

技術論文

チタンカバーによる港湾鋼構造物の高耐久防食技術

High Durability Anti-corrosion Technology of Steel Structure in Ports by Titanium Cover

橋 本 凌 平*
Ryohei HASHIMOTO我那覇 康 彦
Yasuhiko GANAHA今 井 篤 実
Atsumi IMAI川 瀬 義 行
Yoshiyuki KAWASE今 福 健一郎
Kenichiro IMAFUKU古 川 正 典
Masanori FURUKAWA

抄 録

栈橋や岸壁の長寿命化対策として、下部工の鋼管杭や鋼矢板、鋼管矢板に対するペトロラタム被覆工法の適用例が増加している。従来、ペトロラタム系防食材の保護材としてFRPカバーが多く適用されているが、紫外線による経年劣化や耐衝撃性に懸念がある。そこで新日鉄住金(株)と日鉄住金防蝕(株)との共同により、耐食性・耐衝撃性に優れたチタンを用いて防食するチタンカバー・ペトロラタム被覆工法を開発し、製鉄所構内の栈橋や岸壁に対して試験施工を行い、その耐久性を確認してきた。カバーの衝撃性評価や油分残存率測定による期待耐久性評価を通して、耐久性に優れたチタンカバーによる港湾鋼構造物の防食技術を紹介した。

Abstract

As long-life measures of pier and quay, the application of petrolatum lining method is on the increase for steel pipe pile and sheet pile, pipe sheet pile. So far, FRP covers are widely applied as protective layer of petrolatum-based anticorrosive materials, but they are concerned about aging degradation due to ultraviolet and impact resistance. Therefore, both companies of Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation and Nippon Steel & Sumikin Anti-Corrosion Co.,Ltd. developed titanium cover-petrolatum lining method that protect corrosion using excellent titanium in corrosion resistance and impact resistance, and confirmed the durability of the method through experimental construction for pier and the quay in ironworks. In this report, we introduce anti-corrosion technology of steel structures in ports by durable titanium cover through the impact assessment of cover and the expected durability evaluation by measurement of oil remaining ratio.

1. 緒 言

栈橋や岸壁の基礎である鋼管杭や鋼矢板、鋼管矢板といった港湾鋼構造物は、常に海水や海塩粒子の影響を受けるため、厳しい腐食環境下にある。こうした鋼構造物の一般的な防食法として、干満帯から飛沫帯、海上大気中にかけては被覆防食工法が適用される。被覆防食工法には有機被覆や金属被覆などが存在するが、中でもペトロラタム被覆工法は簡易的な素地調整で長期的な防食が可能であるため、適用例が増加している工法である。従来、ペトロラタム被覆工法におけるペトロラタム系防食材の保護カバーとしてFRP（繊維強化プラスチック）が採用されているが、紫外線による経年劣化や流木などの漂流物衝突による割れ発生の恐れがあり、耐久性に懸念が持たれている¹⁾。

そこで、筆者らは海洋環境において優れた耐衝撃性、耐食性を有するチタンを保護カバーとした、チタンカバー・ペトロラタム被覆工法（以下、TP工法）を開発し、新日鉄住金(株)製鉄所構内をはじめとして多くの港湾鋼構造物に適用してきた²⁾。

本稿では、カバーの耐衝撃性評価やペトロラタムの油分残存率測定による期待耐久性評価、実曝露試験結果を通して、チタンカバーによる高耐久防食技術の有効性について報告する。

2. ペトロラタム被覆工法について

ペトロラタム被覆工法は、撥水性および電気絶縁性に優れたペトロラタム（原油蒸留残渣物から精製した石油ワックスに腐食抑制剤等を添加したもの）を主とした防食材を

* 日鉄住金防蝕(株) エンジニアリング事業部 技術部 開発グループ 千葉県君津市君津1番地 〒299-1141

鋼材面に密着させ、その上から保護カバーを取り付けて固定することで鋼材腐食因子を遮断する防食工法である。被覆対象は鋼管杭や鋼矢板、鋼管矢板などの港湾鋼構造物下部工が主であり、必要とされる素地調整が比較的簡単なうえ、新設、既設を問わず適用することが可能である³⁾。

鋼管杭に対する保護カバーの取り付け方法として、フランジタイプとフランジレスタイプが存在し、一般的にFRPカバーを適用する際はフランジタイプが多用される。一方、鋼矢板や鋼管矢板の壁面に対してはスタッドボルト付き帯板を介してカバーを固定するスタッドボルトタイプが適用される。ペトロラタム系防食材は、下塗り材であるペトロラタムペーストやペーストを不織布に含浸させたペトロラタムペーストテープと、ペトロラタムに充填剤や腐食抑制剤等を添加して防食効果を高めたペトロラタム防食テープを重ねて施工することにより防食材を構成させる^{4,5)}。

保護カバーは防食対象となる構造物の形状に合わせて予め加工され、一般的にはコストや加工性の面からFRPなどの樹脂製カバーが適用される(写真1)。しかし、紫外線による材料劣化や流木などの漂流物衝突による亀裂発生の恐れがあり、耐久性に懸念が持たれている。そこで、筆者ら



写真1 ペトロラタム被覆工法（FRPカバー）を適用した鋼管杭

Steel pipe pile applied the petrolatum lining method (FRP cover)

は海洋環境下においても優れた防食性を示すチタン（海洋環境腐食速度 $<0.001\text{ mm/year}^{6)}$ ）を保護カバーとして適用し、ペトロラタム被覆工法の更なる耐久性向上を目指すことを目的としてTP工法を開発した。

3. TP工法について

3.1 TP工法の構成と施工フロー

図1にTP工法の種類を示す。TP-1は鋼管にチタンカバーを取り付けた後、予め折加工が施された周方向両端部にチタン製鞘管を挿入して固定するという方法であり、TP-Wは抵抗溶接機を用いてチタンカバーのラップ部を溶接する方法である。

図2に鋼管杭のTP-1および鋼矢板のTP-SP、鋼管矢板のTP-SPPの構成を示す。ペトロラタム系防食材の上には、ペトロラタムの油分流出防止と気密性の向上を目的として遮水ラッピングシートが貼り付けられる。また、チタンカバーには発泡ポリエチレンを用いた緩衝材が取り付けられており、チタンカバー締め付け時の面圧によってペトロラタム系防食材を均一に押し付けることにより、隙間無く防食効果を発揮させることが可能となる。チタンカバーの厚みは、比較的施工が容易である鋼管杭については0.6mmとし、端部加工などに剛性が必要な鋼矢板および鋼管矢板の場合は1.0mmとした。

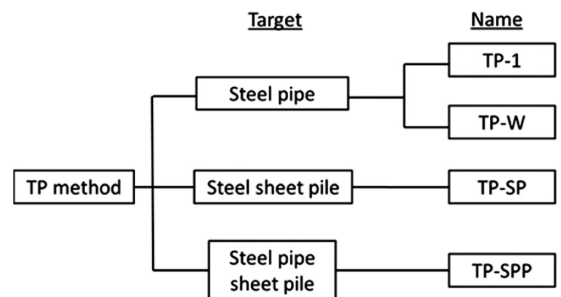


図1 TP工法の種類
Type of TP method

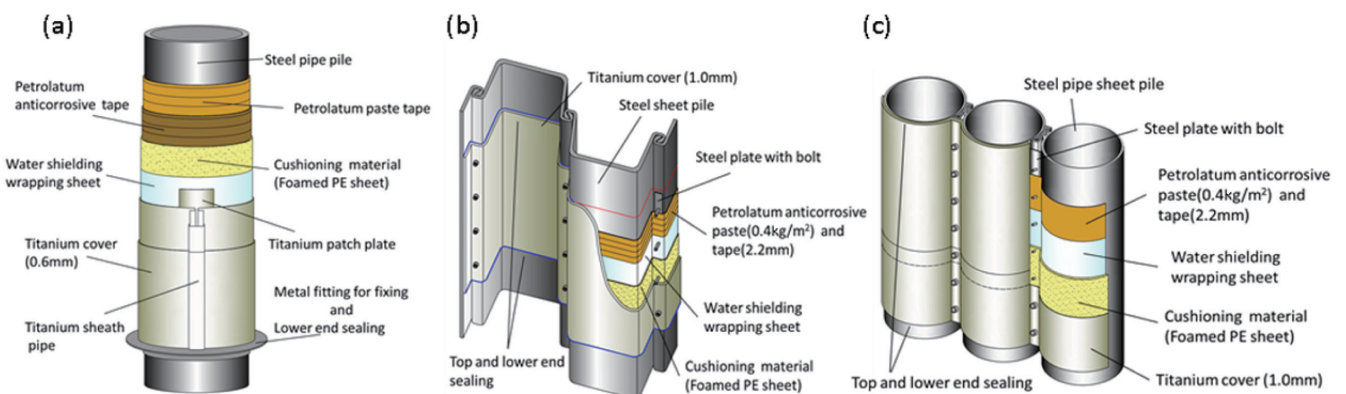


図2 TP工法の概要
(a) TP-1, (b) TP-SP, (c) TP-SPP
Overview of the TP method
(a) TP-1, (b) TP-SP, (c) TP-SPP

図3にTP-1の施工フローを示す。施工は主として複数人のダイバーで執り行う。被覆対象の周囲に足場を架設後、3種ケレンにより鋼材表面に付着した海生生物や積層錆、突起物などの除去を行う。鞘管取り付け時は、隙間が発生しないよう固定バンドでチタンカバーを強く締め付けた状態で実施する。チタンカバーの取り付け後は、カバーの上端および下端に水中硬化型エポキシパテを充填し端部シーリングを形成させる。TP-SPおよびTP-SPPも同様な施工の流れとなるが、TP-1やTP-Wと異なり、ボルトによってカバーの取り付けを行うため、ケレンによる付着物除去後にスタッドボルト付き帯鋼の溶接作業を行う必要があり、鋼管杭への被覆に比べ工程数が増加する。

3.2 落重式衝撃試験による耐衝撃性評価

チタン製保護カバーの開発にあたり、チタンの耐衝撃性を確認するべく落重式衝撃試験を実施した⁷⁾。図4および

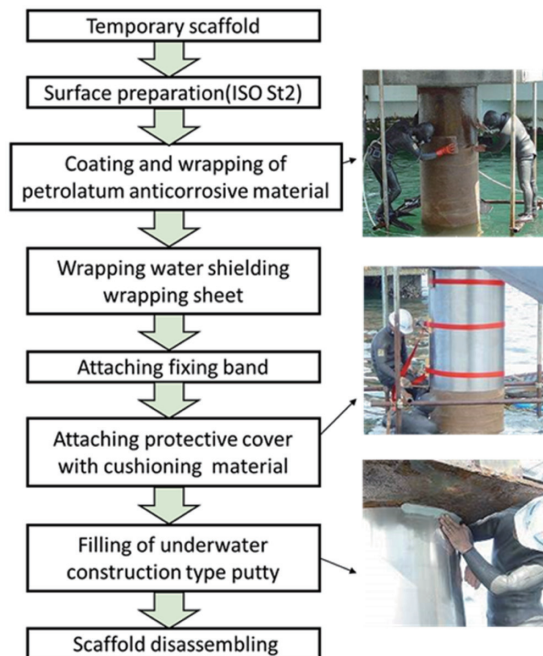


図3 TP-1（鞘管タイプ）の施工フロー
Work flow of TP-1 (sheath pipe type)

表1に試験体の概要および水準を示す。実環境を模擬し、スタッドボルトの付いた鋼板（400×900×16mmt, t:厚さ）上にペトロラタムテープ、発泡ポリエチレン緩衝材を積層し、保護カバーを設置した。保護カバーには、鋼管杭向けとして0.6mmtのチタン板と鋼矢板および鋼管矢板向けとして1.0mmtのチタン板を供試した。比較材として、未使用のFRP板と実環境下において25年曝露したFRP板（両者ともt=2.5mm）の2水準を供試した。衝撃エネルギーの付与には鋼製の撃芯（0.6kg, 60mm 径×50mm）に重り（30kg）を加えたものを使用した。耐衝撃性の評価は、カバー材に破損が生じていなければ鋼材の防食性能が担保できると考え、保護カバーの割れの有無を基準とし、外観目視およびピンホール検査による貫通欠陥、漏水の有無を確認した。

表2に衝撃エネルギーに対する割れの有無を、図5に試験後のカバー表面と裏面の様子を示す。表2より、未使用

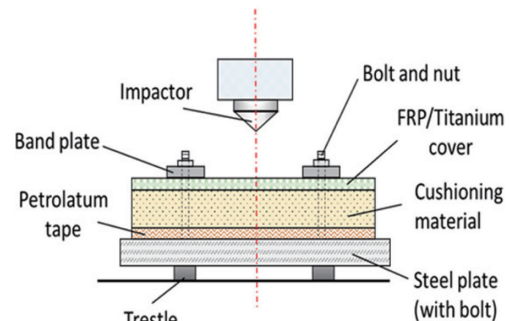


図4 衝撃試験の供試体概要
Test piece overview of impact resistance test

表1 カバー材の試験水準
Test level of cover material

Cover material	Thickness (mm)		
	Protect cover	Cushioning material	Petrolatum tape
Titanium	0.6	15.0	2.2
	1.0		
FRP	2.5		
FRP (exposure sample)			

表2 衝撃試験結果（亀裂有り：×，亀裂なし：○）
Result of the impact resistance test (with crack : ×, without crack : ○)

Test cover level	Impact energy (N・m)														
	5.0	10.0	15.0	20.0	30.0	50.0	70.0	100.0	120.0	140.0	150.0	200.0	300.0	400.0	500.0
Titanium cover (0.6mmt)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	○
Titanium cover (1.0mmt)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
FRP cover (2.5mmt)	○	○	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○
FRP cover (exposure sample)	○	×	×	○	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○

Impact energy	5.0 N・m		10.0 N・m		30.0 N・m		150.0 N・m	
Cover material	Front	Back	Front	Back	Front	Back	Front	Back
Titanium 0.6mmt								
Titanium 1.0mmt								
FRP 2.5mmt								
FRP 2.5mmt (exposure sample)								

図5 衝撃試験後における試験体の様子
Appearance of test piece after the impact test

のFRPカバーは15N・mの衝撃エネルギーで割れが発生していることがわかる。一方、チタンカバーの場合は150N・m（厚み0.6mm）および400N・m（厚み1.0mm）で割れが発生している。これより、FRPカバーの耐衝撃性に比べて、0.6mmtチタン材の場合は10倍、1.0mmtチタン材の場合は27倍の耐衝撃性を有することがわかる。また、チタンカバーの厚みによる耐衝撃性を比較すると、1.0mmtチタン材使用時は0.6mmtチタン材使用時に比べ2.5倍以上の耐衝撃性を有することがわかる。

未使用のFRP材と25年曝露したFRP材を比較すると、曝露材の割れ発生に要する衝撃エネルギー（10N・m）は未使用材の割れ発生に要する衝撃エネルギー（15N・m）に比べ2/3に低下していることがわかる。これより、FRPは長期曝露により物性が経時劣化すると予想できる。

図5より、150N・mの衝撃付与時におけるチタン板（0.6mmt）は、撃芯が衝突した部分が伸び変形しており、一部に割れが生じている。一方、30N・mの衝撃付与時におけるFRP板は撃芯が衝突した部分から広がるように割れが生じている。これは樹脂材料が脆性的に破壊するのに対し、金属材料が延性的に破壊する特性を持つことから、このような破壊形態が生じたと想定される。

以上の結果より、チタンカバーはFRPカバーに比べて耐衝撃性に優れており、長期的な防食効果の発揮が期待できる。

3.3 製鉄所構内におけるTP工法施工実績

表3に新日鐵住金製鉄所構内におけるTP工法の施工実績を、写真2に釜石製鉄所（TP-S）および名古屋製鉄所（TP-S）、鹿島製鉄所（TP-1）を示す。

2006年まではTP-1やTP-Wといった鋼管杭に対するTP工法の適用が主体となっていたものの、2007年からは鋼矢板向けとしてTP-SPの試験的施工が釜石製鉄所や名古屋製鉄所で開始されるようになった。また、2012年には鋼管矢板向けとしてTP-SPPの試験的施工が室蘭製鉄所で実施されており、港湾鋼構造物に対して幅広くTP工法が適用

表3 製鉄所構内におけるTP工法の施工実績
Construction results of TP method in ironworks

Time	Ironworks	Target	Number of piles	Diameter of pile (mm)	Construction area (m ²)	Amount of titanium (kg)
September 2001	Oita	Steel pipe pile (TP-1)	2	1016, 1500	20	100
September 2003	Yahata	Steel pipe pile (TP-1)	45	355 ~ 650	150	500
March 2006	Kimitsu	Steel pipe pile (TP-W)	8	508	30	112
September 2006	Kamaishi	Steel sheet pile	5	FSP-IV type	9	27
February 2007	Nagoya	Steel sheet pile	12	FSP-VL type	18	55
November 2007	Muroran	Steel sheet pile	6	FSP-III type	6	17
January 2010	Hirohata	Steel pipe pile	4	406	18	55
November 2012	Muroran	Steel pipe sheet pile	4	900	11	41
April 2013	Kashima	Steel pipe pile (TP-1)	8	800, 1000	63	187

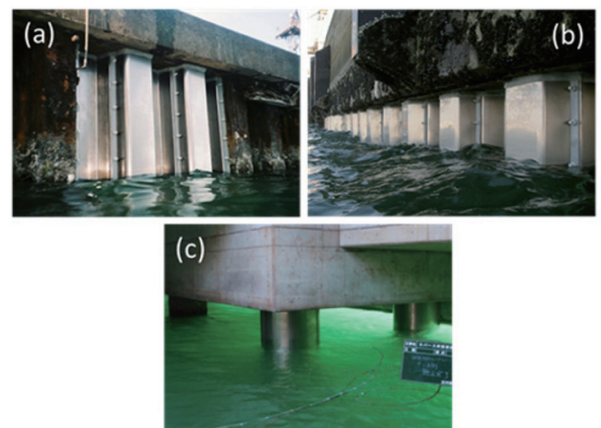


写真2 TP工法施工の様子 (a) 釜石, (b) 名古屋, (c) 鹿島
Appearance of TP method construction in ironworks
(a) Kamaishi, (b) Nagoya, (c) Kashima

されるようになった。

4. ペトロラタム被覆工法の期待耐久性評価

4.1 ペトロラタム被覆工法の劣化評価

ペトロラタム被覆工法の劣化は、外的要因と化学的要因に大別され、状況に応じて適切な維持管理が必要とされる。外的要因としては波浪や流木の衝突などが挙げられ、化学的要因としてはカバーの紫外線劣化や金属腐食などが挙げ

表4 ペトロラタム被覆工法の調査項目と調査内容⁸⁾
Survey items and contents of the petrolatum lining method

Items	Contents
Performance evaluation of the protective cover	Visual survey: Check whether the mounting loosening and cracks in part of the protective cover can be seen. Physical test: Carry out tensile test and bending test of protective cover material by JIS standards adapted to the material of the protective cover, and check the presence or absence of strength degradation.
Performance evaluation of the petrolatum-based anticorrosive materials	Physical test: Measure the petrolatum component residues of petrolatum-based anticorrosive materials, and check the presence or absence of performance degradation. It is acceptable to 80% or more as a guide.
Corrosion survey of steel	Wall thickness measurement: After removal of part or all of the protective cover and petrolatum-based anticorrosive material, measures the residual wall thickness of steel in nondestructive using ultrasonic thickness meter.

られる。

表4に港湾鋼構造物防食・補修マニュアルに記されているペトロラタム被覆工法の調査項目と調査内容を示す⁸⁾。一般的な定期診断の間隔は1～2年としており、点検・調査項目としては、取り付け部のゆるみやひび割れの有無など保護カバーに対する外観目視調査が主体となる。外観観察以外の調査としては、ペトロラタム系防食材の性能評価と鋼材の腐食調査が明記されており、特にペトロラタム系防食材については、水分や空気を遮断する性質を持つペトロラタムの変状の有無が鋼材防食に大きく寄与するため、常に健全な状態を保つことが必要である。

ペトロラタム系防食材の物性評価手法として、一定期間経過後におけるペトロラタム成分の残存量測定によって性能劣化の可否を判断する旨が記されており、同マニュアルではペトロラタム成分の残存率が80%以上であることを可としている。

4.2 ペトロラタム形防食材に及ぼす温度の影響

4.1項で記したように、ペトロラタム被覆工法の耐久性に及ぼす要因として、ペトロラタム成分の残存率（以下、油分残存率）の低下が挙げられる。油分残存率の低下は、ペトロラタム系防食ペーストの融点（40℃）⁹⁾やペトロラタム系防食テープの耐熱流下温度（60℃）⁹⁾の超過による表面変状が起因している。そのため、防食材の温度が少なくとも40℃を超える場合はペトロラタムの表面変状に影響を及ぼすと考え、実環境におけるFRPカバーとチタンカバーの裏面温度を測定した。

図6に8月名古屋地区におけるカバー工法裏面温度を示す。当月の平均最低気温は24.9℃であり、平均最高気温は33.2℃であった。図6より、チタンカバー適用時は13時から16時にかけて40℃付近でほぼ留まっているのに対し、FRPカバー適用時は14時～16時に50℃以上まで達していることがわかる。この結果より、FRPカバー適用時の方が油分残存率の低下に与える影響が大きくなると想定される。

4.3 実験室試験と実曝露試験による油分残存率測定

4.3.1 実験室試験

4.2項を受け、実験室環境にて回転浸漬試験を考案し実

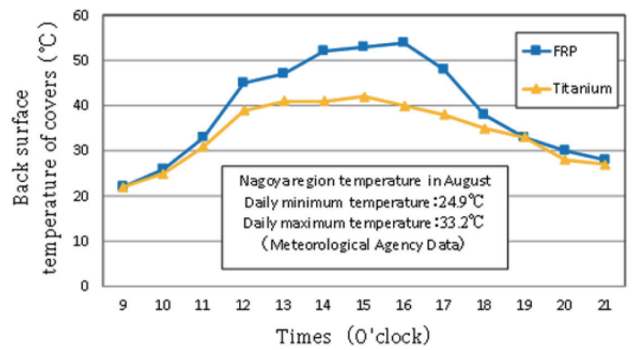


図6 8月名古屋地区における保護カバー裏面温度
Temperature of protective cover backside in August Nagoya region

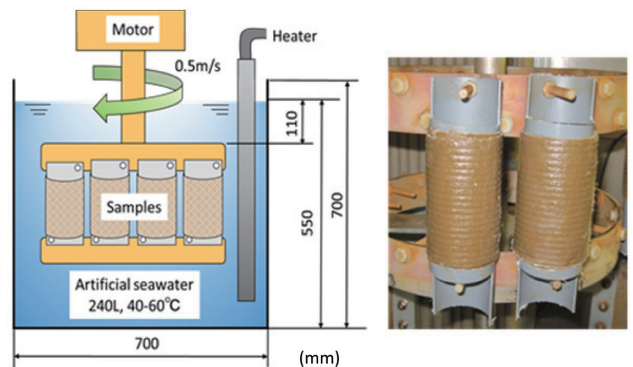


図7 回転浸漬試験概要
Overview of rotation immersion test

施した。当試験は、一定温度域の人工海水中でペトロラタムテープの裸材に対して回転を付加し、表面からの水分浸透によりペトロラタムの劣化を促進させることで、試験前後における劣化度合いを把握した。また、ペトロラタムテープへの遮水機能付与として、ラッピングシートの適用を見据えた期待耐久性評価を行い、その有意性を確認した。

図7に回転浸漬試験の概要とサンプル写真を示す。当試験では40℃、50℃、60℃に調節した人工海水中に塩化ビニール管に巻き付けたペトロラタムテープを浸漬させ、モーターにより一定速度（0.5m/s）で回転させた。試験期間は30日および90日とし、回転浸漬後の供試体は港湾鋼構造物実務ハンドブックに基づき、ペトロラタムの油分残存率を測定した⁹⁾。

4.3.2 実曝露試験

実環境においてペトロラタム被覆工法が適用されている鋼管杭のうち、FRPカバーを適用している三河（21年経過）¹⁰⁾および波崎（18年経過）¹¹⁾と、チタンカバーを適用している鳴門（10年経過）および秋田（5年経過）について、現地曝露材からペトロラタムテープを採取し、実験室試験と同様に油分残存率を測定した。なお、この4本の鋼管杭に適用したペトロラタム被覆工法には遮水ラッピングシートは適用していない。

4.4 TP 工法の期待耐久性推定

図8に実験室試験における油分残存率の経時変化を示す。横軸には熱履歴時間を $\sqrt{t}$ として示した。熱履歴時間は、カバー裏面温度がペトロラタムの変状に影響を及ぼすと想定される温度域(40℃以上)の合計時間であり、実験室試験は試験開始から一定温度であるため、試験時間=熱履歴時間とした。各温度における油分残存率の変化は図8中の比例式のように表すことができ、60℃の場合、最も減衰が大きいことがわかる。また、50℃においてラッピングシートを適用した際の油分残存率をプロットした結果、その劣化挙動と40℃におけるラッピングシート無しの劣化挙動が同等であることがわかる。このグラフを耐久性評価のモデルとし、各式の延長線上に実曝露試験による油分残存率の測定結果を反映させた。

図9に実験室試験と実曝露試験におけるペトロラタム熱履歴時間に対する油分残存率の経時変化を示す。実曝露試験における熱履歴時間に対する考え方は、カバー裏面温度が40℃以上に至ると考えられる天候条件(晴天時、25℃以上)を気象庁のデータから洗い出し、その合計時間を熱履

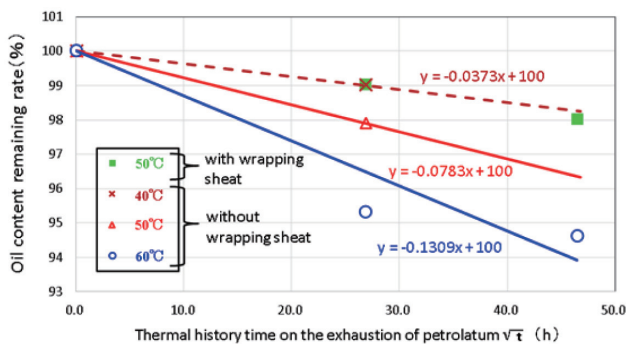


図8 実験室試験における油分残存率の経時変化
Changes with time of the oil remaining rate in laboratory test

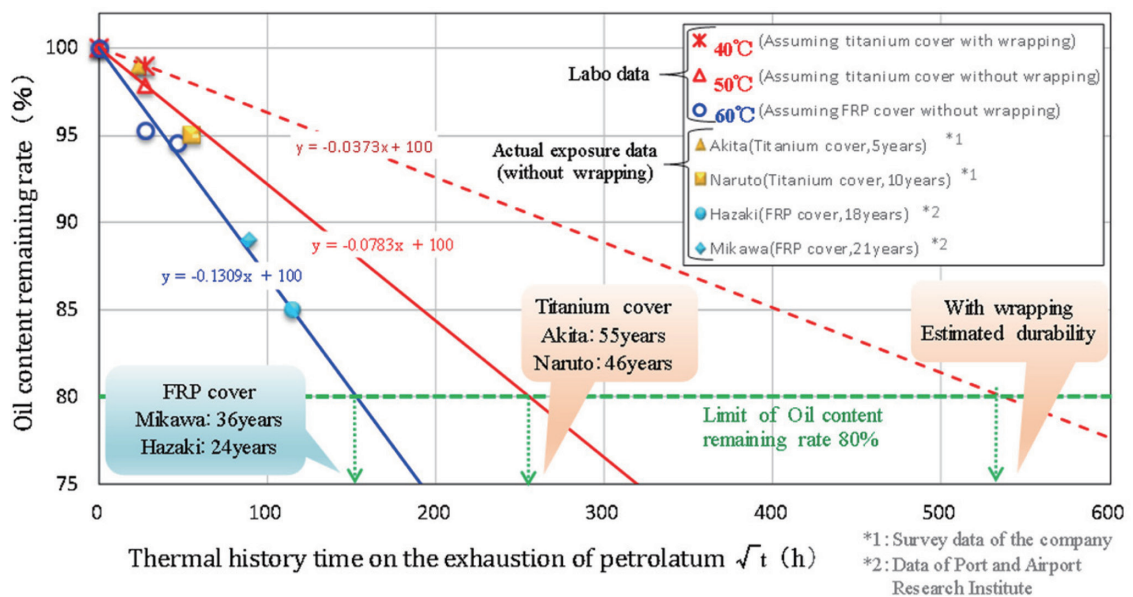


図9 実験室試験と実曝露試験における油分残存率から評価した期待耐久性
Expected durability that is evaluated from the oil remaining rate of laboratory test and actually exposure test

歴時間としている。図9より、FRPカバーを用いた三河および波崎のプロットは実験室試験における60℃近似線の延長上に位置することがわかる。一方、鳴門および秋田のプロットは、50℃近似線の延長上に位置することがわかる。

以上の結果とカバーによって裏面温度に差異があることを考慮すると、実験室試験の60℃における油分残存率の変化をFRPカバー適用時の油分残存率経時変化の線と推定することができ、50℃における油分残存率の変化をチタンカバー適用時の油分残存率経時変化の線と推定することができる。

この油分残存率の経時変化と、油分残存率の可否の閾値(80%)⁹⁾との交点から得られる熱履歴時間より、両カバー適用時における期待耐久性を算出した。その結果、FRPカバー適用時は期待耐久性が約30年であるのに対して、チタンカバー適用時は約50年であることがわかる。これより、チタンカバーを適用したペトロラタム被覆工法は、FRPカバー適用時に比べ1.5倍以上の耐久性が期待できる。

50℃および60℃で推定した耐久性は、実曝露試験にラッピングシートを適用していないことから、ラッピングシート未使用時の耐久性と仮定することができる。また、ペトロラタムにラッピングシートを巻き付けると気密性が増すため、カバー裏面温度の影響はより受けにくくなると推察される。以上の推察と50℃ラッピングシート有りの油分残存率の劣化挙動と40℃ラッピングシート無しの劣化挙動が同等であることを考慮すると、40℃の実験室試験データ(破線)はラッピングシート有りの場合と仮定することができ、ラッピングシートを使用した場合は使用しない時に比べて更なる耐久性の増加が見込まれる。現状、ラッピングシートを適用した実曝露試験体の油分残存率測定実績は少数であるため、今後測定数を増加していくことにより、本試験

結果の信頼性を得ることができると思われる。

5. 波崎曝露試験29年の結果について

実験室試験および実曝露試験から得られた期待耐久性評価結果の信頼性を確認するため、ペトロラタム被覆工法が適用された鋼管杭におけるペトロラタムペーストと鋼材表面の状態を観察した。写真3は港湾空港技術研究所の所有する波崎海洋研究施設¹²⁾の写真である。日本一の規模を誇る観測用栈橋を持ち、荒天時は非常に厳しい腐食環境下となるため、多くの試験体が曝露試験として供試されている。本評価で用いた試験体は、29年間曝露されたFRPカバーおよびチタンカバーを用いたペトロラタム被覆工法適用鋼管杭である。外観観察箇所は両鋼管杭における干満帯部とした。

図10にペトロラタムペーストと鋼材表面の状態写真を示す¹³⁾。チタンカバーを適用した場合、ペトロラタムペーストは全体的に黒色を示しており、過去の知見¹⁴⁾より良好な変状であると判断できると共に、鋼材面にも発錆などは見られなかった。一方、FRPカバーを適用した場合は、ペ



写真3 波崎海洋研究施設¹²⁾
Hazaki Oceanographical Research Station

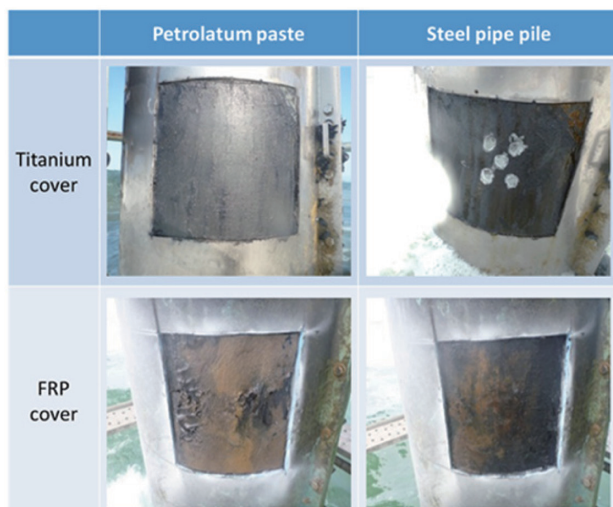


図10 波崎海洋研究施設における曝露試験結果¹³⁾
Result of exposure test in Hazaki Oceanographical Research Station

トロラタムペーストが部分的に錆び色を示しており、鋼材表面からは発錆が見られた。

以上より、チタンカバーの内装防食材はFRPカバーに比べ耐久性に優れており、図9に示した耐久性評価は概ね信頼できるものであると考える。

6. 結 言

ペトロラタム被覆工法における防食材の保護カバーとして、耐衝撃性、耐食性に富むチタンを適用し、製鉄所構内の栈橋や岸壁下部工に対する試験的施工を実施してきた。以下に種々試験を通して得られた知見を示す。

- (1) FRPカバーの耐衝撃性と比較して、0.6mmチタン材の場合は10倍、1.0mmチタン材の場合は27倍の耐衝撃性を有する。
- (2) 実環境におけるFRPカバーとチタンカバー裏面温度測定の結果、FRPカバー適用時の温度の方が高いため、防食材に与える影響も大きいと予想される。
- (3) ペトロラタムの油分残存率から算出した期待耐久性評価より、チタンカバー適用時はFRPカバー適用時に比べ1.5倍以上の耐久性が期待できる。
- (4) 波崎29年曝露試験より、チタンカバー適用時はペトロラタムペーストの変状と鋼材の発錆が見られなかったのに対し、FRPカバー適用時は変状と発錆が見られた。

以上より、チタンカバーは長期耐久性に優れているため、本工法が高耐久防食技術として広く普及していくことを期待する。

参考文献

- 1) 守屋進：Structure Painting. 35 (1), 12 (2006)
- 2) 坂本宏司 ほか：チタン. 58 (2), (2010)
- 3) 沿岸技術研究センター：港湾鋼構造物防食・補修マニュアル. 初版, 2009, p.46
- 4) 日本規格協会：JIS Z 1903 ペトロラタム系防食ペースト
- 5) 日本規格協会：JIS Z 1902 ペトロラタム系防食テープ
- 6) 石井満男 ほか：新日鉄技報. (371), 102 (1999)
- 7) 齋所広之 ほか：土木学会年次学術講演会講演概要集. 66, 1193 (2011)
- 8) 沿岸技術研究センター：港湾鋼構造物防食・補修マニュアル. 初版, 2009, p.246
- 9) 防食・補修工法研究会：港湾鋼構造物 実務ハンドブック付録. 2013, p.61
- 10) 山路徹 ほか：第28回防錆防食技術発表大会. 2008, p.45
- 11) 宮田義一 ほか：港湾空港技術研究所資料. No.1123, 2006
- 12) 港湾空港技術研究所 HP <http://www.pari.go.jp/>
- 13) 山路徹 ほか：港湾空港技術研究所資料. 2016
- 14) 鋼管杭の防食法に関する研究グループ：海洋構造物の防食技術. 初版, 技報堂出版, 2010, p.89



橋本凌平 Ryohei HASHIMOTO
日鉄住金防蝕(株)
エンジニアリング事業部 技術部
開発グループ
千葉県君津市君津1番地 〒299-1141



我那覇康彦 Yasuhiko GANAHA
日鉄住金防蝕(株)
エンジニアリング事業部 技術部
開発グループ



今井篤実 Atsumi IMAI
日鉄住金防蝕(株)
エンジニアリング事業部 技術部
開発グループリーダー 博士(工学)



川瀬義行 Yoshiyuki KAWASE
日鉄住金防蝕(株)
エンジニアリング事業部 技術部長



今福健一郎 Kenichiro IMAFUKU
鉄鋼研究所 材料信頼性研究部
耐食・腐食グループ 主幹研究員



古川正典 Masanori FURUKAWA
大分製鉄所 設備部 土建水室長