

# 碁盤目テープはく離試験の再検討

中村 吉伸\*・足立 学\*・藤田 和也\*・橘 祐太\*・飯田 健郎\*・浦濱 圭彬\*<sup>2</sup>

Cross Cut Test for Coated Steel Plate

Yoshinobu NAKAMURA, Manabu ADACHI, Kazuya FUJITA, Yuta TACHIBANA, Takeo IIDA and Yoshiaki URAHAMA

**Synopsis** : In order to develop the accuracy of cross cut test, some factors were investigated. Cellophane tape is widely used in the cross cut test. It was found that the conditions of taping up, the peeling rate and angle must be accordance with JIS. While the temperature and humidity specifications during testing are described in JIS, a great care is required for storage, since the humidity has a strong influence on the performance of the pressure sensitive adhesives during storage as well as upon the results of a peel-off test. The fast rewinding rate from a reel of pressure sensitive adhesive tapes seem to make a rough surface. It must be noted these factors. The cellophane tape showed almost the same peel adhesion for various coated steel plates with different base and post coatings. Therefore, it was clarified that the cellophane tape is suitable for the cross cut test. The trench introduced by a cutter knife on the coated steel plate was observed by a laser microscope. In order to form the stable trench, it was found to be useful in accordance with JIS regulations except the blade angle at the trench introduction.

**Key words**: coated steel plate; cross cut test; cellophane tape; peel adhesion.

## 1. 緒言

塗装鋼板の塗料と鋼板の密着性を評価する手法に、碁盤目テープはく離試験がある。これは塗装鋼板の1×1 cm角に縦横各1 mm幅の傷をカッターで導入して粘着テープを貼り付け、引き剥がす時に剥がれた1 mm角の正方形の個数で密着性を評価するもので、簡便であるために広く行われている。JISで基本的な規格が定められており<sup>1)</sup>、これに準拠しながら実際は鉄鋼メーカー、塗料メーカーでそれぞれ独自の基準に基づいて行われているようである。このために、データの信頼性やメーカー間の互換性に影響する因子を明確にする必要があるが、このような観点からの検討は従来行われていない。これらの因子には、粘着テープに基づくものとカッターによる塗装鋼板へのキズの導入に基づくものがある。粘着テープについては、塗膜の表面状態やはく離条件に依存せず一定のピール粘着力を示すことが必要であり、キズの導入については圧力、速度、角度、カッターの磨耗度等の影響を明確にする必要がある。

本研究では、このような観点からこの評価法の精度を高めるための諸因子の再検討を行った。評価用の粘着テープとして広く用いられているセロハンテープ（ニチバン）の貼り付けやはく離に対する安定性を検討するとともに、各種条件でカッターナイフにより導入したキズの状態を詳細に観察した。

## 2. 実験方法

### 2.1 試料

粘着テープとしてセロハンテープ（Tape-C, LP-18, ニチバン（株）、基材：セロハン、基材厚：40 μm、粘着剤：ゴム系と記載、粘着剤厚：10 μm）を用いた。比較としてメンディングテープ（Tape-M, MP-18, 3M社製、基材：アセテート、基材厚：60 μm、粘着剤：アクリル系と記載、粘着剤厚：10 μm）を用いた。

塗装鋼板として以下のものを用いた。電気亜鉛めっき鋼板（亜鉛めっき付着量 20 g/m<sup>2</sup>片面、0.5 mm厚さ）を原板とし、この鋼板表面を、常法にしたがってアルカリ脱脂した後、クロム酸処理を行った。クロム酸処理は、コロイダルシリカ（平均1次粒径約10 nm）を添加した還元クロム酸を用いた処理方法（以下、下地処理Aと略記）と、還元クロム酸のみを用いた処理方法（以下、下地処理Bと略記）の2種類のものを用いた。なお、それぞれの下地処理のクロム付着量は、30、20 mg/m<sup>2</sup>である。

鋼板への塗装は、アルキッド樹脂とメラミン樹脂を主成分とするポストコート用塗料を用いた。これらの塗料にはシリカ（平均1次粒径1.5 μm）を所定量混合し、バーコーターを用いて焼き付け後の塗膜厚が約20 μmになるように塗布した。塗布した鋼板は130°Cで10分間熱処理した。このようにして塗布した鋼板を試料とした。なお、一部の試験ではポリエステル樹脂とメラミン樹脂を主成分とする

平成18年6月26日受付 平成18年8月10日受理 (Received on June 26, 2006; Accepted on Aug. 10, 2006)

\* 大阪工業大学工学部応用化学科 (Department of Applied Chemistry, Osaka Institute of Technology, 5-16-1 Ohmiya Asahi-ku Osaka 535-8585)

\*2 山形大学ベンチャービジネスラボプロジェクト研究員 (The Venture Business Laboratory of Yamagata University)

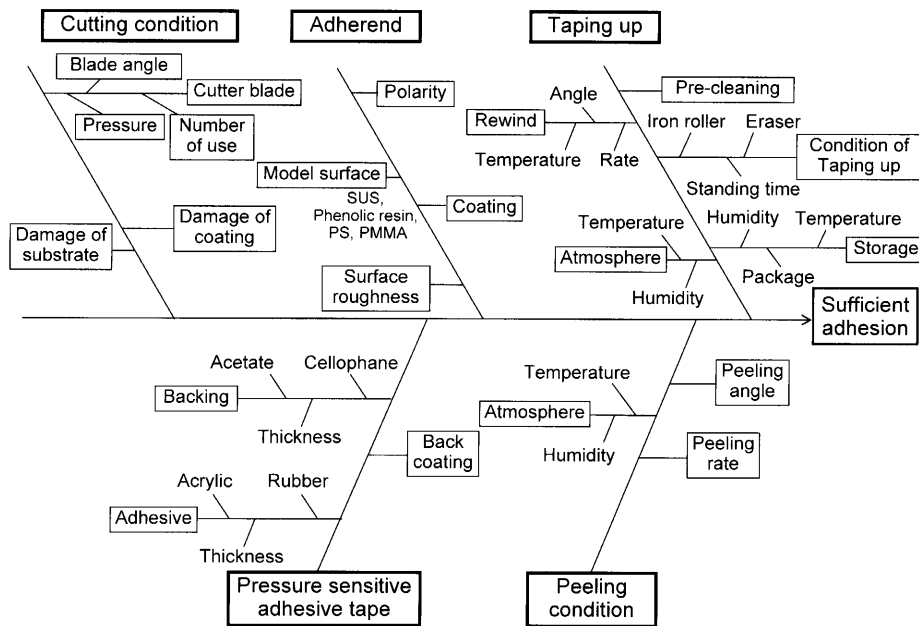


Fig. 1. The fishbone diagram of factors to improve the precision of cross cut test.

塗装鋼板用塗料も同様に評価した。この系では、塗布した鋼板は220°Cで約45秒間熱処理した。この場合は、ポリエステルポストコート塗料と特記したが、単にポストコート塗料と記載している場合は、アルキッド樹脂とメラミン樹脂を主成分とするポストコート塗料である。

これ以外に被着体としてステンレス板 (SUS, SUS304(BA), 日本タクト (株), 厚さ: 1.5 mm), フェノール樹脂板 (フェノール樹脂, 繊維強化フェノール樹脂, ベークライト, 住友ベークライト (株), 厚さ: 2.1 mm), ポリメタクリル酸メチル板 (PMMA, アクリルサンデー, 三菱レーヨン (株), 厚さ: 3.0 mm), ポリスチレン板 (PS, プラ板, (株) タミヤ, 厚さ: 1.7 mm) を用いた。

2.2 ピール粘着力の評価

既報<sup>2)</sup>と同様に、粘着テープを2kg, 直径90mmの鉄製ローラで被着体に圧着した。ローラ1往復を圧着回数1回とし、5回行った。20分放置後、引張速度300mm/分で180°ピール粘着力をJIS Z0237にしたがって測定した。測定温度は25±2°Cである。なお、粘着テープリールからの試験テープ片の巻き戻しは180°, 600mm/分で行った。

2.3 ピール粘着力の速度依存性の評価

島多技研 (株) 製, CS-1000を用い、0.002mm/秒から20mm/秒までの測定を行った。粘着テープの圧着は、2kgのローラを2回往復して行った。

2.4 塗装鋼板へのキズの導入

JIS K 5600にしたがい、1mm毎にガイドのある等間隔スペーサー (クロスカットガイド, コーテック (株)) を用いてカッターナイフ (エヌティー (株)) でキズの導入を行った。ただし、刃の角度はJISの90°ではなく旧JIS<sup>3)</sup>の35~45°で行った。速度も旧JIS<sup>3)</sup>のキズ1本につき約0.5秒で等速の条件にしたがって行った。JIS K 5600では、速度

の規定がない。また、比較としてマイクローム用ナイフ (日本マイクローム研究所製) によるキズの導入も行った。

2.5 塗装鋼板に導入したキズの評価

超深度カラー3D形状測定レーザー顕微鏡 (バイオレットレーザー, 波長48nm, VK-9500, (株) キーエンス) を用い、塗装鋼板にカッターナイフで導入したキズの形状、サイズの観察を行った。

3. 結果および考察

Fig. 1には、基盤目テープはく離試験の安定化のための因子を特性要因図として示した。塗装鋼板のキズ導入 (Cutting condition)に関する因子と、粘着テープの因子として貼り付け条件 (Taping up), はく離条件 (Peeling condition), 被着体 (Adherend), 粘着テープの種類 (Pressure sensitive adhesive tape)があげられる。これらについて検討を行った。

3.1 キズの導入条件

- JIS<sup>1)</sup>で規定されているのは以下である。
- ・刃の形状と厚みのみ規定されているが、カッターナイフはこれに該当する。
- ・キズの導入にガイドのある等間隔スペーサーを使用する。
- ・試験の前に、刃を研ぐか取り替える。
- ・刃の角度は90° (旧JIS<sup>3)</sup>では35~45°で一定)。
- ・導入時の力は、素地の表面まで貫通することが規定されている。速度の規定はない。

Fig. 2には、塗装鋼板にカッターナイフで導入したキズをレーザー顕微鏡で観察した結果を示した。同時に形状とサイズの測定が可能である。そこで、Fig. 3に示した各サイズの測定を行い、そのバラツキについて比較した。導入

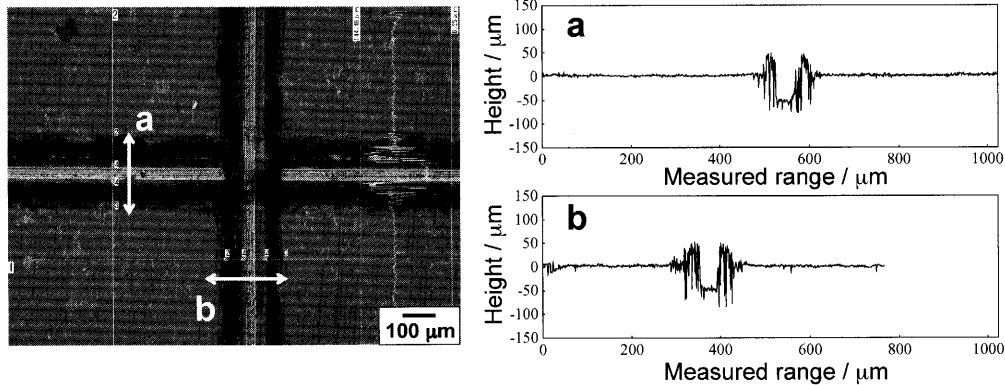


Fig. 2. Trench introduced by a cutter knife on a steel plate with base coating A and post coating without silica particles observed using a laser microscope.

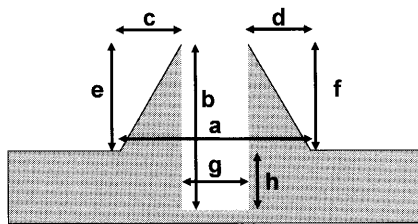


Fig. 3. Schematic cross section of trench introduced by a cutter knife on a coated steel plate. The lengths of a-h were measured using a laser microscope.

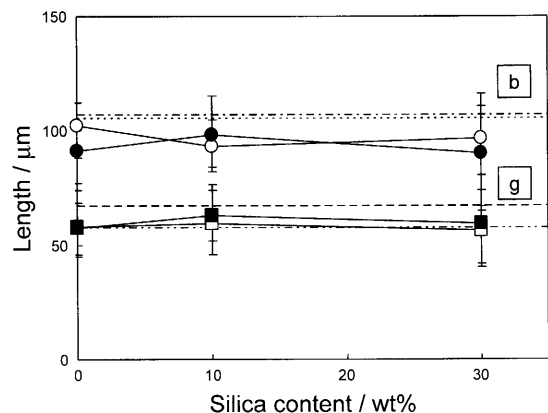


Fig. 4. The mean sizes of trench introduced by a cutter knife on a coated steel plate with base coating A only (---, ○), base coating B only (····, □), base coating A+post coating (—, ○) and base coating B+post coating (—, ●). b and g were shown in Fig. 3.

した基盤目の10ヶ所で測定した平均値で示した。

### 3・1・1 下地処理および塗装の種類

Fig. 4には、2種類の下地処理とこれにシリカ粒子含有量の異なるポストコートをした塗装鋼板に導入したキズのサイズを示した。これらの影響は見られなかった。この図にはFig. 3の「b」、「g」のみ示したが、他も同様であった。

### 3・1・2 カッターの刃の磨耗度

Fig. 5には、使用前(a)、22回キズ導入後(基盤目1セット分、b)、および折れた後(c)のカッターナイフの先端をレーザー顕微鏡で観察した結果を示した。これらで導入したキズの比較を行った。

Fig. 6には、下地処理Aにシリカ粒子0%のポストコートを行った塗装鋼板の結果を示した。新品と22回使用後の刃による溝のサイズは差がなかったが、折れた後の刃の場合は溝の幅や塗装のえぐれが少し大きくなっていた。刃が折れると感触で分るのでその時点での交換が望ましい。下地処理Bやシリカ粒子含有量が変わっても傾向は同様であった。

### 3・1・3 刃の角度と種類

旧JIS<sup>3)</sup>から現行のJIS<sup>1)</sup>への変更での最大の問題点は刃の角度である。90°では力を掛けにくく、安定したキズの導入が困難であった。旧JISの「35~45°で一定」で行うことが望ましい。

カッターナイフ以外の刃としてマイクローム用のナイフでも検討した。導入される溝はより鋭利になったが、安定

性では差がなかった。溝形状の安定性という観点では、カッターナイフで問題はない。

### 3・1・4 導入者の影響

Fig. 7には、研究室の学生6名によりキズの導入を行い、導入者の影響を検討した結果を示した。下地処理Aのみの鋼板を用いた。白マークがこのテーマを担当している学生で、他はまったく初めてである。このように導入者による差は大きかった。白マークの学生は、このサイズで常に安定していた。キズの導入者はある程度の慣れや経験があることと、同一シリーズは同一導入者で行うことが必要である。

## 3・2 粘着テープの貼り付け条件

JIS<sup>1)</sup>で規定されているのは以下である。

- ・ 温度  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度  $50 \pm 5\%$  で試験を行う。
- ・ 貼り付ける前に、やわらかいはけで、前後に数回ブラッシングする(前処理)。
- ・ 新しい試験のシリーズを始める際には、粘着テープのリールから2巻きのラップを捨てる。
- ・ 粘着テープを貼り付ける前のリールからの巻き戻しは、

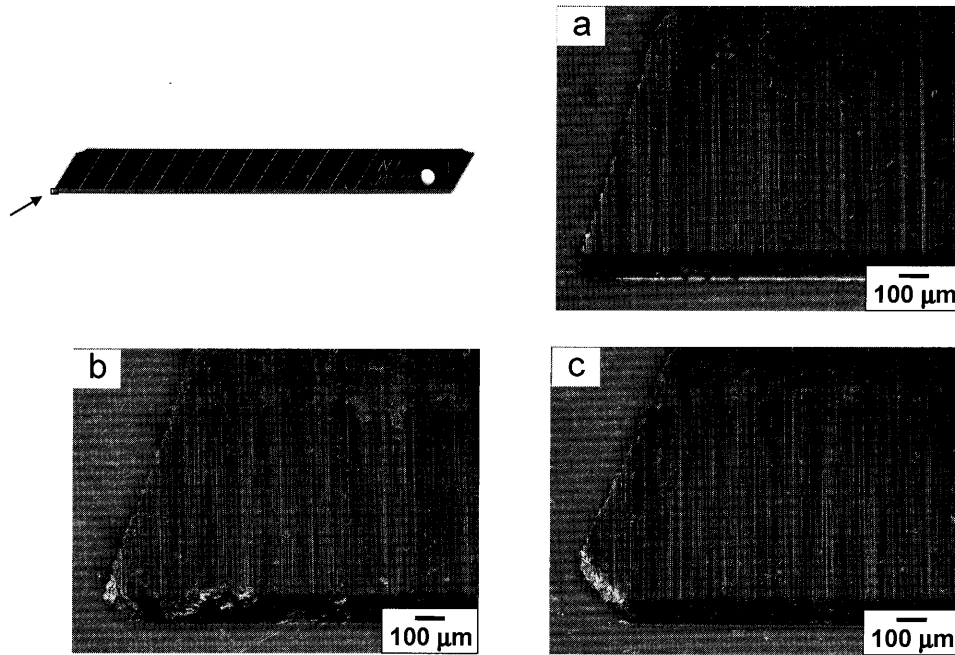


Fig. 5. Tip of cutter knife observed using a laser microscope for virgin blade (a), after 22 times cutting (b) and after breaking (c).

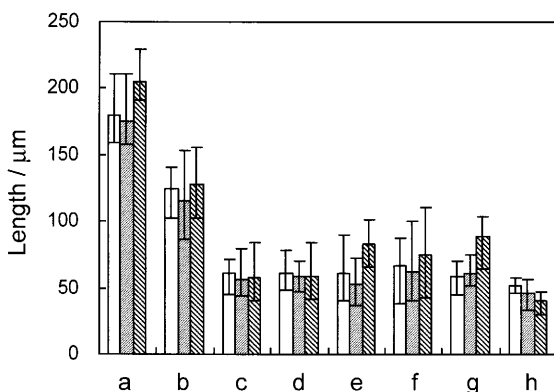


Fig. 6. The mean sizes of trench introduced by cutter knives of virgin (□), after 22 times cutting (▨) and after breaking (▩) on a coated steel plate with base coating A and post coating without silica particle. a-h were shown in Fig. 3.

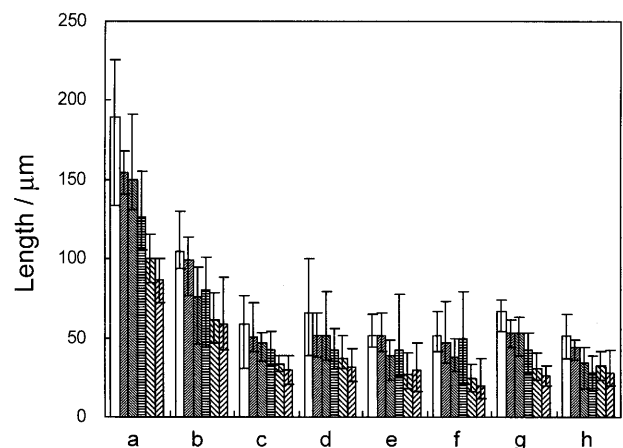


Fig. 7. The mean sizes of trench introduced by a cutter knife by different six persons on a coated steel plate with base coating A only. a-h were shown in Fig. 3.

「一定の速度」で行う。

- ・キズを導入した塗装鋼板への粘着テープの貼り付けは、指先でしっかり貼り付ける。ただし、旧JIS<sup>3)</sup>では消しゴムで擦るとなっていた。
- ・圧着後、測定までの放置時間は5分以内とする。

### 3・2・1 保管および巻き戻し条件

「新しい試験のシリーズを始める際には、粘着テープのリールから2巻きのラップを捨てる」と規定されているのは、粘着テープの最外周は、粘着力が不安定と考えてのことである。著者らの検討では、最外周の部分を使用しても粘着力が不安定になることはなかったが、念のために2巻きのラップを捨てるのが好ましく、この規定にしたがうべきである。

粘着テープのリールからの巻き戻しは、低速で巻き戻す

必要がある。粘着剤は粘弾性体であるために速い速度での巻き戻しでは、後述のように Stick-slip 破壊が起こり、テープ面の平滑性が低下する<sup>4)</sup>。粘着テープを速い速度で巻き戻すと「ビリビリ」と音するのはこのためで、この場合、粘着剤面を見ると縞状の凹凸が見えるはずである。角度も影響する<sup>5)</sup>がそれ以上に速度が重要で、「ビリビリ」と音がしない程度に低速で「一定の速度」とすることが必要である。本研究では、粘着テープリールからの試験テープ片の巻き戻しは180°、600mm/分(10mm/秒)で行った。セロハンテープ1巻きを、30秒で巻き戻す速度に相当する。ビリビリ音の発生はなかった。この程度の巻き戻し速度が適していると考えられる。

圧着後の測定までの放置時間は、5分以内とされている

が、粘着剤は粘弾性体であるので、時間とともに被着体への濡れが進行する。長時間の放置では、粘着力が変化する(高くなる)。圧着後の測定までの放置時間の5分以内は、放置時間の影響がない範囲であり、この条件で行うべきである。

JIS<sup>1)</sup>規定の項目以外に、テープ保管中の湿度も影響する。セロハンテープ(Tape-C)について、シリカゲルを入れて乾燥状態のデシケータ中に24時間保管したものと、水を入れたデシケータ中に同一時間保管して吸湿させたものとを比較した。乾燥させるとピール粘着力が約1割上昇したが、吸湿させるとピール粘着力が約2割低下した(データ省略)。保管時の湿度の管理が必要である。JIS<sup>1)</sup>では、貼り付けも含めて雰囲気は温度 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\pm 5\%$ で試験を行うことが決められている。後述のように試験時の湿度も影響するので、温度や湿度の管理は重要である。

### 3.2.2 圧着条件

Fig. 8には、圧着条件について検討した結果を示した。旧JIS<sup>3)</sup>の消しゴムで十分擦った場合と著者らの基準の圧着条件である2kgの鉄製のローラで5回往復した場合とを比較したが、セロハンテープ(Tape-C)ではピール粘着力に差はほとんどなかった。被着体がSUSとフェノール樹脂でも差がなかった。この図には、十分に界面を密着させた条件として2kgの鉄製のローラで5回往復した後に $80^{\circ}\text{C}$ で2時間加熱処理した結果も示している。JIS<sup>1)</sup>や旧JIS<sup>3)</sup>の圧着条件で十分であり、差はないと思われる。メンディングテープ(Tape-M)は、被着体による差が大きく、この点セロハンテープの方が優れていることが分る。

### 3.2.3 塗装鋼板の表面

基盤目テープはく離試験に用いられる粘着テープは、対象の塗膜表面の化学的性質や表面粗さに影響をあまり受けず、一定のピール粘着力を示すことが必要である。JISでは、幅(25mm)とピール粘着力の値のみが規定されている<sup>1)</sup>が、実際にはセロハンテープが広く用いられている。

Fig. 9には、下地処理AおよびBに、シリカ含有量の異なるアルキッド樹脂メラミン樹脂系およびポリエステル樹脂メラミン樹脂系のポストコートを行った塗装鋼板に対するTape-CおよびTape-Mのピール粘着力を示した。Tape-Cは、すべての塗装鋼板に対して一定の高いピール粘着力を示したが、Tape-Mはこれより低く、しかもアルキッド樹脂メラミン樹脂系とポリエステル樹脂メラミン樹脂系ポストコートで大きく異なっていた。

次に、SUS、フェノール樹脂、PSおよびPMMAをモデル表面として被着体の極性の影響を検討した。SUSはJISのピール粘着力試験の基準(JIS Z0237)であり、プラスチックは2mm厚程度の板状のサンプルが容易に入手できる3種を選んだ。貼り付け前にSUSはトルエンおよびアセトンで洗浄を行い、プラスチックはメタノールで拭いた。表面の水に対する接触角を測定した結果、PS、PMMAおよび

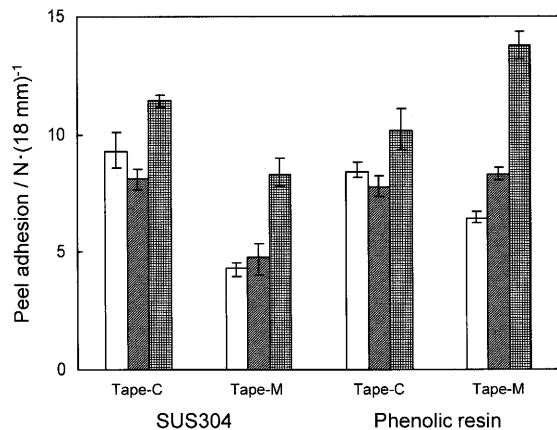


Fig. 8. The influence of pressing method of adhesion test specimen on the peel adhesion for Tape-C and Tape-M. The test specimen was 5 times pressed with 2 kg roller (□), pressed with rubber eraser (■) and 5 times pressed with 2 kg roller and heated at  $80^{\circ}\text{C}$  for 2 h (▨). Adherend: SUS and phenolic resin.

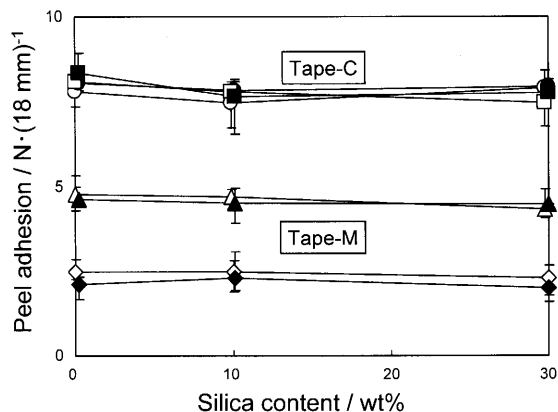


Fig. 9. The peel adhesion for Tape-C (○, ●, □, ■) and Tape-M (△, ▲, ◇, ◆) with coated steel plates with base coating A+post coating (○, △), base coating B+post coating (●, ▲), base coating A+polyester post coating (□, ◇), base coating B+polyester post coating (■, ◆).

フェノール樹脂の各文献値<sup>6)</sup>とほぼ一致していたので、遠山ら<sup>7,8)</sup>にしたがって彼らの $\gamma_c$ 値に基づいてプロットした。彼らが用いていないPSは文献値<sup>9)</sup>に基づいた。被着体への粘着テープの圧着は1~5回行ったが、いずれの被着体および粘着テープともに圧着回数のピール粘着力への影響が見られなかったので、圧着5回の値のみで比較した。

Fig.10には、その結果を示した。Tape-Cは、4種のモデル被着体で差が見られず、ほぼ一定のピール粘着力を示した。Tape-Mは、Tape-Cと同程度であったが、PMMAのみ少し高いピール粘着力を示し、Tape-Cよりは被着体依存性があった。

被着体表面と十分に濡れた系の結果を得るため、 $80^{\circ}\text{C}$ で2時間熱処理した後のピール粘着力を測定した。この結果も参考に図中に示した。加熱の場合も、Tape-Mの方が被着体依存性がより大きかった。

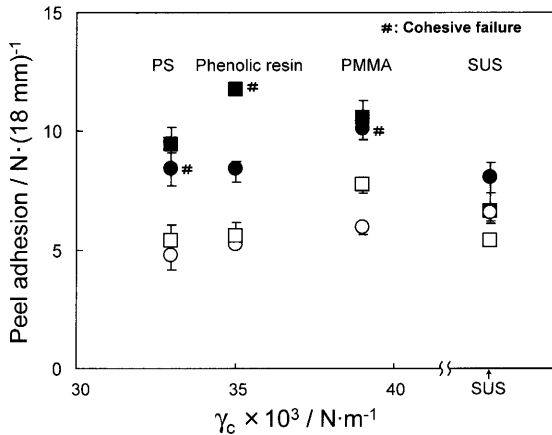


Fig. 10. Relation between peel adhesion and  $\gamma_c$  of adherend for Tape-C (○, ●) and Tape-M (□, ■) without (○, □) and with heating (●, ■, 80°C, 2h) after 5 times pressing.

以上のように、セロハンテープ(Tape-C)は、各種表面に対して比較的安定したピール粘着力を示すことが分った。

ただし、Fig.10で示した十分に界面が密着した条件としての80°Cで2時間加熱処理後の結果は、いずれもピール粘着力が上昇していたので、Tape-Cでも濡れやすい表面に対してはピール粘着力が高くなる可能性を示している。Fig. 9での各種ポストコート表面に対するTape-Cのピール粘着力が、Fig.10と比較して高かったのはこの点が影響している可能性が考えられる。

既報<sup>10)</sup>では、Fig.10の各種被着体表面をサンドペーパーで研磨して表面粗さの影響を検討したが、セロハンテープは表面粗さの影響もほとんど受けずに安定したピール粘着力を示すことが分った。このように、セロハンテープは碁盤目テープはく離試験に最適であることを示しており、旧JIS<sup>3)</sup>のようにセロハン粘着テープをこの試験に指定すべきである。

### 3.3 粘着テープのはく離条件

JIS<sup>1)</sup>で規定されているのは以下である。

- ・温度 23±2°C, 相対湿度 50±5% で試験を行う。
- ・粘着テープのはく離は 0.5~1.0 秒で行う。
- ・はく離角度は 120° (ただし、被着体に完全に貼り付けた状態を 0° として、ここからの開口角として 120°。JIS<sup>1)</sup>では逆角度の 60° と表示)。

#### 3.3.1 はく離速度

Fig.11には、Tape-CおよびTape-MのSUSを被着体とした場合のピール粘着力の速度依存性を示した。はく離速度とともにピール粘着力は上昇した。測定可能範囲内での最も低速の領域では、粘着剤層の破壊である凝集破壊であったが、速度の上昇に伴って両粘着テープともに0.03 mm/秒付近で、粘着剤/被着体界面での破壊、つまり界面破壊に変化した。これらの破壊形態の違いは、試験後の試験片表面の目視観察で確認できる。この変化が起こる速度付近で

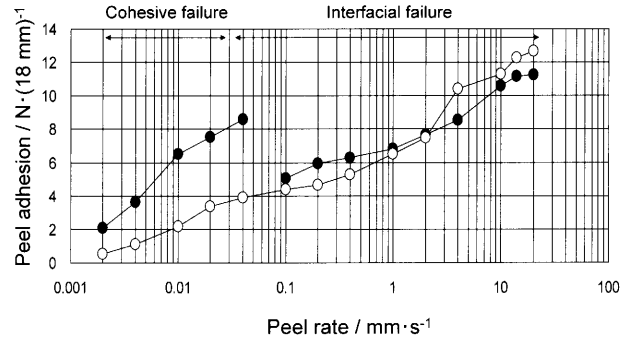


Fig. 11. Peel rate dependence of peel adhesion of Tape-C (○) and Tape-M (●) with SUS as adherend.

Tape-Mはピール粘着力が大きく変化したが、Tape-Cは連続的であった(ただし、0.04 mm/秒では界面破壊であった)。このように速度は、ピール粘着力に大きく影響する。JIS<sup>1)</sup>のはく離速度の0.5~1.0秒は、碁盤目は10mm角であるので、10~20mm/秒である。これは、Fig.11の最も速い速度であり、十分なピール粘着力が得られている速度である。

ところで、ピール粘着力が速度の影響を大きく受けるのは、粘着剤が粘弾性体であるためで、低速度(または高温)では粘性、高速度(または低温)では弾性の性質を示す。つまり、極端な低速度領域では粘性を示して凝集破壊が起こり、これ以上の領域ではゴム状弾性を示して界面破壊が起こる。最も高速の領域ではガラス状となり粘着剤層と基材の界面で破壊が起こる。これらの中間の速度領域では、ガラス状とゴム状の応答を繰り返すいわゆるStick-slip破壊が起こる<sup>4)</sup>。ただし、これらガラス状態での界面破壊やStick-slip破壊の速度領域は、この図の測定可能範囲よりもっと高速側にある。つまり、上述した本研究で行った巻き戻しの速度10mm/秒(600mm/分)は、この図の測定可能範囲内の最も高速の領域であり、「ビリビリ」と音がしてStick-slip破壊が起こる速度は、測定可能範囲外のさらに高速側になる。通常の粘着テープは、一般に使用される速度範囲内で界面破壊が起こるように設計されている。この図で界面破壊が起こる速度範囲は、ゴム状弾性領域である。

本研究では、Fig. 9および10のピール粘着力の評価をJISの基準にしたがって300mm/分(5mm/秒)で行った。Fig.11から、ピール試験の速度と碁盤目試験の速度10~20mm/秒は、ともに界面破壊が起こるゴム状弾性領域であり、絶対値が異なるが傾向は同じはずである。

既報<sup>10)</sup>で、測定時の湿度の影響を明らかにしている。測定時の相対湿度が80%の場合のピール粘着力は、30%の場合の約8割であった。測定時の温度、湿度は厳密に管理する必要がある。

#### 3.3.2 はく離角度

はく離角度のピール粘着力への影響は、Kaelbel<sup>5)</sup>が検討している。角度の増加によってピール粘着力は低下し、135~160°で最小値を示す。彼らのデータに基づくJISの

120°はピール粘着力が低い、比較的安定している角度なので妥当と思われる。

### 3.4 碁盤目試験

以上のキズ導入や粘着テープの条件が碁盤目試験の結果に及ぼす影響を検討したが、いずれも全格子目が残りに、差がなかった。下地処理Bでシリカ粒子0%のポストコートの場合、一部で全格子目が剥がれることがあったが、これも下地処理の一部のロットのみであった。今後、適度な密着性の塗装鋼板で、本報告で検討した因子と碁盤目試験の対応を検討したい。

## 4. 結言

碁盤目テープはく離試験について、その精度に影響する因子について検討した。粘着テープについては、JIS<sup>1)</sup>に規定されている貼り付け方法、放置時間、はく離角度、速度等の有用性を示したが、その他に注意すべき点として粘着テープの巻き戻し速度や試験時や保管時の湿度の影響があることが分った。また、セロハンテープがこの試験の粘着テープとして適していることを明らかにした。ただし、上述のはく離角度の影響に関しては、粘着テープの基材や粘着剤層の厚さも同時に影響している<sup>11)</sup>ので、実際には多くの因子が複雑に影響していることに注意すべきである。カッターナイフによるキズの導入については、JISにしたがえば安定していることが形状の観察から分ったが、JIS

規定の刃の角度には問題があり、導入者の慣れにも配慮する必要がある。本報告で検討した因子と実際の碁盤目試験結果との対応は得られなかったが、これらの因子に配慮すれば、碁盤目テープはく離試験は安定した結果が得られる評価法である。

本論文は、(社)日本鉄鋼協会の研究会「表面処理鋼板の塗膜密着性機構解明および評価方法の確立」(代表者 神戸大学名誉教授 中前勝彦先生、平成15年4月~平成18年3月)で行われた活動の一部をまとめたものである。また、本研究の費用の一部は、(社)日本鉄鋼協会から援助を頂いた。ここに心から感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) JIS K5600.
- 2) Y.Nakamura, K.Fujita, M.Adachi, Y.Kinugawa, T.Iida, M.Sasaki and Y.Urahama: *J. Adhes. Soc. Jpn.*, **41** (2005), 498.
- 3) JIS K5400.
- 4) D.W.Aubrey: *Adhesion*, **8** (1984), 19.
- 5) D.H.Kaelble: *Trans. Soc. Rheol.*, **4** (1960), 45.
- 6) 日本化学会編: 化学便覧 基礎編II (改訂5版), 丸善, 東京, (2004).
- 7) M.Toyama, T.Ito and H.Moriguchi: *J. Appl. Polym. Sci.*, **14** (1970), 2039.
- 8) M.Toyama, Y.Kitazaki and A.Watanabe: *J. Adhes. Soc. Jpn.*, **6** (1970), 356.
- 9) 井本 稔: わかりやすい接着の基礎理論, 高分子刊行会, 京都, (1985).
- 10) Y.Nakamura, K.Fujita, M.Adachi, Y.Tachibana, T.Iida and Y.Urahama: *J. Adhes. Soc. Jpn.*, **42** (2006), 138.
- 11) D. Satas: *Adhes. Age*, **9** (1966), 22.