

鋼構造物の長寿命化対策

チタン箔による鋼構造物塗膜の補強工法

- 特許 第4424536号
- NETIS : KT-090063-VR (事後評価済み技術)
- 第二回インフラメンテナンス大賞優秀賞 受賞



土木研究所 先端材料資源研究センター



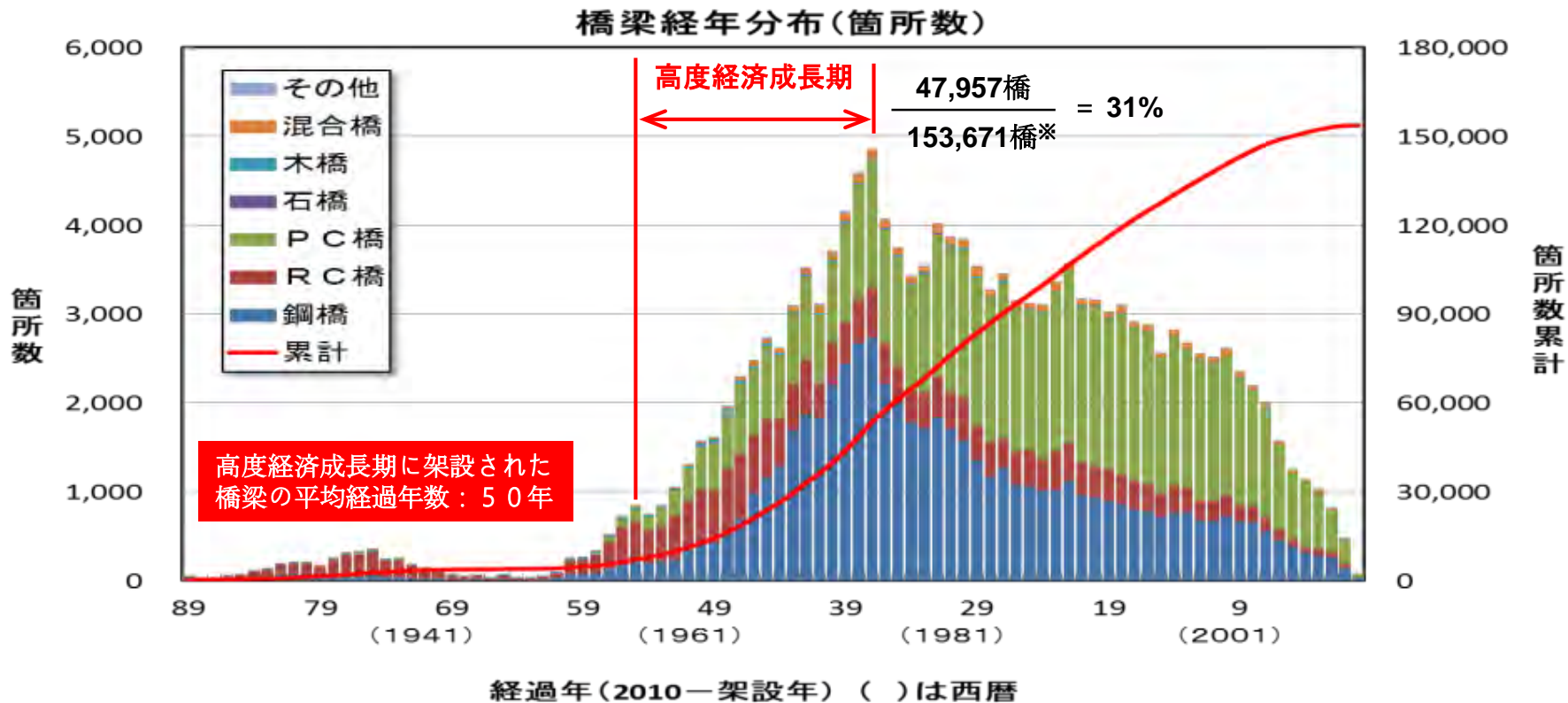
日鉄住金防蝕株式会社



中国塗料株式会社

道路橋の高齢化

- 供用中の道路橋の経年分布(橋長15m以上)



※国総研資料第776号「平成24年度道路構造物に関する基本データ集」をもとに作成

- 建設後50年を経過する道路橋の割合(橋長2 m以上)

	2013年	2023年	2033年
道路橋(約40万橋)※	約18%	約43%	約67%

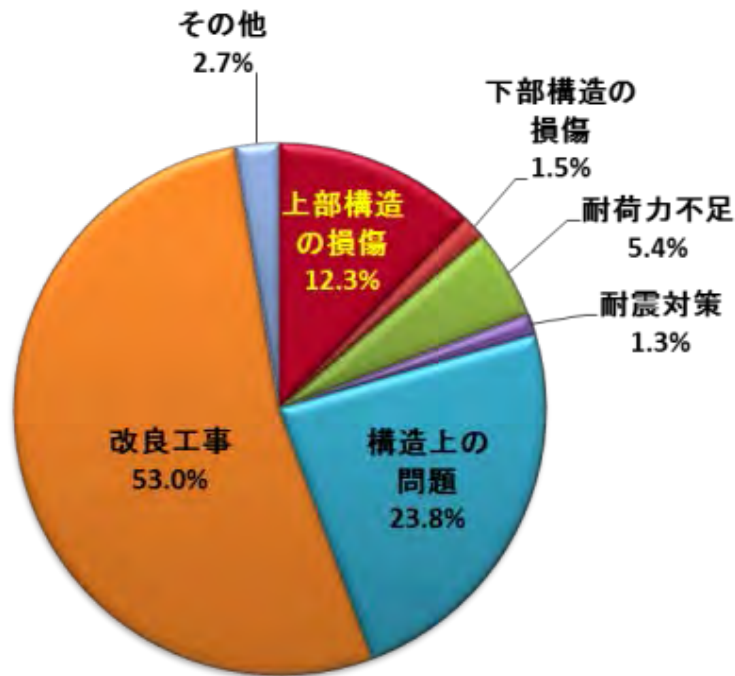
※建設年度不明橋梁(約30万橋)を除く

出典:国土交通省資料

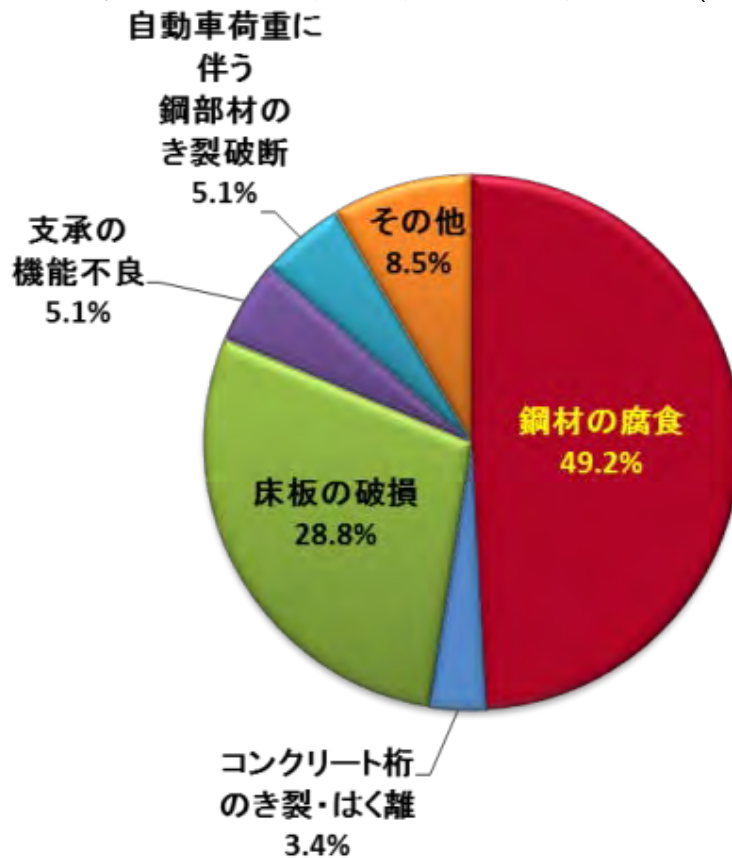
鋼道路橋の架替理由と上部構造の損傷理由

【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

鋼道路橋で見られる腐食の特徴



床版からの漏水による
上フランジの腐食



支承部周辺の腐食



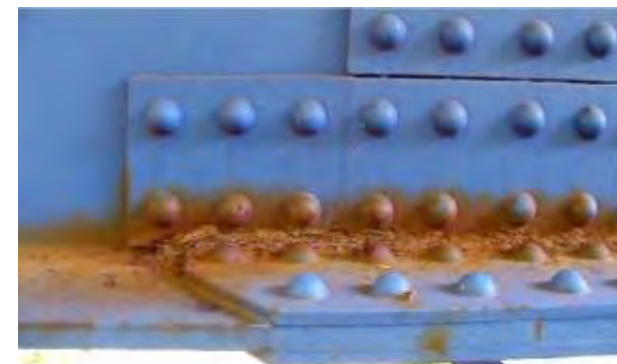
桁端部の腐食



ガセット、ガセット取付け部の
腐食

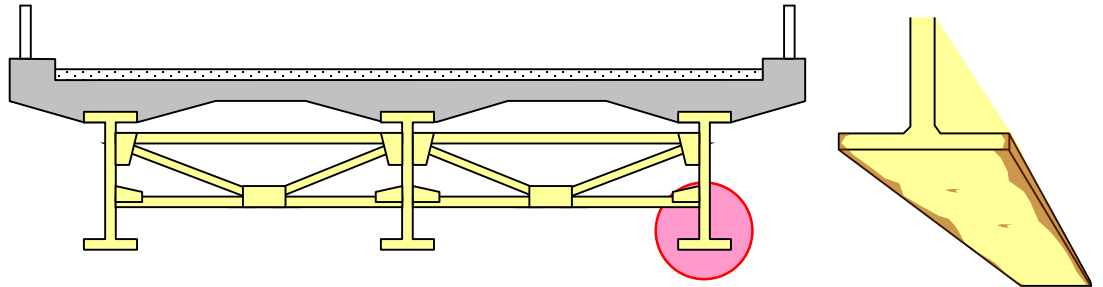


高力ボルトまわりの腐食



塵埃の堆積による湿潤や、滞水
による腐食

重防食塗装の弱点



部材端部やボルト周りなどは塗料が付きにくい（**十分な塗膜厚が確保しにくい**）ため、ウェブのような平面部分に比べて、早期に鋼材の腐食が起こりやすい



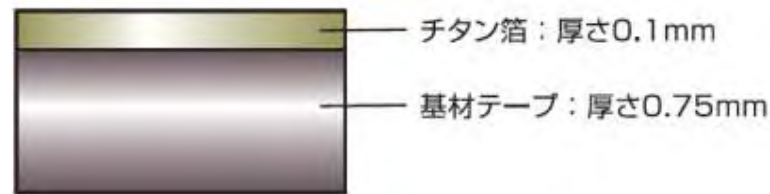
従来、部材端部の**曲面仕上げ**や**塗膜厚を増す**方法が取られているが、厳しい腐食環境においては**十分な防食効果が発揮されない**

チタン箔を用いた防食工法

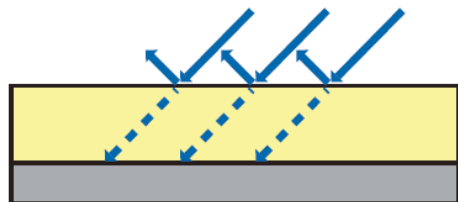
- 防食塗装の弱点と言われる部材端部等に**チタン箔シート**の貼付と塗装とを複合施工することにより、水分や塩分の様な**腐食（促進）因子**を**完全に遮断**して、塗膜劣化と鋼材腐食を抑制する工法。



チタン箔シートの構成



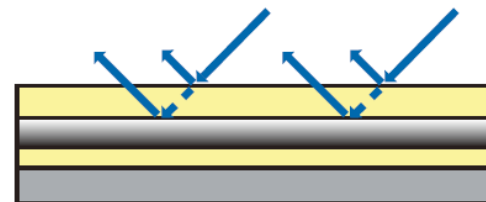
塗装



塗膜表面：侵入抑制

← 劣化・腐食因子
(水、酸素、Cl⁻、紫外線...)

チタン箔シート貼り付け+塗装

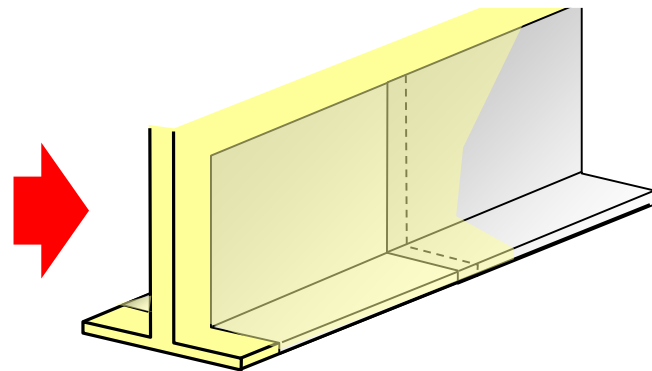
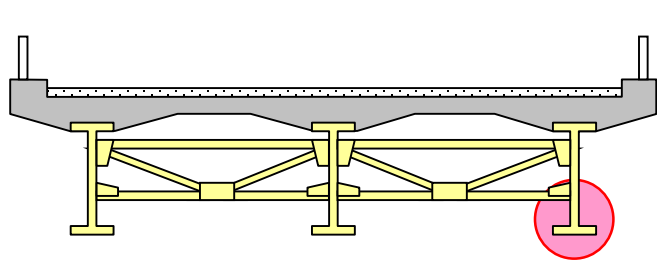


チタン箔表面：侵入完全遮断

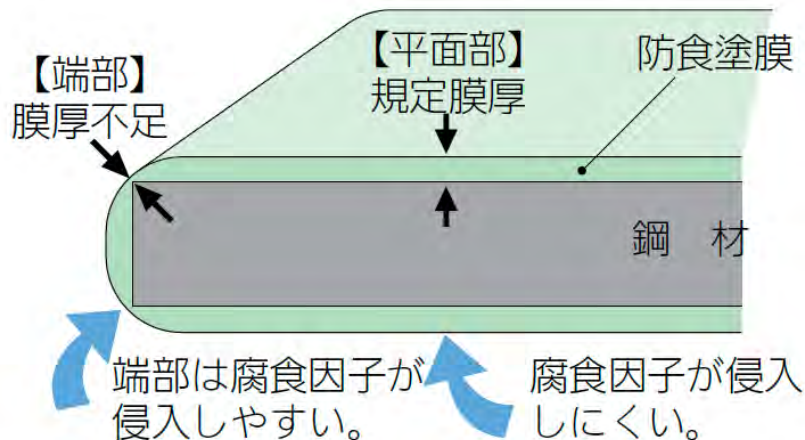
■：鋼材 ■：塗膜 ■：チタン箔シート

チタン箔を用いた防食工法

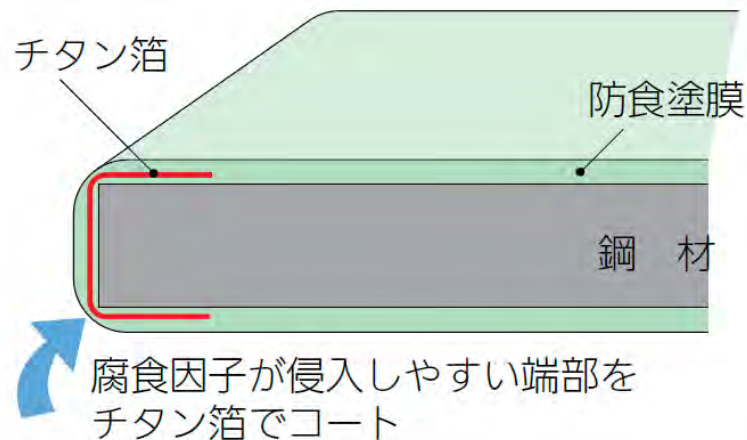
- 塗膜劣化や腐食が起こり易い部位への適用が効果的



従来の防食仕様

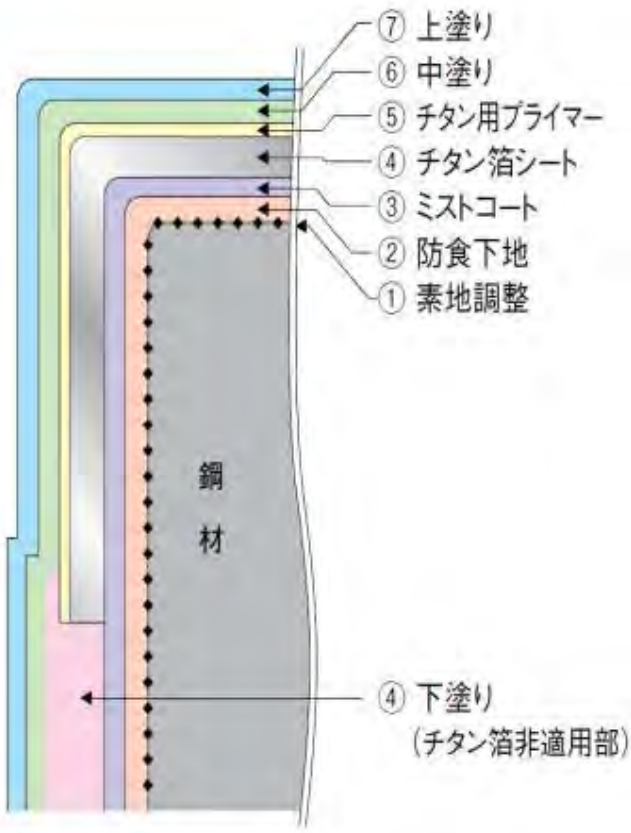


チタン箔を用いた防食工法



本工法は、新設／補修を問わず適用可能です

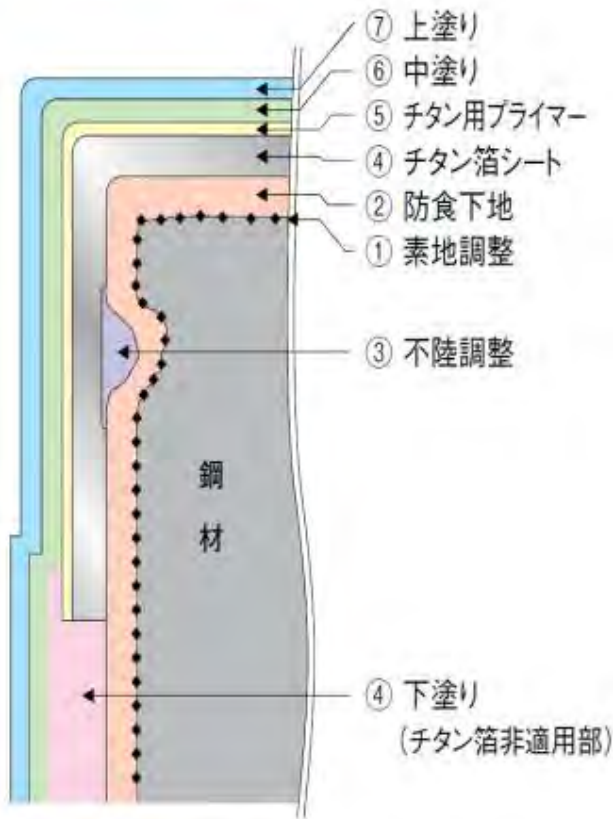
新設仕様（橋梁製作工場での施工）



新設塗装の場合

仕様	チタン箔シート適用部	チタン箔シート非適用部
素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2.5	
防食下地	無機ジンクリッチペイント 600g/m ² 75μm	
ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗 160g/m ²	
チタン箔シート	チタン箔/基材テープ	エポキシ樹脂塗料下塗 540g/m ² 120μm
チタン用 プライマー	チタン用エポキシ樹脂プライマー 130g/m ² 30μm	
中塗り	ふっ素系樹脂塗料中塗 170g/m ² 30μm	
上塗り	ふっ素系樹脂塗料上塗 140g/m ² 25μm	

補修仕様（現場での施工）



仕様		チタン箔シート 適用部	チタン箔シート 非適用部
素地調整		ブラスト処理ISO Sa2 1/2	
防食下地		有機ジンクリッチペイント 600 g/m ²	
不陸調整		超厚膜形エポキシ樹脂塗料	
チタン箔シート	下塗り	チタン箔/ 基材テープ	弱溶剤形変性エポ キシ樹脂塗料下塗 240 g/m ²
チタン用 プライマー		チタン用エポキシ 樹脂プライマー 130 g/m ²	弱溶剤形変性エポ キシ樹脂塗料下塗 240 g/m ²
中塗り		弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗 170 g/m ²	
上塗り		弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗 140 g/m ²	

チタンの一般的特性

- 海洋環境においても優れた耐食性発揮
(チタン： 1×10^{-3} mm/年以下、炭素鋼： 150×10^{-3} mm/年)
- 引張強度が高い（鋼材並み）
- 軽い（比重は鋼材の60%程度）

チタン箔シートによる防食効果



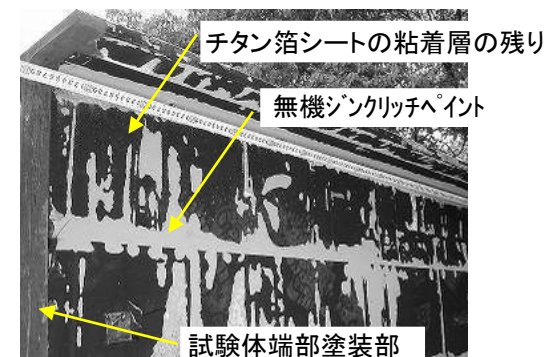
海浜部での暴露（親不知）

仕様	素地調整	防食下地	被覆材
	Sa 2.5	無機ジ ンクリッ チペ イント	チタン箔 シート (t0.85mm)



チタン箔シート除去後の状況

- 12年の暴露試験から、高い防食効果を確認



試験体端部塗装部
写真の説明

耐久性試験結果（促進試験）

複合環境サイクル促進試験（塗装はC系）

		はく離前			はく離後				
		下地処理程度 Sa2.5 塩分量: 127 mg/m ²	下地処理程度 St.3 塩分量: 611 mg/m ²	下地処理程度 St.2 塩分量: 664 mg/m ²	下地処理程度 Sa2.5 塩分量: 127 mg/m ²	下地処理程度 St.3 塩分量: 611 mg/m ²	下地処理程度 St.2 塩分量: 664 mg/m ²		
試験 期 間 (時間)	1,000							チタン箔シート 貼付部	
									塗装部
	3,000							チタン箔シート 貼付部	
									塗装部

クロスカットからのさびの進展のしにくさは、
重防食塗装系（C系：期待30年）の3倍以上

耐久性試験結果（屋外暴露試験）

- ① 試験場所：
沖縄自動車道
許田高架橋
- ② 試験開始：
平成3年7月～
平成26年9月
(桁塗替工事にて撤去)

暴露期間		2年目		6年目		8年目		11年目	23年目
		全長	全長	剥離試験前 半部 (約40mm)	剥離試験後 半部 (約40mm)	全長	全長		
位置	1回目	600～800 g/cm	2500～3500 g/cm	2000～2500 g/cm	約3500 g/cm	1000～1400 g/cm	3400～3700 g/cm		
	2回目		2300～3300 g/cm	2000～2500 g/cm	約3500 g/cm	2000～2400 g/cm	3400～3700 g/cm		
剥離形態		塗膜と基材 (粘着層)の 界面剥離	基材(粘着 層)の凝集 破壊 (層間剥離)	塗膜と基材 (粘着層)の 界面剥離	基材(粘着 層)の凝集 破壊 (層間剥離)	塗膜と基材 (粘着層)の 界面剥離	基材(粘着 層)の凝集 破壊 (層間剥離)		



付着性試験状況

沖縄地区にて23年間供用されたチタン箔は、その粘着剤(自己融着性)特性が発現し、高い付着性を維持していた。



経時23年後の付着試験の剥離状態は、粘着剤(黒色)の凝集破壊で安定していた。

ライフサイクルコストの比較 (試算結果)

仮想東京地区新規橋梁への防食工比較

分類		重防食塗装		チタン箔シートによる防食補強		金属溶射+重防食		溶融亜鉛メッキ	
防食工概要		プラスチックでSa2.5処理後ゾンクリッチペイント、エポキシ樹脂塗料、フッ素樹脂塗料を塗重ね、防錆、水・酸素遮断、耐候性機能備えた防食工		重防食塗装法の耐久性ネックとなる鋼材エッジ部や水触れ時間が長くなる部位を選択的にチタン箔シートでカバーする工法		プラスチックでSa2.5処理後アーク等で電気作用発現金属材料を溶融させながら被覆し、封孔処理、フッ素樹脂塗料を塗重ねる防食工		酸洗処理で鋼材表面を処理した後、440℃程度に溶融させた亜鉛槽へ浸漬させ被覆し、電気作用として防食する防食工	
工程・仕様		工程	仕様	工程	仕様	工程	仕様	工程	仕様
		足場架設		足場架設		足場架設		下地処理	部材角部 局面仕上げ2R 酸洗でISO Sa2 1/2
		水洗い	(付着塩分50mg/m2以下)	水洗い	(付着塩分50mg/m2以下)	水洗い	(付着塩分50mg/m2以下)	メッキ処理	溶融亜鉛550g/m2以上
		素地調整	部材角部 局面仕上げ2R プラスチック ISO Sa2 1/2	素地調整	プラスチック ISO Sa2 1/2	素地調整	部材角部 局面仕上げ2R プラスチック ISO Sa2 1/2以上	歪み矯正	都度
		防食下地	無機ゾンクリッチペイント 75μm	防食下地	無機ゾンクリッチペイント 75μm	金属溶射	亜鉛アルミ合金100μm以上	部材にて防食し現地橋梁工事で組み立て後、一部補修。	
		ミストコート	(下塗塗料160g/m2)	ミストコート	(下塗塗料160g/m2)	封孔処理	メーカー条件		
		下塗	変性エポキシ60μm×2回	下塗	チタン箔シート850μm *1	中塗	フッ素中塗30μm		
		中塗	フッ素中塗30μm	中塗	チタン用プライマー30μm *1	上塗	フッ素上塗25μm		
		上塗	フッ素上塗25μm	上塗	フッ素上塗25μm				
特徴	長所	・対応施工業者多く、瀬戸大橋等20年以上の耐久性が確認されている。		・重防食仕様でのネックとなる付着塩分、エッジ部に対応可能。		・溶融亜鉛メッキより緻密な防錆膜が形成、且つ現地施工が可能。		・部材で取扱うため、現地工程が省力化できる。機械部材含め実用実績が多い。	
	短所	・付着塩分や部材エッジ部で品質影響有り		・施工実績が少ない ・チタン箔シート貼付ノウハウ有		・専用機械要、塗装部位で限定有。下地処理・膜厚に厳格管理要。		・部材の形状・寸法に制約有り。ハンドリング疵等で現地補修が必要。	
期待耐用年数*2		30年		30年 (チタン箔シート部は100年程度)		60年		25年	
初期コスト*3		12,180円/m2 (土木施工単価2016冬、東京)		13,798円/m2 (チタン箔シート対象5%)		11,832円/m2 (MS工法NETIS資料+2R処理+塗装)		8,218円/m2 (15ton, 1000m2前提+2R+横持ち)	
塗替え仕様*4 及び コスト		Rc-Ⅲ 4,215円/m2		Rc-Ⅳ 2,800円/m2		Rc-Ⅰ 8,495円/m2		Rc-Ⅰ 8,495円/m2	
LCC評価									

*1: 防食耐久性弱点部以外は重防食仕様

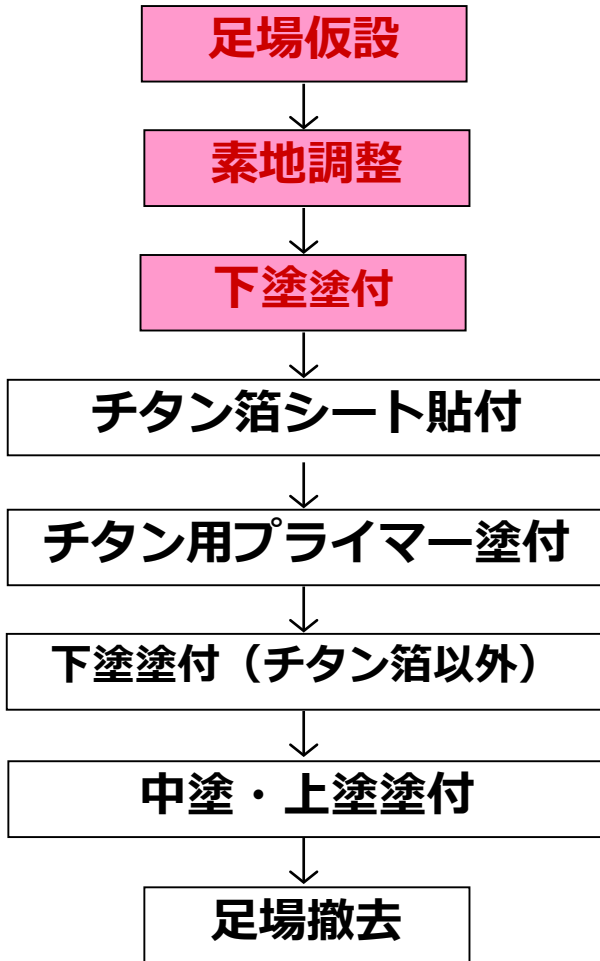
*2: 社団法人 日本橋梁建設協会 鋼橋のQ&A ライフサイクルコスト編を参考とした(塩害影響含む)

*3: 足場仮設、環境対策を除く直工費を、土木施工単価(2016冬、東京)を参考に積算した

*4: 本四公団での重防食塗替実績、チタン箔シート防食補強マニュアル案、金属溶射・亜鉛メッキの腐食結果を参考とした

重防食	24,825
チタン箔	22,198
金属溶射	24,542
溶融亜鉛	29,423

施工手順（塗替塗装工事）



1) 足場仮設

作業者が安全に作業ができ、作業できる空間を確保し、足場を仮設する。

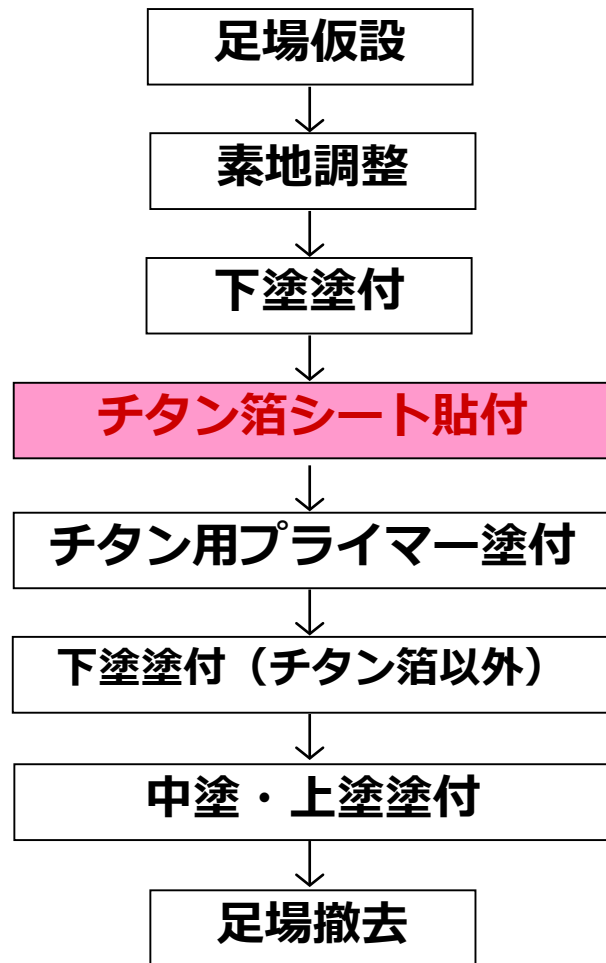
2) 素地調整

電動工具、手工具で素地調整を適切に行う。
(標準的な素地調整は、ブラスト処理とする。)

3) 下塗塗付

旧塗膜に鋼材露出部等がある場合、下塗塗料
(有機ジンクリッチ[®]イントなど)を塗付する。

施工手順（塗替塗装工事）

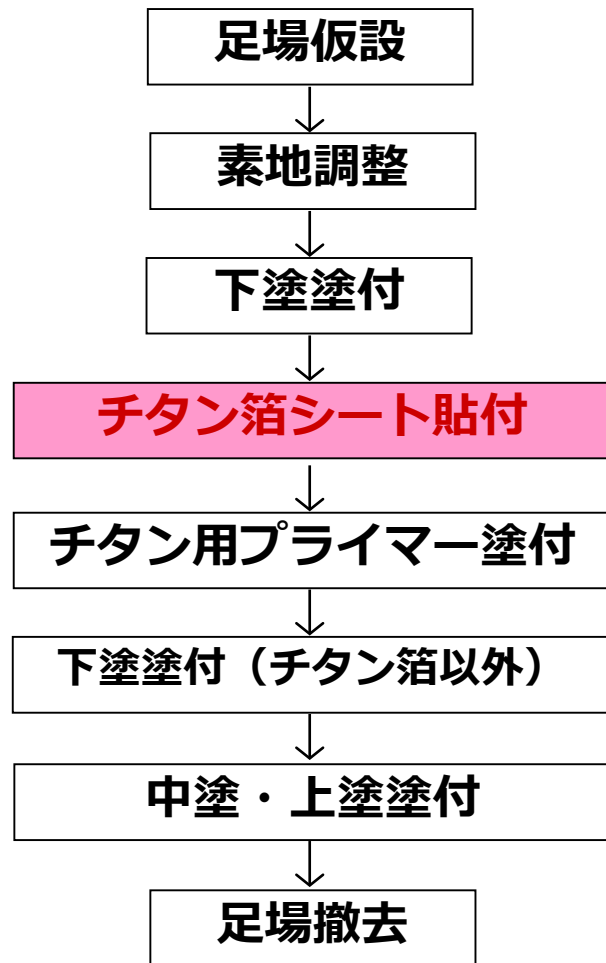


4) チタン箱シート貼付



離形紙を剥がしながら、チタン箱シートを貼り付ける。

施工手順（塗替塗装工事）

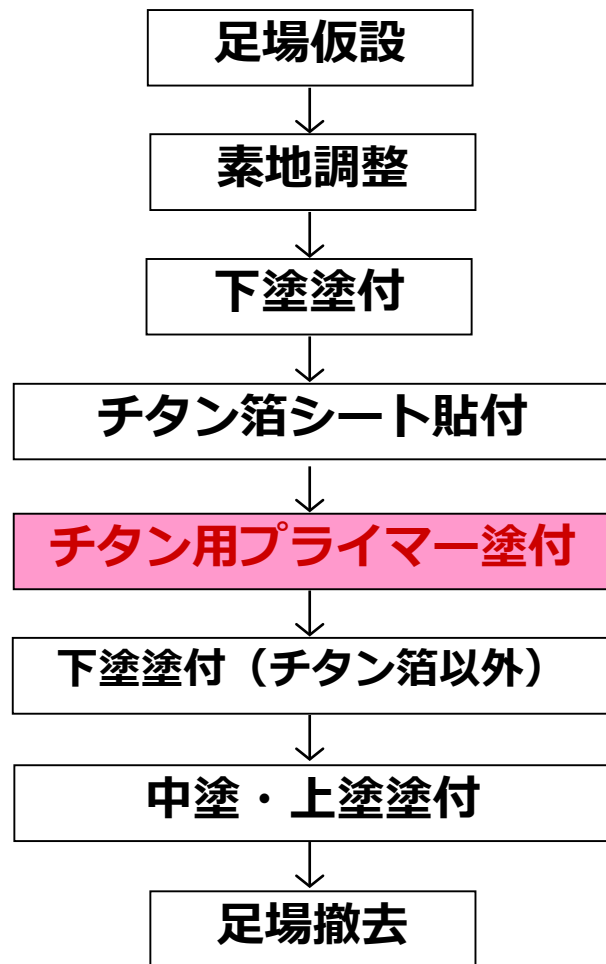


4) チタン箱シート貼付



チタン箱シート貼付完了

施工手順（塗替塗装工事）

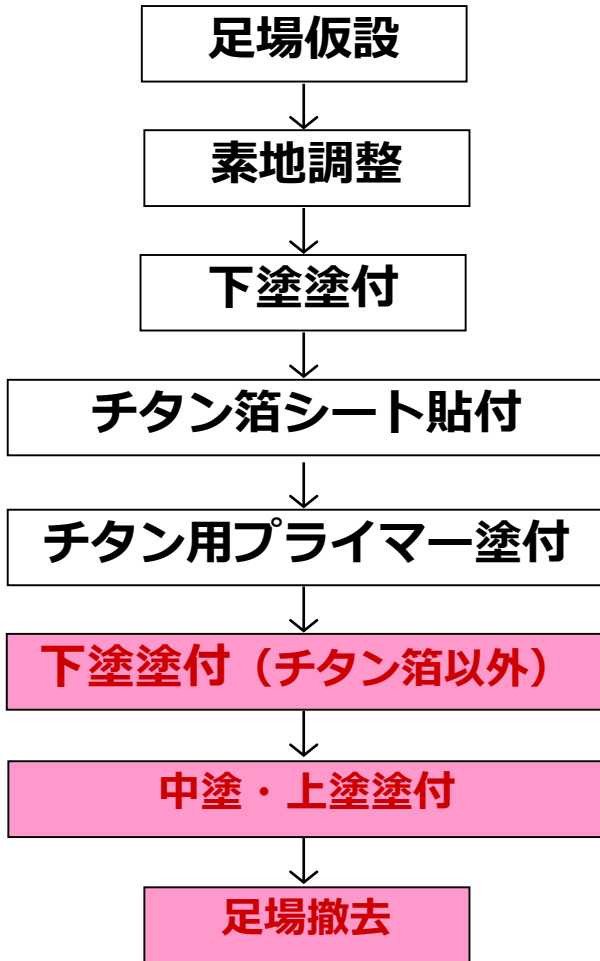


5) チタン用プライマー塗付



チタン表面にプライマーを塗付する。

施工手順（塗替塗装工事）



6) 下塗塗付（チタン箱以外）

チタン貼付部以外に下塗りを塗付する。

7) 中塗・上塗塗付（全体）

8) 足場撤去



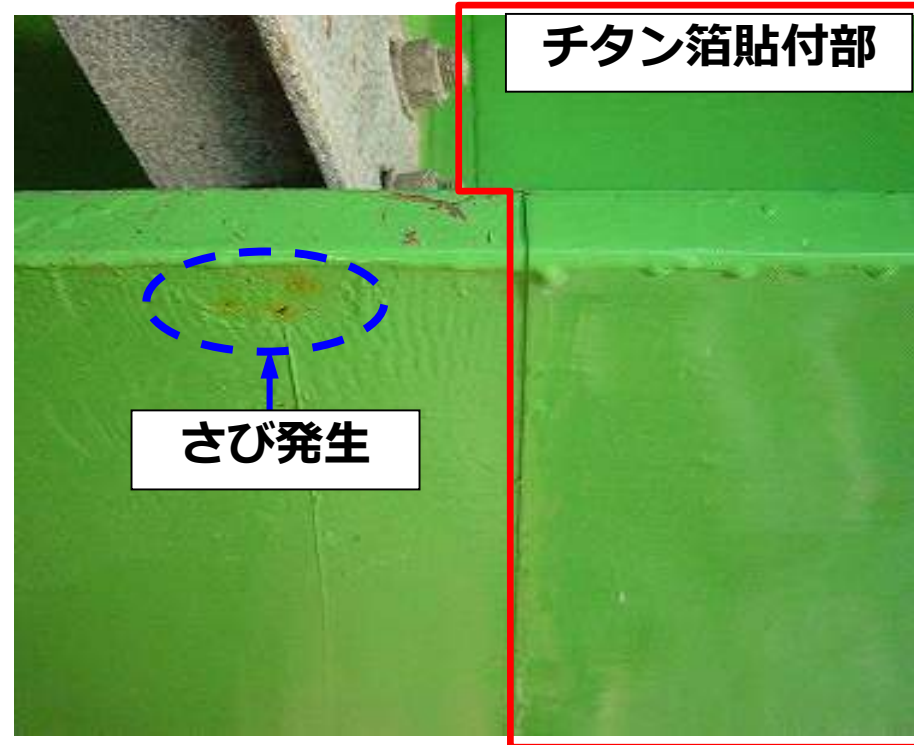
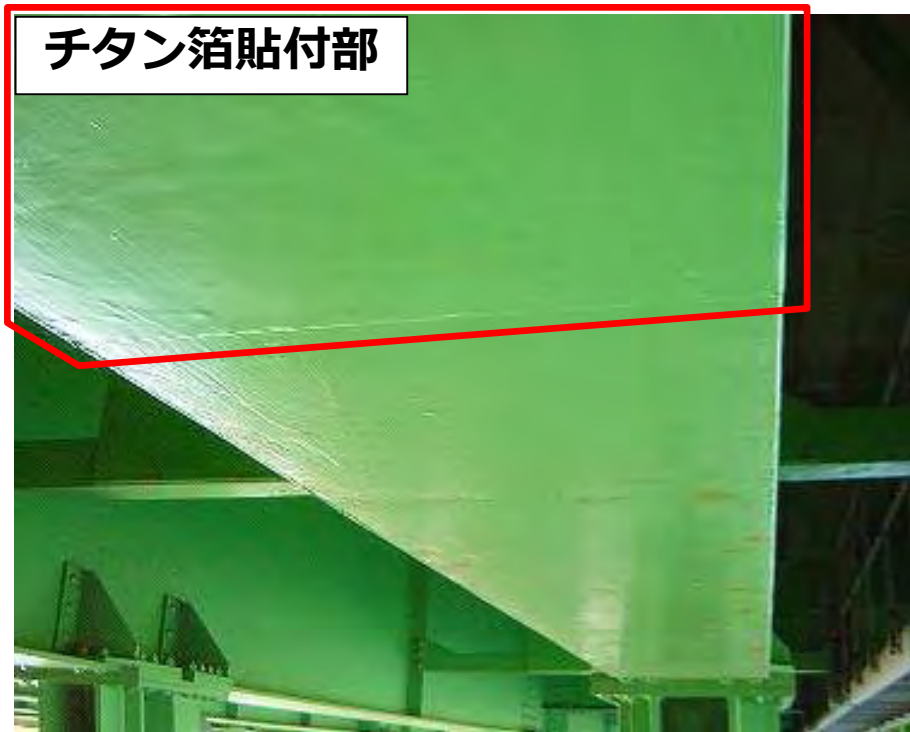
施工事例

- ① 橋梁試験施工（海浜部）
- ② 海浜部の橋梁（添接板・ボルト）
- ③ 鋼管柱の地際防食
- ④ 栈橋鋼製桁部
- ⑤ 角型鋼管を用いた床版橋

① 橋梁試験施工（平成15年3月施工）

■ 試験施工から3年経過（継続中）

注)塗替工事で下地処理は3種ケレン

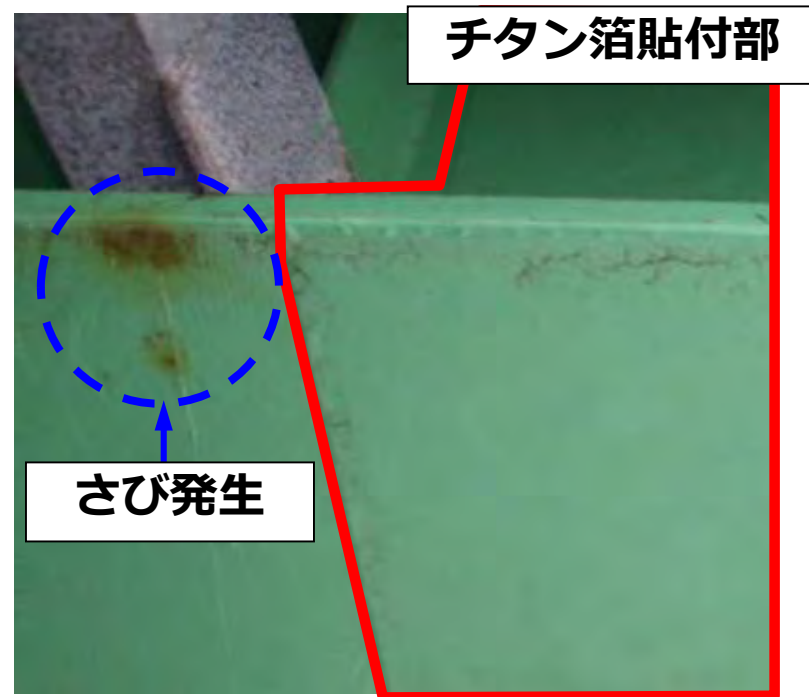


- チタン箔貼付部以外では、点錆発生
- チタン箔貼付部の付着性試験で、付着性を確認

① 橋梁試験施工 (平成15年3月施工)

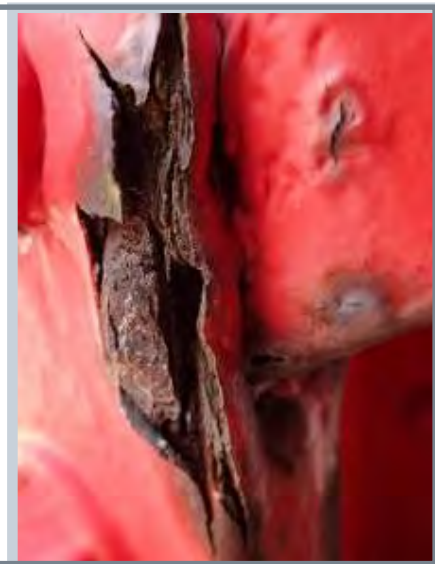
■ 試験施工から10年経過 (継続中)

注)塗替工事で下地処理は3種ケル



- チタン箔貼付部以外では、点錆発生
- チタン箔貼付部の付着性試験で、付着性を確認

②海浜部の橋梁（平成25年11月施工）



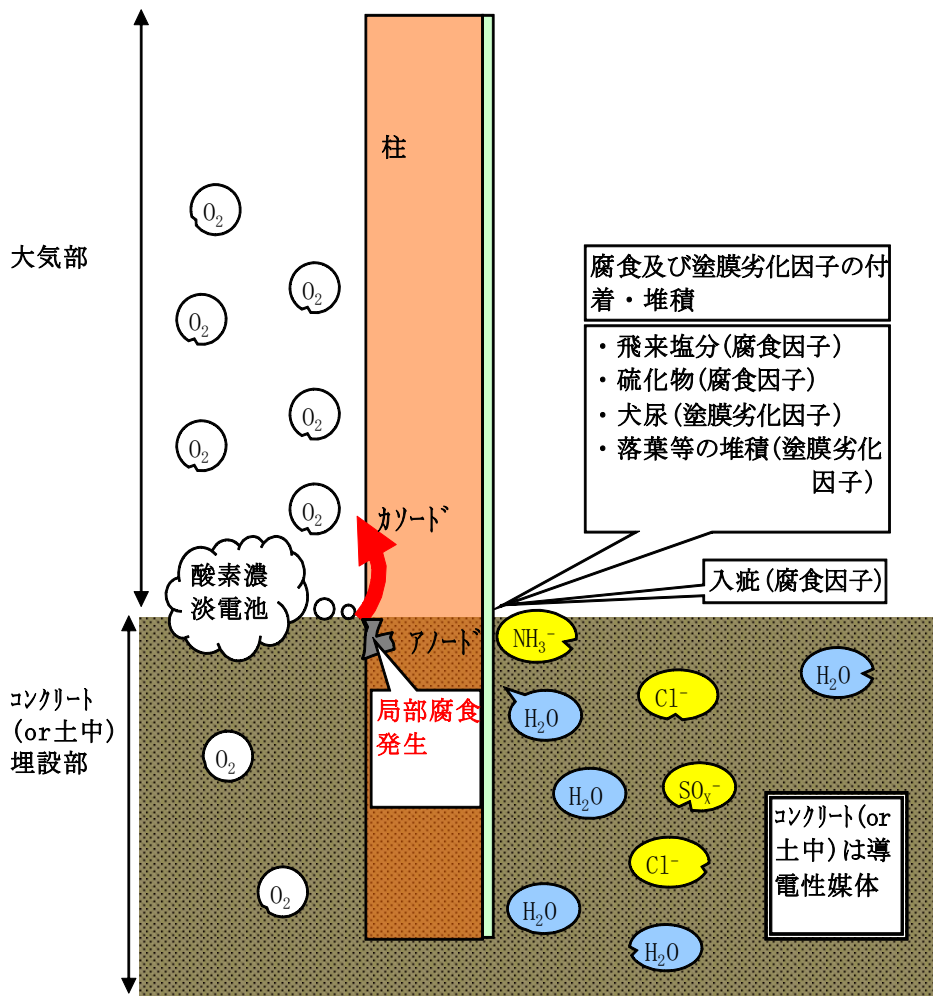
チタン箔防食の適用

添接板及び締結ボルト部の隙間腐食対策として実施



③地際防食/鋼管柱

<腐食のメカニズム>



製品及び現地対応可能

④ 棧橋鋼製桁部 (平成22年6月施工)

施工前、施工状況



④ 棧橋鋼製桁部 (平成22年6月施工)

施工後

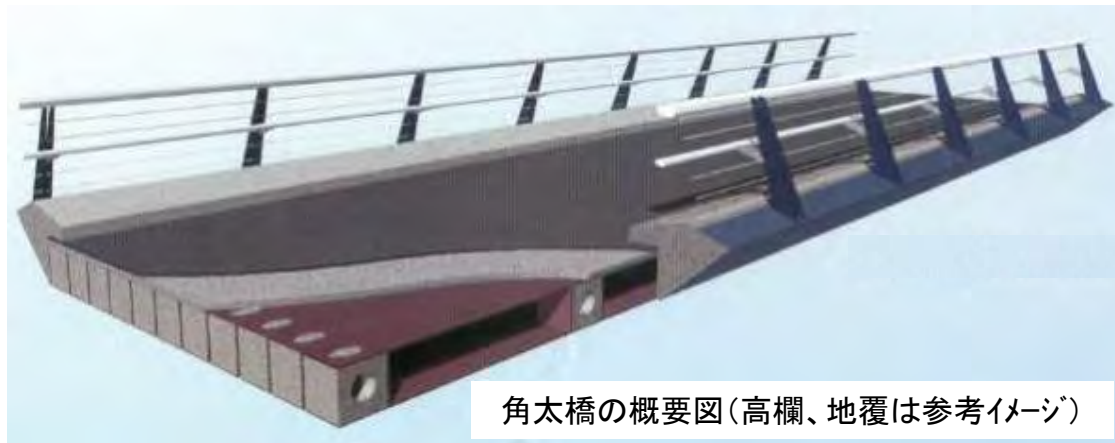


チタン箔＋重防食塗装の塗装系 (Rc-Ⅱ 塗装系参照)

塗装工程	塗料	使用料	備考
素地調整	2種		活膜は残す
防食下地	有機ジンクリッチペイント	240g/m ²	
下塗り	チタン箔シート	0.85mm	
	チタン用プライマー	130g/m ²	
	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	200g/m ²	チタン箔シート貼付部以外
	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	200g/m ²	〃
中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	140g/m ²	
上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	120g/m ²	

鋼道路橋塗装・防食便覧 (社)日本道路協会 H17.12参照

⑤角型鋼管を用いた床版橋（平成17年1月施工）



角太橋の概要図(高欄、地覆は参考イメージ)

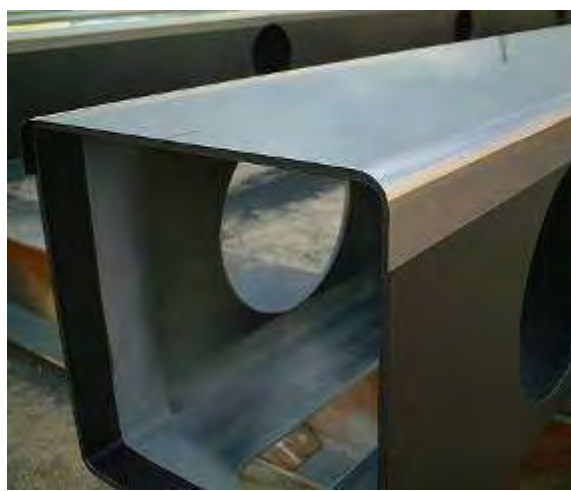


角形鋼管下面状況(塗装のみ)

新日本製鉄株式会社 角太橋カタログより



チタン箔シート貼付作業状況



チタン箔シート貼付後状況



橋梁架設状況

⑥鋼製灯台（平成28年12月施工）



チタン箔シート貼付施工前外観



チタン箔シート貼付施工後状況

チタン箔シート施工時(塗装前)



チタン箔シート貼付施工後近影

※第2回インフラメンテナンス大賞優秀賞受賞

※新日鐵住金(株) プレスリリースより

施工実績 (2018.9.30現在)

	発注者	施工対象		施工年	施工量 (m ²)	チタン箔シート貼付部
本 施 工	新日本製鐵株式会社君津	橋梁	既設	2006	1.0	桁端部
	熊本河川国道事務所	歩道橋	新設	2011	22.0	階段 蹴上部
	奈良国道事務所	歩道橋	新設	2012	37.0	通路、踊り場桁の地覆部
	土佐国道事務所	橋梁	新設	2013	4.5	端支点部、下フランジ上面
	新潟市西部地域土木事務所	橋梁	既設	2013	5.0	添接部
	新日本製鐵株式会社君津	パンザーマスト	新設	2014	28.0	パンザーマスト地際部
	高田河川国道事務所	橋梁	新設	2014	21.6	検査路接合部
	福岡国道事務所	橋梁	新設	2014	11.0	両端支点部
	愛知県新城設案設計事務所	橋梁	既設	2014	52.0	両端地覆部、添接部
	新日鐵住金株式会社君津	ベルトコンベア	新設	2015	20.0	フレーム下部
	新日鐵住金株式会社八幡	橋梁	既設	2016	30	主桁・上フランジ
	山九株式会社和歌山	ベルトコンベア	新設	2016	18.2	フレーム下部
	千葉県香取土木事務所	F型柱	新設	2017	1.5	地際部
	神奈川県横須賀土木事務所	F型柱	新設	2017	1.5	地際部
	千葉県長生土木事務所	F型柱	新設	2017	0.3	地際部
	神奈川県西土木事務所	F型柱	新設	2018	0.3	地際部
	新日鐵住金株式会社君津	ベルトコンベア	新設	2018	3.9	フレーム下部
	千葉県香取土木事務所	F型柱	新設	2018	3.9	地際部

施工実績 (2018.9.30現在)

	発注者	施工対象		施工年	施工量 (m ²)	チタン箔シート貼付部
試験施工	新潟国道事務所	橋梁	既設	2003	4.0	主桁下フランジ
	和歌山県由良町	橋梁	既設	2010	1.0	桁端部
	酒田河川国道事務所	橋梁	新設	2011	1.0	桁端部
	福井県	橋梁	既設	2011	1.8	桁端部
	名四国道事務所	橋梁	新設	2013	2.0	端支点部、添接部
	T&日本メンテ開発株式会社	橋梁	新設	2018	8.0	桁端部
	日本旅客鉄道株式会社八王子土木技術センター	-	-	2018	0.7	
材料販売	北勢国道事務所	橋梁	新設	2013	7.1	
	名四国道事務所	橋梁	新設	2014	210.0	主桁及び横桁の添接部と周辺
	岩手河川国道事務所	橋梁	新設	2014	1.1	垂直補剛材間、下フランジ上面
	新潟県	橋梁	既設	2016	18.9	トラス部
	宗教法人善光寺	建築梁	既設	2016	18.2	梁部
	第三管区海上保安部	灯台	既設	2016	109.2	灯台全面
	小松精練株式会社	-	-	2016	9.8	
	新日鐵住金株式会社チタン事業部	-	-	2016	2.8	
	北九州市	橋梁	新設	2017	0.6	箱桁側面
	株式会社巴コーポレーション	橋梁	新設	2018	1.4	ソールプレート側面部
	株式会社巴コーポレーション	橋梁	新設	2018	0.9	ソールプレート側面部
	富岡市	建築梁	既設	2018	108.0	梁部
	北勢国道事務所	橋梁	新設	2018	5.3	合成床版
	富岡市	建築梁	既設	2018	54.6	梁部
	NSスチレンモノマー株式会社	栈橋	既設	2018	7.0	プレス材

適用時に必要な技術情報

- 土木研究所資料 No. 4019 「金属被覆による耐食性向上に関する試験調査報告書」 (2006年7月)
- 「チタン箔シートによる重防食塗膜の耐食性補強マニュアル(案)」
http://www.pwri.go.jp/team/a_materials/pdf/titan-manual.pdf



お問い合わせ先



(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



日鉄住金防蝕株式会社

エンジニアリング事業部

TEL 03-5858-6127 / FAX 03-5628-3655

<http://acc.nssmc.com/>

CMP 中国塗料株式会社

営業本部国内営業統括部

TEL 03-3506-5844 / FAX 03-5511-8542

<http://www.cmp.co.jp/>

