

# 鋼橋の維持管理における塗装関連検査機器の利用について

○大西允人<sup>1)</sup>

山内良沢<sup>2)</sup>

## 1 はじめに

高度経済成長期に多数の鋼橋が建設されたため、今後は建設から 50 年を越える橋の数が急増します。したがって鋼橋の維持管理としては塗替え塗装がますます重要になるため、塗膜の点検およびそのデータ処理を合理的かつ効率的に行う必要性が生じています。

本稿では、現場における塗膜点検・検査の迅速化および信頼性向上に有用な検査機器を紹介するとともに、塗膜の維持管理の初心者にも役立つように、それらの取り扱いについての知見をまとめたので報告します。

## 2 検査概要

鋼橋の安全性を確保し、ライフサイクルコストの削減を図るためには、定期点検により鋼橋の状態を把握し、塗膜劣化の早期発見・早期補修を行うことが大切です。

また、**図-2**は旧 A 塗装系における塗膜寿命に関する要因<sup>1)</sup>ですが、塗膜の寿命は素地調整と塗装回数（膜厚）に深く関係していることがわかります。塗替え塗装の耐久性は、素地調整時に異物（さび、海塩粒子等）の除去が不十分である、あるいは目標とする膜厚に達していないことが要因で、一般的に新設塗装と比べ短いため、適切な対策とその管理が必要です。

本稿では、それらに関する幾つかの検査を取り上げ、関連する検査機器を紹介します（**表-2**）。

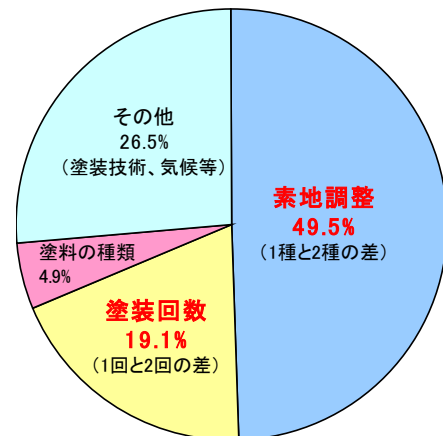


図-2 塗膜寿命に影響を及ぼす要因

鋼道路橋塗装便覧：(社)日本道路協会昭和 54 年 2 月より引用

表-2 検査項目

	定期点検	素地調整後の検査	塗装作業後の検査
検査内容	塗膜劣化度調査	表面付着塩分測定 結露可能性判断 表面粗さ測定	塗膜厚測定 ピンホール検査

1) 株式会社サンコウ電子研究所 営業統括部開発営業課 〒101-0047 東京都千代田区内神田 2-6-4 柴田ビル7F

2) 株式会社サンコウ電子研究所 東京営業所

### 3 検査項目と特徴

#### 3.1 塗膜劣化程度の調査

定期点検における塗膜外観調査（さび、膨れ、剥がれ等）は、主に目視や双眼鏡を用いて行われています。標準図や標準写真と比較して評価されています<sup>2)</sup>が、主観的な判断になる可能性があり、客観的に遠距離から調査できる方法が強く望まれています。

現在、橋梁のコンクリート部材では、うき・剥離箇所の特定期に赤外線サーモグラフィを用いる検査が試みに行われています<sup>3)</sup>。この方法は日射や気温の変化に伴う表面温度の上昇または下降の様子が健全部と欠陥部で異なるため、その温度差を利用して欠陥部を検知するものです。

そのため、検査は気温や天候に大きく左右され、測定対象も日射を受けて温度差が生じる箇所に限定されます。また鋼橋への利用にあたっては、健全部と欠陥部で十分な温度差が生じるか否かを検証する必要があり、従ってまだ課題も多く、信頼性向上には今後の研究・開発が待たれます。

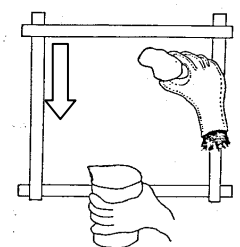
#### 3.2 表面付着塩分の測定

塩分は鋼材表面の酸化皮膜を破壊します。また、塩分が付着した塗膜上に塗替え塗装を行った場合、塗膜層間において膨れや剥がれが生じ易くなります。そのため、構造物管理要領等では、「塩分の付着量が $50\text{mg}/\text{m}^2$ 以上の場合、現場塗装を行う直前に素地調整として水洗い等による十分な清掃を行わなければならない。」と記載<sup>4)</sup>があり、規定の塩分濃度以下に管理する必要があります。

##### 1) ガーゼ拭き取り塩素イオン検知管法

まず縦横50cm角の測定箇所（ $0.25\text{m}^2$ ）をマスキングテープで仕切り、次にゴム手袋を装着し、純水で湿らせたガーゼを用いて付着している塩分を拭き取ります（**図-3.1**）。

その際1回毎にガーゼを取り替え、たとえば上から下・左から右・下から上のように、滴をたらさないようにしながら、方向を変えて同様の操作を3回繰り返して塩分採取後、塩素イオン検知管を用いて塩素イオン濃度を測定します。



**図-3.1 ガーゼ拭き取り法**

この方法は特別な機器が不要であるため初期導入費用が安く、水可溶性の塩化物のみ測定できるので、海塩粒子の付着量を知りたい現場などで手軽に採用されています。一方、採取には3回拭取る必要があるため作業時間が長く、操作もやや煩雑です。

また無機ジンクリッチペイント塗膜のような多孔質の素地では、拭き取る際に塩分の一部が素地に吸い込まれるため実際よりも塩分量が少なく計測される恐れがあるため、測定誤差には注意が必要です。

## 2) ブレSSL (BRESLE) 法

測定面にブレSSLパッチを貼り、注射器でパッチ内部に純水を注入し、十分に攪拌して付着塩分を抽出、全量を注射器で回収し電気伝導率を測定する方法です (図-3.2)。

拭取り法と同様に初期導入費用が比較的安く、現場で広く採用されていますが、パッチが消耗品であるためランニングコストが高い、パッチを剥がす時に張り付けた素地に粘着剤が残る可能性があるなどの欠点があります。

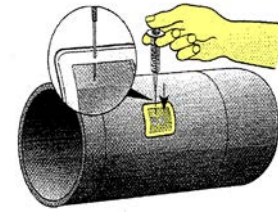


図-3.2 ブレSSL法

## 3) センサ固定による直接電気伝導率測定法

測定セル内に純水を入れ、電気伝導率が  $5 \mu\text{S}/\text{cm}$  以下であることを確認し、表示値が安定したら「ZERO キー」を押します。ゼロ調整後、測定セルを測定面に貼り付け、注射器で純水を 10ml 注入します。この状態で本体の「START キー」と測定セルの攪拌スイッチを押してゆっくり攪拌し塩分を抽出します。1 分後に測定値が記録装置に読み込まれ、自動的に本体にデータ保存される仕組みです (写真-3.1)。

上記の 2 つの方法と比較して測定器の導入費用は高くなりますが、消耗品は純水のみでありランニングコストは安い。また、塩分抽出と測定が同時であるため、操作が簡単で検査時間も短い。加えて測定データを保存することが可能です。従って、本測定器を用いることで作業性の向上が期待できますが、測定面積が小さいため、場合によっては多数の装置を必要となります。また電気伝導率を測定するため、NaCl 以外の水可溶性塩類が含まれていると NaCl 由来の濃度より高めに表示されてしまう欠点があります。ただし、鋼材の腐食には排ガス(温泉・車両・工場由来の  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  等も影響するため、誤差は安全側に作用します。



写真-3.1 センサ固定による直接電気伝導率測定法

### 3.3 結露の可能性の評価

結露した鋼材表面に塗装すると、塗膜剥離や仕上がり不良の原因になるため、被塗物の表面は乾燥している必要があります。

しかしながら鋼材表面の結露した水の薄い層を目視で判断することは難しいため、**写真-3.2** に示すような結露計という機器を用いた管理が推奨されます。



写真-3.2 結露計

結露計による検査方法は自動化されており、まず周囲温度および相対湿度が計測され、続いて露点温度が算出されます。

次に鋼材の表面温度を測定することで、結露の可能性を表示

で知ることができます。ISO 8502-4 では、「溶剤系塗料を塗装する場合、特別な合意がなければ一般的に表面温度は露点温度より最低 3℃以上高いことが望ましい<sup>5)</sup>。」と規定されています。表面温度は露点より十分に高ければ安心ですが、急激な気温の低下が発生しやすい春先やに秋口は注意しなければなりません。

### 3.4 表面粗さの測定

一般的に素地の表面粗さが大きくなると、塗膜の接触面積が大きくなり付着力は向上します。ただし、大きくなり過ぎると標準的な塗付量に対する有効膜厚が薄くなってしまいうため、表面粗さは適切な管理が必要です。各公共機関においては、80 もしくは 70  $\mu\text{m Rz}_{\text{JIS}}$  以下の管理が望ましいと規定されています (**表-3.1**)。

表-3.1 各公共機関での表面粗さの規格値

(単位： $\mu\text{m Rz}_{\text{JIS}}$ )

公団名	本州四国 連絡高速道路	阪神高速 道路公団	東・中・西 日本高速道路	鋼道路橋塗装 ・防食便覧
1次素地調整	80 >	80 >	70 >	80 >
2次素地調整	70 >	70 >		

#### 1) 比較板との比較法

比較板(**写真-3.3**)にはグリット用とショット用の 2 種類 (**表-3.2**) があり、ブラスト処理面に比較板を密着させ、中央の丸穴から 4 区分のいずれに相当するかを目視評価する方法です。この方法は、操作が簡単で振動や粉塵の影響を受け難いため、現場の検査に広く用いられています。ただし概略の粗さを 4 区分から判断する方法であり、目視評価のため個人差が生じ問題となることがあります<sup>6), 7)</sup>。

表-3.2 比較板の区分

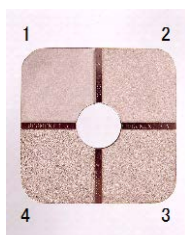


写真-3.3 比較板

グリット用比較板			ショット用比較板		
区分	中央値 ( $\mu\text{m}$ )	公差 ( $\mu\text{m}$ )	区分	中央値 ( $\mu\text{m}$ )	公差 ( $\mu\text{m}$ )
1	25	3	1	25	3
2	60	10	2	40	10
3	100	15	3	70	15
4	150	20	4	100	20

## 2) テープ転写法

レプリカテープ (図-3.3) をブラスト処理面に貼り、テープの中央を付属の棒でこすりつけ表面の粗さを転写する方法です。転写したブラスト面の最大粗さをマイクロメーターで測定することができます。

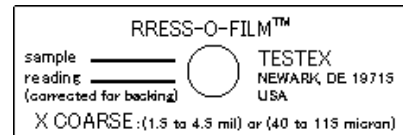


図-3.3 レプリカテープ

レプリカテープの大きさ (55mm×18mm) が比較的小さいため、比較板よりも狭い箇所の測定が可能であり、素地の粗さ形状をテープに保存することができる一方で、テープの発泡体が谷底まで入り込まない場合があり、きちんと測定できない可能性があります。

## 3) 触針式試験法

針の走査距離および回数を決定後、粗さのある表面に沿って測定器の針を走らせ、その上下動から山谷の高さを測定する方法です (図-3.4)。測定値は、各公共機関で規定されている「十点平均粗さ」で算出します。

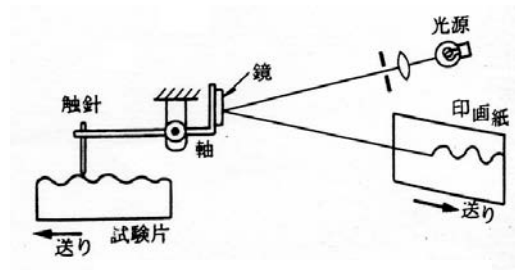


図-3.4 触針法の原理図

触針式試験器は表面粗さを直接測定することができます。測定部のチャート出力や測定値の保存が可能であるため、客観的な結果を得ることができます。しかしながら装置一式が比較的高額で、振動や粉塵の影響を強く受ける環境での測定は難しいなどの欠点があります。そのため、主に現場でのブラスト処理を行う前に規定内の粗さが得られることを確認するための事前試験に限定され、実現場への対応は今後の課題です。

## 3.5 塗膜厚測定

塗膜厚の不足は防食性、耐食性に大きく影響します。また塗膜厚が厚過ぎると硬化ひずみ等より割れ等の発生原因となるため、適切な膜厚管理が必要です。現場での膜厚管理には、大別してウェット膜厚と乾燥膜厚を測定する方法に分類され、さらに乾燥膜厚の測定方法には破壊式と非破壊式があります<sup>8)</sup>。

### 1) ウェット膜厚測定

ウェット膜厚計 (Wet Gauge) が普及しています。塗装直後の塗膜面に対して垂直に歯を押し当て、最後に塗料に触れた歯と最後に触れなくなった歯の間の目盛を読みとり、塗料の厚みを知るという原理です (図-3.5)。塗料中の溶剤が蒸発するとウェット膜厚は減少するため、塗装する作業員各自で所持し、塗装後直ちに測定するとともにウェット膜厚が不足であればその場で追い塗りし補修できる利点があります。ウェット膜厚計は、事前の調整を必要とせず、塗装直後に簡単に測定でき、費用も安いなどの利点があります。ただし、読み取った値

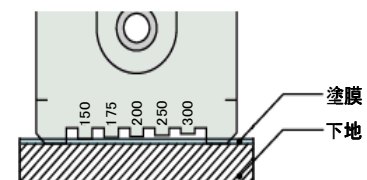


図-3.5 楕形ウェット膜厚計



写真-3.4 ロータリー型



はウェット塗膜の目安程度の精度であることに留意します。また塗装は一般的に乾燥膜厚で品質管理されるため、事前にウェット膜厚と乾燥膜厚の相関関係を把握する必要があります。ウェット膜厚を精度よく測定する方法として、ロータリー型（写真-3.4）が用いられているが、くし型と比較して高価です。

2) 永久磁石式膜厚測定（バランスアーム式）

測定子が磁力により測定面に吸着するまでダイヤルを反時計方向に回す（写真-3.5）。吸着後、時計方向にゆっくりとダイヤルを回し、“カチツ”という音がして測定子が測定面から離れた時点の目盛を読み取る。この方法は事前の調整も測定も簡単操作であり、電源を必要としません。ただし同様に乾燥膜厚を非破壊で測定する電磁式と比べて測定誤差が大きいといえます。また、測定子と安定脚を一直線にする必要があります。突起部や極小部の測定には不向きです。



写真-3.5 永久磁石式膜厚計

3) 電磁式膜厚測定

表-3.3 に鋼道路橋塗装・防食便覧における塗膜厚管理基準（抜粋）を示します。このように乾燥塗膜厚測定の標準機器としては、主に電磁式膜厚計が採用されています。

表-3.3 塗膜厚の管理基準例

測定機器	2点調整形電磁微厚計
調整用鋼板	測定対象物とできるだけ同質の鋼材 (表面粗さ6 $\mu$ mRz以下、厚さ6mm以上)
標準厚板	目標膜厚と近似の非磁性体
測定数	約200~500m <sup>2</sup> 単位毎に、25点以上
測定方法	1ヶ所当たり5点測定し、平均値とする
管理基準値	ロットの塗膜厚平均値は、目標塗膜厚合計値の90%以上
	測定値の最小値は、目標塗膜厚合計値の70%以上
	測定値の分布の標準偏差は、目標塗膜厚合計値の20%を超えない (ただし、測定値の平均値が目標塗膜厚合計値より大きい場合はこの限りではない)

検査手順は次の通りです。

- ①調整用鋼板として測定対象物と同質の鋼材を準備し、プローブをその鋼板に複数回押し当て、安定したところで表示値をゼロに調整する。
- ②目標塗膜厚と近似の標準厚板を調整用鋼材に置き、プローブを複数回押し当て表示値を標準厚板の数値に調整する。2つの調整は電磁式膜厚測定において大変重要であるため、

調整後に調整用鋼板および標準厚板にプローブを押し当て、調整値と近似であることを再度確認する。

③測定対象物にプローブを押し当て、測定値を読み取る、あるいは本体メモリーに保存する（写真-3.6）。

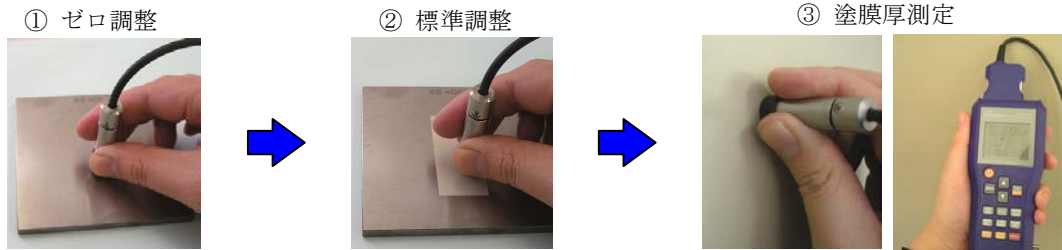


写真-3.6 電磁式膜厚測定

膜厚管理は表-3.3に示すように、一般的に塗膜検査対象1ロット（約200～500m<sup>2</sup>）に対し25点以上測定し、1点につき5回（その点とその上下左右）測定した平均値で算出するため、測定数および測定方法に併せたデータ保存が行えるデジタル機種を用いることでデータ処理時間の短縮が見込めます。一般に膜厚はばらつくので統計的に処理する必要があり、そのためには1ロットあたり表-3.3の測定数基準を超える計測値を採取することが望ましい。電磁式膜厚計は、平面の乾燥塗膜に対しては精度よく測定できますが、塗膜厚が薄い場合は、鋼材の表面粗さの影響を受けます。また乾燥が不十分な場合は塗膜がへこみ、測定値が実際の膜厚より小さくなります。



写真-3.7 ペン型



写真-3.8 伸縮式

突起部や極小部の測定にも不向きですが、近年ではペン型プローブ（写真-3.7）等が開発されたことで、測定可能な箇所は広がっています。加えて高所用の伸縮式プローブ（写真-3.8）も開発されており、手の届かない場所への測定も可能となり、利便性が向上しています。

#### 4) 円錐カット式膜厚測定

円錐形ドリルで塗装面に同心円状の穴を開け、付属の顕微鏡で目盛を読み取り円錐形ドリルの大きさと目盛の関係から乾燥塗膜厚を算出します（図-3.6）。この方法は、多層膜に対して各層の膜厚をそれぞれ測定することが可能であり、顕微鏡を用いて比較的精度よく読み取ることができるので、塗替え塗装で旧塗膜（活膜）を残し塗装する場合に、有効な検査方法です。ただし塗膜を破壊するため、測定後に補修が必要であり、ドリルを塗膜に対して垂直に当てる必要があるため、

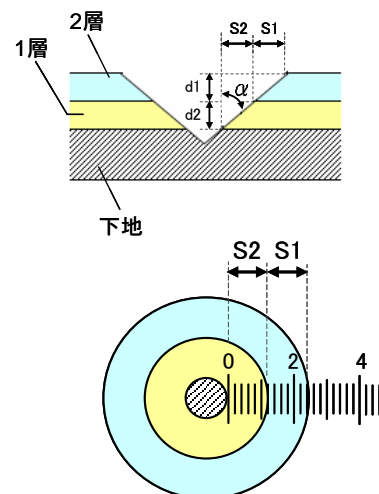


図-3.6 円錐カット式膜厚測定

突起部や極小部の測定には不向きです。

### 3.6 ピンホール検査

空隙の多い多孔質の塗膜を形成する塗料（無機ジンクリッチペイントなど）を下塗とする塗装系では、ピンホールが発生する可能性が高いとされています。ピンホールが存在すると、そこから局部腐食が進行するため、適切な膜厚を確保しても、本来の防食性、耐食性が期待できない恐れがあります。

そのため、塗膜厚と同様にきちんとピンホールを管理すべきです。

検査手順は、はじめにアースクリップを被塗物の金属露出部に接続します(図-3.7)。塗膜に傷をつけたくない場合など、露出部が得られない場合は間接アースを用いる方法があります。接続後、塗膜の厚さ・性質より検査のための電圧値を検討し適正な印可電圧を設定します。ブラシの先を測定面に軽く触れるようにして一方向に動かしてピンホールを探索します。測定面にピンホールが存在すると素地金属との間で放電が起こり電流が流れ、警告ブザーが鳴る仕組みです。ブラシに高電圧を印加したままの状態と同じ所に止めず、また必要以上に電圧を上げない、同じ箇所を繰り返して検査しないなどの注意が必要です。

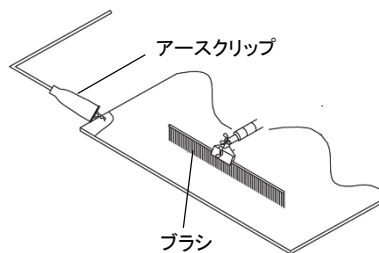


図-3.7 ピンホール検査

## 4 まとめ

検査機器は一般的に初期導入費用が高い傾向にありますが、点検・検査の作業性・信頼性の向上に極めて有用であり、データ処理に必須の記録機能を有しているため、これから急増する塗膜の維持管理の一助となるものと期待されます。ただし現場においては、測定環境や測定箇所条件によりこれらの検査機器が使用できないケースが多分に想定されるため、今後は無人化・自動化など多様化する現場の条件に対応できる検査機器の開発に力を入れたいと思います。最後になりましたが、この発表の機会を与えていただいた一般社団法人 日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会に謝意を表します。

### <参考文献>

- 1) (社)日本道路協会：鋼道路橋塗装便覧 4-1, p48, 昭和 54 年 2 月
- 2) (一社) 日本橋梁建設協会：橋梁技術者のための塗装ガイドブック, 2000
- 3) 国土交通省道路局：橋梁における第三者被害予防措置要領(案), 2004
- 4) (社)日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧 4.6.1, pII-57, 平成 17 年 12 月
- 5) ISO 8502-4 : Guidance on the estimation of the probability of condensation prior to paint application, 1993
- 6) JIS Z 0313 : 素地調整用ブラスト処理面の試験及び評価方法, 2004
- 7) (一社) 日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会：Structure Painting Vol.37 No.2, 2009
- 8) JIS K 5600-1-7 : 塗料一般試験方法—第 1 部：通則—第 7 節：膜厚, 1999