

応力解析塗料

使用説明書

ストレス マークII

STRESSMARK II



 **株式会社 テック技販**

目 次

1.	まえがき	1 項	
2.	塗料の種類および記号	1 項	
	[1] 応力解析塗料 STRESSMARK II ST		
	[2] 応力解析塗料用アンダーコート STRESSMARK II UC		
	[3] 応力解析塗料用剥離洗浄液 STRESSMARK II RC		
	[4] 応力解析塗料 STRESSMARK II ST と UC の塗装可能面積		
3.	実験手順および用具	2 項	
	3.1 実験手順		
	3.2 用具		
4.	実験方法	3 項	
	4.1 乾燥温湿度条件の調査		
	4.2 塗料グレードの選定		
	[1] 乾燥温湿度条件からの選定		
	[2] ひずみ感度からの選定確認		
	4.3 表面の前処理		
	4.4 塗装方法		
	[1] アンダーコート STRESSMARK II UC		
	[2] 応力解析塗料 STRESSMARK II ST シリーズ		
	4.5 乾燥法		
	4.6 負荷試験法		
	4.7 亀裂模様の検出と記憶		
	4.8 塗膜の後処理		
5.	応力解析塗料を使用する際の注意事項	9 項	
	[1] 塗装時の注意事項		
	[2] 塗料乾燥時の注意事項		
	[3] 負荷時の注意事項		
	<table border="1"><tr><td>付 録</td></tr></table>	付 録	11 項
付 録			
1.	STRESSMARK II ST シリーズ塗膜の亀裂特性	11 項	
	1.1 乾燥過程におけるひずみ感度特性		
	1.2 塗膜の力学モデルと負荷時間特性		
	[1] 力学モデル		
	[2] 負荷速度特性		
	[3] 応力緩和特性と圧縮試験		
	1.3 その他		
	[1] 塗膜の熱膨張係数と空冷増感法		
	[2] 亀裂生成条件		
2.	塗装要項	14 項	
3.	エアゾール缶の取扱注意事項	17 項	
4.	適用実例	18 項	

まえがき

応力解析塗料とは、物体表面の応力解析に用いられる特殊な脆い塗料のことをいい、学術的には“脆性塗料”、通称では“ひずみ塗料”ともいわれています。この塗料を試験面上に塗装し、乾燥・硬化させてから負荷すれば、ある応力レベル以上の塗膜には亀裂が現れ、鮮明な亀裂模様を描きます。この亀裂は引張主応力に垂直で、そのピッチと応力値間には対応性があるので、校正用の試験片（後述、ひずみ感度検定試験片）を用いれば、大略の定量的解析ができます。

したがって、試験物体の危険な高応力箇所を見落とさずに、直接肉眼で全体の応力分布を把握できるので、現場技術者から特に実用的な解析法として注目されています。他のひずみ計、例えば電気抵抗ひずみ計を用いる場合でも、この塗料を併用すれば、まず測定すべきキーポイントと主方向が分かるので、多数のゲージと高価なロゼットゲージ（3軸）を省き、非常に合理的な測定を行うことができます。

応力解析塗料 **STRESSMARK II** は以上の特性を十分に発揮し、特に使用しやすいように製造されたもので、次のような特長を持っております。

- 1) エアゾール（エーロゾル）型ですので、スプレーガンやコンプレッサ等が不要で、簡便に塗装することができます。
- 2) 自然乾燥用ですので、加熱処理が一切不要です。
- 3) ひずみ感度（亀裂を生じるときの最小のひずみ値）が極めて優れ、図 2 に従って適合するグレードのものを選べば 700 から 800 マイクロストrein 前後の感度が容易に得られます。また、負荷時に 5℃ 前後の空冷を行えば、450 から 550 マイクロストrein にすることが可能です。
- 4) 塗装さえできれば、複雑な形状をした構造物や運動体にも応用され、容易に応力解析を行うことができます。
- 5) スプレーガン専用の塗料を別途用意することもできます。

2. 塗料の種類および記号

[1] 応力解析塗料 **STRESSMARK II ST** シリーズ

樹脂ベースの塗料のため、亀裂特性は塗装条件のほかに、乾燥時の温度と湿度に大きく影響されます。一般には温度の影響のほうが大きいので、**STRESSMARK II** では、表 I に示すように、乾燥温度を基準にして 4 グレードのエアゾール（缶）製品を用意しております。

表 1 **STRESSMARK II ST** シリーズの使用基準温湿度

塗装グレード	乾燥基準温度 (℃)	湿度 (R.H %)
STRESSMARK II ST-15	15	50
STRESSMARK II ST-20	20	
STRESSMARK II ST-25	25	

[2] 応力解析塗料用アンダーコート（下塗料）STRESSMARK II UC

上記の STRESSMARK II ST の塗膜は着色しておりますが、透明度が高いため、斜光線を当てれば亀裂模様を肉眼で観察し、写真撮影することができます。しかし、試験体表面の反射率が低かったり、あるいは加工の際の傷痕が著しい場合には記録・観察が困難になります。また、表面の状態が極めて悪いときには亀裂模様が乱れます。そのため、一般には反射率の高いアンダーコート（顔料を含む）が用いられています。

アンダーコート STRESSMARK II UC は、この用途に使用されるもので、試料表面からのひずみ伝達損失が特に小さくなるように工夫されております。

[3] 応力解析塗料用剥離洗浄液 STRESSMARK II RC

この剥離洗浄液 STRESSMARK II RC は、実験終了後、STRESSMARK II ST 及びアンダーコート STRESSMARK II UC を除去するときに用いられます。なお、この製品を塗装面の前処理洗浄液に使用しても差し支えありません。

[4] 応力解析塗料 STRESSMARK II ST と UC の塗装可能面積

- a) 塗装可能面積 STRESSMARK II ST 約 0.5 m²/本 （缶容量 300ml）
 STRESSMARK II UC 約 1.8 m²/本 （缶容量 300ml）

- b) STRESSMARK II - ST 及び UC の標準ノズルは楕円パターンです。円形パターンのスペアノズル 1 個をおつけします。

3. 実験手順および用具

3.1 実験手順

図 1 は応力解析塗料 STRESSMAK II を用いる場合の実験手順をブロック図にまとめたものです。各ブロックの具体的な説明は次の実験方法の項に述べられています。

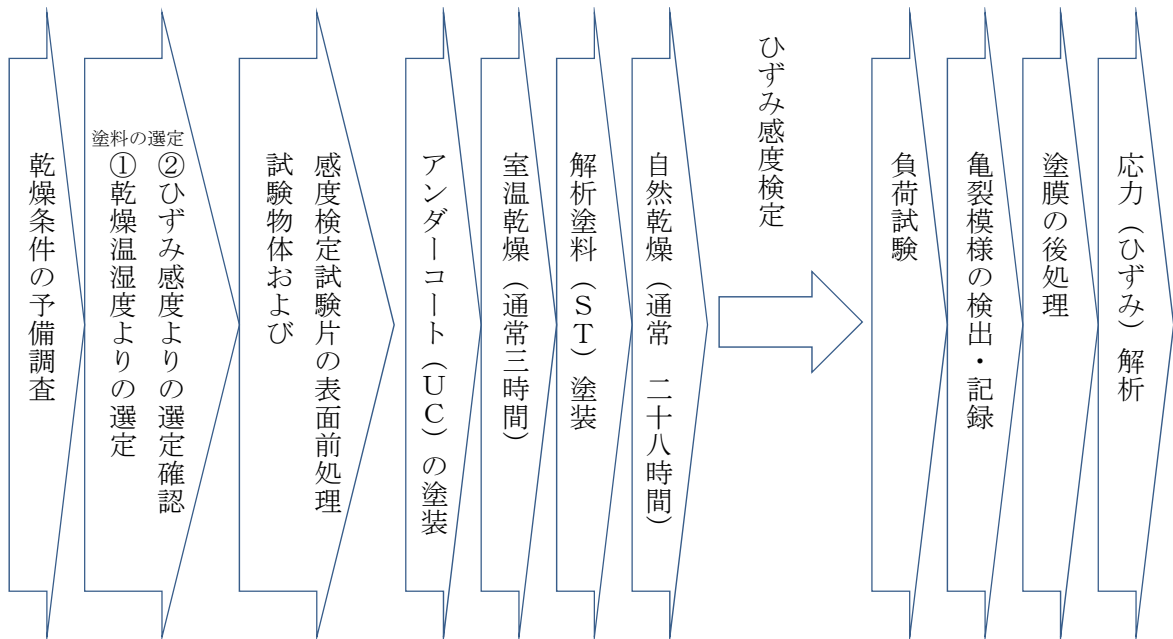


図 1 実験手順

3.2 用具

通常必要と思われる用具は次の通りです。入手法、その他取り扱い等に関しては、弊社の担当者までご連絡願います。

- a) 自記式温湿度計（毛髪、バイメタル型を推奨）
- b) アスマン型通風乾湿計、またはサーミスター静電容量式湿度計
- c) ひずみ感度、検定器*および検定試験片*（後述 4, 5 不可欠品）
- d) スペースヒータ類・・・塗料に定められた温湿度下限値以下になるのを防ぐため、簡易ビニールハウスのようなものを作り、その中で水容器とともに用いられます。冬期の試験には不可欠で、後述する空冷増感を行うときにも必要になります。
- e) カメラ・・・一眼レフカメラ
- f) その他・・・強力懐中電灯または冷光照明装置、チョーク、有機溶剤マスク、保護メガネ、ゴム手袋など。

*弊社販売品

4. 実験方法

4-1 乾燥温湿度条件の調査

応力解析塗料による実験の成否は、塗料の選定と乾燥にあるといわれるほど重要です。

塗料を選定する場合は乾燥時の温湿度が基準になりますので、試験場での両条件をあらかじめ調査しておくことが大切です。

乾燥法の項で述べるように、この STRESSMARK II ST 塗膜の所要乾燥時間はほぼ 28 時間ですので、この間の温湿度変動を記憶する必要があります。一般には、毛髪湿度計とバイメタル式の温度計を組み合わせた自記式温湿度計が用いられますが、毛髪温度計は履歴の影響を受けやすいので、アスマン型通風乾湿計その他でその都度校正してから使用しなければなりません。

4-2 塗料グレード選定

[1] 乾燥温湿度条件からの選定

図 2 は STRESSMARK II ST シリーズの選定用図で、縦軸には乾燥時の温度（室温）を、横軸には相対湿度で図中の各曲線はグレードを表しています。

この選定用図から、乾燥条件に適合する塗料グレードを求める方を説明します。

(例 1) いま、乾燥場所での最低温度が 15℃、そのときの湿度が 50%R.H のときは、図 2 の 15℃と 50%R.H の座標点 A を定め、この点を通る曲線を求めます。すなわち、この場合は ST-15 を選ぶよいことになります。

(例 2) 図 3 の乾燥温湿度曲線例のように、乾燥場所での最低温度が 20.5℃、そのときの湿度が 56% R.H の場合には、図 2 において両者の交点は B 点となります。しかし、ちょうど B 点を通る曲線がありません。このようなときは、B 点のすぐ左側（定温湿度側）に隣接する曲線 ST-20 を選ぶようにします。誤って、右側の曲線 ST-25 を使用すれば、焼割れ（負荷によらないランダム亀裂）を生じる恐れがあるので、注意して下さい。

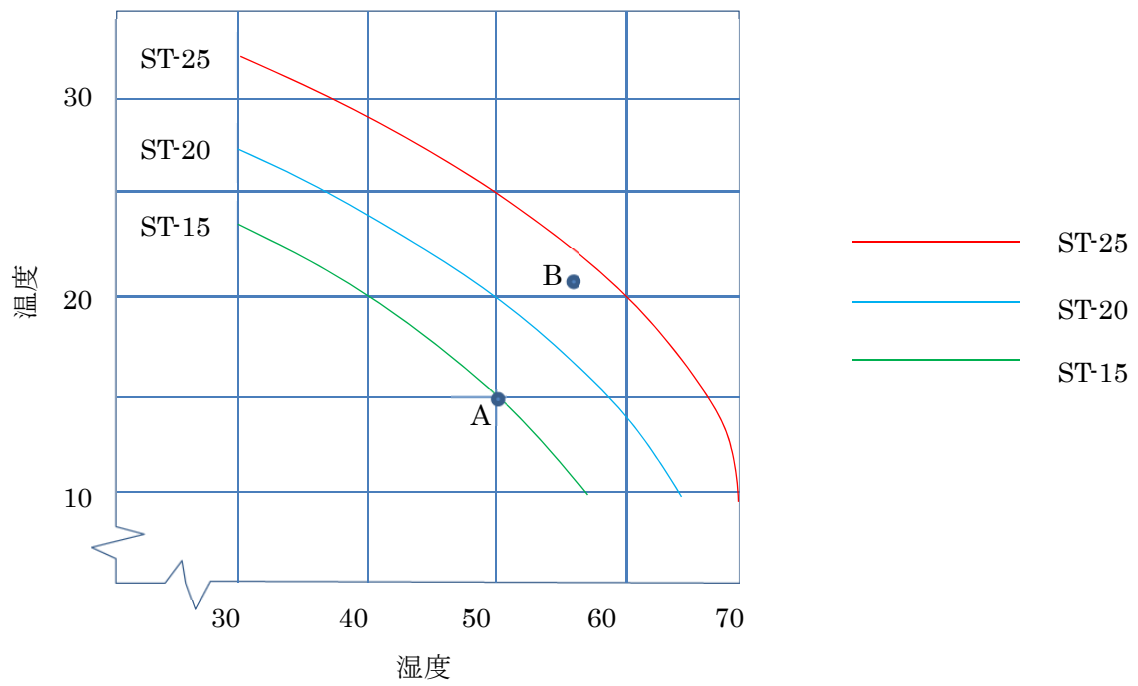


図2 応力解析塗料 STRESSMARKII STシリーズの選定用図

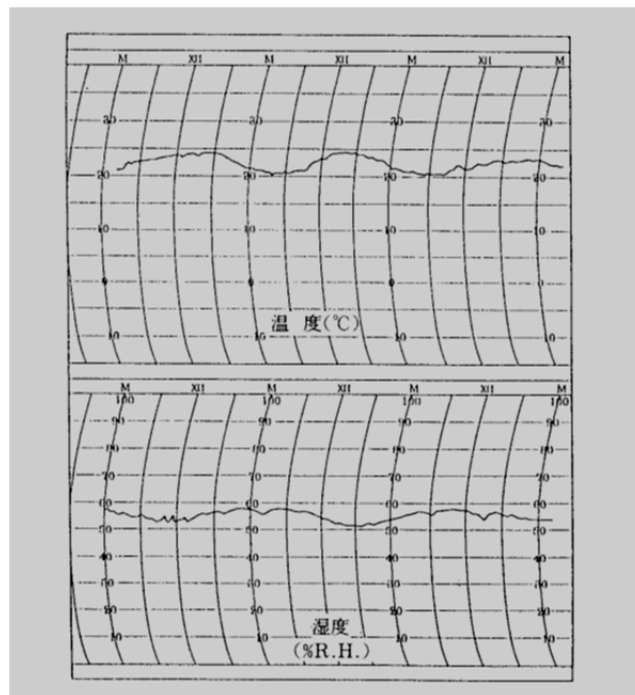


図3 乾燥温湿度記録例

[2] ひずみ感度からの選定確認

上記のようにして選ばれた塗料は一般には乾燥条件を満足するはずですが、しかし、平均風速が約 2cm/s を大きく超える気流中で乾燥した場合には、焼割れを生ずることがあります。また、非常に換気の悪いところではひずみ感度が若干悪化します。そのため、選定図から得られるグレードを中心にして、1 グレード上下の塗料をも同様に検定試験片（後述、4.2）に塗装し、所定の場所で 28 時間乾燥させてから各ひずみ感度を測定します。この予備試験の結果から、実際に適合する塗料を決定するのが最も確実です。

4.3 表面の前処理

試験物体表面の凸凹が著しいときには、塗料がのりにくく、生ずる亀裂模様も乱れます。反面、鏡面のようになめらかにすれば、塗膜は剥離しやすくなります。したがって、プラスティング処理を行うのが理想的ですが、大きな構造物や部材には適用できませんので、一般にはサンダをかけてから、#100 程度のサンドペーパーで軽く仕上げます。じん埃を取り除いてから、トルエン、キシレンのような溶剤で十分に脱脂します。また、現場でシリコン油が付着していると思われるときには、表面状態が良好でも、ペーパーで表層を機械的に除去するほうがよいようです（シリコン油は通常の有機溶剤では脱脂することが難しい）。多孔質材を試験するときには、吸込みを防止するため、あらかじめ下地塗料を塗布する必要があります。

4.4 塗装方法

応力解析塗料は一般の塗料と特性が著しく異なりますので、次の要領に従って塗装することが大切です。なお、この STRESSMARK II はすべてエアゾール型ですので、塗装を中止するときは必ず缶を倒立させ、ガスのみが噴出するまでノズルを押し、塗料がノズル部に凝固するのを防止しなければなりません。

[1] アンダーコート STRESSMARK II UC

この塗料にはマイカチタンその他の顔料が含まれていますので、保存中に顔料が沈降します。缶内にはボールが封入されていますので、使用前にはボールの音がするまで缶を十分に振ることが必要です。

- 1) 塗装面にほぼ垂直にノズル孔を向け、塗装面との距離を約 30~40cm に保ち、一定速度でスプレーします。この時、塗装面が銀白色になるようにして下さい。
- 2) スプレーは 1~2 分おきに 2~3 回重ね塗りします。膜厚は 0.03mm が上限で、これ以上厚くすると試料表面よりのひずみ伝達の損失が増大し、ひずみ感度の悪い応力解析塗料を用いることと同じ結果になります。
- 3) スプレー後そのまま 3 時間程度自然乾燥を行い、硬化させます。

(注意) 大きな物体に塗装する場合は、塗装中でも時々缶を振って、顔料を攪拌するようにすれば、光沢のある膜面が得られます。

[2] 応力解析塗料 STRESSMARK II ST シリーズ

アンダーコート STRESSMARK II UC が硬化してから次の要領で塗装します。ただし、長時間放置したため、STRESSMARK II UC 膜上にじん埃や油分が付着していれば、改めてトルエンで軽く洗浄することが必要です。塗装要領は次の通りです。

- 1) 塗装面にほぼ垂直にノズル孔を向け、塗布面との距離を約 20~30cm に保ち、一定速度でスプレーします。
- 2) 塗膜の標準膜厚 0.09~0.12 mm の範囲に入るように、何回にも分けてスプレーし、重ね塗りをを行います。この場合、膜面が流動しないように注意しなければなりません。個人差はありますが一般には 2~3 分間隔で 10 回程度スプレーします。流動しやすい形状の物体では、上記の時間間隔をさらに大きくとる必要があります。塗膜は光沢があり、ぼやけたり (blushing)、粉末化 (dust coating) すれば失敗です。塗装はこの実験法の基本となりますので、練習することが大切です。末尾の付録にさらに具体的な要領を記しておきますのでご参照下さい。

(注意)

- a) 塗装時の雰囲気を選定した応力解析塗料の適合温度になっていても、試験物体が冷えている場合には、早期に焼割れを生ずることがあります。一般には、上記の適合温度下限値よりも低温状態の物体にスプレーしてはなりません。
- b) エアゾール缶が冷却されている時には霧化しにくいことがあります。このような場合には缶を 25℃程度まで温水で温めてからスプレーして下さい。

4.5 乾燥法

STRESMARK II ST シリーズは自然乾燥用ですので、予備調査の温湿度条件を下回らなければ、そのまま放置し 1 時間を経過させます。気候の変動が激しい時期で、乾燥後 20 時間前に予測された条件より温度で 3℃、湿度で 7%R.H.ほどそれぞれ低下すれば焼割れが生じます。したがって、このような場合にはスペースヒータとバット (水入り) 等で条件を下回らないように調節しなければなりません。時に冬期、屋外試験を行う場合にはシート類を準備し、外気の影響を直接受けないようにする必要があります。

さらにより測定結果を得るためには、温湿度をほぼ一定に保つことができる乾燥室 (現場では、ビニールハウス内でヒータとバットでコントロールする方法がよく利用されます) へ移動し、乾燥することをお勧めします。この場合には、スプレー後 30 分程度放置し、塗膜の流動がなくなってから運搬します。主として冬期の問題ですが、移動の際物体を外気にさらし、急冷することは避けなければなりません。

4.6 負荷試験法

[1] ひずみ感度検定法

ひずみ感度とは単軸応力状態で塗膜に塗膜に亀裂が生ずるときの最小ひずみ値 (被塗装面上での) で表されます。いま塗装した帯状のひずみ感度検定試験片に片持曲げ荷重 W を負荷し、塗膜に図 4 に示すような亀裂が生じたとします。負荷した点より最初の亀裂までの距離を l_0 、試験片の縦弾性係数を E とすれば、その点での試験片表面のひずみは：

$$\varepsilon = 6W l_0 / E b h^2$$

また、先端で δ の変位を与えたときは：

$$\varepsilon = 3/2 (h l_0 / l^3) \delta$$

この ε をひずみ感度はたは亀裂感度 (strain sensitivity) といい、脆い塗膜ほど小さい値を示すこととなります。

塗膜の単位長さ (亀裂に垂直な方向をとる) に生じる亀裂数 N を亀裂密度 (crack density) といい、図示のように、ひずみに対してステップ状に増加したのちに、図示するようになります。この亀裂密度とひずみとの関係を利用すれば、ひずみ範囲を知ることができます。

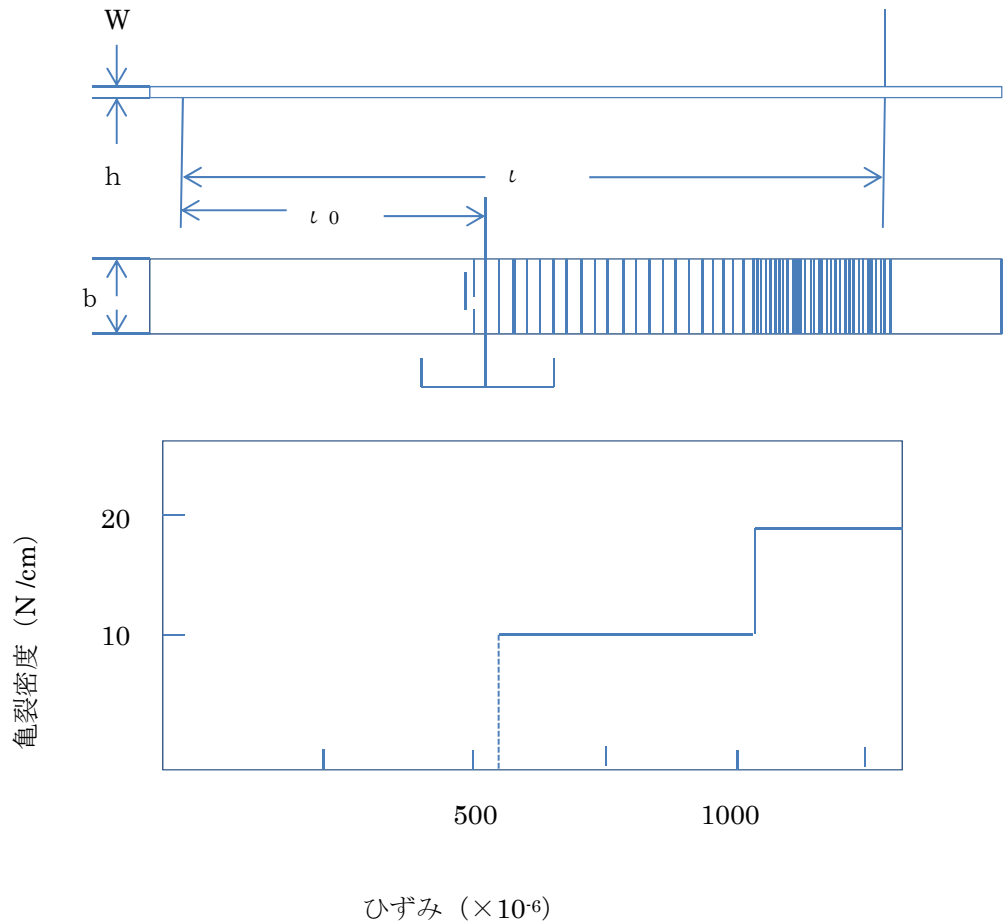


図 4 塗膜のひずみ感度と亀裂密度

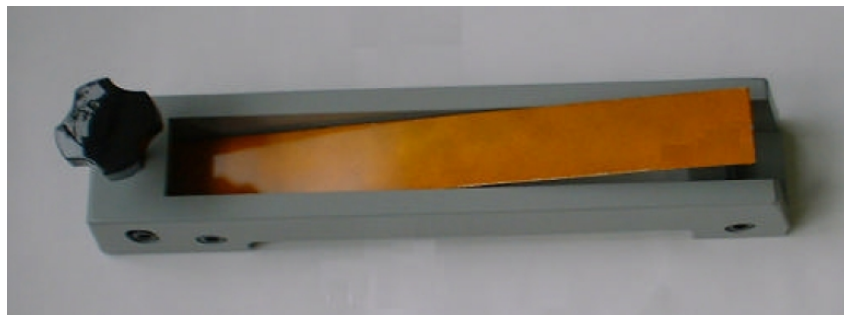


図 5 ひずみ感度検定器

なお、弊社ではひずみ感度検定試験片と感度検定器 (図 5) を製作し、用意しております。

[2] 負荷試験法

乾燥開始後 20 時間程度経過してから、検定試験片でひずみ感度を追跡し、予定した感度になったときに負荷します。付録 1.1 の乾燥過程におけるひずみ感度の項に述べるように、一般には 28 時間乾燥してから、次の形式のいずれかに従って荷重を加えます。負荷形式は解析の目的や試験条件によって異なりますが、

- ① 試験物体に全荷重を一度に負荷する場合
- ② 試験物体に低荷重よりステップ状に逐次負荷を増大する場合

に大別されます。

前者の①は実地試験のように一度の実荷重のみで試験を行い、再負荷が困難なときです。生じた亀裂模様先端をつらねた曲線 (isoentatics) は、上記の検定試験片で求められたひずみ感度の値とほぼ一致します。この曲線の内側領域上のひずみは、亀裂密度からひずみ値をある程度推定することができます。しかし、非常にひずみが高い場合でも、亀裂密度はひずみに対して線形には増大しませんので、あるレベル以上のひずみであることしか知ることができません。このような場合には、要点にひずみゲージを貼り、無負荷にした際の値から求める一方法として考えられます。

②形式は負荷を自由に選べる工場や実験室などで行われます。低荷重より各ステップ負荷ごとに現れるアイソエンタティックス (isoentatics) をチョークなどで描き、後刻、検定試験片のひずみ感度と負荷によりひずみを図 6 に併記するようにして算出します。ただし、塗膜は粘弾性挙動を示すので、ステップ状に負荷を増加する場合には、付図 5 のように、必ず一旦無負荷状態にもどし、負荷していた時間の 3 倍程度経過させてから、次のレベルまで負荷を一気に増大しなければなりません。

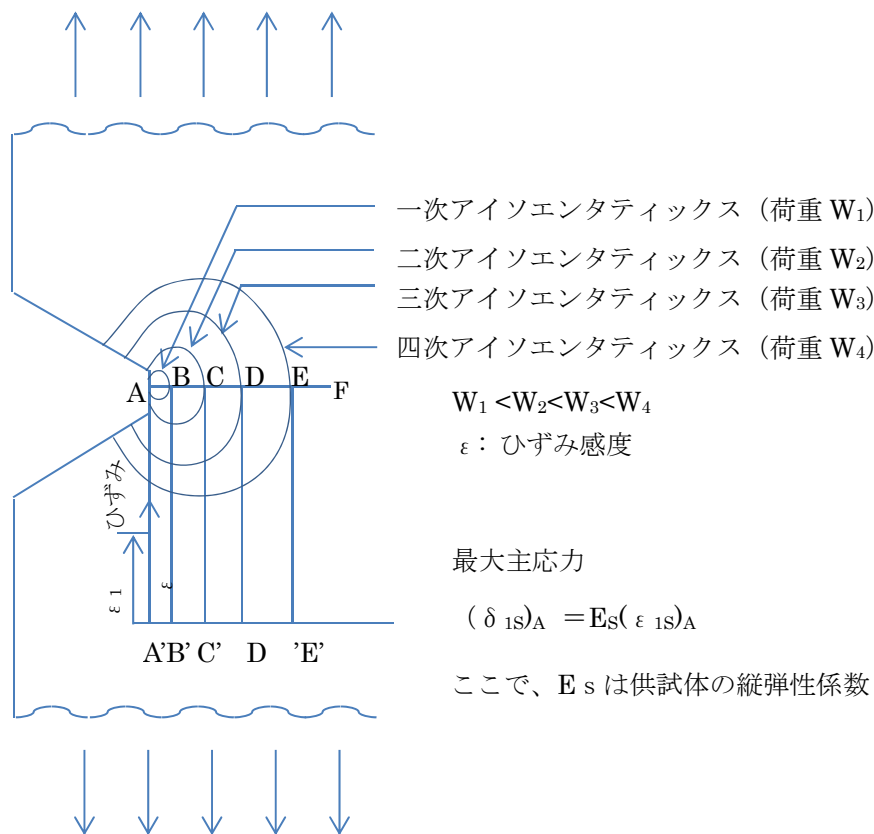


図 6 アイソエンタティックスと負荷よりのひずみ算出法

さらに負荷する際に注意しなければならない点について述べますと、

- (a) 負荷時の温度ですが、付録 1.4 で説明しますように、この塗膜の熱膨張係数は通常の金属材料より 1 桁大きくなっています。したがって、最終の乾燥温度より高い雰囲気では負荷することは絶対に避けなければなりません。負荷時の試験温度を人為的にわずかにでも下げられる場合は問題になりませんが、低下できない状態のときは、温度の低い時間帯に負荷できるように、塗装する時刻を工夫する必要があります。
- (b) 負荷保持時間ですが、引張領域のみの亀裂模様を求めるときには、2~3 分以上とるほうが無難です（付録 1.3 を参照）。短時間にすると、乾燥が不十分であったり、膜温が上昇する場合には、一旦生じた亀裂が閉じることがあります。
- (c) 圧縮領域の亀裂模様をも観察する場合には、負荷保持時間をできるだけ長く（通常は 1 時間以上）とり、緩和させる必要があります。（付録 1.3 を参照）。
- (d) さらに鋭敏なひずみ感度が必要なときには、空冷増感法を応用することを推奨します。（付録 1.3 を参照）

4.7 亀裂模様の検出と記録

この STRESSMARK II ST シリーズ塗膜は透明ですので、斜光線を当てれば鮮明な亀裂模様が観察されます。光源に通常の写真電球を用いると塗膜が加熱され、亀裂が閉じてしまう恐れがあります。したがって、亀裂を検出するときには、電池式の携帯ランプか、または冷光照明装置を使用する必要があります。この塗膜は光沢がありますので、写真撮影をする場合はやわらかい光線でむらなく照らし、深い絞りにして偏光フィルタをかけるのが“こつ”です。

4.8 塗膜の後処理

STRESSMARK II ST 塗膜を除去する場合には、物体表面に損傷を与えないように、一般には竹べら類でこすり、剥離させます。多少傷ついても差し支えないときは、ワイヤブラシを用います。その後、トルエンやキシレンを含ませた布で拭き取ります。この方法は、最初から溶剤で洗浄するよりも大変効果的です。

STRESSMARK II UC については、剥離洗浄液 STRESSMARK II RC をスプレーし、直ちに布で吹けば容易に取り除くことができます。

（注記）本品の取扱い方法、試験方法について不明の点がありましたら、弊社の担当者までお問い合わせ願います。

5 応力解析塗料を使用する際の注意事項

[1] 塗装時の注意事項

- (1) 試験物体は、前もって十分脱脂洗浄しておくこと。
- (2) STRESSMARK II UC は、ST シリーズ塗膜に入った亀裂を見やすくするための塗料ですので、試験物体全体がほぼ均一に銀白色になるように注意して下さい。また、顔料入り塗料ですので、スプレーする前に良く振ってから使用して下さい。
- (3) STRESSMARK II ST シリーズを塗装するときは、その間隔を 2~3 分とり、再びその上に重ね塗りをするようにして下さい。通常 10 回程度重ね塗りすると、標準の塗膜厚 0.1 mm 前後となります。なお、重ね塗りの時間を縮めると、平滑な膜面が得られません。

[2] 塗料乾燥時の注意事項

- (1) 一例としてあげれば、STRESSMARK II ST-20 は、20℃、50%R.H.で乾燥負荷される場合を基準にした塗料です。
- (2) 塗膜にとって基準よりも温度及び湿度が下がることは、膜内に過大な張力が生じ、“焼割れ”を起こします。このため乾燥時は、基準の温度湿度下限値よりも常に高い条件で乾燥して下さい。突発的な原因で乾燥温度の調整が不可能になった場合には、湿度でコントロールして下さい。乾燥温度 4℃の変化は、湿度約 10%R.H. の変動に相当します。例えば、5℃だけ温度が低下したときには約 13%加湿すればよいことになります。
- (3) 乾燥時はなるべく無風に近い条件 (2cm/s 以下) で乾燥して下さい。風速が大きくなれば、塗膜表層のみが早く乾燥し、膜内部との間に過大な張力が発生するため“焼割れ”が生じます。
- (4) 焼割れを防ぐには、簡易のビニールハウス内で外気と遮断するようにして乾燥すればよいです。このようにして乾燥すると、たとえ外気温度が下がってもヒータで容易に加熱できますので適切な乾燥を行うことができます。

[3] 負荷時の注意事項

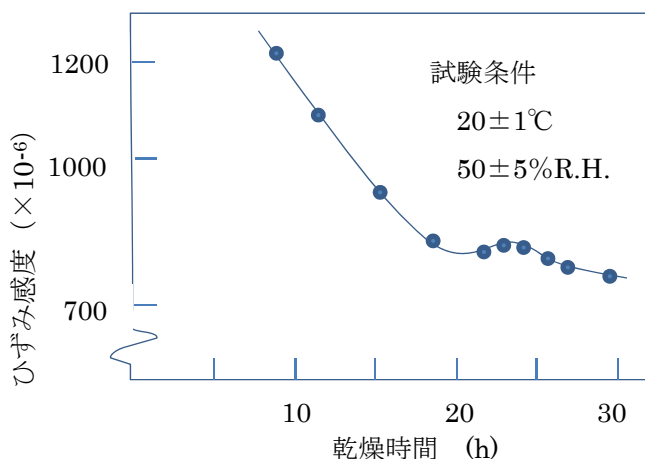
- (1) 塗膜の線膨張係数は通常の金属材料に比べて一桁大きいので (付録の 1.4 を参照)、負荷直前に供試体を最終乾燥温度よりも 5℃位冷却すると、試供体よりも塗膜の方がより大きく縮もうと、引張応力が発生します。そのため、より小さなひずみで亀裂を入れることができます。
- (2) 負荷時の温度が乾燥時の温度よりも 10℃以上低い場合には、低ひずみ領域に焼割れを生ずることがありますが、高応力領域の解析時にはほとんど差し支えありません。

1 STRESSMARKII ST シリーズ塗膜の亀裂特性

実験解析を正しく進める場合には、ST シリーズ塗膜の亀裂特性をある程度理解しておくことが大切です。次に主要な特性について概略を説明します。

1.1 乾燥過程におけるひずみ感度

付図 1 は ST-20 の感度特性を示す一例で、恒温恒湿室 ($20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $50 \pm 5\% \text{R.H}$) 内で 0.10 mm の膜厚にして試験した結果です。乾燥時間とともにひずみ感度は良好になるが、 $20 \sim 24$ 近傍で過渡的に感度が悪化することが分かります。したがって、この時間帯を避けて 28 時間以降に負荷するようにして下さい。なお、この時間帯は膜厚とともに右側に移動するので特別な場合以外は、 0.12 mm 以上の膜厚にしないようにすべきです。

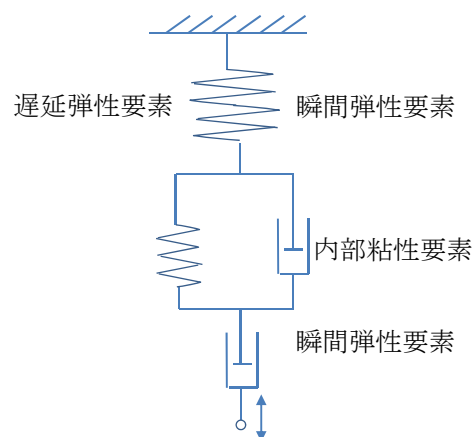


付図 1 乾燥過程におけるひずみ感度特性

1.2 塗膜の力学モデルと負荷時間特性

[1] 力学モデル

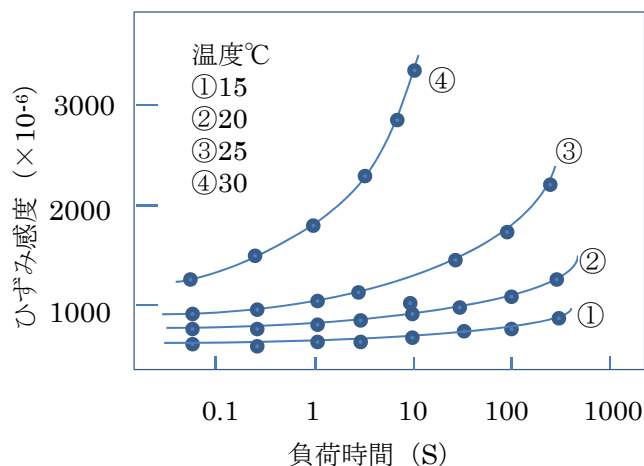
この塗膜は非常に脆い性質をもっているが、樹脂ベース成分であるため、粘弾性挙動を示します。付図 2 はこの塗膜の力学モデルを表すもので、通常四要素モデルと呼ばれています。一般の金属材料ではばね要素のみですが、塗膜には粘性要素(ダッシュポット)が含まれているので、亀裂特性は時間や温度に大きく支配されることが分かります。



付図 2 塗膜の力学モデル

[2] 負荷速度特性

付図 3 はひずみ感度と負荷時間の関係を示す図です。ST-15 塗料を 15°C 、 $50\% \text{R.H.}$ で乾燥したのち、負荷時間を変えながら、各試験温度で測定しています。適合条件で乾燥、負荷し、感度が良好なときは、負荷時間が 10 秒程度までほぼ一定です。しかし、感度が悪い場合は負荷時間によって顕著に悪化するので、注意して下さい。



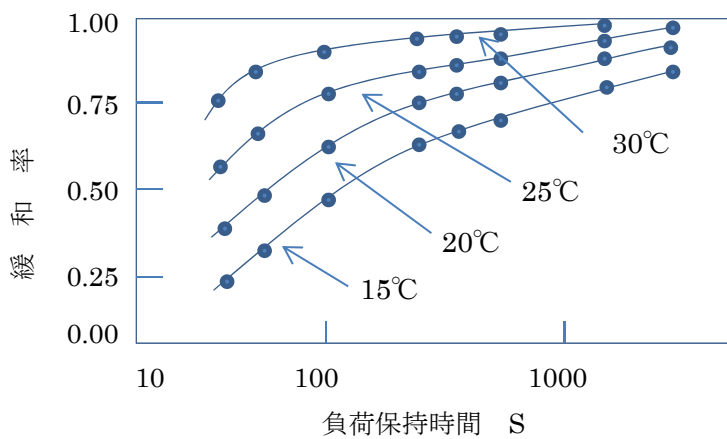
付図 3 塗膜の負荷速度特性

[3] 応力緩和特性と圧縮試験

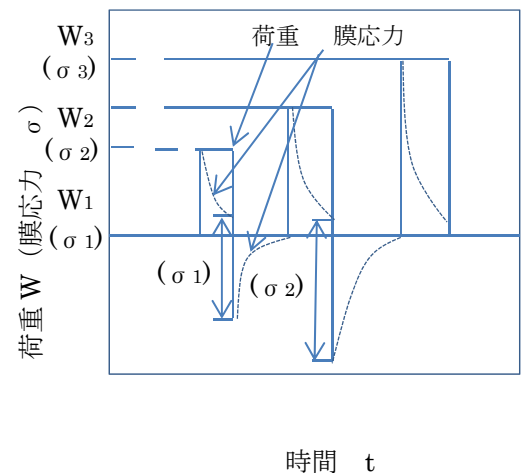
この塗膜の粘弾性挙動は使用上一見不利に思われますが、圧縮ひずみを測定する場合には大変有用です。すなわち、圧縮ひずみを受けたままの塗膜は、剥離しない限り、時間とともに応力緩和 (relaxation) を起こします。したがって、緩和が十分進んでから無負荷にすれば、膜内には反転した引張応力が作用して亀裂を生じます。緩和が完了するのに要する時間は試験温度や塗膜の乾燥状態によって大いに異なります。

付図 4 は、この緩和特性を示す一例で、ST-15 の塗膜を試験した結果です。ここでの緩和率は引張時のひずみ感度と緩和時の感度との比で表しています。試験温度に適合する塗膜では約 90% 緩和させるのに 2.5 時間ほど圧縮荷重を負荷し続ける必要があります。

付図 5 はステップ状負荷方式を示しています。金属試料に作用している負荷レベルは一定でも、塗膜の応力は緩和しますので、次のレベルまで負荷を増大させるときには、必ず一旦無負荷に戻し、十分に緩和してから一気に増加させる必要があります。



付図 4 塗膜の緩和特性



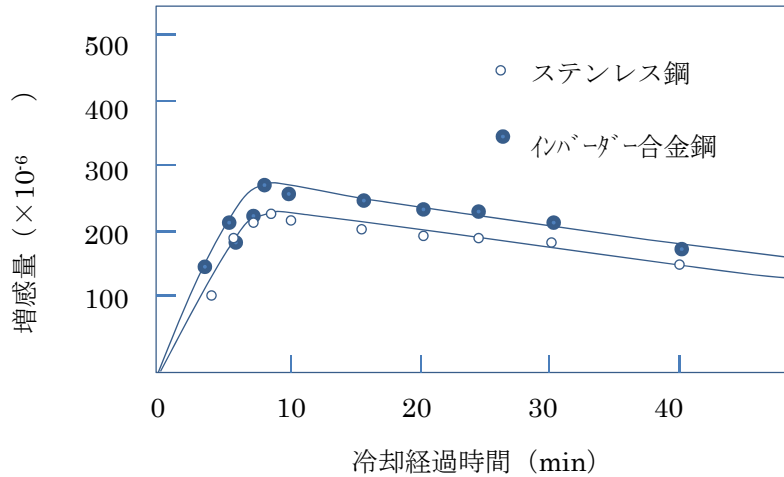
付図 5 ステップ状負荷増方式

1.3 その他

[1] 塗膜の熱膨張係数と空冷増感法

塗膜の乾燥状態によって異なりますが、乾燥が十分進めば、室温では $1.5 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 前後の線膨張係数を示します。この値は通常の金属材料に比べて 1 桁大きくなっています。そのため、乾燥中の温度よりわずかでも高い雰囲気では負荷すれば、塗膜には圧縮応力が作用しますので、著しくひずみ感度が悪化します。試験物体の熱容量にもよりますが、 3°C ほど高温側で測定する場合には、通常 150 マイクロストレインほど感度が失われます。したがって、最終の乾燥温度よりも高温側で負荷することは絶対に避けなければなりません。

空冷増感法は、上記と反対に、 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ ほど低温の雰囲気にして負荷試験をする方法です。付図 6 は検定試験片 (ステンレス鋼、インバー合金鋼、厚さ 2 mm) 用い、 5°C の空冷を行った場合の増感効果を示しています。空冷開始後 10 分弱で負荷すれば、250 マイクロストレインほど鋭敏な感度が得られることが分かります。さらに冷却温度を大きくすれば、増感効果は顕著になりますが、不測の要素が加わりますので、あまり好ましくはありません。



付図 6 空冷増感効果

[2] 亀裂生成条件

構造物の表面は通常平面応力状態になりますので、単軸応力のとときと亀裂生成の条件がどう違うかをみてみます。

σ_{1S} 、 σ_{2S} を試験物体表面の主応力 ($\sigma_{1S} > \sigma_{2S}$) に、 δ_0 を単軸応力 ($\sigma_{2S} = 0$) とします。なお、この δ_0 は検定試験片上のひずみ感度 ϵ とその縦弾性係数 E の積と一致します。このとき鉄鋼材料上の塗膜に生ずる亀裂生成の条件は付図 7 で与えられます。すなわち、

- 領域 MNQRP ではピッチ 1mm の亀裂が主方向 (σ_{1S}) に垂直を生じます。
- 領域 PRT ではピッチ 0.5 mm の亀裂が主方向 (σ_{1S}) に垂直に発生します。
- 領域 SQRT ではピッチ 1 mm の亀裂が各主方向 (σ_{1S} 、 σ_{2S}) に垂直。すなわち直交亀裂となって出現します。

この図の特性から、 σ_{2S} が正ならば、 σ_0 より小さな応力で亀裂が生じ、負であればその反対になることが分かります。しかし、その差異は、一時亀裂では δ_{1S} に対して最大でも 10% 台ですので、一般には余り神経質になる必要はありません。

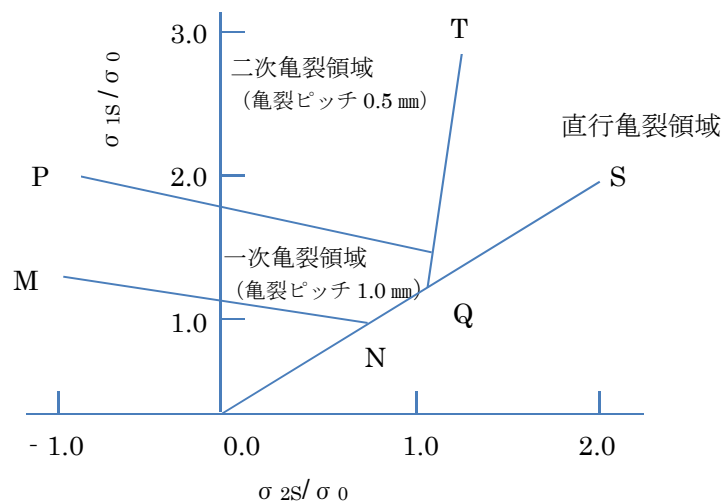


図 7 塗膜亀裂の生成条線図

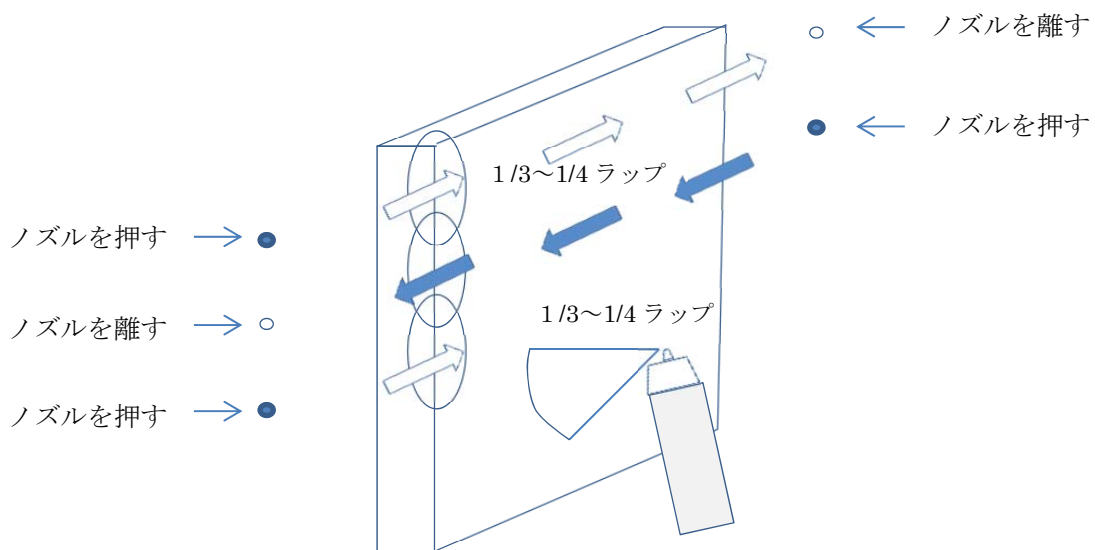
またこのほか、二次亀裂や直交亀裂が現れるところは、高い応力状態にあることが了承されます。

なお、特異点近傍 ($\sigma_{1S} \approx \sigma_{2S}$) では、不規則な亀裂模様を呈しますので、解析に際しては、焼割れと見誤らないように注意して下さい。

2 塗装要項

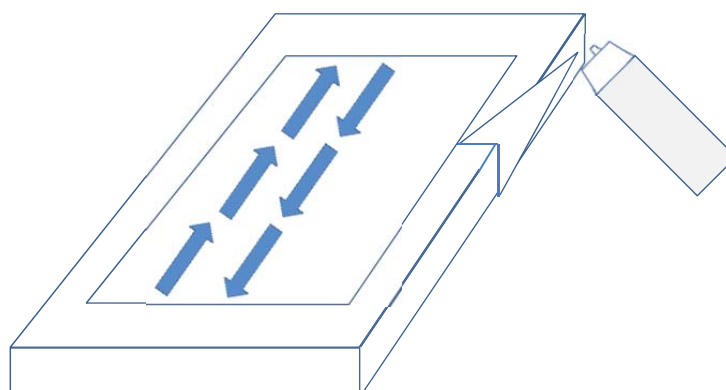
通常みられる基本的な形状を例にとって、具体的な塗装方法を説明します。

付図 8 は広い部分をスプレーする場合の例です。缶を往復させてパターンを 1/3~1/4 を塗りかさねるようにします。塗装対象物の直前でノズルを押し、終点で離します。ノズルを押し続けると塗料を浪費し、dust coating の原因になるばかりでなく、疲労が著しくなります。



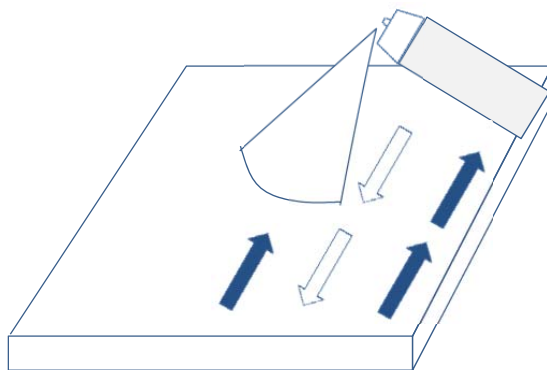
付図 8 パターンのラップとノズルの開閉

付図 9 は角や縁のある場合で、まずノズルの中心を稜線に向けてスプレーし、ついで平面部を塗ります。



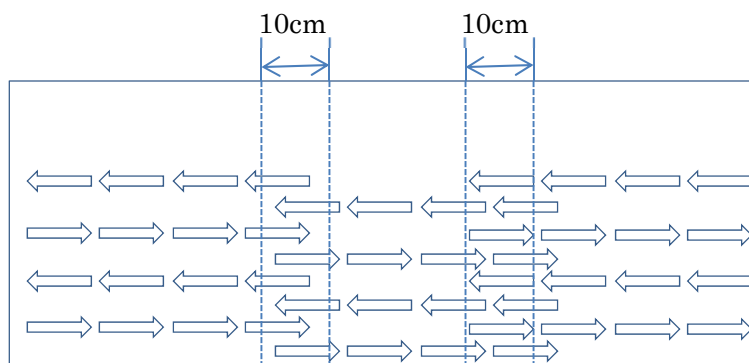
付図 9 縁のある物体へのスプレー

付図 10 は、平面部を塗るときには、手前のほうからスプレーする要領を示しています。このようにすれば、オーバースプレーによる膜面の荒れを防止することができます。



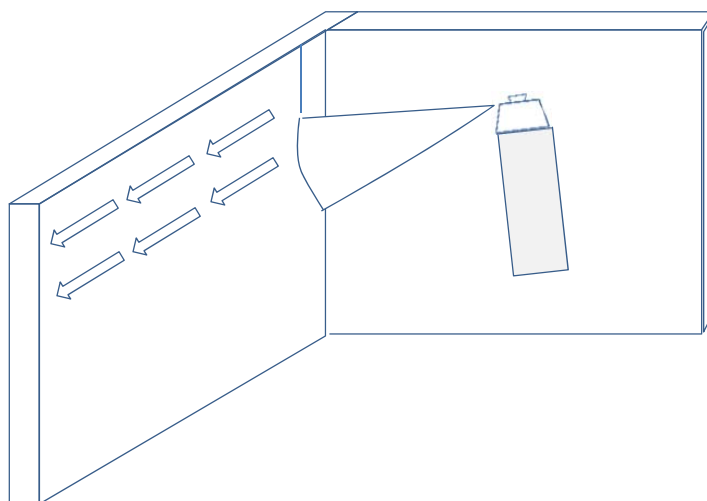
付図 10 オーバースプレーを考えた塗装順序

付図 11 は、塗装面が広い場合での例で、まず塗装面をいくつかのブロックに分け、各塗り端を 10cm 程度ラップするようにスプレーします。



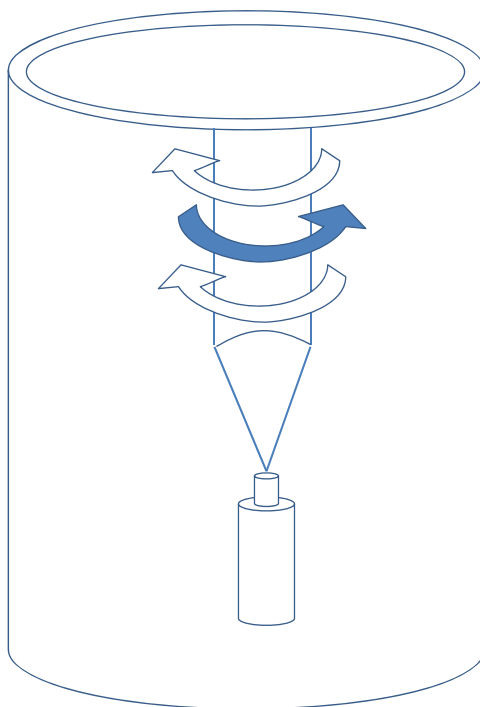
付図 11 広い部分のスプレー法

付図 12 は、内壁面を塗装する場合です。最初にすみに沿って片側の面を帯状に縦塗ることを示しています。



付図 12 内壁面のスプレー法

付図 13 は、円筒面への塗装例です。物体を交互に回転させてスプレーすればよいことを表しています。このほか、複雑な形状をした構造物に塗装する際には、オーバースプレーによって **dust coating** にならないように、塗装順序を考える必要があります。また、スプレー中は、しばしばノズル口を溶剤で洗浄するよう心掛けて下さい。



付図 13 円筒面へのスプレー法

3 エアゾール缶の取扱注意事項

次のことをそれぞれ厳守してください。

(1) 貯蔵上の注意

- ✧ 直射日光に当てないで下さい。
- ✧ 温度 40℃以上になるところには置かないで下さい。缶が破裂する危険があります。
- ✧ 高い湿度雰囲気や酸、アルカリ、水銀等と接触する可能性のある場所に保管しないで下さい。缶が腐食し、破裂する恐れがあります。
- ✧ 本エアゾール製品の使用可能期間は出荷日から 2 年までです。この期間を過ぎた製品はガス抜き後廃棄して下さい。

(2) 使用上の注意

- ✧ 本製品は応力解析用の特殊塗料です。応力解析用途以外には使用しないで下さい。
- ✧ 本製品は有機溶剤、可燃性ガスを充填しています。そのため、通気のない閉め切った場所では使用しないで下さい。作業に支障のない程度に窓を開けて換気して下さい。なお、使用時は必ず有機溶剤マスク、保護眼鏡、保護手袋を着用して下さい。また、火気のある場所では絶対に使用しないで下さい。
- ✧ エアゾール液が皮膚に付かないように注意して下さい。皮膚に付いた場合は直ちに石鹼水で良く洗い落して下さい。
- ✧ エアゾール液が目に入らないように注意して下さい。万一エアゾール液が目に入った場合には直ちに大量の水で目を良く洗い、医師の診断を受けて下さい。
- ✧ エアゾール缶を廃棄する場合は、必ず缶に穴を開けて、ガスを抜いてから廃棄して下さい。そのまま投棄しますと、缶が破裂する危険があります。
- ✧ エアゾール缶をガス抜きせず投棄して起こった事故については、使用者の責任となりますので特にご注意下さい。
- ✧ 冬期、夏期は気温の変化により、噴霧状態が異なるため、気温の変化に応じて試験品とエアゾールのノズルの距離を適宜に変えて、微粒子が均一にスプレーできるようにする必要があります。また、使用せずに長く放置しておくと、次第に缶の下部へ成分が沈降します。したがって特に UC では使用に際して前もってよく振り、均質になるように懸濁させることが必要です。
- ✧ 缶の温度が 15℃以下の時は、25℃前後の温水で温めてから使用して下さい。
- ✧ 使用后ノズル口の内部に残った溶剤が揮発して、固形成分がノズル口を凝着することがあります。このような場合にはノズル口を細い針で開口して下さい。使用后缶を逆さにしてボタンを押し、液が噴出されなくなったところで止めますと、詰まりを防ぐことができます。
- ✧ エアゾール製品は構造上噴射のときはノズル部を上にして使用することになっています。横または逆さにして長時間噴射すると、缶内のガスを多量に放出し、その後の噴射圧が低下するため、使用できなくなることがあります。十分に注意して下さい。

■ 適用例

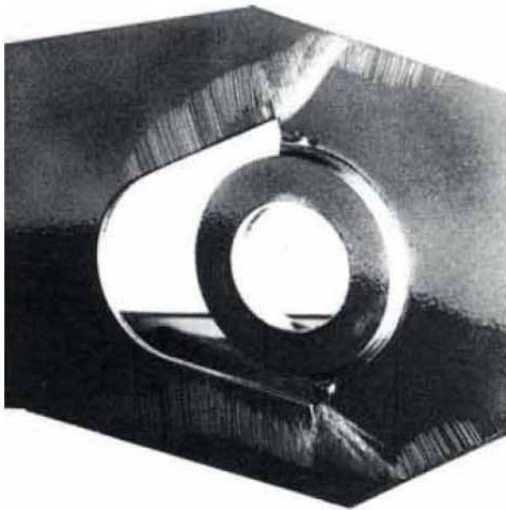
実験時に得られた二・三の亀裂模様例を次に示します。

図 (a) は、エンジン隔壁モデルに静的張力を負荷したときの亀裂群です。

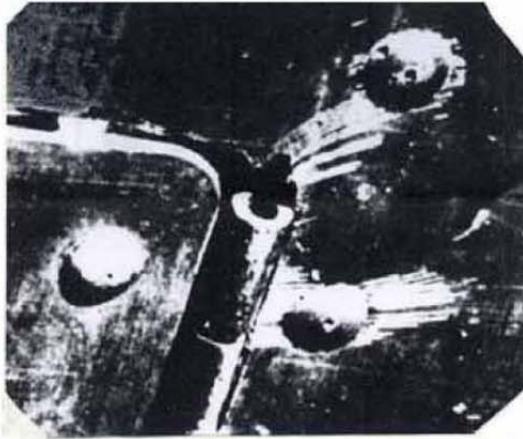
予想外のところにも亀裂が生じます。

図 (b) は、航空実機（翼長約 33m）が高度約 1,600m で急旋回したときの亀裂模様で、翼下面の開口部近傍を示しています。

図 (c) は、表層内部に空か欠陥（楕円体）がある素材を引張ったときの亀裂模様です。表面亀裂の乱れから、非破裂検査にも応用できることが分かります。



(a)



(b)



(c)

図4 塗膜亀裂の写真例

販売元

〒611-0033



京都府宇治市大久保町西の端 1 番 22

TEL : 0774-48-2334

FAX:0774-48-2242