

国宝臼杵磨崖仏群次期保存修復計画のための調査研究

森井 順之・朽津 信明・神田 高士*・川野邊 渉

1. はじめに

国宝臼杵磨崖仏は大分県臼杵市に位置しており、ホキ石仏第一群（堂ヶ迫石仏）、ホキ石仏第二群、古園石仏群、山王石仏の4つの群より成り立っている（図1）。現在、東京文化財研究所（以下、東文研）と臼杵市では、平成12年度（2000）より「国宝臼杵磨崖仏の保存・修復に係る調査研究」を共同で行なっている。本調査では、磨崖仏の劣化原因や周辺環境の影響など保存に関する様々な問題点の明確化、より効果的な修復材料・修復技法の開発を目的とし、様々な現地観測・実験を行っている。

著者らは、磨崖仏群保存に対する環境影響の評価¹⁾²⁾や劣化要因の制御方法³⁾⁴⁾など一部成果については既に報告してきた。しかしながら、共同事業体である臼杵市側の問題意識・協力体制や、両者による本調査の全体計画については、未だ報告する機会がなかった。

本報告では、共同保存対策調査の目標・目的について、今まで磨崖仏群に対して行われた保存修復工事の履歴、磨崖仏群保存修復に関する臼杵市の要望をまとめることで明確にする。また、共同保存対策調査の概要および一部結果の報告を行う。

2. 臼杵磨崖仏群保存修復工事の履歴と現在抱えている問題点

2-1 現在までの工事履歴⁵⁾

昭和28年（1953）の台風被害による臼杵磨崖仏群の災害復旧工事以来、荒れるに任せていた磨崖仏群の保存処置に対する調査・研究が行なわれたのは、昭和31年、臼杵市が臼杵磨崖仏群保存のための学識経験者による専門委員会を組織してからである。臼杵市と専門委員会が、文化財保護委員会（当時）に提出した意見書と保存事業計画書では、磨崖仏の保存修復工事を、排水施設設置・岩盤補強工事・覆屋（庇屋根）設置工事など土木的工事主体による仏体周辺の保存環境整備を主眼とする第Ⅰ期工事と、修復技術の調査・研究・検討を十分重ねた上で磨崖仏の修復そのものに着手する第Ⅱ期工事とに区分し、いずれも国の指導監督下慎重に施工するという方針が述べられている。これによって昭和32年度から37年度にかけて第Ⅰ期工事が行われ、昭和37年には国指定重要文化財となった。

その後、昭和39年には「大分県下の磨崖仏総合調査」が行われた。調査の結果、今後の磨崖仏保存には、凍結劣化、植物繁茂による岩の土壊化・亀裂等の発赤と拡大の原因となる水への対策、亀裂・表層剥離部分の接着補強と石質弱化部分の補強、脱落仏体片の復位などを行なう必要があると報告されている。昭和42年に行なわれた「臼杵磨崖仏修復に関する総合調査」

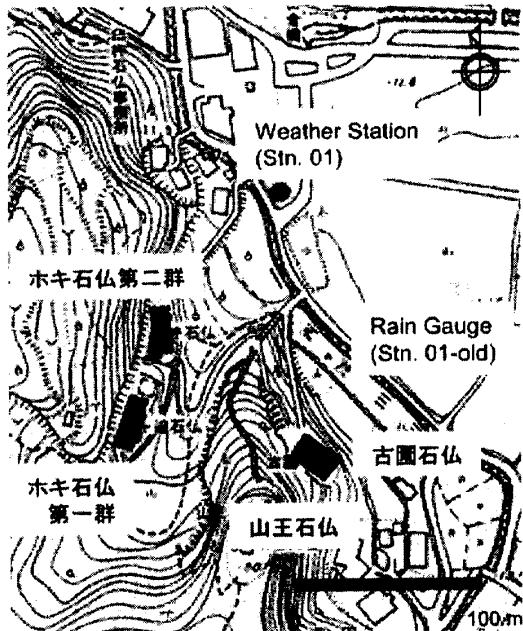


図1 臼杵石仏周辺地形図

では、過去の工事や調査を踏まえた保存修復事業の具体化をはかるための討議が行われ、懸案事項であった岩体の乾燥化をはかる具体的方法が承認された。昭和44年から49年にかけては、第Ⅱ期工事の工法検討の際の資料を作成する目的で、「特殊な性質」を持つとされる阿蘇溶結凝灰岩非溶結部の性質解明を目指した岩石学的調査が実施された。

昭和55年度～平成5年度にかけて実施された第Ⅱ期工事は、期間・予算的にも大規模な事業であったが、臼杵磨崖仏保存修復委員会での協議の結果、応急的な保存対策としての位置付けが成された上で実施された。その修復方針の基本姿勢は、昭和39年から48年の間に開催された「保存修復調査委員会」における協議・検討に基づくものである。

このような背景の中で始まった第Ⅱ期工事は、各磨崖仏群の脱落仏体片のうち、復位可能なものは極力復位し、仏体の崩落を防止するためのサポート材を必要最小限度に充填、さらに岩質強化のための樹脂含浸を行うという、美術工芸品修復という立場での工事が主体で、このほか崩落の恐れがある磨崖仏母岩の固定、基壇整備、磨崖仏とその前庭部を完全に覆う覆屋の設置など、保存環境整備も行われている。

しかし第Ⅱ期工事後、数年間に磨崖仏の表層剥離、ホキ石仏第二群・古園石仏群にみられる非溶結部（図2）の植物繁茂や継続的な湿潤など、さらに石質が劣化している状況が確認されている。平成10年度から12年度にかけて第Ⅱ期工事の補完的修復事業が行われたが、この時点でも以下に挙げるような様々な問題がクローズアップされてきている。

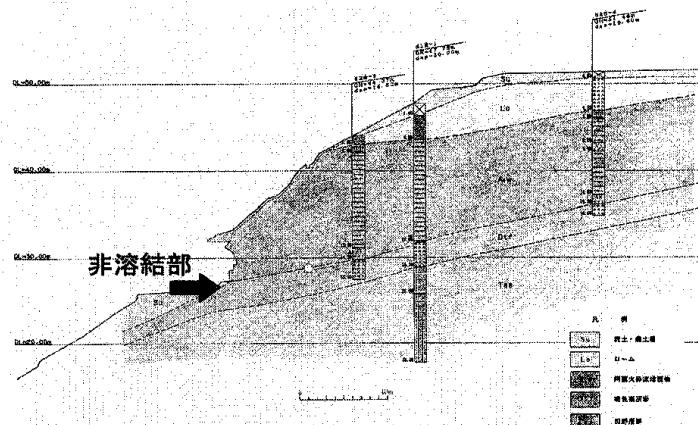


図2 古園石仏地質断面図

2-2 現状で確認される劣化状況と保存対策上の問題点

a) 水問題について

昭和41年に臼杵磨崖仏の湿潤問題検討のために地質学的調査を行った松本唯一氏（熊本大学）は、古園石仏下部の非溶結部について「岩石種としては他に類例を見ない」特殊性を指摘している。また、その湿潤状態を「却ってある程度は仏体保持を助けて」いる⁵⁾とし、完全乾燥させることへの危惧を抱いている。つまりは、排水工事にあたって非溶結部が下から吸い上げる水は積極的な断水を行なわず、むしろ奥方向からの地下水によって非溶結部に浸透する水を断つべきであると論じている。その一方で、藤芳義男氏（熊本大学）は、非溶結部下部の黄褐色粘土層（ローム）を仏体下部でカットし、奥方向からの湧水を排水パイプにて排出させる「完全乾燥」を目的とした工法を提案している。「臼杵磨崖仏修復に関する総合調査」では藤芳氏の意見が支持されたことにより、第Ⅰ期、第Ⅱ期工事では、水に関しては「完全乾燥」を目標として事業が行なわれている。

ホキ石仏第二群・古園石仏群非溶結部における湿潤は、石質劣化を促進する恐れのある生物類の温床となり、冬季における凍結劣化の原因となる。その反面、岩体表面の乾燥は塩類析出の原因ともなっている。従って、ひとくくりにして「水」問題を解決するのではなく、地下水、表流水、結露など、それぞれの現象と劣化メカニズムとの関係を明確に分類した上で、それぞれの対策を改めて考える必要がある。また、昭和49年に福田正己氏（北海道大学）が報告した

岩石性質調査では、非溶結部が、乾湿の繰り返しなどの環境変動に弱いという指摘をしており、松本氏の提議を踏まえても、もう一度岩体保持のために「必要な水」というものが存在するかどうかの検討を行うべきであると考えられる。

b) 表層剥離と凍結劣化について

第Ⅱ期工事後も表層剥離が確実に進んでいる原因としては、第Ⅰ期工事で施工した樹脂含浸による石質強化の効果が薄れて有害生物類の侵食を受けていること、凍結破碎によるもの、塩類風化によるもの、あるいはこの複合作用がまず考えられる。

樹脂含浸効果の低下に関しては、施工時点で十分に樹脂が岩体に浸透せず、表層部分で固化したことが原因となり、未含浸部の収縮・膨張作用などで剥離を引き起こしていると考えられる。これらは再度剥離片を接着した上、出来るだけ変動の少ない環境を保つ処置をとる必要があるが、同時にこれを未然に防ぐ方法も考えていかなければならぬ。樹脂含浸については近い将来再度試みる必要があるが、早川・川野邊⁴⁾の報告にもあるとおり、より適応性の高い材料を用い、その含浸方法および施工時期、おかれている環境条件に関する検討を十分に行なった上で施工にあたる必要があると考えている。

臼杵磨崖仏群では、凍結劣化も重大な問題である。特に、平成13年1月、臼杵地方を襲った寒波により古園石仏群・ホキ石仏第二群において岩表面温度が0℃を下回り、早朝に非溶結部が凍結した²⁾という事件が起きたことは記憶に新しい。この被害は極めて甚大で、凍結による剥離は一部彫刻面に及ぶに至った。この凍結破碎は現在のところ本共同研究において経験したイベントとしては最も大きな劣化をもたらしたものであり、今後も最も注意が必要な現象である。

凍結破碎は岩体湿潤および岩表面温度の極端な低下によって起こるものであるため、より外気温の影響を受けにくい措置を考えることも必要である。また、湧水のみならず結露が凍結破碎や塩類析出を招く要因ともなりうるので、人工的な温湿度制御の可能性についても検討すべきである。

c) 生物被害について

現在、磨崖仏岩体表面には地衣類・コケ類・藻類・草本科の高等植物⁶⁾が生育している。これらは環境変化によって生育のテリトリーを逐次変えている様子もうかがえるが、どちらかが枯死すればどちらかが繁茂するといった状況に有り、その対応に苦慮するところである。

その対策を考えることは非常に困難であり、現段階ではどの生物が一番劣化を促進するものであるかを見極め、その生物が繁茂しにくい環境を人工的に形成するかを考えることもひとつ的方法と言えるかも知れない。しかし、現段階ではいたずらにこれらを強制的に除去することによって、却って仏体や岩面をいためる結果となることは慎むべきである。

3. 国宝臼杵磨崖仏の保存・修復に係る調査研究の目指すもの

平成12年度より東文研と臼杵市で協定を締結し開始された「国宝臼杵磨崖仏の保存修復に係る調査研究」は、平成16年度までの5カ年で、国宝臼杵磨崖仏の今後の保存修復事業を行う上で求められるであろう各種のデータを取得し、これらの解析を行うことによって、より効果の高い保存対策を立案することを目的としている。本調査は、多くの自動記録機器を用いて臼杵磨崖仏群周辺の環境データを集中的かつ継続的に取得し、今まで知られていなかった磨崖仏周辺の微気象の変化に関する豊富なデータを収集し、多方面から検討を加えることでより柔軟性に富んだ環境対策を立案することを可能とする特徴を有している。また、修復材料や技術に関しても従来の材料手法を改めて評価し、その問題点の解決と従来ややもすると画一的な施工が行われていた傾向を見直し、個々の磨崖仏に求められる必要最低限の修復作業を見極め、効果的な材料手法を最も効果的な条件下に個々に適用評価していくことを目指している。

これらの観測体制を支え、より質の良いデータを取得するためには、東文研の研究者と臼杵市の担当者とが密接に連絡を取り合い、データの取得方法とその意味を相互によく理解して観測および実験を行ってゆかねばならない。このためには、東文研側からの積極的な資料や情報の公開と臼杵市側からの現地情報の間断ない提供が不可欠である。この関係をより効果的なものとするためには、臼杵市側の担当者による各種測定および実験に関する深い理解が欠かせない。

4. 国宝臼杵磨崖仏の保存・修復に係る調査研究

次期保存修復対策工事計画では、土木的な工事・単体の美術工芸品としての磨崖仏の修復に加え、周辺環境の整備もセットにした、より包括的な保存修復工事を目指している。その視点から保存修復工事を計画する際には、当然従来よりも効果的な修復材料を選定すること、それに加えてより合理的な保存修復方法を選択することが必要である。そのためには、それを裏付けるデータの存在が不可欠である。しかし、現在まで行なわれてきた保存修復工事に伴う調査では、基礎資料として以上の用件を満たすには補完すべき点が多く残されている。

そこで著者らは、次期保存修復計画に必要となる情報を収集すること、より適切な磨崖仏の保存修復材料・修復技法の開発を目的として以下に述べる様々な調査を行なっている。

4-1 気象観測及び岩体表面温度の計測

磨崖仏群の劣化要因としては、主に塩類風化、凍結破碎、植物繁茂などがある。また、それらを引き起こす条件として、岩質、岩体内の水分状況、温湿度・照度などの周辺環境が挙げられる。磨崖仏群の保存のためには、物理的もしくは化学的な手法を用いて、これらの劣化要因を制御することが求められている。

その中でも特に周辺環境の整備は、石仏表面への物理・化学的な接触を最小限に抑制し、なおかつ対象物の劣化速度を緩和させることができるものであり、現在までも多くの施工例がある。ただし、施工の際には、対象物の置かれている環境に関する定量的かつ時系列的な把握が重要であり、環境影響による劣化機構の解明から気象データの統計的な理解まで、様々な空間もしくは時間スケールでの現象の理解が求められる。

今まで、周辺環境と対象物の劣化の関係について様々な研究が行われており、また多くの研究成果が報告されている。しかしながら、それらの報告は凍結破碎と岩体表面温度の関係についてミクロな視点から論じたもの²⁾や、気象庁のデータの解析を用いた日本全国の凍結現象発生地域の分布についてマクロな視点から論じたもの⁷⁾などが主であり、例えば石仏群と覆屋・周辺地形の関係など中間的な領域での周辺環境の影響に着目した例は少ない。

特に臼杵磨崖仏では、各石仏群にて劣化の度合い、その劣化の原因などが少しずつ異なる。それらは、図1を見ると明らかに、各石仏群の位置する標高、覆屋の開口部の向きなど、いわゆる中間領域での気象条件の違いが何かの要因を生んでいるとも考えられる。そこで著者らは、図1、2に示す測定点にて気温、湿度、岩体表面温度、降水量、風向風速、気圧の時系列測定を行い、各石仏群における温湿度環境の比較を行っている。

その結果の一部を図4、5に示す。図4は、平成13年冬期に凍結の影響が激しかった古園石仏と、比較的被害が軽微であったホキ石仏第一群について、覆屋内気温と岩体の表面温度を比較したものである。これを見ると、古園石仏においては、覆屋内気温に比べ岩体表面温度が約3℃低く推移していることがわかる。この結果は平成12年の夏期も同様の結果であったことが朽津²⁾より報告されている。また、古園石仏のグラフは最低値をベースに変動していることに比べ、ホキ石仏第一群では、岩体表面温度が覆屋内気温変動の中間値の辺りで小さな変動を

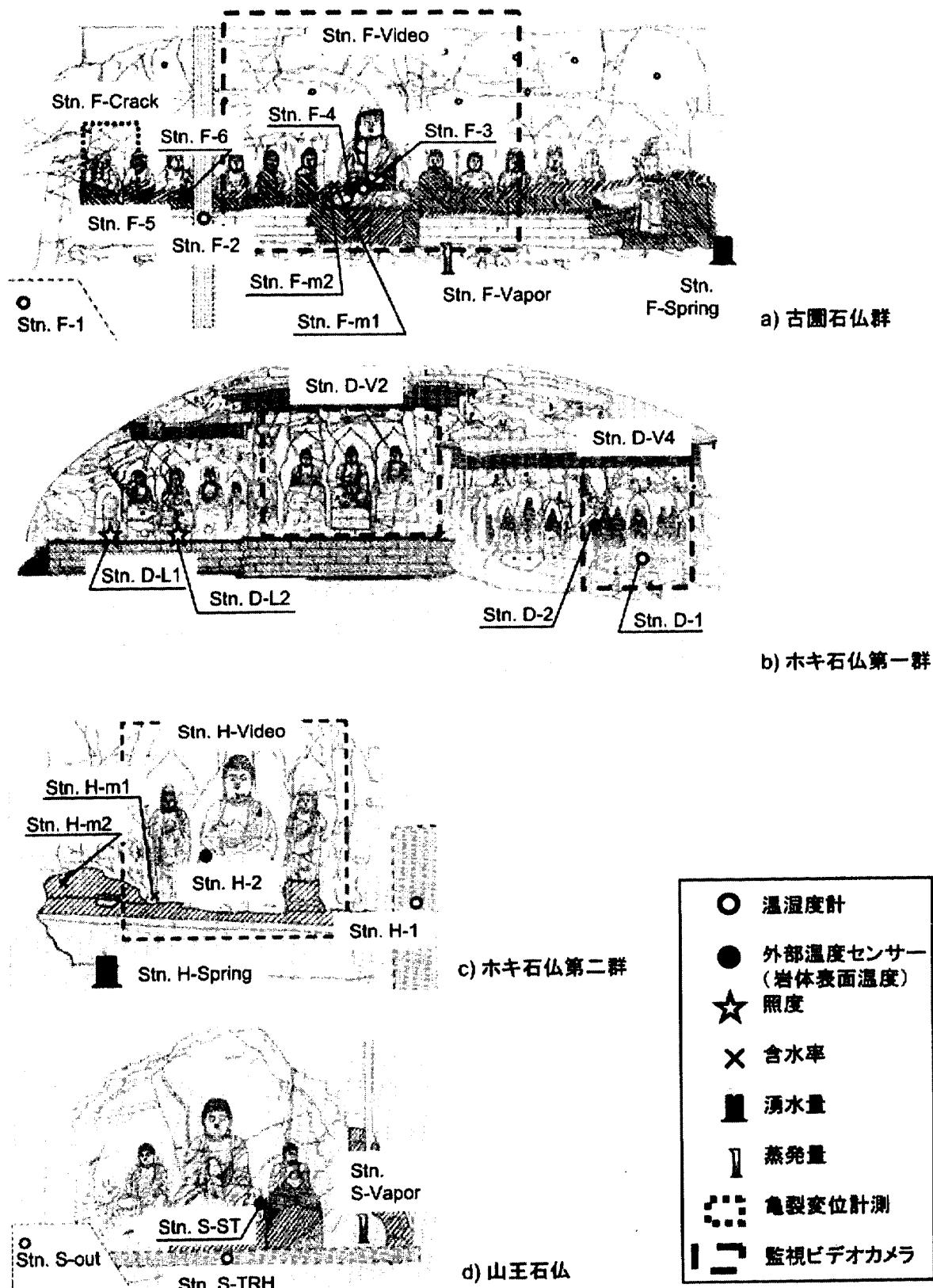


図3 観測点位置図

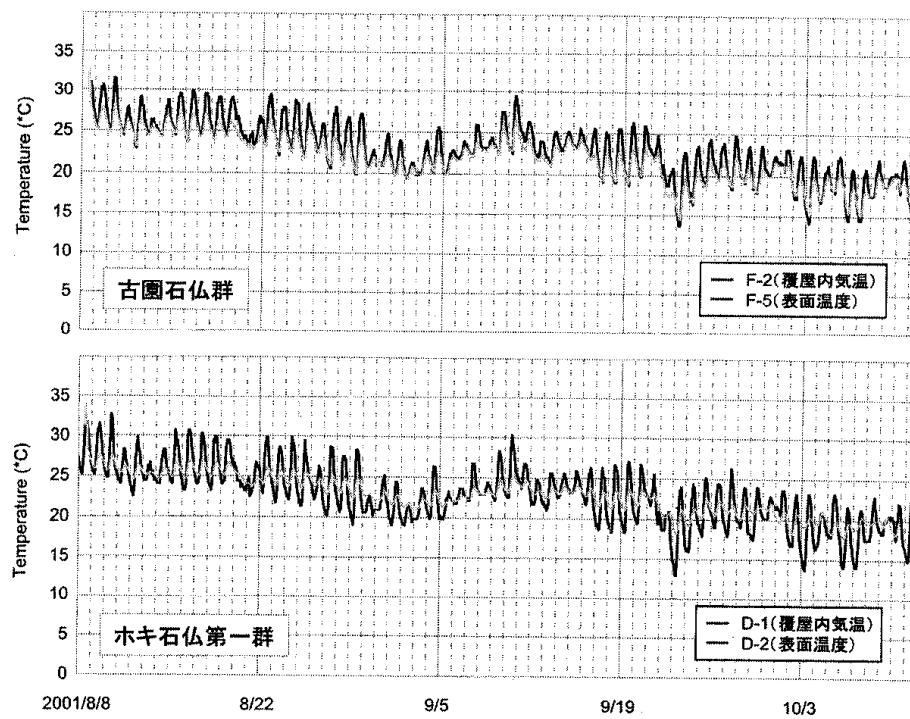


図4 各石仏群における覆屋内気温・岩体表面温度の比較
(古園石仏: Stn.F-2・F-5, ホキ石仏第一群: Stn.D-1・D-2)

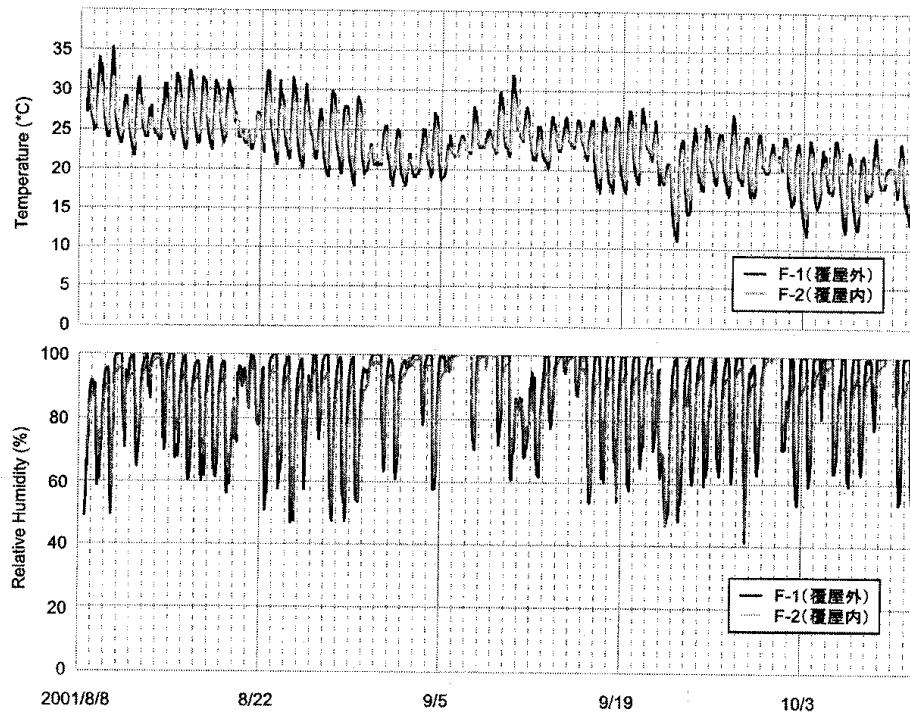


図5 覆屋内における温湿度環境の比較
(古園石仏: Stn.F-1・F-2)

行なっている。また、図5は、古園石仏の覆屋内外における気温・相対湿度の変動について比較したものである。グラフより、覆屋内気温は外気温に比べて変動が小さい（日較差平均で約4°Cの差）ことがわかる。相対湿度についても同様な結果が読み取れるが、外気の湿度に対する覆屋内湿度の追随性に着目すると、例えば8月初期では湿度が外気とほぼ同じとなるまでに

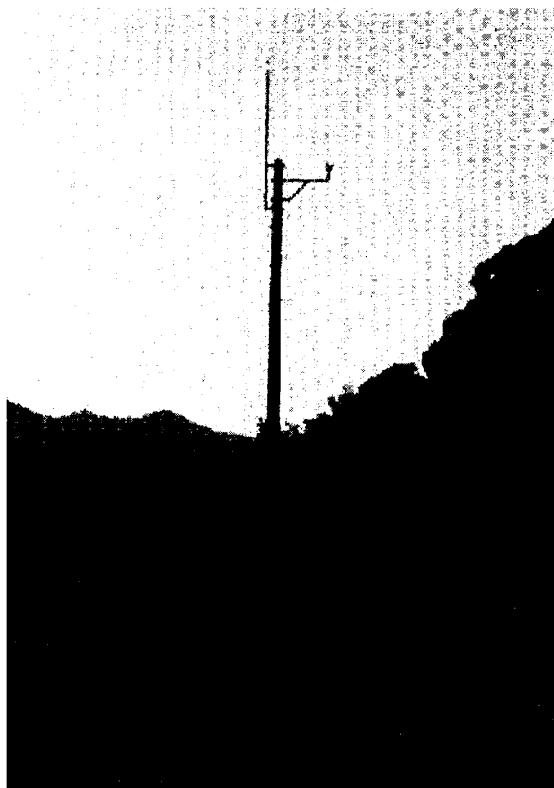


図6 ステーションによる気象観測 (Stn.01)

2～3時間必要とするのに対し、10月初期では約1日かかっているなど、相対湿度の変化速度に違いがあることがわかる。この結果は、覆屋内外の水分の移動に周辺域の風の影響が寄与している可能性を示唆しており、今後は、石仏の近く(図1, Stn.01)に設置した気象ステーション(図6)から得られる風向風速データとの関連についても調査を行なう予定である。

4-2 岩体内水分に関する調査

古園石仏、ホキ石仏第二群においては、岩体内の水分による劣化を抑制するための工事が行なわれておらず、以前に比べ岩体への水分供給はかなり軽減されている。しかし、部分的に見ると、依然として水の影響を受けている箇所が少くない。

そこで、凍結破碎・塩類風化による石仏表面の劣化が著しいホキ石仏第二群・古園石仏群において、図2に示す測定点(Stn. F-m 1・m 2・Spring, H-m 1・m 2・Spring)にて湧水量・岩体水分量の測定を行なっている。そこでは、ホキ石仏第二群においてStn.H-Springの湧水量と石仏面下部(Stn.H-m 1)での含水率の変動パターンが類似していること、古園石仏、Stn.F-Springにおける月湧水量が周辺地域Stn.01-oldの月降水量に比べて遅れが見られること、などの結果²⁾が報告されている。それに加えて、凍結破碎・塩類風化により石仏表面剥離が生じる領域を平面的に把握することを目的として、岩体内水分量の平面分布を測定する手法の開発も同時に行なっている。

4-3 生物被害の監視・制御方法の開発

壁面の菌類・地衣類の繁茂は、周辺環境と岩体への水分供給と共に石仏の劣化に重大な影響を与える。従来は、これらの生物群の除去は手作業であったが、ピンセットなどを用いて物理的に行なう作業であるがゆえに、膨大な時間がかかるとともに壁面を傷つけてしまう危険性がある。そこで、生物の生育に重大な影響を与える紫外線を石仏表面の生物繁茂抑制に用いることが出来るか、石仏群周辺にて実験を行なっている(図7)。一部結果については、川野邊ら³⁾により既に報告されているため、本報告では省略する。

4-4 樹脂処理の評価

石仏表面の劣化防止法の一つとして、表面の撥水・強化を目的とした樹脂処理が従来より行なわれており、白杵磨崖仏群においても第Ⅱ期工事にて同様の処理が行なわれている。しかし近年では、施工箇所の一部で樹脂の存在が一因と思われる劣化が見られるなど、従来の樹脂処理工法の検討を改めて行なう必要がある。そこで、今後樹

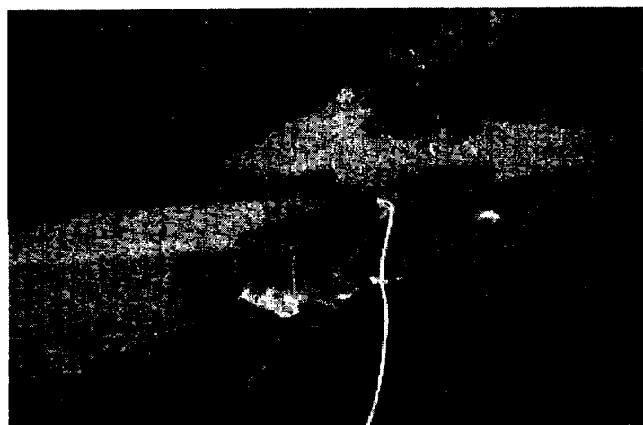
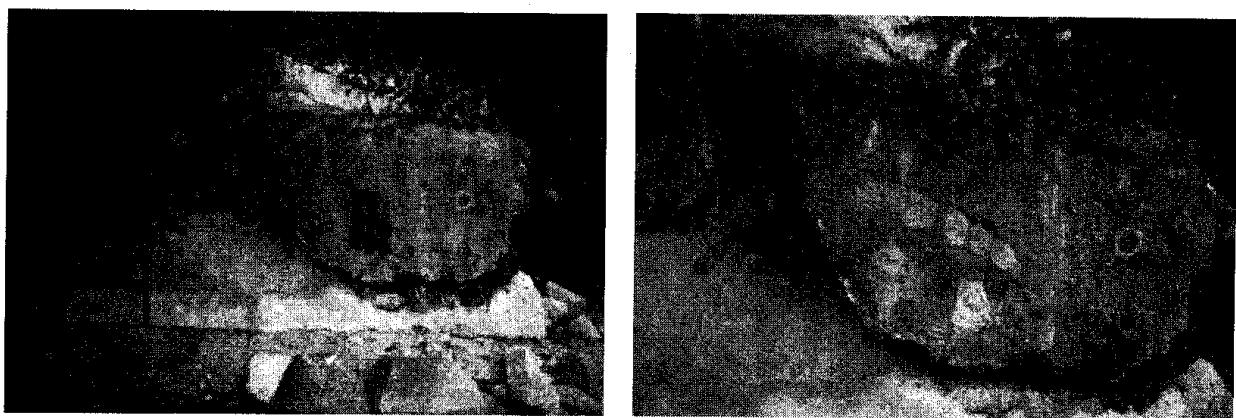


図7 赤外線照射実験



(a) 施工時(1998年5月) (b) 施工後3年4カ月(2001年9月)

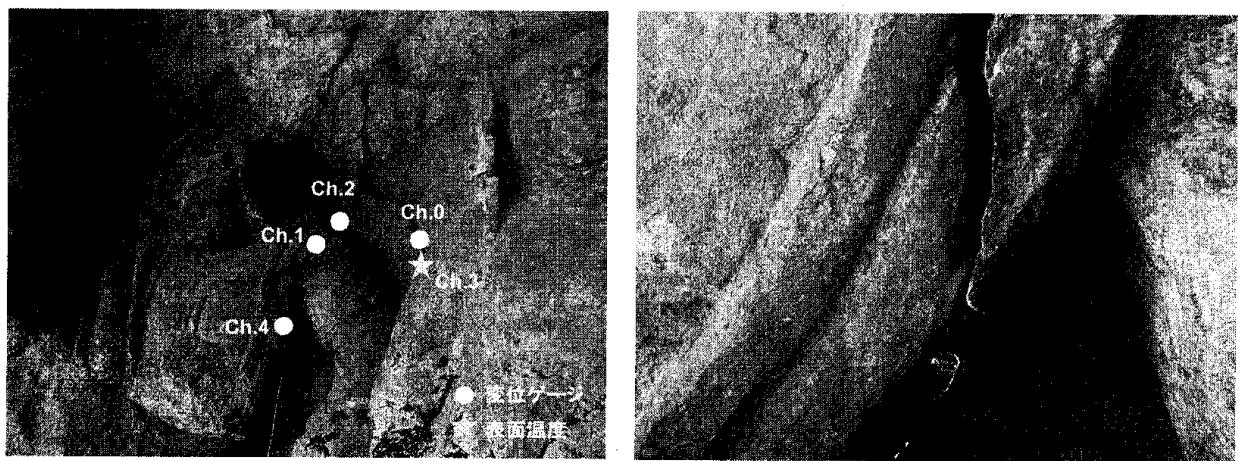
図8 表面樹脂処理実験(古園石仏の北側側面への塗布)

脂処理を行う際の検討項目として施工時期や施工箇所に着目し、両者の条件に適合する樹脂を選択すべく、現地にて劣化試験を行なっている(図8)。一部結果については、既に早川・川野邊⁴⁾により報告されているため、本報告では省略する。

4-5 岩体変形の監視

古園石仏増長天周辺の、図9に見られる岩体ひび割れについて、岩体の構造的な破壊のおそれがあるとの指摘がある。そこで、平成13年1月、変位ゲージをひび割れ部に取り付け、ひび割れ幅の変化の時系列観測⁸⁾を行なっている。測定点は図9に示す。本観測では、取得したデータについては携帯電話によるデータ転送システムを採用することにより、現地に赴くことなくリアルタイムで監視を行なえるようにしている。

図10は、観測開始時から現在までの各変位ゲージ指示値と近傍の岩体表面温度について、時系列グラフにしたものである。平成13年9月までは、どの測定点も岩体表面温度と非常に強い相関を示しており、気温変化による岩体の膨張・収縮がデータに現れたものだと考えられる。しかし10月に入ってからは、Ch.1において明らかに気温変動とは違う挙動が見られ、また10月12日に設置したCh.4についてもCh.1と同様な一方向的な変動を示している。このことは、周辺岩盤の力学的な影響による仏体崩落の危険を予知している可能性も考えられる。今後は原因解明・早期に対策を立てることができるように、得られるデータの注視の継続、より精密な岩盤調査などを行なう予定である。



(a) 亀裂変位監視システム観測点

(b) 変位ゲージの取り付け

図9 古園石仏天部像周辺の亀裂計測(a) (b)

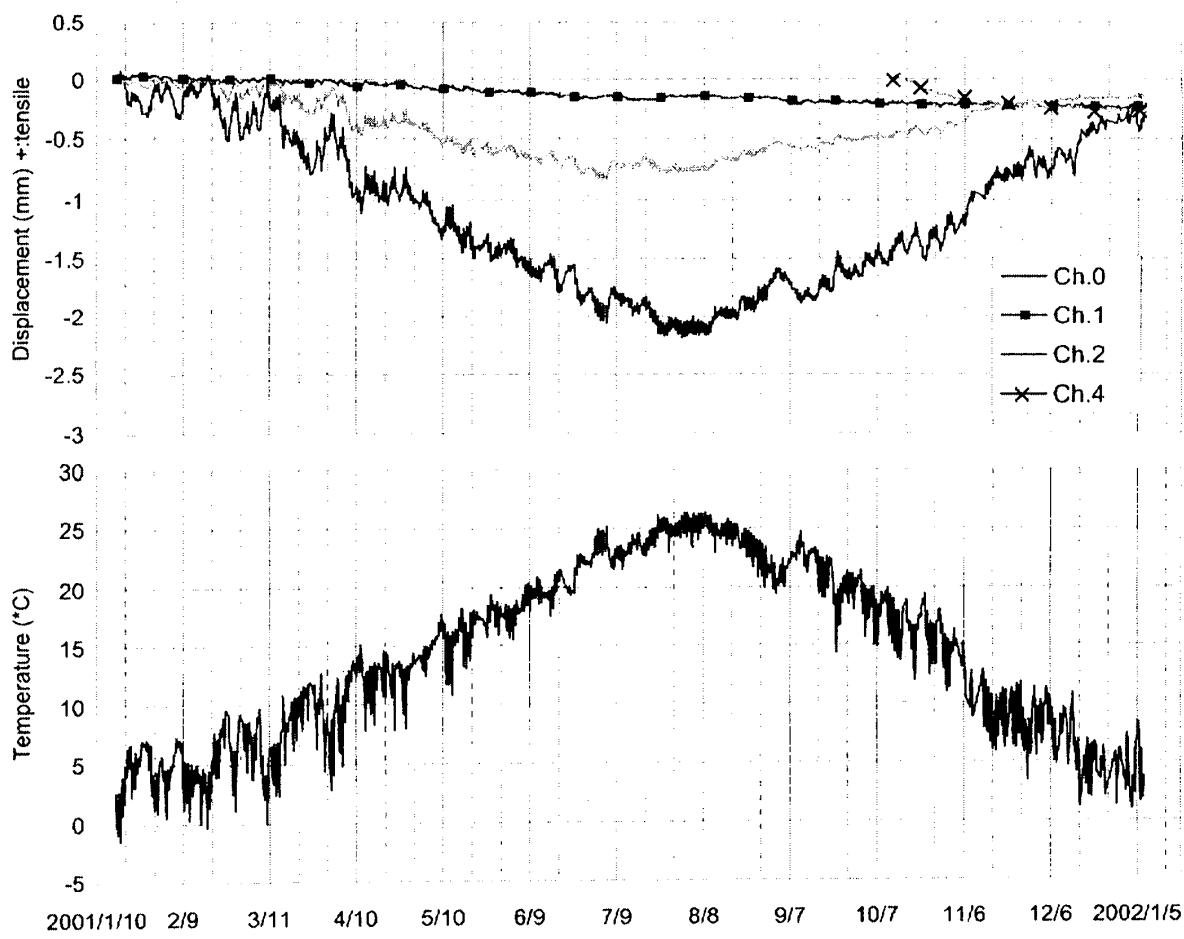


図10 古園石仏天部像周辺の亀裂変位

4-6 磨崖仏全体の監視システムの構築

磨崖仏の保存対策に関して、前節までに説明したハード面の対策も重要である。しかしながら、これらの手法を用いることによって、必ずしも完全に劣化を防ぐことができるとは限らない。また、起こったイベントに迅速に対応するためには、ハード面の対策だけではなく、白杵市・東文研・文化庁の三者の情報伝達・共有システムの確立といったソフト面にて対策を講じる必要がある。そこで、各石仏群で得た測定データと目視データとの比較を目的としたデジタルビデオカメラによる石仏監視システムの設置や、現在までの修復記録のデジタル化を目的とした、高解像度デジタル画像ライブラリの作成を行なっている。

石仏監視システムは、図2に示す通り、山王石仏を除く全ての石仏群に設置しており、植物繁茂や結露・覆屋上部からの漏水などについて、時間変化を撮影することに成功している。また、高解像度デジタル画像ライブラリでは、各石仏群において1億画素を越える高解像度のデジタル画像を撮影することで、非常に小さな剥落片の修復にも対応可能なシステムにする予定である。

5. おわりに

本報では、臼杵磨崖仏次期保存修復計画の策定を目的とした臼杵市・東文研の共同調査について、その経緯・目標・調査概要について述べた。

臼杵磨崖仏保存対策工事の履歴においては、現在抱えている保存対策上の問題点が当初より指摘されていたことを確認し、問題点が極めて普遍的なものであることを再認識した。また、個々の問題点に着目して行なった現在までの対策工事の問題点の整理を行なったうえで、今後より効果的な対策を講じるために、より定量的な現象の把握かつ、複数の劣化要因のバランスを考慮することが重要であることを指摘した。さらに、磨崖仏の保存対策を講じる際には、磨崖仏の保存状況に関する臼杵市・東文研の共通理解、迅速な情報伝達など、ソフト面での更なる充実が必要であることを指摘した。

その上で本報は、以上の考え方に基づき行なっている共同調査の概要・一部結果について説明している。今後、その成果については順次報告を行なう予定である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、文化庁文化財部美術学芸課奥健夫文化財調査官、大分県教育委員会、臼杵市教育委員会には多大なるご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 朽津信明 (2000) 国宝臼杵石仏の保存に関わる応用地質学的調査(予報), 平成12年度研究発表会講演論文集, 日本応用地質学会, pp. 273-276.
- 2) 朽津信明 (2001) 国宝臼杵石仏の保存に関わる応用地質学的調査(2)一湧水量変動の計測一, 平成13年度研究発表会講演論文集, 日本応用地質学会, pp. 355-358.
- 3) 川野邊渉・朽津信明・早川典子 (2001) 臼杵磨崖仏群における紫外線を用いた生物制御の試み, 保存科学, 40, pp. 64-68.
- 4) 早川典子・川野邊渉 (2001) 事例報告: 臼杵磨崖仏における表面樹脂処理試験, 保存科学, 40, pp. 69-74.
- 5) 臼杵市 (1997) 国宝臼杵磨崖仏保存修理工事報告書, 439p.
- 6) 大分県立宇佐風土記の丘歴史民俗資料館 (1996) 石造文化財の保存対策のための概要調査, 151p.
- 7) 東京国立文化財研究所 (1985) 石造文化財の保存と修復, 180p.
- 8) UCHIDA, Akito (1993) Conservation of the Engraved Rock Wall in the Temiya Cave, Japan, Proceedings of Conservation of Ancient Sites on the Silk Road, The Getty Conservsation Institute, pp. 235-243.

キーワード: 臼杵磨崖仏(Usuki stone buddhas); 環境計測(environmental measurement), 塩類風化(salt crystalization decay); 凍結劣化(frost shattering of stone)

Cooperative Research at Usuki Stone Buddhas for the Next Restoration Project

Masayuki MORII, Nobuaki KUCHITSU,
Takashi KANDA* and Wataru KAWANOBE

In order to conserve and restore Usuki Stone Buddhas, the Usuki city government and National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo continue to conduct cooperative research. This consists of some field observations (air temperature, surface temperature of the stone Buddhas, relative humidity, wind velocity, water contents of the stone) and some experiments about restoration techniques. In this report, we explain our view and provide an outline of our research.