

客電車外板下地塗装の研究

Study on the First Coating of Passenger Car and Electric Coach

左 海 孝 之* 森 山 光 昭*

Takashi Sakai

Mitsuaki Moriama

内 容 梗 概

客電車外板の塗装は年一回くらいの補修が行なわれているのが普通であるが、この耐用年数を向上することが要望されている。塗膜に生ずる欠陥には種々あるが、これらの欠陥のうちで問題の大きい下地用パテの性能について検討を加え、塗膜の耐用年数の向上をはかった。このため現車使用条件を考慮に入れた機械的試験および劣化試験を行ない、在来よりも性能のすぐれたパテの選定およびその塗装条件を明らかにした。

1. 緒 言

鋼体客電車の外板塗装は、外板のままでは要求されている平面度を出すことは困難であるので、下地パテの塗り重ねによって平面度を出し、上塗り塗装を行なっている。在来客電車外板の塗装はプライマ、下地パテ、中塗り、上塗りなど20工程以上の多きにわたって仕上げられており、下地パテとして普通カシューパテを使用している。しかし塗膜の耐用年数は短く、年一回くらいの補修が必要であるのが現状であり、塗膜の耐用年数を向上することが要望されている。

塗膜に生ずる欠陥はき裂、はく離、退色その他種々のものがあり、それぞれプライマより上塗りまで関連している。これらの欠陥のうちで問題の大きいパテのき裂について検討を加え、塗膜の耐用年数の向上をはかることにした。

供試パテは、合成樹脂としてすぐれた諸性質をもっているエポキシ樹脂および不飽和ポリエステル樹脂を基材とした2種類の合成樹脂系パテを市販品の中より選び、在来のカシューパテと合わせ3種類とした。

客電車外板の塗膜は車両走行中において、外気環境の中にあつて静的および動的の応力を受け、かつ必然的に劣化が進行し、これらの要因がパテ部のき裂の原因と考えられる。したがってこのたび、パテの機械的性質および疲労強度について劣化の影響も加味した試験を行なうことにした。

2. 供 試 塗 料

客電車外板の下地塗装はグリットブラスト、プライマ吹き付け、パテ付けの順序で行なわれているので、試験片の塗装もこれに従った。供試パテは合成樹脂としてすぐれた諸性質をもっているエポキシ樹脂および不飽和ポリエステル樹脂を基材とした2種類の合成樹脂系パテを市販品の中より選び、在来のカシューパテと合わせ3種類とした。第1表に試験に使用したプライマおよびパテの組み合わせを示す。硬化条件はいずれも80℃、30分である。

パテの劣化試験においては、実際に車両に使用される場合、パテは上塗りによって太陽光線、風雨、清掃剤などの外部要因による影響をある程度緩和されることが考えられるので、これらの影響を知るためパテ付けされた試験片のほかに、パテに上塗りした試験片も作製した。使用した塗料および塗装順序は第2表に示す。上塗り塗料は客電車外板に一般によく使用されているフタル酸樹脂エナメルで、その色彩は暗青色である。

3. 試 験 方 法

3.1 機 械 的 性 質

パテの機械的性質は第1図に示すパテ単独の引張試験片について

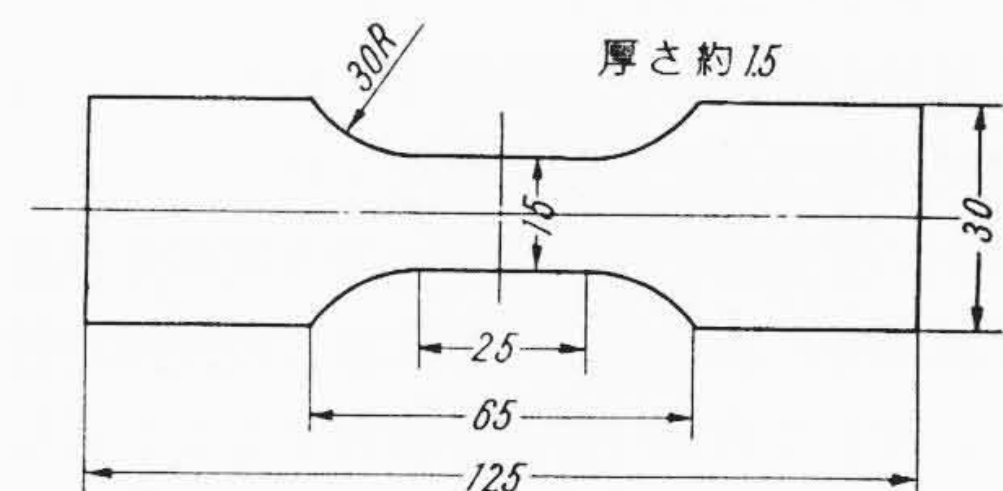
* 日立製作所笠戸工場

第1表 供 試 下 地 塗 料

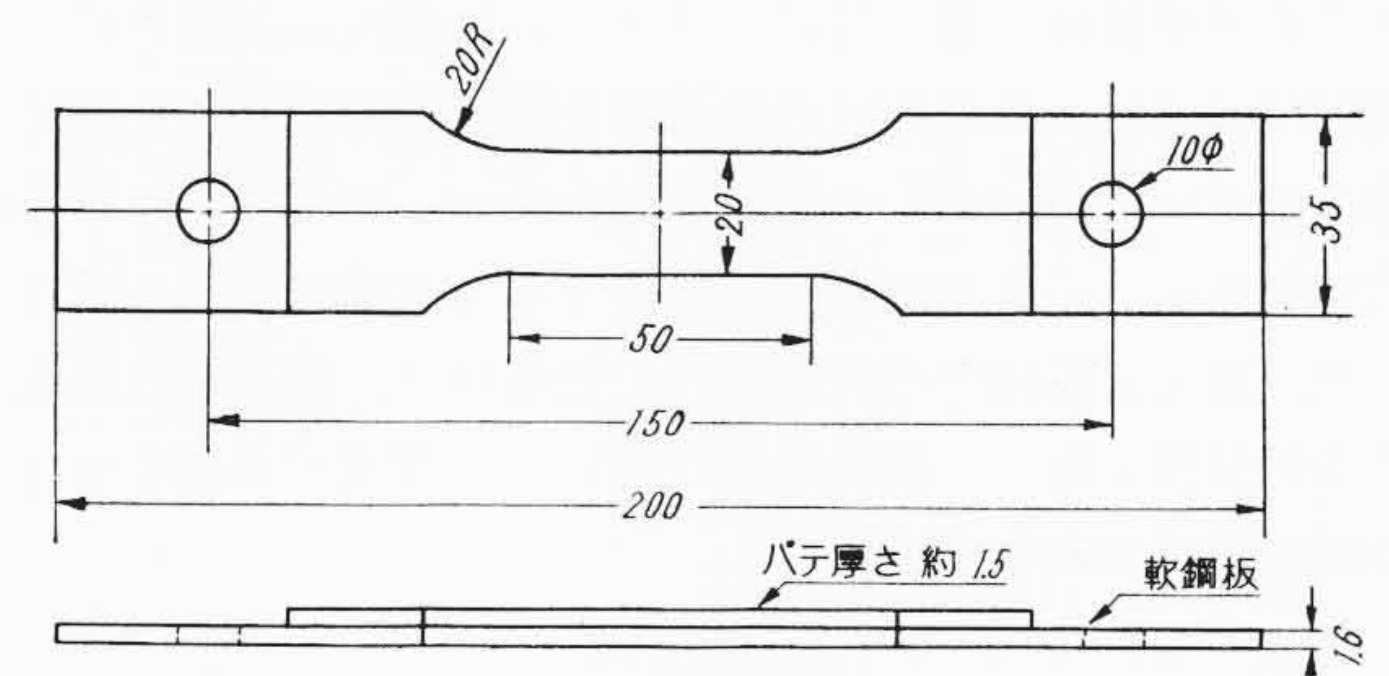
プ ラ イ マ	パ テ	パテの基本樹脂	パテの略称
ミリオンNo.1Aレッド レッドプライマ	ミリオンNo.1Aパテ	エポキシ	ミリオンパテ
ミリオンNo.1Aレッド レッドプライマ	ポリバNCパテK-80	不飽和ポリエステル	ポリバパテ
カシュープライマ	カシューパテ	カシュー	カシューパテ

第2表 上塗り塗料およびその塗装順序

パ テ	サーフェーサ	中 塗 り	上塗り (2回)
ミリオンパテ	ポリバNCサーフェー サB	フタリッドグランド コート	フタリッドエナメル
ポリバパテ	ポリバNCサーフェー サB	フタリッドグランド コート	フタリッドエナメル
カシューパテ	フタリッドサーフェー サ	—	フタリッドエナメル



第1図 パテ引張試験片



第2図 パテ付けされた場合の引張試験片

引張試験を行ない、前もって試験片にてん布した抵抗線ひずみ計によってパテの応力ひずみ曲線を求めた。試験温度は-15～+30℃の範囲で、数種類の温度において試験した。

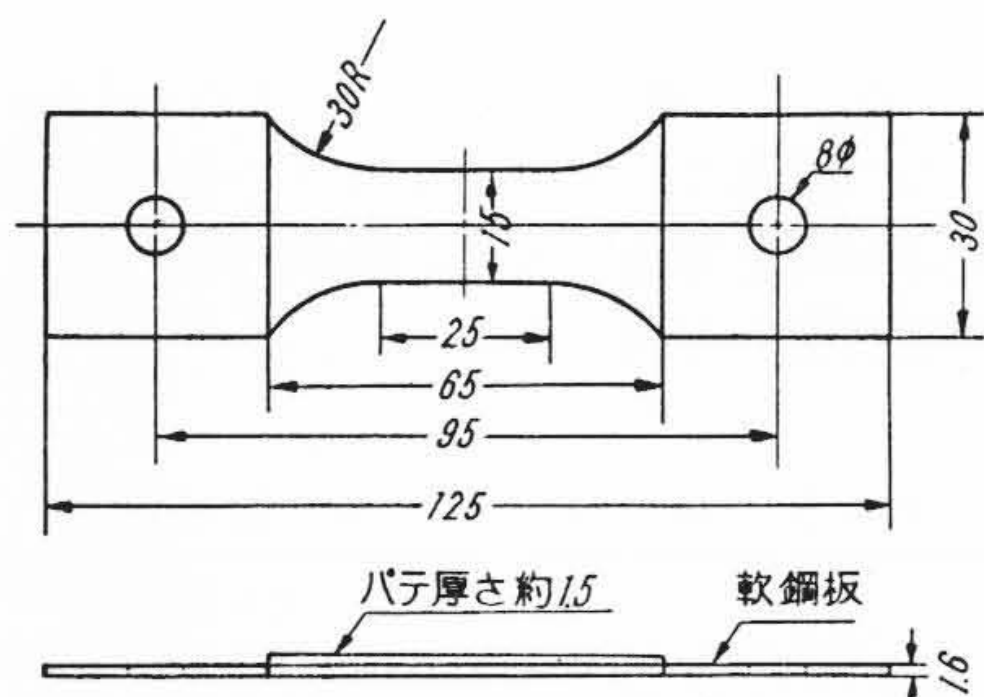
3.2 パテ付けされたパテの伸び率

軟鋼板にパテ付けされているパテは、硬化のための加熱、硬化反応による収縮、使用環境の温度変化などにより、パテ部にはある程度の残留応力が生じていることが予想される。したがって客電車外板のひずみに耐えるためのパテの伸び率は、パテ単独の引張試験で求めた最大伸び率と当然相違してくるので、第2図に示すように軟鋼板の引張試験片にグリットブラスト後パテ付けを行ない、3.1のパテの機械的性質と同様の試験法により、軟鋼板に引張力を与え、パテにき裂が発生するときのひずみを測定した。なおパテに上塗りを施した試験片については、引張試験におけるパテのき裂発見を容

第 3 表 客電車外部用清掃剤の組成

薬 品 名	配 合 量 (g)
硫 酸	34
塩 酸	380
し ゅ う 酸	26
グ リ セ リ ン	100

以上に水を加えて 1,000 cc にする



第 3 図 パテ付けされた場合の疲労試験片

易にするため、塗膜を研削してパテを露出させて試験した。

3.3 促進劣化試験機

パテの促進劣化試験にはウェザーオメータを使用した。試験温度は試験片と同じ位置に取り付けたブラックパネル温度計が60°Cになるようにした。ウェザーオメータによる促進劣化試験と自然暴露試験の時間の関係については供試材料によって差があるが、測光法によるとウェザーオメータの光源ランプの光エネルギーは、太陽光線の一年間の平均光エネルギーの約 40 倍⁽¹⁾であるので、今回の試験においては一応この倍率によった。したがってウェザーオメータによる 220 時間の試験を自然暴露 1 年相当と考えることにし、最大 5 年相当までの促進劣化試験を行なった。

なお、現車において普通使用されている客電車外部用清掃剤によって、促進劣化試験中に 20 時間ごとに試験片の洗浄を行ない、洗浄しない試験片と比較して劣化の影響を検討することにした。清掃剤の組成は第 3 表に示す。

3.4 疲労試験機

パテの疲労試験は、第 3 図に示すように軟鋼板の試験片にパテ付け(上塗りなし)し、3 年相当の促進劣化試験後、試験片を疲労試験機に取り付け、-10~0°C の温度範囲内において試験片に引張繰返し応力を与え、パテ部にき裂が発生するまで疲労試験を行なうことにした。疲労試験機⁽²⁾は自家製作したもので、第 4 図は外観を、第 5 図は低温槽を除いた試験片取付部および荷重バネ部を示す。試験機の回転数は 900rpm である。

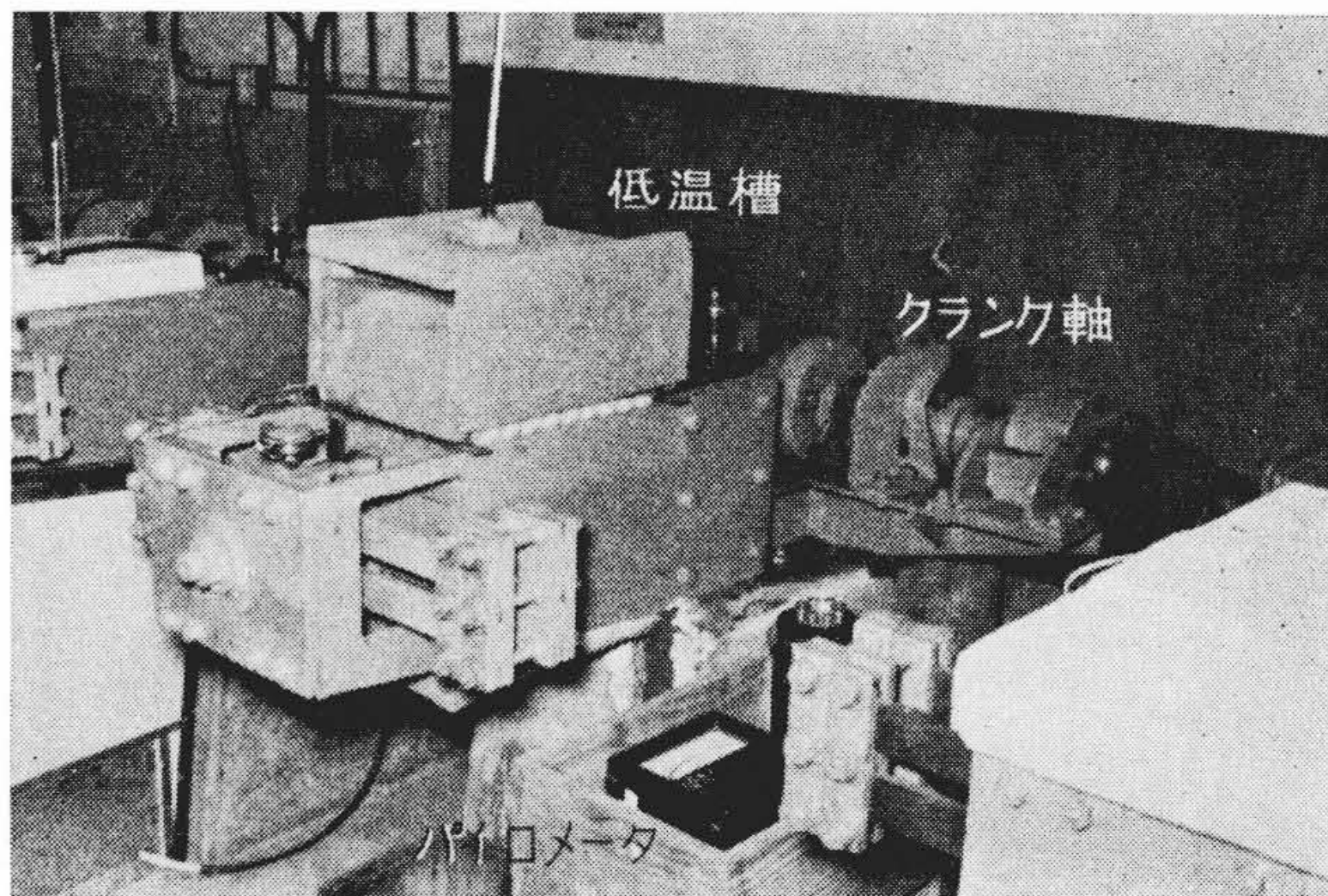
4. 劣化前のパテの性質

4.1 機械的性質

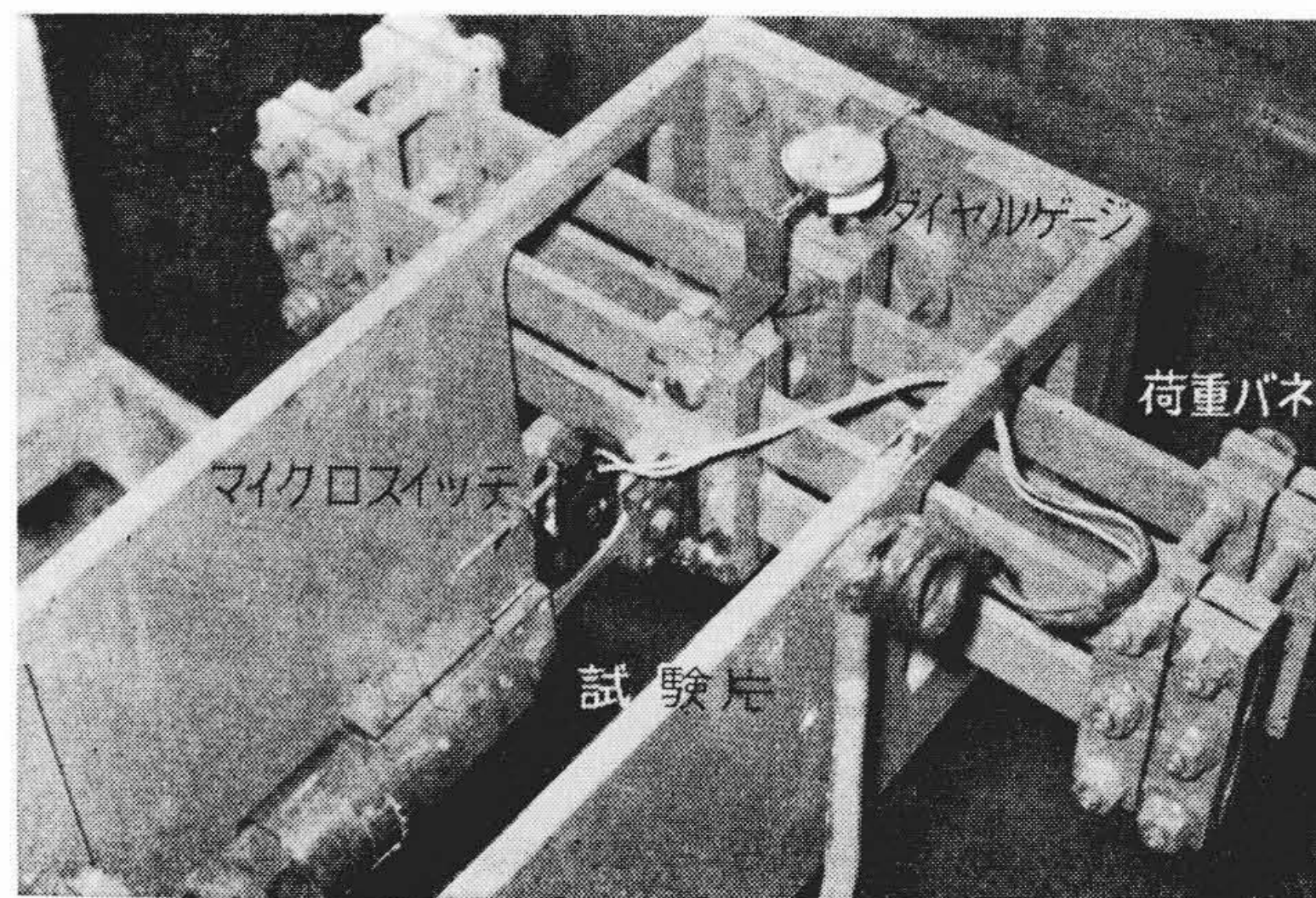
パテの応力ひずみ曲線の例を第 6 図に示す。いずれのパテも曲線の形は非常に似ており、-15°C の低温においてはほとんど直線的で伸びが少なく、もろい破断をしているが、温度が高く零度以上の場合は多少延性をもってくる。これらの応力ひずみ曲線より求めた機械的性質と温度の関係を第 7~9 図に示す。

ミリオンパテとポリバパテの機械的性質は大体等しく、ヤング率および引張強度は温度が高くなるにしたがいほぼ直線的に減少する傾向を示し、その温度依存性は大きい。また伸び率の温度依存性はとくに著しく、約 10°C 以上の温度では伸び率が急増し、30°C 以上においてはミリオンパテは 4 % 以上の伸び率を示し、ゴム状弾性に近づこうとする傾向を示している。これに対し約 10°C 以下においては伸び率は非常に少なくなり、もろくなる傾向にある。

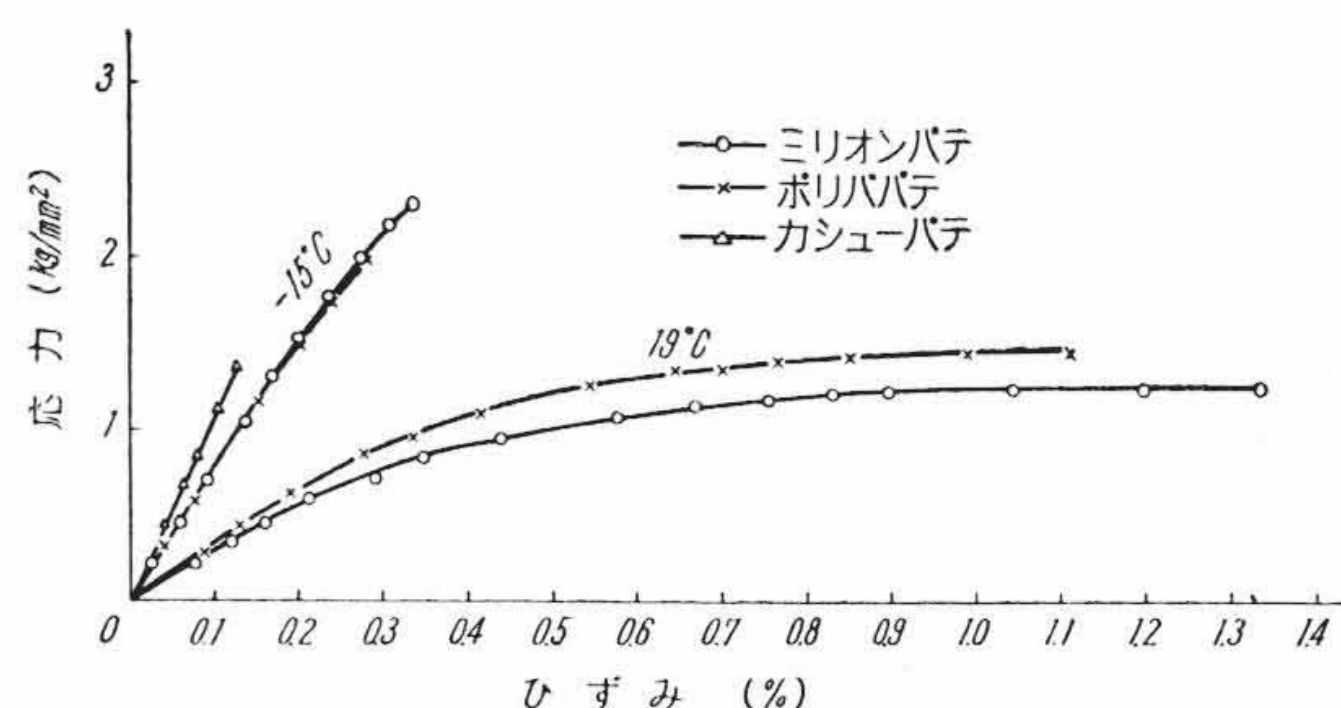
カシュパテについては前述のミリオンパテおよびポリバパテと



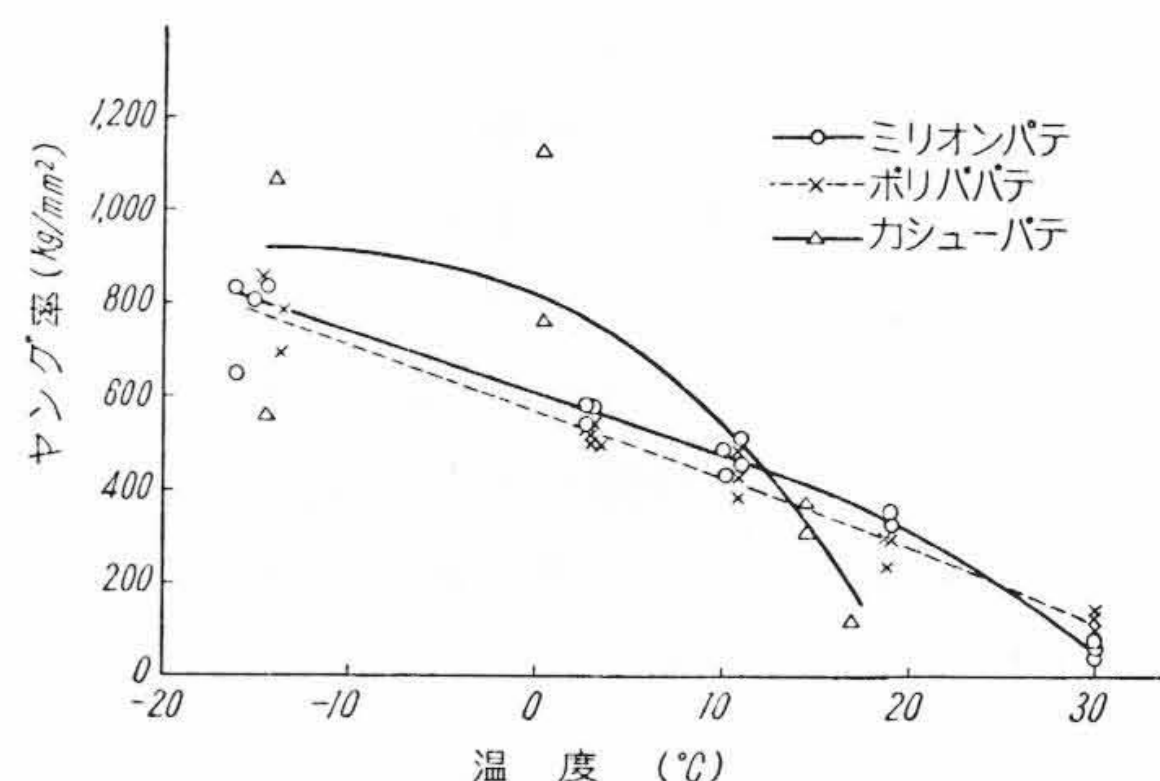
第 4 図 疲労試験機の外観



第 5 図 疲労試験機の試験片および荷重バネ部



第 6 図 応力 ひずみ 曲 線

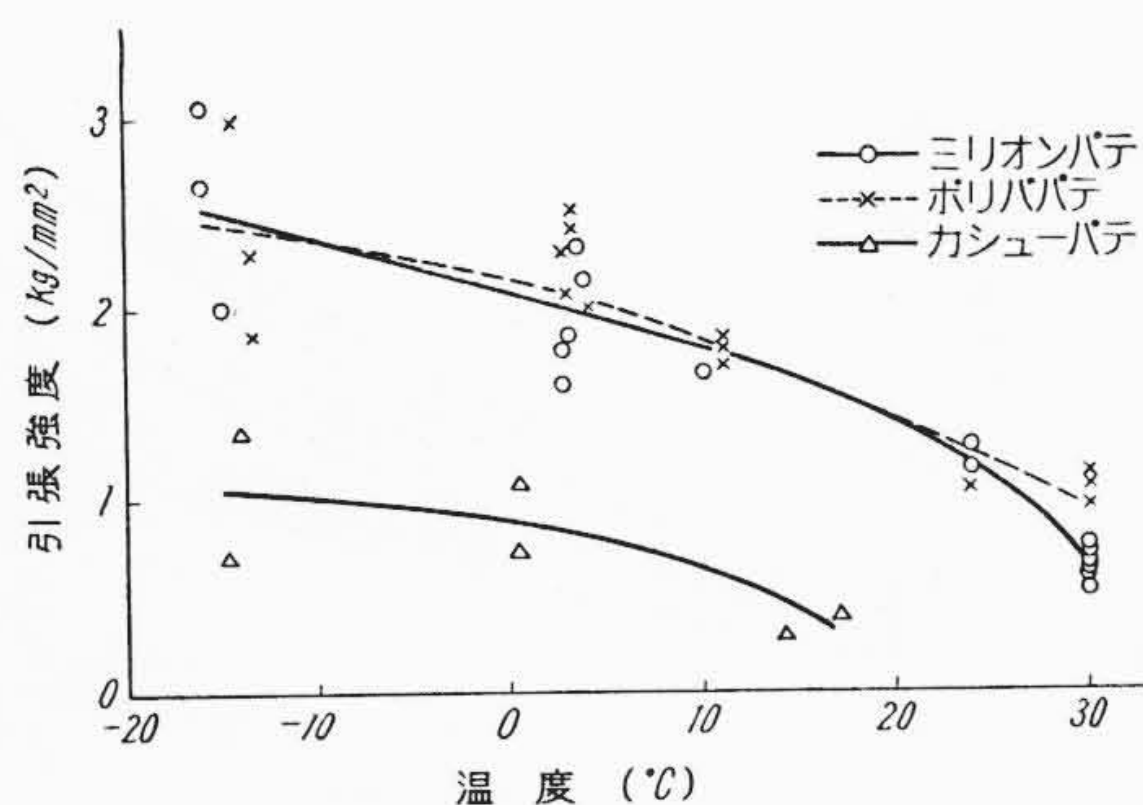


第 7 図 ヤング率と温度の関係

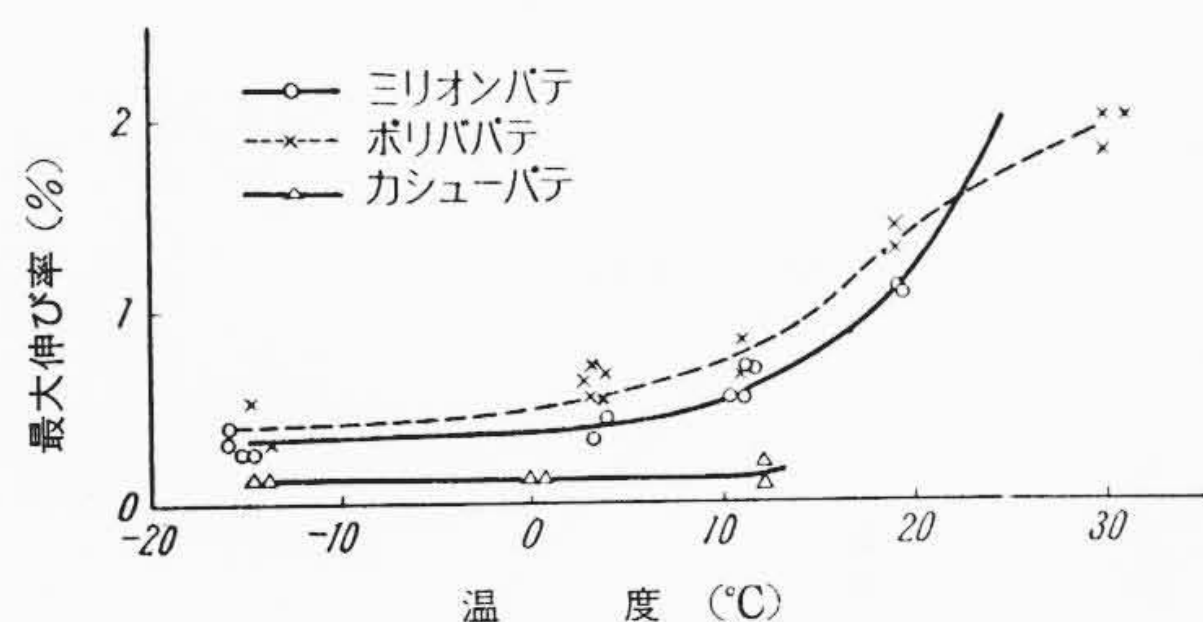
比較すると、ヤング率は大差ないが、引張強度は1/2以下、伸び率は1/3以下の小さい値である。

4.2 パテ付されたパテの伸び率

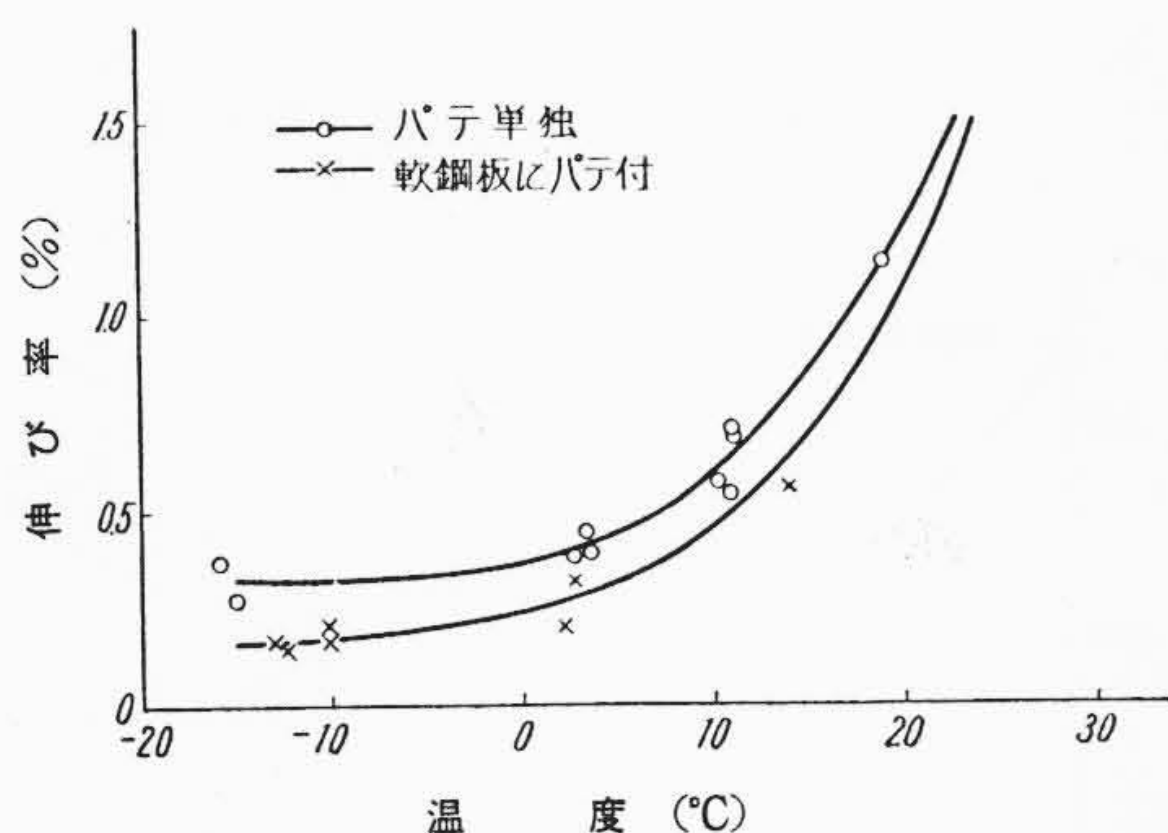
軟鋼板にパテ付けした試験片の温度と伸び率の関係を、パテ単独の場合とともに、それぞれのパテについて第 10~12 図に示す。パテ付けされた場合については残留応力の影響が認められるが、これ



第8図 引張強度と温度の関係



第9図 最大伸び率と温度の関係



第10図 伸び率と温度の関係 (ミリオンプテ)

はパテの硬化反応による収縮および、軟鋼板とパテの熱膨脹係数の差などが原因しているものと推定される。ミリオンプテおよびポリバパテは残留応力の影響の傾向は大体等しく、温度の低下とともに増加しているが、カシューパテはその傾向が逆に出ている。これら残留応力に及ぼす要因については、あらためて検討したいと考えている。

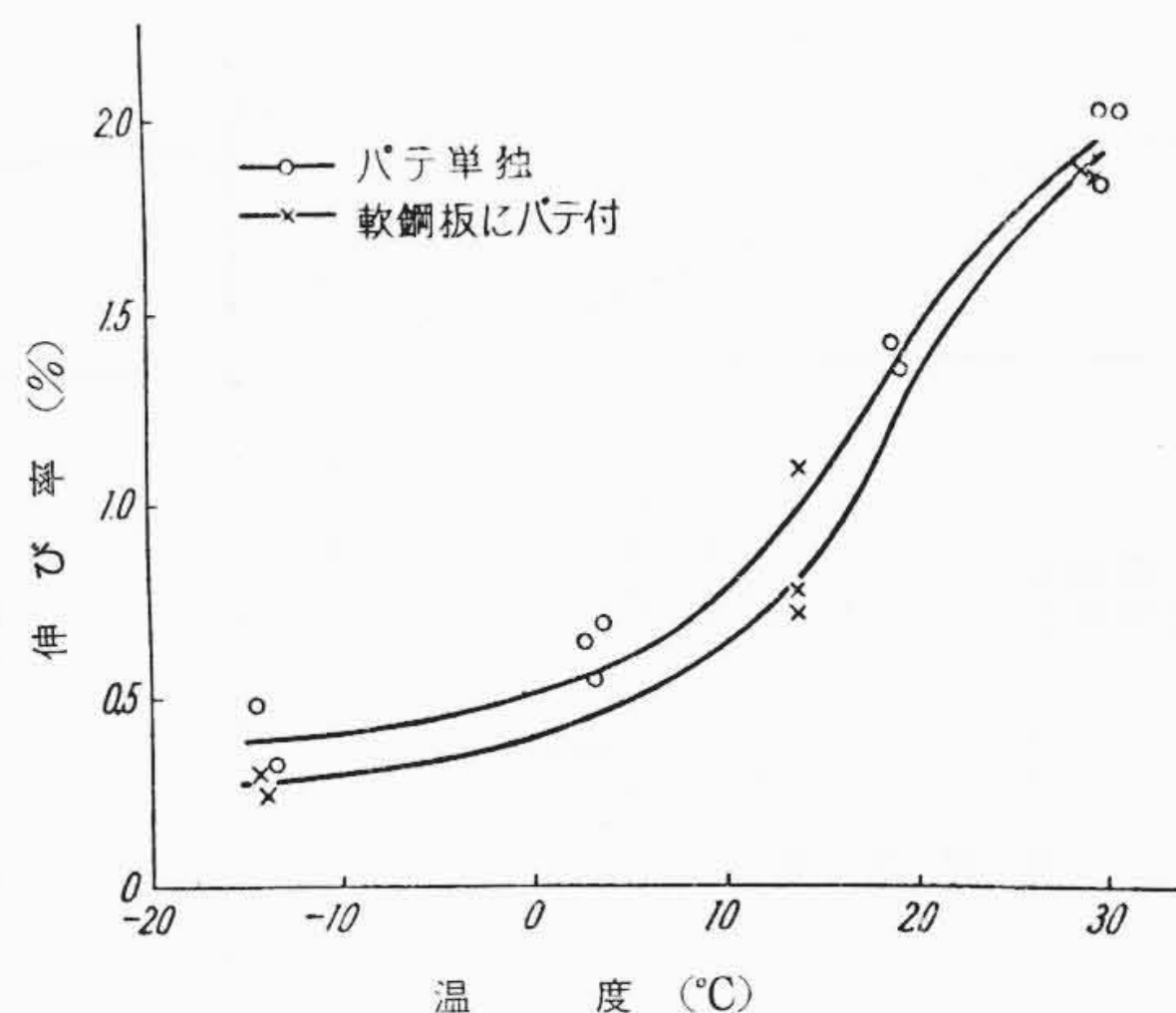
以上の結果より客電車外板にパテ付けされたパテの伸び率は、低温においてはパテ自身の伸び率の低下および残留ひずみの影響のため伸び率ははなはだしく減少するので、現車使用中におけるパテのき裂は低温において発生することが推定され、パテの性能は低温において検討されなければならない。普通一年間の外気最低温度は -12°C くらいになる⁽³⁾。以下のパテの促進劣化後の試験は、 -12°C において行なうことにした。

5. 促進劣化後のパテの性質

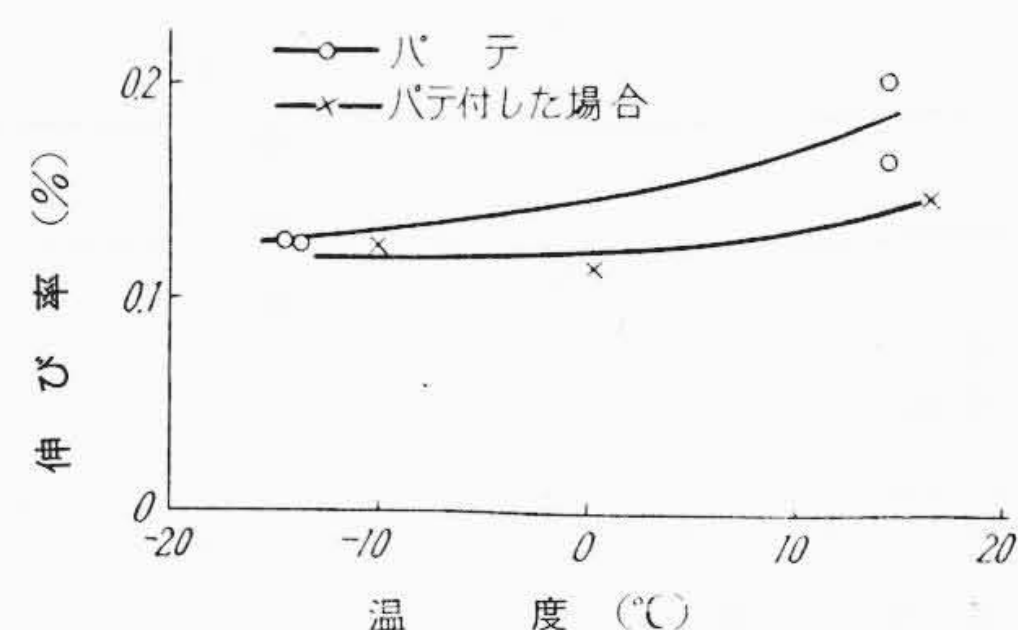
5.1 促進劣化試験中に発生するき裂

ミリオンプテ、ポリバパテについては5年相当の促進劣化試験においても、試験片の上塗りの有無、清掃剤の使用の有無などの各試験条件において、上塗りおよびパテ部のいずれにもき裂の発生はなかった。

カシューパテについては上塗りなしの試験片の場合、清掃剤の使用の有無にかかわらず、促進劣化0.5年相当の頃より小さいき裂が数ヶ所発生した。清掃剤を使用しない場合にはこのき裂はあまり成長しなかったが、清掃剤を使用した場合には、劣化時間の経過と



第11図 伸び率と温度の関係 (ポリバパテ)



第12図 伸び率と温度の関係 (カシューパテ)

第4表 カシューパテ(上塗りなし)の場合のき裂発生状態

劣化年数	0.5	1	3	5
洗浄				
無	2/2	2/2	2/4	2/4
有	3/2 5/1 10/1	3/2 5/1 10/1	5/2 6/1 16/1	8/2 15/1 18/1

注：表中の数字は き裂長さ(mm)/き裂数 を示す。

もにき裂の成長が認められた。第4表にそのき裂発生の状態を示す。

カシューパテに上塗りした場合については、5年相当の劣化試験が終っても、上塗りはもちろんパテ部にもき裂は認められなかった。

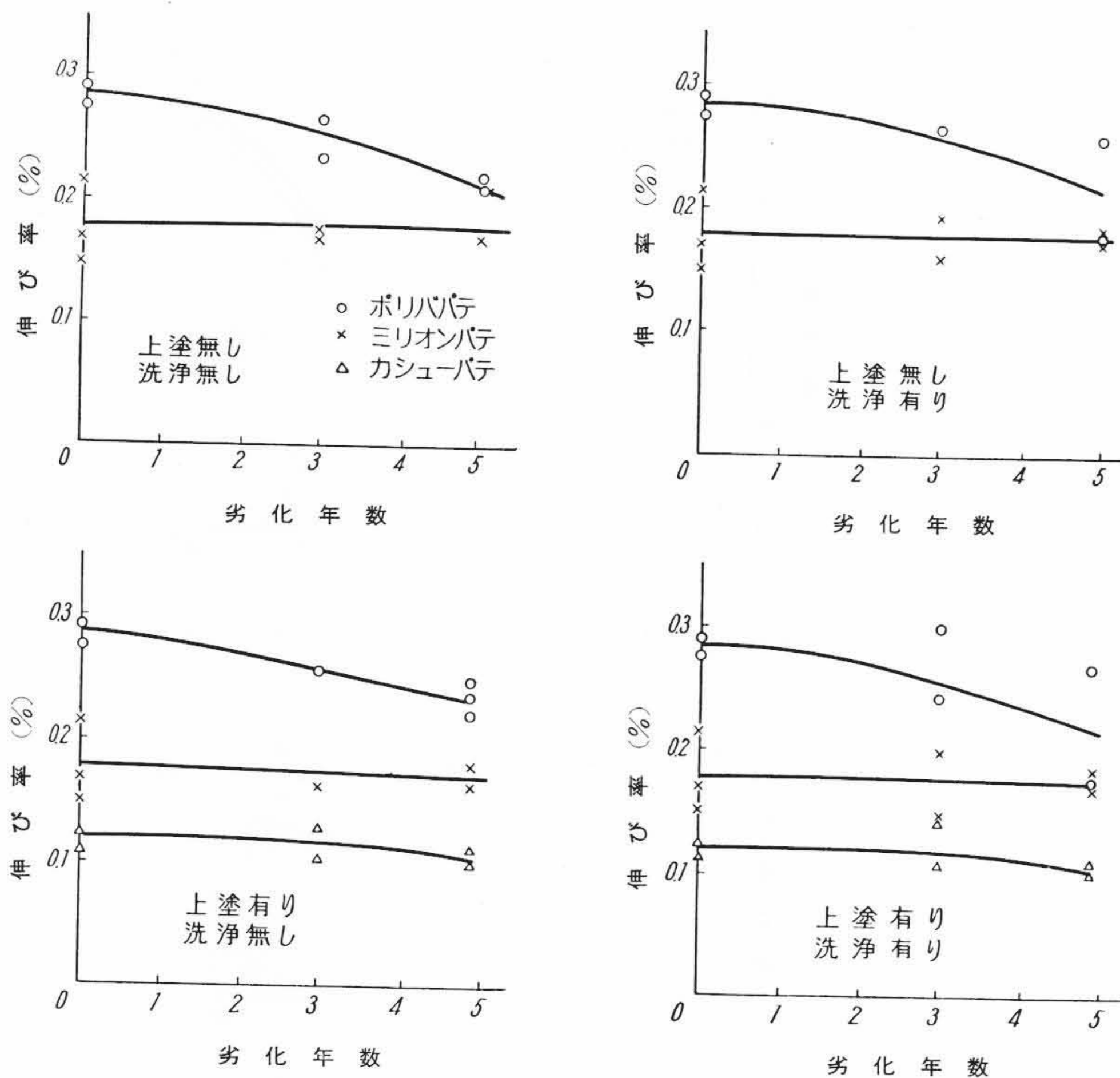
5.2 パテ付けされたパテの伸び率

3年および5年相当の促進劣化後、 $-10\sim-15^{\circ}\text{C}$ の温度範囲内において引張試験を行ない、パテにき裂が発生するときの伸び率と促進劣化時間の関係を第13図に示す。ただしカシューパテの上塗りなしの試験片は、ウェザーオメータによる促進劣化試験中にすでにき裂を発生しているので引張試験は行なっていない。

第13図より促進劣化の経過にしたがってポリバパテおよびカシューパテの伸び率は漸次減少しているのに対し、ミリオンプテは5年相当の促進劣化においても伸び率の変化はほとんど認められない。これはミリオンプテの基本樹脂であるエポキシ樹脂のすぐれた耐候性によるものと思われる。しかし5年相当の促進劣化程度でも、なおポリバパテの伸率がミリオンプテより若干すぐれている。

5年相当の促進劣化における各パテの伸率をそれぞれの条件について比較すると第5表のようになり、カシューパテの上塗りなしの場合を除くと、清掃剤の使用および上塗りの有無などによるパテの伸び率の差はほとんど認められない。この表によると伸び率はポリバパテが最もよく、次がミリオンプテであり、カシューパテの伸び率が一番少ない。

車両の走行中における客電車外板に働く応力は、最もきびしい条件を考えると、静的最大応力は 10 kg/mm^2 、振動応力は $\pm 3.5\text{ kg/mm}^2$ である⁽⁴⁾。パテのヤング率は第7図に示されるように、低温における大きい値を使用しても軟鋼の約 $1/27$ という非常に小さい値



第 13 図 促進劣化による伸び率の変化 (−10〜−15°Cにおける引張試験)

第 5 表 促進劣化 5 年相当後の伸び率(%)

条 件	上 塗 り	無	無	有	有	劣化前
	清 掃 剤	無	有	無	有	
パテ種類	ミリオンパテ	0.18	0.18	0.17	0.18	0.18
	ポリバパテ	0.21	0.22	0.23	0.22	0.28
	カシューパテ	—	—	0.10	0.10	0.12

のため、パテは外板応力を全然分担せず、外板応力に応じたひずみをパテが受けるものとする。いま客電車外板の応力の加わり方として、単純引張応力と単純曲げ応力の二つの場合について考えてみる。

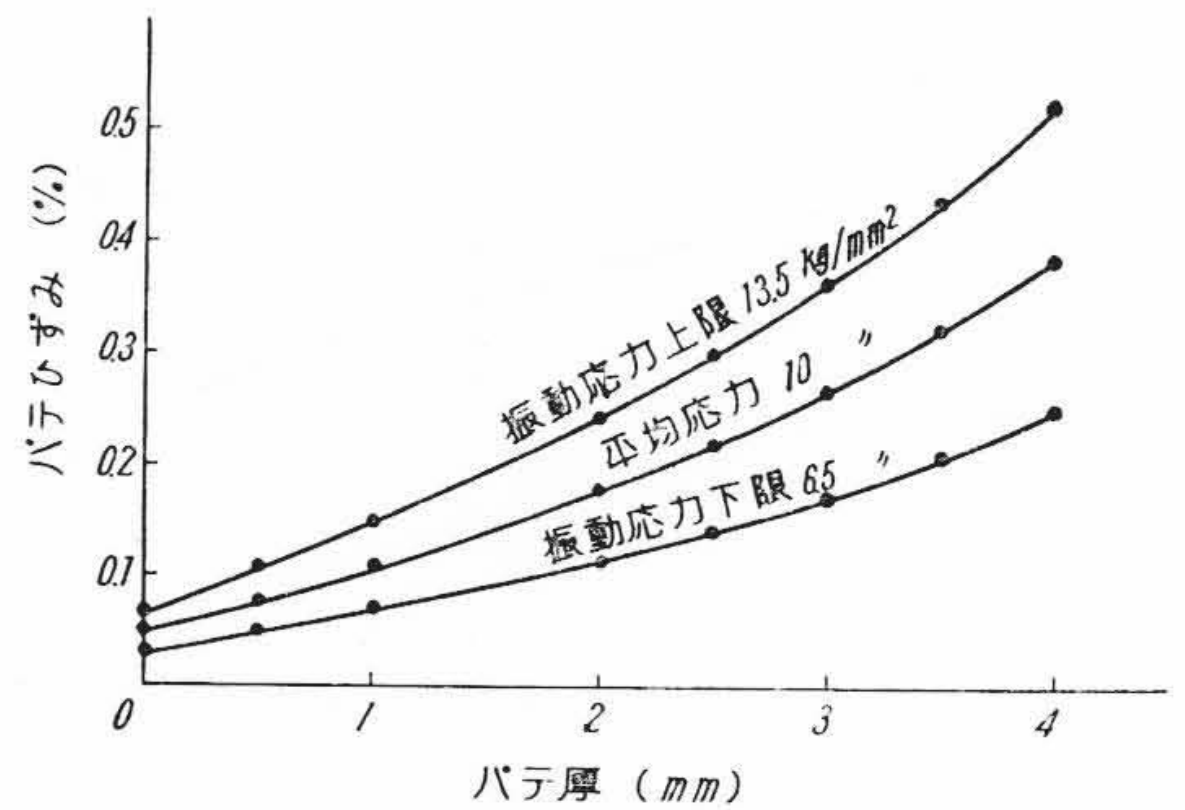
単純引張応力の場合については、外板応力 $10 \pm 3.5 \text{ kg/mm}^2$ により、外板ひずみは $0.0476 \pm 0.0167\%$ になり、このひずみがパテに働く。単純曲げ応力の場合については、1.6mm の客電車外板にパテ付けされると、パテのヤング率は軟鋼板に対して無視できるので、外板の曲げによるパテ表面のひずみは幾何学的に求めることができ、外板応力 $10 \pm 3.5 \text{ kg/mm}^2$ によるパテ表面のひずみは第 14 図のとおりになる。したがってパテが厚くなる程パテのひずみは増加する。

これら単純応力および単純曲げ応力によるひずみにパテが耐え得るかどうかということについては、次に述べる疲労試験において検討する。

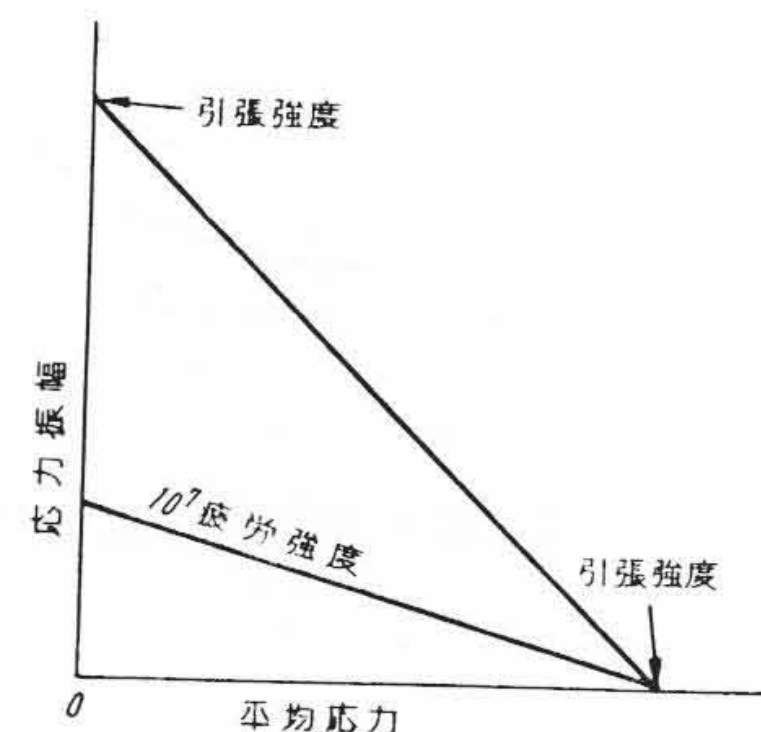
5.3 疲 労 試 験

パテの疲労試験においては、パテのヤング率は前述のように軟鋼板に対して無視できるほど小さい。疲労試験片は軟鋼板にパテ付けされているので、荷重は軟鋼板が分担し、パテは荷重を分担しない。したがって軟鋼板に対して定応力による疲労試験を行なっているが、パテに対しては定ひずみの疲労試験を行なったことになる。

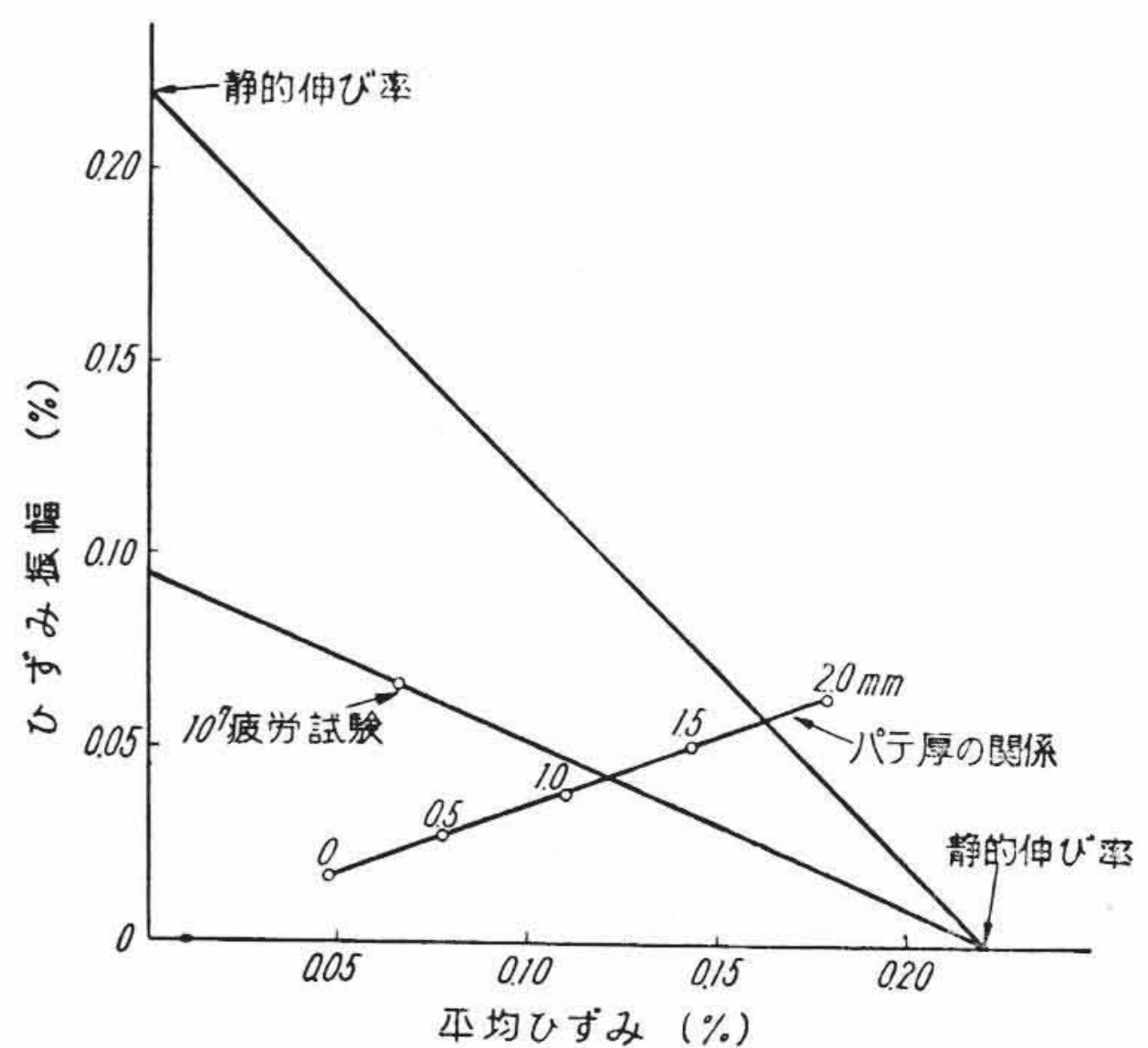
有機材料の疲労試験は定応力によって行なわれた場合、その耐久線図は第 15 図⁽⁵⁾のように表わされているが、定ひずみ疲労試験における耐久線図のデータは見当らない。しかし一般に疲労強度は定応力試験よりも定ひずみ試験の方が強くなる傾向にあるので、十分の安全さをもって第 15 図の引張強度の点を伸び率におきかえて、



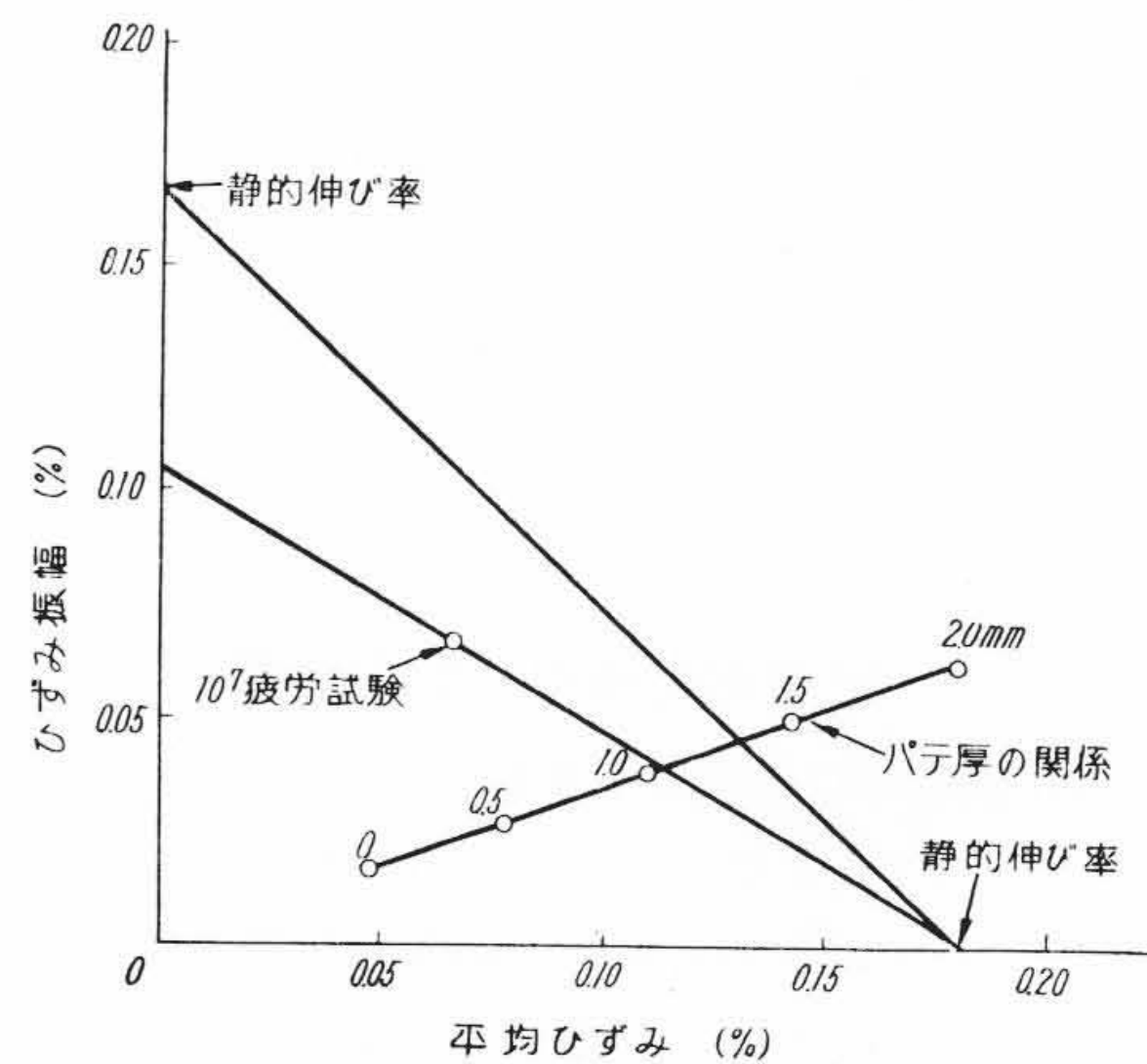
第 14 図 外板曲げ応力によるパテ厚とパテひずみの関係



第 15 図 耐久線図の例

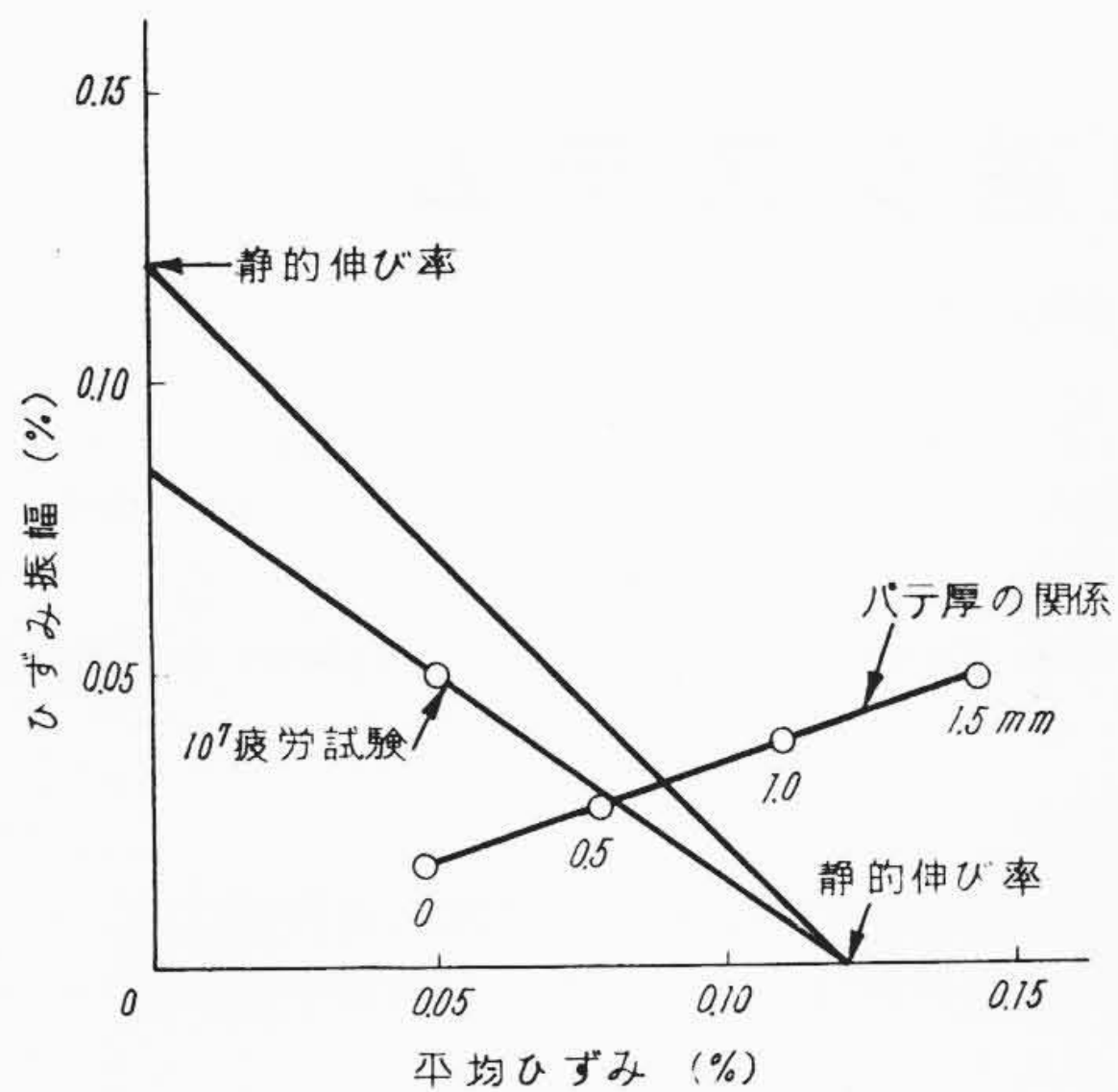


第 16 図 ポリバパテの耐久線図



第 17 図 ミリオンパテの耐久線図

定ひずみの疲労試験を整理できるものとする。なお、引張試験においては破断のさいの断面収縮はほとんど認められないので引張強度と真破断力は等しいと考えられる。



第 18 図 カシューパテの耐久線図 (劣化前)

さて疲労試験の結果、ミリオンパテおよびポリバパテについては、軟鋼板の降伏点に近い応力 $14 \pm 14 \text{ kg/mm}^2$ (パテひずみ $0.0667 \pm 0.0667\%$) までの範囲において片振引張応力による疲労試験を繰返数 10^7 まで行なっても、パテ部にき裂が発生しなかった。したがって第 16, 17 図のような耐久線図を得た。この場合、疲労試験は 3 年相当の促進劣化後に行なっているが、静的伸率は安全をとって 5 年相当の促進劣化後の値を使用した。

車体外板に単純引張応力が働く場合、パテに働くひずみは前述のように $0.0476 \pm 0.0167\%$ であり、ミリオンパテおよびポリバパテともに、このパテひずみは耐久線図の範囲内にはいっているので十分に耐えることができる。

車体外板に単純曲げ応力が働く場合については、第 14 図によりパテの平均ひずみとひずみ振幅の関係をパテ厚さをパラメータとして第 16, 17 図に書き入れ、これと耐久線図の交点よりパテ付けの許容厚さを求めると、ミリオンパテ 1.0 mm、ポリバパテ 1.2 mm を得、ポリバパテが若干すぐれている。

このたびの疲労試験は上限応力が軟鋼板の降伏点に近い 28 kg/mm^2 の片振引張応力で行なったが、そのひずみは最大 0.134% であってミリオンパテおよびポリバパテの伸び率よりは小さい。したがってもし軟鋼板の降伏点さえゆるせば、まだ大きいひずみ振幅で疲労試験を行なうことができる。その場合には耐久線図はもう少し上るのではないかと推定される。また耐久線図における静的伸び率は促進劣化 5 年相当のものをを用いている。このようにしてパテ付けの許容厚さは安全をとって多少控目にして求めた値であるので、パテ付けの許容厚さの範囲内においては、現車における 3 箇年程度の使用には十分耐えることができると考えられる。

カシューパテについては、前述したように促進劣化中にすでにき裂の発生した試験片が出たので、疲労試験は行なわなかった。そこで参考までに劣化前の試験片について疲労試験を行なった結果、軟鋼板に $10.5 \pm 10.5 \text{ kg/mm}^2$ (パテひずみ $0.05 \pm 0.05\%$) の応力まではパテにき裂が発生しなかった。したがって耐久線図は第 18 図のようになり、第 16 図と同様の方法によりパテ付けの許容厚さは 0.5 mm となった。これはミリオンパテおよびポリバパテの許容厚さの約 $1/2$ である。

5.4 そ の 他

いままで使用してきたパテの種類を変更する場合、塗装作業上において種々解決すべき問題点が生じ、また塗装工数および塗装費の比較も必要であるが、これらの点については別に報告されることになっているのでここではふれないが、概略の客電車一両分の総塗装経費の比較は、カシューパテとポリバパテの場合は大体等しく、ミリオンパテはカシューパテの場合より 40% 程度高くなる予想である。

6. 結 言

ミリオンパテ、ポリバパテおよび在来のカシューパテについて得られた結果を要約すれば次のとおりである。

- (1) いずれのパテも機械的性質は温度依存性が大きい、特に伸び率のそれは著しい。
- (2) 伸び率は低温において著しく低下し、もろい破断をするようになるので、パテの性能は低温において検討する必要がある。
- (3) 軟鋼板にパテ付けされた場合のパテについて、5 年相当の促進劣化後の低温における伸び率は、ポリバパテ 0.22%、ミリオンパテ 0.18%、カシューパテ 0.1% となった。
- (4) 促進劣化後の疲労試験と、客電車外板応力の最もきびしい条件を考へて、パテ付けの許容厚さを求めると、ポリバパテ 1.2 mm、ミリオンパテ 1.0 mm、またカシューパテについては劣化前においても許容厚さは 0.5 mm である。

以上の結果よりポリバパテ、ミリオンパテはともに在来のカシューパテよりもすぐれていることが判明したが、前二者のうちでポリバパテが若干すぐれている。なお塗装費においてもポリバパテが有利になる予想である。

参 考 文 献

- (1) 松田：高分子材料試験法 I, 298 (昭 34-9 共立出版)
- (2) 本誌発表予定 (昭 37)
- (3) 日本建築学会編：建築学便覧 11 (昭 31-12)
- (4) 飯島、永弘：日立評論 38, 933 (昭 31-7)
- (5) Materials in Design Engineering, 108 (July 1957)