

汎用渦電流探傷器による塗装下のめっき有無とめっき厚の確認

名古屋営業所 近藤 浩

キーワード ET、渦電流、めっき厚さ、塗装、りん酸塩処理、照明ポール、膜厚計

概要

名古屋営業所土木調査グループに「塗装されている国道の照明ポールがめっきされているかどうか、塗装剥離後りん酸塩処理をして確認する」という依頼があった。めっき面かどうかはりん酸塩処理しなくとも見ればわかるが、塗装剥離・復旧は手間が掛かる事、まためっき面への正しい塗装はりん酸塩処理をおこなっている筈なので、以前作成しておいたMentor EM（汎用渦電流探傷器）による簡易材質判別アプリを元に、渦電流を使い塗装面上から鋼材のめっきの有無およびめっき厚を確認できるアプリを作成し使用した。

1. 原理

コイルに交流電流を流すと磁界が発生する。この状態でコイルを導体に近づけると「電磁誘導現象」により、導体内に渦電流が発生する。導体内に発生した渦電流は「交流の表皮効果」により、導体の表面から内部に行くにしたがって指数関数的に減衰する。

導体表面の電流を100%とし、37% ($1/e$) になる深さを「 δ ：表皮の厚さ」といい、
($e=2.718281828 \dots$ 自然対数の底)

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \sigma \cdot \mu}} \quad (1) \quad \text{で表せる。}$$

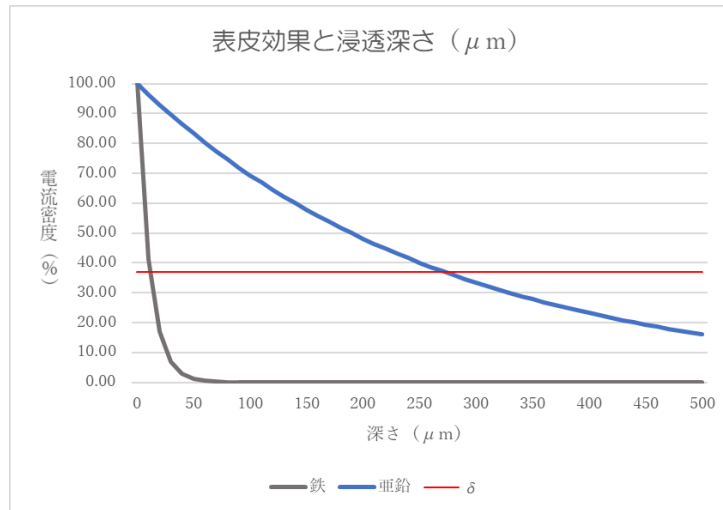
交流の周波数 f を 200KHz とした場合の表皮の深さ δ は

項 目	亜鉛	鉄
σ : 導電率 (S/m)	1.69×10^7 S/m	1.00×10^7
μ_0 : 真空の透磁率	$4\pi \times 10^{-7}$	
μ_s : 比透磁率	1	1000 ※1
δ : 表皮の深さ (μm)	270	11

μ ; 透磁率 ($\mu_0 \times \mu_s$) μ_0 ; 真空の透磁率 ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m) μ_s ; 比透磁率
 σ ; 導電率 (電気伝導率)、 π ; 円周率、※1 ; 100~2000 1000 とした

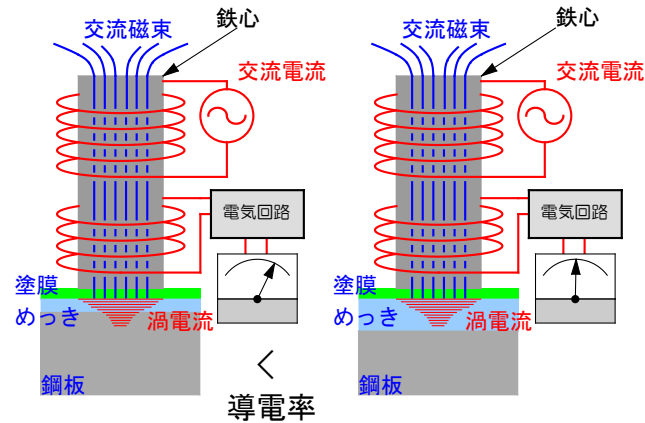
【表－1】

グラフにしてみると、鉄と亜鉛では表皮の厚さが大きく異なることがわかる。



【図－１】

亜鉛の導電率は鉄より 70%高いので【表－１】、亜鉛めっきの厚さが厚くなると抵抗（インピーダンス）が減少し、薄くなると抵抗が増大する（導電率は減少する）。導電率の変化（めっき厚の変化）は渦電流の位相を変化させる。



【図－２】イメージ図

2. Mentor EMアプリの作成

日頃建築鉄骨の受入検査に行っている鉄工所から廃棄するめっきのスプライスプレートなどを譲ってもらい、表面を加工し種々のめっき厚さTPを作成、塗装は養生テープで代用した。



【写真－１】



【写真－２】

渦電流探傷器は渦電流からの信号を $|r|$ （振幅）と θ （位相）で直交座標上に表示することが出来るので種々のめっき厚さでの測定をおこないながら、以下の調整とした。

コイル：ペンシル型単一コイル（上置コイル）

（JIS Z 2305 E T 2 次試験リベット周りのき裂検査に使うもの）

周波数：上記コイルの最大許容周波数 200KHz

原点：空間（導体から離れた場所）でバランス（ゼロ点調整）を取り座標の中心

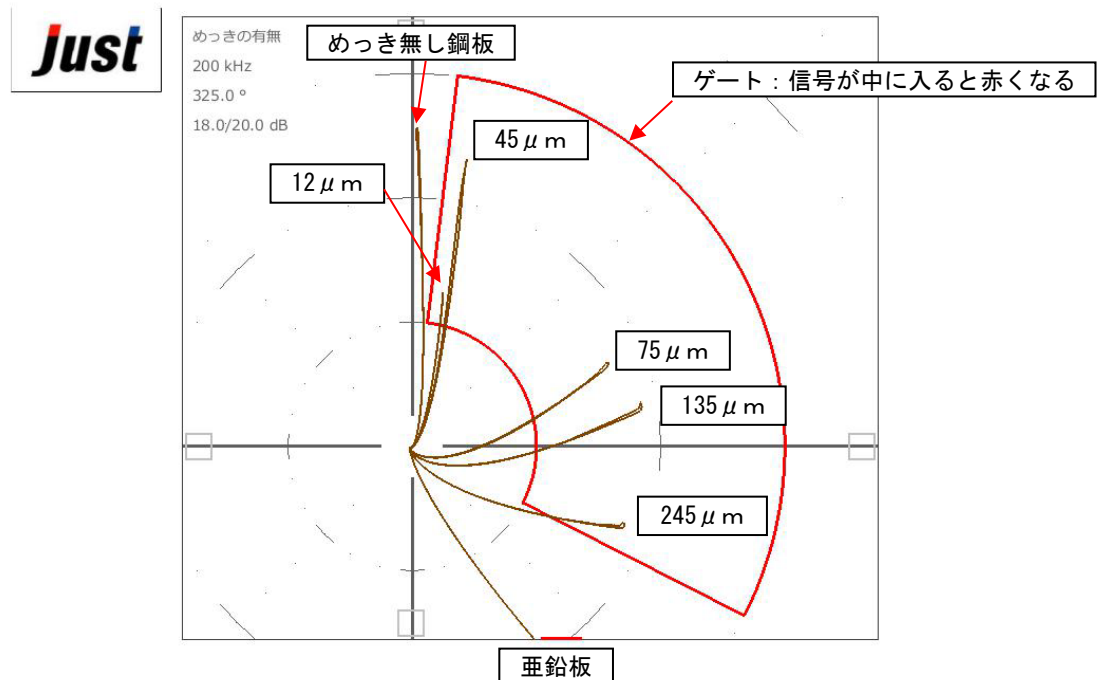
座標の中心はLCD 画面のやや左下

位相：めっきなし～亜鉛板による信号の方向を時計の0時～3時～6時方向に動くように調整

ゲイン：約 250 μ m の塗膜上での信号がゲートの中央になるように調整

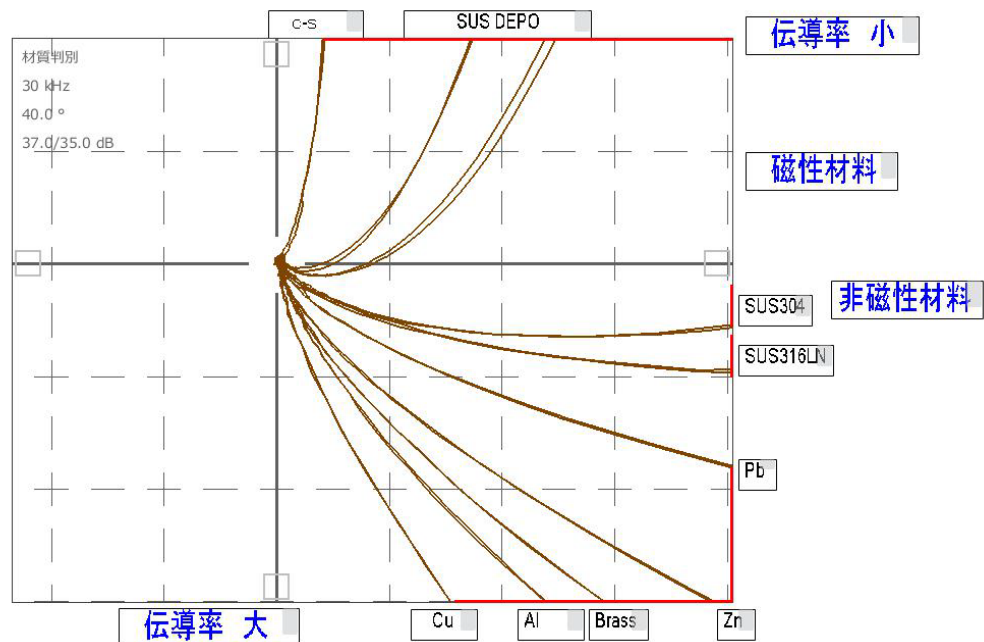
（Y 軸方向の感度はX 軸+2 dB）

【図－3】はめっき無し鋼板～種々の厚さの異なるめっき～亜鉛版の計 7 点の測定をおこなった信号の軌跡（塗膜厚さ約 250 μ m）。位相（信号の方向）はめっき厚さを表し、振幅は塗膜厚さにより、塗膜が薄くなると振幅は大きくなる。



【図－3】

画面上にゲート（扇型の領域）を設定し、そこに信号が入ると（めっきの場合）ゲートが赤くなりアラームを発信するように設定した。めっき厚さが 45 μ m 以下ではゲートによる判別は微妙になるが、JIS H 8641「溶融亜鉛めっき」では板厚 3 mm を超える鋼材の一般的なめっき厚さ (HDZ45) は 63 μ m 以上なので容易に判別できる。



【図－４】

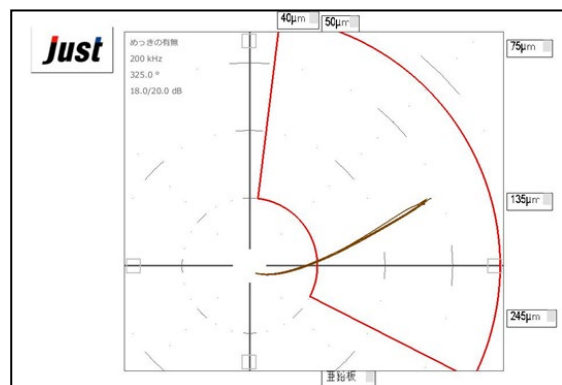
【図－４】はもとになった簡易材質判別アプリ、時計回りで0時から6時方向に向かって電気伝導率が高くなっている。1時方向は強磁性体、ステンレス鋼の溶接部（SUS DEPO）はフェライトを少し含んでいるので、強磁性体に近い領域に入っている。（“伝導率”は電気伝導率または導電率）

3. 実作業

実作業は機器の電源を入れ、アプリを立ち上げ、試験片で動作確認をおこなえば試験物にプローブを触れるだけで完了する。記録が必要ななら【図－５】のようなJPG ファイルで保存できる。



【写真－３】



【図－５】

4. まとめ

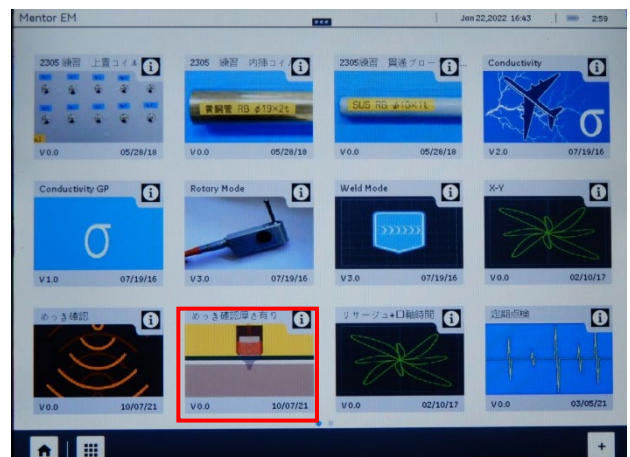
経験者なら塗装剥離して目視すればわかる事を“非破壊で判別する”を目的として実験してみたが、塗装の上からその下のめっき厚の概略までわかるとは思わなかった。 今回の測定原理を調べたところ「渦電流位相式」という膜厚測定方法に相当し、他に「電磁誘導式」「渦電流振幅式」の2種類の方法があり、それぞれJ U S Tの保有する膜厚計の測定方式であった。「渦電流位相式」の膜厚計は用途が特殊であまり見かけないが、車の車体（めっき鋼板に塗装）などで利用され、密着しなくとも測定できる利点を生かし、ねじ部のめっき厚さ測定にも使われているようだ。 以下に3種類の膜厚測定を原理別にまとめた。

（膜厚測定の方法）

方法		電磁誘導式	渦電流振幅式	渦電流位相式
原 理		・ 1 次コイルにより強磁性材料に流れる誘導電流を 2 次コイルで検知。距離（膜厚）が変わると電圧が変化する。	・ コイルの高周波磁界によって非磁性金属に誘導された渦電流の大きさが距離（膜厚）により変化する。	・ 入力側高周波磁界と誘導された被膜上の渦電流の位相差を厚さに変換。
界 面 の 組 合 せ	空 間	空間	空間	空間
				絶縁被膜（キャンセルされる）
	厚さ測定対象	非磁性体・絶縁被膜	絶縁被膜	非磁性体
	ベース素材	強磁性体 （炭素鋼）	非磁性体 （銅、アルミ、真鍮他）	強磁性体 （炭素鋼）
特 徴		プローブは測定探傷に密着させる	プローブは測定探傷に密着させる	プローブは測定対象に密着しなくともよい
J U S T 保有機器		・ M P 1 0 ・ L E - 3 7 3		M e n t o r E M （概略）
		・ S W T - 1 0		



【写真－４】Mentor EMとプローブ



【写真－５】Menu画面と各種アプリのアイコン