

タイ王国スコータイ遺跡における大仏の保存修復 — 表面水分量と藻類等の繁殖に関するモデル柱における実験 —

宇野 朋子・石崎 武志・西浦 忠輝*・チラポーン アランヤナーク**

1. はじめに

スコータイ遺跡はタイ中央部に位置し、東西1.8km、南北1.6kmに300以上のレンガ造建造物の遺構が残されている。降水量が多く高温多湿な環境下にあるために、その他の東南アジア地域にある遺跡と同様に、レンガや漆喰の表面などではコケ類や藻類等の繁殖が著しく、外観の変貌、材料の劣化が深刻な問題の一つとなっている。スコータイ遺跡の中でも最大級の仏像が納められているワット・スリ・チュムでは、その表面がコケ類などの植物で覆われ、著しい変色（緑黒色化）と表面層の脆弱化が起こっていた。寺院の屋根がすでに失われていたため、強い日差しや降雨が寺院内に入り込み、内部が植物の繁殖しやすい環境となっていた¹⁾。

東京文化財研究所とタイ王国政府芸術総局は国際共同研究の一環として、1998年に大仏表面のクリーニングと表面強化撥水処理を行った^{1), 2)}。しかし、クリーニングから数年が経過した2001年ごろから大仏の表面に緑黒色の藻類などの植物が繁殖し始め、現在では水平部分の大部分に広がっている^{3), 4)}。このような状況に対して、コストやメンテナンスを考慮した今後の保存対策として、草葺きの簡易屋根をかけることが提案されている。その効果を検討するために、大仏と同様にレンガで形を作り漆喰で仕上げたモデル柱を用いて、覆屋と樹脂処理に関する現地実験を2001年より開始した⁴⁾。本報では、そのモデル柱の表面状態の変化と含水量との関係を示し、覆屋の効果について検討する。

2. ワット・スリ・チュムの概要

本報で保存修復の対象としているワット・スリ・チュムはスコータイ歴史公園の城壁の外側、北部に位置する。本堂は23m四方、高さ14.5mのレンガ造の建造物である。北東側に幅2m程度の寺院入り口があり周壁は厚さが3m以上ある。天井部分はすでに失われ上部が開放状態となっている。

本堂には高さ15mの大仏が納められている。大仏はレンガを積み上げて形を作り、漆喰で仕上げられている。大仏の表面は緑黒色のコケ類などの植物で覆われ表面層の脆弱化が起こっていたため、1998年に東京文化財研究所とタイ王国政府芸術総局の共同研究の一環として、大仏表面のクリーニングと強化撥水処理が行われた。クリーニングの際には、水を使用せずに刷毛などを用いて大仏表面の付着生物および堆積物を除去した。大仏のクリーニングは1983～84年にも行われているが、このときには数年で元の状態に戻ったといわれている。そこで、1998年のクリーニングの際には、コケ類等の繁殖を抑えるために、クリーニング後に撥水性シリコーン樹脂溶液の含浸処理を行った²⁾。このためこれら処理により大仏全体が白灰色となったが、数年後の2001年ごろから表面に藻類などの植物が見られるようになった⁴⁾。2005年現在、クリーニング以前のようなコケ類の繁殖は見られないが、脚部や胸部などの水平面には藻類を中心とした植物が繁殖している⁵⁾。寺院が開放されているために、大仏の水平面部分には雨が直接あたり、水分のたまりやすい状況となっていることが、藻類等の植物の繁殖に影響していると考え

*国土舘大学 **タイ王国政府芸術総局

られる。

3. 遺跡周辺の環境

3-1. スコータイの気候

スコータイ市はタイの中央部（北緯17°0' 東経99°51'）に位置する。新市街より東に12kmほど離れた旧市街にあるスコータイ歴史公園内に遺跡が点在する。

熱帯モンスーン気候に属し、一年は大きく雨季（5月～10月）と乾季（11月～4月）に分かれる。雨季には、南西モンスーンによる大量の雨が降るが、それは短時間に集中して降るスコールであり日照間帯も長い。乾季は北東モンスーンが吹きほほ毎日晴天の日が続く。年間を通して日最大風速は1～2m/s程度と小さく、無風の時間帯が多い。

3-1-2. 外気温湿度

図1に1998年のスコータイの気象データから外気温湿度の最高値・最低値の月平均値を示す⁶⁾。外気温度は、一年のうち3月から5月にかけて高く、4月は日中の最高気温が40℃近くまで上昇する。夜間から朝方に25℃程度まで低下する。12月、1月は最も気温が低くなる時期であり、最低気温は20℃を下回る。相対湿度は、雨季に入る7月から10月が高く、日中の最低でも60%近くとなる。乾季は、日中に相対湿度が30%まで下がる。しかし、相対湿度の最高値はいずれの季節も90%を越えており、多湿な環境といえる。

3-1-3. 降水量

図2にスコータイの気象データから1997年および1998年の月積算降水量を示す⁶⁾。降水は7月から9月にかけて多くなり、150mm/月を超えている。その時期には月平均の相対湿度も高くなっている。乾季の12月から2月までは、雨はほとんど降っていない。年降水量はそれぞれ950mm（1997年）、918mm（1998年）である。

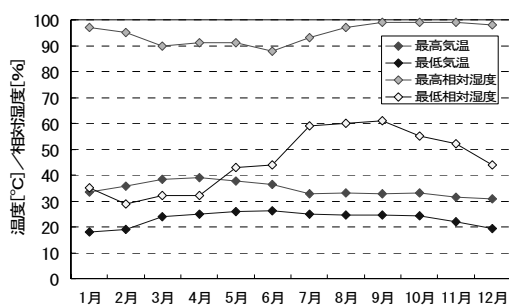


図1 温湿度(1998年)(最高値・最低値の月平均値)

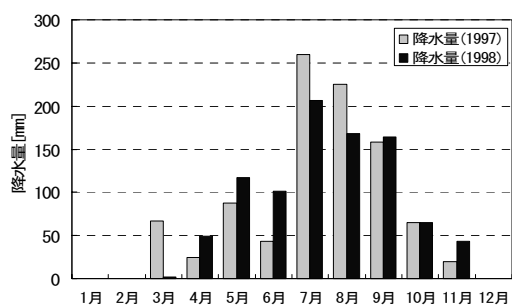


図2 月積算降水量 (1997年, 1998年)

4. 覆屋の効果に関する検討

4-1. 実験の概要²⁾

覆屋の設置による藻類等の繁殖抑制効果および樹脂処理による効果を調べるための実験を2001年3月に開始した。大仏と寺院を模して、レンガを積み表面を漆喰で仕上げた柱(縦30cm, 横30cm, 高さ100cm)を4本作成し、周囲をレンガ壁で囲んだ(図3, 写真1)。この柱をワッ

ト・スリ・チュムの北西側に設置し、それぞれに保存処理を行った。柱A, Bには草葺の覆屋を設置し、柱C, Dには覆屋を設置していない。さらに、2001年4月に柱A, Dの表面を、大仏のクリーニングの際に用いたものと同様の撥水性シリコン樹脂溶液⁵⁾(トリメチルエトキシシランのオリゴマーのトルエン・エタノール混合溶媒溶液：商品名SS-101<コルコート(株)>)で塗布含浸処理を行った。



写真1 実験風景(東側)

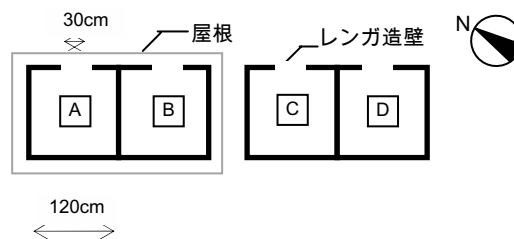


図3 柱の配置

表1 柱の処理内容

	A	B	C	D
覆屋	あり	あり	なし	なし
表面処理	あり	なし	なし	あり

4-2. 表面含水率

各柱の水分状態を把握するために、上面、側面および東側地面コンクリート部分の含水率を、TDR表面含水率測定装置を用いて計測した。図4に計測結果を示す。白抜の凡例は12月(乾季)の計測結果であり、塗りつぶしの凡例は9月(雨季)の結果である。計測の時間帯やその前後での天候は考慮していない。

覆屋を設置した柱A, Bでは、作成直後の2001年9月には含水率が10%を超えていたが徐々に低下している。表面処理あり(柱A)では、2002年12月以降は乾季雨季ともに含水率は8%程度でほとんど変化がなく、上部から下部までほぼ均一となっている。表面処理のために水分の蒸発が押さえられ、さらに周囲の環境変化の影響も小さいためと考えられる。一方、表面処理なし(柱B)では、2005年9月以降、多少ではあるが、含水率が変化している。どちらの柱も、地面は雨の影響を受けるために雨季に含水率が高くなっている。

覆屋を設置していない柱C, Dの含水率は、柱A, Bと比べると全体的に高い値を示している。2001年9月の時点では、表面処理あり(柱D)の中間部分(地面から40cm, 60cmの点)の含水率が6%と低いことを除けば、含水率は10%前後であり、覆屋なしの場合との初期状態の差異は小さい。したがって、柱A, Bと柱C, Dの含水率の違いは覆屋の有無によるものといえる。

雨季の9月には、柱C, Dどちらの含水率分布も、側面の上部と下部で高くなり中央部でやや低い傾向がある。まず雨が直接あたる上面と地面の含水率が高くなり、その影響が80cmと20cmの地点まで及んでいると考えられる。表面処理なし(柱C)では、処理あり(柱D)よりも多量の雨が上面から浸透するために、60cmの高さでも含水率は高い値となったと考えられる。乾季の12月には、含水率は上面が側面上部より低くなっている。晴天の日が続き、比較的外気が乾燥しており、さらに上面には直達日射が当たることで、上面は側面より乾燥しやすいためと考えられる。

実験開始から2年が経過した2003年以降に注目すると、表面処理あり（柱D）（図4-2左）は9月に含水率が15~25%になり、12月に低くなる傾向が見られ、一方、表面処理なし（柱C）（図4-2右）は12月でも含水率が高い。乾季においても、朝方のように外気の相対湿度が90%を超える時間帯があり、柱表面に結露がおこることが予想される。その場合には、表面処理なしでは水分が内部に浸透するが、表面処理あり（柱D）では水分の浸透が押さえられ、この様に含水率に差が生じたと考えられる。

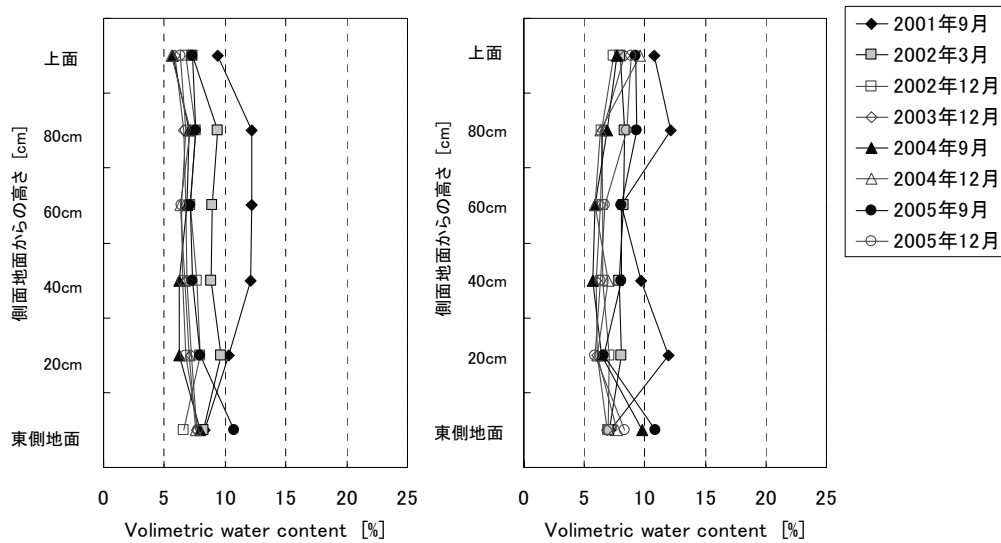


図4-1 覆屋をかけた柱の含水率（左：A表面処理あり，右：B表面処理なし）

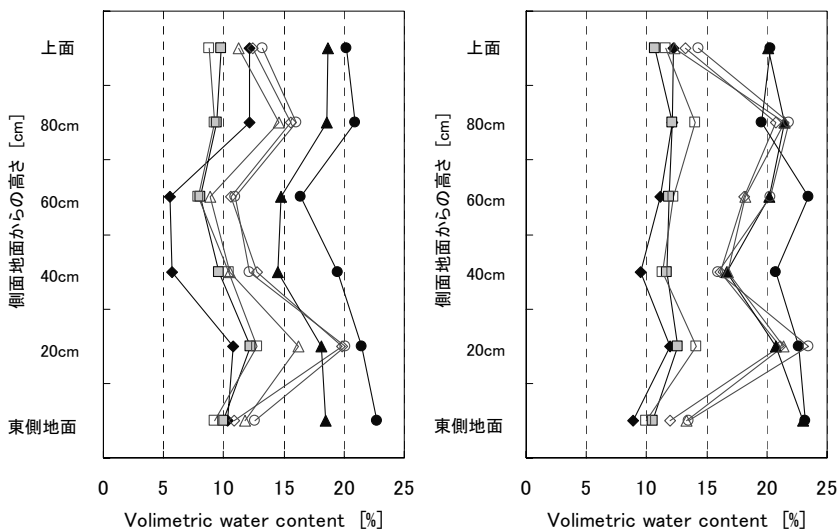


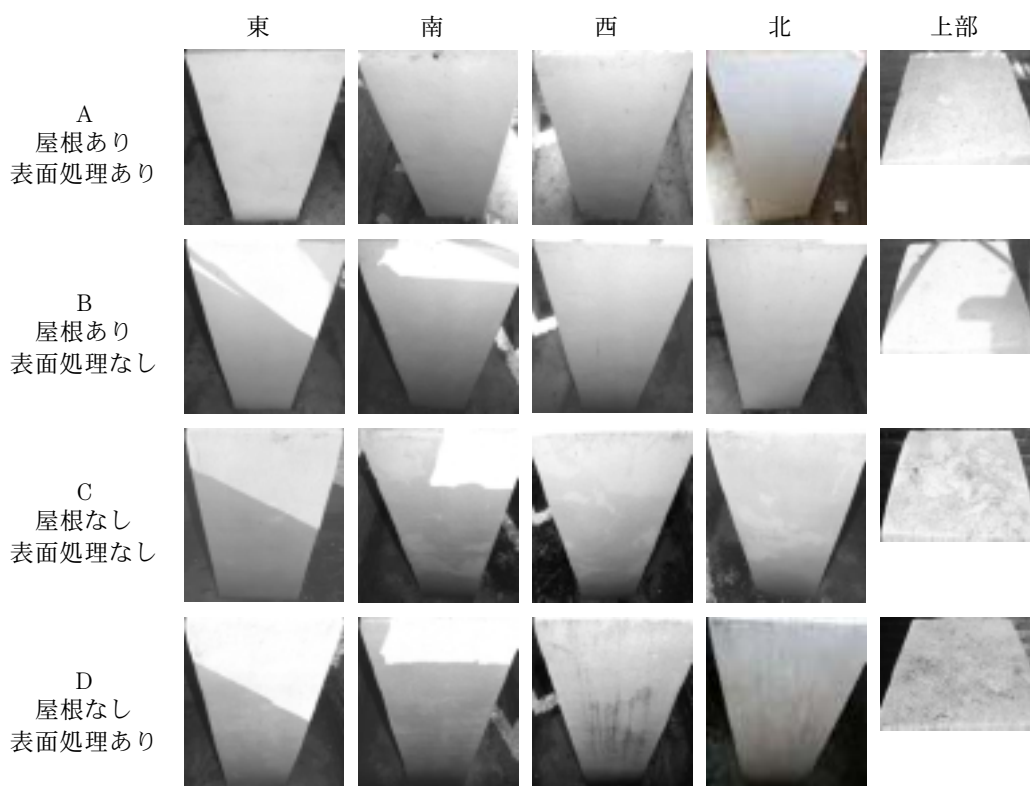
図4-2 覆屋をかけていない柱の含水率（左：D表面処理あり，右：C表面処理なし）

4-3. 表面における植物の繁殖状態

表2に各柱の表面の写真を示す。覆屋あり（柱A, B）では表面に汚れはあるものの藻類のような植物の繁殖はほとんど見られない。一方、覆屋なしかつ表面処理なし（C柱）では、上面に藻類などの繁殖が見られる。また、側面にも東側上部および下部、北側上部、西側上部にみられる。4本のうち覆屋なし・表面処理あり（柱D）が最も藻類などの繁殖範囲が広く、上面、東面下部、北面の上部半分と下部、西面の中部と下部、南面中部に及んでいる。覆屋あり（柱A, B）では、覆屋の設置により、直接表面に雨が当たることがなく、含水率を低く保つことができていること、さらに表面に長時間水分が滞在していないことによって、藻類などの繁殖が抑えられている可能性があるといえよう。

含水率の測定を行っている東面に注目してみると、覆屋なし・表面処理あり（柱D）の下部、覆屋なし・表面処理なし（柱C）下部と上部に繁殖している。これらの部分は2003年12月以降には乾季、雨季ともに含水率が20%もしくはそれに近い値を示している地点である。覆屋なしかつ表面処理あり（柱D）で、北、西、南面で藻類などの繁殖が見られる原因としては、周囲を壁で囲まれているために、東面よりも表面に帯在した水分が乾燥しにくく含水率が高い可能性があることが原因と考えられる。柱Cでは中央部でも含水率が高いが、この部分には植物の繁殖は見られず、また現時点では表面処理あり（柱D）の方が表面処理なし（柱C）よりも藻類などの繁殖範囲が広い。藻類などの繁茂状態の差異要因としては、施工時の傾きによる雨や日射のあたり方、漆喰表面の凹凸の状態なども影響していると考えられ、樹脂処理の影響があるとは言い難い。

表2 各柱の表面状態（2005年12月撮影）



5. まとめ

本報では、高温多湿気候下に属するタイ王国スコタイ遺跡において、仏像の表面での藻類などの植物の繁殖を抑制するために行った保存対策について、屋外実験の結果を報告した。

実験開始から5年目となるが、覆屋を設置したものと設置していないものでは藻類などの植物の繁殖状態に明らかに差異が見られた。覆屋によって建造物に雨水があたることを避けることで、藻類などの繁殖が抑制されたといえる。覆屋を設置したものでは、年間を通して低い含水率が保たれており、このため表面層が常に乾燥し、繁殖が抑えられていると考えられる。樹脂処理の違いによって、表面含水率の状態に若干の違いが見られるが、現時点では藻類などの繁殖の状態には大きな差は見られない。

覆屋の効果については、さらに引き続き、本実験およびその他に行っている中型の仏像での覆屋や樹脂処理の実験の経過を観察しながら検討を重ねる必要がある。それと同時に、屋根の形状の検討や覆屋を設置することによって大仏周辺に生じる環境の変化について予測が必要である。

参考文献

- 1) 西浦忠輝, 石崎武志, チラポーン アランヤナーク, キッチャ ユホー; タイ国スコタイ遺跡のスリ・チュム寺院大仏の保存修復 (1), 保存科学38, pp.146-163 (1999)
- 2) Nishiura T., Ishizaki T., Chiraporn A. and Kitcha Y., ; 'Conservation Treatment for the Giant Buddha of Wat Sri Chum in Sukhothai, Thailand', *Conservation of Monuments in Thailand (I)*, pp.43-53 (2000)
- 3) Nishiura T., Ishizaki T. and Chiraporn A., 'Study on the Effect of a Shelter, by using Model Structure for the conservation of Giant Buddha at Wat Sri Chum, Sukhothai', *Conservation of monuments in Thailand (II)*, pp.40-57 (2002)
- 4) 西浦忠輝, 石崎武志, 内田昭人, チラポーン アランヤナーク; タイ国スコタイ遺跡のスリ・チュム寺院大仏の保存修復 (3) - 覆屋の効果に関する現場実験 -, 文化財保存修復学会大25回大会発表要旨集, pp.24-25 (2003)
- 5) Chiraporn A., ; 'Major Problems in Conservation of Monuments in Thailand', *Conservation of Monuments in Thailand (I)*, pp.29-41 (2000)
- 6) Meteorological Department, *Agroclimatological data for Thailand* (1997, 1998)
- 7) 西浦忠輝; 石材強化保存用シリコーン樹脂の物性評価 - WackerOHとSS-101 -, 日本文化財科学会第13回大会研究発表要旨集, pp.140-141 (1996)

キーワード: スコタイ遺跡 (Sukhothai historic site) ; 覆屋 (shelter) ; 撥水処理 (water repellent) ; 表面含水率 (surface water content) ; 植物の繁殖 (propagation of microorganism)

Conservation Treatment for the Giant Buddha in Sukhothai, Thailand -Experimental Study by Model Structure on the Relationship between Water Contents of the Surface and the Propagation of Microorganisms-

Tomoko UNO, Takeshi ISHIZAKI, Tadateru NISHIURA* and
Chiraporn ARANYANARK**

The surface of monuments in a site under hot and humid climate such as in Thailand suffers from discoloration and deterioration by the propagation of microorganisms. The joint team of the Fine Arts Department, Thailand and the NRICP has carried out experiments to evaluate the effects of shelter and water repellent with hydrophobic silicone resin in order to control the propagation of microorganisms on such monuments. The water contents and the propagation of microorganisms on the surface layer of the columns of an experimental structure were investigated. It was found that the water contents in the surface layer of the columns under the shelter are lower than those without the shelter. Moreover, the microorganisms on the columns under the shelter are also less than those without the shelter. Thus, the shelter design and its environment should be investigated. It was also found that the differences are less between the columns treated and those not treated by resin. The conditions of these experiments will continue to be examined.

*Kokushikan University **The Fine Arts Department, Thailand

