

内面防食樹脂コーティング適用上の注意点

Precautions for Applying Internal Protective Resin Coating

宮下 隼基
Junki Miyashita

プロセス技術本部 EN テクノロジーセンター
EN Technology Center, Process Technology Division

要旨

機器・配管の内面には、主に防食を目的として、様々な種類のコーティング(表面被覆)が適用されている。この内面コーティングは、その仕様の決定から、施工・検査に至るまで、注意すべきトラブル要因を多く含んでいる。コーティングのトラブルは、短期間で致命的な損傷を与える可能性が高く、また、補修には多くの時間や費用を要する傾向があるため、トラブルの予防は特に重要である。

そこで本稿では、防食樹脂コーティングのトラブル事例を紹介し、トラブルを未然に防ぐための注意点について説明する。

Abstract:

Various types of coating are applied to the internal surfaces of equipment and piping in process plants mainly for corrosion protective purpose. It is assumed that the use of protective resin coating is based upon well-known technology. However, the coating technology contains many troubling factors to be taken into consideration in the design of each type of equipment and piping, coating application and inspection stages etc. Problems involving the coating are more likely to lead to critical trouble in the coated equipment and piping within a short time, and require lengthy time to repair. Therefore, it is important to take preventive measures against such trouble when applying the coating.

This paper introduces some instances of trouble concerning the coating, and explains precautions for preventing such problems.

1. はじめに

プロセスプラントにおける機器・配管の内面には、主に防食を目的として、様々な種類のコーティングが適用されている。プラントの材料選定において、コーティングは、耐食性金属材料の適用と並ぶ、重要な防食対策の一つである。しかし、その仕様の決定から施工・検査などの各工程において、数多くのトラブル発生要因を内包しているため、十分な注意が必要である。

コーティングにトラブルが起こると、**Fig.1** に示すように、機器・配管に局所的な腐食が発生し¹⁾、短期間で漏洩などの重大な事故につながる可能性が高い。コーティングの欠陥を補修

する際には、金属材料の補修と同じく、多くの時間や費用を要する。そのため、各種トラブル発生要因を理解し、これらを事前に取り除くことが重要である。

そこで本稿では、液状・粉状・シート状など様々な形状に加工された樹脂(エポキシ樹脂・ビニルエステル樹脂・フッ素樹脂・塩化ビニルなど)やゴム(天然・合成・軟質・硬質)を使用した機器・配管の内面に施工されるコーティング(以降、「コーティング」と称する)を対象を絞り、典型的なトラブル事例と、トラブルを未然に防ぐための注意点について説明する。

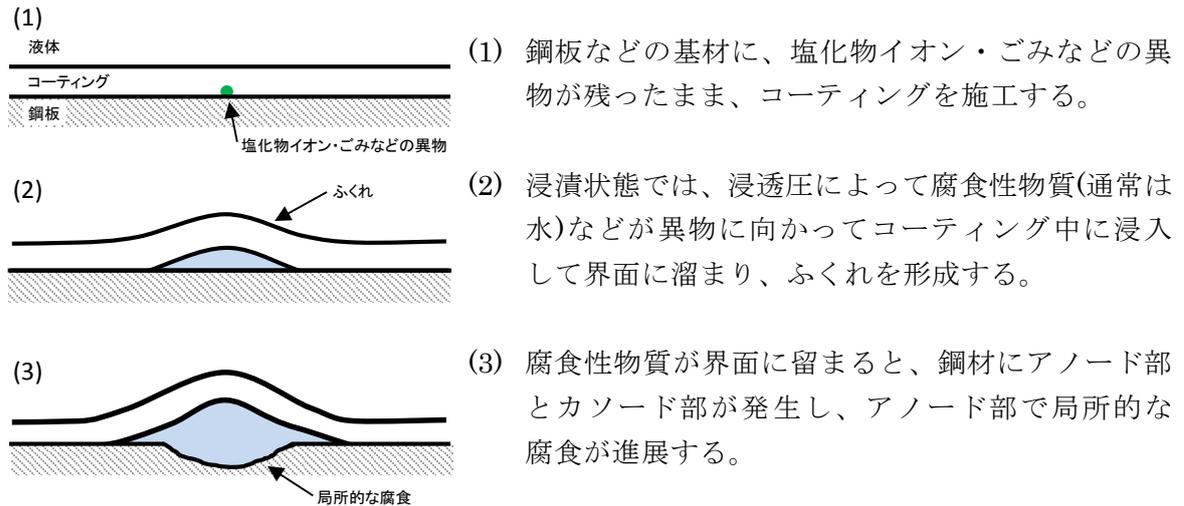


Fig.1 Occurrence Mechanism of Localized Corrosion under Coating in Immersion Service

2. コーティング適用目的

コーティングの適用目的は、以下に大別される。

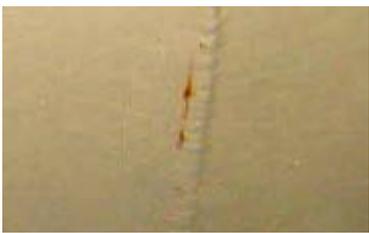
- 腐食環境が激しく、使用に適する金属材料が無い場合の防食対策
- 複数の腐食性物質の混入や一時的な腐食性物質の流入が危惧される場合における金属材料の防食対策
- 高額な金属材料(例えば Ni 合金)の代替や腐食代(腐食による金属の減耗を想定し、設計時に予め付与する減耗分の厚み)の低減などの、コストダウンを目的とした防食対策
- 腐食で発生する金属イオン(Fe・Cr・Ni イオンなど)の溶出防止、腐食生成物によるコンタミネーション防止などの間接的な防食対策

3. トラブル事例の紹介

コーティングにおけるトラブル事例を以下に示す。事例番号の横には、コーティングに発生したトラブルの損傷形態およびトラブルの発生要因を記す。

なお、明確な規定は無いが、1000 μ m 以上の膜厚を有する防食用途のコーティングをライニングと総称する場合がある。本稿では、ライニングが一般名称として使用されている場合などを除き、コーティングに統一して記述する。

A) コーティング対象機器の製作に関するトラブル

	事例 1: 剥離・割れ(機器製作上の配慮不足)	
	コーティングの種類	グラスフレークライニング (ビニルエステル樹脂)
	内部流体	海水、H ₂ Sガス(混相)
	温度	~65°C
	使用年数	約 0.5 年
損傷原因	溶接部の凹凸の仕上げ加工不足部により、コーティングの接着力が低下し、剥離・割れに至ったと推定される。	

B) コーティング仕様決定に関するトラブル^{2),3)}

	事例 2: 溶剤割れ(材質選定ミス)	
	コーティングの種類	PVC ライニング (塩化ビニル樹脂)
	内部流体	塩酸+有機溶剤(ソルベント)
	温度	50 から 60°C
	使用年数	2 年
損傷原因	溶剤割れ(ソルベントクラック)により PVC に割れが生じたと推定される。 (転載許可取得済)	

C) 施工に関するトラブル^{2),3)}

	事例 3: ふくれ(素地調整*の不良)	
	* 素地調整については、4.1 節(3)項で説明する。	
	コーティングの種類	エポキシコーティング
	内部流体	工場廃液
	温度	30°C
使用年数	0.5 年	
損傷原因	コーティング施工前の素地調整時に、作業員の出入りにより表面が汚染され、コーティングの接着力不足が生じた結果、ふくれが生じたと推定される。 (転載許可取得済)	

D) 検査に関するトラブル^{2),3)}

 <small>表面に母材からの錆が見られ、割れも著しい。皮膜をはがすと母材には全面に黒色の錆が見られた。</small>	事例 4: 剥離(コーティング施工後の検査不足)	
	コーティングの種類	エポキシコーティング
	内部流体	工場廃液(酸性)
	温度	50 から 60°C
	使用年数	5 年
損傷原因	コーティング検査後に残存していたピンホールから内部流体が流入し、錆びを発生させた結果、剥離に至ったと推定される。 (転載許可取得済)	

E) メンテナンスに関するトラブル^{2),3)}

	事例 5: ふくれおよび割れ(メンテナンス不足)	
	コーティングの種類	FRP ライニング (ビニルエステル樹脂)
	内部流体	CaSO ₄ スラリー
	温度	80 から 90℃
	使用年数	9 年
損傷原因	コーティング施工(内面)側が高温・外面側が低温、という温度勾配環境下で典型的に起こる「水の浸入」により、ふくれが発生・成長した。運転停止の温度変化により、ふくれ部で割れが発生したと推定される。	

(転載許可取得済)

4. トラブルを防ぐための注意点

本章では、トラブルを未然に防ぐための注意すべきポイントを、コーティング施工の各手順、メンテナンスおよびプロジェクト遂行の三段階に分類して説明する。

4.1. コーティング施工の各手順に関する注意点

コーティングの施工は、その関連作業を含め、以下のような手順で進められる。

- (1) コーティング対象の機器・配管の設計(後の製作も含める)
- (2) コーティング仕様(製品)決定
- (3) コーティング施工面の素地調整
- (4) コーティング施工
- (5) テストパネルの作成・保管
- (6) 検査

各手順において、トラブルを防止するための注意点を以下にそれぞれ整理する。

(1) コーティング対象の機器・配管の設計・製作

コーティングの密着性を高めるため、コーティング施工面に対して、最低限配慮すべき点を以下に列挙する。

- 機器・配管母材の適正な肉厚設計
内面に歪みを起こさせない十分な厚みを持たせる。
- コーティング施工面の表面状態
突起部や深いきずなどのコーティングの密着性の障害となる部位を無くす。
- 鋭角部の曲面仕上げ
グラインダなどで曲面(3R or 5R)に仕上げる。
- 溶接部の仕上がり
 - 飛び石溶接(Skip Weld)は避け、連続溶接(Full Seam Weld)とする。
 - スパッタ・ブローホール・アンダーカットなどは適切に処理する。

なお、機器に対して、以下の規格に施工面に対する要求がまとめられている。

- NACE SP0178: Design, Fabrication, and Surface Finish Practices for Tanks and Vessels to Be Lined for Immersion Service

(2) コーティング仕様(製品)決定

コーティングの仕様は、以下の条件を確認した上で適切に決定する。

- 使用流体の組成
- 使用温度(Operating Temperature)
- 運転環境(スチームアウトなどの一時的な昇温の有無)
- その他(使用流体中の固形分の有無など)

コーティング仕様の選定の際に参考となる規格には、以下のものがある。

- API RECOMMENDED PRACTICE 652: Lining of Aboveground Petroleum Storage Tank Bottoms
- ISO 12944-5: Paints and varnishes -- Corrosion protection of steel structures by protective paint systems -- Part 5: Protective paint systems
- ISO 20340: Paints and varnishes -- Performance requirements for protective paint systems for offshore and related structures
- NORSOK STANDARD M-501: Surface preparation and protective coating

なお、コーティング製品毎にサプライヤから発行されるプロダクトデータシートには、標準膜厚・施工時の湿度温度条件・重ね塗り時間などが記載されている。コーティング仕様に応じて製品を決定する際には、これらを施工管理項目として確認する必要がある。

ただし、以下に挙げた環境は、コーティングを使用するには非常に厳しい環境であり、仕様の決定には専門家の判断が必要である。

- 高温環境
有機樹脂材料は、高温環境では劣化が進むため温度に関して使用制限がある。120℃を超える浸漬環境で使用が可能なコーティング製品は非常に限られる。
- 溶剤環境
溶剤の種類によっては、短期間の使用も困難な場合があるため、専門家は運転モードによって使用される流体(溶剤)が変わる場合などにも注意して、材質の選定を行っている。
- コーティング施工面(内面)と外面の温度差が大きい環境
有機樹脂は、腐食性物質(通常は水)の浸透を完全には防ぐことができないため、コーティングを長期使用すると、浸透した腐食性物質が接着面で凝縮し、コーティングにふくれが生じる。コーティング側の温度が高く、外面との温度差が 60℃以上となるような場合は、短期間でコーティングのふくれが発生する可能性が高い。コーティ

ングを施工する機器・配管が寒冷地に設置されるなど、上記のような使用環境になる場合は、機器・配管外面に断熱材を施工するなどの対策が必要となる。

(3) コーティング施工面の素地調整

コーティング施工の第一歩は、コーティング施工面のブラスト処理などによる素地調整である。素地調整は、コーティングの密着性を低下させる錆びや汚れなどの除去、および微細な凹凸を施工面に形成させて、コーティングに強固な密着性を与えることを目的として行う非常に重要な作業である。

一般的に、内面・外面への施工に共通して、コーティングのトラブルの70%から80%は、「素地調整の不備」により発生すると言われている。コーティング製品を一度施工してしまうと、調整後の素地の状態を確認することはできなくなるため、施工前に徹底した確認が必要である。

以上を踏まえ、素地調整に当たっては、次の点を注意すること。

- ▶ コーティング施工面の表面状態の再確認
ブラスト処理などの後に、溶接部などで表面欠陥が露見することがあるので、表面状態の再確認が必要である。
- ▶ ブラスト処理などの素地調整面の仕上がり(除錆度)の確認
ブラスト処理の仕上がりグレードとして、ISO 8501-1にはSa1からSa3が設定されており、数字が大きくなるほど高い除錆度が要求される。通常、コーティングには、Sa2 1/2以上が求められるが、その仕上がりはISO 8501-1などの仕上がり見本を用いて確認する。
- ▶ ブラスト処理などの素地調整面の不純物(ブラスト材料の残りなど)の除去の確認
- ▶ 表面粗度(凹凸)の確認
用途に合わせて、25 μ mから75 μ m程度の表面粗度が求められることが多い。コーティングサプライヤが、製品毎に発行しているプロダクトデータシートに推奨値が定められているので、その値も参照する。粗度の確認は、ASTM D4417に規定されている「表面粗さ基準片との比較(Method A)」または「Testex レプリカテープ(Method C)」で行われることが多い。

(4) コーティング施工

素地調整を行った後、施工面に発錆が生じる前に、できるだけ早くコーティング施工を行う。基本的にスプレーで施工することが多いが、溶接部・コーナー部・ノズル内部などスプレー施工で規定膜厚を満たすことが難しいと考えられる部位は、スプレー施工の前に、ブラシなどで施工するのが有効である。これをストライプコート(増し塗り)と呼ぶ。

(5) テストパネルの作成・保管

施工後のコーティングの性能を確認するため、実際の施工と同じ条件で作成したテストパネルを最低二枚作成する。一枚は、実機の代わりに接着力試験(Pull-off Test)に使用し、残りは一回目のメンテナンス時まで保管する。コーティングにトラブルが発生した際には、この

テストパネルが、原因究明に役立つことがある。

(6) 検査

上記(1)(3)(4)(5)の各手順で検査が必要であるが、実施項目・検査頻度・判定基準は事前に決定・把握しておく必要がある。特に、機器・配管内面に施工されるコーティングに対しては、施工後にピンホールテストを行い、コーティングにピンホールが無いことを必ず確認する。

近年、コーティングの検査の重要性が認識されつつあり、検査はコーティングの検査に関する国際資格(NACE CIP または FROSIO)を有する検査員が実施することを要求するプロジェクトが増加している。

4.2. メンテナンスに関する注意点

コーティングは、金属材料と異なり全施工面に対して均一な性能を持たせるのは難しく、また、経年的な劣化は避けられない。そのため、コーティング適用に当たっては、定期的な検査と補修は不可欠である。すなわち、コーティングに対して寿命を決定することは一般的ではなく、プラントオーナーにもメンテナンスが前提であることを確認しておく必要がある。

なお、一般的なコーティングの劣化は、下記のグラフ(Fig.2)に示すように経時的に進む。各ステージに分け概説する。

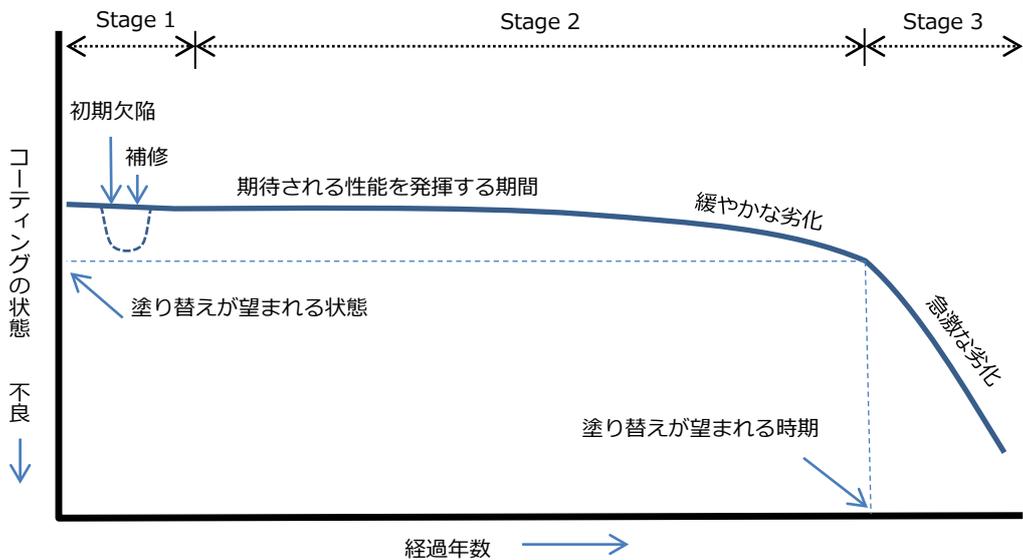


Fig.2 Deterioration Curve for General Internal Resin Coating

Stage 1: 施工に起因する初期欠陥が、使用開始後 1 から 2 年以内に生じることが多い。腐食環境で適用するコーティングは、当然性能が高いものが必要とされるため、この欠陥を放置すると、機器・配管内面に局所的な腐食が起こる可能性が大きい。そのため、プラント稼働後 1 から 2 年以内に初期点検を行い、初期欠陥を補修することが理想的である。ただ、プラントの点検はプラントオーナーの運転計画により決まるものであるため、少なくとも最初の点検が行われる際に、コーティングの健全性を

確認することが望ましい。

Stage 2: 想定されたコーティングの性能が維持される期間が続く。この期間は、腐食性物質がコーティング中に浸透し、機器・配管の基材表面まで到達する期間と考えられる。この間も、劣化状況を定期的に調査し、いつごろ塗り替え時期に達するか見極めが必要となる。また、定期調査時に局所的な劣化発生個所の補修ができるのであれば、補修を実施するのが望ましい。劣化範囲を広げないことが、重要である。

Stage 3: コーティングは、緩やかな劣化の過程を経て、急激な劣化を迎える。前述したように、コーティングのトラブルは、短期間で機器・配管に損害を与える傾向にあり、また、激しい腐食環境でコーティングを使用する場合は、小さな欠陥の存在も許されない。そのため、定期調査時に劣化状況を注意深く観察する必要がある。

4.3. プロジェクト遂行上の注意点

これまでのプロジェクト経験を踏まえ、実際にプロジェクトを遂行していく上で、検討すべき項目を以下に列挙する。

(1) 同一ベンダーによる責任施工

コーティング施工の各手順を担当するベンダーが異なる場合、トラブル発生時に原因の所在が曖昧となり、各ベンダーの責任ある対応が望めなくなることが予想される。機器・配管製作からコーティング製品の決定・素地調整・コーティング施工・検査に到るまで、可能な限り同一のベンダーの責任施工とする。

(2) ベンダーの事前調査の実施

コーティング施工にあたっては、コーティング施工要領書をレビューする。新規ベンダーを採用する際には、彼らの施工実績・施工能力を必ず評価する。

(3) 補修要領書の作成

施工時・検査時に欠陥などが発生したときのため、補修要領書を作成する。予想される欠陥やその補修範囲を広くカバーできる補修要領書とすることが望ましい。

5. 最後に

コーティングは、厳しい腐食環境における防食対策として使用されることが多いが、全施工面に対して均一な性能を持たせることは難しく、メンテナンスが欠かせないという側面がある。本稿にコーティングを取り扱う際の注意点を記したが、これらの情報がコーティングのトラブル予防に役立てば幸いである。

参考文献

- 1) 増子 昇, 防食技術 **30**, 699 (1981)
- 2) 樹脂ライニング工業会, 樹脂ライニング被膜の劣化診断指針 (1996)
- 3) 化学工学会 化学装置材料委員会 有機材料分科会, 非金属材料劣化損傷事例集 (2006)