそれらの合金を用いる。防食用金属溶射皮膜は活性なことから酸化物を生成し、白さび発生に至ることもあり、その防止のため溶射皮膜の上に保護用の塗料を塗装する。上塗塗料は景観に調和した色相に仕上げるのが一般的である。金属溶射と塗装を組み合わせた防食仕様はヨーロッパでは古くから鋼構造物や橋梁の防食方法として利用され、ほぼ確立されている。国内の長大橋梁の実績としては関門橋の補剛桁の防食仕様として亜鉛溶射をベースとする塗装仕様を採用された実績があり、亜鉛溶射を施工後、工場塗装から現地の上塗まで6回の工程が塗装された。

近年は大型橋梁工事にも金属溶射が防食下地として採用される物件が多くなり、現在建設中の福岡北九州高速道路公社の新規路線、都市高速5号線の建設には鋼製脚、鋼桁の外面に金属溶射による防食方法が採用され、第一期工事の50%にJIS規格の亜鉛・アルミニウム溶射が施工されている¹⁾。この工事では亜鉛・アルミニウムの溶射皮膜に



写真1 建設中の都市高速5号線

封孔処理剤を塗布して溶射皮膜の消耗を押さえ、同時に着色効果を持たせることで景観を考慮した色合いに仕上げの工夫がなされた。

本報では実工事に使用された無機系着色封孔処理剤「セラテクトGSシール」について紹介する。写真1は建設中の都市高速道路を示す。

2. 防食溶射の特徴

2.1 溶射方法

金属溶射の施工は以下の工程で素地上に金属皮膜をコーティングする技術である。

- ①溶射用金属を溶かし、液体の状態にする。
- ②液体状の金属を霧化・微粒化する。
- ③高温の金属微粒子が素材面に衝突、冷却し、素地上に皮膜を形成させる。

①から③の工程はきわめて短時間の間に行われる。なかでも①と②はほとんど同時に行われ、粉末式では材料の形状が微粒粉末であるため、②の工程は省略される。時間的には③の工程が長い。防錆・防食溶射に多く用いられているフレーム溶射では溶射ガンの先端ノズル部分で高温のガスフレーム(火炎)の中を線状または粉末状の溶射金属を通過させて瞬時に熔融し、圧縮空気で微粒化すると同時に素地面に吹き付けられる。熔融した金属が溶射ガンからスプレーされて素材面に到達する時間は $10^{-2} \sim 10^{-3}$ secであり、きわめて短時間で行われる。

したがって、吐出した高温の粒子が素材面に衝突し、急速に冷却されるので扁平な粒子が積み重なった多孔質の金属皮膜となる。防錆・防食溶射ではその使用目的が犠牲陽極であるので、防食効果を高めるために皮膜の表面積を広くすることは有効である。なお、溶射された金属の扁平粒子が素材表面に付着するためには素材面が清浄で、かつアンカー効果の期待できる粗面であることが必要である。その目的のために一般的にはスチールグリット、アルミナ、ガー

ネットなどの研掃材を用いたブラスト処理による素地調整が行われる²⁾。

2.2 溶射金属

防食溶射は主に亜鉛、アルミニウムおよび亜鉛・アルミニウム合金が溶射材料として使用されており、使用環境から大別すると大気中で使用される亜鉛溶射 (JIS H 8300) と、大気、および水中で使用できるアルミニウム溶射 (JIS H 8301) に分けられる。亜鉛・アルミニウム溶射 (JIS H 8305) は両者の長所を活用するために開発されたもので、亜鉛とアルミニウムが重量比85:15で熔融混合された合金である。

3. 封孔処理の役割と必要機能

溶射皮膜は異種金属の犠牲陽極作用を利用して鋼材の腐食を抑制していることから、裸で使用すると、バクロ環境によっては溶射皮膜の表層や素穴、気孔部から急速に消耗するため、短期間で防食機能が損なわれる場合がある。溶射皮膜の多孔性を改善する目的から、溶射施工後に封孔処理剤を塗布する方法がある。JIS H 8200溶射用語には、「溶射皮膜の開口気孔に封入剤 (例えばエポキシ系、フェノール系、シリコン系樹脂などを開口気孔に含浸するように希釈した塗料) を浸透させて気孔を密閉し、皮膜の化学的性質および物理的性質を改善する処理」と定義されている³⁾。

金属溶射皮膜に用いる封孔処理剤には次のような機能が求められる。

- 1) 低粘度で溶射皮膜に適当な浸透性があること、
- 2) 溶射皮膜と母材に悪影響を及ぼさないこと、
- 3) 溶射皮膜が曝露される使用環境で安定であること、

- 4) 封孔処理剤の塗布作業性に支障のないこと、
- 5) 塗布作業の取扱い上、安全であること、
- 6) 塗装仕上げする場合の塗り重ねに支障のないこと、などがあげられる。

当社ではさらに無機質系の着色仕上げも可能とする封孔処理剤を開発 (セラテクトGSシール) し、実工事にも使用された。

4. 無機系封孔処理剤「セラテクトGSシール」

4.1 基本組成

「セラテクトGSシール」の基本組成は無機ジンクリッチプライマーに使用されるエチルシリケートを主体樹脂としている。エチルシリケートは皮膜形成後、含まれる珪素に結合したエトキシ基 (-Si-OC₂H₅) が触媒で加水分解してシラノール基 (-Si-OH) となり、これが脱水縮合して (-Si-O-Si-) のシロキサン結合となってポリマー化する。また反応過程のシラノール基は金属亜鉛や鉄なども結合して最終的に図1のような安定化された結合が生成されると考えられる⁴⁾。エチルシリケート樹脂を主成分としていることと、溶射皮膜の表面状態はブラスト処理面と同等の粗度を有し、処理剤の溶射皮膜への含浸も十分なことから優れた密着性が得られる。

4.2 封孔処理剤の防食性

封孔処理剤は溶射皮膜の活性を抑えるとともに皮膜の空隙を埋めて消耗面積を小さくし、犠牲金属の溶出を抑えて長期防食に寄与する。すでに、有機系樹脂をはじめとした各種の封孔処理剤が市場では使用されている。

亜鉛・アルミニウムの合金溶射皮膜に「セラテクトGSシール」および各種の封孔処理剤を塗布して塩水噴霧性試験

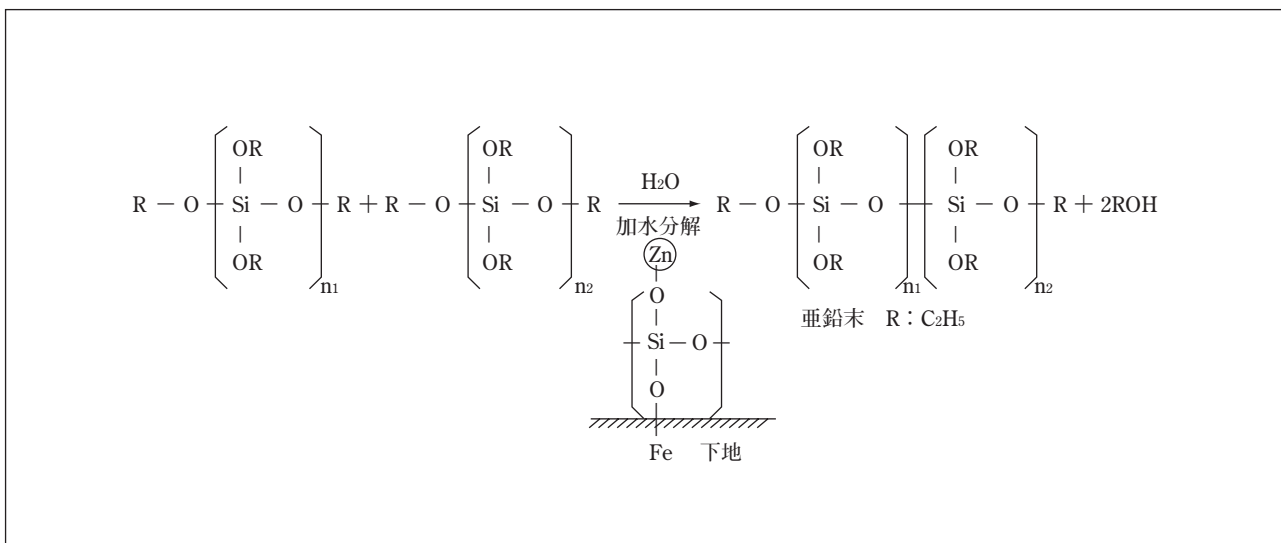


図1 封孔処理皮膜の構造

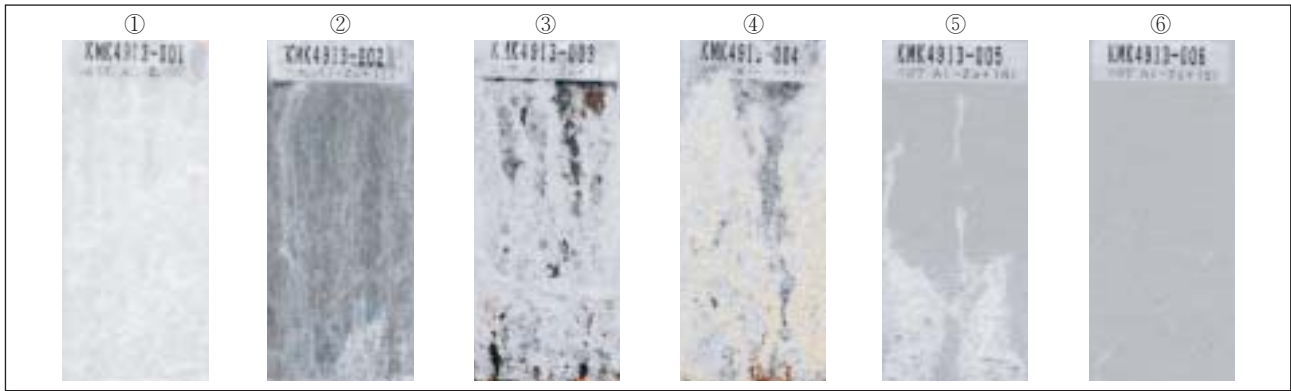


写真2 塩水噴霧試験5000時間後の溶射被膜状態

を行い、防食性を評価した。試験素材はSS400を用い、JIS規格に基づいたグリットブラスト処理後、亜鉛・アルミニウム合金(85:15)線材を100 μ mの厚みにフレーム溶射して試験体とした。「セラテクトGSシール」を含む各種封孔処理剤、塗装仕様で塗り重ね、試験板の下半分にXカットを入れて JIS K 5600-7-1、「耐中性塩水噴霧性」による試験を5000時間行った。

試験後の皮膜状態を写真2に示す。

試験板の適用仕様と試験後の溶射皮膜の外観評価を以下にまとめた。

- ①亜鉛-アルミニウム溶射(100 μ m、無封孔)
 - ・白色析出物(白さび)に覆われているが母材からの赤さびの発生はない。
- ②「セラテクトGSシール」×1
 - ・うすい白さびと流れ跡はあるが溶射皮膜は一般部、カット部とも健全な状態にある。
- ③エポキシ樹脂クリヤー×1回
 - ・全体が白さびに覆われ、部分的に赤さびの発生がある。
- ④長曝形ウォッシュプライマー×1回
 - ・全体が白さびに覆われて、一部さび色のしみだしがあり、部分的に赤さびの発生がある。
- ⑤亜鉛メッキ面用エポキシ樹脂塗料×1回～ポリウレタ

ン樹脂塗料用中塗×1回～ポリウレタン樹脂塗料上塗×1回

・カット部周辺にふくれがあり、一般部にも部分的にふくれ、白さびが見られる。

- ⑥「セラテクトGSシール」×1回～ポリウレタン樹脂塗料用中塗×1回～ポリウレタン樹脂塗料上塗×1回
 - ・カット部に沿って周辺に小ぶくれの発生があるが一般部は健全な塗膜状態にある。

耐塩水噴霧性試験による促進試験の結果から、「セラテクトGSシール」を塗布することにより、溶射皮膜を安定化させて白さびの発生を抑制し、皮膜の急速な消耗を押さえながら防食効果を維持する効果が確認された。有機樹脂系は封孔処理皮膜下で金属皮膜が急速に消耗し、白さびの発生から部分的に赤さびの発生がある。中、上塗を塗装すると一般部は良くなるが、カット部に多くのふくれが発生し、白さびも多い。

4.3 防食効果の検証

耐塩水噴霧性試験で良好な結果が得られた「セラテクトGSシール」塗布面の表面状態をSEM、顕微鏡写真にて観察した。封孔前の亜鉛・アルミニウム合金溶射皮膜、同封孔処理剤塗布後、および耐塩水噴霧性試験5000時間後の表面状態を写真3に示す。



写真3 SEM像、顕微鏡による表面状態

「セラテクトGSシール」の表面には、肉眼で確認できない程度の微細な網目状のクラックが見られる。耐塩水噴霧性試験による促進試験後はクラックの隙間が反応物の白さびで埋まっているが、皮膜の表面に浮き出て覆われるほどの発生は認められない。このことは封孔処理剤とクラックを埋めた溶射金属の反応物が腐食物質の侵入を抑えるとともに、溶射皮膜金属の溶出を抑制し、犠牲陽極作用を保っているものと考えられる。

4.4 着色仕上げ

封孔処理剤の着色仕上げを実現するために塗布前に添加混合できるカラーペーストを開発した。カラーペーストには高耐候性の二酸化チタンを主な着色剤として使用しており、微量の着色顔料を併用して調色している。封孔処理剤に対するカラーペーストの配合量を多くすると隠ぺい性と着色効果は向上するが、本来の「セラテクトGSシール」の機能である浸透性、封孔性は低下する。これらの兼ね合いを考慮し、カラーペーストの混合比率は決定される。平滑面に塗布した「セラテクトGSシール」の乾燥皮膜は約20 μ m程度の皮膜厚さで良好な隠ぺい性を有するとともに、溶射皮膜の封孔処理の機能を維持しながら指定された色相の仕上がりを得ることができた。

色相の種類は鋼桁用の2色のヘイズブルー（マンセル値5PB8.5/2、および5PB7/3）、および鋼製脚用のグレー（同N-7.5）の3色で、橋梁外観の仕上がりと景観のマッチングを図る当初の付加機能の目標は達成された。

4.5 耐熱性

鋼床版の裏面に塗布された「セラテクトGSシール」は路面を舗装する際のゲースアスファルトの熱影響を受ける。耐熱性の確認試験として溶射皮膜に「セラテクトGSシール」を塗布した試験板を作成し、乾燥炉で加熱して変退色の程度、外観変化などを確認した。ゲース舗装直後の鋼床版裏面の表面温度は過去の実測値では最高でも舗装の直後で150 $^{\circ}$ C程度であったことから⁵⁾、試験では150 $^{\circ}$ Cと200 $^{\circ}$ C \times 8時間の加熱を行った。自然冷却後の皮膜状態を観察し、クロスカット～セロテープ付着試験で処理剤の付着性を確認した。鋼桁外面に用いられた2色の封孔処理剤について、試験後の皮膜状態を写真4に示す。いずれも150 $^{\circ}$ Cでは封孔処理剤の色合いや皮膜の外観状態にふくれ、われ、はがれなどの異常はなかった。200 $^{\circ}$ Cの試験ではわずかな変色が見られたが、「セラテクトGSシール」に異常はなかった。

付着試験の結果はいずれも良好であった。

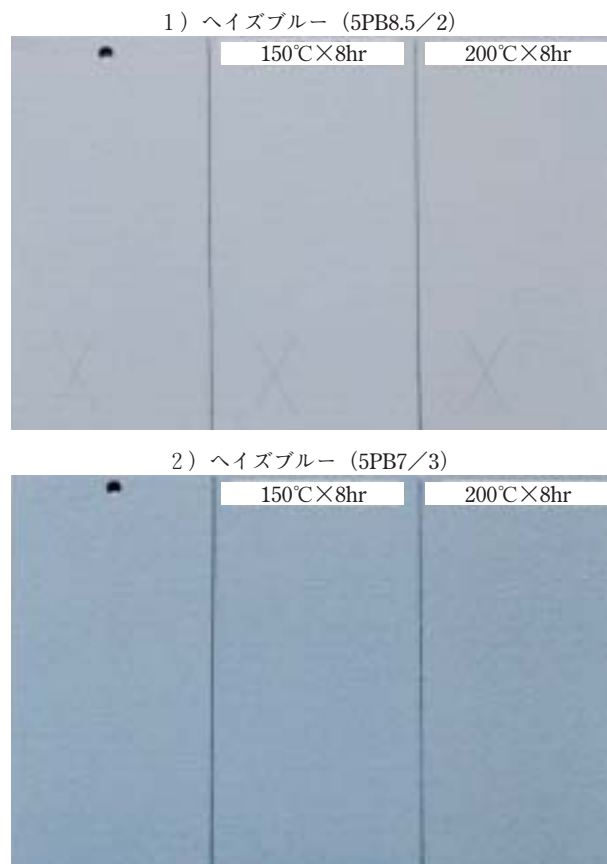


写真4 耐熱性試験結果

5. まとめ

着色機能を付加した無機系封孔処理剤「セラテクトGSシール」が採用されたことにより、溶射皮膜の長期防食性を維持しながら、且つ、塗装の意匠性を兼ね備えた防食溶射仕様が確立できた。

防食被覆材料は、これまで高機能、高性能が求められていたが、近年はこれらに加えて環境との調和、安全、健康への配慮が重要要素になってきている。今後も環境を豊かにし、資源を保護するという本来の使命を自覚し、これらの取り組みを積極的に行っていききたい。

参考文献

- 1) 山田, 溶射技術 Vol.21, No.4, P36 (2002)
- 2) 溶射 (日本溶射工業会)
- 3) 防食溶射ガイドブック (日本溶射工業会), P.7 (2000)
- 4) 重防食塗料ハンドブック (日本塗料工業会), P34 (2002)
- 5) KHDハンドブック (関西ペイント)