

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1402 March 2022

ペトロラタム被覆防食工の耐久性に関する検討

西田孝弘, 山路徹, 橋本永手, 川瀬義行, 志鶴真介, 一瀬拓也, 今井篤実, 小林厚史, 吉田 倫夫

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

National Institute of Maritime,
Port and Aviation Technology, Japan

目 次

1. はじめに	4
2. 室内試験	4
2.1 促進試験の概要（60℃温海水回転浸漬試験）	4
2.1.1 試験体の概要	4
2.1.2 ペトラタムテープの仕様	5
2.1.3 検討水準	5
2.1.4 試験方法	6
2.1.5 評価項目	7
2.2 試験結果	8
2.2.1 外観観察	8
2.2.2 油分残存率	10
2.2.3 絶縁抵抗率	11
2.2.4 ペトラタムテープの化学分析（FT-IR）	11
2.2.5 ペトラタムテープの分子量分布測定（GPC）	12
2.3 まとめ	13
3. 屋外曝露試験	13
3.1 屋外曝露試験の概要	13
3.1.1 試験体の概要	13
3.1.2 試験項目	14
3.2 試験結果	14
3.2.1 外観観察	14
3.2.2 鋼管の外観観察（ペトラタムペーストテープ撤去後）	15
3.2.3 鋼管の肉厚測定	15
3.2.4 保護カバー内温度の経時変化	15
3.2.5 油分残存率	16
3.2.6 ペトラタムペーストテープの化学分析（FT-IR）	17
3.2.7 ペトラタ被覆材の劣化	21
3.3 波崎海洋研究施設での30年詳細調査結果の再分析	22
3.3.1 概要	22
3.3.2 既報での報告内容	22
3.3.3 ペトラタム性能の再分析の視点	22
3.3.4 波崎海洋研究施設でのデータの再分析結果	22
3.4 まとめ	23
4. 劣化進展メカニズム及び維持管理手法の提案	24
4.1 調査・試験結果の総括	24
4.2 ペトラタム被覆防食工の劣化進展メカニズムの推定	25
4.3 劣化進展メカニズムを考慮した維持管理手法	26
5. おわりに	27
参考文献	27

Investigation for Durability of Corrosion Prevention by Petrolatum Lining

Takahiro NISHIDA*

Toru YAMAJI**

Nagate HASHIMOTO***

Yoshiyuki KAWASE****

Shinsuke SHIZURU****

Takuya ICHINOSE****

Atsumi IMAI****

Atsushi KOBAYASHI****

Michio YOSHIDA****

Synopsis

In this paper, the degradation mechanism of petrolatum-coated anticorrosion system and the effective evaluation method of petrolatum-coated anticorrosion materials were discussed. In addition, the degradation progress mechanism on steel under petrolatum coating was investigated and the maintenance management method considering the mechanism was proposed. The following findings were obtained.

- The oil flow of petrolatum-based anticorrosion coating occurs from the beginning of installation due to the external pressure at the time of installation of the protective cover and the internal pressure caused by the unevenness of the steel. The flow is accelerated by heat input such as sunlight, and moves and flows out along the grain of the base fabric. It is inferred that the deterioration of the corrosion protection function during service starts at the edge and butt of the protective cover, and that the former is caused by cracks and peeling of the edge seal, while the latter is caused by the oil deflection of the petrolatum anticorrosion material due to loosening of bolts and sunlight.
- Since the deterioration of the corrosion protection function of the petrolatum coating is selective and partial, it is important to observe the joints and butt joints of the protective cover, which are the starting points of the corrosion protection.
- The degradation mechanism of petrolatum-coated anticorrosion works is estimated to be as follows: the oil content of petrolatum-based anticorrosion materials fluctuates from the initial stage of installation, and the oil content fluctuation is accelerated by sunlight during the service process. Therefore, we proposed to measure the trend of the oil content in petrolatum corrosion inhibitors from the initial stage to the middle of service to confirm the trend of the oil content fluctuation, and to measure the insulation resistance after the middle of service to predict the degradation trend and the lifetime of the corrosion inhibitor. In addition, the insulation resistance of $10^5 \Omega\text{-m}^2$ was proposed as an index of the insulation resistance of soundness in this study.

Key Words: Port structure, corrosion protection, petrolatum lining, accelerated test, exposure test, deterioration process

* Senior Researcher, Materials Group, Structural Department

** Director, Structural Department

*** Researcher, Materials Group, Structural Department

**** Japan Association of Cathodic Protection

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5013 Fax : +81-46-844-0255 e-mail:yamaji-t@p.mpat.go.jp

ペトロラタム被覆防食工の耐久性に関する検討

西田 孝弘*・山路 徹**・橋本 永手***・川瀬 義行****・志鶴 真介****・
一瀬 拓也****, 今井 篤実****, 小林 厚史****, 吉田 倫夫****

要 旨

本稿では、ペトロラタム被覆防食工の劣化進展メカニズムや、ペトロラタム被覆防食材の有効的評価手法を検討し、今後の維持管理へ繋げることを目的として、既往の文献データを整理するとともに、室内試験および屋外曝露試験を実施し、結果をまとめた。さらに、ペトロラタム被覆防食工の劣化進展メカニズムを示すとともに、それを考慮した維持管理手法を提案した。以上の結果より、以下の知見を得た。

- ・ ペトロラタム被覆防食工は、保護カバー設置時の外圧と鋼材の凹凸に伴う内圧の影響で、設置当初からペトロラタム系防食の油分流動が発生している。当該流動は日照等の入熱作用で助長し、基布の目に沿って移動、流出する。供用中の防食機能低下の起点は保護カバーの端部や突き合わせ部であり、前者は端部シールの亀裂・剥離部に、後者はボルトの緩みや日照影響によるペトロラタム系防食材の油分偏肉部により、基布の目に沿いながら部分的に水分が鋼材まで達し腐食する水分浸透形であることが推察された。
- ・ ペトロラタム被覆防食工の防食機能低下は、選択的かつ部分的であるため、起点となる保護カバーの継ぎ目や突き合わせ部の観察が重要となることが分かった。
- ・ ペトロラタム被覆防食工の劣化メカニズムの推定より、ペトロラタム系防食材は設置初期から油分残存率の変動し、供用過程での日照影響等で油分変動が助長されながら水分の浸透により防食機能は低下する。このことから、初期から供用中期ではペトロラタム系防食材の油分変動の動向を確認するための油分残存率傾向を、供用中期以降では防食性能による劣化傾向と寿命予測が可能と思われる絶縁抵抗測定を提案した。また健全性の絶縁抵抗率の指標として、本研究成果としては絶縁抵抗 $10^5 \Omega \cdot m^2$ を提案した。

キーワード：港湾鋼構造物，防食工，ペトロラタム被覆，促進試験，曝露試験，劣化進展

* 構造研究領域 材料研究グループ 主任研究官
** 構造研究領域 領域長
*** 構造研究領域 材料研究グループ 研究官
**** 電気防食工業会
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5013 Fax：046-844-0255 e-mail: yamaji-t@p.mpat.go.jp

1. はじめに

港湾鋼構造物は、高度成長期に集中的に建設された施設が50年を経過し、効率的に維持し、計画に基づいた更なる長期運用が期待されている。維持管理を実施する上で、防食工の劣化進展メカニズムや耐久性を把握することは、その後の維持管理の方向性を明確にするために必要不可欠である。現有する防食工においては、波崎海洋研究施設の観測栈橋や大井川沖での曝露試験にて、ほぼ30年の実環境耐久性が把握されつつある。この中で、ペトロラタム被覆防食工においては、保護カバーの特性評価や内部防食材のペトロラタムの健全性評価において、いまだ有効的な手法が確立されておらず、劣化進展メカニズムや耐久性が不明確である。

上記を鑑み、室内環境におけるペトロラタムの基礎的な劣化進展メカニズムを解明すると共に、油分残存率と種々測定値の相関を明確にすることを目的として、港湾空港技術研究所と電気防食工業会との共同研究により、ペトロラタムの耐久性に関連する検討を進めることとなった。

本稿では、ペトロラタム被覆防食工の劣化進展メカニズムや、ペトロラタム被覆防食材の有効的評価手法を検討し、今後の維持管理へ繋げることを目的とする。特に、ペトロラタム被覆防食工に関する課題としては以下に挙げる項目が考えられ、本稿では、上記の共同研究の成果として、これらに関する試験結果に関してまとめる。

- (1) ペトロラタム被覆防食工の耐久性の評価
- (2) ペトロラタム被覆防食工の劣化進展メカニズム
- (3) ペトロラタム被覆防食材の評価手法

2. 室内試験

2.1 促進試験の概要（60℃温海水回転浸漬試験）

現在、ペトロラタム被覆防食工における耐久性評価手法として、保護カバー内部の防食材であるペトロラタムテープの油分残存率測定が行われている。30年におよぶ波崎海洋研究施設での曝露試験の調査では、油分残存率と相関があると想定された鋼材の腐食傾向やテープの含水率、絶縁抵抗などを測定したものの、明確な相関は認められなかったと報告されている¹⁾。

ここでは、上記の結果を確認・検証するため、劣化促進試験の一つである60℃温海水回転浸漬試験を実施する。以下にその試験概要を記す。

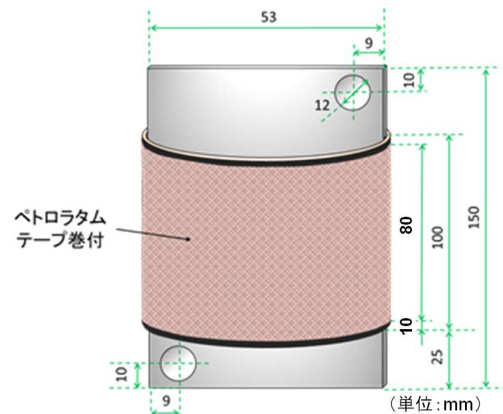


図-1 供試体の概要



図-2 試験体製作フロー

2.1.1 試験体の概要

試験体（鋼材）の概要を図-1に示す。試験は2016年8月から2018年6月の間に実施した。試験体は、実環境における鋼管杭を模擬するため鋼管（SGP配管用炭素鋼管、黒管、50A×100mm）を使用し、この外面にペトロラタムテープを巻付けることが可能な構造とした。試験体の作製フローを図-2に示す。鋼管内には固定用の穴（φ12×2）を設けた鋼板（SS400、53×150×3.2mm）を挿入して溶接した。テープを巻付ける評価面（鋼管外面）以外の鋼材面（鋼板および鋼管内面）は、酸洗処理（クエン酸アンモニウム）によって洗浄した後、流動浸漬塗装（NTAC-3G、日鉄防食製）による防食加工を施すことで、

流れ錆が評価面に影響を及ぼすことのない様にした。また、鋼管内面に対しては塩水の侵入による錆の発生を極力防ぐため、上下開口部をエポキシ樹脂系のパテ材（パーミクロンガードH、ビーオーケミカル製）を用いてシールした。テープを巻き付ける評価面はブラスト処理により黒皮を除去した後、ペトロラタムテープ巻付け時の境界面を明確にするため、両端10mmに塗装を施した（アロマエース、日塗化学製）。ブラスト処理時における研削材の仕様を表-1示す。本ブラスト処理はテーブル式ショットブラスト装置で実施した。スチールグリッド系研削材の投射時間は15分とし、除錆度がISO8591-1で定められたSa2・1/2以上であることを確認した。

ブラスト後の試験体は、曝露架台に垂直に取り付け、およそ14日間の屋外大気曝露を実施し、初期錆を発生させることで2種ケレン後の鋼管杭を模擬した。屋外大気曝露時の状況を図-3に示す。なお、屋外大気曝露期間中に降雨が少なく、均一な錆の発生が確認されないため、水道水を試験体全体に噴霧することで錆の発生を促進させた。屋外大気曝露後は電磁膜厚計を用いて錆厚を計測し、全面的な初期錆の発生を確認した後、ペトロラタムテープの巻き付けを行った。

2.1.2 ペトロラタムテープの仕様

試験体に用いるペトロラタムテープの種類を表-2に示す。本試験では、代表的なペトロラタム材料メーカー2社（N社、Y社）のペトロラタムテープを使用する。ペトロラタムテープは大別してJIS Z 1902「ペトロラタム系防食テープ」を満たすテープ（以下、防食テープ）と、JIS Z 1903「ペトロラタム系防食ペースト類」を満たすペーストを不織布に含浸させたテープ（以下、ペーストテープ）の2種類を対象とする^{2), 3)}。

2.1.3 検討水準

試験体の検討水準を表-3に示す。また、各試験ケースの概要を以下に示す。

- ① 試験で用いる既定油分量に対する割合は、ペーストテープ、防食テープともに既製品（油分量100%）ものを標準とした。
- ② 防食テープの有無は、ペーストテープのみを鋼材に巻付けた際とペーストテープの上に防食テープを追加で巻付けた際において、試験後の状態の違いを評価する。ペーストテープのみ試験体を図-4に、ペーストテープ+防食テープ試験体を図-5に示す。
- ③ タンニン酸の有無は、ペトロラタムテープの防食性能に寄与すると言われている。タンニン酸の添加によって、テープ表面や鋼材面の状態に及ぼす変化を評価する。なお、タンニン酸の有無は製造会社に依

表-1 研削剤の仕様

項目	規格
品名	IKK スチールグリット
種別/記号	ディスクレーシング用/TGD
硬さ	570-690 HV1
粒度	S-G 70 (JIS G 5903)



図-3 大気曝露状況

(上：曝露開始時 下：曝露14日後)

表-2 ペトロラタムテープの仕様

	名称	種類・規格
N社	ペーストテープ	ペトロラタム系防食ペーストを基布に含浸【JIS Z 1903(2種)】
	防食テープ	ペトロラタム系防食テープ2種Aタイプ【JIS Z 1902】
Y社	ペーストテープ	ペトロラタム系防食ペーストを基布に含浸【JIS Z 1903(2種)】
	防食テープ	ペトロラタム系防食テープ2種Aタイプ【JIS Z 1902】

表-3 試験体の検討水準

No.	特徴	備考		
①	既定油分量に対する割合	ペーストテープ 100% 防食テープ 100%		
②	テープの種類	ペーストテープ	防食テープ	ペーストテープ+防食テープ
③	タンニン酸の有無	有	無	
④	偏肉の有無	有	無	
⑤	上端部シールの有無	有	無	

存しており、N社は有り、Y社は無しのパetroラタムテープである。

- ④ ペトロラタム被覆防食材の上からFRP保護カバーを取付ける際、フランジ部においてテープが内側に圧縮され部分的な偏肉が現れることから、均一な肉厚時と偏肉がある状態の差異を評価する。本試験では図-6に示すように、試験体の両端から10mmをステンレス鋼製リングで締め付けることにより、偏肉の状態を模擬した。
- ⑤ 上端部シールの有無は、ペトロラタムテープ上端から水分の浸入を完全に防いだ場合の内部や下端部

からの水分浸透度合いを評価する。図-7に示すようにテープを巻付けた後、上端部10mmをエポキシパテでシールした。

2.1.4 試験方法

ロール状のペーストテープおよび防食テープから90×200mmの試料を切出し、予め質量を計測する。大気曝露試験において均一な錆を発生させた鋼材も同様に質量を計測し、これにペーストテープおよび防食テープを巻付けたものを試験体とする。テープを巻付ける際は、テープと鋼材の隙間が無いよう密着させて巻付けた。



図-4 ペーストテープ試験体



図-5 ペーストテープ+防食テープ試験体

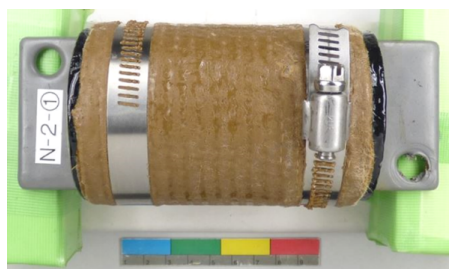


図-6 偏肉の再現試験体



図-7 上端部シール試験体

表-4 60℃温海水回転浸漬装置の構成

装置の構成	型番・メーカー	仕様	試験条件
回転浸漬装置 (外装・試料取付部)	—	材質:ステンレス鋼	人工海水 240L
回転モーター	—	試料取付部:32体取付可能	軸回転速度 0.5m/s
投込みヒーター (調節器付)	SWB1115 八光電機	材質:ステンレス鋼	海水温60℃
エアーポンプ	C-5BN アズワン	ポンプからホースを通して ステンレスパイプを海水浸漬	送気量 5L/min

60℃温海水回転浸漬装置の構成を表-4に、当該試験の概要を図-8および当該試験の運転状況を図-9に示す。当該試験は60℃の人工海水に浸漬させた試験体を0.5m/sの軸回転速度で30日間、45日間、60日間、90日間および120日間回転させる。当該装置は、1回の試験で最大32体（上段・下段16体ずつ）の取付けが可能であり、取付けの際には試験体2箇所をステンレスボルト（M8×40）で固定した。ポンプを用いて5L/minの送気を行い、常に酸素が供給される環境とした。人工海水の水位は一定（240L）とし、蒸発等により減少した分は純水を追加した。

2.1.5 評価項目

(1) 外観観察

外観観察では、各水準の代表的な試料の変状や変色をとらえ、種々測定値との相関を明らかにするため、ペトロラタムテープと鋼材それぞれの表面を観察した。

(2) 油分残存率測定

① 測定方法

ペトロラタム被覆防食材を構成する防錆油分の消耗度を評価する。測定方法および油分残存率の算出については、実務ハンドブック⁴⁾および実務ハンドブック付録編⁵⁾を参考とした。以下に測定方法を示す。

- 1) 23±2℃において24h乾燥させた試験体からテープを取り外し、80×80mmのサイズにカット（切出し位置は図-10参照）した後、電子天秤を用いて各々の質量 W_a (g)を測定する。
- 2) 切り出した試料を溶剤中に浸漬させ、防食材の油分を除去する。油分除去後、再度試料質量を計測する。
- 3) 試料質量の変化がなくなるまで（不織布のみとなり、油分が完全に除去されるまで）2)の作業を繰り返す。このときの質量（不織布質量）を W_b (g)とする。
- 4) W_a および W_b より、以下の式を用いて油分残存率を算出する。

$$\text{油分残存率（従来法）（\%）} = \frac{W_a - W_b}{W_0 - W_b} \times 100$$

W_0 ：製造時における100×100mm当たりの防食材質量（g）

なお、本評価ではペトロラタム被覆防食材は一定寸法での試験体となることから、不織布質量を考慮しない下記式（簡易法）において油分残存率を算出した。従来法と差異は2%程度と小さいことを確認した。（詳細は後述）

$$\text{油分残存率（簡易法）（\%）} = \frac{W_a}{W_c} \times 100$$

W_c ：新品防食材の100×100mm当たりの規格質量（g）

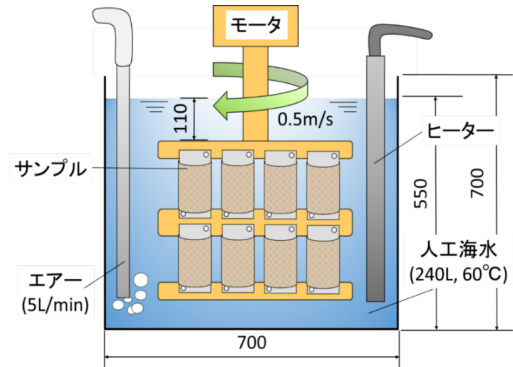


図-8 試験の概要



図-9 60℃温海水回転浸漬試験運転状況

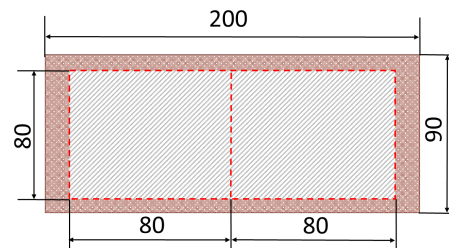


図-10 ペトロラタムテープ評価部の切出し

ここで新品防食材の100×100mm当たりの規格質量とはカタログ値（メーカーの示す基準値）を示し、N社製Y社製共に W_c を14.0gとしている。但し、本試験では回転浸漬前に試料質量を計測しているため、両方法とも試験前質量 W_0 を用いて油分残存率を算出する。なお、試験時のテープの大きさは90×200mmのため、80×80mmの質量に換算した値を用いた。

② 劣化判定基準

劣化判定の基準は港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル⁶⁾に従い、80%以上の油分残存率を劣化度判定の目安とした。

(3) 絶縁抵抗測定

① 測定方法

JIS Z 1902「ペトロラタム系防食テープ」³⁾に規定された絶縁抵抗測定法に従い、防食テープの絶縁抵抗を測定した。測定方法を図-11および以下に示す。

- 1) 250×250mmのみがき鋼板（厚み1.5～2.0mm）上

に 200×200mm の試料を 2 層重ねて張り付け (2 種 A タイプの場合), 表面を均一にする。

- 2) 導電性接着剤 (NaCl 溶液+ CMC) を電極 (50×50mm, アルミ箔) およびガードリングに塗布し, 防食テープ表面に張り付ける (図-11 参照)。
- 3) 絶縁抵抗計の接地(-)端子に鋼板を, ライン(+)端子に電極を, ガード端子にガードリングをそれぞれリード線で接続する。
- 4) 鋼板と電極間に 500V の直流電圧を印加し, 1 分後の抵抗値 R を読み取る。
- 5) 以下の式に従い, 絶縁抵抗の読み値 R と電極の面積 A より絶縁抵抗 W を算出する。

$$\text{絶縁抵抗 } W (\text{M}\Omega \cdot \text{m}^2) = R (\text{M}\Omega) \times A (\text{m}^2)$$

②劣化判定基準

JIS Z 1902「ペトロラタム系防食テープ」より, $1.0 \times 10^2 \text{ M}\Omega \cdot \text{m}^2 (= 1 \times 10^8 \Omega \cdot \text{m}^2)$ 以上の絶縁抵抗率を劣化度判定の目安とした。

(4) ペトロラタムテープの化学分析 (FT-IR)

ペトロラタムテープの FT-IR 分析は, ペトロラタムテープの表側を用いて分析を行った。パーキンエルマー社製の FT-IR 分光器を用いて ATR 法 (全反射法) でペトロラタムテープの分析を行った。

(5) ペトロラタムテープの分子量分布測定 (GPC)

ゲル浸透クロマトグラフ分析 (GPC) により, ポリスチレン (PS) 換算分子量分布を算出する。測定(分析)方法の詳細を表-5 に示す。

2.2 試験結果

2.2.1 外観観察

ペトロラタムテープの 60℃温海水回転浸漬試験の浸漬試験日数における外観観察水準を表-6 に示す。

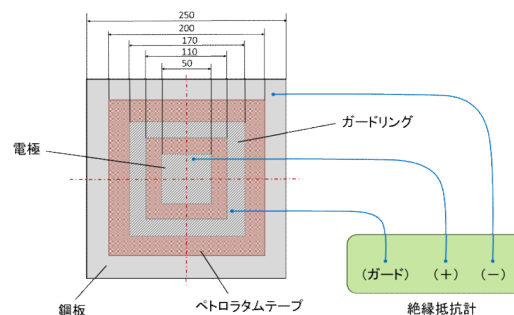


図-11 絶縁抵抗測定の概要

表-5 ゲル浸透クロマトグラフ分析の分析仕様

装置	東ソー(株)製 HLC-8320GPC
カラム	Shodex K-G+K-805L × 2本+K-800D
溶解液	CHCl ₃
温度	カラム恒温槽 40.0℃
濃度	0.2 wt/vol%
流速	1.0ml/min
注入量	100 μl
溶解性	不溶性分あり(不織布,他不明成分)
前処理	ろ過(0.45 μmフィルター)
検出器	示差屈折計(RI)

①ペーストテープ

ペーストテープの 60℃温海水回転浸漬試験の外観変状を表-7 に示す。

N 社のペーストテープ単体では, 30 日経過した時点では, 初期, 一様な色を呈していたペーストテープが, 全体的に脱色し, 部分的に黒色変状が見られ, 60 日経過した時点では部分的な黒色変状は若干薄くなる傾向を示した。

表-6 外観観察水準

水準	試験日数			
	30日	60日	90日	120日
①ペーストテープ単体	○	○	—	—
②防食テープ単体	○	○	—	—
③ペーストテープ+防食テープ併用	○	—	○	○
④タンニン酸添加有無	○	○	○	○
⑤偏肉影響有無	○	○	○	—
⑥上端シール影響有無	○	○	—	—

(○は外観観察実施したケース)

Y社のペーストテープ単体では、初期、一様な色を呈していたペーストテープが、全体的に脱色し、部分的に褐色変状が見られ、60日経過した時点では全体的に黄褐色に至った。

②防食テープ

防食テープの外観変状を表-8に示す。

N社の防食テープ単体では、30日経過した時点では、初期、一様な色を呈していた防食テープが、全体的に脱色し、部分的に黒色変状が見られ、60日経過した時点では部分的な黒色変状は若干薄くなる傾向を示した。

Y社の防食テープ単体では、30日経過した時点では、初期、一様な色を呈していた防食テープが、全体的に脱色し、不織布の縫い目に沿って黒褐色変状が見られ、60日経過した時点では黒褐色変状が消失し、ほぼ全面が黄褐色に至った。

③ペーストテープ+防食テープ

ペーストテープ+防食テープのペーストテープの外観変状を表-9に示す。

N社のペーストテープ+防食テープのペーストテープでは、30日経過した時点では、初期、一様な色を呈していたペーストテープが、全体的に脱色し、部分的に黒褐色変状が見られ、90日経過した時点では、部分的な黒褐色の変状に加え、部分的な脱色による白色変状が見られた。120日経過した時点では、黒褐色の斑状の変状が増加したのに加え、全体的に脱色と白色化が進んだ状態が確認された。

Y社のペーストテープ+防食テープのペーストテープでは、30日経過した時点では、初期、一様な色を呈していたペーストテープが、不織布の縫い目に沿って脱色が若干見られ、90日、120日経過した時点では、更に不織布の縫い目に沿っての脱色が進んだ状態が確認された。

④タンニン酸の有無

ペーストテープ+防食テープ併用のペーストテープの外観変状を表-10に示す。

タンニン酸添加しているN社のペーストテープ+防食テープ併用のペーストテープでは、30日経過した時点では、初期、一様な色を呈していたペーストテープが、部分的に黒褐色変状が見られ、90日経過した時点では、部分的な黒褐色の変状に加え、部分的な脱色による白色変状が見られた。120日経過した時点では、黒褐色の斑状の変状が増加したのに加え、全体的に脱色と白色化が進んだと見られた。

Y社のペーストテープ+防食テープ併用のペーストテープでは、30日経過した時点では、初期、一様な色を呈していたペーストテープが、脱色が見られ、90日、120

表-7 ペーストテープ外観変状

水準	試験日数		
	初期	30日	60日
ペーストテープ単体(N社)			
ペーストテープ単体(Y社)			

表-8 防食テープ外観変状

水準	試験日数		
	初期	30日	60日
防食テープ単体(N社)			
防食テープ単体(Y社)			

表-9 ペーストテープ+防食テープの外観変状

水準	(浸漬)試験日数			
	初期	30日	90日	120日
ペーストテープ+防食テープ併用のペーストテープ(N社)				
ペーストテープ+防食テープ併用のペーストテープ(Y社)				

表-10 タンニン酸の有無におけるペーストテープの外観変状

水準	試験日数		
	30日	90日	120日
タンニン酸有り ペーストテープ+防食テープ併用のペーストテープ(N社)			
タンニン酸無し ペーストテープ+防食テープ併用のペーストテープ(Y社)			

日経過した時点では、更に脱色が進んだ状態が確認された。

⑤偏肉有無

偏肉有無におけるペーストテープ単体とペーストテープ+防食テープ併用のペーストテープの外観変状を表-11に示す。

N社のペーストテープ単体には、30日、60日経過した時点では、初期、一様な色を呈していたペーストテープには、明らかな黒色変状が試験体両端から10mmをステンレス鋼製リングで締め付けた偏肉部に見られた。

表-11 偏肉有無におけるペーパテープの外観変状

水準	試験日数		
	30日	60日	90日
偏肉有り ペーパテープ単体(N社)			—
偏肉有り ペーパテープ単体(Y社)			—
偏肉有り ペーパテープ+防食テープ 併用のペーパテープ(N社)		—	
偏肉有り ペーパテープ+防食テープ 併用のペーパテープ(Y社)		—	

表-12 防食テープ外観変状

水準	試験日数	
	30日	60日
上端シール有り ペーパテープ単体(N社)		
上端シール有り ペーパテープ単体(Y社)		
上端シール有り ペーパテープ+防食テープ 併用(N社)		—
上端シール有り ペーパテープ+防食テープ 併用(Y社)		—

Y社のペーパテープ単体には、30日、60日経過した時点では、初期、一様な色を呈していたペーパテープには、偏肉部に若干の変色が見られたものの黒色変状は見られなかった。

N社のペーパテープ+防食テープ併用のペーパテープには、30日、90日経過した時点では、初期、一様な色を呈していたペーパテープには、黒色変状が試験体両端から10mmをステンレス鋼製リングで締め付けた偏肉部に黒色変状が見られた。

Y社のペーパテープ+防食テープ併用のペーパテープには、偏肉部に若干の変色が見られたものの黒色変状は見られなかった。

⑥上端シール有無のペーパテープ

上端シール有無におけるペーパテープ単体とペーパテープ+防食テープ併用のペーパテープの外観変状を表-12に示す。

N社のペーパテープ単体には、30日経過した時点では、初期、一様な色を呈していたペーパテープには、上端部シール部に退色が見られた。60日経過時点では、上端部シール部に鋼材腐食の影響とみられる赤褐色の変状が見られた。

Y社のペーパテープ単体には、30日経過した時点では、初期、一様な色を呈していたペーパテープには、上端部シール部には、変状が見られないが、60日経過した時点では、N社同様に、上端部シール部に鋼材腐食の影響とみられる赤褐色の変状が見られた。

N社のペーパテープ+防食テープ併用のペーパテープには、30日経過した時点では、初期、一様な色を呈していたペーパテープには、上端部シール部に部分的に退色が見られた。

Y社のペーパテープ+防食テープ併用のペーパテープには、変状が見られなかった。

2.2.2 油分残存率

60℃温海水回転浸漬試験(30日間、油分量100%(既定量))におけるペトロラタムテープにおいて、従来法、簡易法で油分残存率を測定した結果、従来法水準平均値は89.0%、簡易法水準平均値は90.4%とその差は2%と差異はほとんど見られなかった。従来法と簡易法にほとんど差がないのは、当該試験体は、均一にペトロラタムテープが巻かれている(=不織布量が一定)等が要因であると考えられ、簡易法を用いることとした。

60℃温海水回転浸漬試験におけるペーパテープ(単体)の油分残存率の変化(簡易法)【60日間】を図-12に、防食テープ(単体)の油分残存率の変化(簡易法)【60日間】を図-13に、ペーパテープ+防食テープの油分残存率の変化(簡易法)【120日間】を図-14に示す。図-12より、ペーパテープ(単体)における油分残存率は、N社材、Y社材、共に30日目、60日目で減少傾向が見られた。特に、N社材はその減少傾向が顕著(油分残存率85%程度)であった。図-13より、防食テープ(単体)における油分残存率は、N社材、Y社材、共に30日目、60日目で減少傾向(油分残存率90%程度)が見られた。図-14より、ペーパテープ+防食テープにおける油分残存率は30日目までは低下するものの、その後90日目に向かい微増し、120日目にかけて増加が確認された。本試験結果より、今回試験した120日材は、水準としてみた場合の油分残存率が高いものの、その内訳はペースト側が大きく質量減、防食テープ側が質量増となっているため、油分の抜けたペーストテープ側に表面から透水し、腐食の起点となったのではないかと考える。外観観察により、防食テープ上に油分の塊が付着していたこと

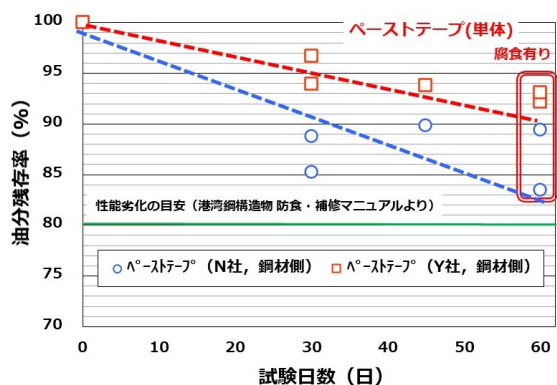


図-12 60℃温海水回転浸漬試験におけるペーストテープ (単体)の油分残存率の変化 (簡易法)

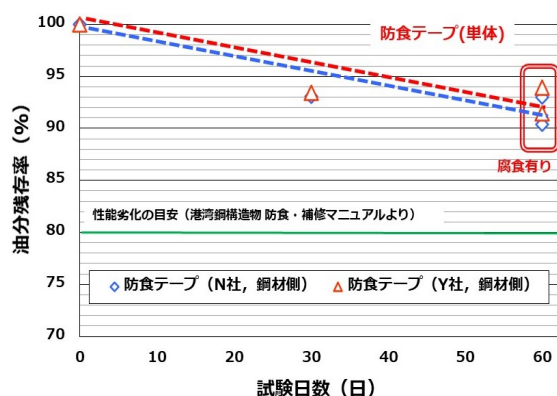


図-13 60℃温海水回転浸漬試験における防食テープ (単体)の油分残存率の変化 (簡易法)

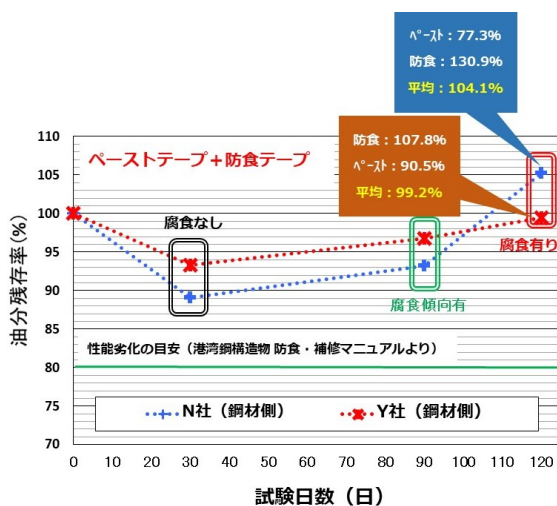


図-14 60℃温海水回転浸漬試験におけるペーストテープ +防食テープの油分残存率の変化 (簡易法)

からも、ペーストテープから分離した油分が防食テープ表面に浮き出たため、質量増となった可能性も考えられる。

2.2.3 絶縁抵抗率

60℃温海水回転浸漬試験 (30日, 45日, 60日) にお

表-13 ペーストテープ, 防食テープの絶縁抵抗測定結果

水準			試験期間	絶縁抵抗値	絶縁抵抗平均値
			(日)	(MΩ・m ²)	
N社	ペーストテープ	N-5 ペーストテープ	30	8.19E-02	2.81E-01
		N-6 ペーストテープ		3.39E-01	
		N-7 ペーストテープ		7.25E-02	
		N-8 ペーストテープ		6.31E-01	
	防食テープ	NP100-1	45	7.19E-01	7.19E-01
		N100-4-①	60	8.44E+00	8.44E+00
		N100-1-①	60	9.06E+01	1.78E+02
				2.66E+02	
Y社	ペーストテープ	Y-5 ペーストテープ	30	4.34E+00	1.77E+00
		Y-6 ペーストテープ		1.23E+00	
		Y-7 ペーストテープ		8.69E-01	
		Y-8 ペーストテープ		6.56E-01	
	防食テープ	YP100-1	45	1.14E+00	1.14E+00
		Y100-4-①	60	1.53E+00	1.53E+00
		Y100-1-①	60	3.25E-01	2.06E-01
				8.63E-02	

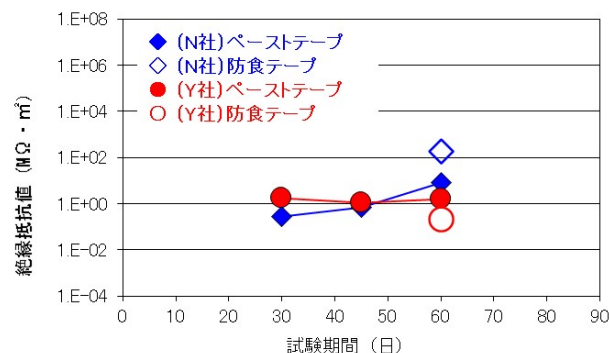


図-15 ペーストテープ, 防食テープの絶縁抵抗測定結果の変化

けるペーストテープ, 防食テープの絶縁抵抗測定結果を表-13と図-15に示す。N社のペーストテープの絶縁抵抗値は、30日で0.28MΩ・m², 45日で0.719MΩ・m², 8.44MΩ・m²と若干の増加傾向を示した。Y社のペーストテープの絶縁抵抗値は、30日で1.77MΩ・m², 45日で1.14MΩ・m², 60日で1.53MΩ・m²と浸漬時間が長くなっても殆んど変化していないことが確認された。

N社の防食テープの絶縁抵抗値は、60日で178MΩ・m², Y社の防食テープの絶縁抵抗値は、0.26MΩ・m²とY社の絶縁抵抗値が低いことが確認された。

2.2.4 ペโตรラタムテープの化学分析 (FT-IR)

ペโตรラタムテープのFT-IR定性分析結果の図-16に示す。N社のスペクトルの3000~2800cm⁻¹(C-H伸縮), 1460cm⁻¹, 1380cm⁻¹(C-H変角)の吸収から、炭化水素類の存在が考えられた。また、3000~2800cm⁻¹(C-H伸

表-15 分子量分布の分析方法

装置	東ソー製製 HLC-8320GPC
カラム	Shodex K-G+K-805L×2本+K-800D
溶解液	CHCl ₃
温度	カラム恒温槽 40.0℃
濃度	0.2 wt/vol%
流速	1.0ml/min
注入量	100 μl
溶解性	不溶性分あり(不織布,他不明成分)
前処理	ろ過(0.45 μmフィルター)
検出器	示差屈折計 (RI)

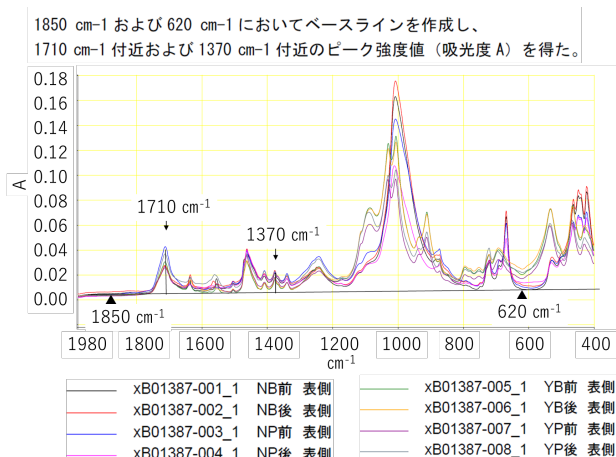


図-16 ペトロラタムトテープの FT-IR 定性分析結果

表-14 ペトロラタムトテープのスペクトルピーク強度とピーク強度比

試料名	1710 cm ⁻¹ 付近のピーク強度 (A)	1370 cm ⁻¹ 付近のピーク強度 (A)	1370 cm ⁻¹ に対する 1710 cm ⁻¹ のピーク強度比
NB 前 表側	0.193236	0.160758	1.20
NB 後 表側	0.190739	0.171621	1.11
NP 前 表側	0.204542	0.140741	1.45
NP 後 表側	0.133331	0.105067	1.27
YB 前 表側	0.175127	0.122269	1.43
YB 後 表側	0.146980	0.117524	1.25
YP 前 表側	0.124583	0.088769	1.40
YP 後 表側	0.116374	0.104473	1.11

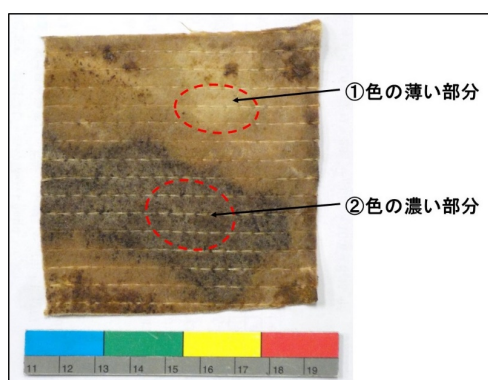


図-17 120 日間 60℃温海回転水浸漬試験に供試した後のペラストテープ外観

縮), 1710cm⁻¹ (C=O 伸縮), 1460cm⁻¹, 1380cm⁻¹ (C-H 変角)の吸収から, 脂肪酸エステルが存在が考えられた。さらに, 3300cm⁻¹ (N-H 伸縮), 3000~2800cm⁻¹ (C-H 伸縮), 1640cm⁻¹ (アミド I : C=O 伸縮), 1560cm⁻¹ (アミド II : N-H 変角) に吸収が見られ, 脂肪酸アミド等のアミド類の存在が考えられた。

ATR 補正処理を実施した各試料の IR スペクトル (Y 軸: 吸光度) を表-14 に示す。ペトロラタムの酸化由来と考えられるカルボニル基 (1710cm⁻¹) およびペトロラタム由来のメチル基 (1370cm⁻¹) の吸光度比を求めるため, 1850 cm⁻¹ および 620 cm⁻¹ においてベースラインを作成し, 1710 cm⁻¹ 付近および 1370 cm⁻¹ 付近のピーク強度値 (吸光度 A) を得た。得られた各試料のスペクトルピーク強度とピーク強度比を表-14 に示す。各試料の 1370 cm⁻¹ に対する 1710 cm⁻¹ のピーク強度比より, 試験前に対して試験後は値が下がる傾向が認められ, メチル基に対してカルボニル基が減少している可能性が示唆された。このことは, 劣化が進んだことを示唆していると考えられる⁷⁾。

以上のことから, 炭化水素類, 脂肪酸エステル, 脂肪酸アミド等のアミド類, ケイ酸塩の存在が考えられた。また, 試験前に対して試験後は, メチル基に対してカルボニル基が減少している可能性が示唆され, 劣化が進んだことを示していると考えられる。

2.2.5 ペトロラタムテープの分子量分布測定 (GPC)

油分量 100% (規定量) の N 社のペラストテープを 120 日間 60℃温海水回転浸漬試験に試験した後のペラストテープの外観写真を図-17 に示す。当該写真のペラストテープから 2ヶ所 (①色の薄い部分, ②色の濃い部分) および初期ブランク材から油分を採取し分子量分布測定を実施した。また, 分子量分布の分析方法を表-15 に示す。PS 換算分子量分布測定の結果を表-16 に示し, 分子量分布曲線の重ね書きを図-18 に示す。これより, 試験後試料の「色の薄い部分」と「色の濃い部分」では分子量, 分子量分布には差は確認できなかった。また, 試験後試料は試験前試料に比べ, 小さい分子量 (Mw), 狭い分子量分布を示した。初期材の分子量分布と比較して, 120 日回転浸漬した試験材の分布が小さい山になったのは, 低分子物の流出, 高分子から低分子への変化のためと考えられる。

表-16 分子量分布の分析方法

試料名	Mw	Mn	Mw/Mn
劣化促進試験供試前サンプル (ブランク材)	1,900	650	2.9
劣化促進試験供試後サンプル① (色の薄い部分)	1,100	710	1.5
劣化促進試験供試後サンプル① (色の濃い部分)	1,200	740	1.6

Mw : 質量平均分子量, Mn : 数平均分子量

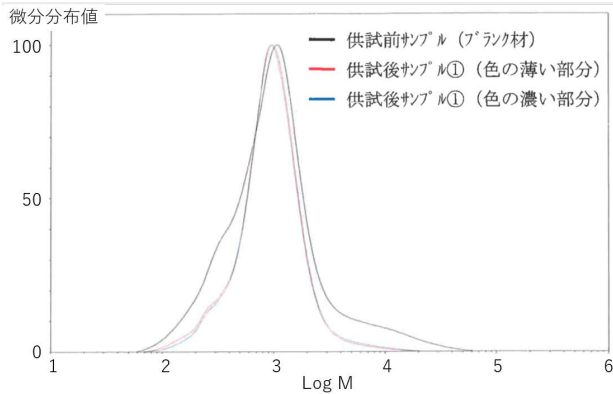


図-18 分子量分布曲線の重ね書き

2.3 まとめ

本章で得られた結果を以下にまとめる。

- ・ 外観目視の結果、ペーストテープ、防食テープおよびこれらの組合せの何れにおいても変色が認められた。ペーストテープと防食テープに大きな差は認められなかった。偏肉や上端シールドは外観上の変状が確認され、タンニン酸の添加の影響は小さかった。
- ・ 油分残存率については、経時的な減少傾向が認められた。一部の供試体に関しては油分残存率が上昇する場所も認められ、温度や圧力により、油分が移動していることが推察された。120日材は、油分残存率は高いものの、その内訳はペーストテープ側が大きく質量減、防食テープ側が質量増となっているため、油分の抜けたペースト側に表面から透水し、腐食の起点となった可能性が示唆された。
- ・ 絶縁抵抗については、N社のペーストテープの絶縁抵抗値は、30日で $0.28 \times 10^9 \Omega \cdot m^2$ 、45日で $0.719 \times 10^9 \Omega \cdot m^2$ 、60日で $8.44 \times 10^9 \Omega \cdot m^2$ と若干の増加傾向を示した。Y社のペーストテープの絶縁抵抗値は、30日で $1.77 \times 10^9 \Omega \cdot m^2$ 、45日で $1.14 \times 10^9 \Omega \cdot m^2$ 、60日で $1.53 \times 10^9 \Omega \cdot m^2$ と殆んど変化していないことが確認された。
- ・ ペโตรラタムテープのFT-IR定性分析結果、炭化水素類、脂肪酸エステル、脂肪酸アミド等のアミド

表-17 ペโตรラタム被覆暴露試験体の概要

試験体No.	試験体形状	暴露環境	突起物の有無	緩衝材の有無	防食材
No.1	φ318.5×2554mm	水槽内	有り	有り	ペโตรラタム ペーストテープ (55%ラップ)
No.2			無し	無し	
No.3	φ318.5×400mm	大気中	有り	有り	
No.4			無し	無し	

緩衝材：独立気泡PEシート（発泡倍率10倍）t10mm

突起物：鋼製FB-3.2×10-L2534mm（試験体No.1）

鋼製FB-3.2×10-L380mm（試験体No.3）

表-18 保護カバーの仕様

試験体No.	カバー材質	カバー形状	円周方向	鉛直方向
No.1	アクリル樹脂製 (透明)	φ318.5用(t3mm)	2分割 (半割タイプ)	2段 (上段・下段)
No.2		L1200mm		1段
No.3		φ318.5用(t3mm)		
No.4		L360mm		

表-19 保護カバー内への温度センサーの設置概要

試験体No.	設置方向	設置位置（上蓋底面からK熱電対先端までの距離）	
No.1	南面	620mm（上段カバー内）	1830mm（下段カバー内）
	北面	620mm（上段カバー内）	1830mm（下段カバー内）
No.2	南面	620mm（上段カバー内）	1830mm（下段カバー内）
	北面	620mm（上段カバー内）	1830mm（下段カバー内）
No.3	南面	200mm	—
	北面	200mm	—
No.4	南面	200mm	—

表-20 試験項目

点検	暴露期間	試験項目
試験体回収 詳細点検	13ヶ月	外観観察、温度データの回収およびデータ解析
		ペโตรラタムペーストテープの油分残存率測定
		超音波厚さ計による試験鋼管の現肉厚測定
		ペโตรラタムペーストテープの化学分析 (GPC分析, FT-SEM-XMA分析, FT-IR分析)

類、ケイ酸塩の存在が考えられた。また、試験前に対して試験後は、メチル基に対してカルボニル基が減少している可能性が示唆された。

- ・ 促進試験後のペーストテープ試料の「色の薄い部分」と「色の濃い部分」では分子量、分子量分布には差は確認できなかった。また、試験後試料は試験前試料に比べ、小さい分子量(Mw)、狭い分子量分布を示した。

3. 屋外曝露試験

3.1 屋外曝露試験の概要

ペโตรラタム被覆防食工の劣化機構を検討するため、港湾空港技術研究所長期曝露試験水槽内および海上大気部に設置した曝露試験体の変状劣化を経過観察し、変状の発生機構の推定を目的に実施した。曝露期間は2018年9月12日～2019年10月30日であり、分析は2019年10月31日～2020年3月31日に実施した。

3.1.1 試験体の概要

設置したペโตรラタム被覆曝露試験体は4組（試験体

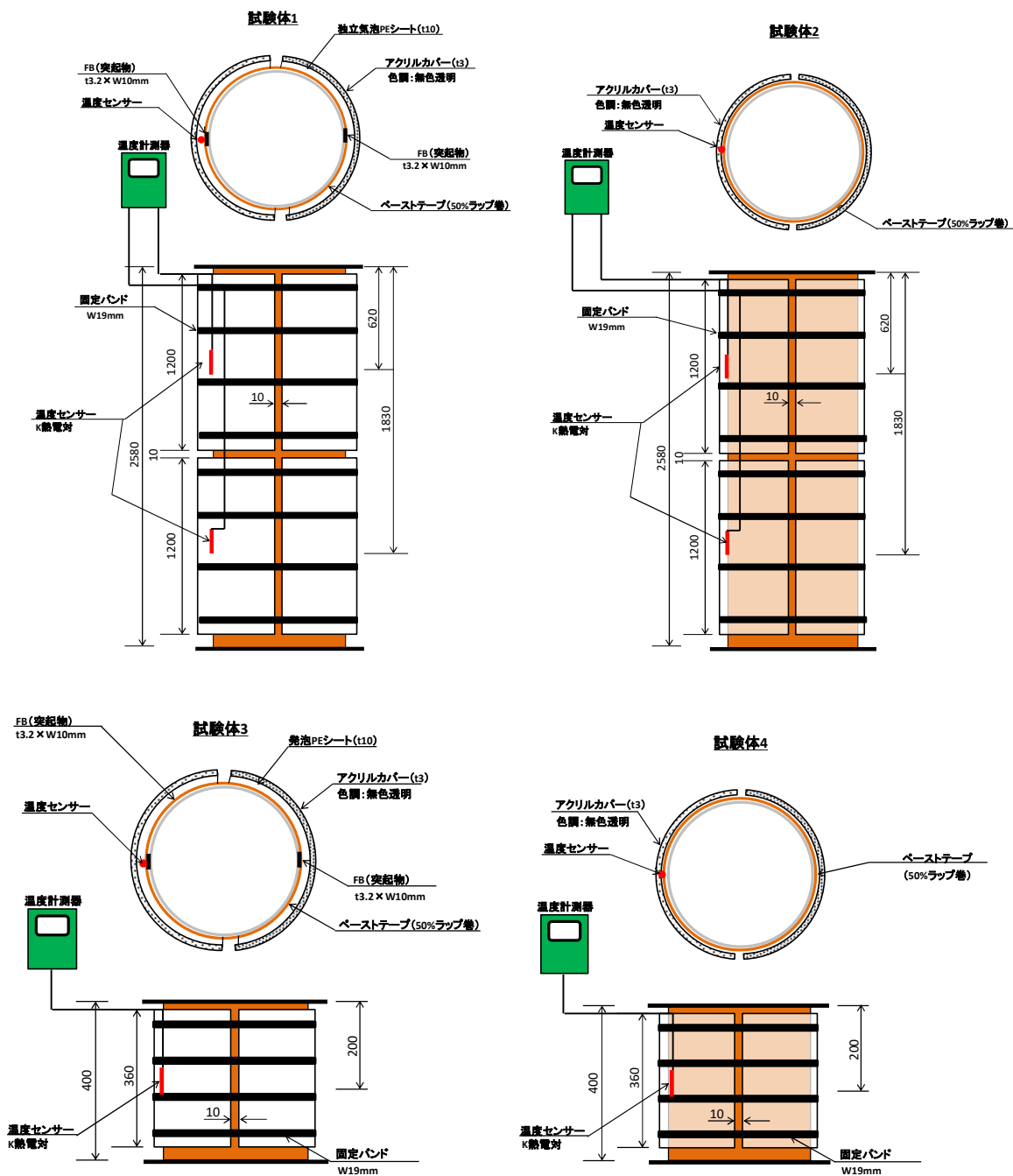


図-19 曝露供試験体

No.1～No.4) とした。試験体の概要を、表-17～19、図-19 に示す。なお、試験体 No.1、試験体 No.2 は干満水槽内に、試験体 No.3、試験体 No.4 は大気曝露場にそれぞれ曝露した。

3.1.2 試験項目

表-20 に、試験項目を示す。

3.2 試験結果

3.2.1 外観観察

各試験体の外観観察の結果、以下の事が考えられた。

- ① 油分の分離には、環境温度とカバー内部の圧力（機械的な作用力）が影響していることが認められ、環境温度が高いほど、また、突起物周囲などに負荷する機械的な圧力が高いほど油分の分離が生じやすいと考えられる。
- ② カバー内部ではペトロラタムペーストテープの基

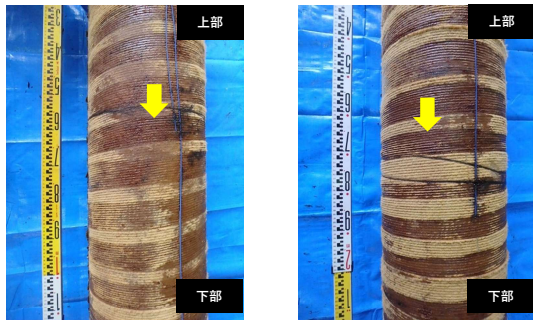


図-20 テープ目に沿った油分分離状況（南面）

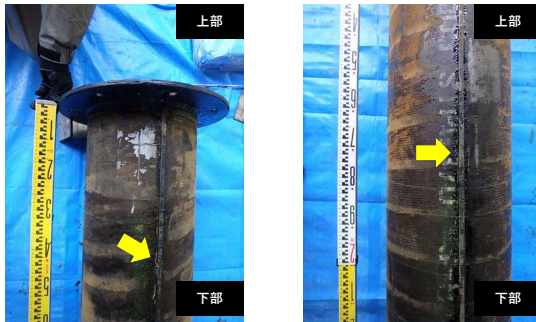


図-21 平鋼両際の油分分離・滞留状況



図-22 上端部からの油分の漏洩状況（南面）

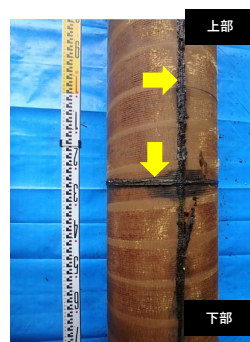


図-23 カバー突き合わせ隙間部の油分滞留状況（東面）



（南面）



（北面）

図-24 ペーストテープの外観状況

布の目（不織布を縫い付けた縦糸）に沿って油分が分離・移動する現象も認められた。カバー内の圧力が低いと考えられる縦糸部は、分離した油分が移動、滞留しやすい部位であると考えられる。（図-20）

表-21 試験鋼管の肉厚測定結果（試験体No.1、試験体No.2）

測定点 (上蓋底面からの距離)	平均肉厚値 (mm)							
	東面		南面		西面		北面	
	試験体No.1	試験体No.2	試験体No.1	試験体No.2	試験体No.1	試験体No.2	試験体No.1	試験体No.2
① (150mm 下り)	10.58	10.66	11.01	10.89	10.87	10.74	10.40	10.59
② (750mm 下り)	10.68	10.35	10.94	0.70	10.74	10.78	10.29	10.74
③ (1220mm 下り)	10.91	10.44	10.59	10.42	10.54	0.60	10.39	10.92
④ (1550mm 下り)	11.02	10.68	10.74	10.71	10.43	10.49	10.34	10.66
⑤ (2350mm 下り)	11.01	10.71	10.40	10.59	10.50	10.53	10.71	10.84

表-22 試験鋼管の肉厚測定結果（試験体No.3、試験体No.4）

測定点 (上蓋底面からの距離)	平均肉厚値 (mm)							
	東面		南面		西面		北面	
	試験体No.3	試験体No.4	試験体No.3	試験体No.4	試験体No.3	試験体No.4	試験体No.3	試験体No.4
① (200mm 下り)	10.39	10.35	10.57	10.75	10.67	10.92	10.29	10.47

- ③ カバー内に設置した温度センサーのリード線の両際や、テープ下に設置した平鋼（突起物）の両際で油分の分離・滞留が認められたことから、突起物近傍ではテープに負荷する圧力に高低差が生じ、圧力の低い突起物の両際に油分が分離・滞留しやすいものと考えられる。（図-21 参照）
- ④ 油分（ペトロラタムコンパウンド）の流出は、夏季の高温環境時に発生し、直射日光の当たる南面で生じやすい傾向にある。流出箇所としては、カバー端部（上端部、下端部、カバー突き合わせ隙間部など）であり、圧力の低い箇所より流出することが認められた。（図-22、図-23 参照）
- ⑤ 陸上設置試験体の観察から、カバー内で分離した油分の一部は鉛直方向に流下することも認められ、流下した箇所のテープ外観は白っぽく変色していることが観察された。（図-24 参照）

3.2.2 鋼管の外観観察（ペトロラタムペーストテープ撤去後）

全ての試験体において、平鋼（突起物）近傍や肉厚測定面、油分分離・流下箇所などでの発錆等の変状は無く、また、水中設置および陸上設置などの環境の違いによる防食状態の差も認められず、良好な防食状態を維持していることが確認された。

3.2.3 鋼管の肉厚測定

各試験体の鋼管の肉厚測定結果を表-21 および表-22 に示す。なお、公称肉厚は10.3mmであり、厚さの許容差は+15% (11.8mm)、-12.5% (9.0mm) である。

各試験体とも曝露試験前後での肉厚減少はほぼ認められず、腐食による肉厚減少は生じていないことが確認された（測定値の違いは、測定点の僅かなずれによる結果と考えられる）。

3.2.4 保護カバー内温度の経時変化

- ①水槽内設置試験体（試験体 No.1, 試験体 No.2）

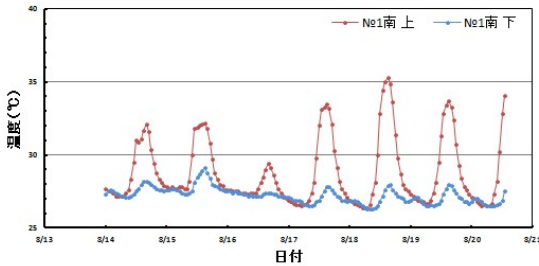


図-25 試験体No.1 (発泡 PE シート有り)
南面・上部および下部 カバー内温度の経時変化
(7日間: 2019/8/14~2019/8/21)

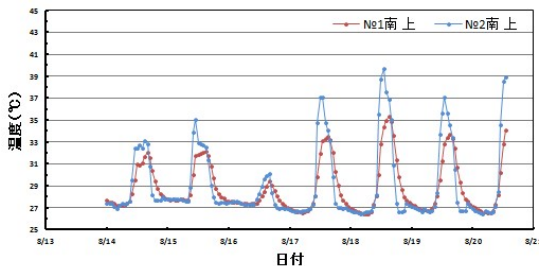


図-26 試験体No.1 (発泡 PE シート有り)
南面・上部および試験体No.2 (発泡 PE シート無し)
南面・上部カバー内温度の経時変化
(7日間: 2019/8/14~2019/8/20)

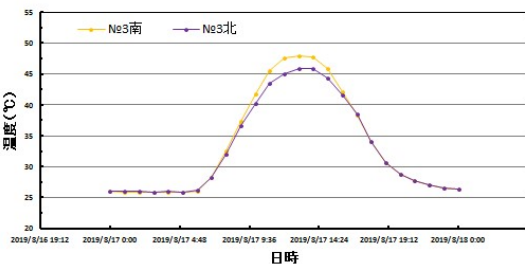


図-27 試験体No.3 (発泡 PE シート有り) 南面・北面
カバー内温度の経時変化の違い
(1日間: 2019/8/17)

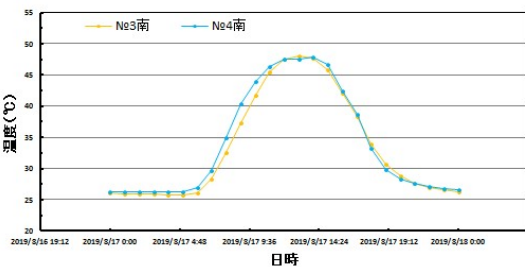


図-28 試験体No.3 (発泡 PE シート有り)
南面・試験体No.4 (発泡 PE シート無し)
南面 カバー内温度の経時変化

試験体上部および下部の温度傾向は、上部の方が大きな温度変化幅を示すことが認められた(図-25)が、これは海水中に浸漬している時間の違いが影響していると考えられる。

浸漬時間の長い試験体下部は海水により温度が安定化し、日射による入熱の影響を受けにくい状態であったことから温度変化幅が小さくなったと考えられる。一方、試験体上部は海水浸漬時間が下部に比べ短く、海水温の影響を受けにくく、日射による入熱の影響を受けやすいことが温度変化幅を大きくした要因と考えられる。

大きな温度変化幅を示す試験体上部において、若干ではあるが発泡 PE シートの有無で温度変化幅に差異が見られ(図-26)、発泡 PE シートが無い試験体 No.2の方が大きな温度変化幅を示すこと、また、最高到達温度も発泡 PE シートがある場合の方が若干低くなる傾向が見られたことから、発泡 PE シートの断熱・遮光特性が日射による入熱を抑制し、温度変化を小さくする方向で機能しているものと考えられる。

②陸上設置試験体(試験体 No.3, 試験体 No.4)

カバー内温度の上昇傾向は、南面が北面よりも先に温度が上昇し始め、最高到達温度は南面の方が北面よりも若干高くなる傾向が認められた(図-27)。また、最高到達温度に達した後の温度の低下傾向は、南面の温度が低下し始めるとともに直ちに北面の温度も低下し始め、その低下傾向はほぼ同じで推移することも認められた。日射量の多い南面から入った熱が鋼材を介して熱伝導し、北面の温度を上昇させたと推察される。

試験体 No.4 (発泡 PE シート無し)の方が試験体 No.3 (発泡 PE シート有り)よりも先にカバー内温度が上昇し始めたがその差は極僅かなものであり(図-28)、最高到達温度も同程度に達することから、発泡 PE シートの断熱・遮光特性による昇温抑制の効果よりも試験体上蓋面からの入熱量の方が多かったことが起因していると考えられる。

3.2.5 油分残存率

①試験体 No.1 および試験体 No.2

図-29 および図-30 に、各試験体の油分残存率の傾向を示す。

試験体 No.1 および試験体 No.2 の傾向としては、南面最上部付近の油分残存率が小さいことが認められた。この要因として、日射による入熱の影響を最も受けやすく、温度変化量が大きな部位のため油分が分離しやすく、かつ、カバー端部に近いことから圧力の低いカバー外部へ流出しやすい状態にあったと考えられる。

②試験体 No.3 および試験体 No.4

図-31 および図-32 に、各試験体の油分残存率の傾向を示す。試験体 No.3 および試験体 No.4 の傾向としては、南面中央部および北面中央部の油分残存率が低下し、東面中央部および西面中央部の油分残存率が増加すること

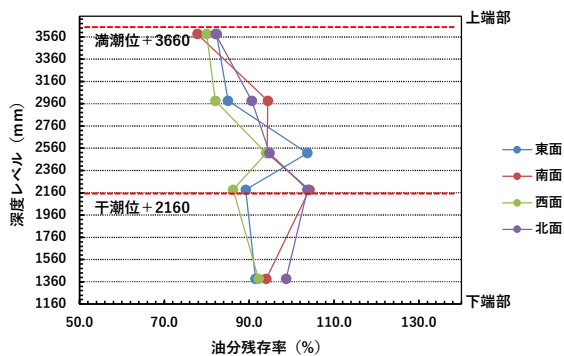


図-29 試験体No.1(発泡 PE シート有り)における油分残存

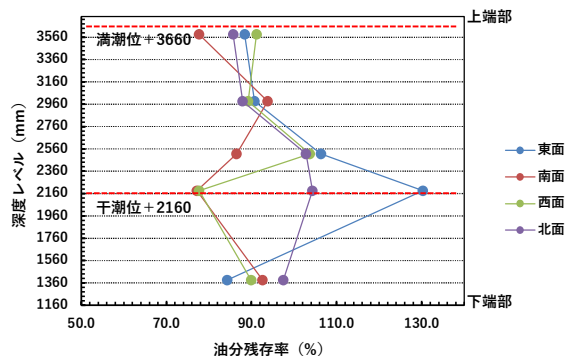


図-30 試験体No.1(発泡 PE シート有り)における油分残存

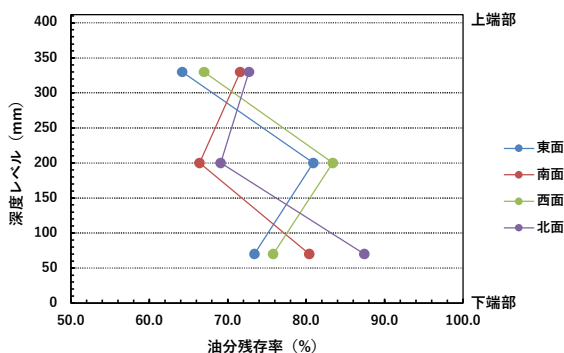


図-31 試験体No.3(発泡 PE シート有り)における油分残存

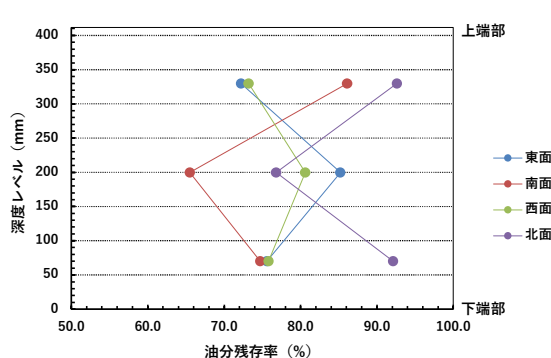


図-32 試験体No.4(発泡 PE シート無し)における油分残存率

表-23 化学分析に供した試験材の採取位置

採取方向	供試材の採取位置 (上蓋底部からの下り距離)			
	試験体No.1	試験体No.2	試験体No.3	試験体No.4
北東面 上部	150mm (No.1-150)	150mm (No.2-150)	—	—
北東面 下部	2350mm (No.1-2350)	2350mm (No.2-2350)	—	—
北東面 中央部	—	—	—	—
北西面 下部	2150mm (No.1-2150)	—	—	—

が認められた。

特に、試験体 No.3 の南北面では油分の減少傾向が大きい。これは、南北面中央部の鉛直方向に平鋼があり、カバー材の縮込みにより突起物面の圧力が高まり、機械的圧力によって油分の分離が促進されると同時に、50℃前後に達するカバー内温度により分離した油分が流動化し、圧力の低い東西面のカバー端部へ移動し、カバー突き合わせ隙間部から流出・滞留したことが要因と考えられる。

また、陸上設置試験体 (試験体 No.3, 試験体 No.4) の方が水槽内設置試験体 (試験体 No.1, 試験体 No.2) よりも油分残存率が小さくなる傾向が認められた。これは、水槽内設置試験体と異なり、陸上設置試験体には海水による冷却効果が作用せず、昇温による油分の分離が促進され、油分が移動・流出しやすい状態であったことが要

因と考えられる。

3.2.6 ペโตรラタムペーストテープの化学分析 (FT-IR)

実環境下におけるペโตรラタムコンパウンドの経時的な劣化を検証するため、GPC による分子量分布、FT-SEM-XMA による元素分析、FT-IR による酸化度合の確認を行った。

表-23 に、化学分析に供した試験体の採取位置を示す。

①各試験体の外観

各試験体から採取した化学分析用ペโตรラタムペーストテープの外観状態を図-33~図-37 に示す。

②各試験体の分子量分布測定

試験体 No.1 および試験体 No.2 より採取したペโตรラタムペーストテープの分子量分布を GPC (ゲル浸透クロ



図-33 供試体No.1-150(左：カバー側，中および右：鋼材側)



図-34 供試体No.1-2150(左：カバー側，中および右：鋼材側)

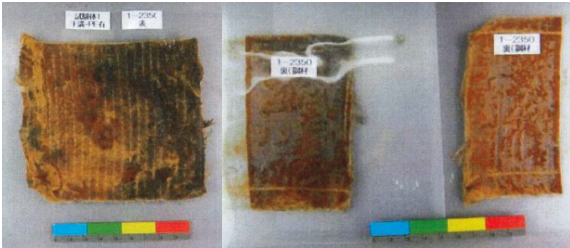


図-35 供試体No.1-2350(左：カバー側，中および右：鋼材側)



図-36 供試体No.2-150(左：カバー側，中および右：鋼材側)



図-37 供試体No.2-2350(左：カバー側，中および右：鋼材側)

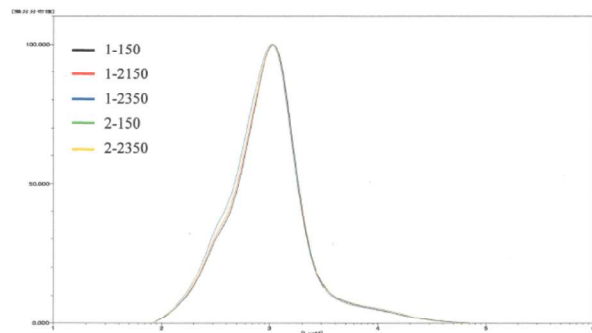


図-38 各供試体の分子量分布

マトグラフィー) により分析を行った。図-38に各試験体の分子量分布，図-39に曝露試験前後でのペトロラタムペーストテープの分子量分布の比較を示す。

図-38に示す各試験体の分子量分布をみると，試験体の違いや採取位置の違いに起因する分子量の変化は認められず，試験体間での差は生じていないことが確認された。

また，図-39に示すブランク材（新品時）のペトロラタムペーストテープとの比較においても曝露試験後の試験体の分子量分布とブランク材のものではほぼ同じ分子量分布であることが認められ，劣化による低分子量化などの有意な差は生じていないことが確認された。

③各試験体の FT-SEM-XMA 分析

1) 試験体 No.1-150

図-40に示す各成分の含有比率をみると，ペトロラタム由来の C 成分（炭化水素を構成する元素）に対する無機充填剤（タルク： $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ）に由来する Si 成

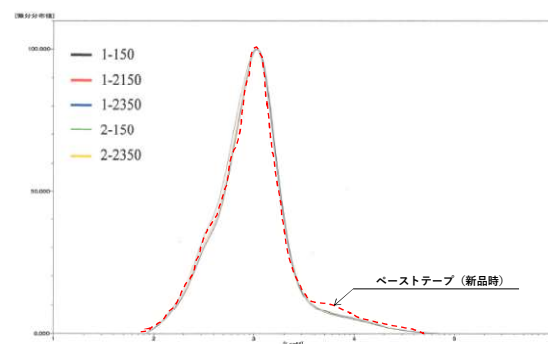


図-39 曝露試験前後での分子量分布の比較

分の質量百分率の比率が高い ($C/Si=1.58$) 傾向が認められたことから，ペトロラタム成分の経時的な減少（流下などによるペトロラタム成分の移動）が生じ，無機充填材成分の残留比率が高まったものと考えられる。

2) 試験体 No.1-2350

図-41に示す各成分の含有比率をみると，試験体

Element	Weight %	Atomic %
C K	27.63	37.91
O K	42.04	43.31
Mg K	12.08	8.19
Si K	17.46	10.25
S K	0.17	0.09
Ca K	0.62	0.26
Totals	100.00	

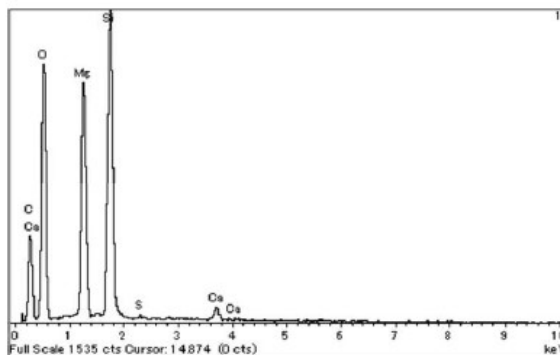


図-40 供試材No.1-150 の FT-SEM-XMA 分析結果

Element	Weight %	Atomic %
C K	28.12	38.59
O K	43.16	44.46
Mg K	10.65	7.22
Si K	14.65	8.60
S K	0.89	0.37
Ca K	0.79	0.25
Fe K	1.74	0.51
Totals	100.00	

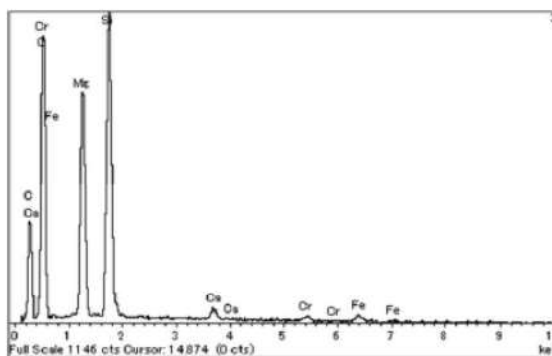


図-41 供試材No.1-2350 の FT-SEM-XMA 分析結果

Element	Weight %	Atomic %
C K	30.97	40.83
O K	45.67	45.21
Mg K	9.91	6.46
Si K	12.92	7.28
Ca K	0.53	0.21
Totals	100.00	

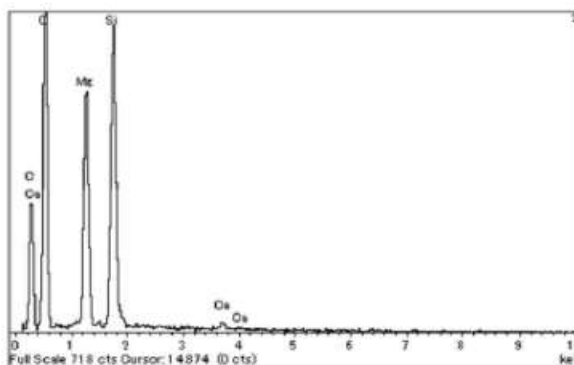


図-42 供試材No.1-2150 の FT-SEM-XMA 分析結果

No.1-150 と同様に、Si 成分の質量分率の比率が高い (C/Si=1.92) 傾向が認められたことから、ペトロラタム成分の経時的な減少（流下などによるペトロラタム成分の移動）が生じ、無機充填材成分の残留比率が高まったものと考えられる。

また、僅かではあるが Fe 成分が検出されており、鋼材由来の Fe 成分であるとみられる。

3) 試験体 No.1-2150

図-42 に示す各成分の含有比率をみると、Si 成分の質量分率の比率 (C/Si=2.40) は新品時のペトロラタムペー

ストレープに近似しており、ペトロラタム成分の経時的な減少（流下などによるペトロラタム成分の移動）は小さかったものと考えられる。

また、試験体全体が黒色を呈していたことから鋼材由来の Fe 成分が試験体中に拡散・浸透しているものと考えられたが、分析結果では Fe 成分の検出は無く、黒色に変色した要因は特定されていない。

4) 試験体 No.1-2150 黒色部（固形部）

図-43 に示す試験体 No.1-2150 の黒色固形物の分析を行った結果、非常に高い質量分率の Fe 成分が検出され

Element	Weight %	Atomic %
C K	15.48	29.08
O K	36.56	51.55
Fe K	47.96	19.37
Totals	100.00	

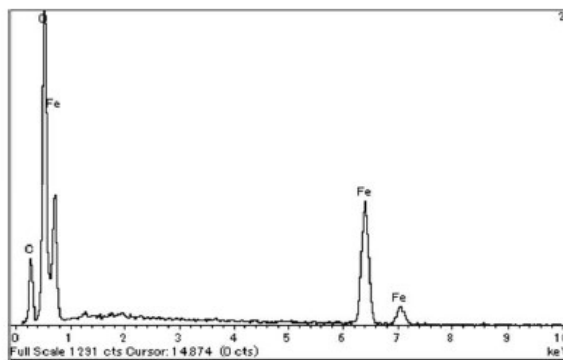


図-43 供試材No.1-2150 黒色部（固形物）の FT-SEM-XMA 分析結果

Element	Weight %	Atomic %
C K	28.02	38.20
O K	43.17	44.18
Mg K	11.41	7.68
Si K	16.06	9.36
S K	0.26	0.13
Ca K	1.08	0.44
Totals	100.00	

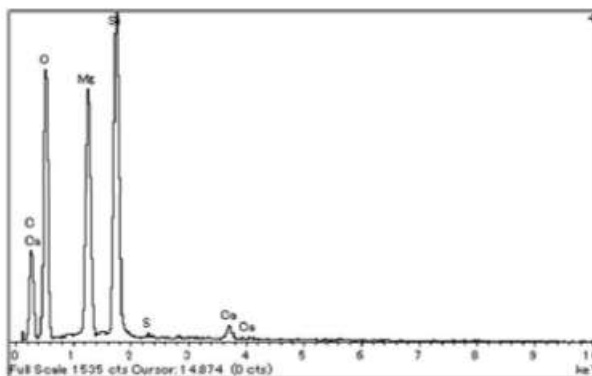


図-44 供試材No.1-2350 の FT-SEM-XMA 分析結果

Element	Weight %	Atomic %
C K	28.05	38.30
O K	42.69	43.75
Mg K	11.50	7.75
Si K	16.59	9.69
S K	0.21	0.11
Ca K	0.96	0.39
Totals	100.00	

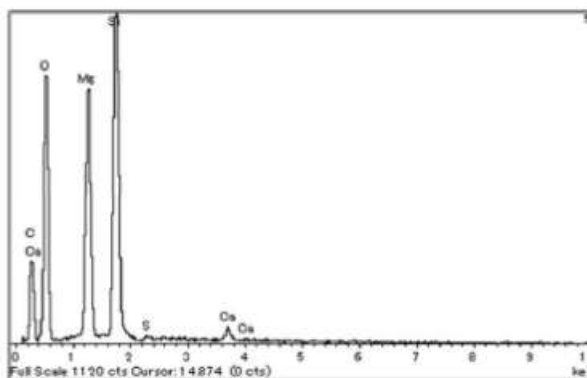


図-45 供試材No.2-2350 の FT-SEM-XMA 分析結果

たことから鋼材由来の Fe 成分を含む腐食生成物の形成によるものと考えられる。

5) 試験体 No.2-150

図-44 に示す各成分の含有比率をみると、Si 成分の質量分率の比率が高い (C/Si=1.74) 傾向が認められたことから、ペトロラタム成分の経時的な減少（流下などによるペトロラタム成分の移動）が生じ、無機充填材成分の残留比率が高まったものと考えられる。

6) 試験体 No.2-2350

図-45 に示す各成分の含有比率をみると、Si 成分の質量分率の比率が高い (C/Si=1.69) 傾向が認められたこと

から、ペトロラタム成分の経時的な減少（流下などによるペトロラタム成分の移動）が生じ、無機充填材成分の残留比率が高まったものと考えられる。

④試験体の FT-IR 分析

FT-IR 分析の一例として、試験体 No.1-150 の分析結果を図-46 に示す。

FT-IR 分析によりペトロラタム成分の劣化（酸化）を分析した結果、極僅かではあるがペトロラタム成分の酸化に起因するカルボニル基 (>C=O) の吸収帯 (1710cm⁻¹ 付近) が認められた。

そこで、得られた吸収スペクトルの中で最も安定な官

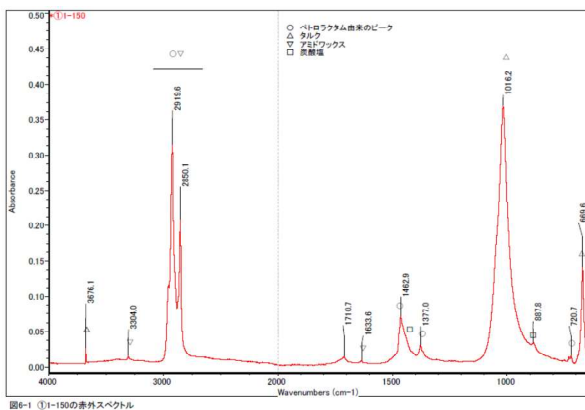


図-46 暴露試験前後での分子量分布の比較

表-23 各供試材の吸光度比

供試材No.	吸光度比 A_{1710}/A_{1370}
No.1-150	0.0010
No.1-2150	0.0037
No.1-2350	0.0031
No.2-150	0.0028
No.2-2350	0.0023

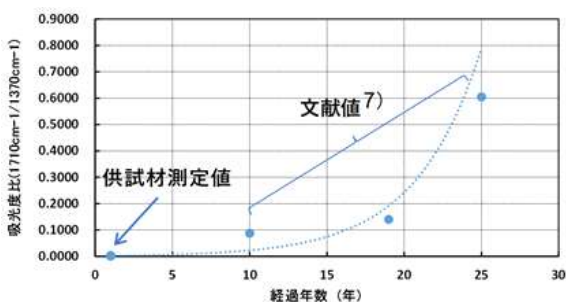


図-47 供試材測定値と文献値⁷⁾(暴露材)の吸光度比の比較

能基であるメチル基の吸収スペクトルを基準に、カルボニル基による吸収スペクトル (1710cm^{-1}) の吸光度とメチル基による吸光度の比 (A_{1710}/A_{1370}) を劣化度の指標⁷⁾とし、採取した試験体の A_{1710}/A_{1370} を算出した結果を表-23に示す。

各試験体の吸光度比は、非常に小さく、有意な差は認められなかった。また、実環境下に長期間暴露された(10年, 19年, 25年) ペトロラタム系防食材の吸光度比と本試験の試験体の吸光度比を比較した図-47から、本試験で暴露したペトロラタムペーストテープ中のペトロラタム成分には、ほぼ酸化が生じていないとみられる。

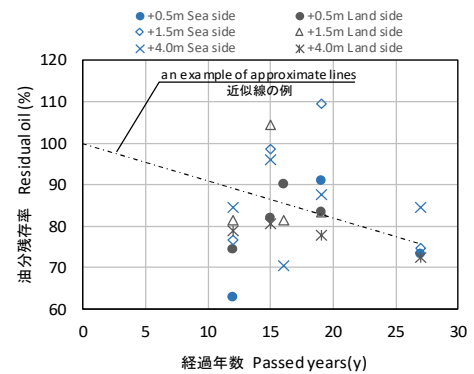


図-48 経過年数による油分残存率

表-24 油分残存率による発錆有無の割合

油分残存率	発錆の有無		割合 ②/①	
	データ数 ①	データ数 ②		
80%以上	15	あり	3	20%
		なし	12	80%
80%未満	9	あり	1	11%
		なし	8	89%

3.2.7 ペトロラタ被覆材の劣化

実環境下における暴露試験の結果をもとに、以下に示すペトロラタ被覆材の変状劣化機構を推定した。

- ① 油分の分離は、熱影響の他、機械的作用力(カバー締め込み時に生ずるペトロラタム系防食材への圧力)によっても生じ、油分の移動・流出を促進させる要因となる。
- ② カバー内部で分離した油分(ペトロラタムコンパウンド)は、基布の目(不織布を縫い付けた縦糸)に沿った滞留・移動(拡散)、カバー鉛直方向への流下を起こし拡散する。
- ③ カバー内部で分離した油分(ペトロラタムコンパウンド)は、圧力の低いカバー端部やカバー突き合わせ部へ移動・拡散し、外部へ流出する。
- ④ カバー内部に突起物がある場合、突起物の両方で油分が分離・滞留しやすい。
- ⑤ 直射日光の照射等によりカバー外部からカバー内部へ入熱が生じ、ペトロラタム系防食材が加温されることで軟化し、基布中から分離・流動化する。直射日光の影響を受けやすい南面で生じやすい傾向にある。

3.3 波崎海洋研究施設での30年詳細調査結果の再分析

3.3.1 概要

波崎海洋研究施設での長期曝露試験(港湾空港技術研究所資料No.1324)¹⁾の元データを油分変動要素との関係性にて再分析を実施し、ペトロラタム被覆防食材の変状起点と発錆の関係性を再整理することを目的とした。

3.3.2 既報での報告内容

①油分残存率傾向と発錆との相関性

油分残存率の経過年数変化を図-48に、発錆との関係性を表-24に抜粋した。油分残存率は経過年数に対して必ずしも減少するとは明言できなかった。また健全性の目安とされた油分残存率80%に対する発錆状況は、相関性が得られなかった。この原因として、1)測定誤差、2)初期値誤差、3)保護カバーの相違、4)サンプル数不足が挙げられている。

②油分残存率と含水率および絶縁抵抗との関係

油分残存率と含水率および絶縁抵抗との関係を図-49～図-50に抜粋した。どちらも明確な相関性は得られていないが、含水率と絶縁抵抗(図-51に抜粋)には相関性がみられ、ペトロラタムの防食機能低下には水分の吸収が起因することが示唆されている。

3.3.3 ペトロラタム性能の再分析の視点

実環境曝露試験結果より、以下の要素が抽出された。

- ① 鋼材の凹凸等による外圧による流動
- ② 継ぎ目部での内圧開放部への流動
- ③ 日照による内部温度上昇に伴う流下

当該現象に伴う防食機能との相関性を、波崎海洋研究施設での30年詳細調査の元データから再整理することとした。

3.3.4 波崎海洋研究施設でのデータの再分析結果

波崎海洋研究施設での30年詳細調査での元データを表-25に示す。また、過去の知見から以下の点が示されている。

- ① ペトロラタム被覆防食工における供用下鋼材の腐食は、局部的でかつ起点は保護カバーの継ぎ目部であった。
- ② 鋼材の溶接ビードや腐食凹凸がある部位では、上記保護カバーの継ぎ目部を起点とした防食材の劣化や発錆の進展が見られた。
- ③ この劣化現象は、詳細調査でサンプリングした部位の一部にのみ存在していたことから、全体の質量増減への影響が少なく油分残存率では鋼材腐食に至る性能劣化として捉えられなかったと推察する。一方絶縁抵抗値は、性能劣化に関する経年変化の傾向

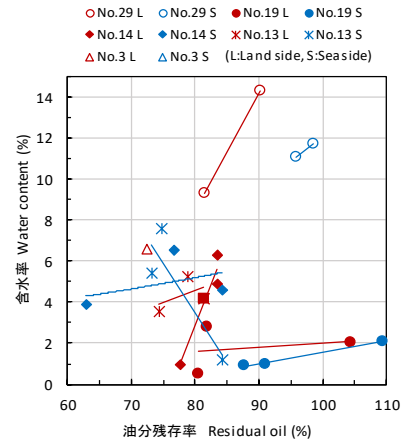


図-49 油分残存率と含水率の関係

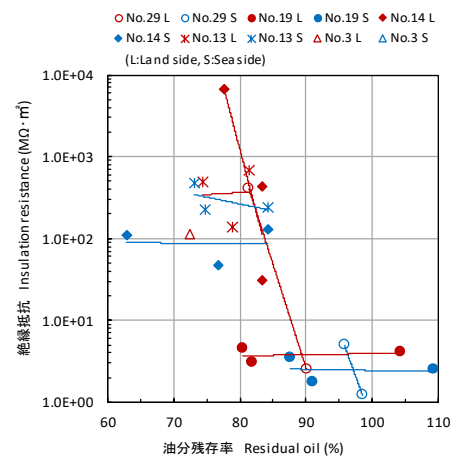


図-50 油分残存率と絶縁抵抗の関係

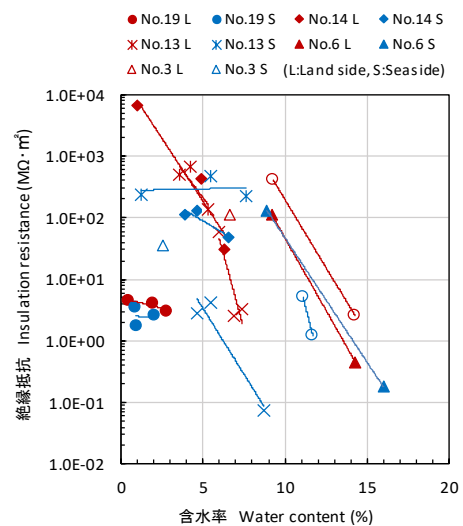


図-51 含水率と絶縁抵抗の関係

が見られた。なお、保護カバーの機能が健全な部位では、防食機能は30年程度確保していた。

表-25 波崎海洋研究施設での30年詳細調査元データの再整理

杭No.		3	6	12	13	14	19	24	29
経過年数(H26年度時点)		15年	28年	29年	26年	11年	18年	28年	14年
カバー構成	防食材	ハースト+防食	ハーストのみ	特殊ハーストシート	ハースト+防食	ハースト+防食	ハースト+防食	ハーストのみ	ハースト+防食
	緩衝材	無	有	有	無	有	有	有	有
	保護カバー	PE 4.7mm	チタン 0.7mm	FRPP 2.0mm	PE 4.7mm	FRP 2.0mm	FRP 5.0mm	FRP 2.0mm	チタン 0.6mm
	型式	フランジレス	フランジ	フランジレス	フランジレス	フランジレス	フランジ	フランジ	フランジレス
下地特性	ヒート	陸側で計測線	飛沫海側有	なし	飛沫陸側有	飛沫海水海側有	干満帯で有	なし	なし
	鋼材凹凸	有	飛沫部で有	なし	飛沫陸側有	なし	なし	なし	有
継ぎ目影響		上端部影響あり	上端シール不備あり	なし	継ぎ目破損影響あり	下端影響あり	なし	中間継ぎ目バンド腐食影響あり	なし
油分残存率(%)	飛沫	68.2-76.8(平均71)	-	-	73.3-89.9(平均82)	72.9-88.3(平均81)	79.8-91.4(平均84)	-	81.4-95.0(平均89)
	干満	-	-	-	71.6-84.6(平均78)	71.6-88.2(平均82)	79.4-127.9(平均107)	-	90.1-98.6(平均94)
	海水中	-	-	-	70.6-78.6(平均74)	61.1-83.9(平均73)	75.7-92.8(平均86)	-	-
外観	飛沫	褐色、粘性有	赤褐色、固化	緑暗色、粘性有	褐色、粘性小	一部黒色 粘性有	チーフ重部で錆汁	黒褐色、粘性有	茶褐色、粘性有
	干満	-	黒色、粘性有	緑暗色、粘性有	一部白色、粘性小	一部白色 粘性有	黒色、粘性有	黒褐色、粘性有	茶褐色、粘性有
	海水中	-	-	一部黒色、粘性有	一部黒色、粘性有	一部白色 粘性有	黒色、粘性有	黒褐色、粘性有	-
変状	飛沫	流動有	不明確	なし	なし	ヒート部で有	なし	流動有	流動有
	干満	-	不明確	なし	なし	海側で一部有	なし	流動有	流動有
	海水中	-	-	なし	不明確	なし	なし	なし	-
新たな発錆	飛沫	なし	なし	有	なし	なし	チーフ縫目で有	なし	なし
	干満	-	なし	有	有	なし	なし	海側のみに有	なし
	海水中	-	-	陸側のみに有	なし	なし	なし	有	-

- ④ 10年以上経過した曝露材の保護カバー中心部(健全部)での油分残存率は概ね70%以上であった。
- ⑤ また油分残存率90%以上を確認した部位ではペトロラタムの性状(外観および粘性)は良好であった。
- ⑥ 一部の保護カバーでは干満帯に油分流入が確認され、油分残存率が低下した部位で継ぎ目部近傍にて発錆が確認された。
- ⑦ 油分残存率60%程度でも海水中では発錆が見みられない事例もあり。これは干満帯と比べ酸欠になりやすい環境(や電防の効果)であることが要因と推察される。

3.4 まとめ

本章で得られた結果を以下にまとめる。

- ・ 油分の分離には、環境温度とカバー内部の圧力(機械的な作用力)が影響していることが認められ、環境温度が高いほど、また、突起物周囲などに負荷する機械的な圧力が高いほど油分の分離が生じやす

いと考えられる。カバー内部ではペトロラタムペーパーの基布の目(不織布を縫い付けた縦糸)に沿って油分が分離・移動する現象も認められた。カバー内の圧力が低いと考えられる縦糸部は、分離した油分が移動、滞留しやすい部位であると考えられる。

- ・ FT-IR分析によりペトロラタム成分の劣化(酸化)を分析した結果、各試験体の吸光度比は、非常に小さく、甚大な酸化は認められなかった。
- ・ カバー材内部での油分の分離は、熱影響の他、機械的作用力(カバー締め込み時に生ずるペトロラタム系防食材への圧力)によっても生じ、油分の移動・流出を促進させる要因となる。また、直射日光の照射等によりカバー外部からカバー内部へ入熱が生じ、ペトロラタム系防食材が加温されることで軟化し、基布中から分離・流動化する。直射日光の影響を受けやすい南面で生じやすい傾向にある。

4. 劣化進展メカニズム及び維持管理手法の提案

本報告では、ペトロラタム被覆防食工の耐久性および調査方法について取りまとめた。以下に得られた知見およびそれに基づく提案を示す。

4.1 調査・試験結果の総括

ペトロラタム被覆防食工は、保護カバー設置初期の外圧と鋼材の凹凸による内圧変動によりペトロラタム系防食材の油分変動が起きること、および日照影響にて当該油分変動が助長されることが分かった。また油分の変動は、基布の目に沿って低分子量成分が移動し、内圧緩和部(溶接ビード脇や孔食部)や開放部(保護カバーの端部や突き合わせ部)へ滞留や流出する。これらの油分変動は油分残存率 70%~100%超えの偏肉として現れる。一方ペトロラタム系防食材の防食機能は、当該初期の油分変動のみでは劣化進展せず、水分が介在する環境にて基布の目に滞留した低分子量成分との置換や乳化や、流下減肉部での酸化に伴う固化にて吸湿し、基布を通して鋼材まで水分が到達すると発錆に繋がる。上記をもとに波崎海洋研究施設の曝露材の再分析を実施した結果、防食機能低下部位は選択的かつ部分的で、保護カバーの継ぎ目や突き合わせ部を起点としていた。このことから、劣化現象は詳細調査でサンプリングした部位の一部にのみ存在しており、油分残存率評価での質量増減影響が少ないため、鋼材腐食に至る性能劣化として捉えられなかった。ペトロラタム被覆防食材の性能確認としては、水分の浸透に伴う防食機能低下となることから、絶縁抵抗値にて劣化傾向を見極められる可能性が示唆された。なお、保護カバーの機能が健全な部位では、防食機能は 30 年程度確保していた。

表-26 ペトロラタム被覆工の重点的目視観察部

目視観察重点部		確認内容
保護カバーの継ぎ目	上下端部	端部シールの亀裂、剥離、脱落の症状、および端部シール欠落部での発錆の有無
	中間継ぎ部	端部シールの亀裂、剥離、脱落や固定バンドの損傷症状、保護カバーの目違いや浮き、および防食材流出の有無
保護カバーの突き合わせ部(締結部)	ボルト部	ボルトの緩み、抜け、および防食材流出の有無
	非ボルト部	締結部の開口、目違い、保護カバーのうねり、および防食材流出の有無

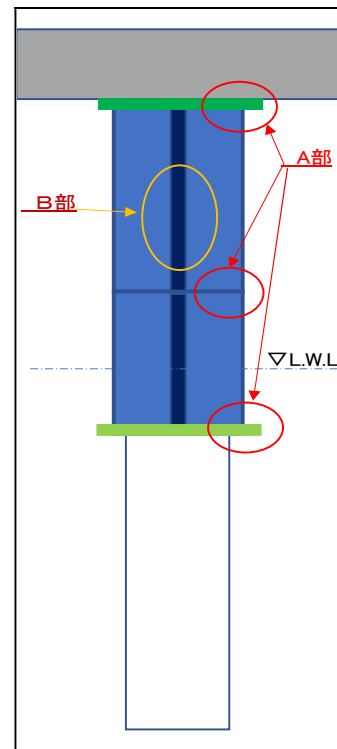


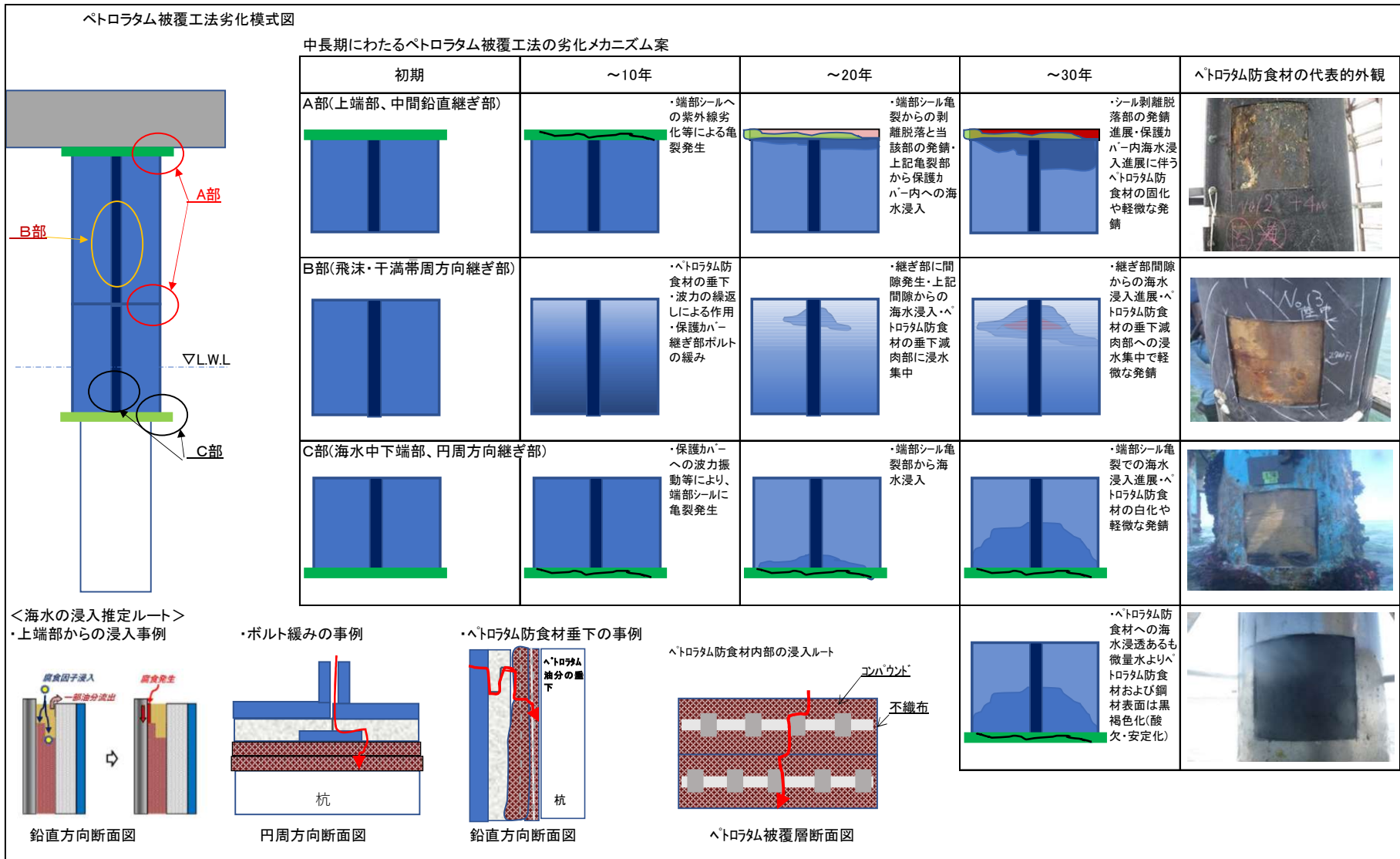
図-52 ペトロラタム被覆工の防食機能低下起点

(A部：継ぎ目部、B部：突き合わせ部)

表-27 ペトロラタム系防食材の外観観察による劣化状況の判定案

	健全	防食機能低下	防食劣化
外観			
症状	<ul style="list-style-type: none"> ・基布の目は明確ではない ・茶褐色～黒色で一様 ・粘性が見られる 	<ul style="list-style-type: none"> ・基布の目が露出しほつれあり ・色調が白色化、黒色偏在 ・粘性低下 	<ul style="list-style-type: none"> ・基布が露出(表層油分なし) ・色調が白色化、黒色偏在 ・粘性なし(固化)

表-28 ペトロラタム被覆工法の劣化模式図



4.2 ペトロラタム被覆防食工の劣化進展メカニズムの推定

ペトロラタム被覆防食工は、保護カバー設置時の外圧と鋼材の凹凸に伴う内圧の影響で、設置当初からペトロラタム系防食の油分流動が発生している。当該流動は日照等の入熱作用で助長し、基布の目に沿って移動、流出する。供用中の防食機能低下の起点は保護カバーの端部や突き合わせ部であり、前者は端部シールの亀裂・剥離部に、後者はボルトの緩みや日照影響によるペトロラタム系防食材の油分偏肉部により、基布の目に沿いながら部分的に水分が鋼材まで達し腐食する水分浸透形であることが推察された。

ペトロラタム被覆防食材の性能確認としては、絶縁抵抗値にて劣化傾向を見極められる可能性が示唆された。なお、保護カバーの機能が健全な部位では、防食機能は30年程度確保していた。

ペトロラタム被覆防食工の防食機能劣化進展メカニズムをこれまでに述べた調査・試験結果より、以下のように推定した。

ペトロラタム被覆防食工は、保護カバー設置時の外圧と鋼材の凹凸に伴う内圧の影響で、設置当初からペトロラタム系防食の油分流動が発生している。当該流動は日照等の入熱作用で助長し、基布の目に沿って移動、流出する。供用中の防食機能低下の起点は保護カバーの端部や突き合わせ部であり、前者は端部シールの亀裂・剥離部に、後者はボルトの緩みや日照影響によるペトロラタム系防食材の油分偏肉部により、基布の目に沿いながら部分的に水分が鋼材まで達し腐食する。ペトロラタム系防食材内部では、基布の目に滞留している外圧および内圧で流動した低分子量成分が水分の浸透にて置換(油分残存率の低下)や乳化(粘性の低下や退色)し、当該部分より基布を伝って内部へ浸透すると思われる。特に日照影響部では油分の流下による減肉とともに酸化(固化や退色)し、基布への水分浸透が促進されると推察した。上記の防食機能劣化進展メカニズム案を表-26に模式図として示す。

4.3 劣化進展メカニズムを考慮した維持管理手法

①目視観察

ペトロラタム被覆防食工の防食機能低下は、選択的かつ部分的であるため、起点となる保護カバーの継ぎ目や突き合わせ部の観察が重要となる。表-27 および図-52に重点的に目視観察部位を示す。

②ペトロラタム系防食材の外観判定

ペトロラタム系防食材は油分減少とその後の水分との

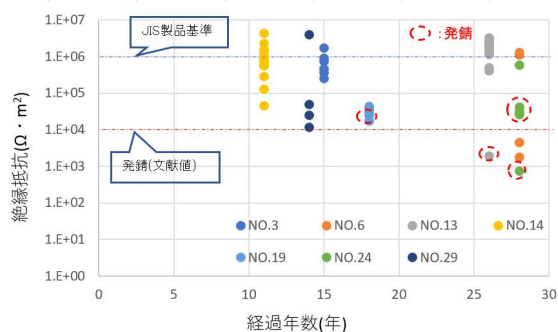


図-53 ペトロラタム系防食材の絶縁抵抗経過傾向 (波崎 30 年詳細調査再整理)

表-29 ペトロラタム被覆工法の供用期間における点検内容案

	～10年	～20年	～30年
保護カバーの外観目視	○	○	○
ペトロラタム防食材の外観目視	○	○	○
防食材の機器調査	油分残存率	○	-
	絶縁抵抗	-	○

置換や乳化、および酸化により防食機能が低下するが、その症状は防食材の外観へ顕著に現れる。外観観察での良否判定については表-28が参考となる。

③ペトロラタム系防食材の機器調査

ペトロラタム被覆防食工の劣化進展メカニズムの推定より、ペトロラタム系防食材は設置初期から油分残存率が変動し、供用過程での日照影響等で油分変動が助長されながら水分の浸透により防食機能は低下する。このことから、初期から供用中期ではペトロラタム系防食材の油分変動の動向を確認するための油分残存率傾向を、供用中期以降では防食性能による劣化傾向と寿命予測が可能と思われる絶縁抵抗測定を提案する。また健全性の指標として、本研究成果としては絶縁抵抗 $10^5 \Omega \cdot m^2$ を提案する(図-53)。

④維持管理

ペトロラタム被覆防食工での維持管理のための点検内容に関しては、当該工法の劣化進展メカニズムの推定から供用期間における個々の特性を評価する必要があるため、表-29のように提案する。

5. おわりに

本稿では、ペトロラタム被覆防食工の劣化進展メカニズムや、ペトロラタム被覆防食材の有効的評価手法を検討し、今後の維持管理へ繋げることを目的として、既往の文献データを整理するとともに、室内試験および屋外曝露試験を実施し、結果をまとめた。さらに、ペトロラタム被覆防食工の劣化進展メカニズムを示すとともに、それを考慮した維持管理手法を提案した。以上の結果より、以下の知見を得た。

- ・ ペトロラタム被覆防食工は、保護カバー設置時の外圧と鋼材の凹凸に伴う内圧の影響で、設置当初からペトロラタム系防食の油分流動が発生している。当該流動は日照等の入熱作用で助長し、基布の目に沿って移動、流出する。供用中の防食機能低下の起点は保護カバーの端部や突き合わせ部であり、前者は端部シールの亀裂・剥離部に、後者はボルトの緩みや日照影響によるペトロラタム系防食材の油分偏肉部により、基布の目に沿いながら部分的に水分が鋼材まで達し腐食する水分浸透形であることが推察された。
- ・ ペトロラタム被覆防食工の防食機能低下は、選択的かつ部分的であるため、起点となる保護カバーの継ぎ目や突き合わせ部の観察が重要となることが分かった。
- ・ ペトロラタム被覆防食工の劣化メカニズムの推定より、ペトロラタム系防食材は設置初期から油分残存率が変動し、供用過程での日照影響等で油分変動が助長されながら水分の浸透により防食機能は低下する。このことから、初期から供用中期ではペト

ロラタム系防食材の油分変動の動向を確認するための油分残存率傾向を、供用中期以降では防食性能による劣化傾向と寿命予測が可能と思われる絶縁抵抗測定を提案した。また健全性の絶縁抵抗率の指標として、本研究成果としては絶縁抵抗 $10^5 \Omega \cdot m^2$ を提案した。

(2022年2月1日受付)

参考文献

- 1) 山路徹ら：長期海洋曝露試験に基づく鋼管杭の防食工法の耐久性評価に関する研究(30年経過時の報告)，港空研資料，No.1324，2016。
- 2) (社)日本規格協会：JIS Z 1903 ペトロラタム系防食ペースト類，2016。
- 3) (社)日本規格協会：JIS Z 1902 ペトロラタム系防食テープ，2009。
- 4) 防食・補修工法研究会：港湾鋼構造物実務ハンドブック，2002。
- 5) 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編，2014。
- 6) 沿岸技術センター：港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル，2009。
- 7) 星野雅彦ら：港湾環境に長期間暴露されたペトロラタム系防食剤の劣化機構の評価，材料と環境，66，pp.31-40，2017。

港湾空港技術研究所資料 No.1402

2022.3

編集兼発行人 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

発行所 港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

Copyright © (2021) by MPAT

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of MPAT

この資料は、海上・港湾・航空技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は海上・港湾・航空技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。