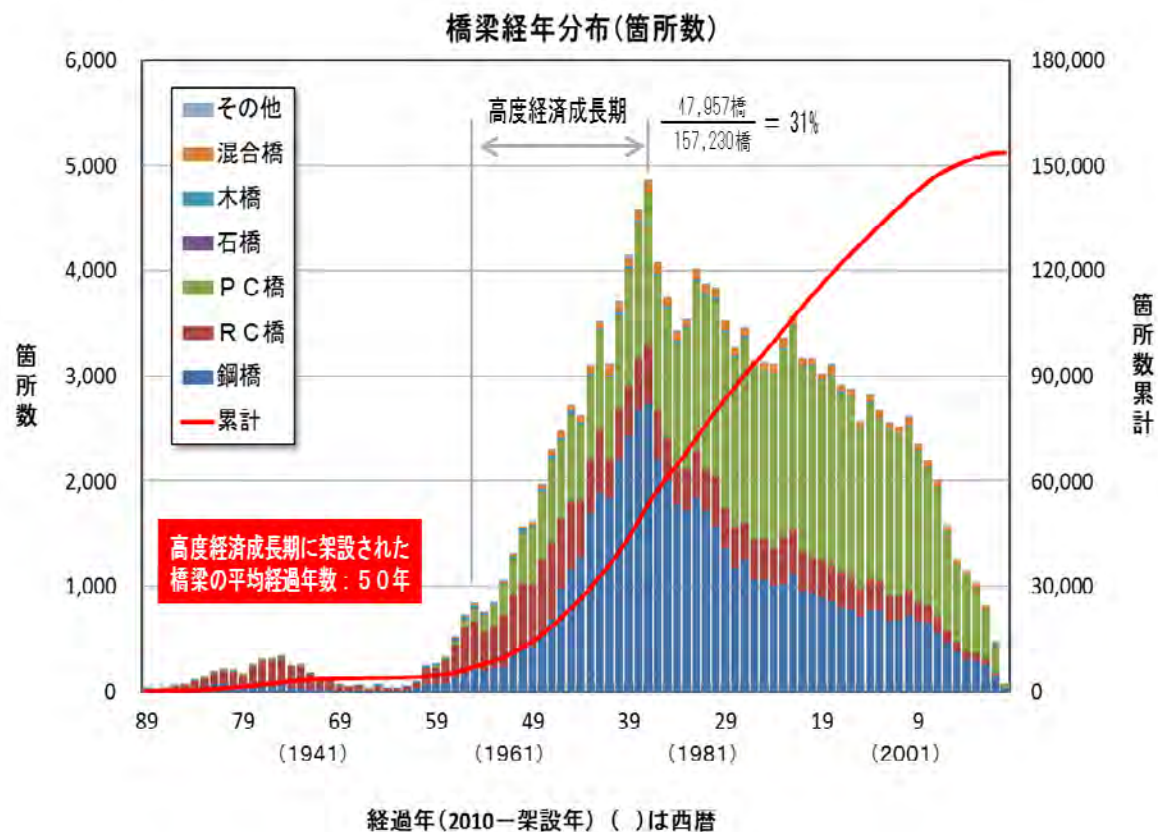


インバイロワン工法

～環境対応型の鋼構造物塗膜除去技術～

土木研究所 先端材料資源研究センター
インバイロワンシステム株式会社

鋼道路橋の現状




- 我が国の橋梁（橋長15m以上）は約15.7万橋（平成22年時点）
- 全国の橋梁における築後50年以上の割合は約8%（平成22年時点）
- 10年後（平成35年）には34%、20年後（平成45年）には58%となる

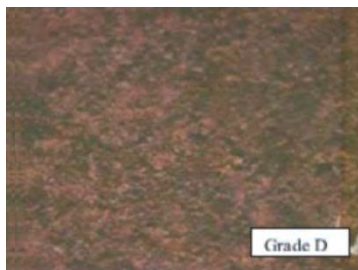
耐久性の高い補修技術を適用することにより、既存構造物を延命化することが重要

塗替え塗装前の素地調整

● 塗替え前の素地調整程度の種類

出典：日本道路協会「鋼道路橋防食便覧」、丸善（2014）

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				



2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

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。蓄毒性がある。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

⇒ 含有量に関わらず「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。

● 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。

PCB含有塗膜問題の背景

- 昭和43年（1968年）カネミ油症事件発生
- 昭和47年（1972年）以降製造禁止
（一部の塩化ゴム系塗料に可塑剤として使用）
- 平成13年（2001年）「ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法」公布・施行
 - ⇒ PCB廃棄物を保管する事業者は保管状況の届出の他、平成28年（2016年）までの処理（平成39年3月まで延長）が義務付けられた。（PCB適正処理基本計画）
- 平成16年（2004年）残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約（POPs条約）発効
 - ⇒ PCBに関し、平成37年（2025年）までに使用の全廃、平成40年（2028年）までに適正な処分
- 日本環境安全事業株式会社の5拠点（北九州市、豊田市、東京都江東区、大阪市、室蘭市）に処理施設を整備
- 「低濃度PCB廃棄物の処理に関するガイドライン」（平成25年2月）

含有害物塗膜の剥離作業に関する厚労省通知

- 鉛等有害物を含有する塗料の剥離やかき落とし作業における労働者の健康障害防止について（平成26年5月30日，厚生労働省）

（発注者）

- 塗料中の鉛やクロム等の有害な化学物質の有無について把握している
情報を施工者に伝える
- 塗料中の有害物の調査やばく露防止対策について必要な経費等の配慮を行う

（受注者）

- 鉛中毒障害予防規則等関係法令に従い，湿式による作業の実施，作業主任者の選任と適切な作業指揮の実施，有効な保護具の着用等を実施する ⇒ 湿潤化，集じん排気装置，呼吸用保護具，洗身・洗浄

ブラスト処理工法の種類と特徴

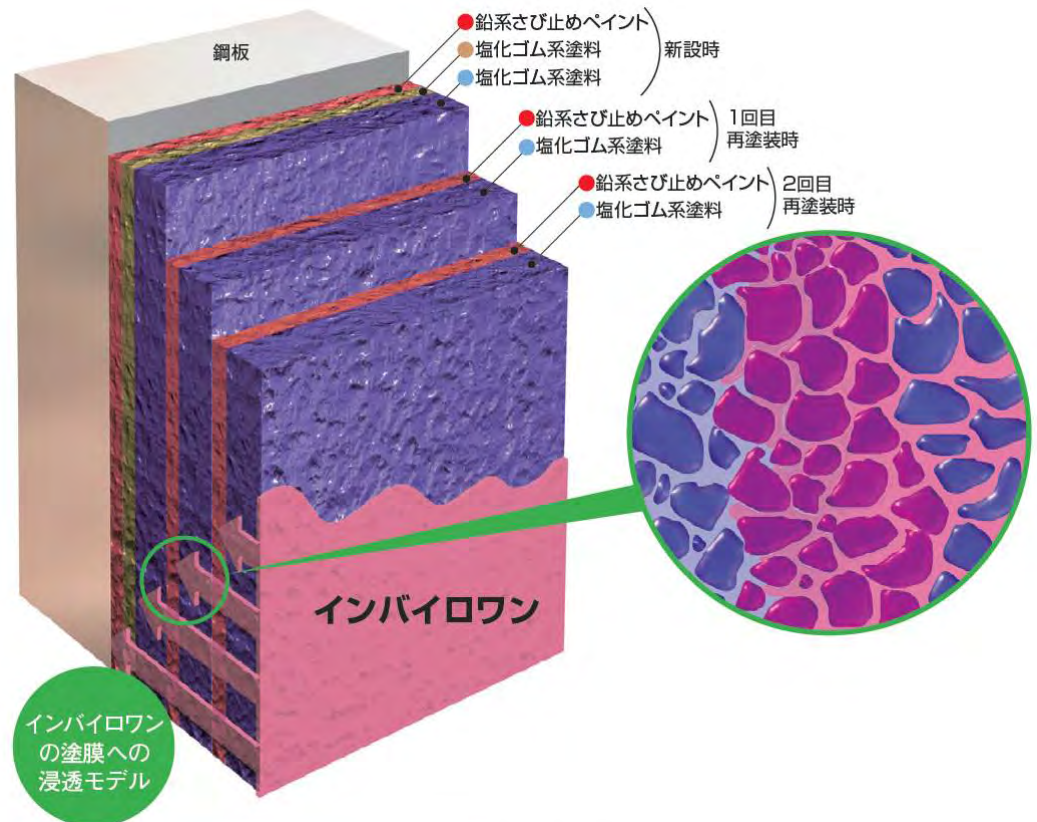
出典：一般塗装系塗膜の重防食塗装系への塗替え塗装マニュアル（日本鋼構造協会）

項目	乾式ブラスト		湿式ブラスト
	オープンブラスト 処理工法	バキュームブラスト 処理工法	各種湿式ブラスト 処理工法
長所	作業効率が良い	粉塵の発生が少ない	水を使用するため粉塵の発生が少ない
短所	粉塵の発生が著しく、研削材の飛散量も多い	エッジや隅角部での除去が難しく作業効率も低い	処理後に発錆する恐れがあり、防錆対策が必要 廃水処理が必要



インバイロワン工法の概要

- 塗膜剥離剤「インバイロワン」の主成分は**毒性の低い高級アルコール系溶剤**です。
- 柔らかなペースト状**であるため「塗り作業性」が良好であり、塗膜表面に塗付すると、濡れ性が高く、**速やかに塗膜に浸透**します。
- 18～24時間程度で既存の多層塗膜に浸透し、塗膜を軟化させて**湿潤シート状**にします。
- 軟化した塗膜は**手工具で容易に除去・回収**できます。



インバイロワン工法の主な適用効果

- ① 鉛・クロム等の有害物質を含む塗膜の確実な回収
- ② 産業廃棄物発生量の減少
- ③ 再塗装後の塗膜性能の確保
- ④ 作業者，作業環境，周辺環境の安全性確保
- ⑤ 塗替え塗装のコスト縮減

適用効果① 塗膜の確実な回収

- インバイロワンは時間をかけて多層塗膜の深部まで浸透し、塗膜を湿潤軟化状態（湿潤シート状）にする。
- 粉塵の発生がほとんどなく、塗膜のはく離・除去・回収が確実にできる
⇒ 作業者、作業環境、周辺環境の安全性確保

測定場所	除去工法	対象塗膜	粉塵量 (mg/m ³)
完全防護内	インバイロワン工法	A塗装系塗膜	0.34
	インバイロワン工法	B塗装系塗膜	0.5
	動力工具処理3種C	B塗装系塗膜	18
	ブラスト工法(製鋼スラグ)	A塗装系塗膜	180
	ブラスト工法(ガーネット)	B塗装系塗膜	200
防護及び養生外	動力工具処理3種C	B塗装系塗膜	0.21
	ブラスト工法(製鋼スラグ)	A塗装系塗膜	0.27

適用効果② 産業廃棄物発生量の減少

(例) 橋長300mの鋼道路橋



①含まれている有害物質

- 鉛：約5,000 kg
- その他：クロムやPCB

②有害物質含有廃棄物発生量

- インバイロワン工法：60トン
- ブラスト工法：900トン

※養生資材等を含む

適用効果③ 再塗装後の塗膜性能の確保

屋外における長期暴露試験による検証

暴露場所：沖縄建設材料耐久性試験施設（大宜味村）

暴露期間：平成17年6月～

2016年時点で**暴露10年**（継続中）

旧塗装系：A塗装系（鉛系錆止め/合成樹脂調合ペイント）

B塗装系（鉛系錆止め/フェノールMIO/塩化ゴム系）

B塗装系（B-2）（ゾンクリッチプライマー/珪粉/塩化ゴム系）



素地調整

- 1) インバイロワンで塗膜除去 → そのまま（無処理）
- 2) インバイロワンで塗膜除去 → ウェス拭き
- 3) インバイロワンで塗膜除去 → ウェス拭き + サンドペーパーかけ
- 4) インバイロワンで塗膜除去 → ウェス拭き + 動力工具処理（カップワイヤ）
- 5) 動力工具処理（塗膜を完全除去（2種ケレン））
- 6) ブラスト処理（1種ケレン）

再塗装（Rc-I 塗装系）

有機ジンクリッチペイント／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

※再塗装後の各試験片に鋼材素地まで達するカット（傷）を入れて、屋外暴露試験に供試

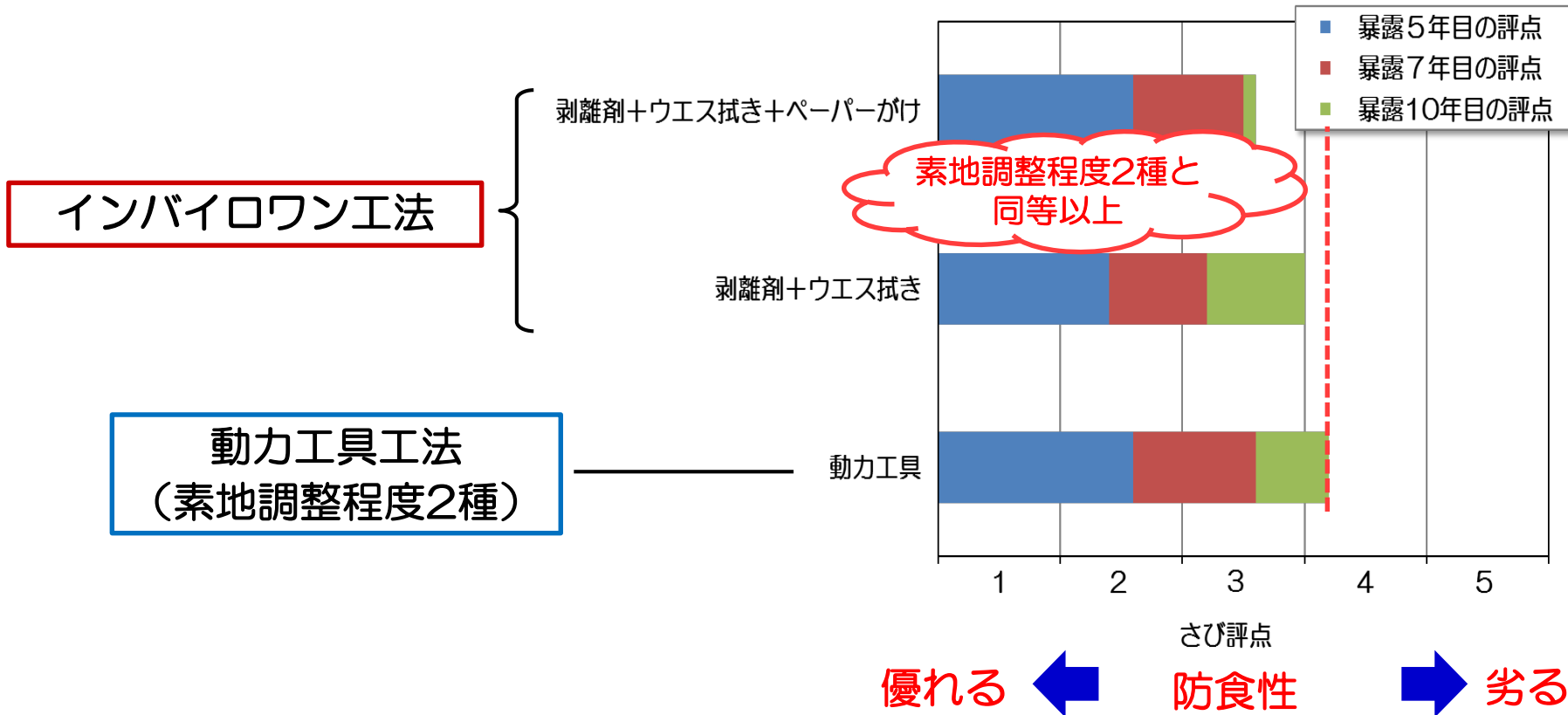
適用効果③ 再塗装後の塗膜性能の確保

インバイロワン工法と 動力工具処理との比較

(旧塗装系 B (B-2))
暴露10年までの結果

さび評点

- 1: カット部からの腐食幅 3 mm以下
- 2: カット部からの腐食幅 3~10 mm
- 3: カット部からの腐食幅 10~20 mm
- 4: カット部からの腐食幅 20~30 mm
- 5: カット部からの腐食幅 30 mm以上



適用効果③ 再塗装後の塗膜性能の確保

2種ケレンと塗膜剥離剤との比較

(旧塗装系 A・B)
暴露10年までの結果

さび評点

- 1: カット部からの腐食幅 3 mm以下
- 2: カット部からの腐食幅 3~10 mm
- 3: カット部からの腐食幅 10~20 mm
- 4: カット部からの腐食幅 20~30 mm
- 5: カット部からの腐食幅 30 mm以上

インバイロワン

剥離剤+ウエス拭き+ワイヤカップがけ

剥離剤+ウエス拭き+ペーパーがけ

剥離剤+ウエス拭き

剥離剤+無処理

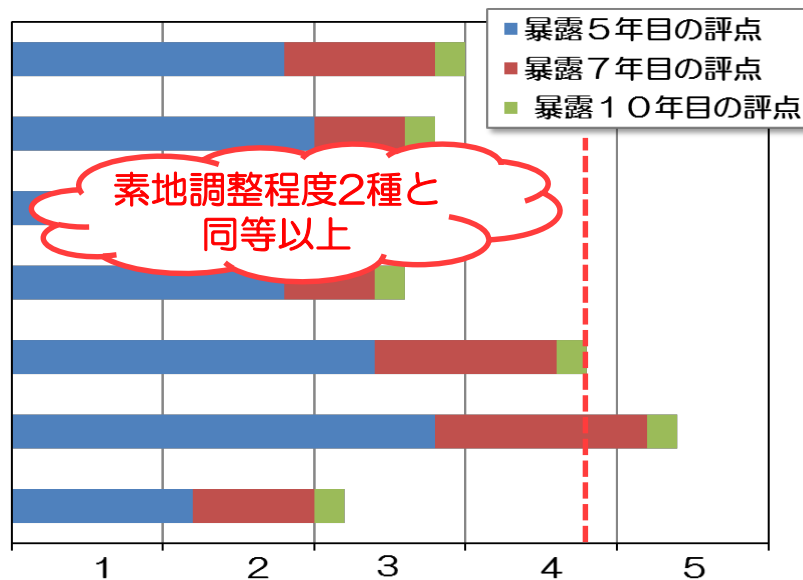
2種ケレン

動力工具 (B系)

動力工具 (A系)

1種ケレン

プラスト

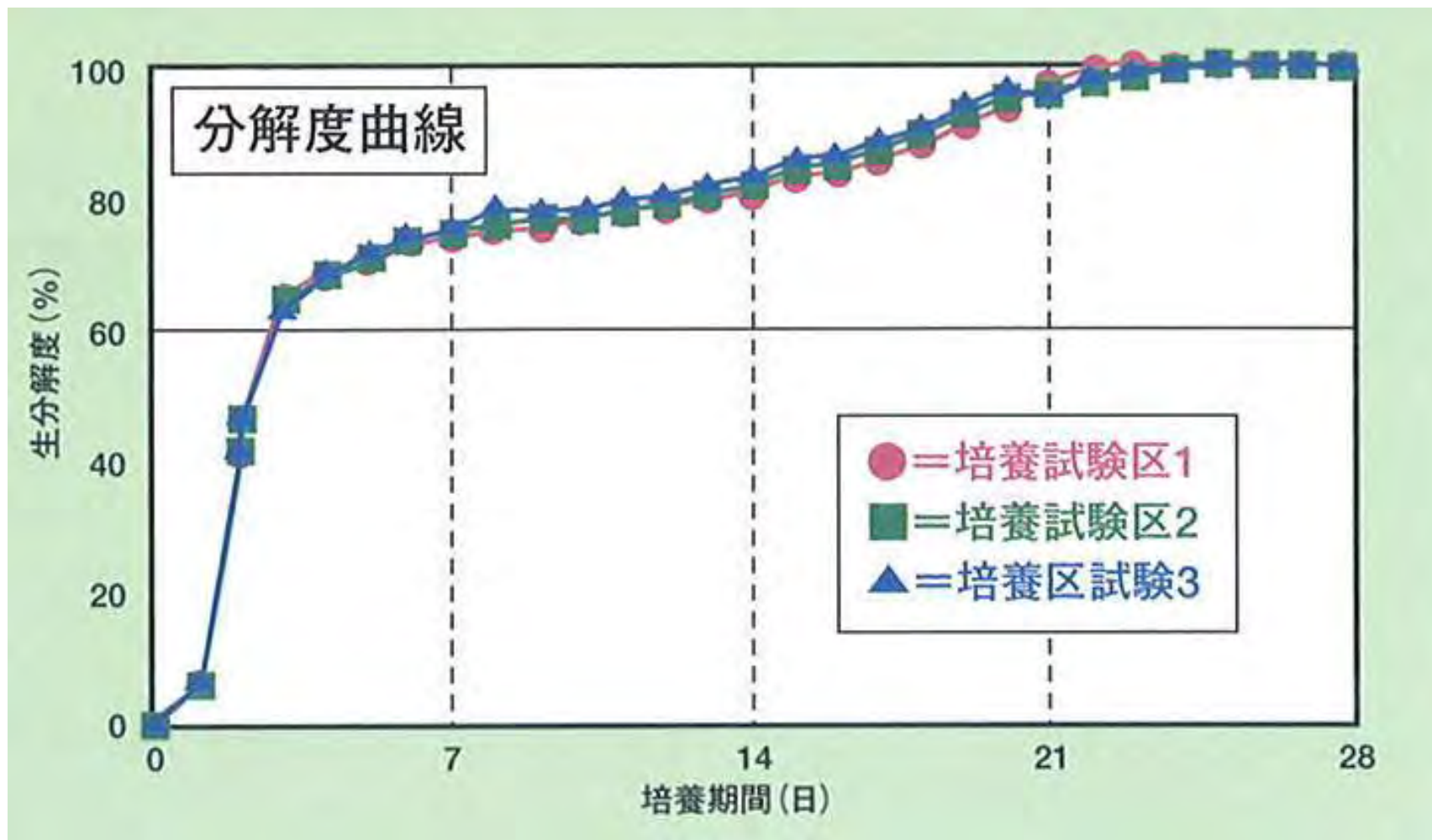


優れる ← 防食性 → 劣る

インバイロワンで塗膜を除去した場合、再塗装後の重防食塗装系塗膜は、2種ケレンで素地調整した場合と同等以上の耐久性を有する

適用効果④ 安全性の確保

周辺環境への影響



生分解性が高い（分解度；28日以内に94.6%）

適用の効果④ 安全性の確保

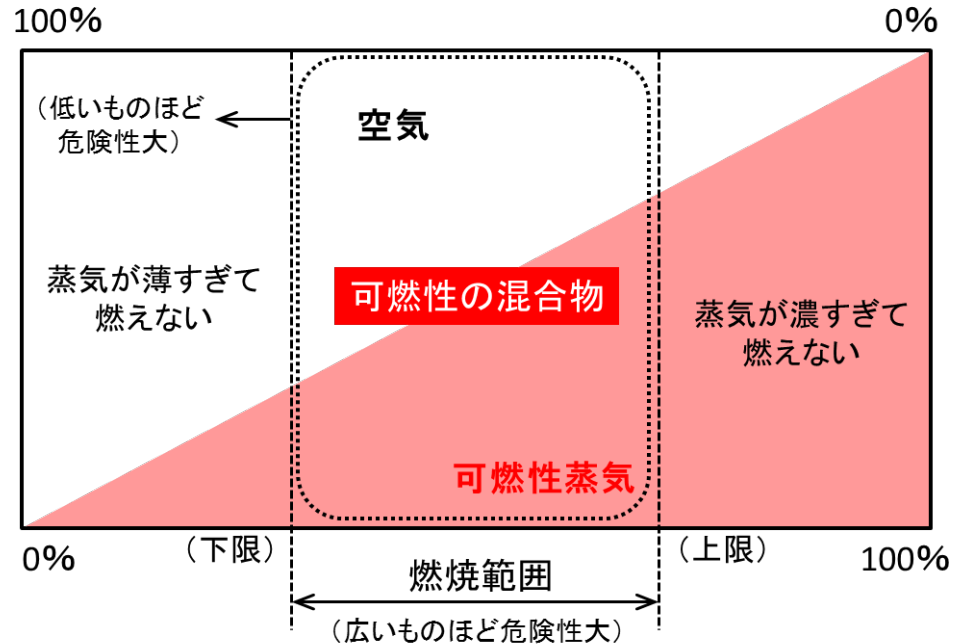
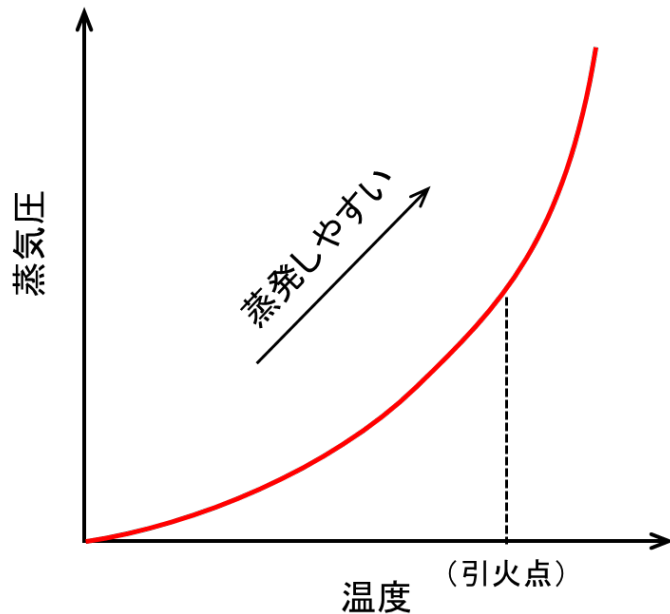
火災安全性

剥離剤名称	インバイロワン	A社	B社	C社	備考
NETIS登録	インバイロワン工法 (KT-060135-V) 推奨技術	登録技術	登録技術	未登録	
引火点	95℃以上	62℃	58℃以上	100℃以上	安全データシート参照
塗膜除去後の工程	空拭き	シンナー拭き	無し	専用クリーナー処理	各社カタログ参照
再塗装後の塗膜性能の評価	有り (屋外暴露試験の実施) (複合環境腐食促進試験の実施)	不明	不明	不明	不明：公表された試験結果はない
施工ガイドラインの整備	有り (土木研究所発刊 共同研究報告書409号)	不明	不明	不明	
作業員の教育	有り (講習会の開催)	不明	不明	不明	

適用効果④ 安全性の確保

引火点とは？

- 液体の温度が上がると蒸気圧が増加する（蒸発しやすくなる）
→ 空气中的**蒸気濃度**が増加。
- 空气中で燃焼できる濃度は物質によって異なる → **燃焼範囲**
- 液面上での蒸気濃度が燃焼範囲の下限に達する温度を「**引火点**」という。
- 液温が引火点より低い場合は蒸気が薄すぎるため、**点火源があっても燃焼しない**。

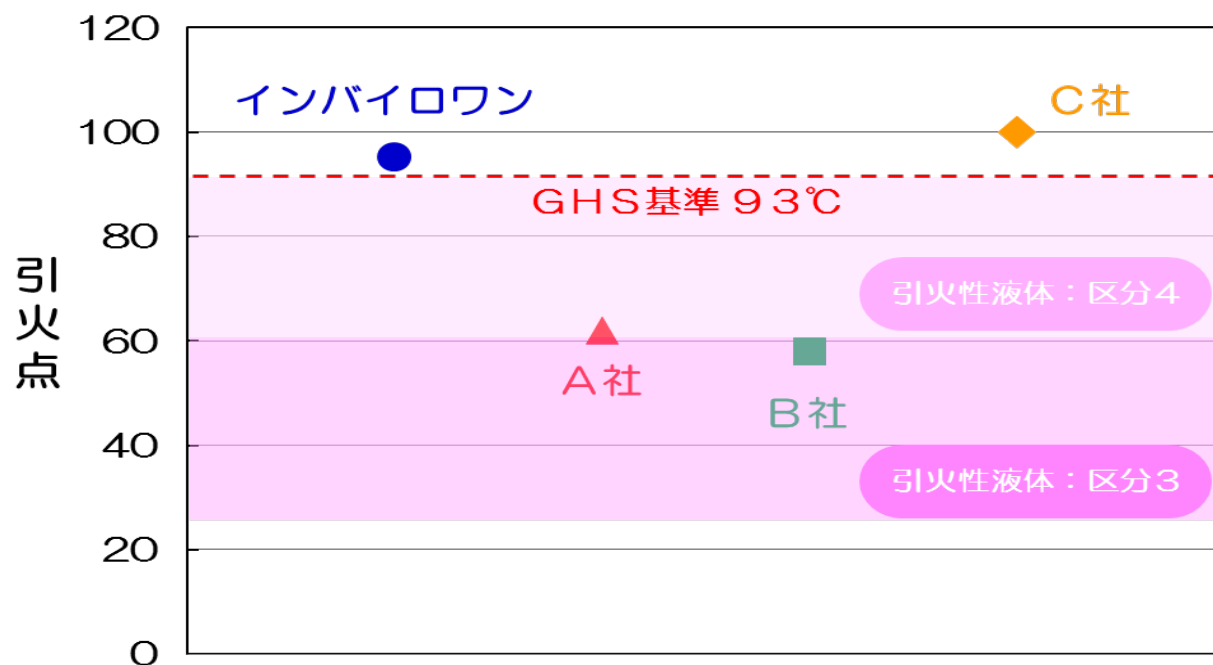


可燃性の混合物を作ることができる最低の温度が「**引火点**」

適用効果④ 安全性の確保

化学品の分類および表示に関する世界調和システム（GHS）

- 世界的に統一されたルールに従って、化学品を危険有害性の種類と程度により分類してその情報を表示、提供するシステム
- 引火点 93°C 以下の液体は「引火性液体」に区分される。
- インバイロワン自体は引火点が 95°C 以上であり、GHSの引火性液体に該当しない。



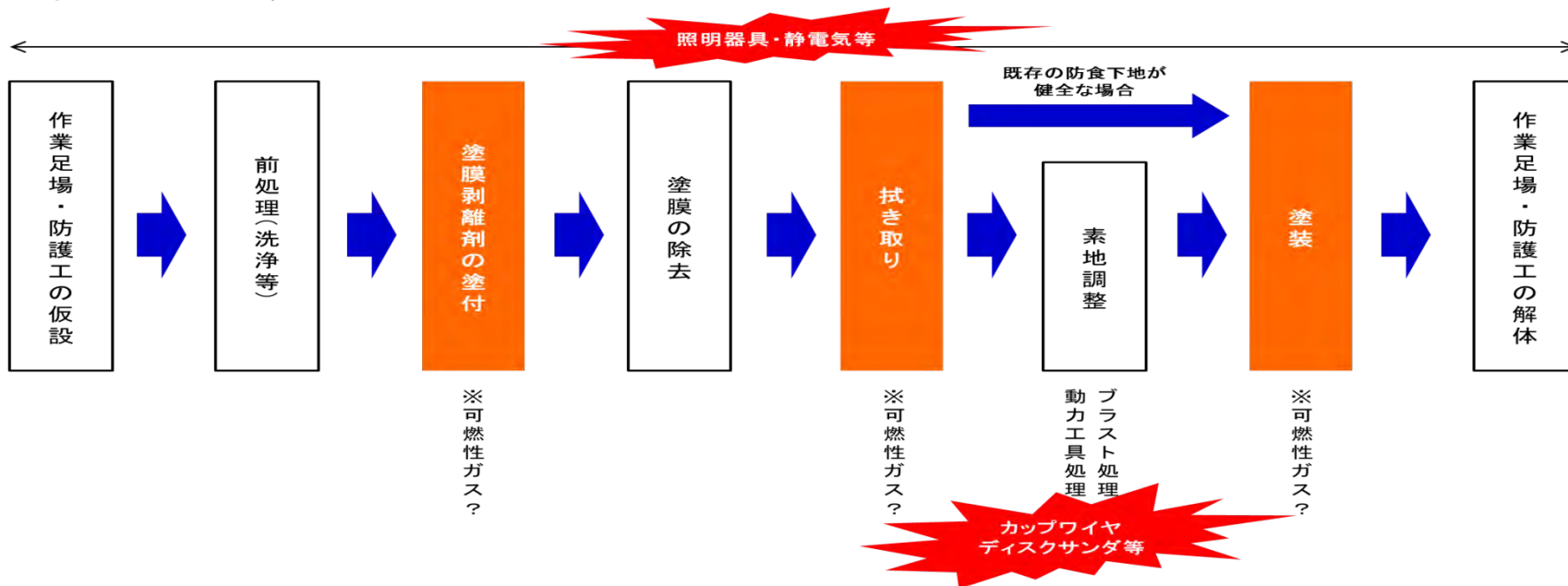
適用効果④ 安全性の確保

塗替え塗装工事における可燃性ガスの発生要因

塗膜剥離剤、塗膜除去後の拭き取りに用いる溶剤、塗料に含まれる or 塗料を薄める溶剤、器具類を洗浄する溶剤

主な点火源

高温となった照明器具、静電気または動力工具（カップワイヤ、ディスクサンダ等）により生じる火花



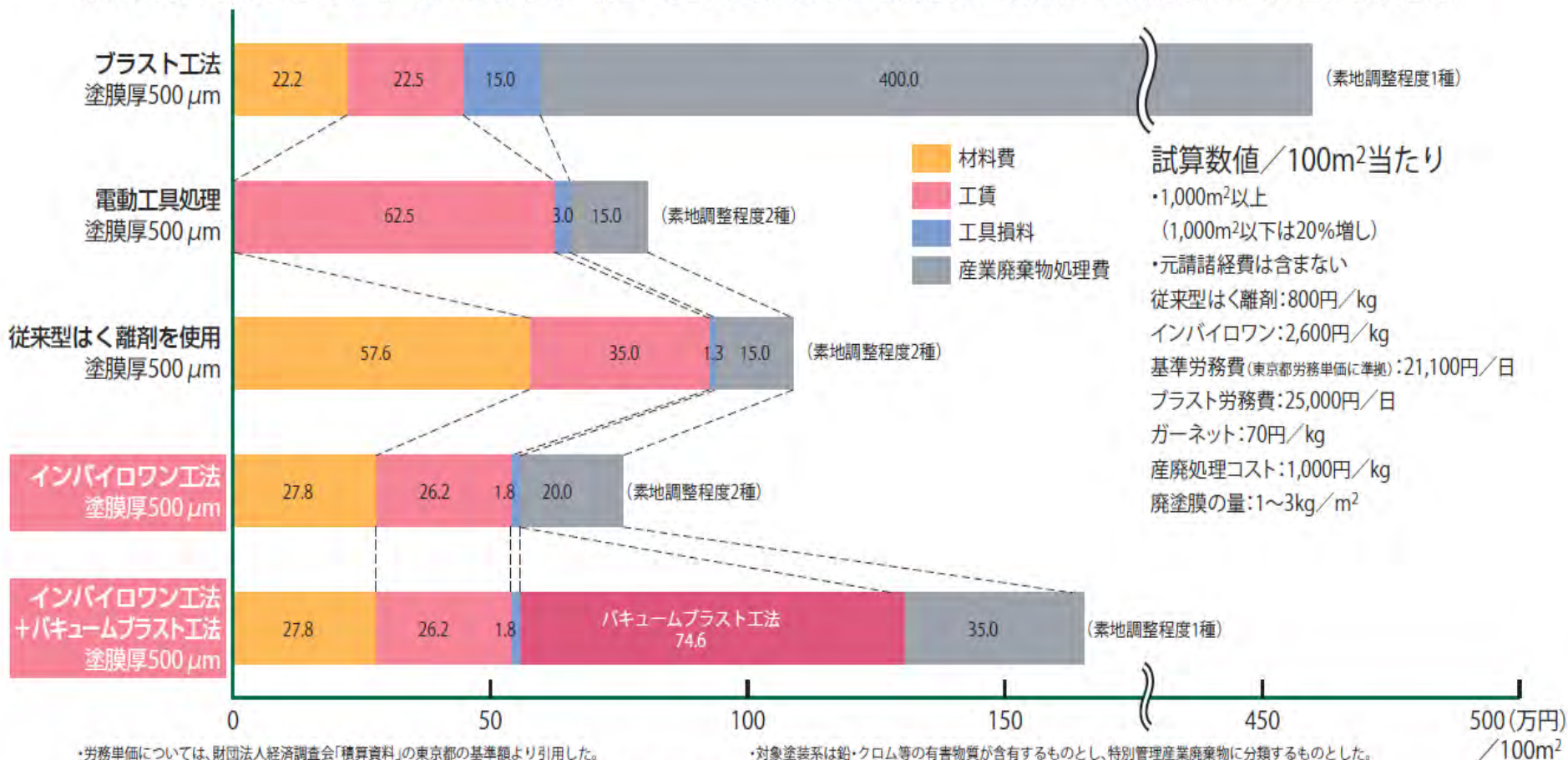
「インバイロワン」は引火点が高く（≡可燃性ガスが発生しにくい）、塗膜除去後の拭き取りに溶剤を用いないことから、塗膜除去・素地調整工程における火災リスクは小さい。

適用効果⑤ 塗替え塗装のコスト縮減

各工法コスト試算例(一般的な鉄桁で試算)

試算前提条件:

●環境対応型現場塗膜除去/塗膜ダストを作業場外へ飛散させない。有害物質含有塗膜の安全な除去・回収 ●対象塗装系/A系(フタル酸系)、B系(塩化ゴム系) ●素地調整程度/2種以上



・労務単価については、財団法人経済調査会「積算資料」の東京都の基準額より引用した。
 ・諸雑費の計上は労務費×諸雑費率23%(国土交通省文献を引用、開放部率を採用し、はく離剤工法を10%とした。)
 ・はく離剤塗付量ロスはスプレー塗付により、塗料のスプレー塗装ロス=7%とした。
 ・塗装系・塗膜厚・気温等により、塗付→除去の回数がある場合があるので、事前調査のはく離試験で判断する。
 また、膜厚が約500μm以上の場合もはく離試験にもとづき積算する。

・対象塗装系は鉛・クロム等の有害物質が含有するものとし、特別管理産業廃棄物に分類するものとした。
 ・PCBを含む塗膜の場合は、安全管理および廃棄物の扱いが大きく異なる。(別費用)
 ・特許使用料は(材料費+労務費+工具損料+諸雑費)の4%となっている。
 ・足場、防護工(板張りやシート等)の費用は含まない。
 ・産廃物は焼却の上、埋め立て。

PCB含有塗膜くずの安全な処理について

- ▶ 5000 ppm以下の低濃度PCB廃棄物は、環境省の認定を受けた施設で焼却処理できる。
- ▶ **塗膜くず**にはPCBの他、鉛などの有害物が大量に含まれることが多く、焼却時にこれらを**同時に処理できる施設がほとんどなかった**ため、事業者はこれらの塗膜くずを保管しなくてはならなかった。
- ▶ **2015年9月にPCBと同時に鉛などの有害物を同時に安全に処理できる施設**が環境大臣の認定を受けた。
- ▶ 現在、道路局の指導のうえで、関東地整で本処理技術の試行に向けた準備がなされている。
- ▶ **本技術の適用が進めば、PCBを含む有害廃棄物は、安全かつ確実に処理されることが可能となる。**

適用条件と適用上の留意点

適用条件

- 気温 5°C以上 / 湿度 85%RH未満
- 塗装系 A塗装系(フタル酸系), B塗装系(塩化ゴム系)
C塗装系(重防食塗装系), D塗装系(内面用塗装系)
- 膜厚 500 μm 程度まで

適用上の留意点

- 日平均気温が5°C未満の低温時には、加温することによって施工が可能。ただし、結露面には適用できない。
- ガラスフレーク系塗膜、無機系塗膜、ジンクリッチ塗料には適用できない。
- 膜厚が500 μm を超える場合は、2工程以上必要となる。
- 塗膜以外のさびや黒皮には適用できない。(オプション工事)

適用検討時に必要な技術情報

- 共同研究報告書第356号「鋼橋塗装のコスト削減方法に関する共同研究報告書」（平成19年1月）
- 共同研究報告書第409号「インバイロワンの性能向上に関する共同研究報告書 鋼構造物防食塗膜、環境対応現場塗膜除去技術—インバイロワン工法施工マニュアル」（平成23年2月）



土木鋼構造物用塗膜剥離剤ガイドライン（案）

- ▶ 塗膜剥離剤に求められる性能と、その評価方法をまとめた。
（必ずしもインバイロワン工法に限らない）

塗膜剥離剤に求められる性能

要求性能	評価項目	評価基準のレベル
①塗膜剥離性	剥離性	1回の塗膜剥離剤の塗付で、膜厚500 mmの一般塗装系塗膜を剥離できること
②作業性	たれ性	塗膜剥離剤を垂直面に塗付し、たれが生じないこと
	塗付性	エアレス塗装機またははけ・ローラーにより確実に塗付作業ができること
③安全性	生分解性	微生物の働きにより、塗膜剥離剤の成分が一定期間に分解されること
	魚毒性	魚類への致死毒性が一定程度以下であること
	火災安全性	塗膜剥離剤の引火点が十分に安全な程度であること

塗膜剥離工法に求められる性能

▶ 塗膜剥離工法としての性能についても示した。

要求性能	評価項目	評価基準のレベル
①塗膜除去後の塗替え塗膜の耐久性・防食性	促進暴露耐久性、または屋外暴露耐久性	塗膜剥離剤を用いて旧塗膜除去後に新たに形成した塗膜が十分な防食性および耐久性を有すること
	生分解性	塗膜剥離剤および拭き取り用クリーナー等の成分が、微生物の働きにより一定期間に分解されること
②安全性	魚毒性	塗膜剥離剤および拭き取り用クリーナー等の魚類への致死毒性が、一定程度以下であること
	火災安全性	塗膜除去工程で用いられる全ての材料が十分な火災安全性を有すること
	作業・周辺環境への影響	塗膜除去作業で発生する粉じん量が十分に安全な程度以下であること
	作業員等の健康に対する安全性	塗膜剥離剤や拭き取り用クリーナー等に、作業員等に重度の健康障害を引き起こす化学物質を含まないこと やむをえず上記の化学物質を含む塗膜剥離剤や拭き取り用クリーナー等を用いる場合には、作業員の健康障害を防止するための十分な対策が取られていること

塗膜剥離剤および工法の品質規格(暫定案)

▶ 塗膜剥離剤

性能	項目	基準値	試験方法
剥離性	剥離性	塗膜厚が概ね500 μ mの一般塗装系塗膜に対し、1回の塗付で除去できること	品質規格内に提示
作業性	たれ性	垂直面に塗付し、たれないこと	品質規格内に提示
	塗付性	エアレス塗装機、はけ、あるいはローラーで塗付できること	
安全性	生分解性	生分解度60%以上であること	品質規格内に提示
	魚毒性	10 ppmより大きいこと	品質規格内に提示
	火災安全性	引火点が93 $^{\circ}$ C以上であること	品質規格内に提示

塗膜剥離剤および工法の品質規格(暫定案)

▶ 塗膜剥離工法

性能	項目	基準値	試験方法
塗膜除去後の塗替え塗膜の耐久性・防食性 (右記のいずれかを満たすこと)	促進暴露耐久性	塗膜除去後の塗替え塗膜の耐久性が素地調整程度2種と同程度以上と判定されること	品質規格内に表示
	屋外暴露耐久性	塗膜除去後の塗替え塗膜の耐久性が素地調整程度2種と同程度以上と判定されること	品質規格内に表示
安全性	生分解性	生分解度60%以上であること	品質規格内に表示
	魚毒性	10 ppmより大きいこと	品質規格内に表示
	火災安全性	塗膜除去工法で使用するすべての材料(拭き取り材など)の引火点が93℃以上であること	品質規格内に表示
	作業・周辺環境への影響	粉じん発生量が素地調整程度3種より少ないこと	品質規格内に表示
	作業者の健康に対する安全性	塗膜剥離剤や拭き取り用クリーナー等に、作業者等に重度の健康障害を引き起こす化学物質を含まないこと やむをえず上記の化学物質を含む塗膜剥離剤や拭き取り用クリーナー等を用いる場合には、作業者の健康障害を防止するための十分な対策が取られていること	

適用実績と問い合わせ先

適用実績

- 国土交通省等の橋梁など（延べ287箇所，約460,000m²）

特許・NETIS登録等

- 特許 第3985966号，5534233号
- NETIS 平成27年度推奨技術:KT-060135-V
- 第2回ものづくり日本大賞（内閣総理大臣賞受賞）
- 第8回国土技術開発賞最優秀賞（国土交通大臣賞受賞）

問い合わせ先

- （国研）土木研究所 先端材料資源研究センター(iMaRRC)
TEL 029-879-6763 / FAX 029-879-6733
- インバイロワンシステム株式会社
TEL 03-5643-8661 / FAX 03-5643-8662
URL <http://www.invairowan.com>

