

第4章 コンクリートや木材を素地とする塗膜の厚みを非破壊で測定する

黒木 裕志郎*

18. 超音波膜厚計

超音波測定技術を用いた膜厚計の普及が進んでいる。コンクリートや木材に塗布された塗膜の厚さを測定するためのこれまでの破壊式測定に替わる、あるいはサポートする非破壊測定である。

今回は JIS K 5600-1-7/ISO 2808「膜厚」の5.7.4. 超音波膜厚計にも規定されている「音の伝播時間から膜厚を計測するための発信器と受信器を備えている」膜厚計の原理と適用方法について紹介したい。

塗装にはさまざまな機能がある。コンクリートや木造の建築物の修復、保護、防水、美化を目的としたものもある。また、気孔をふさいだり、表面の質感を美しくするため、あるいはコンクリートなどが剥がれ落ちないように強力な保護バリアを形成するためのものなどがある。

それではなぜ膜厚計が必要なのであろうか。塗料は、メーカーが指定する限定された厚みで塗布された時に、本来の機能を發揮するように設計されている。

コンクリートの保護膜の場合は、一定以上の膜厚であることを確認する必要があるし、木材の塗装においては、ある種のワニスは硬いので、ヒビ割れやその他仕上がりの外観不良を防ぐために、通常は膜厚 100 μm 以上にならないよう

にする必要がある。ニトロセルロースラッカーでは、通常 80 μm 以下に抑える必要がある。中密度繊維板(MDF)の場合、粉体塗装の厚さは通常 70, 80~200 μm の範囲である。このレベルの膜厚は、見ただけでは判断できない。

金属の上では、膜厚管理のために、素地が鉄・鋼の場合は磁気を利用した方法が用いられ、銅やアルミニウムなど非鉄金属には、渦電流装置が使用される。

しかし、コンクリートや木材の上の塗膜はこれらの測定方法では測定できないので、別の方針を用いる必要がある。これまでには、塗膜に孔を開けて測定するデプスゲージ法、塗膜を斜めにカットするくさび形切削法、塗膜を輪切りにして断面を顕微鏡で測定する光学的方法などの破壊式測定法が用いられてきた。しかし、超音波膜厚計の登場により、多くのケースで非破壊検査に切り替わってきている。

19. 測定原理

測定原理を写真-35 に示すポジテクター 200 と呼ばれる機種を例に説明する。この機種は ISO 2808 / JIS K 5600-1-7 および ASTM D 6132 などに適合している。

単一素子トランスデューサと高度な数値解析技術により、デジタル化されたエコーをフィルタリングして強調する。高周波の超音波パルスが周囲に散逸するのを防ぐため、塗膜表面にカプラントを塗布し、プローブ先端と塗膜とのすき間を埋める。そうすることで、塗膜中に確実

* くろき ゆうしろう コーテック(株)
カスタマーサポート部



写真－35 ポジテクター 200

に超音波振動を発生させる。振動は塗膜中を伝わり、密度の異なる材料に当たると反射してエコーとしてトランステューサに戻ってくる。その材料(ここでは塗膜)中を伝わる音速がわかれば、エコーが戻ってくるまでの時間から、膜厚の算出が可能になる。このことを、第39図に模式図として示す。

多くのエコーが発生する可能性があるため、膜厚計は一般に「最も大きな」エコーを選択して、そこから膜厚を計算するように設計されている。第39図のように2層などの多層の塗装システムにおいても最も大きな波形を素地からのエコーとみなして表示するようになっている。さらに、層間の密度の差がはっきりしている場合には、層ごとの膜厚を表示することも可能である。このことを、第40図に模式図として示す。

例として選んだポジテクター 200 では、最大3層まで各層の膜厚が表示できる。しかし、実際に測定できるかどうかは、層間の密度差が明瞭であるかどうかなどの条件による。

音速の値は、木材で使用される塗料の場合大きく異なることは一般にない。コンクリート上の塗膜の場合も同様であるが、ポジテクター 200 ではポリウレア塗膜については一部のプローブに専用の選択メニューを設けている。多くのケースでは出荷時の校正設定を変更する必要はないようである。

20. 実際の測定

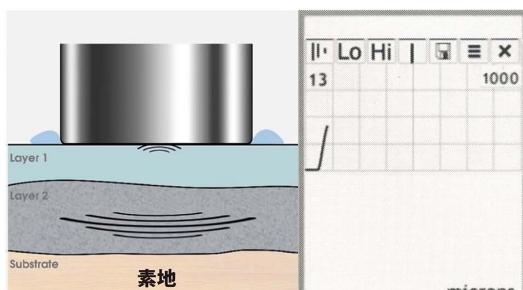
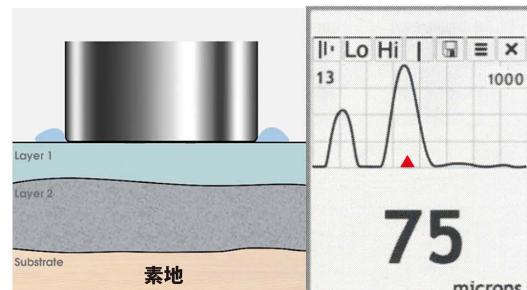
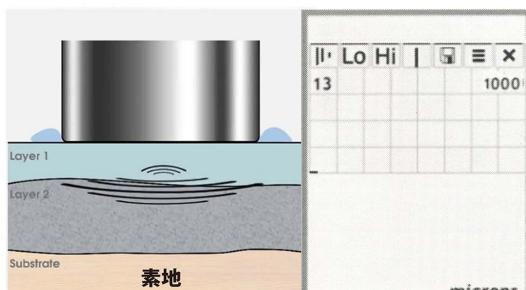
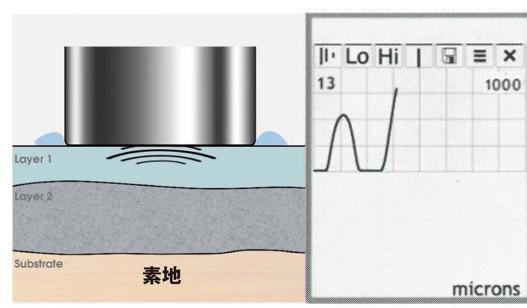
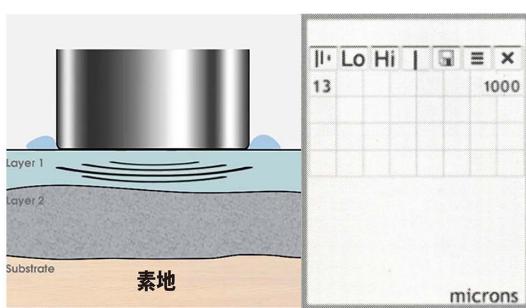
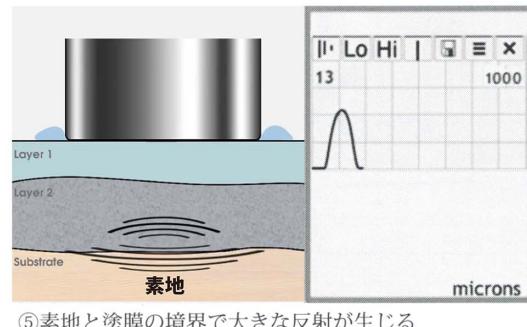
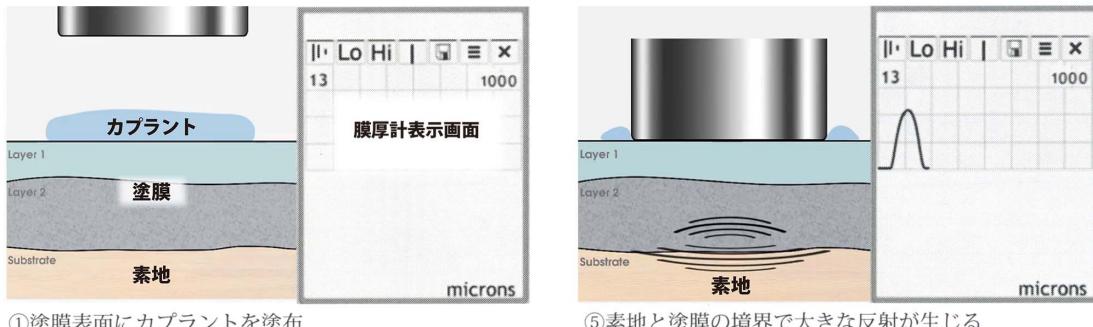
(1) 最も多い測定エラー

最も多い測定のエラーは、具体的な現象としては、「小さすぎる膜厚値が表示されてしまう」ことで、その原因は塗膜の表面に小さな凸凹があり、それを埋めるように塗布されたカプラントを塗膜と膜厚計が誤認してしまうことにあら。特にコンクリートの上の塗膜など凸凹の多い塗膜では、このエラーが生じやすい。具体的に第41図に模式図として示す(説明のため表面の凸凹を誇張して表現する)。

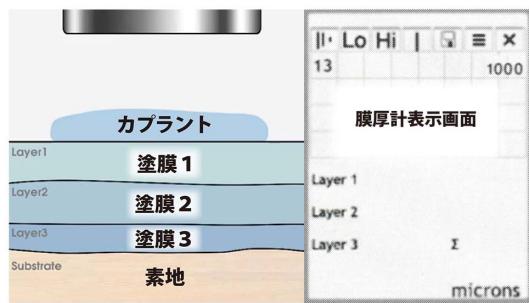
このエラーを回避する方法が用意されているので第42図の模式図を用いながら説明する。膜厚計のディスプレー画面には、そのプローブで測定できる最小値と最大値が表示されている。このプローブの場合の測定可能範囲は、第42図の①のように $13\sim1,000\ \mu\text{m}$ である。この測定可能な最小値をカプラントの厚み以上の値に強制的に変える。②のように $30\ \mu\text{m}$ などである。そうすると膜厚計は $30\ \mu\text{m}$ 未満の波形は無視して評価するようになり、それ以上の波形の中から最も大きなものを、素地からの反射波とみなして、それに基づいて膜厚値を算出する。このケースでは、結果として本来の塗膜の厚みを示す $75\ \mu\text{m}$ となった。

なお、塗膜表面ではなく、素地表面に凸凹がある場合であるが、ここで例示している膜厚計の測定値は、小さな凹凸を平均化し、結果を表示するように設計されている。特に粗い塗膜表面や粗い素地表面での測定の場合には、個々の測定値自体では再現性に欠ける=測定のたびに値が異なってしまうというケースもある。この場合は、1つのスポットで何回か測定しその平均値で膜厚を評価することが推奨される。1回の測定ではなく、平均化された一連の測定結果を比較することで、許容できる再現性が得られる場合がある。

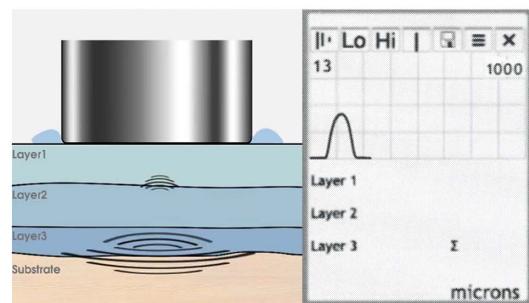
また、既述でポリウレア専用のモードがあることを紹介した。ポリウレア塗装では、塗装と乾燥を繰り返し、 $500\ \mu\text{m}$ を超える厚膜にすることが多いようである。ポリウレア専用のモードを用いると、合計膜厚のほかに、条件次第では最大3層までの各層の厚みを計測することが可能になる。



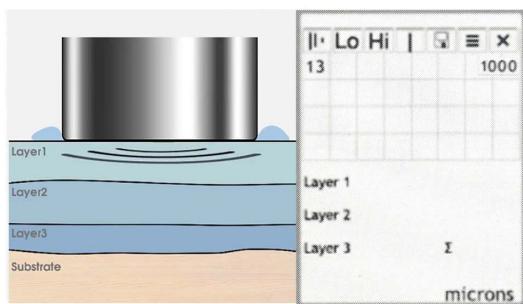
第39図 超音波膜厚計の測定原理(1)



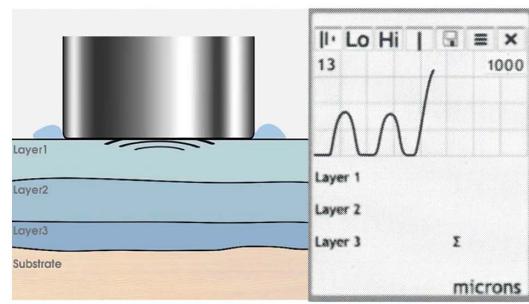
①塗膜表面にカプラントを塗布



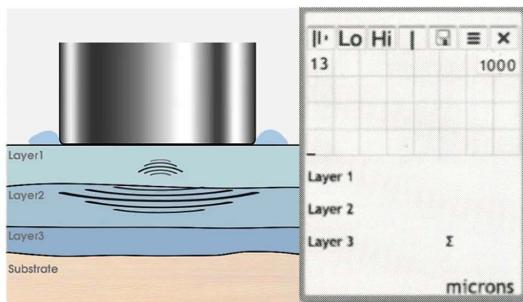
⑤さらに進んだ超音波は下塗りと素地との境界で大きな反射を生じる



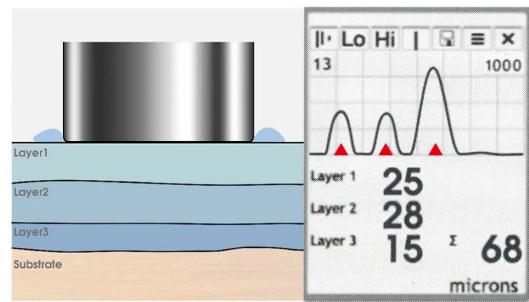
②塗膜中に超音波を発信する



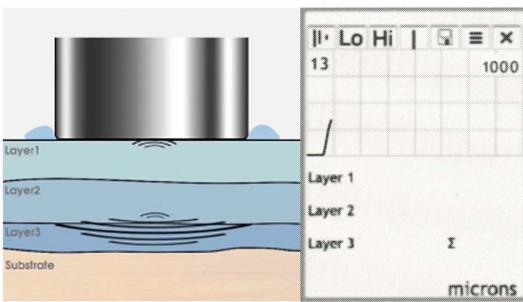
⑥それぞれのエコーが波形に検出される



③上塗りと中塗りの境界で超音波が一部反射

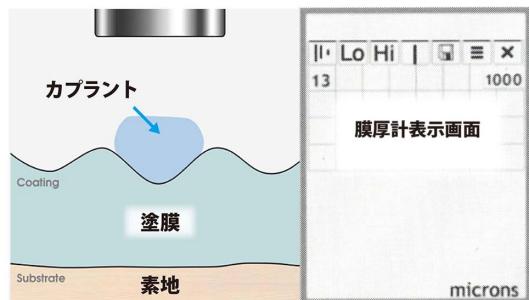


⑦それぞれのエコーの所要時間と音速から膜厚に換算し各層の膜厚を表示

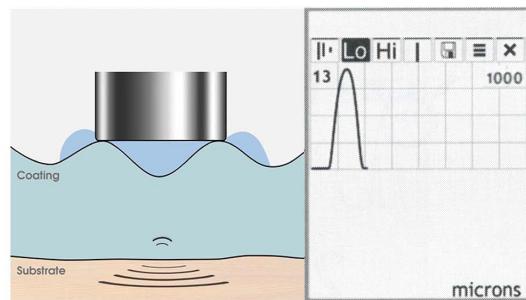


④最初のエコーが波形に検出、超音波は中塗りと下塗りの境界でも一部反射

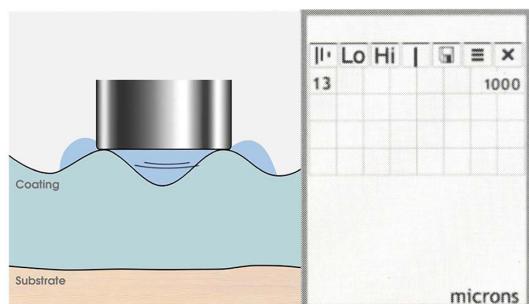
第 40 図 超音波膜厚計の測定原理(2) 多層測定



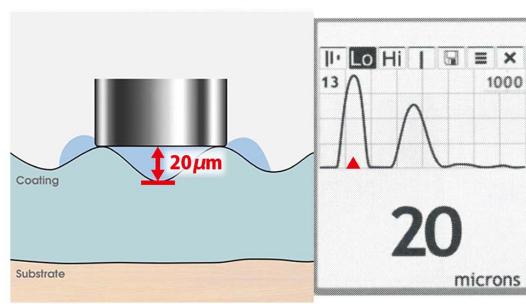
①凸凹のある塗膜表面にカプラントを塗布



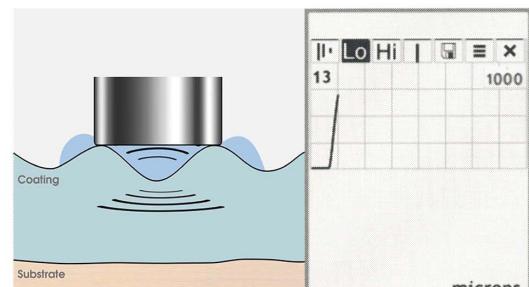
④このケースではカプラント底部の反射が素地からの反射より大きくなつた



②超音波を発信する



⑤膜厚計は最大のエコーを素地からのものと定義するため膜厚と誤認



③カプラントの底部＝塗膜表面との境界で大きな反射が発生

(2) コンクリートの上の塗膜の膜厚測定

石材、レンガ、タイル、コンクリート、コンクリートブロック、石膏ボードなどの石工基材がある。

石工基材は多孔質であることが多く、表面の凸凹の程度もさまざまである。表面の凸凹は塗料の付着性を高めるためには有効であるが、多孔質で粗いため、再現性のある膜厚を測定することが難しくなる。

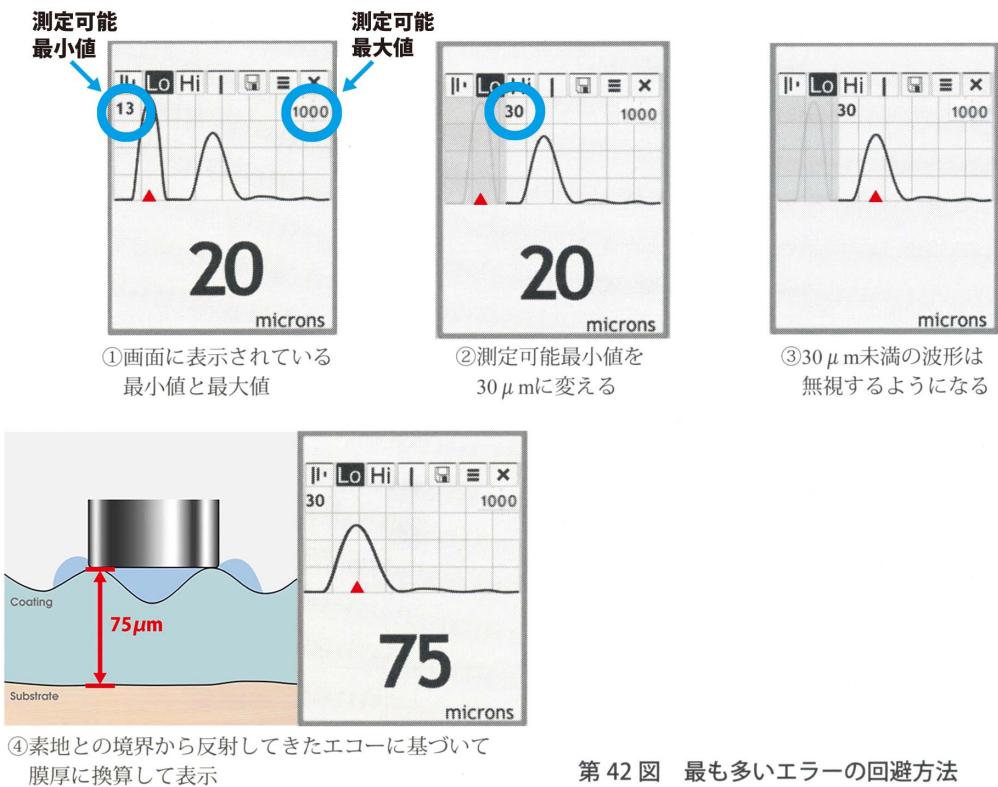
コンクリートや石工基材のための塗料は、外観のほか、耐摩耗性、耐湿度、耐塩分、耐化学

第 41 図 最も多い測定エラー

物質、耐紫外線性などさまざまな目的で使用される。コンクリート用塗料には、アクリル塗料、ラッカー、ウレタン塗料、エポキシ塗料、ポリエステル塗料あるいはフッ素系などがある。

プライマー層は付着性確保のために使用され、上塗り層は外観や周囲環境からの保護として機能する。超音波膜厚計が塗料の各層を識別できるかどうかは、層の超音波特性、各層の厚み、塗膜表面やコンクリート表面の粗さおよび塗装工程などに左右される。

コンクリート上の塗膜の厚みを測定する主な



第42図 最も多いエラーの回避方法

目的は、適切な塗膜の機能を確保しながら塗料のコストをコントロールすることにある。また、建築物では完成時に客観性のある検査が要求されることがよくある。

① ケース 1

写真-36のように大粒の骨材を含むコンクリートとその上に膜厚100~400 μmの塗膜がある場合である。このケースでは、例として用いているポジテクター200では、5MHzのCプローブと呼ばれているものが最適な選択となる。Cプローブの測定可能範囲は50~3,800 μmで、公称測定精度は±(2 μm + 読取値の3%)となっている。

また、**写真-37**のように、コンクリート表面が平滑な場合には、何の調整を行う必要もなく、正確な膜厚測定ができる。

写真-36
大粒の骨材を含むコンクリート上の塗膜



② ケース 2

しかし、実際のコンクリート表面では、凹凸があったり、粗く多孔質であったりすることもあり、その場合には測定値もそれに応じて変化することになる。拡大すると孔やすき間に塗料が流れ込んだ箇所が、測定値の異常値として現れることがある。

たとえば、**写真-38**では、ポイントAではコンクリート基材表面の凹凸のために、ポイントBでの塗膜値と大きく異なってしまっている。測定結果を評価する際には、仕様や期待される膜厚と比較する必要がある。また、一部の測定結果を無視することでより現実的な評価になる場合もある。

③ ケース 3

写真-39のように粗い基材と粗い塗装面の



写真－37
平滑な表面を持ったコンクリート上の比較的に薄い塗膜



写真－38
粗い表面を持ったコンクリート上の厚く比較的軟らかい塗膜



写真－39
表面が極めて粗い軽量のコンクリート上の塗膜

両方を持つ測定対象では、狭い範囲をスポットとして、その狭い範囲内で数回読み取りを行い、その平均値をそのスポットの膜厚とする。他のスポットも同様に平均値で評価し、この平均値を膜厚の要求仕様と比較することが推奨される。本ケースのサンプルを非破壊検査したところ、直径6mm程度の範囲で膜厚が1～3mmもばらついていることが確認された。

(3) ドライウォール・石膏ボード上の塗膜の測定

ドライウォール・石膏ボードは、一般に3層（下塗り1層、上塗り2層）で塗装されることが多いようである。従来は、破壊試験法で測定が行われていたが、現在は超音波膜厚計で非破壊で測定することが可能になってきている。測定膜厚範囲としては75～125μmの範囲になることが一般的である。

課題としては、

- プライマーが壁紙に吸収されやすい
- 塗装表面の粗さや凹凸の影響
- 目地材の上から測定する場合の影響
- 塗料やプライマーの層を個別に測定する必要があること

などがある。

① ケース1：総膜厚の測定

このケースでは、例として用いているポジテクター200では、25MHzのBプローブと呼ばれているものが最適な選択となる。Bプローブ

は、測定範囲は13～1,000μmで、多くのケースでドライウォール・石膏ボード上の塗膜の膜厚測定に対応できる。

また、ドライウォールの塗装には、継ぎ目やコーナーあるいはテーピング材という異なる下地がよく存在するが、Bプローブであれば、多くのケースでそれらの上の塗膜が測定可能である。

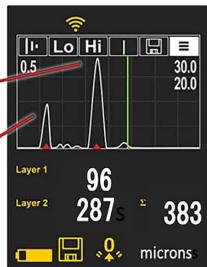
壁面には、経年のメンテナンスにより何層にも塗り重ねられた塗装となっていることもある。Bプローブは、それらの塗り重ねによって得られた塗膜の現在の総膜厚を知るのにも理想的である。下塗りは薄く、そのほとんどが基材に吸収されてしまうため、トータル膜厚への影響は一般にごくわずかである。



写真－40 塗膜表面に細かな凹凸がある場合

このより大きな波形のピークはジョイントコンパウンドを含むトータル膜厚を示している

このより小さな波形のピークはトータル膜厚を示している（ジョイントコンパウンドを含まない）



第43図 2層検出設定にした場合

② ケース2：塗膜表面に細かな凹凸模様がある場合

塗装された面には、写真-40のようにハケやローラーによって形成された細かな凹凸模様があることが多い。これは、「(1) 最も多い測定エラー」の項で紹介した、カプラントの厚みを膜厚と誤認しやすい典型的なケースである。既述のように膜厚測定範囲の下限値を適宜調整することで解決できる。

③ ケース3：ジョイントコンパウンド上の塗膜の膜厚を測定する

合計膜厚を測定している時に、ドライウォールの継ぎ目を覆っているジョイントコンパウンドの上に来ると、決まったように高い測定値が表示されることがある。この場合、ジョイントコンパウンドの厚みも合計膜厚に含まれていると考えられる。これは、ジョイントコンパウンドとプライマーよりも、ドライウォールとジョイントコンパウンドの間に大きな密度差があるため、大きなエコーがそこから反射してくるためである。膜厚計の設定で2層測定に変更すると、第43図に示すように、膜厚計は塗料の合計膜厚とジョイントコンパウンドの厚みを個別



写真-41 合成素材と天然素材が組み合わされたもの

に識別する。

(4) 木材の上の塗膜の膜厚測定

日本では、官民を挙げて建築物での木材利用を促進している。これを支える技術として重要なのが、木材に欠けるあるいは不足する機能・性能を付加するための塗料の開発であり、それを支援する膜厚管理である。

① ケース1：総膜厚の測定

木工仕上げの中には、目的を達成するために何層にも分けて塗装する場合が多くあるが、その合計膜厚を知りたい場合には、この例で紹介しているポジテクターでは、25MHzのBプローブを用いて、1層のみの測定に設定する。多くの木工塗装の用途において特別な養生なしに測定することができる。Bプローブの測定範囲は13~1,000μmで、ラッカー、プライマー、UV塗料、アクリル、粉体塗料、その他の塗料の測定に用いることができる。ほとんどの用途で校正調整は不要である。

② ケース2：ベニヤ板や積層複合材上の塗膜の膜厚測定

塗装は、天然木に限ったことではない。今日のモダンな素材には、写真-41のように合成素材と天然素材が組み合わされたものもある。木工では、単板とは、通常、コアパネル（一般に、木材、パーティクルボード、MDF：中密度繊維板）に接着、プレスして、キャビネットの扉、天板、側板、寄木細工の床、家具の部品など平板を製造する薄板の木材を指す。木材単板を表面に使用した複合材料は、航空機や自動車などに使用されることが多くなっている。

その塗膜の合計膜厚は多くのケースで先のBプローブで測定することができる。

③ ケース3：表面にわずかな凹凸のある塗膜の場合

写真-42のように木材などに塗装された塗膜表面に細かな凹凸がある場合には、これも、「(1) 最も多い測定エラー」の項で紹介した、



写真-42 断面写真

カプラントの厚みを膜厚と誤認しやすい典型的なケースである。既述のように膜厚測定範囲の下限値を適宜調整することになる。

④ ケース 4 : MDF の上の粉体塗料による塗膜の場合

MDF(中密度繊維板)は、木材の粒子に合成樹脂を混ぜた人工木製品である。MDF の塗装には静電塗装による粉体塗装がよく用いられる。帯電した粉体粒子が MDF に付着し、加熱することで溶融・硬化し、強靭(きょうじん)

な塗膜になる。

MDF は気孔率が低く、表面が均一なため、粉体塗装に適しているといわれている。MDF が用いられている製品としては、オフィス家具、キッチンキャビネット、バスキャビネット、ドア、店舗什器、ディスプレー、オフィスや家庭用の組み立て式家具などがある。これらの単層塗膜は、通常 $70 \sim 200 \mu\text{m}$ 程度の膜厚があるので、超音波膜厚計で計測が可能である。一般には B プローブが適するようである。