

# 〔報文〕 高松塚古墳石室内・取合部および養生等で 使用された樹脂等材料のかび抵抗性試験

木川 りか・佐野 千絵・高鳥 浩介\*・喜友名 朝彦\*<sup>2</sup>・杉山 純多\*<sup>3</sup>・  
安部 倫子・中右 恵理子・坪倉 早智子・早川 典子・  
川野邊 渉・石崎 武志

## 1. はじめに

高松塚古墳壁画の微生物による汚染や劣化には、さまざまな要因が関与していると考えられるが、古墳の石室や取合部などで過去に使用された樹脂等の材料と微生物との関係はひとつの重要な検討課題と考えられる。本報告では、高松塚古墳で、古墳発掘後の1972年以降に石室や取合部などで使用された樹脂等や、石室解体時の壁画の養生に使用された材料（現在入手可能なもの）について、かび抵抗性試験を行った結果を報告する。なお、この結果は高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会にて報告した<sup>1)</sup>。

## 2. 試料と方法

今回の試料とそれらの高松塚古墳における用途を表1に示す。

かび抵抗性試験はJISZ2911の「プラスチック製品の試験」に準じて行い、JISで規定された5株のかびの混合孢子液のほか、高松塚古墳から主に分離された8種のかびの孢子液を用いた。1mlあたりの孢子数が約 $10^6$ になるように調製した孢子液を試料に噴霧し、精製水を入れたデシケータ内に20–25℃にて静置し、およそ2週間ごとに試料表面のかび発育状態を肉眼および顕微鏡下で観察しながら、8週間保存した。

### 2-1. 対象とする樹脂等試料

- ・樹脂等試料は表1の9種類とした。同一試料につき3検体を試験に供した。
- ・樹脂等試料は、直径約6cmのガラスシャーレ内で固化させたものを使用した。

今回、試料とした樹脂等の概要は以下の通りである。いずれも現在入手できる製品を使用した。同一の商標名であっても、当時の製品と比較すると若干の組成の変更が知られているものもあるため<sup>2)</sup>、必ずしも当時の材料を厳密に再現したものになっていない可能性はあるが、主成分には大きな変更はないため、今回の試験では大まかな傾向をつかむことを目的とした。

＜昭和50年代の修理において石室内の漆喰、絵画の剥落止めに使用された樹脂＞

・パラロイドB72（アクリル樹脂、Rohm&Haas社）。当時はトリクレン溶媒で使用されていたが、現在はトリクレンがその毒性のために使用できなくなったため、キシレンに溶かして試料を調製した。パラロイドB72は、1970年代の製品と、現在の製品は形状や使用上の特性に差異があることが指摘されており、実際に新旧パラロイドB72の比較分析結果によると、古い製品では低分子量成分が相対的に多いなどの差異があることが報告されている<sup>2)</sup>。このため、当時の製品の状況を厳密に再現することはできないが、あくまでもここではメタクリル酸エステルを主成分とするアクリル共重合体の製品として、傾向を把握することを目的とした。

なお、昭和50年代に同様に壁画の剥落止めのために石室で使用されたという記録があるプラ

\*NPO 法人カビ相談センター

\*<sup>2</sup> (株) テクノスルガ・ラボ

\*<sup>3</sup> (株) テクノスルガ・ラボ 千葉分室

表 1 試験に用いた樹脂等試料について

使用時期および用途	材料
昭和50年代の修理時の石室内の絵画の剥落止めに使用	・パラロイドB72/ キシレン (アクリル樹脂)
平成13年 (2001年) 2月取合部の崩落止め工事の際、取合部で使用	・OH100 (テトラエトキシシラン)、 ・アラルダイトAER-2400/ ハードナーHY-837 (エポキシ樹脂)
平成13年 (2001年) 7月 取合部の防カビ処理の際、防カビ剤を擬土などに処理する際に使用	・パラロイドB72/ キシレン (アクリル樹脂)
平成13年 (2001年) 以降、石室内壁画部の殺菌のためにエタノールを噴霧した (壁面の剥落止めの樹脂へのエタノールの影響)	・パラロイドB72/ キシレン / 乾燥後90% vol. エタノール(10%水)を噴霧し乾燥させたもの (アクリル樹脂・エタノール噴霧)
平成15年 (2003年) 11月 取合部で使用	・ビフォロン (両親媒性ポリマー・ポリシロキサン)
平成19年 (2007年) の石室解体作業に伴い、絵画の表打ちなどに使用	・HPC100万/水 (セルロースエーテル)、 ・MC400cps/水 (セルロースエーテル)
<対照> 一般に日本画の剥落止め、表打ちなどに使用される天然材料 (解体前の石室では使用されていない)	・膠 (タンパク質)、 ・ふのり (多糖)

イマル AC55, プライマル AC55エマルジョンについては、現在では入手できなかったため、試験を行えなかった。

<平成13年 (2001年) 2月取合部の崩落止め工事の際、取合部で使用された材料>

・OH100 (テトラエトキシシラン, 旭化成ワッカーシリコン株式会社)。取合部に面した石室南側天井石, 閉塞石露出部分に散布または塗布された。

・アラルダイト AER-2400・ハードナーHY-837 5:2 (エポキシ樹脂, 旭化成ケミカルズ株式会社・硬化剤, ナガセテムテック株式会社)。崩落空洞部隙間埋め, 表面仕上げ, 側壁の擬土仕上げに使用された。擬土の場合は, 土とねりあわせて使用された。

なお, 2001年の取合部工事で版築壁の強化の目的でハケ塗りされた, サイトSX-R・サイトSX-B 3:1溶液 (シリケート) については, 現在入手できなかったため, 試験を行えなかった。

<平成13年7月 取合部の防カビ処理の際, 防カビ剤 (コートサイド123) を擬土などの上に塗布する際に使用>

・パラロイドB72 (アクリル樹脂, Rohm&Haas 社)。キシレン溶媒で使用。

<平成13年以降, 殺菌のために壁面にエタノールが噴霧された影響をみる目的で作成>

・パラロイドB72 (アクリル樹脂, Rohm&Haas 社) をキシレン溶媒で溶かして膜を作成し, このあと90%容量エタノール:10%容量水を噴霧したのち, 乾かして使用。

<平成15年（2003年）取合部で使用>

- ・ビフォロン（両親媒性ポリマー・ポリシロキサン，イムン研究所）

<平成19年（2007年）の解体作業に伴い，絵画の表打ちなどに使用>

・HPC（ハイドロキシプロピルセルロース，Aldrich社）平均分子量100万。解体による壁面の養生の際，側壁の絵画面を保護するレーヨン紙の表打ちの際に使用された。水に溶かし試料を調製。

・MC（メチルセルロース，Aldrich社）400cps。分子量の小さいMCは，石室解体時に天井面の漆喰絵画面の保護に使用された。

<（対照試料）一般に日本画の剥落止め，表打ちなどに使用される天然材料>

- ・膠（三千本）
- ・フノリ

これらは，解体前の石室内で使用されたことはない。

## 2-2. 試料の作成方法

洗って乾熱滅菌したガラス製シャーレ（ $\phi$ 60mm，高さ20mm）に，各材料の2 wt%溶液を6.5gずつスポイトでまんべんなく滴下し，ドラフト内で溶媒を十分に蒸発乾固させた。試料は実際に現場で使用する際に調製する方法に極力近い形で調製し，「接種区分」は同一試料につき3検体を用意した。このほか，カビを接種しない「非接種区分」と「通常環境の保管対照区分」にも各々3検体ずつを用意した。

（材料の調整方法についての注記）試験する材料に最初に付着していた微生物数のばらつきの影響を排除するためには，試験の前に検体の滅菌処理を行うほうが望ましいが，場合によっては滅菌処理により材料の物性が変化する懸念があり，また，今回の目的は，実際に現場で使用されている状態の試料でどの程度カビが発生するかについて，大まかな傾向をつかむことである。このため，今回の試験では，可能な限り清浄な状態で試料を作成したものの，厳密な意味での滅菌は行わず，現場で一般的に調製される方式で作成した材料を使用した。

また，今回の試験では，これらの樹脂等を乾熱滅菌したガラスシャーレに滴下し，乾燥，固化させたものを試料として使用した。したがって，現場で使用されたときの状況を必ずしも再現したものではない。場合によっては，現場の状況と近い条件で検討すると，異なる結果が得られる可能性もあることに留意する必要がある。例えば，樹脂等が高湿度環境で生乾きの状態である場合や，固化する際に熱を発生する場合，古墳という場所で周辺環境に豊富に存在する水分と相互作用する場合，周り的高湿度状態にある石などの材質と相互作用する場合などには，今回の結果よりもカビの生育が促進される可能性もある。

## 2-3. 使用菌株

JISZ2911かび抵抗性試験方法付属書1，プラスチック製品の試験に使用する菌株（5菌株）の単一胞子液を等量混合したもの（A），及び，以下8種類の高松塚古墳石室，もしくは取合部から分離された菌株（B～I）を各々単独で用いた。（株番号のTBTは，東京文化財研究所の保存菌株であることを示す。株番号のTは，（株）テクノスルガ・ラボで分離・同定した菌株であることを示す。）

A. *Aspergillus niger* NBRC 6341, *Penicillium pinophilum* IAM 7013, *Paecilomyces variotii* IAM 5001, *Trichoderma virens* NBRC 6355, *Chaetomium globosum* NBRC 6347の単一胞子液を等量混合したもの。

B. *Fusarium* sp. TBT - 4 (2002年10月青龍付近より)

C. *Fusarium* sp. TBT - 3 (2001年12月玄武後肢付近より)

D. *Penicillium paneum*<sup>3)</sup> TBT - 154(T5916-6-1)(2005年9月16日東壁女子群像下より)

E. *Penicillium* sp. TBT - 6 (2003年9月16日取合部擬土上より)

F. *Trichoderma* sp. TBT - 5 (2003年9月6日取合部擬土上より)

G. *Trichoderma* sp. TBT - 16 (T4519-9-7) (2004年5月19日東壁より)

H. *Acremonium* (sect. *Gliomastix*) sp. TBT - 105 (T6517-1-1) (2006年5月17日、西壁女子額付近より)

I. *Cylindrocarpon* sp. TBT - 1 (2001年12月玄武尾の下より)

## 2-4. 実施手順

試験菌をポテトデキストロス寒天培地で25℃, 8日間培養し, 得られた胞子をスルホこはく酸ジオクチルナトリウムを0.005%になるように添加した溶液に懸濁させ, 滅菌したガーゼでろ過した。この懸濁液を血球計数盤を用いて, 1 mlあたりの菌数が約 $10^6$ になるように調製し, 単一胞子懸濁液とした。「混合胞子懸濁液」を調整する場合は, 各単一胞子懸濁液を等量混合し, 「混合胞子懸濁液」とした。

JISZ2911で使用する5菌株は混合胞子液として, 8種類の高松塚古墳分離株は単一胞子液として試験に供した。各胞子液(9種類)を検体(結果のばらつきの程度をみるために, 同一種試料につき3検体)に噴霧し, 精製水を入れたデシケータ内に入れ, 連続空調運転(20~25℃)した室内で保存した。また, 対照として, かびを接種しない検体, デシケータ内に入れない検体についても以下のように保存した。

### 接種区分:

かびの「胞子懸濁液」を0.1 ml 噴霧後, 滅菌した精製水を入れた滅菌済みデシケータのなかで20~25℃で保存した。

### 非接種区分:

かびを接種せずに, 滅菌した精製水を入れた滅菌済みデシケータのなかで20~25℃で保存した。

### 通常環境の保管対照区分:

高湿度にしないとき, もととの試験片の状態を確認するための対照として, 実験室でそのまま室温保存した。

14, 24, 42及び56日間保存後の検体について, かび発育状況を肉眼及び顕微鏡下で観察し, 56日間保存後の検体については代表的なもの1枚の写真撮影を行った。

試料表面のかびの発生度は以下の5段階で表示した。

- : 肉眼および顕微鏡下でかびの発生は認められない。
- ± : 肉眼ではかびの発生が認められないが, 顕微鏡下では確認する。
- + : かびの発生が肉眼で認められ, 発生部分の面積は検体表面積の10%未満。
- ++ : かびの発生が肉眼で認められ, 発生部分の面積は検体表面積の10%以上, 30%未満。
- +++ : かびの発生が肉眼で認められ, 発生部分の面積は検体表面積の30%以上。

### 3. 結果と考察

結果を表2, 3に示した。また、試験8週間後の検体表面のかび発生状況の例を図1(口絵参照)に示した。

昭和50年代に壁面に実施された剥落止めの作業で使用された樹脂(現在入手できるものとしてパラロイドB72)を試験したところ、高湿度条件下では、JISZ2911プラスチックの試験を対象とする供試菌や高松塚古墳の主要なかびの分離株のいくつかが生育することがわかった(表2, 1))。これは、これまでの試験結果とも一致する<sup>4,5)</sup>。

また、平成13年(2001年)取合部の崩落止め工事に使用された樹脂のうち、現在入手可能なものについて、試験を行ったところ、崩落止め工事に用いられたエポキシ樹脂では、JISの試験菌、高松塚古墳の主要なかび分離株のいくつかが生育することがわかった(表2, 4))。OH100では、今回の試験ではかびの生育がみられなかった(表2, 3))が、平成13年当時の取合部では、この樹脂処理部にもかびが発生していたことから、実際の現場で水分を含む石の上に処置した場合では、結果が異なる可能性もある。

さらに、パラロイドB72を固化させたのち90%容量エタノール:10%容量水を噴霧し、再び乾燥させたものは、もとのパラロイドB72よりもさらにかびが発生しやすくなることが明らかとなった(表2, 2))。したがって、パラロイドB72が処置された場所をエタノールによって殺菌処理した場合には、よりかびが生育しやすい状態になった可能性も考えられる。この機構は明らかではないが、パラロイドB72の分子配位が変わり、なんらかの理由によりかびに利用しやすくなる可能性や、エタノールが樹脂にとりこまれ、低濃度で残留した場合に、かびがエタノールを資化(栄養源として利用)した可能性などが考えられる。実際に、高松塚古墳由来のかびの分離株のいくつかは低濃度のエタノールを資化することが示されており<sup>6)</sup>、後者の可能性が関与していることも考えられる。

なお、両親媒性樹脂のピフオロンは、これまでの試験<sup>4)</sup>では比較的にかびが生えにくい結果が得られており、実際にキトラ古墳の小前室の土にも現在使用されているが、今回の試験で、*Acremonium* (sect. *Gliomastix*) sp. など、かびの種類によっては、やや生育するものもあることが示された(表2, 5))。

平成19年(2007年)の石室解体の際に、側壁の壁面の養生で使用されたHPC(平均分子量100万)では、今回かびの生育がみられず、これまでの試験結果<sup>5)</sup>とも一致していた(表2, 6))。一方、天井面の養生で使用された低分子のMC(400cps)については、かなりのかびの生育が認められた(表2, 7))。これに対して、高分子のMC(4,000cps)については、以前の試験でかびが生育しにくいという結果が得られており<sup>5)</sup>、同様の化学組成であったとしても、かびの生えやすさは分子量にかなり依存すると考えられる。なお、石室解体時は、天井面を養生してのち、数日内(通常2, 3日内)にその天井石は解体され、修復施設に搬送されたため、実際にMC養生面にかびが発生するという事はなかった。

以上の結果に対して、高湿度の古墳の石室内で使用されたことはないが、一般的に日本画の剥落止め、表打ちなどに使用される天然材料の膠、ふのりなどではかびの生育が顕著にみられた(表2, 8), 表2, 9))。

天然材料の膠、ふのりは、非常にかびが生育しやすく、供試菌を噴霧していない場合においても、高湿度環境におかれた場合にかびが生育し(表3, 下段)、特にふのりの場合は、調製後にやや水分を含む状態にある数日間にかびが発生する場合もあった(表3, 上段)。この結果も、以前の結果<sup>5)</sup>とほぼ一致するものであった。



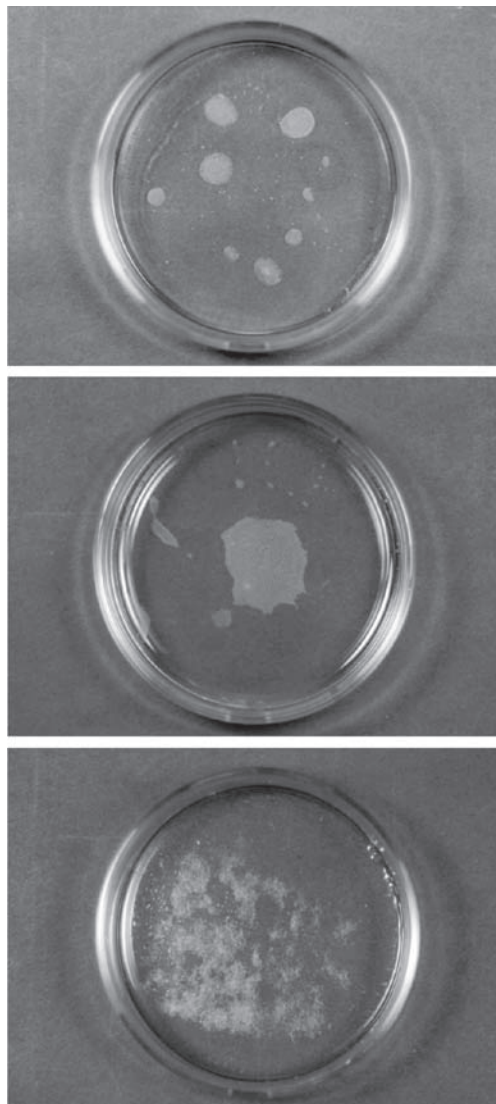


図1 8週間後の検体のかび発生状況の例

- (上) パラロイド B72・エタノール噴霧試料 (表2,2) に *Furarium* sp. (TBT-3) を噴霧
- (中) アラルダイト AER-2400試料 (表2,4) に *Furarium* sp. (TBT-4) を噴霧
- (下) 膠試料 (表2,8) に *Trichoderma* sp. (TBT-5) を噴霧

#### 4. まとめと今後の課題

高松塚古墳の石室内や取合部で以前使用された履歴のある材料や石室解体時の壁画の養生材などについて、高湿度環境下でのかびの生育を調査したところ、かびが生育するところがあった。これらのかびの発生の度合いは、膠やふのりなどの天然材料に比べると、全般的に低いものであった。しかし、今後、高松塚古墳に類似の高湿度環境で絵画の剥落止めや、隣接空間の工事などが必要となったときに、どのような材料を使用し、どのような方法で行うべきかが、非常に大きな課題となっている。

表2 高湿度環境下での樹脂等へのかびの生育度（かびを噴霧した場合）（その1）

検体	試験菌	試験表面のかび発育状態				
		14日後	24日後	42日後	56日後	
1) パラロイドB72 /キシレン	混合胞子懸濁液*	- ~ +	- ~ +	+	+	
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-4)	+	+	+	+	
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-3)	+	+	+	+	
	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-154)	-	-	-	- ~ +	
	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-6)	± ~ +	± ~ +	± ~ +	+	
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-5)	-	-	-	-	
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-16)	-	-	-	-	
	<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i> ) sp. (株番号: TBT-105)	+	+	+	+	
	<i>Cylindrocarpum</i> sp. (株番号: TBT-1)	-	-	-	-	
	混合胞子懸濁液*	+	+	+	+	
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-4)	+	+	++ ~ +++	+++ ~ ++++	
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-3)	+	+	++	++	
2) パラロイドB72 /キシレン/乾燥後 エタノールを噴霧し 乾燥させた物	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-154)	-	-	-	-	
	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-6)	- ~ +	- ~ +	- ~ +	- ~ +	
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-5)	- ~ +	± ~ +	+	+	
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-16)	+	+	+	+	
	<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i> ) sp. (株番号: TBT-105)	+	+	++	++	
	<i>Cylindrocarpum</i> sp. (株番号: TBT-1)	++	++	++	++	
	3) OH100	混合胞子懸濁液*	-	-	-	-
		<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-4)	-	-	-	-
		<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-3)	-	-	-	-
		<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-154)	-	-	-	-
		<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-6)	+	+	+	+
		<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-5)	± ~ +	± ~ +	+	+
<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-16)		-	-	-	-	
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i> ) sp. (株番号: TBT-105)		-	-	-	-	
<i>Cylindrocarpum</i> sp. (株番号: TBT-1)		-	-	-	-	
混合胞子懸濁液*		+	+	+	+	
<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-4)		+	+	++ ~ +++	+++ ~ ++++	
<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-3)		+	+	+	+	
4) アラルダイト AER2400	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-154)	-	-	-	-	
	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-6)	+	+	+	+	
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-5)	± ~ +	± ~ +	+	+	
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-16)	- ~ +	- ~ +	- ~ +	- ~ +	
	<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i> ) sp. (株番号: TBT-105)	++	++	++	++	
	<i>Cylindrocarpum</i> sp. (株番号: TBT-1)	++	++	++	++	

表2 高湿度環境下での樹脂等へのかびの生育度（かびを噴霧した場合）（その2）

検体	試験菌	試験表面のかびの生育状態			
		14日後	24日後	42日後	56日後
5) ビフオロン	混合胞子懸濁液*	- ~ +	- ~ +	- ~ +	- ~ +
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-4)	-	-	-	-
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-3)	+	+	+	+
	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-154)	-	-	-	-
	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-6)	-	-	-	-
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-5)	-	-	-	-
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-16)	-	-	-	-
	<i>Acremonium</i> (sect. <i>Glomastiz</i> ) sp. (株番号: TBT-105)	++	++	++	++
	<i>Cylindrocarpum</i> sp. (株番号: TBT-1)	-	-	-	-
	混合胞子懸濁液*	-	-	-	-
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-4)	-	-	-	-
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-3)	-	-	-	-
<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-154)	-	-	-	-	
<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-6)	-	-	-	-	
<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-5)	-	-	-	-	
<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-16)	-	-	-	-	
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Glomastiz</i> ) sp. (株番号: TBT-105)	-	-	-	-	
<i>Cylindrocarpum</i> sp. (株番号: TBT-1)	-	-	-	-	
混合胞子懸濁液*	-	-	-	-	
<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-4)	-	-	-	-	
<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-3)	-	-	-	-	
<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-154)	-	-	-	-	
<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-6)	-	-	-	-	
<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-5)	-	-	-	-	
<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-16)	-	-	-	-	
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Glomastiz</i> ) sp. (株番号: TBT-105)	-	-	-	-	
<i>Cylindrocarpum</i> sp. (株番号: TBT-1)	-	-	-	-	
6) HPC100万/水	混合胞子懸濁液*	-	-	-	-
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-4)	-	-	-	-
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-3)	-	-	-	-
	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-154)	-	-	-	-
	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-6)	-	-	-	-
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-5)	-	-	-	-
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-16)	-	-	-	-
	<i>Acremonium</i> (sect. <i>Glomastiz</i> ) sp. (株番号: TBT-105)	-	-	-	-
	<i>Cylindrocarpum</i> sp. (株番号: TBT-1)	-	-	-	-
	混合胞子懸濁液*	-	-	-	-
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-4)	-	-	-	-
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-3)	-	-	-	-
<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-154)	-	-	-	-	
<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-6)	-	-	-	-	
<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-5)	-	-	-	-	
<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-16)	-	-	-	-	
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Glomastiz</i> ) sp. (株番号: TBT-105)	-	-	-	-	
<i>Cylindrocarpum</i> sp. (株番号: TBT-1)	-	-	-	-	
7) MC400cps/水	混合胞子懸濁液*	++	++	++~+++	+++
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-4)	+++	+++	+++	+++
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-3)	+++	+++	+++	+++
	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-154)	+++	+++	+++	+++
	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-6)	+++	+++	+++	+++
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-5)	+++	+++	+++	+++
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-16)	+++	+++	+++	+++
	<i>Acremonium</i> (sect. <i>Glomastiz</i> ) sp. (株番号: TBT-105)	+++	+++	+++	+++
	<i>Cylindrocarpum</i> sp. (株番号: TBT-1)	+++	+++	+++	+++
	混合胞子懸濁液*	+++	+++	+++	+++
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-4)	+++	+++	+++	+++
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-3)	+++	+++	+++	+++
<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-154)	+++	+++	+++	+++	
<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-6)	+++	+++	+++	+++	
<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-5)	+++	+++	+++	+++	
<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-16)	+++	+++	+++	+++	
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Glomastiz</i> ) sp. (株番号: TBT-105)	+++	+++	+++	+++	
<i>Cylindrocarpum</i> sp. (株番号: TBT-1)	+++	+++	+++	+++	
8) 膠	混合胞子懸濁液*	+++	+++	+++	+++
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-4)	+++	+++	+++	+++
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-3)	+++	+++	+++	+++
	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-154)	+++	+++	+++	+++
	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-6)	+++	+++	+++	+++
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-5)	+++	+++	+++	+++
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-16)	+++	+++	+++	+++
	<i>Acremonium</i> (sect. <i>Glomastiz</i> ) sp. (株番号: TBT-105)	+++	+++	+++	+++
	<i>Cylindrocarpum</i> sp. (株番号: TBT-1)	+++	+++	+++	+++
	混合胞子懸濁液*	+++	+++	+++	+++
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-4)	+++	+++	+++	+++
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-3)	+++	+++	+++	+++
<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-154)	+++	+++	+++	+++	
<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-6)	+++	+++	+++	+++	
<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-5)	+++	+++	+++	+++	
<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-16)	+++	+++	+++	+++	
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Glomastiz</i> ) sp. (株番号: TBT-105)	+++	+++	+++	+++	
<i>Cylindrocarpum</i> sp. (株番号: TBT-1)	+++	+++	+++	+++	



表2 高湿度環境下での樹脂等へのかびの生育度（かびを噴霧した場合）（その3）

検体	試験菌	試料表面のかび発育状態			
		14日後	24日後	42日後	56日後
9) ふのり	混合孢子懸濁液*	+++	+++	+++	+++
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-4)	+++	+++	+++	+++
	<i>Fusarium</i> sp. (株番号: TBT-3)	+++	+++	+++	+++
	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-154)	+++	+++	+++	+++
	<i>Penicillium</i> sp. (株番号: TBT-6)	+++	+++	+++	+++
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-5)	+++	+++	+++	+++
	<i>Trichoderma</i> sp. (株番号: TBT-16)	+++	+++	+++	+++
	<i>Acromonium</i> (sect. <i>Glomastiz</i> ) sp. (株番号: TBT-105)	+++	+++	+++	+++
	<i>Cylindrocarpum</i> sp. (株番号: TBT-1)	+++	+++	+++	+++
	* <i>Aspergillus niger</i> : NBRC 6341, <i>Penicillium pinophilum</i> IAM 7013, <i>Puccinongess variolii</i> IAM 5001, <i>Trichoderma virans</i> NBRC 6355, <i>Chaetomium globosum</i> , NBRC 6347の単一孢子液を等量混合した				

- : 肉眼および顕微鏡下でかびの発生は認められない。  
 ± : 肉眼ではかびの発生が認められないが、顕微鏡下では確認する。  
 + : かびの発生が肉眼で認められ、発生部分の面積は検体表面積の10%未満。  
 ++ : かびの発生が肉眼で認められ、発生部分の面積は検体表面積の10%以上、30%未満。  
 +++ : かびの発生が肉眼で認められ、発生部分の面積は検体表面積の30%以上。

表3 樹脂等へのかびの生育度（かびを噴霧しない場合）

区分	検体	試料表面のかび発育状態			
		14日後	24日後	42日後	56日後
そのまま保存	1) パラロイド B72/キシレン	-	-	-	-
	2) パラロイド B72/キシレン / 乾燥後エタノールを噴霧し乾燥させた物	-	-	-	-
	3) 0H100	-	-	-	-
	4) アラルダイト AER2400	-	-	-	-
	5) ピフオロン	-	-	-	-
	6) HPC100万/水	-	-	-	-
	7) MC400cps/水	-	-	-	-
	8) 膠	-	-	-	-
	9) ふのり	+++	+++	+++	+++
	1) パラロイド B72/キシレン	-	-	-	-
精製水を入れたデンケーター内で保存	2) パラロイド B72/キシレン / 乾燥後エタノールを噴霧し乾燥させた物	-	-	-	-
	3) 0H100	-	-	-	-
	4) アラルダイト AER2400	-	-	-	-
	5) ピフオロン	-	-	-	-
	6) HPC100万/水	-	-	-	-
	7) MC400cps/水	-	-	-	-
	8) 膠	-	-	-	-
	9) ふのり	+++	+++	+++	+++

- : 肉眼および顕微鏡下でかびの発生は認められない。  
 ± : 肉眼ではかびの発生が認められないが、顕微鏡下では確認する。  
 + : かびの発生が肉眼で認められ、発生部分の面積は検体表面積の10%未満。  
 ++ : かびの発生が肉眼で認められ、発生部分の面積は検体表面積の10%以上、30%未満。  
 +++ : かびの発生が肉眼で認められ、発生部分の面積は検体表面積の30%以上。

## 謝辞

かび抵抗性試験に際しまして、(財)日本食品分析センターの河合充生氏、土屋禎氏に大変お世話になりました。試料の作成時には、豊田明美氏に多大なご協力をいただきました。記して感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会(第7回), 参考資料2, 平成21年3月12日, (2009) 文化庁
- 2) 柘植新, 園田直子: 新旧“Paraloid B-72”の比較分析, 「合成素材と博物館資料」, 園田直子編, 国立民族学博物館調査報告 36, 183-194 (2003)
- 3) An, K-D., Kiyuna, T., Kigawa, R., Sano, C., Miura, S. and J. Sugiyama: The identity of *Penicillium* sp. 1, a major contaminant of the stone chamber in the Takamatsuzuka and Kitora Tumuli in Japan, is *Penicillium paneum*, Antonie van Leeuwenhoek, 96, 579-592. (2009)
- 4) 木川りか, 早川典子, 山本記子, 川野邊渉, 佐野千絵, 青木繁夫: 遺跡等で使用する樹脂のカビへの抵抗性について, 保存科学, 44, 149-156 (2005)
- 5) 早川典子, 中右恵理子, 木川りか, 沖本明子, 川野邊渉: 絵画表面に用いる修復材料の基礎的研究 —壁画修復を中心に—, 文化財保存修復学会誌, 53, 1-19 (2008)
- 6) 木川りか, 佐野千絵, 喜友名朝彦, 立里臨, 杉山純多: 高松塚古墳・キトラ古墳石室内の微生物分離株のアルコール系殺菌剤資化性試験結果, 保存科学, 49, 231-238 (2010)

キーワード: 古墳(tumulus); 生物劣化 (biodeterioration); 樹脂 (synthetic resins); エタノール (ethanol); かび (molds); かび生育試験 (fungal growth test); 遺跡 (historic sites)

## Fungal Growth Tests of Materials Used in Takamatsuzuka Tumulus and for Protective Facing of the Mural Paintings in the Recent Relocation

Rika KIGAWA, Chie SANO, Kosuke TAKATORI<sup>\*</sup>, Tomohiko KIYUNA<sup>\*2</sup>, Junta SUGIYAMA<sup>\*3</sup>, Noriko ABE, Eriko NAKAU, Sachiko TSUBOKURA, Noriko HAYAKAWA, Wataru KAWANOBE and Takeshi ISHIZAKI

After Takamatsuzuka Tumulus was excavated in 1972, some materials such as synthetic resins were used for the consolidation of the mural paintings or for the renovation of the adjacent space. Also when the stone chamber was relocated in 2007 to protect the mural paintings from further biodeterioration, some materials for protective facing of the mural paintings had to be chosen for the purpose.

At extremely high humidity (approximately 100% RH) of the *in situ* condition of Takamatsuzuka Tumulus, it is very difficult to keep the site free from microorganisms. There is a possibility that materials used for conservation or renovation in such a condition might be affected more easily than those in usual conditions. We tested the susceptibility of the materials that were used in Takamatsuzuka Tumulus after 1972 or for facing in the 2007 relocation to molds. For this, we used fungal strains for JIS fungal resistance tests for plastics and major fungal strains which were isolated from the tumulus.

Paraloid B72, which was used for consolidating the mural paintings in the 1970's, was found to be susceptible with some fungal strains tested. The resin was more susceptible to fungi when the samples were sprayed with 90% volume ethanol- 10% volume water on the surface, then dried before the test. Epoxy resin, which was used for the renovation of the adjacent space in 2001, was also susceptible to some fungal strains. High molecular weight HPC (hydroxyl propyl cellulose), which was used for facing in 2007, was resistant to fungi. On the other hand, low molecular weight MC (methyl cellulose) 400cps. was susceptible to fungi. Animal glue and *funori*, which were never used in the Takamatsuzuka stone chamber, were most susceptible to fungi in the same tests. On the whole, synthetic resins tested in this study were not so susceptible as animal glue and *funori* but showed potential to encourage fungal growth in extremely high relative humidity.

---

<sup>\*</sup> NPO Center for Fungal Consultation    <sup>\*2</sup> TechnoSuruga Laboratory Co., Ltd.

<sup>\*3</sup> Chiba Office, TechnoSuruga Laboratory Co., Ltd.