

史跡・羽山装飾古墳天井崩壊部の修復について

受託研究報告 第41号

青木 繁夫・樋口 清治*

1. はじめに

羽山古墳は、昭和48年4月26日、宅地造成工事中のブルドーザーが丘陵の切り崩しを行っていた際天井部分を破壊したことによって発見された装飾横穴古墳である。

本古墳は、福島県原町市中太田字天狗田107番地に所在し、相馬野馬追祭場地で有名な雲雀ヶ原のはずれに近い、標高約70m程の泥岩層からなる丘陵南側斜面に横から穴を掘りくぼめて墓室を作った横穴古墳である。

内部には、赤鉄鉱・白色粘土を彩色顔料として、刷毛などで壁面や天井に人物像・馬・鹿・渦卷文・珠文等が描かれている。

出土遺物には、鉄製直刀・青銅製釧・轡・辻金具・ガラス小玉・須恵器・土師器その他が発見されており、6世紀末から7世紀初頭頃に作られたものではないかと推定されている。昭和49年3月国の史跡に指定された。

本古墳を保存するために、昭和50、51年度の国庫補助事業により、保存施設設置工事が行われることになった。保存施設の方針は、古墳崩壊防止のための鉄筋コンクリート製補強枠および前室の設置等であり、これらについては、伊藤要太郎氏の設計監理により、別に工事が進められた。

ところで破壊されて口を開けた玄室天井部分の修復は、指定文化財それ自体の修復であり、しかも科学的な材料と技術の選択研究を必要とするものであったため、文化庁記念物課および福島県原町市からの依頼により、この部分の修復研究を当研究所修復技術部が、昭和50年度の受託研究として実施することになった。

本報告は、受託研究として、昭和51年1月27日～同年3月31日にかけて実施した羽山古墳天井崩壊部の修復処置報告である。

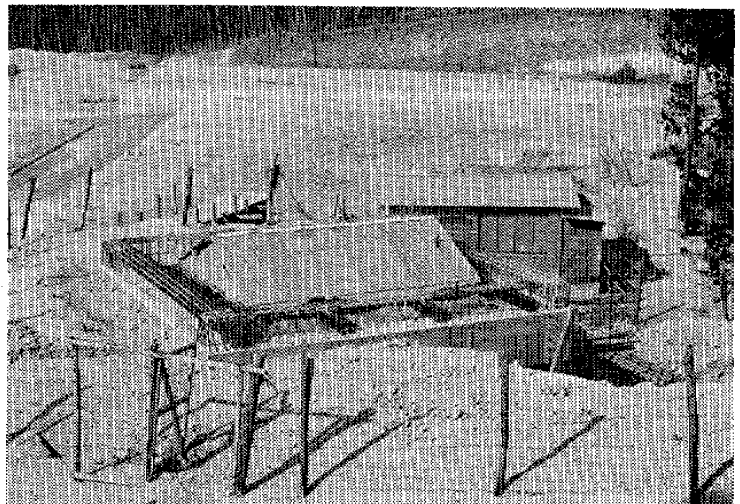
なおこの受託研究遂行に関しては

- (1) 計画作成と総括…樋口 清治
 - (2) 処置の実施……………青木 繁夫
茂木 曙
 - (3) 強度試験……………西浦 忠輝
- の分担で行った。

2. 崩壊部分の状況 (図一)

崩壊部分の面積は、約1.34m²、最大幅1.1m、最大長1.63mの不整形の穴(図二)である。

北側は、約50cm幅の垂直な断面



図一 保存施設のコンクリート枠と仮設覆屋

* 1～4, 6 節 青木執筆, 5 節 樋口執筆

である。南側天井部には、亀裂の入った岩の一部分が崩れずに残っているが、少しでも位置がずれれば玄室内に落下する危険があるため、下から角材2本で、岩を支え落下を防止している。その角材にはカビの発生が見られた。この周辺天井には、破壊時の圧力が原因と考えられる亀裂が多く入っている。

天井および壁面には、崩壊部から雨水が流下したためと思われる土の付着がかなり認められ、顔料を汚損している。その傾向は玄門から見て右側天井および壁面に最も著しくあらわれている。

壁面および顔料の状態は、天井が開口してため、外部の気象の影響を受け、結露、乾燥を繰り返したと考えられる。それによる岩の層状剝離が著しく、顔料の付着状況もかならずしも良好でない。この状態は、玄門側の天井開口部周辺に多い。



図-2 崩壊部分の状況

3. 修復技法の検討

天井崩壊部の面積は、約 1.34m^2 程あり、そのため玄室の密閉状態が破れ、装飾古墳保存の原則である高湿度下における気象環境の安定が、玄室内への外気の流入により、温度・湿度の安定を欠き、これらの急激な変化による壁面の乾燥・結露によって、装飾顔料の剝落・剝離や天井壁の亀裂の増大を助長する恐れがある。

そこで天井崩壊部分を何らかの材料で閉塞することによって、雨水や外気の流入を防止し、玄室内の気象環境を埋蔵時の安定した状態にもどす必要があった。

閉塞材料と施工上の条件としては、

- (1) 玄室内の気象環境が、外気の影響を受けないように、気密性と断熱性の保持が充分でなければならない。
- (2) 脆い泥岩に閉塞材料すべての重量をかけるわけであるから、軽かつ丈夫なもので、余分な重量を崩壊部周囲にかけない。
- (3) 外部は、鉄筋コンクリートで、覆うため問題はないが、玄室内部から閉塞部分を見上げた場合、修復部分の仕上がりが周囲と異和感がないように配慮する。

以上の3条件を満たす材料と修復技術を確立する必要が認められた。

崩壊部分は、不整形な形状をしているため、断熱材は、気密性の充分なものを使用することが必要と認められるので不整形な崩壊断面の隅々まで断熱材が行き渡るよう現場で崩壊部分に流して発泡させる樹脂を選択することとした。そのような条件に適合する断熱材を種々検討した結果、後述のように硬質ポリウレタンフォームを現場発泡させて使用することにした。

硬質ポリウレタンフォームを流して現場発泡させ、天井崩壊部を閉塞するためには、まず何等かの方法で、崩壊部を塞ぎ、その上にウレタンを流すことが必要である。それには、あらかじめ崩壊部にステンレス金網をドーム状に張り渡し、その上にエポキシ樹脂のFRP（強化プラスチック）を金網や岩石断面に貼りこんで薄い天井を造り、この上にウレタンを流して発泡させ、断熱効果をあげるように計画した。

しかしこの処置だけでは、崩壊部を断熱効果よく閉塞できても、玄室内部より修復部分を見上げたとき、FRPの金網が露出して、見苦しくなるので、同質の泥岩粉末と樹脂を練り合せ

た、いわゆる樹脂擬岩でこの表面を化粧して周囲と調和させることにした。この化粧用樹脂擬岩には、後述のように種々実験検討した結果、泥岩粉末とガラスマイクロバルーンとエポキシ樹脂エマルジョンの併用による新しい方法を採用することになった。

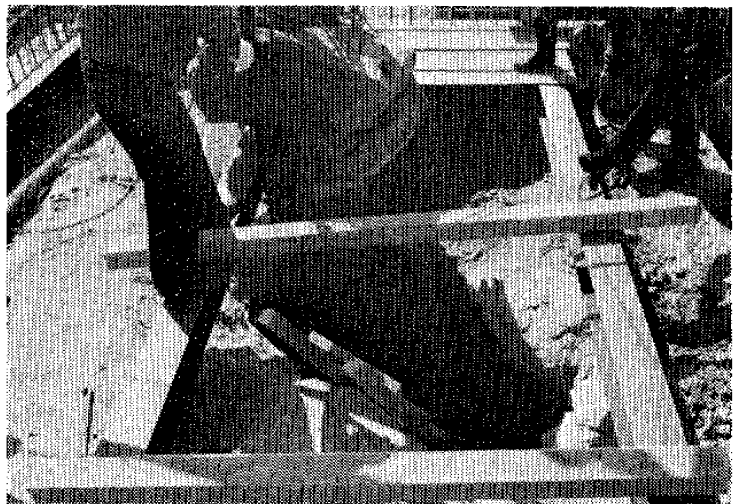
4. 閉塞処置の概要

1) 古墳内部の現状確認を原町市教育委員会職員と行った後、落下しそうな、たて 90cm×よこ 70cm×高さ 50cm のほぼ直方体の石材（ごく一部分に円文の彩色あり）をチェンブロックで除去した。この処置は文化庁記念物課の了承を得て、原町市教育委員会職員立会のもとに行われた。（図—3）

2) 周囲の壁面や床面の汚損防止のため、玄室内に塩化ビニールシートを貼った。

3) 破損断面にドリルでステンレス棒（φ3mm）の挿入孔をあけ、その中および断面にイソシアネート樹脂（EXP）を注入し、土の表面を硬化させた。（図—4）

4) 挿入孔にエポキシ樹脂（ハイパーセメダイン）を注入し、そこにステンレス棒を入れて固定した。ステンレス棒の梁は、東西方向5本、南北方向15本をドーム状に架け渡した。このステンレス棒の下にステンレス金網を荷造用のビニールテープで固定した。（図—5）

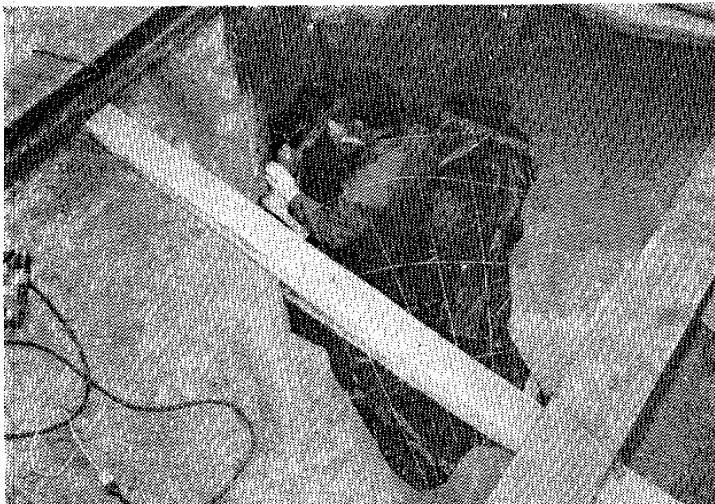


図—3 落下の危険がある石材の除去作業

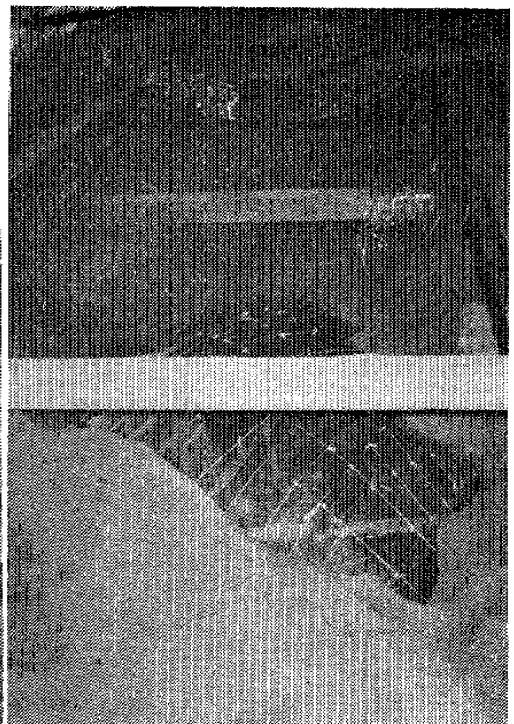
5) 樹脂の玄室内流下を防止するた

め金網と天井の間に樹脂擬岩（エポキシ樹脂<タフネス3000>に砕いた石を混入）を詰め目地止めを行った。

6) ステンレス金網の上にエポキシ樹脂（タフネス3000）をガラスマットに浸みこませて貼り、FRP



図—4 ステンレス棒の固定



図—5 ステンレス棒とステンレス金網の設定状況

を作った。このFRPは周囲の破損断面にもていねいに貼り、ステンレス棒だけで基礎部分全体の重量を支えないようにした。(図-6)

- 7) 硬質ポリウレタンフォーム(ハイプロックス)を攪拌機で混合して流し、その間に適当な大きさにウレタン板を切って埋め込みながら現場発泡させ、それを塩化ビニールシートで包んだ。硬質ポリウレタンフォームは、崩壊部の面積より大きめに、周囲の岩とオーバーラップするように発泡させ、重量の分散をはかった。ウレタンの厚さは30~40cm、最大長3m、最大幅1.6mにした(図-7)。さらにウレタンと水との接触を遮断して、樹脂の劣化をできるだけ防止する目的で、その上にルーフィング(図-8)を行った。

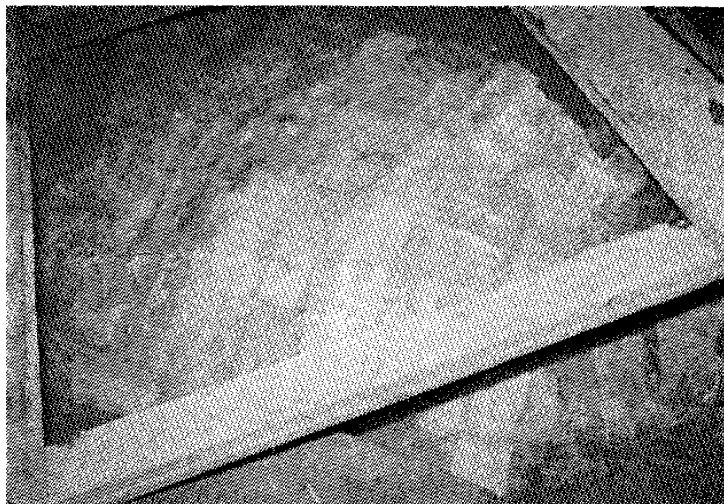


図-6 FRPの貼り込み

- 8) 玄室内の金網部分には、エポキシ樹脂(タフネス3000)に土を混和して下塗り(図-9)を行い、ついでエポキシ樹脂エマルジョン(プリゾールL601)に天井部と同種の岩石粉末とガラスマイクロバルーンを混和(6:10:1の比率)した樹脂擬岩モルタル(図-10)を作り塗った。この部分に対しては補修部分がわかるように周囲と補修部分(図-11)に段差をつけるなどの配慮をした。



図-7 硬質ポリウレタフォームによる閉塞

- 9) 天井部左側の亀裂については、エポキシ樹脂エマルジョン(プリゾールL601)を注入機で圧入(図-12)し、硬化後、上記の樹脂擬岩モルタルをヘラで押し込み亀裂をふさいだ。

- 10) カビの原因となる木材等をすべて取り除き、玄室内を清掃後、天井部分から落下した破片のうち顔料の残っているものを玄室内にもどし、消毒用アルコールを噴霧し、パラフォルムアルデヒドを約250g入れて玄門をウレタン板で密閉した。

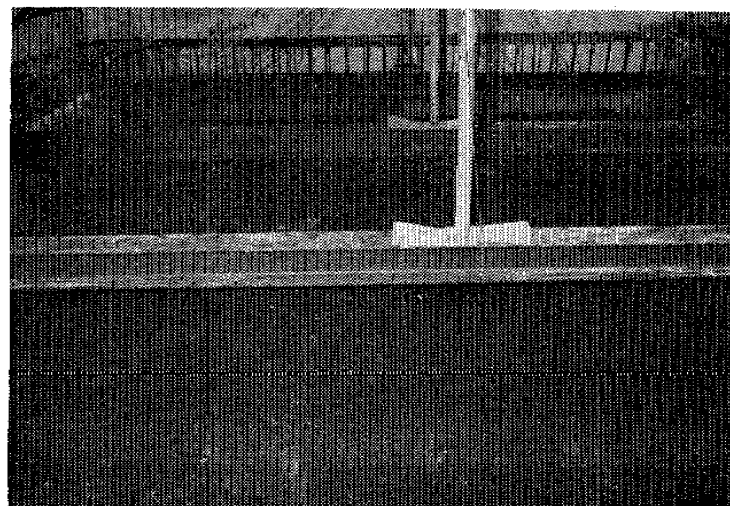


図-8 閉塞が終り、ルーフィングを行った状態

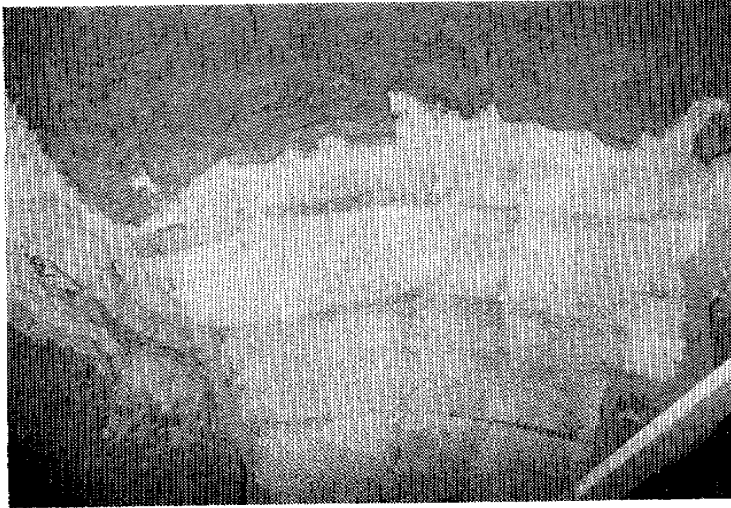


図-9 樹脂擬岩による下塗り

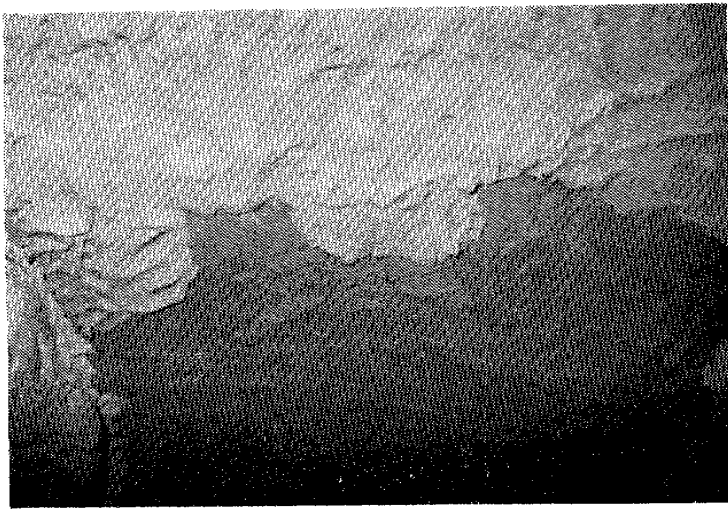


図-10 樹脂擬岩の下塗りと上塗りの状態

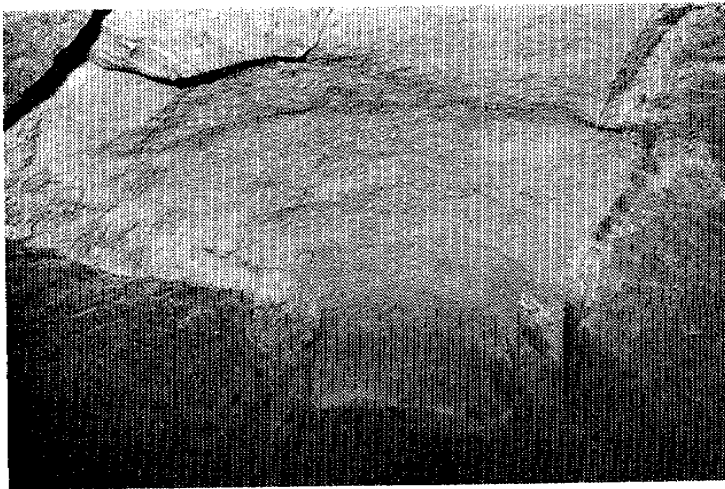


図-11 樹脂擬岩による補修の終了状態

は、原料イソシアネートやポリオールの種類によって生ずるものであり、各社それぞれ独自の配合によって製造されているので、その組成には、それぞれ若干の相違があることはいうまでもない。

ウレタンフォームの耐久性は、耐水性・耐紫外線性において他のプラスチックフォームよ

5. 使用した合成樹脂について

(1) 硬質ポリウレタンフォーム

ウレタンフォームは、任意の空間に液体状の樹脂を注入、または吐出させて、簡単にそのまま常温で発泡でき、短時間で硬化するのが大きな特徴である。この原料樹脂は、ポリオールとジイソシアネートとを反応させた、遊離のジイソシアネートを含む末端イソシアネート・プリポリマーの第1液と、ポリオール、触媒、水等を混合した第2液からなり、両者を同量ずつ混合して激しく攪拌すれば、常温において2～3分で発泡・硬化する形式のものである。トルエンジイソシアネート(TDI)を用いるワンショット法(TDI, ポリオール, 触媒, 水, 添加剤など, 素原料を同時に混合して発泡させる方法)に比べて毒性が少ない特徴がある。また発泡・硬化の機構は、ポリオール等の-OH基とイソシアネート基-NCOが反応して、炭酸ガスを放出しながら鎖が成長し、架橋しつつ高分子化される。なおあらかじめ添加された水によってさらに多量の炭酸ガスが発生して膨張し、球形または多角形の細胞状組織体が形成され、ウレタンフォームとなる。ポリウレタンフォームは、軟質フォーム、硬質フォームに分けられ、軟質フォームは、外部荷重に対し自由に変形し、荷重を除去すると元の形にもどるが、硬質フォームは、一定荷重まではほとんど変形しないが、その荷重以上になるとフォームが破壊する。この両者の相違

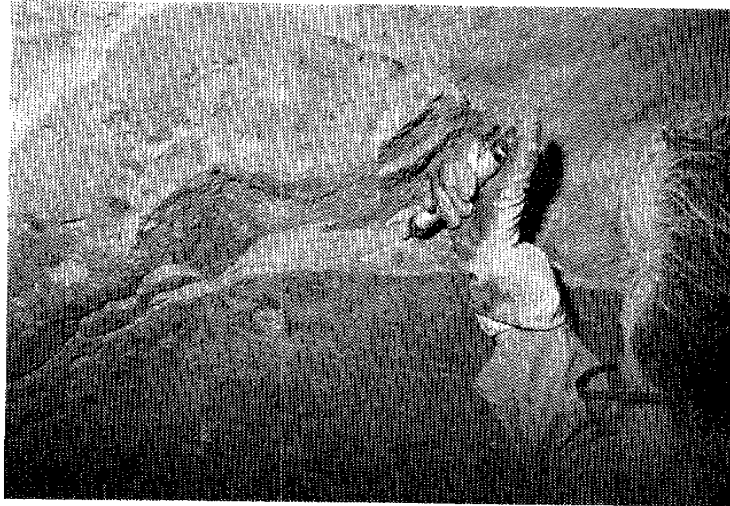


図-12 注入機による樹脂の注入

り優れているとはいえないが、現場発泡による施工が簡単にできると言う作業性の良さによって敢えてこれを使用することになった。勿論、紫外線からは完全に遮断し、水との接触をできるだけ避けるようにすることが必要である。

われわれが使用したウレタンフォームは、T社の硬質ポリウレタンフォーム（ハイプロックス）である。これは第1液と第2液を同量ずつ激しく混合すると、常温でおよそ1～3分で完全に発泡して硬化し始める

ので、よほど手際よく取り扱わなければならなかった。将来はもう少しポットライフの長い樹脂を選択する必要があると思われる。

この硬質ポリウレタンフォームの圧縮強度は、次の通りである。

圧縮強度 6.6kg/cm^2 (min 6.2kg/cm^2 , max 7.1kg/cm^2)

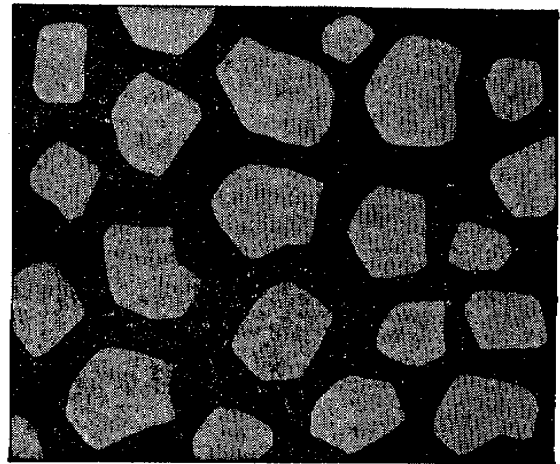
(2) エポキシ樹脂エマルジョンによる擬岩について

従来われわれが用いていた樹脂擬岩（図-13）

は、岩石を粉碎したものをエポキシ樹脂と練り合わせたものであった。この方法によれば極めて強固なものが得られ、接着性には優れているが、欠点として比重が重いため、硬化しないうちに垂れ下がる傾向が強く、また凝灰岩のような多孔質の石の質感を出すことが難しい。その原因は樹脂が、水飴状の粘稠なものであるため、岩石粉末を多量に入れると混練することが困難になり、従ってどうしても岩石粉末に対する樹脂量が過剰となる結果、組織が緻密になり、硬質の石質感は表わしても、凝灰岩のような多孔質の軟かい石の質感を出すことが困難となるのである。

上記のような欠点を今回は、次のように改良した。

今回の玄室内天井の金網とFRPの補修部分を樹脂擬岩で化粧するには、硬化しないうちに天井から剥れ落ちるのを防ぐ必要があり、そのためには、樹脂擬岩の見かけ比重を下げ、また硬化前の状態が多少粘りがある可塑性を有するものが望ましい。そこで見かけ比重を下げるために、ガラスマイクロバルーンと称するガラス製の直径0.1mm程度の微小中空球体と岩石粉末を種々の割合に混合し、さらに各種の合成樹脂をそれぞれ混練して、その性能を試験した。試験方法は、実験室内で約 0.5m^2 位の金網にFRPを貼ったものを作り、この表面を種々に配合した樹脂擬岩で化粧し、垂れ落ちの程度や硬化後の色調、接着力を定性的に試験した。樹脂の種類は、従来の普通のエポキシ樹脂の他、イソシアネートプリポリマー（EXP）とエポキシ樹脂エマルジョンの三種類について検討した。その結果は、普通のエポキシ樹脂は、接着



■ 砕いた岩 ■ エポキシ樹脂

図-13 普通のエポキシ樹脂と砕いた岩による樹脂擬岩の模式図

力と垂れ下がりが無い点で最も良好であったが、泥岩としての質感、色調は最も悪かった。EXPについては、質感、色調はやや良好であったが、垂れ下がりが大きく、接着力も悪い。総合的に最も良好だったのが、エポキシ樹脂エマルジョンであった。ただし硬化後の接着力が若干低かったが、あらかじめ表面に普通のエポキシ樹脂を薄く塗布した後にこの擬岩処置をするのが効果的であった。これらの実験の結果、次の処方による樹脂擬岩を実際に使用することにした。

同質の泥岩を粉砕したもの	10部
エポキシ樹脂エマルジョン（主剤：硬化剤3：1）	6部
ガラスマイクロバルーン	1部

このエポキシ樹脂エマルジョンによる擬岩の圧縮強度は、以下の通りである。

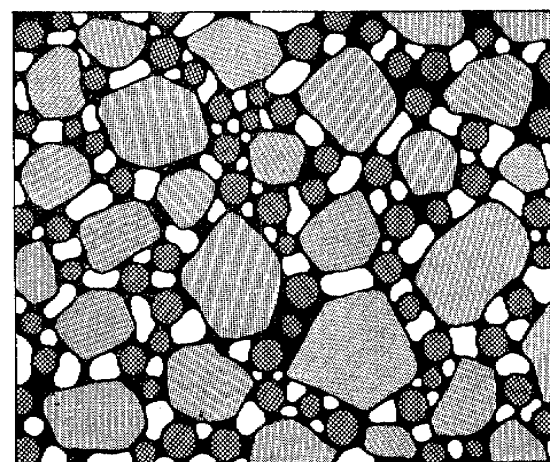
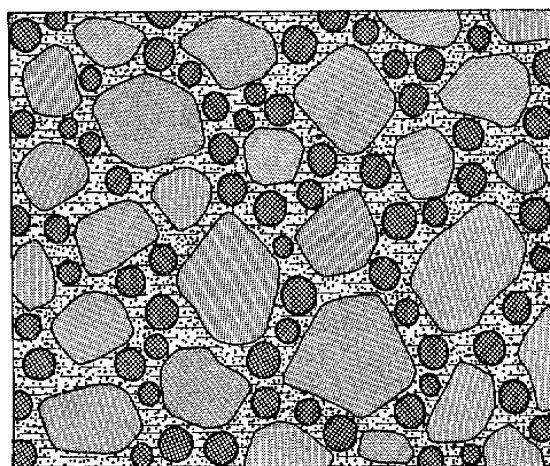
圧縮強度

試験片	直径 2.9cm, 高さ 5cm の円柱
荷重速度	1.5 mm/min (オートグラフ使用)
圧縮強度	142.1 kg/cm ² } 133.0 kg/cm ² 123.9 kg/cm ² }
ヤング率	4,500 kg/cm ² } 4,750 4,950 kg/cm ² } kg/cm ²

このようにエポキシ樹脂エマルジョンを用いた擬岩が、機能的にも、硬化後の質感の上からも良好であった理由を考えることは、興味あることであるが、それは次のようなことによるものと思われる。図-14に示すようにエマルジョンは、水中に樹脂がミクロンの単位の微粒子として懸濁した状態であり、濃度も約60%に水で稀釈されているので、岩石粒子の結合剤としてエマルジョンを用いると、岩石の粒子同志をこの粒子よりはるかに微細な樹脂微粒子で点接着するような結果を生じて、間隙率の高い組織構造となる。また混入されたマイクロバルーンは、硬化前の樹脂擬岩の見かけ比重も軽くするので、可塑性の付与に役立つ結果になるものと考えられる。とくに羽山古墳に用いられたこの樹脂擬岩は、硬化後の質感がほとんど自然の泥岩と差がないようにすることができた。この方法は、今後の擬灰岩のような物の修復や埴輪の修理に広く利用することができると思われる。

6. 結 論

以上のべたような方法で天井崩壊部の閉塞が完了（図-15）したわけである。処置面積は、約1.34m²、使用材料の総重量はおよそ85kgであった。



■ 砕いた岩 ■ ガラスマイクロバルーン
 ● エポキシ樹脂エマルジョン ■ エポキシ樹脂エマルジョンが硬化後
 □ 空洞

図-14 上は、エポキシ樹脂エマルジョンと砕いた岩などを混和した状態の模式図。下は、それが硬化した状態である

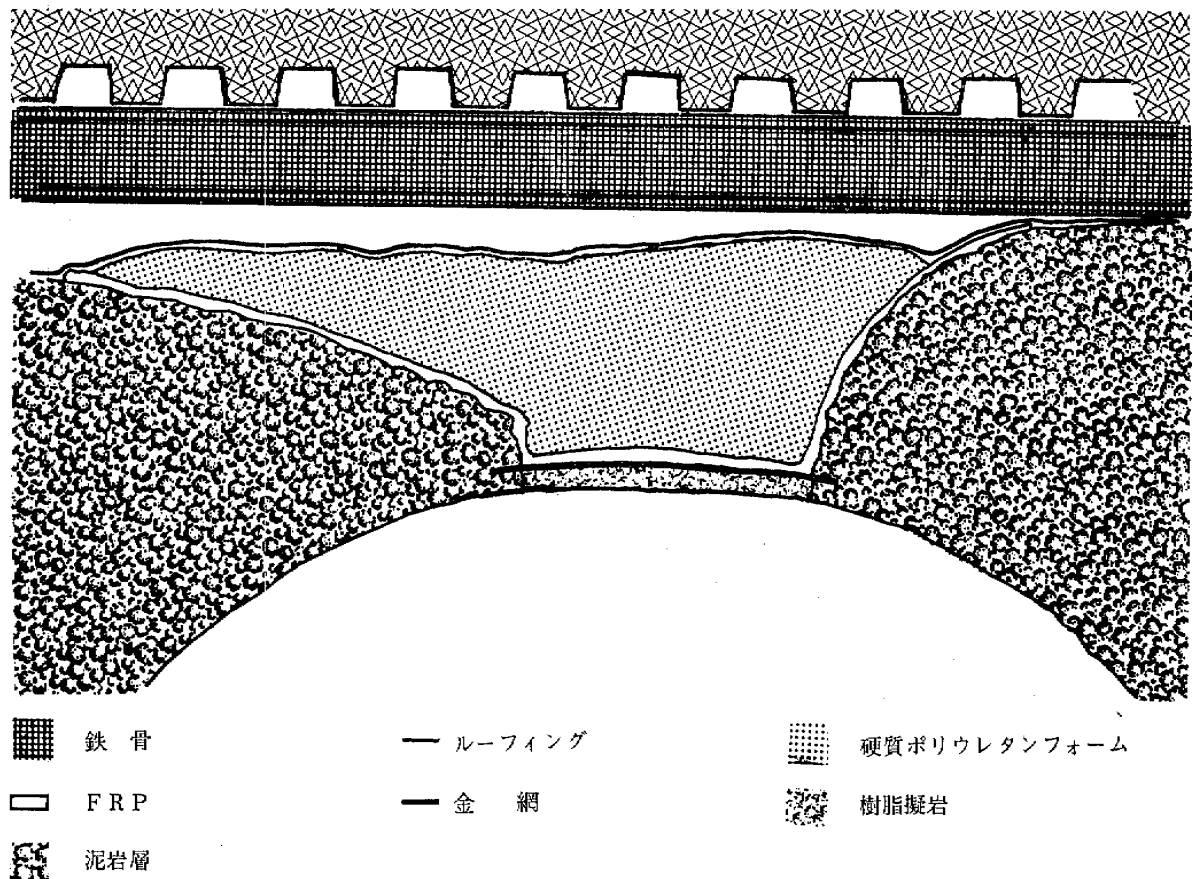


図-15 閉塞部分の断面模式図

この修復研究の目的は、天井崩壊部を断熱性のよい材料で閉塞し、玄室内への外気の流入および外気温の影響をできるだけ少なくし、内部気象の高湿度下における安定化を計り乾燥による壁面の層状剥離、顔料の粉化や剥落を防止しようとするものである。

断熱材料として使用した硬質ポリウレタンフォームは、比較的簡単な取扱いで現場発泡ができることから、この種の修復には有効なものと思われるが、すでに遺構の取り上げ保存や、遺物の取り上げに欠かせないものとなっており、その特性から考えて今後応用範囲が広がっていくものと思われる。

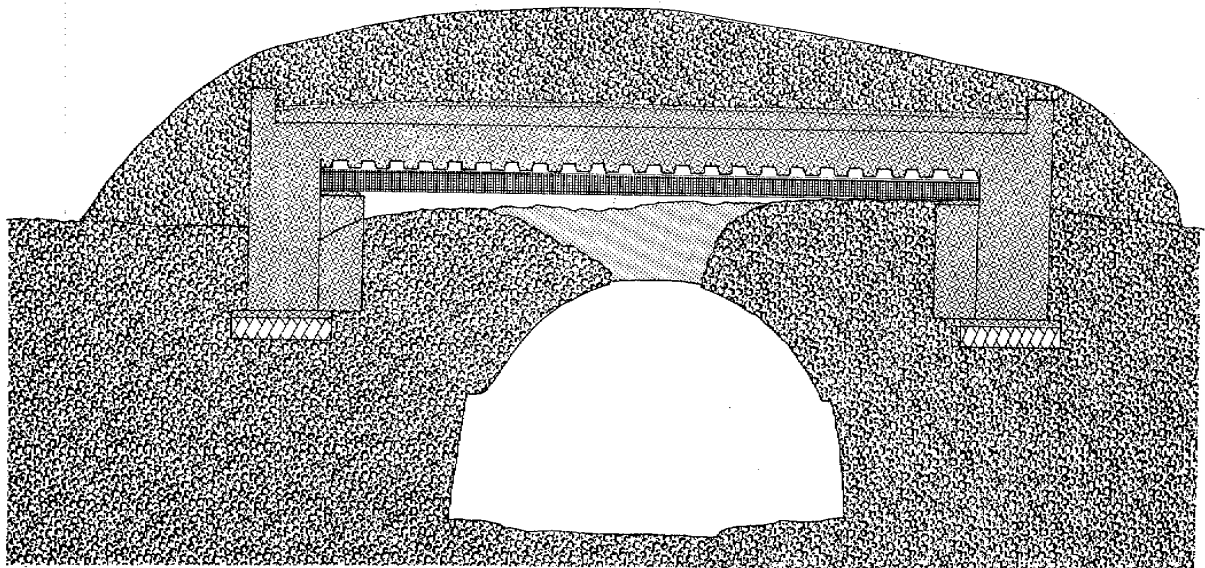


図-16 保存施設と閉塞処置部分の関係

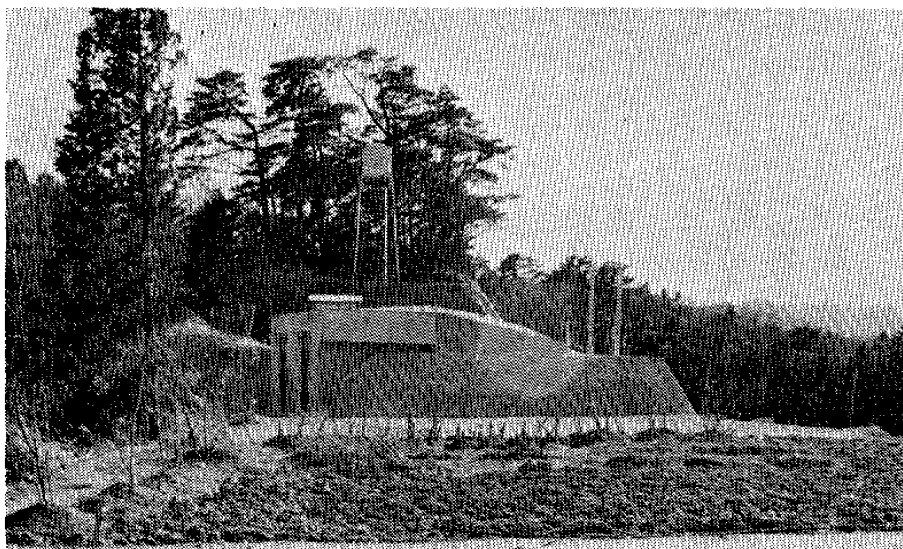


図-17 保存施設の完成状況

またこの修復には、硬質ポリウレタンフォームやエポキシ樹脂などが、かなり大量に使用されているが、年度内に工事を完了させるという時間的制約があり、施工期間が丁度、厳寒期にあたったため、エポキシ樹脂の硬化時間が長くなることと、気温が低すぎたため硬質ポリウレタンフォームが充分発泡しないなどの障害があった。これらはあらかじめ湯で樹脂をあたためるなどして施工したが、今後は樹脂の取扱上からもこのような厳寒期の施工は絶対避けるべきであろう。

この修復は古墳内気象の安定に役立つと思われるが、硬質ポリウレタンフォームによる崩壊部の閉塞だけでは、まだ保存上は不十分で、この修復は、保存施設設置という全体計画のごく一部を占めるもので、前室などの保存施設と一体化(図-16,17)して、はじめて完成しその機能を発揮するものであることはいうまでもない。

参 考 文 献

- ・ 『羽山装飾横穴発掘調査概報』 福島県原町市教育委員会 1974年3月
- ・ 樋口清治・立田三郎「明恵上人紀州遺跡卒塔婆保存処置」保存科学第7号 1971年3月

Restoration of the Collapsed Part of the Ceiling in the Hayama Tomb, Fukushima Pref

Shigeo AOKI and Seiji HIGUCHI

Hayama Tomb at Haramachi-shi, Fukushima-ken is a decorated proto-historic Tomb built around the beginning of the seventh century. Its interior walls and ceiling are painted with figures, animals and other subjects in hematite and white clay. The tomb was discovered in 1973 when its ceiling was partly destroyed by a bulldozer.

As the ceiling collapsed, the climatic condition in the burial chamber became unstable, and it was feared that the painting would come off due to exfoliation of the pigments and to desiccation of the wall surfaces. We tried to stabilize the climatic condition and prevent exfoliation of pigments by blocking the collapsed part of the ceiling with airtight and heat-insulating agents, as follows.

1) Stainless steel net was fixed on the collapsed part. An FRP of epoxy resin was applied over it.

2) The openings were caulked and blocked with hard-type polyurethane foam frothed on the spot.

3) The net exposed on the interior was coated with a mixture of epoxy resin emulsion, stone powder (obtained by pulverizing nearby rocks) and glass-microballoon.

By blocking the collapsed part through these measures, we succeeded in stabilizing the interior climatic condition.

Mere blocking of the collapsed part with hard-type polyurethane foam is not sufficient for conservation. The above-mentioned treatment is only a part of the entire project to build an overall conservative construction. The present treatment can function effectively only when accompanied by conservative measures on the antechamber and other adjacent parts of the tomb.