

◆特集：建設材料研究の新たな展開◆

チタン箔による塗装の防食性能の補強方法

守屋 進* 小倉義雄** 坂本宏司***

1. はじめに

重防食塗装を施した鋼構造物の塗膜でも部材角部などでは、塗膜厚不足などによって本来期待される塗膜の防食性能が得られないことがある。このような部分の塗膜の防食性能を確保することは、鋼構造物の防食ライフサイクルコストを低減するために不可欠である。そこで本研究では、そのための一つの方法として、チタン箔による塗装の防食性能の補強方法について検討を行った。

具体的には、塗装とチタン箔貼り付けを行った試験体を用いて塗装の防食性能の補強効果と施工性を検討した。なお、チタン箔とチタン箔を塗膜に貼り付けるための粘着剤（以下、基材）を一体化したチタン箔シートを用いて検討を行った。

2. チタン箔シート

チタンは優れた耐食性を有した材料であり、様々な腐食環境で防食材として使用されている。土木構造物では、海洋環境の東京湾横断道路（アクアライン）橋脚にチタンクラッド鋼が適用されている。

しかし、チタンクラッド鋼を構造物へ適用するには、高度な加工技術が必要でありコスト高になる。また、防食材として既設構造物へ適用することは困難である。

そこで高耐食性を有したまま軽量かつコストを低減するために、チタン箔を防食材として使用することを検討した。防食対象物にチタン箔を被覆するため、基材（粘着剤）と一体化したチタン箔シートを用いた防食法の検討を行った。

本研究ではチタン箔と基材の選定に当たり、チタン箔の厚さや基材の材質を変えて防食性や耐衝撃性、施工性の検討を行った。この検討結果を踏まえ、ここでは厚さ0.1mmのチタン箔（JIS H 4600

1種）と0.75mmの基材を一体化したチタン箔シートを使用して試験を実施した。

3. チタン箔シートによる鋼材の長期防食効果の確認¹⁾

3.1 試験概要

チタン箔シートによる鋼材の長期防食効果を暴露試験によって確認した。

図-1に試験体概要図、表-1に試験体の種類を示す。試験体はH形鋼材（588mm×300mm×12mm×20mm、L:1600mm）を用いた。H形鋼材にプラスト処理（BI）、あるいはプラスト処理（BI）後、無機ジंकクリッチペイント（Zn）を塗付してからチタン箔シートを貼り付けた。

試験体は、一般環境のつくば建設材料研究施設（茨城県つくば市：T）と、海岸付近で冬季に季節風のある厳しい腐食環境の親不知建設材料耐久性研究施設（新潟県糸魚川市：I）に暴露した²⁾。

暴露12年経過した試験体の外観観察とチタン箔シート除去後の鋼材腐食状況を目視調査した。

3.2 試験結果

暴露12年経過後の外観目視調査では、試験体の

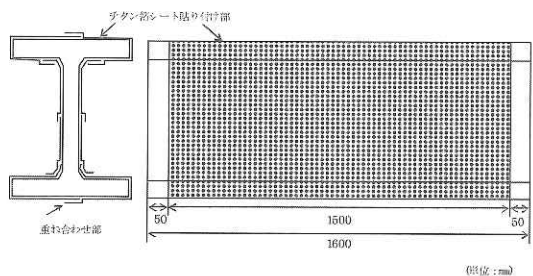


図-1 試験体概要図

表-1 試験体の種類

試験体	素地調整	防食下地	チタン箔シート	暴露場所
①BI-T	プラスト 処理	—	チタン箔：0.1mm 基材：0.75mm	茨城県つくば市
②BI-I				新潟県糸魚川市
③Zn-I	ISO Sa2.5	無機ジंकクリッチ チペイント		

Method of Reinforcing Anti-Corrosion Performance of Painting with Titanium Foil



図-2 試験後の試験体状況 (② BI-T)

左側：上フランジ（茶褐色の変色）、右側：ウェブ

上フランジに貼り付けたチタン箔表面が茶褐色に変色していた。図-2に試験後の試験体状況を示す。

この変色は、箔表面のチタンの酸化によるものと思われる。しかし貼り付けたチタン箔シートには、はがれや破れなどの外観上の異状は見られなかった。

チタン箔シート除去後の目視調査では、いずれの試験体も鋼材面に黒色の基材が密着していた。チタン箔シートは、無機ジंकリッチペイント塗装面に貼り付けたものも、十分に密着していることが確認された。

チタン箔シート除去後の試験体状況を図-3に示す。暴露環境の違いによる鋼材の腐食状況を確認した。厳しい腐食環境に暴露した② BI-Iは、一般環境の① BI-Tに比べて鋼材腐食箇所が多かった。特に試験体のフランジと腹板の溶接接合された曲面状の部位（以下、コーナー部という。）やチタン箔シート端部に腐食の発生が著しかった。コーナー部に貼り付けたチタン箔シート端部から水や酸素などの腐食因子と塩化物イオンなどの腐食促進因子が侵入して、さびが発生したと思われる。また、無機ジंकリッチペイントを塗付した③ Zn-Iは、無機ジंकリッチペイントを塗付していない② BI-Iに比べて鋼材の腐食は少なかった。

これらの結果からチタン箔シートが鋼材の防食に有効であることが確認された。すなわち、無機ジंकリッチペイント塗付後にチタン箔シートを貼り付けることで、厳しい腐食環境下においても十分な防食効果が得られることが確認された。

しかし、コーナー部に貼り付けたチタン箔シートの端部が防食上の弱点であることが明らかとなった。



① BI-T 試験体



② BI-I 試験体



③ Zn-I 試験体

図-3 チタン箔シート除去後の試験体状況

4. コーナー部に貼り付けたチタン箔シートの防食性の検討²⁾

4.1 試験概要

長期暴露試験結果より、コーナー部に貼り付けたチタン箔シート端部が防食上の弱点であることが明らかとなった。そこで、コーナー部に貼り付けたチタン箔シートの防食性能を確保する方法についての検討を行った。

逆T字形鋼材に、3種類の防食仕様を施して試験体とした。図-4に試験体概要を示し、表-2に

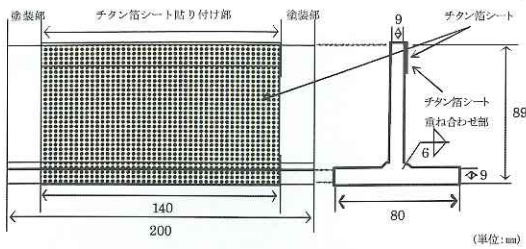


図-4 試験体概要

表-2 試験体の防食仕様

		下地処理	防食下地	ミストコート	下塗り
試験体①	塗装部	ブラスト処理	-	-	-
	チタン箔シート貼り付け部	ISO Sa2.5			チタン箔シート 0.85mm
		下地処理	防食下地	ミストコート	下塗り
試験体②	塗装部	ブラスト処理	無機ジंकリッチペイント 700g/m ² 75 μm	エポキシ樹脂塗料下塗り 160g/m ²	-
	チタン箔シート貼り付け部	ISO Sa2.5			チタン箔シート 0.85mm
		下地処理	防食下地	ミストコート	下塗り
試験体③	塗装部	ブラスト処理	無機ジंकリッチペイント 700g/m ² 75 μm	エポキシ樹脂塗料下塗り 160g/m ²	エポキシ樹脂塗料下塗り 300g/m ² 60 μm
	チタン箔シート貼り付け部	ISO Sa2.5			チタン箔シート 0.85mm

試験体に施した防食仕様を示す。

塩水噴霧試験を最長2,000時間まで実施して、試験後の試験体の外観調査を行った。またチタン箔シート除去後の鋼材腐食状況、鋼材の腐食因子である水分の浸入状況を目視によって確認した。

4.2 試験結果

塩水噴霧試験2,000時間実施した試験体であっても、チタン箔シートのはがれや塗膜の割れなどの外観上の異常は見られなかった。

試験後の試験体状況を図-5に示す。チタン箔シート除去後には、黒色の基材が密着していた。しかしコーナー部には基材が残っていなかった。コーナー部ではチタン箔シートが鋼材面に十分に密着していなかったと考えられる。

ブラスト鋼材面にチタン箔シートを貼り付けた試験体①は、チタン箔シート端部から水分が浸入して鋼材が腐食していた。特にコーナー部では、他の部位に比べて腐食が大きかった。

塗装後にチタン箔シートを貼り付けた試験体②でも同様に、コーナー部から侵入したと思われる水分が確認できた。しかし塗膜の防食効果によ

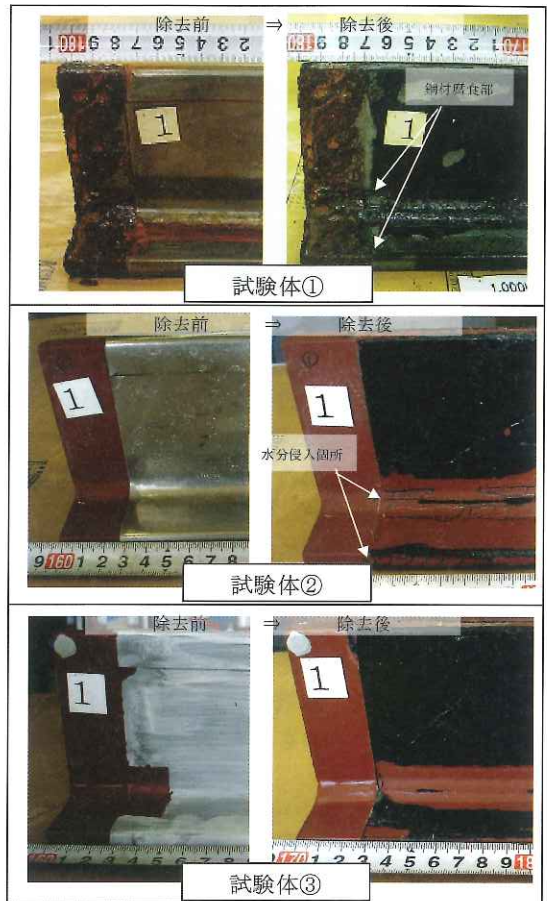


図-5 試験後の試験体状況 (左側：除去後)

て鋼材は腐食しなかったと思われる。

チタン箔シート貼り付け後に塗装を施した試験体③は、試験時間2,000時間でもチタン箔シート貼り付け部に水分の浸入は見られなかった。

このことからコーナー部に貼り付けたチタン箔シート端部から水分が侵入し易いことが確認された。試験体①では、鋼材腐食が発生しているため、コーナー部からの水分と酸素の侵入が考えられる。

しかしコーナー部であってもチタン箔シート端部に塗装を施すことで、チタン箔シート端部からの水分と酸素の浸入を抑えることが可能であることが明らかとなった。

5. 実大桁試験体を用いた施工性の検討と暴露試験²⁾

5.1 試験概要

チタン箔シートによる塗装の防食性能の補強方法について施工性を検討した。実際の橋梁を模擬

表-3 試験体の防食仕様

	下地処理	プライマー	不陸調整	下塗り		中塗り	上塗り
塗装部		変性エポキシ塗料下塗り	超厚膜形エポキシ塗料	変性エポキシ塗料下塗り	変性エポキシ塗料下塗り	ふっ素塗料中塗り	ふっ素塗料上塗り
チタン箔シート貼り付け部	St2程度	240g/m ²	1,000g/m ²	240g/m ²	240g/m ²	140g/m ²	120g/m ²
				チタン箔シート 0.85mm	チタン用プライマー 30 μm		

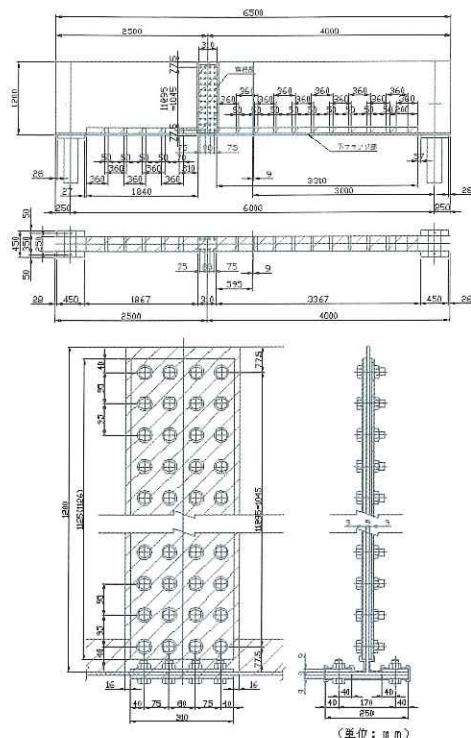


図-6 チタン箔シートの貼り付け範囲

した実大桁試験体の下フランジ部と添接板に、塗装とチタン箔シートの貼り付けを行った。

チタン箔シートは、予め形状に合わせて加工したものを塗装面に貼り付けた。チタン箔シートの継ぎ手は50mmとし、複数枚のチタン箔シートを貼り合わせた。チタン箔シート貼り付けを含めた防食仕様を表-3に、チタン箔シート貼り付け範囲を図-6に示す。

塗装作業とチタン箔シートの貼り付け作業は、2名の作業員（塗装工）によって手作業で行った。

施工後の試験体は、一般的な腐食環境である朝霧建設材料耐久性研究施設（静岡県富士宮市）に、暴露した。

5.2 試験結果

チタン箔シート貼り付け作業の状況写真を図-7



下フランジ部①



下フランジ部②



添接板



図-7 チタン箔シートの貼り付け作業状況

に示す。

下フランジ部への貼り付け作業は、チタン箔シートの折り曲げも手作業によって容易に行うことができた。施工外観も下フランジ部ではチタン箔シートにしわや浮きは見られず、外観上の異状は確認されなかった。

添接板は、ボルト頭などに注意してチタン箔シートを貼り付けるため、下フランジ部に比べて貼り付け作業に時間を要した。また、貼り付けたチタン箔シートの外観にはしわが見られ、下フランジ部に比べてしわが生じ易い。このことから添接板へのチタン箔シートの貼り付けには、十分な注意

が必要であることが明らかとなった。

暴露1年後のチタン箔シート貼り付け部の表面には、チタン箔シートのはがれや端部に塗付した塗膜に割れはなく、外観上の異常は確認されなかった。

6. まとめ

6.1 検討結果のまとめ

以上の各種検討結果より以下のことが明らかとなった。

- (1) 厳しい腐食環境においてもチタン箔シートは、鋼材の防食効果があることがわかった。しかしコーナー部に貼り付けたチタン箔シートの端部では、チタン箔シートが鋼材面あるいは塗装面に十分に付着できない場合があり、防食上の弱点であることがわかった。
- (2) チタン箔シートの端部に塗装を施すことによ

て、コーナー部に貼り付けたチタン箔シートの端部でも水分や酸素などの腐食因子や塩化物イオンなどの腐食促進因子の侵入を遮断することができる。

- (3) 下フランジ部へのチタン箔シートの貼り付けは、手作業によっても容易に実施することが出来た。しかし添接板でのチタン箔シートの貼り付け作業は、十分な注意が必要であることがわかった。

6.2 マニュアルの作成²⁾

これまでの研究成果を基に、鋼橋の重防食塗装を対象としたチタン箔シートによる塗装の防食性能の補強法を提案した。ここではチタン箔シートによる重防食塗装の耐食性補強マニュアル(案)¹⁾の抜粋として、本手法の塗装系と目次を説明する。

本手法は、鋼道路橋塗装・防食便覧³⁾に従い新設橋梁へはC5塗装系、既設橋梁塗り替えへはRc-I

表-4 新設橋梁へ適用する場合の塗装系

塗装工程	素地調整	防食下地	ミストコート	下塗り		中塗り	上塗り
チタン箔シート適用部	プラスト処理 ISO Sa2.5	無機ジンクリッチペイント 600g/m ² 75 μ m	エポキシ樹脂塗料下塗 160g/m ²	チタン箔シート	チタン用エポキシ樹脂プライマー 130g/m ² (30 μ m)	ふっ素樹脂塗料用中塗 170g/m ² 30 μ m	ふっ素樹脂塗料上塗 140g/m ² 25 μ m
チタン箔シート非適用部				エポキシ樹脂塗料下塗 540g/m ² 120 μ m			

表-5 既設橋梁塗り替え時に適用する場合の塗装系

塗装工程	素地調整	防食下地	不陸調整	下塗り		中塗り	上塗り
チタン箔シート適用部	1種	有機ジンクリッチペイント 600g/m ²	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	チタン箔シート	チタン用エポキシ樹脂プライマー 130g/m ² (30 μm)	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗 170g/m ² 30 μm	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗 140g/m ² 25 μm
チタン箔シート非適用部				弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 下塗 240g/m ²	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 下塗 240g/m ²		

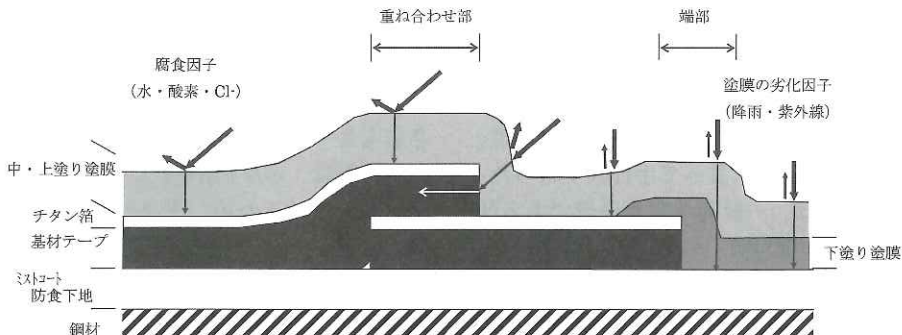


図-8 重防食塗膜に適用した場合の防食概要

表-6 チタン箔シートによる塗装の耐食性補強マニュアル(案)

1. 総則
 - 1.1 適用範囲
 - 1.2 用語
2. チタン箔シートの重防食塗膜への適用
 - 2.1 適用の基本
 - 2.2 チタン箔シート
 - 2.3 チタン箔シートを適用した防食設計
 - 2.4 新設塗装への適用
 - 2.5 既設橋梁の塗替塗装への適用
3. 施工及び施工管理
 - 3.1 新設橋梁への施工
 - 3.1.1 施工手順
 - 3.1.2 工場での施工
 - 3.1.3 現場施工
 - 3.1.4 その他
 - 3.2 既設橋梁への施工
 - 3.2.1 塗装仕様と施工手順
 - 3.2.2 施工
 - 3.3 施工管理
 - 3.3.1 品質管理
 - 3.3.2 施工管理
4. 維持管理
 - 4.1 一般
 - 4.2 点検種類
 - 4.3 点検結果の記録
 - 4.4 点検結果の評価
 - 4.5 応急処置
5. チタン箔シートの補修
 - 5.1 一般
 - 5.2 補修作業
 - 5.2.1 施工手順
 - 5.2.2 施工
 - 5.3 施工管理

劣化して、いずれ鋼材が腐食する。塗膜厚不足が懸念されている部位では、鋼材腐食が早期に起こる可能性が高い。このため、チタン箔シートを貼り付けると水分や酸素などの腐食因子の侵入を遮断して、塗膜の劣化と鋼材の腐食を防止することが可能である。

腐食因子が侵入し易いチタン箔シート端部や重ね合わせ部では、塗装と併用することでチタン箔シート端部からの腐食因子の侵入を抑制することができる。チタン箔シートの上に、チタン用のプライマーと中塗り、上塗り塗装をすることによって、橋梁の色彩が統一され景観性も向上する。またチタン箔シート端部や重ね合わせ部からの腐食因子の侵入を抑制し、防食性を高めることが可能となる。

表-6にチタン箔シートによる塗装の耐食性補強マニュアル(案)の目次を示す。

今後、チタン箔シートが塗装鋼構造物に適用され、防食に対するライフサイクルコストの低減に寄与することを期待する。

参考文献

- 1) 土木研究所資料第4019号：金属被覆による耐食性向上に関する試験調査報告書、(独)土木研究所, pp3-12, pp163-204, 2006.7
- 2) 坂本宏司、守屋 進：チタン箔による重防食塗膜の耐食性補強法の検討、(社)日本鋼構造協会、第29回鉄構塗装技術討論会発表予稿集 pp91-98, 2006.10
- 3) 鋼道路橋塗装・防食便覧、(社)日本道路協会, ppII-32, II-95, 2005.12

塗装系を標準としている。各塗装系を表-4と表-5に示す。また、図-8にチタン箔シートを重防食塗膜に適用した場合の防食の概要図を示す。

塗装は、降雨や紫外線などにより徐々に塗膜が

守屋 進*



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所材料地盤研究グループ
新材料チーム総括主任研究員、博士(工学)
Dr. Susumu MORIYA

小倉義雄**



中国塗料株式会社(前 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ新材料チーム交流研究員)
Yoshio OGURA

坂本宏司***



日鉄防蝕株式会社(前 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ新材料チーム交流研究員)
Kouji SAKAMOTO