

無機形塗料および無機有機ハイブリッド塗料の性能報告

○内藤義巳¹⁾ 平良一夫¹⁾ 平良考之¹⁾

1. はじめに

高度成長期に建設された多くの道路や橋梁、トンネル等の社会インフラは、現在老朽化が進んでいる。例えば、全国の道路橋約 73 万橋（橋長 2m 以上）のうち、建設後 50 年経過した橋梁は 2023 年で約 37%であるが、2030 年では約 54%、さらに 2040 年では約 75%に達するといわれている。老朽化していく社会インフラを守るためには、予防保全として適切な補修工事を施し、それによって長寿命化を図ることが社会の喫緊な課題となっている。一方では、高齢化社会へ進む国と地方の財政はひっ迫し、建設分野の人手不足も深刻な状況になってきている。

当協会の無溶剤無機形塗料は、超耐候性で、省工程・工期短縮が可能であり、更に環境にやさしいという特長を有している。

また、無機有機ハイブリッド塗料は、無機形塗料の特長に加えて有機形塗料の優れた付着性と可とう性および施工性を有している。

直面する社会インフラの長寿命化に貢献する最も適した塗料は、無溶剤無機形塗料または無機有機ハイブリッド塗料であると確信しており、以下に両タイプの塗料の性能を報告する。

2. 無溶剤無機形塗料・無機有機ハイブリッド塗料とは

1) ここで言う無溶剤無機形塗料とは、有機溶剤を含まず、樹脂成分中に図 1 のオルガノポリシロキサンを 90%以上含有する塗料のことである。図 2 にそのオリゴマーの架橋（縮合重合）の模式図を示す。主鎖は $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$ の結合である。

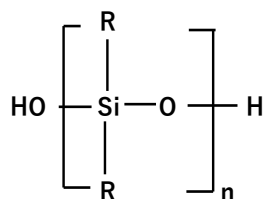


図 1 オルガノポリシロキサン



図 2 オリゴマーの架橋模式図

Keywords : 無機塗料、無機有機複合塗料、高耐候性、省工程、工期短縮

1) 一般社団法人 無機質コーティング協会 協会員〒556-0004 大阪市浪速区日本橋西
1-1-15 3階 cera-and-earth@ceramax.co.jp

2)無機有機ハイブリッド塗料とは、樹脂固形分中 15%以上のオルガノポリシロキサンと 85%以下の有機樹脂を複合した塗料である。

3. 無溶剤無機形塗料の超耐候性・耐紫外線性

地上に到達する太陽光は、紫外線の波長が短いほどエネルギーが大であるため、樹脂の化学結合を切断し易くなる。

化学結合とその解離エネルギーおよび紫外線の関係を表 1 に示す。

表 1 化学結合の解離エネルギーと紫外線の関係

化学結合	化学結合を有する樹脂	解離エネルギー (KJ/mole)	解離エネルギーを有する 紫外線の到達・吸収
C-C	一般有機樹脂の主鎖 ふっ素樹脂の主鎖	335	地上まで到達 UV-A (315～400nm)
C-F	ふっ素樹脂の側鎖	498	成層圏オゾン層で吸収 UV-C (200～80nm)
Si-O	無機形樹脂の主鎖	452	成層圏オゾン層で吸収 UV-C (200～80nm)

一般有機樹脂およびふっ素樹脂の主鎖は、地上まで到達する紫外線 UV-A により解離し易く、劣化し易い。

ふっ素樹脂の側鎖および無機形樹脂の主鎖は、UV-A では解離し難く、劣化し難い。

ふっ素樹脂の側鎖および無機形樹脂の主鎖は、UV-C により解離するが、UV-C は成層圏オゾン層で吸収されて、地上には到達しない。

従って、地上での紫外線に対する耐久性は、無機形樹脂＞ふっ素樹脂＞一般有機樹脂の順に優れている。

4. 沖縄県宮古島暴露試験

4-1. 試験の概要(抜粋)

阪神高速技術株式会社と一般社団法人無機質コーティング協会は、共同で無溶剤無機形塗料の暴露試験を実施した。

試験場所：(一財)日本ウェザリングテストセンター宮古島暴露場(山側)

暴露期間：2017 年 3 月～2022 年 2 月 5 年間

試験板の塗装：(一財)日本塗料検査協会

4-2. 塗装仕様

塗装仕様を表 2 に示す。

表 2 塗装仕様

仕様 No	工 程	塗 料 名	乾燥膜厚 (μm)	塗装間隔
MM-A (C-C-5①)3-0	防食下地	無機ジンクリッチペイント	75	2日～10日
	ミストコート	無溶剤無機形塗料下塗	—	5h～24h
	下塗	無溶剤無機形塗料下塗	75	2h～24h
	上塗	無溶剤無機形塗料上塗	60	—
MM-B (C-C-5②)3-0	下塗	無溶剤無機形塗料下塗	75	2h～24h
	上塗	無溶剤無機形塗料上塗	60	—
MM-C (C-5)3-0	防食下地	無機ジンクリッチペイント	75	2日～10日
	ミストコート	珪素樹脂塗料下塗	—	1日～10日
	下塗	厚膜形珪素樹脂塗料下塗	120	1日～10日
	中塗	珪素樹脂塗料用中塗	30	1日～10日
	上塗	珪素樹脂塗料上塗	25	—

素地調整：ブラスト ISO Sa 2 1/2 共通

4-3. 試験結果

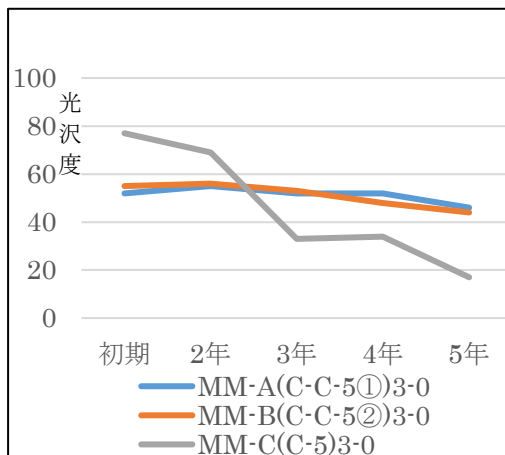


図 3 暴露年数と光沢度変化

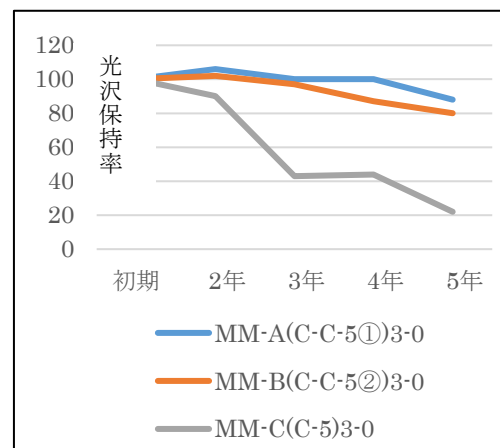


図 4 暴露年数と光沢保持率

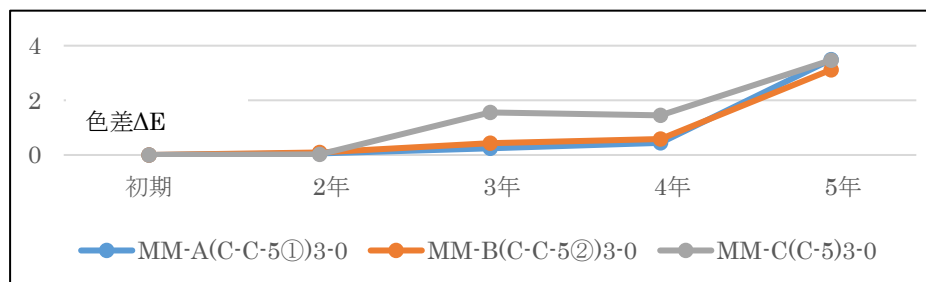


図 5 暴露年数と色差

表3 その他試験結果

		MM-A(C-C-5①)3-0	MM-B(C-C-5②)3-0	MM-C(C-5)3-0	備考
付着力試験 (N/mm ²)	3年	10.96 素地/接着剤95 接着剤内5	9.96 素地/接着剤95 接着剤内5	13.23 素地/接着剤90 接着剤内10	プルオフ法 剥離層
白亜化	3年	0(なし)	0(なし)	1	テープ法
	5年	0(なし)	0(なし)	2	
塗膜の外観 4年	さび	0	0	0	JIS K 5600-8-1~5
	はがれ	0	0	0	
	われ	0	0	0	
	ふくれ	0	0	0	
	カット部さび流れ(mm)	0	10	0	

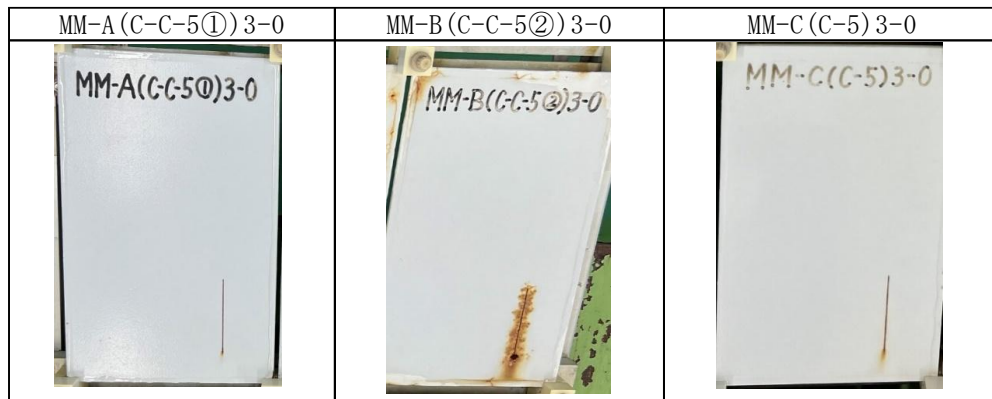


図6 暴露試験板 5年暴露後

4-4. 試験結果のまとめと考察

- (1) 初期光沢度は、MM-C(77)>MM-B(55)>MM-A(52)の順に高い。()内は光沢度。
- (2) 暴露5年後の光沢度は、MM-A(46)>MM-B(44)>MM-C(17)の順に高い。
- (3) 光沢保持率(%)は、MM-A(88)>MM-B(80)>MM-C(22)の順に高い。
- (4) 色差(ΔE)は、有意差がなく、いずれも変退色は小さい。
- (5) 付着力は、いずれも高く良好である。
- (6) 白亜化は、MM-Cは3年(白亜化程度1)、5年(同2)で確認されたが、MM-A、MM-Bはない。
- (7) 塗膜の外観のカット部からのさび汁流れは、MM-Bのみあるが、MM-A、MM-Cは無く良好である。さび汁流れは無機ジンクリッチ[®]の塗料の有無が影響したものとする。
- (8) 塗膜の外観は、さび、ふくれ、はがれ、われはなく、いずれも良好である。

以上のことから、無溶剤無機形塗料の優位性が確認された。

5. 本州四国連絡高速道路 六間川橋試験塗装の経過確認

- (1) 試験塗装:1995 年
- (2) 確認日:2024 年 11 月 29 年経過
- (3) 塗装仕様:3 種ケレン 変性エポキシ樹脂塗料+無溶剤無機形塗料上塗 1 回塗り
- (4) 確認日の塗膜外観:ふくれ、われ、はがれ、汚れなく健全である。

ウェブおよび下フランジ下面は光沢が残存しており、太陽光線を反射する。



図 10 六間川橋試験塗装桁全景 図 11 ウェブ 太陽光線反射 図 12 下フランジ 下面同反射

6. 沖縄県うるま市民家試験塗装の経過確認

- (1) 試験塗装:1995 年
- (2) 確認日:2024 年 11 月 29 年経過
- (3) 塗装仕様:素地調整後 無溶剤無機形塗料 2 回塗り
- (4) 確認日の塗膜外観:白亜化、ふくれ、われ、はがれ、汚れなく健全である。



図 13 うるま市民家 29 年経過 図 14 白亜化の確認 図 15 白亜化なし

7. 京阪電気鉄道 駅ホーム桁

- (1) 試験塗装:2006 年
- (2) 確認日:2024 年 10 月 24 日 18 年経過
- (3) 塗装仕様:変性エポキシ下塗+無溶剤無機形塗料 その他上塗
- (4) 確認日の塗膜外観:無溶剤無機形塗料は変退色小、ふくれ、はがれ、われ、汚れなく健全である。シリコン変性ポキシ仕上げは変退色大、汚れが大である。ポリウレタン仕上げは変退色大、白亜大である。



図 16 無溶剤無機形塗料仕上げ 図 17 シリコン変性エポキシ仕上げ 図 18 ポリウレタン仕上げ

8. 無機有機ハイブリッド塗料

8-1. 特徴

1. 省工程・工期短縮
2. 付着性に優れる
3. 高硬度かつ柔軟性
4. 高耐候性
5. 環境にやさしい

8-2. 用途

被塗物：橋梁、歩道橋、道路付属物、ガードレール、照明柱、遮音壁等の塗替え

素 材：鋼構造物・亜鉛めっき面・コンクリート・FRP・エンビ・タイル・木材等の塗替え

8-3. 塗装仕様

鋼構造物の塗替え

表 4 塗装仕様

工程		塗料名	標準使用量 (g/m ²)	標準膜厚 (μm)	塗装間隔 (20℃)	塗装 方法
1	素地調整	3種ケレン、電動工具と手工具の併用によりさび、付着物の除去 全面目粗し、清掃する。さび発生部は2種ケレンする。				
2	(補修塗)	無機有機ハイブリッド塗料 ジンク(主剤/硬化剤=97/3)	(150)	(70)	5時間～ 10日	はけ ローラー
3	上塗	無機有機ハイブリッド塗料 (主剤/硬化剤=97/3)	120	60		

8－4．無機有機ハイブリッド塗料の品質

表 5 無機有機複合形塗料の品質

試験項目	試験方法	品質
乾燥時間	半硬化乾燥	8h 以内
ポットライフ	23℃	5h で使用できる。
鏡面光沢度	60 度	80 以上
耐屈曲性	直径 2mm	折り曲げに耐える
おもり落下性	500mm×300g	割れ・はがれができない。
耐熱性	160℃×30 分	塗膜に異常がない。 付着性 分類 0
耐アルカリ性	飽和水酸化カルシウム溶液 168h 浸漬	異常がない
耐酸性	0.5%硫酸溶液	異常がない
耐湿潤冷熱繰返し性	23℃水中 18h⇒-20℃ 3h ⇒50℃ 3h の 10 サイクル	耐える
混合塗料中の 加熱残分%	105℃×3h	85
促進耐候性	キセノンランプ 法 1000h	光沢保持率 90% 白亜化なし
塩水噴霧試験	120h	割れ、はがれなし

8－5．施工事例



動力工具処理



無機有機ハイブリッド塗料
1 回塗り



塗膜変状なし

図 19 高速道路出路桁

図 20 ハケ・ローラー塗装中

図 21 施工 8 年後



図 22 立体駐車場床面 施工前



無機有機ハイブリッド 塗料シンク補修塗り
+ 無機有機ハイブリッド 塗料 1 回塗り
図 23 施工完了

9. シリカゴムコーティング材

金属酸化物のナノ粒子を連結した、無機有機ハイブリッド塗料。

9－1．特長

1. 省工程・工期短縮
2. 基材への付着性に優れる。
(コンクリート、鋼材、ゴム、シーリング材(変性シリコン))
3. 境界部から水の侵入を防ぐ。(止水)
4. 伸びがあり、強靱です。
5. 耐候性に優れる。(UV カット率 99.0%以上)

9－2．塗装仕様

表 6 塗装仕様

工程		塗料名	標準使用量 (g/m2)	塗装方法
1	素地調整	コンクリート部：電動工具と手工具の併用により、付着物の除去、全面目粗し清掃する。 既存塗膜 鉄部：同工具により脆弱塗膜、付着物の除去、全面目粗し脱脂、清掃する。		
2	上塗	シリカゴムコーティング材 (混合比 主剤/硬化剤=4/1)	300～400	はけ・ローラー

9-4. シリカゴムコーティング材の品質

表 7 シリカゴムコーティング材の品質

試験項目	試験方法	品質
付着強さ試験	JIS A6909 建築用仕上げ塗材 モルタル板 70×70×20mm 1.0 以上 (N/mm ²)	1.28 (N/mm ²)
付着性 (プルオフ法)	JIS K 5600-5-7 付着性 ガラス板 150×70×3.2mm	2.418 (Mpa)
促進耐候性	「首都高速道路(株) 鋼橋塗装設計施工要領」 500h 光沢保持率 70%以上	100%
景観(施工後の景観)	「試験方法同上」 著しい不連続がなく、調和して いる。	著しい不連続がなく、調 和している。
遮塩性(塩素イオン透過 量)	「試験方法同上」 5.0×10 ³ mg/cm ² ・日以下	4.0×10 ³ mg/cm ² ・日以下
中性化阻止性 (中性化深さ)	「試験方法同上」 1mm 以下	0mm
水蒸気透過阻止性 (水蒸気透過量)	「試験方法同上」 5.0mg/cm ² ・日以下	3.4mg/cm ² ・日
紫外線遮蔽率(%)	JIS L 1925:2019	99.0%以上
剥落防止性	阪神高速道路(株) 第2編コンクリ ート構造物表面保護要領 平成 30 年 7 月 押抜き変位 10mm 以上において 1.5kN 以上	2.1kN

9-5. 施工事例



図 24 橋脚耐震補強鋼材とコンクリートと境界部の止水



図 25 施工完了



図 26 高欄と路面の境界部の止水



図 27 施工完了

施工後 3 年塗膜変状なし。

9. まとめ

暴露試験結果および試験塗装の経過確認結果から、無溶剤無機形塗料の高耐久性が確認された。

無機有機ハイブリッド塗料は、1 コート施工で特に省工程・工期短縮が可能である。

以上のことから、無溶剤無機形塗料または無機有機ハイブリッド塗料を適用し、予防保全として適切な補修塗装工事を施すことにより、喫緊の課題である老朽化が進む社会インフラの長寿命化に貢献できるものと結論する。

1) 社会資本の老朽化の現状と将来—インフラメンテナンス情報, 国土交通省

<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research>

2) シリコンレジン&オレゴマー(2021 年 6 月現在), 信越化学工業(株)カタログ 16 頁

3) 太陽紫外線の概要 125 頁, 環境省

<https://www.env.go.jp/earth/ozone>qa>