塗膜付着性の考察と 市販粘着テープの比較試験

Estimation of Paint Adhesion and Comparison

Test of Adhesive Tapes

塗装管理上で、付着性の良否を測るには、
塗膜の性能で評価する。だが既存の評価法に
疑問を抱き、より評価値の信頼性を高めるた
めに、各試験法にテープ試験法を併用して行
ない、同時に新試験法開発への検討とした。

塗 谷 紘 宣*

Hironobu Nuriya

1. は じ め に

塗装は金属体の腐食を制御することが目的であり、かつ人的な美的感覚も満足されなければならない。また、保全管理の立場から考慮すると、塗装が施された時点より劣化が進行すると考えられているため、塗膜が被塗物体の表面に確実に付着（密着）されることが必須条件とし、一般的にいえることは、塗膜の性能を評価する一手段として、付着性をもって表示することも可能であると考えられる。

今回この塗膜の付着性（密着性）の検査方法における判定を、より精度の高いかつ信頼できる試験方法を見出すために、既存の方法である粘着テープを用いた試験方法を、まず確立を計り、簡易の方法での新試験法の開発を行なうことを目的とした。

2. 塗膜の付着性

塗膜の付着性に対して最も影響を与える要因として考えられる点は、被塗物体の表面状態が問題であり、同時に多数の付着に關した諸因子があり、この支配因子が複雑多岐にわたって影響を与えるために付着力低下を左右する要素となる。

(1) 被塗物面の表面状態

種々の表面状態のなかでも、特に付着性に影響をもつと考えられる使用材質、表面素地粗さ、洗浄について述べる。

a) 使用材質

使用材質について、表1に示すように金属の種類と塗料との間には、付着性に大きな差異が出ることがわかり、実用的な面から見たエポキシ樹脂塗料系は主として、付着性、耐湿性が良好であるが、逆に塗装作業条件では、高温硬化を必要とするのが難点である

*日本大学・生産工学部管理工学科，専任講師
〒275 千葉県習志野市京町1—2—1
☎0474 (73) 1211

*Nihon University College of Industrial Technology
2—1 Chome, Izumi-cho, Narashino-shi, Chiba
275

が、下塗り用としては最適な塗料といえる。次に、アルキド樹脂塗料系は塗膜形成過程での硬化温度範囲が広いので、上塗り用としても最適な塗料として利用範囲が広く用いられている。

b) 表面素地粗さ

表面粗さは、一定値範囲内に収まった表面仕上げであれば、付着性は見られるが、この範囲以外では付着性の減少傾向が現われる。すなわち、表面層における塗膜との関係は、ある程度の平滑面を有する上で、有効接触面積の増減状態によって付着性の向上いかんに大きな変化が現われてくる。

b) 洗淨

被塗物表面上に油などの汚れ、錆、又は水気などの不純物が除去されないと、素地表面と塗膜間に空隙ができるために、付着性を低下する最大の原因と考えられる。だが、表面状態はその金属の純な表面層に保つことが塗装条件として、最良の付着力を示すことであり、下地前処理工程が重要な過程となる。

(2) ビヒクルポリマーにおける極性基と分子量

塗膜形成要素内において、まず顔料それ独

自では、付着性に直接的な影響力は与えないが、ポリマー自体は付着性に直接影響を与えると考えられる。また塗料の種類によっては、間接的な影響を与えて、付着性の良否に差異が現われることは事実上説明されている。しかし、ポリマーの構造に注目すると、第一に塗料用ポリマーにとって必要条件とは、付着性の向上を計るために、多数の極性基を保有することとあわせて、極性基の濃度についても、やはり増加に比例することから塗膜の付着力の強さを改善し、かつ付着力の増加へと進む傾向が現われてくる。

だが、逆の場合の現象も充分に考慮すると、一概に極性基数の増加、又は濃度の高い方が良好とは断定できない。しかし大方の意見を総合すれば、“相性の合うもの”ほど付着性を良好な状態にすると判断をくだしているのが現状である。

次に、分子量については、一般的な付着性に影響力を与える重合度にとって、最適値範囲(図1、図2参照)というものが存在すると考えられている。しかし、分子量が過小すぎる場合には、塗膜の凝集力が弱まるので脆弱化の傾向を示し、また過大すぎた場合にも

塗料の流動性が悪くなり、同時に塗膜の凝集力も強くなるにしたがい、内部応力変形によって起こる拡散不良が発生する。このように分子量の最適点より、過大過小は凝集力の強弱に影響を現わし、ひいては付着性の向上を阻害する原因ともなる。

(3) 塗膜形成過程の状態での残留応力

塗装作業において、塗膜の生成がはじまった状態から劣化が進行すると、一般

表1 付着に及ぼす金属の種類の影響

金 属	エポキシ樹脂塗料		短油アルキド樹脂塗料 ($\text{TiO}_2 : \text{R} = 1 : 1$)	
	強度(lb/in)	はく離面積 (%)	強度(lb/in)	はく離面積 (%)
亜鉛	2745	大	1280	100
カドミウム	2045	大	1730	100
ニッケル	5050	0	3085	100*
銅	3050	15	3510	25
銀	3140	5	3005	30*
スズ	5050	5	2410	100*
白金	5050	0	3610	80*
金	4250	0	2995	100

* きわめてうすい層が金属面からはがれた。(はく離面積0%は凝集破壊、はく離面積100%は接着破壊)

図1 ポリビニル・ブチラルのガラスに対する付着性に及ぼす重合度の影響ただし、a、bを最適範囲と考える

的に考えられている。事実塗液中から付着への移行過程では、乾燥硬化作用が進むにしたがい、時間と共に体積収縮が発生する。このように凝縮変形に伴って、内部応力の進行過程内では塗膜内部にも残留応力が生じ蓄積される。また、塗膜と被塗物体の表面層においては、膨張・収縮率の差による歪みが生じることによって付着性にも重大な悪影響を与えるため、歪値の差が少ない（同程度）ものを利用して、下塗り、上塗り剤とすることが亀裂を最小限に抑えられと推定できる。

(4) 塗装環境

塗膜形成過程における付着性は、温湿度の高低に対して左右されやすいこと。凝固過程での温度については、塗料の種類によっても異なるが、内部粘弾性による凝集力や付着力に差異が生じるので、特に付着性と温度範囲との関係は重要な要素である。

次に、有機溶剤系塗料についていえることは、湿度の影響を大変受けやすく、相対湿度（RH）65%付近までならば、付着力は悪くならない限界領域として考えられているが、これに対してRH65%境界以上になると急激に付着力の低下が初まり、さらにRH90~100%まで上昇すると、付着能力は殆んどゼロにひとしくなり、同時に接着能力もなくなる。

図2 ニトロセルロースの付着性に及ぼす重合度の影響ただし、aを最適範囲と考える

以上のように、塗膜の付着性を左右することは、諸因子間によって複雑な影響を与えることで付着力の変化が生ずるのである。

塗膜の付着性を、正確かつ定量的に評価する方法の測定法は現在のところ、JIS規格にも確立されてはいない。しかし、付着による塗膜と被塗物表面との境界面に起こり得る破壊現象の状態や、諸因子間の影響などを再現し、見ることは不可能に近いため、今日まで信頼性の高い適切な試験方法が見あたらないのが現状である。だが、現在慣用的な試験方法としては、ゴバン目試験法、描画試験法等が採用されているが、基本となる数値的換算表などの点で満足のできる試験法の測定値を得ることは極めて困難と考えられる。

ここで、既存の試験法における付着性の評価方法から見て集合分類すると、次のようにわけることが可能である。

① 付着力および凝集力による総合的の評価判定法

ゴバン目試験法、描画試験法、マイクロナイフ試験法など

② 破壊・伸びによる評価判定法

屈曲試験法、エリクセン試験法、デュボン衝撃試験法など

③ その他による評価判定法

はく離試験法、アドヘロメーター試験法、超遠心試験法、超音波試験法、引張り

・剪断による試験法、クレメンひっかけ試験法など

このように、求めようとする評価目的によって、試験方法を選択することが必要であり、得られた測定値を評価値として採用した場合の是非は疑問であるが、他の試験方法による測定値と比較しても、現在のところこのような試験方法に基づいて単独判断する以外に方法がないのが現状である。

3. 実験と結果

実験方法としては、粘着テープの特性値を見ながら、他の試験法として、粘着テープとの組合せができ、比較することが可能か为主体である。予備実験としては2段階にわけることにした。前実験では、粘着テープ自体の特性値を調べると同時に、各試験法に適合した粘着テープの選定を行なうためと、次に塗膜に対する粘着テープとの因果関係を調べるのが主眼である。

3-1 粘着テープの検討

実験に用いる試験材料については、冷間圧延鋼板(表2参照)を、乾式サンドブラストにて表面素地粗さの調整を行ない、さらにトリクロールエチレンにて蒸気脱脂処理を施したものを試験片として採用した。

(1) 粘着テープと素地面での試験

粘着テープの粘着力自体およびテープの引きはがし時の伸びが、試験片にどのような影響を与えるか、また特に測定時点で問題として考えられる点は、接着時の接着力、素地、又は試験片の表面粗さ、引きはがし速度

およびその方向性との関係がどのような影響を与えるか、この点についての検討を行なうのが主目的である。しかし、テープ試験方法としては、はく離試験機を使用し、予備実験から引きはがし速度およびその方向性(角度)については、素地表面に対して、引きはがし速度を100mm/min、引きはがし方向は90°で行ない、判定した結果から最適方法であることが推定できた。

使用した粘着テープは表3(6種類)で、実験条件としては表面粗さ、圧着力、引きはがし速度およびその方向性などを一定の設定条件にしたがって、粘着テープの粘着力を判定した。また粘着テープの結果について、粘着力に対する素地粗さとの関係を図3に示し、また圧着力との関係を図4に示した。引きはがし速度との関係を図5に示したような効果が見られた。

このように試験結果から比較した場合、セロハンテープとポリエスパークテープとの間における各因子間の交互作用は認めることはできなかったが、粘着力については、6種類で、なかでもポリエスパークテープが一番優れていることが示されている。

(2) 塗膜上での試験

試験片の使用塗料に対しては、メラミン系、アクリル系、エポキシ系の3種類の合成樹脂系別焼付型塗料を用いて、粘着テープと

表3 粘着テープの種類

テープの名称	
(1)	No331
(2)	No334
(3)	No12
(4)	LSテープ
(5)	セロハンテープ
(6)	ポリエスパークテープ

(注)
(1)~(4)
エチバン(特)
(5)~(6)
積水化学
工業(特)

表2 使用材料

冷間圧延鋼板	50×150×0.8	70×150×0.8
SPCC-SB	○	○
SPCC-SD	○	○

冷間圧延鋼板 JIS G 3310

図3 素地粗さの効果（信頼度95%の信頼限界，テープ幅24mm）

図4 圧着力の効果（信頼度95%の信頼限界，テープ幅24mm）

図5 引き剥がし速度の効果（信頼度95%の信頼限界，テープ幅24mm）

図6 粘着テープの差（信頼度95%の信頼限界，テープ幅24mm）

の関係を試験するものである。ここで塗装条件としては、各塗料を1コート、1ベークとし、焼付け温度は130°C、焼付け時間は20分間とし、一定の条件で塗膜処理した試験片を表3の各粘着テープを用い、圧着力は5 kg、引きはがし速度100mm/min、および方向は90°の一定条件下にてはくり試験を行なった。

この結果より、各合成樹脂系塗膜と粘着テープとの間では交互作用および塗膜との主効果は認められたのである。したがって、図6

（粘着テープの差）の結果より、ポリエスターテープ自体の試験結果からもういえるように、今回の実験では、塗膜の付着性試験方法としての評価値を得るための粘着テープとして最適な品質を示したと考えられる。

3-2 各粘着テープ試験

予備段階の実験より考慮することは、基本的要因として、表面素地粗さの調整状態が特に付着力に悪影響を与えるので、試験片の処理方法を確立した上で、粘着テープを試験片

に張った。この試験片上の粘着テープの接着方法としては、圧着装置にて、圧着力を5 kgで、圧着速度を $300 \pm 20 \text{ mm/min}$ で圧着を行ない、はく離試験機にて、予備実験方法にて行なった結果より、引きはがし速度を 100 mm/min 、引きはがし方向は 90° を用いることにした。

測定値は試験片上の粘着テープがはく離開始した時点より、試験片上30~80 (mm)間が安定期であるために、この区間の40~70 (mm)間を測定値として、記録紙上より解析した結果を特性値として用いた。

i) 描画テープ試験方法とは、描画試験機を用いた後の上面に粘着テープを圧着し、はく離試験を行なった。

ii) ゴバン目テープ試験方法とは、カッターにて1mm間隔のゴバン目を100個作成した後の上面に粘着テープを圧着し、はく離試験を行なった。

iii) ゴバン目エリクセン後テープ試験方法とは、ゴバン目試験にエリクセン試験を併用して、付着力の微小な差をより正確に判定するものであるが、さらに粘着テープにてはく離試験を行なうことにより、明確なところの微小の差を評価値とするものである。すなわち、各試験方法において最後の粘着テープによる試験が一定であるために、評価判定が同一基準とみなすことが可能であり、これにより各試験方法の評価の結果を比較検討すると、i)よりii)であり、さらにiii)の方法がより評価としての特性が見られたのである。また、二次的な影響力を与える塗料、塗膜の厚さといった諸因子も一定に保持しなければならないところから、互いの間には交互作用に関して有意差が認められ、同時に表面粗さとの主効果に対しても有意差が認められた。

このように、比較結果よりポリエスパーテープを用い、ゴバン目エリクセン後テープ試験方法が、付着力試験判定を行なう時に、測

定値が微小の変化までの差異が生じた特性値が得られたのである。

4. ま と め

実験過程の結果からいえることは、描画テープ試験や、ゴバン目テープ試験の方が塗膜の厚さなどの変化に左右されにくい、この点ゴバン目エリクセン後テープ試験では最小限に抑えられる。また、粘着テープの粘着力に大きな差異があることによって、粘着テープ特性値(粘着力が高く、伸び率の少ないもの)が高く、同時に安定性のあるものを採用し、テープ試験による付着性試験値を表示する場合において考慮されることは、使用粘着テープ名と同時に、性能表も具体的に表示することにより測定値の評価判定に信頼性の面でも向上される。

参 考 文 献

- 為広ほか；塗料と塗装（大日本図書）
- 岸ほか；機械製作法（II），（森北出版）
- 原崎；コーティングの基礎科学（槇書店）
- 金属表面技術協会編；金属表面技術便覧（日刊工業新聞社）
- 伊藤ほか；編金属の防食技術と表面処理（地人書館）
- 塗料便覧編集委員会編；塗料便覧（日刊工業新聞者）