

電 車 用 ド ア へ の 接 着 剤 の 応 用

On Application of Adhesive Bonding for Electric Car Door

左 海 孝 之* 田 中 康 文*
Takashi Sakai Yasuhumi Tanaka

内 容 梗 概

電車のドアの内張り材としてアルミ化粧板の使用が増加しているが、これを鉄製の骨組へ取り付けする方法として、接着剤および接着技術の進歩にともない、接着剤の応用が広まってきた。このたびA社納め電車のドア内張りに接着剤を応用する機会を得たので、常温硬化形のエポキシ樹脂系接着剤について、各種性能試験を行った結果、ドア用接着剤として十分使用できることがわかった。

1. 緒 言

電車のドア、天井、腰などの内張り化粧板として、アルミヒッターのようなアルミ化粧板の使用が増加している。このアルミ化粧板は一般に、アルミ板とメラミン化粧板より構成されており、これを鉄製の骨組へ溶接で取り付けることは不可能であるため、従来は主としてビス止めが採用されていた。しかし最近、接着剤および接着技術の進歩にともない、このような構造部材への接着剤の応用が注目されるようになり、また製品の美観、原価の低減などの利点が認識されるにしたがい、ビス止めによらず接着剤の採用を希望する場合が多くなった。

しかし電車における上記部材の中で、特にドアは満員時における乗客による力、走行中の振動応力、ドアの開閉時における衝撃の繰り返しおよび外気環境による劣化などに耐えなければならない。現在市販されている接着剤には、その品種、性能など多種多様であり、接着剤を実用するにあたっては、前述のような使用条件を満足する接着剤を慎重に選ばなければならない。

このたびA社納めの電車の受注にあたって、ドアなどに接着剤を応用する機会をえたので、接着剤の選定試験および各種性能試験を行なって、ほぼ満足な結果を得たので報告する。

2. ドアの応力計算ならびに接着剤の選定基準

アルミ化粧板を鉄製骨組へ接着剤によって内張りするおもな部品としては、側引戸、仕切引戸、妻引戸、側開戸など、1両に14～17枚のドア(車種によって異なる)があり、そのほかに点検戸類、天井板、羽目板など約30品目がある。

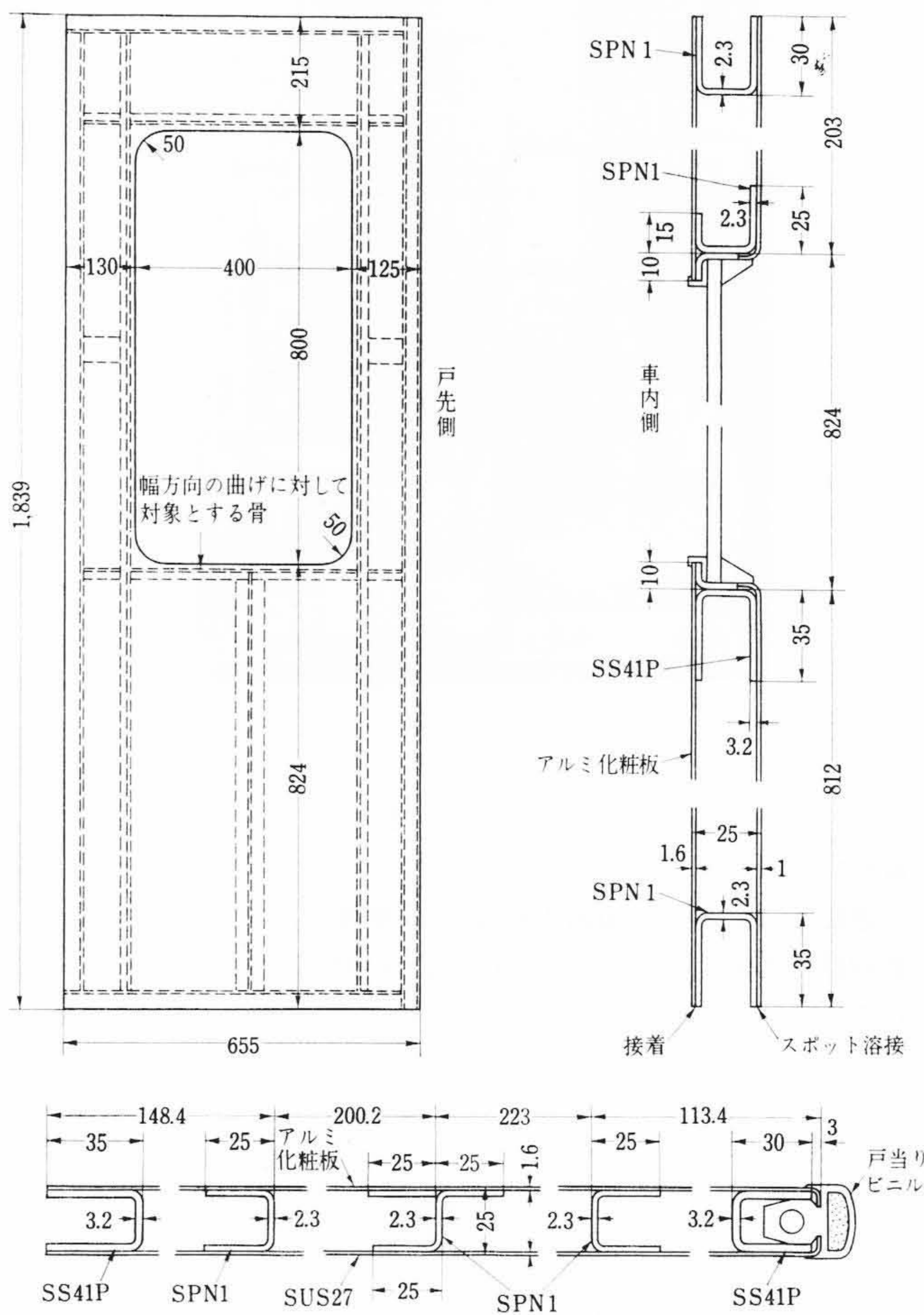
これらのうちで、接着層に働く応力は側引戸(以下ドアと呼ぶ)において最も大きいと考えられるため、本報においては、ドアを対象にして検討を行なうことにする。

2.1 ドアの接着層に働くせん断応力

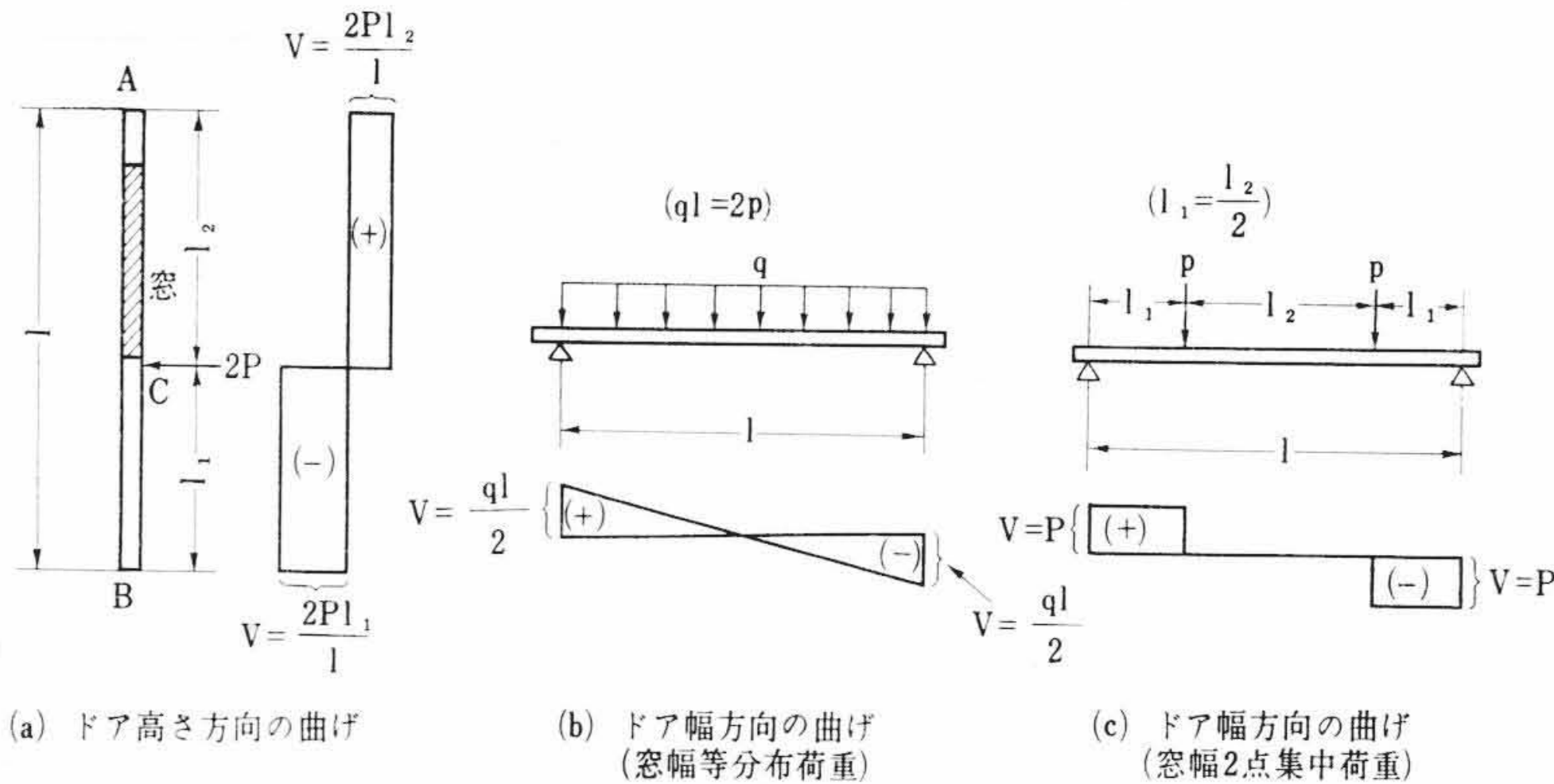
第1図に示すようなドアが、満員時に乗客によって押されて車外側にたわむ場合、ドアに働く荷重は、第2図の(a)～(c)の3種類の場合が考えられる。

第2図(a)においては、ドアは上下のレールA、Bでささえられ、荷重点C(人の臀部の高さ)を2人が並んで押す場合を示している。また第2図の(b)および(c)は第1図において、窓下の横の骨が2人分の力によって曲げを受ける際に、(b)は等分布、(c)は2点の集中荷重を想定した場合である。

このような外力を受けるドアを、これと等価の断面積をもつ1本の単純支持はりにおきかえると、第3図のような断面をもつはりにおいて、接着層に働くせん断応力

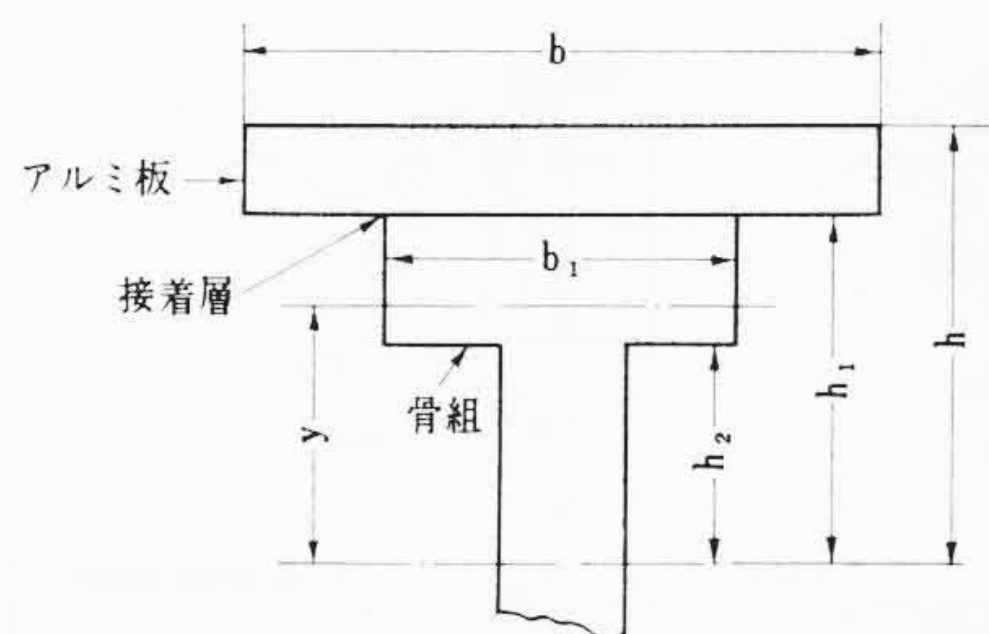


第1図 ドアの構造

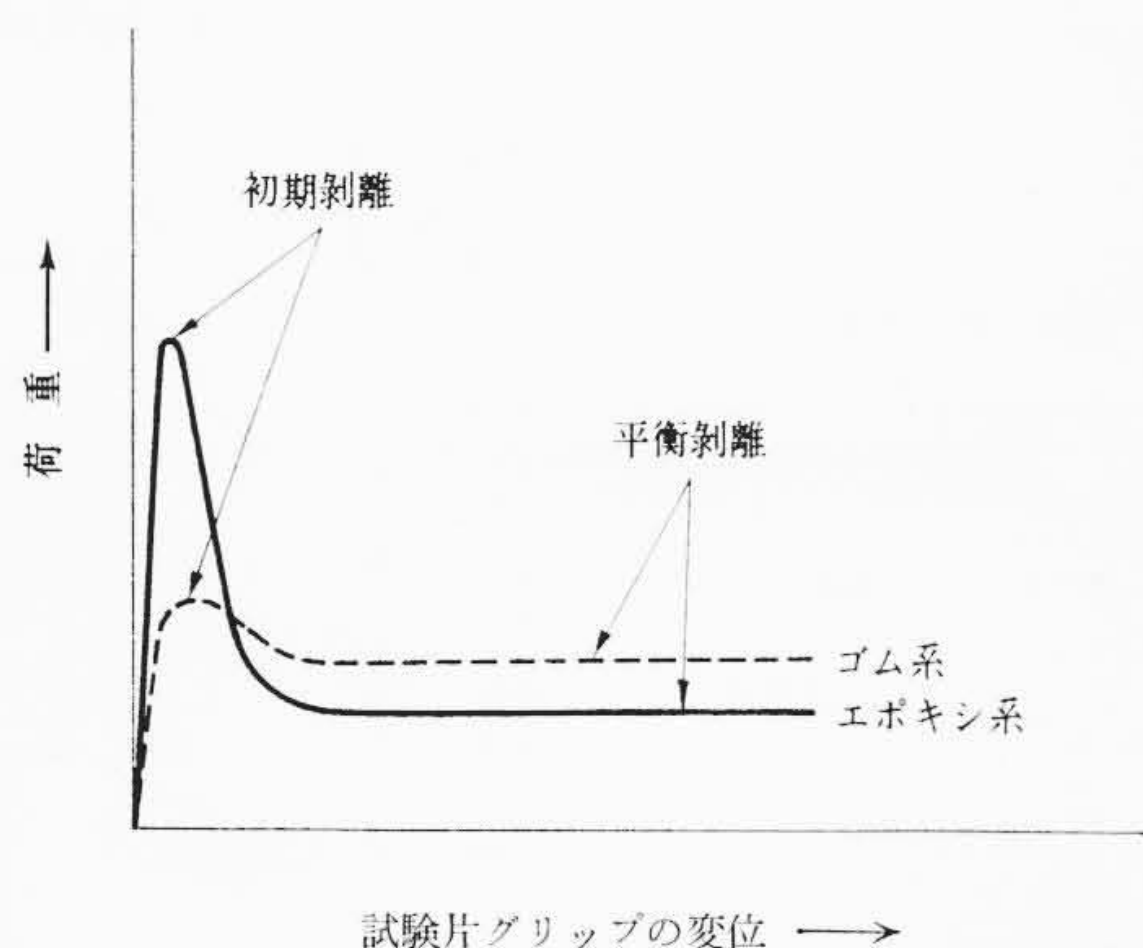


第2図 ドアに加わる荷重とせん断力図

* 日立製作所笠戸工場



第3図 はりの断面



第4図 剥離時の破断特性

は(1)式で与えられる⁽¹⁾。ただしドアのアルミ化粧板(第1図)のメラミン化粧板の部分は、応力を分担しないと仮定して除外した。

$$\tau_{xy} = \frac{V}{I b_1} \int_{h_1}^h y dA = \frac{V b}{2 I b_1} (h^2 - h_1^2) \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 τ_{xy} : 接着層のせん断応力

I : 断面二次モーメント

V : せん断力 (第2図参照)

b : 鉄のヤング率に等価においたアルミ板幅

ドアのように比較的複雑な構造をしたはりを考える場合に、(1)式に使用する断面二次モーメント I としては、実際に働いている相当断面二次モーメントを使用することが必要である。この相当断面二次モーメントを測定し、ドアの接着層に働くせん断応力を(1)式より求め第1表を得た。第2図において、荷重 $2P$ および ql は、満員電車において2人並んで働く荷重で、 P としては実験的に求めた50kgを用いた。

第1表より、接着層のせん断応力はドアの腰部が、幅方向に曲げを受ける場合に最大となり、 0.0086 kg/mm^2 を示している。

2.2 ドア開閉による衝撃力

営業運転中にドアは戸閉機によって常に開閉が繰り返され、ドアの戸当たり部の接着層に衝撃力によるせん断応力が働く。その衝撃力をドアの開閉速度から(2)式に示す運動エネルギーより推定した。

$$T = \frac{1}{2} m v^2 \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 T : 運動エネルギー

v : ドアの開閉速度

m : ドアの質量

電車用日立戸閉機 DY-24 形および GAS-6 A 形について求められているドア開閉特性⁽²⁾⁽³⁾から、(2)式により求めた運動エネルギーは、ドアの最高速度および閉止付近の速度(以下閉止速度という)において最も大きいものが、それぞれ 0.0236 および 0.0012 kg-m/cm^2 である(ただし接着の単位面積当たりの値である)。

なお最高速度によってドアが閉じるのは、万一戸閉機が故障した

第1表 ドア接着層のせん断応力

No.	ドアの曲げ方向と荷重条件	応力計算の部分	せん断力 $V(\text{kg})$	相当断面二次モーメント $I(\text{cm}^4)$	せん断応力 $\tau_{xy}(\text{kg/mm}^2)$
1	高さ方向(集中荷重)	荷重点より下側(腰部)	56.5	12.72	0.0076
2	高さ方向(集中荷重)	荷重点より上側(窓部)	43.5	12.72	0.0033
3	幅方向(集中荷重)	支点-荷重点間	50.0	5.92	0.0086
4	幅方向(等分布荷重)	支点付近	50.0	5.92	0.0086

第2表 接着剤の評価基準

継手種類	記号	使用応力	◎	○	△	×
せん断強さ (kg/mm^2)		0.0086	1.0 以上	1.0~0.8	0.8~0.6	0.6以下
剥離強さ (kg/mm)		0.20	0.6 以上	0.6~0.4	0.4~0.2	0.2以下
衝撃強さ (kg-m/cm^2)		0.020	0.06以上	0.06~0.04	0.04~0.02	0.02以下
衝撃せん断強さ (kg-m/cm^2)	ドアの最高速度	0.0236	—	0.47	—	—
	ドアの閉止速度	0.0012	—	0.24	—	—

場合に生じるものであって、常に働くものではない。

2.3 剥離(はくり)応力

普通の状態では、ドアには剥離方向の力の作用は考えられないけれども、経験的に 0.2 kg/mm くらいの使用応力は必要と考えた。なおこの程度の剥離力を 1.2 mm 厚さのアルミ板が受ける場合は、曲げによる塑性変形をおこしている。なお接着剤は剥離試験において、第4図のように、いわゆる初期剥離と平衡剥離の現象が表われる。継手の強さは一般には初期剥離強さによって左右されるけれども、いったんクラックがはいった場合にも強い剥離力が必要と考えられるため、平衡剥離強さを選定の対象とした。

また剥離方向の衝撃についても剥離強さと同様に、普通は力の作用は考えられないが、少なくともアルミ板が変形する程度の衝撃値 (0.04 kg-m/cm^2) は必要であり、これを選定のための基準値とすることにした。

2.4 接着剤の選定基準

接着剤を選定するに当たっては劣化および疲れ強さなどによる強さの低下を考慮して、使用応力を満足するものを選ぶ必要がある。使用応力と選定の際の静的強さの関係は(3)式で示すことができる。

$$\tau_w = \frac{D \cdot F}{S} \tau \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 τ_w : 使用応力

τ : 選定時の静的強さ

$D = \tau_a / \tau$: 劣化係数(屋外、屋内その他使用条件により異なる) τ_a は劣化後の強さ

$F = \tau_f / \tau$: 疲れ係数、 τ_f は疲れ強さ

S : 安全率

(3)において、各係数は接着剤によって異なり、それぞれ実験により求めるべきものであるが、接着剤の選定試験の際にはまだ求められていないため、文献などを参考にして、屋外暴露5年として $D=0.2$ ⁽⁴⁾、そして $F=0.2$ ⁽⁵⁾、 $S=4$ と仮定して選定時の静的強さを算出し、これをもって接着剤の評価基準とした。

第2表は各種継手についての接着剤の評価基準であるが、○記号以上が選定のための基準値を表わしている。

3. 試験の方法

3.1 供試材料

3.1.1 供試接着材

ドアのような構造用接着剤としては、すでにエポキシ樹脂系接着剤が定評があるので、これを主体として各メーカーより有望な

第3表 供試接着剤

No.	接着剤 着名	樹脂系	主剤：硬化剤 配合割合	常温でのポット ライフ(分)
1	CI	エポキシ エポキシ エポキシ	65：35	30～40
2	CN	エポキシ エポキシ エポキシ	1：1	40～50
3	TE	エポキシ エポキシ エポキシ	1：1	60～120
4	SG	エポキシ エポキシ エポキシ	10：8	60
5	SK	エポキシ エポキシ エポキシ	1：1	90
6	S5	エポキシ エポキシ エポキシ	1：1	40
7	S2	エポキシ エポキシ エポキシ	1：1	40
8	AW	エポキシ エポキシ エポキシ	10：8	60～90
9	AB	エポキシ エポキシ エポキシ	1：1	90～150
10	EP	エポキシ エポキシ エポキシ	10：5	60～180
11	C5	ネオブレン	(一液性)	—
12	DK	クロロブレン	(一液性)	—
13	D1	ポリウレタン	100：11	60

ものを選ぶとともに、さらに3種類を加えて、第3表に示す13種類の接着剤について、選定試験を行なうことにした。

なおドアへ内張りするアルミ化粧板は、80℃程度に加熱すると化粧板の外観変化を起こす心配があるため、すべて常温ないし50℃までで接着ができる常温硬化形の接着剤とした。

3.1.2 被着材

被着材は剥離試験においてはドアと同じく板厚2.3mmのSS41と1.2mmの3SH24を用いたが、その他の試験では3SH24の強度が不足するため、板厚2mmの52S0を用いた。

3.2 試験片の接着方法

構造材料としての鉄およびアルミ合金などの金属材料の接着では、接着強さを向上するために、種々の化学薬品による表面処理法が推奨⁽⁶⁾⁽⁷⁾されているが、骨組やアルミ化粧板が薬液や水によって損傷するおそれがあり、また現場作業を考えると、表面処理はできるだけ簡単にした。

接着方法は、被着材の表面をペーパー研摩(30℃硬化では#80、50℃硬化では1Gを使用)後トリクレンで洗浄し、乾燥後接着剤を両面に塗布してはり合わせた後、クリップにて所定の圧力で締付け、硬化時間中恒温槽で一定温度に保持した。

硬化温度はできるだけ常温が望ましいが、30℃硬化と50℃硬化について検討した。なお接着剤の厚さは約0.1mmとし、接着部よりはみ出した余分の接着剤は取り除いた。

3.3 接着剤の各種試験

まず供試接着剤の全部に対して次の3種類の継手について試験を行ない、良好な接着剤を選定することにした。試験温度については、ドア内張りにおいて、夏季などでは局部的には50℃程度になることも考えられるが、普通高温側は35℃程度と考えて、それぞれ恒温槽により35℃一定で試験を行なった。

3.3.1 セン断試験

第5図に示す試験片について、締付金具により引張力と軸線が一致するようにして、アムスラー試験機により、引張速度を300kg/minにして、せん断強さを測定した。

3.3.2 剥離試験

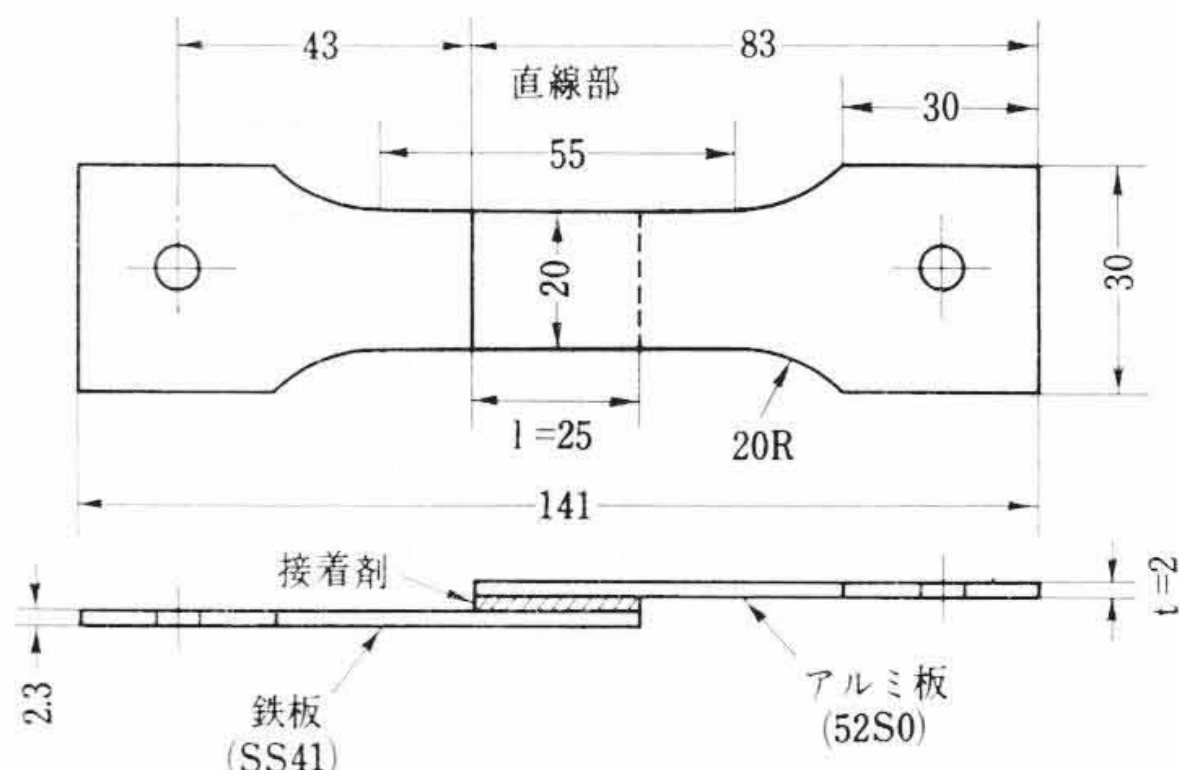
剥離強さの測定は、T形試験片で行なっているものもあるが⁽⁸⁾⁽⁹⁾、初期剥離強さと合わせて平衡剥離強さを求めるために、第6図に示す試験方法および試験片を用いた。そしてアムスラー試験機にて初期剥離までは引張速度を300kg/minとし、その後はクロスヘッドの移動速度を13cm/minにして行なった。

3.3.3 衝撃試験

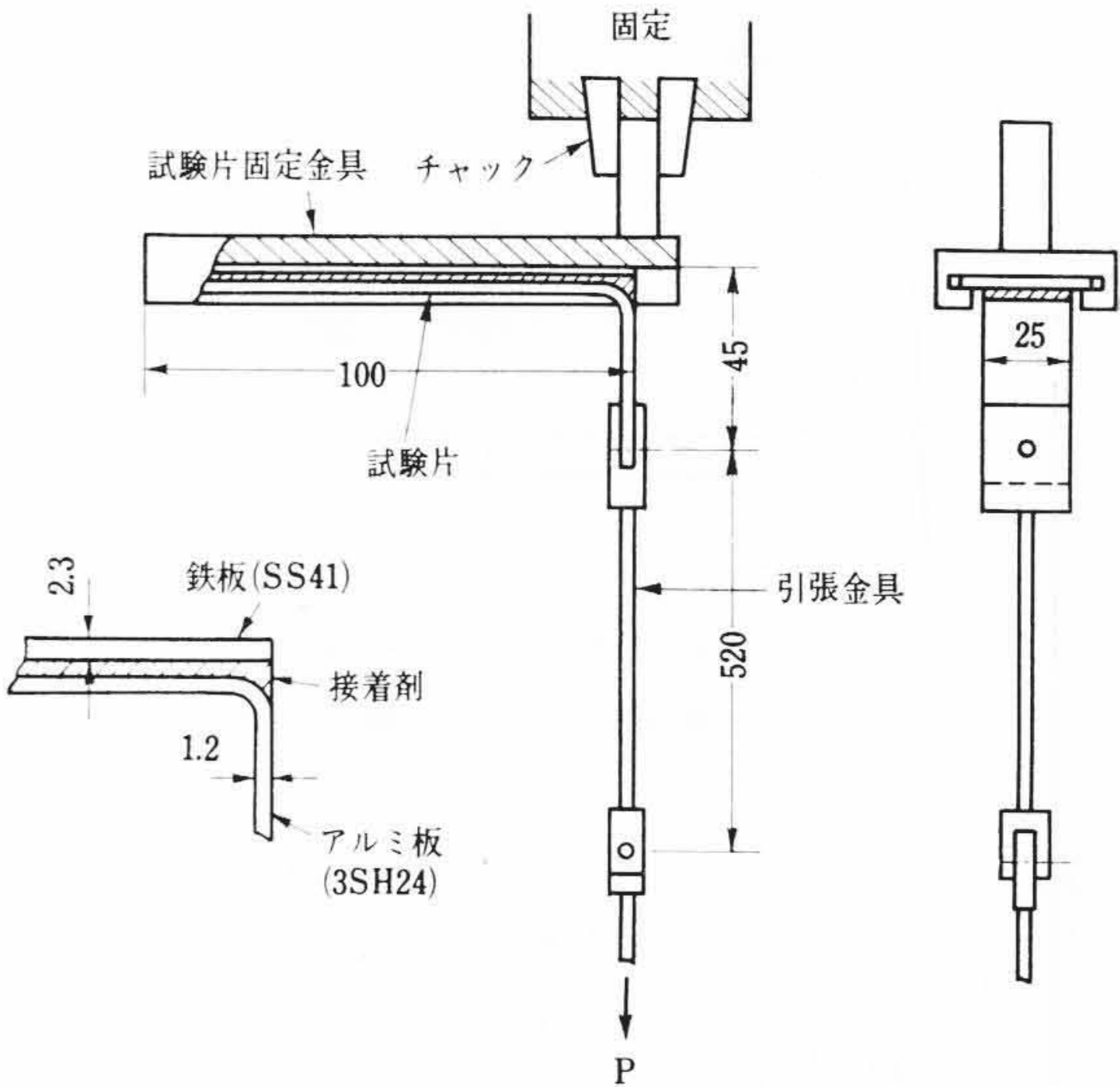
第7図に示す試験片について、衝撃強さをアイゾット衝撃試験機により測定した。

3.4 各種性能試験

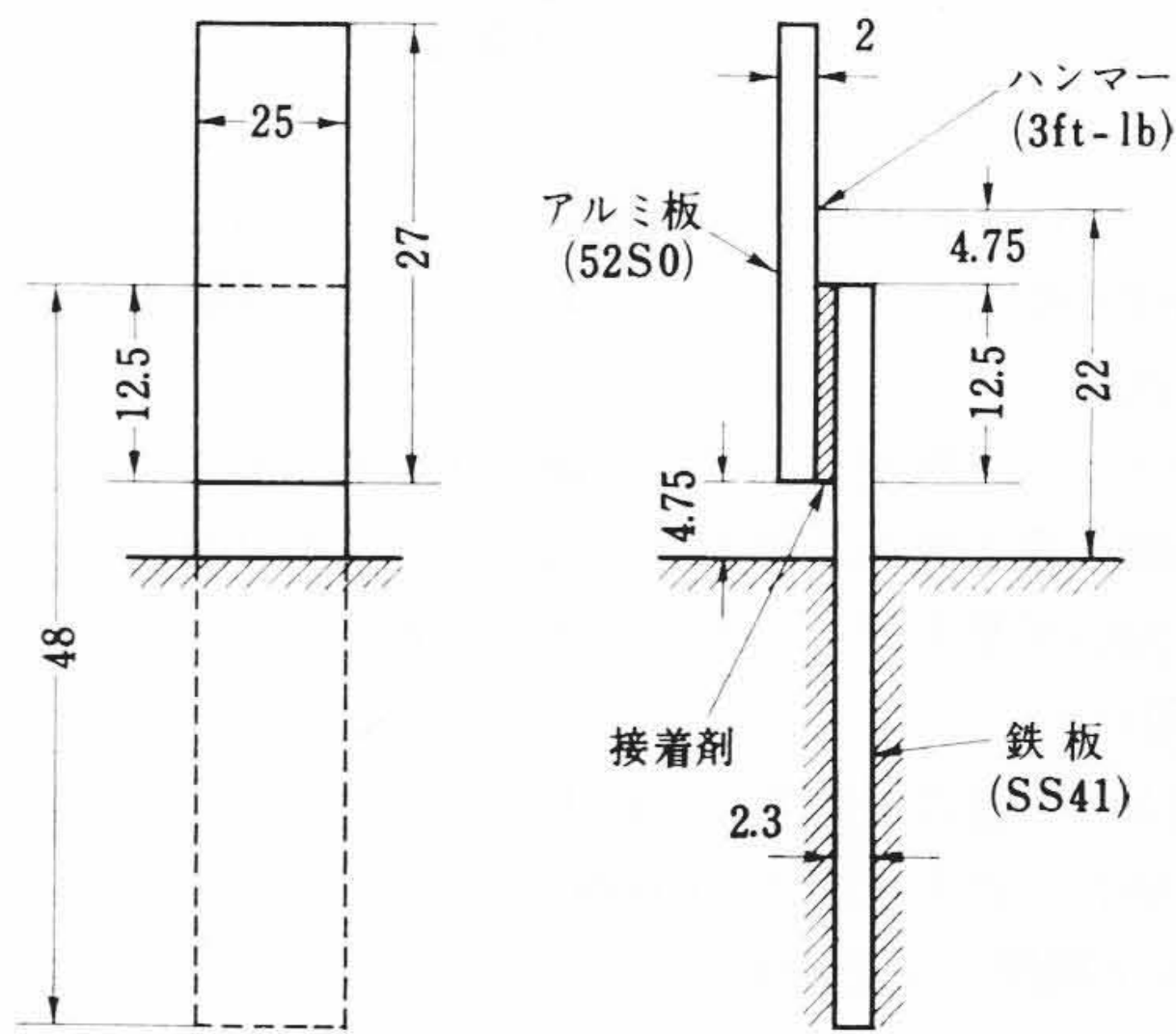
前記選定試験により選定した接着剤について、さらに実用性を検



第5図 引張せん断試験片 (Joint factor $\sqrt{t/l}=0.0566$)



第6図 剥離試験法ならびに試験片



第7図 衝撃剥離試験法ならびに試験片

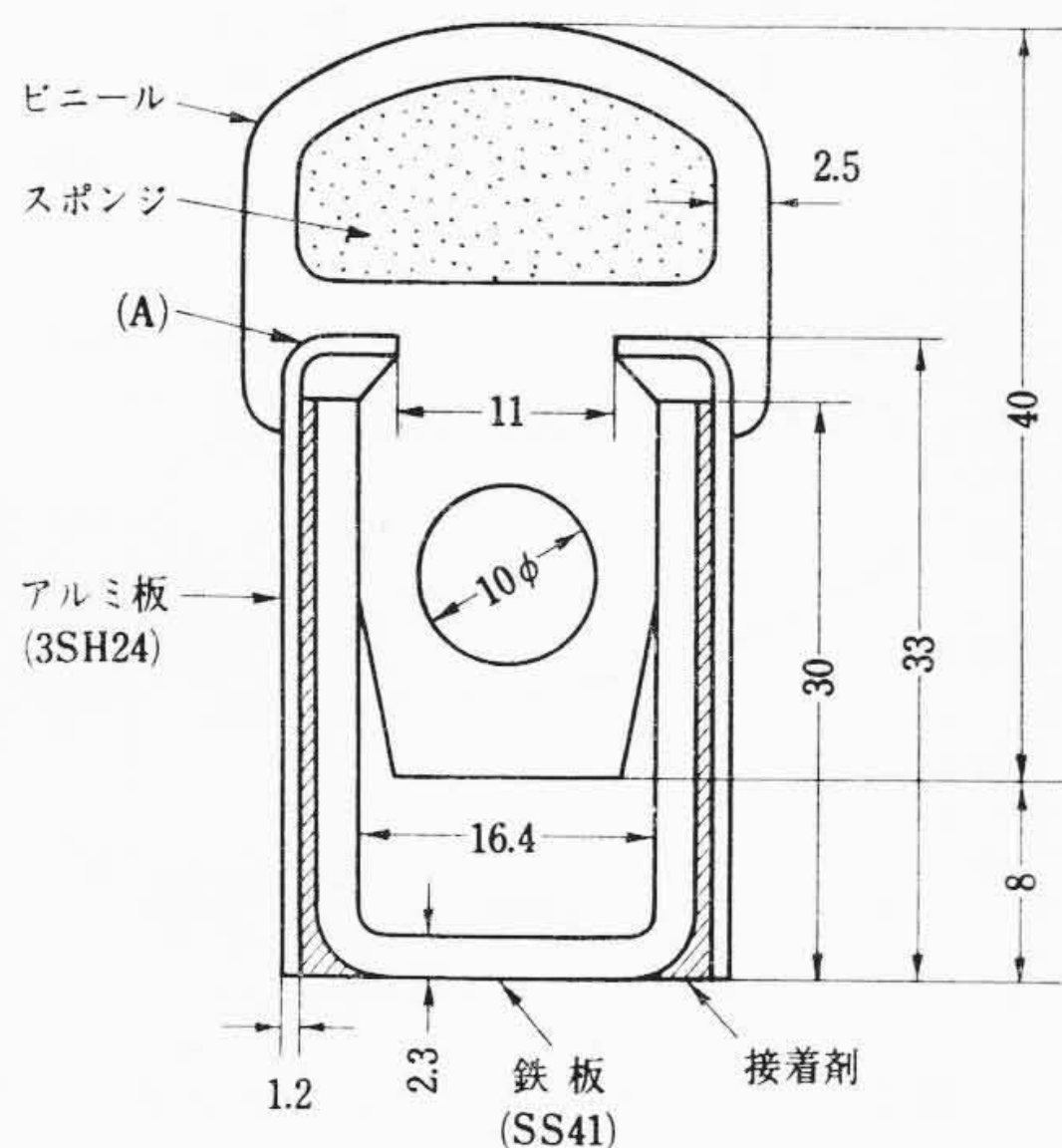
討するために、最適の硬化時間、接着剤厚さと接着強さの関係、温度特性などについて、せん断、剥離および衝撃強さを検討し、さらに接着剤の耐久性を検討するために、次の試験を行なった。

3.4.1 セン断疲れ試験

第5図のせん断試験片により、自家製の疲れ試験機⁽¹⁰⁾を用いて、35℃にて片振引張りによるせん断疲れ強さを測定した。試験機は、回転数が900rpm、最大荷重が400kgであり、常温以上の一定温度に保温できる恒温槽を備えており、今回は35℃にて疲れ試験を行なった。

3.4.2 繰返し衝撃せん断試験

ドアの接着層に働く繰返し衝撃せん断力に対しては、第8図の試験片により、自家製の落重式の繰返し衝撃試験機を用いて測定



第8図 衝撃せん断試験片

第4表 接着剤の評価

No.	接着剤名	30℃ 硬化			50℃ 硬化		
		せん断強さ	衝撃強さ	平衡剥離強さ	せん断強さ	衝撃強さ	平衡剥離強さ
1	CN	△	○	△	○	○	○
2	AB	—	—	—	○	△	◎
3	C1	○	×	×	◎	△	×
4	TE	×	△	×	×	△	○
5	SK	○	×	△	—	—	—
6	EP	○	×	—	—	—	—
7	S2	—	—	—	×	△	△
8	AW	△	×	×	—	—	—
9	SG	△	×	—	—	—	—
10	D1	×	△	×	—	—	—
11	DK	×	△	×	—	—	—
12	C5	×	△	×	—	—	—
13	S5	×	×	×	—	—	—

した。なお試験機は恒温槽内で一定温度に保温することができるので、今回は 35℃ 一定で試験した。

3.4.3 促進劣化試験

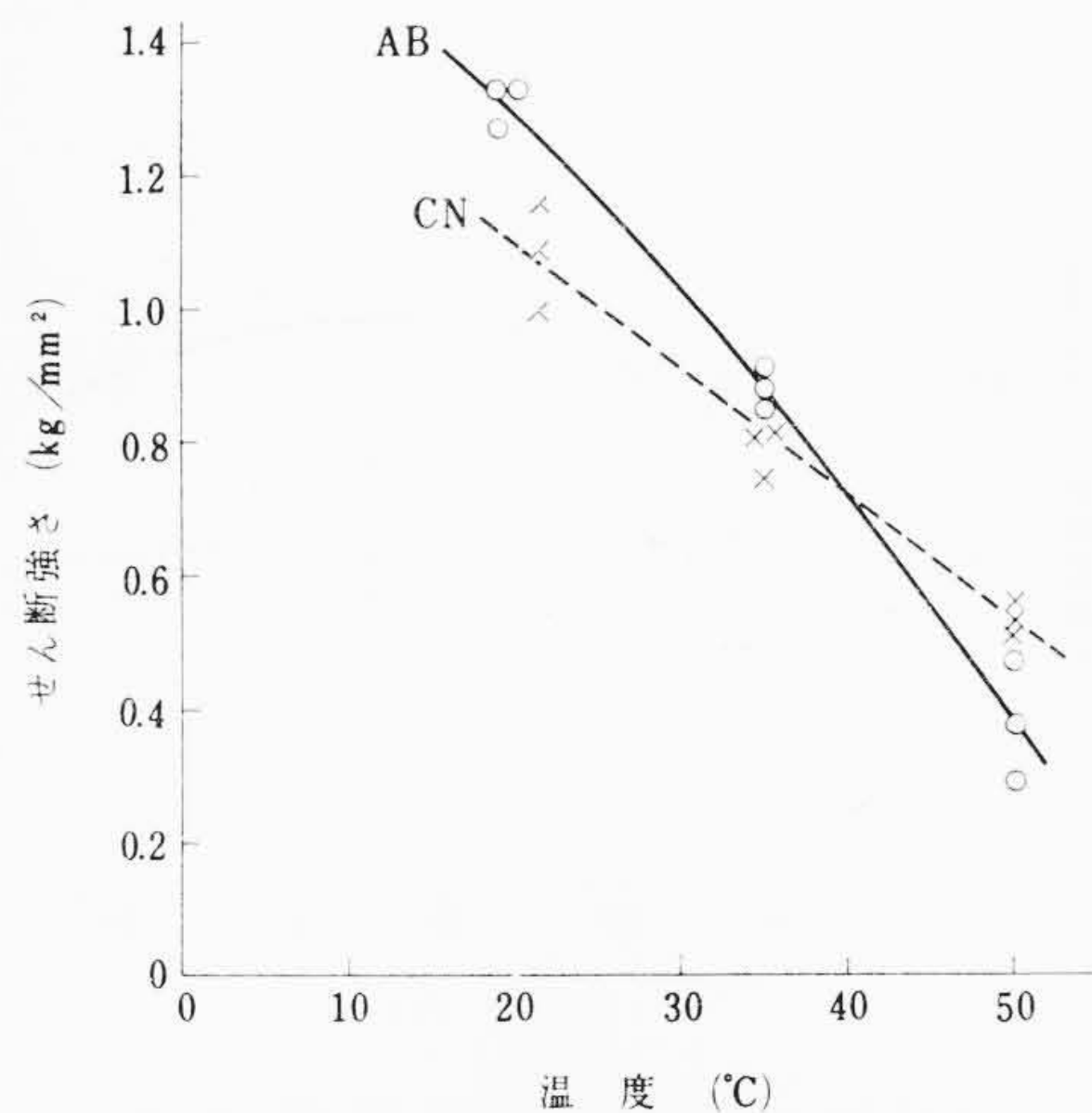
ウェザオメータにより、ブラックパネル温度計 60℃（試験片温度約 52℃）、槽内湿度約 60% とし、2 時間中 18 分の散水を行ない、そして常に接着部の一端から紫外線を照射するようにして、1,000 および 1,600 時間の促進劣化試験（以上ウェザリングと略称する）を行なった。

4. 接着剤の選定試験

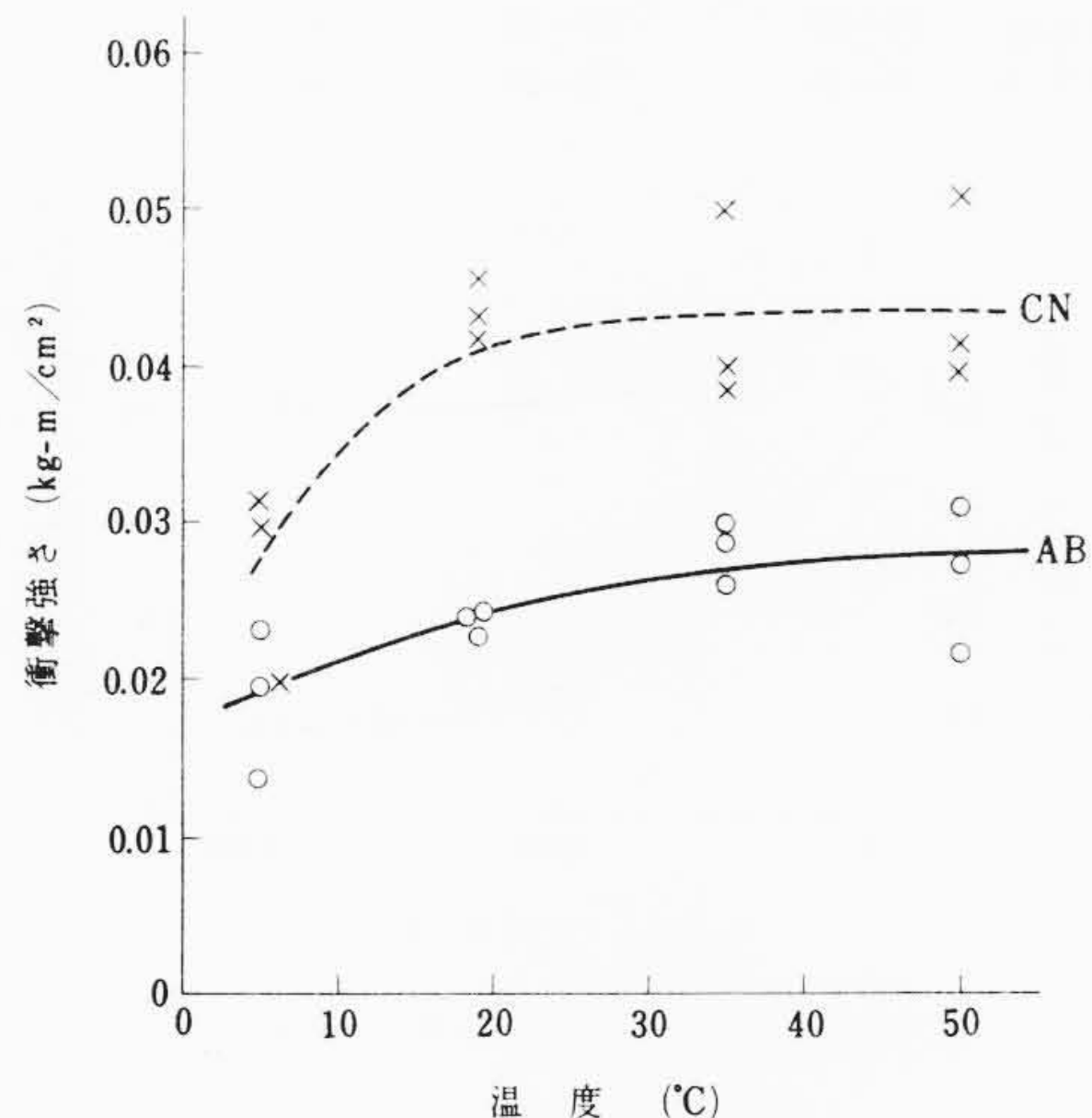
供試接着剤について、まず 30℃ にて 7 日以上の硬化を行なった各種継手の強さを測定し、次に比較的良好な接着剤について、50℃ 5 時間の加熱硬化を行なった場合の継手の強さを検討した。それぞれの接着剤の継手の強さについて、第 3 表の評価基準を用いて比較評価を行なうと第 4 表のようになる。

総体的にエポキシ樹脂系の接着剤はせん断強さがすぐれ、ゴム系やポリウレタン樹脂系は衝撃強さがまさっている。しかしエポキシ樹脂系の中で、CN だけは衝撃強さもすぐれており、これは CN の成分中にチオコールを含有しており、エポキシ樹脂系の中では硬化樹脂が比較的柔らかい⁽¹¹⁾ ために、衝撃エネルギーの吸収力が大きいものと思われる。初期剥離および平衡剥離強さについては、せん断強さと同様にエポキシ樹脂系の接着剤がすぐれている。

硬化温度については、3 種類の継手強さに対して、30℃ 硬化では満足な接着力は得られないが、50℃ の加熱硬化を行なったものは CN がすぐれており、また AB も衝撃強さは少し低い平衡剥離強さがとくにすぐれており、比較的良好である。そして 50℃ に加熱



第9図 温度とせん断強さ



第10図 温度と衝撃強さ

硬化した場合には、30℃ 硬化よりも破断面は著しく高い凝集破壊率（約 85% 以上）を示すことから、硬化温度を 50℃ に上げた効果が認められる。

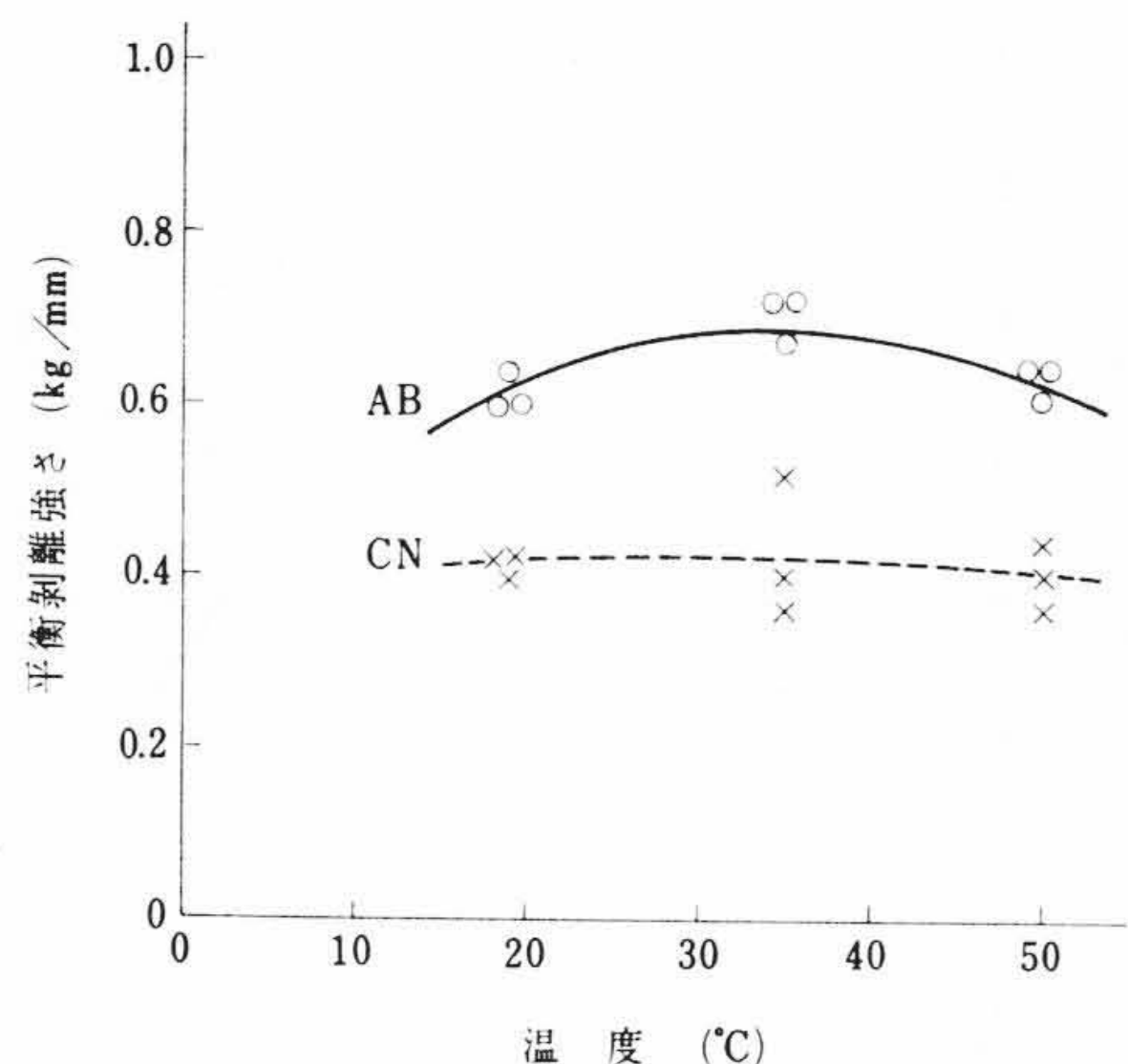
以上のことから、接着剤は 50℃ で加熱硬化を行なう必要が認められた。ドア用接着剤の候補として、CN および AB を選定し、実用性を考慮した各種性能試験を行なうことにした。

5. 接着剤の性能試験

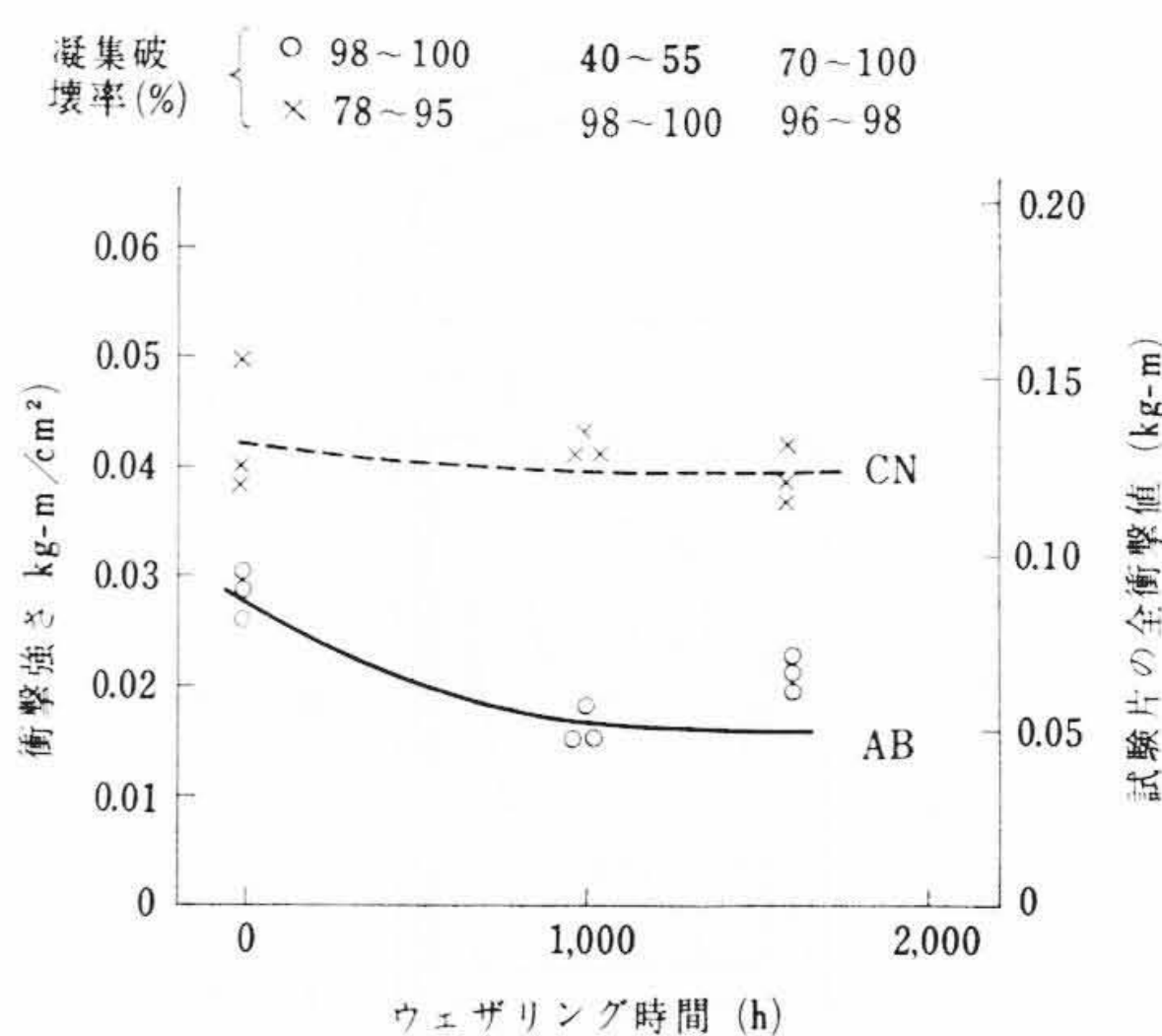
4 節において選定した接着剤 CN および AB について、50℃ 加熱硬化における最適の加熱時間を、せん断、衝撃および剥離強さについて検討した結果、それぞれの傾向は多少異なるが、3 種の継手の強さに対して、平均して高い強さが得られるのは 5 時間となり、これは先の選定試験の場合の加熱時間と一致した。したがって以下の試験では、接着試験片は、50℃ で 5 時間の加熱硬化を行なうことにした。

5.1 接着剤厚さと接着強さ

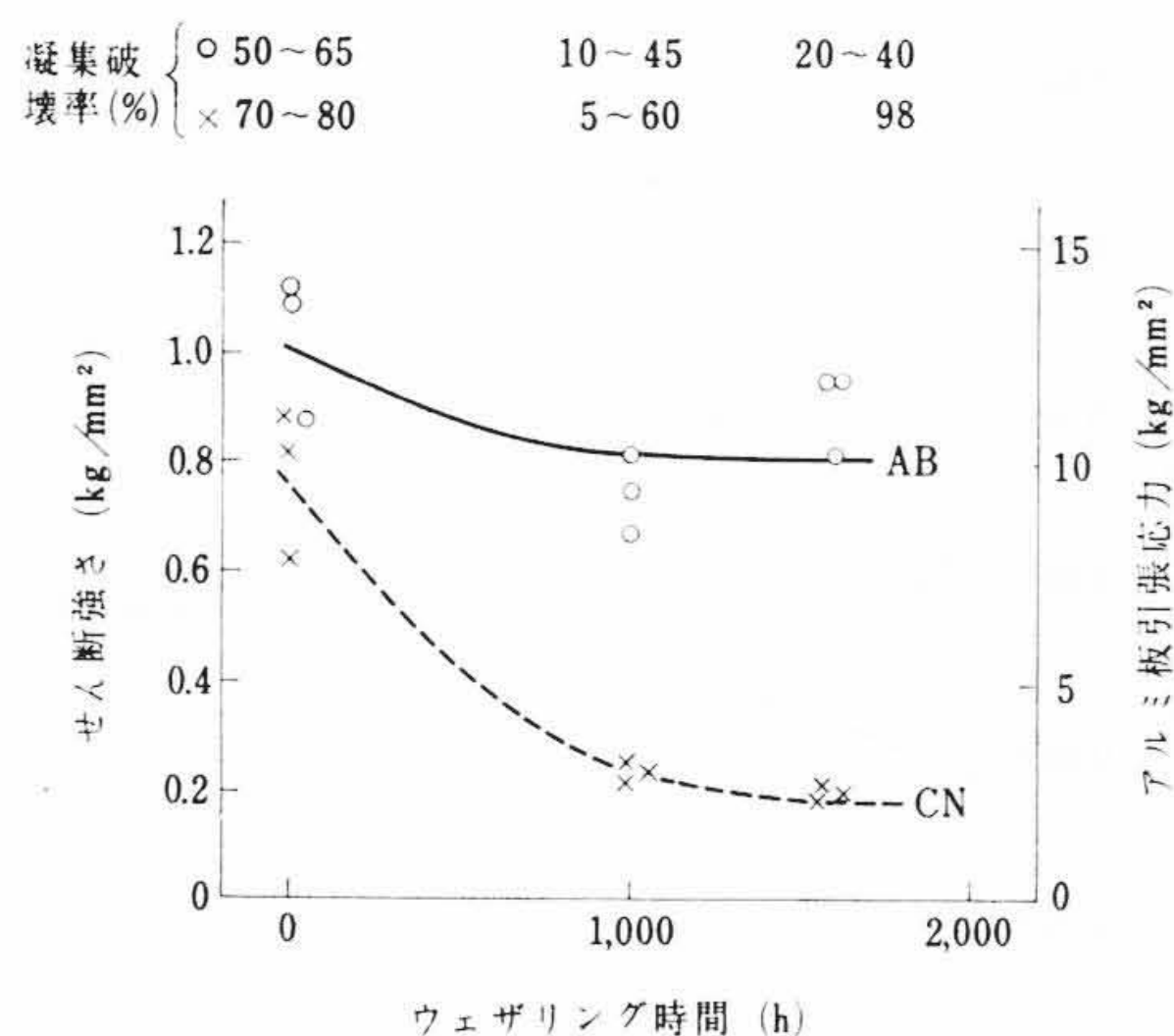
ドア骨組は溶接組立のため、ひずみを完全にすることは困難であり、接着剤が部分的に厚くなることが考えられるので、接着剤厚さを 0.06~1mm に変化して接着強さとの関係を検討した。その結果衝撃強さについて、厚さが 0.6mm 以上では CN は剥離しない試験片が多く、AB の約 4 倍の強さを示したが、その他の強さについては接着剤による差異はなく、総体的に接着剤厚さが 0.05~1mm の範囲では、厚いほうが接着強さが大きくなる傾向にある。したがって、ドアのひずみはある程度許されることになる。また本報にお



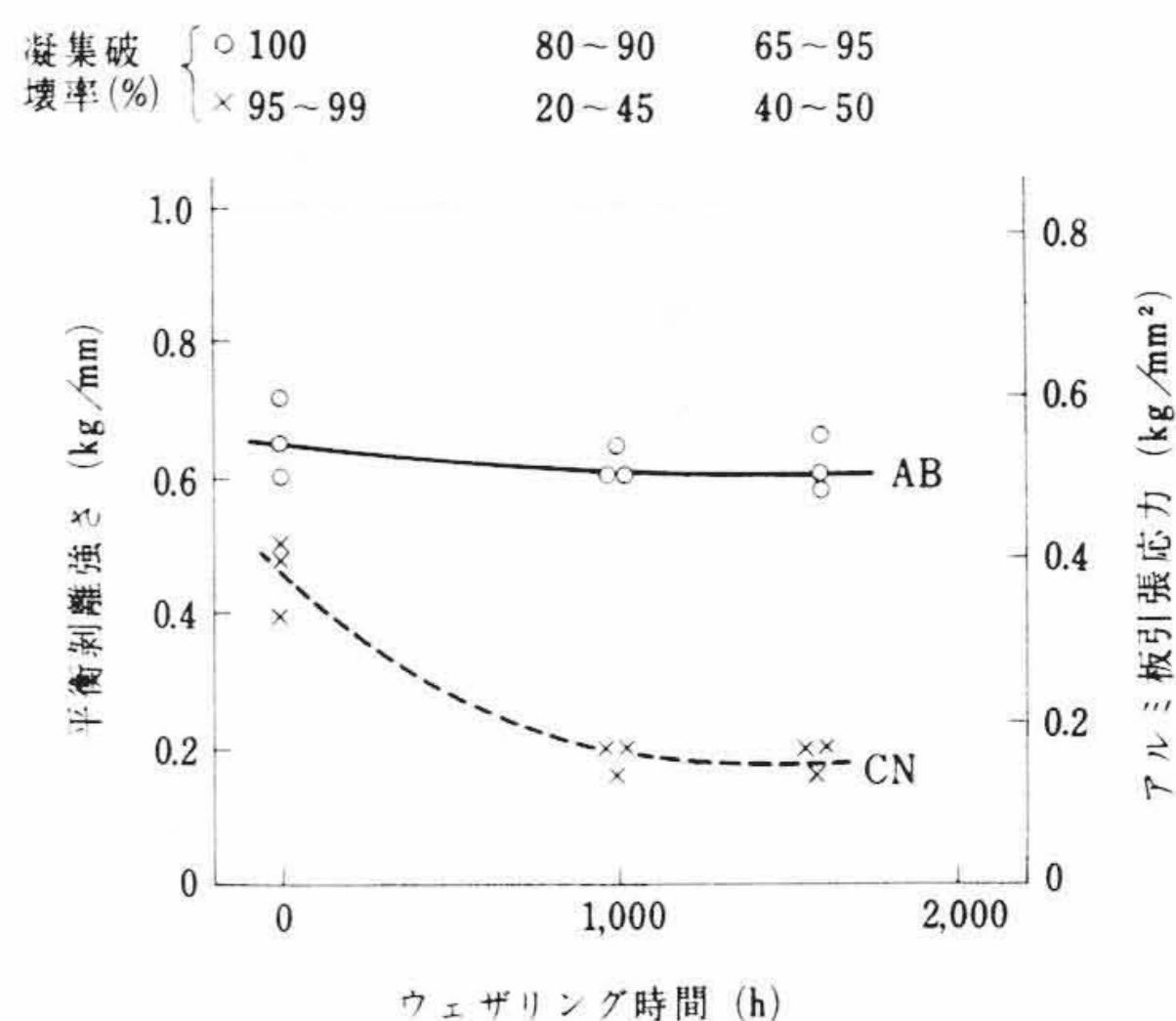
第11図 温度と平衡剥離強さ



第13図 衝撃強さのウェザリング



第12図 セン断強さのウェザリング



第14図 平衡剥離強さのウェザリング

ける各種性能試験での接着剤厚さは0.1mm程度であるので、接着剤厚さに対しては安全側で試験していることになる。

5.2 接着剤の温度特性

せん断強さ(第9図)については20~50℃の温度範囲で約1.2kg/mm²より0.4kg/mm²くらいまでの直線的低下を示すが、衝撃強さ(第10図)では20℃以下でわずかに強さの低下がみられる。20℃以上ではほとんど変化がなく、また平衡剥離強さ(第11図)についても、20~50℃の範囲で強さの変化はほとんど示さなかった。また、せん断強さではCNとABの差異はほとんどないが、衝撃強さではCNがABの約2倍の強さを有しているのに対し、平衡剥離強さでは逆にABがCNの1.5倍の大きい値を示している。

常温硬化形の接着剤は、一般に耐熱性がよくないようであり⁽¹²⁾、現車のドアその他の内張りにおいても、温度上昇は普通35℃程度と思われるが、日光などにより外部から熱せられ、部分的には50℃程度の温度上昇が考えられる。このように温度変化に対して、せん断強さは敏感に変化するが、その他の強さについては、大して問題になるような強さの低下はみられなかった。

5.3 促進劣化試験

ウェザリングの試験結果を第12~14図に示す。試験結果において、劣化の程度が小さいのはCNの衝撃強さおよびABの平衡剥離強さであり、その他のものは1,000時間以上でかなりの強さの低下がみられた。しかし1,000時間以上ではほとんど変化が進行せず、1,000時間でほぼ平衡に達していると思われる。

第12~14図に継手の凝集破壊率を示したが、劣化が進むにしたがい凝集破壊率が減少しており、これより接着剤自身の劣化とともに、界面での劣化が接着強さに影響していることが考えられる。

第5表 接着継手の劣化係数

接着剤名	せん断強さ	衝撃強さ	初期剥離強さ	平衡剥離強さ
AB	0.75	0.57	0.58	0.94
CN	0.30	0.91	0.25	0.40

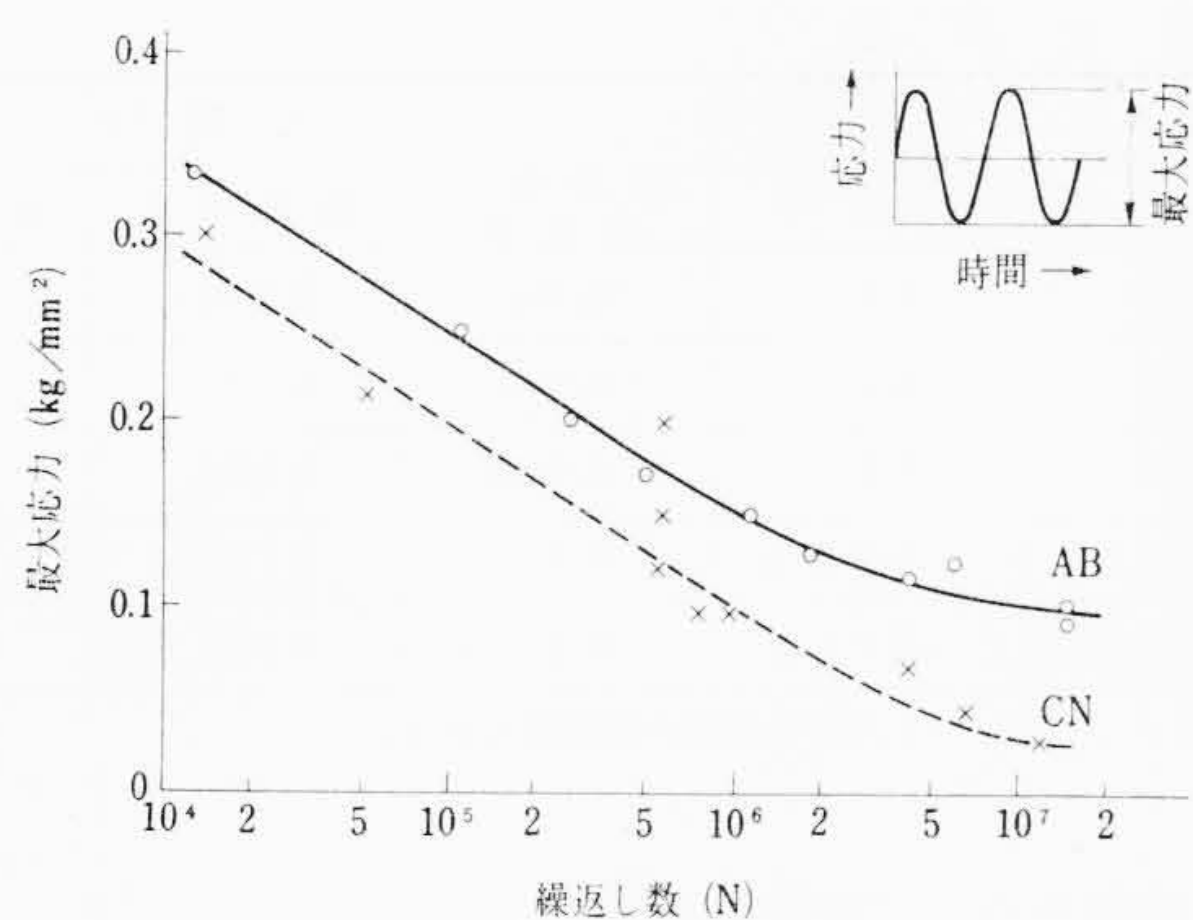
また参考までに第12図および第14図の右縦軸に、接着強さに対応して試験片のアルミ板に働く引張応力を示したが、劣化前の強さは、せん断強さの場合は15kg/mm²くらいまで耐えているのに対し、平衡剥離強さでは、高いもので0.6kg/mm²(アルミ板の引張強さは約20kg/mm²)程度である。

ウェザリング1,000時間後の各種継手の強さについて、それぞれの劣化係数を求めてみると第5表のようになり、CNは衝撃強さにすぐれているが、その他の強さではABがまさっているので、総体的にCNよりもABが耐劣化性がすぐれていると考える。

なおウェザリングと戸外暴露の試験期間の関係については、塗料の場合で20~70倍⁽¹³⁾、また紫外線の量からは約40倍⁽¹⁴⁾ともいわれるが、接着継手の場合は明らかでない。したがってかりに20~40倍とすると、戸外暴露1年分はウェザオメータでは220~440時間になる。電車のドアなどでは、戸外暴露のようなきびしい使用条件を考える必要はないと思うが、一応上記の倍率を使用すると、今回のウェザリング1,600時間は4~7年に相当することになる。

5.4 衝撃せん断試験

ドア戸当たり部を構成している試験片(第8図)に対して、ドア開閉時の最高速度における運動エネルギーの約4倍の衝撃エネルギー0.107kg-m/cm²を与えた場合、アルミ板の折り曲げ部(A)のみが変形し、接着層の剥離は認められなかった。これはまた戸当たりビ



第15図 疲れ曲線 (試験温度 35°C)

ニルを除いて、アルミ板に直接衝撃を与えた場合にも同様であり、さらにウェザリング 1,600 時間後の試験片についても、戸当たりビニルなしの場合に接着層の剥離はみられなかった。したがって CN および AB はともに、もしドアエンジンのダンパが故障して最高速度でドアが衝突することがあっても、十分に耐え得るものと思われる。

5.5 繰返し衝撃せん断試験

正常運転におけるドア開閉時の運動エネルギー (ドア閉止速度に対するエネルギー) の約 3.5 倍のエネルギー $0.0044 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ により、ウェザリング前後の試験片について繰返し衝撃試験を行なった結果、 1.05×10^6 の繰返し数の間に、4 回も戸当たりビニルが切断するため、そのたびごとにこれを取りかえて試験を行なったが、接着層の剥離はみられなかった。そしてこの 1.05×10^6 の繰返し数は、電車を 1 日 15 時間運転しドアを 3 分に 1 回開閉すると仮定して、約 10 年分に相当する。したがって正常運転されるドアの開閉による衝撃に対しては、接着剤は CN および AB とともに十分耐え得るといえる。

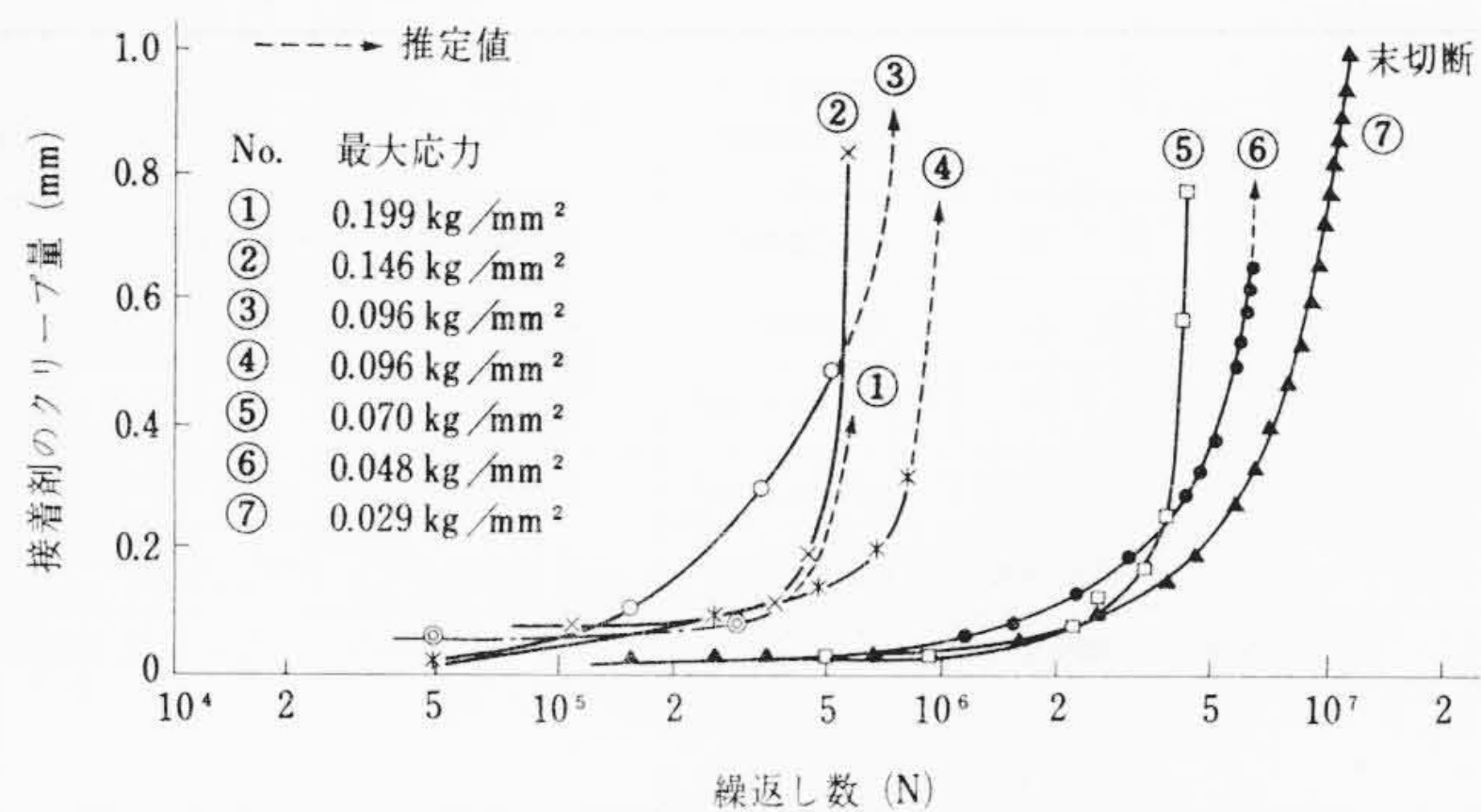
5.6 せん断疲れ試験

第15図に片振引張りせん断応力 (応力振幅/平均応力=1) による疲れ曲線を示す。

10^7 疲れ限度について、CN は $0.05 \text{ kg}/\text{mm}^2$ 以下で小さく、しかも第16図にみられるような接着層のクリープが生ずる。しかし AB については CN の約 2 倍の $0.1 \text{ kg}/\text{mm}^2$ の強さを示し、クリープはほとんどみられない。

これらの結果をまとめ、疲れ係数を求めてみると第6表のようになり、疲れ強さおよび疲れ係数はともに AB が良好で、CN はいずれも小さく、クリープ量も大きい。CN はチオコールを比較的多量に含有しており、耐衝撃性が大きい代わりに、硬化樹脂が他の接着剤に比較してやわらかく、そのためにクリープ量が大きく、疲れ強さが小さいものと考えられる。

参考までに今回試験した接着剤についての重ね合わせ継手と、点溶接の強さを比較してみると第7表のようになる。溶接継手は 52S0 (板厚 2mm) の幅 25mm の中心に、約 10mmφ の 1 点溶接を行なった場合の強さであり、接着継手は $25 \times 25 \text{ mm}$ の接着面積を



第16図 疲れ試験におけるクリープの1例 (CN)

第6表 疲れ強さおよび疲れ係数

接着剤名	静的強さ τ (kg/mm ²)	疲れ強さ τ_f (kg/mm ²)	疲れ係数 τ_f/τ	破壊時の最大 クリープ量 (mm)
AB	0.945	0.100	0.106	0.15
CN	0.820	0.030	0.037	0.85

もつ場合 (シングルラップ) を考える。また疲れ強さは片振の場合である。

接着剤は 2 種類とも、劣化前の静的強さでは溶接継手にかなり近い値を示しているが、CN は劣化が大きく疲れ係数が小さいので、劣化後の強さは疲れ限度が 5.8 kg になり、溶接継手の強さの約 6% である。しかし AB では疲れ係数も溶接継手に近い値を示し、劣化も小さいので、劣化後の疲れ限度でも溶接継手の約 50% の強さを示している。

このように常温硬化形の接着剤を構造材に応用する場合にも、第7表に示したアルミ板応力程度の強さに対しては十分使用できるものであり、アルミ板の場合板厚が 2mm 以下ならば、静的強さを考える場合、アルミ板が塑性変形をおこす程度の使用荷重に耐えることがわかる。

5.7 接着剤の実用性

実際の製品の使用中においては、劣化が進行しながら繰返し応力も同時に働いているので、今回の試験のように、接着剤の劣化と疲れ試験を別々に分けて試験した場合とは、いくぶん異なった結果になると思うが、本報においては、せん断強さについては実験によって求めた劣化係数、疲れ係数および初期接着強さの積が、接着剤の最終強さであると仮定してこれを求め、また疲れ試験を行っていないものは劣化係数のみにより求めた強さを最終強さと考え、さらにさきに計算したドアの使用応力 (第2表) との関係より、安全率を (3) 式より求めると第8表のようになる。安全率が 1 以上であれば長期間の使用に耐えることを意味しているが、安全率はできるだけ高いものが有利である。

第8表において安全率が 1 以下のものに CN の平衡剥離強さおよび AB の衝撃強さがあり、各種継手の強さに対して十分に満足し得る接着剤はない。しかし衝撃および平衡剥離強さについての使用応

第7表 アルミ板における溶接および接着継手の強さの比較

継手の種類	劣 化 前			劣 化 後		疲 れ 限 度 の 強 度 比		劣化後のアルミ板引張り応力 (kg/cm ²)	
	静的強さ (kg)	疲れ限度 (kg)	疲れ係数	静的強さ (kg)	疲れ限度※ (kg)	劣 化 前	劣 化 後	静的強さ	疲れ限度
一 点 溶 接	680	90	0.133	(680)	(90)	1	1	13.6	1.80
接 着 剤 AB	590	62.5	0.106	443	47.0	0.69	0.522	8.86	0.94
接 着 剤 CN	515	18.8	0.037	155	5.8	0.21	0.064	3.10	0.12

(注) (1) ※印は劣化前の疲れ係数より推定する。
(2) 劣化後とはウェザリング 1,600 時間後とする。
(3) 溶接の場合は劣化のデータがないために、一応劣化がないものと考えた。

第8表 接 着 剤 性 能 の 総 合 評 価

継手の種類	項 目	応力および 強さの単位	使用 応 力	最終強さを 求めるため の 係 数	A B			C N		
					静 的 強 さ (劣 化 前)	最 終 強 さ	安 全 率	静 的 強 さ (劣 化 前)	最 終 強 さ	安 全 率
せん断強さ	せん断強さ	kg/mm ²	0.0086	劣化, 疲れ	0.945	0.0708	8.2	0.820	0.0091	1.1
	平衡剥離強さ	kg/mm	0.20	劣 化	0.681	0.649	3.2	0.446	0.179	0.9
	衝 撃 強 さ	kg-m/cm ²	0.020	劣 化	0.0282	0.0161	0.8	0.0456	0.0415	2.1
衝撃せん断強さ※	ドアの最高速度	kg-m/cm ²	0.0236	劣 化	0.1 以上	0.1 以上	4.2 以上	0.1 以上	0.1 以上	4.2 以上
	ドアの閉止速度	kg-m/cm ²	0.0012	劣化, 疲れ	0.1 以上	0.0044 以上	3.7 以上	0.1 以上	0.0044 以上	3.7 以上

(注) 衝撃せん断強さについては最終強さは試験値を用いた。したがって ※ 印についての最終強さはウェザリング1,600時間後の試験値である。

力は、経験的に与えた数値であり、実際の使用においては、アルミ板が曲げの塑性変形を受ける程度の力は働かない。また衝撃強さについては、せん断方向の衝撃力に対して確認試験を行っており、安全率も0.8~0.9でほぼ1に近く、さらにドア内張りにおける劣化の程度が戸外暴露ほどきびしくないとと思われるので、CNおよびABはドア用接着剤として使用できると考えてよいであろう。しかしCNよりもせん断強さが大きく、そして劣化の度合いが小さく、しかも高粘性で流れが少なく肉盛りのよいABのほうがまさっている。

なおCNにおいて繰返し応力が働く場合に、クリープが心配されるが、これはドアの場合には必ずしも一方向の力のみが働くとはかぎらないので、あまり問題ないと考える。

ドア内張り用接着剤として、CNおよびABを使用した場合の寿命については劣化条件によって異なるが、ドア内張りでは戸外よりも劣化の度合いが小さく、しかもウェザリングの結果のように1,000時間以上では平衡値を示して、それ以上の劣化はほとんどおこらないと仮定すると、4~7年程度は耐用できるように思われる。

以上の結果から、ドア類はもちろん天井板その他の接着には、ABまたはCNを使用し、50℃5時間の加熱硬化を行なうことによって、ほぼ満足する結果を得ることができる。

6. 結 言

電車のドアの内張りに接着剤を応用するために、各種選定試験および性能試験を行ない、大要次のような結果を得た。

- (1) 被着材の表面処理は、エメリーペーパー1G研摩およびトリクレン脱脂でかなり満足な接着強さが得られる。しかし接着剤の硬化は、50℃5時間の加熱硬化が必要である。
- (2) 常温硬化形の接着剤では、ゴム系はせん断強さが低く、エポキシ樹脂系は総体的に衝撃および剥離強さが十分でない。しかしCNおよびABはせん断、衝撃および剥離強さが比

較的そろって良好である。

- (3) 温度特性については、せん断強さが高温側でかなり低下するが、その他の強さについては大きい変化はみられない。
- (4) 接着剤厚さが0.05~1mmでは、0.6mm程度ではほぼ最高強さを示すが、それより厚い場合も大きい強さの低下はない。
- (5) 疲れ係数はABは0.106でアルミ板の点溶接にかなり近いが、CNは0.037で小さくかつクリープが生ずる。
- (6) 劣化および疲れ係数を用いて、CNおよびABについての最終強さを求めて実用性を検討した結果、接着剤はCNよりもABがまさっているが、両者ともドアやその他の内張り用として十分使用できる。

参 考 文 献

(1) 参考として ティモシエンコ (片山訳): 材料力学, 上巻 64 (昭 30, コロナ社)

(2) 久保沢, 金子: 日立評論 33, 874~883 (昭 26)

(3) 金子: 日立評論 38, 1259~1268 (昭 31)

(4) 小林, 稲月: 軽金属 No. 12, 97 (1954)

(5) 左海, 田中: 日立評論 44, 644~646 (昭 37-4)

(6) 例えば金丸: 接着及び接着剤 205 (昭 32, 誠文堂新光社)

(7) 例えば井上ほか: 接着技術便覧 591~592 (昭 37, 高分子学会)

(8) N. A. De Bruyne ほか: Adhesion and Adhesive, 481 (1951)

(9) M. J. Bodnar: Symposium On Adhesive for Structural Application, 20 (1961)

(10) (5)に同じ

(11) 沖津: 接着, 理論と応用 567 (昭 35, 丸善)

(12) 例えば軽金属協会: アルミニウムハンドブック 613 (1963, 朝倉書店)

(13) 深谷: 防錆管理 3, 1 (1958-8)

(14) 松田: 高分子材料試験法 I (高分子実験学講座, 7) (昭 34-9, 共立出版)

訂 正

本誌 Vol. 46 No. 12 掲載論文「厚鋼板打抜型鋼の研究」の参考文献欄(118頁)に次のような誤りがありました。おわびするとともに訂正いたします。

- 誤: (1) 根本, 八重樫: 特許公告 昭 39-11054
- 正: (1) 根本, 八重樫: 特許公告 昭 36-6507