

2. 塗替塗装の要領と最適化への取組み

2. 1 国土交通省の取組み

富山 禎仁

土木研究所

塗替塗装の要領と最適化への取り組み

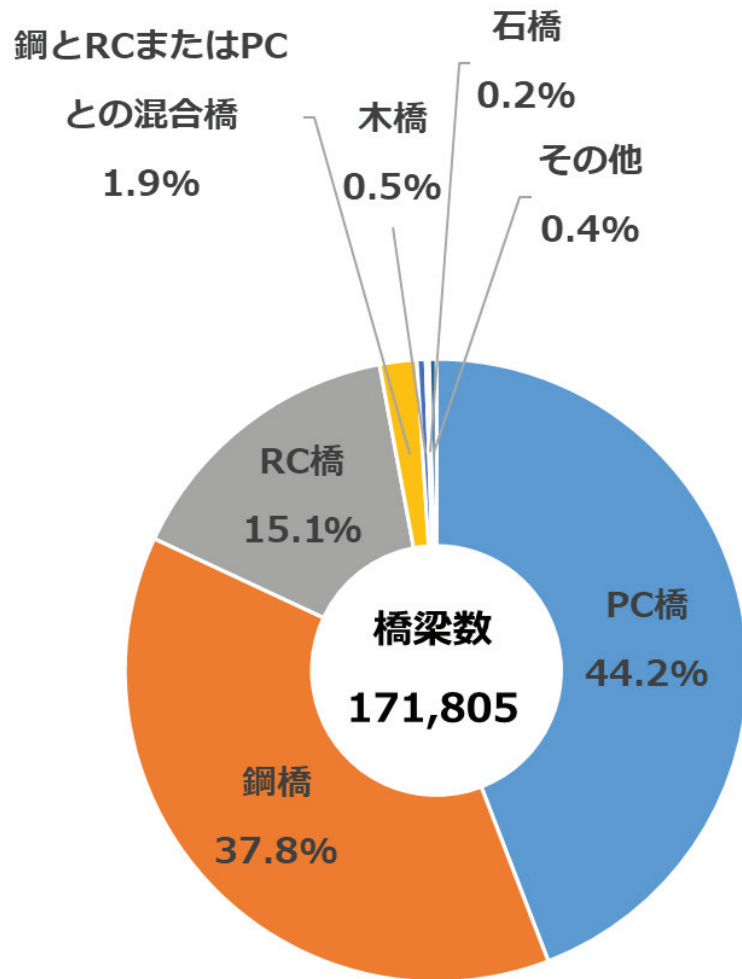
～ 国土交通省の取り組み ～

国立研究開発法人土木研究所
材料資源研究グループ

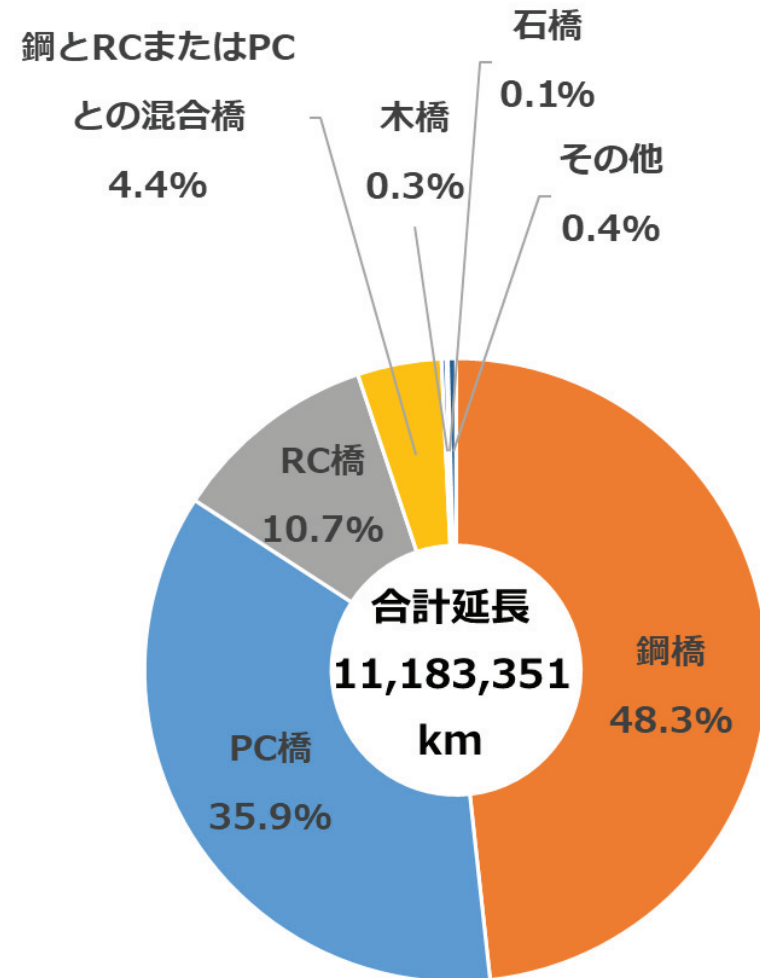
富山 禎仁

道路橋の内訳（橋長15m以上）

(2018年4月1日時点)



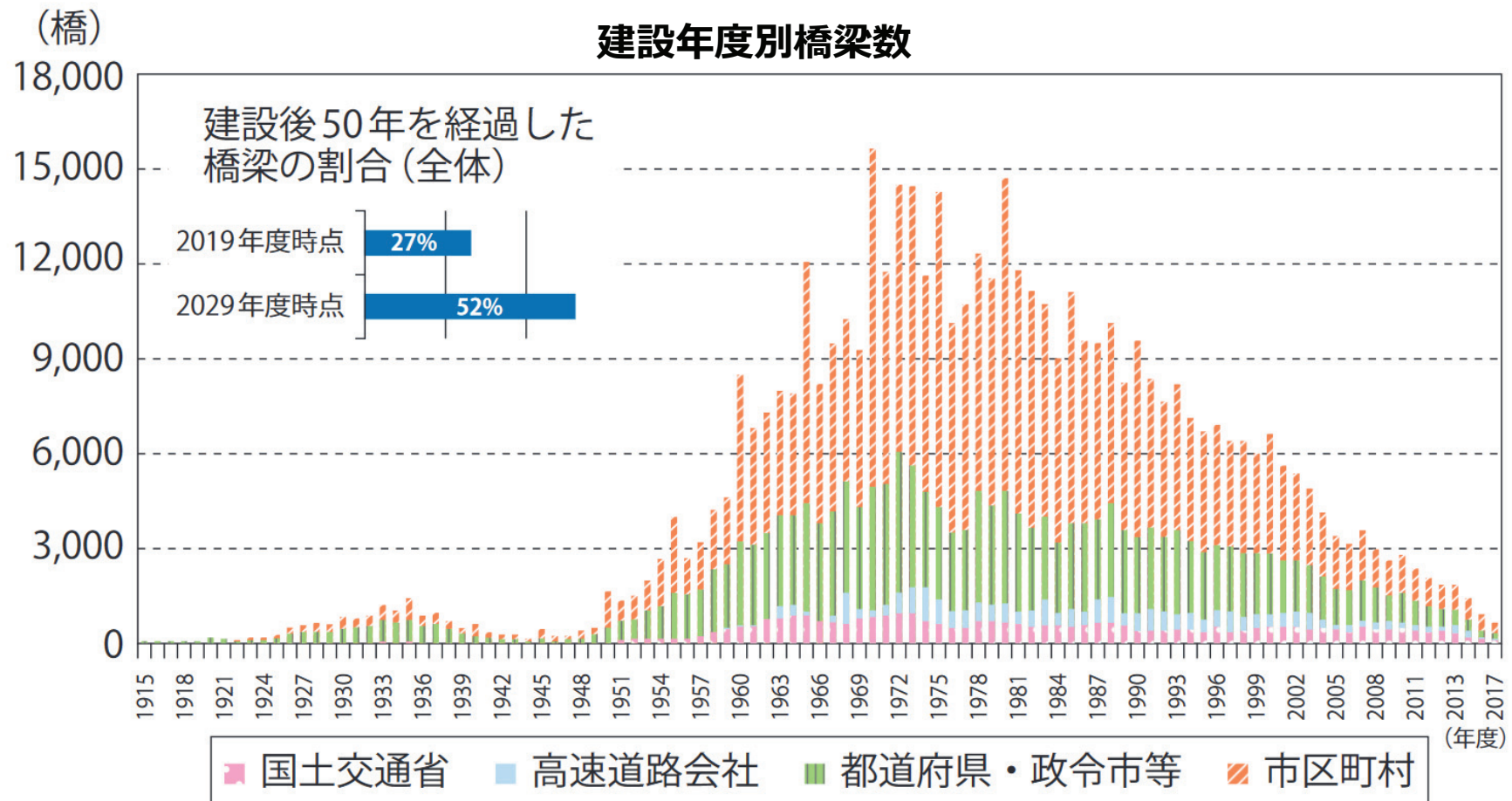
上部工使用材料別橋梁数の割合



上部工使用材料別橋梁延長の割合

(出典：国土交通省道路局監修「道路統計年報2019」)

老朽化インフラの増加



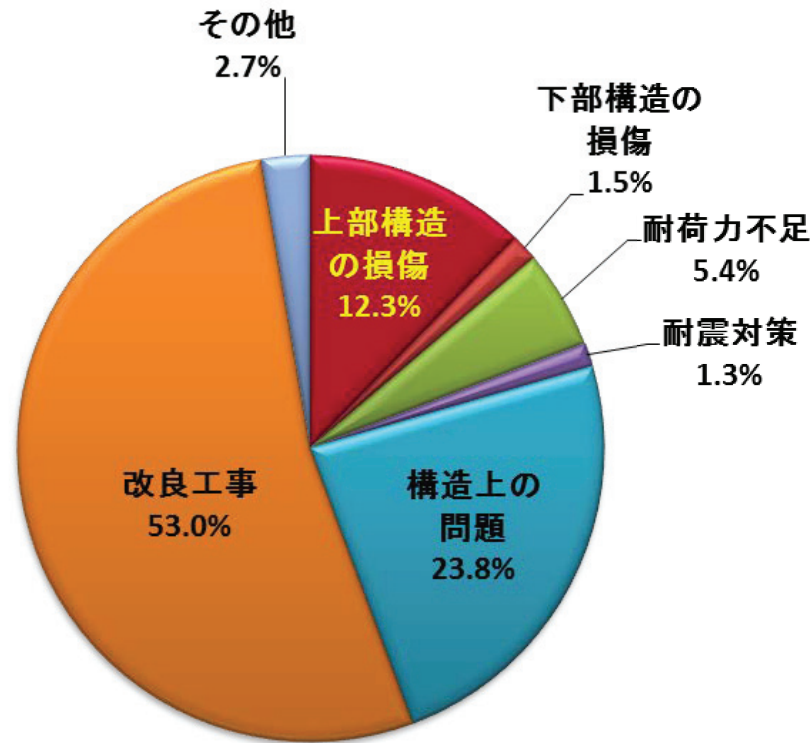
(出典：令和2年版国土交通白書)

- わが国の道路橋梁は約72万橋（うち、橋長15m以上は約17万橋）。
- 全国の橋梁の9割以上を地方公共団体が管理（市区町村66%、都道府県・政令市等26%）。
- 建設から50年以上経過する道路橋の割合は加速度的に増加する見込みであり、地方公共団体は維持管理・更新を計画的に進めていかなければならない。

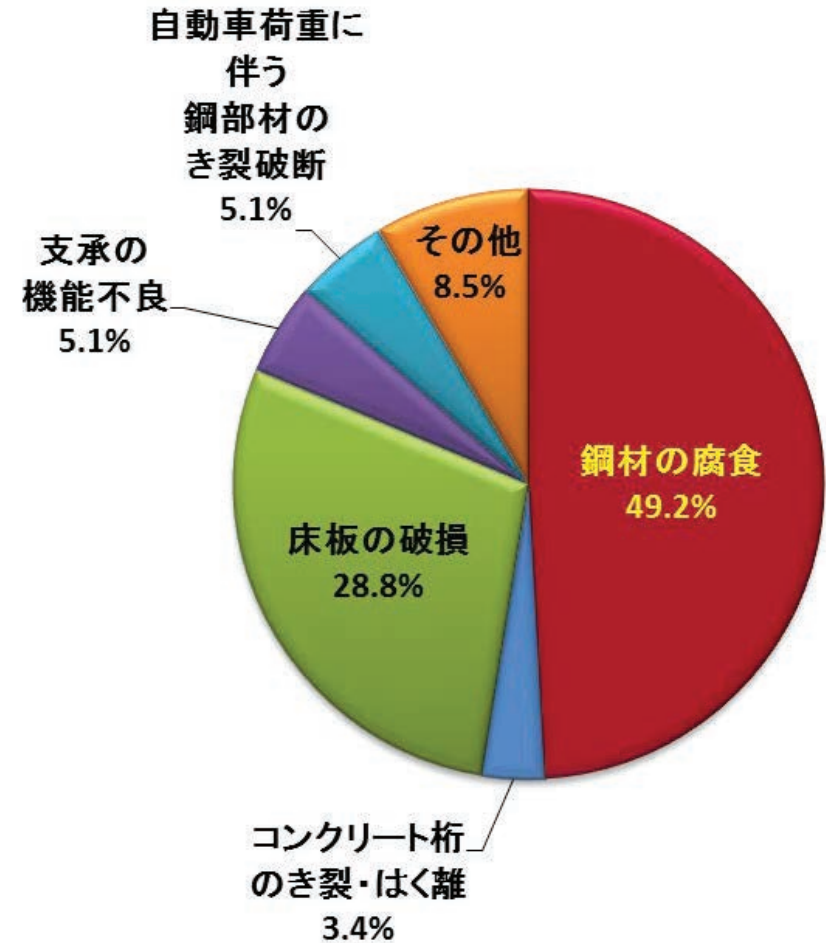
鋼道路橋の架替理由と上部構造の損傷理由

【1997～2006年】

(出典：国総研資料第444号「橋梁の架替に関する調査結果(IV)」)



鋼橋の架替理由の内訳
(479橋)



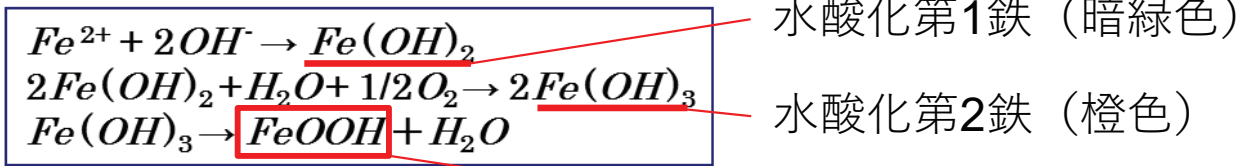
上部構造の損傷による架替理由の内訳
(59橋)

適切な防食技術の活用により腐食による損傷を未然に防止し、既設橋に対しては**可能な限り延命化**を、新設橋に対しては**建設当初より耐久性に優れたもの**となるよう配慮することが極めて重要

鋼材の腐食とは？

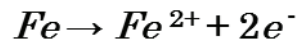


腐食生成物 (赤さび) の生成

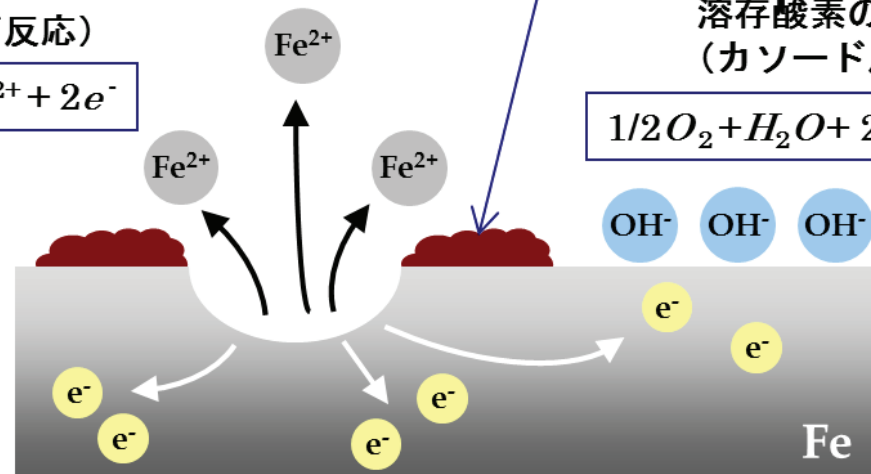
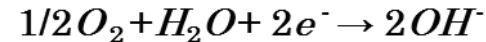


Fe_3O_4 : 黒さび (保護性さび)

鉄イオン (Fe^{2+}) の溶出 (アノード反応)



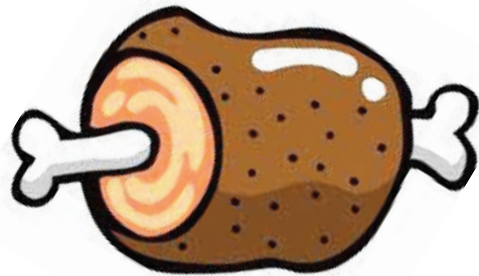
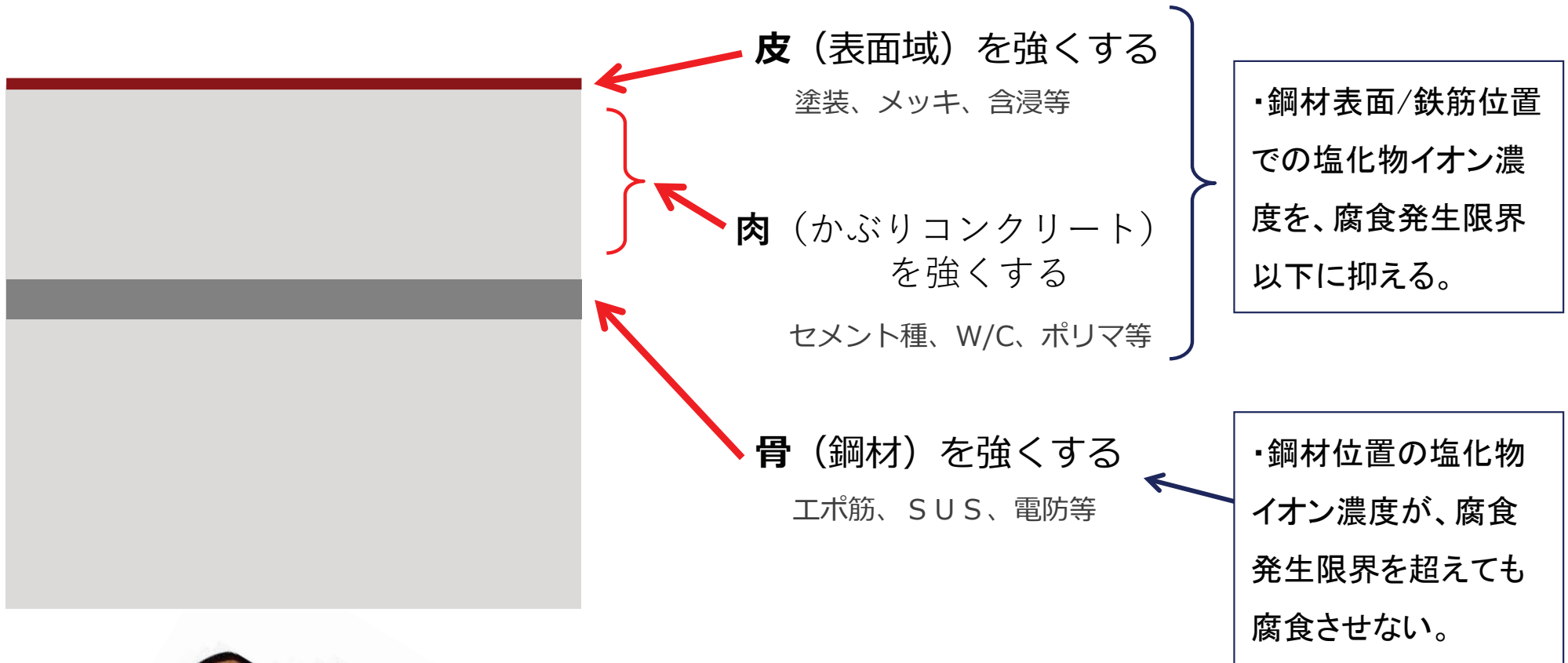
溶存酸素の還元 (カソード反応)



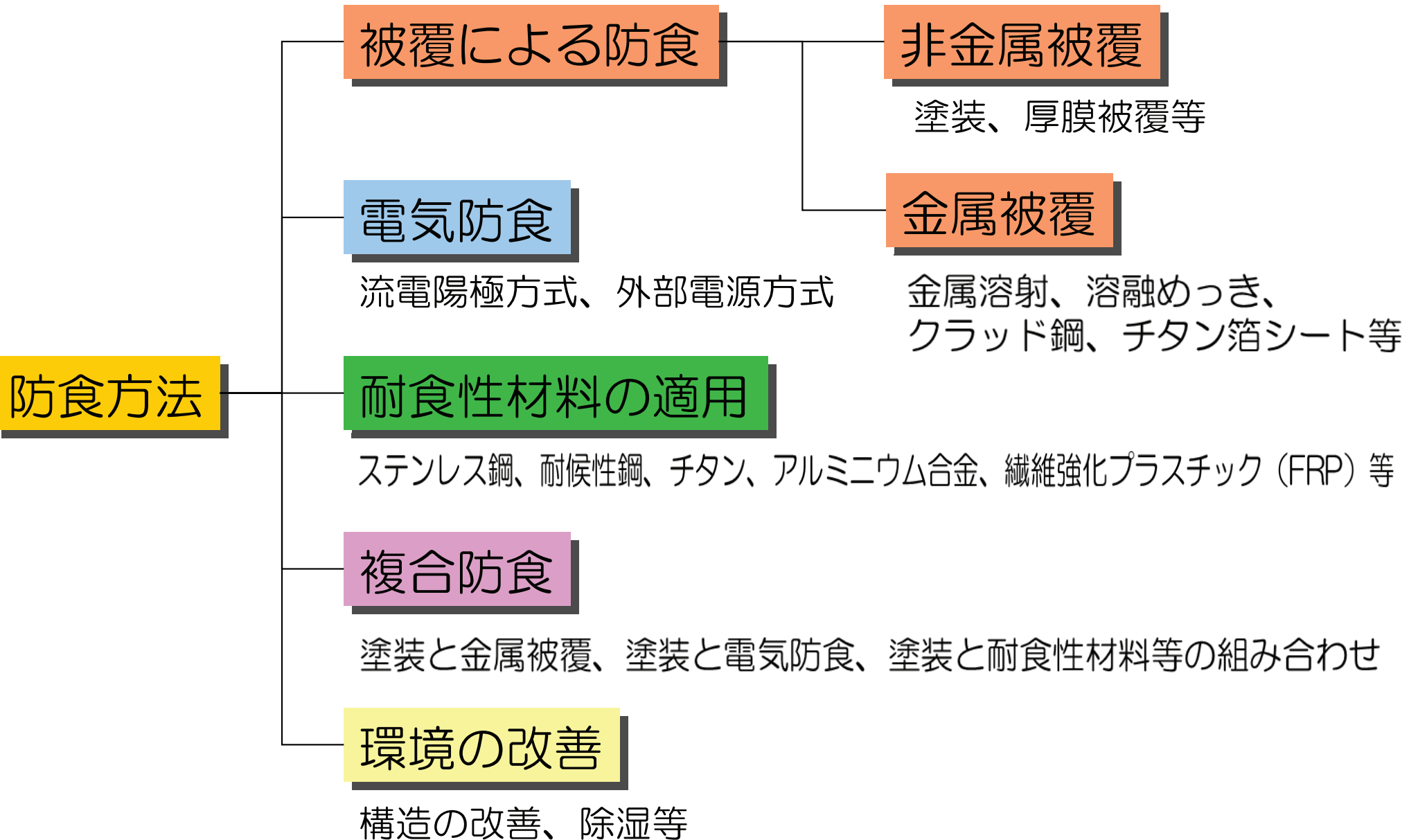
反応式の中に塩化物イオンが無いが、
、
、
、
(鋼材表面の不動態皮膜を破壊しアノード反応を大きく加速させる触媒的作用)

腐食(促進)因子 ①水分 ②酸素 ③塩化物イオン

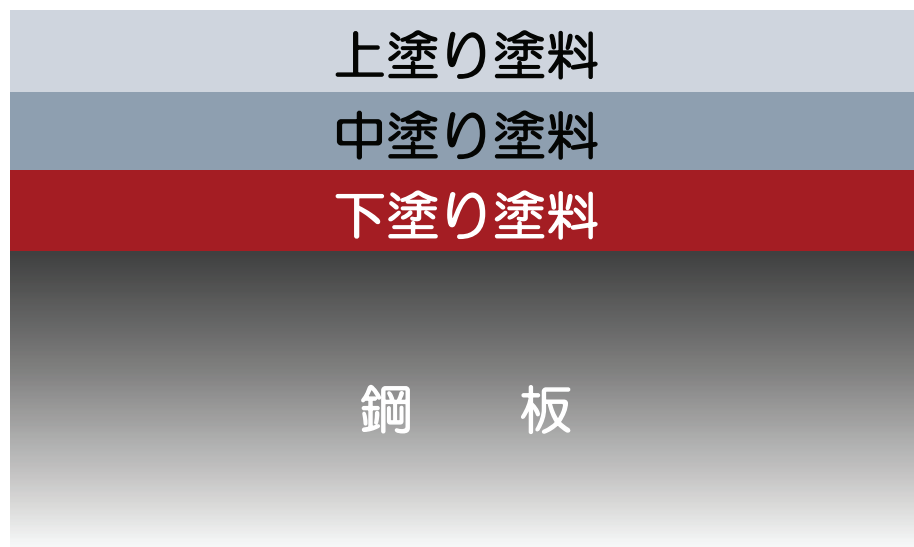
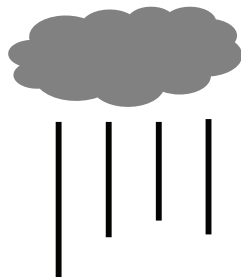
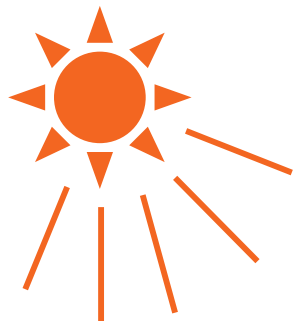
防食の基本的な考え方 <骨・肉・皮>



鋼構造物の主な防食方法



塗装による防食



● 上塗り塗料

- 耐候性が良い
- 耐水性が良い
- 塗膜に光沢があり、種々の着色が可能



耐候性

● 中塗り塗料

- 下塗りと上塗りとの付着安定性がある

● 下塗り塗料

- 防錆力が高い
- 腐食因子を遮断する
- 鋼材に対する付着性が良い

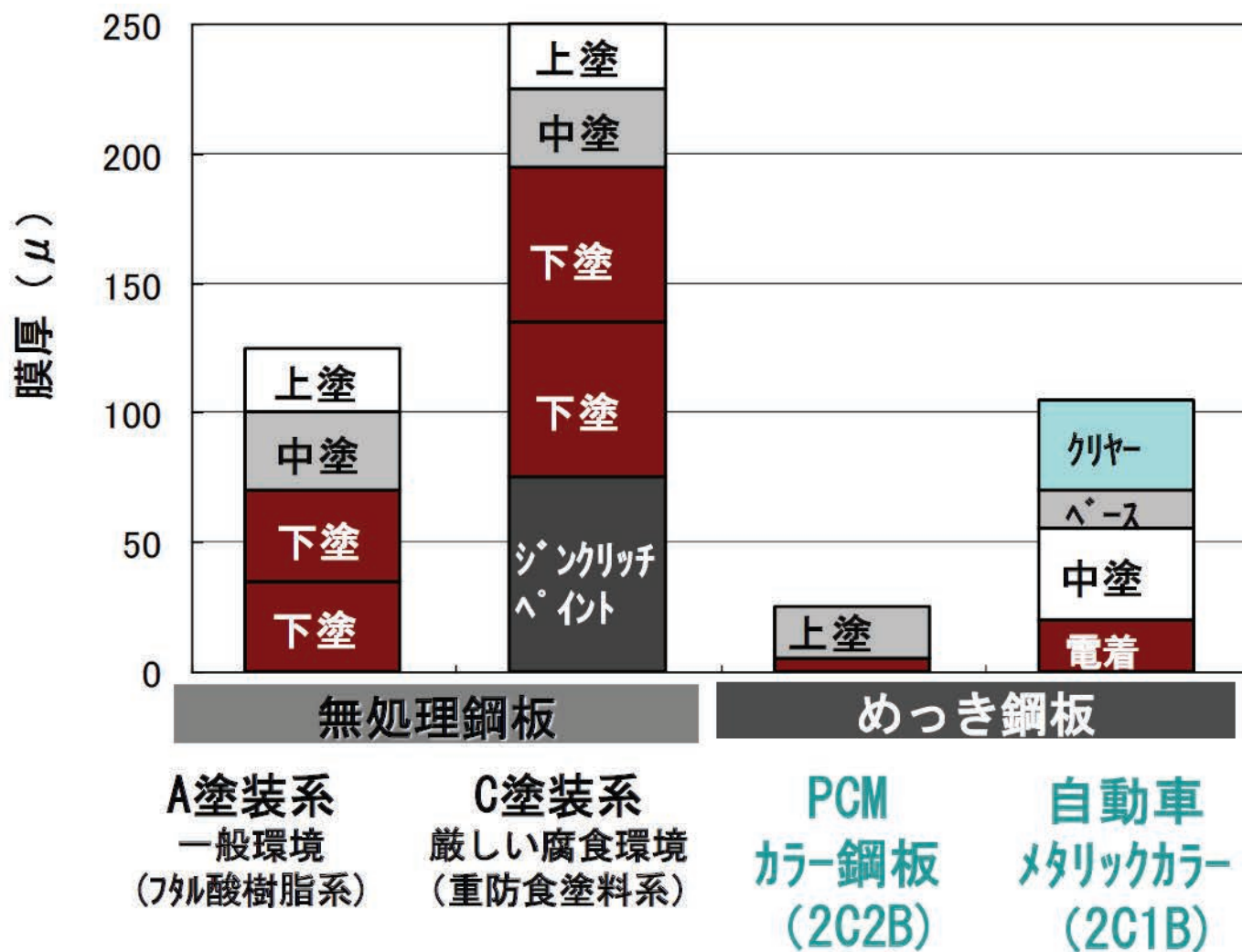


防食性

- 一般に塗装系は、複数の塗料それぞれが機能を有し役割を分担することによって適切な塗膜性能が得られるように構成されている。

橋梁の塗装系

● 橋梁塗装と他分野の塗装との塗装系の比較



上塗 ; 耐候性
 意匠性

中塗 ; 付着性

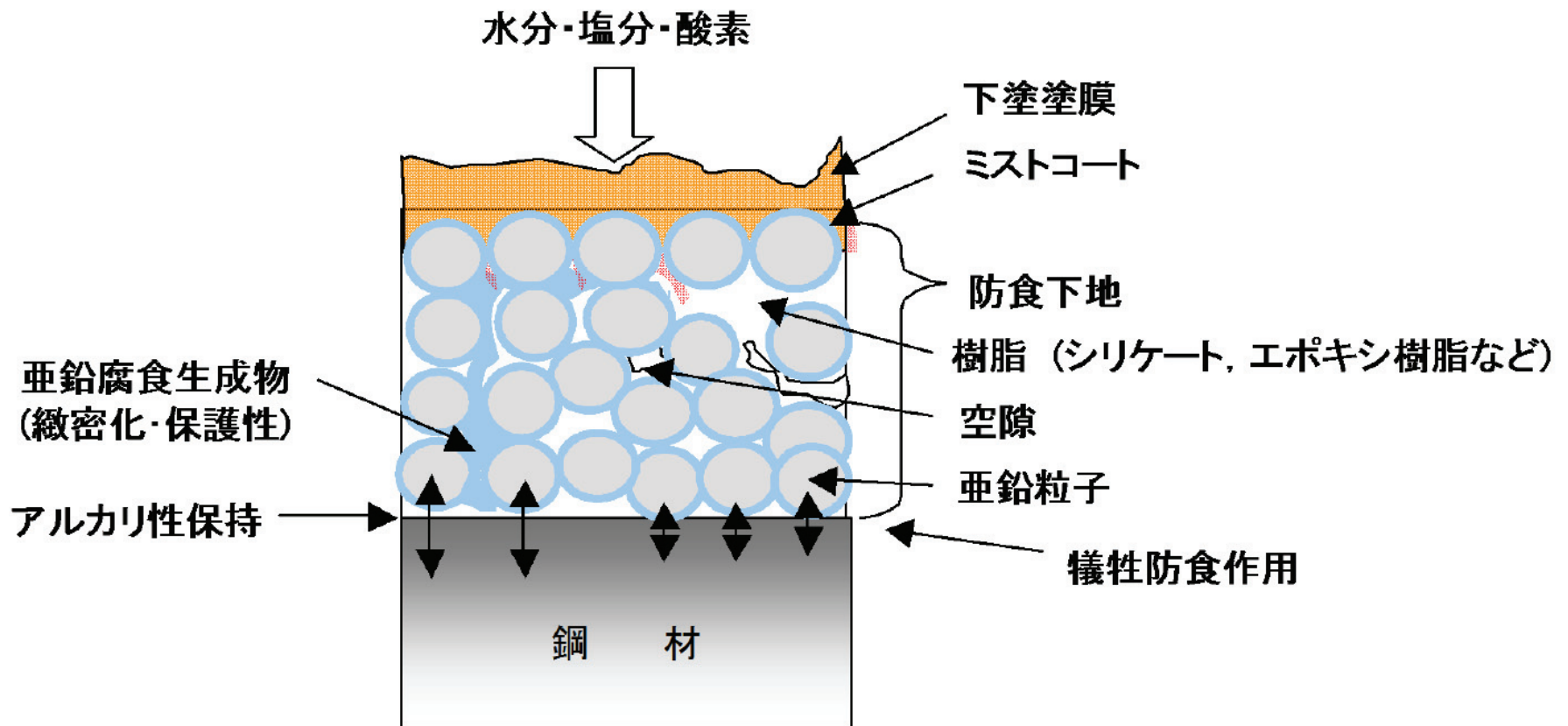
下塗 ; 防錆性

- 橋梁塗装は他分野の塗装に比べて、膜厚が大きい。
- 特に、防錆をつかさどる下塗りの膜厚が大きい。

防食下地

● 防食下地（ジンクリッチペイント）の機能

- ① 亜鉛の犠牲防食作用による鋼材の腐食抑制
- ② 亜鉛腐食生成物による腐食抑制作用
- ③ 鋼材表面とその上層塗膜との付着性の確保



鋼道路橋の防食塗料・塗装系の変遷

塗 装 系	年 代				
	1960	1970	1980	1990	2000
現場調合形鉛丹さび止め／油性調合ペイント	■				
油性さび止めペイント／長油性フタル酸樹脂塗料	■				
エッチングプライマー／油性さび止めペイント／ 長油性フタル酸樹脂塗料			▶		
ジンクリッチプライマー／塩化ゴム系塗料		■			
エッチングプライマー／油性さび止めペイント／ フェノールMIO塗料／塩化ゴム系塗料		▶			
ジンクリッチプライマー／エポキシ樹脂塗料下塗／ ポリウレタン樹脂塗料上塗			■		
厚膜無機ジンクリッチペイント／エポキシ樹脂塗料下塗／ ポリウレタン樹脂塗料上塗			■		
厚膜無機ジンクリッチペイント／エポキシ樹脂塗料下塗／ ふっ素樹脂塗料上塗				■	

※ 出典：日本鋼構造協会編「重防食塗装」、技報堂出版（2012）

一般塗装系と重防食塗装系

■ 代表的な一般塗装系（新設一般外面用）「鋼道路橋塗装便覧（平成2年6月）」

塗装系	前処理		工場塗装				現場塗装		
	素地調整	プライマー	素地調整	下塗り	下塗り	中塗り	中塗り	上塗り	
A系	A-1(2)	ブラスト処理	長ばく形エッチングプライマー15	動力工具処理	鉛系さび止めペイント35	鉛系さび止めペイント35	(フェノール樹脂MIO塗料45)	長油性フタル酸樹脂塗料中塗30	長油性フタル酸樹脂塗料上塗25
	A-3(4)	ブラスト処理	長ばく形エッチングプライマー15	動力工具処理	鉛系さび止めペイント35	鉛系さび止めペイント35	(フェノール樹脂MIO塗料45)	シリコンアルキド樹脂塗料中塗30	シリコンアルキド樹脂塗料25
B系	B-1	ブラスト処理	長ばく形エッチングプライマー15	動力工具処理	鉛系さび止めペイント35	鉛系さび止めペイント35	フェノール樹脂MIO塗料45	塩化ゴム系塗料中塗35	塩化ゴム系塗料上塗30

■ 代表的な重防食塗装系（新設一般外面用）「鋼道路橋防食便覧（平成26年3月）」

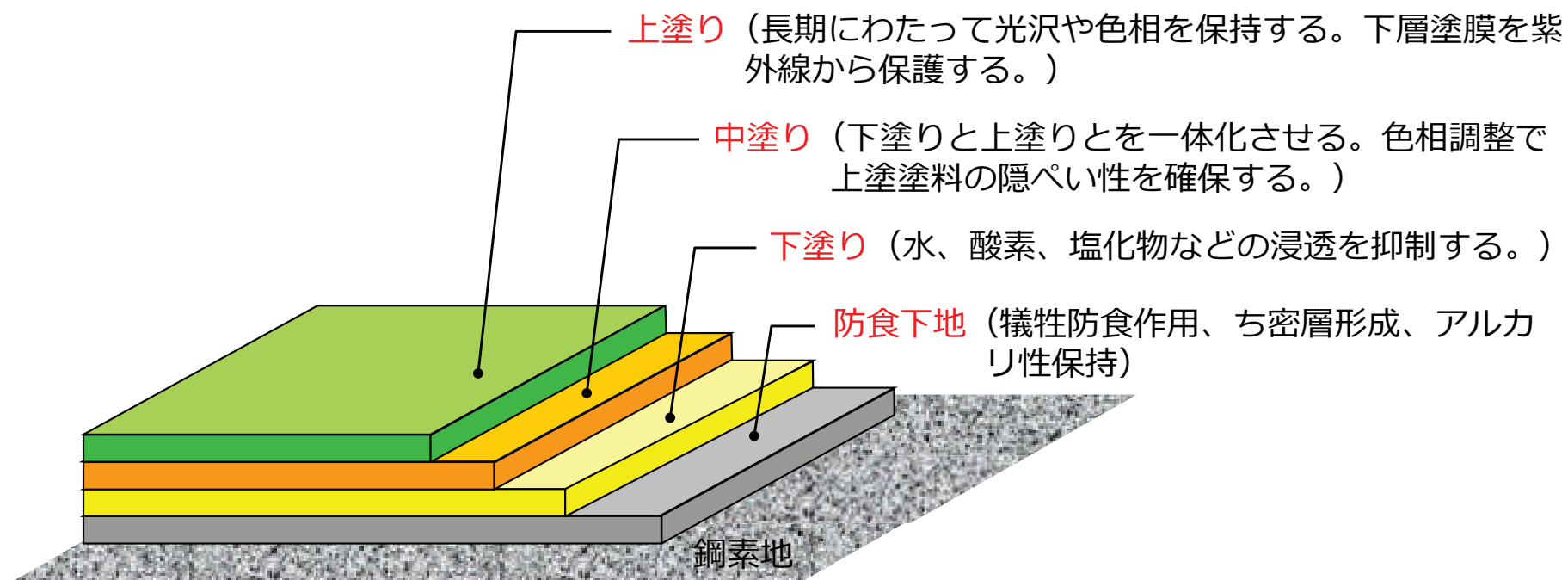
塗装系	製鋼工場		橋梁製作工場						
	素地調整	プライマー	素地調整	防食下地	ミストコート	下塗り	中塗り	上塗り	
C系	C-5	ブラスト処理	無機ジンクリッチプライマー	ブラスト処理	無機ジンクリッチペイント75	エポキシ樹脂塗料下塗	エポキシ樹脂塗料下塗120	ふっ素樹脂塗料用中塗30	ふっ素樹脂塗料上塗25

重防食塗装系

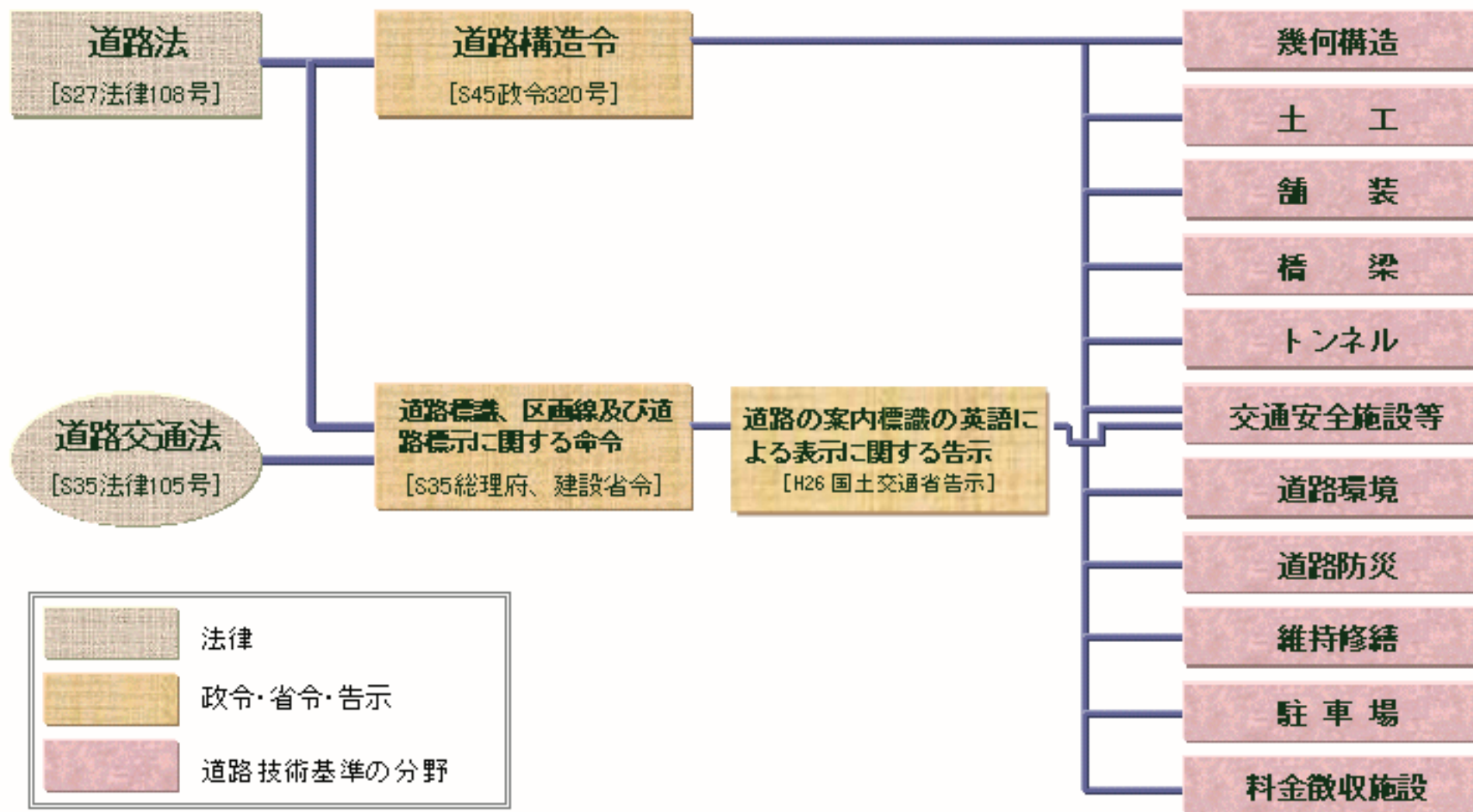
● 重防食塗装とは？

- ① ジンクリッチペイント、金属溶射皮膜、溶融亜鉛めっき皮膜などの**防食下地**を有する。
- ② **環境遮断性に優れた**エポキシ樹脂塗料、弱溶剤形エポキシ樹脂塗料、超厚膜形エポキシ樹脂塗料、ガラスフレーク含有エポキシ樹脂塗料などを下塗塗料とする。
- ③ **耐候性に優れた**ポリウレタン樹脂塗料ふっ素樹脂塗料などを上塗塗料とする。
- ④ 合計膜厚は250～1000μm程度。
- ⑤ 新設塗装に期待する耐久性（防食性能と耐候性能）は、**厳しい腐食環境で30年以上**であること。

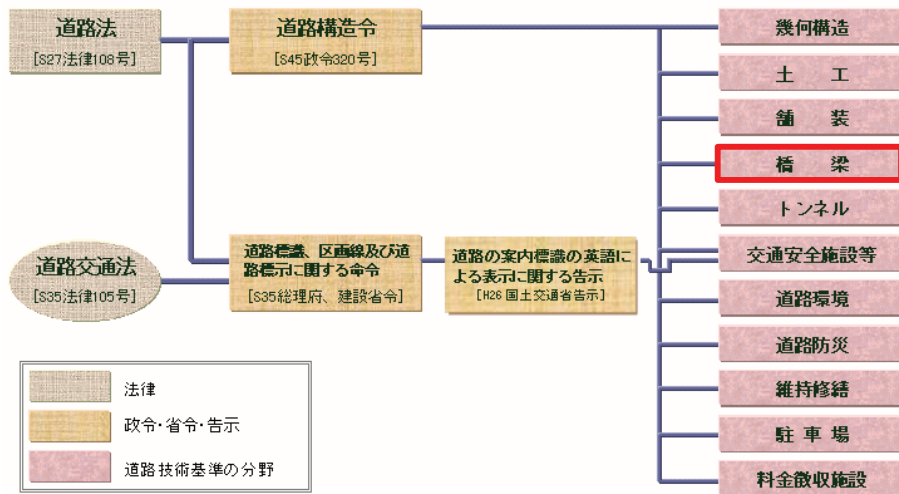
出典：日本鋼構造協会編：「重防食塗装」、技報堂出版（2012年2月）



道路技術基準の体系



道路技術基準の体系



道路技術分野（橋 梁）	
橋、高架の道路等の技術基準の改定について	[H29都市局長、道路局長] [H31.1.16更新]
道路橋示方書 共通編	
道路橋示方書 鋼橋・鋼部材編	
道路橋示方書 コンクリート橋・コンクリート部材編	
道路橋示方書 下部構造編	
道路橋示方書 耐震設計編	
橋、高架の道路等の技術基準	[S59街路課長、企画課長]
小規模吊橋指針・同解説	[S59日本道路協会]
コンクリート道路橋設計便覧	[H6 日本道路協会]
コンクリート道路橋施工便覧	[H10日本道路協会]
鋼道路橋設計便覧	[S55日本道路協会]
鋼道路橋施工便覧	[H27日本道路協会]
鋼道路橋の疲労設計指針	[H14日本道路協会]
鋼道路橋塗装・防食便覧	[H17日本道路協会]
プレキャストブロック工法によるプレストレスト コンクリートT1げた道路橋設計・施工指針	[H4 日本道路協会]
道路橋伸縮装置便覧	[S45日本道路協会]
道路橋支承便覧	[H30日本道路協会]
杭基礎設計便覧	[H27日本道路協会]
杭基礎施工便覧	[H27日本道路協会]
鋼管矢板基礎設計施工便覧	[H9 日本道路協会]
道路橋補修便覧	[S54日本道路協会]
道路橋耐風設計便覧	[H20日本道路協会]
道路橋床版防水便覧	[H19日本道路協会]

通達
 要綱・指針等

鋼道路橋の塗装（防食）基準の変遷

- 1971年：鋼道路橋塗装便覧
ブラスト処理鋼板の使用
- 1979年：鋼道路橋塗装便覧第1回改定
ジンクリッチプライマーの適用
重防食塗装系の採用
- 1990年：鋼道路橋塗装便覧第2回改定
塗装系の高性能化
維持管理手法の提案
- 2002年：道路橋示方書Ⅱ鋼橋編改定
塗装以外に耐候性鋼材、溶融亜鉛めっき、金属溶射
- 2005年：鋼道路橋塗装・防食便覧
重防食塗装系の一般化（LCCの重視）
耐候性鋼材、溶融亜鉛めっき、金属溶射の提示
- 2010年：鋼道路橋塗装・防食便覧資料集
- 2012年：道路橋示方書Ⅱ鋼橋編改定
- 2014年：鋼道路橋防食便覧発刊



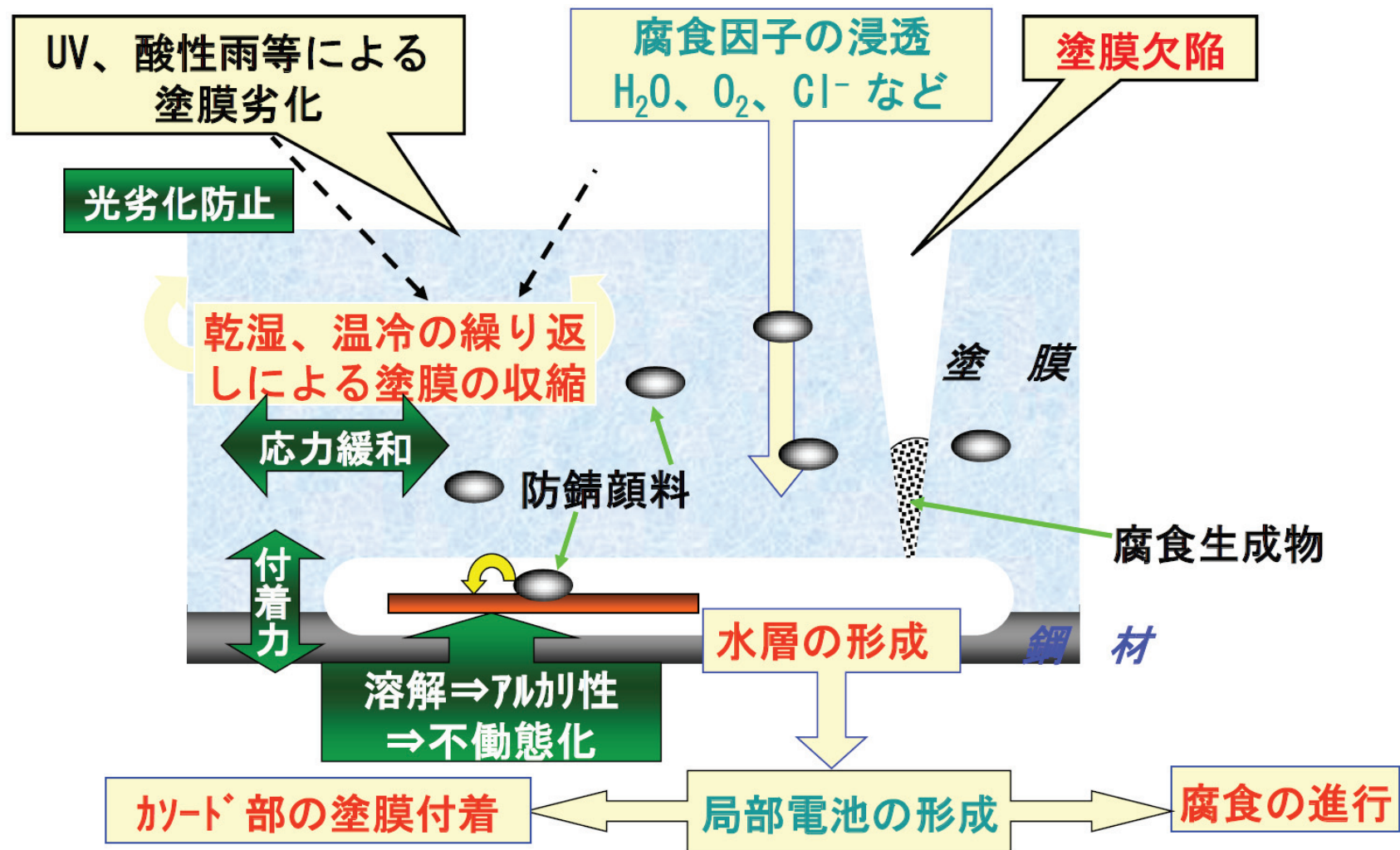
- 道路橋示方書を補完
- 鋼道路橋の標準的な防食方法の手引書

- I 共通編
- II **塗装編**
- III 耐候性鋼材編
- IV 溶融亜鉛めっき編
- V 金属溶射編

- 第1章 総論
- 第2章 防食設計
- 第3章 構造設計上の留意点
- 第4章 製作・施工上の留意点
- 第5章 新設塗装
- 第6章 維持管理
- 第7章 塗替え塗装
- 付属資料



塗膜による防食と塗膜劣化



- 塗膜は、日射、降雨や鋼材の腐食因子である飛来塩分や NO_x 、 SO_x 等の作用によって徐々に劣化する。
- 塗膜劣化は塗装系や橋の架設環境などによってその形態や進行の程度が異なる。

道路の老朽化対策の取組み

○ 笹子トンネル天井板落下事故[H24.12.2]

○ トンネル内の道路附属物等の緊急点検実施[H24.12.7] :ジェットファン、照明等

○ 道路ストックの集中点検実施[H25.2~] :第三者被害防止の観点から安全性を確認

○ 道路法の改正[H25.6] :点検基準の法定化、国による修繕等代行制度創設

○ 定期点検に関する省令・告示 公布[H26.3.31] :5年に1回、近接目視による点検

○ 道路の老朽化対策の本格実施に関する提言[H26.4.14]

○ 道路メンテナンス会議 設立[H26.4~] :地方公共団体の取組みに対する体制支援

○ 定期点検要領 通知[H26.6.25] :円滑な点検の実施のための具体的な点検方法等を提示

○ 定期点検に関する省令・告示 施行[H26.7.1] :5年に1回、近接目視による点検開始

○ 定期点検要領 通知[H31.2.28] :定期点検の質を確保しつつ、実施内容を合理化

出典：国土交通省資料「老朽化対策の取組み」<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf>

道路の老朽化対策の本格実施に関する提言 概要

【1. 道路インフラを取り巻く現状】

(1) 道路インフラの現状

- 全橋梁約73万橋のうち約52万橋が市町村道
- 一部の構造物で老朽化による変状が顕在化
- 地方公共団体管理橋梁では、近年通行規制等が増加

(2) 老朽化対策の課題

- 直轄維持修繕予算は本来ならば増額すべきだが、H28年度にH16年度の水準に戻ったところ
- 町の約3割、村の約6割で橋梁保全業務に携わっている土木技術者が存在しない
- 地方公共団体では、遠望目視による点検も多く点検の質に課題

(3) 現状の総括(2つの根本的課題)

最低限のルール・基準が確立していない

メンテナンスサイクルを回す仕組みがない

【2. 国土交通省の取組みと目指すべき方向性】

(1) メンテナンス元年の取組み

本格的にメンテナンスサイクルを回すための取組みに着手

- 道路法改正【H25.6】
 - ・点検基準の法定化
 - ・国による修繕等代行制度創設

- インフラ長寿命化基本計画の策定【H25.11】
 - 『インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議』
 - ⇒インフラ長寿命化計画(行動計画)の策定へ

(2) 目指すべき方向性

- ①メンテナンスサイクルを確定
- ②メンテナンスサイクルを回す仕組みを構築

産学官のリソース(予算・人材・技術)を全て投入し、総力をあげて本格的なメンテナンスサイクルを始動【道路メンテナンス総力戦】

【3. 具体的な取組み】

(1) メンテナンスサイクルを確定(道路管理者の義務の明確化)

各道路管理者の責任で以下のメンテナンスサイクルを実施

[点検]

- 橋梁(約73万橋)・トンネル(約1万本)等は、国が定める統一的な基準により、5年に1度、近接目視による全数監視を実施
- 舗装、照明柱等は適切な更新年数を設定し点検・更新を実施

[診断]

- 統一的な尺度で健全度の判定区分を設定し、診断を実施

『道路インフラ健診』 (省令・告示：H26.3.31公布、同年7.1施行予定)

区分	状態
I 健全	構造物の機能に支障が生じていない状態
II 予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態
III 早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態
IV 緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態

[措置]

- 点検・診断の結果に基づき計画的に修繕を実施し、必要な修繕ができない場合は、通行規制・通行止め
- 利用状況を踏まえ、橋梁等を集約化・撤去
- 適切な措置を講じない地方公共団体には国が勧告・指示
- 重大事故等の原因究明、再発防止策を検討する『道路インフラ安全委員会』を設置

[記録]

- 点検・診断・措置の結果をとりまとめ、評価・公表(見える化)

(2) メンテナンスサイクルを回す仕組みを構築

メンテナンスサイクルを持続的に回す以下の仕組みを構築

[予算]

- (高速) ○高速道路更新事業の財源確保(平成26年法改正)
- (直轄) ○点検、修繕予算は最優先で確保
- (地方) ○複数年にわたり集中的に実施する大規模修繕・更新に対して支援する補助制度

[体制]

- 都道府県ごとに『道路メンテナンス会議』を設置
- メンテナンス業務の地域一括発注や複数年契約を実施
- 社会的に影響の大きな路線の施設等について、国の職員等から構成される『道路メンテナンス技術集団』による『直轄診断』を実施
- 重要性、緊急性の高い橋梁等は、必要に応じて、国や高速会社等が点検や修繕等を代行(跨道橋等)
- 地方公共団体の職員・民間企業の社員も対象とした研修の充実

[技術]

- 点検業務・修繕工事の適正な積算基準を設定
- 点検・診断の知識・技能・実務経験を有する技術者確保のための資格制度
- 産学官によるメンテナンス技術の戦略的な技術開発を推進

[国民の理解・協働]

- 老朽化の現状や対策について、国民の理解と協働の取組みを推進

定期点検の義務化

- 高度経済成長期に集中的に整備された道路の老朽化が進行
- 重量車両の通行により道路の疲労が蓄積
- 首都直下地震や南海トラフの巨大地震等様々な災害に備えた「命の道」の確保の必要性



道路法等の一部改正（2014年6月5日公布）

- 道路の**予防保全**の観点も踏まえた**点検を含む維持・修繕**の実施
- 国土交通大臣による点検結果の調査（技術開発等への活用）
- 一定の構造物を対象とした国土交通大臣による修繕・改築の代行、その他大型車両の通行の適正化、道路の防災・減災対策の強化



5年に1回の**近接目視**による点検の義務化（定期点検要領）

道路橋定期点検要領（2019年2月 道路局）

- 1巡目の定期点検データや課題を踏まえ、道路橋定期点検要領を改定された。

1巡目 (H26～H30)

省令

(道路の維持又は修繕に関する技術的基準等)
第四条の五の六
一 (略)点検は(中略)知識及び技能を有する者が行うこととし、
近接目視により、五年に一回の頻度で行うことを基本とする。
道路法施行規則〔H26.3.31公布、H26.7.1施行〕

道路橋定期点検要領(全国版)

3. 定期点検の方法

定期点検は、近接目視により行うことを基本とする。
また、必要に応じて触診や打音等の非破壊検査等を併用して
行う。

道路橋定期点検要領〔H26.6策定〕

2巡目 (H31～R5)

変更なし

4. 状態の把握

健全性の診断の根拠となる状態の把握は、近接目視により行
うことを基本とする。

【法令運用上の留意事項】

定期点検を行う者は、健全性の診断の根拠となる道路橋の
現在の状態を、**近接目視により把握するか、または、自らの近
接目視によるときと同等の健全性の診断を行うことができる情
報が得られると判断した方法により把握**しなければならない。

道路橋定期点検要領〔H31.2改正〕

○新技術利用のガイドライン(案)〔H31.2策定〕

- ・定期点検業務において使用する技術を受発注者間で確認するプ
ロセスと、技術の性能値の確認に用いる標準項目を明示

○点検支援技術性能カタログ(案)〔H31.2策定〕 16技術 〔R2. 6改定〕 80技術

- ・標準項目に従い各技術の性能値をカタログ形式で整理・掲載

橋梁定期点検要領（2019年3月 国道・技術課）

点検の種類

初回点検 → 供用開始後、2年以内
 定期点検 → 初回点検後、5年に1度

点検対象

すべての部材が対象

損傷程度の評価

要素毎、損傷種類毎に、「損傷程度の評価（a,b,c,d,e）」を行う

点検の方法

近接目視を主に、必要に応じて簡易な点検機械、器具を用いる

（例）超音波板厚計による板厚計測
 写真撮影（画像解析による調査）
 インピーダンス測定、膜厚測定、
 付着性試験 など

損傷程度の区分の例（防食機能の劣化（塗装））

区分	損傷程度
a	損傷なし
b	—
c	最外層の防食塗膜に変色が生じたり、局所的なうきが生じている。
d	部分的に防食塗膜が剥離し、下塗りが露出している。
e	防食塗膜の劣化範囲が広く、点錆が発生している。



対策区分の判定

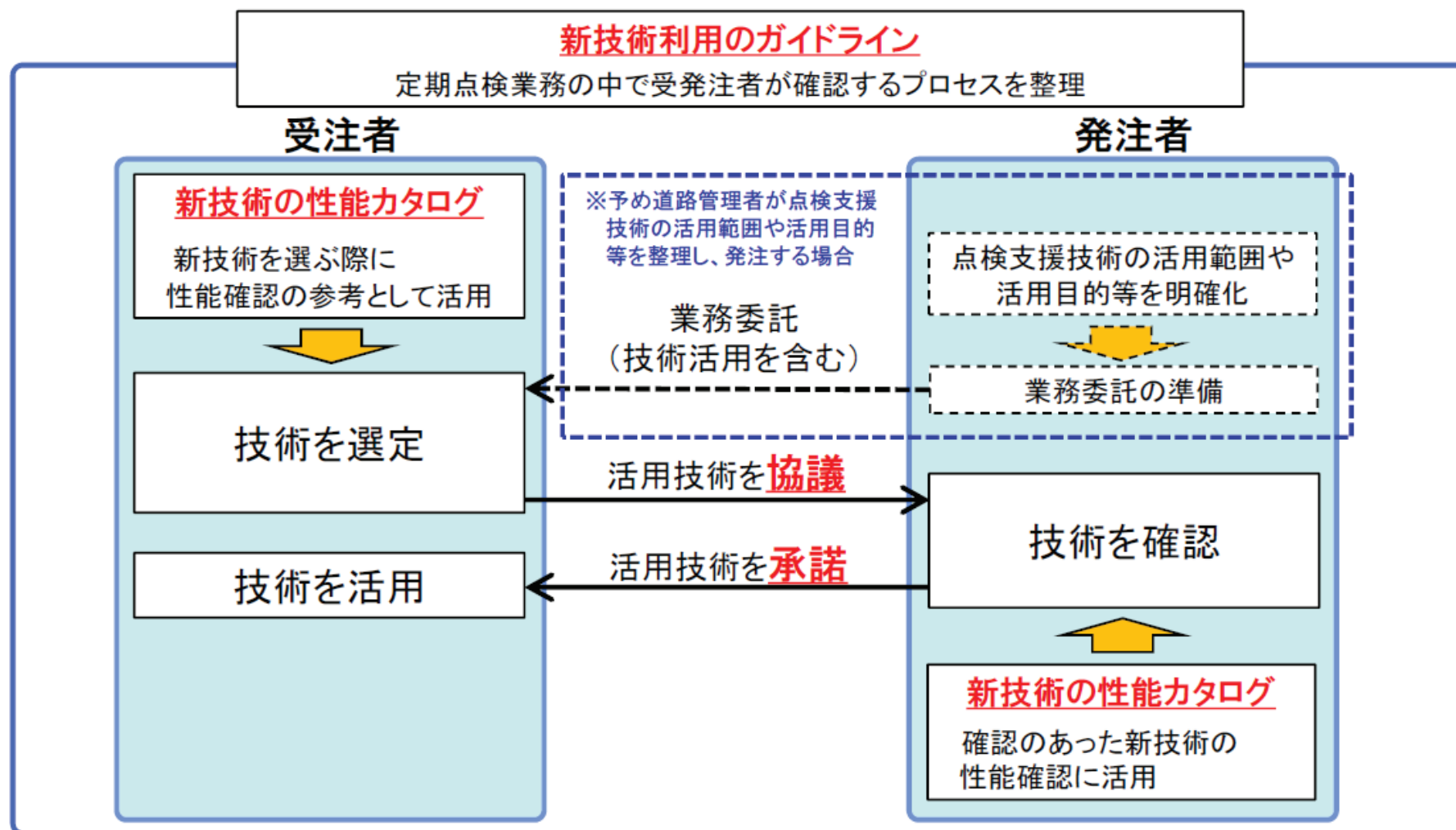
対策区分	評価項目
A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。
B	状況に応じて補修を行う必要がある。
C1/C2	予防保全（橋梁構造の安全性）の観点から、速やかに補修等を行う必要がある。
E1/E2	橋梁構造の安全性の観点から（その他）、緊急対応の必要がある。
M	維持補修工事に対応する必要がある。
S1/S2	詳細調査（追跡調査）の必要がある。

全部材の最小単位（例：主桁の場合、横桁間等に仕切られた1本単位）である要素毎、損傷種類毎に判定を行う。

損傷状況を把握した上で、構造上の部材区分毎、損傷種類毎の対策区分について判定する

ガイドライン・性能カタログの概要

- ガイドラインは、定期点検業務の中で受発注者が使用する技術を確認するプロセス等を例示。
- 性能カタログは、国が定めた技術の性能値を開発者に求め、カタログ形式でとりまとめたもので、受発注者が新技術活用を検討する場合に参考とできる。



点検支援技術性能カタログ

- 点検支援技術性能カタログは、国が定めた標準項目に対する性能値を開発者に求め、開発者から提出されたものをカタログ形式でとりまとめたもの
- 令和2年6月時点の80技術に加え、新たに51技術を掲載し、令和3年10月時点で131技術に拡充
- 受発注者が、点検支援技術性能カタログを参照することにより、点検への新技術の活用を推進

点検支援技術性能カタログの構成

第1章 性能カタログの活用にあたって

1. 適用の範囲
 2. 用語の定義
 3. 性能カタログの活用について
 4. 性能カタログの標準項目について
 - (1) 基本諸元
 - (2) 性能の裏付け
 - (3) 調達・契約にあたってのその他必要な事項
 - (4) その他
 5. 点検支援技術に関する相談窓口の設置
- 付録1 点検支援技術性能カタログの標準項目

第2章 性能カタログ

- 画像計測技術(橋梁/トンネル)
 - 非破壊検査技術(橋梁/トンネル)
 - 計測・モニタリング技術(橋梁/トンネル)
 - データ収集・通信技術
- 付録2 技術の性能確認シート

※国土交通省ホームページ

<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/>

<主な掲載技術>

画像計測

- ・橋梁 :34技術
(+10技術)
- ・トンネル :16技術
(+ 8技術)



ドローンによる損傷把握



レーザーสキャンによる変状把握

非破壊検査

- ・橋梁 :19技術
(+ 8技術)
- ・トンネル :13技術
(+ 7技術)



電磁波技術を利用した床版上面の損傷把握



レーダーを利用したトンネル覆工の変状把握

計測・モニタリング

- ・橋梁 :38技術
(+13技術)
- ・トンネル : 8技術
(+ 5技術)



センサーによる橋梁ケーブル張力のモニタリング



トンネル内附属物の異常監視センサー

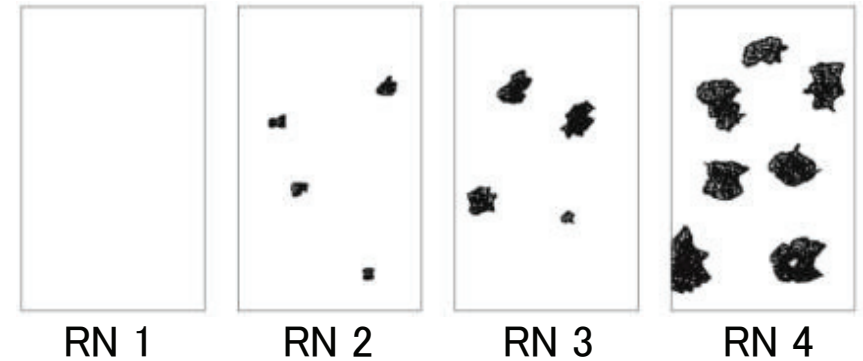
データ収集・通信

- ・3技術

塗替え時期の判定方法の例（鋼道路橋防食便覧）

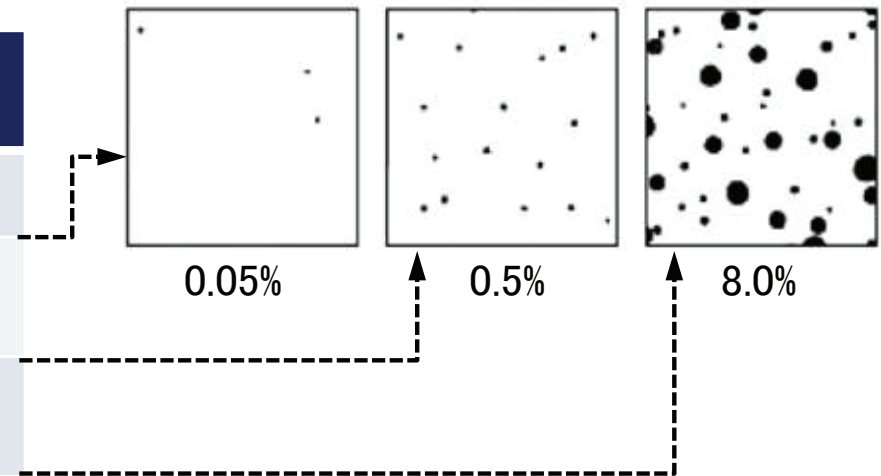
はがれの評価

評価	はがれの量の等級 JIS K 5600-8-5: 1999 (ISO 4628-5: 1982)	中塗りの露出面積(%)
1	0	0
2	3	1
3	4	3
4	5	15



さびの評価

評価	さび面積, X (%)	塗膜外観	さびの等級 JIS K 5600-8-3: 2008 (ISO 4628-3: 2003)
1	$X < 0.05$	さびが認められず、塗膜は健全な状態	Ri 1
2	$0.05 \leq X < 0.5$	さびがわずかに認められるが、塗膜は防食機能を維持している状態	Ri 2
3	$0.5 \leq X < 8.0$	さびが顕在化し、塗膜は一部防食機能が損なわれている状態	Ri 3, Ri 4
4	$8.0 \leq X$	さびが進行し、塗膜は防食機能が失われている状態	over Ri 4



塗替え時期の判定

		はがれの程度			
		1	2	3	4
さびの程度	1				
	2	I			II
	3		II		
	4				III

- I. 当面塗替えの必要性はない。
- II. 数年後に塗替えを計画する。
- III. 早い時期の塗替えを検討する。

ストックの量, 劣化面積, 構造物・部材の重要度, 予算について考慮する必要がある。

塗替え塗装の種類

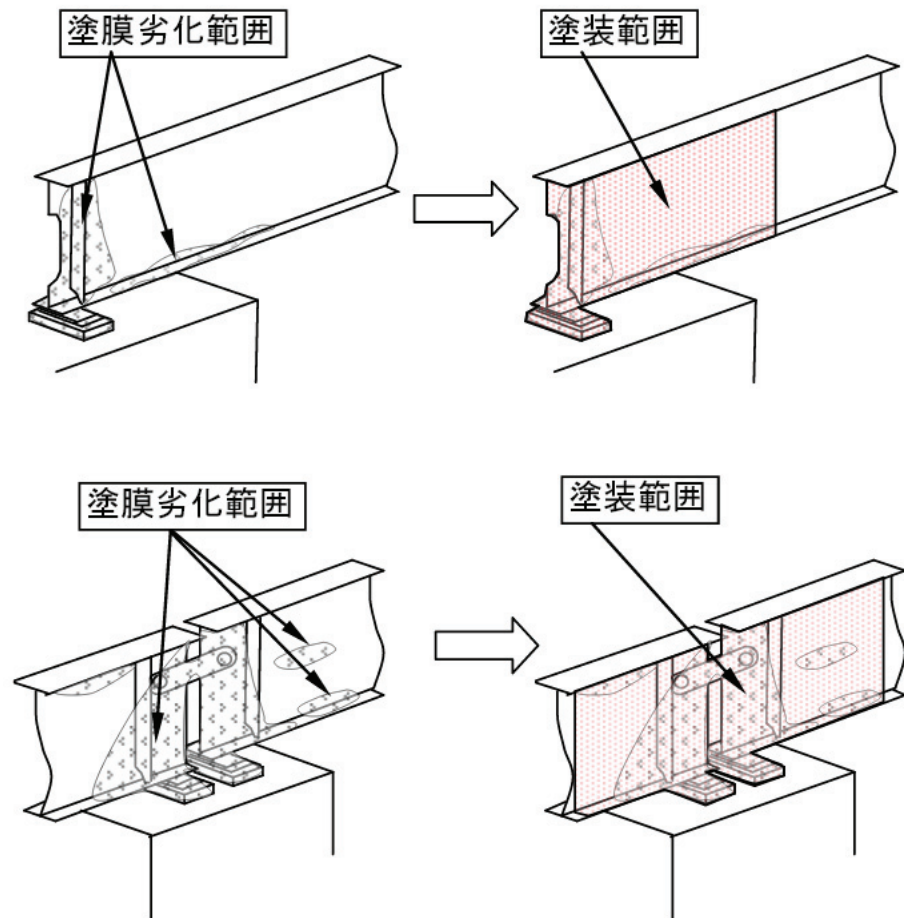
塗装方法	塗装方法の説明
全面塗替え塗装	橋梁全体や大規模な橋梁では数径間を全面的に塗り替える塗装をいう。下塗りから上塗りまでのすべての層を除去して防食下地から上塗りまでの全層を塗り替える。
部分塗替え塗装	桁端部、継手部などの劣化損傷が著しい部材や部位を中心に部分的に塗り替える塗装をいう。劣化損傷部分は下塗りから上塗りまでのすべての層を除去して防食下地から上塗りまでの全層を塗り替える。それ以外の部分は塗替えを行わず、塗り重ね代を設けて中・上塗りを塗装する。
局部補修塗装	現場ボルト接合部、溶接部や部材端部などの架設時の打ち傷などの補修に用いられる塗装をいう。

※塗装以外の防食工では防食方法自体の変更という選択肢もある

- ⇒ 耐候性鋼を全面塗装
- ⇒ 溶融亜鉛めっき部材の全面塗装

部分塗替え塗装

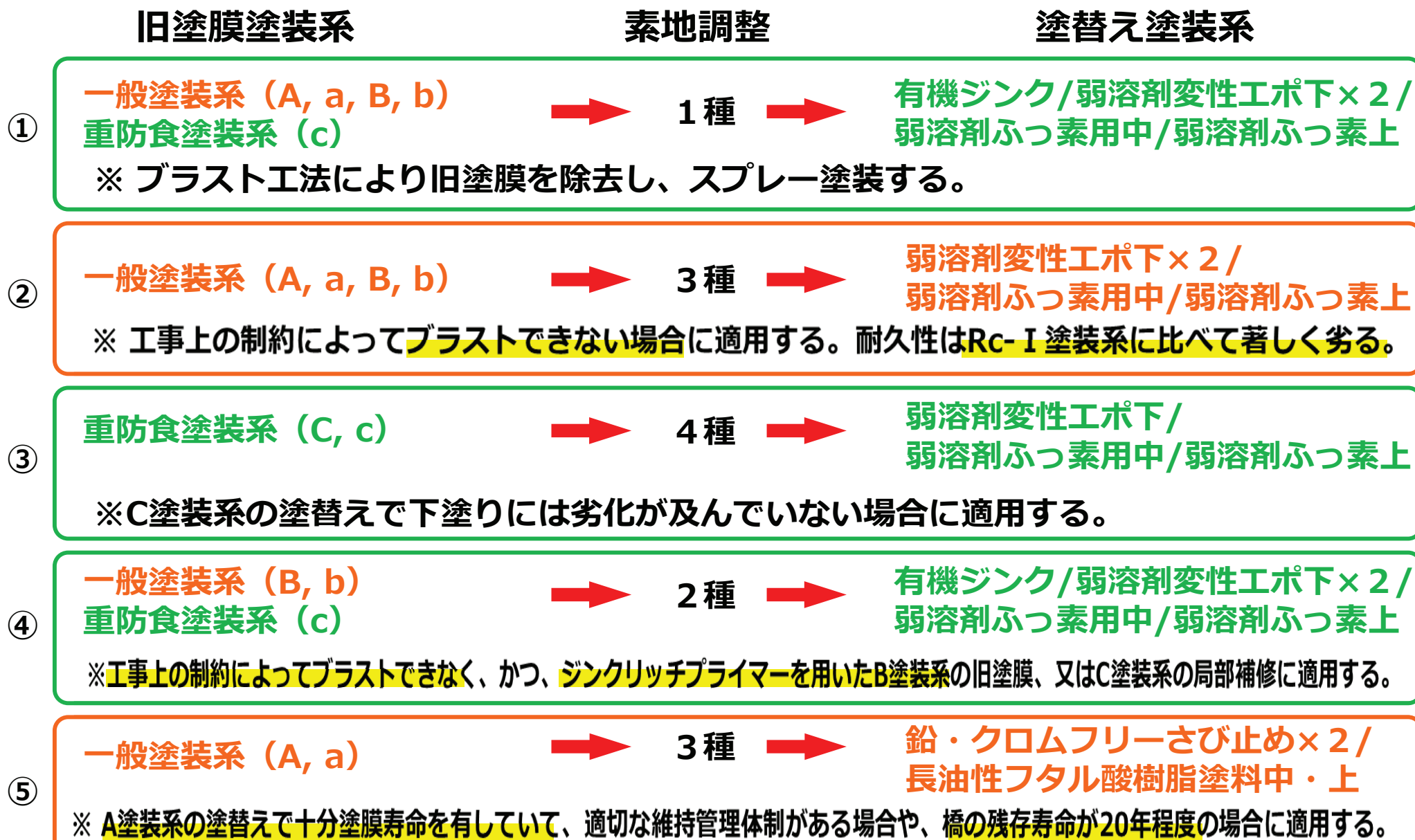
- 全体的に塗膜は健全であるが、部分的（桁端部や継手部などの特定の部材のみ）に塗膜の劣化や鋼材の腐食が集中して発生しており、補修の緊急性がある場合、その後の橋梁全体の塗替え塗装計画も考慮したうえで経済的に有利な場合には、部分塗替え塗装を適用する。



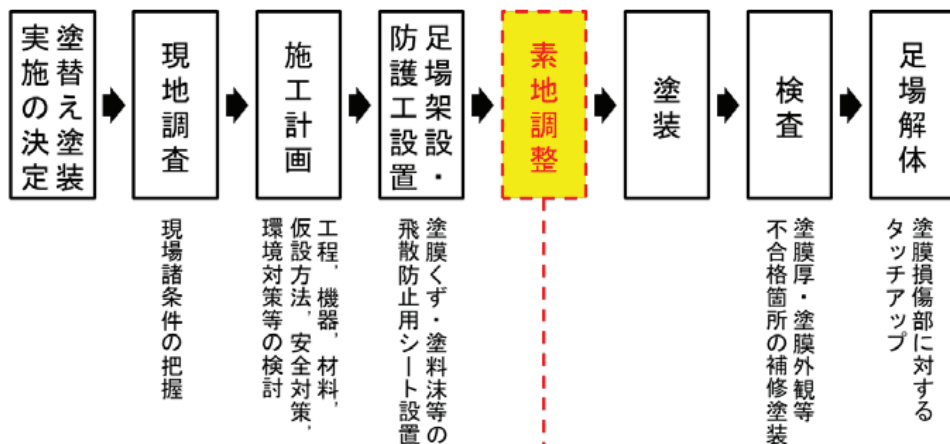
出典：国土交通省道路局「鋼道路橋の部分塗替え塗装要領（案）」（2009）

典型的な全面塗替え塗装のパターン

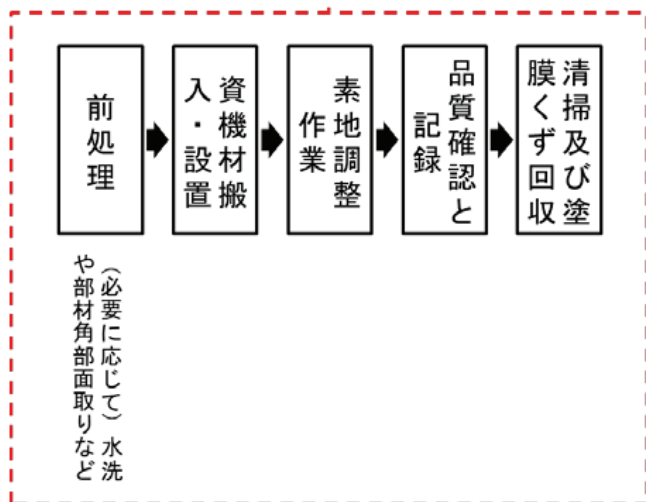
※一般外面の全面塗替えを想定



一般的な塗替え塗装工程と素地調整

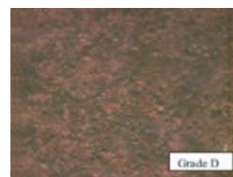


- 物体に塗装する際には、あらかじめ**塗料を塗付する面を清浄にし、適度に粗さを付与**することで塗料の密着性が良好となり、塗膜の機能・性能を十分に引き出すことが可能となる。
- 塗装前に被塗物表面を物理的または化学的に処理し、**塗装に適した状態にする作業**を「素地調整」という。

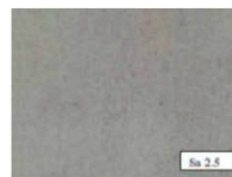


塗替え前の素地調整程度の種類(鋼道路橋防食便覧)

種別	1種	2種	3種	4種
作業内容	さび、旧塗膜をすべて除去し鋼材面を露出させる。	旧塗膜、さびを除去し鋼材面を露出させる。ただし、くぼみ部などにさび／塗膜が残存する。	さび／劣化塗膜を除去し、鋼材面を露出させる。ただし、劣化していない塗膜(活膜)は残す。	粉化物／付着物を落とし、劣化していない塗膜(活膜)は残す。
作業方法	ブラスト法	ディスクサンダー／ワイヤホイールなどの動力工具と手工具との併用	同左	同左
素地状態	ピカピカ 鋼材	さび 鋼材	さび 活膜 鋼材	活膜 鋼材



素地調整前



素地調整程度1種



素地調整程度2種



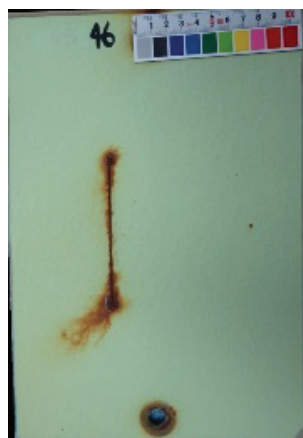
素地調整程度3種



素地調整程度4種

塗装における素地調整の重要性

■ 耐候性鋼材補修塗装時の素地調整と塗装系の防食性(屋外暴露10年後)



Sa 2 1/2



Sa 2



Sa 1

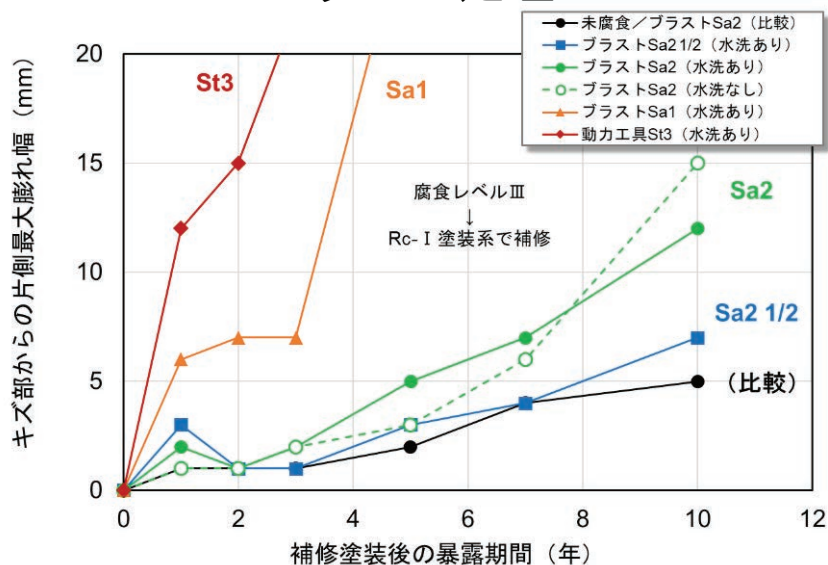


St 3

ふっ素系上塗 25μm
ふっ素系中塗 30μm
エポキシ下塗 60μm
エポキシ下塗 60μm
有機ジンクリッチ ペイント75μm
鋼板

動力工具処理

ブラスト処理



早い段階で、グレードの高い素地調整で補修をした方が長期の塗膜耐久性を期待できる。

素地調整に関する技術的課題

全体としてはこちらが基本

【鋼道路橋の塗替え塗装】

ブラスト素地調整 + Rc-I 塗装系



(課題)

- 素地調整の品質確保
- 新しい工法への対応
- 労働安全衛生



- 素地調整技術の要求性能の明確化
- 各種素地調整技術に対する性能評価方法
- 現場条件に適した素地調整技術選定方法

(課題)

- 現場条件によりブラスト処理が選定できない
- 施工条件の悪い部位で十分な素地調整ができない

十分な素地調整ができない場合のオプション

● 新しい鋼材補修用防食材料の提案

- さび転換タイプ：11件
- さび・イオン固定化タイプ：8件
(このうち10件がNETIS登録)

(課題)

十分な知見が蓄積されておらず、性能評価方法が確立されていないため、適用可否を判断することができていない。



補修用防食材料の適用性評価のためには、下記などについて共通のルールづくりが必要。

- 実証試験における腐食劣化鋼板の作製方法、補修塗装前の下地処理方法
- 塗膜下での腐食抑制効果の検証方法
- 耐久性や施工性の検証方法

土木鋼構造物塗装に対する社会的要請

■ 高耐久化（長寿命化）

■ コスト削減

■ 効率化

■ 環境負荷の低減

■ 労働安全衛生

従来はこれらに
主眼がおかれている



- ✓ 耐久性の高い材料（塗料） ・ 塗装系の開発
- ✓ 素地調整技術の高度化 など

土木鋼構造物塗装に対する社会的要請

- 高耐久化（長寿命化）

- コスト削減

- 効率化

- 環境負荷の低減

- 労働安全衛生

最近、一段と重視されるようになってきた

鋼道路橋用塗料に関する近年の主な動き

- 鉛系さび止めペイント ⇒ 鉛・クロムフリーさび止めペイント
- タールエポキシ樹脂塗料、無溶剤形変性タールエポキシ樹脂塗料 (廃止)
- 塩化ゴム系塗料 (廃止)
- フェノール樹脂M I O塗料 (廃止)
- エポキシ樹脂M I O塗料 (廃止)
- シリコンアルキド樹脂塗料 (廃止)
- ポリウレタン樹脂塗料 (廃止)
- 弱溶剤形塗料 (変性エポキシ樹脂塗料、ふっ素樹脂塗料)
⇒ 塗替塗装系へ採用

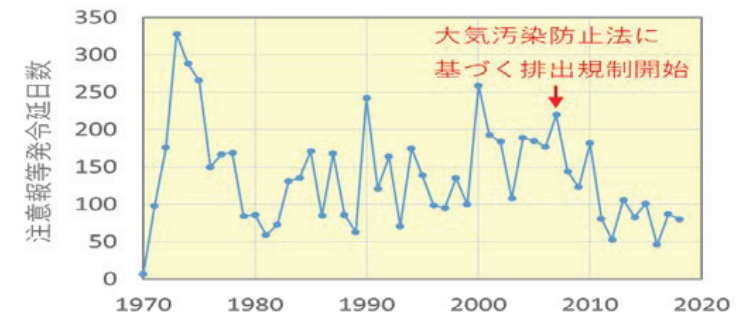
従来の溶剤形塗料の課題

- 光化学オキシダントや浮遊粒子状物質（SPM）の原因物質の一つである**揮発性有機化合物（VOC）**が多く含まれている。
 - ⇒ 大気汚染防止法による規制と自主的取組のベストミックスによる**VOC排出抑制対策の継続**（第五次基本計画）
 - ⇒ 化学物質や廃棄物の**大気、水、土壌への放出の大幅な削減**（持続可能な開発目標（SDGs））。
- 国内では**塗料・塗装がVOCの最大の発生源**となっており、全排出量の約37%（2018年度）を占めている。
- 一方、最近では、土木鋼構造物の現場塗装時における**火災等の労働災害**が相次いで発生していることなどを受けて、従来よりも厳しい水準での安全性の確保が求められている。

VOCは揮発して蒸気となりやすく、引火・爆発や吸引による中毒の危険性が高い

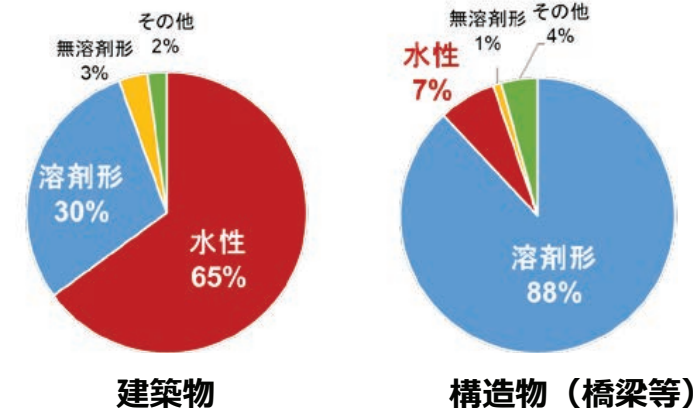


- **VOC排出抑制に資する技術開発**は、持続可能な社会の実現に向けて、また、現場作業におけるリスク低減や作業環境改善に向けて不可欠となっている。
- 鋼構造物塗装におけるVOC排出量の大幅な削減のためには、従来の溶剤形塗料から、**VOC削減塗料へ転換**することが有効である。



光化学オキシダント注意報等の発令延日数

※光化学オキシダント濃度の1時間値が0.12ppm以上で発令。国の環境基準は0.06ppm以下であり、**環境基準達成率は依然として0%**。



塗料出荷量に占める各種塗料の割合（日本塗料工業会）

建築物塗装における水性塗料の割合は65%（2018年度）まで達しているに対し、鋼構造物塗装の水性化は大幅に遅れている。

道路橋塗装のVOC削減塗装仕様の例

鋼道路橋一般外面用の新設塗装系（スプレー塗装）

塗装工程	鋼道路橋塗装・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	塗装間隔
	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。

** 便覧に定められた最大の希釈率で希釈した時の、希釈シンナーを含めた全VOC量。

素地調整作業に関連した環境問題

1. 素地調整時の騒音

- ブラスト処理、電動工具処理時の金属音

2. 塗膜ダストなどの粉じん

- 鉛・クロム等の有害重金属を含む一般塗装系塗膜除去時の塗膜ダスト
- PCBを使用した塩化ゴム系塗膜の処理・処分

粉じんや騒音に対する配慮



(a) 外面全景



現場ブラスト作業における養生の例(I桁橋)



現場ブラスト作業における養生の例(トラス橋)



(b) 内部

足場防護工の事例(都市内高架橋)

- 全面板張り
- 養生シート2重
- 施工区間の両端を合板等で間仕切り
- 防音マット など

出典：日本道路協会「鋼道路橋塗装・防食便覧資料集」、丸善(2010)

素地調整で問題となる主な有害物質

■ 鉛

着色顔料、防せい顔料、硬化促進剤など、従来の塗料用原料の中に多く含まれていた重金属の一種。畜毒性がある。現在は鉛フリー化された塗料が主流。

鉛を含む塗膜の除去及び素地調整作業

⇒ 含有量（質量）が0.06%を超えると「鉛中毒予防規則」の適用を受ける。

■ クロム

鉛と同様に、従来の塗料原料中に多く含まれていた重金属の一種。六価のクロムには強い毒性がある。現在はクロムフリー化された塗料が主流。

クロム酸又はクロム酸塩を含む塗膜の除去及び素地調整作業

⇒ 含有量（質量）が1%を超えると「特定化学物質障害予防規則」の適用を受ける。

■ PCB

ポリ塩化ビフェニル（polychlorinated biphenyl）の略称。主に昭和40年代に製造された塩化ゴム系塗料に、可塑剤として用いられていた。最近では、一部の有機顔料の製造工程中に非意図的に微量のPCBが副生する可能性があることが指摘されており、塩化ゴム系塗料以外の塗膜においても微量のPCBが検出される事例が報告されている。

PCBを含む塗膜の除去及び素地調整作業

⇒ 含有量が重量の1%を超えると「特定化学物質障害予防規則」の適用を受ける。
該当しない場合でも、人体へのばく露を極力低減させる必要がある。

ご清聴ありがとうございました。
