

BANSIGHT

第12号 // 2024年8月

タンカーのコーティングに関する 基本ガイド

タンカーはさまざまな石油精製品や化成品を輸送できるように設計されています。しかし、幅広い貨物に対応できるように、船内のカーゴタンクには特別なコーティングが必要です。

効果の高い確実なコーティングを施すことで、水や腐食性物質がタンクの金属表面に直接触れるのを防ぐため、タンクが損傷しにくくなり、輸送中の貨物のコンタミを防止できます。ついては、タンクコーティングの意義と、タンクコーティングがクレームやリスク管理に及ぼす影響を理解しておくことが欠かせません。

本号では、タンクコーティングの主な種類と、それぞれの基本的な特性とデメリットについて簡単に解説します。

Van Ameyde Marine



本号のパートナー

Van Ameyde Marineは、70人以上の海事サーベヤーと海事コンサルタントを擁する、海運業界向けの独立系サービスプロバイダー大手です。



コーティングの種類

カーゴタンクのコーティングにはさまざまな種類があります。それぞれ特性やメリットが異なり、幅広い貨物に対応します。

ステンレス鋼

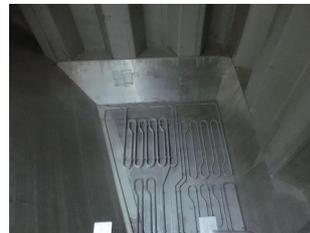
ステンレス鋼は厳密にはコーティングではありませんが、大半のケミカルタンカーのタンクはステンレス鋼でライニングされていることが多いです。ステンレス鋼は合金の一種で、タンカーではSUS 316や二相ステンレス鋼などの鋼種がよく用いられています。カーゴタンク間の隔壁の表面が無垢のステンレス鋼製の場合、カーゴタンクとバラスタタンクや空所間の隔壁の表面をクラッドする場合は、SUS 316Lや316LNを用いるケースがほとんどです。「クラッド」とは、船舶の船体鋼材に厚さ3ミリのステンレス鋼を接合した状態のことをいいます。

ステンレス鋼の主な特性の1つは、酸化クロム皮膜がある点です。これを「不動態皮膜」とも呼びます。厚さ約3ナノメートルというこの極薄の皮膜が、タンクに積まれる貨物からステンレス鋼を保護する隔壁となります。不動態皮膜は特定の貨物に触れると徐々に劣化しますが、ステンレス鋼は酸素に触れるとこれを再生させるという性質があります。このような皮膜の健全性を、一般的に「不動態」と呼びます。ステンレス鋼の酸化クロム皮膜の完全再生を促すには、クリーニング後、タンクを24～72時間空気にさらすとよいでしょう。ただ、スケジュールに余裕がなく、揚げ荷役、クリーニング、積み荷役が続けて行われる場合は難しいかもしれません。

酸性物など皮膜を劣化させやすい貨物を繰り返し輸送したあとは、酸化クロム皮膜が再生しきれないこともあります。ステンレス鋼から生じる遊離鉄分子で主に構成される汚染物質があることが原因です。防食皮膜の再生を促すには、「不動態化」と呼ばれる処理を行います。

作業の手順としては、まずタンククリーニング装置を用いて硝酸溶液やクエン酸溶液をタンク内に環流させます。酸によって、不純物である遊離鉄を効率的に除去できます。除去したら、タンクを入念に清浄し、約72時間空気(酸素)にさらします。空気にさらすことで、ステンレス鋼に含まれるクロムが酸素と反応し、不動態皮膜で完全に覆われます。不動態化の作業は船員が実施しても構いませんが、十分に注意して実施してください。

また、不動態化と比べると実施できる範囲は小さくなりますが、「酸洗い」という処理方法もあります。酸処理により、表面に付着している鉄、不純物、酸化物の除去や焼け取りを目的としたものです。通常は外部の専門業者が行います。



ステンレス鋼コーティング

ステンレス鋼は他の鋼と比べると防食性に優れていますが、腐食を完全に防げるわけではありません。腐食の中でも特によく見られるのが点食です。ステンレス鋼と特定の元素が化学反応を起こし(例:貨物の残渣と塩化物が結合する)、小孔が生じる現象です。放置していると広がっていき、やがて深さ数ミリ、幅数センチの大きな割れ目になります。

小孔が生じると、表面がいびつになりクリーニングがしにくくなります。貨物の残渣を除去しきれずクロスコンタミが発生するほか、不動態皮膜の再生能力も低下してしまいます。クラッド鋼の表面にできた小孔や割れ目は厚さ3ミリのステンレス鋼層を貫通し、その下にある軟鋼が貨物に直接当たるようになります。ひどい場合には、軟鋼に穴が開き、隣のバラスタタンクや空所に貨物が漏洩してしまうこともあります。

ベストプラクティス

クリーニングが終了するごとに、タンクの清浄度だけでなく、表面の状態について目視確認を行うなど、入念な点検を実施するようにしてください。輸送する貨物によっては、ステンレス鋼の不動態性を定期的に測定する必要があります。

点検の際は、ステンレス鋼のヒーティングコイルの状態に特に注意を払ってください。多くの場合、点食は一度発生すると小孔が次第に増えていきます。小孔ができると、水(時にグリコールとの混合物)やサーマルオイルなどの熱媒体によって貨物のコンタミが起きるおそれもあります。ヒーティングコイルの健全性を確保するには、通常の目視点検を行ったのち、使用前に圧力試験を行うよう管理体制を構築する必要があります。

また、酸性貨物は、ステンレス鋼との化学反応により被膜を劣化させやすい混合物を生成し、腐食を引き起こす可能性があるため、輸送前から輸送中、輸送後まで十分に注意してください。腐食の程度によっては、修理に必要な人手や材料、作業日数が大幅に増えてしまうおそれがあります。

ピュアエポキシ 有機コーティング



完全にコーティングした状態

ピュアエポキシは主にクリーンプロダクト(CPP)を輸送する船舶に用いられます。防食性が低いため、積める貨物の種類がある程度限られます。

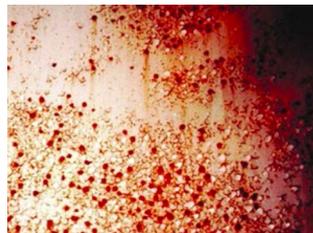
貨物輸送後のメンテナンスが不十分であったり、クリーニングがずさんであったりすると、粒子状物質が堆積する、あるいは貨物の残渣や洗浄水の残液が付着したままとなり、次に積む貨物でコンタミが起きるおそれがあります。

エポキシコーティングは、クリーニング方法が不適切であったり高温状態にさらしたりすると、劣化が早く進み、貨物のコンタミ原因になることがあります。

ピュアエポキシでコーティングしたタンクはパーム脂肪酸蒸留物などの植物油と相性が悪く、これらの貨物を積むと、有機コーティングに含まれる結合剤が化学反応で劣化します。事前に貨物の耐性表を必ず確認するようにしてください。



コーティングの膨れ(破裂前)



コーティングの膨れ(破裂後)

ベストプラクティス

商売の性質上、タンクは、前荷を揚げて次の貨物を積むまでに最低限のクリーニングしか行えない場合や、せいぜい清水で底を洗い流すしかできない場合も多々あります。広範囲のクリーニングが必要であれば、使用する清浄剤や、洗浄水の温度に特に注意を払わなければなりません。一部の清浄剤は前荷の残渣の除去に非常に効力を発揮する一方、エポキシコーティングを劣化させるおそれもあります。

定期点検を行い、コーティングの状態を定期的に確認してください。コーティングは一部が破損するとそこから急速に破損が広がってしまうため、速やかに対処する必要があります。放置していると、粒子状物質(コーティングの剥離片や錆片)の混入だけでなく、貨物や水分も混入する事態になりかねません。

コーティングが柔らかくなっている場合は、固まるまで時間をおく必要があります。加熱は避けてください。塗膜の表面だけが先に固まり、内部が柔らかいままになってしまいます。

貨物の適合性、熱への暴露、清浄剤については、メーカーのガイドラインに従ってください。

フェノールエポキシ 有機コーティング



完全にコーティングした状態

フェノールエポキシコーティングは、フェノール系樹脂とエポキシ系樹脂の両方の特性を組み合わせたもので、より幅広い化成品への防食性を備えています。その優れた特性により対応できる貨物も多いことから、広く使われています。ただし、貨物の吸着・脱着が起りやすいため、クリーニングがやや大変になります。芳香性(溶解性)貨物、ケトン、アルコール、高酸性貨物など炭化水素への防食性はわずか、もしくはまったくない一方、塩基性(アルカリ性)貨物には強く、植物油、CPP、低酸性貨物の輸送に適しています。

[次ページへ続く](#)



膨れ



破裂部分を補修した様子

ベストプラクティス

タンククリーニングの際は、使用する清浄剤や、洗浄水の温度に特に注意を払わなければなりません。一部の清浄剤は前荷の残渣の除去に非常に効力を発揮する一方、フェノールエポキシコーティングの保全性を損なうおそれもあります。

コーティングの特性上、貨物残渣の吸着・脱着が起こる可能性に注意しておくことが重要です。脱着はすぐには進まず、コーティングが膨れて柔らかくなり残渣を放出できるようになるまでには、ある程度時間がかかると考えられます。タンクのクリーニング後に常温で換気を十分に行うと、吸着した(揮発性の)貨物残渣を除去しやすくなります。加熱すると残渣の揮発は速まりますが、処置としては逆効果です。塗膜の表面だけが先に固まり、内部が柔らかいままになってしまいます。その結果、前荷の残渣が閉じ込められてしまい、後になって脱着して次の貨物に混入してしまうおそれがあります。

定期点検を行い、コーティングの状態を定期的に確認してください。コーティングは一部が破損するとそこから急速に破損が広がってしまうため、速やかに対処する必要があります。放置していると、粒子状物質(コーティングの剥離片や錆片)の混入だけでなく、貨物や水分も混入する事態になりかねません。

メーカーのガイドラインに従ってください。

ケイ酸亜鉛 無機コーティング



完全にコーティングした状態(他のコーティングほど表面が滑らかでない)



ケイ酸亜鉛コーティングは溶剤をはじめとする化成品への耐性が強く、他のコーティングのプライマーとして使われることもあります。ただし、塗装前にクリーニングやブラストなど表面の下地処理をきちんと行っておかないと、うまく接着せず、コーティングが破損してコンタミリスクが高まります。亜鉛コーティングをプライマーにする場合、上塗りコーティングとの相性が悪いとコーティングが破損し、輸送中に貨物が劣化してクレームを受けるおそれがあります。

亜鉛コーティングが効果を発揮している間は亜鉛塩が生成され続けます。これは白い斑点になって現れ、亜鉛コーティング特有の防食効果をもたらします。亜鉛はpH値のやや高い水と反応すると、コーティングの表面に水酸化亜鉛/炭酸亜鉛の不溶性皮膜を形成します。これにより表面が不動態化し、さらなる腐食を防ぐことができます。



劣化したコーティング(亜鉛塩)



劣化したコーティング

ケイ酸亜鉛コーティングは、芳香性(溶解性)貨物、ケトン、アルコールに特に適しています。一方、pH値が6未満または9以上の酸性/塩基性の貨物に対する耐性はあまりありません。同じく、清浄剤(腐食剤など)、貨物残渣と水の反応、輸送中における酸性物の形成に対する耐性も低いです。開構造で表面が粗いため、クリーニングが多少しにくくなります。また、亜鉛が蓄積した場合、ジェット燃料などの貨物を汚染するおそれがあります。そのため、亜鉛コーティングは人間が口にする貨物(食用油など)の輸送には向いていません。



ベストプラクティス

タンククリーニングの際は、使用する清浄剤や、洗浄水の温度に特に注意を払わなければなりません。一部の清浄剤は前荷の残渣の除去に非常に効力を発揮する一方、亜鉛コーティングには有害となります。

植物油は遊離脂肪酸(FFA)を生成し、高熱や水に触れると生成が加速するため注意が必要です。FFAは酸性のため、亜鉛コーティングには有害となります。さらに、一部の貨物は水と混ざると酸性物を形成するため注意が必要です。タンクのクリーニング中に残渣と水が混ざると、コーティングが劣化してしまうおそれがあります。

どのコーティングにも共通することですが、定期点検を行い、コーティングの状態を定期的に確認してください。コーティングの一部が破損するとそこから急速に破損が広がってしまいます。素地の鋼材の損傷やカーゴクレームを避けるために、速やかな対処が必要です。

MARINELINE ポリマーコーティング

MarineLineコーティングは、大半のCPP貨物や植物油、化成品(酸性物、腐食剤、各種溶剤など)に対する高い耐性を有します。



完全にコーティングした状態



ポリマーコーティングで表面が滑らかなため、クリーニングが容易になります。また、閉構造のため、貨物の吸着・脱着が生じません。



劣化したコーティング



ベストプラクティス

定期点検を行い、コーティングの状態を定期的に確認してください。コーティングの一部が破損するとそこから急速に破損が広がってしまいます。素地の鋼材の損傷やカーゴクレームを避けるために、速やかな対処が必要です。

また、どのコーティングにも共通することですが、タンク内で作業をする際は十分に注意してください。タンクの上に工具を誤って落としたりすると、一見して分からなくても微細なひびが入るおそれがあります。このようなひびは、いずれコーティングの剥離につながります。

適合する貨物や、補修が必要になった場合の補修方法については、メーカーのガイドラインに従ってください。多くのメーカーがタッチアップ用の補修キットを提供しています。船員で補修を行う場合は、表面の下地処理が必要です。

コーティングの選択

どのコーティングを選ぶかは造船の開始前に決めます。決める際は以下の点を考慮する必要があります。

投入予定の航海

(輸送貨物との適合性を考える)

塗装・メンテナンスにかかる費用

収益見込みと比較して考える

コーティングの予想寿命

(輸送貨物にもよるが、一般的には8～15年)

タンクのクリーニングおよびメンテナンスのしやすさ

塗装時の考慮事項

タンクにコーティングを塗装する際、特に表面の下地処理、乾燥、硬化に関しては、塗装のガイドラインに従うことが重要です。

コーティングでありがちな点の1つに、塗装前に粉塵を除去しきれしていないという問題があります。粉塵が非常に小さな斑点のように残っていると、塗装してもコーティングが素地の鋼材に直接付着せず、点在するその粉塵に付着してしまいます。初めは目に見えなくても、このような箇所からコーティングの劣化が進み、後になってようやく顕在化するというケースも多々あります。

コーティングの乾燥は硬化とは別の工程です。

乾燥とは、コーティングを塗装しやすくするために添加されている溶剤を蒸発させる工程のことで、硬化の第一段階ともよく言われます。コーティングは、このような溶剤で粘度を下げることで、タンクの壁にも散布できるようになっています。

硬化とは、化学反応によってコーティングを固める工程のことで、化学反応の性質はコーティングの種類によって異なります。硬化を速めるために、コーティングには化学反応を誘発・促進するための硬化剤が添加されています。

乾燥と硬化を誘発・促進するためには、通常、コーティングを高温にさらす必要があります。

コーティング塗装後の硬化には時間がかかるため、造船や(ドライ)ドック工程の最終段階に行うのが一般的です。そのため、少しでも早く本船を使用しようと、この工程をつい省略したくなります。

しかし、塗装を適切に行わないと短期・中期的な問題につながり、コーティングの寿命が大幅に縮まるおそれもあります。

塗装工程が不適切・不完全だったためにコーティングが破損するような事態を避けるためには、船主が手配したコーティング専門業者の厳しい監督のもとで塗装(表面の下地処理、硬化、硬化後の試験・検査を含む)を実施するようにしてください。



コーティングの暴露

カーゴタンクのコーティングは、船舶を通常に運航していても、以下のように変化の激しい過酷な状況にさらされます。

- さまざまなケミカル貨物や清浄剤が立て続けに入ってくる
- 海水を浴びる
- 温度変化が激しい(貨物の加温、タンクのクリーニング、バラスト水の注入)
- タンク内でのメンテナンス作業で機械による衝撃を受ける
- 乾燥状態にも多湿状態にも置かれる
- 載貨状態、空船状態、海況により受ける力の変化に伴い、船体にかかる応力も変わる

コーティングはこれらの要素に耐えられるように作られてはいますが、経年劣化はどうしても避けられません。通常、割れの発生などの劣化は、最初は顕微鏡で見ないと分からないレベルですが、次第に定期点検の際にも見えるようになってきます。

つまり、コーティングの劣化というのは進行型の現象であるため、コーティングはいずれ寿命を迎えて再塗装が必要になるのです。寿命とは、耐性一覧表に記載されている貨物の輸送にコーティングが問題なく耐えられると(メーカーが)想定した期間のことです。ただし、寿命期間内であれば(塗装時の質と比較して)劣化が進まないというわけではありません。

寿命が近づくにつれ、ある貨物は輸送に適していても、別の貨物は輸送に適さなくなるという状況が生じるでしょう。

コーティングの破損を早期に見つけるためには、定期点検を実施することが重要です。破損箇所が少なければ、ある程度は船員で補修できます。ただし、メーカーが提供する補修手順に従い十分に時間をかけて行う必要があります。

コーティングメーカーは、貨物とコーティングの適合性を記した耐性一覧表を提供しています。また、温度や暴露時間、pH値に関する目安も示しているはずですが。

コーティングが(寿命よりも前に)損傷してしまうことのないよう、このようなガイドラインや指示に従うことが重要です。

時には、コーティングメーカーのガイドラインに含まれていない貨物が輸送対象に選ばれることもあります。そのような場合は専門業者に相談するようにしてください。その際、輸送貨物の詳細な分析が必要になることも多々あります。

カーゴタンクの点検と注意すべきポイント

コーティングしたカーゴタンクで輸送したことによる貨物のコンタミや劣化は、主に以下が原因とされています。

- コーティングの膨れ部に前荷が付着した(前荷による劣化)
- コーティングの膨れ部に洗浄水が付着した(水による劣化)
- コーティングの劣化によりコーティングの剥離片が生じた(粒子状物質による劣化)
- コーティングに前荷が浸潤した(前荷による劣化)
- コーティングが損傷したことで素地の鋼材が露出して錆が生じた(粒子状物質または変色による劣化)

一方、貨物がコーティングに影響を及ぼす場合もあるため注意してください。このような場合によく見られるのが、コーティングの破損や変色です。カーゴタンクが変色すると、それが前荷が残っているために起きたのか、単なる外観上の問題なのか目視による点検では分からず、船積みを拒否されてしまうケースが多々あります。

このような場合は、船積み前に荷主が貨物検査員を手配し、タンクが予定貨物の船積みに適しているのか確認します。

貨物検査員がチェックするのは、タンクの清浄度です。無色透明基準(water white standard)の場合は目視で確認するのに対し、高純度基準(high purity standard)の場合は、ウォールウォッシュサンプルを採取してラボで検査したうえで確認します。

さらに、コーティングの外観についてもチェックします。タンク表面のコーティングは、寿命が迫ってきている場合などは一部に破損や剥がれが見られることがあります。

実際には、コーティングの破損があってもある程度までは容認されます(カーゴタンクの総表面積から推測した破損割合で判断することが多い)。しかし、この破損割合が船積みに対するタンクの適否を決める最終的な要素となるわけではないため、その点には注意してください。むしろ、船積み時の貨物のコンタミリスクは、コーティングの破損の性質や様子を踏まえて判断すべきです。これは、貨物検査員が船積み前のタンクの状態をチェックする際だけでなく、船主がタンクを検査員に見せる際にも言えることです。

一部の船舶では、タンクの清浄度チェックやタンクへの立ち入り回数削減のため(作業効率の向上や安全確保のため)に、分光光度計を用いています。そのような船舶では、コーティングの状態を監視する必要性を検討すべきです。

目視による点検ではコーティングに浸潤している前荷があるか分からない場合もあるため、注意してください。

過去には、2航海前、3航海前、さらには4航海も前の貨物が原因となったカーゴクレームも複数起きています。その一例が、積荷のスチレンのコンタミクレームです。4航海前に積まれたベンゼンが混入したとして提起されたクレームでした。詳しく調査した結果、ベンゼンを輸送した際にそれがコーティングに浸潤しており、その後の3航海は非溶解性貨物が積まれていたことが判明しました。スチレンはベンゼンと同じく炭化水素の一種であり、コーティング内部に染み込んでいたベンゼンを脱着可能だったため、それにより品質が劣化したのです。

スチレンを積むにあたってはバルクヘッドを溶剤(メタノール)で洗浄しており、洗浄後の検査でもベンゼンは検出されていませんでした。しかし、脱着はすぐ起きるものではありません。コーティングが柔らかくなって膨らむまでに時間がかかり、中に閉じ込められていた残渣が徐々に放出されるためです。このときは、メタノールがバルクヘッドに触れていた時間が短すぎて、ウォールウォッシュサンプルで検出できるくらいの量のベンゼンを脱着できなかったものと思われます。

一般的に、ケミカルタンカーはコーティング内部に0.5~2.0kgの貨物残渣が浸潤したままだと言われています。

通常は、タンクのクリーニング後に換気を長時間しっかり行う(コーティングが軟化するため加温はしない)ことで、浸潤した貨物が除去され、軟化したコーティングが再硬化します。しかし、揮発性の低い貨物には効果がない場合もあります。

一般的な防止策

一般的な防止策として以下のものを検討すべきです。

以降の航海でのクロスコンタミや品質劣化クレームを避けるために、荷揚げ後のタンククリーニングを入念に行う。

コーティングメーカーのガイドラインや業界のベストプラクティスに従い、タンクのコーティングの点検とメンテナンスを定期的に行う。

塗装してあるコーティングが輸送予定の化成品と適合性があるか確認するため、船積み前に適合性テストを行う。

クロスコンタミを避けるために、タンクのクリーニング手順および各種貨物の取り扱い方法について船員向けに訓練を実施する。

紛争やカーゴクレームが起きた際の抗弁材料にするべく、タンクコーティングのメンテナンス、点検、貨物の取り扱いに関する記録を正確に余すところなく残しておく。

コーティングを塗装・補修する際は、適切な塗装で質を確保するべく、船舶のタンクコーティングについて定評のある経験豊富な業者に依頼する。

各種タンクコーティングの特性やデメリットの把握に努める。これにより、クレームを未然に防ぎ、貨物の保全性を確保し、安全で効率的な運航を維持できる。

まとめ

以上のことから、船舶のタンクコーティングは長期にわたって絶えず監視が必要です。塗装した後はそのまま放置というわけにはいきません。過酷な環境・状況に常にさらされるため、状態を継続的かつ入念に監視し、問題を早期に発見することが重要です。

船主および船員は、本船に塗装してあるコーティングに実際にどのような特性やデメリットがあるのか明確に把握しておく必要があります。コーティングを入念にケアすれば、コーティングによる貨物のコンタミやクレームの発生リスクを下げることができます。コーティングの寿命も延びるため、コスト削減にもなるでしょう。



免責事項

本レポートは、THE BRITANNIA STEAM SHIP INSURANCE ASSOCIATION EUROPE(クラブ)が発行したものです。執筆時点での情報の正確性には万全を期していますが、これらの情報の完全性または正確性についてはいかなる責任も負いません。本レポートの内容は法的助言ではないため、個別の問題に関して具体的な助言が必要な場合は、必ずクラブにご連絡ください。

(翻訳)ブリタニヤヨーロッパ日本支店

こちらは英文の日本語訳です。日本語訳と英文の間に齟齬がある場合は英文の内容を優先くださるようお願い申し上げます。