

第6章 現場塗装の視点で考える「付着性」 試験を適用する際の注意点

黒木 裕志郎*

26. 機械的付着力と化学的付着力

塗膜が基材表面に付着する能力には、機械的付着力と化学的付着力という2つの側面がある。機械的付着は、塗膜がブラストなどにより形成される凸凹に入り込むことにより、塗膜を素地表面に機械的に固定することによって起こる。ブラストによる粗面が深く山と山の間の距離が大きすぎず小さすぎない一定の範囲にある時に塗膜の付着力は高くなるが、粗度が小さいあるいは粗面の山と山の間が離れすぎたり逆に近すぎたり、あるいは滑らかな表面の場合には塗膜の付着性も低くなる。したがって、塗装の下地としてのブラストなどによる粗面化においては、山谷の大きさと共にピーク密度も重要な要素となる。

化学的付着性とは、塗料の分子と金属の分子間の引き合う力により生じるが、具体的には極性基と極性基の結合や水素結合などによる。もう1つ重要な要素として濡れ性がある。塗料が素地表面に広がり十分にお互いの分子間の距離が小さくならないと、極性基と極性基の結合による力は発揮されない。塗料に含まれるさまざまな成分が、付着性に影響を及ぼす。塗料は、表面の凸凹に浸透し、素地表面において十分な濡れ性を発揮できるように設計されていなければならない。一方で、金属素地表面にある油分

や粉塵はこの濡れ性を大きく阻害する。塗装現場においては、付着性能に影響を与えるさまざまな要素を念頭に置きながら、下地処理や塗装条件など塗装システムについて適切な判断を行う必要がある。

このように付着性は塗料やメッキあるいは溶射などの防錆塗膜・皮膜にとって最も重要な性質となっている。なぜなら、剥離は塗膜や皮膜の価値をゼロにしてしまう最も避けなければならないトラブルであるからだ。

27. 付着破壊と凝集破壊

なお、私たちが付着を問題にする時、2つの付着があるといわれている。付着性試験を行った時に、ハガレが生じることを「付着破壊」と呼ぶが、これには塗膜と素地(基材)の界面でのハガレ(第50図：a参照)と、塗膜が複数層になっている場合でその層間で剥がれた(第50図：b参照)場合とがある。特に後者は「層間剥離」とよく呼ばれているものである。またこれらの付着性に起因する性質に加えて、試験時には、塗膜層の途中から塗膜自体が引きちぎられてしまうことがある。この場合を「凝集破壊」(第50図：c参照)呼んでいる。

28. 試験方法－クロスカット法

試験実施例を写真－50に示す。

JIS/ISOでは、付着性に関しては、JIS K5600-5-6に付着性(クロスカット法)が、JIS K5600-5-7に付着性(プルオフ法)が規定され

*くろき ゆうしろう コーテック(株)
カスタマーサポート部

第 50 図
試験円筒、接着剤、塗膜、素地の関係（試験方法例：プルオフ法）

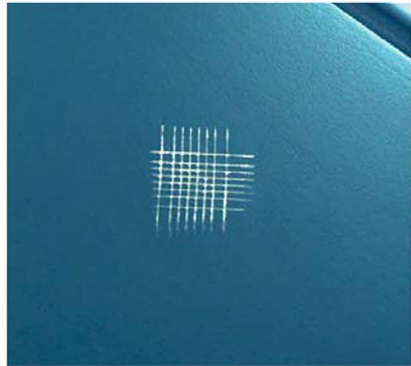
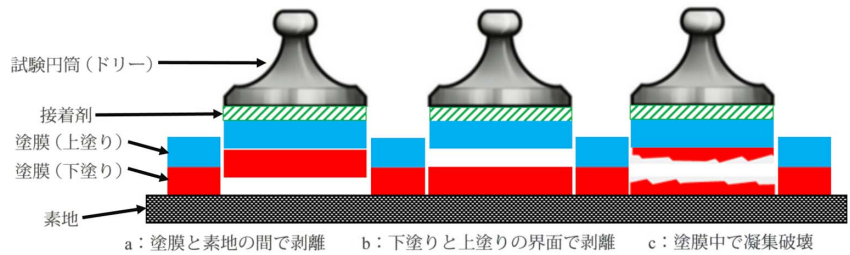


写真- 50
クロスカット法による試験の様子

ている。ただし、クロスカット法の規定には、「この試験方法によって測定された性能は、各要素の中から特に、下塗り又は基板いずれかの付着性に左右されるものである。しかし、この試験方法は、付着性の測定手段とみなしてはならない」と明記されている。要求品質レベルに対して本試験が適切でない場合もあるので、適用範囲については慎重に見定める必要がある。

(1) クロスカット法

1) JIS K5400 と JIS K5600 の規定の主な違い

JIS K5400 ではクロスカットではなく、「碁盤目試験」という用語が使われていた。日本では今も JIS K5400 の試験規格が適用されていることが多いので、ここでは規定の詳細な内容についての説明は割愛し、主な違いに焦点を当ててみたい。

① カット間隔と膜厚の関係

JIS K5400 にはカット数と膜厚の関係に明確な規定はないが、1mm 間隔、2mm 間隔、5mm 間隔が示されている。

JIS K5600 では以下のように示されている。

- ① 0～60 μm ：硬い素地に対して 1mm 間隔、柔らかい素地に対しては 2mm 間隔
- ② 61～1,200 μm ：硬い、柔らかい素地両方に対して 2mm 間隔

- ③ 121～250 μm ：硬い、柔らかい素地両方に対して 3mm 間隔
- 250 μm より大きな大きい膜厚の塗膜、模様塗装には適していない。

② 粘着テープ (JIS K5600 では透明感圧付着テープと呼ぶ) の剥がし方

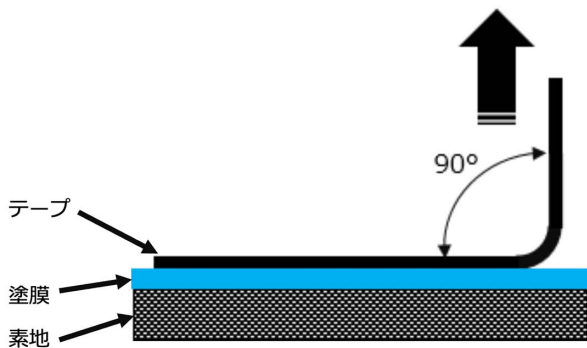
剥がし方の違いを第 51, 52 図に示す。

試験のバラツキが大きくなる最大の要因は一般に粘着テープの貼り付け方にあるようだ。JIS K5600 に示された「塗膜に正しく接触させるために指先でしっかりとテープをこする。テープを通して見られる塗膜の色は接触全体がきちんとしているかどうかを示す有効な目安である」と記されている。テープを通して塗膜の色が比較的しっかりと均一に見えることが重要である。

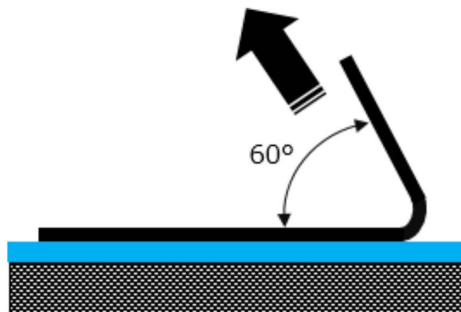
なお、JIS K5600 では硬い素地に限ってテープを使用することが規定されていて、それ以外は柔らかいハケでブラッシングしてカット部の観察をすることになる。

③ 切り込み刃の違い

JIS K5400 では 0.38mm の厚みをもった刃を用い、JIS K5600 では $0.43 \pm 0.03\text{mm}$ の厚みの刃を用いるように規定されている。市販のカッターでこれに適合するものがあるが、前者は小ぶりで、後者はやや大ぶりのカッターを使用す



第 51 図 テープの剥がし方 JIS K5400 (1990)
-8.5



第 52 図 テープの剥がし方 JIS K5600 (1999)
-5-6

ることになる。

なお、JIS K5600 では多重刃の使用も認められている。しかし、「単一刃切り込み工具はすべてのケースにとって望ましい工具である」と記されていて、多重刃は $120\ \mu\text{m}$ を超える厚いまたは硬い塗膜に用い、さらに軟らかい素地には適さないと、使用範囲を限定しているので注意が必要である。切り込み刃は「刃先が良好な状態にあることを確認することが特に重要である」と記されていて、刃の交換頻度は高くなる。多重刃は専用の刃となるので、適用できる市販カッターが存在する単一刃と比べてランニングコストは大幅な負担増となる。

(2) 評価方法の違い

JIS K5400 と JIS K5600 の試験結果の分類とをそれぞれ第 53, 54 図に示す。

意外に見落とされがちであるが、評価の考え方に大きな違いがある。JIS K5600 では、「(必要であれば)ルーペを用いて、良好な照明下で注意深くカット部分を検査する。検査の間中、

試験部位の検査が一方向に偏らないように試験板を回転する」と記載されている。さらに、備考で「最初の 3 段階は一般目的に適合するもので可否判定が求められる際に用いるものである」と記されている。しかし、分類 1~3, 少なくとも 1~2 までは、JIS K5400 では「はがれなし」となり、多くの現場では「100/100 で異常なし」と報告されがちなものである。

JIS K5400 がマス目(格子)の剥がれた数を重視するのに対して、JIS K5600 はカット部の観察を重要視しているのが、筆者らの次の実験(写真-51, 52 参照)からもそのほうが理にかなっているように思われる。

写真-51 は粉体塗料におけるアンダーベークの例である。左側のカップング試験の結果では不合格であったが、右側のクロスカットにおいては剥がれたマス目はない。しかし、よく観察すると写真ではわかりにくいカットの交差部乱れが生じている。

写真-52 は粉体塗料におけるオーバーベーク

状態例						
点数	10点	8点	6点	4点	2点	0点

第 53 図
評価例 JIS K5400
(1990) -8.5

状態例	カットの縁が完全に滑らかでどの格子の目にもハガレがない					ハガレの程度が分類4を超える場合
分類	0	1	2	3	4	5

第 54 図
評価例 JIS K5600
(1999) -5-6

写真-51
アンダーベークの例

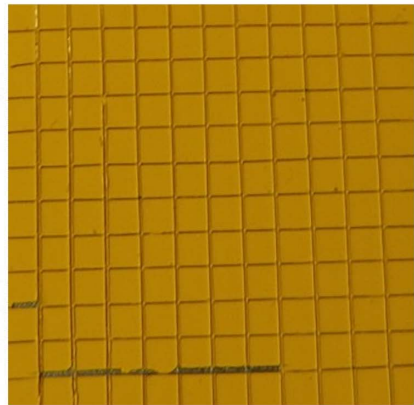
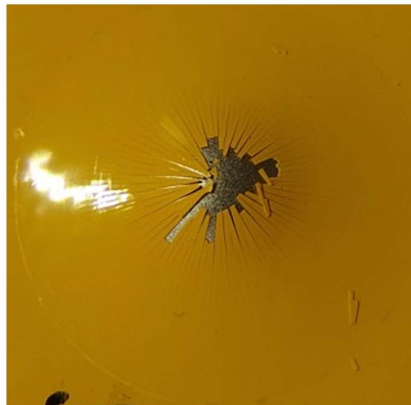
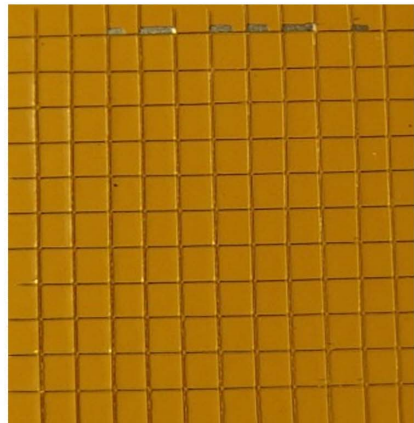
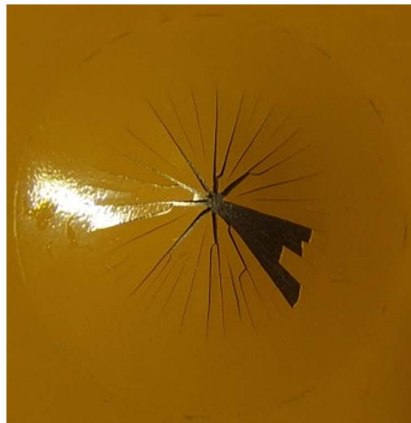


写真-52
オーバーベークの例



クの例である。左側のカップリング試験の結果では不合格であったが、右側のクロスカットにおいては剥がれたマス目はない。しかし、写真ではわかりにくいがよく観察するとカット線に乱れが生じている。

カット部の観察を重視する JIS K5600 では単一切り込み刃(実際には規定に合致する市販カッターを使用)は刃の厚みが規定に合致するものを使用することが特に重要になりそうだ。JIS K5400 と JIS K5600 で同じカッター刃を兼用することはぜひとも避けていただきたい。

(3) ハガレを重視する JIS K5400 と厚膜への対応

一方で橋梁(きょうりょう)などの現場塗装のように、硬化不足などの問題より、下地処理の良否や経年による付着性の低下を評価する場合にはどうだろうか。さらに、JIS K5600 では、膜厚は 250 μm までと適用範囲が限定されている。この場合には、カット部の観察より、碁盤目状になった部分で剥がれたマス目があった

か、それはいくつなのか、あるいは 5mm 間隔までを規定した JIS K5400 の考え方を取り入れる必要があるように筆者は個人的には思っている。なお、この場合、カットが基材に対して垂直でないと、粘着テープで強制剥離した際に、剥がれやすいコマと抜けにくいコマが生じてしまう。板状のガイドではなく、JIS が示すように(第 55 図参照)、カッター刃が垂直になるように保持される効果を持つガイドの使用がとても重要になると思われる。

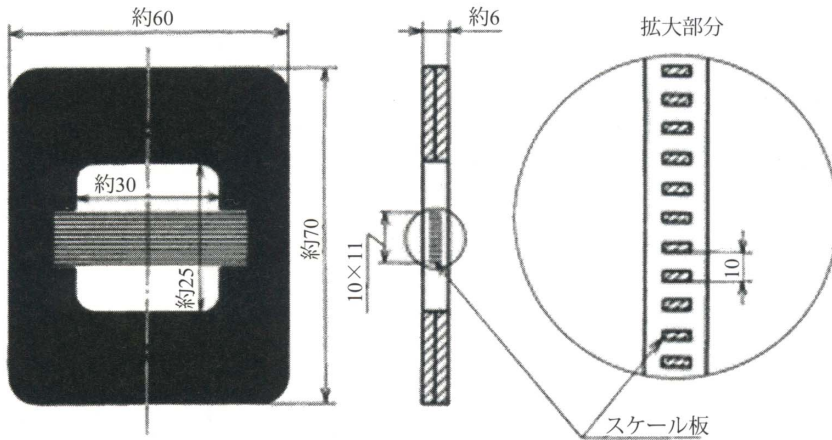
29. 試験方法 - プルオフ法

(1) 装置に求められる要件

JIS K5600-5-7 付着性(プルオフ法)の試験で、最も重要な点は試験機に求められる要件にあるようだ。

「5.1 引張試験機及びジグ」の項目では要件として次のことを求めている。

- ① 張力を塗装面に対して垂直に加える
- ② 張力を最初に加えてから 90 秒以内に破



第 55 図
ガイドの使用例
JIS K5400

壊が起こるようにする

- ③ 1 MPa/秒を超えない一定の張力増加速度で動作する

上記の要件を満たさないものは JIS/ISO の規格に適合しないものとなってしまいますが、具体的にはどのような機構が必要になるのかを見てみたい。

- a) 現場塗装など厚膜となるケースでは、常に「張力を塗装面に対して垂直に加える」ことが容易ではないことが多い。バラツキはこの垂直からの軸のズレから生じていることが多い。この点は詳しくは後述することにする。

ただし、実際の試験では、装置の揺れ・振動が引張軸のズレを引き起こして意図しない剥離を引き起こしている。手動式においては、張力を加えるハンドル部分と、試験円筒(ドリー)を引っ張る機構が一体化したものは、ハンドル操作による揺れ・振動がそのまま引張機構部に伝わってしまうので避けるべきであろう。

- b) 常に作業者が「張力を最初に加えてから 90 秒以内に破壊が起こる」ことを守ろうとするなら、当然のことながら、張力増加速度は任意に設定できる装置でなくてはならないことになる。
- c) 「1MPa/秒を超えない一定の張力増加速度」を確実に実現するためには、自動式でなくてはならない。

自動式の例として、電子制御油圧ポンプ式自動プルオフ試験機の例を写真-53 に示す。なお、このプルオフ試験機は JIS K5600, ISO

4624/16276-1, ASTM C1583/D4541/D7234, EN 1542/12004-2, AS/NZS 1580.408.5 などの規格に適合している。

手動式でも、a) で挙げたような手で円盤状のハンドル等を回すタイプのもは、張力増加が間欠的にならざるを得ないのでこれは最低でも避けるべきであろう。少なくとも、連続的に回せるハンドルがついたもので、しかも張力増加速度を確認しながら張力を連続的に加えることができる油圧タイプなどの利用が推奨される。その一例を写真-54 に示す。

なお、JIS/ISO にも、「水圧式、手動式装置は、結果がばらつくとの報告があるので、これらを使用した場合は、試験報告書に使用した試験機を記録しなければならぬ」と書かれている。手動式の場合は、どのような機構のものを選択しているかが後で問われることになる。

- (2) 手動式より自動式のほうが試験結果が高く出る？

「手動式より自動式のほうが試験結果が高く出る」という話を時々聞く。これは正確には、



写真-53 電子制御油圧ポンプ自動プルオフ試験機の例



写真－54 手動式でありながら張力増加速度がデジタル表示される試験機の例

「自動式で正しく測定した場合より、手動式のほうはそのモデル・機構によっては多くのケースで付着力値が低く出る」と言い直すのが正確であると思われる。既述のように、ハンドル部分と、その直下にある試験円筒を引っ張る機構が一体化したものは、どうしてもハンドルを回す時の揺れや振動が直接に試験部に伝わる。また、ハンドルは間欠的に回されるので、張力増加速度は、「一気に加速→一気に停止する」のサイクルを繰り返す。その結果、張力が一気に加速して振動が起きる回しはじめに「付着破壊」が起きる。それにより、本来の付着値に達する前に「付着破壊」が起きてしまうようである。しかし、問題なのは、JIS/ISOが指摘するように「結果がばらつくとの報告がある」という点である。これでは、相関関係が得られない。JIS/ISOでは「少なくとも6回試験を行う」と規定し「6回の試験結果を平均し整数値に丸め、結果を平均値と最大値及び最小値を報告する」と定めている。さらに「破壊面積が一定でない場合」を問題にしている。平均値だけを記載してそれを結果とするのは危険である。最大値と最小値の差あるいは試験ごとに破壊面積や破壊の形態が違うようであれば、試験装置か塗装工程のどちらかに問題があることになる。試験装置が規定を正しく守られていないと、試験の信頼性は得られず、塗装工程の検証に進まないままになってしまいかもしれない。装置の選定にあたっては、今一度「5.1 引張試験機及びジグ」の項目を正しく満たしているものであるかどうかを確認いただきたい。

(3) 付着力値の規定例

合否基準は塗料と塗装システムにより異なる。一例として、IMO 塗装性能基準 (PSPC) の

ケースでは、付着性は、ISO 4624 に従うことが記載されており、たとえば、エポキシベースシステムでは、層間剥離強度が、 $> 3.5\text{MPa}$ (母材と塗膜、または塗膜間の剥離が、破壊面積の60%以上)、層内破壊 (凝集破壊) 強度が、 $> 3.0\text{MPa}$ (塗装内の層内破壊が破壊面積の40%以上) を塗料が満たすべき基準として規定している。

(4) 接着剤の選択

JIS K5600 には、「接着剤の凝集及び付着力が被試験塗膜の凝集及び付着力より大きいことが必要である。使用する接着剤がこの試験に適しているか事前に選別しなければならない」と記されていて、その選別は試験実施者に委ねられている。また、接着剤が塗膜に外観変化などを及ぼしたり、塗膜を浸透して基材に達したりすることがないことも重要な要件となる。したがって、試験の適用に当たっては、事前の貸し出しなどの対応を行っている販売店もあるのでぜひ利用していただきたい。

JISに「試験に使用する適切な接着剤の選択には特に注意を要する」と書かれているように、接着剤の選択は試験の成否を左右する。写真－53の試験機のメーカーは、接着剤の選定に参考になる詳細なレポートを公表しているので、その概要を紹介したい。

1) 試験機メーカーによるレポート

① 接着剤が塗膜の特性に目に見える変化を与えないことを確認するために、塗膜上で事前テストを行うことも重要である。ラボテストでは、一部の強力な接着剤が特定の塗膜を弱めてしまい、塗膜の付着強度を低下させることが確認された。またあるケースでは、接着剤が塗膜と反応し、新しい性質の塗膜となりその後に塗膜の付着力が増加したのもあった。

② JISでは「一般的にはシアノアクリレート接着剤、無溶剤二液型エポキシ接着剤、及びパーオキサイド触媒型ポリエステル接着剤が適している」と接着剤が例示されている。

ほとんどのアプリケーションに推奨される市販の24時間硬化の2液型エポキシ系接着剤を用いて、塗膜に塗布後24時間後と5日後で試験をした。24時間後の平均

接着力は2,706psi(約18.65MPa),5日後の平均接着力は2,729psi(約18.82MPa)とほぼ同じ結果が得られた。硬化時間を守ることは重要であるが,養生時間は長ければよいというものではなさそうである。

- ③ シアノアクリレート接着剤は,一般に「クレイジーグルー」などと呼ばれる一液性の接着剤が代表例で,2液型エポキシ接着剤に代わるものとし検討される。シアノアクリレート接着剤は,その速い硬化時間,扱いの容易さ,および比較的強力な凝集力を持つものとして知られている。しかし,それでも多くのケースで最大接着力は2液型エポキシに及ばなかった。ただし,シアノアクリレートなどの急速硬化性接着剤(硬化時間は数分から数時間)でも,硬化時間を長くすると接着強度が著しく増大することに留意する必要がある。ノルウェーで行われたある実験では,4種類のシアノアクリレート接着剤を用いて,室温で1時間から5時間まで硬化時間を長くするにつれて,接着強度が著しく増加することが示された。その増加率は7~21%であった。また,メーカー間のバラツキは,硬化時間が長くなるにつれて小さくなる傾向があった。
- ④ 本試験で使用した代表的な2液型エポキシ接着剤のメーカーによれば,理想的な塗布厚みは500 μ m~1mmとのことであった。この厚みは,一般的には試験円筒の接着表面にたっぷり接着剤を塗り,試験円筒を慎重に塗膜上に置き,まっすぐ押し下げて余分なエポキシ接着剤を追い出すことで得られる。またこうすることで試験円筒は目標の接着剤厚の範囲で水平になる傾向がある。
- ⑤ ある透明なポリカーボネート上の薄いUVコーティングの付着性試験を実施したところ,代表的な2液型エポキシ系接着剤では20%の塗膜剥離しか達成できず,80%は接着剤から剥がれてしまった。この不具合は400psi(約2.76MPa)程度で発生した。ガラスボンディング接着剤に変えたところ,100%塗膜と素地との間で剥離し,その時の値は600psi(約4.14MPa)であっ

た。

- ⑥ 木材素地による試験では,場所により木材の密度が異なるため,場所ごとに測定値が異なる場合があった。このようなケースでは上限値と下限値によりある範囲にあれば合格とするというような基準を設ける必要があると考えられる。
- ⑦ 2液型エポキシ系接着剤の場合,接着剤がある程度固まるのに一般に7時間を要する。その間は,接着した試験円筒は不安定であるので,必要に応じてテープなどで押さえつけるように試験円筒を固定するとよい。
- ⑧ いずれの場合も接着剤の取り扱いと保管に関するメーカーの情報,特に2液型の場合は混合比,混合時の温度,混合後のポットライフ,保管温度と貯蔵寿命は接着剤を使用する際の最重要事項である。

(5) 試験準備

1) ドリーの材質

プルオフ法の付着性試験機のための試験円筒(ドリー,以下ドリーと記す)は,アルミニウム,炭素鋼,ステンレス鋼など,さまざまな金属で製造されているが,通常の使用にはアルミニウム(高張力タイプ)が推奨される。その最大の理由は,さびないことと軽いことである。

2) ドリーと試験面の準備

ドリーの前処理は通常,脱脂・研磨・清浄の3つの重要なステップで構成される。

脱脂とは,この場合接着する表面に付着している微量の油分を除去することを指す。ドリーを扱う人の皮膚に付着した油分も含まれる。研磨とは,ドリー表面の形状を積極的に変化させ微細な凹凸により接着面積を増やすことと,酸化や錆を除去することの2つの目的を持つ。清浄とは,接着する表面から,特に研磨によって生じた粉塵を除去することを指す。

3) 試験機メーカーによるレポート

写真-53の試験機メーカーではアルミ製ドリーを使って詳細な検証試験を行っているので,その概要を紹介する。

本詳細実験の目的はアルミ製ドリーの適用性と脱脂・研磨・清浄が接着に及ぼす影響を検証するために鋼板に直接ドリーを接着する方法で計画された。試験方法は,48個のアルミ製ド

リーを、炭素鋼の試験板に24時間硬化の2液型エポキシ系接着剤を用いてランダムに接着させるといったものであった。この試験の目的は、接着剤とドリーの間の接着強度に影響する要因を評価することであったため、炭素鋼は船体に用いられるもので1/4インチ厚のものが用意され、錆と油分は完全に除去された。接着剤の塗布量は厚み1mmとし、十分に塗膜に押し付けられた。

① 研磨方法の違いによる影響

ドリーの接着面の研磨には機械研磨、エンドミル加工、細かな目のサンドペーパー、スコッチ・ブライツTMパッドによる研磨の4つの方法がある。各研磨ドリーは、接着剤の塗布前に3種類のインターバル時間(7日間、24時間、数分間)で空気に触れさせたままにしておいた。接着剤の塗布の直前に、ドリーは乾いた布で拭かれた。これらの試験サンプルは24時間または5日間硬化させた後、引張試験が行われた。

12個のドリーについて、各要因ごとに結果を集計し、研磨方法別の平均値を第2表に示す。予想通り、準備のための重要な要因は研磨の方法であった。最も接着力が弱かったのは、機械加工のみとエンドミル加工を施したドリーであった。どちらの加工方法でもドリーの表面は比較的滑らかであることから、この結果はある程度予想されたものであった。エンドミル加工のほうがやや高い値を示したのはドリー接着面の表面に目視でも確認できる溝が付けられたためであると思う。この溝によってドリーの表面積が増加するため、接着強度がわずかに高くなったようだ。

これまでの試験と同様に、スコッチ・ブライツTMパッドが最も高い接着強度を示し、サンドペーパーはその次であった。スコッチ・ブライツTMパッドとの目視による研磨結果はほぼ同じ

第2表 研磨方法別剥離が生じた時の張力値(平均値)

研磨方法	ドリーテスト数	剥離が生じた値
スコッチ・ブライツ TM パッド	12	21.2MPa
サンドペーパー	12	20.0MPa
エンドミル	12	18.2MPa
機械加工のみ	12	15.5MPa

であったが、スコッチ・ブライツTMパッドのような3次元の微細構造が、より接着に寄与しているものと思われる。接着のためには、何らかの毛細管反応によって接着剤が微細構造内に引き込まれることが必要である。

もう1つの興味深い結果は、サンドペーパーは、引き剥がしのバラツキが著しく大きいということである。サンドペーパーの表面にアルミ粉が急速に蓄積されるが、使用中にクリーニングすることが困難であることと関係があると思われる。その結果、全てのドリー表面に同じ微細な構造を形成しているとは考えにくい。スコッチ・ブライツTMパッドは、3次元的な構造を持つためアルミの粉塵を除去しやすく、より再現性の高い微細構造がドリー表面に形成されるものと思われる。また、スコッチ・ブライツTMパッドは摩耗の速度が遅く交換の頻度も少なく済むようである。

② 酸化試験結果

研磨後の放置時間を変えることによる酸化度合いが接着強度に与える影響を検証した結果を第3表に示す。Failureの値は接着破壊の平均値である。このように放置時間を変えても接着強度の差が比較的小さいのは、アルミの酸化による影響が限定的であったためと考えられる。アルミは通常、空気に触れるとすぐに薄い酸化アルミニウム層を生成するため、油分等で汚染されていないアルミ製ドリーは長期的な暴露の影響を受けにくいと考えられる。とりわけ鋼製のドリーは酸化の影響がより大きくなる可能性が高い。

4) ドリーを繰り返し使うことのリスク

試験担当者からの問い合わせで多いのが、使い捨てのドリーの再利用である。特により高価な鉄製ドリーを使用することに慣れている担当者が多い。このようなアプリケーションでは、ドリーに付着した塗膜や接着剤を、加熱や研磨

第3表 アルミ製ドリーの酸化の影響

酸化時間	ドリーテスト数	剥離/破壊が生じた値
なし	16	18.8MPa
24時間	16	18.9MPa
1週間	16	18.5MPa

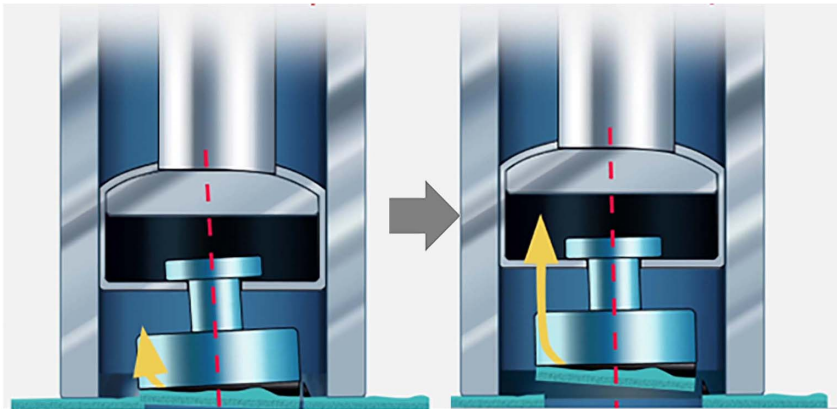
により除去できるような装置をカスタマイズして提供しているケースもあるようである。ドリーの再利用可能な回数は、一般にドリー表面の磨耗の影響によって制限されると考えられる。

しかし、塗膜の付着性を評価する施工発注側の多くは、検査結果の重要な証拠としてドリーの存在を重要視しているため再利用を好まない。経年による塗膜の劣化や膜厚の減少を気にする専門家はドリーに残った塗膜も重要であると考えられる。ドリーの再利用はこれらの観点からは避けるべき行為となる。さらに試験の信頼性の問題も生じる。ドリーを元の状態に完全に戻せるのであれば、再利用することにほとんど支障はないと思われる。しかし、ドリーに大きな損傷が生じている場合や塗膜や接着剤が残っている場合には、再利用は避けるべきである。ア

ルミ製ドリーの場合、クイックカップリングでドリーを固定して高い圧力で引っ張るが、ドリーの損傷や付着した異物によって固定部が傷つくことがしばしばある。また繰り返しサンディングや機械加工を行ったため、ドリー表面の平面性が失われたり、斜めになったり、偏って減ったりすると、面積が変化し、たちまちに試験結果に影響しかねない。

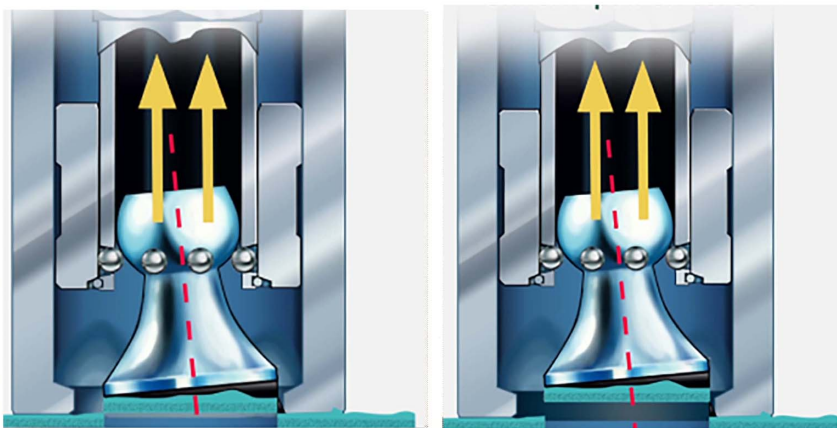
(6) 軸調整機能

ハケで塗られた場合や厚膜の塗膜表面、あるいは経年で劣化した塗膜表面のほとんどは平らではない。これらの塗膜に従来型のドリーを接着し引っ張ると、第56図のように偏った引っ張り力が加わってしまうことになる。これが測定値のバラツキを生む大きな要因となっている。プルオフ法試験ではドリー中心軸と引張方向の軸がずれると、検査結果に誤差が生



第56図
引張軸調整機能がない場合

※ドリーの左側に先行して力がかかる = 規格の要件である「張力を塗装面に対して垂直に加え」が守られていない



第57図
引張軸調整機能がある場合

※ドリー全体に均等に力が加わる

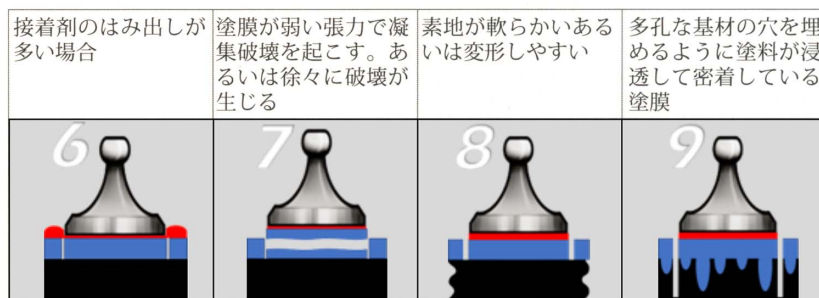
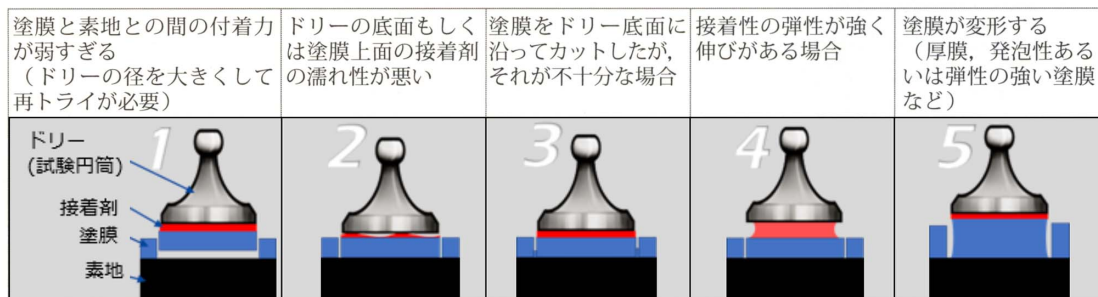
じる。このため、ASTM 規格では、軸調整機能のあるものをより高い精度が期待できる方式として規格に追加した。具体的には2つの方法が規格化された。装置そのものに軸調整機能があるものを SELF-ALIGNMENT ADHESION TESTER TYPE IV、さらに最新の方式として、ドリーに軸調整機能を持たせたものを SELF-ALIGNMENT ADHESION TESTER TYPE V として規格化した。写真-53の自動電子制御油圧ポンプ式自動プルオフ試験機に用いるドリーには、後者の SELF-ALIGNMENT ADHESION TESTER TYPE V に適合する引張軸調整機能が付加されている。このドリーを用いて第56図と同じ塗膜を用いてドリーを引っ張ると第57図のようになる。

日本の大手通信事業会社にて、鉄塔などの設備の塗膜検査の精度を向上させるために行われた一連の実験をまとめて公表されたレポート¹⁾によれば、第57図の軸調整機能のあるドリーは、軸調整機能のない第56図のドリーを使用した場合に比較して「標準偏差は約1/4になり、測定精度が大幅に良い」との結果が得られたそうである。

(7) 自動式でうまく付着値が表示されない場合の対処法

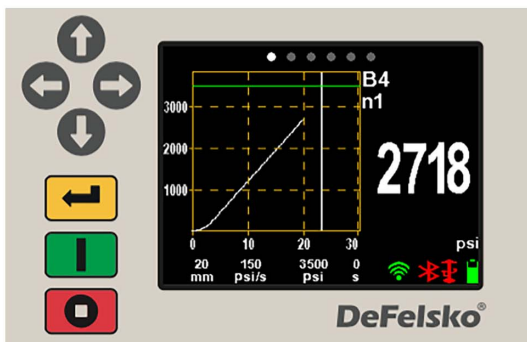
まず、油圧式などでは、張力を加えはじめたごく初期においては張力は安定しない。たとえば写真-53の電子制御油圧ポンプ式自動プルオフ試験機の場合で、JIS K5600で「ほかで規定のない場合は直径20mm……」と記されている、基準径であるφ20mmの接着面を持つドリーを使用した場合、測定範囲は0.7~24MPa(100~3,500psi)/220~7,550Nとなる。もしφ20mmを使用して0.7MPa以下の結果にあるようであれば、より面積の大きいドリー、φ50mmに変えて試験を行っていただきたい。φ50mmのドリーで同じ写真-53の試験機を使用した場合、測定範囲は0.4~3.8MPa(50~560psi)/220~7,550Nとなる。

自動装置は張力が明確に一気に低下した時点で、付着破壊もしくは凝集破壊が起きたと定義し試験を自動的に終了し最大付着値を表示する。しかし、第58図に示すようにじわじわと破壊が生じるケースでは自動的に終了しなくなる。このような場合は、試験者がデジタル表示される張力値の変化を見ながら、どこをもっ



※このような場合には張力のグラフから値を直接読み取ったり、ドリー径を変更したり、試験片の条件を変えるなどの対策が必要

第58図 自動試験機で自動検知できない代表的な例



第 59 図 液晶画面にて張力増加をグラフ化



写真-55 パイプ形状に取り付けたφ10mm ドリー

て破壊とみなすかを自身で決めることになる。このようなケースでは、写真-53の試験機のように張力値がグラフ表示されるモデルが便利である。第59図に写真-53のモデルの表示画面の拡大写真を示す。

(8) パイプなどの試験方法

JIS K5600-5-7が想定している試験片はあくまで平らで変形しない素地である。しかし、現場ではパイプ形状のようなものに塗装された塗膜の付着値も測定する必要が生じるケースもある。以下は海外の試験現場からよせられた情報の紹介である。

写真-55のようにパイプ外径が50～60mmでは、φ10mmの小さなドリーを使用することを提案している。

また、同じくヨーロッパの検査現場からは、「φ200mmを超えるほとんどの鋼管・パイプの内面もしくは外面の試験に問題なく適用している。このようなケースでは、φ20mmドリー



写真-56 引張軸調整機能が付加されたドリー



写真-57 タイルの接着剤固定試験用ドリー

の接着面と塗膜との間の最大の接着ギャップは0.5mmである。鋼管・パイプの径が上記より小さい場合、予想される塗膜の付着力に応じて、φ10mmまたはφ14mmのドリーを使用できる場合がある。φ10mmのドリーの場合、鋼管・パイプ径はφ50mmまで、φ14mmのドリーの場合、鋼管・パイプ径はφ100mmまで適用できる可能性がある」とこれまでの経験から提案している。

(9) φ50mmや50×50タイル試験

写真-53, 54の試験機には、引張軸調整機能が付加されたドリーとして、写真-56のようにJIS K5600が指定している基準のφ20mmドリーの他に、φ10mm, φ14mmそしてφ50mmのドリーが用意されている。

この他にも、建築用途向けに写真-57のタイルの接着剤固定試験用の50×50mmの四角いドリーも用意されている(BS EN 12004-2に適合)。

《参考文献》

- 1) 日本電信電話(株)「塗膜付着力測定におけるドリー形状の影響及び基盤目試験との相互関係に関する考察」、『防錆管理』, Vol.58 No.10, 2014年別冊