

〔報文〕高松塚古墳発掘/石室解体作業に伴う取合部・断熱覆屋 使用木材等の防カビ対策：DDAC の検討と施工

木川 りか・間瀬 創・高妻 洋成*・降幡 順子*・肥塚 隆保*

1. はじめに

高松塚古墳の壁画を微生物などの被害から保護し修復するため、2005年5月、「国宝高松塚壁画恒久対策検討会」において石室を解体することが決定された。これを受け、2006年10月より発掘作業が、また2007年4月より石室解体、石の取り上げ作業が開始された。石室内壁画の剥落を防ぐためには、これらの作業を通じて継続的に石室環境を相対湿度90%以上に保つ必要があり、また石室のカビの発育を遅くするために、石室内を約10℃に保つよう冷却が行われていた。発掘・解体作業ともに高湿度・低温の断熱覆屋（写真1）のなかでの、かつて経験したことのない条件での作業となり、非常に困難な作業となった。またその一方で、壁画への影響を考慮した結果維持せざるを得なかった高湿度条件は、カビなどの微生物にとっても非常に生育に適した環境である。作業現場のカビなどによる汚染・ひいては壁画への感染を防ぐために、作業現場の防カビ対策はきわめて重要であった。とくに、覆屋や取合部では、木材（土止めの板や構造材の材木、壁材としての合板）や土嚢が使用される予定であったため、このようなカビの生えるおそれのある材料については、現場に適した方法で事前に防カビ処置を行う必要があった。その際の防カビ対策として、今回、DDAC（ジデシルジメチルアンモニウムクロライド）を用いたので、その効果と施工例、使用上の注意などについて報告する。

2. 防カビ剤の選択

木材や土嚢などの防カビ・防腐剤として、いくつか薬剤の候補が考えられたが、今回は以下の観点から薬剤を選択した。（1）一度施工すれば、数ヶ月から1年くらいは十分な防カビ効果が期待できること、（2）発掘など、長時間の作業が行われる環境であるため、臭いや有害な揮発性ガスがでないこと、（3）作業中に作業者が薬剤塗布面に接触したとしても強い毒性がないこと。以上の観点から、サラヤバイオケミカル研究所の古田太郎博士にご相談した結果、DDAC（ジデシルジメチルアンモニウムクロライド、CAS No. 7173-51-5）を使用薬剤として選択した。これは、アルキルアンモニウム化合物（AAC）のグループの抗菌剤のひとつであり、木材腐朽防止効果とともにシロアリの加害防止効果も報告されている¹⁾。臭気はほとんどなく、低濃度では除菌を兼ねた洗浄用の洗剤としても利用されている。しかし、皮膚や目に接触すると刺激性があるため、とくに原液を扱う際には手袋やゴーグルなどの保護具を用いて扱う必要がある。

希釈した薬剤を塗布して乾かした後は、発掘・解体現場では手袋、作業用無塵衣などを着用して作業しているため、直接薬剤が皮膚に大量についたり、目に入ったりしない限り、大きな問題はないと考えられる。

ただし、金属腐食性があるため、金属鋳物を含む石材や、覆屋のH鋼などには接触させないように、注意して施工する必要がある。

*奈良文化財研究所



写真1 高松塚古墳発掘・石室解体のための断熱覆屋
外観および内部（いずれも写真提供：文化庁）

3. 防カビ効果の簡易試験

DDACのサンプル（カチオンDDC-50（三洋化成工業（株））（主成分DDAC約50%，エタノール約10%，水約40%）を水道水で5倍希釈して，約10%のDDACの溶液を作製し，スギ材（約10×5×10cm），ヒノキ材（約5×5×10cm）にハケ塗りして乾かした。この後，水を張ったガラス容器のめざら上に静置し，室温で放置して観察した（写真2）。

その結果，薬剤処理していないスギ材には，2週間後にすでにカビが発生した（写真3）が，薬剤処理しているスギ材には目視ではカビは観察されなかった。約3ヶ月後には，薬剤処理をしていないスギ材にはかなり顕著にカビが発生していたが，薬剤処理しているスギ材には，目視でカビは観察されなかった（写真4）。ヒノキ材については，薬剤処理したもの，しないもののいずれにも目視でカビは観察されなかった（写真5）。

しかし，約1年後，および1年2ヵ月後に観察した際は，DDAC処理したスギ材にも小口面を中心に若干カビが発生していた（写真6）。ヒノキ材では，無処理，処理のものどちらにも，ごくわずかにカビが肉眼で観察されたが，薬剤処理したヒノキ片のほうがより軽微であった（写真7）。

このようなことから，以上の条件においては，1回の処理で数ヶ月の防カビ効果が期待できるが，相対湿度が常に100%RHに及ぶような高湿度環境に1年以上おかれるような場合には，数ヶ月か半年を目安に薬剤の再塗布が必要である場合も考えられる。



写真2 簡易試験方法

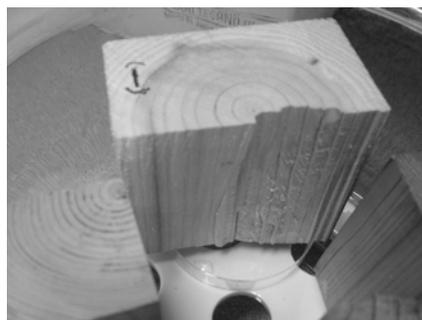


写真3 2週間後の薬剤を塗布していないスギ材
（カビが生え始めている）

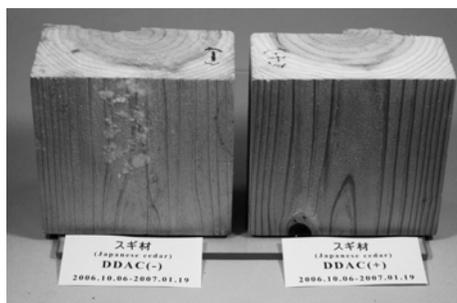


写真4 約3ヵ月後のスギ材
左：薬剤なし 右：DDAC塗布



写真5 約3ヵ月後のヒノキ材
左：薬剤なし 右：DDAC塗布



写真6 約1年2ヶ月後のスギ材
左：薬剤なし 右：DDAC塗布



写真7 約1年2ヶ月後のヒノキ材
左：薬剤なし 右：DDAC塗布

4. 部材・覆屋などの防カビ処理の実際と効果

2006年10月23日、奈良文化財研究所にて、サラヤバイオケミカル研究所の古田太郎博士の現地指導のもと、高松塚古墳取り合い部使用部材の防カビ処理を行った。使用薬剤は、DDAC（ジデシルジメチルアンモニウムクロライド、商品名：カチオン2DB-800E（日本油脂）（主成分DDAC約80％、エタノール約10％、水分約10％））で、原液を水道水でDDAC約5％になるように希釈して使用した。なお、簡易試験ではDDAC約10％で使用したが、濃度が高いと溶液に粘性がでてべたつき、扱いにくいこと、また文献¹⁾では、これよりも低い濃度で十分に木材腐朽菌に効果があるという結果が報告されていたことから、今回はDDAC約5％で使用することとした。

取合部で使用予定のスギ材、ヒノキ材の角材および板は、DDAC約5％薬剤液をスプレーで噴霧するかハケ塗りで処理した（写真8）。断熱材（スタイロフォーム）は、ハケ塗りで処理した。土嚢袋（ナイロン製）は、DDAC約5％薬剤液に浸漬して天日干しを行い、土嚢に使用する山砂には、薬剤液を湿る程度に混ぜ込み、よく攪拌した。

これらの部材や土嚢は、2006年11月2日に取合部に仮設庇を設置する工事にて現地で使用されたが、2007年2月16日の断熱覆屋のなかで取合部の仮設庇が撤去されるまで、とくにカビの発生もなく経過した。

2007年1月に石室周囲の環境をおよそ90%RH, 10°Cに保つための断熱覆屋(写真1)が完成し、その内部の土止めの板や、壁材の合板などについても、DDAC約5%の溶液の塗布を行い防カビ処置を行った。その結果、2007年6月26日にすべての壁画面を含む石の解体・搬出が終了し、また2007年8月21日に床石の搬出が終わるまで、とくにこれらの木質系の材料にカビが発生することもなく工程を終了することができた。



写真8 部材の薬剤処理

5. DDAC使用に際しての留意点

DDACは、広く消毒に用いられている塩化ベンザルコニウムなどのアルキルアンモニウム塩と同じグループの薬剤であるが、塩化ベンザルコニウムと同様、鉄などの金属に対して腐食性がある。このため、H鋼などの金属には液がかかたりしないように、あるいは処理した部材が直接金属部に接触しないように注意する必要がある。また、石材やコンクリートなど、金属鉱物を含む材料に液がかかると、液がかかった部分が着色する場合がある。実際に、今回の処理で、コンクリートに薬剤液がこぼれた場所については褐色に着色する場合があった(写真9)。このため、使用に際しては、古墳の石材に薬剤が接触しないように注意が必要であった。

また、皮膚や目に刺激性があるので、特に原液をとり扱う場合には、手袋、ゴーグルなどの保護具が必要である。また、薄めた溶液(今回はDDAC約5%で使用)を塗布したりする際にも、手袋、ゴーグルなどの保護具の着用が望ましい。また、今回使用した薬剤の原液については、約10%のエタノールを含有するため、原液の取り扱いに際しては引火性に対する注意も必要である。



写真9 DDACによるコンクリートの着色

6. まとめ

本稿では、高湿度の古墳環境における作業で、あくまでも一時的に使用される木質系の部材等の防カビを目的としてDDACを使用した結果を報告した。この例は、周辺環境で使用する部材の短期間の防カビを目的としたものであり、直接文化財に使用する防カビ法として採用しているわけではないことをあらためて強調しておきたい。また、選択の基準については、今回は短期間の使用であるということと、常時その空間で作業が行われるという条件から、効果の強さや持続性よりも、作業者の健康安全の面から、低毒性で、臭気や有害な揮発性物質がでないことを第一義に考えた。したがって、防カビ剤としての効果の強さや、効果の持続性を第一に考えなくてはならない場合には、当然、防カビ剤の選択は変わってくる。特殊な事例における、文化財をとりまく作業環境での数ヶ月単位の防カビを目的とした一事例としてご理解いただければ幸いである。

謝辞

防カビのための薬剤の選択や、使用法につきましては、サラヤバイオケミカル研究所所長、日本防菌防黴学会理事、特別史跡キトラ古墳の保存・活用等に関する調査研究委員会作業部会委員の古田太郎博士に貴重なご助言・ご指導をいただきました。記して厚く御礼申し上げます。また、実際の作業に際しましては、飛鳥建設株式会社、奈良文化財研究所のスタッフの皆様に多大なご協力をいただきました。試料の準備では、松島朝秀氏にご協力をいただきました。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) Preston, A. F. and D. D. Nicholas: Efficacy of a Series of Alkylammonium Compounds against Wood Decay Fungi and Termites, Wood and Fiber, V. 14(1), 37-42.(1982)

キーワード：DDAC（ジデシルジメチルアンモニウムクロライド）（DDAC, 1-Decanaminium, N-decyl-N, N-dimethyl-, chloride）；防カビ（prevention of molds）；古墳（tumulus）

Application of DDAC (Biocide) for the Prevention of Molds on Wooden Panels and Timbers during Excavation and Relocation of the Stone Chamber of Takamatsuzuka Tumulus

Rika KIGAWA, Hajime MABUCHI, Yohsei KOHDZUMA*, Junko FURIHATA*
and Takayasu KOEZUKA*

Takamatsuzuka Tumulus was excavated in 1972 and is known for its famous mural paintings on the plaster walls inside the stone chamber. However, after the tumulus experienced several outbreaks and damage by microorganisms, difficulty has been recognized in keeping the paintings in high humidity. Relocation of the mural stones and an archaeological excavation were performed in parallel in 2007.

During the project, a tentative building was constructed in order to keep the relative humidity of the environment surrounding the stone chamber at about 90% to prevent exfoliation of the mural paintings. At the same time, the temperature was kept at about 10°C in order to slow down the growth of molds on the mural paintings.

But this high humidity was likely to encourage mold growth in the tentative building and an adjacent area in front of the stone chamber. So treatments with biocide, DDAC (1-Decanaminium, N-decyl- N, N-dimethyl-, chloride), to wooden panels, timbers, sand bags and so on, which would be used in the front space and the tentative building, were performed. The selection of the chemical was based on: (1) relative low toxicity to humans (2) little odor and little emission of toxic volatile chemicals from treated materials, and (3) expectation of the duration of the effects for at least several months.

Small tests on the effects of DDAC were performed. Wooden blocks, *sugi* (*Cryptomeria japonica*) and *hinoki* (*Chamaecyparis obtusa*), treated with/ without DDAC were placed in a glass jar of approximately 100% relative humidity at room temperature. After two weeks, mold growth was observed on an untreated block of *sugi*, but was not on a control block. After three months, there was no obvious signs of mold growth on DDAC-treated wooden blocks.

Approximately 5% of the DDAC solution was applied to the materials by brush painting or spraying; then they were dried. The DDAC-treated materials were placed under high humid conditions of the Takamatsuzuka site for about three to several months during the excavation and relocation of the stone chamber in 2007. During these periods, no obvious mold growth was observed, which suggests successful treatment by this method.

*National Research Institute for Cultural Properties, Nara