

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



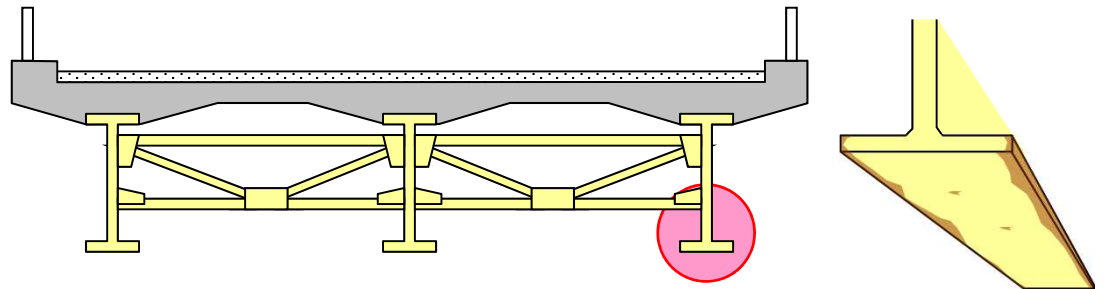
土木研究所 先端材料資源研究センター



NIPPON STEEL 日鉄防食株式会社

CMP 中国塗料株式会社

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



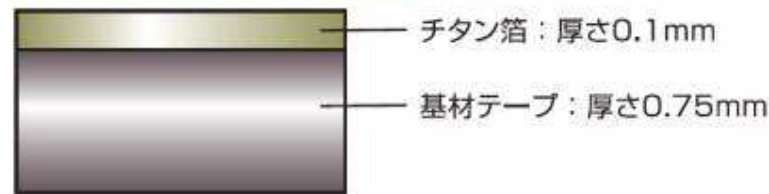
従来、部材端部の**曲面仕上げ**や**塗膜厚を増す**方法が取られているが、厳しい腐食環境においては**十分な防食効果が発揮されない**

チタン箔を用いた防食工法

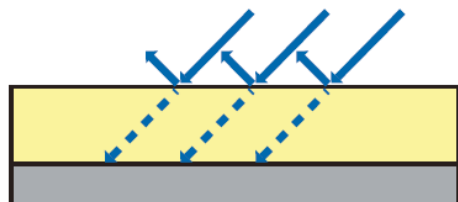
- 防食塗装の弱点と言われる部材端部等にチタン箔シートへの貼付と塗装とを複合施工することにより、水分や塩分の様な腐食（促進）因子を完全に遮断して、塗膜劣化と鋼材腐食を抑制する工法。



チタン箔シートの構成

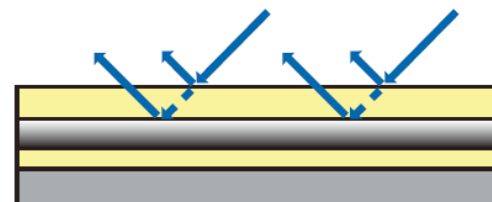


塗装



← 劣化・腐食因子
(水、酸素、Cl⁻、紫外線...)

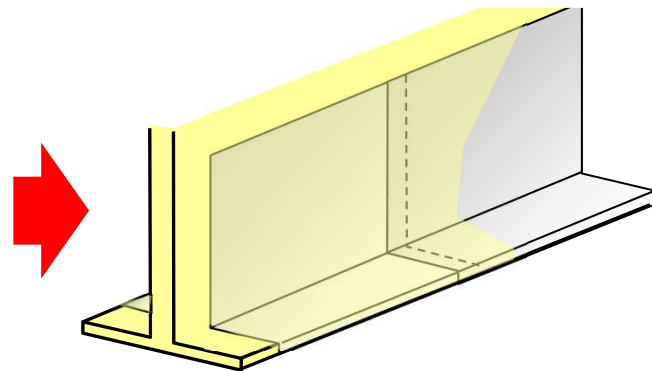
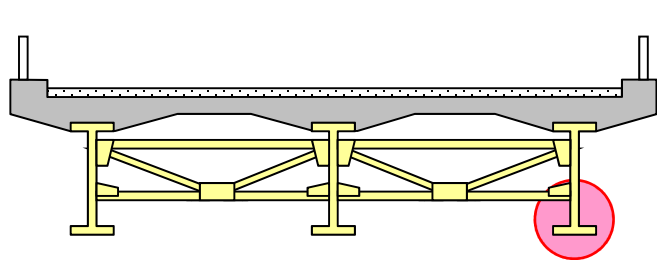
チタン箔シート貼り付け+塗装



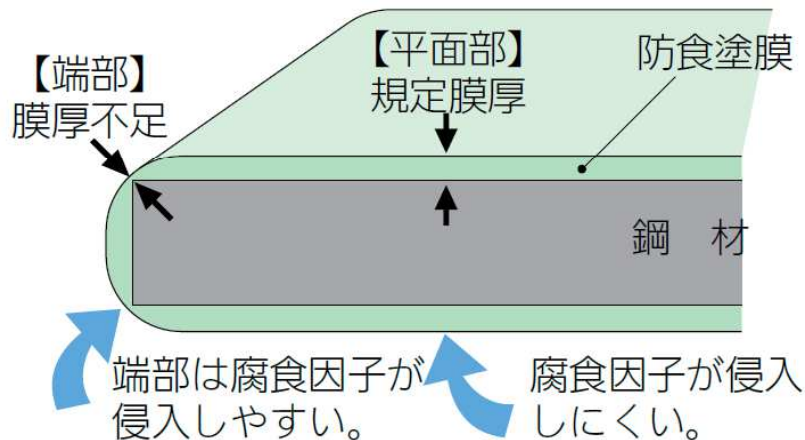
■：鋼材 ■：塗膜 ■：チタン箔シート

チタン箔を用いた防食工法

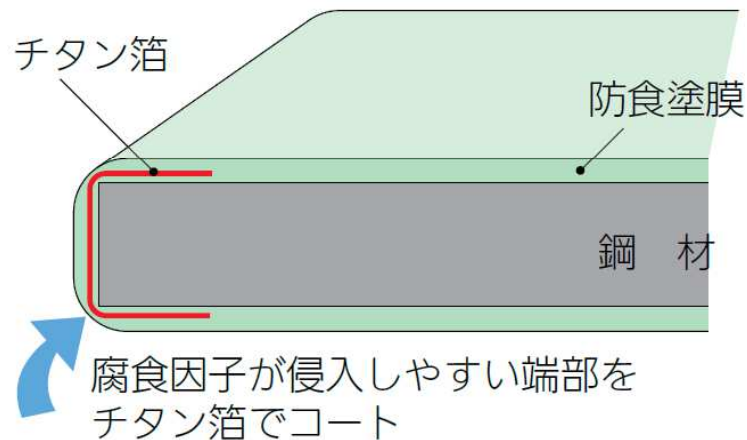
- 塗膜劣化や腐食が起こり易い部位への適用が効果的



従来の防食仕様

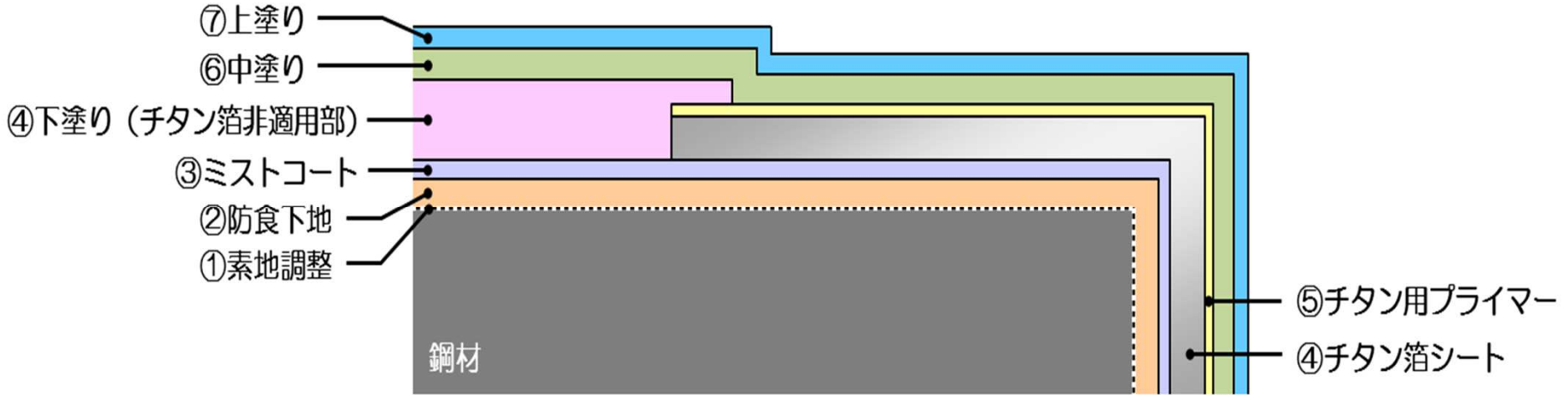


チタン箔を用いた防食工法



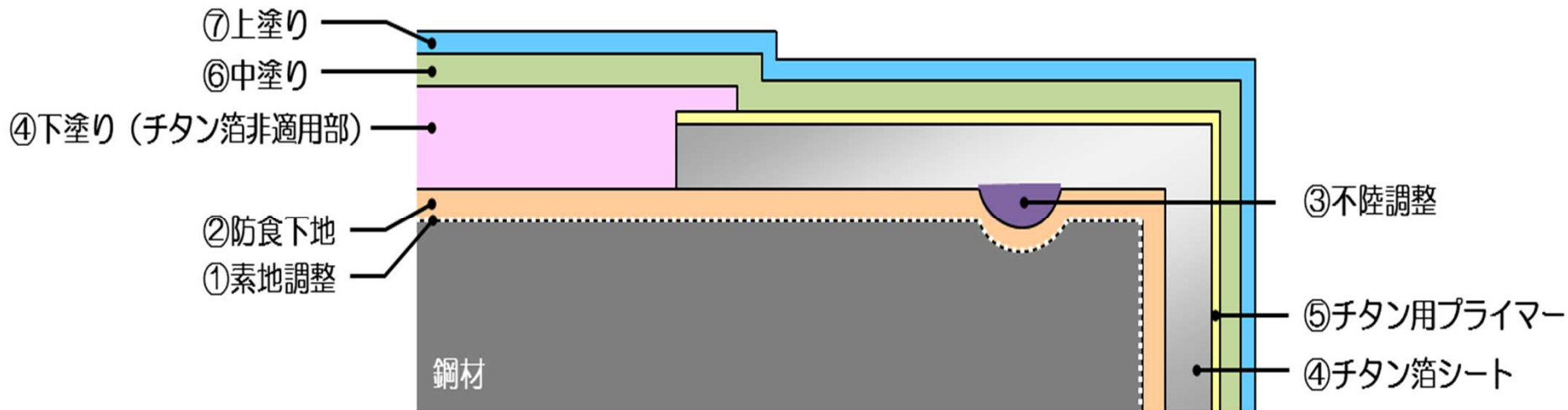
本工法は、新設／補修を問わず適用可能です

新設仕様（橋梁製作工場での施工）



工 程		チタン箔シート適用部	チタン箔シート非適用部
①素地調整		ブラスト処理ISO Sa2 1/2	
②防食下地		無機ジンクリッチペイント 600 g/m ² 75 μm	
③ミストコート		エポキシ樹脂塗料下塗 160 g/m ²	
④チタン箔シート	④下塗り	チタン箔/基材テープ	エポキシ樹脂塗料下塗 540 g/m ² 120 μm
⑤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 30 μm	
⑥中塗り		いっ素樹脂塗料用中塗 170 g/m ² 30 μm	
⑦上塗り		いっ素樹脂塗料上塗 140 g/m ² 25 μm	

補修仕様（現場での施工）



工 程		チタン箔シート適用部	チタン箔シート非適用部
①素地調整		ブラスト処理ISO Sa2 1/2	
②防食下地		有機ジンクリッチペイント 600 g/m ²	
③不陸調整（孔食部分のみ）		超厚膜形エポキシ樹脂塗料下塗	
④チタン箔シート	④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 × 2
⑤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	
⑥中塗り		弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗 170 g/m ²	
⑦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）

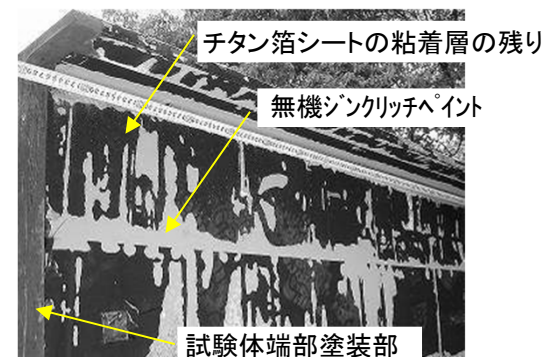
仕	素地調整	防食下地	被覆材
様	Sa 2.5	無機ジンクリッチペイント	チタン箔シート (t0.85mm)



暴露12年経過

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



チタン箔シートの粘着層の残り

無機ジンクリッチペイント

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

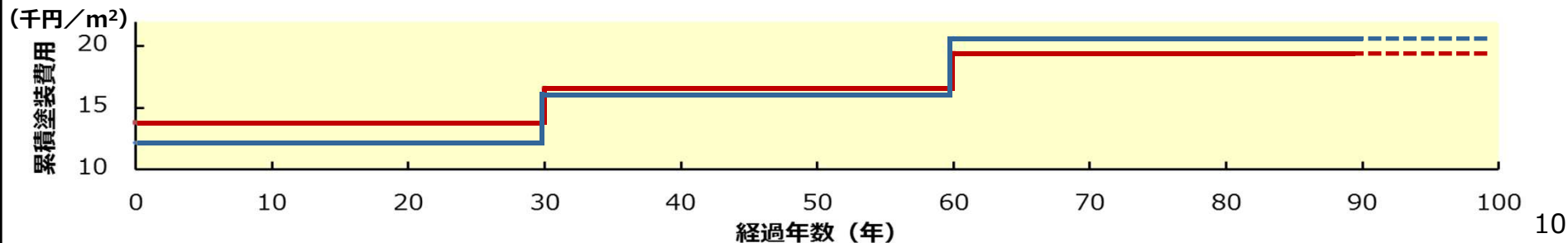
沖縄地区にて23年間供用されたチタン箔は、その粘着剤(自己融着性)特性が発現し、高い付着性を維持していた。



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例

工法		重防食塗装	チタン箔シートによる防食補強
工法の概要		一般塗装系を重防食塗装系 (Rc-I) で塗替える後、 Rc-III塗装系での塗替えを繰り返す ケース。	一般塗装系を重防食塗装系 (Rc-I) で塗替える際に、 塗膜の弱点部にチタン箔シートを適用し、Rc-IV塗装系で維持管理 していくケース。塗膜弱点部は全体の5%と仮定。
工程と仕様	足場仮設		
	水洗い	付着塩分50 mg/m ² 以下	
	素地調整	部材角部 曲面仕上げ2R ブラスト処理 ISO Sa2 1/2	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 75 μm	有機ジンクリッチペイント 75 μm
	下塗り①	変性エポキシ樹脂塗料60 μm	変性エポキシ樹脂塗料60 μm (95%) チタン箔シート850 μm (5%)
	下塗り②	変性エポキシ樹脂塗料60 μm	変性エポキシ樹脂塗料60 μm (95%) チタン用プライマー30 μm (5%)
	中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗り30 μm	ふっ素樹脂塗料用中塗り30 μm
	上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗り25 μm	ふっ素樹脂塗料上塗り25 μm
期待耐用年数 (腐食環境の厳しい海浜地域等)		30年	30年 (チタン箔シートは100年以上)
初期コスト		12,180円/m ²	13,798円/m ²
塗替仕様およびコスト		Rc-III 4,215円/m ²	Rc-IV 2,800円/m ²
試算条件		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	



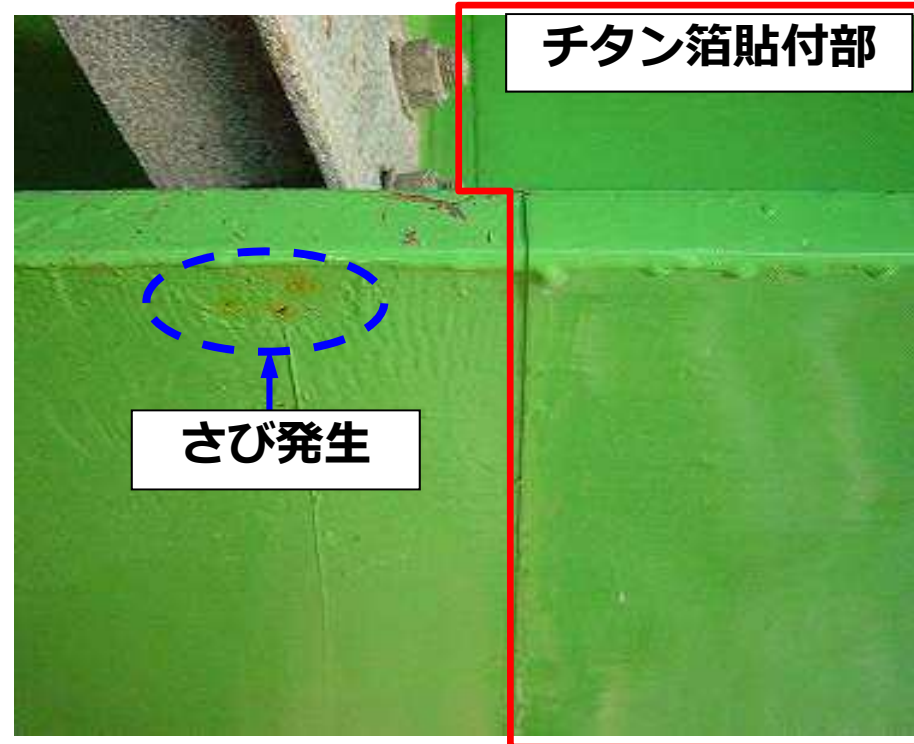
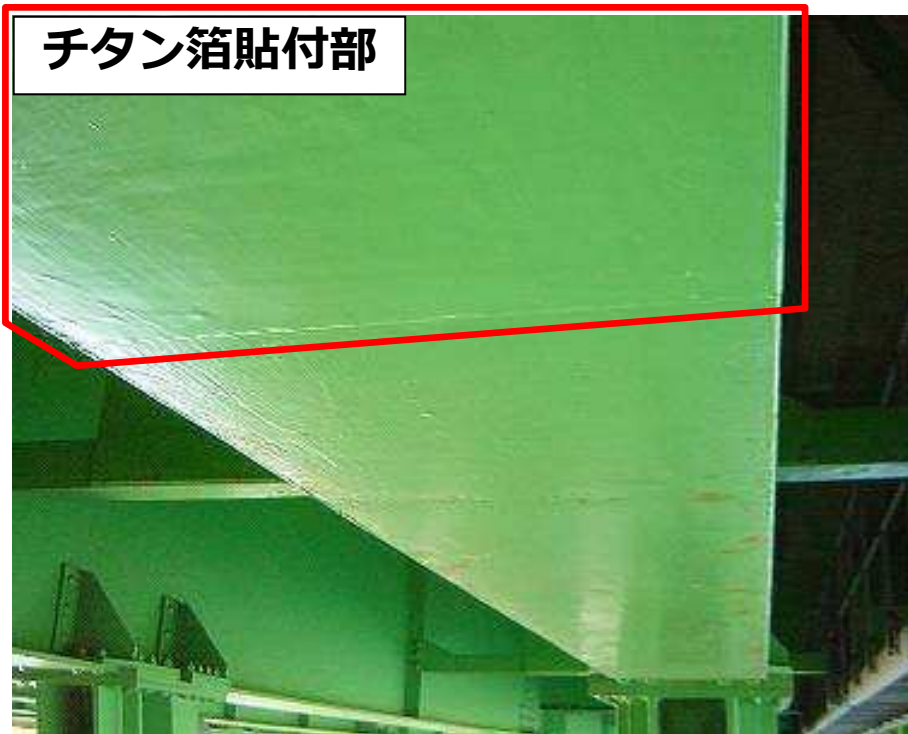
施工事例

- ① 橋梁試験施工（海浜部）
- ② 海浜部の橋梁（添接板・ボルト）
- ③ 橋梁端支点部（滞水しやすい箇所）
- ④ 鋼管柱の地際防食
- ⑤ 栈橋鋼製桁部
- ⑥ 角型鋼管を用いた床版橋
- ⑦ 鋼製灯台

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種ケソ

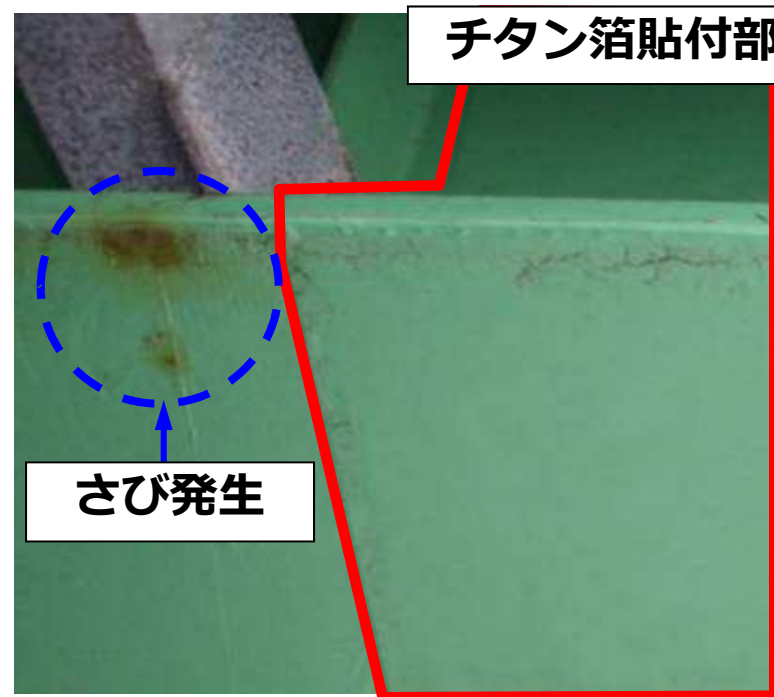


- チタン箔貼付部以外では、点錆発生
- チタン箔貼付部の付着性試験で、付着性を確認

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

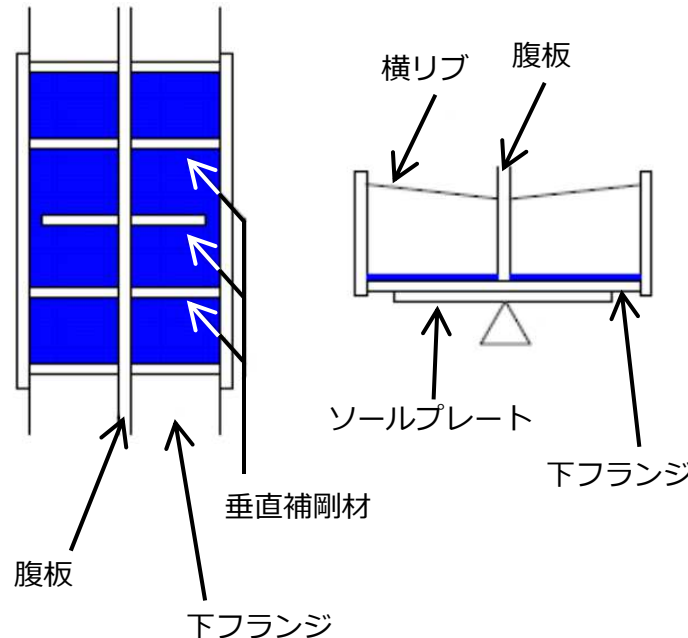


③ 橋梁端支点部 (平成25年5月施工)

(四国地方整備局からの提供情報)



- 事業個所 : 国道55号 高知東部自動車道 高知南国道路
- 施工構造物 : 稲生高架橋
- 施工場所 : 高知県南国市稲生
- 施工数量 : 1.73 m²
- 施工時期 : 2013年5月
- 施工目的 : 桁端部は補強リブに囲まれ、**滞水しやすい構造**となることから、**塗装の耐久性向上**を目的として採用した。



チタン箔施工状況



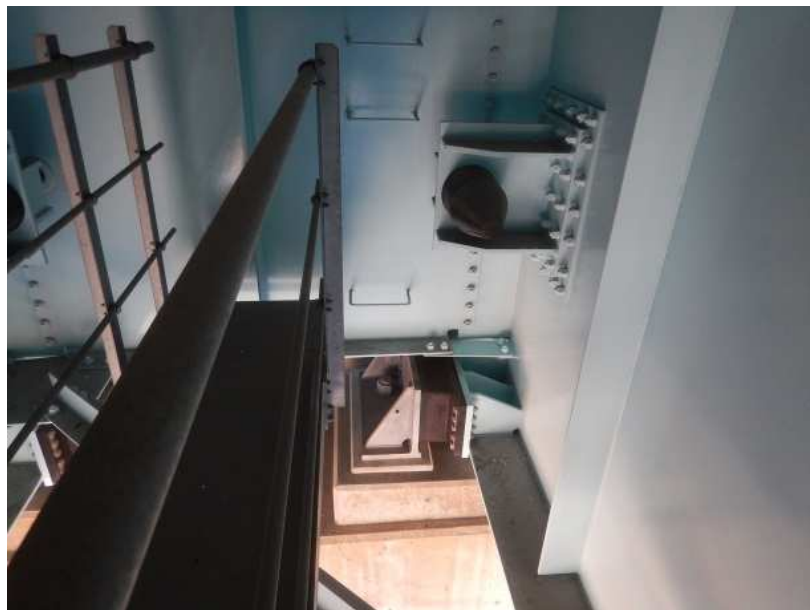
チタン箔施工部塗装完了

③ 橋梁端支点部 (平成25年5月施工)

(四国地方整備局からの提供情報)

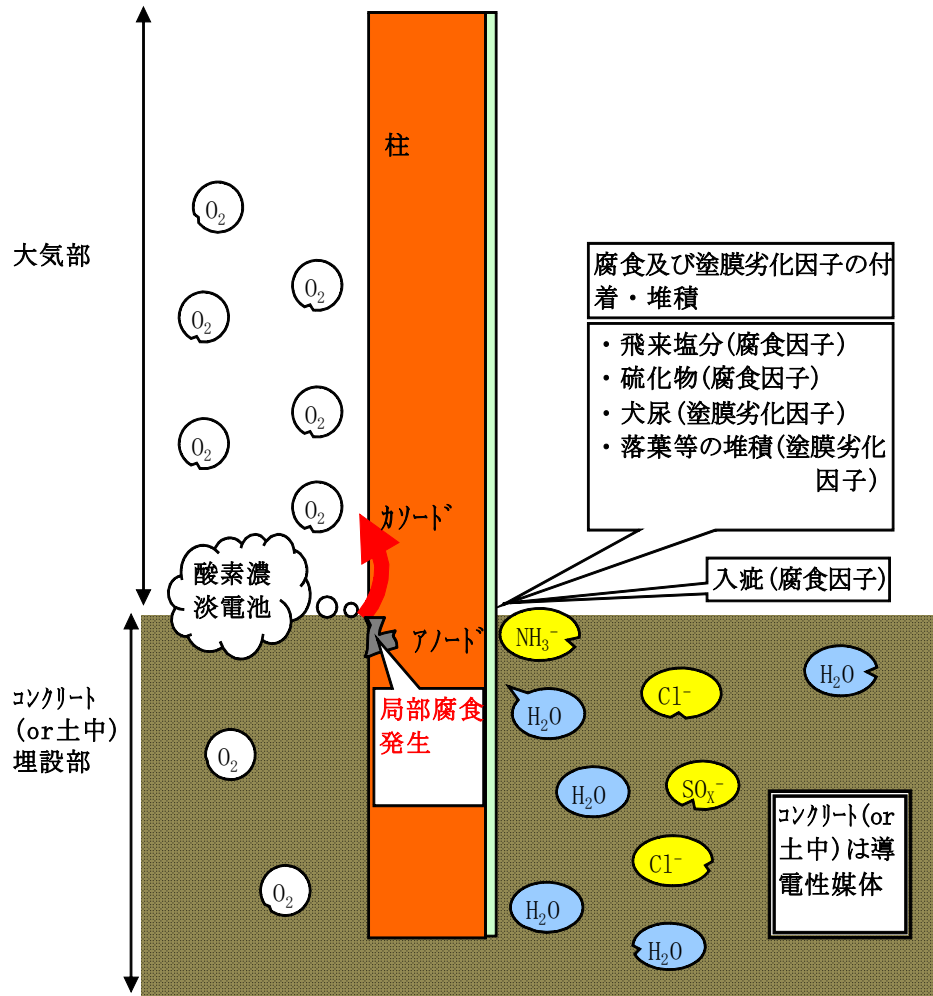
■ 2018年12月の状況

- 施工から約5年7ヶ月経過しているが、さびや剥離等は見うけられない。
- 現時点では一般部との違いは明確ではない。



④ 鋼管柱の地際防食

<腐食のメカニズム>



製品及び現地対応可能

⑤ 棧橋鋼製桁部 (平成22年6月施工)

施工前、施工状況



⑤ 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

⑥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

⑦鋼製灯台（平成28年12月施工）



施工前

チタン箔シート貼付施工前外観



鋼材当て板補修後下地処理(1種ケレン+有機シンク)+下塗り



チタン箔シート貼り付け



貼り付け完了



フッソ樹脂中・上塗装完了



<6ヶ月経過後の外観>



チタン箔防食適用部



チタン箔未使用部

チタン箔シート有無での有意差確認

第2回インフラメンテナンス大賞優秀賞受賞 (2018.5.16)

「明治期に建造された鋼製灯台への長期耐久性防食仕様の適用」

- 掛塚灯台（静岡県磐田市、明治30年建造）

海岸地帯の厳しい腐食環境の下、歴史的価値がある鉄板とリベット接合形状を維持するために繰り返し補修工事を行ってきた。

⇒ 今回の改修では塗装の弱点となる鋼材端部や形状変化部含めた全面にチタン箔を貼り付ける「チタン箔防食工法」が採用され、（1）防食機能である環境遮断での耐久性向上（60年超）、（2）ライフサイクルコストの低減（既存の1/2）、（3）鋼板成分の確認容易性（可逆性の確保）などが高く評価された。



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



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

適用の条件と留意点

適用条件

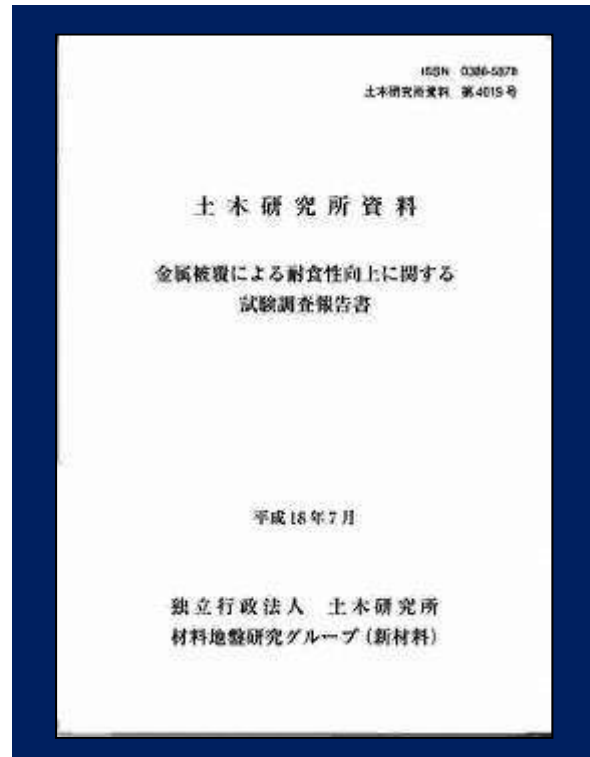
- 気 温 一般的な塗装工事と同様、5～50℃程度
- 湿 度 85%以上は不可
- 現場条件 塗装工事が行える現場であれば制約はない
1 m × 1 mの作業スペースが必要

適用できない箇所

- 支承部などの複雑な形状の部材には適用困難
- 濡れた部材には適用不可
- 水中施工を要する箇所
- 作業員が入れない箇所、手が届かない箇所

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

NIPPON STEEL 日鉄防食株式会社

エンジニアリング事業部

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

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

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/>



ご清聴ありがとうございました。