

第2章 IH による塗膜剥離の特徴

第2章ではIH 塗膜剥離の特徴や位置づけ，施工時の留意点について示す。

2.1 IH の原理

IH は，電流を印加したコイルを導電材料（本書では鋼材）に近接させることで鋼材に誘導電流を発生させ，誘導電流に対する抵抗発熱を生じさせるものであり，火気を使用せず，非接触，短時間で鋼材を局所的に加熱することができる。

工業的分野における IH の歴史は下記のとおりであり，身近な範囲では 2000 年代に 1970 ～1990 年代に開発が進められた IH クッキングヒーターが本格的に家庭へ普及しだしている。

1831 年	ファラデーにより電磁誘導の原理発見
1931 年	米国 Tocco 社が周波数 3kHz 電動発電機式発振器を使用しクランクシャフトの軸焼入→工業利用の初め
1940 年代	日本国内では戦時対応下 航空発動機部品への高周波焼入適用に装置開発・製作が進む
1945 年～1960 年代	電動発電機式や火花式，真空管式等の発振器を用い，各種製品への焼入適用開始
1970 年～1990 年代	半導体開発進化によりサイリスタ式やトランジスタ式発振器が開発され高効率化が進み，自動車他利用拡大
1990 年代～現在	カーボンニュートラルによる CO ₂ 削減効果で誘導加熱技術に注目が集まる

IH の原理は，銅製の加熱コイルに高周波誘導電流を流すことによって周囲に交番磁束が生じ，その磁場によって被加熱物に電流が流れてジュール熱が発生する直接（抵抗）加熱のため，非接触ながら急速加熱される。

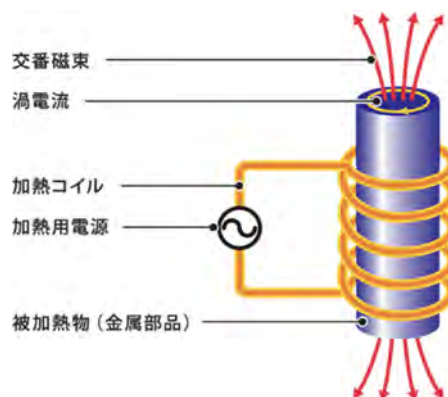


図-2.1.1 IH の原理

工業分野で使用されている誘導加熱設備は、受電設備、高周波電源、整合盤、加熱コイルから構成される。

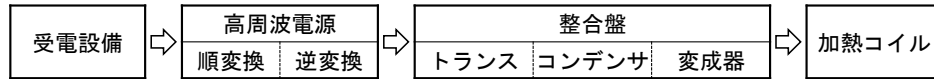


図-2.1.2 誘導加熱装置の構成

受電設備	高周波電源の仕様にあった電圧に変換，過電流や漏電等の保護
高周波電源	高周波を出力 順変換：商用周波数を直流に変換 逆変換：直流を高周波に変換
整合盤	高周波電源の出力が加熱コイルに最適な共振回路に整合を取る トランス：高周波電源に最適なインピーダンスに調整 コンデンサ：共振するためのコンデンサ 変成器：加熱コイルに最適な電流に調整
加熱コイル	高周波電流が流れることにより交番磁束が生じ，非接触で被加熱物を加熱する

誘導加熱の特徴は、直接加熱による「優れた熱効率」、「大きな熱サイクル設定の自由度」、CO₂を直接排出しない「清潔な環境」、スイッチのON、OFFによる「迅速な運転・停止」、コンピューター制御による電気加熱ゆえの「容易な自動化」、高効率なトランジスタ電源化が進んだことによる「小さいスペース」等が挙げられる。

2.2 IH 塗膜剥離の原理

IH 塗膜剥離は、IH 装置により鋼材を塗膜の剥離に適した温度まで加熱し、鋼材と塗膜の付着を低下させた後に適切な工具等を利用して塗膜を剥離する。具体的には、塗装が施された鋼材表面に高周波電流を流した誘導コイルを近接させ、誘導磁場の作用により生じる渦電流のジュール熱で鋼材表面を加熱する。このとき、鋼材は強磁性体であることから 20 kHz 程度の高周波による渦電流の浸透深さは 0.3 mm 程度であるため、鋼材表面付近のみが加熱された後、熱伝導によって加熱範囲が広がっていく。加熱により鋼材と塗膜の付着を低下させた後、スクレーパー等の工具により塗膜を剥離する方法である。なお、塗膜を剥離するために必要となる加熱温度は、使用されている塗料の種類により異なる。

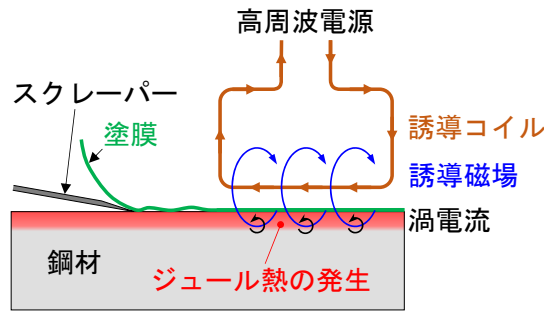


図-2.2.1 IH 塗膜剥離の原理

IH 塗膜剥離は、塗膜が付着している鋼材表面を加熱することにより塗膜を剥離する方法であるため、誘導磁場が鋼材表面に届く範囲の膜厚であれば、厚膜の塗膜を一度に剥離することができる。誘導コイルに印加される電流量により異なるが、出力の大きな IH 塗膜剥離装置では厚さ 6 mm 程度のライニングの剥離も可能である。

加熱により鋼材との付着を低下させた塗膜をスクレーパー等の工具により剥離することから、機械的な研磨や衝撃により塗膜を削り取る塗膜除去工法と比較して、塗膜剥離作業時に粉じんはほとんど発生しない。また、IH 塗膜剥離装置の作動音は大型家電程度であり、スクレーパー等の工具による塗膜剥離時の作業音も小さいため、電源となるディーゼル発電機の運転音等を除き、大きな騒音は発生しない。

IH 塗膜剥離に必要な機材や材料は、IH 塗膜剥離装置のほかに、作業足場等の設備や IH 塗膜剥離装置に附随する冷却装置等がある。消耗品となる副資材を使用しないことから、塗膜剥離後の廃棄物は作業者の防護服等を除いて、剥離した塗膜のみである。また、塗膜剥離作業時の防護服等の汚濁は軽微であり、塗膜除去面積あたりの防護服等の必要数量も少なく済むため、剥離した塗膜以外の廃棄物の発生量も抑制できる。

2.3 塗膜剥離に IH を採用する際の位置づけ

各構造物の防食塗装の更新においては、劣化した塗膜を除去する塗膜剥離、塗装する面を清浄にして塗料の密着性を向上させるために適度に粗にする素地調整、塗料を塗布する塗装の 3 工程があるが、IH は塗膜剥離のみに適用するものであり、素地調整には IH 以外の方法を用いる。したがって、塗膜更新において、IH を用いる場合には、別の素地調整方法との併用になることを認識しておく必要がある。

従来から用いられていた動力工具（人力による手工具を含む）とブラストは、衝撃力や研削力により機械的に塗膜を削り取る方法であり、塗膜剥離だけではなく、素地調整も行うことができる。一方、比較的新しい塗膜剥離方法である塗膜剥離剤と IH は、薬液や熱により化学的に塗膜を軟化、あるいは付着力を低下させて塗膜を除去することから、塗膜剥離は可能であるが、塗膜剥離後に残る粉化物や不純物の除去や塗装面の目粗しはできない。このた

め、構造物の塗替えに IH 塗膜剥離を適用する場合には、必要とする素地調整程度が得られるように塗装前にブラストや動力工具による素地調整を行う必要がある。

2.3.1 塗膜剥離方法

構造物の塗膜を剥離するためには、対象とする構造物および塗膜の特徴に応じて、適切な塗膜剥離方法を選定する必要がある。一般に使用される塗膜剥離方法として、動力工具、ブラスト、塗膜剥離剤、IH がある。表-2.3.1 および表-2.3.2 に、塗膜全体を除去する場合と塗膜の一部を除去する場合について、当小委員会で考えた各塗膜剥離方法の比較表を示す。なお、塗膜剥離剤と IH において、施工性の“×”は一般的に塗膜の一部のみの除去はできないこと、除せい度の“—”は素地調整が適用範囲外であることを示している。

表-2.3.1 各方法の比較（塗膜中に有害物質が含まれるため塗膜全体を除去する場合）

	施工性	粉じん	騒音	除せい度
動力工具	△～○	△	×	○
ブラスト	△～○	×	×	◎
剥離剤	△～○	◎	○	—
IH	○～◎	◎	○	—

表-2.3.2 各方法の比較（塗膜変状箇所に限定して塗膜を除去する場合）

	施工性	粉じん	騒音	除せい度
動力工具	◎	△	×	○
ブラスト	◎	×	×	◎
剥離剤	×	◎	○	—
IH	×	◎	○	—

◎：優れる，○：良好，△：やや劣る，×：劣る

IH の他にも、塗膜剥離には幾つかの方法があり、対象とする構造物（部位）の種類や形状、塗膜の特徴（種類や膜厚）に応じて適切な方法を選定する必要がある。特に、塗膜剥離の施工性は、対象構造物の形状、作業空間や作業時間の制約、機材の搬入条件等により異なるため、作業条件に合わせた検討を行う必要がある。また、構造物の形式および形状、塗膜の特徴によっては、1つの塗膜剥離方法だけではなく、複数の方法を組み合わせた施工が効率的、合理的となる場合がある。ここでは、塗膜剥離の各種方法の概要について説明する。また、IH を採用する際の注意点について説明する。

2.3.2 動力工具

動力工具による塗膜剥離は、圧縮空気や電気を動力源とする携行型の工具を用いて、部材表面の塗膜やさびを研削して除去する方法である。

騒音や粉じんの発生を許容でき、付着力が低下している塗膜、あるいは塗膜割れ等の変状が生じている塗膜の除去を目的としている場合は、他工法と比べて施工費が安価であり、素地調整まで可能な工法である。ただし除せい度についてはブラストに劣る。

付着力が高く膜厚が厚い塗膜を除去する場合は IH 塗膜剥離工法と比べて施工性に劣る。塗膜剥離における一般的な方法として、衝撃力により塗膜を削るエアハンマー、研磨力により塗膜を削るディスクサンダーやカップワイヤーホイール等の動力工具が使用される。動力工具には、塗膜の除去や目粗し、腐食部の除せい、隅部や狭隘部の処理等の目的により多くの種類がある。塗膜剥離に加え、素地調整も可能である。動力工具を用いた塗膜剥離の特徴を以下に述べる。



エアハンマー



ディスクサンダー



カップワイヤーホイール

図-2.3.1 動力工具の例

・コスト

安価で簡便な工具を使用するため、機材に要するコストは他の方法に比べ抑えられる。その一方で、物理的な作用力で塗膜を除去するため、付着力の高い塗膜を広範な領域に渡って剥離するには時間と労力を要する。

・周辺環境への影響，作業員の安全性

工具と部材の接触による研削音が発生するため、市街地等では騒音対策が要求される場合がある。付録3に収録している本小委員会でも実施した剥離性能評価実験では、動力工具から1m離れた位置で100 dB程度の騒音が測定されている。また、塗膜が粉じんとなりやすいため、粉じんの飛散防止のための養生、作業員の健康安全に対する配慮が必要となる。粉じんの飛散を防止する方法として、吸引機能を有する動力工具を用いる方法もあるが、適用できる動力工具が限定されるほか、研削部に取り付けた防じんカバーや吸引ホースにより作業性が損なわれる点、および平坦な部材面にしか適用できないことを考慮する必要がある。

・塗膜剥離性能

工具により塗膜を物理的に研削するため、時間と労力をかければさびを含め鋼素地が露出するまで塗膜を剥離することができる。付着力が低下している塗膜、塗膜割れ等の変状が生じている塗膜を除去することは容易である。また、部分的に塗膜を除去する場合には効率的な工法である。動力工具は、塗膜およびさびを全面的に除去して鋼素地を露出させる素地調整程度2種から、塗装面の粉化物や不純物を除去して目粗しを行う清掃程度の素地調整程度4種の施工が可能である。塗膜の除去、さびの除去、素地調整には、それぞれの作業に適した動力工具が用いられ、一般的に、複数の動力工具や手工具を使い分けながら作業する。また、ブラストと同程度の表面粗さを形成することができ、素地調整程度1種に相当する素地調整が可能な縦回転式動力工具も開発されている。ただし、面積あたりの施工速度は遅く、広範な領域の素地調整には適していない。



図-2.3.2 吸引機能付き動力工具の例



図-2.3.3 縦回転式動力工具

2.3.3 ブラスト

ブラストによる塗膜剥離は、圧縮空気を利用して微細な金属粒や砂等の研削材を高速で部材表面に打ち付け、衝撃力により塗膜やさびを除去する方法である。塗膜およびさびの除去に加え、適度な粗面を形成する素地調整も可能であるため、基本的には塗膜剥離だけを対象として用いられることはない。特に、素地調整程度1種が要求される場合、ブラストを用いる必要がある。塗替え塗装に要求される素地調整の程度に応じて、ブラストの採用が検討される。施工には乾式ブラスト設備が用いられ、オープンブラスト（エアブラスト）とバキュームブラスト等がある。ブラストを用いた塗膜剥離の特徴を以下に述べる。



オープンブラスト



バキュームブラスト



後方設備

図-2.3.4 ブラスト設備の例

- ・コスト

オープンブラストは、研削材の吐出装置や、吐出された研削材と剥離した塗膜、さびを回収する装置、粉じんの飛散と漏洩を防止する養生設備等、大規模な設備が必要であり、使用した研削材の堆積に耐える足場も必要となるため、他の塗膜剥離方法に比べればコストは高くなる。ただし、ブラストは塗膜剥離だけでなく素地調整まで含めた施工となるため、他の方法との比較に際しては注意が必要である。バキュームブラストは、研削材の吐出と同時にガンホルダー内で吐出した研削材と剥離した塗膜やさびを吸引するため、粉じんの飛散と漏洩を防止する養生設備や研削材の堆積に耐える足場は不要である。ただし、時間あたりの施工速度は遅く、広範囲の施工には不向きである。

一般的に、非金属系の研削材が用いられ、研削材は剥離した塗膜やさびと一緒に産業廃棄物として処理される。通常の塗膜の場合、研削材の使用量は 1 m^2 あたり $30 \sim 40 \text{ kg}$ であるが、剥離する塗膜の厚さに比例して使用する研削材や作業に要する時間が増加する。塗膜に有害物質が含まれている場合は、管理型産業廃棄物としての処理が必要であり、高額な処理費用がかかる。近年では、金属系の研削材を使用し、吐出した研削材と塗膜片およびさびを回収した後、研削材を塗膜片やさびと分離して再利用し、廃棄物として処理が必要な研削材の量を抑制する循環型ブラストも実用化されている[2.1]。

- ・周辺環境への影響、作業員の安全性

動力工具の場合と同様、研削材と部材の衝突音に加え、圧縮空気を供給するためのエアコンプレッサーの動作音も騒音となり得るため周辺環境への配慮が必要とされる。また、吐出した研削材と剥離した塗膜片およびさびが粉じんとなり得るため、飛散防止のための養生と作業員の健康被害防止のための防護が要求される。

- ・塗膜剥離性能

現状では、素地調整程度 1 種の施工が可能な方法はブラストのみである。そのため、塗膜やさびを完全除去する素地調整程度 1 種が要求される場合、塗膜剥離にブラスト以外の方法を採用したとしても最終的な素地調整に現状ではブラストが必要となる。ただし、ブラストでは研削材が直接打撃されない部分の処理は行えないため、ノズルの配置が難しい狹隘部等では塗膜剥離や素地調整が行えず、旧塗膜やさびが残存する場合があるので注意を要する。塗膜剥離方法の選択においては、最終的な素地調整に要求されるレベルを見据えてコスト等を検討することが望ましい。

2.3.4 塗膜剥離剤

塗膜剥離剤を用いた施工では、塗膜剥離剤を塗膜表面に塗布、含浸させ、化学反応により塗膜を軟化させた後に手工具で剥離、回収する。従来は塩素系有機溶剤を主成分とした塩素系塗膜剥離剤により塗膜を溶かして除去する方法が用いられていたが、2005 年頃に高級アルコール系塗膜剥離剤が開発され膨潤軟化させた塗膜を剥離するようになった。また、2020 年頃に可燃性の有機溶剤を含まない水系塗膜剥離剤が開発されている。塗膜が十分に軟化

すれば剥離の際に鋼素地を傷付けることはなく、他の方法の適用が困難な狭隘で複雑な部位でも塗膜剥離剤を塗布することにより塗膜の剥離が可能である。



図-2.3.5 塗膜剥離剤の施工例

・コスト

塗膜剥離剤を用いた施工では、溶剤および溶剤を塗布する工具を使用するのみであり、設備費用は他の方法に比べ低く抑えられる。溶剤を塗膜に含浸させ十分に軟化させるため、塗布後 24 時間程度、乾燥しない状態で保持する必要がある。塗膜の軟化度合いは塗膜の種類や厚さ、気温等の影響を受けるため、厚膜の剥離では保持時間が長くなる。また、1 回の塗膜剥離剤の塗布で塗膜が十分に剥離できなければ複数回の塗布を行う必要があり、作業が長時間化する場合があるため、一般にはコストは高くなる。

・周辺環境への影響，作業員の安全性

動力工具やブラストのような打撃音および衝撃音，設備の運転音は発生しないため，騒音に対する配慮は不要である。付録 3 に収録している本小委員会が実施した剥離性能評価実験においても，作業場所近傍の騒音は周辺環境と同じ 80 dB 程度であった。また，塗膜は軟化した状態で回収するため，粉じん飛散に対する配慮も不要となる。しかし，塗膜剥離剤の種類によっては作業員の健康被害防止および臭気対策が要求される。剥離した塗膜は塗膜剥離剤と混合した状態となるため，塗膜剥離剤 1 回の塗布量は 1 m² あたり 500 g が標準とされており，他の方法に比べ廃棄物量が多くなる場合がある。なお，塗膜剥離剤で除去しきれなかった塗膜が，素地調整時に粉じんとして飛散する可能性があることに留意する必要がある。また，引火性の高級アルコール系塗膜剥離剤やシンナー等を用いた場合に大規模な火災が発生した事例があり，火災に対する厳重な注意が要求される。

一方，塗膜剥離剤を塗布し塗膜が軟化した箇所では，塗膜を適切な時期に剥離せず放置した場合に塗膜剥離剤と塗膜が落下するおそれがあり，作業現場下方の安全性に影響を及ぼす可能性があることに注意を要する。



図-2.3.6 火災発生例 [2.2]

・塗膜剥離性能

塗膜剥離剤の種類や部材の形状、膜厚によるが、塗膜剥離剤が十分に含浸し塗膜が軟化すれば下塗りまで剥離が可能である。従来の長油性フタル酸樹脂塗料とさび止めペイントを用いた塗装系では、劣化度にも影響されるが、塗膜剥離剤 1 回の塗布で膜厚 250～500 μm の塗膜を剥離することが可能である。ただし、厚膜で塗膜剥離剤が含浸しにくい場合や気温が低い場合は、塗膜剥離剤を複数回塗布し保持しても想定した剥離性能が得られない場合がある。特に、水系塗膜剥離剤は気温の低下により含浸しにくくなる。ポリウレタン樹脂塗料やふっ素樹脂塗料、鉛丹さび止めペイントは塗膜剥離剤の含浸や塗膜の膨潤軟化が起こりにくく、塗膜剥離剤の塗布回数が増加する。また、無機ジンクリッチペイント等の無機系塗料は剥離できない。剥離性能評価実験においても、ふっ素樹脂塗料を塗布した供試体では塗膜剥離剤 2 回の塗布で部分的に塗膜が残存し、無機ジンクリッチペイントは剥離できなかった。

2.3.5 IH

IH 塗膜剥離では、比較的低温とは言え、鋼材の温度を上昇させるため熱膨張が生じる。部材の形状や寸法、拘束条件によるが、この熱膨張により加熱中および加熱後にひずみ、変形、応力が発生する。これらのひずみ、変形、応力が部材の構造性能に及ぼす影響については不明な部分があるが、塗膜剥離における IH の利用では注意すべき点と言える。また、所定の温度を超過した場合、鋼材の機械的性質が変化するおそれがあるため、温度管理には十分な注意を払う必要がある。特に、高力ボルト継手では、ボルトおよびナットの形状に適合する加熱コイルが開発されているものの、加熱により軸力が変化する可能性がある。また、加熱してもボルトのねじ山等は塗膜が残存しやすく、安全かつ効率的な施工条件を十分に検討する必要がある。このため、高力ボルト継手の塗膜剥離に対しては IH の適用例が少ないのが現状である。

・コスト

仕様や出力によるが、IH 装置は他の方法に比べ大規模で高価である。出力の大きな IH 装置の場合は、ブラストの場合と同様に高周波電源および冷却装置等の後方設備が必要となる。IH では鋼材表面を数秒で塗膜剥離に要求される温度（150℃～250℃）に上昇させるこ

とができ、膜厚に関係なく鋼材表面から塗膜を即座に容易に剥離することができるため、後方設備が必要となる反面、塗膜剥離作業時の労力と時間は抑えられる。

- ・周辺環境への影響，作業員の安全性

剥離した塗膜は固形（シート状）で回収することができるため、粉じん飛散のリスクが低い。塗膜に鉛等の有害物質を含んでいる場合は、作業員の健康被害を防止するために粉じん濃度に応じた防護が必要となる。IH による塗膜剥離では、施工中の作業区域全体の粉じん濃度は低く第1管理区分であるが[2.3], [2.4]，作業者近接の鉛に対する作業環境は第3管理区分となった報告がある[2.4]。また、剥離した塗膜に混入する異物はなく、塗膜のみを回収することができるため廃棄物量が少なく抑えられる。発電機および冷却装置の運転音が発生するが、動力工具やブラストの打撃音、運転音に比べれば音量は小さい。大型のディーゼル発電機等を使用せず商用電源を使用する場合はほとんど騒音が発生しない。付録3に収録している本小委員会でも実施した剥離性能評価実験では、作業場所近傍の騒音は周辺環境と同じ 80 dB 程度であった。鋼材はある程度高温に達するが火気を使用しないため、火災のリスクは抑えられる。

- ・塗膜剥離性能

渦電流による抵抗発熱は、塗膜ではなく鋼材表面の温度を上昇させる。厚膜が塗布された部材の場合、加熱コイルと鋼材表面の距離が遠くなるが、通電時間や装置の移動速度を調整することで 1 mm 以上の厚膜も剥離可能であることが報告されている[2.5], [2.6]。鋼材表面の温度上昇を利用して塗膜の付着力を低下させるため、塗膜の種類によるが下塗りからその上層まで一度に剥離することができる。ただし、ジンクリッチペイント等の無機系塗料は基本的に剥離できない。剥離性能評価実験においても、樹脂成分を含まないエッチングプライマーや無機ジンクリッチペイントは剥離できなかった。

IH は鋼材表面の温度を上昇させるが、板厚が薄い場合等では加熱側の鋼材表面だけでなく、裏面も温度が上昇することが知られている[2.5]。付録3に収録している本小委員会でも実施した鋼材温度測定実験では、異なる IH 装置を用いて加熱時の鋼材表面温度を測定しているが、出力の小さな IH 装置では所定の加熱温度に達するまでに時間を要するため、出力の大きな IH 装置と比較して鋼材裏面の温度が高くなる傾向があった。箱桁等で、桁内部の塗装は剥離する必要がなくても、外表面を加熱することで裏面の塗膜の剥離を助長する可能性があることに注意しなければならない。

2.3.6 塗膜剥離方法の組合せ

構造物の塗膜剥離では、対象とする構造物や塗膜の状態に応じて塗膜剥離方法を適切に組み合わせることで、合理的かつ効率的な施工を行うことができる。IH はあくまで塗膜を剥離するための方法であり、剥離可能な塗膜の種類、構造物の部位に制限がある。鋼材に生じたさびも除去することは難しい。また、当然ながら素地調整のための方法ではないため、塗替え塗装の工程を完了するには、塗装仕様に応じて塗膜剥離後に動力工具やブラストを

用いて要求される素地調整程度を得るための素地調整が必要となる。

IHによる塗膜剥離は、一般的に平坦で広範な部位での作業に優れているが、ボルト継手部等複雑で狭隘な部位では作業効率が低下する。そのため、狭隘な部位には塗膜剥離剤を用いる等、構造物内の部位ごとに異なる塗膜剥離方法を組み合わせ、合理的かつ効率的な施工を行うことが重要である。

例えば、比較的広く加熱コイルの配置に制約のない一般部はIHを用いた塗膜剥離を行い、部材が密集して加熱コイルの配置が難しい狭隘部には塗膜剥離剤を用いた塗膜剥離を適用する場合がある。狭い狭隘部に配置可能な加熱コイルもあるが、時間あたりの加熱作業面積が少なくなるため、作業効率を考慮して合理的な使い分けを行うとよい。また、形状が複雑な継手部は動力工具や塗膜剥離剤を用いることが多いが、これらの方法では塗膜を完全に剥離することは難しい。最近では、リベットや高力ボルトに適用が可能な加熱コイルも開発され、IHによる継手部の塗膜剥離も可能になってきている。ただし、高力ボルトは加熱方法によっては軸力が低下する懸念があるため、高力ボルト継手にIH塗膜剥離を適用する場合は注意が必要である。

また、IH塗膜剥離による施工日数と廃棄物量の削減を期待して、塗膜の大部分をIH塗膜剥離によって除去した後、残存した塗膜の除去と素地調整をブラストで施工する組合せも用いられている。特に、鉛やPCB等の有害物質が含まれている塗膜では、廃棄物量の削減が廃棄物処理のコスト減につながり、大きな経済的効果が期待できる。

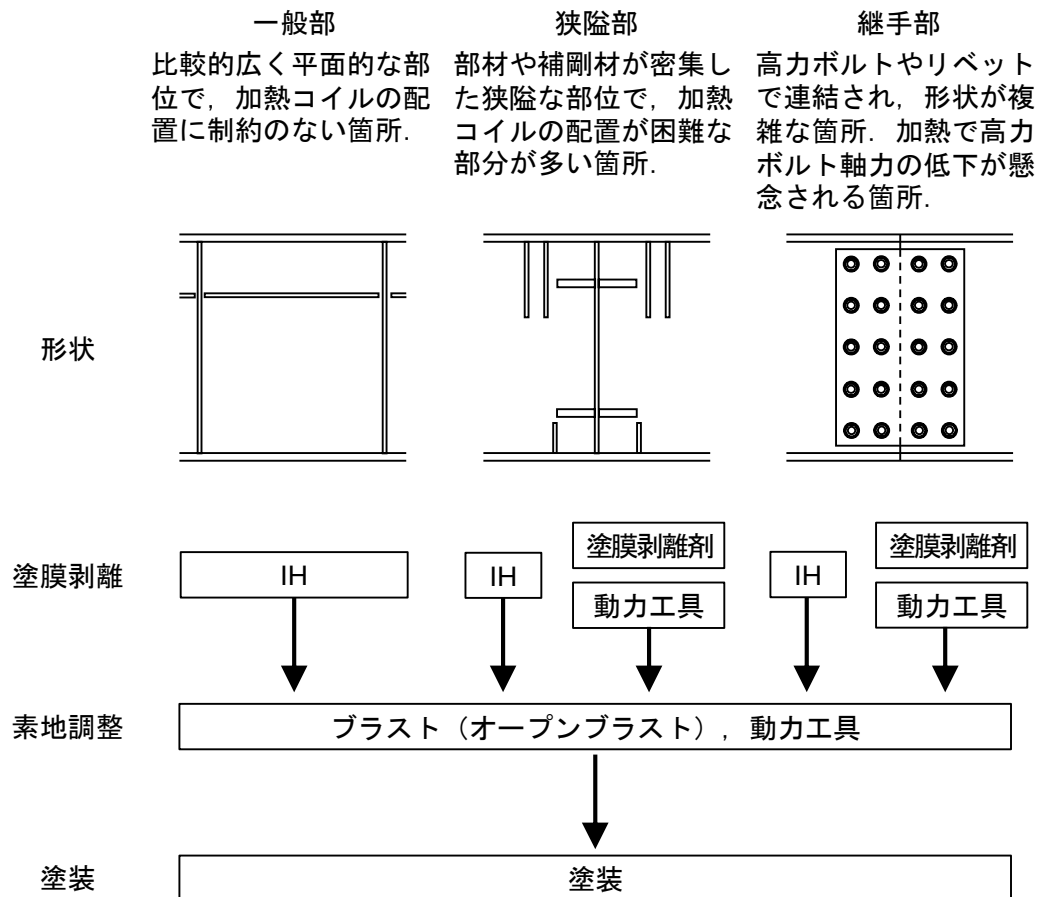


図-2.3.7 IH と他の塗膜剥離および素地調整の組合せ例

2.4 素地調整

素地調整では、対象とする構造物や環境の特徴、および腐食状態に応じて、適切な方法を選定する必要がある。一般に使用される素地調整方法として、動力工具とブラストがある。

IH および塗膜剥離剤は塗膜を剥離するための方法であり、素地調整方法ではない。塗装前には塗膜の除去に加えてさびや塗装の弊害になる成分の除去等、塗装に適した素地状態にする必要がある。したがって、IH または塗膜剥離剤で塗膜を除去した後に素地調整をする必要がある。

動力工具は、比較的施工費を抑えられる方法であるが、減肉を伴うような腐食箇所に対しては完全にさびを除去することが困難である。塩害を受ける鋼構造物の場合は、さびや塩分の残存により塗替え後早期に再腐食する可能性があるため注意が必要である。また、ブラスト工法とは異なり、リベットやボルト部等の輻輳部や、動力工具が物理的に当てられない狭隘部では、求められる除せい度に達しない場合がある。また、さびが粉じんとなりやすいため、粉じんの飛散防止のための養生、作業員の健康安全性に対する配慮が必要となる。

ブラストは、比較的施工費が高い素地調整工法であるが、部材合わせ部等一部の部位を除き、さびを完全に除去できる素地調整方法である。また、ブラストを適用する範囲に対して全体的に適度な粗面を形成することが可能である。動力工具の場合と同様、研削材と部材の衝突音に加え、圧縮空気を供給するためのエアコンプレッサーの動作音も騒音となり得るため配慮が必要とされる。また、吐出した研削材とさびが粉じんとなりやすく、飛散防止のための養生と作業員の健康被害防止のための防護が要求される。一般的に動力工具よりも粉じんの量が多くなる。粉じんの飛散を防止する方法としてバキュームブラストを用いる方法もあるが、時間あたりの施工速度は遅く、広範囲の施工には不向きであることに加え、狹隘部や部材端部等、粉じんの飛散を防止できない部位があることを考慮する必要がある。

塗替え対象となる構造物が著しく腐食している場合、鉛や PCB 等の有害物質が塗膜中に含まれている場合は動力工具で先行素地調整を実施してからブラストで素地調整することでトータルコストを削減できる場合がある。

塗装に際しては、素地調整の品質が十分でない状態で塗装をおこなった場合、防食性能に優れた塗料を使用した塗装系を適用しても、腐食電流の抑制や鋼材表面と塗膜の付着性が確保できない。そのため、塗膜下腐食等が生じやすく、所定の防食性能を期待できない。防食性能に素地調整の品質が大きく影響することが[2.7]～[2.12]の文献で報告されており、素地調整の品質が防食性能に及ぼす影響は 50～70%程度とされている。

2.5 塗膜剥離に IH を適用する際の注意点

塗膜剥離に IH を適用する場合、IH の特徴による注意点を理解し考慮したうえで施工を行うことが重要である。IH では、塗膜剥離に適した温度を著しく超えるような加熱を行わないこと、剥離する塗膜の種類や膜厚を事前に確認すること、塗膜剥離を行う作業員の安全性を確保すること、塗膜剥離を行う現場の周辺環境を事前に確認すること等が挙げられる。ここでは、IH の特徴と IH を塗膜剥離に適用する際の注意点について説明する。

2.5.1 過加熱の防止

IH による塗膜剥離では、塗膜剥離に適した温度を著しく超えるような加熱を行わないように十分注意する必要がある。塗膜の種類や厚さによるが、加熱による塗膜剥離に必要な鋼材温度は 150℃～200℃とされている。基本的にこの温度域では鋼材の金属組織や機械的性質の変状が生じることはない。ただし、熱膨張は生じるため、板厚や部材の拘束条件によっては変形および応力が生じる可能性がある。また、高力ボルト継手においては軸力の変化が生じる可能性がある。一般に、IH による塗膜剥離では、コイルを近接させる部位の鋼材温度が局所的に上昇するため、加熱領域を順次移動させて塗膜を剥離していく。ある領域を加熱した直後に、近接した領域を加熱すると、先に加熱した領域の温度は低下しにくく、次の領域は高温になりやすい。この場合、部材全体の熱膨張による変形が大きくなりやすい。このような状態を避けるため、ある領域を加熱した後、所定の離隔（例えば、コイルを含む加

熱ヘッドの幅に相当する長さ)を設けて次の領域を加熱する場合が多い。各加熱領域の温度が近傍の領域に干渉しないようにして「縞状」に加熱および塗膜剥離を行い、所定の範囲の塗膜剥離が終わった後、残った「縞」の部分の加熱と塗膜剥離を行う方法が採用されている。

いずれにせよ、IH による塗膜剥離では、部材の過剰な加熱を防ぐために適切な温度管理を行うことが重要である。鋼材温度を計測するための種々の機器については第7章で紹介する。また、加熱ヘッドに非接触温度計を搭載したものや、温度計と連動したセンサーにより、所定の温度を超えた場合に装置への通電を遮断する機能を有するものがある。その他、施工前の予行により、鋼材温度と装置の移動速度や時間との関係を把握しておき、塗膜剥離に適した条件を決定してから施工する方法が採用されている。

薄板で構成される部材に対しては、加熱面の塗膜を剥離しようとする場合、熱膨張による変形や加熱面の裏側の温度上昇に注意する必要がある。加熱面の鋼材温度を 150℃～200℃まで上昇させる場合、板厚によるが裏側の温度も 90℃程度まで上昇する[2.11]。剥離の対象としない裏側の塗膜も熱影響を受け、付着力や耐久性が低下する可能性がある。塗膜剥離の対象となる面の裏側の塗膜を剥離しないことを条件とする施工においては、原則として IH の適用は相応しくないとと言える。熱膨張による変形および加熱面裏側の塗膜への影響を抑制する観点から、IH 式 RPR 工法協会や IH 塗膜除去工法研究会等の施工団体では、目安として厚さ 9 mm 以上の鋼板を IH 塗膜剥離の対象としている。板厚が薄いほど急速に加熱される傾向にあるため、板厚が 9 mm よりも薄い部材に対しては試験施工を行い、変形の有無および加熱面裏側の塗膜への影響を十分に検討することが望ましい。

2.5.2 塗膜の種別と膜厚

IH による塗膜剥離では、剥離対象とする塗膜の種別と膜厚を把握しておく必要がある。IH による塗膜剥離の難易は、塗膜の種別によって大きく異なり、例えば、鉛系さび止めペイントやエポキシ樹脂塗料のような塗膜は加熱による軟化して比較的剥離しやすいのに対し、加熱すると粘着性が増すゴムパテのような塗膜は剥離しにくい場合がある。付録3に収録している本小委員会で実施した剥離性能評価実験においては、A 塗装系（下塗：さび止めペイント、上塗：フタル酸樹脂塗料）が 140℃程度の加熱温度で塗膜が剥離可能であったのに対し、C 塗装系（下塗：エポキシ樹脂塗料、上塗：ふっ素樹脂塗料）では 200℃以上の加熱が必要であった。また、IH は加熱により塗料の樹脂成分の付着力を低下させる特性を利用していることから、無機ジンクリッチペイント等の無機系塗料や鉛丹さび止めペイント等の樹脂成分が微量な塗膜や耐熱性の高い塗膜は、基本的に IH による剥離の対象とならない。

膜厚が厚くなると、加熱コイルと鋼材表面の距離が離れて鋼材表面に達する磁場が弱くなり、加熱に時間を要する可能性がある。膜厚に合わせて加熱コイルの位置や出力を調整する必要がある。

また、掻き落とし時に微量ではあるが粉じんの発生が避けられないため、有害物質の含有

の有無について事前に確認しておく必要がある。

2.5.3 作業の安全性と効率

IH による塗膜剥離では、その特徴を理解して作業が安全かつ効率的に進められるように注意を払うことが重要となる。作業員の安全性確保は、IH に限らず、いかなる塗膜剥離方法を用いる場合でも重要である。IH の特徴から、作業員の安全性に影響を及ぼす可能性がある項目を幾つか挙げる。

塗膜剥離に IH を適用する場合、塗膜の種類によっては塗膜から発生したガスが空気中で固体の細かい粒子となったヒュームが発生する。高濃度のヒュームを吸飲すると健康被害を引き起こす可能性がある。ヒュームの発生が懸念される場合や、鉛等の有害物質を含む塗膜を剥離する場合には、作業員は防じん防毒マスクや保護メガネ等、有害物質に対し適切な防護服を着用する必要がある。高周波電源からは電磁波が発生するため、ペースメーカー等の装着者は作業を避けるべきである。塗膜剥離の対象とする部材以外の金属でも、通電中の加熱コイルが近接すると温度が上昇する可能性がある。作業員は付近の番線や金属くずの有無に注意し、金属類の装飾品の着用を避ける必要があり、骨折治療等で金属類を体内に埋め込んでいる場合も注意が必要である。他にも、加熱コイルが水冷式の場合は、冷却水の漏洩による感電にも注意を払う必要がある。鋼材温度を 150℃～200℃まで上昇させるため、加熱された部材に作業員が接触し火傷を負う可能性があることから、作業員の火傷防止に適した防護が必要である。密閉された作業空間では、熱中症に対する注意も必要である。また、塗料の種類によっては加熱によりダイオキシン類等の有毒ガスが発生する場合もあるため注意が必要である。

塗膜剥離用 IH 装置は、コイルトランスの他、高周波電源や冷却装置等の重量物を含む。橋梁の塗膜剥離を行う場合には、足場を設置し、足場上に IH 装置を搬入する必要がある。そのため、足場には十分な耐荷重と安定性が求められる。装置一式を足場上に搬入せず、高周波電源や冷却装置を地面に設置し、加熱コイルまでケーブルを延長して使用する場合もあるが、ケーブル配線の障害となる段差や隙間ができないように注意する必要がある。足場上、地上のいずれの場合でも、発電機や冷却装置を含めた IH 装置一式を配置するスペースが確保できるかどうかを事前に確認しておくことが重要である。

塗膜剥離工事の現場において、IH 装置に不具合や故障が生じるリスクがあるため、予備機や代替機を準備しておくことが望ましい。

2.5.4 周辺環境への影響

いかなる塗膜剥離方法を用いる場合でも、作業周辺環境に負荷を与えないように配慮することが重要であり、IH による塗膜剥離では、その特徴を理解して作業周辺環境に及ぼす影響を可能な限り抑える必要がある。IH の特徴から、作業周辺環境に影響を及ぼす可能性がある項目を幾つか挙げる。

塗膜剥離に IH を適用する場合、電源となる発電機から運転音が生じる。一般に、塗膜剥離に用いる IH には 50～100 kVA 程度の電源が必要とされる。出力 60 kVA の超低騒音型発電機からは 90 dB 程度の運転音が発生するため、施工現場の近隣に住宅があり静穏な環境の保持が求められる場合には注意を要する。ただし、動力工具やブラストを用いた塗膜剥離で発生する音は 100 dB 程度であり、これらに比べれば IH は発生音を抑止する観点から優位性がある。

IH 装置からは電磁波が発生するため、所定の手続き[2.13]が必要な場合があり、また、鉄道橋では信号機や通信機器への影響がないことを確認して施工する必要がある。

参考文献

- [2.1] 喜畑友美, 佐々木泰崇: 循環式エコクリーンブラスト工法による鉛・PCB 有害物質を含む産業廃棄物の削減効果, 平成 28 年度中部地方整備局管内事業研究発表会, イノベーション部門 5, 2018.7
- [2.2] 首都高速道路: 高速 3 号渋谷線火災に関する再発防止対策のレビュー, 第 1 回首都高速道路の塗装塗替え工事による火災事故再発防止委員会 資料 5, <https://www.shutoko.co.jp/~media/pdf/responsive/corporate/company/enterprise/road/recurrence-prevention/01/05.pdf>
- [2.3] 小西日出幸, 井隼俊也, 福島夏樹, 松井隆行, 早矢仕正尚, 廣畑幹人: 市川橋における IH 装置による塗膜剥離の試験施工, 橋梁と基礎, Vol.54 No.6, pp.18-23, 2020.6
- [2.4] 鈴木健治, 熊沢航志, 三坂昭二, 西部剛, 福島誠司: 鶴川大橋における IH 装置による塗膜剥離の試験施工, 橋梁と基礎, Vol.56 No.5, pp.25-30, 2022.5
- [2.5] 小西日出幸, 鈴木直人, 田中正裕, 鮫島力, 西谷朋晃, 廣畑幹人: 許田高架橋補修工事における IH 装置による塗膜剥離工法の適用, 橋梁と基礎, Vol.51 No.7, pp.14-20, 2017.7
- [2.6] 中原智法, 廣畑幹人, 桐畑光生: IH 塗膜除去による加熱が鋼上路トラス橋斜材の変形に及ぼす影響, 鋼構造年次論文報告集, 第 28 巻, pp.761-770, 2020.11
- [2.7] 森芳徳: 阿字ヶ浦漂砂観測栈橋塗装試験報告, 橋梁塗装, Vol.10 No.1, pp.13-22, 1982.1
- [2.8] 関西鋼構造物塗装研究会: 最新 わかりやすい塗装のはなし 塗る, 1994.3
- [2.9] 日本鋼構造協会: 重防食塗装の実例, 山海堂, 1988
- [2.10] 日本鋼構造協会: 鋼橋の長寿命化のための方策 (塗装からの取り組み), 2002.10
- [2.11] 高速道路調査会: 鋼橋塗装に関する調査研究報告集, 1975.
- [2.12] 日本道路協会: 鋼道路橋塗装・防食便覧資料, 2010.9
- [2.13] 総務省「電波利用のホームページ」／高周波利用設備の概要
<https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/highfre/index.htm>