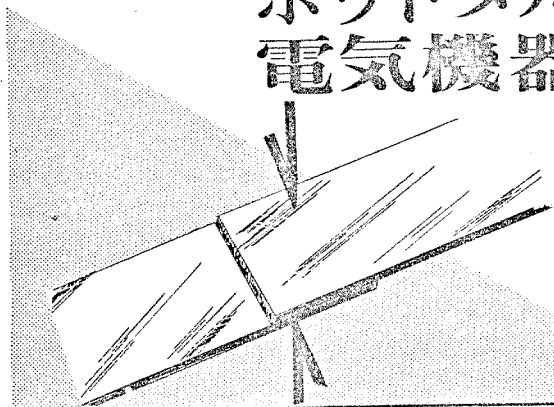


ホットメルト接着剤の電気機器への適用評価



島本幸三*
宮尾国彦**
原垣孝康***

ホットメルト接着剤の電気機器への適用例はワイヤー類の結束、コイル類の固定・絶縁、テレビジョン偏向ヨークの接合などが代表的なもので、ホットメルトシステムとしての採用はほとんどなされていないのが現状である^{1,2)}。しかし、多種多様の接着剤を使用している電気機器、とくに家庭電気品においては、設計の簡略化、加工プロセスの省力化・自動化などによる生産性の改善が重要な課題である。これらの要求を満たすものとしてホットメルト接着剤が脚光を浴びてきつつある。

以上のような背景から、筆者らはホットメルト接着剤のテレビやスピーカ用木製キャビネットの自動組み立てへの適用の可能性を検討した。ここでは、市販の代表的な接着剤を選び、キャビネットに要求される接着強度、生産プロセスにおける作業性、使用環境における耐久性の評価結果をまとめ、その一端を紹介する。

実 験

1. 供試ホットメルト接着剤

最近、いろいろな種類のホットメルト接着剤が市販されているが、そのうち木製キャビネットに適用可能と考えられる表1に示すものを選んで評価した。なお、試料⑥はゴム系溶剤形であり、試料⑦は酢酸ビニル系エマルジョン形接着剤である。これらは従来から木工関係に多用されているので比較参考のために加えた。

2. 供試被着材

被着材は衝撃試験、L形圧縮試験にパーティクルボードを、他の試験にはすべて塩ビ合板(塩化ビニル化粧3プライ合板 5.5t)を用いた。

* 三菱電機(株)商品研究所主任研究員
** " " 研究員
*** " " 生産研究部研究員

3. 試験片および評価試験方法

各試験片の寸法形状は図1のとおりであり、それぞれの接着強度測定条件をつぎに示す。

(1) 引張りせん断試験

測定温度: 室温, 引張り速度: 5 mm/min

(2) 曲げ試験

測定温度: 室温, 引張り速度: 10 mm/min, 支点間距離

表1 試 料

試料	内 容	軟化点	溶融率(%)
A	EVAベース, 低粘度タイプ	90~96℃	160~180℃
B	EVAベース, 高粘度タイプ	100~106℃	180~220℃
C	ポリアミドベース, 低粘度タイプ	165~180℃	180~200℃
D	反応タイプ	70℃	110~120℃
E	クロロフレンゴム, 溶剤タイプ	不揮発分20%	-
F	酢酸ビニル, エマルジョンタイプ	不揮発分55%	-

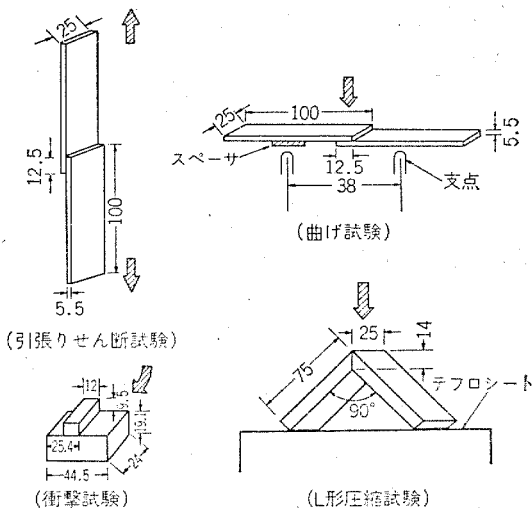


図1 試験片の形状と試験法

離：38 mm，支点先端半径：4 mm

(3) L形圧縮試験

測定温度：室温，圧縮速度：10 mm/min，試験片先端と治具の間には摩擦を少なくするためにテフロンシートを使用した。

(4) 衝撃試験

測定温度：室温，衝撃速度：3.3 m/sec

4. 結果と考察

i) 作業性（接着条件）

ホットメルト接着法は固形物を加熱溶融して被着物に塗布し，素早く貼り合せて冷却することから，その作業環境条件と各接着剤の最適接着仕様を十分把握しなければ所期の接着強度は得られない。

ホットメルト接着剤の接着強度に関与する要因には，接着剤の溶融温度，溶融粘度，オープンアセンブリータイム（オープンタイム），被着材温度，圧縮圧力，塗布量などがあり，これらが互いに関連し合って複雑に影響する。そこで，これらの要因が接着強度や接着剤層の厚さに及ぼす影響について以下に検討した。

(1) 溶融粘度の温度依存性

代表的なホットメルト接着剤である低粘度 EVA（試料④），高粘度 EVA（試料⑤），低粘度ポリアミド（試料⑥）について，各温度における粘度をB形粘度計で測定し，図2の結果を得た。

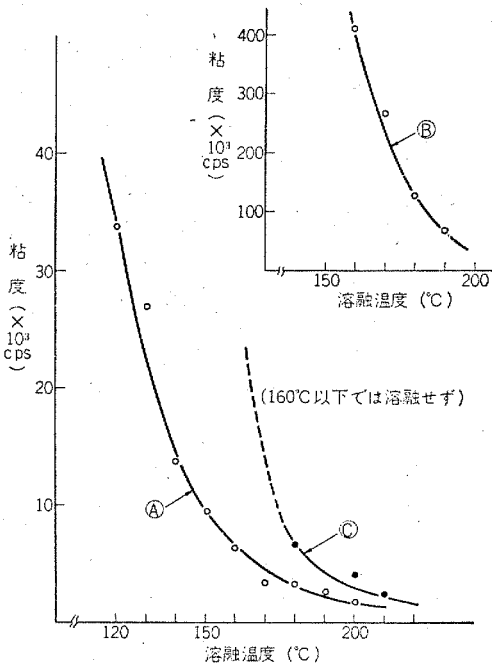


図2. 溶融粘度の温度依存性

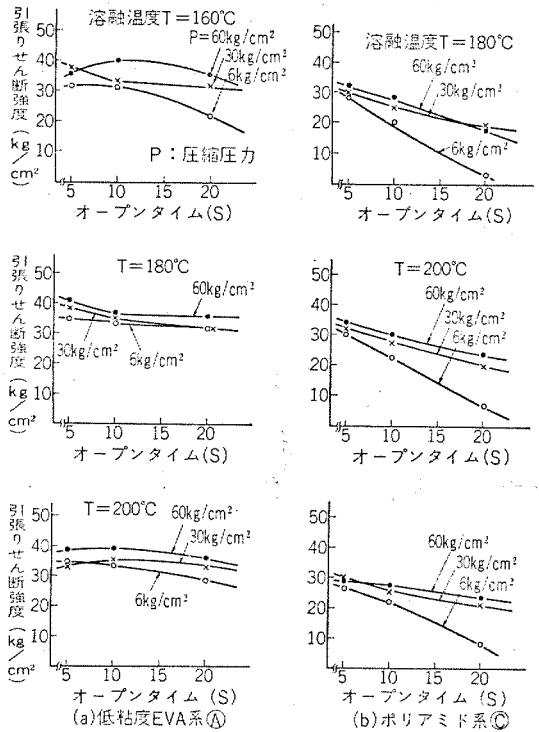


図3. ホットメルト接着剤の作業性（I）

図のように，低粘度 EVA ④は 160°C まではシャープな粘度変化を示すが，160°C を超えるとその変化は比較的緩やかとなる。高粘度 EVA ⑤は測定温度全域でわずかな温度差でも粘度は大きく変化する。また，ポリアミド⑥は 160°C 以下では溶融しないが，160°C を越えると急激に溶け始め，低粘度 EVA ④とはほぼ同ような粘度変化を示す。このように，3種類の接着剤は三者三様の特性を呈示する。とくに，温度に敏感で鋭い軟化点を有する低分子量のポリアミド系ホットメルト接着剤は被着材に対する濡れが良好であり，硬化も速いといわれている³⁾。

ホットメルト接着剤の温度管理，アプリケーションの使いやすさやコストの観点からは低融点で低粘度のものが有利である。しかし，適用に当たっては各特性や温度～粘度特性などを十分考慮して接着剤とアプリケーションを選定しなければならない。

(2) オープンタイム・圧縮圧力・溶融温度

オープンタイムは組み立てラインの接着スピード，塗布から圧着工程までの距離を決定するもので，ホットメルト接着剤を使用する場合にもっとも重要な条件の1つである。オープンタイムに関連して，接着強度に影響を及ぼす要因は種々あるが，そのうち，圧縮圧力，溶融温

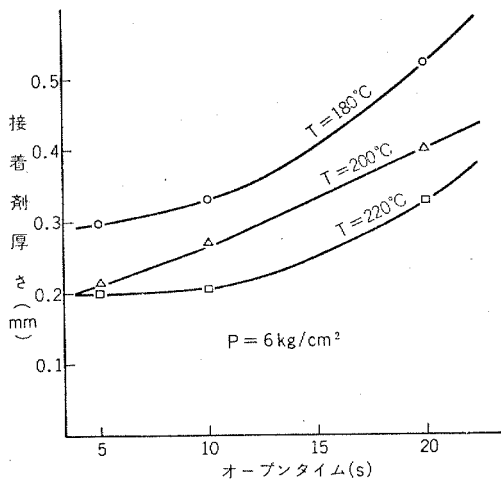


図4 接着条件と接着厚さ (ポリアミド系試料②)

度の接着強度 (引張りせん断強度) への影響を調べた。その結果を図3にまとめた。

低粘度 EVA ④ と高粘度 EVA ⑩ はオープンタイムが 20 秒以下では各条件とも強度低下がほとんどなく、十分な接着強度が得られた。したがって、ここでは EVA 系として④を代表させた。ポリアミド②はオープンタイムが 5 秒前後では各条件に関係なく、30 kg/cm² の強度を示すが、オープンタイムが長くなるにしたがって強度は低下し、熔融温度・圧縮圧力を増しても接着強度の低下は免れない。また、ポリアミド②の各接着条件における接着層の厚さをプロットすると図4のようになり、オープンタイムが長くなるに伴って、厚さは急激に増加し、接着強度の低下の要因になっている。すなわち、接着剤層の厚さと接着強度との関係を調べると図5のようになり、厚さが 0.3 mm を超えるような接着条件では急激な強度低下を来す。

(3) オープンタイム・塗布量・被着材温度

ホットメルト接着法においては、接着剤の塗布量、被着材温度の接着強度への影響が懸念される。そこで、低粘度 EVA ④ を用いて、オープンタイム、被着材温度、塗布量との相関性を調べた。その結果の一部を図6に示す。

この結果から、接着剤の塗布量も最も接着強度 (引張りせん断強度) に影響し、ついで、オープンタイムであり、被着材温度の影響は比較的少ない。また、塗布量に関する要因はホットメルト接着剤の塗布量と塗布形状の2つの要素からなり、塗布量が多いほど、表面積が小さいほど放熱は少なくなる。すなわち、塗布量が多い場合は少ない場合に比べて、熔融塗布した接着剤の冷却

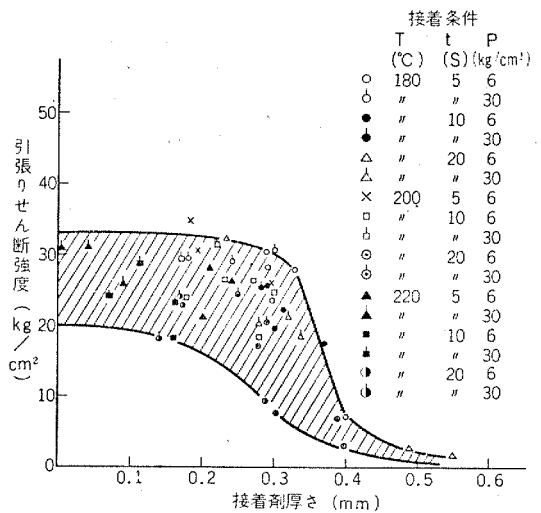


図5 接着剤厚さと引張りせん断強度 (ポリアミド系試料②)

速度がゆるやかなため、オープンタイムが長くなっても十分ぬれ広げることができる。また、適切な塗布量を把握することは経済性の面からも重要である。

以上のように、ホットメルト接着剤の接着強さや接着剤層の厚さは種々の作業条件によって大きく影響され、その程度は個々の接着剤で異なる。そのため、ホットメルト接着剤の適用に当っては適切な作業条件を確認することは必要不可欠なことである。

ii) 初期特性

前節では接着 (作業接着条件) における諸要因の接着強度に及ぼす影響を明らかにしたが、ここでは、各接着剤の最適条件で接着した場合の初期特性を求めた。

(1) 初期接着性能

それぞれの接着剤の試験片作製条件は表2に、接着強度の測定結果は表3に示す。

この結果から、引張りせん断強さではいずれのホットメルト接着剤もゴム系溶剤形接着剤⑨よりかなり強く、

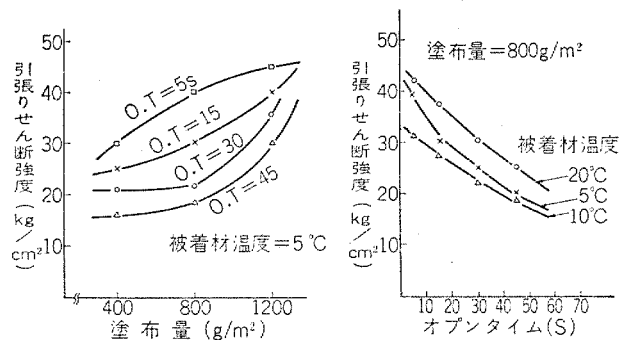


図6 ホットメルト接着剤の作業性 (II) (低粘度 EVA ④)

表2 接着条件

条件	A	B	C	D	E	F
溶融・塗布温度	200°C	210°C	210°C	110°C	室温	室温
塗布方法	アプリケータ* 使用	アプリケータ	アプリケータ	ヘラ	スプレー	ヘラ
オープンタイム	3-5秒	3-5秒	3-5秒	3-5秒	30秒	—
圧縮方法	エアプレス	エアプレス	エアプレス	エアプレス	エアプレス	クランプ
時間	10分	10分	10分	10分	10分	24時間

* アプリケータ：ノズル式・直接加熱方式 (NordsonⅡ)

酢ビエマルジョン接着剤⑩とほぼ同等かそれ以上の強度を示している。とくに、反応形ホットメルト④は高い強度を示す。曲げ試験ではすべて被着材破壊を生じ、実用には十分な接着力をもつものと考えられる。衝撃強さでは、ポリアミド系⑩と反応形④が酢ビエマルジョン⑩より劣っている。L形圧縮試験はキャビネットの構造、外力のかかり方などから比較的実用条件に近いと考えられる。この試験では、反応形④以外はいずれもゴム系溶剤形⑩、酢ビエマルジョン⑩形よりもすぐれていた。

このように常温におけるホットメルト接着剤の接着強度は衝撃強度で若干劣るものもあるが、ほぼ満足できる。

(2) 接着強度・物性の温度依存性

テレビやステレオなどのキャビネットの接着においては組み込まれる部品からの発熱や、倉庫での保管、輸送時の直射日光などによる加熱にも耐えなければならないことから、常温より高い温度でも良好な接着力が要求される。また、接着剤層の弾性率や内部損失も温度変化に

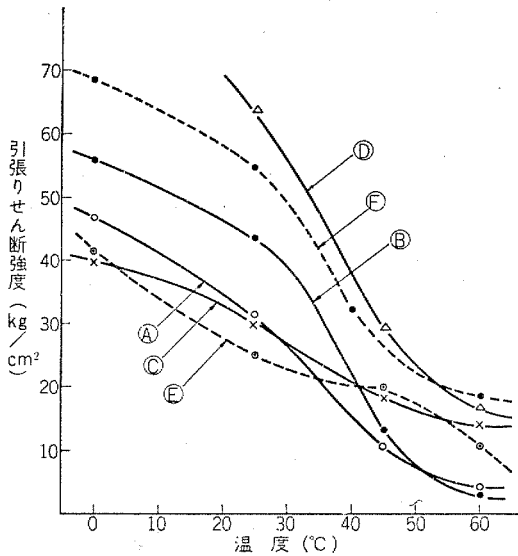


図7 接着強度の温度依存性

表3 各ホットメルト接着剤の初期特性

項目	引張りせん断強度		曲げ強度		衝撃強度		L形圧縮強度	
	kg/cm²	破壊状態*	kg/cm²	破壊状態	kg·cm/cm²	破壊状態	kg/25mm	破壊状態
A	46.0±4.3	B+A	9.6±1.9	B	3.9±1.3	C+B	27.4±1.0	B
B	58.5±5.9	B+A	9.4±1.6	B	7.6±1.3	C+B	28.4±2.2	B
C	52.5±3.1	C	10.6±3.5	B	0.9±0.4	C	24.5±3.7	C
D	62.7±5.4	B+C	8.8±0.9	B	1.9±0.3	A+C	13.1±2.7	C
E	20.3±4.7	C	7.3±1.9	B	6.1±1.6	C	13.9±3.1	C
F	54.8±18.6	B	9.3±1.2	B	2.9±0.3	B	16.7±2.2	B+C

* A：界面破壊，B：被着材破壊，C：凝集破壊

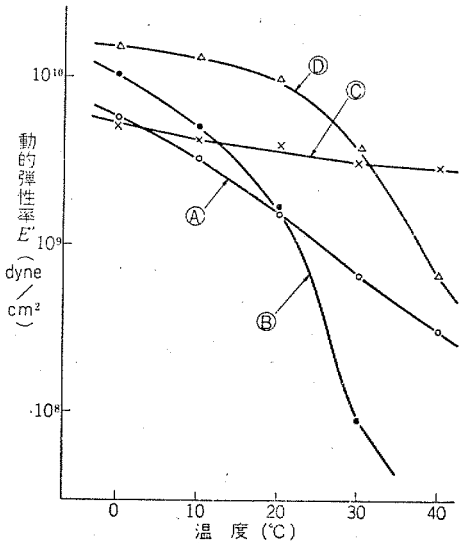


図8 各ホットメルト接着剤の動的弾性率の温度依存性

対して安定したものでなければならない。

接着強度の温度依存性についての測定結果は図7に、

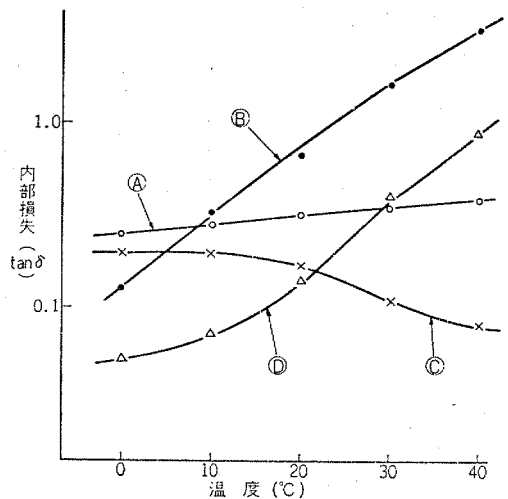


図9 各ホットメルト接着剤の内部損失の温度依存性

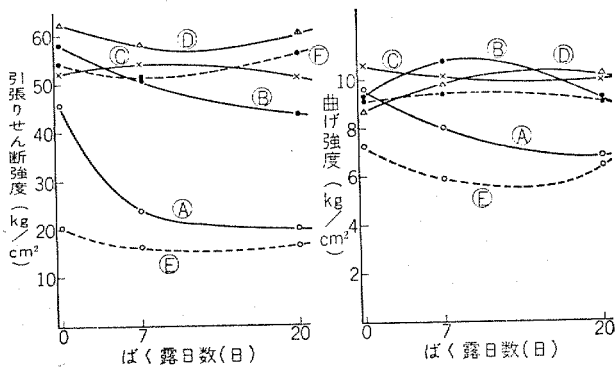


図 10
耐湿性評
価 (1)

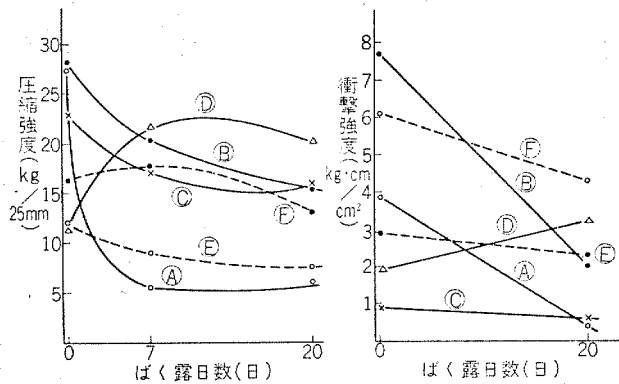


図 11
耐湿性評
価 (2)

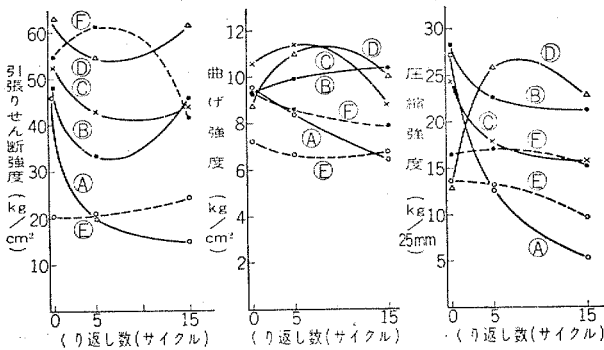


図 12
耐乾湿く
り返し評価

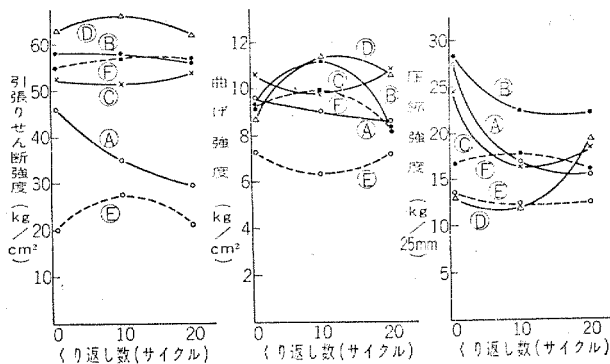


図 13
耐冷熱く
り返し評価

接着剤単独皮膜の動的弾性率・内部損失の温度依存性は図 8、図 9 に示す。

まず、接着強さ(引張りせん断強度)の場合、ホットメルトに限らずすべての供試接着剤は温度上昇とともに急激にその強度は低下する。とくに EVA 系の④、⑤は 60°C で 5 kg/cm² 以下に低下した。ポリアミド系⑥、反応形⑦は 60°C で 15~20 kg/cm² の強度を保持し、ゴム系溶剤形⑧、酢ビエマルジョン⑨と同程度の耐熱性を有している。

すべての供試ホットメルト接着剤の動的弾性率は常温領域においても、温度上昇とともに低下する傾向にあり、一方、内部損失は上昇する。ホットメルト接着剤の中で、とくに、ポリアミド系⑥は他に比べて変化が少なく、内部損失も温度上昇とともに若干低下する特異な現象がみられた。

iii) 耐久性 (耐環境性)

テレビやスピーカのキャビネットは機器自体の特性、耐用年数などから、かなりきびしい耐久性が要求される。

そこで、各種の環境条件におけるホットメルト接着剤の劣化挙動を調べ、従来から実績のあるゴム系溶剤形や酢ビエマルジョン接着剤と比較しながら、その信頼性を評価した。

(1) 耐湿性試験

60°C、90% RH の雰囲気中に試験片を 7 日、20 日間暴露した後、常温、常湿で 1 日放置し、室温で接着強度を測定した。図 10 には引張りせん断強度と曲げ強度の変化を、図 11 には圧縮強度と衝撃強度の変化をそれぞれ示す。引張りせん断強さでは、EVA 系④、⑤のみに強度低下がみられる。EVA 系の中では高精度タイプ⑤の方が耐湿性にすぐれる。また、

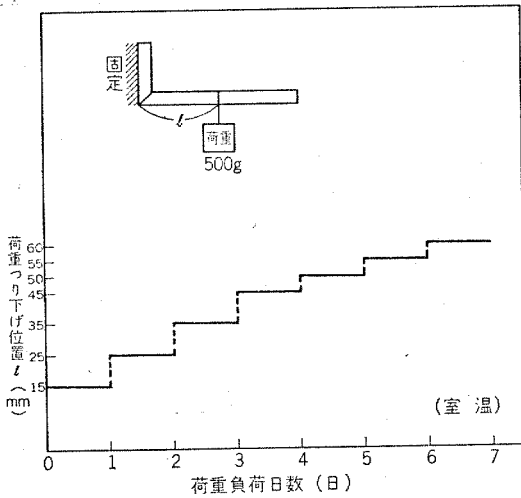


図 14 クリープ試験の方法

L形圧縮強さでも低粘度 EVA ④は急激な強度低下を来たすが、高粘度 EVA ⑤、ポリアミド⑥はゴム系溶剤形⑦と同様に強度低下は比較的少ない。反応形ホットメルト⑧は逆に強度上昇がみられるが、これは水分によってさらに反応が進行したためであろう。また、衝撃試験においては反応形⑧以外のホットメルト接着剤はいちじるしい強度低下を示した。

(2) 乾湿くり返し試験

50°C, dry, 16 hr ⇌ 60°C, 90% RH, 8 hr を1サイクルとし、5サイクル、15サイクルくり返した後、常温、常湿で1日放置し、室温で測定した。結果は図 12 に示すとおりである。いずれの試験とも低粘度 EVA ④のみがいちじるしく強度低下を来たすが、他のホットメルト接着剤はゴム系⑦と同等以上のレベルにある。

(3) 冷熱くり返し試験

-40°C, 2 hr ⇌ 室温 1 min ⇌ 60°C, 2 hr を1サイクルとし、10サイクル、20サイクルくり返した後に、常温、常湿に1日放置し、室温で測定した。各強度変化は図 13 に示すとおりである。引張りせん断強さ、曲げ強さにおいては、低粘度 EVA ④のみに強度低下がみられる。一方、L形圧縮試験においては、反応形⑧以外のホットメルト接着剤はゴム系溶剤形⑦、酢ビエマルジョン⑨に比べて、かなりの強度低下を示す。しかし、ここでも反応形ホットメルト⑧は強度上昇を示した。

(4) クリープ破壊試験

図 14 に示すように、塩ビ合板のVカット部を供試接着剤で接着した幅 10 mm の試験片を用い、重さ 500g の荷重をつり下げクリープ破壊試験をした。図 14 のごとく、荷重の位置を 24 hr ごとに移動させて破壊を生ずる位置と時間を求めた。試験は室温で行なった。その

試験片位置	0日	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日
15mm								
25mm								
35mm			XX	X				XX
45mm				XXX	X			X
50mm								
55mm								
60mm			XX	XX	X			
65mm								
A								
B								
C								
D					XX	X	XX	
E			XX	X	XX			
F					X	XXX		

図 15 クリープ破壊試験結果

結果は図 15 に示した。試験片は5個ずつ用い、図 15 の×印はそれぞれの試験片が破壊した時の荷重の位置と時間を表わしている。

この図よりポリアミド系⑥はゴム系溶剤形⑦と同じ傾向でクリープに弱い。その他のホットメルト接着剤は酢ビエマルジョンと同等以上の特性をもっている。

☆ ☆

木製キャビネットなどへの適用を対象として、ホットメルト接着剤の諸特性について検討した。その結果、使用法いかんによって、従来から多用されているゴム系溶剤形や酸ビエマルジョン接着剤に代わってホットメルト接着剤の適用は十分可能であるといえよう。今後さらに、高性能な接着剤の開発とアプリケータの発達とあいまって、ホットメルト接着剤の応用は増加していくであろう。

参考文献

- 1) 深田：接着, 20, 3 (1976) p.93
- 2) 熊谷ら：第3回構造接着研究委員会資料 (1975)
- 3) 千葉：日本接着協会誌, 8, 4 (1972) p.17
- 4) 深田：接着, 19, 1 (1975) p.26

