

重要文化財箱木家住宅の柱の修復処置

〔受託研究報告 第47号〕

樋口 清治・中里 寿克・西浦 忠輝

1. はじめに

箱木家住宅は通称「千年家」といい習わされており、元禄五年頃の「摂陽奇観」に里人が千年家といえりと記されている。

現存する民家では最も古いものとされ、15世紀まで遡ると考えられている。

この箱木家住宅は兵庫県神戸市北区山田町にあり、山田川流域の舌状台地上に建てられている。近年、この地域にダム建設が計画され、流域一帯が水没するため、箱木家住宅は原位置から約70m 東南の造成地に移築される事になった。

現在の建物のうち当初からのものと思われる部分は土間に続く二つの座敷のみで、西側に続

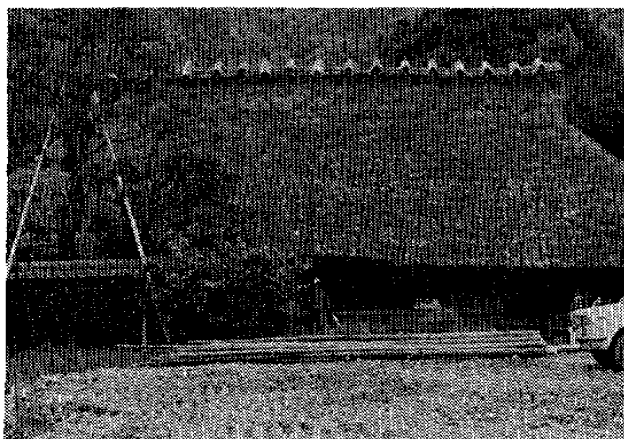


図. 1 箱木家全景

Fig. 1 The outside of Hakogi House



図. 2 箱木家内部

Fig. 2 The interior of Hakogi House

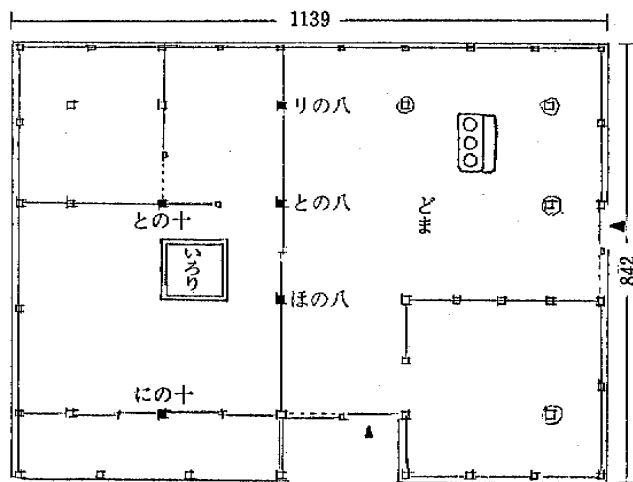


図. 3 箱木家主屋平面図

Fig. 3 Plan of the main part of the house

く中の間、奥座敷は、江戸初期から江戸中期にかけて増築されたといわれる。

今回受託研究として修復処置を行ったのは、当初の建物と思われる部分の5本の柱で、その位置は図. 3に示す如くである。

5本の柱は心持ちの松材で、全長約290cmと比較的短く、角にはかなり広い面取りがしてある。いづれも永年の燻染によって黒光りしており、手づれの部分はあたかも黒漆を塗った様に厚い被膜で覆われ、まさに400年以上の年輪を感じさせるものがある。「摂陽奇観」で里人がこの柱をみて、古代のものなりと感嘆したのもうなづける。

これらの柱は数度の改修を受けて後世の切込みがかなり有り、痛ましい状態であるが、なかでも破損が最も大きい個所は、上部の梁が貫通する部分で、梁穴としてかなり大き目に穿っており、それが直角に交差しているため、四隅に残された部分は、やぐらを組んだ様になっていて、強度的には極めて不安定な構造になっている。従って永年の地盤の不等沈下や地震によって、この部分が揉まれて、折れたり、割れたり、曲ったりしたのと思われる。材の一部には既に割損している部分もあり、その部分は、解体時に完全に分断してしまっている。下部も地下からの湿気による朽損が多く見られ、部分的にはかなりひどく腐朽、虫蝕している。一部には木割れによって割損し、又、後世切り縮められて原形を損っているものもある。

以上の様に、これらの柱はかなり破損しているが、当初材としての歴史と風格を備えており、他にかげがえのないものであるため、取替えたり、部分的切り継ぎは望ましくない状態にある。

昭和53年6月、解体移築決定後に、部材のうち、外観上特に目立つ位置にあって、部材の外見を保つ必要があり、かつ構造的強度を特に必要とする柱については科学的な処置法に頼るほかはないと判断され、そのうち、特に重要な5本を選んで昭和53年度の受託研究にする事にし

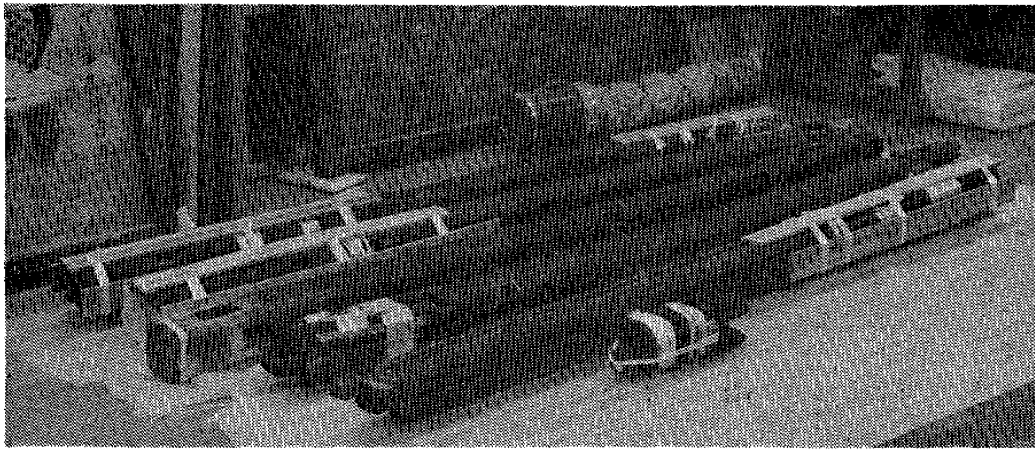


図. 4 修理柱搬入後(科学処理アトリエ)
Fig. 4 The columns just carried in the laboratory

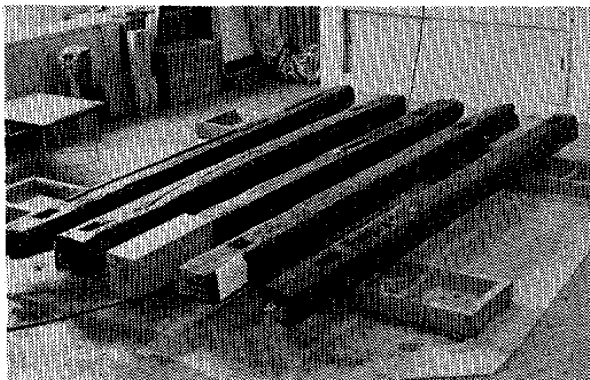


図. 5 修理後全景
Fig. 5 The columns after repairs

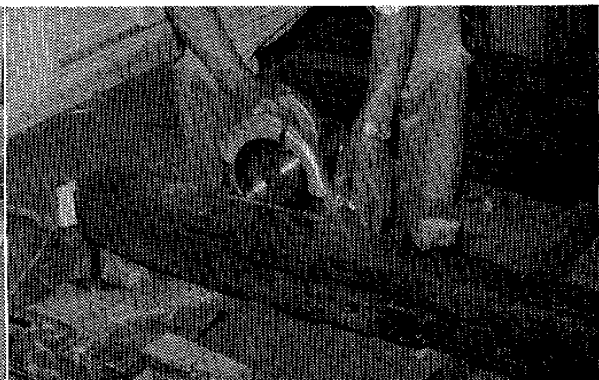


図. 6 ステンレス板挿入用の溝切り
Fig. 6 Cutting a channel in which stainless steel plate is to be inserted

た。

解体後の昭和53年6月2日に、選定された柱5本は当研究所に搬入され、約50日をかけて保存強化処置を施し、同7月18日搬出されたのである。

搬入後、保存処置にあたっては一部、建築の専門的加工も必要であったため、現場より延べ5日ほど技術者を派遣してもらい、根継ぎ部分の加工、材の曲りの矯正、補強材挿入用の溝切り等の作業を依頼した。

又、現場においても部分的な科学的修復が必要とされたため、建築技術者への科学的修復処置法について7日間ほど費して、指導し、しかるのちに現場での処置を託した。

なお、この樹脂加工処置は樋口清治が統括したが、実施については茂木 曙、青木繁夫、岩本克昌（現埼玉県歴史資料館）が、モデル実験については西浦忠輝が工学院大学生の山下哲雄、榊原卓夫両君の協力を得て行ない、記録の作成、本報告書の総括は中里寿克が行なった。

2. 処置前の状態

i) 「りの八」柱（付図. 1）

上部では、東面の後補大梁仕口部分で折損し、更に南北面の中央で木割れがあるため材の一部がはなれている。はなれた部材は更に二つに割れている。小口に造られる出柄も折れて辛じて付着する。梁穴部分でも南面で木割れと欠損が見られ、これらの部分には虫害がみられる東に向って反りがある。

下部も後補の切欠きが各面に入り、複雑な状態をみせる。東北面では小口からの木割れのため、南面の後補仕口部で折損しており、部材から離れる。表面仕口面では虫害が著しい。南面には幅広の木割れが全長に入る。北面と西面に全長に反りが見られる。

ii) 「との八」柱（付図. 2）

上部の梁穴部分で四隅にある四本のやぐら部分が折損し、上頭部がはなれる。

下部は貫穴以下部分が折れて欠損している。下部には虫害が目立つ。

iii) 「ほの八」柱（付図. 3）

上部梁穴の部分で折れ、上頭部は完全にはなれる。一部に木割れも見られる。小口にある出柄は半分欠損する。

下部は南北に通る貫穴から割れが入り、そのために西面で故意に切断されている。東面には辛じて木口を残し、貫穴も遺存するが、ほぼ全長にわたって木割れが走る。欠損部分を中心に虫害がひどい。

iv) 「との十」柱（付図. 4）

上部の折損は東北面の梁穴部に一個所あり、北面では上部小口からの木割れが鴨居下端まで入る。北面の上頭部に材の反りがある。

下部では辛じて木口が遺存し、全体に破損、欠損はないが、虫害が著しく、角はくずれてまわっている。

v) 「にの十」柱（付図. 5）

上部は後補の差鴨居仕口や方杖の仕口等があり、当初の梁穴部分も含めて比較的破損が少なく健全である。ただ東面のやや下った所に内部腐朽が広範囲にみられ、南東面の角にも腐朽部分がある。

下部は「との十」と同様、木口を遺存し全体に比較的健全だが、虫喰による変形がある。全体に若干の反りがある。

3. 樹脂加工処置方法

- 文化財木造建造物の損壊した部材の修復にわれわれがエポキシ樹脂を応用したのは、昭和39年、日光本地堂焼損部材の補填整形に、チオコール変性エポキシ樹脂に焦がした木粉を混入して用いたのが最初である。昭和42年、元興寺五重小塔の解体修理には、フェノール樹脂マイクロバルーンを混入したエポキシ樹脂（アラルダイト SV 426）を用いて効果があった。但し、この SV 426 も昭和42年、岡崎の伊賀八幡神社の修理には、現場で誤った施工法がなされたため、修理後間もなく整形した部分が剥がれる事故が生じ、樹脂加工処置は正確な化学的知識のもとに行なわなければならないことがあらためて強く認識された。昭和46年には重要文化財旧富貴寺羅漢堂の一棟分のまとまった部分をわれわれが全面的に樹脂処置して、起死回生の修理を成功させた。更にこの樹脂処置の技巧は精緻なものに発展し、国宝茶室如庵の解体修理にも大きく寄与した。その後、樹脂も改良を重ねられ、腐朽木材の強化剤もイソシアネート系のものからメタクリル酸メチル（MMA）のレドックス重合まで拡大し、また充填、整形用の樹脂も、フィラーがフェノール樹脂マイクロバルーンからガラスマイクロバルーンへと変わっており、基礎データも次第に整えられてきた。現在、桂離宮の解体修理には、強化剤として MMA、整形用樹脂としてガラスマイクロバルーン混入エポキシ樹脂（アラルダイト XN 1023）が主に用いられている。

しかし、これらの樹脂処置のほとんどは、化粧部材か、または構造部材のうちでも強度の余り要求されないものについてであった。強度の要求される主要な構造部材の樹脂処置としては、昭和49年、古河市中山家住宅と、昭和51年、群馬県平山家住宅の梁の修復がある。これらは何れも腐朽損壊のため中心部が空洞化していたので、梁を切開し、内側を FRP で強化し、中心の空洞部に湾曲集成材を組み込み、構造材としての強度を全てこの集成材にかけるようにしたものである。

今回の箱木家住宅の柱の合成樹脂による修復処置は、従来経験したことのない構造材としての柱の合成樹脂加工であり、如何に樹脂を補強して構造強度を維持するかが問題であった。柱それ自体の材質は硬く、腐朽による軟弱部分は少ないが、前述の如く柱上部の梁が貫通する大きな穴が四方から穿たれている仕口部分がねじれ折れたように折損していた。また、柱自体もねじれ曲ったものや干割れなどがあって、折損部分がもと通り噛み合わない状態であり、これを単にエポキシ樹脂で接着しただけでは構造材としての強度は期待できないことは明白であった。そこで樹脂の補強材としてステンレススチールのプレートや丸棒あるいは FRP を樹脂中に埋め込み、表面の化粧は補色したアラルダイト XN 1023 で行うことを計画した。この柱の補強については、構造力学的な解析をした上で、各部分の補強方法を考えることが望ましいのであるが、柱の仕口部分の破損状態も単純な曲げ破壊や引張り破壊でない複雑な応力によるもので、専門外のわれわれには補強の力学的裏付けを行うことはできなかった。しかし、実際問題としてこの損傷は5本だけであり、他の柱はすべて健全に近い状態であったので、この程度の補強で大過ないものと現場関係者も判断したが、なお一応の参考値として補強材を入れたエポキシ樹脂で強化した木材の曲げ強度を試験するため次のようなモデル実験を行なった。

3-1 モデル実験

図. 7に示すようにヒノキの角材に溝を切り、この中に補強材をエポキシ樹脂（アラルダイト LY 554）で埋め込み、これをオートグラフ（鳥津製作所製）にかけ曲げ試験を行なった。

本試験結果を表. 1に示す。

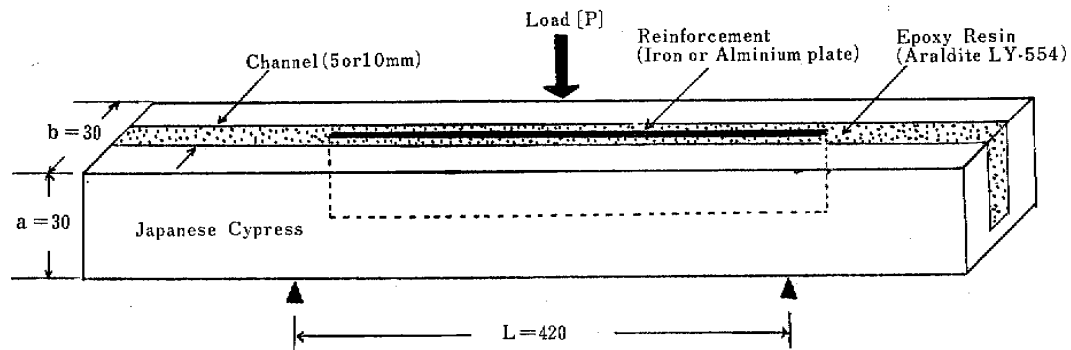


図. 7 曲げ試験用テストピース
Fig. 7 Test piece of bending test

表. 1 樹脂補強した試験片の曲げ試験結果
Table. 1 Result of the bending test

試 験 片					曲 げ 強 度*		
	No.	溝 幅	補 強 材	比 重 d	曲げ破壊係数 σ kg/cm ²	曲げヤング係数 E ×10 ⁴ kg/cm ²	比 強 度 σ_d ×10 ³ kg/cm ²
ヒ ノ キ	C-1	ナ	ナ	0.46	931.0	9.69	2.0
	C-2			0.48	884.3	8.14	1.8
	C-3			0.48	938.0	7.49	2.0
	C-4			0.46	892.7	10.09	1.9
	平 均	シ	シ		911.5	8.85	1.9
ヒ ノ キ + 樹 脂	1	5 mm	アラルダイト LY 554	0.56	1,003.3	9.09	1.8
	2			0.55	1,082.6	10.15	2.0
	3			0.55	973.0	9.16	1.8
	平 均				1,019.6	9.47	1.8
ヒ ノ キ + 樹 脂 + 鉄 板	4	5 mm	LY 554 0.8 mm 鉄板	0.63	1,234.3	11.45	2.0
	5			0.63	949.7	10.81	1.5
	6			0.63	1,033.7	10.41	1.7
	平 均				1,072.6	10.89	1.7
ヒ ノ キ + 樹 脂 + 鉄 板	7	5 mm	LY 554 1.0 mm 鉄板	0.65	1,103.7	11.45	1.7
	8			0.68	1,057.0	10.47	1.6
	9			0.65	1,061.7	11.45	1.6
	平 均				1,074.1	11.12	1.6
ヒ ノ キ + 樹 脂 + 鉄 板	10	5 mm	LY 554 2.0 mm 鉄板	0.73	1,274.0	13.42	1.7
	11			0.75	1,173.7	15.41	1.6
	12			0.70	1,117.7	11.45	1.6
	平 均				1,188.5	13.43	1.6
ヒ ノ キ + 樹 脂 + ア ル ミ 板	13	5 mm	LY 554 1.0 mm アルミ板	0.65	1,146.6	6.85	1.8
	14			0.63	1,310.2	11.64	2.0
	15			0.54	934.1	10.02	1.7
	平 均				1,130.3	9.50	1.9

試 験 片					曲 げ 強 度*			
	No.	溝 幅	補 強 材	比 重 d	曲げ破壊係数 σ kg/cm ²	曲げヤング係数 E ×10 ⁴ kg/cm ²	比 強 度 σ_d ×10 ³ kg/cm ²	
ヒ ノ キ + 樹 脂 + ガラスセaray	16	10 mm	LY 554 18 g ガラスセaray	0.65	758.0	8.16	1.2	
	17			0.68	1,104.6	9.84	1.6	
	18			0.61	1,013.7	8.51	1.7	
	平 均		958.8	8.84	1.7			
ヒ ノ キ + 樹 脂 + ガラスセaray	19	10 mm	LY 554 42 g ガラスセaray	0.69	1,403.9	11.34	2.0	
	20			0.66	1,102.2	9.62	1.7	
	21			0.64	877.0	8.87	1.4	
	平 均		1,127.0	9.94	1.7			
ヒ ノ キ + XN 1023	P-1	10 mm	アラルダイト XN 1023	0.55	958.7	8.92	1.7	
	P-2			0.59	1,084.7	10.16	1.8	
	P-3			0.59	1,203.2	10.27	2.0	
	平 均		1,082.2	9.78	1.9			
ヒ ノ キ + XN 1023 + 鉄 板	Fe 1-1	10 mm	XN 1023 0.8 mm 鉄板	0.66	1,124.4	11.23	1.7	
	Fe 1-2			0.68	—	—	—	
	Fe 1-3			0.67	1,152.4	12.23	1.7	
	平 均		1,138.4	11.73	1.7			
ヒ ノ キ + XN 1023 + ア ル ミ 板	Al 1-1	10 mm	XN 1023 1.0 mm アルミ板	0.64	1,083.6	10.23	1.7	
	Al 1-2			0.62	1,169.1	10.81	1.9	
	Al 1-3			0.60	988.4	9.45	1.07	
	平 均		1,080.4	10.16	1.7			

$$* \quad \sigma = \frac{3PL}{2a^2b}, \quad E = \frac{P'L^3}{4ya^3b}, \quad \sigma_d = \frac{\sigma}{d}$$

P : 破壊荷重 P' : 比例限荷重
 y : 比例限における歪み

表. 1 の結果を総合すると、次のことがいえよう。

- 曲げ破壊係数は各種の補強材を挿入することにより何れも無処理木に 比較し 5~30% 増加する。
- 曲げヤング係数は、ガラス繊維を除いて補強材を挿入することにより 10~50% 増加する。
- 比強度は当然木材より小さくなるが、その中で比較的良好なのはアルミ板による補強である。

補強材の厚さや種類の差は、予想したほどには曲げ強度に影響しなかった。その理由は補強が試験片の中心部においてなされ、最も曲げ強度に影響する引張り応力を受ける表面がすべて無傷の木材面であるためと思われる。また、柱の補強に対しこのような曲げ試験がどのような意味を持つものであるかを判断することは容易でないが、このような補強がある程度有効であることは実証し得たものといえよう。

3-2 樹脂加工処置記録

柱の表面は前述の様に燻染によって黒光りしており、あたかも漆塗りを思わせるような状態を呈していた。しかし、この表面に附着している物質は保存科学部の見城物理研究室長に赤外線吸収スペクトル分析を依頼した結果では 2,800 cm⁻¹ 附近の吸収が少ないことから漆ではなく、天然樹脂に因るものであらうとのことであった。

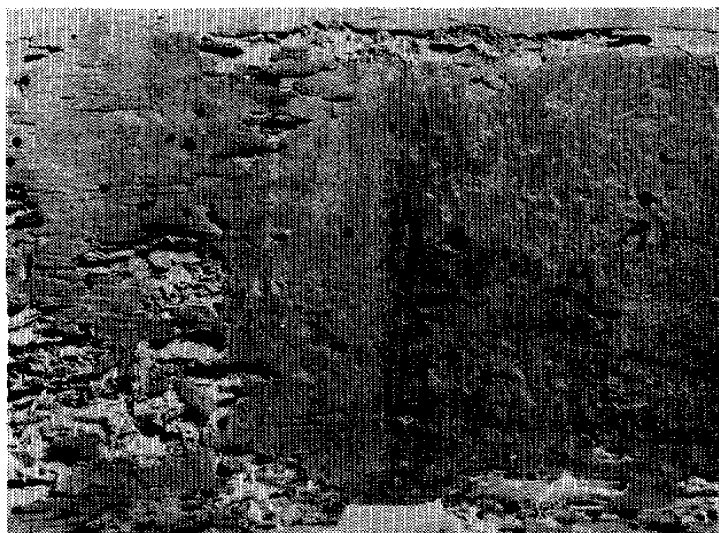


図. 8 柱の表面漆様の光沢（「との十」南面下部）

Fig. 8 Face of the column (looks like lacquer finish)

ート系より大きい。5本の柱の表面に全面的にこのリカレジン塗布含浸し、光沢を生じさせないため、表面にたまったリカレジン塗料（醋酸エチル又はキシレン）をよく拭きとった。この処置中は人体に有害なモノマーと溶剤蒸気が多量に発散するので、ビニールテントを張り、内部の空気を排気ポンプで室外に出しながら、また防毒マスクをつけて作業を行った。この強化処置に際しては、外見上重要でない部分とか、特に強度を要する部分では、予め健全な部分までかき落とし、処置による強度が十分期待できるように配慮した。

柱に大きな反りがあり、再建に支障をきたす恐れがあったので、強化処置の前にこれを如何にして矯正するかが問題であったが、現地から派遣された木工技術者の発案で簡単に矯正することができた。その方法は反りのある柱に割材を添わせて両端を針金で固定し、割材の間に楔

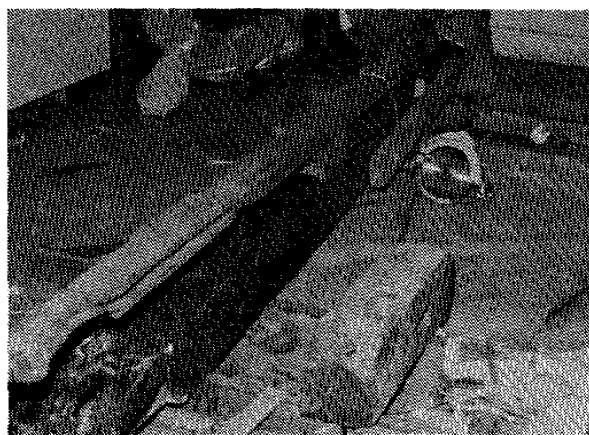


図. 10 柱の反りの矯正

Fig. 10 Reforming of the warp of the column

このような古色層を残しながら、虫害によって損傷している表面部を先ず強化する必要があった。従来は含浸強化用樹脂としてイソシアネート系のプリポリマー（寿化工 KK. PSNY 6 又は 10）を用いていたが、今回はリカレジン（新日本理化 KK）を用いることにした。この樹脂は還元剤を含むメタクリル酸メチルのプリポリマーであり、使用時に過酸化ベンゾイルを重合触媒として加え、木材の内部で重合させるようにした木材強化剤であり、欠点として光沢を生じ易いが、強化力はイソシアネ



図. 9 リカレジンの塗布含浸

Fig. 9 Impregnation of acrylic resin (Rika Resin) by brushing

を入れてしめ上げるのであるが、意外に効果があった。本方法により矯正された柱は「りの八」、「との十」、「にの十」である。

折損部の修復および補強については前述のような補強方法として、ステンレス板（300×25×2 mm）、ステンレス丸棒（径 10 mm）、ガラスクロス等による FRP 強化処置の三種を状態に応じて用いた。ステンレス板は局所に深さ 30 mm ほどの溝を切って挿入し、注型用エポキシ樹脂（アラルダイト LY 554：T 384/H-1=100:20、以下これを単に LY 554 と呼ぶ）を流し込んで硬化させた。ステンレ

ス丸棒も同様に補強部分に埋め込む方法を採用した。

FRP はガラスクロス、ガラスマット、ガラスロービング、炭素繊維を適材、適所に用いた。もちろんこれらの方法を重複して用いた箇所もある。

後補の切込部には原則として同種の松材を樹脂を用いて充填することにした。

今回のこの樹脂処置の特徴は、折損部や曲げ応力がかかる所の補強は、樹脂に期待するものではなく、応力が金属等の補強材にかかるようにし、樹脂はこれらの補強材を接着、結合させる目的に使うという点である。従って、樹脂に対しては、接着性能に重点を置く必要があり、その点でアラルダイト XN 1023 等のいわゆる、人工木材では、粘度が高すぎて濡れ現象が悪く、接着性に難点があったので、粘度が低く、硬化後の機械特性の良好なエポキシ樹脂としてアラルダイト LY 554 を選定したものである。この樹脂は FRP にも適性があり、また適当量のガラスマイクロバルーンを混入することで自由に粘度が調製できるので、種々な条件での接着が可能になる。なお予め松煙を少量加えて黒色に着色した樹脂にマイクロバルーンを多量に加えれば任意の硬さの人工木材とすることもできるので、今回はこの樹脂をかなり多量に使うことになった。但し、余り強度に関係のない部分の 繕いなどには、使い慣れた XN 1023 を用いた部分もある。

以下、それぞれの柱についての処置を述べることにする。

i) 「りの八」柱 (図. 11)

南北面の木割れによってはなれた東面上部の部材の一部は、元の位置におさめエポキシ樹脂 (LY 554) で接合した。上端部には後補の大梁仕口が

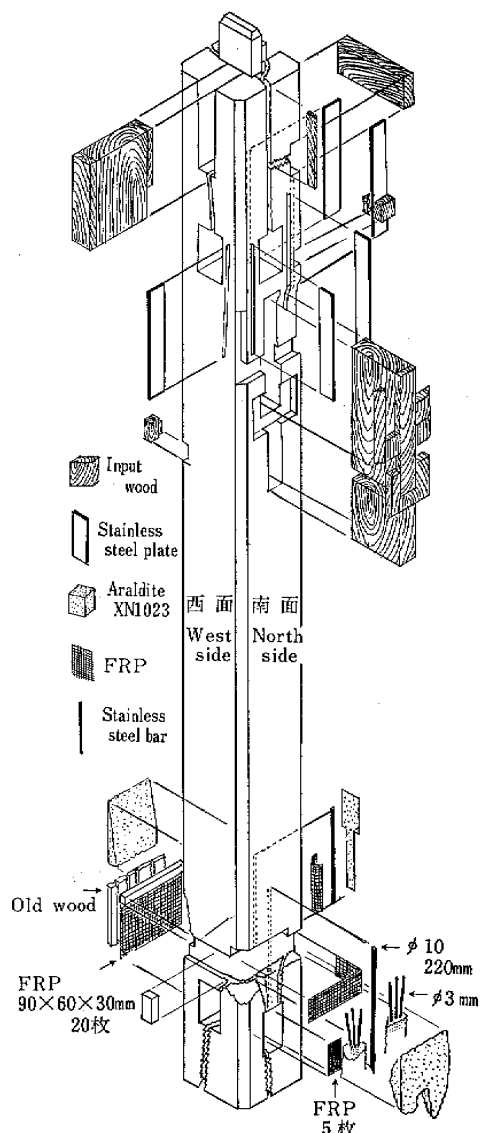


図. 11 処置 図「りの八」
Fig. 11 Illustration of the repair treatment

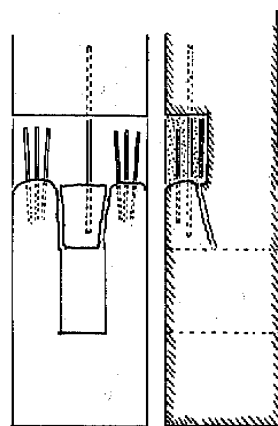


図. 12 「りの八」下部の施工

Fig. 12 Treatment of the lower part of the column with stainless steel bar and FRP

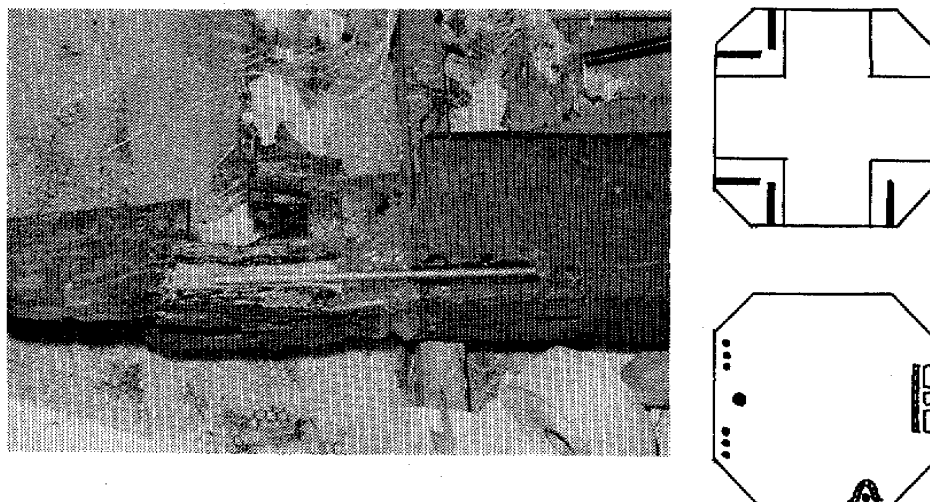


図. 13 「りの八」下部施工と強化処置断面図

Fig. 13 Treatment of the lower part of the column and its illustration of the section

あけられていたが、ここには同形の松材を挿入し LY 554 を流し込んで固定した。ほぼ折損していた出桝も同時に接着した。

梁穴部分に折損は無いが、補強のためステンレス板を東面に 2 枚、南面に 2 枚、西面に 1 枚挿入し LY 554 を流し込み接着固定した。その他後補仕口部には同形の松材を当て同じ樹脂で接着した。

下部では東西面の貫穴から木割れがあり、南面の一部が割損しているため、それらを LY 554 で接着し、割損材の上端には 3 ミリ径のステンレス棒 3 本を植え、後補の溝状の仕口部で FRP を用いて固定し補強した (図. 12)。

東面では腐朽部があるため、FRP で補強した上でステンレス棒を埋めた (図. 13)。

西面では一部に内部腐朽があるため、表面材を丁寧にはがし、内部をかき出し、FRP で補強し、その上に表面材を貼り戻した。その他の腐朽部は掻き取り、その部分は XN 1023 で整形した。南面には全長にわたって木割れがあり、そこには LY 554 を流し込んだ。

ii) 「との八」柱 (図. 14)

上頭部は梁穴部で折損してはなれているため、これを元に戻して LY 554 で接着した。折損部を中心にステンレス板を南面では 2 枚、東面では 1 枚、西面で 1 枚、北面で 1 枚ずつ挿入し強化した。北面の折損部の合せ口には 3 ミリ径のステンレス棒を 3 本束ねて、釘のかわりに 2 箇所打込んだ。

下部は 40 cm ほど欠損しているため、腐朽している木口を加工して 10×10 cm 角、長 5 cm の桝を造り出し、松の補足材を継ぎ足し LY 554 で接着固定した (図. 15)。

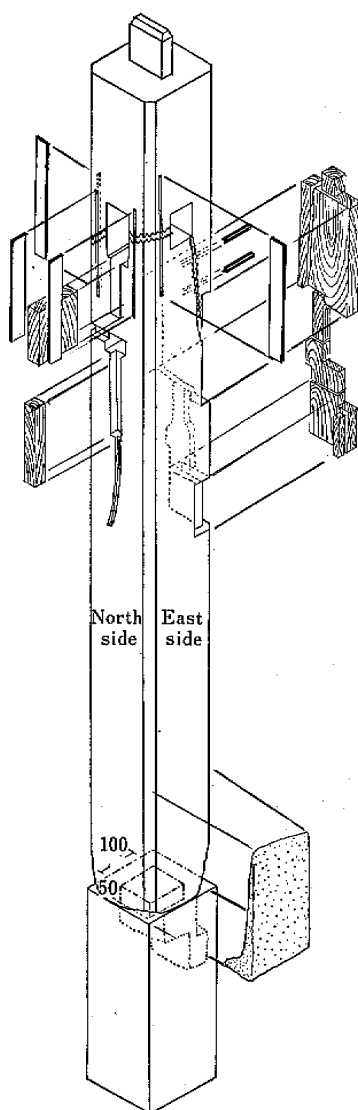


図. 14 処置図「との八」

Fig. 14 Illustration of the repair treatment

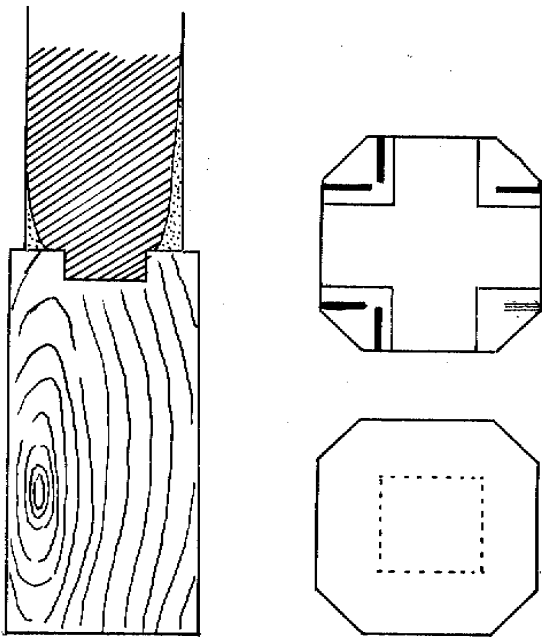


図. 15 「との八」下部施工図と処置断面図
Fig. 15 Treatment of the lower part of the column and its illustration of the section

iii) 「ほの八」柱 (図. 16)

これも上頭部は梁穴部で折損し、はなれているのでガラスマイクロバブルを混入した LY 554 で接合し、硬化後その折損部に溝を掘りステンレス板を東面で2枚、南面で1枚、西面で2枚、北面で1枚ずつ入れた。北面のステンレス板挿入部にはガラスロービングを束ねた FRP も併用して補強した (図. 17)。

下部は故意に切りつめてあるため、その木口を若干削って二枚枅を削出し、松材の根継ぎを行った (図. 18)。粘度を

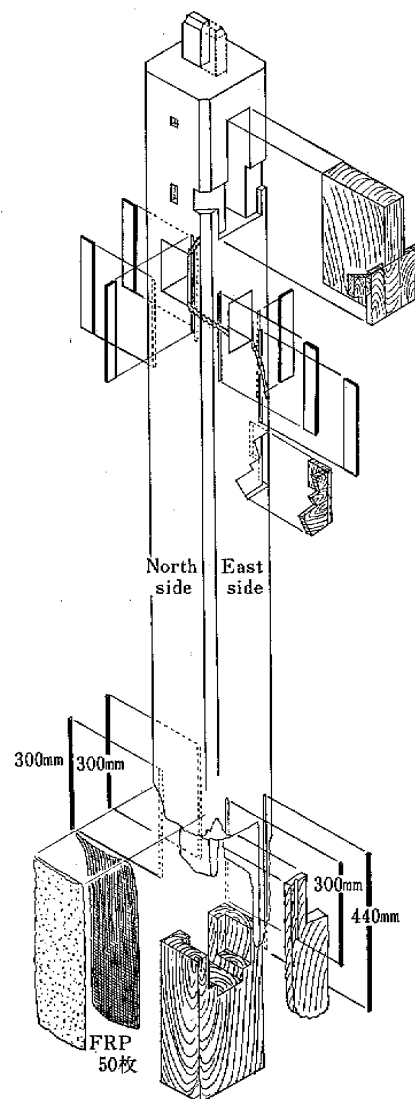


図. 16 処置図「ほの八」
Fig. 16 Illustration of the repair treatment

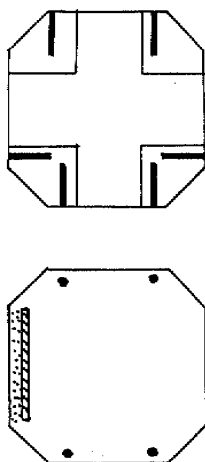


図. 17 「ほの八」施工断面図
Fig. 17 Illustration of the section of the treated column

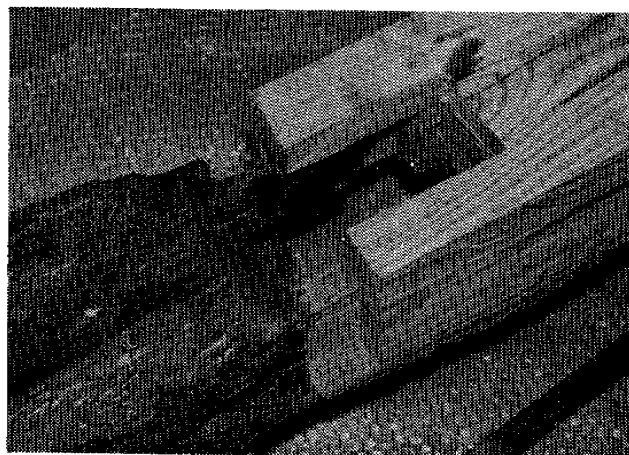


図. 18 「ほの八」下部施工現状
Fig. 18 Restoration with a new wood at the lower part of the column

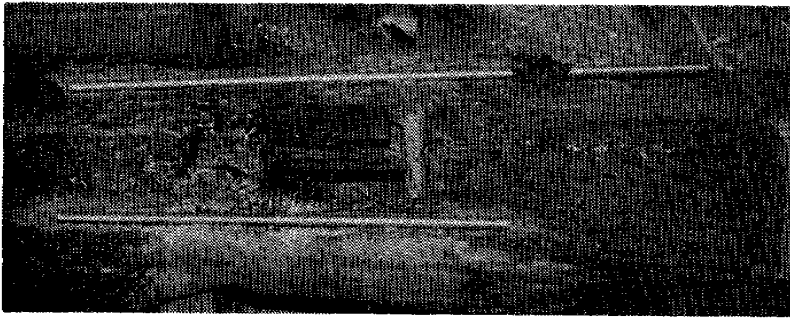


図. 19 「ほの八」下部施工図

Fig. 19 Repair with stainless steel bar and glass cloth at the lower part of the column

ガラスマイクロバルーンで調製した LY 554 で先ず接着し、更にこの接合部を強化するため東面西面にはステンレス棒を2本ずつ補強用として挿入し (図. 19)、南面では継目を中心にガラスクロス50枚を積層し補強したが、当初材の一部ははがして処置し、処置後に元の位置に貼り付けた。東面の一部は柄刳出しの際に切断したが、新材の上に貼って旧状に戻した。東面にある木割れには LY 554 を流し込んだ。

iv) 「との十」柱 (図. 20)

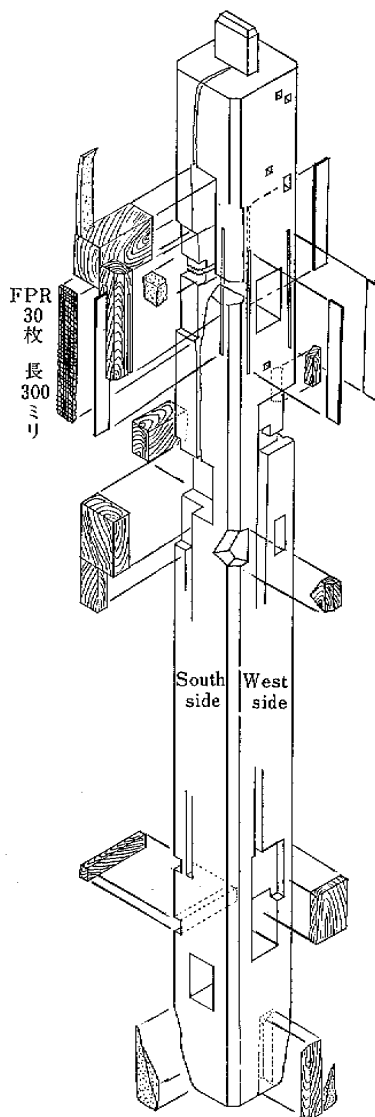


図. 20 処置図「との十」
Fig. 20 Illustration of the repair treatment

上頭部には東北面の角に折損がある。この部分の補強のため折損部を中心に当初材を浅く削り、そこにガラスクロス10数枚 LY 554 で積層し補強した。その他の梁穴部には溝を掘ってステンレス板を北面で1

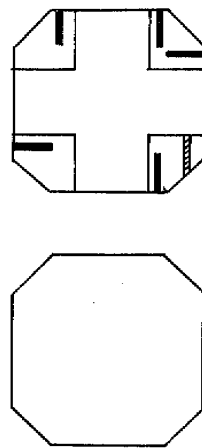


図. 21 「との十」施工断面図

Fig. 21 Illustration of the section of the treated column

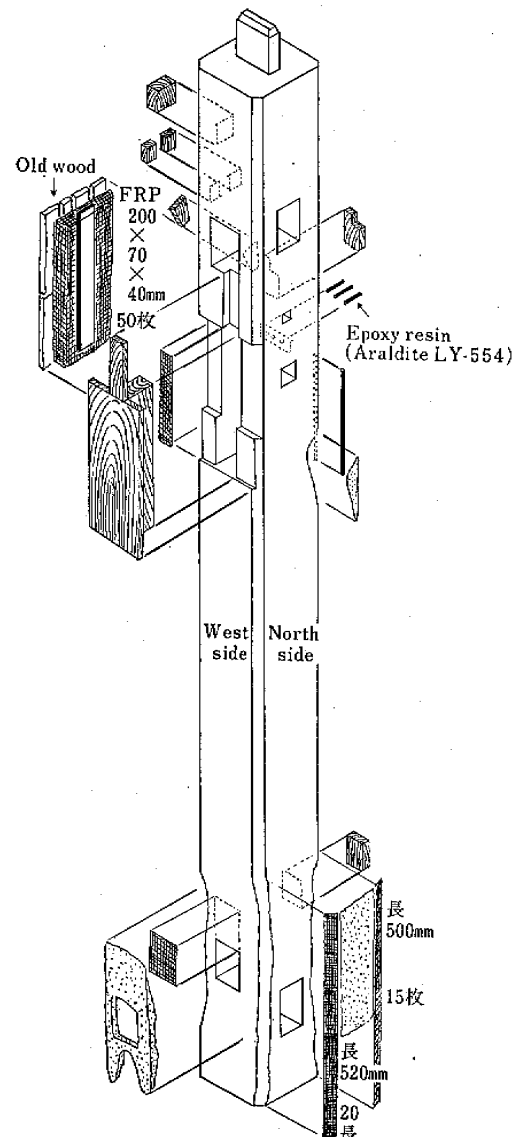


図. 22 処置図「にの十」
Fig. 22 Illustration of the repair treatment

枚、南面で1枚、西面では2枚挿入し、その上からガラスマイクロバルーン混入の LY 554 で整形し表面を整えた。

下部は比較的原型を保っているが、西面の一部は腐朽部を削って新材を挿入している。腐朽部は削って XN 1023 で若干の整形を行った。

v) 「にの十」柱 (図. 22)

この柱は処置前に柱のねじれを矯正する際に、上部梁穴部よりやや下った所で亀裂が生じたため、その亀裂部を中心に長さ 30 cm、幅 7 cm、深さ 4 cm 程度掘り込み、そこにガラスクロス LY 554 で厚く積層し、更にその上にステンレス板を置いて補強してから、マイクロバルーン混入の LY 554 で充填しその上から当初材を丁寧に貼付けて現状を保つ様につとめた (図 23, 24)。東南面角に腐朽部があり、そこにはステンレス棒を挿入して補強した。東面鳴居下端にある後補の切欠き部には、3 箇所ほどボーリングして LY 554 を流し込んだ。西面の切欠き部の一部は FRP で補強した。



図. 23 「にの十」上部施工図
FRPの上にステンレス板を添え上に
古材を貼る

Fig. 23 Repair with FRP, stainless
steel and old wood



図. 24 「にの十」上部施工図
Fig. 24 Same as Fig. 23

下部は腐朽が進んでいるので XN 1023 で整形した部分が多い (図. 25, 26) が、南西面と南東面の両角には 50 cm ほど FRP を施こし補強した (図. 27)。

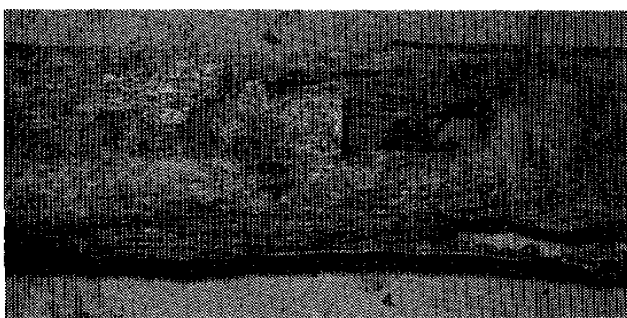


図. 25 「にの十」下部腐朽部
Fig. 25 Rotted place in the lower
part of the column



図. 26 「にの十」下部腐朽部施工 (XN 1023)
Fig. 26 Treatment to the rotted part
with Araldite XN 1023

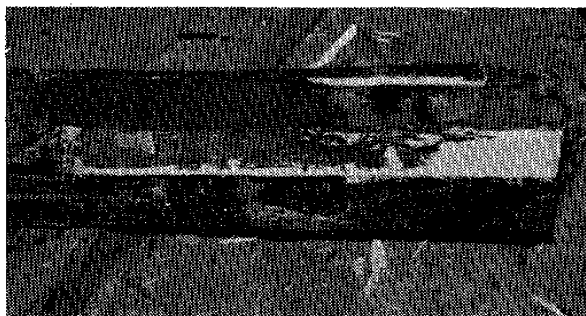


図. 27 「にの十」下部 FRP 及び充填処置
Fig. 27 Treatment with FRP and resin
patching

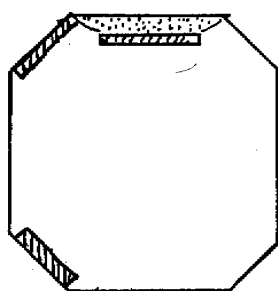
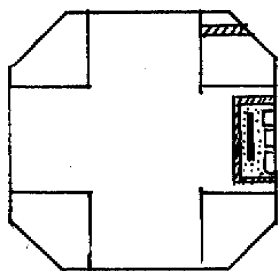


図. 28 「にの十」
断面施工図

Fig. 28 Illustration of the section of the treated column

又、西面貫穴上部にもFRPを施こして、その上をXN 1023で充填した(図. 28)。



図. 29 修理柱処置後上部
Fig. 29 The upper parts of the columns after repair

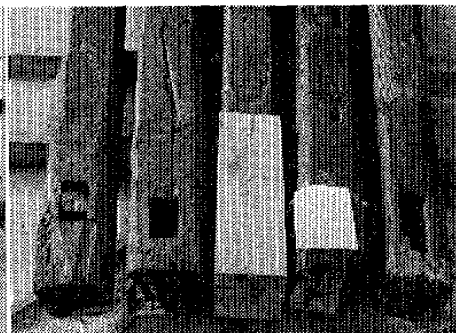


図. 30 修理柱処置後下部
Fig. 30 The lower parts of the columns after repair



図. 31 箱木家完成後「にの十」
Fig. 31 The repaired column after reconstruction

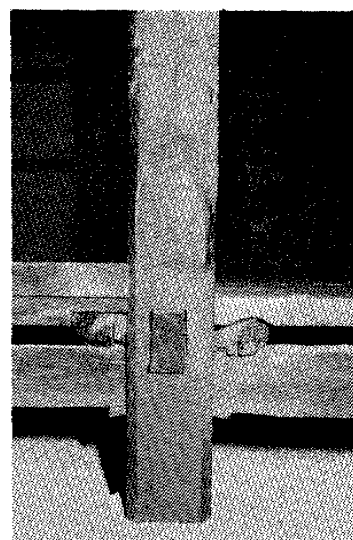
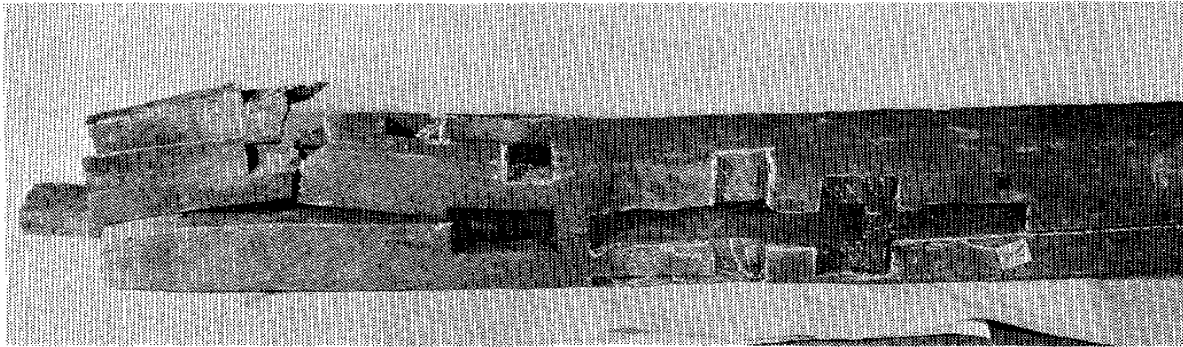


図. 32 箱木家完成後「との八」
Fig. 32 The repaired column after reconstruction

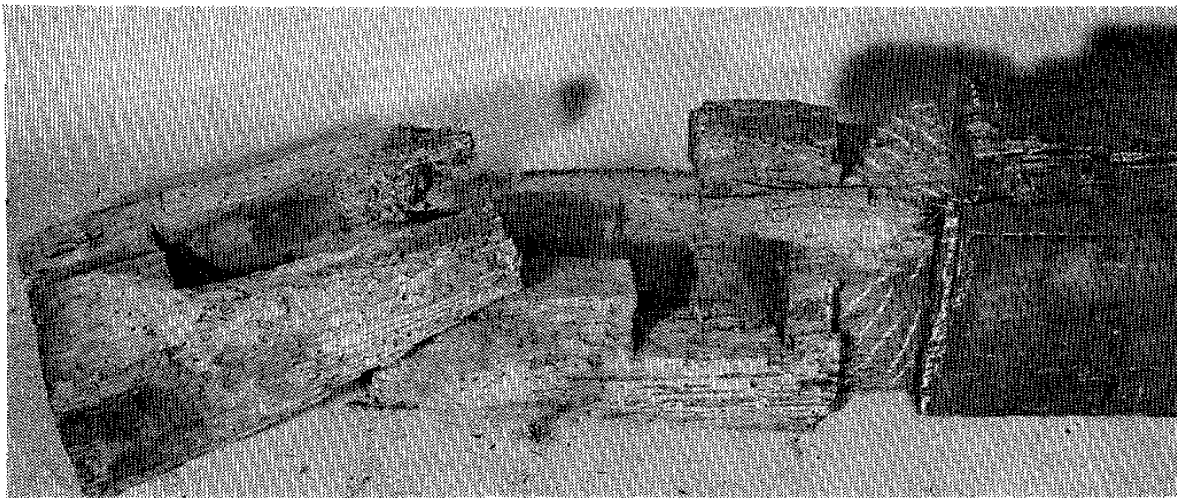
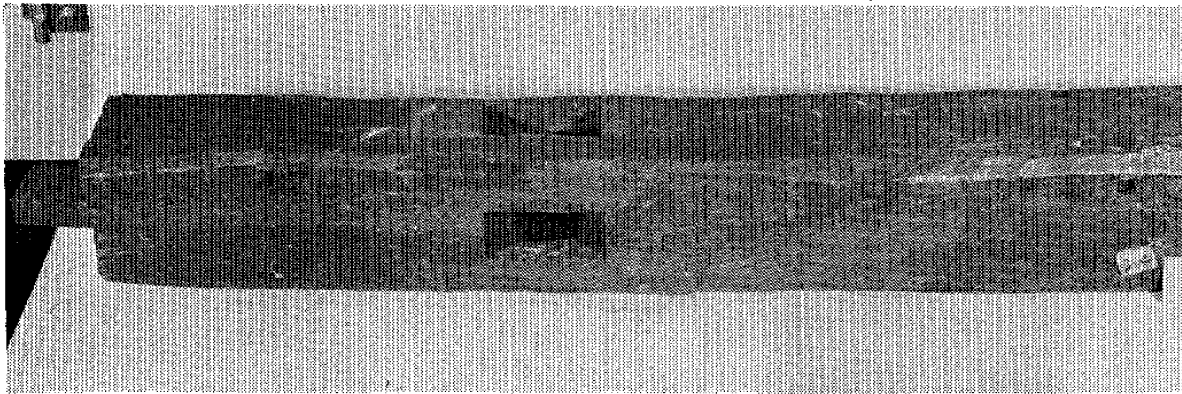
4. む す び

以上述べたような樹脂加工によって修復を完了した4本の柱は現地に送り返されて無事再使用され、日本最古の民家の柱としてその黒光りした偉容を再現することができた(図. 29~32)。解体されたときのあの満身創痍の傷ましい姿の面影は何処にもなく、修復前の状態を知る者には感慨ひときわ深いものがある。

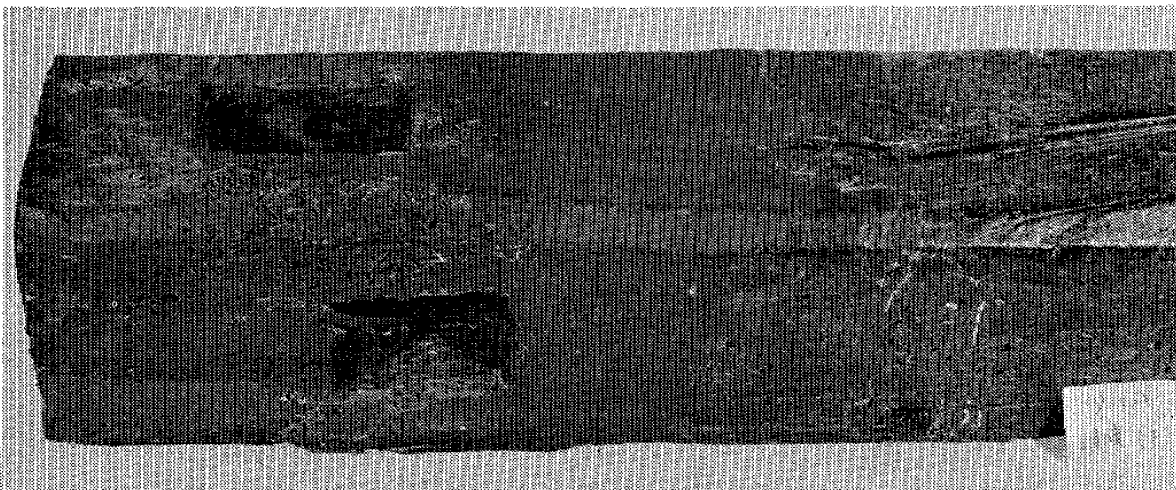
木造建造物部材の修復にエポキシ樹脂が用いられるようになってから約10年が経過したが、始め化粧部材を対象として発足した研究もようやく近年構造部材の修復に足がかりができたように思える。またこの間、合成樹脂の種類も次第にその数を増し、それぞれの特長と欠点も明らかになりつつあるが、万能用といえる樹脂はなく、適材適所に樹脂を使い分けることが重要である。同じエポキシ樹脂であっても分子量や化学構造によって多くの種類があり、また硬化剤も同様多種類あるので、その組合せを変えたり、また添加材(例えば稀釈剤とか増粘剤など)や充填材(ガラス繊維、マイクロバルーン、珪石末など)の質や量を変えれば、限りないほど多種多様のものが得られる。その中でわれわれは従来の経験から、今回の樹脂処置を実施したものである。もとより構造材の修復、補強は建築家の指導監督に頼らねばならないが、合成樹脂と補強材を組合せたいわゆる複合材料の強度、耐久性について更に基礎的データを積み重ねる必要を痛感する次第である。



上 部 処置前
 処置後



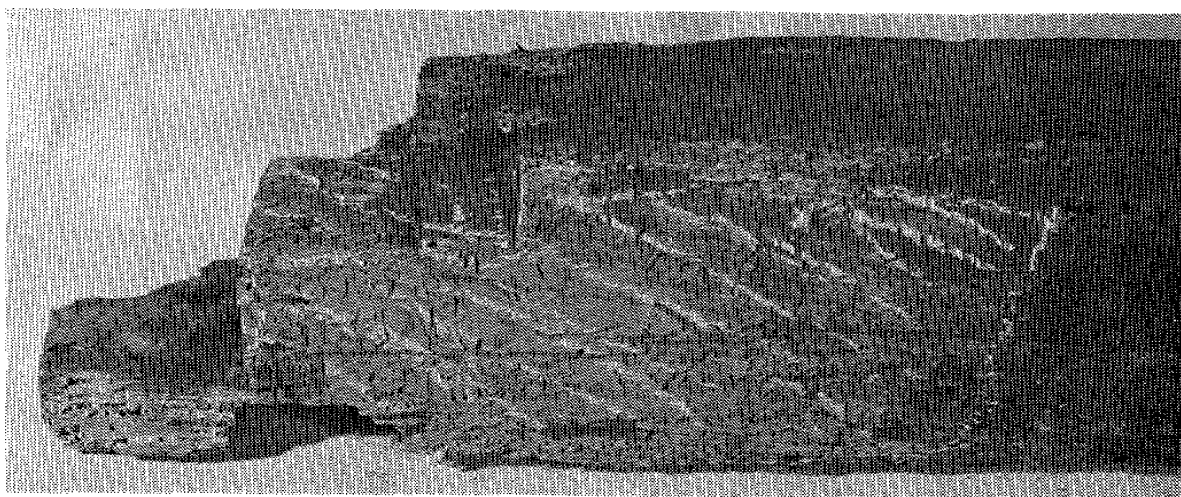
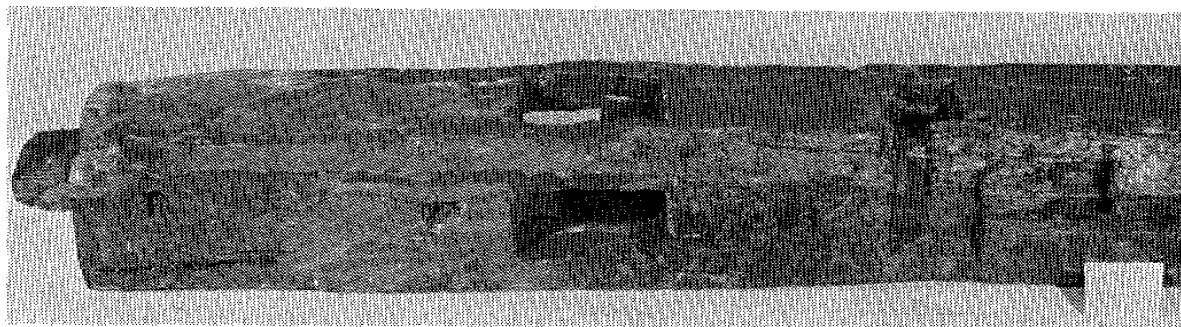
下 部 処置前
 処置後



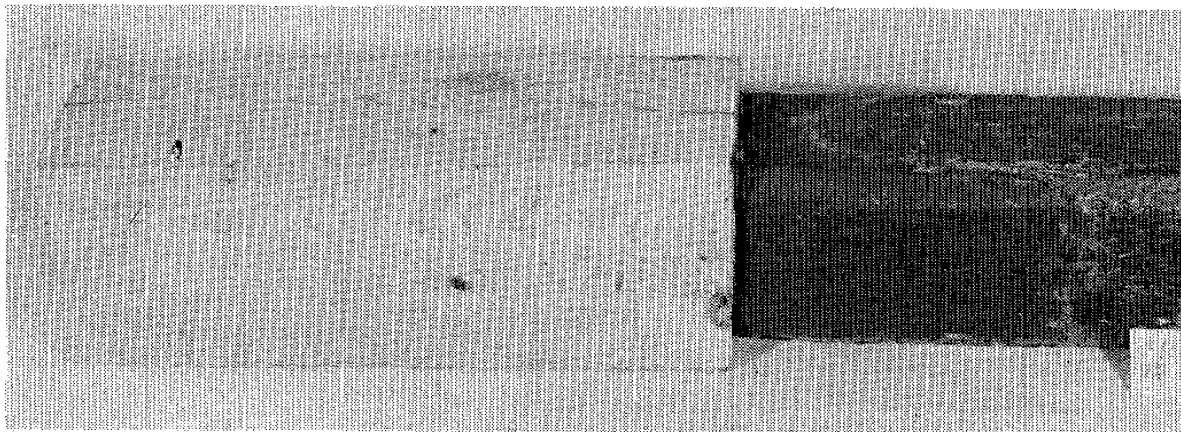
付図 1 「りの八」 処置前と処置後
Fig. 1 Before and after repair



上 部 処置前
 処置後



下 部 処置前
 処置後

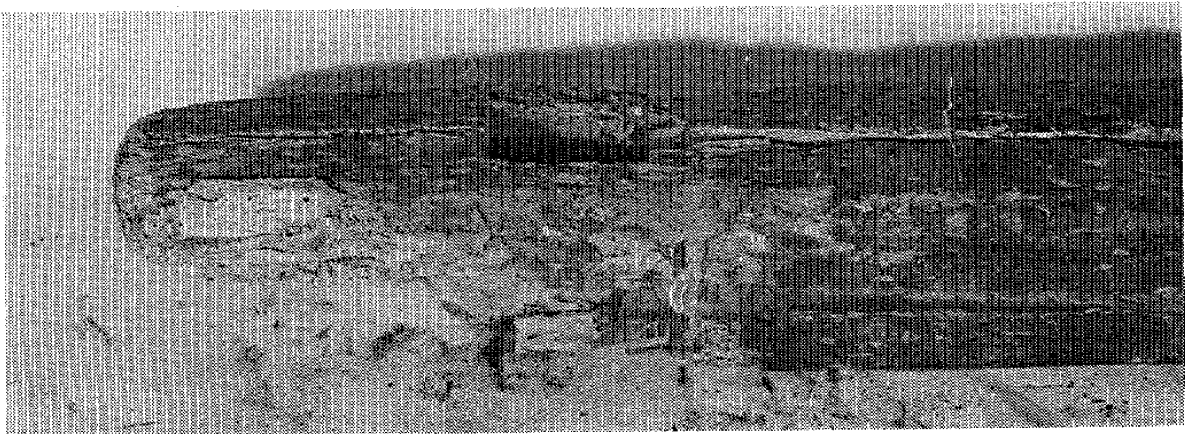
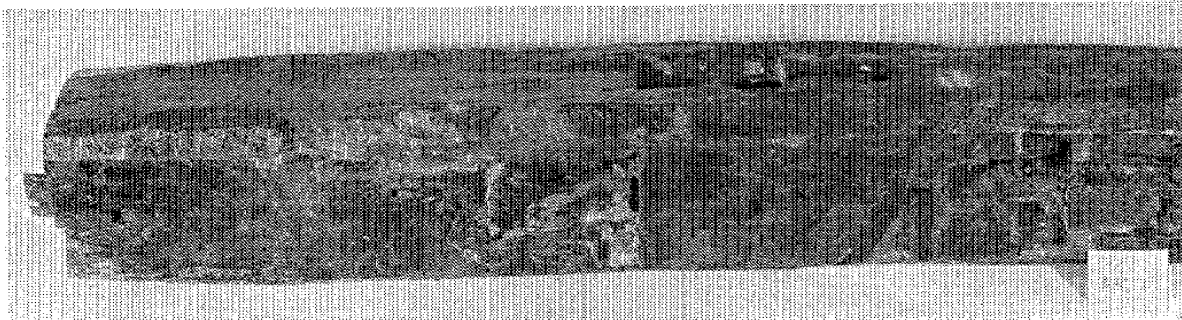


付図 2 「との八」 処置前と処置後

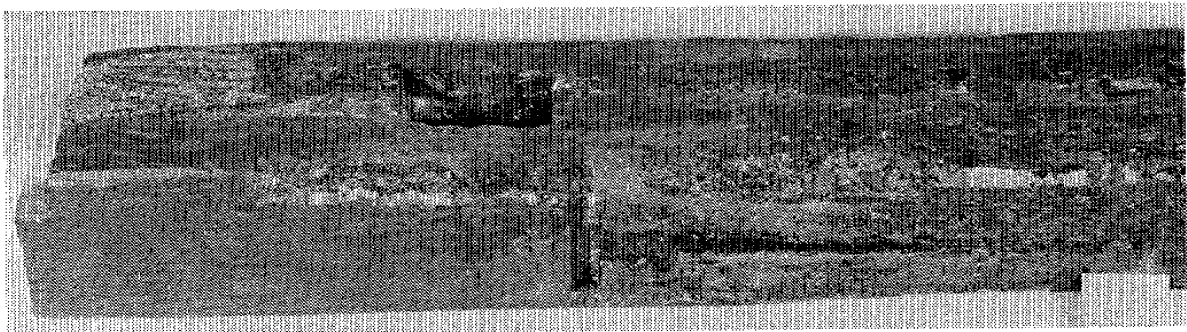
Fig. 2 Before and after repair



上 部
処置前
処置後

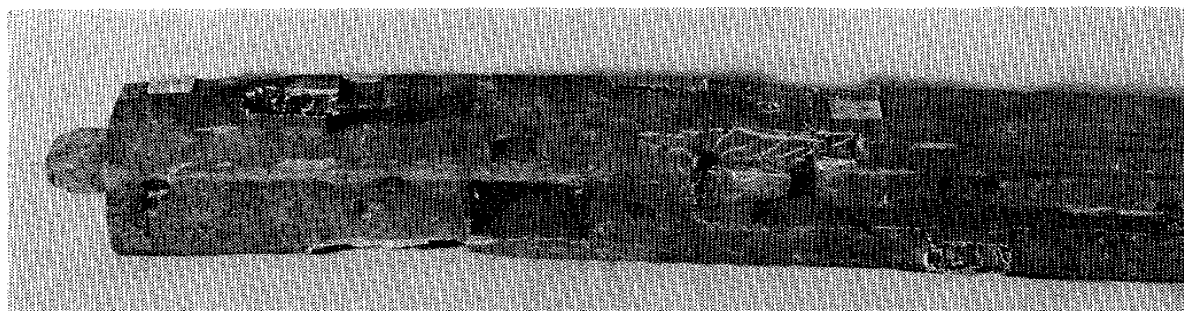


下 部
処置前
処置後



付図 3 「ほの八」 処置前と処置後

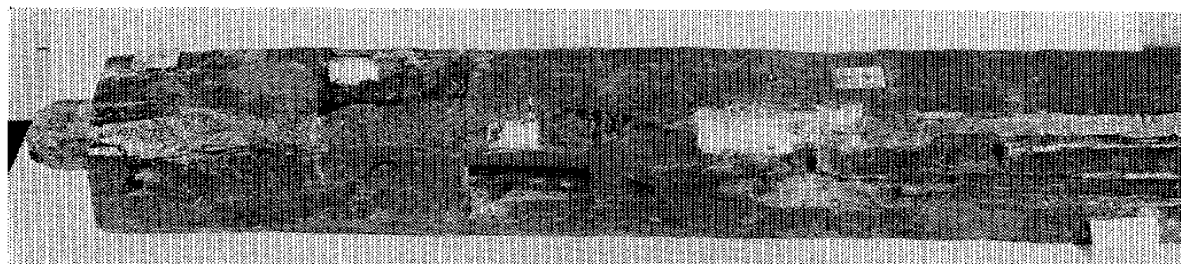
Fig. 3 Before and after repair



処置前

上 部

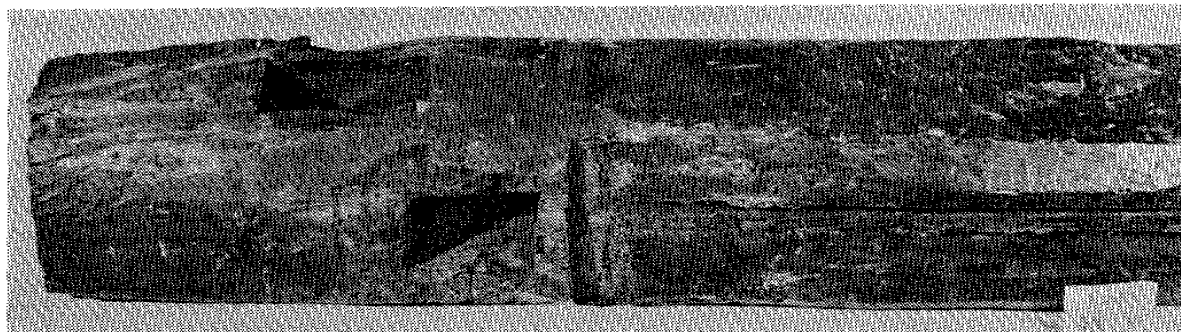
処置後



処置前

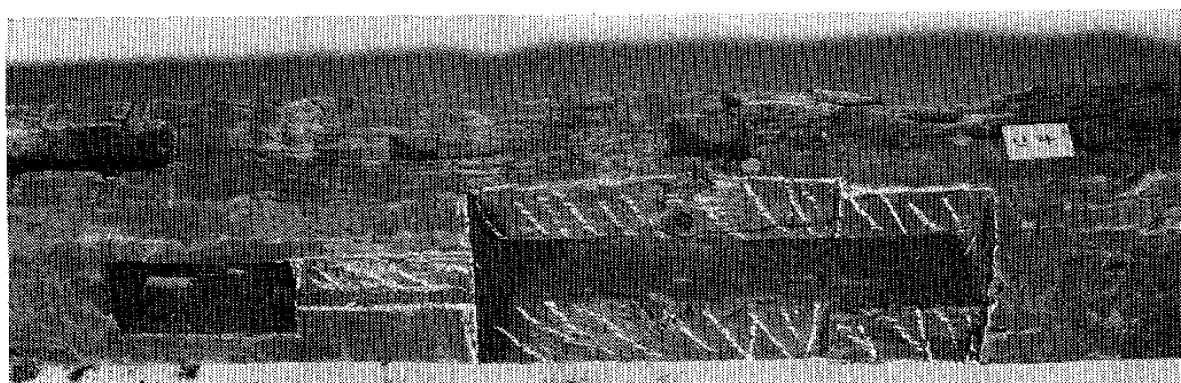
下 部

処置後

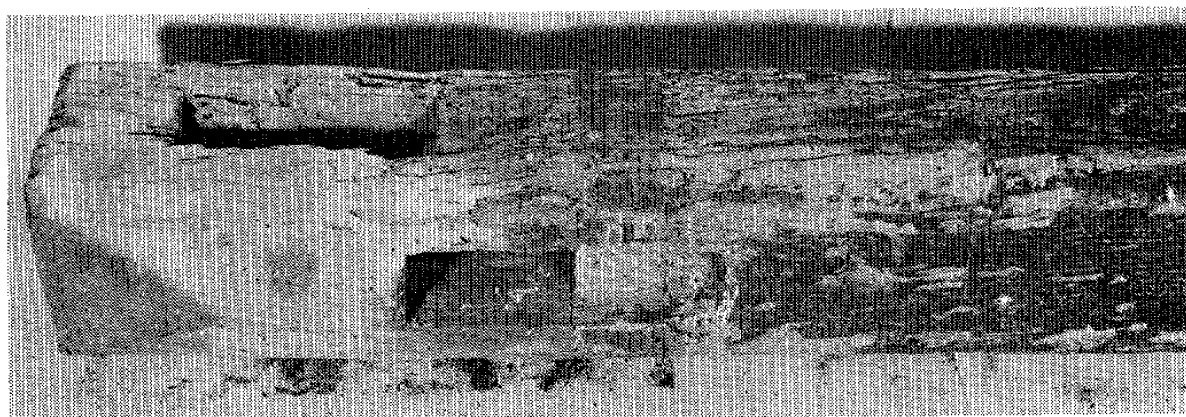
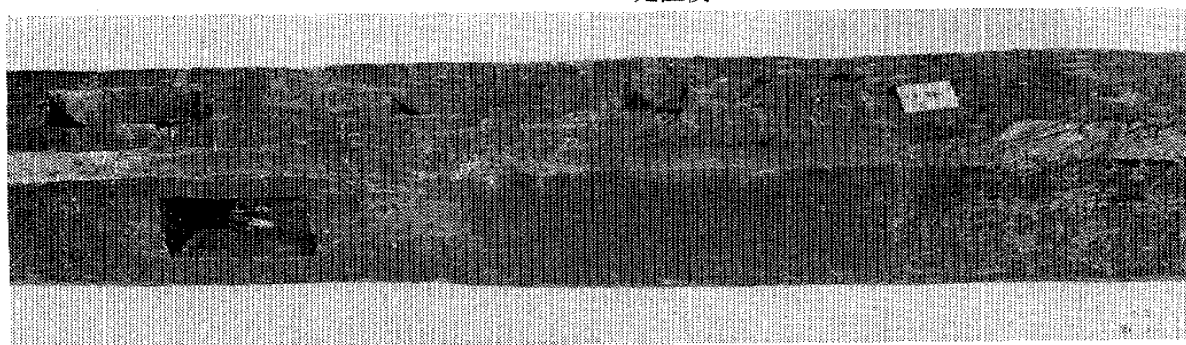


付図 4 「との十」 処置前と処置後

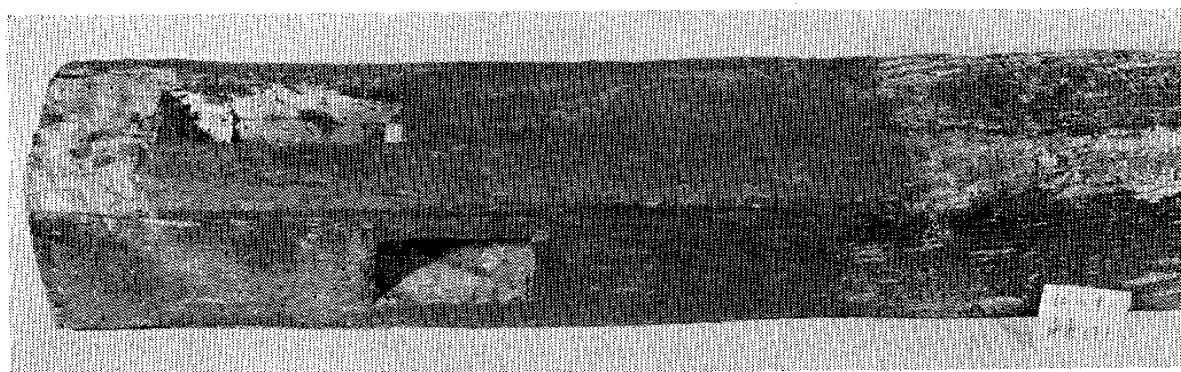
Fig. 4 Before and after repair



上 部
処置前
処置後



下 部
処置前
処置後



付図 5 「にの十」 処置前と処置後

Fig. 5 Before and after repair

参 考 文 献

- 1) 茨城県指定有形文化財旧中山家住宅 保存修理報告書 昭50年
- 2) 羅漢堂・如庵については「保存科学」10号を参照。
- 3) Paul Stumes : 「Structural Rehabilitation of Deteriorated Timber in Historic Building」 Conservation of Wood, 33~48, (1978)

Scientific Reinforcing Restoration of the Structural Wooden Columns of *Hakogi* House

Seiji HIGUHI, Toshikatsu NAKASATO and Tadateru NISHIURA

The oldest Japanese wooden private house, *Hakogi* house, in Kobe city, Hyogo prefecture, is attributed to the fifteenth century. Because of civil developments the building was reconstructed at another place in 1978. On this occasion, five structural columns of the building were restored in the laboratory of Tokyo National Research Institute of Cultural Properties.

Deterioration occurred mainly around the holes to join the beams and at the bottoms of the columns. It seemed to be impossible to give sufficient structural strength to the columns even by modern wooden work. Therefore, it was preferred to apply to the column the scientific reinforcing technique using epoxy resin, metal and/or glass fibers. Thus, the decayed columns were reborn as composite materials made of wood and the reinforcements. The bending strength of some kinds of the composite materials were examined using test pieces prepared in the laboratory. The results were referred to in the subsequent practical treatment to the columns.

The procedure is as follows ;

- (1) Mixture of prepolymer and monomer of Methylmethacrylate, which cures at room temperature in a wood, was impregnated into the rotted parts. This is for consolidation.
- (2) Broken parts were reinforced by stainless steel plate, bar and/or glass fibers with epoxy resin. The epoxy resin is to fix those reinforcements inside and to fill up the voids.
- (3) The patching compound of epoxy resin and glass microballoon was used to mold the missing parts.