

VOC（揮発性有機化合物）の排出量を抑えた 河川鋼構造物用防食塗料

独立行政法人土木研究所
材料資源研究グループ（新材料）
富山 禎仁

河川構造物管理研究セミナー（平成25年3月7日）

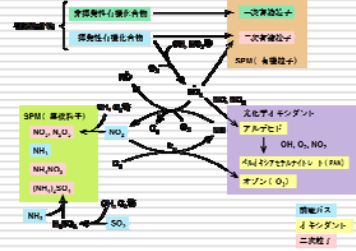
VOC（揮発性有機化合物）とは？

□ 揮発性有機化合物 (volatile organic compounds, VOC)

⇒ 揮発性を有し、大気中で気体となる有機化合物の総称。トルエンやキシレンなど。

⇒ 光化学オキシダントや浮遊粒子状物質の原因物質の一つ。

⇒ 従来の塗料には樹脂や顔料、添加剤などを均一に溶解あるいは分散させるため、塗装の際に塗装作業性や乾燥性などを調整するために、多くのVOCを含む有機溶剤が使用されている。



大気中のVOC等の反応メカニズム

出典：脱北水素圏に係る科学的基礎情報調査（三菱化学安全科学研究所）

2

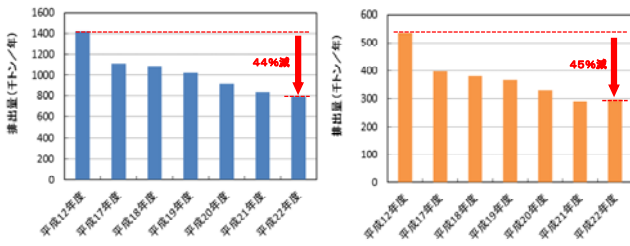
VOC削減への社会的取り組み

□ 改正大気汚染防止法（平成16年5月公布）

⇒ 平成12年度を基準として平成22年までに固定発生源から排出されるVOC排出量を30%程度削減することを目安とした。

⇒ 法規制と事業者の自主的取組みによる排出抑制とを組み合わせた「ベスト・ミックス」により、効果的な削減を推進する。

⇒ 平成18年4月1日よりVOCの排出規制がスタート



VOC排出総量（固定発生源）の推移

VOC排出量（塗料・塗装）の推移

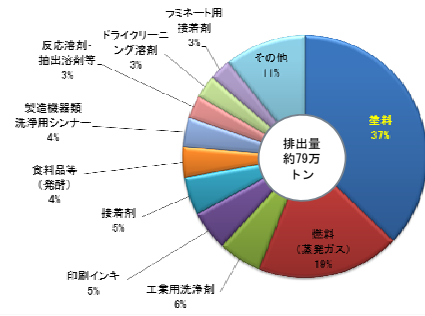
3

わが国におけるVOCの排出量とその内訳

□ 揮発性有機化合物 (volatile organic compounds, VOC)

⇒ 固定発生源より年間約79万トン（平成22年度）が排出されている。

⇒ そのうち「塗料・塗装」によるものが37%を占める。



発生源ごとのVOC排出量の推計結果（平成22年度）

4

現場塗装に適用できる技術開発の必要性

□ 公共事業における構造物塗装からのVOC排出量を削減するための技術開発が必要。

⇒ 工場内塗装では工程や設備の改善によるVOC排出抑制策が期待できる。

- ・色替え方式・調色順序の見直し
- ・スプレーガンのタイプ変更やスプレー作業の改善による塗着効率の向上
- ・局所排気装置の設置、制御風速の調整
- ・排ガス処理装置（アフターバーナー、活性炭回収装置等）の導入

⇒ 現場塗装では塗料に含まれるVOC自体を大幅に削減する必要がある。

鋼構造物の現場塗装へ適用可能な低VOC塗料の開発

5

低VOC塗料の種類および特徴

塗料のタイプ	VOC削減効果	課題
無溶剤形塗料	効果は大きい 但し、100%の削減にはならない	可使用時間が短く、低温では粘度が高く塗膜の硬化乾燥も遅い。 用途に応じて、作業性、乾燥性、塗膜性能等の検討が必要。
粉体塗料	効果は大きい	薄膜化が困難である。 加熱乾燥が必要であるため、現場塗装は不可。
水性塗料	効果は大きい 但し、100%の削減にはならない	塗装時の温度のコントロールが必要。 用途に応じて、作業性、乾燥性、塗膜性能等の検討が必要。
ハイソリッド形塗料（低溶剤形塗料）	他の低VOC塗料に比べて効果は小さい	塗装作業性はやや低下するが、実用性にほぼ問題なし。

※ 低VOC塗料：顔料等の不揮発分以外に含まれる成分のうちVOC成分が非常に少ないまたはVOC成分を含まない塗料

低VOC塗料以外の方策としては、塗着効率の改善（新規塗装機器の採用）、塗装工数の削減（省力化）、耐久性塗料の使用による塗替え回数の削減などがある。

6

低VOC塗料の種類および特徴

塗料のタイプ	VOC削減効果	課題
無溶剤形塗料	効果は大きい 但し、100%の削減にはならない	可使用時間が短く、低温では粘度が高く塗膜の硬化乾燥も遅い。 用途に応じて、 作業性、乾燥性、塗膜性能等の検討が必要。
粉体塗料	効果は大きい	硬化が速く、加熱乾燥が必要であるため、現場塗装不可。
水性塗料	効果は大きい 但し、100%の削減にはならない	塗装時の 温度のコントロール が必要。 用途に応じて、 作業性、乾燥性、塗膜性能等の検討が必要。
ハイソリッド形塗料 (低溶剤形塗料)	他の低VOC塗料に比べて効果は小さい	塗装作業性はやや低下するが、実用性にほぼ問題なし。

※ 低VOC塗料：顔料等の不揮発分以外に含まれる成分のうちVOC成分が非常に少ないまたはVOC成分を含まない塗料

低VOC塗料以外の方策としては、**塗着効率の改善**(新規塗装機器の採用)、**塗装工程の削減**(省力化)、**耐久性塗料の使用による塗替え回数の削減**などがある。

7

「鋼構造物塗装のVOC削減に関する共同研究」

共同研究について

土木研究所と公募に応じた塗料製造会社6社（関西ペイント㈱、㈱トウベ、神東塗料㈱、中国塗料㈱、日本ペイント㈱、大日本塗料㈱）とによって、平成18年4月～平成23年3月までの5年間実施された。

本研究におけるVOC削減へのアプローチ

- 鋼道路橋塗装：従来の溶剤形塗料を**水性塗料**へ転換
- 河川鋼構造物塗装：従来の溶剤形塗料を**無溶剤/低溶剤形塗料**へ転換

VOC削減形塗料の課題

- 従来の水性塗料：防食性に劣る。塗装条件が制限される(乾燥・硬化しにくい)
- 従来の無溶剤形塗料：施工性に劣る。

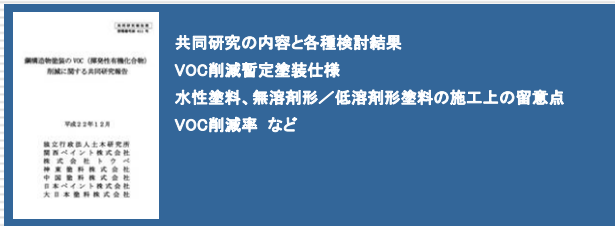
本研究の技術開発により解決を図った

8

「鋼構造物塗装のVOC削減に関する共同研究」

共同研究報告書

共同研究の成果については、土木研究所共同研究報告書第411号「**鋼構造物塗装のVOC(揮発性有機化合物)削減に関する共同研究報告**」(平成22年12月)に取りまとめた。



<http://www.db.pwri.go.jp/pdf/D6784.pdf>

9

「鋼構造物塗装のVOC削減に関する共同研究」

- 河川鋼構造物塗装における**現状の塗装系**(土木研究所資料第3684号「河川・ダム施設防食ガイドライン(案)塗料・塗装編」参照)と**同等の性能を有するVOC削減塗装系の構築**をめざした。

本研究における無溶剤/低溶剤形塗料の目標性能

項目	試験内容	目標性能
塗膜性能	防食性	溶剤形塗装系と同等以上
	耐水性	
	耐衝撃性	
	耐摩耗性	
VOC量	沸点260℃以下の物質の含有量	塗装系中のエポキシ樹脂塗料の総VOC量を90%削減する
塗装作業性(施工性)	夏季・冬季における施工性	塗装作業に支障が無く、目標の塗膜性能を有した塗膜が得られること。



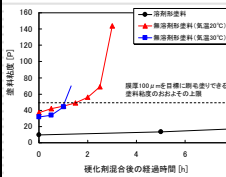
10

無溶剤形塗料の特徴(1)



塗料粘度・温度測定、ローラー塗装作業性の試験結果(気温28℃)

試験塗料	評価項目	混合直後	混合1時間後	混合2時間後
無溶剤形A	塗料温度	28℃	43℃	70℃
	塗料粘度	37dPa・s	45dPa・s	固化
	ローラー塗装作業性	良好	ローラー裏ののびない	塗装不可
無溶剤形B	温度	30℃	45℃	70℃
	粘度	40dPa・s	28dPa・s	固化
	ローラー塗装作業性	良好	ローラーの転がりが速く、塗料が広がらない	塗装不可



低温環境における塗膜の乾燥性評価結果の一例

温度	試験塗料	乾燥状態	0時間	8時間	24時間	48時間	120時間
5℃	溶剤形	指触	○	-	-	-	-
		硬化	x	○	-	-	-
	無溶剤形	指触	x	x	○	-	-
		硬化	-	-	x	○	-

無溶剤形塗料の施工性検討結果の例(硬化剤混合後、急激に塗料粘度が上昇するため、30℃では約2時間、30℃では約1時間しか塗装することができないことが認められる)

- > 常温以上では可使用時間が短くなる。
- > 低温では粘度が高くなり、塗膜の硬化乾燥も遅い。

無溶剤形塗料の特徴(2)

- 常温以上では可使用時間が短くなる。
- 低温では粘度が高くなり、塗膜の硬化乾燥も遅い。

はけ・ローラー塗装は困難

電子制御混合式エアレスプレー塗装機が有効

※電子制御混合式エアレスプレー塗装機：塗装機本体から所定量の塗料液および硬化剤を別々に吐出、塗装機外の混合ミキサー(スタティックミキサー)で混合し、混合液をスプレーノズルから噴射する。塗料液、硬化剤の温度、流量、圧力は電子的に制御される。



電子制御混合式エアレスプレー塗装機

ただし

- 当該塗装機は現状では高価であり、一般には広く普及していない。
- 一般的な塗装現場は作業空間など様々な制約があり、必ずしも当該塗装機による塗装を適用できるわけではない。

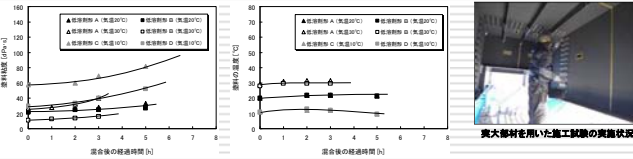


スタティックミキサー

現段階で無溶剤形塗料を河川鋼構造物の現場での塗着塗装に適用することは困難と判断される。

低溶剤形塗料の特徴

- 無溶剤形塗料よりもVOC削減率は低くなるが、従来の溶剤形塗料に比べて大幅にVOCを削減することのできる**低溶剤形塗料**について、同様に検討した。



- 標準用は20℃で5時間、30℃で3時間の可使用時間がある。
- 低温用は10℃で5時間の可使用時間がある。
- 作業性・ポットライフ・乾燥性・塗り重ね適性に大きな支障はなく、低温環境下においても十分施工可能である。
- 仕上がり外観は従来のエポキシ樹脂塗料と比べやや凹凸が目立つが、膜厚確保の観点から現状ではやむを得ない。



無溶剤／低溶剤形塗料の特徴のまとめ（1）

- 無溶剤形エポキシ樹脂塗料は常温以上では可使用時間が短く、低温では粘度が高く塗膜の硬化乾燥も遅い。よって、**河川鋼構造物の現場での塗替塗装において、はけやローラーで塗装することは困難である。**
- 無溶剤形エポキシ樹脂塗料は、**電子制御混合式エアレスプレー塗装機**により、**可使用時間を考慮せずに施工することができる。ただし、塗料の加温により適正な粘度に調整しなければならず、また、混合不良によって健全な塗膜が形成されない場合もある。塗装機や周辺機器を設置するための敷地の確保や、塗料の飛散防止対策も必要。**
- 現状では、無溶剤形エポキシ樹脂塗料は**新設工場塗装**と、**小型水門などの塗替塗装において工場に搬入して塗装する場合などに限り適用が可能である。**

無溶剤／低溶剤形塗料の特徴のまとめ（2）

- 低溶剤形エポキシ樹脂塗料は無溶剤形エポキシ樹脂塗料よりも**施工性は良好**であり、河川鋼構造物の現場塗替においても、**はけやローラーによる塗装が可能**である。ただし、従来の溶剤形エポキシ樹脂塗料と比べて**可使用時間が短い**ことや、**仕上がり外観がやや劣る**ことは、塗料の配合上、現状では避けられない。
- 無溶剤／低溶剤形エポキシ樹脂塗料は共に、従来の**溶剤形エポキシ樹脂塗料と同等の塗膜性能を有するもの**と期待される。（ただし、厳しい腐食環境である河川環境における長期間の耐久性については、本研究期間内では十分に確認されておらず、今後も引き続き検証する必要がある。）
- 河川鋼構造物の現場での塗替塗装のVOC削減には、**現行の溶剤形エポキシ樹脂塗料に対し、低溶剤形エポキシ樹脂塗料を適用するのが妥当である。**

VOC削減形河川鋼構造物用提案塗装仕様（1）

河川鋼構造物（水中部）用の塗替塗装系（素地調整程度1種）

塗装工程	河川・ダム施設防食ガイドライン(案)におけるb-1B塗装系	VOC削減提案塗装系	塗装期間
	塗料一般名 参考膜厚（標準使用量）	塗料一般名 参考膜厚（標準使用量）	
素地調整	1種	1種	4時間以内
下塗	有機ジンクリッチペイント 37.5μm (300g/m ²)	有機ジンクリッチペイント はけ・ローラー：37.5μm (300g/m ²) スプレー：75μm (700g/m ²)	
下塗	有機ジンクリッチペイント 37.5μm (300g/m ²)	有機ジンクリッチペイント はけ・ローラー：37.5μm (300g/m ²)	1日～10日
下塗	実性エポキシ樹脂塗料（水中部用） 60μm (240g/m ²)	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 はけ・ローラー：120μm (350g/m ²) スプレー：120μm (460g/m ²)	1日～10日
下塗	実性エポキシ樹脂塗料（水中部用） 60μm (240g/m ²)	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 はけ・ローラー：120μm (350g/m ²) スプレー：120μm (460g/m ²)	1日～10日
下塗	実性エポキシ樹脂塗料（水中部用） 60μm (240g/m ²)	—	1日～10日
VOC量*	530g/m ²	270g/m ² 程度	
VOC削減率	—	49% 程度	

* 最大の希釈率（塗料メーカー推奨値）で希釈した時の、希釈シンナーを含めた全VOC量。

VOC削減形河川鋼構造物用提案塗装仕様（2）

河川鋼構造物（大気部）用の塗替塗装系（素地調整程度1種）

塗装工程	河川・ダム施設防食ガイドライン(案)におけるc-1B塗装系	VOC削減提案塗装仕様	塗装期間
	塗料一般名 参考膜厚（標準使用量）	塗料一般名 参考膜厚（標準使用量）	
素地調整	1種	1種	4時間以内
下塗	有機ジンクリッチペイント 37.5μm (300g/m ²)	有機ジンクリッチペイント はけ・ローラー：37.5μm (300g/m ²) スプレー：75μm (700g/m ²)	
下塗	有機ジンクリッチペイント 37.5μm (300g/m ²)	有機ジンクリッチペイント はけ・ローラー：37.5μm (300g/m ²)	1日～10日
下塗	実性エポキシ樹脂塗料（大気部用） 60μm (240g/m ²)	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 はけ・ローラー：120μm (350g/m ²) スプレー：120μm (460g/m ²)	1日～10日
下塗	実性エポキシ樹脂塗料（大気部用） 60μm (240g/m ²)	—	1日～10日
中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗 40μm (180g/m ²)	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 はけ・ローラー：40μm (180g/m ²) スプレー：40μm (240g/m ²)	1日～10日
上塗	ふっ素樹脂塗料上塗 30μm (140g/m ²)	水性ふっ素樹脂塗料上塗 はけ・ローラー：30μm (140g/m ²) スプレー：30μm (180g/m ²)	1日～10日
VOC量*	460g/m ²	240g/m ² 程度	
VOC削減率	—	48% 程度	

* 最大の希釈率（塗料メーカー推奨値）で希釈した時の、希釈シンナーを含めた全VOC量。

VOC削減形河川鋼構造物用提案塗装仕様（3）

河川鋼構造物（大気部）用の塗替塗装系（素地調整程度3種）

塗装工程	河川・ダム施設防食ガイドライン(案)におけるc-1B塗装系	VOC削減提案塗装仕様	塗装期間
	塗料一般名 参考膜厚（標準使用量）	塗料一般名 参考膜厚（標準使用量）	
素地調整	3種	3種	4時間以内
下塗 (鋼材露出部)	実性エポキシ樹脂塗料（大気部用） 30μm (120g/m ²)	低溶剤形エポキシ樹脂塗料（大気部用） はけ・ローラー：— (120g/m ²)	
下塗	実性エポキシ樹脂塗料（大気部用） 60μm (240g/m ²)	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 はけ・ローラー：120μm (350g/m ²) スプレー：120μm (460g/m ²)	1日～10日
下塗	実性エポキシ樹脂塗料（大気部用） 60μm (240g/m ²)	—	1日～10日
中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗 40μm (180g/m ²)	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 はけ・ローラー：40μm (180g/m ²) スプレー：40μm (240g/m ²)	1日～10日
上塗	ふっ素樹脂塗料上塗（大気部用） 30μm (140g/m ²)	水性ふっ素樹脂塗料上塗 はけ・ローラー：30μm (140g/m ²) スプレー：30μm (180g/m ²)	1日～10日
VOC量*	360g/m ²	110g/m ² 程度	
VOC削減率	—	69% 程度	

* 最大の希釈率（塗料メーカー推奨値）で希釈した時の、希釈シンナーを含めた全VOC量。

まとめ

- 河川鋼構造物（水中部）の塗替塗装には、従来の変性エポキシ樹脂塗料を**低溶剤形塗料**に置き換えたVOC削減塗装系が適用できる。この場合、およそ**50%のVOC削減効果**が期待できる。
- 河川鋼構造物（大気部）の塗替塗装には、従来の変性エポキシ樹脂塗料を**低溶剤形塗料**に、ふっ素樹脂塗料用中塗、ふっ素樹脂塗料上塗をそれぞれ**水性塗料**に置き換えたVOC削減塗装系が適用できる。この場合、およそ**50～70%のVOC削減効果**が期待できる。
- 今後は、これまでに実施している提案塗装系の暴露試験を引き続き追跡調査し、防食性や耐候性などの**長期耐久性に関するデータを蓄積**していくと共に、**実構造物への試験施工**などを通じて、必要に応じてVOC削減提案塗装系における膜厚や使用量の見直しを図っていきたい。