

2 層塗膜の層間付着性に及ぼす塗料配合の影響 Influence of the Coating Formulation on the Intercoat Adhesion in Two Coat Systems

繁昌 孝二 坪田 実 (職業能力開発総合大学校)

Kouji Hanjyou and Minoru Tsubota

下塗り塗料の顔料濃度が層間付着性に及ぼす影響を明らかにする目的で、PVC の一連に異なる 2 種の下塗り塗料を調製して、表面粗さと塗膜の物理的強度を変化させた。これら下塗り塗膜に対する各種上塗り塗料の層間付着強さを調べた。結果をまとめると、1) 層間付着性の良好な系の層間付着強さ～PVC 関係曲線は 1 つの極大点を有し、極大点を示す PVC 値は下塗り単層塗膜のそれとほぼ一致した。一方、層間付着性不良の系の層間付着強さは PVC の増大に伴い増大するが、付着強さは下塗り塗膜に比べて小さかった。2) 下塗り塗料の適切な PVC 範囲が層間付着性に寄与した。3) 層間付着性の向上は相容性の大きい組み合わせ系で達成できることがわかった。

キーワード：層間付着性、下塗り塗料、顔料濃度、相容性、表面粗さ

1. はじめに

実用塗装系は、下塗り・中塗り・上塗りからなる多層系で構成されており、各層で防蝕や付着性、機械的性質、耐候性などそれぞれの機能を果たすように塗料設計がされている。それゆえ、各層間における付着性、いわゆる層間付着性を向上させることは塗装の目的を遂行する上で重要な課題である。実用的な見地から層間付着性に及ぼす下塗り塗料の顔料効果を検討することは基礎的で重要な問題であるが、経験的な塗料配合で対応しており、下塗りに注目した顔料効果の研究報告は見当たらない。

塗膜物性に及ぼす顔料効果については、顔料/ビヒクル間相互作用に注目して坪田らは精力的に研究を行ってきた¹⁾。研究の成果は顔料の表面改質²⁾に応用されたり、磁性塗料³⁾や発熱塗料⁴⁾の開発に貢献してきたが、層間付着性とは直接関係していない。

東京タワー、東京スカイツリーには塗装が欠かせない。前者の塗装系は下塗りから上塗りまで油変性アルキド樹脂塗料で、後者のそれは下塗り-2液型エポキシ樹脂、中塗り・上塗り-ふっ素樹脂塗料からなる。このように金属の下塗り塗料(防錆プライマー)のビヒクルには油変性アルキド樹脂と2液型エポキシ樹脂が使用されている。我々はこの2種類のビヒクルを使用して、顔料濃度を一連に変えた下塗り塗料を調製した。顔料濃度によって下塗り塗膜の強度や表面あらさが変化する。この要因が層間付着性にどのように影響するかを明らかにしたい。もう1点は上塗りとの相性である。上塗り塗料に注目したことは下塗りのビヒクルとの相容性である。実験は下塗り-上塗りの2層塗膜について行い、下塗りについては顔料濃度、上塗りについては下塗りとの相性によって層間付着性がどのように現れるかを検討した。

実験結果を総合することによって、下塗りから見た層間付着性のメカニズムに知見が得られるか、さらには下塗り塗料で採用されてきた経験的な塗料配合に妥当性を見いだせることができるかどうかを考察した。

2. 試料および試験法

2.1 試料および試験片の調製

実験に使用した下塗り塗料を表1に、上塗り塗料を表2に、また、下塗り、上塗り塗料に使用したビヒクルを表3にそれぞれ示す。ビヒクルと顔料との混練はペイントシェーカーで行い、各系のミルベースとも顔料容積濃度(以下、PVCと略す)を約50%に調製した。下塗り塗料については計算量のビヒクルを追加して、PVCを一連に変化させた。それらのPVC値を図5に示す。表2に示す上塗り塗料のうち、EmとNCは市販白エナメルを使用し、AL、M1、M2については実験室で調製した。ルチル形チタン白(TiO₂)を練入したミルベースに計算量のビヒクルを追加してPVC20%のエナメルとした。

下塗り塗料を軟鋼板(150×60×0.6mm)およびブリキ板(150×60×0.3mm)に吹付け塗装し、表1に示す各条件下で硬化させた後、上塗り塗料を同様に吹付け塗装して試験片を作製した。

2.2 試験方法

塗膜物性の測定はJISK5600に準じて、恒温恒湿(23±1°C/50±5%)下で行った。

2.2.1 塗膜の表面粗さ測定

PVCの一連に異なる下塗り塗膜について、表面粗さ測定機 (SURFCOM-30B、東京精密製) を用い、表面粗さのプロファイルと中心線平均粗さ (Ra75) によって、表面粗さを評価した。カットオフ値を 0.8mm に設定した。

2.2.2 塗膜の応力～ひずみ性測定

PVCの一連に異なる下塗り塗膜、および上塗り遊離塗膜(100×10mm)について、Instron 型材料試験機を用いて、引張り速度 10% strain/min で測定した。

2.2.3 付着性評価

PVCの一連に異なる下塗り塗膜とこれらに上塗りをした2層塗膜について付着強さを測定した。付着性評価には、ごぼん目試験、アドヘロメーター法、プルオフ法、超音波法付着強さをを用いた。いずれの評価法も破壊を伴うため、評価は試験値と脱着部位との総合結果によった。各試験法

については文献⁵⁾を参照されたい。

2層塗膜については主として、プルオフ法、超音波法付着強さの値と脱着部位を調べ、層間付着性を評価した。これらの試験法について述べる。

(1)プルオフ法付着試験

概要を図1に示す。ロッドと試験片塗膜との接着を良好にするため、接着面をそれぞれ P400 耐水研磨紙で研磨した。接着剤にはエポキシ系接着剤 (アラルダイト®スタンダード、CIBA-GEIGY 製) を用い、ロッドの薄く付け、加圧状態 (約 70kPa) で、60°C/15 時間乾燥させた。ロッドの円周に沿って、カッターで素地に達する切り込みを入れ、図1に示す治具を使用して、Instron 型材料試験機に取付け、引張った。引張り速度は 4mm/分で、10 回測定した。脱着後の試験片を光学顕微鏡で観察し、後述する表 5、6 に示すように脱着部位の割合を求めた。

表1 下塗り塗料

試料番号	I	II
略称	エポキシ	アルキド
ビヒクル組成 (固形分 wt%)	エポキシ樹脂 *1 (60) ポリアミド樹脂 *2 (40)	大豆油変性アルキド樹脂 *3 (100) 6% ナフテン酸Co (1.2) 24%ナフテン酸Pb (1.5)
顔料	軽質炭酸カルシウム (95) ベンガラ (5)	
希釈剤	キシレン (56) n-ブチルアルコール (24) メチルイソブチルケトン (15) ブチルセロソルブ (5)	ミネラルスピリット
硬化条件	室温7日間→60°C/2日間	80°C/12時間
*1 1050 EPICLON, *2 N-153-1M-65 LUCKAMIDE, *3 P470 BECKOSOL		
*1～*3の特性値を表3に示す		

表2 上塗り塗料

試料	水性エマルジョン *1	硝化綿ラッカー *2	油変性アルキド樹脂	メラミン/アルキド樹脂	メラミン/アクリル樹脂
略称	Em	NC	AL	M1	M2
ビヒクル組成 (固形分 wt%)	—	—	あまに油変性アルキド樹脂 *3(100) 6% ナフテン酸Co (1.2) 24%ナフテン酸Pb (1.5)	ブチル化メラミン樹脂 *4 (30) 大豆油変性アルキド樹脂 *5 (70)	ブチル化メラミン樹脂 *4 (20) アクリル樹脂 *6 (80)
顔料	—	—	ルチル形チタン白 (TiO ₂) 顔料容積濃度PVC 20%に調製		
希釈剤	イオン交換水	市販ラッカーシンナー	ミネラルスピリット	キシレン (74) n-ブチルアルコール (19) 3-メトキシブチルアセテート (7)	
硬化条件	室温 15日間→40°C 3日間		室温 1日間→60°C 3日間	120°C/30分	150°C/30分
*1 合成樹脂エマルジョン白エナメル(アトミクス製)			*2 セルパNo.1531 白エナメル(関西ペイント製)		
*3 1334 BECKOSOL, *4 J-820 SUPER BECKAMINE, *5 1307 BECKOSOL, *6 46-544 ACRYDIC, *3～*6の特性値を表3に示す					

表 3 下塗り、上塗り塗料の調製に使用したビヒクル

ビヒクル	エポキシ樹脂	ポリアミド樹脂	油変性アルキド樹脂			アクリル樹脂	ブチル化メラミン樹脂
樹脂番号	1050 EPICLON*	N-153-1M-65 LUCKAMIDE*	P-470 BECKOSOL*	1334 BECKOSOL*	1307 BECKOSOL*	46-544 ACRYDIC*	J-820 SUPER BECKAMINE*
固形分 (wt%)	75.2	64.9	67.4	50.4	60.2	49.3	49.5
溶剤	キシレン	キシレン (70) n-ブチルアルコール (30)	ミネラルスピリット	ミネラルスピリット	キシレン	キシレン (70) n-ブチルアルコール (30)	
粘度 (Gardner)	D-E	Z	X-Y	Z	Z	U-V	B-C
油の種類	-	-	大豆油	あまに油	大豆油	-	-
油長	-	-	65	52	41	-	-
酸価	-	-	4.3	5.3	6.0	3.0	0.1
エポキシ当量	481	-	-	-	-	-	-
活性水素当量	-	472	-	-	-	-	-
* DIC株式会社製							

(2) 超音波法付着試験^{6,7)}

概要を図 2 に示す。水温 20±1℃、ホーンと塗面との間隔を 1.0±0.1mm に設定し、塗膜の脱着に要した時間と破壊形状を顕微鏡で観察した。図 2 に示す B 形状を層間と呼び、層間付着性不良とした。C 形状の場合には脱着に要した時間を考慮に入れ、層間付着性を判定した。

2.2.4 顕微鏡観察

光学顕微鏡 (オリンパス製) と、走査電子顕微鏡 (SEM) 装置 (JSM-T20、日本電子製) を使用し、塗膜の脱着部位を観察した。また、上塗り/下塗り 2 層膜の界面状態を見るため、遊離塗膜を急冷 (約 -80℃) して素早く折り、その断面を反射電子像で観察した。

2.2.5 相容性判定試験

表 3 に示す下塗り用 3 種のビヒクルと、上塗りに使用した油変性アルキド樹脂およびアクリル樹脂について、それぞれの溶剤で希釈し、固形分比で 1:1 になるように採取する。各混合溶液をフィルムアプリーケーターを使用してガラス板に塗布した。110℃/1 時間乾燥させ、室温まで冷却後に、ガラス板を新聞紙上に置き、肉眼観察で透明性を評価した。白濁が認められるものは相容性不良とした。

表 4 下塗りに使用したクリアー塗膜の引張り強度

クリアー塗膜	I - エポキシ	II - アルキド
1%モジュラス (MPa) (ヤング率)	1880	267
抗張力 (MPa)	41.4	12.5
破壊伸び (%)	4.3	84.6

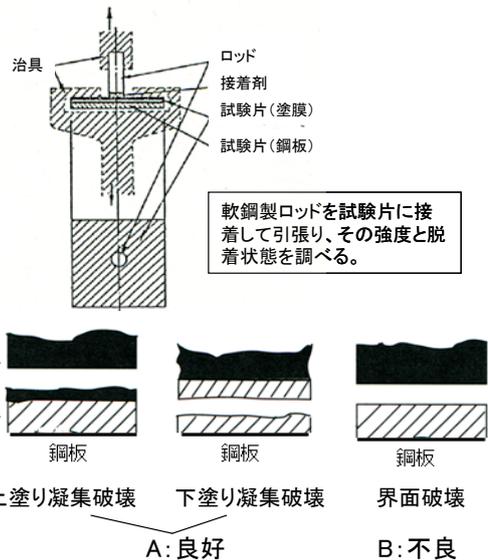


図 1 プルオフ法による層間付着性の評価

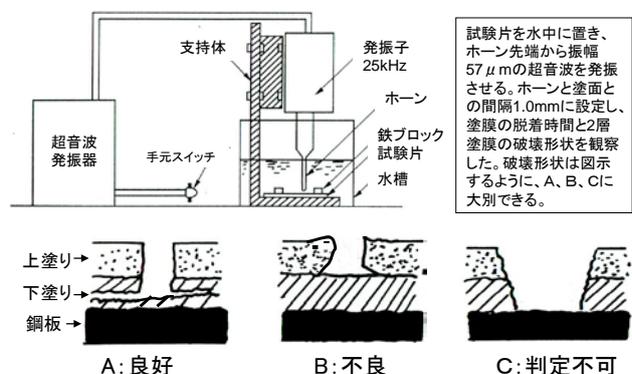


図 2 超音波法による層間付着性の評価

3. 結果と考察

3.1 下塗り塗膜の物性

表 1、2 に示す下塗りクリアー（顔料未充てん）塗膜の機械的強度は明らかに異なる。応力～ひずみ性測定から求めたクリアー塗膜の 1%モジュラス（ヤング率）、抗張力、破壊伸びを表 4 に示す。長油性アルキド樹脂をビヒクルとする II 系塗膜は軟らかく、ヤング率は I 系のエポキシ塗膜のそれに対して、約 1/7 であるが、破壊伸びは約 20 倍大きい。

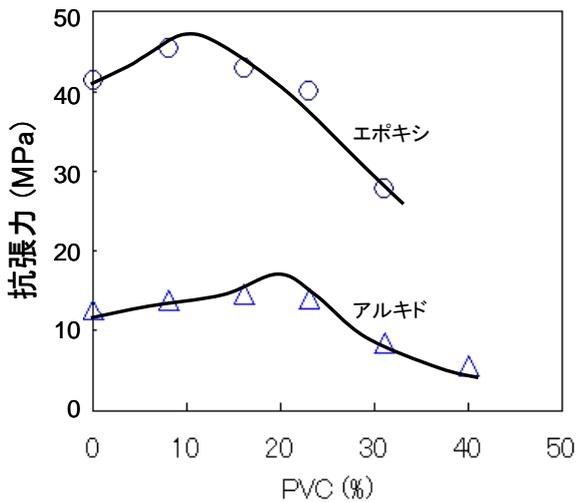


図 3 下塗り塗膜の抗張力に及ぼす PVC の影響

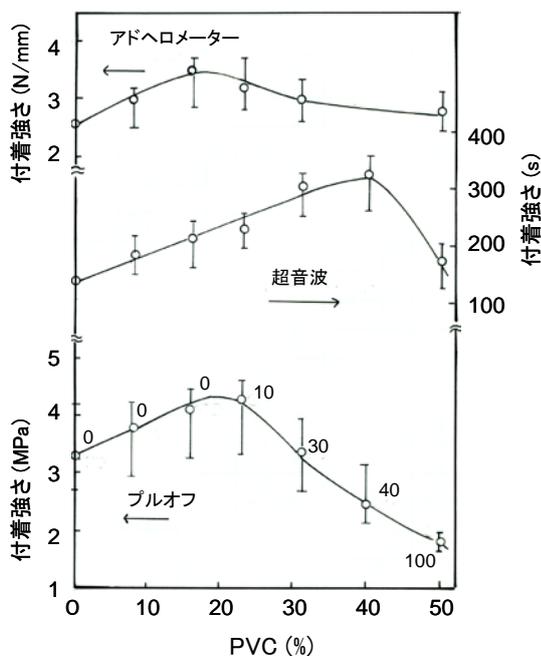


図 4 下塗り塗膜の付着強さに及ぼす PVC (I 系) (図中の数字は塗膜の凝集破壊の割合を示す)

塗膜の機械的強度に及ぼす顔料補強効果はビヒクルポリマーの軟らかい II 系の方が I 系よりも顕著に表れ、抗張力～PVC 関係は、モジュラスの一義的な上昇と破壊伸びの一義的な低下の総合効果として現れることがわかっている。I、II 系塗膜の抗張力～PVC 関係曲線は図 3 に示すように、1 つの極大点を示し、極大点を示す PVC 値はそれぞれ 10、20% 付近であり、軟らかい II 系の方が顔料の充てん能力は高いことがわかる。しかしながら、抗張力はいずれの PVC 領域においても I 系の方が 3 倍以上大きい。この差異は塗膜の破壊を伴う層間付着性の評価に影響を及ぼすであろうから、留意しておかねばならない。そこで、単層 I、II 系塗膜の付着強さが PVC の増大に伴い、どのような挙動を取るかを調べた。結果の傾向は類似しているため、I 系塗膜の結果のみを図 4 に示す。

図 3 に見られた抗張力の差異はアドヘロメーター法や超音波法に反映して、I 系塗膜の付着強さが II 系のそれを上回っているが、プルオフ法では大差がなかった。表 5、6 に示す脱着部位について見ると、抗張力の小さい II 系塗膜は塗膜の凝集破壊の割合が明らかに多かった。

後述する層間付着性の評価には、プルオフ法と超音波法の結果を中心にしている。それは 2 層塗膜の脱着部位の観察が可能であることに起因する。

3.2 下塗り塗膜の表面粗さ

PVC の増大に伴う付着性向上の一要因として下塗り塗

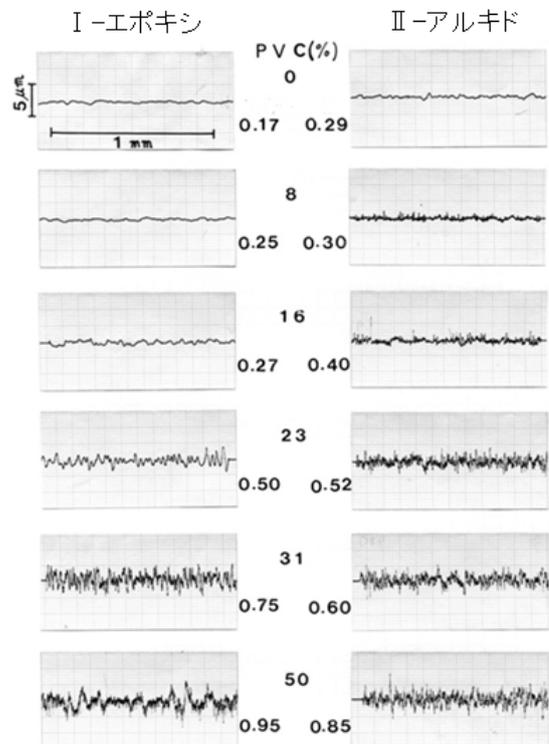


図 5 下塗り塗膜の表面粗さに及ぼす PVC (図中の数字は Ra75 (μm) を示す)

膜の表面粗さの影響(上塗り塗料に対する下塗り塗膜の接触面積の増大効果)が考えられる。表面粗さのプロフィルと中心線平均粗さ Ra75 に及ぼす PVC の影響を図 5 に示す。当然のことながら、PVC の増大に伴い表面粗さは大きくなる。そして、表面粗さのプロフィル(周期と振幅)は I、II 系とも PVC23~31% 付近で大きく変化していることがわかる。

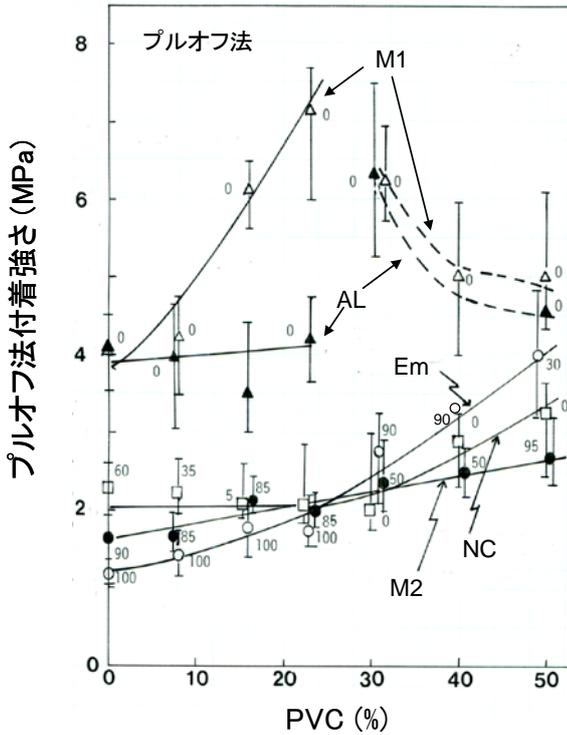


図 6 層間付着強さに及ぼす下塗り塗膜の PVC (I 系)

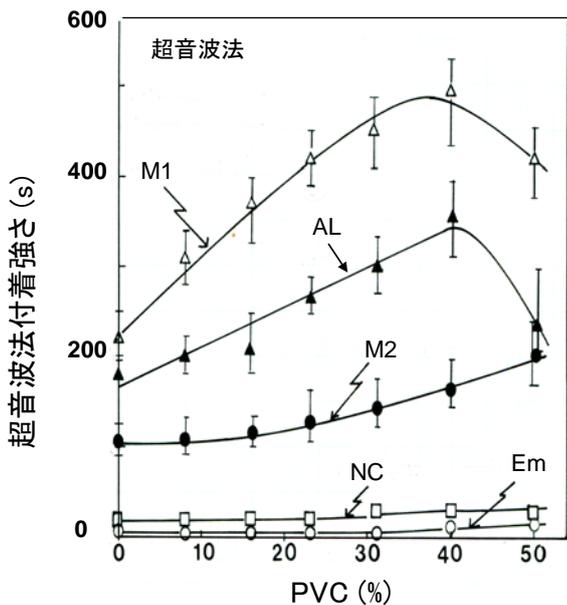


図 7 層間付着強さに及ぼす下塗り塗膜の PVC (I 系)

3.3 2 層塗膜の層間付着強さ

層間付着強さ~PVC 関係は I、II 系とも同様な傾向を示したので、I 系塗膜に対する各種上塗り塗料のプルオフ法付着強さを図 6 に、超音波法付着強さを図 7 にそれぞれ示す。また、プルオフ法での 2 層塗膜の脱着部位の割合を I、II 系について、それぞれ表 5、6 に示す。表中の各面積の大きさが脱着部位の割合を表す。

いずれの上塗り塗料を用いても層間付着強さは PVC の増大に伴い上昇するが、付着強さ~PVC 関係曲線の形状は次の 2 つに大別される。

(1) 極大点を示すタイプ

図 1 に示す脱着部位が A 形状であり、付着強さが大きいメラミン/アルキド樹脂(M1)、アルキド樹脂塗料(AL)がこのタイプに属する。これらは層間付着性が良好な組み合わせの系であり、極大点以降は下塗り塗膜の凝集破壊を示したため、図 6 では極大点以降を点線で表示した。

極大点を示すことは、層間付着力と下塗り塗膜バルクの凝集力とのバランスとして付着強さが測定されたためである。試験法で測定機構が異なるために、極大点を示す PVC 値は異なってくる。過多の顔料混入は塗膜を硬化させるので、当然妥当な PVC 範囲は存在する。

(2) 一義的に上昇するタイプ

脱着部位が主として、図 1 に示す B 形状の界面破壊(層間はく離)であるエマルジョン(Em)とメラミン/アクリル樹脂塗料(M2)、または上塗り塗膜が脆いために凝集破壊をする硝化綿ラッカー(NC)がこのタイプに属する。層間はく離が起きる組み合わせは層間付着性が悪い系である。とくに、層間付着の悪い Em 塗膜系では、高 PVC 側でプルオフ法付着強さの上昇傾向は顕著であった。これには Em 塗膜の柔軟性が起因していると考えられる。上塗り塗膜の物性も塗膜破壊のレオロジー的性質—延性破壊か、脆性破壊か—に影響を及ぼすことがわかる。

3.4 層間付着強さに及ぼす下塗り塗膜の影響

下塗り塗膜の付着性が層間付着性にどのように影響しているかを考察するために、プルオフ法と超音波法に分けて、下塗り単層塗膜(1L)と上塗り-下塗り 2 層塗膜(2L)の付着強さ~PVC 関係をまとめて表示した。この時、層間付着性の良好な上塗り塗料として M1 を、一方、層間付着性の悪いそれとして M2 を選び、各付着強さの結果を図 8、9 にそれぞれ示す。

(1) 層間付着性の良好な組み合わせ系

図 8、9 からわかるように、2L 塗膜系の付着強さの方が 1L 系のそれを上回っている。

付着強さの極大値を示す PVC 値についてみると、図 6 ~9 からわかるように、上塗り塗料の種類にかかわらず、プルオフ法では 20% 付近、超音波法のそれは PVC40% 付

表5 1L、2L系塗膜のプルオフ法付着試験の脱着部位 (I系)

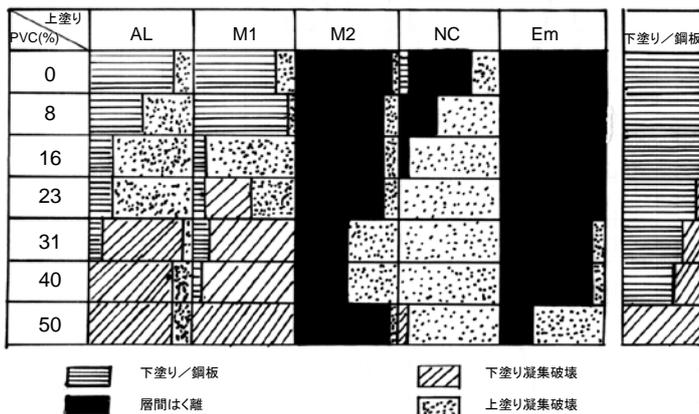
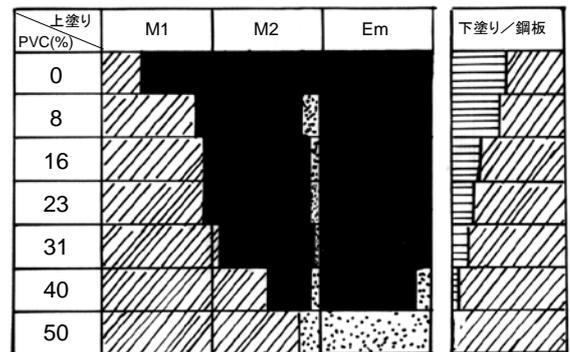


表6 1L、2L系塗膜のプルオフ法付着試験の脱着部位 (II系)



近であった。これらの PVC 値は 1L 系の付着極大を示す PVC 値とほぼ一致している。このように層間付着強さ～PVC 関係曲線の形状は下塗り単層塗膜のそれを反映していることがわかる。

次に、2L 系の極大付着強さの大きさについてみると、超音波法では 2L 系と 1L 系の極大値の大きさの順序は一致しているが、プルオフ法では、下塗りが II の場合、2L 系になって付着性向上を示すのは高 PVC 側のみである。一方、下塗りが I の場合、2L 系の付着性向上は顕著であった。上塗り M1 は 2 種の下塗りに対して相容性が良く、2 層塗膜の付着界面で後述する拡散層 (図 12) を形成すると考えられる。この時、下塗り塗膜の抗張力の差異が 2L 系の付着強さに影響を及ぼすのかも知れない。

(2) 層間付着性の悪い組み合わせ系

2L 系の付着強さは PVC の増大に伴い上昇するが、低 PVC 側では 1L 系の付着強さよりも小さい。これは低 PVC 側では層間はく離で脱着するためである。高 PVC 側では投錨効果の寄与で付着界面層が物理的に補強されるためであろう。このように層間付着性の悪い組み合わせ系では、下塗り塗膜の付着性の影響をほとんど受けないことがわかる。

3.5 超音波法における脱着部位の観察

図-2 に示す試験装置でホーン先端から放射される最大圧力は 6.4MPa と計算できる⁷⁾。この強力な振動を水中で発射すると、キャビテーションによる気泡が振動面、および塗膜表面に生じる。気泡群の膨張収縮振動、およびこれらの気泡が破裂する時の衝撃パルスの繰り返しにより塗膜は破壊に至る。素地鋼板が現れた試験片の一例を図 10 に示す。さらに、2 層塗膜の脱着部位を SEM 観察すると、層間ではく離かどうかを知ることができる。エポキシ下塗り系 (PVC0、31%) について、M1 と M2 を上塗りした 2L 系塗膜の SEM 観察結果をそれぞれ図 11 に示す。

層間付着性の良好な M1 系の脱着部位は PVC16% までは金属素地からのはく離であり、23% 以降は図 11(c) で代表されるような下塗り塗膜の凝集破壊となった。この結果は表 5 に示すプルオフ法の脱着部位と良く一致している。

層間付着性の悪い M2 系では、PVC に関係せずほぼ層間はく離を示した。図 11(d) に示すように超音波振動により上塗り塗膜がふくれて破壊した様子が伺える。とくに、Em 系の 2 層塗膜では、図 2 の B 形状に相当するふくれによる脱着が明瞭に認められた。

3.6 層間付着性と相容性

本実験で用いた上塗り塗料 M1、M2 の溶剤組成は同一であり、下塗り塗膜に対する膨潤作用は等しいと見なせる。しかし、層間付着性には大きな差異が生じた。この結果は膨潤過程におけるビヒクルポリマー間の相容性の良否が拡散層の形成に大きな影響を及ぼすものと考えられる。付着界面相における 2 層塗膜ポリマー間の相互拡散状態をモデル的に示すと、図 12 (a)、(b) のように表すことができる。それぞれについて説明する。

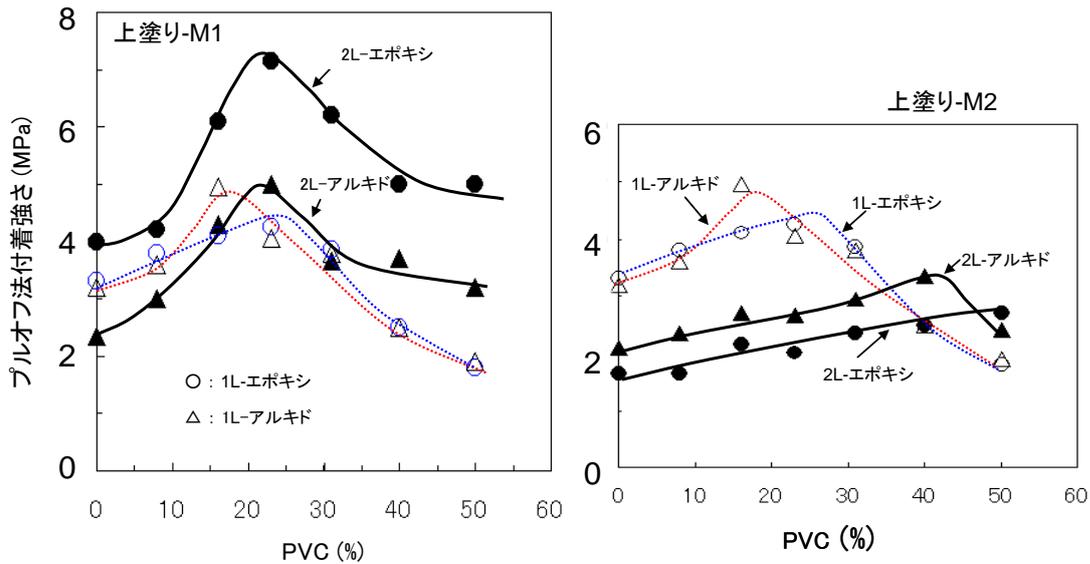
(a) 相容性良好な 2 層塗膜

上塗り塗料のビヒクル成分が下塗り塗膜に浸透し、分子オーダーの拡散が生じ、乾燥硬化して塗膜になった状態でもこの拡散状態が維持され、拡散層を形成する。

この 2 層塗膜では、拡散層の存在で付着界面相は強化され、外部からの刺激を均等に分散させやすくなる。その効果は図 8、9 の層間付着性の良好な系で見られたように、下塗り塗膜が硬脆化する高 PVC 側でより顕著になると考えられる。

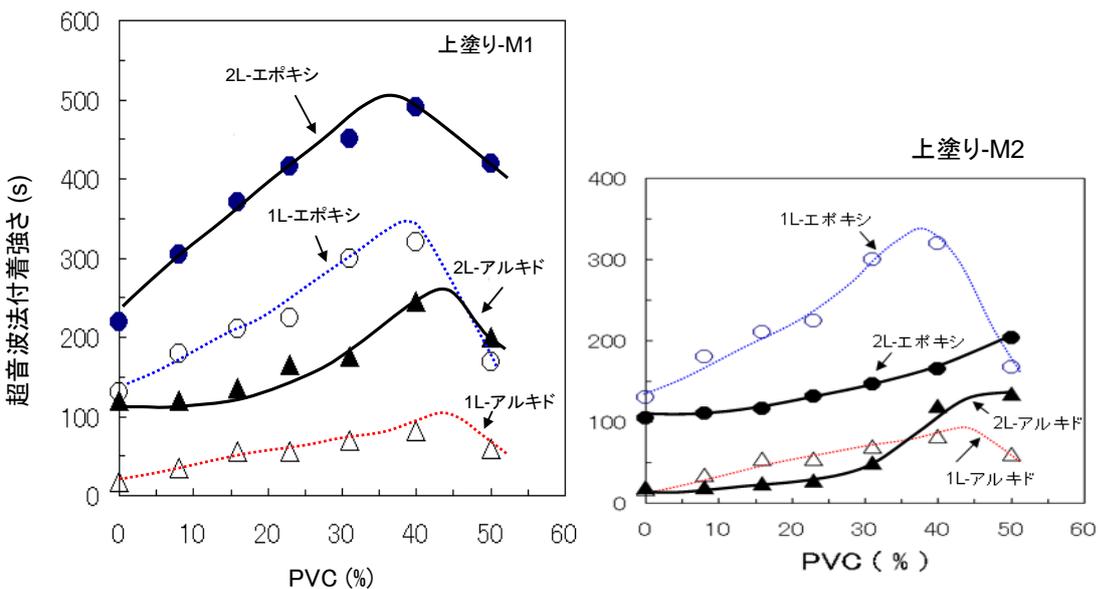
(b) 相容性不良の 2 層塗膜

相容性の不良な系では、乾燥硬化して塗膜になった状態で拡散層が形成されない。そのために付着界面に欠陥部が生じたり、硬化に伴う内部ひずみの緩和むらも作用し、層間はく離が生じやすくと考えられる。



(a) 層間付着性良好な系 上塗りM1 (b) 層間付着性不良な系 上塗りM2
 注) 1L:下塗り単層膜、1L-エポキシ:下塗りエポキシ塗膜、2L-アルキド:下塗りアルキドの2層膜

図 8 プルオフ法層間付着強さと PVC 関係に及ぼす層間付着性の良否の影響



(a) 層間付着性良好な系 上塗りM1 (b) 層間付着性不良な系 上塗りM2

図 9 超音波法層間付着強さと PVC 関係に及ぼす層間付着性の良否の影響

次に、ビヒクル成分から相容性について考察する。上塗り塗料 M1、M2 は共にメラミン樹脂系の焼付け塗料であり、メラミン樹脂は同一である。2層塗膜の相容性に明らかな差異を生じるのは、M1、M2 中のアルキド、アクリル樹脂と下塗り塗膜との相容性が問題になる。下塗り I 系のビヒクルはエポキシ樹脂とポリアミド樹脂の 2 種類であり、II 系のそれは油変性アルキド樹脂である。そこで、下

塗りの 3 種のビヒクルと上塗りの 2 種のビヒクルについて相容性の試験を行った。結果は表 7 のように判定でき、上塗りのアクリル樹脂は下塗りのポリアミド、アルキド樹脂との相容性が悪かった。ポリアミド樹脂は脂肪酸 2 量体(ダイマー酸)を骨格とする樹脂であるから、アルキド樹脂の変性成分である脂肪酸部分に対しては良く相容すると考えられる。下塗りのアルキド樹脂は油成分の多い樹脂で

あり、アクリル樹脂とは相容しがたいと考えられる。ビヒクル成分から相容性について推測した結果と、表7の結果は良く一致した。よって、相容性の良好な組み合わせ系ほど層間付着性は良好なことが本実験でも確認できた。

相容性と層間付着性については、すでに三輪ら⁸⁾が10

種類の典型的実用塗料を用いて実験を行い、ビヒクルポリマー間の相容性が層間付着性を支配することを報告している。本実験においても、このことを確認することができた。

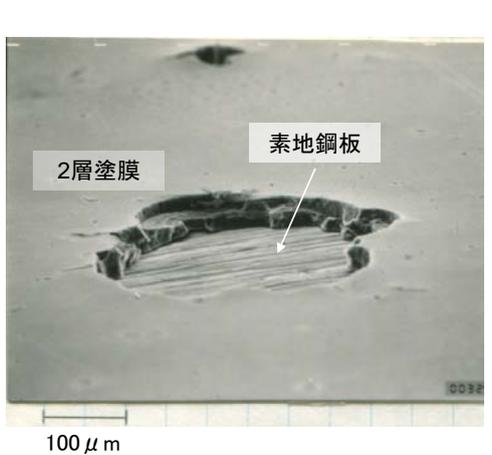


図10 超音波付着試験後の試験片

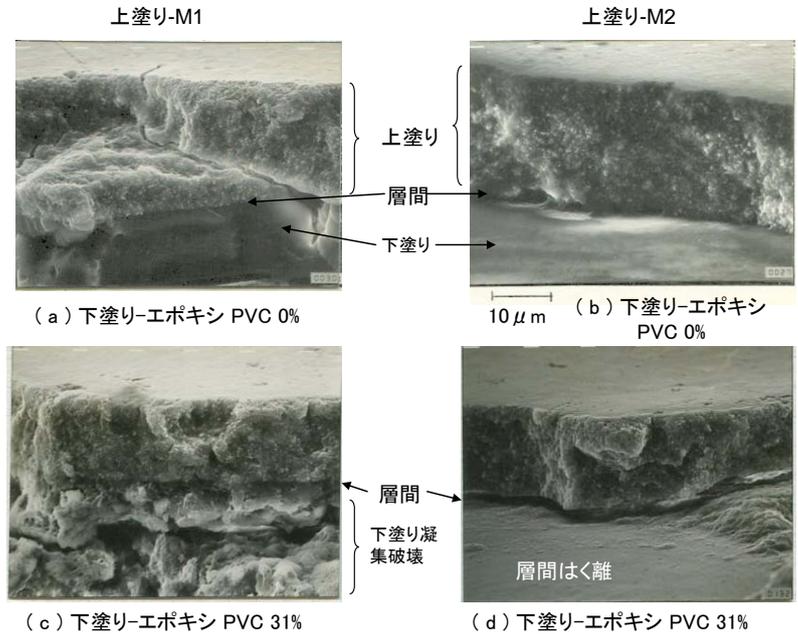


図11 超音波付着試験後の塗膜断面 (I系)

表7 下塗り、上塗りに使用したビヒクルの相容性

下塗り用ビヒクル	上塗り用ビヒクル	
	アルキド	アクリル
エポキシ	○	○
ポリアミド	○	×
アルキド	○	×

4. まとめ

本研究では、下塗り塗料の顔料濃度が層間付着性に及ぼす影響を明らかにする目的で、PVCの一連に異なる2種の下塗り塗料を調製して、表面粗さと塗膜物性を変化させた。そして、これら下塗り塗膜に対する各種上塗り塗料の層間付着強さを調べ、層間付着性のメカニズムを下塗り塗膜の物性から検討した。結果をまとめると、次のようである。

- (1) いずれの上塗り塗料を用いても、2層膜(2L)の層間付着強さは下塗り単層塗膜(1L)のPVCの増大に伴い向上するが、層間付着性の良否により付着強さの向上傾向は異なった。
- (2) 層間付着性の良好な系の層間付着強さ~PVC関係曲線は1つの極大点を有し、極大点を示すPVC値は下塗り単層塗膜のそれとほぼ一致した。一方、層間付着性不良の系の層間付着強さはPVCの増大に伴い増大するが、付着強さは下塗り塗膜に比べて小さかった。
- (3) プルオフ法付着試験、並びに超音波法での脱着部位の観察は層間付着性の評価に有力な手がかりを与えた。
- (4) 2層系塗膜のビヒクルポリマーの相容性の良否が層

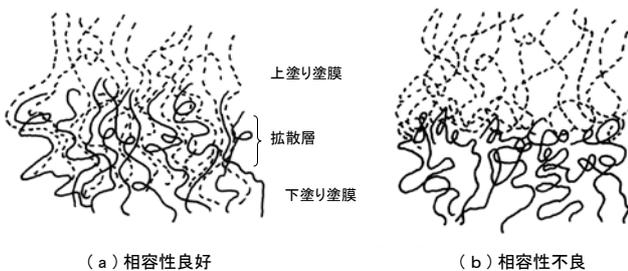


図12 塗膜層間におけるビヒクルポリマーの拡散状態

間付着性に大きな影響を及ぼし、相容性の大きい組み合わせ系ほど層間付着性は良好であることを確認できた。

(5) 本実験から、層間付着性を向上させるには、下塗り塗膜の付着性が良いこと、下塗りには適切な顔料濃度が存在すること、上塗りとの相容性を良好にすることを提言でき、経験的な塗料配合に適切な指針を示すことができた。

参考文献

1. 坪田実、植木憲二：高分子論文集, Vol.36, No.2, pp.117-122 (1979)
2. 長沼桂、飯塚義雄、坪田実、桑原豊：色材, Vol.65, No.4, pp.226-232(1992)
3. 坪田実、上田一成、福井寛：色材, Vol.83, No.2, pp.59-65(2010)
4. 坪田実、樋口大介、中島宏、長沼桂：塗装工学, Vol. 41, pp. 420-427 (2006)
5. 坪田実：塗装の実務入門 Q&A、2010、日刊工業新聞社

6. 坪田実、荒瀬正幸、富田久和、本山啓二：色材, Vol.58, No.11, pp.675-682(1985)
7. 坪田実：学位論文、塗膜物性に及ぼす顔料効果の研究、1985、東京大学
8. 三輪義昭、坪田実、植木憲二：色材, Vol.54, No.12, pp.736-741 (1981)

(原稿受付 2014/01/15、受理 2014/03/25)

*繁昌孝二,
職業能力開発総合大学校, 〒187-0035 東京都小平市小川西町
2-32-1 email: hanjyou@uitech.ac.jp
Kouji Hanjyou, Polytechnic University, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi,
Kodaira, Tokyo 187-0035

*坪田実, 博士 (工学)
職業能力開発総合大学校, 〒187-0035 東京都小平市小川西町
2-32-1 email:mtsubota@uitech.ac.jp
Minoru Tsubota, Polytechnic University, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi,
Kodaira, Tokyo 187-0035