

出土土器補修用の新材料

樋口清治・今津節生

I はじめに

わが国の考古学資料としての土器の修復は、明治以来現在に至るまで、土器の破片を接着剤で接合し、欠失部分は主に石膏を用いて補填・整形する方法が一般に行われてきた。接着剤も昔はツァボンラックと言って、セルロイド（硝酸繊維素に樟脳を混練したもので映画フィルムや玩具などの日用品の製造に広く用いられたプラスチック）をアセトンや酢酸アミルのような溶媒に溶かして接着剤として使用していた。しかし、セルロイドは非常に引火性の強い危険物であり、近年では他の安全なプラスチックが数多く出現したために一般には用いられなくなってしまった。このツァボンラックの代りに手工用として市販されている酢酸繊維素系合成樹脂接着剤（たとえばセメダインCなど）が広く用いられるようになったが、一部では酢酸ビニールエマルジョン（たとえば木工用ボンド）などや、場合によってはエポキシ樹脂のような強力な合成樹脂接着剤も用いられるようになった。また、脆弱化した土器表面の強化処置には、水溶性アクリル樹脂（バインダー-17, 18）の含浸を昭和42年頃筆者が提唱して以来、広く土器の修復に用いられるようになってきている。

以上のように、土器修復に対する合成樹脂の応用は次第に範囲が拡大し、最近では石膏の代りに合成樹脂で欠失部を補填することもしばしば行われるようになった。このことは考古学上の修復理念¹⁾に必ずしも合致しない面もあると思われるが、特殊な場合には合成樹脂による補填も必要とされているのが現状であろう。勿論、合成樹脂を用いるか否かは考古学上の視点より決定されるのは当然であるが、本稿では合成樹脂加工技術の立場から補填用素材の開発研究をおこない、これまでに若干の成果が得られたので報告する。

II これまで使用されてきた土器の補填材

欠失部分の補填は保存処置の仕上げとも言うべき段階であり、処理後の考古学的理解にも影響を及ぼす点で重要である。したがって、作業の実施にあたっては、補填部分が遺物の連続性の再現、強度の保持、外観の調和の保持といった修復の目的に役立っているかを考えて最小限に行うべきであろう²⁾。補填材についてもこの目的に合うような材質を選び出す必要がある。そこで、土器の補填材を選択する際に留意すべき条件としては、次の諸点が考えられる。

- i 成形・硬化・加工・彩色などの作業が容易に行え、危険性も少ないこと。
- ii さまざまな土器に合わせて、補填材の強度、材質観、色調などを変化させることができること。
- iii 硬化後、土器との接着性・耐久性に優れ、必要に応じて本体から取り外して再修理が可能なこと。

以上の3点をふまえて従来使用されてきた補填材について検討してみよう。

a. 石膏

石膏は洋風彫刻と共に欧州から輸入された塑型材料で、考古遺物の修復において現在もなお最も一般的に使用されている補填材であり、縄文・弥生・土師器・須恵器などの土器類から陶

器・磁器に至るまで広範囲に使用されてきた。ところが、この石膏も先にあげた3つの条件からみると、必ずしも理想的な補填材とは言いがたい。硬化時間が数十分と比較的短く、作業も簡便であるという長所をもつ反面、成形のための作業時間が短く、石膏が作業中に硬化してしまふ。修復箇所によっては数回に分けて石膏を流さなければならず、同じ作業を何度も繰返すうえに、石膏同志の重なり面において接着強度が低下する傾向がある。また、土器と石膏の接合面が縄文土器のように多孔質で石膏の食いつき易い状態であればよいが、須恵器などのように肉厚が薄く、緻密な組織のものには十分な接着が得られない欠点がある。材質観や色調から見ても、石膏の白色の色調や緻密な表面などは、土器の色調や多孔質の表面にはそぐわない。かといって、砂や土などの充填材を混入した場合には、石膏の強度は著しく低下してしまう。表面に着色するにしても、水彩絵具を使用すると、均一に絵具がのらず色むらが生じてしまうので、それほど容易な作業ではない。さらに石膏の致命的な欠陥は、耐久性にあると考えられる。硬化後の石膏は、圧縮強度には比較的強いものの衝撃に弱く、肉厚の薄い土器の補填では十分な強度が得られない。修復後数十年、多湿な場所で保管されている場合にはさらに早く石膏が老化し、表面がチョーキングしたり、接着部分が本体と離脱してしまうことがある。その原因は詳かではないが、恐らく石膏の結晶水が変化するものと想像される。

最近では、石膏の欠点を補い、樹脂やその他の物質を混合した改良石膏も使用されはじめた。モデライトもこのような改良石膏の一種であり、使用方法の簡便さ、異物の混入が可能なことなど優れた特長をもっている³⁾。しかし、石膏と同じく衝撃に弱く、土器本体との接着性や多湿状態での耐久性に欠ける点なども指摘できる。

d. セメント

従来から須恵器などには、普通のポルトランドセメントが補填材として用いられることがあった。しかし、須恵器の修復に限ってみても、材質観・色調等はさほど問題がないものの、多くの欠点をもっている。重量では石膏と同じく補充部分の重量が重くなること、作業能率の点からは、硬化時間が長いために作業の進行が遅れること、硬化後の強度があまりにも高いために細部の加工が困難なことがあげられる。接着性・耐久性からみてもセメント自体の強度が強いかかわらず、他物質との接着力に欠けることなど多くの欠点があるので一般には用いられていない。

c. 合成樹脂

考古学資料としての土器の補填材は現在も石膏が主流を占めているが、近年、強度と視覚的な面より石膏に代わる新しい材料で補填することが一部で試みられているようである。これを「とも繕い」といって、主にポリエステル樹脂やエポキシ樹脂が使われている。これらの材料は何れも特に土器補修用として造られたものではなく、他の用途に対して造られた既製品の材料を転用していることが多い。たとえば、形象埴輪などの復元修理にはアラルダイト SV 426 が用いられたことがある。この樹脂は筆者が昭和42年に木彫りの神像の修理⁴⁾に用いて発表したのが始めであり、さらに昭和46年には木造建造物欠損部材の補填用として発展してきたものである。その組成はエポキシ樹脂に多量のフェノール樹脂マイクロバルーン（微小中空球体）を混練したもので、その特長は硬化以前には粘土状態で塑形でき、接着性に優れ、硬化後は刃物で自由に切削でき、比重も0.7と軽くて丈夫な材料である。一方、欠点としては、この樹脂に砂やその他の充填材を多量に混入することが困難であるため、土器の材質感を表現することが難しく、硬化以前の状態も、エポキシ樹脂の特性として著しく粘着性が高いために塑形しづらいことが上げられる。

ポリエステル樹脂は最も一般的で入手し易い樹脂で、強度も強く、土器粉、顔料などの充填

材も混和し易い利点がある。しかし、比重が重く、硬化後は硬すぎて刃物による切削が困難であり、土器に対する接着性も良くない。また、未反応スチレンモノマーの悪臭が強く、室内の換気に注意を要するものである。

最近、国学院大学の青木豊氏によって、自動車の板金用パテとして市販されている樹脂（不飽和ポリエステル樹脂に多量の無機質充填材を混練したと思われる）と改良石膏のモデライトを使用する土器補修技法について詳細な発表があった⁶⁾。これは樹脂パテを補強のための芯材とし、その上に土器の質感を出すためにモデライトで仕上げを行う方法であるが、その結果は極めて良好であると報告されている。

III エポキシ樹脂エマルジョンとシランカップリング剤を用いた土器補填材

従来の土器補填用合成樹脂材料は合成樹脂主体であるのに対して、われわれは土器粉や土の粒子同志を接着するために合成樹脂を利用することを考えた。つまり、土器は粘土などの土粒子が焼結して多孔質の構造となったものなので、この焼結の代わりに土粒子を強力的に接着することで土器のもつ多孔質の質感および強度を保持しようとするものである。

実験に使用した樹脂は、エポキシ樹脂エマルジョン（ダイナミックレジン）である。この樹脂は予め界面活性剤を含有しており、水を添加すれば直ちにエマルジョン化するもので、水の添加量によって樹脂濃度を任意に加減できる。つまり、土の粒度や樹脂濃度を加減することによって、多孔質の質感や強度を自由に選択できる利点がある（図-1）。われわれはこの種の樹脂を既に史跡羽山装飾古墳の天井崩壊部の修復⁷⁾や、重要文化財立岩遺跡の堀田甕棺の修復に用い、土の質感が極めて良く表現できることを知った。しかし、その時点では、硬化するまでに2~3日の長時間を要するために、一般的な土器の修復に用いるまでには至らなかった。また、耐水性その他にも幾つかの欠点を持っていた。そこで、これらの欠点を改良すべくわれわれはシランカップリング剤を添加する研究を行った結果、土器補填用材として充分実用に供し得る新材料を開発することができた。

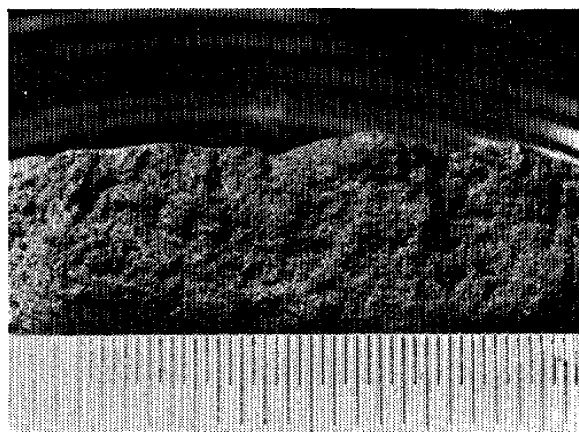
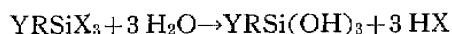


図-1 補填材の断面（単位は1mm）

シランカップリング剤は一般式 $YRSiX_3$ であらわされるもので、 X は珪素原子に結合しているアルコキシ基などの加水分解性の基である。これらの基は加水分解してシラノールおよび HX を生成する。



すなわち、カップリング剤分子の $—SiX_3$ の反応生成物が土粒子などの無機相に対する接着をもたらすのである。一方、一般式の Y は各種の有機官能部分をあらわし、樹脂と反応もしくは接着するものが選択される。この場合の Y は $CH_2—CH·CH_2·O·C_3H_6—$ でエポキシ樹脂の硬

化剤と反応する。つまり、シランカップリング剤を添加することにより、土粒子と接着剤の間にカップリング剤が化学結合して、接着をより強固にする作用が期待されるものである。

今回、この実験に供したシランカップリング剤はエポキシ基を有するもので、 γ -グリンドキ

シプロピルトリメトキシシラン $\text{CH}_2-\text{CHCH}_2\cdot\text{O}\cdot\text{C}_3\text{H}_6\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$ (商品名は UNC シラン A

-187) であり、その性状は無色透明の液体、比重 1.07、沸点 290°C、引火点 135°C である。

このシランカップリング剤の添加により、エポキシ樹脂エマルジョンの硬化速度もかなり改善することができた。そこで土器の補填材としての適性を検討するために、次のような組成で試験片を作成し、各種の試験を行った。試験に使用した樹脂と混和材の混合比率は次のとおりである。

ダイナミックレジン P118R (主剤).....	10 g
ダイナミックレジン P118H (硬化剤).....	10 g
水.....	4 g
UNC シラン A-187.....	0.2~2 g
焼粘土粉 (園芸用の土を粉砕したもの)	25 g
ガラス・マイクロバルーン.....	5 g

この混合比率からすると、樹脂濃度は約40%、混和材は約60%となる。水は10gまで加えても硬化するものの、硬化後の強度や硬化時間を考慮すると水は4g前後が適当と考えられる。また、混和材の焼粘土粉とガラスマイクロバルーンの混合量は仕上りの質感や粘度を考慮して決定した。すなわち、ガラスマイクロバルーンを入れることにより補填材の比重が軽くなり、可塑性もかなり改善されて使い易くなるからである。

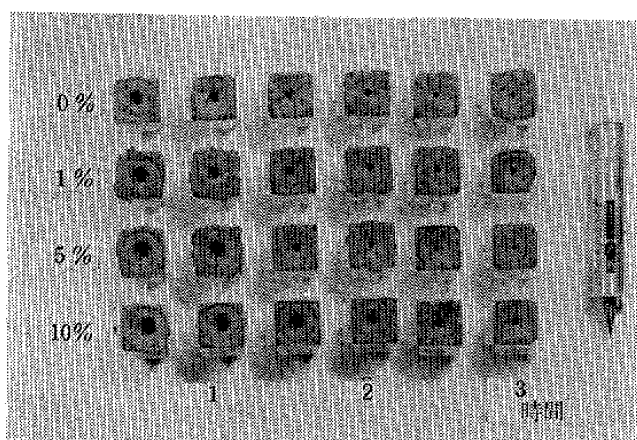


図-2 硬化速度の測定試料と山中式土壌硬度計

前記処方による混合物について、硬化速度および圧縮強度を測定した。なお、圧縮強度試験には比較のために石膏や改良石膏であるモデライトについても同様に試験した。

実験1 室温(25°C)における硬化速度
シランの添加量を樹脂量の0%、1%、5%、10%の4の段階に変化させた資料を秤量後直ちに図-2に示すような小型プラスチック容器に充填し、室温(25°C)に放置しながら30分間隔で6時間にわたって硬さを測定した。この硬さの測定には山中式土壌硬度計(図-2の右端に示す)を用いた。これは土壌の硬さを簡便に測定するもので、先端の円錐部を土中に圧入すると、土壌の硬軟に応じて円錐部は土中に入り、土中に入りきらない部分は土壌から受ける抵抗に比例して計器内部のバネが縮み、円錐部はその分だけ内部に後退する。平らな土壌面に錐が密着するまで圧入すると、円錐部の圧入された深さとバネの縮んだ長さとの和は常に40mmとなる。硬い土壌では抵抗が大きいためバネの縮みが大きく、軟かい土壌ではバネの縮みが小さい。しかし、この縮みの長さでは実際の硬度を示さないので、円錐体の単位容積が土中に圧入されるのに要する力に換算する必要がある。この硬度計には、kg/cm²の目盛がついているので簡便である。この測定はそれほど精密なものではないが、単に指頭の圧力感触で硬さを判定するよりは、樹脂の硬さの比較をある程度客観的に判定できるものと思われる。

山中式土壌硬度計を用いた試験の結果は表-1に示し、その変化を図-3に表わした。室温(25°C)では、シランを添加していない資料は約2時間で硬化を始め、約5時間を経過して

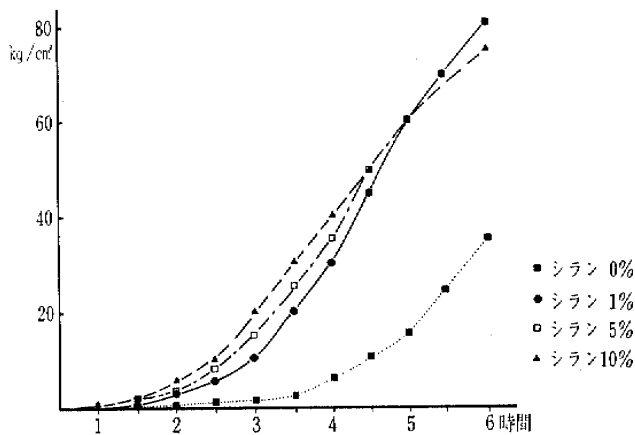
表一 室温 (25°C) における硬化速度 (山中式土壌硬度計による測定 (kg/cm²))

シラン		時間	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
シラン	0%		0.0	0.0	0.0	0.3	0.9	1.8
シラン	1		0.0	0.0	0.3	3.5	6.0	10.0
シラン	5		0.0	0.1	1.5	4.0	8.0	15.0
シラン	10		0.0	0.8	1.8	6.0	10.0	20.0

シラン		時間	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0 時間
シラン	0%		2.0	6.0	10.0	15.0	25.0	35.0
シラン	1		20.0	30.0	45.0	60.0	70.0	80.0
シラン	5		25.0	35.0	50.0	60.0	70.0	75.0
シラン	10		30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	75.0

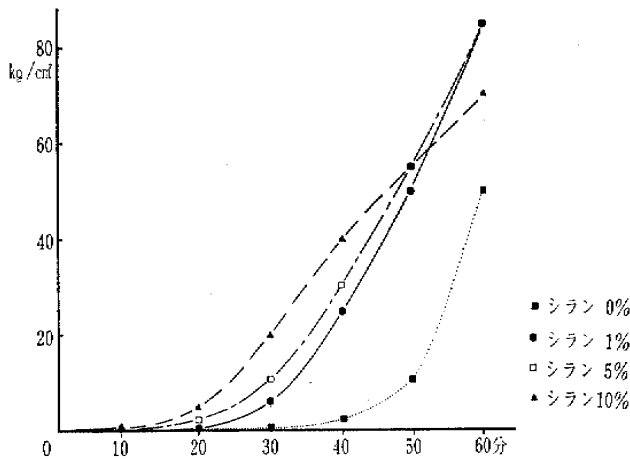
表二 50°C における硬化速度 (山中式土壌硬度計による測定 (kg/cm²))

シラン		分	0	10	20	30	40	50	60 分
シラン	0%		0.0	0.0	0.0	0.5	2.0	10.0	50.0
シラン	1		0.0	0.0	0.1	6.0	25.0	50.0	85.0
シラン	5		0.0	0.0	2.0	10.0	30.0	55.0	85.0
シラン	10		0.0	0.0	5.0	20.0	40.0	55.0	70.0



図一 25°C における硬化速度

切削などの加工が可能な状態になる。シランを添加した資料では硬化が飛躍的に促進される。まず、シランを10%添加したものの硬化が進み、つづいて、5%、1%添加したものの順に硬化が進む。概ね2.5~3時間で切削などの加工が可能な状態になる。その後は70kg/cm²前後を境にして5、10%のものは硬化速度が弱まり、1%のシランを添加したものの硬度は上昇を続ける。



図二 50°C における硬化速度

実験2 50°C における硬化速度

作業の能率をよりいっそう高めるためには硬化時間の短縮をはかる必要がある。そこで、実験1と同じくシランの添加量を変化させた試料を50°Cに保温しながら、それぞれの硬化状態を山中式土壌硬度計を用いて10分間隔に1時間測定した。なお、保温時には樹脂が軟化するので、試料の温度を室温まで下げて硬度を測定した。この測定結果は表2に示し、その変化を図4に表わした。50°C

に保温した場合の硬化速度は25°Cのそれに比較して約6倍の速さで進行する。硬化の状況は、室温での変化と同じく、シランを添加していないものの硬化が遅く、加工可能な状態になるまで50分を要する。

シランを添加したものでは、添加量が10%、5%、1%の順で硬化が進み、30~40分で加工可能な状態になる。その後も硬度は上昇を続けるが、シランの添加量が10%のものは或る時期を過ぎるとやや硬化速度を弱めるようである。

なお、硬化時の温度を50°Cに設定したのは、補填材と併用する型取り用のHMシート(後述)が70°C前後で急激に軟化するので、型崩れを防ぐためである。

実験3 シランの添加量が圧縮強度におよぼす影響

実験は硬化速度の測定に用いた試料と同様に、シランの添加量を樹脂量の0%、1%、5%、10%の4段階に変化させ、1.5×1.7×4.2cmのシリコンラバターの型に填めて完全に硬化させた柱状試験体を造り、オートグラフ強度試験機で圧縮強度を試験した。この測定結果は表-3

表-3 圧縮強度

		kg/cm ²	比 重	比 強 度
石 膏	1	62.50	1.09	57.34
石 膏	2	76.61	1.07	71.60
石 膏	3	70.56	1.11	63.57
平 均 値		69.89	1.09	62.45
標 準 偏 差		7.08	0.02	
モデライト	1	283.00	1.64	172.56
モデライト	2	283.00	1.57	180.83
モデライト	3	250.50	1.61	155.69
平 均 値		272.17	1.60	169.58
標 準 偏 差		18.76	0.04	
シラン 0%	1	99.60	0.95	104.84
シラン 0%	2	91.00	0.91	100.00
シラン 1%	3	98.70	0.89	110.90
平 均 値		95.30	0.92	103.59
標 準 偏 差		6.08	0.03	
シラン 1%	1	275.30	0.90	305.89
シラン 1%	2	256.00	0.88	290.91
シラン 1%	3	270.16	0.89	303.55
平 均 値		267.15	0.89	300.17
標 準 偏 差		8.16	0.01	
シラン 5%	1	262.10	0.92	284.89
シラン 5%	2	221.80	0.88	253.49
シラン 5%	3	252.40	0.90	281.07
平 均 値		245.43	0.90	272.70
標 準 偏 差		21.03	0.02	
シラン 10%	1	258.10	0.91	284.88
シラン 10%	2	233.10	0.89	262.50
シラン 10%	3	217.80	0.93	234.19
平 均 値		236.33	0.91	259.71
標 準 偏 差		20.34	0.02	

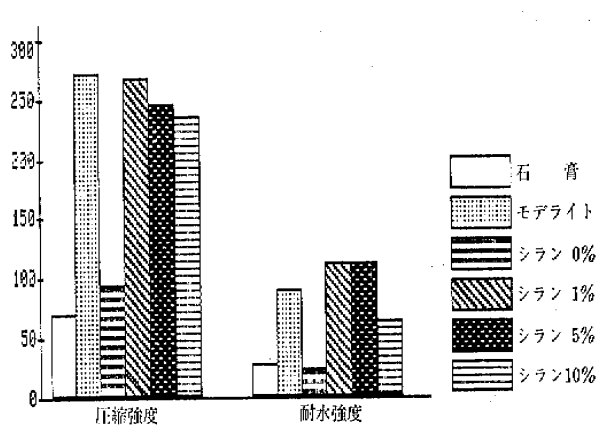


図-5 圧縮強度

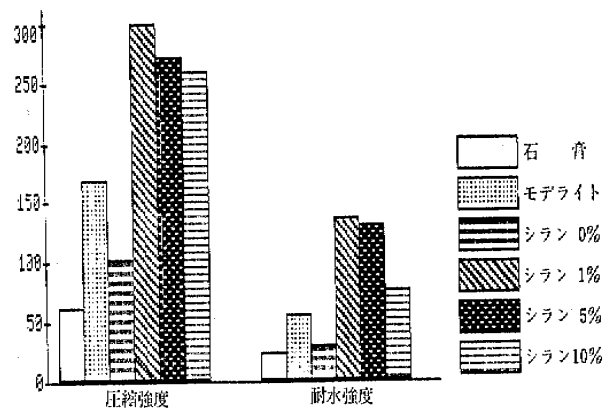


図-6 比強度

表-4 耐水強度

		含水率	kg/cm ²	比重	比強度
石膏	1	22.90	25.19	1.09	23.11
石膏	2	22.60	27.89	1.12	24.90
石膏	3	22.30	31.25	1.16	16.94
平均値		22.60	28.11	1.12	25.10
標準偏差			2.48	0.03	
モデライト	1	12.30	84.70	1.63	51.96
モデライト	2	11.90	96.80	1.63	59.39
モデライト	3	11.80	92.70	1.64	56.52
平均値		12.00	91.40	1.63	55.96
標準偏差			5.02	0.01	
シラン 0%	1	14.30	23.01	0.82	28.07
シラン 0%	2	13.60	23.46	0.84	27.93
シラン 0%	3	12.51	27.20	0.82	33.17
平均値		13.47	24.56	0.83	29.59
標準偏差			1.80	0.01	
シラン 1%	1	12.40	115.50	0.82	140.86
シラン 1%	2	12.61	113.73	0.84	135.39
シラン 1%	3	12.80	111.76	0.82	136.29
平均値		12.60	113.67	0.83	136.95
標準偏差			1.53	0.01	
シラン 5%	1	11.80	113.10	0.86	131.51
シラン 5%	2	11.40	119.05	0.87	136.84
シラン 5%	3	12.20	106.30	0.86	123.60
平均値		11.80	112.82	0.86	131.19
標準偏差		0.00	5.21	0.00	
シラン 10%	1	12.80	66.67	0.83	80.33
シラン 10%	2	12.60	67.46	0.85	79.36
シラン 10%	3	13.50	60.00	0.85	70.59
平均値		13.00	64.71	0.84	77.04
標準偏差			3.35	0.01	

に示し、平均値を図-5の左側に棒グラフで表わした。圧縮強度をみると石膏が最も低く、改良石膏であるモデライトが高いことがわかる。エポキシ樹脂エマルジョンを使用した補填剤ではシランの添加量によって強度が大きく変化する。シランを添加していない試料では 95 kg/cm^2 で石膏と大差ないものの、シランを1%添加することによって圧縮強度が約2.8倍にも上昇する。ただし、5%、10%とシランを増加させても圧縮強度はやや低下する傾向を示している。

比重から見ても、エポキシ樹脂エマルジョンの補填剤は石膏、モデライトなどと比較して軽く0.9前後である。さらに、図-6の左側に示した比強度を見ると、シランを1%添加したものでは比強度（圧縮強度を比重で除したもの） 300 kg/cm^2 にも達する。モデライトが比強度 170 kg/cm^2 であることからすると、エポキシ樹脂の補填材が軽く、しかも強いことがわかる。

なお、試験片破壊の状況から見ても石膏やモデライトは柔軟性に乏しく縦方向にクラックが入って破壊が急激に進むのに対して、エポキシ樹脂を使用した補填剤は柔軟性があり破壊は緩やかに進む。

実験4 耐水強度試験

実験3と同じくシランの添加量を4段階に変化させた資料を完全に硬化させた後、24時間水に浸漬させて圧縮強度を測定した。この測定結果は表-4に示し、その平均値を図-5の右側に棒グラフで表わした。浸漬後の圧縮強度は概ね実験3の測定結果に類似するものの、強度は低下している。石膏やモデライトでは約1/3に強度が低下し、シランを添加していないエポキシ樹脂の補填材では約1/4に低下する。ところが、シランを1~5%添加したものでは強度の低下を約1/2に止どめることができた。この結果、1~5%のシランを添加することによって、水の浸漬による強度低下を抑制する効果が明らかに認められた。

以上の実験結果をまとめると、エポキシ樹脂エマルジョンを使用した土器の補填材にシランカップリング剤（A-187）を樹脂量の1~5%添加することによって、

1. エポキシ樹脂の硬化を促進させることができ、作業時間も硬化時の温度を調節することによって0.5~数時間の間で硬化時間を設定することが可能になった。
2. 完全に硬化した後の強度を飛躍的に増大させることが可能となり、水の浸漬による強度低下もある程度抑制することができた。

現在われわれは、これらの効果を詳しく解明するまでには至っていないが、恐らくこの効果は、シランのメトキシ基がエマルジョンの中に含まれる水で加水分解してシラノールとなることが、エポキシ樹脂エマルジョンの硬化を速める原因になり、強度の増加はカップリング効果により接着強度が増大したことによると考えられる。また、シランの添加量が5%から10%へと増加すると逆に強度が下がる原因は、シランのエポキシ基が増加する量だけエポキシ樹脂の硬化剤を増加させてはいないので、低分子量のエポキシ樹脂が残るためと思われる。シランのエポキシ基の量に対応するだけの硬化剤を増量すれば更に強度の上昇を期待できるであろう。

IV エポキシ樹脂エマルジョンを使用した土器修復の方法

土器の修復は、土器表面の強化→接合→欠失部の補填→補彩の順序で行う。本稿では欠失部の補填について述べるにとどめるが、土器表面、特に断面の強化は補填材との接合強度に強い影響がある。欠失部の補填に先立ってバインダー18やプライマルB72などのアクリル樹脂によ

って表面強化しておくことが望ましい。

欠失部の補填作業は、1. 復元部分の型作り、2. 補填材の配合、3. 補填材の充填、4. 硬化、5. 加工の順に行う。

1. 復元部分の型作り

復元部分の型取りには従来一般的に粘土を用いてきたが、筆者らは最近これに変わってHMシートやFRPを使用して作業能率をあげている。

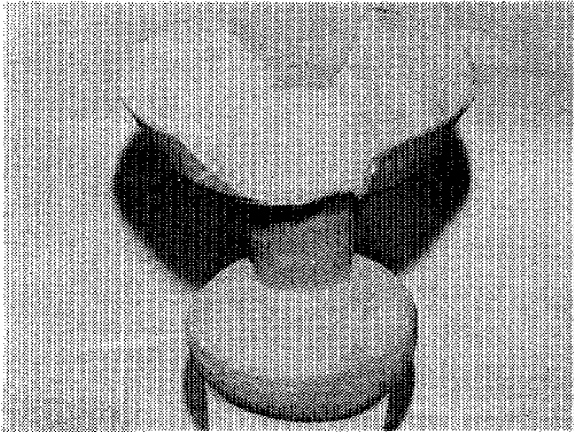


図-7 修復前の状態

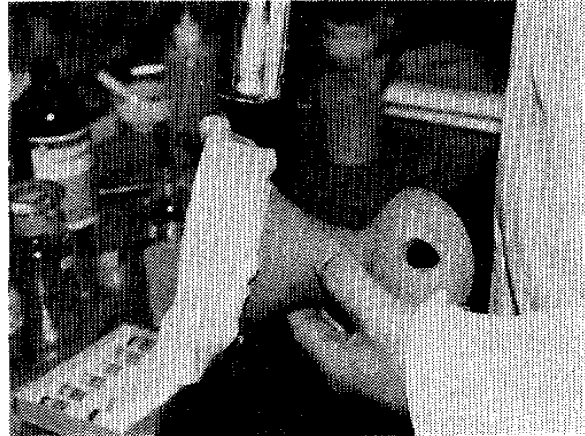


図-8 HMシートによる型取り



図-9 補填部分への移動

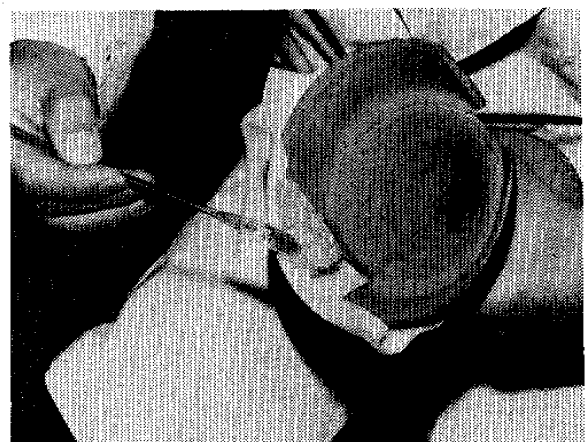


図-10 補填材の充填

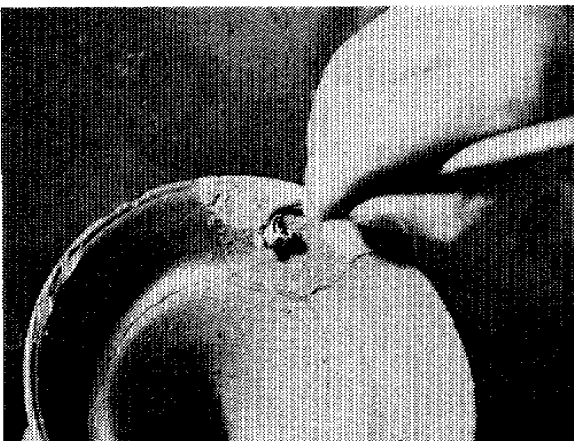


図-11 加工（余剰部分の削り取り）

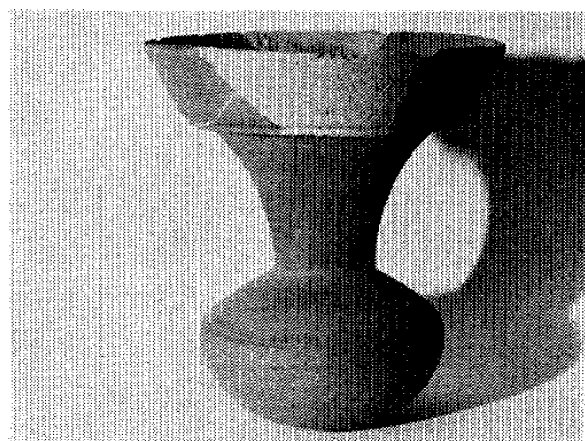


図-12 復元作業完了

HM シート（クラブレン HM-380 シート）はトランスポリイソプレンをベースにした型取材で、仮面や小道具の型取り，外科材料（スプリント）などに使用されている。HMシートは加熱によって成形自在になり，型取した後は再び加熱しない限り型崩れすることはない。また，型取りによって土器本体や手を汚すこともなく，シート同士が融着しないかぎり何度でも再利用できる。HM シートの使用方法は以下に示すように簡単である。

1. HM シートを熱湯やヘアドライヤーを用いて 70°C 前後に加熱するとシートが軟かく半透明になる⁹⁾。
2. 軟かくなったシートを欠失部分と同位置の現存部分に置き，上下左右にシートを引張りながら，水⁹⁾で湿らせた指・箆・スポンジ等を用いて器面の凹凸に合わせて型押しする。
3. 型取りが終らぬうちにシートが固くなり始めたら，ヘアドライヤーなどで部分的に再加熱すれば元通り加工し易い状態になる（図-8）。
4. 型取りの終わったシートは約10分位で再結晶化して固くなる。より早く硬化させたい場合には水やヘアドライヤーの冷風をかければ時間は短縮できる（図-9）。
5. 再結晶化して固くなった後，土器から取り外し欠失部分にあてて補填材を充填する（図-10）。

復元部分の型取りが不可能な場合には，FRP によって充填部分の芯作りをする方法もある。FRP (Fiberglass Reinforced Plastics) は，一般に強化プラスチックといわれており，ガラス繊維の織物を合成樹脂で積層強化したものである。筆者は硬化後加工し易いようにガラス繊維にエポキシ樹脂を薄く塗布しておき（セメダイン・ハイスーパーや充填の際に余ったダイナミ

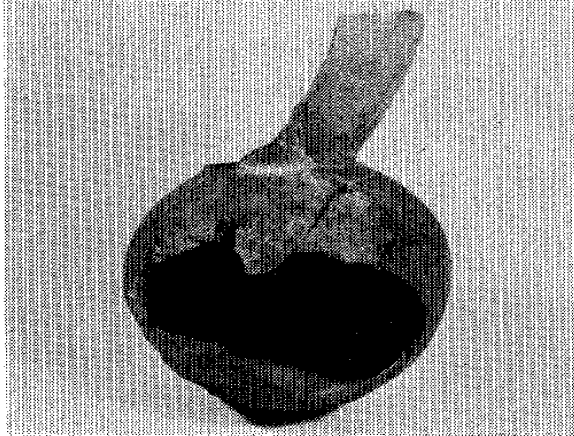


図-13 補填前の状態

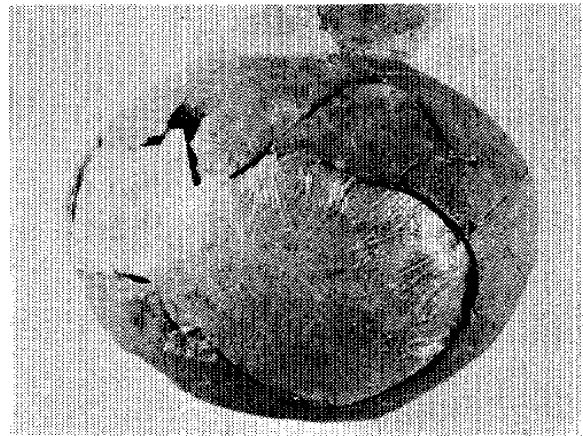


図-14 欠損部分への FRP の貼り付け

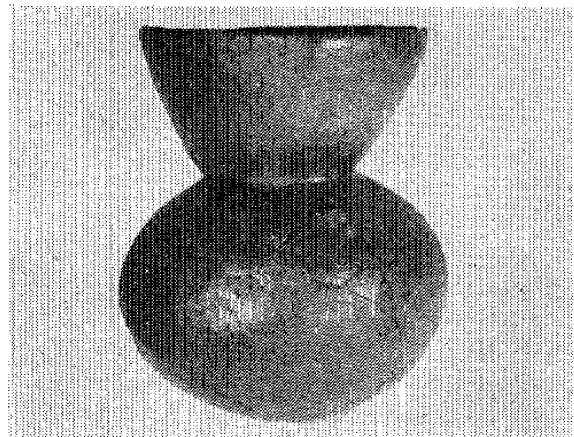


図-15 補彩終了（復元作業完了）



図-16 縄文の施文状態

ックレジンを使用), 硬化後, 土器の復元部分に合わせて FRP を鉋などで切り取り, 全体のバランスを考えながら土器に接着する (図-14)。この作業を行うことにより, 石膏などでおこりがちな歪みをまえもって補正することができる。壺や瓶などのように細口で内面を加工することが困難な場合には FRP の内面に樹脂を塗布しておけば, 土器の内面も奇麗に仕上ることができる。

2. 補填材の配合

エポキシ樹脂を使用した補填材の配合比率 (重量比) は次のとおりである。

ダイナミックレジン P118R (主剤).....	10
ダイナミックレジン P118H (硬化剤).....	10
水.....	4
UNC シラン A-187	1
焼粘土粉, 各種の石粉, 砂, ガラス・マイクロバルーン などの混和材.....	30~40

混和材のうち焼粘土粉としたのは, 遺跡周辺から出土する粘土を焼いたものや園芸用に市販されている焼土 (焼赤玉など) を粉砕して使用している。樹脂と混和材との混合比率は土器本体の質感に合わせて適度に混合すると良い。また, ガラス・マイクロバルーンを混合することによって軽量化をはかることができる。混和材の色調も土器に合わせておきたい場合は退色性の少ないポリマー絵具¹⁰⁾を混合する。後の作業性を考えると, シランは最後に添加した方が良く, 補填材の粘性は充填する際にたれ落ちないように, なるべく強くしておくことが望ましい。なお, 上記の混合比率で 20g の樹脂と 30~40g の混和材によって約 50cc 補填材を作ることができる。これは 5mm の厚さに延ばして約 100cm² にあたる。

3. 補填剤の充填

土器の欠失部分に補填材を充填してゆく。HMシートで型取りした場合には内側あるいは外側から, FRP を芯にする場合には両面から盛り上げるよう充填にする。篋先に水を付けて撫で付けるようにすれば奇麗に仕上げるができる。万一あやまって補填部分以外に樹脂が付着した場合には初期硬化以前であれば水で洗い流すことができ土器表面を汚すことがない。樹脂の配合から充填に至るまでの可使用時間は, シランの添加量や室温に影響されるが, おおむね30分前後可能である。

4. 硬化

硬化時間は図-3, 図-4に示すようにシランの添加量や温度によって変化させることができる。たとえば, シランを5%添加して常温で放置した場合には加工できる状態になるまでに約3時間を要するけれども, 温度を50°C前後に上昇させることによって硬化時間を約30分に短縮することができる。この性質を利用して, 筆者は30分の充填作業時間, 40~50°Cで30分~数時間の硬化時間を想定して作業を進めている。

5. 加工

初期硬化段階に至ると補填剤は羊かん程度の堅さになり, 以後は時間の経過に伴って硬度を増していく。まず, 余剰分の補填材を削り取り (図-11), 各種の調整, 施文を硬化段階に合わせて施す。より糸, 貝殻, 竹管, 篋, 木口, 櫛など, 本体に使用されたと考えられる施文具を用いて紋様を復元することもできる。硬化が進んだ段階で縄文, 刷毛目などを施したい場合は, ある程度硬化した段階で新たに薄く補填剤をつけてから紋様を施すと良い (図-16)。なお, 極めて硬化が進んで調整しにくい段階になっても, 表面を加熱することにより樹脂は軟化し削り易くなる。

欠失部分の補填作業を終えた段階で、必要に応じて退色性の少ない水溶性絵の具を用いて補彩を施し、土器の修復作業を終了する(図-12, 図-15)。

土器の修復を終えた段階でも、必要に応じて本体から取り外して再修理できることは補填材の必要条件の一つである。エポキシ樹脂は熱硬化性樹脂であるため、溶剤で溶解して除去することは難しい。しかし、先に述べたように補填材を高温状態に保てば樹脂はある程度軟化する性質を持っている。この性質を利用して、取り外したい部分をヘアドライヤーなどで部分的に加熱して、軟化した補填材を削り取ることができる。

V む す び

考古遺物、特に土器の修復における欠失部分の補填材には明治時代以来石膏を使用することが多かった。しかし、石膏には補填材としての欠点も多く、最近では、合成樹脂の使用も次第に試みられるようになってきた。ところが、この合成樹脂も強度は充分なものの、合成樹脂が主体であるため、土器特有の多孔質の質感を表すまでには至らなかった。これに対して、われわれは焼粘土粉や土器粉末を主体にして、これらの粒子同志を樹脂で強力に接着して土器のもつ多孔質の質感を表現しようと考えた。そこで、焼土粉、石粉、砂、マイクロバルーンなど各種の混和材をエポキシ樹脂エマルジョンで強力に接着することを試みた。このエマルジョンは水の添加量によって樹脂濃度を任意に加減でき、土の粒度や樹脂濃度を加減することによって、多孔質の質感や強度を自由に選択できる利点がある。しかし、その反面、硬化時間や耐水性などに幾つかの欠点を持っていたが、シランカップリング剤(UNC シラン A-187)を樹脂量の1~5%添加することによって、硬化速度、強度、耐水性などを飛躍的に増大させることができた。

シランカップリング剤を添加することによって改良を加えたエポキシ樹脂エマルジョンを使用した補填材の特長を、先にあげた土器補填材の条件にあてはめて要約すると、

- i 樹脂と混和材の混合によって成形時の硬さを調節でき、シランの添加量と温度調節によって、硬化時間を0.5~数十時間の間に設定することができ、硬化段階に合わせて切削や各種の施文が可能である。補填材の色調を調整したい場合には水性絵の具で着色することもできる。
- ii 土器のもつ多孔質の質感を表現することができ、強度もシランカップリング剤の添加によって大幅に増大させることができる。
- iii エポキシ樹脂であるため、土器断面との接着性に優れ、耐久性も強いと考えられる。また、必要に応じて本体から取り外したい場合には、取り外したい部分を加熱することによって樹脂は軟化して削り取り易くなる。

以上のように、この新しい補填材は石膏などと異なって一定の組成物ではなく、それぞれの土器の性状に適應するように調合できるのが特長であり、修復作業にあたる技術者の修復理念やテクニックによっては、修復の仕上がり状態に多様な変化を持たせることもできるのである。

すべて、新しい方法を採用するときは或る程度の慣れが必要である。筆者の一人、今津は青山学院大学考古学研究室において新しい補填材による土器の修復作業を指導しているが、初めて修復作業にあたる学生でも樹脂の計量と取扱いに注意を要する他は数時間の講習で作業にあたることができ、さらに、ある程度熟練すれば、石膏などで補填するよりも切削や施文などが簡単に行えるために、作業時間も短くて済むようである。

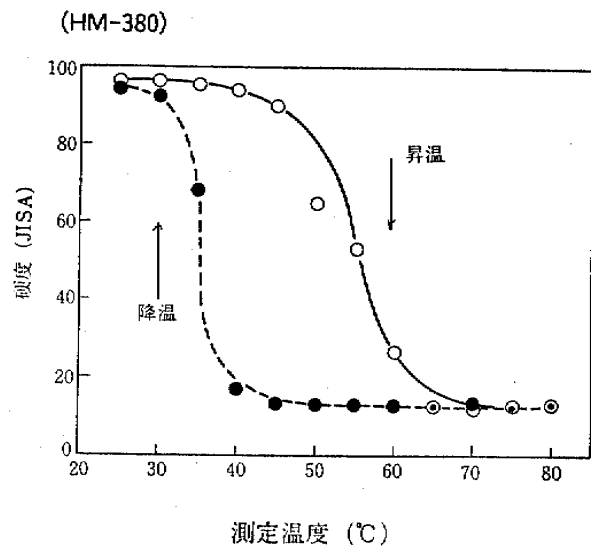
註

1. 考古学資料としては、もとの部分と補った部分とが明瞭に判るように復元することが必要である。
『図解考古学辞典』1959年
2. 岩崎友吉、「遺物保存の実際」『考古学ゼミナール』1976年, p. 375
3. 青木豊「考古学資料復元考」『国学院大学 博物館学紀要』第7号 1983年
4. 樋口清治「木造神像二軀の化学的保存処理」『東京国立文化財研究所受託研究報告』第17号 1966年
5. 樋口清治「木造建造物化粧部材の保存と修復における合成樹脂の応用」『保存化学』第10号 1973年
6. 註3に同じ
7. 青木繁夫, 樋口清治「史跡・羽山装飾古墳天井崩壊部の修復について」『保存化学』第16号 1977年
8. HM シート (HM-380) の温度による硬度変化は付図のとおりである
9. 軟くなった HM シートは多少粘着性が出てくるので、水を離型剤として使用すると便利である。
10. 筆者はアクリルエマルジョン系ポリマー絵具 (リキテックスなど) を使用している。

付図 クラブレん HM シートの物性

項目	HM-380	試験方法
ムーニー粘度 ($ML_{1+1} @ 100^{\circ}C$)	29	ASTM D1646-68
100%モジュラス (kg/cm^2)	91	ASTM D 412-68
300%モジュラス (")	193	" "
引張強さ (")	306	" "
伸 ($\%$)	470	" "
硬 (ショアD)	46	ASTM 2240-75

クラブレんHMシート硬度の温度依存性

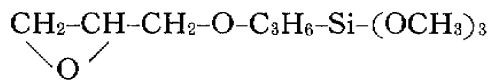


New Material for the Restoration of Excavated Pottery

Seiji HIGUCHI and Setsuo IMAZU

For the restoration of excavated pottery, gypsum has exclusively been used. Recently, however, synthetic resins have come to be partly employed. A mixture of epoxy resin emulsion, baked clay powder and glass micro-balloon is a quite good restoration material as to imitating the porous texture of an excavated pottery. However, the mixture has some disadvantages, which are its long cure time, its weaker strength than gypsum, etc., so that it can not be in common use.

The authors experimentally studied on the improvement of the mixture by adding a silane coupling agent to it. The agent is γ -Glycidoxypropyltrimethoxysilane



And, the adding ratio is 1—5% of the mixture. As results, it proved that the property of the mixture is greatly improved by adding the silane.

The characteristics of this new material, in comparison with gypsum, as a material for the restoration of excavated pottery are as follows :

- i) The toughness can be controled by changing the ratio of the resin and the fillers. And, the cure time can also be controled from 0.5 to 10 hours by changing the quantity of the silane and the temperature. These advantages contribute to the easy molding depending on the breaking situation of potteries.
- ii) The strength is much higher than gypsum.
- iii) The adhesiveness with a pottery is better than gypsum.
- iv) The texture and hardness of potteries, which vary from one another, can be imitated by changing the combination of the components of the material.