

耐食関連特集

「IH式塗膜剥離工法」の概要

木村壮次郎*

1. はじめに

古い建造物の塗装と聞くと、多くの方は送電鉄塔や橋梁などのインフラ設備を思い浮かべるのではないだろうか。これらのインフラは、老朽化が進むにつれ、その構造や機能が維持できなくなることで、人命に関わる事故やライフラインの寸断といった深刻な問題を引き起こす事例がすでに散見されている。例えば、2012年12月の中央自動車道笹子トンネルの天井崩落事故である。この事故等の事例により、多くのインフラが老朽化し、修繕または更新が必要であることが明らかになった。そして、現在、トンネルや橋の定期点検は国により義務化されている。

送電鉄塔や橋梁などの鋼構造物を安全に長く使用する手段の一つとして、これらの構造物の腐食を抑制し、耐力を維持することが非常に有効である。そのため、定期的な塗装の塗り替えが簡便かつ効果的な手段であるが、この際の塗膜の剥離作業には多くの課題がある。工期の短縮、環境および安全への配慮、廃棄物処理の煩雑さなどが挙げられる。これらの課題を解決するために、当社は誘導加熱（Induction Heating。以下、IHという）技術を使ったIH式塗膜剥離装置を開発し、すでに実用化している。本誌では、IH式塗膜剥離工法（以下、IH式剥離工法という）の仕組みと他の剥離工法との比較について詳しく解説する。

ただし、IHの加熱対象が導電性材料（主に金属）であるため、IH式剥離工法はFRP構造物には適応できないことをあらかじめ断っておきたい。この技術は、導電性材料が使用されている鋼構造物などに限定される。

2. 塗装の歴史

塗装の歴史は古代にさかのぼる。エジプトやギリシャの遺跡からは彩色された壁画や装飾が発見され、

*第一高周波工業（株）

これが塗装技術の始まりとされる。中世ヨーロッパでは木材や金属の防腐処理として塗装が広まった。近代に入ると産業革命に伴い、鉄道や橋梁などのインフラ整備が進み、これらに使用される塗装技術も発展した。

日本における塗装の歴史も古く、奈良時代には寺院の装飾に漆が用いられていた。明治時代に入ると西洋の塗装技術が導入され、鉄道や橋梁の塗装に用いられるようになり、戦後の高度経済成長期にはインフラ整備が急速に進み、塗装技術も進化した。

近年では環境保護や労働安全衛生の観点から、塗料の改良や塗装技術の進化が求められており、安全で環境に優しい塗装技術の開発が進められている。

3. インフラ老朽化問題と課題

笹子トンネルの天井崩落事故以外にも、老朽化した橋梁が崩壊する事故や、送電鉄塔の倒壊による停電事故などが報告されている。そのため、インフラの老朽化対策は社会全体で取り組むべき重要な課題となっている。

一方で、インフラの老朽化対策である塗装の塗り替えに伴う、有害塗膜の剥離作業中事故、災害も懸念される。この対策として、PCBや鉛を含む塗膜の剥離作業では、作業員の安全を確保するために厳重な養生が必要であり、適切な防護装備が整っていないと健康被害を引き起こす可能性がある。

鉛中毒の事例としては、2013年10月に大阪の塗装会社の下請作業員に鉛中毒が疑われる事案が発生した。これを受けて、2015年5月30日、厚生労働省は「鉛等有害物を含む塗料の剥離や掻き落とし作業における労働者の健康障害防止について」の通達を行った。この通達では、鉛などの有害物質を含む塗料の剥離作業に従事する労働者の健康を守るための具体的な対策が示された。

このような事故や健康被害を防ぐためには、塗料の

剥離作業における適切な安全対策が不可欠となる。また、インフラの老朽化対策や有害物質の取り扱いにおいて、技術的な進歩とともに、安全性を確保するための意識向上も求められる。

4. 禁止塗料が健康に与える影響

1960年代から1970年代初めにかけて製造された鋼構造物の塗装には、鉛やPCB（ポリ塩化ビフェニル）を含む塗料が使用されていたが、これらの有害物質は環境や健康に重大な影響を及ぼすことが明らかになり、1980年代以降、使用が禁止された。

鉛は神経系や血液に対する有害な影響があることが知られており、特に子どもに対して深刻な健康被害をもたらすことがある。PCBは発がん性があり、長期間環境中に残留するため、環境汚染の原因となる。これらの有害物質を含む塗料が使用されているインフラの改修や解体作業では、特に慎重な取り扱いが求められる。

現在では環境や健康に配慮した塗料が開発されており、有害物質を含まない安全な塗料が主流となっている。しかし、過去に塗装されたインフラの多くには依然として有害物質が含まれているため、適切な剥離工法の選択が重要である。

鉛化合物を含む有害物質塗膜の分布としては、以下のような構造物に見られる：

- ① 直轄道路、指定道路、地方道の鋼製橋梁
- ② 高速道路、都市高速道路の鋼製橋梁
- ③ 鋼製の鉄道橋

- ④ 鋼製の送電鉄塔、無線鉄塔
- ⑤ 一般鉄骨構造、階段、外柵、門扉、遊具などの建築関係鋼構造物

これらの構造物に使用されている塗料には鉛化合物を含むものが多く、安全性と環境保護の観点から適切な管理と処理が必要となる。

5. 剥離工法の種類と特長

塗膜の剥離工法にはさまざまな方法があり、それぞれに特長がある。以下に主な剥離工法とその特長を紹介する（表1参照）。

5.1 電動工具による剥離工法

電動工具を用いて塗膜を剥がす方法。ディスクグラインダーやサンダーなどが使用される。

5.2 ブラストによる剥離工法

圧縮空気研削材を衝突させて塗膜を除去する方法。エアブラスト、バキュームブラスト、湿式ブラストの3種類がある。

5.3 ペイントリムーバーによる剥離工法（剥離剤）

塗膜に剥離剤を塗布し、塗膜が柔らかくなった状態、もしくは、溶けた状態で剥がす方法。

5.4 IH式剥離工法

高周波誘導加熱で母材を加熱し、塗膜と基材の密着力を低下させて剥がす方法。

表1 主な剥離工法とその特長

	メリット	デメリット
① 電動工具による剥離工法	<ul style="list-style-type: none"> ・誰でも取り扱うことが可能 ・設備が比較的安価 ・工具バリエーションが豊富 ・現場に応じた工具選定が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・防音・粉塵対策が必要 ・作業に慣れが必要 ・素地調整ができない（2-3種ケレン相当）
② ブラストによる剥離工法	<ul style="list-style-type: none"> ・素地調整が可能（1種ケレン相当） ・塗膜剥離から素地調整まで一貫して作業可能 ・剥離対象の範囲が広い 	<ul style="list-style-type: none"> ・防音・粉塵対策が必要 ・作業に慣れが必要 ・産廃量が多く、処理の手間とコストがかかる
③ ペイントリムーバーによる剥離工法（剥離剤）	<ul style="list-style-type: none"> ・粉塵や騒音の発生がない 	<ul style="list-style-type: none"> ・塗布後の待ち時間が長い（12-24h） ・天候に左右される ・火気厳禁 ・素地調整ができない（2-3種ケレン相当）
④ IH式剥離工法	<ul style="list-style-type: none"> ・粉塵や騒音の発生が少ない ・産廃量が少なくなる傾向にある ・有害塗膜の剥離が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・素地調整ができない（2-3種ケレン相当） ・添接部や狭隘部などは不得手

6. IH式剥離工法の優位性

IH式剥離工法には、他の剥離工法と比べて多くの優れた点がある。まず、粉塵や騒音の発生が少ないため、周辺環境への影響を最小限に抑えることができる。また、産業廃棄物の量が少ないため、廃棄物処理の手間とコストを削減できる。

さらに、IH式剥離工法は母材の加熱温度と位置を高精度に制御することが可能であり、特定の部位だけを加熱して剥離することができる。これにより、他の部分への加熱の影響やダメージを最小限に抑え、効率的な作業が可能である。

また、IH式剥離工法は有害物質を含む塗膜の剥離にも適しており、作業への安全性の向上に貢献できる。従来の剥離工法では、作業中に有害物質が飛散するリスクがあったが、IH式塗膜剥離工法ではそのリスクを低減できる。

7. 装置構成例の紹介

以下では、IH式剥離工法に使用される装置の構成例を紹介する（図1, 2, 表2参照）。

7.1 装置構成

装置は高周波電源装置、冷却水循環装置、高周波ケーブル、小型整合トランス、加熱コイルで構成される。

7.2 電源要件

電源は装置1台につき150Aのブレーカーが必要。発電機を使用する場合は100kVA以上のものが必要となり2台の装置を使用する場合、それぞれに対して同じユーティリティを準備する必要となる。

7.3 冷却水循環装置

冷却水循環装置は、高周波電源装置と加熱コイルを冷却するための装置である。使用する水は導電率500 μ S。以下の清水が推奨される。水道水の使用で問題はないが、導電率が高い工業水使用は避けたい。冷却水は一度充填すれば循環システムで冷却されるため、作業期間中の入れ替えは基本的に不要である。

7.4 高周波ケーブル

標準の高周波ケーブルは20mだが、最大3本接続可能で、合計60mまで延長できる。これにより、装置を移動させずに直径120mの範囲で作業が可能となる。ただし、垂直方向の作業範囲は冷却水循環ポンプの揚程の関係で最大40mが上限となる。

7.5 高所作業時の注意点

橋梁など高所での作業の場合、仮設足場上に装置を設置することがある。通常の仮設足場の作業床幅は240mm \times 1,800mmで許容荷重は120kgだが、高周波電源装置は200kg以上あるため、作業床は500mm \times 1,800mm程度が必要となる。

上述の装置構成は、安全かつ効率的な塗膜剥離作業を行うために設計されている。



図1 高周波電源（右）と冷却水循環装置（左）

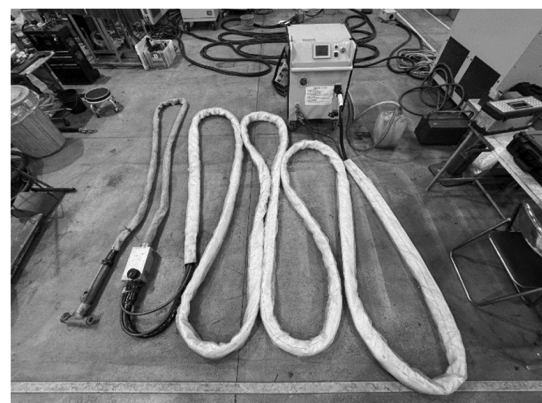


図2 高周波ケーブル（真ん中）と誘導加熱コイル（左）

表2 IH式剥離工法設備仕様

電源	入力	3相AC200/220V±5% 150A/ 50/60Hz
	出力	最大40kW（周波数：5-45kHzのうち一波）
冷却水		5-35℃ 周囲温度と水温の差が7℃以内 導電率10-500μS/cm以下の清水

8. 事例紹介

8.1 鉄道橋の塗膜剥離事例紹介

住宅街に位置する鉄道橋の塗膜剥離の一例をご紹介します。この現場では、周辺に多くの人や車両が行き交うため、従来のプラストや剥離剤を使用する方法では、研削材や剥離した塗膜の飛散、または化学物質である剥離剤の飛散が懸念されるため、環境に配慮したIH式剥離工法が採用された。

8.1.1 剥離対象と塗膜の仕様

剥離対象となったのは、白い塗膜が残っている2面で、塗膜の膜厚は約700～800μmであった（図3参照）。塗膜の構成は以下のとおり。

下塗：厚膜型変性エポキシ樹脂塗料
 中塗：ポリウレタン樹脂塗料
 上塗：ポリウレタン樹脂塗料



図3 鉄道橋の塗膜剥離事例

8.1.2 剥離工程の詳細

IH加熱に使用するコイルの送り速度は約40mm/secで、平面部の剥離では特に上部の狭い部分であってもきれいに剥離することができた。溶接部や狹隘部等は、局所的に別の工法が用いられたが、平坦な部位であれば、近傍をIH加熱して熱伝導により剥離できた。

8.1.3 施工結果と評価

すべての塗膜剥離工事は夜間に装置を地上に設置して行われ、施工範囲80m²程度を約20日間で完了した。IH式剥離工法は作業効率が高く、特に狭い作業現場や人の多い環境において有効であると評価された。

8.1.4 まとめ

IH式剥離工法は、住宅街や交通量の多い場所での塗膜剥離において、飛散や騒音、振動等のリスクを大幅に減少しつつ高い作業効率を実現できる。

8.2 送電鉄塔の塗膜剥離事例紹介

施工現場は、周辺一帯が圃場で、鉄塔敷地に接して道路や農業用水路があり、耕作地に隣接する環境であった（図4参照）。朝夕には歩行者の通行や車両の往来もあるため、交通規制、看板設置、敷地養生など十分な安全対策を講じた上で作業できた。

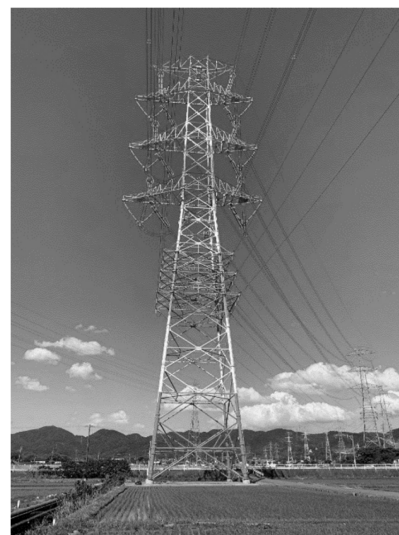


図4 送電鉄塔の塗膜剥離事例

8.2.1 剥離工程と課題

加熱コイルを使用して塗膜を剥がす作業では、一部で亜鉛めっきの熱変形が発生した。加熱時間の管理が難しく、亜鉛めっきに対する熱の影響を最小限に抑えるために注意しつつ作業を進めた。

8.2.2 工法と作業効率

本工事は地上から約20mまでの範囲をIH式剥離工法で剥離作業を行った。装置を高所へ移動・設置することが難しかったため、20mより上の部分は剥離剤など他工法を採用した。機材は鉄道橋の作業と同様に、地上に設置してケーブルを延伸して作業を行った。

8.2.3 施工結果と評価

円柱部をIH式剥離工法で剥離し、ガゼットプレートのように加熱が難しい部分は剥離剤を使用した。いくつかの課題もあったが、基礎防食である溶融亜鉛めっきをできるだけ温存しつつ、塗膜を完全に除去する工法として非常に有効であったと評価された。

8.2.4 まとめ

送電鉄塔の塗膜剥離において、適切な工法と慎重な作業が重要となる。IH式剥離工法は特に安全性と効率性が求められる環境での使用に適しており、今後の施工現場でも活用が期待される。

9. IH式剥離工法の課題と展望

IH式剥離工法には多くの利点があるが、課題も存在する。狭隘部や添接部など、狭い範囲かつ複雑な形状の箇所はIHコイルによる加熱には不向きであるため、他の剥離工法と併用することが必要となる。

今後の展望としては、IH式剥離工法のさらなる普及と、適用範囲をさらに広げるための装置および使用方法の双方についての技術の向上を進めたいと考える。特に、専用装置の小型化やコスト削減が進めば、より多くの現場で活用されるようになるだろう。また、他の剥離工法との組み合わせによる効率的な作業方法の考案も重要である。さらに、環境や安全性に配慮した工法へと進化することで、IH式剥離工法がインフラの維持管理において重要な役割を果たすことが期待される。

10. おわりに

IH式剥離工法は、環境や安全性に配慮した新しい塗膜剥離技術として注目されている。粉塵や騒音の発生を抑え、産業廃棄物の量を減らすことができるため、周辺環境への影響を最小限に抑えることができる。また、有害物質を含む塗膜の剥離にも適しており、作業員の安全確保にも大きく寄与できる。

インフラの老朽化が進む今日において、安全で効率的な塗膜剥離技術は非常に重要であると認識している。今後、本技術をさらに進歩、普及させ、より多くの剥離作業に貢献できれば幸いである。

ちなみに当社は、装置販売だけでなく、装置のレンタル、作業指導員の派遣など、IH式剥離工法の導入が安全で効率的に行えるよう、さまざまなサービスを提供している。今後も、インフラ老朽化問題へのより良い対策として本工法が一翼を担い、IH式剥離工法の発展と普及を通じて社会の安全と環境保護に貢献したいと望むところである。

参考文献

- 藤田真介, 鋼構造物の腐食と防食, 金属材料, 第39巻, 第3号, pp. 215-223 (2011)
- 高橋一郎, 建築塗装の歴史と技術の変遷, 建築と文化, 第45巻, 第8号, pp. 45-52 (2015)
- 大橋洋介, IH式塗膜剥離工法の適用事例とその効果, 表面技術, 第62巻, 第7号, pp. 325-330 (2013)
- 内田昭一, PCBを含む塗膜の適正な処理方法, 環境保護, 第27巻, 第6号, pp. 68-75 (2008)
- 日本塗装技術協会, 塗装工法の比較と選定ガイド, 塗装技術ハンドブック, 日本塗装技術協会, 1005 pp. (2017)
- 経済産業省, 鉛及びその化合物を含む製品の規制について, 化学物質安全対策部, 経済産業省, 2019
- 国土交通省, 中央自動車道笹子トンネル天井板崩落事故に関する調査報告書, 国土交通省道路局, 2013
- 環境省, PCB廃棄物の処理に関するガイドライン, 廃棄物処理対策部, 環境省, 2020
- 佐藤隆, 老朽化インフラのメンテナンスと課題, インフラ管理技術研究所報告, 第20巻, pp. 101-110 (2016)
- 日本機械学会, IH加熱技術の基礎と応用, 日本機械学会論文集, 第75巻, 第651号, pp. 123-130 (2009)