

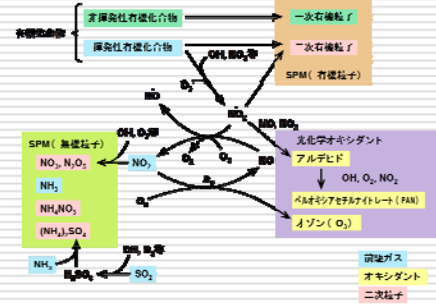
VOC（揮発性有機化合物）の排出量を抑えた 鋼構造物用防食塗料

独立行政法人土木研究所
 大日本塗料株式会社
 日本ペイント株式会社
 関西ペイント株式会社
 神東塗料株式会社
 中国塗料株式会社
 株式会社 トウベ

土研新技術ショーケース2012 in 東京(平成24年9月11日)

研究の背景

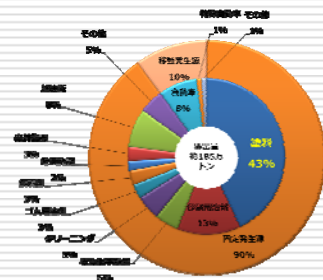
- 揮発性有機化合物 (volatile organic compounds, VOC)
 - 光化学オキシダントや浮遊粒子状物質の原因物質の一つ。
 - わが国では年間約185万トン(平成12年度)を排出。



2

研究の背景

- 揮発性有機化合物 (volatile organic compounds, VOC)
 - 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。
 - わが国では年間約185万トン(平成12年度)を排出。



国連気候変動枠組条約のインベントリによるわが国のVOCの排出量内訳(平成12年度)

3

研究の背景

- 揮発性有機化合物 (volatile organic compounds, VOC)
 - 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。
 - わが国では年間約185万トン(平成12年度)を排出。

塗料・塗装におけるVOC成分排出量の推計結果(平成12年度)

VOC成分	排出量(トン/年)
トルエン	183,602
キシレン	162,144
1,3,5-トリメチルベンゼン	84,626
酢酸エチル	54,911
デカン	45,854
メタノール	38,067
酢酸ブチル	30,469
メチルイソブチルケトン	28,104
メチルエチルケトン	21,662
ブチルセロソルブ	19,497

4

研究の背景

- 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%削減することを目安としている。
 - ⇒ 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「ベスト・ミックス」により、効果的な削減を推進する。
- 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。
 - ⇒ 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。

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

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

6

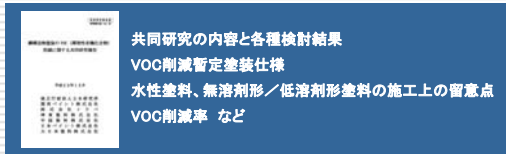
「鋼構造物塗装のVOC削減に関する共同研究」

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㈱、㈱トウペ、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。

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**」（平成22年12月）に取りまとめた。



共同研究の内容と各種検討結果
VOC削減暫定塗装仕様
水性塗料、無溶剤形/低溶剤形塗料の施工上の留意点
VOC削減率 など

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

7

水性塗料の改良と性能評価（1）

- 鋼道路橋の新設塗装については「鋼道路橋塗装・防食便覧（便覧）」の**C-5塗装系**、塗替塗装については便覧の**Rc-I、Rc-III塗装系**と同等の性能を有する水性塗装系を構築することを目標とした。
- 約30種類の試作塗装系について塗膜性能や塗装作業性の評価を実施し、その結果を新規水性塗料の開発・改良にフィードバックさせた。

本研究における水性塗料の目標性能

項目	試験内容	目標性能
塗膜性能	複合サイクル腐食試験	C-5塗装系と同等以上
	塗膜の水蒸気透過性	
	塗膜の酸素透過係数	
	塗膜の直流抵抗	
	促進耐塩性試験	
VOC量	沸点260℃以下の物質の含有量	C-5塗装系と比較して、VOC削減率90%程度
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。

8

水性塗料の改良と性能評価（2）

試験項目	主な試験項目			
	試験目的	試験方法		
耐久性試験	耐候性、防食性	沖積暴露 つくば暴露		
	防食性	土研式複合サイクル腐食試験 (JIS K 5600-7-9)	屋外暴露試験	
		耐候性	キセノンランプ法 (JIS K 5600-7-7)	複合サイクル腐食試験
	促進劣化試験	耐水性	耐塩性試験 (JIS K 5600-7-2)	耐塩性試験
		冷熱繰返し性	耐凍結融解繰返し性試験 (JIS K 5600-7-4)	耐凍結融解繰返し性試験
	塗膜表面観察	表面状態劣化	電子顕微鏡観察	電子顕微鏡観察
電気特性		IRによる組成変化 インピーダンス法	インピーダンス測定	
塗膜特性試験	環境耐性	重塩酸抵抗	重塩酸抵抗	
	塗膜物性	塗膜透過性	塗膜透過率測定	
		塗膜硬さ	インピーダンス測定	インピーダンス測定
施工性試験	塗装作業性、乾燥性、仕上がり性、塗着性等	各種室内試験 実大試験体を用いた塗装試験	実大試験体を用いた塗装試験	

9

研究結果の概要（水性塗料）（1）

- 水性塗料を適用した提案塗装系は、新設塗装系・塗替塗装系のいずれにおいても、**溶剤形塗料による従来塗装系と概ね同等の塗膜性能**を有するものと期待される。（ただし、防食性や耐候性などの長期耐久性については、本研究で得られたデータのみでは結論が出せないため、今後も引き続き検証する必要がある。）
- 水性塗料全般の傾向として**低温や高温環境下では乾燥しにくい**ため、塗膜形成する前に降雨や結露が起こると、白化やつや引け等の塗膜表面の変状や、さらには塗膜の流出や膨れなど、**防食性能への影響が懸念される現象**も起こる可能性がある。
→ 適切な施工環境が確保できない場合（河川水と接する鋼製橋脚など）には、現状では水性塗料の適用は困難。
- 水性塗料は**はけ・ローラーで均一な膜厚に塗装することは難しく、また、厚膜になるとたれ易い**傾向にある。これは、低温や高温環境下で特に著しい。
- 水性塗料は溶剤形塗料と比べて**さび層への浸透性が低い**と考えられる。さびの除去が不十分であると残存さび層が脆弱層となり、防食性に影響を及ぼす。

10

研究結果の概要（水性塗料）（2）

- 水性無機ジンクリッチペイントは、**塗装時に膜厚や施工環境（気温や湿度）のより厳密な管理**が求められる。また、エアレス塗装機の内部に詰まりやすいことなど、**施工性の面で多くの課題**があり、**現状での実用化は困難**である。
- 溶剤形無機ジンクリッチペイントの上に水性エポキシ樹脂塗料を塗装する場合、ミストコート無しでは破泡跡が残る傾向がある。**ミストコートは必須**。
- 水性有機ジンクリッチペイントの空隙率は溶剤形より高い傾向にある。基本的にミストコートは必要としないが、更なる詳細な検討が必要。また、厚膜になるとたれ易い傾向にあるため、**乾燥膜厚37.5μm×2回塗り**が望ましい。
- 水性エポキシ樹脂塗料下塗りは、現状では溶剤形と比べて**厚塗り性が低い**。施工時の希釈率、粘度の管理に慎重を要する。現状では**1回塗装当たりの乾燥膜厚は40μm程度**が望ましい。
- 水性ふっ素樹脂塗料用中塗、水性ふっ素樹脂塗料上塗は**厚膜になるとたれ易い**ため、慎重な施工管理を要する。

11

道路橋塗装のVOC削減暫定塗装仕様の提案（1）

塗装工程	鋼道路橋一般外面用の新設塗装系（スプレー塗装）		塗装期間
	鋼道橋塗装・防食便覧における一般外面用の新設塗装系（C-5塗装系）	VOC削減暫定提案塗装系	
	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
防食下地	無機ジンクリッチペイント 75μm (600g/m ²)	無機ジンクリッチペイント 75μm (600g/m ²)	1日～10日
ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗 — (160g/m ²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 — (160g/m ²)	1日～10日
下塗	エポキシ樹脂塗料下塗 120μm (540g/m ²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 40μm (200g/m ²)	1日～10日
下塗	—	水性エポキシ樹脂塗料下塗 40μm (200g/m ²)	1日～10日
下塗	—	水性エポキシ樹脂塗料下塗 40μm (200g/m ²)	1日～10日
中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm (170g/m ²)	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm (170g/m ²)	1日～10日
上塗	ふっ素樹脂塗料上塗 25μm (140g/m ²)	水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm (140g/m ²)	1日～10日
VOC量*	770g/m ²	190～240g/m ²	
VOC削減率	—	69～75%	

* 提案塗装系の膜厚および使用量は暫定数値とする。
** 規制に定められた最大使用量で算出した時の、新規シランを含めた全VOC量。

12

道路橋塗装のVOC削減暫定塗装仕様の提案（2）

鋼道路橋一般外面用の塗装塗装系（素地調整程度1種、スプレー塗装）

塗装工程	鋼道路橋塗装・防食性における塗装塗装系（Ro-1塗装系）	VOC削減暫定塗装塗装系	塗装期間
	塗料一般名 参考値（標準使用量）	塗料一般名 参考値（標準使用量）	
素地調整	1種	1種	4時間以内
防食下地	有機ジンクリッチペイント 75μm (60g/m ²)	水性有機ジンクリッチペイント 37.5μm (30g/m ²)	1日～10日
防食下地	—	水性有機ジンクリッチペイント 37.5μm (30g/m ²)	1日～10日
下塗	無溶剤形水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (240g/m ²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 40μm (200g/m ²)	1日～10日
下塗	無溶剤形水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (240g/m ²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 40μm (200g/m ²)	1日～10日
下塗	—	水性エポキシ樹脂塗料下塗 40μm (200g/m ²)	1日～10日
中塗	無溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm (170g/m ²)	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm (170g/m ²)	1日～10日
上塗	無溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗 25μm (140g/m ²)	水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm (140g/m ²)	1日～10日
VOC量	560g/m ²	20～80g/m ²	
VOC削減率	—	86～96%	

* 提案塗装系の標準および使用量は暫定数値とする。
** 標準に定められた最大量の使用量で塗装した時の、希釈シンナーを含めた全VOC。

13

道路橋塗装のVOC削減暫定塗装仕様の提案（3）

鋼道路橋一般外面用の塗装塗装系（素地調整程度3種、はけ・ローラー塗装）

塗装工程	鋼道路橋塗装・防食性における塗装塗装系（Ro-3塗装系）	VOC削減暫定塗装塗装仕様	塗装期間
	塗料一般名 参考値（標準使用量）	塗料一般名 参考値（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)	無溶剤形水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (240g/m ²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 45μm (180g/m ²)	1日～10日
下塗	無溶剤形水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (240g/m ²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 45μm (180g/m ²)	1日～10日
下塗	無溶剤形水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (240g/m ²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 45μm (180g/m ²)	1日～10日
下塗	—	水性エポキシ樹脂塗料下塗 45μm (180g/m ²)	1日～10日
中塗	無溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm (140g/m ²)	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm (140g/m ²)	1日～10日
上塗	無溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗 25μm (120g/m ²)	水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm (120g/m ²)	1日～10日
VOC量	350g/m ²	10～60g/m ²	
VOC削減率	—	83～97%	

* 提案塗装系の標準および使用量は暫定数値とする。
** 標準に定められた最大量の使用量で塗装した時の、希釈シンナーを含めた全VOC。

14

無溶剤／低溶剤形塗料の改良と性能評価（1）

- 河川鋼構造物（水門、橋門、開門、堰、ダムゲートやこれらの付帯設備など）は、常時湿潤状態にあるなど非常に厳しい腐食環境にさらされるため、防食上の観点から、**水性塗料の適用は現状では不可**。
- 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、**無溶剤／低溶剤形エポキシ樹脂塗料の適用性**を検討した。

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%（無溶剤形）、70%（低溶剤形）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。

15

無溶剤／低溶剤形塗料の改良と性能評価（2）

主な試験項目

試験項目	試験目的	試験方法
施工性試験	はけ・ローラー塗装作業性	室内試験（試験板レベル） 屋外試験（部材レベル）
	はけ・ローラー塗装作業性 スプレー塗装作業性	実大試験体を用いた塗装試験
耐久性試験	耐水性	江戸川水中部暴露試験
	防食性	江戸川大気部暴露試験
	促進劣化試験	耐水性 20℃/40℃温度勾配試験 防食性 土研式複合サイクル腐食試験
塗膜特性試験	耐衝撃性	おもり落下試験（JIS K 5600-5-3）
	耐摩耗性	摩耗試験（JIS K 5600-5-9）



16

研究結果の概要（無溶剤／低溶剤形塗料）（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装塗装において、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**新設用工場塗装と、小型水門などの塗装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。

【電子制御混合式エアレススプレー塗装機】

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。



17

研究結果の概要（無溶剤／低溶剤形塗料）（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装においても、**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、**仕上がりが外観がやや劣る**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装塗装の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。

18

河川鋼構造物用VOC削減暫定塗装仕様の提案（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)	1日～10日
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
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。

河川鋼構造物用VOC削減暫定塗装仕様の提案（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)	1日～10日
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。

河川鋼構造物用VOC削減暫定塗装仕様の提案（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 (腐材露出部)	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)	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（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

- 水性塗料および無溶剤/低溶剤形塗料の塗膜性能や塗装作業性に関する検討結果にもとづき、VOC削減塗装系を提案した。
- 水性塗料を適用した鋼道路橋塗装のVOC削減暫定提案塗装系では、**新設用で70%程度、塗替用で90%程度**のVOCを削減できる。
- 低溶剤形エポキシ樹脂塗料を適用した河川鋼構造物塗装のVOC削減提案塗装系では、**水中部用で50%程度、大気部用で50～70%程度**のVOCを削減できる。
- 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、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。

謝辞

本研究を進めるにあたり、沖縄県大宜味村での暴露試験では内閣府沖縄総合事務局北部国道事務所、汽水域での暴露試験では国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所江戸川河口出張所に、それぞれご協力を賜りました。関係各位に謝意を表します。