

## 木製品の保存処置（第2報）

—木造文化財の保存処置における充填、整形用合成樹脂について—

岩崎友吉・樋口清治

### 1. はじめに

文化財の保存、修復処置には、できる限り当初の材料をそのまま使用するのが望ましいのであるが、木造の文化財の場合にはとくに腐朽、虫喰い、風蝕等により材料が部分的に欠損していることが多いので、修理の際にこの欠損箇所に埋め木、知木等の繕いや、漆こくそによる整形がしばしば必要となる。しかし埋め木、知木等の木工技術だけでは困難なこともあり、また漆こくそによる場合、一度に厚く施工することが容易でなく、鉋や釘の打ち込みもきかない等の欠点がある。

われわれはこのような場合に合成樹脂を応用する所謂人工木材についてはじめ昭和 25 年頃より合成を試み、ついで柔軟性を有するものについては昭和 38 年以来研究を続けており、その一部を「重要文化財本地堂焼損材補修材料の研究」<sup>1)</sup>と「重要文化財千代神社本殿向拝手挟の保存修理にかかる保存処置」<sup>2)</sup>に発表した。

これらはエポキシ樹脂を主剤とし、硬化後の切削等の加工性を改良するためポリサルファイトゴム（商品名チオコール）を添加し変性したものに、硬化剤としてアミン価の比較的低いポリアミド樹脂を用い、さらに充填や整形に適するような可塑性を附与するため木粉を配合したものであり、次のような特性がある。1) 常温で硬化し、この際ほとんど収縮しない。2) 充填により木部に強く接着する。3) 硬化後の強度は木材以上である。4) 腐朽や虫喰いのおそれがない。5) 硬化後の弾性ははじめのチオコールの添加量で加減でき、鋸、鉋加工ができる。6) 彩色に際し支障がない等である。

しかしこの人工木材は建造物の解体された構造材関係の補修には最適であっても、木彫など繊細なものの修理や、垂直面の修理には必ずしも適したものではなかった。それは比重が木材より大きいこと、垂直面に厚く盛りつける場合、硬化するまでの間に垂れ下りが大きいこと、硬化したものには釘の打ち込みができない等の理由によるものである。

われわれがこれらの欠点を改良するため研究を続けているとき、たまたま昭和 41 年秋アラルダイト S V 426 の少量を入手し、これを検討したところ、文化財の修理にも種々応用できる見通しが得られ、その結果実際に重要文化財伊賀八幡宮社殿と国宝元興寺極楽坊五重小塔の修理に用いて成果を収めることができた。次にこの樹脂の検討と応用について述べる。

## 2. アラルダイト SV 425 および 426 の特性について

最近高分子化学の目ざましい発展に伴い、各種の合成樹脂が市場に氾濫し、機能的に優れた製品も数多く存在するが、われわれが最も困惑することは製品の化学的組成が明らかにされていないことである。カタログ等には機械的強度、特性等については詳しいが、その組成的内容については商業上の秘密として発表されないのが一般である。文化財の処置に新製品を用いるのには、ただ機能的に優れているだけの理由では使用できない。文化財にどのように影響するかを考慮しなければならず、そのためには化学的組成を理解し把握する必要がある。

アラルダイト SV 425 および 426 は、ともにマスターモデルペーストとして編成されたエポキシ樹脂であり、垂直面に塗りつけても垂れず、硬化後は木工用具で加工ができ、木ねじや釘も打ち込むことができるといわれている。

アラルダイト SV 425 と SV 426 の異なる点は、SV 425 はやや固いペーストで可塑性がよく、SV 426 はやや軟らかなペーストで充填したり、厚く塗りつけるような場合に適するものである。この両者は樹脂の組成や性能は大体同じもので、ペーストの固さ（粘度）だけが若干異なるものと思われる。

これらの樹脂を試用してみたところわれわれが求めていた特性をほぼ満足できるものであることがわかった。そこでまずこれがどのような化学的組成のものか、またどうして上記のような特性があるのかを調査実験した。

われわれはまず SV 426 の主剤をキシレンで抽出し、樹脂と充填剤とに分離した。分離した樹脂と充填剤のそれぞれの赤外線吸収スペクトルを測定し解析した結果は、樹脂はエポキシ系樹脂と思われ、充填剤は石炭酸系樹脂のように考えられた。またこの充填剤を顕微鏡で調べたところ、図 1 に示したような赤色の微細な中空球体であることがわかった。硬化した樹脂の切

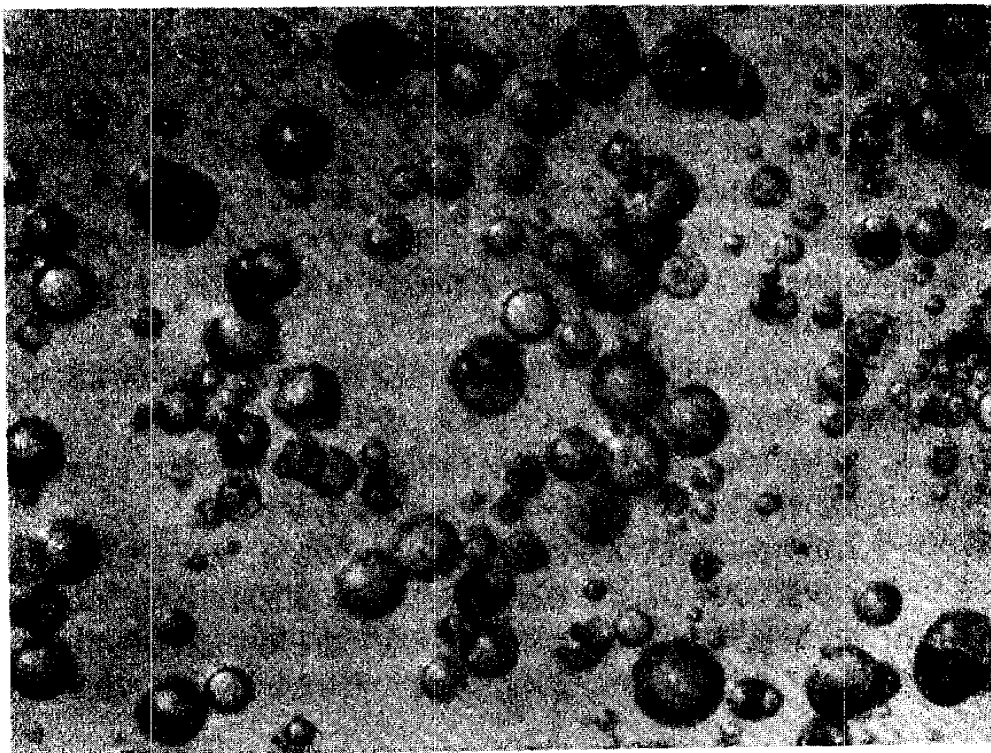


図 1 SV 426 から分離した充填剤石炭酸樹脂の微細な中空球体×80

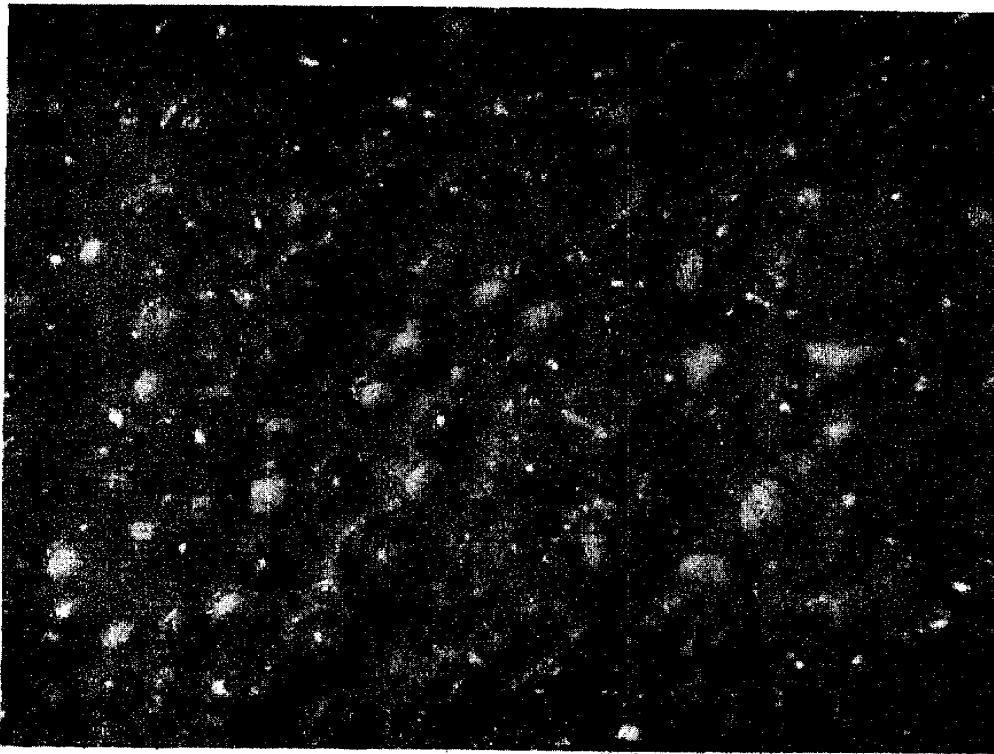


図2 硬化したSV 426の切断面×80

断面の顕微鏡写真(図2)に、多数の独立気泡が存在するのは、この充填剤によるものである。比重が軽く垂直面に塗布しても垂れにくいことや、硬化後鉋や小刀などによる加工が容易であり、また釘が打ちこめる特性は、この微細な中空球体を混合したことにより、適当な弾性を有するエポキシ樹脂がスポンジ状になる結果にもとづくものと思われた。

発表されている機械的強度は次の通りである。

実験1 接着層が1cm以上になったときの漆こくそと樹脂の強度比較

木彫等の修理の場合に、図3のように補填的接着、すなわち接着層を非常に厚くして継ぐ必要を生ずることがある。このようなときに従来は漆こくそを使用しているがこれにSV 425, 426

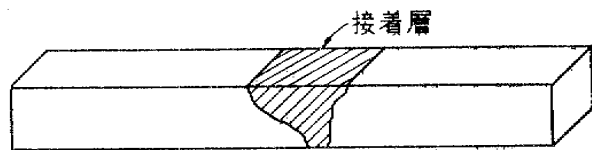


図3

を用いたら、接着強度に於て漆こくそとの程度差があるかを比較するため、次のような実験

表 1

	SV 425	SV 426
引張り強さ	1 ~2 kg/mm <sup>2</sup>	
圧縮強さ	2 ~3 kg/mm <sup>2</sup>	2 ~3 kg/cm <sup>2</sup>
曲げ強さ	1.5~2.5kg/mm <sup>2</sup>	1.5~2.5kg/cm <sup>2</sup>
衝撃強さ	1 ~2 kg.cm/cm <sup>2</sup>	1 ~2 kg/cm <sup>2</sup>
比重	0.7~0.8	0.7~0.8
鉛筆痕硬さ		2 kg/mm <sup>2</sup>

をおこなった。

厚さ 1.5 cm. 巾 10.5 cm. 長さ 10 cm の杉板 1 組 2 枚を図 4 に示すようにアラルダイト SV 425 および 426 と漆こくそについて夫々巾約 10 mm の間隔をおいて接着した。

樹脂は主剤と硬化剤とを 10 : 2 に混合したものであり、漆こくそは小麦粉を水で練り漆を約同量以上を混入し、更にこれと同量程度の木粉を加えよく練りあげ、つなぎとして麻糸屑を若干加えたものである。このようにして継いだ板が充分硬化したのち、表面を削って平にし、切断して約 1.5 cm 角の試験片となした。

これを引張り試験した結果を表 2 に示す。

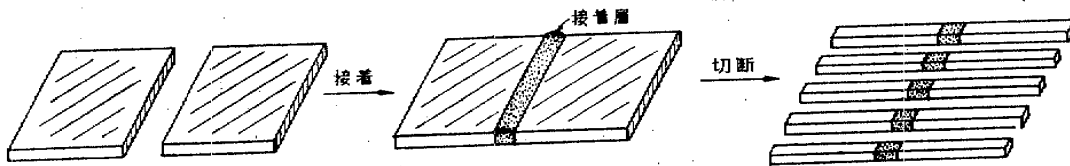


図 4

表 2

	アラルダイト S V 426			アラルダイト S V 425		
	断面寸法 (mm)	切断荷重 (kg)	強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	断面寸法 (mm)	切断荷重 (kg)	強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
No. 1	14.3×15.1	68.5	32	13.3×14.5	93.5	48
No. 2	14.1×15.1	61.0	29	13.3×15.0	106	53
No. 3	14.1×15.2	70.5	33	12.3×14.6	103	57
No. 4	14.3×15.3	73.0	33	13.0×14.9	110	57
No. 5	14.3×15.0	74.0	34	13.1×14.3	101	55

	漆こくそ		
	断面寸法 (mm)	切断荷重 (kg)	強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
No. 1	18.2×18.6	58.5	30
No. 2	14.1×13.8	60.5	31
No. 3	14.1×12.5	66.0	37
No. 4	18.6×13.8	79.0	31
No. 5	14.4×13.6	44.5	23

この試験結果は、試験片の加工が都合上丸棒にできず角棒であったこと、また引張り試験機が検定されたものでないので試験方法としては厳密なものではないが、これで大体の比較はできると思われる。試験結果の数値では樹脂と漆こくその差はあまりないが、

破断面の状態は異なる。樹脂の場合は殆んど樹脂部分で破断（凝集破壊）したが、漆こくその場合は接着面で破断（接着破壊）した。これは樹脂は弾性があるため荷重が増加するに従い樹脂の中央部でくびれて破断するが、漆こくその場合は硬いので木材との界面に応力が集中する結果接着面より破断するものと思われる。衝撃強さは漆こくそについてはまだ測定していないが、硬さから考えて樹脂の方が漆こくそより強いのではないかと考えられるが、彫刻品の修理における漆こくその代りにこの樹脂を使うことの可否は今後検討されてよい問題である。

実験 2 硬化後の釘の保持力

SV 425 に硬剤を添加混合して立方体の試験片をつくり、径 2.5 mm の釘を 25 mm の深さまで打ち込み、これを引き抜くために必要な荷重を前記の引張り試験機で測定した結果は表 3

の通りである。なお比較のため杉材も同様に試験した。

表 3

No.	杉材木口	杉材側面	SV 425
1	11.5 kg	31.0 kg	26.0 kg
2	23.0	35.0	25.0
3	18.0	29.0	20.0
平均	17.5 kg	31.7 kg	23.7 kg

また木ねじ (長さ 15 mm) を深さ 10 mm ねじ込み釘と同様の実験をおこなった結果を表 4 に示す。

表 4

No.	杉材木口	杉材側面	SV 425
1	20.0 kg	38.0 kg	38.0 kg
2	19.0	37.0	33.0
3	24.0	30.0	29.0
平均	21.0 kg	35.0 kg	33.0 kg

以上の結果から SV 425 の釘および木ねじの保持力は、杉材の木口の場合より強く、側面(繊維方向に直角)の場合より弱い程度のものであることが分った。故に釘打ちにより強固な接合を要するときは、できるだけ径の太い竹釘か木釘に適当な接着剤を塗布したものをを用いる必要があると思われる。SV 426 については未だこの試験をおこなっていないが、425 と大差ないものと考えられる。

### 3. 伊賀八幡宮修理における SV 426 の使用例<sup>3)</sup>

岡崎市伊賀町所在の重要文化財伊賀八幡宮の修理は、昭和 40 年 5 月より昭和 42 年 12 月にかけておこなわれた。この修理に際し漆塗装は、新規補足材はこくそ彫り、こくそ飼い、地付、布着せ、地固め、錆付け、中塗、上塗等在来の工法で施工し、また旧材を再使用するものにあっては旧漆塗部分は全部剥ぎ落してから新材同様の漆塗がおこなわれた。しかし高欄及び側廻り柱等で長年月風雨に晒されたところは、漆塗が剥れ落ち更に下地の木材までが抉られたように風蝕された箇所が少なからずあった。このような欠損部に漆こくそをもって盛り上げて下地を形成することは容易でないと現場工事責任者が判断し、適当な合成樹脂の応用を相談されたので、昭和 41 年 7 月われわれが現場調査に赴いた。そのときに木粉入りのチオコール変性エポキシ樹脂と SV 426 を、風蝕した高欄の一部に試験的に施工し比較した結果、垂直面に盛りつけた場合に、SV 426 の方が垂れ下りが少ないという理由で、SV 426 による方法を採用することになった。この場合には SV 425 より SV 426 が作業性がよかった。

処置方法は樹脂を盛りつける部分をよく清掃してフケた部分を取り除いてから、主剤と硬化剤を 10:2 に秤量してよく混合し、20~30 分以内にヘラで盛りつける。一度の操作で厚さ 10

mm 程度を垂直面につけることができた。一夜放置して樹脂が大体硬化してから鉋で削り表面を整えて、この上に漆の中塗、上塗をおこなった。この樹脂処置の操作は、主剤と硬化剤を板の上でよく練り合せて使用するだけの簡単なものであり、工事中の樹脂処置の施工はすべて現場工事関係者によりおこなうことができた。

なおこの SV 426 を使用した箇所は次の通りである。

随年門・腰組、縁板木口、高欄地覆、斗東栴束、平桁等（東側面）、東北隅柱及び破風板、懸魚

拝殿・東西妻破風板、懸魚、前包み、掬首束、同棹

本殿・東西羽目板、高欄全般、縁板木口

御供所・南北妻破風板、懸魚、前包み、掬首束、同棹

その他全般的に木部の割れ目、虫穴等に充填した。

#### 4. 国宝元興寺極楽坊五重小塔修理における SV 426 の使用例<sup>4)</sup>

この国宝五重小塔（奈良時代）は、高さ 5.65 m の三間五重塔婆本瓦形板葺の小塔で、内部にかくれる部材まで本格的に組み上げ、組物など細部の形も創建当時のものをよくのこしており、奈良時代の建築技法の重要な資料とされている。これが昭和 42 年に全面的に解体修理がなされ昭和 43 年末に完成をみたものであるが、この修理の際にアラルダイト SV 426 の特性が十分に活用することができた。

この小塔は過去に於て度々修理され、例えば鎌倉、室町時代の修理、天和 3 年（1683）の大修理（半解体）、明治 31 年の部分修理、昭和 25 年の部分修理等であるが、全面的に解体されたのは今回が初めてである。材質は主にヒノキ材で一部杉材が使用されているが、あまり腐朽や虫害は見られなかった。しかし解体された各部材は風化のためやせ細ったところや、また鉄釘の錆による釘穴の損壊が大きかった。この釘穴の損壊は第 5 図に示すように、木材内部に打ちこまれた鉄釘が錆びてその周囲の木材に大きな孔があいたり、また錆の膨張で木材がさけて割れたりしており、とくに垂木等がほとんどこの被害をうけていた。過去の修理の際にもこれら鉄釘の錆により大きく拡大した釘穴の処理には苦慮したらしく、垂木の寸法を切り縮めて損傷されていない木部に釘打ちされておりこれがまた錆びて孔が大きくなっていた。

このような修理が何回もされていたため、今回の修理においてこれら部材を再用するためには、この孔をなんらかの方法で詰め塞がなければ、垂木等の大部分を新材と取り換えなければならなくなる。このような細い垂木の大きな孔に埋木をすることは非常に困難であり、また漆こくそで充填しても後で削ることが容易でなく釘も打ちにくい。そこで修理工事事務所では合成樹脂の充填を考え、接着剤メーカーに種々な合成樹脂を試作させて試験したが、硬化後の切削加工性が悪く、釘打ちが全然できないことの原因で実用化には至らなかった。この結果当保存科学部に依頼があり、昭和 42 年 10 月に現地に赴き調査したところ、この目的には SV 426 の使用が最適であると判断した。そこで直ちに現場でこの樹脂処置を実験して関係者と検討した結果、作業性、加工性において充分満足のゆくものであることがわかり、この樹脂を全面的に欠損部分の充填、成形に使用することになった。このとき実験的に樹脂処置したものが図 7 の垂木である。また前述のように過去の修理の際に切り縮められた垂木については次のようにして復原することにした。図 8 に示すように短かくされた垂木の切断面と、これに継ぐ古材の接合面の中心にはぞ孔をあけ、この孔の径に適合するうつ木の杓に接着剤としてボンド CH（醋酸ビニールエマルジョン）を塗りつけてこの孔にさし込み、また接合面の間隙は

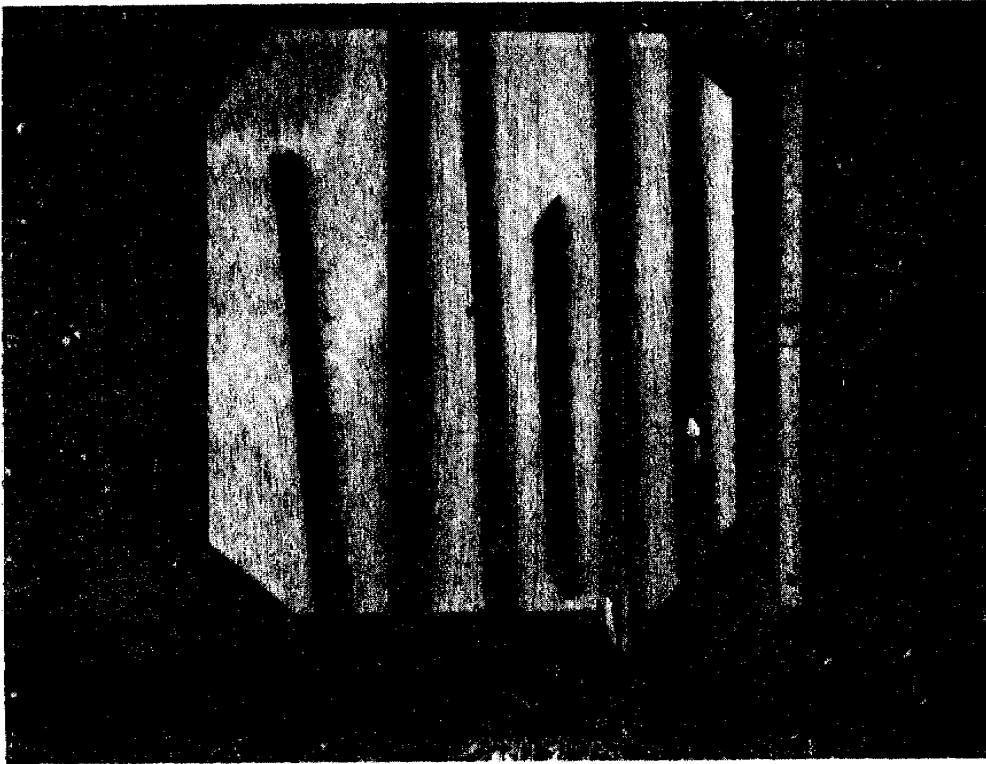


図5 垂木の旧釘穴の損壊状態

SV 426 で充填的に接着する。

かくして一夜放置して硬化後小刀や鉋で仕上げをする。このような処置により短くなった垂木も相当量が復原することができる見通しを得られた。また今回の修理では鉄釘の使用は避け、うつぎの木釘を使用される方針にしたがい、樹脂充填部の木釘打ちの試験をしたが、充分使用に堪えるものであることがわかった。

次にこの五重小塔の彩色はほとんど剥落しているが今回の修理では塗り替えはしないで古色仕上げをすることになっていたので、樹脂補填部の外より見えるところは当然古色付けをすることが必要であった。硬化したままの樹脂の表面は赤褐色で光沢があるが、表面を削ればこの光沢は消失する。しかしそれでも色が周囲の木材と調和しないので、これに微量の松煙を添加したところ好結果を得ることができた。なお「まこも」(漆の古色付に用いるがまの穂の花粉)やアンバー粉等を樹脂に混用すれば、なおこの古色づけの色調は改良されると思われたので、実際施工する際は工事関係者が調製した。

かくしてその後小塔の解体修理工事は順調に進み、この樹脂処置も当初考えていたよりも広範囲にわたり採用され使用された樹脂量は約 6700 c.c. であった。但しこれだけの量がすべて小塔の各部材に充填された訳ではなく、硬化剤を添加後可使用時間内に使いきれず硬化してしまった量や、削りとった量も相当あるので実際に充填されてある量は不明である。これら樹脂処置のすべてが現場技術者により施工されて、昭和 43 年秋に図 12 に示したように無事完成されたものである。図 12~14 は完成後の樹脂充填部分の一部を示し、図 9~11 処置中の一部の状況を示すものである。なおこの修理工事の詳細は近く発行される予定の修理工事報告書を参照されたい。



図 6 SV 426 と硬化剤を練り合せているところ（軟かい粘土状になる）

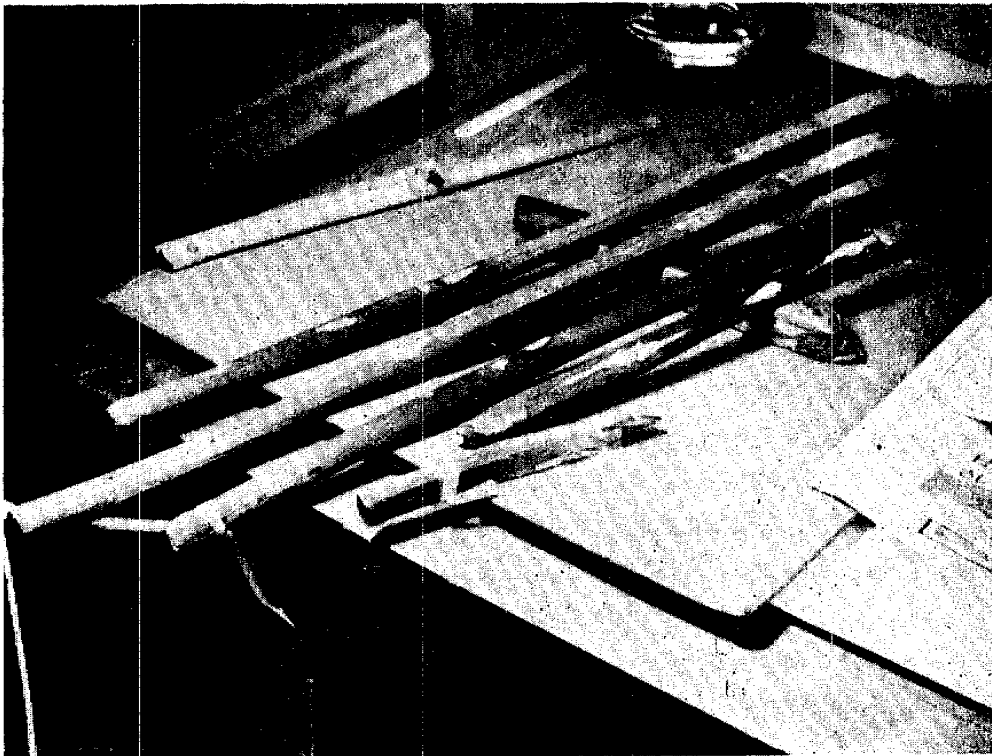


図 7 垂木の旧釘穴に樹脂を充填



## 5. むすび

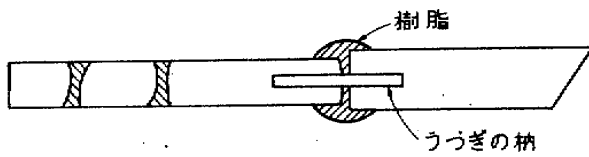


図8 短くなった垂木の復原

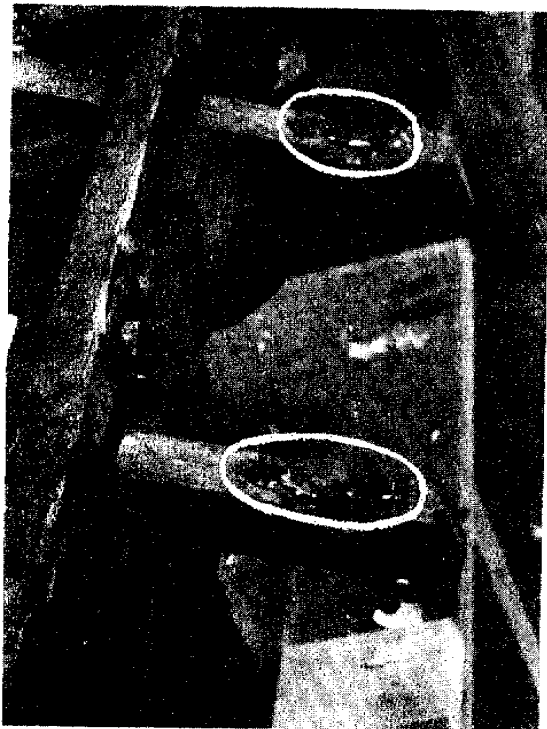


図9 尾垂木鼻先の巻斗仕口欠損部の樹脂処置中 (欠損部の樹脂盛上げ)

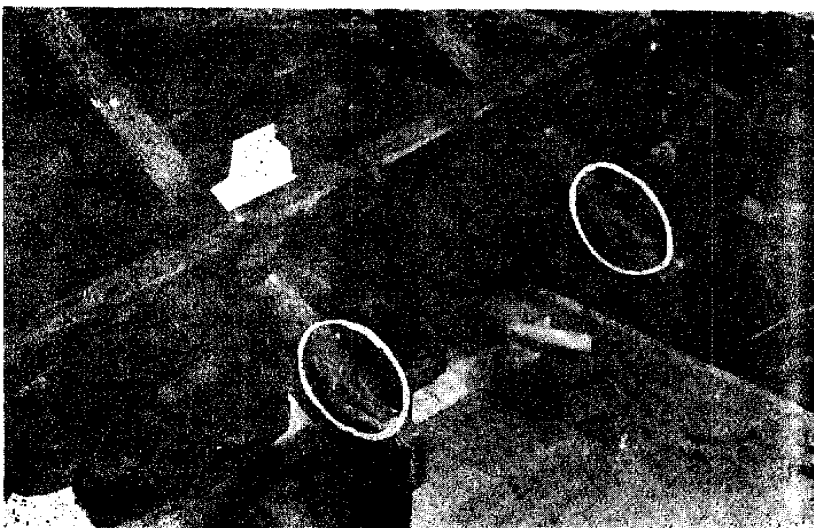


図10 樹脂硬化後「のみ」で成形

木造文化財の修理における欠損部の充填や整形には、従来から埋め木、矧木、漆こくそがおこなわれており、今日では合成樹脂の利用が次第に試みられるようになってきた。しかし合成樹脂の種類は多く、それぞれその特性を異にする。従って木造文化財の修理における充填、整形には、特定の樹脂がよいと云うことは無意味であり、対象が必要とする条件を充分吟味した上で文化財保存の立場から合成樹脂を選択することが必要である。

われわれは先に木粉混入のチオコール変性エポキシ樹脂を検討し、千代神社手挟の修理に応用したが、今回はアラルダイト SV 425 および 426 について検討し、これが石炭酸樹脂の微細な中室球体の特殊な充填剤の混入されたエポキシ樹脂と結論し、またその特性について研究した結果、重要文化財伊賀八幡宮社殿と国宝元興寺極楽坊五重小塔の修理に応用して成果を収めることができた。伊賀八幡宮の場合は垂直面に厚く塗られて、漆の塗装に適していることを利用したものであり、小塔の場合は充填後の切削加工性のよいことと、木釘の打ち込みができるという点で、この樹脂の特性を活用することができた。しかしこの樹脂の比重の小さいことを利用した文化財の処置はまだおこなっていないが、これは種

々な場合に適応性があるのではないかと考えられる。

終りに重要文化財伊賀八幡宮社殿修理工事事務所安藤守人氏、国宝元興寺極楽坊五重小塔修理工事事務所北村豊之助氏並びに実際に樹脂処置を施工された現場技術者に厚く謝意を表す。顕微鏡写真は当保存科学部江本主

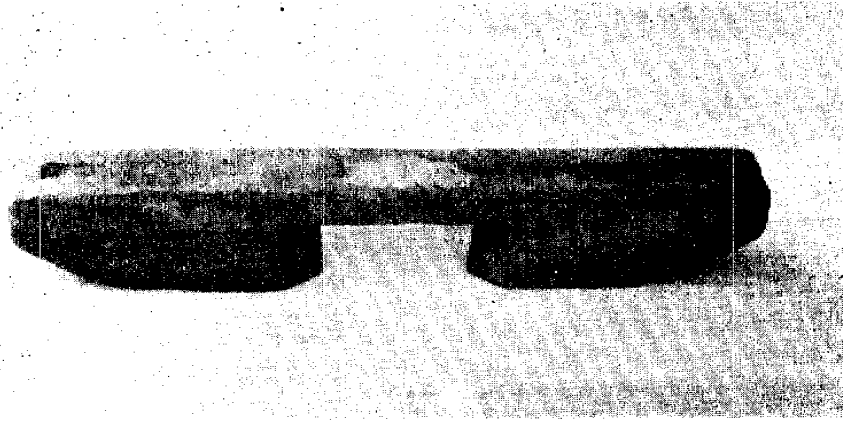


図 11 肘木中央部旧釘穴の欠損部の処置後

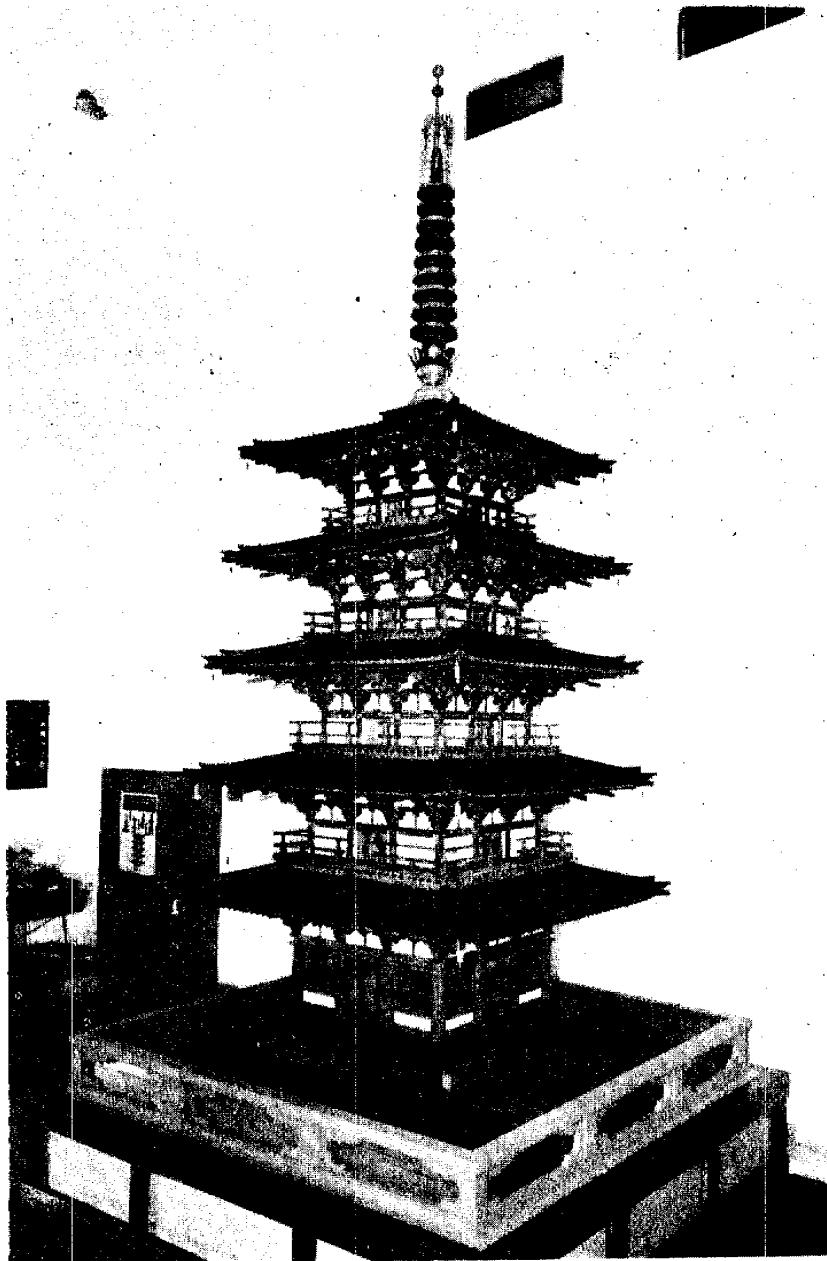


図 12 竣工五重小塔正側面全姿（北村氏提供）

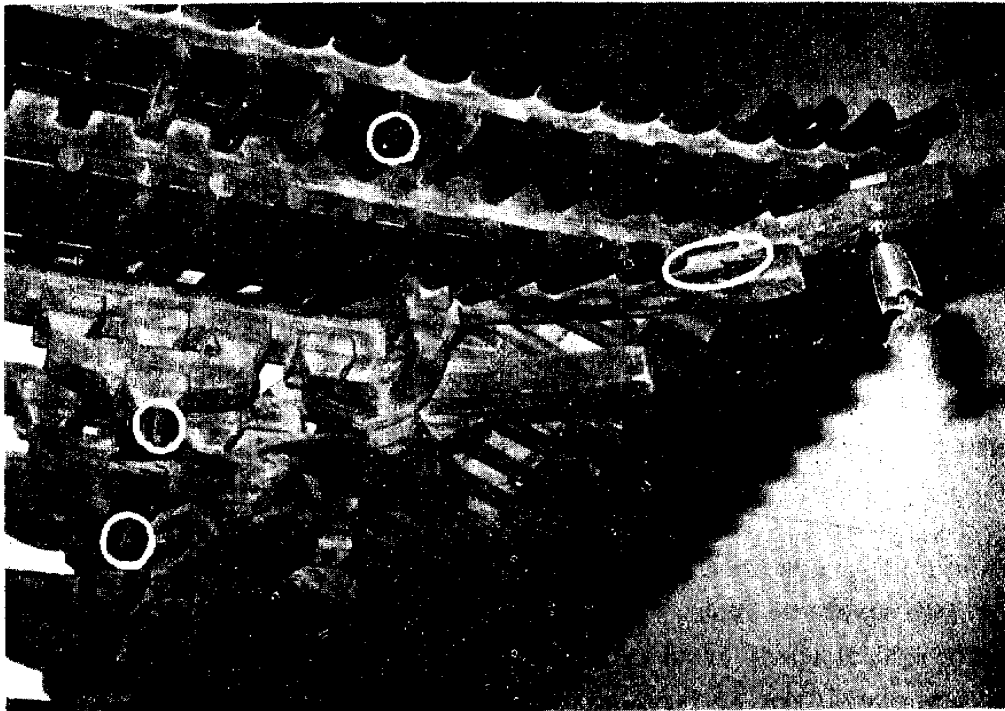


図 13 尾垂木, 垂木, 肘木の充填箇所

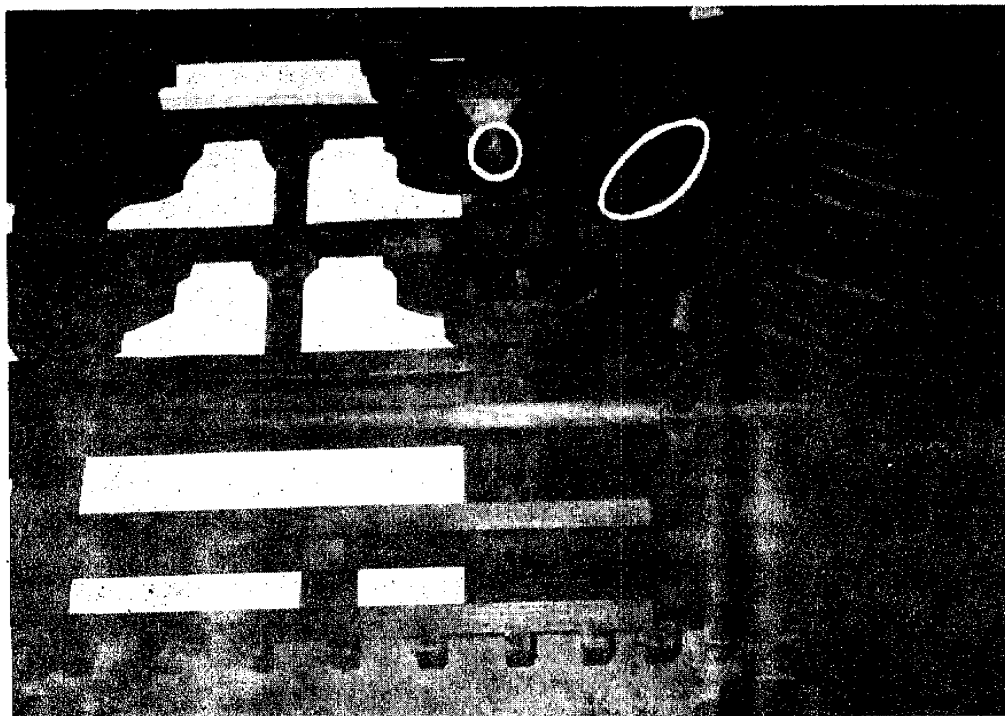


図 14 肘木の充填箇所

任研究官，また漆こくその調整は修理技術研究室中里寿克技官の協力を得ておこなわれたものである。

- 注 1) 岩崎友吉，樋口清治：東京国立文化財研究所受託研究報告，保存科学部 第12号（昭40年3月）  
 2) 岩崎，立田，樋口，中里，茂木：東京国立文化財研究所受託研究報告，保存科学部 第17号（昭41年3月）  
 3) 重要文化財伊賀八幡宮社殿修理工事報告書（昭43年3月）  
 4) 国宝元興寺極楽坊五重小塔修理工事報告書（昭44年3月）

### Résumé

#### Conservative Treatment of Wooden Objects (II): Synthetic Resins for Filling-up and Surface Trimming of Wooden Cultural Properties

By Tomokichi IWASAKI and Seiji HIGUCHI

We studied a new method for repair of wooden objects: to fill up the missing portions with synthetic resin. As one of the synthetic resins suitable for this purpose, we tried a special epoxy resin (Araldite SV 426) and succeeded in applying its thick coat on a perpendicular surface. This resin is light in weight, easy to carve after hardening, and permits use of wooden nails; these are characteristics absent in *urushi kokuso* (mixture of lacquer, sawdust and pottery clay) which has been in use in Japan since early times. The following are examples of the use of this resin.

- (1) Repair of the Sanctuary of the Iga Hachiman Shrine (registered as Important Cultural Property)

This building has stood exposed to weathers for centuries. The surface varnish of lacquer has exfoliated and the wood material itself has some parts worn away as if hollowed out with a knife. For its repair and re-lacquering, the traditional method of using *urushi kokuso* would require enormous time and work. Using the resin, we could apply a thick coat in a single process. After hardening, the coat was planed smooth and re-lacquered. The lacquer adhered to the surface successfully.

- (2) Repair of the small five-storied pagoda owned by Gangō-ji Gokuraku-bō (registered as National Treasure)

This model of five-storied pagoda (height 5.65 m.) is made exactly similar to a regular pagoda. Iron nails used on it had rotten and caused large holes in the wood. We filled up the holes with the resin, which, after hardening, was planed to trim the surface. Wooden nails were then driven into the wood in place of the iron ones. We succeeded in repairing the pagoda using the majority of the original wood parts.