

若戸大橋関連構造物の先駆的な塗装

福本英一郎¹⁾

1. はじめに

若戸大橋は旧日本道路公団が構築し、昭和 37 年 9 月に供用された我が国最初の海峡部吊橋です。

ここで実施したケーブルの送り出し工法や鋼製ケーソンの沈理工法等は、その後の関門橋・本四連絡橋構築でも採用され、当に吊橋の先駆け橋と言えます。

本橋は平成 17 年 9 月に旧日本道路公団から北九州市が譲り受け、北九州市道路公社の設立を介して維持管理を開始し、今日に至っています。

若戸大橋関連区間の全容は管理延長 2100m で、その内橋梁部が 1900m (若戸大橋本体 627m・取付け橋 1273m)、土工部が 200m となっています。

管理方針としては、当面 100 年後までに要する維持管理費がミニマムで済むような目標を掲げ、概ねこの 12 年間は各工事に工夫を重ねて実施しています。



写真-1 建設 56 年経過した若戸大橋

2. 塗装の種別

本橋梁の塗装の種別は建設時以来、有機質の塗料を採用していますが、採用塗料（塗装仕様）は表-1 に示すとおり変化しています。

表-1 使用塗料（塗装仕様）一覧表

	工程	塗料	使用量		工程	塗料	使用量
建設時 昭和37年	下塗り	塩酸基クロム酸塩さび止め塗料	—	成熟期 平成6年 ～ 平成16年	下塗り	変性エポキシ樹脂塗料	240
	下塗り	塩酸基クロム酸塩さび止め塗料	—		下塗り	変性エポキシ樹脂塗料	240
	中塗り	長油性フタル酸樹脂塗料	110		下塗り	変性エポキシ樹脂塗料	240
	上塗り	長油性フタル酸樹脂塗料	110		中塗り	ポリウレタン樹脂塗料	140
	上塗り	長油性フタル酸樹脂塗料	110		上塗り	ポリウレタン樹脂塗料	120
初期 昭和40年 ～ 昭和63年	下塗り	鉛系さび止め塗料1種	140	現時点 平成17年 ～ 平成30年	下塗り	有機ゾククリッチペイント	240
	下塗り	鉛系さび止め塗料1種	140		下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	200
	中塗り	超長油性フタル酸樹脂塗料	120		下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	200
	上塗り	超長油性フタル酸樹脂塗料	110		中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料	140
	上塗り	超長油性フタル酸樹脂塗料	110		上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料	120
中間期 平成元年 ～ 平成5年	下塗り	鉛系さび止め塗料	140	使用量:g/m ²			
	下塗り	鉛系さび止め塗料	140				
	中塗り	フェノール樹脂MIO塗料	250				
	中塗り	塩化ゴム系	170				
	上塗り	塩化ゴム系	150				

本橋は供用以降、おおむね 56 年経過（昭和 37 年 9 月～平成 30 年 3 月）したが、主塔は 7 回、中間塔は 6 回、塗替え塗装工事を実施しています。（当公社管理になって各々 1 回の実施）

補剛桁の塗替えは 6 回、塗替え塗装工事を実施しています。

（当公社管理になってからは実施していません）

すなわち平均すると、9 年余りのローテーションで塗替え塗装を実施していることになるのです。

1) 鈴木産業株式会社 技術顧問 東京都港区新橋 3-26-4 新弘ビル 2F
連絡先：鈴木産業株式会社 鈴木康弘 TEL03-3572-2571

本橋の補剛桁の塗替え（塗装面積：89000 m²）は塗装の経年劣化（前回施工から15～20年経過）により、近々行わなければならない状況ですが、1件工事で実施すれば塗装施工費：7.1億円、足場費4.3億円の合計11.4億円を要することが試算にて判明しています。（平成26年度単価）

当社の維持管理に対する基本的な考え方は、旧日本道路公団から北九州市が本橋を譲り受けた時の健全度性等を勘案し、目標とする耐用年数を今後100年としています。

従って過去の実績結果を基本にすると、補剛桁に限定しても今後12回の塗替え塗装工事を実施することとなり、137億円余の予算確保が必要となるが、さすがにこれは辛い状況です。

本橋においてなぜこれほどの頻度で塗替え塗装工事を実施しているかを思料すると、

- ① 若戸大橋は日本吊橋のエポックメイキング的存在と同時に、JR九州管内でも10番前後の乗客数（平日約1万人）がある戸畑駅ホームから直前に見える目立つインフラです。
- ② その景観保持（カドミューム・レッド…真紅）を意識しているのでは…？

供用当初、この周辺は一大工業地帯であり、ばい煙の中に含まれている亜硫酸ガスの影響を著しく受けました。

その結果の名残（供用以降20年間は概ね5～6年のローテーションで塗替え塗装工事を実施している）ではなからうか…と推測できるのです。

3. 無機質系塗装の情報

若戸大橋関連の塗替え塗装工事は平成19年度から開始し、最初が若戸大橋中間塔部（戸畑・若松の2基）です。この工事で採用した塗装仕様は、前回採用していた中塗り・上塗りがポリウレタン樹脂塗料仕様のものでした。ただし部分的にはブラスト法による1種ケレンや塗膜剥離材と電動工具を併用した2種ケレンを実施し、併せて中塗り・上塗りが弱溶剤形ふっ素樹脂塗料仕様を試験塗装として実施し、将来の塗替え塗装の在り方を模索していました。

また前文で述べた多額の塗替え塗装費の削減方法の1つとして、塗替え塗装ローテーションの長期化（塗装の長寿命化）が図れる材料を選定する大きなテーマでもありました。

そのタイミングに合わせたように、本州四国連絡高速道路(株)管理の岡山県倉敷市にある六間川橋で実施した塗替え塗装工事において、無機質系塗料を使用して平成7年2月に施工してそれから12年が経過したが、塗装に変状の形跡が全く見られない…との情報を併せて得たのです。

4. 無機質系塗装への移行

六間川橋の塗装状況も観察し、その現状分析と今後の推定も公社独自で実施しました。また（独）土木研究所が主催する「鋼橋塗装のコスト削減方法に関する共同研究」の重防食塗装系に関する性能評価試験の報告書データも入手することが出来ました。これは有機質系塗料メーカー5社のデータが主たるものですが、参考塗料として無機質系も同レベルで実施されていました。

その試験結果から、ふっ素樹脂塗料と同等以上の耐久性を持った材料（シロキサン結合の無機質塗料）があると明示されているのであります。その評価も参考とし、これらを踏まえ当社は無機質系塗装への移行を模索したのです。丁度その時期に塗替え塗装工事の施工時期を迎えた、橋長23mの鋼単純合成鈹桁（中川橋で塗装面積：448 m²）がありました。

この橋梁は交差点部上に構築されている橋梁で、上空の建築限界が極めて近いという条件を備えていました。

- ① この箇所で車両火災が発生すれば有機質系塗装は燃焼してしまうが、無機質塗装は燃焼しない
- ② 有機溶剤としてニスを使用しないため塗装時に特有の臭化もない

との2点から、本橋の塗装材料に無機質系塗料を用いた試験施工を実施することとなりました。

5. 無機質系材料とは

究極的にはガラスやセラミックのように、炭素を含まない原料を加工したものを無機質系材料と言います。当社が採用してきた無機質系材料は下記の原料を主材料とした3種類のものでした。

- ① 非鉄金属のケイ素を主材料としたシリコン100%のシロキサン結合造膜材料が挙げられる。
- ② 非鉄金属のケイ素を主材料としたアルコキシシラン化合物造膜材料（ポリマー化しSi-O-Si-O結合の疑似ガラスを形成）が挙げられる。
- ③ けい酸塩系反応硬化型造膜材料が挙げられる。

6. 無機質系塗装と有機質系塗装の比較

平成23年度に鋼3径間連続鈹桁（延長：102m）と鋼単純非合成鈹桁（3連で延長：76.5m）の塗替え塗装工事を同時に実施しています。

先の中川橋と同じく、上空の建築限界が極めて近い上下線の1径間分は無機質系塗料による塗装（塗装面積：1900㎡）を、それ以外の上下線の2径間分は有機質系塗料による塗装（塗装面積：3520㎡）を実施しました。

これは同一時期に、異種塗料を用いて施工し、その後の経年による変化を今後の参考資料とする主旨を持って実施したものです。

その当時の塗装仕様と塗装費用を表-2～5に示します。

塗装回数は無機質系塗装仕様で3回、有機質系塗装仕様で4回ですが、施工費用は無機質系塗装仕様の方が㎡当たりで約3割、割高となっていました。

表-2 無機質系塗装仕様

塗装工程	塗 装 材 料	使用量	塗装間隔
素地調整	—	—	—
下塗り	変性エポキシ樹脂塗料	150	6h～7日
中塗り	無機質系塗料	150	6h～7日
上塗り	無機質系塗料	130	6h～7日

使用量：g/㎡

表-4 有機質系塗装仕様

塗装工程	塗 装 材 料	使用量	塗装間隔
素地調整	—	—	—
下塗り	変性エポキシ樹脂塗料	200	1日～10日
下塗り	変性エポキシ樹脂塗料	200	1日～10日
中塗り	ふっ素樹脂塗料	140	1日～10日
上塗り	ふっ素樹脂塗料	120	1日～10日

表-3 無機質系塗装費

塗装工程	単 価 構 成		
	材 料 費	機材・労務費	合 計
素地調整	—	—	490
下塗り	802	385	1187
中塗り	802	305	1107
上塗り	1251	85	1336
合 計			4120

単価：円/㎡

表-5 有機質系塗装費

塗装工程	単 価 構 成		
	材 料 費	機材・労務費	合 計
素地調整	—	—	490
下塗り	170	385	555
下塗り	170	385	555
中塗り	237	305	542
上塗り	925	85	1010
合 計			3152

7. 会社が実施した無機質系材料使用実績

表-6 無機質系材料使用実績表

年度	橋梁名	施工面積(㎡)	
		鋼 材	コンクリート
H20	若松高架橋(鈹桁部)	448	
H21	戸畑高架橋(耐震補強部)	86	
H22	若松高架橋(耐震補強部)	382	
H23	戸畑高架橋(鈹桁部)	1900	
H24	若戸大橋(橋台部)		10710
H25	戸畑高架橋(鈹桁部①)	10820	1100
H25	戸畑高架橋(鈹桁部②)	8520	1670
H27	若松高架橋(耐震補強部)		980
H28	若戸大橋(補剛桁部)	2094	
合 計		24250	14460

当社が発注した無機質系材料を用いた工事件数は、表-6に示す9工事（鋼材塗装：7工事・コンクリート塗装：4工事）となっています。

コンクリート塗装は本橋両橋台及び若松側主塔基礎（合計3箇所）のライニング用に実施したのですが、その出来が良かったため、取付橋壁高欄のライニングに応用しているものです。そのコンクリート部の防水塗装仕様を表-7～9に示します。またガードレール類の塗替えも無機質系材料を用いて実施しており、長期防錆のテストケースとしています。

表-7 戸畑橋台塗装仕様

塗装工程	塗 装 材 料	使用量	塗装間隔
素地調整	バリ等を電動工具にて除去。その後洗浄		
下塗り	ケイ酸専用プライマー	150	3h~5h
中塗り	無機質系カラー着色コーティング材	150	0.5h~1h
上塗り	無機質系カラー着色コーティング材	150	

表-8 若松橋台塗装仕様

塗装工程	塗 装 材 料	使用量	塗装間隔
素地調整	バリ等を電動工具にて除去。その後洗浄		
下地調整	無溶剤3材型無機質系被覆材	150	3h~5h
上塗り	無溶剤1液型無機質塗料	150	

表-9 若松主塔基礎塗装仕様

塗装工程	塗 装 材 料	使用量	塗装間隔
素地調整	バリ等を電動工具にて除去。その後洗浄		
下塗り	無溶剤・無機質系コーティングプライマー	200	16h~7日
上塗り	無溶剤・無機質系コーティング材	150	

8. 無機質系塗装工事の詳細

平成 25 年度に実施した戸畑高架橋（鈹桁部）の 2 工事について詳述します。塗装仕様は表-2 に示すとおりです。

工事は今後の施工時を考慮して、極暑時（8月施工）と極寒時（2月施工）の施工データ蓄積を念頭に実施しました。

無機質系塗料を採用するに当たり、最も懸念すべき事項は前回施工されていた有機質系塗料との相性（付着）です。

塗替え塗装の基本は旧塗装の活膜は活用（利用する）するとの方針から、付着力テスト（アドヒージョンテスト）を最優先事項として、工事前後に実施しています。

工事前は旧有機質系塗装の現状確認（各層の付着状況）であり、工事後は有機質系塗膜の外観確認と無機質系塗膜との付着状況の確認です。

社団法人 日本鋼構造協会が発行している「鋼構造物塗膜調査マニュアル」のアドヒージョンテストの項では、引張付着力が 2.0MPa 以上を最も高い評価点としています。

実施した 2 工事とも工事後の引張付着力は 5MPa 以上が確認されており、有機質系塗料上に無機質系塗料を塗装する際の問題は発生していません。

以下に塗替え塗装工事状況を写真-2~9 に示します。



写真-2 戸畑トラス高架橋 (L=244m)



写真-3 施工前状況



写真-4 ケレン状況 (アンカーパターン作成)



写真-5 タッチアップ状況



写真-6 下塗り状況

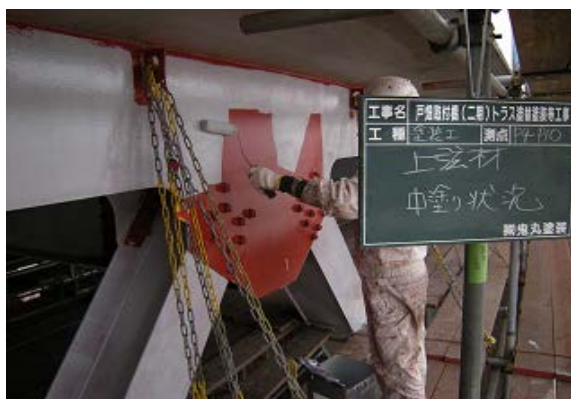


写真-7 中塗り状況 (中塗り塗装色は白色)



写真-8 上塗り状況 (上塗り塗装色は5R4)



写真-9 塗替え塗装完成 (光沢度極めて高い)

無機質塗料の改善希望事項は次のとおりです。

- ① 早期の乾燥化への材質改善
(一層 1 日施工への標準化)
- ② 塗料の塗り易さの標準化
(塗装作業員の技量により、施工度に難・容の格差が多い)
- ③ 光沢度を犠牲にしてもさらっと感の重視
- ④ バインダー液の混合の容易性の向上
(1 液性から 2 液性への材質改善)

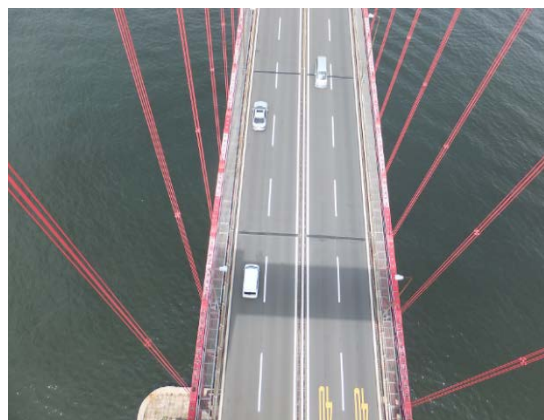


写真-10 上弦材塗装の白亜化現象

9. 補剛桁の塗替え塗装への展望

補剛桁（延長：627m）の前の塗替え塗装は平成11年1月から平成16年3月に亘り、戸畑側から片押しで6工区に分割して実施されています。従って塗装仕様は表-1に示す中塗り・上塗りがポリウレタン樹脂塗料のものです。補剛桁全体の傾向とすれば、スプライス部の孔食とチョーキング化（白亜化）が進行しており、本橋の特徴である景観保持（真紅色）から逸脱して久しい状態になっています。

特に戸畑側単純トラス部は塗膜のクラックが進行して活膜の活用は望めないため、全塗装剥ぎ取りの後の塗装を念頭に入れています。補剛桁全体の塗装計画を表-10に示しますが、本橋のメッセンジャー的役割から、有機質系材料と無機質系塗料を用いた塗替え塗装のテストケースになると考えています。（塗装面積：89000 m²）

表-10 補剛桁塗装計画

若戸大橋 全長627m				
戸畑側 単純トラス	戸畑側 側径間	中央径間	若松側 側径間	若松側 単純トラス
41m	89m	367m	89m	41m
6000m ²	13000m ²	51000m ²	13000m ²	6000m ²

10. 若松側トラス橋の塗り替え塗装への展望

若松側トラス橋（鋼6径間単純トラス 延長：276m…一期線・鋼2径間連続トラス及び鋼4径間連続トラス 延長：280m…二期線）の前の塗替え塗装は平成16年3月に実施されています。

従って塗装仕様は補剛桁と同じく表-1に示す中塗り・上塗りがポリウレタン樹脂塗料のものです。若松側トラス橋全体の傾向とすれば、スプライス部の孔食とチョーキング化（白亜化）が進行しており、ここもまた塗替え塗装が急がれると思います。

次回の塗替え塗装の仕様は表-2を基本と考えています。（塗装面積：28000 m²）

11. 平成30年の六間川橋の塗装状況

本州四国連絡高速道路（株）岡山管理センターの好意により、六間川橋の塗装状況を見学させていただきました。

平成7年2月塗り替え塗装施工されてから23年経過した現在、無機質材使用範囲においてはエッジ部に若干の変状は見受けられます。

有機質材使用範囲には塗装面積全体のチョーキングの状況が発生していますし、エッジ部、ボルト部の錆は顕著な症状が認められます。

無機質材使用範囲においては今後5～6年、即ち、平成30年後半頃（塗り替え後30年間）までは次回の塗り替え塗装を計画しなくても良いのではないかと思料できる状況でした。



写真-11 塗装状況
（リブ境に左は有機塗装・右は無機塗装）



写真-12 塗装状況
（リブ境に左は無機塗装・右は有機塗装）

12. あとがき

塗装施工に対する評価はどのような塗料（有機質系・無機質系）を使用しても、施工後早ければ数年、場合に

よっては数十年の時間経過を待つことになるのです。

当会社として今般、無機質系塗料の採用を決めたのは平成 19 年に実施した中間塔塗替え塗装工事において、耐久性が高いと評されていた弱溶剤形ふっ素樹脂塗料を使用した部位に退色変状が発生し、その塗料の採用に躊躇したものではありません。

従って当公社現場での経験工学上からの判断であり、この事象がオールジャパンに共通するものでないことは明記します。

また当公社管理の橋梁 2 橋において、平成 16 年実施した塗替え塗装工事の隣接個所で、極端に塗膜の劣化が早いものが存在します。

この時の塗装仕様も有機質系塗料を使用していることから、新しい塗料への関心度は高まっていました。

塗装の出来栄を決定する要素は、塗料材料の製品力 (50%)・塗装工の施工技術 (30%)・施工会社のマネジメント能力 (20%) の集計結果であると思っています。

この 3 項目の中で値として低い評価となっていますが、施工会社のマネジメント能力が施工総合高評価の要因と考えています。

すなわち、塗装の品質管理や塗装工の施工に対する技術指導を 100% 近く行えば、より高い出来栄が成就できると考えるからです。

当公社は日本で最後の設立道路関係公社であろうと言われており、ベンチャー企業的な感覚 (良いと思われる内容の事項は率先して採用すべし) を持っている、ある意味特異な自治体でもありました。

この 3 項目の中で値として低い評価となっていますが、施工会社のマネジメント能力が施工総合高評価の要因と考えています。

すなわち、塗装の品質管理や塗装工の施工に対する技術指導を 100% 近く行えば、より高い出来栄が成就できると考えるからです。

当公社は日本で最後の設立道路関係公社であろうと言われており、ベンチャー企業的な感覚 (良いと思われる内容の事項は率先して採用すべし) を持っている、ある意味特異な自治体でもありました。

近い将来、公社としての形態消滅時期を迎える時限公社であるがゆえに、無機質系塗料にイノベーションとレガシーを求めたのも本音であると思っています。

無機質系塗料と有機質塗料の比較の項で述べたとおり、塗装用材料としては無機質系塗料の方が有機質系塗料に較べてイニシャルコストとして、約 3 割割高となっていました。

しかし耐用年数 (無機質系塗料は 3、無機質系塗装の情報の項で述べた、本四高速・六間川橋の実績と現時点状況から 25 年以上と想定) は有機質系塗料と比べ、2 倍以上の優位性を持つものと評価しており、ランニングコストを含めた総合的判断から無機質系塗料採用に踏み切ったものであります。

塗装費の約 4 割が足場費の現実から、塗装ローテーションが有機質系塗料を使用した場合 (本橋では 12~13



写真-13 呷素塗装の変状



写真-14 同材齢の塗装変状例

年が現実である)の2倍以上になれば、逆に割安になるのです。

近年では有機質系塗料でも長期防錆が可能な塗料が開発されつつあると聞きますが、実験室内での話であり、施工実績が重視される現場での評価はどうか…と少々考えられます。

塗替え塗装の難しいのは、決められた日までに塗り替えないと橋に重大な支障が発生する…と言う、定量的な約束事項がある訳ではないため、担当者の考え方や外的情勢に左右されます。

すなわち、先送りになりやすい工事の1つであると言えます。