

高松塚古墳における当面の生物対策について

「高松塚古墳壁画の現状」で述べたように、壁画の劣化、特に生物による被害を抑えるために早急に抜本的な対策を施す必要があると考えられ、緊急対策として、墳丘上面から侵入する雨水を遮断するため、墳丘の植生を切って遮水シートをかけることが行われた。その後の観測結果から、墳丘上面からの雨水の侵入が止まり遮水シートの効果が現れていることが明らかになった。墳丘東側で季節的な土壌含水率の増減が依然として見られたが、これについてはその後の発掘調査で、古墳の北側に透水性の低い灰白色粘土地山があり、この粘土層に沿って雨水が南方に流下し、石室周辺に水分を供給していること、特に古墳の東半分は墳丘の崩壊土や腐植土のために水はけが悪く、このために北東部の土中含水率が高くなっていることがわかった。このようにこれまでの調査により、恒久対策への道筋が明らかになりつつあるが、恒久対策の実現までには、石材などの物性調査、工事が石室に及ぼす影響評価等、しばらくの時間を要すると考えられる。そこで、その間の被害の広がりを防ぐために暫定的な措置として、当面の生物対策が必要である。

カビを抑制するには、薬剤で殺菌する方法の他に、カビの生長を阻害する方法がある。すなわち、カビ（好気性のカビ）が成長するには、栄養、水分、酸素、温度が必要である。そこでこれら四つの要素のうちのどれかを制御して成長を阻害することが考えられる。それぞれの方法について実効性を検討した。

1. 薬剤

一般的に殺菌燻蒸剤として使用されている酸化エチレンが殺菌剤として考えられるが、石室の密閉度が不十分であることと水分があるためにガスの大半が壁面に吸着されて、ガス濃度が十分に上がらないと予想される。また壁面に吸着した残留ガスのために、処置後に石室への立ち入りができなくなる危険がある。その他の薬剤についても、外部委員からの指摘にあるように（参考資料 5）薬剤による壁画材料への影響が懸念され、殺菌しても、内部はすでに栄養分の多い環境になっているために、外部から虫が進入する環境では再度カビは発生する。

2. 栄養

壁面にはすでにこれまでのカビの痕やダニなどの死骸があり、それらがカビの栄養となっている。これらは漆喰層の表面にあるだけでなく、その内部や漆喰層の裏側にも入り込んでいて、完全に除去することはできない。特に、壁画の描かれている箇所は絵具層を傷つける恐れがあるので、現状ではクリーニングはほとんど不可能である。

3. 水分

取り合い部や前室 A の部分の湿度を下げ、調湿空気を内部に導入して、内部から乾燥させることが考えられる。乾燥させることにより壁面、特に天井面の漆喰層が剥離する恐れが大きい。また外部から水分が供給されている現状では、壁面から水分が蒸発するとき起きる塩類の析出により、絵具層が剥落する恐れがある。ただし結露防止のための水分調整は必要である。

4. 酸素

石室内に窒素ガスを送り込んで、酸素濃度を下げ、ダニやカビの発生を低減する。この場合、酸素濃度を 0.1% 未満に下げなければ、カビの発生を抑える効果は少ない。この方法では石室の気密性が問題となるが、できるだけ隙間を埋めた後で測定したところ、それでも石室内の隙間の総面積は 600 mm² と大きいことが分かった（参考資料 12）。漆喰層が隙間を覆うよ

うに塗られている箇所もあるので、これ以上に隙間を小さくすることは難しい。一定の濃度を維持するためには、常時、ガスを石室内に送り込む必要があり、風による壁画の乾燥が懸念される。また作業者が石室内に立ち込んだ後は、毎回、通常の酸素濃度から、0.1%未満の濃度に低下させることになる。その際にはガスをさらに多量に流入させることが必要であり、この時の壁面への影響も心配される。なお炭酸ガスについては、高濃度の炭酸ガスが水と反応して炭酸を生じ、壁面に影響を与える恐れがあると共に、作業者への影響もある。

5. 温度

温度を下げることにより、ダニの発生、カビの発生を低減させることができる。低温にしても、全くカビが発生しなくなるわけではなく、また土壌中には多種多様なカビが存在して、長期間おいておくと、低温で生育するカビがいつかは発生するようになるので、恒久的な対策とはなり得ないが、当面の生物対策としては、以上あげた方法の中ではもっとも実現可能性があると考えられる。なお温度を下げるに当たっては、後に述べるように結露防止の対策をとらなければならない。

5 - 1 . 盗掘口から石室内を冷却する (参考資料 1 3)

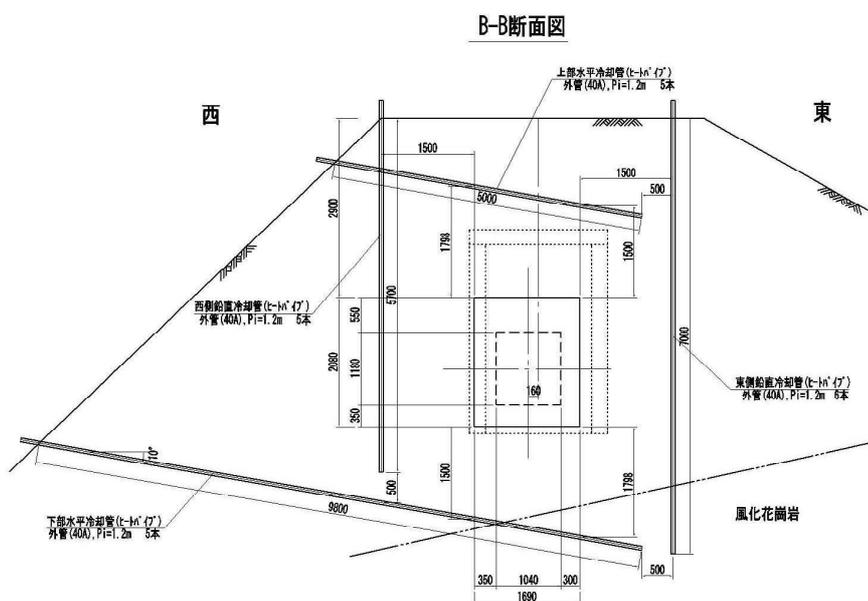
温度を下げるためには、石室内にかなり強い風速で空気を循環させる必要があり、この風が漆喰面に影響を与えるため、不適當であることが分かった。

5 - 2 . 取合部を冷却することにより石室を冷却する (参考資料 1 4)

この場合は、石室に温度勾配が発生して、天井や壁面に結露が発生する。また大きな温度低下が望めないことが分かった。

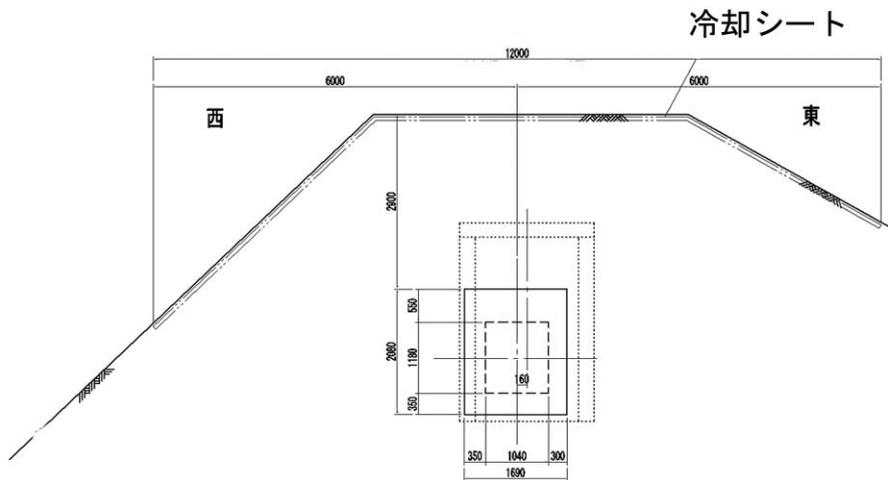
5 - 3 . 墳丘部に冷却管を設置し、石室の外部から冷却する (参考資料 1 5)

この方法では、10℃以下まで石室部分を均一に冷却することが可能である。ただし、冷却管により石室部分を均一に冷やすためには、石室周囲に直径5cmのヒートパイプ冷却管を34本程度埋設する必要がある。また、石室内の壁画での結露を防止するため、取合部にコールドポイントを設け、前室の温度制御を行うなどの対策を講ずる。



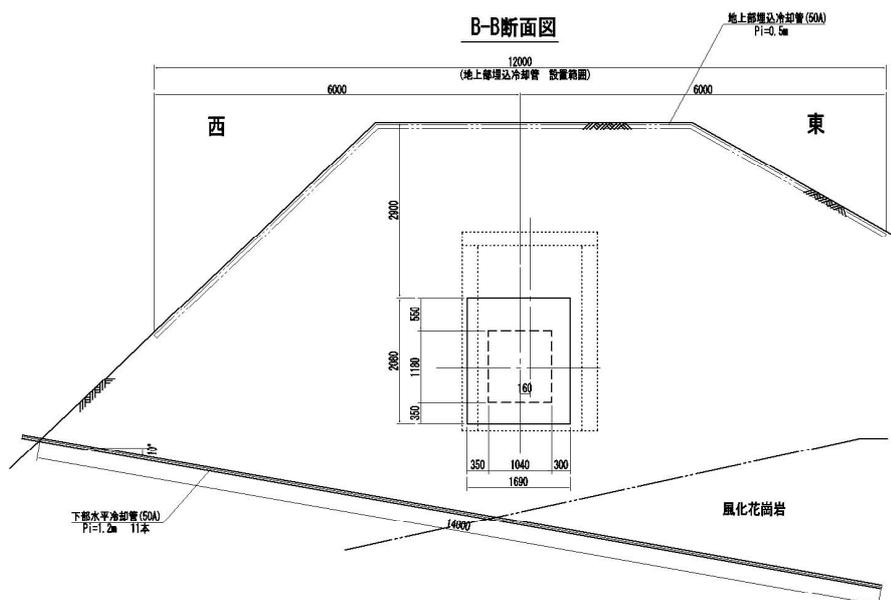
5 - 4 . 墳丘部に冷却シートを設置し、石室の外部から冷却する（参考資料16）

この方法では、時間をかければ石室部分の温度を18℃以下まで下げることができるが、生物被害を抑制するのに最低限必要な15℃以下まで下げることは難しい。



5 - 5 . 墳丘部表層部と石室の下部に冷却管を設置し、石室の外部から冷却する（参考資料17）

この方法では、10℃以下まで石室部分を均一に冷却することが可能である。ただし、墳丘表層部の温度は、外気変動の影響を受けて変化するため、年間5℃程度の温度変化が予想される。この場合も、南北方向の温度を均一にするために、前室部分に冷却管を設置するなどの工事が必要になると考えられる。また、現在は、墳丘側部には、版築部分の上に土嚢が置かれている状況なので、土嚢を取り除いた後に、冷却管を設置し、土で埋め戻し、その上に断熱材を設置し、さらに土嚢を設置する等の工程が考えられる。また、石室内の壁画での結露を防止するため、取合部にコールドポイントを設け、前室の温度制御を行うなどの対策を講ずる。



(石室内壁面の結露対策)

石室内壁面での結露は、壁面の温度で決まる飽和水蒸気圧より、周囲の水蒸気圧が高くなった場合に生ずる。すなわち結露は、壁面の温度が周囲温度より低くなった場合に生ずるので、結露を防止するためには、石室内より温度の低い部分(コールドポイント)を取合部に設置することが有効である。また、点検のために石室内に入るために盗掘口を開けた際にも、温度の高い空気が石室内に入らない様、前室部分の温度制御も行い、壁面での結露が生じない対策を講ずることが必要である。

(まとめ)

恒久対策の実現までには、しばらくの時間を要すると考えられる。その間のカビの発生を抑制する暫定的な措置として、薬剤で殺菌する方法の他に、栄養、水分、酸素、温度を制御する方法について、それぞれの実効性を検討した。その結果、温度を下げるのが最も実現性が高いと考えられた。

生物の専門家からは、石室内の温度を少なくとも15℃(できれば10℃)以下まで下げれば、カビやダニの発生を短期的には有効に低減できると提案されている。今回検討した結果では、石室内の温度を均一に、15℃以下まで下げることができるのは、墳丘部に冷却管を設置し、石室の外部から冷却する場合(5-3および5-5)であり、そのうち、墳丘部への冷却管の埋設本数を少なく抑えることができる5-5の方法が、当面の対策としては望ましいと考えられる。実施に当たっては、石室や周辺環境の十分なモニタリングを行い、その結果に応じて必要であれば、墳丘北側からの水を防ぐなどの方策を柔軟にとっていけるようにすべきである。

なお本方法について留意すべきこととして、次の点がある。低温にしても、カビの生育速度が遅くなるだけでカビを死滅させるわけではなく、やがては低温に適したカビが石室内で、新たに生育して繁茂するなどの危険が考えられ、この方法は恒久対策とはなりえない。