

国宝高松塚古墳壁画の恒久保存方針の策定について

【目次】

○国宝高松塚古墳壁画の恒久保存方針の策定について	1
○第1案 施設・機器更新を行い現状で保存	3
○第2案 墳丘ごと保存環境を管理	8
① 覆屋のみを設置	8
② 墳丘を地盤から隔絶して管理	13
○第3案 石室のみ保存環境を管理	18
① 墳丘の外観を残し地盤から隔絶して管理 (パイプルーフ工法)	18
② 墳丘を解体し地盤から隔絶して管理 (オープンカット工法)	23
○第4案 石室を取り出し修理	28
○第5案 壁面を取り外し、保存施設で管理	32

国宝高松塚古墳壁画の恒久保存方針の策定について

第2回国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会において、国宝高松塚古墳壁画の恒久保存のために、あらゆる保存方針の可能性について検討を行うこととなったが、検討に際して「資料2. 国宝高松塚古墳壁画の現状について」であげた現在の保存上の問題点を検討すれば、必要なことは次の2点にまとめられる。

1. 壁画の維持・保存管理に必要な環境制御の実現 2. 壁面の修理・強化

1. については、カビ・虫類等の有害生物を石室内に侵入させないこととともに、温湿度の制御をすることで、これらが増殖しないような環境づくりが必要となる。2. については、特に漆喰層の劣化の進行を止め、さらにその強化をはかる修理を早急に実現する必要がある。生物被害の現状と漆喰層の劣化を考慮すれば、この作業は最も処置が難しい天井を含めて、出来る限り早い段階での実施が必須となる。

1. を実現するためには、壁画を墳丘等周辺環境から隔離し、温湿度を完全に制御できる環境下に置くことが必要となる。2. を実施する際には、壁画と作業者の安全を確保しながら最も有効な措置をとることとなる。

また、壁画古墳は、壁画・石室・墳丘で構成され、これらの構成要素を現地で一体的に保存することが原則であるが、高松塚古墳壁画は、我が国において他に類例のない極めて貴重なものとして国宝に指定されていることから、壁画の保存に万全を期さねばならない。

以上の認識にもとづき、特別史跡である古墳の壁画・石室・墳丘の関係性に対策が及ぼす影響を、次の5つの段階的な案として検討した。

第1案	施設・機器更新を行い、現状で保存
第2案	墳丘ごと保存環境を管理 ①覆屋のみを設置し管理 ②墳丘を地盤から隔離し管理
第3案	石室のみ保存環境を管理 ①墳丘の外観を残し地盤から隔離して管理（パイプルーフ工法） ②墳丘を解体し地盤から隔離して管理（オープンカット工法）
第4案	石室を取り出し修理
第5案	壁画を取り外し、保存施設で管理

上記5案のうち、第1案～第3案は現地から壁画を移動しない方針にもとづく案、第4案と第5案は現地から壁画を移動することも含めた案である。

上記5案の具体的な検討にあたっては、上記各案の有効性と実現性を「概要」、「施設」、「壁画保存対策」、「対策の実施による影響」の大項目に分けて検討した。

殊に、「壁画保存対策」については、（１）生物対策、（２）劣化対策、（３）環境対策の三項目に分けて、下記の観点から検証した。

（１）生物対策

①カビの発生防止

（湿度 60%の環境を維持し、カビの発生を完全に防止するための措置が可能か。）

②虫類侵入阻止

（石室の完全な密閉が可能か。）

（２）劣化対策

①漆喰・壁画

（壁画と作業者の安全を確保しながら、最も処置が難しい天井を含めた漆喰・壁画剥落防止のための効果的な処置が可能か。）

②石室

（凝灰岩の保存強化処置が可能か。）

（３）環境対策（石室内）

①温度・湿度

（温度、湿度を安定的に制御できるか。）

②土中の水分

（土中の水分が石室に及ぼす影響を制御できるか。）

また、「対策の実施による影響」としては、各案を実施した場合に考え得る影響を次の項目について検討した。

（１）壁画古墳の保存における基本的な考え方

（壁画・石室・墳丘を現地で一体性をもって保存できるか）

（２）景観

（墳丘の外観とその周辺の景観に対してどのような影響があるか）

（３）公開の可能性

（保存管理の方法によって公開のあり方が異なる）

第1案 施設・機器更新を行い現状で保存

1. 概要

現在の保存施設は、石室前に前室（前室 A、B および準備室）とその地下に空調機械室を備えているが、壁面に風を当てると壁画が傷む危険があるので、石室を直接空調する設計にはなっていない。空調設備は、取り合い部の土中温度と等しくなるように温水（冷水）を前室の天井・壁・床面に張り巡らした銅管パネルに常時流す「パネル系」と、保存施設内に人が立ち入るときにのみ高湿度の空気を前室に送り込む「空調系」の二つの系からなっている（図1）。すなわち外気や墳丘部など古墳周囲の環境が安定していることを前提にして、これにあわせて石室へ至る前室の環境を調節し、石室内の温度（人が入る場合には温湿度）に変化を与えないよう、設計・建設されたものである。

したがって本施設を更新する場合においても、旧施設を取り除いて南面に新しい前室を作りそこを空調して、石室内を直接空調するのではなく、間接的に温度制御していくこととなる。

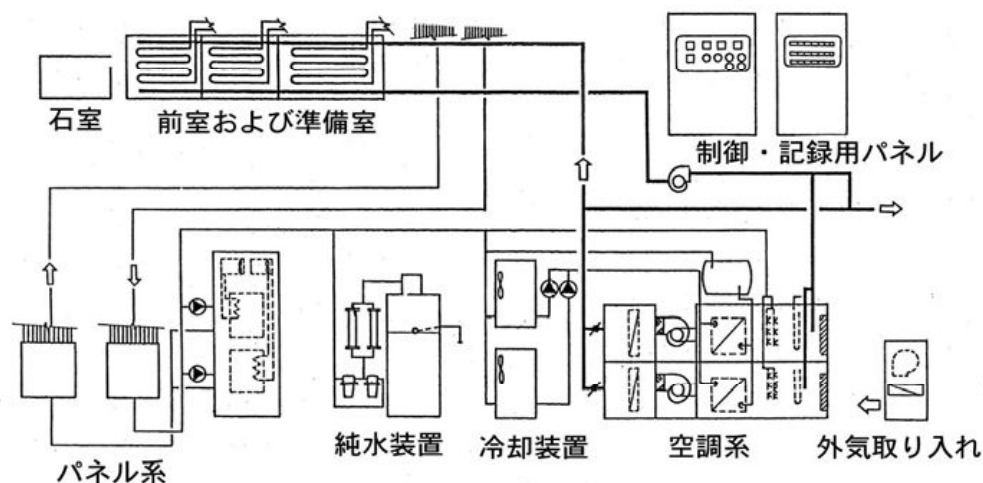


図1. 高松塚古墳の空調施設

2. 施設

(1) 設置にあたっての課題

- ・ 現在の施設では、壁画の保存処置を行うに当たっても作業スペースが無く、長時間の作業を行うには十分な換気もとれないなど作業環境が著しく悪い。
- ・ 現在の施設・機器の更新を行うにしても、同規模の施設・機器に更新することになる。

(2) 施設の規模

- ・ 現在と同等。

【評価】

現在の施設・機器の更新であり、技術的には可能であるが、狭い作業スペース等の問題が残る。

3. 壁画保存対策

(1) 生物対策

① カビ発生の防止

- ・ 現在のように石室の前に前室を作って間接的に石室を制御する構造では、石室の大部分が墳丘部を通して自然環境と直結しており、完全な殺菌はできず、墳丘土の側から入ってくる水や虫の侵入を防ぐこともできない。そのため環境を制御できず、カビを防止する効果は期待できない。
- ・ カビの発生を防ぐために、石室内のみまたは取合部から温度を下げる方法も考えうるものの、少なくとも石室内温度を 15℃（できれば 10℃）以下にする必要があり、温度むらによる壁面での結露の発生や、やがては低温に適したカビが新たに生育して繁茂するなどの危険が考えられ、長期的には有効な方法ではない（参考資料 5）。
- ・ また石室内の湿度を下げて乾燥化させる方法も考えうるが、乾燥による漆喰の剥落の恐れがあり、周囲から水が供給される状況では水分が蒸発するときに壁面に析出する塩類で絵画が剥離する危険が大きい。

② 虫類侵入阻止

- ・ 石室内への虫の侵入については、緊急対策において切石の隙間などをふさぐ処置を施したが、その後も侵入が続いている。おそらく漆喰の裏側に隠れた隙間な

どから入ってきているものと考えられるが、これらを完全に密閉することは漆喰層を傷める恐れがあり、小さな虫の通る隙間まで完全にふさぐことはきわめて難しく、虫類の侵入を完全に阻止することはできないと考えられる。

(2) 劣化対策（強化・修理）

① 漆喰・壁画

- ・ 墳丘の上部や周囲からも雨水が供給されるような環境では、壁画面、漆喰層が物理的にも安定的に保存されるとはいいがたい。
- ・ ほぼ湿度 100%という高湿度下で壁画修理に用いることができる接着剤は現在ほとんどなく、漆喰・壁画剥落防止のための効果的な処置が困難である。
- ・ 現在のような保存施設の構造と高湿度で狭小な石室内では、作業者の負担が大きく、現状のように劣化した垂直画面や天井面に対して全面的な強化処置を行うことは非常に困難である。
- ・ 過去にイタリアの専門家の意見などを取り入れアクリル樹脂（パラロイド B72）で壁画の修復がなされたが、近年、エタノール水溶液にこの樹脂が溶解することがわかり、殺菌のためのエタノール水溶液噴霧により、樹脂が白濁したり剥離したりしていることが確認された。エタノールの噴霧は避けたいところではあるが、殺菌方法としてエタノールを中心にした処置しか行えない現在の状況では、カビが発生する限りはこの問題が生じる。

② 石室

- ・ 漆喰・壁画と同様に、墳丘の上部や周囲からも雨水が供給されるような環境では、石室を構成する凝灰岩が物理的にも安定的に保存されるとはいいがたい。
- ・ 現状では参考資料 9 で指摘されるように、将来起こりうる大地震による危険に対する対策ができない。

(3) 環境対策（石室内）

① 温度・湿度

- ・ 現在の施設は堅固な版築によって石室が保護され、なおかつ地中の安定した環境下におかれていることを前提としたものである。しかし墳丘の状態の変化、古墳をとりまく環境の変化が起きた場合には影響を受けざるを得ない。実際に現在でも外気温の上昇、雨の降り方の変化などの現象が指摘されていて、その傾向は将来とも継続すると予測されているので（参考資料 11）、石室入口面からだけでの環境制御では、温度・湿度を制御することは不可能である。

② 土中の水分

- ・ 墳丘には植生があってもそれによる蒸発量を超える雨水が上部から浸入する(参考資料8)。また発掘によって墳丘北側に南に向かって傾斜した粘土層があり、そこを流下して雨水が石室に至っていることが指摘され、過去の地震によって版築に生じたクラックが水みちあるいは虫の侵入路になっている可能性がある(参考資料9)。墳丘・石室が自然環境と直結した状況は現在と変わらず、土中の水分を制御することは不可能である。

【評価】

生物・劣化・環境対策のいずれについても、基本的に従来のものであり、有効な手段を講じることはできない。壁面にカビが多く発生していて完全な発育防止が難しい現状では、将来にわたっても現地で監視と処置をするための施設と専従の人員が数名必要となる。

4. 対策の実施による影響

(1) 壁画古墳の保存における基本的な考え方

- ・ 壁画・石室・墳丘を現地で一体性をもって保存できるが、長期的な観点からは、壁画の劣化が進むおそれがある。

(2) 景観

- ・ 現状と同じ規模の施設なら変化せず。

(3) 公開の可能性

- ・ 現在の保存施設は、土中の自然環境を維持しつつ保存修理を行うための施設であり、施設更新、機器更新を行っても、直接の公開はできない。

【総合評価】

現在の施設は堅固な版築によって石室が保護され、なおかつ地中の安定した環境下におかれていることを前提としたものである。しかし墳丘の状態の変化、古墳をとりまく環境の変化が起きた場合には影響を受けざるを得ない。実際に現在でも外気温の上昇、雨の降り方の変化による大雨の増加などの現象が指摘されていて、その傾向は将来とも継続すると予測されているので、石室入口面からだけでの環境制御では全く不十分である。現在の施設は石室内の温度・湿度を自然のままに保つこと、および人が石室内に入るに先だって唯一の入り口となっている盗掘口前の温度・湿度を石室内と同じにすること、この二つを主たる目的として設置されたものである。このような施設・機器では更新しても、現在、課題となっている、生物対策、環境対策および石室内の漆喰・壁画等の劣化対策に有効な手段を講じることはできない。

第2案 墳丘ごと保存環境を管理

① 覆屋のみを設置

1. 概要

現在の、前室（前室 A、B および準備室）とその地下に空調機械室を石室前に備えている保存施設に加えて、墳丘全体の覆い屋を建設することで雨水の浸入、日照による温度変化などを緩和し、管理する方法である（図2）。本方法においても、石室内を直接空調するのではなく、間接的に石室内を温度制御する。覆屋の規模としては、発掘のための仮覆屋が南北 17.7m、東西 26.4m、高さ 11.8m の規模であったことを考慮すると、これと同程度かそれ以上の大きさとなるので、恒久的な施設としては地下にしっかりと基礎を打ち込むことが必要となる。また覆屋は、日照や雨を完全に防ぐために密閉した構造とすると、日照により覆屋内の気温が上昇して、墳丘の地温が上昇し、石室内の温度が上がる恐れがあるので、覆屋内の空調が必要となる。その場合、覆屋内を空調するための空調機器を置く場所と施設をさらに用意しなければならない。

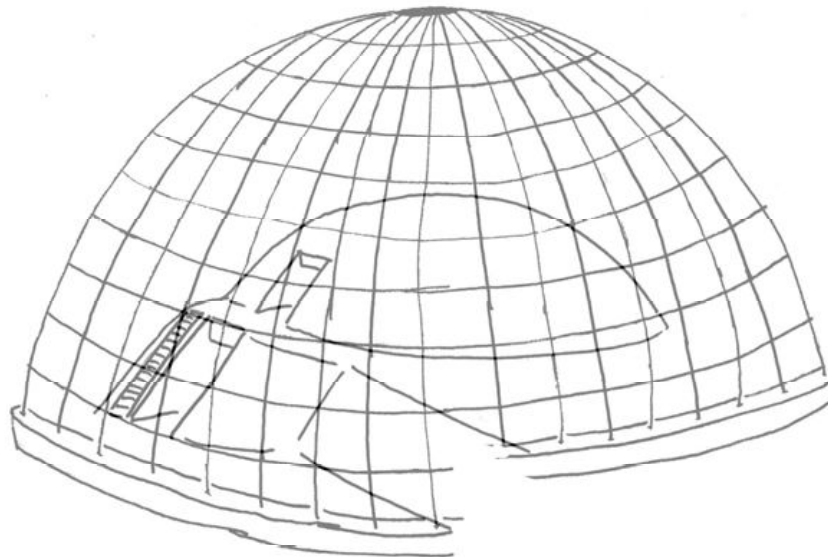


図2．墳丘覆屋のイメージ図

2. 施設

(1) 設置にあたっての課題

- ・ 広範囲におよぶ屋根を支えることができる構造的強度が必要となる。覆屋を恒久的に支えるためには地下に深く基礎杭を打ち込む必要があると思われ、建設に当たっては、工事中に壁画の剥落や、石室の凝灰岩に生じている亀裂等が原因して崩落する危険がある。また、地下遺構への影響も懸念される。
- ・ 石室前面の保存施設についても、現在の保存施設の躯体をそのまま使用するのであれば、石室への影響は小さいと考えられるが、現在の施設は建設後 30 年余り経って老朽化し、壁画の保存処置を行うに当たっても作業スペースが無く、長時間の作業を行うには十分な換気もとれないなど作業環境が著しく悪い。そのため石室前面の保存施設を新たなものに取り替える必要がある。

(2) 施設の規模

- ・ 恒久性のある覆屋とするためには、橋梁規模の巨大な覆屋が必要となる。

【評価】

現地の地形からして、巨大な覆屋の設置は困難でかつ危険と考えられる。

3. 壁画保存対策

(1) 生物対策

① カビ発生の防止

- ・ 雨水の浸入、日照による温度変化等は緩和できるが、墳丘・石室が自然環境と直結した状況は現在と変わりなく、墳丘上面を覆う規模の覆屋では墳丘北側から流れ込んでくる水の侵入を防ぐことはできない。そのため環境制御は限定的で、カビを防止する効果は期待できない。
- ・ カビの発生を防ぐために、石室内のみまたは取合部から温度を下げる方法も考えうるものの、少なくとも石室内温度を 15℃（できれば 10℃）以下にする必要があり、温度むらによる壁面での結露の発生や、やがては低温に適したカビが新たに生育して繁茂するなどの危険が考えられ、長期的には有効な方法ではない（参考資料 5）。
- ・ 石室内の湿度を下げて乾燥化させる方法も考えうるが、乾燥による漆喰の剥落の恐れがあり、周囲から水が供給される状況では水分が蒸発するときに壁面に析

出する塩類で壁画が剥離する危険が大きい。

② 虫類侵入阻止

- ・ 石室内への虫の侵入については、緊急対策において切石の隙間などをふさぐ処置を施したが、その後も浸入が続いている。おそらく漆喰の裏側に隠れた隙間などから入ってきているものと考えられるが、これらを完全に密閉することは漆喰層を傷める恐れがあり、小さな虫の通る隙間まで完全にふさぐことはきわめて難しく、虫類の侵入を完全に阻止することはできないと考えられる。

(2) 劣化対策（強化・修理）

① 漆喰・壁画

- ・ 墳丘の周囲から水が供給されるような環境では、壁画面、漆喰層が物理的にも安定的に保存されるとはいいがたい。
- ・ ほぼ湿度 100%という高湿度下で壁画修理に用いることができる接着剤は現在ほとんどなく、漆喰・壁画剥落防止のための効果的な処置が困難である。
- ・ 現在のような保存施設の構造と高湿度で狭小な石室内では、作業者の負担が大きく、現状のように劣化した垂直画面や天井面に対して全面的な強化処置を行うことは非常に困難である。
- ・ 過去にイタリアの専門家の意見などを取り入れアクリル樹脂（パラロイドB72）で壁画の修復がなされたが、近年、エタノール水溶液にこの樹脂が溶解することがわかり、殺菌のためのエタノール水溶液噴霧により、樹脂が白濁したり剥離したりしていることが確認された。エタノールの噴霧は避けたいところではあるが、殺菌方法としてエタノールを中心にした処置しか行えない現在の状況では、カビが発生する限りはこの問題が生じる。

② 石室

- ・ 漆喰・壁画と同様に、墳丘の周囲から雨水が供給されるような環境では、石室を構成する凝灰岩が物理的にも安定的に保存されるとはいいがたい。
- ・ 現状では参考資料9で指摘されるように、将来起こりうる大地震による危険に対する対策ができない。

(3) 環境対策（石室内）

① 温度・湿度

- ・ 現在の施設は堅固な版築によって石室が保護され、なおかつ地中の安定した環境下におかれていることを前提としたものである。しかし墳丘の状態の変化、古墳をとりまく環境の変化が起きた場合には影響を受けざるを得ない。実際に現在

でも外気温の上昇、雨の降り方の変化などの現象が指摘されていて、その傾向は将来とも継続すると予測されているので、覆屋をかけただけでは、周辺からの水の流入は防げない。

- ・ 気温の上昇による地温変化を防ぐためには覆屋内を空調する必要がある、かなり大規模な施設となるが、それでも温度・湿度を制御することは困難である。

② 土中の水分

- ・ 覆屋によって墳丘上面から来る雨水は防げても、墳丘上面を覆う規模の覆屋では墳丘北側の傾斜した粘土層を流下して石室に至る水は防げない。墳丘・石室が自然環境と直結した状況は現在と変わらない。

【評価】

墳丘・石室が自然環境と直結するという環境はこれまでと変わらず、生物・劣化・環境対策のいずれについても、十分な手段を講じることとはできない。覆屋が大きくなるとその内部を空調し、保存施設も従来通り利用することになると、管理する規模が大きい。壁面にカビが多く発生していて完全な殺菌が難しい現状では、将来にわたっても現地で監視と処置をするための施設と専従の人員が数名必要で、環境の維持、管理のためには、第1案以上に経済的にも人的にもきわめて負担が大きい。

4. 対策の実施による影響

(1) 壁画古墳の保存における基本的な考え方

- ・ 壁画・石室・墳丘を現地で一体性をもって保存できるが、長期的な観点からは、壁画の劣化が進むおそれがある。

(2) 景観

- ・ かなりの大きさの覆屋となるので、景観を大きく変えることになる。

(3) 公開の可能性

- ・ 壁画の公開の可能性については、第1案と同様、直接の公開・活用がきわめて困難である。

【総合評価】

保存環境の改善に多少の効果が期待されるものの、壁画保存に関しては、生物対策、劣化対策でほとんど有効性が期待できない。また、覆屋はきわめて巨大な構造物となり、第1案以上に将来にわたって環境の維持、管理のための負担が大きく、景観に与える影響もあり、採用できる方法ではない。

第2案 墳丘ごと保存環境を管理

② 墳丘を地盤から隔絶して管理

1. 概要

墳丘そのものをひとつの閉じた環境中に置くことにより、壁画を管理・保存する方法である（図3）。第2案-①と同様、前室（前室A、Bおよび準備室）とその地下に空調機械室を石室前に備えている現在の保存施設に加えて、覆屋を建設して日照による温度変化を緩和し、さらに周囲と墳丘の下に水を遮蔽する仕切り板等を入れることによって、雨水の浸入を完全に防ぎ管理する方法である。本方法でも、石室内を直接空調するのではなく、間接的に石室内を温度制御することになるが、覆屋内を乾かすことによって時間をかけて石室内の湿度を下げることを目指す。カビの有効な防止のためには石室内の湿度を60%程度にすることが望まれる。

覆屋の規模としては、第2案-①と同様、発掘のための仮覆屋の大きさである南北17.7m、東西26.4m、高さ11.8mの規模と同程度かそれ以上の大きさとなり、当然、覆屋内は空調することになる。工事に際しては、地下にしっかりと基礎を打ち込むことだけでなく、周囲の地盤から隔絶するための仕切りを打ち込む工事も必要となるので、さらに大規模な工事となる。

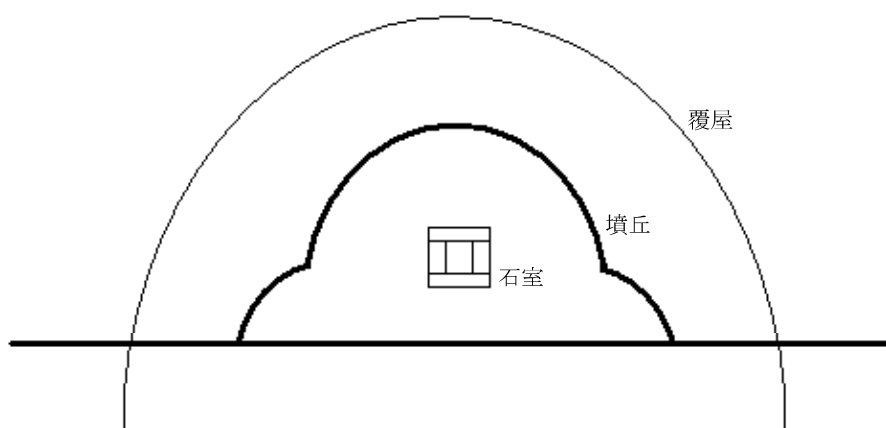


図3. 墳丘覆屋の模式図

2. 施設

(1) 設置にあたっての課題

- ・ 覆屋を恒久的に支えるためには地下に深く基礎杭を打ち込む必要がある。墳丘周囲に仕切りを入れることは比較的容易であると考えられるが、石室に影響が出ないように仕切り板で墳丘全体を地盤から切り離すことは、次の第3案－①以上に大規模な工事となり、振動、安定性など危険が大きく、また地下遺構への影響も懸念され、実現は難しい。

(2) 施設の規模

- ・ 墳丘全体を覆う規模の建造物が必要とされる。

【評価】

想定される建造物の規模が大きく、墳丘全体を周囲の地盤から完全に隔絶することは技術的にきわめて困難である。

3. 壁画保存対策

(1) 生物対策

① カビ発生の防止

- ・ カビ発生を防止するため周囲からの隔絶と覆屋内の空調により、石室内を60%程度まで乾燥させるとしても、環境が安定するまでに相当の長期間を要し、その間にカビの発生は続くので、実際上有効な対策とはならない。
- ・ 石室が乾くまでの期間、カビの発生を防ぐために、石室内のみまたは取合部から温度を下げる方法も考えうるものの、少なくとも石室内温度を15℃（できれば10℃）以下にする必要があり、温度むらによる壁面での結露の発生や、石室が乾くまでの時間が長いと、やがては低温に適したカビが新たに生育して繁茂するなどの危険が考えられ、やはり有効な方法ではない。

② 虫類侵入阻止

- ・ カビの場合と同様、環境が安定するまでに相当の長期間を要し、その間に虫やダニなどの侵入は続くので、実際上有効な対策とはならない。またこれを防ぐために、隙間を完全に密閉することは漆喰層を傷める恐れがあり、小さな虫の通る隙間まで完全にふさぐことはきわめて難しい。

(2) 劣化対策（強化・修理）

① 漆喰・壁画

- ・ 環境が安定するまでの期間、湿った状態が続くので、壁画面、漆喰層の劣化は進む。
- ・ ほぼ湿度100%という高湿度下で壁画修理に用いることができる接着剤は現在ほとんどなく、漆喰・壁画剥落防止のための効果的な処置が困難である。
- ・ 現在のような保存施設の構造と高湿度で狭小な石室内では、作業者の負担が大きく、現状のように劣化した垂直画面や天井面に対して全面的な強化処置を行うことは非常に困難である。
- ・ 過去にイタリアの専門家の意見などを取り入れアクリル樹脂（パラロイドB72）で壁画の修復がなされたが、近年、エタノール水溶液にこの樹脂が溶解することがわかり、殺菌のためのエタノール水溶液噴霧により、樹脂が白濁したり剥離したりしていることが確認された。エタノールの噴霧は避けたいが、殺菌方法としてエタノールを中心にした処置しか行えない現在の状況では、カビが発生する限りはこの問題が生じる。

② 石室

- ・ 現状では参考資料 9 で指摘されるように、将来起こりうる大地震による危険に対する対策ができない。

(3) 環境対策（石室内）

① 温度・湿度

- ・ 墳丘を周囲地盤から隔絶できても、環境が安定するまでに相当の長期間を要し、どれほどの時間がかかるか正確に予測できない。

② 土中の水分

- ・ 墳丘部の土は周囲からの水分の供給が絶たれているので、乾きすぎないように土の含水比を安定させる必要がある。しかしそれを維持することは實際上困難で、墳丘の土や版築はやがて乾燥により収縮して亀裂が生じ、石室にも影響を及ぼす恐れがある。

【評価】

環境制御に時間がかかり、その間、生物被害や劣化が進む可能性が高い。石室内の湿度を下げるために覆屋内を空調すると、墳丘部が乾燥して土や版築に収縮による亀裂が生じる恐れがある。それを防ぐには土の含水比を安定させる必要があるが、實際上困難である。

4. 対策の実施による影響

(1) 壁画古墳の保存における基本的な考え方

- ・ 壁画・石室・墳丘を現地で一体性をもって保存できるが、長期的な観点からは、壁画の劣化が進むおそれがある。

(2) 景観

- ・ かなりの大きさの覆屋となるので、景観を大きく変えることになる。

(3) 公開の可能性

- ・ 壁画の公開の可能性については、第1案と同様、直接の公開・活用がきわめて困難である。

【総合評価】

墳丘を周囲の地盤から隔絶することは技術的にきわめて困難である。また、環境制御に時間がかかり、その間、生物被害や劣化が進む可能性が高い。やがては墳丘部が乾燥し、収縮による亀裂が発生して石室に影響を及ぼす恐れが予想される。施設についてもきわめて大きな建造物となり、第1案以上に、将来にわたって環境の維持、管理を行なうことがきわめて困難である。景観に与える影響もあり、採用できる方法ではない。

第3案 石室のみ保存環境を管理

① 墳丘の外観を残し地盤から隔離して管理（パイプルーフ工法）

1. 概要

第2案—②は墳丘全体を地盤から隔離する方法であるが、第3案は石室のみを周囲から隔離して、石室そのものをひとつの閉じた環境中に置くことにより、雨水の浸入を完全に防ぎ、壁画を管理・保存する方法である（図4）。カビの有効な防止のために、石室を間接的に空調して外側から徐々に乾燥させ、漆喰面を処置しながら、石室内の湿度を60%程度にする。そのために石室内および壁画の状態を制御し、常時監視するシステムが必要となる。

この第3案—①では、石室を周囲の地盤から隔離するためにパイプルーフ工法を用いる。この工法はパイプ（鋼管）を本体構造物の外周に沿って、等間隔にアーチ状に打設し、壁やルーフを作る方法である。下図は、パイプルーフ工法を墳丘土に適用する際の模式図である。パイプルーフを設置した後、石室下面も地盤から切り離して、内部をトンネルのように掘削し、地盤から石室全体を隔離する。パイプルーフ工法を行う際には、パイプを挿入する力に対抗するための反力壁としての地盤を構築する必要がある。

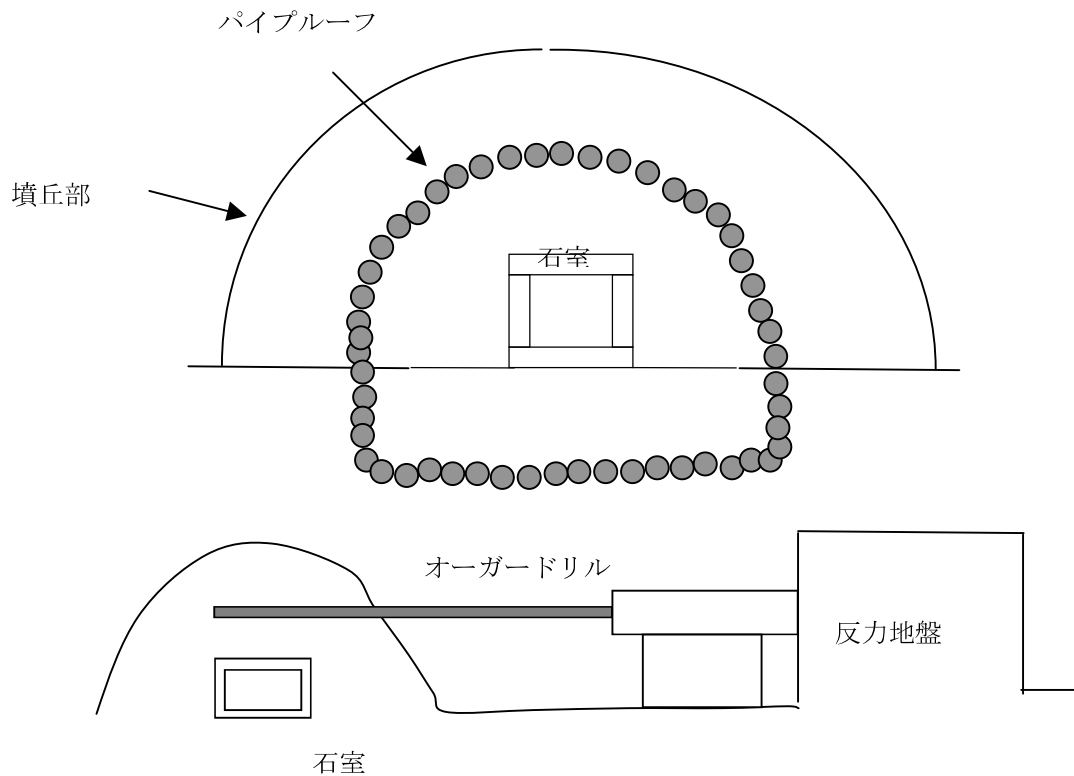


図4. パイプルーフ工法の模式図（1）

この工法は本来、パイプで囲まれた内部の土を安全に掘削し、トンネル状構造物を構築するための補助工法であり、ここで目的とするような、内部の地盤（高松塚では石室）を保護するという機能はない。

パイプルーフ工法についてもう少し詳しく述べれば下記の通りであるが、この工事が石室に与える振動等の影響も懸念される（図5）。

- ① 石室側方の版築を掘り下げる。
- ② パイプルーフ押し込み装置を設置する。
- ③ 掘り込みの石室と反対側を反力壁としてパイプを石室の周囲に水平に挿入する。
- ④ この工程を繰り返すことによって石室の周囲全体にわたってパイプを設置する。
- ⑤ パイプ間に薬液注入を行って外界との遮断を行う。

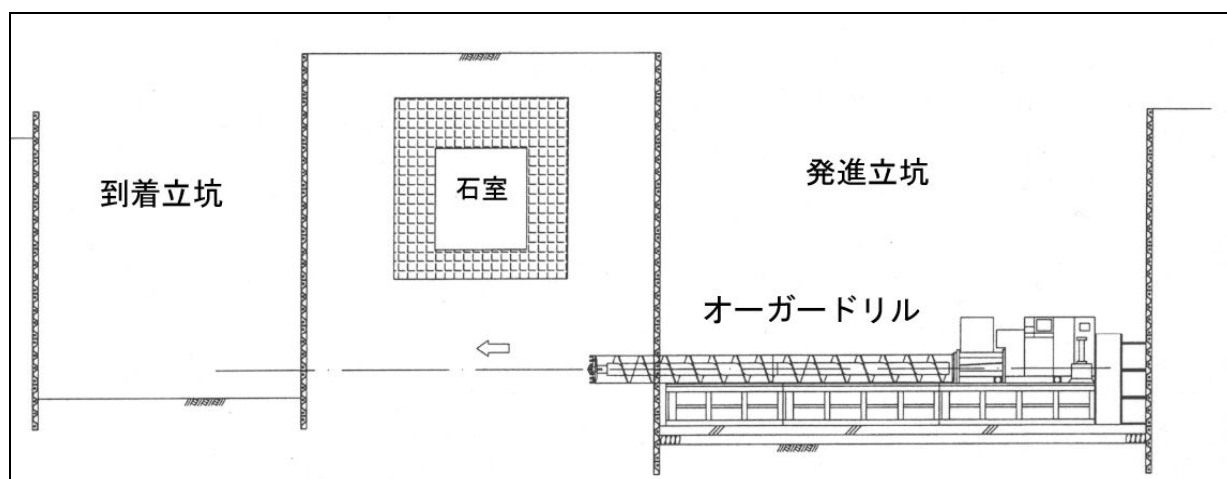


図5 パイプルーフ工法の模式図（2）

2. 施設

（1）設置にあたっての課題

- ・ 石室の周囲にパイプを打ち込むためには、石室を取り囲んでパイプを打てるように、北側を石室の下面まで掘って、パイプの長さ以上離れた位置に反力をとるための大きな壁を作る。また現在の保存施設を除去して、到着立坑をもうける。このような工事で墳丘は大きく損なわれる。
- ・ もし石室下面を地盤から隔絶するためのパイプの打ち込みが北から行えない場合は、次の第3案一②と同様、石室の東西を大きく掘削する必要があり、墳丘がさらに大きく損なわれる。
- ・ 石室下部と地盤から隔絶した水平矢板との間にのこった土が湿度制御によって乾

乾燥収縮し、石室が不安定となる。

- ・ 石室の周囲に隔絶材を設置しただけでは、墳丘土からの完全な隔絶は保障できない。石室とパイプルーフの空間を掘削しなければならないが、狭い地中での掘削作業は危険である。もし人が安全に石室の周囲を掘削できるほど、石室とパイプルーフの間を広くあけてパイプを打ち込んでいこうとするなら、墳丘はもっと損なわれることになり、現実的には第3案②のオープンカット工法の方が確実である。
- ・ 石室周囲は横からの掘削となり、発掘調査の実施が難しい。

(2) 施設の規模

- ・ 石室を覆い尽くす規模の施設が必要。また、その施設の環境制御と、壁画の保存処置を行うための作業スペースや、長時間の作業を行うための換気設備などを持った外部施設、それを維持管理するための人員と経費が必要である。

【評価】

パイプルーフによる工法では、石室とパイプルーフの間を掘削しない限り、石室の地盤からの隔絶を確認することができず、期待する効果を保証することはできないが、狭い空間での掘削は危険である。掘削のためにこの空間を大きくとるなら、第3案②のオープンカット工法と同じこととなり、オープンカット工法の方が確実である。また、パイプを打ち込むためには石室の周囲を大きく掘削する必要があり、墳丘が大きく損なわれる。

3. 壁画保存対策

(1) 生物対策

① カビ発生の防止

- ・ 石室とパイプルーフの間を掘削しない場合は、周囲からの隔絶が完全に保証できないので、環境制御は限定的で、工事後にもカビが発生する恐れがある。
- ・ 石室とパイプルーフの間を掘削できて、周囲から完全に隔絶できたなら、カビの発生の防止は可能である。しかし、石室外面から徐々に乾燥させ、石室内が60%程度の環境に安定するまでの間、カビの生育は続くので、それを抑える方法をとらなければならない。

② 虫類侵入阻止

- ・ 石室とパイプルーフの間を掘削しない場合は、周囲からの隔絶が完全に保証で

きないので、虫類の侵入を完全に阻止することはできない。

(2) 劣化対策（強化・修理）

① 漆喰・壁画

- ・ 現状のような保存施設の構造と狭小な石室内の環境では、作業者の負担が大きく、現状のように劣化した垂直面や天井面に対して全面的な強化処置を行うことは非常に困難である。
- ・ 石室を周囲から完全に隔絶し、壁画の乾燥が始まった後は、乾燥に伴う壁面の剥落を防ぐための保存修理処置を迅速に行わなければならない。そのためには、石室の前に広い作業スペースを作ることと、南壁や天井石の一部などを動かして、開口部を広げることを考慮する必要があるが、それでも石室内には2名程度しか入れないので、強化・修理には時間がかかり、壁面の乾燥の進行に遅れないように作業することは難しい。

② 石室

- ・ パイプルーフ内の狭い空間内で墳丘土を掘削することは大変困難であると共に、人間にとっても石室にとっても危険である。
- ・ 石室露出時に外側から補強等は可能であるが、耐震性の格段の悪化は避けられず、特に切石が内側に倒れることを防ぐのは困難である。将来起こりうる大地震による危険性が大きい。

(3) 環境対策（石室内）

① 温度・湿度

- ・ 石室とパイプルーフの間を掘削しない場合は、周囲からの隔絶が完全に保証できないので、工事後も温湿度の制御は限定的である。
- ・ 石室とパイプルーフの間を掘削して周囲から隔絶できるように、パイプルーフと石室の間を大きく広げることを考えるなら、次に提示する第3案②のオープンカット工法の方が現実的である。

② 土中の水分

- ・ 密閉性が確保できない限り温湿度、及び土中水分の影響を蒙る。上記と同様、完全に隔絶するためには、次に提示する第3案②のオープンカット工法の方が現実的である。

【評価】

石室の地盤からの隔絶が確認・保証できれば、生物・環境対策については、一定の有効な手段を講じることができるが、パイプルーフに囲まれた中で石室の周囲を掘削して、地盤から完全に隔絶することは困難であると考えられる。また石室とパイプルーフの間を掘削して、完全に隔絶できても、石室がむき出しになるので耐震性の格段の悪化は避けられず、将来起こりうる大地震による危険が大きい。劣化対策に関しても、狭小な石室内での作業となり、困難が予想される。

4. 対策の実施による影響

(1) 壁画古墳の保存における基本的な考え方

- ・ 石室と壁画を現地で保存できるが、パイプを打ち込むために墳丘が一部解体されることとなるが、壁画と石室は保存されることとなる。ただし、作業スペースを考えると発掘調査を行うことは極めて困難であるため、綿密な記録をとることができない可能性が高い。

(2) 景観

- ・ 石室を覆い尽くす規模の施設と、環境制御のための外部施設が必要となる。これらの保存施設の設置によって景観は変化する。

(3) 公開の可能性

- ・ 可能ではあるが狭小な空間なので公開は限定的なものとなる。

【総合評価】

パイプルーフ工法は、本来、パイプで囲まれた内部の土を安全に掘削し、トンネル構造物を構築するための補助工法で、ここで目的とするような、内部の石室を保護するという機能はない。石室とパイプルーフの間を掘削して、周囲と完全に隔絶できても、石室がむき出しになるので耐震性の格段の悪化は避けられず、将来起こりうる大地震による危険が大きい。また工法としては、第3案②に提示するオープンカット工法の方がより現実的である。

第3案 石室のみ保存環境を管理

② 墳丘を解体し地盤から隔絶して管理（オープンカット工法）

1. 概要

第2案—②は墳丘全体を地盤から隔絶する方法であるが、第3案は石室のみを周囲から隔絶して、石室そのものをひとつの閉じた環境中に置くことにより、雨水の浸入を完全に防ぎ、壁画を管理する方法である（図6）。カビの有効な防止のためには、石室を間接的に空調して石室内の湿度を60%程度にすることが望まれる。そのために石室内および壁画の状態を制御し、常時監視するシステムが必要となる。

この第3案—②のオープンカット工法では、下に述べるように、石室周囲の土を上から発掘し、石室を囲む保存施設を墳丘内部に建築して、再度墳丘を埋め戻す。保存施設内は、カビの発生を防ぐことができる湿度（60%）まで低下させて一定に保つ。石室外面から徐々に乾燥していくので、石室内部の漆喰面の乾燥に応じて、漆喰に剥落止めのための樹脂を含浸させ、漆喰表面を強化することが必要となる。

- （1）石室が側壁を含めて剥き出しの状態になった時点で、石室を覆うような石室保存施設を設置し、温湿度の制御を行う。
- （2）石室保存施設は、周囲からの水分を通さず、断熱性にも優れたもので、墳丘部を埋め戻した際にも耐えられる、強い構造物とする。
- （3）石室内部の温湿度を常時測定し、石室周辺を含めた環境管理を行う。

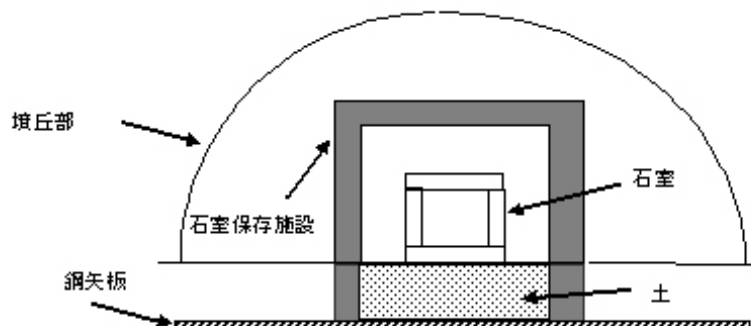


図6. オープンカット工法の模式図（1）

石室下面から水分を切る工事に関しては、第3案①で示したパイプを用いる方法と下記の鋼矢板を用いる方法が考えられる（図7）。

- ① 石室側方の版築を掘り下げる。
- ② 鋼矢板引き込み用油圧ジャッキ装置を設置する。
- ③ 到達立坑の壁を反力壁として鋼矢板を発進立坑側から挿入する。
- ④ この工程を繰り返すことによって石室の下部全体にわたって鋼矢板を設置する。
- ⑤ 鋼矢板の継ぎ手部分には、あらかじめ膨張性の止水材を塗布しておき石室下面からの水分を切る。

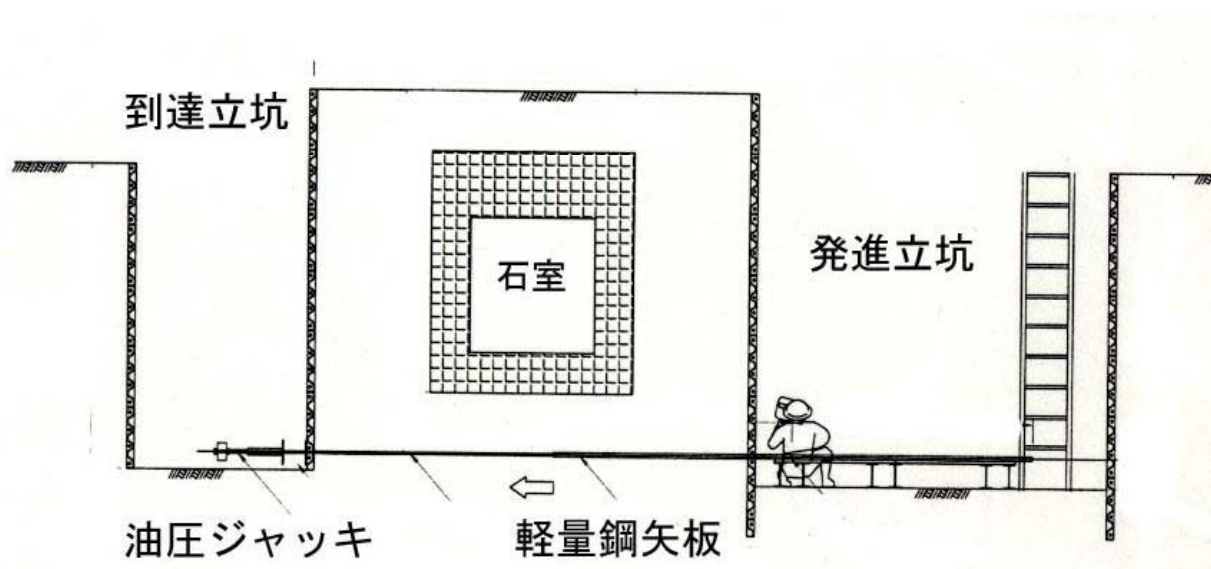


図7. オープンカット工法の模式図（2）

2. 施設

(1) 設置にあたっての課題

- ・ 周囲の墳丘土から石室を隔絶する工事が必要であり墳丘の大きな改変（版築の解体）を伴う。特に下面からの水分を切る大きな工事が必要である。
- ・ 石室がむき出しになるので、それを支える構造が必要になる。耐震性の格段の悪化は避けられず、特に切石が内側に倒れることを防ぐのは困難なので、将来起こりうる大地震による危険性が大きい。
- ・ 反力をとる壁を作るには石室の東西を大きく掘削する必要があり、墳丘が大きく損なわれる。
- ・ 石室下部と地盤から隔絶した水平矢板との間にのこった土が湿度制御によって乾燥収縮し、石室が不安定となる。
- ・ 墳丘が大きく損なわれるため、発掘調査及び土層転写等の現状の記録保存が必要。

(2) 施設の規模

- ・ 石室を覆い尽くす規模の施設が必要。また、その施設の環境制御と、壁画の保存処置を行うための作業スペースや、長時間の作業を行うための換気設備などを持った外部施設、それを維持管理するための人員と経費が必要である。

【評価】

石室下面の工事に問題はあるが、第3案—①に比べて工法が確実で、また施設の規模は第2案—②の墳丘ごと保存管理を行うほど大きくならないので、有効な手段と考えられる。ただし反力をとる壁を作るには、石室の東西を大きく掘削する必要があり、墳丘が大きく損なわれる。また石室がむき出しになるので、耐震性の格段の悪化は避けられないので、将来起こりうる大地震による危険性が大きい。

3. 壁画保存対策

(1) 生物対策

① カビ発生の防止

- ・ 石室を覆う保存施設が完成し、石室周辺の温湿度環境が整った後は、カビの発生の防止は可能である。しかし、墳丘土を除去し、石室外面から徐々に乾燥させ、石室内部の漆喰面の乾燥に応じて漆喰面の処理を行う過程では、漆喰面の水分量が高い状態が続くのでカビ発生の可能性がある。

② 虫類侵入阻止

- ・ 石室を周囲から隔絶することができるので、虫類の外部からの侵入は防げると考えられる。

(2) 劣化対策（強化・修理）

① 漆喰・壁画

- ・ 現状のような保存施設の構造と狭小な石室内の環境では、作業者の負担が大きく、現状のように劣化した垂直面や天井面に対して全面的な強化処置を行うことは非常に困難である。
- ・ 石室を周囲から完全に隔絶し、壁画の乾燥が始まった後は、乾燥に伴う壁面の剥落を防ぐための保存修理処置を迅速に行わなければならない。そのためには、石室の前に広い作業スペースを作ることと、南壁や天井石の一部などを動かして、開口部を広げることを考慮する必要があるが、それでも石室内には2名程度しか入れないので、強化・修理には時間がかかり、壁面の乾燥の進行に遅れないように作業することは難しい。

② 石室

- ・ 石室露出時に外側から補強等は可能であるが、短時間に行われなければならない。また、耐震性の格段の悪化は避けられず、特に壁石が内側に倒れることを防ぐのは困難なので、将来起こりうる大地震による危険性を考えておく必要がある。

(3) 環境対策（石室内）

① 温度・湿度

- ・ 石室を温度・湿度制御のできる石室保存施設内に収めることで環境を整えることは可能である。ただ石室周囲の発掘作業時は環境の変化があるため、適切な対策を取る必要がある。

【評価】

石室を周囲の地盤から隔絶することで、生物・環境対策については有効な手段を講じることが可能となる。ただし、石室がむき出しになるので耐震性の問題がある。また困難な強化・修理作業を壁画の乾燥に対応して速やかに行わねばならず、狭小な石室内で作業するために、修理者へのきわめて大きな負担が予想される。

4. 対策の実施による影響

(1) 壁画古墳の保存における基本的な考え方

- ・ 保存施設を作った空間は墳丘が一部解体されることとなるが、壁画と石室は現地保存されることとなり、全体としては古墳の保存修復の範疇と見ることが可能と思われる。なお、墳丘の解体に際しては、その範囲を最小限に抑えけるとともに、綿密な発掘調査を行ったうえで、土層の剥ぎ取り、場合によっては墳丘土のブロック状切り取りなどの措置を行う必要がある。また、墳丘を復元するにあたっては、発掘調査の知見に基づいた工法で行う必要がある。

(2) 景観

- ・ 石室を覆い尽くす規模の施設と、環境制御のための外部施設が必要となる。これらの保存施設の設置によって景観は変化する。

(3) 公開の可能性

- ・ 可能ではあるが狭小な空間なので公開は限定的なものとなる。

【総合評価】

周囲の地盤から隔絶し、空調した保存施設に石室を収めることで石室内の環境制御が可能となり、壁画保存には有効な方法と考えられる。ただし反力をとる壁を作る際に墳丘を大きく削らねばならない点と、石室がむき出しになって、耐震性の格段の悪化が避けられないため、将来起こりうる大地震による危険性が大きいという問題がある。また乾燥に伴って必要とされる保存修復作業についても、狭小な石室内で行わなければならないので課題が残る。

第4案 石室を取り出し修理

1. 概要

石室ごと壁画を古墳より取り出し、適切な施設において保存処理を施し、将来的には壁画と石室を、カビが生えない温湿度に管理した現地に戻すことを念頭に置いた方法である。現状の大きな変更を伴うが、壁画の生物対策、環境制御、保存修復については有効であると考えられる。実現性について多岐にわたる技術的問題を充分検討する必要がある。

石室の取り出し方法については詳細な検討が必要であるが、現在想定されるところでは、版築層を出来る限り保存できるような方法で墳丘土の石室周辺部分を除去した後、天井部分の亀裂などについて解体前の十分な調査を行い、石材の強度を確認した後、適切な方法で石材の取り出しを行う。

工法は下記のような条件の下で行う。

- ・基本方針 石室の取り外し・移動時に壁画面に接触しない。
墳丘・版築層をできるだけ損傷しないようにする。
- ・石材の亀裂等 天井石材等に発生している亀裂等は現状のままで分離等はせず、かつ取り上げ時に亀裂の拡大やズレを生じさせないようにする。
- ・石室の移動・設置 天井石や壁石の壁体の一部に無理な力がかからないよう、持ち上げた状態で壁画面を上にする。
- ・安全策 石材に直接ビス等をはめ込む必要がある場合は、外から見えない部分に最小限の大きさの穴を開けて埋め込む。
- ・工期 気温が最も低い冬期（1月から2月頃）に実施。
- ・石材の湿度管理 石材が乾燥すると壁体の漆喰が剥落する危険があり、かつ石材の亀裂が大きくなり強度のバランスを崩すことも考えられるので、現状の湿度環境をできるだけ保ちながら作業する。

実際の作業では一例として次のような工程が考えられる。

- ① 壁画漆喰の剥落防止処置
- ② 石材間にまたがる漆喰部分の取り外しと石材目地止めの除去
- ③ 天井石の取り外し

基本的に保護材とコ型サポート器具を用いて、亀裂が動かないように固定した後、

重心のバランスを考慮しながら少し吊り上げて、石材下部に木製サポートを挿入し、先のコ型サポートと接続して一体構造として移動する。

④ 側壁の取り外し

側壁の壁石はL型サポート器具を用いて、石材の隙間に金具を挿入してわずかに吊り上げて移動した後、下部にサポート材を挿入して、天井石と同様にサポート器具を用いて吊り上げて移動する。

取り出した石材は、密封して脱酸素剤などをその中に入れてカビの発生を防ぎ、温湿度の制御された保管場所に置き、殺菌燻蒸処置を施した上で修復作業を行う。

2. 施設

(1) 設置にあたっての課題

- ・ 壁画の安全を確保しながら石室を取り出す具体的な方法について、詳細な検討が必要である。また修理中の保存管理も大きな課題となる。

(2) 施設の規模

- ・ 現在の保存施設は狭小なので、取り出し前に壁画養生のための作業施設と、当面、取り出し後の壁画修理施設が必要である。

【評価】

石室を取り出すにあたって、壁画の安全性確保が最大の課題となる。墳丘土を除去した後、石室が外気に触れる期間をできるだけ短くし、取り出した石材は直ちに修理施設に運んで処置をできるようにするなど、手順を前もって確立しておく必要がある。石室の取り出し前に壁画の保護処置のための作業施設と、取り出し後に壁画の保存修理を行う施設が、当面必要である。場合によっては取り出しのために現在の保存施設も一部、取り壊す必要がある。

3. 壁画保存対策

(1) 生物対策

① カビ発生の防止

- ・ 取り出し後には殺菌燻蒸剤による十分な殺菌ができて、その後も温湿度が制御された施設に置けるので、カビ発生の防止が可能である。

② 虫類侵入阻止

- ・ カビの場合と同様に、取り出し後には殺虫燻蒸剤による十分な殺菌ができて、その後も温湿度の制御された施設に置くことによって、防止が可能である。

(2) 劣化対策（強化・修理）

① 漆喰・壁画

- ・ 取り出し後には壁面を寝かせて処置できるので、壁体の強度処理及び顔料の剥落止めなど、必要な保存修復措置が安全かつ効果的に行える。特に粉状化した天井部分などの処置は格段に行いやすくなる。
- ・ 保存修復に先立つ精密な科学的事前調査が可能であるため、より効果的な修復材料、修復方法が考案できる。それらの選択幅についても、これまでのように高湿度環境下でないのもより広がる。

② 石室

- ・ 石材の亀裂等に対して構造的補強や、保存強化処置など全体的な劣化対策が可能となり、より完成度の高い修復処置ができる。また将来予想される大地震に対する対策も講じることが可能となる。

(3) 環境対策（石室内）

① 温度・湿度

- ・ 石室を温度・湿度制御のできる施設に収めることができる。ただし、石室の取り出し前後に環境の変化があるため、それに対する施設、設備等を含め対策が必要である。

【評価】

石室を取り出した後、温湿度制御した修理施設内において十分な壁画保存対策を採ることができる。解体作業中の壁画の環境や保護処置の方法については、さらに詳しい検討が必要である。

4. 対策の実施による影響

(1) 壁画古墳の保存における基本的な考え方

- 古墳壁画の修理は現地で行うことが原則であるが、高松塚古墳では現地で壁画の修理を行うことは極めて困難であり、かつ修理の緊急性が高いため、やむを得ず現地から石室を取り外して修復を行うこととなる。石室を取り出す際に墳丘が一部解体されることとなるが、石室の保存環境を整える事ができた上で修理後の壁画を原位置に戻し、墳丘の復元を行う可能性があることを念頭におくならば、古墳の保存修理の範疇とみることが可能と思われる。なお、墳丘の解体に際しては、その範囲を最小限に抑えるとともに、綿密な発掘調査を行ったうえで、土層の剥ぎ取り、場合によっては墳丘のブロック状切り取りなどの措置を行う必要がある。また、墳丘を復元するにあたっては、発掘調査の知見に基づいた工法で行う必要がある。

(2) 景観

- 石室を取り出した後に、石室を原位置に復することを前提とした墳丘の仮整備をする。石室を原位置に復した際は、発掘調査の知見に基づいた墳丘の復元を行う。

(3) 公開の可能性

- 壁画・石室の修復完了後、原位置に復するまでの間、環境を整えた施設によって公開することは可能。また、壁画・石室を原位置に復した後については、公開方法について検討が必要となる。

【総合評価】

壁画そのものの保存環境と修復作業のための環境の両者を整えることができ、生物被害の抑止、壁画の修理など保存対策については大きな成果が期待できる。また石材を個々に処置できるので、将来起こりうる地震に対する安全も確保できる。ただし実現に先だっては、石室の取り出し方法、石材の輸送方法、修理施設等、さらに詳しく検討しなければならない課題も多い。将来的には石室を現地に復帰できる可能性が高い方法といえる。

第5案 壁面を取り外し、保存施設で管理

1. 概要

石室内の壁画を漆喰層ごと下の凝灰岩からはがし、新たに裏打ちをして空調設備の整った保存施設で管理する方法である。壁画は過去に絵画層の浮き上がった箇所などを合成樹脂で剥落止め処置しているため、凝灰岩への接着の度合いが一律ではなく、各面ごとの詳細な状況観察と絵のない部分で試験的な剥離作業を行いながら、それぞれの状態に応じた形で少しずつ分割して（おそらく最大で掌大程度）取り外していく必要があると考えられる。取り外した壁画はすぐに裏打ちして乾燥しないように密封し、低温で保管しなければならないので、そのための作業場所と施設が必要となる。また現在の石室内環境はカビの繁茂や殺菌処置で、長時間の作業を行うにはきわめて不適切な状況であるため、作業者のために新たな換気設備等を整えることや、人的にも十分な技術を持った修理技術者をそろえて、いくつかのグループが交代で作業できるような事前の準備が必要である。

2. 施設

（1）設置にあたっての課題

- ・ 壁画取り外しのために、現在の保存施設の躯体をそのまま使用できるのであれば、工事による石室への影響はないが、壁画の保存処置を行うに当たって作業スペースが無く、長時間の作業を行うには十分な換気もとれないなど作業環境が著しく悪い。また取り外し作業には長い時間がかかるので、石室前面の保存施設を新たにしっかりとした大きなものに改築する必要がある。
- ・ 取り外した壁画を修理・保存する施設も必要となる。

（2）施設の規模

- ・ 壁面の取り外し、及び壁画を修理・保存するための施設が必要。

【評価】

作業スペースを確保するために、石室全面の保存施設を新たに大きなものにすることが必要である。取り外し作業には長い期間がかかるので、半恒久的な施設でなければならず、このための工事期間が必要となり、早急な着手は難しい。

3. 壁画保存対策

(1) 生物対策

① カビ発生の防止

- ・ 現状では完全な殺菌処置は不可能であり、仮に最も早いスケジュールとして、2週間ごとに15cm四方の大きさを壁画を取り外して行ったとしても、壁画のある主要部分だけで、取り外しに10年近い歳月を必要とすることになり、現在の生物被害の進行状況を考えると、その間に壁画は取り返しのつかない状況になってしまふと考えられる。
- ・ カビの発生を防ぐために、石室内温度を下げて、温度むらによる壁面での結露の発生や、やがては低温に適したカビが新たに生育して繁茂するなどの危険が考えられ、中の作業者にとっても温度が低すぎて好ましい作業環境とはいえない。
- ・ 石室内の湿度を下げて乾燥化させる方法も考えうるが、取り外しの作業が終了する前に、乾燥による漆喰の剥落の恐れがあり、周囲から水が供給される状況では、水分が蒸発するときに壁面に析出する塩類で絵画が剥離する危険が大きい。

② 虫類侵入阻止

- ・ 石室内への虫は、漆喰の裏側に隠れた隙間などから入ってきているものと考えられ、これらを完全に密閉することは漆喰層を傷める恐れがあり、小さな虫の通る隙間まで完全にふさぐことはきわめて難しく、取り外し作業の期間、虫類の侵入を完全に阻止することはできないと考えられる。

(2) 劣化対策（強化・修理）

① 漆喰・壁画

- ・ 漆喰層の凝灰岩への接着の度合いが一樣でないために、壁画の取り外しを大きな面積で行うことができず、一つの連続した図様を小片に分割して後からつなぎ合わさなければならない。取り外す際には小片の端が土粒化して欠失することが予測され、このため線のつながりなど、重要な絵画性が大きく損なわれる恐れがある。
- ・ 壁画は、表層剥離、亀裂、粉状化、漆喰層の中空化といった損傷が同一箇所複合的に生じており、キトラ古墳壁画に比べて著しく保存状態が悪い（写真1～4）。小面積に陥没が何カ所も生じているところでは、取り外す際に陥没に沿って漆喰に損傷が生じる危険性が高く、また数センチ大、数ミリ大の破片の集合となることも考えられ、その場合は取り外し後の再接合はきわめて困難で、たとえ接合しても絵画性が損なわれる恐れが大きい（写真5）。

- ・ 過去に使用した合成樹脂のための溶剤（トリクレン）が、規制により使用が難しいので、強化に他の溶剤・樹脂を用いなければならない。そのため既に処置された樹脂との相性と、高湿度下という環境を考えると材料の選択が難しい。
- ・ 天井部分に関しては上向きの作業であり、取り外しのための強化用の材料を浸透させることは非常に難しい。さらに、この作業には非常に高い技術と長期間の作業が必要となる。また、いくつかのグループが交代で作業できるように、十分な技術を持った修理技術者をそろえなければならない。事前に訓練期間を設けるとしても非常に困難な作業となる。

② 石室

- ・ 壁画を取り外しても石室は残るが、墳丘の上部や周囲からも雨水が供給されるような環境では、石室を構成する凝灰岩が安定的に保存されるとはいえない。
- ・ 現状では将来起こりうる大地震による危険に対する対策ができない。

（３）環境対策（石室内）

① 温度・湿度

- ・ 取り外し後は温湿度環境の整った保存施設に壁画をおけるが、取り外しが終了するまでの長い年月の間、現在と同様、石室入口面からだけでの環境制御では、石室内の温度・湿度を制御することは不可能である。

② 土中の水分

- ・ 取り外しが終了するまでの長い年月の間、現在と同様に墳丘の上や周囲から雨水が浸入する。

【評価】

壁面の取り外し作業に長い年月かかると推定されるので、その間のカビによる被害等を考慮すると選択できない。また現状ですでに亀裂、剥離、粉状化が著しい部分は、亀裂に沿って細かく取り外していくしかなく、取り外し後の再接合はきわめて困難で、たとえ接合しても絵画性が大きく損なわれる。

4. 対策の実施による影響

(1) 壁画古墳の保存における基本的な考え方

- ・ 古墳壁画の修理は現地で行うことが原則であるが、高松塚古墳では現地で壁画の修理を行うことは極めて困難であり、かつ修理の緊急性が高いため、やむを得ず壁画を現地から取り外して修理を行うこととなる。なお、壁画を元に戻す可能性があることを念頭におくならば、古墳の保存修復の範疇とみることが可能と思われる。

(2) 景観

- ・ 新しく建設が必要な修理施設等によって一時的に景観が変化する。

(3) 壁画の公開

- ・ 取り外すことができたならば、修復後は保存施設で公開が可能である。

【総合評価】

壁画保存対策としては有効な方法であるが、現在、剥ぎ取り保存作業を実施中のキトラ古墳壁画と比べ、高松塚古墳壁画は漆喰層を含む壁画全体の脆弱化・劣化が著しく、この方法の採用は実際上困難である。漆喰層の凝灰岩への接着の度合いが一樣でないために、壁画の取り外しを大きな面積で行うことができず、一つの連続した図様を小片に分割して後からつなぎ合わさなければならない。特に亀裂、剥離、粉状化が著しい部分は、亀裂に沿って細かく取り外していくしかなく、取り外し後の再接合はきわめて困難で、たとえ接合しても絵画性が大きく損なわれる。また、壁面の取り外し作業に長い年月がかかると推定されるので、その間のカビによる被害等のおそれもあり、現実的ではない。



写真1. 高松塚古墳壁画の表面状態（遠景）

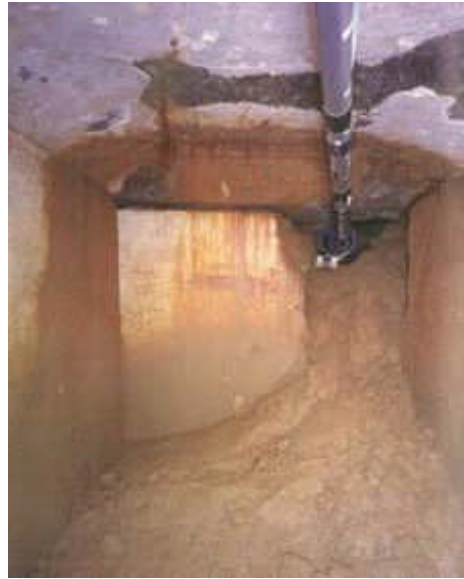


写真2. キトラ古墳壁画の表面状態（遠景）



写真3. 高松塚古墳壁画の表面状態（拡大）

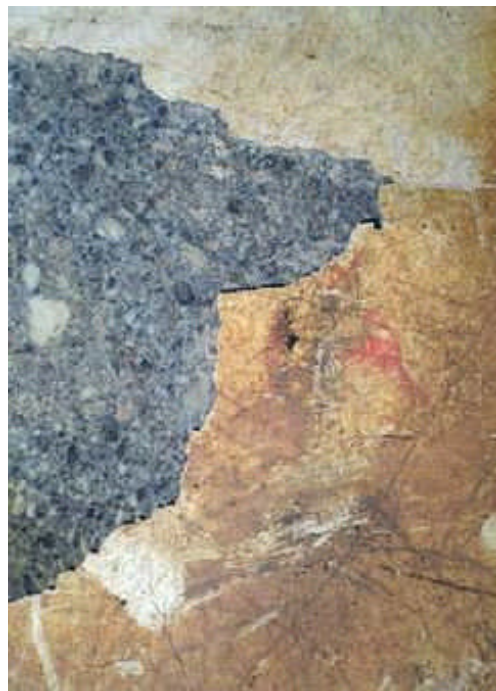


写真4. キトラ古墳壁画の表面状態（拡大）



写真 5．高松塚古墳壁画　東壁女子群像　北寄人物像顔貌拡大（斜光撮影）
（昭和 50 年撮影）

約 5 cm 大の顔貌部分に漆喰層内部の中空化による小亀裂、小陥没が多数見られる。漆喰の表面には粉状剥落とみられる跡の層が薄く剥離したもの、厚く面の状態で剥落した箇所等、多様な損傷が見受けられる。絵具は表層が遺存している部分に残る。