

# 橋梁の維持管理に関する新技術フォーラム2024

## 塗膜寿命延命のために

2024年11月8日  
日本ペイント株式会社

# 目次

1. 橋梁塗替え仕様の変遷(便覧より)
2. 重防食塗装のLCC
3. 塗装作業と管理
  - 【素地調整の重要性】
  - 【既設塗膜厚の影響】

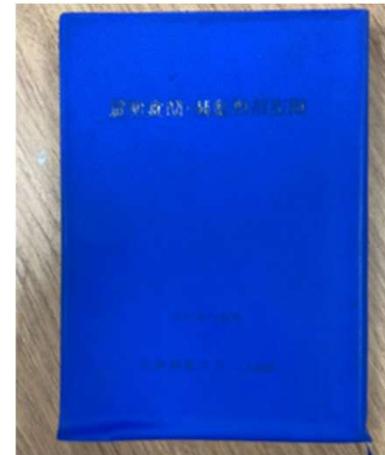
# 1. 橋梁塗替え仕様の変遷(便覧より)

# 鋼道路橋防食便覧とは

## 公益社団法人 日本道路協会 刊行の鋼道路橋の防食に関する実用書

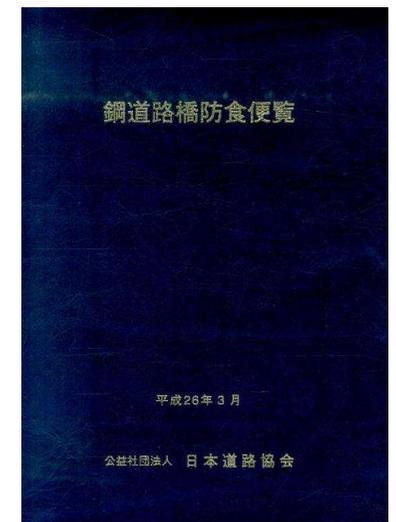
鋼道路橋**塗装**便覧  
昭和46年、昭和54年、平成2年  
記載は**塗装**のみ

平成17年 鋼道路橋**塗装**・**防食**便覧  
記載は**塗装**と**耐候性鋼材**、**溶融亜鉛メッキ**、**金属溶射**



2つの便覧を統廃合

『平成26年3月 鋼道路橋防食便覧』が発刊された。  
記載は**塗装**と**耐候性鋼材**、**溶融亜鉛メッキ**、**金属溶射**



# 便覧の塗装仕様の構成

## 仕様ってどんな構成になっているの？

- 大きくは『**新設**』と『**塗替え**』
- **新設**は工場と現場。工場で作った部材を現地(現場)に運んで組み立て(接合)ます。部材と部材を接合する箇所を『**継手部**』とも呼びます。つまり**新設の現場とは継手部の事**です。
- **塗替え**は全て橋が架かった状態(現地)で施工をするので、**全て『現場』**です。  
また塗替えでは**一般部と継手部の仕様の区別はありません**。

表：便覧塗装仕様の構成

	新設												
施工場所	工場						工場/現場		現場				
施工箇所	一般外面		鋼床版上面	箱桁内面		メッキ外面	メッキ内面	外面ボルト	内面ボルト	外面溶接	内面溶接	A5のボルト・溶接	D6のボルト・溶接
仕様記号	A-5	C-5	鋼床版上面	D-5	D-6	ZC-1	ZD-1	F-11	F-12	F-13	F-14	F-15	F-16

	塗替え							
施工場所	現場							
施工箇所	※外面					※内面	亜鉛メッキ	
仕様記号	Rc- I	Rc- II	Rc- III	Rc- IV	Ra- III	Rd- III	Rzc- I	

※外面、内面：塗替えでは一般部と継手部の仕様の区別は無い

# 便覧塗装仕様に適応する塗料一覧／塗替え

## 各塗替え仕様に対して、どの塗料が使われているのか？

表：「鋼道路橋防食便覧 平成26年3月」に使用される塗料一覧(塗替え)

一般名称	規格番号	塗替え						
		現場						
		外面					内面	亜鉛メッキ
		Rc- I	Rc- II	Rc- III	Rc- IV	Ra- III	Rd- III	Rzc- I
有機ジンクリッチペイント	JIS K 5553	○	○	—	—	—	—	—
弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	JIS K 5551	○	○	○	○	—	—	—
弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	JIS K 5659	○	○	○	○	—	—	○
弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	JIS K 5659	○	○	○	○	—	—	○
亜鉛めっき用エポキシ樹脂塗料下塗	—	—	—	—	—	—	—	○
無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	—	—	—	—	—	—	○	—
鉛・クロムフリーさび止めペイント	JIS K 5674	—	—	—	—	○	—	—
長油性フタル酸樹脂塗料中塗	JIS K 5516	—	—	—	—	○	—	—
長油性フタル酸樹脂塗料上塗	JIS K 5516	—	—	—	—	○	—	—

現在外面では  
 防食下地に『**有機ジンクリッチペイント**』  
 下塗りに『**弱溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗**』  
 上塗りに『**弱溶剤形ふっ素樹脂塗料**』が使用される。

# 主な便覧塗替え仕様の変遷

表: 主な便覧塗替え仕様(外面)の変遷

素地調整/仕様系

塗装仕様		S46 11月	S54 2月	H2 6月	H17 12月	H26 3月
鉛系下 フタル酸中・上	鉛系さび止めペイント	2,3,4種/a-1,2,3	※1/a	2,3,4種/a-1	有害重金属無し	
	長油性フタル酸樹脂塗料中塗					
	長油性フタル酸樹脂塗料上塗					
塩化ゴム系	鉛系さび止めペイント		※1/b-1	2,3,4種/b-1	有害重金属無し	
	フェノール樹脂MIO塗料					
	塩化ゴム系塗料中塗					
	塩化ゴム系塗料上塗					
	エポキシ樹脂塗料下塗					
	塩化ゴム系塗料中塗					
塩化ゴム系塗料上塗						
鉛フリー系下 フタル酸中・上	鉛・クロムフリーさび止めペイント				3種/Ra-III	3種/Ra-III
	長油性フタル酸樹脂塗料中塗					
	長油性フタル酸樹脂塗料上塗					
有機ジンク エポキシ樹脂下塗 ウレタン上塗	有機ジンクリッチペイント※2			2種/c-1 3,4種/c-1	高防食・高耐候	
	変性エポキシ樹脂塗料下塗					
	ポリウレタン樹脂塗料用中塗					
	ポリウレタン樹脂塗料上塗					
有機ジンク エポキシ樹脂下塗 ふっ素樹脂上塗	有機ジンクリッチペイント※2			2種/c-3 3,4種/c-3	より長寿命化	
	変性エポキシ樹脂塗料下塗					
	ふっ素樹脂塗料用中塗					
	ふっ素樹脂塗料上塗					
	有機ジンクリッチペイント※2					
	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗					
	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗					
弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗						
				1,2種/Rc-I,II 3,4種/Rc-III,IV	1,2種/Rc-I,II 3,4種/Rc-III,IV	

※1 既設の状態で素地調整を考慮することになっており、塗装仕様との具体的な組合せ指定は無し

※2 1種又は2種の時にのみ有機ジンクを適用

## 現在の便覧の考え方

ライフサイクルコスト(LCC)低減の観点から重防食塗装系を適用することを基本

- 防食下地: 耐食性に優れたジンクリッチペイント
- 下塗り: 遮断性に優れたエポキシ樹脂塗料
- 上塗り: 耐候性に優れたふっ素樹脂塗料

ただし、

- 飛来塩分が少ない環境
- 鉛系さび止めペイント／長油性フタル酸樹脂塗料で十分な防食性能がある
- 20年以内に架け替えが予定されている場合

などの場合には

一般塗装系のA-5, Ra-III塗装系を適用することも可能

## 現在の便覧の考え方(塗替え仕様)

### ● Rc-I 塗装系

塗膜の寿命をより長くするためには、**ブラスト工法による素地調整程度1種**で旧塗膜を完全に除去したうえで塗装系を変更することが必要

### ● Rc-III 塗装系

狭あい部の施工の場合や第三者によってブラストの使用が容認されない場合など、工事上の制約によって**Rc-I 塗装系ができない場合には、Rc-III 塗装系による塗替えを行ってもよい。ただしこの場合は、Rc-I 塗装系の塗替えに比べて塗膜の耐久性は大幅に劣るので注意が必要である。**

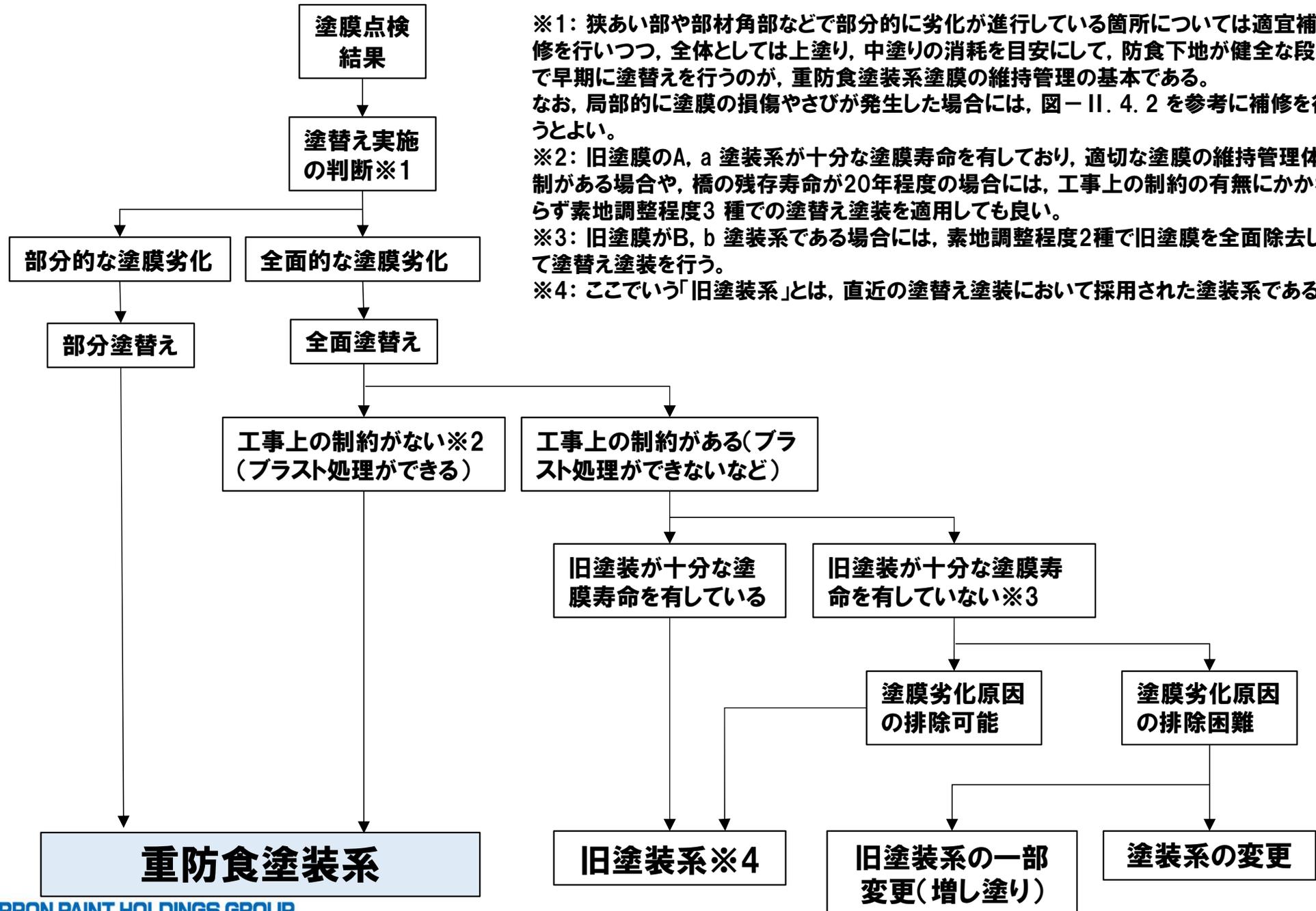
### ● Rc-IV 塗装系

旧塗膜がC及びc塗装系の塗替えは、防食下地が劣化していない状態が多いことから、**素地調整程度4種**で下塗り・中塗り・上塗りを行うRc-IVを適用する。

### ● Rc-II 塗装系

**素地調整程度2種は、効率が悪く大面積の施工には不向きであることから、素地調整程度2種による塗替え塗装は行わないのがよい。**ただし、B-2 塗装系(鋼道路橋塗装便覧、昭和54年)のようにジンクリッチプライマーやジンクリッチペイントが下塗りに使用された旧塗膜で、これらの塗膜に劣化がないことが確認できたときは、ジンクリッチプライマーやジンクリッチペイントを残し、ほかの旧塗膜を全面除去して、**塗替え塗装系Rc-IIを適用してもよい。**

# 現在の便覧の考え方(塗替え仕様)



※1: 狭あい部や部材角部などで部分的に劣化が進行している箇所については適宜補修を行いつつ、全体としては上塗り、中塗りの消耗を目安にして、防食下地が健全な段階で早期に塗替えを行うのが、重防食塗装系塗膜の維持管理の基本である。

なお、局部的に塗膜の損傷やさびが発生した場合には、図-11.4.2を参考に補修を行うとよい。

※2: 旧塗膜のA, a 塗装系が十分な塗膜寿命を有しており、適切な塗膜の維持管理体制がある場合や、橋の残存寿命が20年程度の場合には、工事上の制約の有無にかかわらず素地調整程度3種での塗替え塗装を適用しても良い。

※3: 旧塗膜がB, b 塗装系である場合には、素地調整程度2種で旧塗膜を全面除去して塗替え塗装を行う。

※4: ここでいう「旧塗装系」とは、直近の塗替え塗装において採用された塗装系である。

# 各種塗装系の耐久性比較(塗替え)

素地調整 上塗塗料		防 錆 性			
		大 ←			→ 小
		1種	2種	3種	3種
耐 候 性 ↑ 大 ↓ 小	ふっ素樹脂塗料	<b>Rc- I</b> 有機ジンクリッチペイント 変性エポキシ樹脂塗料下塗 変性エポキシ樹脂塗料下塗 エポキシ樹脂塗料中塗 ふっ素樹脂塗料上塗	<b>Rc- II</b> 有機ジンクリッチペイント 変性エポキシ樹脂塗料下塗 変性エポキシ樹脂塗料下塗 エポキシ樹脂塗料中塗 ふっ素樹脂塗料上塗	<b>Rc- III</b> 変性エポキシ樹脂塗料下塗 変性エポキシ樹脂塗料下塗 変性エポキシ樹脂塗料下塗 エポキシ樹脂塗料中塗 ふっ素樹脂塗料上塗	
	ポリウレタン樹脂塗料	有機ジンクリッチペイント 変性エポキシ樹脂塗料下塗 変性エポキシ樹脂塗料下塗 エポキシ樹脂塗料中塗 ポリウレタン樹脂塗料上塗	有機ジンクリッチペイント 変性エポキシ樹脂塗料下塗 変性エポキシ樹脂塗料下塗 エポキシ樹脂塗料中塗 ポリウレタン樹脂塗料上塗	変性エポキシ樹脂塗料下塗 変性エポキシ樹脂塗料下塗 変性エポキシ樹脂塗料下塗 エポキシ樹脂塗料中塗 ポリウレタン樹脂塗料上塗	
	フタル酸樹脂塗料				<b>Ra- III</b> 鉛・クロムフリー さび止めペイント 長油性フタル酸塗料中塗 長油性フタル酸塗料上塗

Rc- I で防錆性も耐候性も一番高いものが基本となる。

## 2. 重防食塗装のLCC

# I 重防食塗装のLCC

一般に塗装の機体耐用年数は、鋼構造物本体の供用期間よりも短いため、鋼構造物の供用期間中に、塗膜点検、局部補修塗装、部分塗替塗装などのコストと全面塗替塗装のコストが必要となる。このことから、塗装のLCCの評価期間は鋼構造物本体の設計上の供用期間とすることが一般的である。鋼構造物塗装のLCC算出方法に定まった方法はないが、一般的な概念としては式(1)のように表すことが多い。

$$LCC = I + M + R \quad (1)$$

LCC : 塗装のライフサイクルコスト

$I$  : 新設塗装のイニシャルコスト(工場塗装、現場補修、現場塗装を含む)

$M$  : 供用期間中に発生する塗装メンテナンスコストの合計(塗膜点検、局部補修塗装、部分塗替塗装を含む)

$R$  : 供用期間中に発生する全面塗替塗装コストの合計

参考:重防食塗装 社団法人 日本鋼構造協会

# I 重防食塗装のLCC

表 一般塗装系と重防食塗装系の期待耐用年数と積算単価

塗装系	一般塗装系	重防食塗装系
塗膜の構成	長ばく形エッチングプライマー	ジンクリッチペイント <sup>※</sup>
	鉛・クロムフリーさび止めペイント	エポキシ樹脂塗料下塗
	長油性フタル酸樹脂塗料中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗
	長油性フタル酸樹脂塗料上塗	ふっ素樹脂塗料上塗
一般環境での期待耐用年数	10年	50年
厳しい環境での期待耐用年数	5年	30年
新設積算単価	3,169円/m <sup>2</sup> (A-5)	7,286円/m <sup>2</sup> (C-5)
塗替積算単価	5,524円/m <sup>2</sup> (Ra-III)	5,625円/m <sup>2</sup> (Rc-IV)
		12,790円/m <sup>2</sup> (Rc-I)

※C-5は無機、Rc-Iは有機

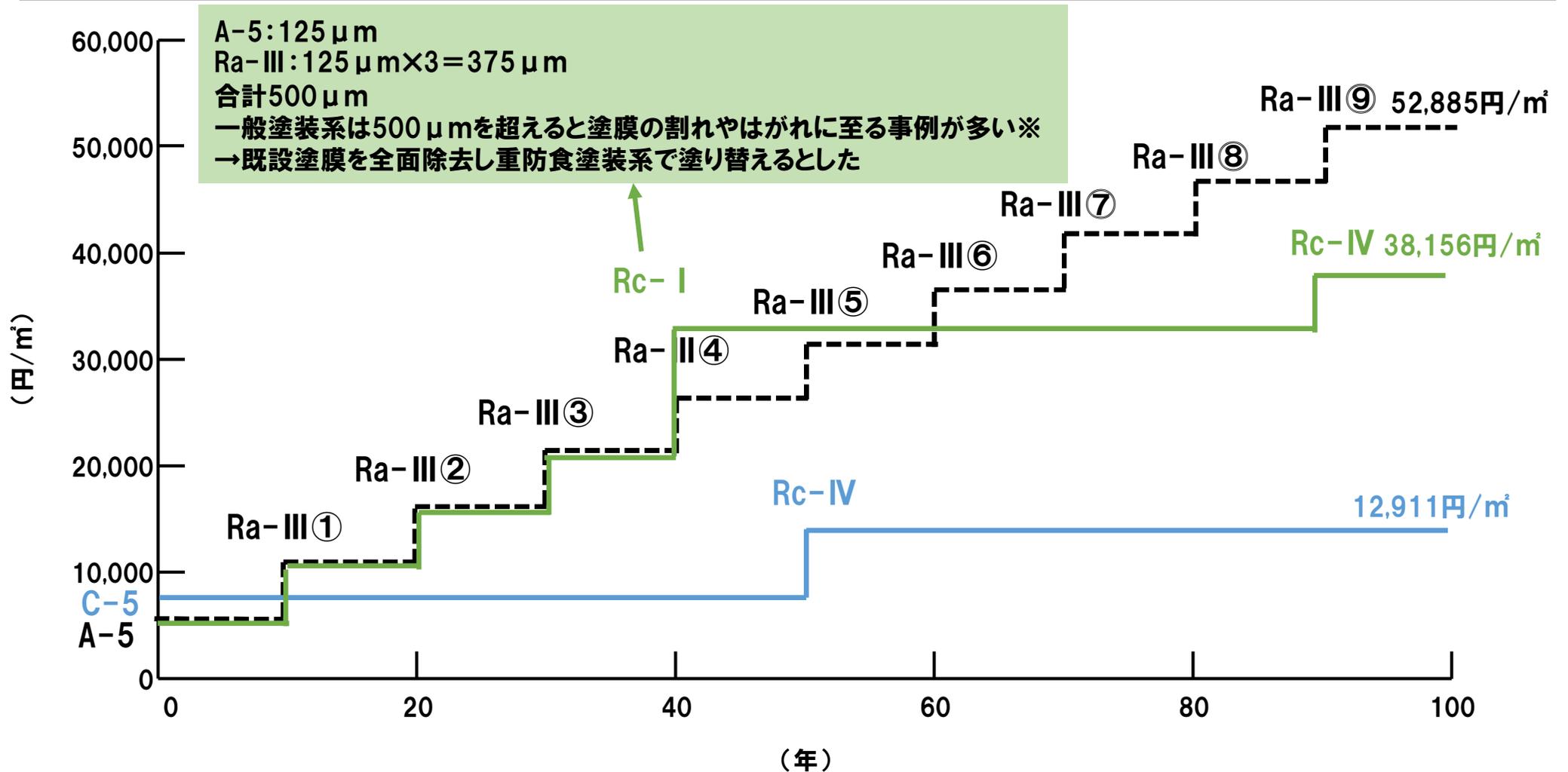
注：積算単価は最新情報から算出されたものではありません。詳細は参考図書を確認ください。

参考：重防食塗料ガイドブック 第5版 一般社団法人 日本塗料工業会

## 供用年数100年間のLCC比較(一般環境)

塗装系の変遷		新設一般塗装系 A-5 ↓ 塗替一般塗装系 Ra-III ↓ 塗替重防食塗装系 Rc-I ↓ 塗替重防食塗装系 Rc-IV	新設重防食塗装系 C-5 ↓ 塗替重防食塗装系 Rc-IV
塗装費種別	新設一般塗装系 A-5 ↓ 塗替一般塗装系 Ra-III	新設一般塗装系 A-5 ↓ 塗替一般塗装系 Ra-III ↓ 塗替重防食塗装系 Rc-I ↓ 塗替重防食塗装系 Rc-IV	新設重防食塗装系 C-5 ↓ 塗替重防食塗装系 Rc-IV
新設塗装系と費用	新設一般塗装系 A-5 (期待耐用年数10年) 3,169円/m <sup>2</sup>	新設一般塗装系 A-5 (期待耐用年数10年) 3,169円/m <sup>2</sup>	新設重防食塗装系 C-5 (期待耐用年数50年) 7,286円/m <sup>2</sup>
塗替塗装系と費用 (塗替回数)	塗替一般塗装系 Ra-III (10年ごと-合計9回) 5,524×9=49,716円/m <sup>2</sup>	塗替一般塗装系 Ra-III (10年ごと-合計3回) 5,524×3=16,572円/m <sup>2</sup>	塗替重防食塗装系 Rc-IV (50年-1回) 5,625円/m <sup>2</sup>
塗替塗装系と費用 (塗替回数)		塗替重防食塗装系 Rc-I (50年-1回) 12,790円/m <sup>2</sup>	
塗替塗装系と費用 (塗替回数)		塗替重防食塗装系 Rc-IV (50年-1回) 5,625円/m <sup>2</sup>	
供用年数 100年間のLCC	52,885円/m <sup>2</sup>	38,156円/m <sup>2</sup>	12,911円/m <sup>2</sup>
供用年数 100年間のLCC指数 (一般塗装系を 100とした場合)	100	72.1	24.4

# 供用年数100年間のLCC比較(一般環境)



--- 新設 一般塗装系 A-5 → 塗替一般塗装系 Ra-III

— 新設 一般塗装系 A-5 → 塗替一般塗装系 Ra-III → 塗替重防食塗装系 Rc-I → 塗替重防食塗装系 Rc-IV

— 新設 重防食塗装系 C-5 → 塗替重防食塗装系 Rc-IV

※参考:鋼構造物塗装設計施工指針 財団法人鉄道総合研究所

### 3. 塗装作業と管理

**【素地調整の重要性】**

**【既設塗膜厚の影響】**

# 塗装工程と管理方法

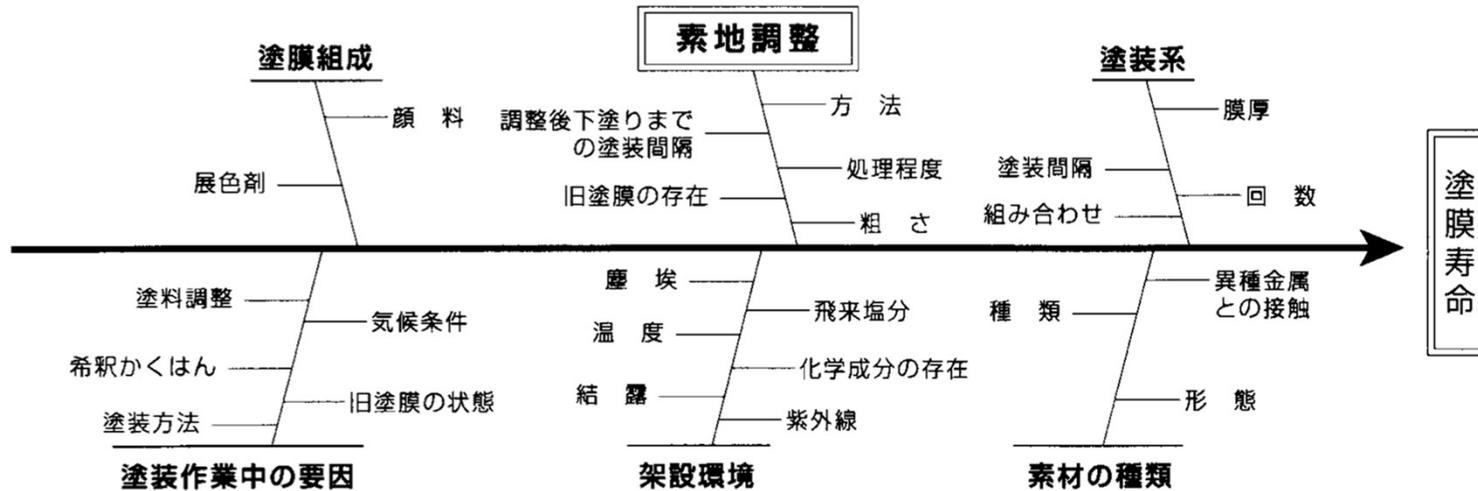
工 程	管理項目	管理方法
素地調整	除錆度、表面粗さ	目視判定(除錆度、粗さ、清浄)
	作業条件	天候、温湿度、露点、作業時間、 もどり錆の有無
塗装 下塗 中塗 上塗	塗装前検査	油脂、塵埃、付着塩分など
	塗料調合	粘度、混合比、シンナー希釈率、 塗料温度、可使用時間
	塗膜厚	ウェット膜厚、ドライ膜厚
	作業条件	天候、温湿度、露点、作業時間
最終検査	塗膜厚検査	仕様書、計画書による
	塗膜外観検査	
	塗料使用量検査	

# 塗装工程と管理方法

工 程	管理項目	管理方法
<b>素地調整</b>	除錆度、表面粗さ	目視判定(除錆度、粗さ、清浄)
	作業条件	天候、温湿度、露点、作業時間、 もどり錆の有無
塗装 下塗 中塗 上塗	塗装前検査	油脂、塵埃、付着塩分など
	塗料調合	粘度、混合比、シンナー希釈率、 塗料温度、可使用時間
	塗膜厚	ウェット膜厚、ドライ膜厚
	作業条件	天候、温湿度、露点、作業時間
<b>最終検査</b>	塗膜厚検査	仕様書、計画書による
	塗膜外観検査	
	塗料使用量検査	

# 素地調整

塗装前に鋼材のさびを落とし、塩分その他の付着物の除去、表面粗さを付与することにより付着性を向上させる。



## ●各種の要因が塗膜寿命に及ぼす影響

要因	寄与率 (%)
素地調整 (1種と2種の差)	49.5
塗り回数 (1回と2回の差)	19.1
塗料の種類 (塗料系の違い)	4.9
その他 (気候など)	26.5

### 素地調整

素地調整程度は耐久性に大きく影響する。

### 塗装膜厚

塗膜厚が厚い⇒耐久性が向上する。

### 塗料種類

環境や用途に応じた塗料を選択する。

# 塗替え時の素地調整グレード

素地調整 程度	さび面積	塗膜異常 面積	作業内容	作業方法
1種	—	—	さび、旧塗膜を <b>完全に除去</b> し鋼材面を露出させる。	ブラスト法
2種	30%以上	—	旧塗膜、さびを除去し鋼材面を露出させる。 ただし、さび面積30%以下で旧塗膜がB、b塗装系の場合はジンクリッチプライマーやジンクリッチペイントを残し、他の旧塗膜を全面除去する。	ディスクサンダー、ワイヤーホイルなどの <b>電動工具と手工具との併用</b>
3種A	15～30%	30%以上	<b>活膜は残す</b> が、それ以外の不良部（さび、割れ、ふくれ）は除去する。	同上
3種B	5～15%	15～30%	同上	同上
3種C	5%以下	5～15%	同上	同上
4種	—	5%以下	<b>粉化物、汚れなどを除去する。</b>	同上

# ブラスト処理

研削材を打ち付け金属表面を清浄化または粗面化させる方法



スチールグリッド



ガーネット



スラグ

細かな研削材を打ち付けることにより、食い込んだ錆(孔食)まで除去することが可能。

# ブラスト処理



昭和27年建設の水路橋外面  
塗替工事でブラスト施工

黒い部分：黒皮

茶色部分：塗膜下のさび

孔食のさびまで除錆され、  
凹凸が目立つ鋼材表面

動力工具では、ここまで  
完全にさびは除去できない。



# 孔食のさびの残存



**さびが残存した状態で塗装すると早期に塗膜異常（さび、剥がれ等）が発生する。**

# 実橋における素地調整と防食性結果例

## 素地調整の程度の比較

(一財)土木研究センター資料より



1種ケレン(ブラスト処理)



3種ケレン(動力工具処理)

## モニタリング調査(重防食塗装後、1年経過時の発錆状況比較)



1種ケレン(Rc-Ⅰ)実施箇所



3種ケレン(Rc-Ⅲ)実施箇所

### 3. 塗装作業と管理

【素地調整の重要性】

【既設塗膜厚の影響】

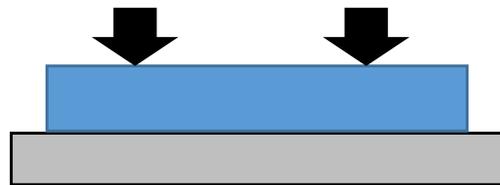
# 度重なる塗り重ねによる弊害の発生例



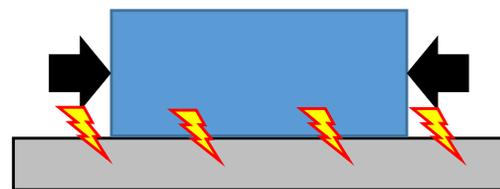
# 塗膜に働く力

**内部応力**: 塗膜が乾燥過程で体積変化する際に塗膜内部に働く収縮力

膜厚方向の収縮 ○

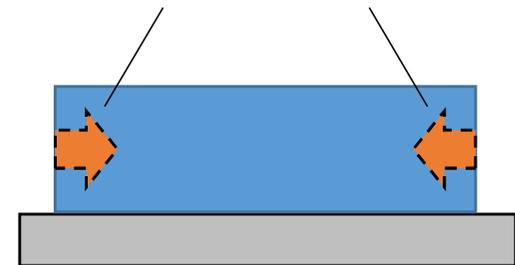


面積方向の収縮 △



下地による拘束 = 付着力

**内部応力**



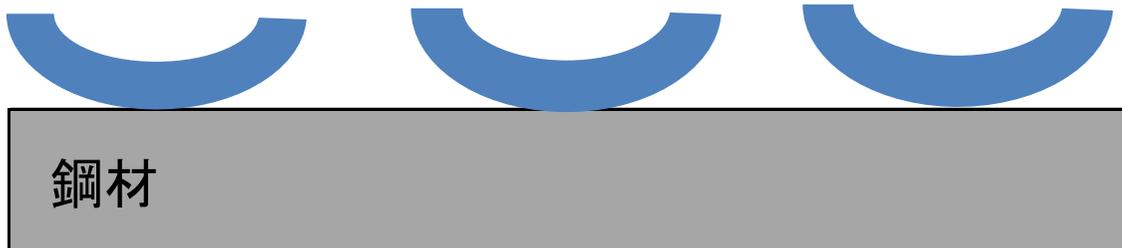
内部に蓄積される



# 塗膜の内部応力と付着力の関係



付着力 > 内部応力



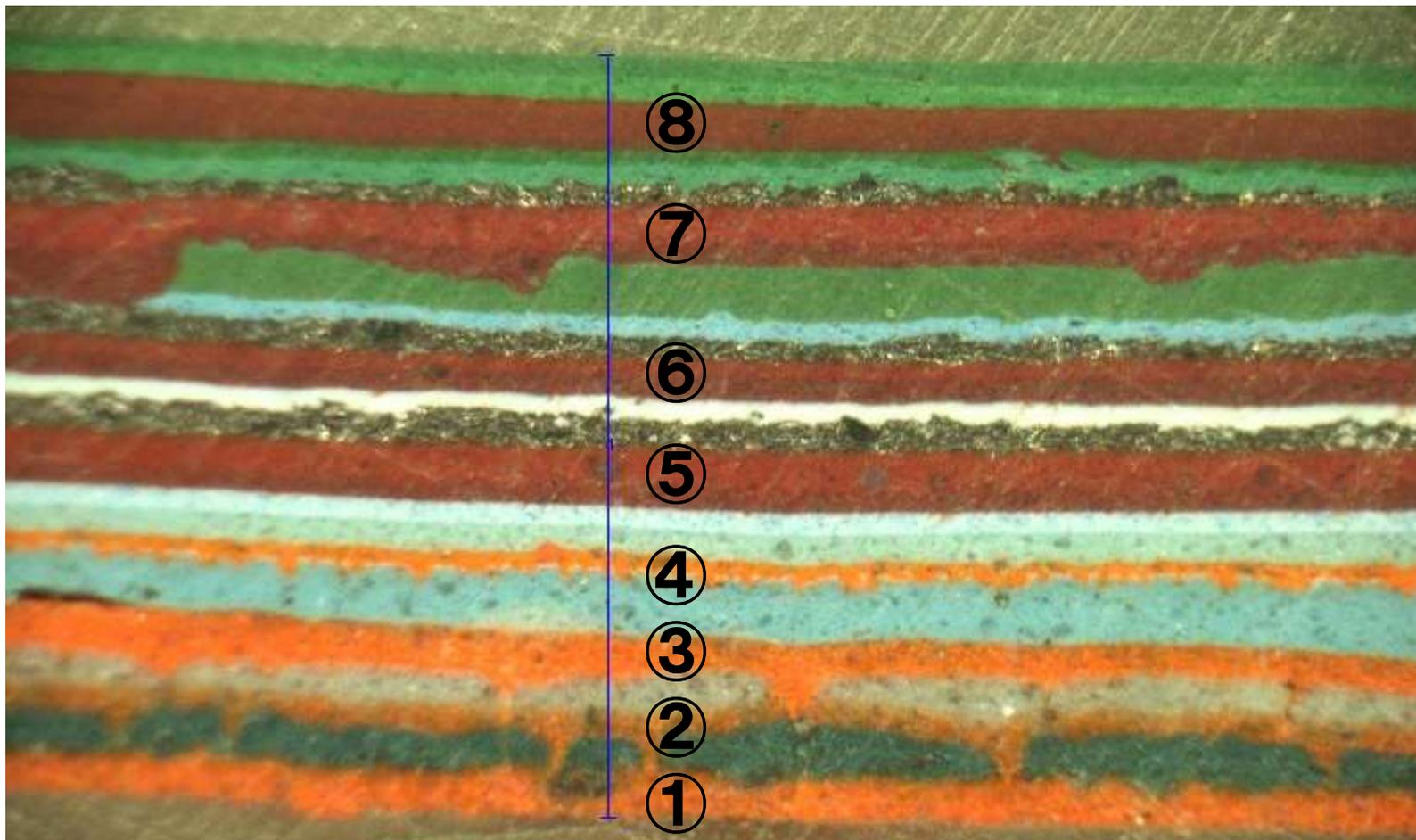
付着力 < 内部応力

**塗膜の内部応力が増大する、もしくは付着力が低下した場合に塗膜に割れや剥がれが生じる。**

# 古い橋梁で見られる問題

素地調整程度3種で活膜を残して塗替えを繰り返していくと

⇒ 結果として膜厚が厚くなっていく



## 度重なる塗り重ねによる弊害



**素地調整程度3種で塗替え後、数ヶ月で塗膜の剥がれが発生するケースもある。**

**→既設の塗膜を全撤去することが必要となる。**

# (参考資料)旧塗膜への塗り重ね限界

単位 :  $\mu\text{m}$

No.	塗装系		これ以上塗れない膜厚(塗替回数)	新設	塗替え回数(割れ結果と膜厚)						割れ発生膜厚( $\mu\text{m}$ )
	新設時	塗替え仕様			1回	2回	3回	4回	5回	6回	
1	無機ジンク +エポキシ系 +塩化ゴム系	変性エポキシ系 +ポリウレタン系	245 (0)	○ 245	×	×	×	×	×	×	391
3	無機ジンク +エポキシ系 +塩化ゴム系	柔軟形変性エポキシ系 +柔軟形ポリウレタン系	898 (3)	○ 240	-	○	○	×	×	×	1005
4	無機ジンク +エポキシ系 +ポリウレタン系	変性エポキシ系 +ポリウレタン系	699 (3)	○ 193	○	○	○	×	×	×	824
5	無機ジンク +エポキシ系 +ポリウレタン系	1回目:変性エポキシ系 +ポリウレタン系	1307 (3)	○ 253	○	○	○	×	×	×	1598
		2回目:超厚膜エポキシ系 +ポリウレタン系									
6	無機ジンク +エポキシ系 +塩化ゴム系	変性エポキシ系 +塩化ゴム系	470 (1)	○ 262	○	×	×	×	×	×	613
7	油性系 +フェノールMIO +塩化ゴム系	油性系 +フェノールMIO +塩化ゴム系	750 (3)	○ 258	○	○	○	×	×	×	848
8	鉛系さび止め +フタル酸系	鉛系さび止め フタル酸系	690 (3)	○ 235	○	○	○	×	×	×	847
9	有機ジンク +下塗・上塗兼用	下塗・上塗兼用	832 (5)	○ 226	○	○	○	○	○	×	916
10	有機ジンク +ポリウレタン系	変性エポキシ系 +ポリウレタン系	722 (3)	○ 161	○	○	○	×	×	×	865
11	有機ジンク +エポキシ系	エポキシ系	881 (3)	○ 253	○	○	○	×	×	×	1093
12	無機ジンク +エポキシ系 +塩化ゴム系	弱溶剤変性エポキシ +弱溶剤ポリウレタン系	予測値 750~880 (3~4)	? 250	○	○	○	?	?	×	880 ~1000

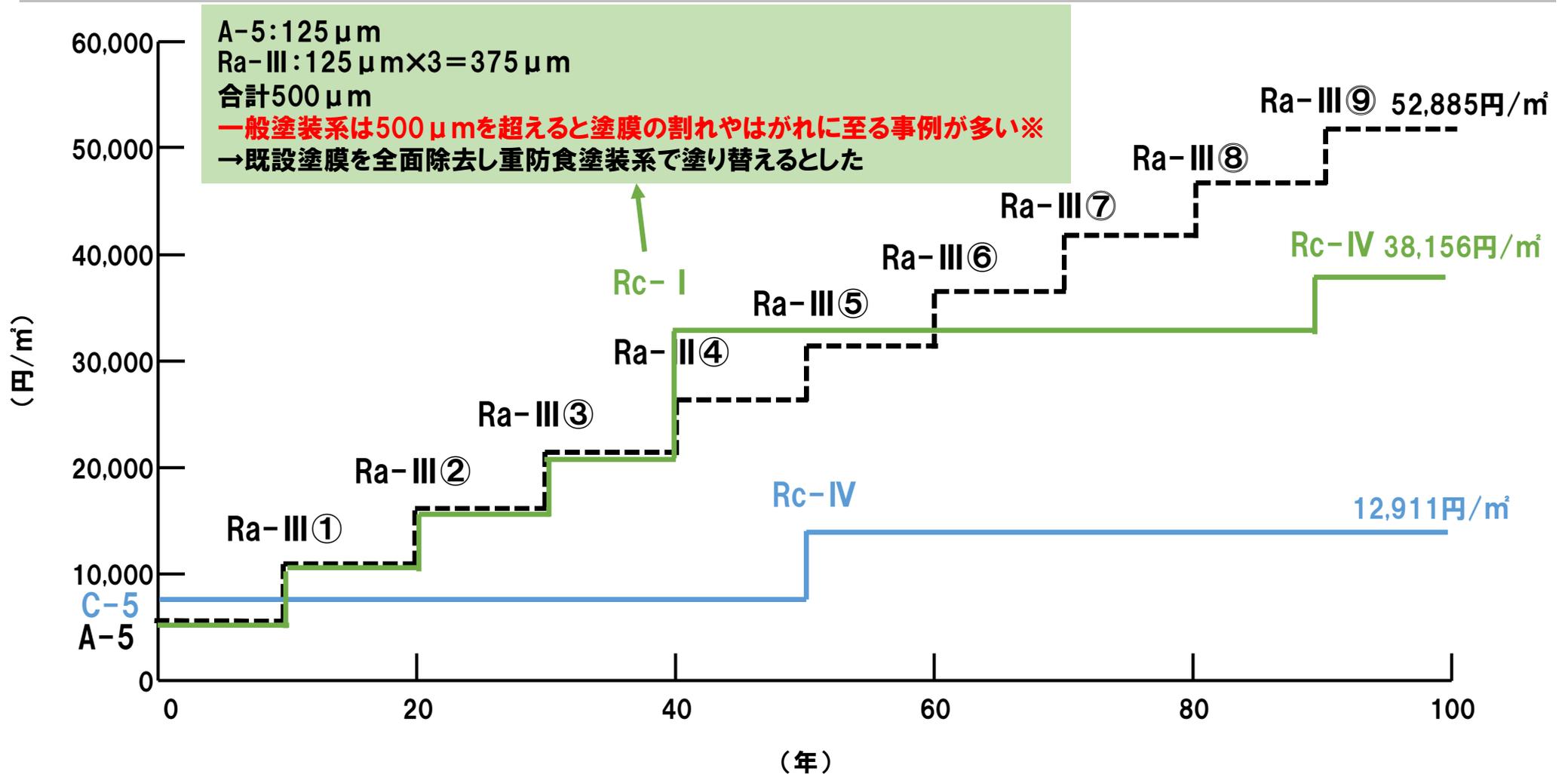
➤ 塗替え(改修)時に旧塗膜を剥がさないうで塗装を行った場合

塗装仕様によって割れが発生する膜厚は大きく振れている。

膜厚が大きくなると割れ  
のリスクが上がる傾向

参考:平成16年度陸上タンク塗装更新の最適化に関する調査研修報告書  
平成17年3月 (社)日本塗料工業会

# 供用年数100年間のLCC比較(一般環境)



**既設塗膜を全撤去する考え方は必要。**

内部応力のかかり方は、塗膜の種類、硬化の進行状態、環境、部材形状、等々様々な要因が影響しているので、単純に閾値を決めることは出来ない。

※参考:鋼構造物塗装設計施工指針 財団法人鉄道総合研究所



**ご静聴ありがとうございました**