


# Introduction

## 序論





Introduction - Chapter 1

## **The Purpose, Method and Composition**

序論 第一章  
目的, 方法, 構成

Introduction - Chapter 1

- 1.1 Purpose
- 1.2 Method and Composition

序論 第1章

- 1.1 目的
- 1.2 方法と構成

## Chapter 1 : The Purpose, Method and Composition

NAKAGAWA Takeshi

## 序論第1章 目的、方法、構成

中川武

## 1.1 Purpose

Bayon (latter half of 12th century), the central temple of Angkor Thom, displays an ambiguous character as a result of its complex history of transformation and expansion which, as will be discussed later, is embraced by an architectural style seen nowhere else. Bayon is not only a representative structure in the cultural history of Khmer architecture along with Angkor Wat (first half of 12th century). It would not be an exaggeration to say that its uniqueness makes it a preeminent monument in the history of mankind. In addition to their value as a world heritage, Bayon and Angkor Thom are proof of the prosperous history of the Angkor dynasty, they are living places of worship not only for the residents of the Angkor – Siem Reap area but for all the people of Cambodia, and they are today the center of Angkor tourism. Precisely because the significance of Bayon goes beyond the symbolism of traditional culture, it is one of the most important monuments to the Cambodian people. However, due to reasons that will be discussed later, Bayon is also one of the most deteriorated monuments in serious danger of collapse. Moreover, because it is a dense agglomeration of buildings created by impulsive, on-site construction techniques, it is one of the most technically difficult monuments to restore.

Due to such compounded reasons, full-scale conservation measures for Bayon Temple as a whole had continued to be put on hold, even though it was in urgent need of conservation and restoration work.

Ever since JSA began preliminary surveys in October 1992, we held a strong wish to contribute to the conservation of Bayon. However, based on an understanding of the difficulties mentioned above, we became keenly aware of the need for a master plan that would present a comprehensive policy for conservation and restoration, and realized that the formulation of such a master plan would itself comprise a long-term project. It was necessary for restoration activities to be based on studies and research of Bayon and Khmer architecture in general, as well as on an accurate grasp of original Khmer construction technologies. More specifically, in addition to a multidisciplinary study on the meaning of Bayon, it became absolutely necessary to establish a route for technology transfers. Japanese researchers and engineers would first study the original technologies of Bayon that are unusual even among traditional Khmer construction technologies, and they would then transfer the knowledge to Cambodian workers. Around this time in 1992, the Northern Library was considered to be facing the most imminent danger within the entire Bayon complex. The restoration of the library was naturally our main goal, but we predicted that our efforts to restore the library would simultaneously have great

## 1.1 目的

アンコール・トムの中央寺院バイヨン（12C 後半）は、後述するように、複雑な歴史の変容と増広の結果、多義的な性格が類例のない建築形式によって統合されている。バイヨンは、アンコール・ワット（12C 前半）と並ぶクメール建築文化史の双璧であるばかりでなく、そのユニークさにおいて、人類史上の傑出した記念碑であるといっても過言ではない。また、このような世界文化遺産としての価値に加えて、アンコール・トムとバイヨンはアンコール王朝の最も繁栄した歴史の証であること、アンコール・シェムリアップ地域の住民のみならずカンボジア国民全体の生きた信仰の場であること、そして現在のアンコール観光の中心であること等によって、カンボジアにとって伝統文化の象徴であるだけに留まらない最も重要な遺跡の一つとなっている。ところが、バイヨンの現状はこれもまた後述するような理由によって、最も劣化、崩壊の危機に瀕した遺跡の一つでもある。その上、現場での即応的な建築技術が適用された建物が高密度に集積された遺跡であること等によって、その修復が技術的に最も困難な遺跡の一つともなっている。

このような重層的な理由によって、バイヨン寺院全域の保存修復は、緊急に必要でありながら、本格的な保存措置が保留されて来たともいえる。

JSA は 1992 年 10 月に予備調査を開始した時点より、バイヨンの保存に貢献することを強く願った。しかし、上述のような困難性の認識から、保存修復のための総合的な指針としてのマスタープランの必要性が痛感され、その策定自体が長期的なプロジェクトになると考えられた。バイヨンのみならずクメール建築全体の調査研究と、クメールのオリジナルな造営技術の理解の上に、修復工事を進めることが必要であった。即ち、バイヨンとは何かに関する多面的な研究に加えて、クメールの伝統的な建築造営技術の上でも特異なバイヨンのオリジナルな技術をまず最初に日本人研究者と技術者が学び、それをさらにカンボジア人に移転するという経路がどうしても必要とされたのである。バイヨン寺院全域の中で、1992 年当時最も危機がさし迫っていると考えられたのは、バイヨン北経蔵であった。この修復の実践は勿論それ自体が目的であったが、同時にバイヨン全体のマスタープランの策定にとっても重要な意味を持つだろうことが予想された。

バイヨンマスタープランのもう一つの基本的性格は国際的協調体制による策定を心掛けたことである。

significance when formulating a comprehensive master plan for Bayon.

Another basic feature of the Bayon Master Plan was that it was formulated based on a framework of international co-operation. Studies and research of Bayon and other Angkor monuments conducted by l'École Française d'Extrême-Orient (EFEO) and past restoration and conservation efforts have undeniably contributed beyond measure. Since the beginning, we at JSA hoped to learn from and cooperate with EFEO. In August 1994, H. E. Mr. Vann Molyvann, State Minister in charge of Angkor, summoned representatives from JSA and EFEO to the Terrace of the Elephants in the Royal Plaza of Angkor Thom, and expressed his wish to make Angkor Thom into a heritage like the Heijo capital, the ancient capital of Nara, and Bayon into a monument like the Ise Shrine. To that end, he requested the close cooperation of JSA and EFEO in the conservation of Angkor Thom, and the efforts of an international team which would include Cambodian workers to address the restoration of Bayon from the survey and research stage.

The National Research Institute for Cultural Properties, Nara, located at the site of the Heijo Palace, is the key center for the study and research of ancient architecture and cities in Japan and technologies for their conservation and restoration. The Heijo Park, where the organization is undertaking the restorative development of the ancient capital, is also a mecca for cultural tourism. H. E. Mr. Vann Molyvann also focused his attention on Ise Shrine, not so much because it worships the ancestral deities of the imperial family, but perhaps more because the beautiful environment of the sacred place is always maintained as the spiritual home of the Japanese people. JSA couldn't agree more with this idea.

In 1996, all foreign teams and the young generation of Cambodians working in Angkor were called on to attend the Bayon Symposium. As a part of the effort to carry out restoration activities for Bayon and Angkor at the global level, world authorities in this field were asked to participate in the symposium headed by APSARA, an organization affiliated with the Cambodian government, organized by UNESCO, and sponsored by JSA. The primary goal was the formulation of a framework for the Bayon Master Plan, but there was actually a larger theme of discussing the future direction of studies and research and measures for conservation and restoration of not only Bayon but the Angkor monuments as a whole.

An official international coordination council (ICC) for cooperation in the conservation and restoration of the Angkor monuments had already been launched in 1993. The council was basically established so that formal discussions could be held among the governments of approximately thirty countries and international institutions. However, the Bayon Symposium played an important role as a forum for technical discussions on studies and technologies, and continued to be held every year at Siem Reap, for a total of nine times until December 2004. The basic structure of the Bayon Master Plan was formed

バイヨンのみならず、アンコール遺跡に対するフランス極東学院 (EFEO) の調査研究と、修復保存に対する既存の貢献は言うまでもなくはかりしれないものがある。私たち JSA は当初より EFEO から学び、協調することを願ってきた。1994 年 8 月アンコール担当国務大臣であったヴァン・モリバン氏が JSA と EFEO の代表を、アンコール・トム王宮前広場、象のテラス上に呼び、アンコール・トムを奈良の古代都城である平城、バイヨンを伊勢神宮のようにしたい。ついては、アンコール・トムにおいては、JSA と EFEO の緊密な協力を、バイヨンについては、調査研究段階からカンボジア人を含む国際チームで取り組んで欲しいという要請があった。

平城宮址にある奈良文化財研究所は、日本における古代建築都市の調査研究と保存修復技術の一大拠点であり、都城の復元整備が進められている平城公園は文化観光のメッカでもある。また伊勢神宮は天皇家の皇祖神が祀られているという理由以上に、日本人の魂の故郷として常に美しい聖地としての環境が整えられていることにヴァン・モリバン氏は注目されていたのであろう。JSA もその考えについては大賛成であった。

アンコールで働く、全ての外国チームとカンボジアの若い世代に呼びかけ、世界的なレベルでバイヨン・アンコールの修復事業を進めるという目標の一つとして、この分野の世界的権威の参加を要請し、カンボジア政府アプサラの指導、ユネスコを事務局、JSA の主催の形を整え、直接の目的はバイヨンマスタープランのフレームワークの形成としたが、実際にはバイヨン、ひいてはアンコール遺跡に関して、今後どのように調査研究し、保存修復していくかをテーマとしたバイヨンシンポジウムを 1996 年に開催した。

アンコール遺跡の保存修復協力のための正式な国際調整会議 (ICC) が 1993 年より既にスタートしていた。これは、どちらかといえば、約 30 の各国政府、国際機関等のフォーマルな協議のためのものであったが、研究や技術の専門的議論のための機会としてバイヨンシンポジウムは重要な役割を果たし、2004 年 12 月の第 9 回まで毎年シェムリアップにて続けられた。バイヨンマスタープランの骨格を形成したのがこのバイヨンシンポジウムであったが、一方ではこのマスタープランの策定のための国際協調そのものが、JSA をはじめとしたアンコールにおける各国チームの活動に直接間接の影響を及ぼしたものと思われる。その意味でバイヨンマスタープランの目的は既に半分は果たされたとも考えられる。それは、さておき、以上を要約すれば、バイヨンマスタープランの目的は、

through the Bayon Symposiums, but it was precisely this mechanism of international cooperation directed to formulating the Master Plan that both directly and indirectly influenced the activities of JSA and other foreign teams in Angkor. In this respect, it can be said that half the goal of the Bayon Master Plan has already been achieved.

Be that as it may, the objectives of the Bayon Master Plan can be summarized as follows.

- (1) To academically study and research the religious, artistic, and architectural properties of Bayon Temple and the significance of its conservation and restoration from a multi-disciplinary approach.
- (2) To carry out restoration work by integrating the processes of elucidating, experiencing, training, and mastering the traditional construction techniques of the Bayon and Angkor monuments.
- (3) To utilize past research results pertaining to the Bayon and Angkor monuments and engage in plan formulation and restoration work under a framework of international cooperation centering on Cambodian youths in order to apply the knowledge and wisdom of the international community.
- (4) To fully harmonize the significance of Bayon to the Cambodian people and society, to international tourism, and as a world heritage, and to aim for eternal conservation.
- (5) The records of activities implemented by each team in Angkor should be disclosed and applied to the cultivation of Cambodian experts.

The ultimate goal of the Bayon Master Plan is to provide a fundamental and comprehensive policy that would ensure the effective coordination and execution of the above interrelated objectives.

## 1.2 Method and Composition

The execution of each of the structural objectives (1) to (5) which define the goal mentioned previously is in fact that fundamental policy for the formulation of the Bayon Master Plan, and the general framework of the Bayon Master Plan was created through the accumulation of presentations, discussions, and recommendations from the annual Bayon Symposium.

The theme for each year's Bayon Symposium was decided in consideration of the deep problems confronting each team involved in the actual conservation and restoration work for the Bayon and Angkor monuments, and based on a conscious awareness of the issues that should be addressed by the Bayon Master Plan.

Therefore, teams participating in the Bayon Symposium could present the results of their activities up to that point and expect to be able to reflect the details of the discussion on their examination of issues they are facing at that time. This was probably the most important aim of the Bayon Master Plan.

Depending on the objective, surveys not only focused on

- (1) バイヨン寺院の宗教的、美術的、建築的性格の解明と、その保存修復の意義に関し、多角的な学問領域より学術的に調査研究する。
- (2) バイヨン・アンコール遺跡の伝統的造営技術の解明、体験、訓練、熟練の過程を組み込んで修復工事に当たる。
- (3) バイヨン・アンコール遺跡に関する従来の研究の成果を活用し、世界的な英知を導入するために、カンボジアの若い世代を中心とした国際協力体制のもとに、その策定作業と修復工事に取り組む。
- (4) カンボジア国民と社会におけるバイヨンの意義、国際観光上の意義、世界文化遺産上の意義を十分調和させ、永続的保存を目標とする。
- (5) アンコールにおける各国チームの活動の記録は全て公開し、カンボジア人専門家の養成に貢献すべきである。

以上の相互に関連する目的を調停し、有効に実行するための基本的、全体的な指針を得ることがバイヨンマスタープランの目的である。

## 1.2 方法と構成

前項の目的を規定する(1)~(5)の各構成項目の実行が、即ちバイヨンマスタープラン策定のための基本指針であり、毎年バイヨンシンポジウムにおける発表、議論、リコメンデーションの積み重ねによってバイヨンマスタープランの全体の枠組みが作られた。

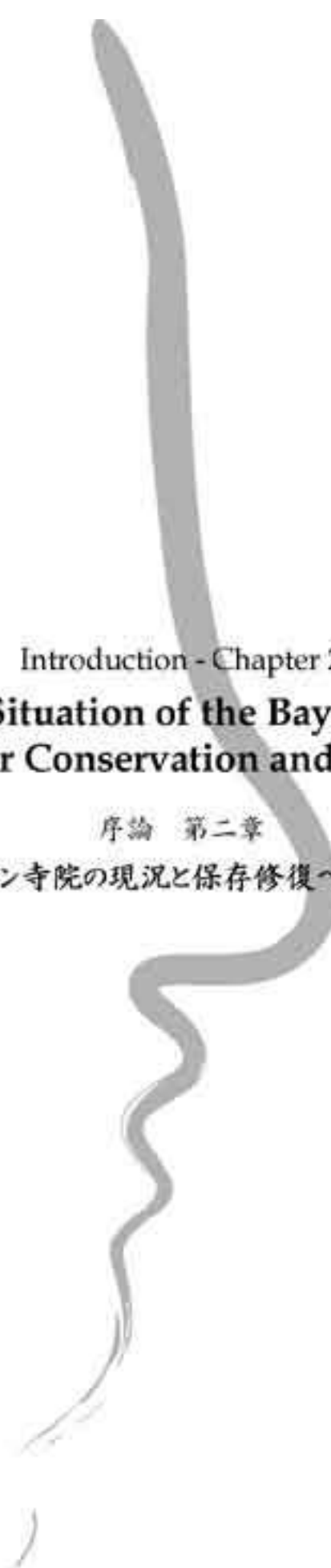
バイヨンシンポジウムの毎年のテーマはバイヨン及びアンコール遺跡の実際の保存修復工事に関して各チームが直面している切実な課題を考慮し、かつバイヨンマスタープランとして取り上げるべき課題を意識しつつ決められた。

したがって、バイヨンシンポジウムに参加したチームにとって、その時点での成果が発表され、そこでの議論が、その時点での各チームの課題の検討に反映することが期待されていたといえる。このことがバイヨンマスタープランの最も重要なねらいと方法であったと思われる。

Bayon, but were expanded to include other relevant Angkor monuments (art history, architecture history). In addition to various academic studies, such as the construction process of Bayon (archaeology), identification of fallen elements (petrology, archaeology), deterioration factors of the bas-reliefs (conservation science, petrology), causes of structural deterioration in tower buildings and terraces (architecture structure, geotechnical and basic engineering, petrology), and measurements and three-dimensional images, JSA's experiences, training, and results of restoration work for the Northern Library of Bayon, the Northern Library inside the Outermost Enclosure of Angkor Wat, and Prasat Suor Prat N1 tower in the Royal Plaza of Angkor Thom were combined and reflected in the details of the Bayon Master Plan. Details of the above are compiled in 2 chapters of the introduction, 3 chapters of the main discourse, conclusion, and 13 sections of the appendix (documentation of the results of each specialized survey and restoration work) of the Bayon Master Plan.

また目的によってはバイヨンに集中するだけでなく関連する他のアンコール遺跡にまで調査の対象を広げたものもある（美術史、建築史）バイヨンの建造過程（考古学）、崩落部材の同定（岩石学、建築学）、浅浮彫りの劣化原因（保存科学、岩石学）、塔状建造物およびテラスの構造劣化原因（建築構造学、地盤・基礎工学、岩石学）、測量及び三次元画像などの各学術調査に加え、バイヨン北経蔵、アンコールワット最外周壁内北経蔵、アンコールトム王宮前広場プラサート・スーブラ N1 塔に関する JSA による各修復工事における体験、訓練、成果が集約されバイヨンマスタープランの内容に反映された。以上の内容はバイヨンマスタープランの序論 2 章、本論 3 章、結論、及び付録 13 節（各専門調査及び修復工事の成果を記録化したもの）の構成にまとめられている。





Introduction - Chapter 2

**The Present Situation of the Bayon Temple and  
Themes for Conservation and Restoration**

序論 第二章

バイヨン寺院の現況と保存修復への課題

Introduction - Chapter 2

- 2.1 Previous Conservation and Restoration Activities at the Bayon Temple
- 2.2 Outline of Architectural Inventory and Theme for Conservation and Restoration
- 2.3 Outline of Art History Investigation  
and Theme for Conservation and Restoration
- 2.4 Outline of Archaeology Investigation and Theme for Conservation and Restoration
- 2.5 Outline of Building Structure, Geo-technological Investigation  
and Theme for Conservation and Restoration
- 2.6 Outline of Petrology Investigation and Theme for Conservation and Restoration
- 2.7 Outline of Conservation Science Investigation  
and Theme for Conservation and Restoration
- 2.8 Outline of the Drainage System of the Bayon Temple  
and Theme for Conservation and Restoration
- 2.9 Bayon, As a Living Temple  
-Message from the Scene of the Bas-relief of the Bayon Temple-

序論 第2章

- 2.1 バイヨンでの保存修復活動
- 2.2 建築インベントリ調査の概要と保存修復への課題
- 2.3 美術史調査の概要と保存修復への課題
- 2.4 考古学調査の概要と保存修復への課題
- 2.5 建築構造および地盤調査の概要と保存修復への課題
- 2.6 岩石学調査の概要と保存修復への課題
- 2.7 保存科学調査の概要と保存修復への課題
- 2.8 バイヨンの排水システムの概要と保存修復への課題
- 2.9 生きた寺院としてのバイヨン - バイヨンに描かれた浅浮彫りの一場面から -

## Chapter 2: The Present Situation of the Bayon Temple and Themes for Conservation and Restoration

## 第2章 バイヨン寺院の現況と保存修復への課題

### 2.1 Previous Conservation and Restoration Activities at the Bayon Temple

### 2.1 バイヨン寺院での既往の保存修復活動

SHIMODA Ichita

下田一太

The condition of Bayon has been a matter of tremendous concern since its initial discovery. The École Française d'Extrême-Orient (EFEO) conducted conservation and restoration activities at the Bayon complex from the early part of the 20th century until the outbreak of internal conflict in Cambodia. The status of these activities is recorded in their journal entitled *Rapports d'Angkor*. The following is a summary of the conservation and restoration efforts of the successive directors of the *Service de conservation des monuments du groupe d'Angkor*.

Before setting up its base of operations at Angkor, the EFEO began the process of eradicating undergrowth and felling trees in 1901. Once the former Cambodian territories including the Angkor region were returned by the France-Siam Treaty of 1907, the removal of undergrowth and trees was begun at Bayon. The first director of the *Service de conservation des monuments du groupe d'Angkor*, J. Commaille, cleared the vegetation not only from the temple complex, but also from all the paths lead to the buildings of Angkor Thom, and cleared a path from Bayon to the south gate of Angkor Thom in 1910 and a path from Bayon to the Gate of the Dead in 1911. The process of removing and cataloging the fallen stones that had piled up in the Outer Gallery was also begun in 1911, and the same process was begun for the Inner Gallery in 1912. The restoration work at this stage consisted in resetting the stones in their original positions. At the time Commaille was murdered in 1916, the entire complex had been cleared of fallen stones with the exception of the upper terrace.

H. Marchal continued this work, replacing the wooden support pillars Commaille had erected to prevent further collapse of the structures with concrete ones and taking up the task of removing the fallen stones from the upper terrace. Marchal installed devices to strengthen the stonework and began using metal supports, and worked to reinforce most of the complex. No major work was undertaken in the period from 1919 to 1931 besides the clearing of vegetation and small-scale reinforcement of structures, but during this time, the eastern terrace was damaged when an enormous tree fell on it, and the rest of the trees in the complex were cut down.

In 1931 and the following year, the Outer Gallery was restored under the direction of G.A. Trouvé. Most of the pillars were restored and returned to their original positions. In addition, most of the fragments of the material for the baluster was collected and restored to the greatest extent possible. Even

バイヨンは発見当初より非常に憂慮されるべき状態にあった。バイヨン寺院は20世紀の初頭よりカンボジアの内乱が勃発するまでフランス極東学院により保存修復活動が実施されてきた。それらの活動の様子は活動日誌にあたる『アンコール報告書(*Rapports d'Angkor*)』に記録されている。以下、歴代の遺跡保存管理官がバイヨンで行った活動の概要である。

フランス極東学院は、その拠点をアンコールに設立する以前の1901年より、除草作業や樹木の伐採を行っていた。1907年のフランス・シャム条約でアンコール地域を含む旧カンボジア領土の返還を待って、バイヨンでは草木の除去作業が始められた。初代の遺跡保存管理官を務めたコマイユ(J. Commaille)は伽藍内だけでなく、アンコール・トムの各建物に通じる道の草木の除去も行い、1910年にはバイヨンからアンコール・トムの南門に通じる小道、そして1911年にはバイヨンから死者の門へと通じる小道が整えられた。外回廊に堆積していた崩落石材の除去整理作業を開始したのも同じく1911年のことである。1912年、内回廊でも崩落石材の除去整理作業が開始された。このころの修復作業では石材は復元的に組立て直されることもあった。1916年にコマイユが暗殺された時点で、最上層テラスを除く伽藍全体で崩落石材の除去作業は完了していた。

その後、工事を引き継いだマルシャル(H. Marchal)は、コマイユにより設置された木造の崩落防止のための仮設的な支柱をコンクリート支柱へと改め、最上層のテラスの崩落石材の除去作業に取りかかった。マルシャルはさらに石材補強のための器具の取り付けや金属製の支持補強の使用を開始し、伽藍の大部分において補強作業を行った。1919年から1931年の間は、除草作業や小規模な補強工事の他は大掛かりな作業は行われなかったが、この間に、巨木が東側テラスの上に倒落したことの被害を受け、伽藍内に残っていた全ての樹木が伐採された。

1931年から翌年にかけてはトゥルーヴェ(G. A. Trouvé)の指揮の下、外回廊の修復が行われた。多数の柱材が修復され、原位置へと復位された。この他、連子など多数の部材片が集められ、可能な範囲で復位された。このような修復の最中にも建物の崩壊は徐々に進行し、1932年には中央塔の一部が崩れ落ちるという惨事が起きている。1933年には中央塔の

during this restoration the buildings were gradually deteriorating, and in 1932 a terrible loss occurred when part of the Central Tower collapsed. In 1933, work began on reinforcing the Central Tower, and a scaffolding was erected around the tower. Then, using block and tackle, the parts of the stonework whose collapse posed the greatest danger were dismantled and reassembled. The Central Tower's suspended gallery was also reinforced at this time. That same year, Trouvé discovered a giant Buddha statue 3.6m high, 14m directly beneath the Central Tower.

From 1939 to 1946, the construction work continued under the direction of M. Glaize. During this time, the restoration of nearly all the towers on the upper terrace was completed. This restoration proceeded with the dismantling and reassembly of the structures according to the degree of danger their collapse posed, and these were reinforced with iron cramps. In this phase of the restoration, most of the concrete supports installed by Marchal were removed. From the end of Glaize's tenure as director, this construction work was continued by his successors, and a number of towers were restored.

Then, from 1963 to 1966, the cleaning of the bas reliefs in both the Inner and Outer Galleries was carried out under the direction of B.P. Groslier in order to photograph every location in the complex.

Following Cambodia's civil war, the conservation and restoration efforts at Bayon resumed immediately with the PKZ project. In the 1980s, Poland launched a campaign for the restoration of the Angkor ruins with Australia, India, Sweden, Vietnam, and Cambodia, to establish Friends of Angkor Wat, an international non-political aid organization for the restoration of the Angkor temple complex. Benefiting from these activities, a five-year plan was formulated from 1989 to 1990 for archaeological surveys and the restoration of the Bayon complex, and archaeological surveys were conducted in 1990. In the restoration plan submitted the same year for Bayon's Northern and Southern Libraries and the East Tower of the Outer Gallery, these three danger zones were shored up with wooden posts. After this, preliminary activities for a survey of the deterioration of the stonework at Bayon and Angkor Wat were begun, but unfortunately, this project did not lead to any actual restoration work.

Tracing the history of previous conservation and restoration activities at Bayon, it is possible to get a glimpse into the confrontation with imminent danger that the work entailed. We are, after all, far removed from radical restoration work, but this may be all to the good of Bayon, since, at the very least, it has been kept from deteriorating beyond the point of no return. Bearing in mind the difficulty of conserving and restoring the entire Bayon complex and that we have inherited the efforts of those who took on that work before us, a fund that allows us to do our part as friends of Bayon is something we might give our humble consideration.

補強が開始され、塔の周りには足場が組まれ、滑車を利用して崩落危険箇所の石材の解体再構築が行われた。中央塔の空中回廊の補強もこの時に実施された。同年、トゥルーヴェは中央塔の直下 14m の深さから高さ 3.6m の大仏陀像を発見している。

その後、1939 年から 1946 年の間、工事はグレーズ (M. Glaize) の指揮の下で進められた。この時に上層にあるほぼ全ての塔の修復が完了した。この修復では崩壊の危険の程度に応じて、解体再構築が行われたり、鉄製の錠を取り付けられて補強された。これらの修復工事により、マルシャルによって設置された多数のコンクリートの支柱は撤去された。グレーズが監督の任を終えてからも後任者により工事は引き継がれ、幾つかの塔の修復が行われた。

その後、1963 年から 1966 年まで、伽藍各所の写真撮影のためにグロリエ (B. P. Groslier) の指揮の下で内外回廊の浅浮彫りの清掃が行われた。

内戦の後にいち早くバイヨンの保存修復事業の再開を試みたのが、PKZ を中心とした事業であった。1980 年代にはアンコール寺院の救済のための国際的な非政府修復組織「Friends of Angkor Wat」の設立をめざして、ポーランドを中心にオーストラリア、インド、スウェーデン、ベトナム、カンボジア各国がアンコール遺跡群修復のためのキャンペーンを実施した。これらの活動を受けて、1989 年から 1990 年にかけて、バイヨン寺院の考古学的調査ならびに修復に関わる五カ年計画が策定され、1990 年にはバイヨン寺院内で考古学的調査が実施された。同年に提出された修復計画ではバイヨンの南北経蔵と外回廊東塔門を対象として、木材支柱によりこれら三遺構の危険箇所が補強された。この後、バイヨンとアンコール・ワットの石材劣化に関する調査が行われるなどの初期的な活動が開始されたが、残念ながらこのプロジェクトは本格的な修復活動を展開するには至らなかった。

バイヨンにおける既往の保存修復活動の歴史をたどると、まさに差し迫った危険に対して懸命に対処してきた様子を窺うことができる。いずれも抜本的な修復活動からは遠いものであったが、このことが逆にバイヨンにとっては幸いであったのかもしれない。少なくとも取り返しのつかない状態に陥るようなことにはならなかったからである。バイヨン全体の保存修復の困難さをよく肝に銘じ、先達の努力を継承して、バイヨンに対して私達が手を加えることができる救済とは何かについて謙虚に考える必要があろう。

## 2.2 Outline of Architectural Inventory and Theme for Conservation and Restoration

NISHIMOTO Shinichi, HATTORI Hiroki

Bayon<sup>1</sup> is a single complex composed of approximately 50 towers and rectangular buildings called pavilions and of galleries that connect these buildings. These structures are all constructed on top of platforms, which become gradually taller toward the center. In making documents of the damaged parts in the process of the study and restoration of this temple, the naming of each part was a pending question from the very start of the project.

In reports made by *l'Ecole Française d'Extrême-Orient (EFEO)*<sup>2</sup>, the buildings are numbered in a clockwise direction beginning with the center of Bayon and going outward; a similar method using letters of the alphabet is employed for identification of structures that do not exist today. Another characteristic of this system is that the numbers proceed in order from the front of the temple, that is, its eastern side. This system should be respected since it is already well known among scholars. However, when we want to indicate a particular place within Bayon, using the *EFEO* numbers will entail difficulties, and therefore, the numbering system must be expanded in order to comprehensively designate every damaged part.

Entries in a work journal show that each of the pillars of the Outer Gallery, at least, was numbered by *EFEO*. From this it may be assumed that for pillars with numbers 160 and 161, three pillars each were grouped together into a set and that these three pillars were distinguished by marking them with [ ' ] and [ " ] after the numbers. If we compare the pillars with their appropriate positions on a plan, this would show that the pillars of the outer gallery were numbered in a clockwise direction and that for the rows of outer pillars [ ' ] and [ " ] marks were added to the numbers.

However, there seems to be no clue as to the numbering system for the pillars of the pavilions; as for the pillars of the inner gallery, nothing has been mentioned at all. For these reasons, any attempt to reproduce the numbering system used by *EFEO* for the pillars had to be abandoned. The use of marks [ ' ] and [ " ] is advantageous in understanding the arrangement of the pillars and in preventing the quantity of numbers used from becoming unwieldy, but there is, on the other hand, a risk of making errors. In view of these reasons, the use of marks for identification in the process of making an architectural inventory of Bayon was abandoned. Instead, the decision was made to number all the pillars.

In spite of having put a great deal of effort into surveying every structure, noting the architectural features, and discovering the particularly notable vestiges, Dumarçay<sup>3</sup> discovered no evidence to modify his theory, formulated on Parmentier's thesis<sup>4</sup> that Bayon underwent a 4-stage construction process in which none of the processes were completed before the next was begun. On this point, the new theory advocated by Claude

## 2.2 建築インベントリー調査の概要と保存修復への課題

西本真一、服部博紀

バイヨン寺院<sup>1</sup>は壮大な複合体であり、中央へ行くに従って徐々に高くなる基壇の上に載った 50 ほどの塔や、あるいはパヴィリオンと呼ばれる矩形平面の建造物、またそれらを繋ぐ回廊などから構成されている。この寺院の研究調査や、修復に備えた破損個所の記録作業に際しては、それぞれの部分をどのように呼称するかが JSA によるプロジェクトの開始当初から大きな懸案事項であった。

フランス極東学院 (EFEO) によるバイヨンの報告書<sup>2</sup>では、現存する各建物に対し、当該寺院の中心から外側に向かって時計回りに順番に番号が与えられていた。寺院の正面、すなわち東側から若い番号が振られている点も特徴的である。また現在では存在しない構築物については数字ではなく、アルファベットが用いられ、区別がなされている。すでにこれらの略号が研究者の間で広く認知されているため、これを尊重すべきであるが、しかし細かな場所を指し示そうとする際、EFEO による番号だけでは困難が伴う。破損個所を逐一明記しようとする場合に、番号付けはさらに拡張されなければならない。

少なくとも外回廊に立つ柱については、EFEO によって 1 本ずつ番付がなされたことが工事日誌からうかがい知ることができる。例えば 1932 年 1 月のトゥルーヴェによる報告では、東側回廊・北側外回廊について触れた日誌の中で「柱 160、160'、160"、161、161'、161"、162'、163' 番は立て直して土台を補修した」との記述が見られ、160 番と 161 番の番付を有する柱に関してはそれぞれ 3 本がひとまとまりとして考えられているようであり、なおかつ番号に符号「'」や「"」を振ることによって 3 本の柱の識別をおこなっていたらしいことが推察される。これに基づいて該当箇所の平面図と照合するならば、外回廊の柱については時計回りに順次番号を付して、外側の柱列に関しては割り当てた数字に「'」、「"」の記号を振ったと考えることができそうである。

しかしながらパヴィリオンの柱の番付については推定の手掛かりがないように思われ、また内回廊の柱に関しては記述が見当たらない。このため、EFEO による柱の番付を復原することは断念せざるを得なかった。「'」、「"」の記号の使用は柱の配列を理解する上で有利であり、また番号をいたずらに増加させないという長所がある。だが一方では誤記を招く恐れが指摘され、以上の諸点を勘案してバイヨンの建築インベントリーを進めるに当たっては、符号の付加による区別をやめ、柱には通し番号を振ることに

Jacques in recent years on the construction process of Bayon has been completely disclaimed.

As shown elsewhere, a survey of the likelihood of collapse was conducted in parallel with the architectural inventory, and small-scale restoration was carried out by JSA giving priority to structures according to their danger of collapse. In addition, a database was begun of the many scattered stones, and it is particularly noteworthy that a number of stones that compose part of the tower of faces have been discovered. The walls of the Outer Gallery that are decorated with reliefs are expected to be restored in the future by reattaching the stones that have fallen from them. The central floor of the Eastern Pavilion, the floor abutting the west side of tower 17 on the uppermost platform as well as its northern floor, the upper northeast Inner Courtyard of the second platform and other areas show remnants of what are thought to be engraved lines relating to Bayon's design. Measurements have been taken, and it has been pointed out that in the future, analysis of these may reveal the units of measure that were used at the time Bayon was constructed.

Below is a list of some of the results obtained by drawing up the architectural inventory described above:

1. The condition of the remains of the many chapels, towers, and galleries, and the courtyards into which they are subdivided became clear, along with their danger of collapse and ease or difficulty of conservation and restoration.

2. Meanwhile, as a result of surveys concerning the joining parts of the building, the order in which the entire complex was built has been reconfirmed, supporting Parmentier and Dumarçay's theory while disproving that of Jacques.

3. A certain amount of the stone needed for restoring the towers of faces and reliefs of the Outer Gallery has been discovered among the scattered stones, and combining the results of this survey and the architectural inventory will lead to a definite plan for restoring this temple.

4. Preliminary lines that suggest the measure used in planning Bayon have been discovered, and taking into consideration the actual measurements of such things as the intervals between the pillars of the pavilions and the galleries may provide clues to interpolating the unit of measure used at the time of construction.

The aspects of this temple's building process that have been newly clarified are vital, since they mean that important new clues have been obtained for accomplishing its conservation and restoration in the future. Several important vestiges that clearly demonstrate the building process must be passed on to future generations, in particular such as the series of sections connected with towers 12–15 on the uppermost platform, the remaining sandstone floor of the chapel A, the vestiges connected with chapel M and its Outer Gallery, and chapel P and its Outer Gallery. Scrupulous care is needed when conserving and restoring the features of these areas.

した。

各建物を調査し、建築学的な特徴、特に注目すべき痕跡を発見することに努力が注がれたものの、パルマンティエの論考<sup>3</sup>を基本として纏められたデュマルセによる説<sup>4</sup>、すなわちこの寺院が4回にわたる建造過程を有し、しかも各過程が完成を迎えないまま次の過程に着手されたとする見方を大きく変える発見はなされなかった。この点は、クロード・ジャックが近年、提唱したバイヨンの建造過程に関する新説<sup>5</sup>を完全に否定する結果となっている。

付録で示されるように、この建築インベントリーと並行して崩落の危険度に関する調査もなされ、危険が高い場所については順次、JSAによって小規模な修復が進められた。また多量の崩落石材に関するデータベース化も着手され、顔面塔の一部を構成していたと見られるいくつかの石材が発見された点は特に注目されるべきである。レリーフが施された外回廊の壁体から脱落した石材についても、今後の接合作業によって復原が期待される。東パヴィリオン中央の床面、最上基壇の塔17の西に近接した床面、同塔の北方の床面、また第2基壇上の北東内庭などでは、計画線と思われる刻線が残されており、実測がおこなわれたが、今後の分析によってバイヨンが建造された際に用いられた尺度が明らかとなる可能性が指摘される。

以上の建築インベントリー策定による成果を挙げると、

1. 多数の堂宇と塔、回廊、及びそれらによって細分化された内庭などの各々の残存状況、及び崩落の危険度、また保存修復の難易度が明らかになったこと
2. 他方でそれら相互の取り合いを調査した結果、全体としてどのような順番で建造がおこなわれたかが再度確認され、パルマンティエ＝デュマルセによる説が支持されるとともに、ジャックによる新説が否定されたこと
3. 顔面塔や外回廊のレリーフを復原する際に必要な石材が一定量、崩落石材から発見され、この調査結果と建築インベントリーの成果を合わせることにより、この寺院の復原に具体的な方策のひとつがもたらされたこと
4. バイヨンの設計寸法を示唆する計画刻線が発見され、パヴィリオンや回廊などにおける柱間などの実測結果を勘案することにより、当時の尺度を推定する手がかりが得られたこと

などが列挙される。

この寺院の建造過程が改めて明確になった点は、今後の保存修復を遂行するに当たって大切な手がかりが得られたことを意味し、きわめて貴重である。

## 註

- 1 Bibliography of this temple, cf. B. Bruguier, *Bibliographie du Cambodge ancien II: Tables et index*, EFEO, Paris, 1999, pp. 103-106; Recent comprehensive studies, O. Cunin, *De Ta Prohm au Bayon: Analyse comparative de l'histoire architecturale des principaux monuments du style du Bayon*, 2 vols. et 2 annexes (thèse pour l'obtention du doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, 2004); *ditto*, "Restitution du nombre originel de tours à visages au Bayon d'Angkor Thom", presented at the 10th International European Association of Southeast Asian Archaeologists (EurASEAA) Conference, 14-17th September 2004 at the British Museum, London; *ditto*, "The Bayon: New Research", lecture at the British Museum, Education Department, Asian Art Diploma, 22nd February 2005.
- 2 J. Dumarçay, *Le Bayon: Histoire architecturale du temple, Atlas et notices des planches*. Mémoires archéologiques III, Paris, 1967; *ditto*, *Le Bayon: Histoire architecturale du temple, Textes et planches* (avec *Inscriptions du Bayon* par B. Ph. Groslier). Mémoires archéologiques III-2, Paris, 1973. Recent studies by the same author on Bayon; J. Dumarçay, *Babel ruinée: Petit traité du regard porté sur l'architecture en Asie méridionale*, Paris, 1996, pp. 36-41; *ditto*, *Métaphores littéraires et architecturales*, Paris, 2001, p. 34, Fig. 16; *ditto*, *L'architecture et ses modèles en Asie du sud-est*, Paris, 1998, pp. 84-86 (English ed.: J. Dumarçay, translated and edited by Michael Smithies, *Architecture and Its Models in South-east Asia*, Bangkok, 2003, pp. 84-86); J. Dumarçay and Pascal Royère, translated and edited by M. Smithies, *Cambodian Architecture: Eighth to Thirteenth Centuries*, Handbook of Oriental Studies III, vol. 12, Leiden, 2001, pp. 24-26, 91-94; Fig. 82; J. Dumarçay, translated by B. Silverstone and R. Dedourge, *Construction Techniques in South and Southeast Asia - A History*, Handbook of Oriental Studies III, vol. 15, Leiden, 2005, *passim*.
- 3 H. Parmentier, "Modifications subies par le Bayon au cours de son execution: Notes d'archéologie indochinoise VIII", *BEFEO* 27, 1927, pp. 149-165; *ditto*, "Autres modifications subies par le Bayon au cours de son execution: Notes d'archéologie indochinoise IX", *BEFEO* 36, 1936, pp. 281-286.
- 4 J. Dumarçay, *op. cit.*, *Le Bayon: Histoire architecturale du temple, Textes et planches*.
- 5 C. Jacques, "Historical aspects of the Bayon", in compiled by T. Nakagawa, *Draft Master Plan for the Conservation and Restoration of the Bayon Complex*, Book-2, Tokyo, 1999; C. Jacques, "Historical Aspects of the Bayon Temple", in *Third Symposium on the Bayon, Working Documents*, Paris, 1998, pp. 6-13; *ditto*, "Les tours à visages", in *Fifth Symposium on the Bayon: Final Report*, Paris, 2000, pp. 144-149; *ditto*, "Changes in Religious Practice at the Bayon", in *Sixth Symposium on the Bayon: Final Report*, Paris, 2001, pp. 80-85; C. Jacques and M. Freeman, *Angkor: Cities and Temples*. Translated from the French by M. White. River Books, Bangkok, 1997, pp. 252-253; however also see refutations, S. Nishimoto, "The Construction Process of Bayon Temple" (in Japanese), *Ars Buddhica* 274 (May 2004), pp. 97-110; O. Cunin, *op. cit.*, *De Ta Prohm au Bayon: Analyse comparative de l'histoire architecturale des principaux monuments du style du Bayon*, *passim*.

建造過程を明示するいくつかの重要な痕跡は後世にもそのまま伝えられるべきであり、特に最上基壇に立つ塔 12 ~ 15 に見られる一連の接続部、祠堂 A に残存する砂岩材による床、外回廊と祠堂 M が接していた痕跡、外回廊と祠堂 P とのつながりを示す部位などにおいて保存修復がおこなわれる場合には、細心の注意が必要とされよう。

## 註

- 1 Bibliography of this temple, cf. B. Bruguier, *Bibliographie du Cambodge ancien II: Tables et index*, EFEO, Paris, 1999, pp. 103-106; Recent comprehensive studies, O. Cunin, *De Ta Prohm au Bayon: Analyse comparative de l'histoire architecturale des principaux monuments du style du Bayon*, 2 vols. et 2 annexes (thèse pour l'obtention du doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, 2004); *ditto*, "Restitution du nombre originel de tours à visages au Bayon d'Angkor Thom", presented at the 10th International European Association of Southeast Asian Archaeologists (EurASEAA) Conference, 14-17th September 2004 at the British Museum, London; *ditto*, "The Bayon: New Research", lecture at the British Museum, Education Department, Asian Art Diploma, 22nd February 2005.
- 2 J. Dumarçay, *Le Bayon: Histoire architecturale du temple, Atlas et notices des planches*. Mémoires archéologiques III, Paris, 1967; *ditto*, *Le Bayon: Histoire architecturale du temple, Textes et planches* (avec *Inscriptions du Bayon* par B. Ph. Groslier). Mémoires archéologiques III-2, Paris, 1973. Recent studies by the same author on Bayon; J. Dumarçay, *Babel ruinée: Petit traité du regard porté sur l'architecture en Asie méridionale*, Paris, 1996, pp. 36-41; *ditto*, *Métaphores littéraires et architecturales*, Paris, 2001, p. 34, Fig. 16; *ditto*, *L'architecture et ses modèles en Asie du sud-est*, Paris, 1998, pp. 84-86 (English ed.: J. Dumarçay, translated and edited by Michael Smithies, *Architecture and Its Models in South-east Asia*, Bangkok, 2003, pp. 84-86); J. Dumarçay and Pascal Royère, translated and edited by M. Smithies, *Cambodian Architecture: Eighth to Thirteenth Centuries*, Handbook of Oriental Studies III, vol. 12, Leiden, 2001, pp. 24-26, 91-94; Fig. 82; J. Dumarçay, translated by B. Silverstone and R. Dedourge, *Construction Techniques in South and Southeast Asia - A History*, Handbook of Oriental Studies III, vol. 15, Leiden, 2005, *passim*.
- 3 H. Parmentier, "Modifications subies par le Bayon au cours de son execution: Notes d'archéologie indochinoise VIII", *BEFEO* 27, 1927, pp. 149-165; *ditto*, "Autres modifications subies par le Bayon au cours de son execution: Notes d'archéologie indochinoise IX", *BEFEO* 36, 1936, pp. 281-286.
- 4 J. Dumarçay, *op. cit.*, *Le Bayon: Histoire architecturale du temple, Textes et planches*.
- 5 C. Jacques, "Historical aspects of the Bayon", in compiled by T. Nakagawa, *Draft Master Plan for the Conservation and Restoration of the Bayon Complex*, Book-2, Tokyo, 1999; C. Jacques, "Historical Aspects of the Bayon Temple", in *Third Symposium on the Bayon, Working Documents*, Paris, 1998, pp. 6-13; *ditto*, "Les tours à visages", in *Fifth Symposium on the Bayon: Final Report*, Paris, 2000, pp. 144-149; *ditto*, "Changes in Religious Practice at the Bayon", in *Sixth Symposium on the Bayon: Final Report*, Paris, 2001, pp. 80-85; C. Jacques and M. Freeman, *Angkor: Cities and Temples*. Translated from the French by M. White. River Books, Bangkok, 1997, pp. 252-253; however also see refutations, S. Nishimoto, "The Construction Process of Bayon Temple" (in Japanese), *Ars Buddhica* 274 (May 2004), pp. 97-110; O. Cunin, *op. cit.*, *De Ta Prohm au Bayon: Analyse comparative de l'histoire architecturale des principaux monuments du style du Bayon*, *passim*.

*tion and Restoration of the Bayon Complex*, Book-2, Tokyo, 1999; C. Jacques, "Historical Aspects of the Bayon Temple", in *Third Symposium on the Bayon, Working Documents*, Paris, 1998, pp. 6-13; *ditto*, "Les tours à visages", in *Fifth Symposium on the Bayon: Final Report*, Paris, 2000, pp. 144-149; *ditto*, "Changes in Religious Practice at the Bayon", in *Sixth Symposium on the Bayon: Final Report*, Paris, 2001, pp. 80-85; C. Jacques and M. Freeman, *Angkor: Cities and Temples*. Translated from the French by M. White. River Books, Bangkok, 1997, pp. 252-253; however also see refutations, S. Nishimoto, "The Construction Process of Bayon Temple" (in Japanese), *Ars Buddhica* 274 (May 2004), pp. 97-110; O. Cunin, *op. cit.*, *De Ta Prohm au Bayon: Analyse comparative de l'histoire architecturale des principaux monuments du style du Bayon*, *passim*.



## 2.3 Outline of Art History Investigation and Theme for Conservation and Restoration

PARK Hyounggook

### 1. Methodology of Art Historical Investigation of Bayon and Its Purpose

Construction of the Bayon Temple, located in the center of the royal capital of Angkor Thom, was initiated by Jayavarman VII in the latter half of the 12th century. The word Bayon means "beautiful tower of heaven," and as the name indicates, it is the temple monument consisting of a central tower (a central sanctuary) in 40 meters high surrounded by towers (sanctuaries) of various heights.

Just before Jayavarman VII came to rule Khmer, the Khmer went through a period of severe trial when the invincible royal capital of Angkor fell in 1177 by the invasion of Champa (An ancient country, located current central-south Vietnam) and suffered from immeasurable psychological and religious shocks. For this reason the king, upon retrieving the royal capital, presumably endeavoured more than any previous kings to protect the country by the power of religion. So long as Bayon is the building representing this period of time, there is no doubt that it is reflecting a background of the period. It is, indeed, an eloquent proof of religious concept in the latter part of the 12th century by the king and in the country, to be studied not only from architectural aspects as ruins, but also to a great extent from religious-historical aspects.

Temples are more historical relics decorated with religious art than buildings. In religious art there exists no moulding motif that bears "no meaning." In every shape is contained some "meaning" and a message transmitted from individual motif leads to elucidate character of the overall temple and its purpose for erection. In the period when religious thought related deeply to human production activities such as politics, economy and arts, we presume, a shorter route to understanding moulding activities connected closely to the people of those days is rather to understand religious thought of the period. Under the present situation where script documents are extremely limited, we believe, religious art, indeed, can be a beneficial spokesperson and there exists a significance of art-historians' activities with respect to historic constructions.

The Art History Unit, engaged in investigation work for many years, regard this presupposition as important and believe that art history investigation is one of the effective methods of elucidating ruins. It is the same with the investigation of Bayon. Since Bayon is religious construction it is inlaid with various religious and ideological messages. They may not be worthwhile by technical, engineering or scientific approach and not be cited even as an instance, but we have been attaching importance to reading these messages as much as possible in our investigation. We had covered elaborately all mouldings (sculpture motif, reliefs on the walls or columns and three dimensional carving), and interpret each expression and accumu-

## 2.3 美術史調査の概要と保存修復への課題

朴亨國

### 1. バイヨンの美術史的調査の方法とその目的

王城アンコール・トムの中心に位置するバイヨンは、12世紀後半にジャヤヴァルマンVII世によって建立がはじめられた。バイヨンとは「美しい天上の塔」を意味するが、その名の通り、40 mもの高さの中心塔(中心祠堂)を取り巻くように大小様々な塔(祠堂)が林立する寺院遺跡である。

ジャヤヴァルマンVII世がクメールを統治する直前は、これまで不落の王城であったアンコールが、1177年にチャンパ(現在のベトナム中・南部地域にあった古代国家)の侵攻によって陥落するなど、クメール民族にとって受難の時期であり、その精神的・宗教的な衝撃は計り知れない。そのため、再び王都アンコールを奪還した王は、これまでの王にもまして、宗教の威力によって国家を守護することに力を入れたと推測される。バイヨンがこの時代を代表する建造物である以上、当時の時代的背景を反映するものであることは疑いない。まさしく、12世紀後半の国王および国内の宗教観を雄弁に物語る資料として、遺跡という建築的な側面からではなく、宗教的・歴史的側面からも大いに取り組むべき対象といえる。

寺院というものは、建築である以上に宗教美術に彩られた歴史的遺物である。宗教美術において「意味がない」造形モチーフは存在しない。すべての形に何らかの「意味」が込められており、個々のモチーフの発するメッセージは、そのまま寺院全体の性格および建立目的の解明へと導いてくれるはずである。そして、現代よりもより密接に、宗教思想が政治・経済・美術などの人間の生産活動に深く関係していた時代において、本当に当時の人間に密着した造形活動を理解する道筋は、むしろ、その時代の宗教観を知ることが近道ではないかと考えている。文字資料が極めて限られている現状において、宗教美術こそがその有益な代弁者であり、歴史建築における美術史家の活動の意義はそこにあると考えている。

長年、宗教美術の調査研究に従事してきた美術史班は、このような前提を重要視し、かつ、遺跡の解明にとって美術史的調査は有効な方法の一つであると確信している。バイヨンの調査においても同様であり、バイヨンが宗教建築である以上、そこには様々な宗教的・思想的なメッセージがちりばめられている。これらは、建築の技術的、工学的、科学的な研究のアプローチにおいては、サンプルにも挙げられないようなものかもしれない。しかし、我々の調査はこれらのメッセージをできるだけ多く汲み取ることができるかに重きを置いてきた。バイヨン内

late each interpretation. Then, by compiling them, we think, we are able to approach at least near to message contained in the whole Bayon Temple, religious thought held by the King Jayavarman VII and religious or historical views of the Khmer in the latter half of the 12th century.

## 2. Outline of Investigation Activities by the Art History Unit

Investigation activities of the Bayon restoration by the JSA Art History Unit were conducted from 1997 to 2002. First, we started with an investigation of the enormous deity faces, which are representing sculpture motifs at Bayon. We have photographed existing 173 faces, and tried to make reports of each face. We have considered the significance of investigating Bayon deity faces as sculpture work, from which we envisaged its consequence. Then using it as a guideline we have made more detailed report. We have finalised the report expanding our horizon further to deity faces of the Bayon period seen on a rampart or the temple at Angkor Thom and Banteay Kdei. We have reported in the JSA Annual Report as well as by panel displayed at the site that the deity faces at Bayon are not Bodhisattva Avalokitesvara of the Buddhism, Siva of the Hinduism or Devaraja, but they are universal gods in the celestial world i.e. Devas, Asuras, and Devatas. Furthermore, we have a hypothesis that placing deity faces on the top of towers was possibly adopted referring to Bodhisattva or angry faces on the handles of vajra bells and vajras in the late esoteric Buddhism.

Likewise, in order to prove that the temple was constructed hoping for peace of the country and royal family under protection by "universal" and "all" gods, as was originated from deity faces stated in the above, we have expanded our investigation coverage to all over the Bayon Temple. As a result of studying details of patterns in the carving motifs on the pediments and lintels located around the sanctuary entrance and at the various locations in the Bayon Temple, it became clear that the temple was intentionally divided to habitat segregation by religious belief, i.e. on the east side of the Bayon it is the anecdote of Jayavarman VII royal family and belief to him, expressed by a special Devata image modeled after queen consort of Jayavarman VII, situated on the both sides of the sanctuary 15 entrance; on the west side it is belief to Visnu; and on the north side it is belief to Siva. On the remaining south side, it was originally for the belief to Buddhism, but as a result of intentional (or could be said political) movement for eliminating Buddhism aspect for a certain period, it is converted to the area where Siva and Visnu, with a stronger influence by Siva, are expressed in combination. It is also elucidated by examining intensively conditions of destructed seated images of Buddha that we can find in Bayon.

This formation of "habitat segregation" is applied basically to the reliefs of Inner Gallery. Moreover, in the Inner Gallery it is possible to construct a story in the larger panel than pedi-

に施されたあらゆる造形（彫刻モチーフ、壁面や柱に施されたレリーフ、丸彫の彫刻など）を丹念に拾い上げ、その意味を解釈し、個々の解釈を積み重ねていく。そして、それを集積させることで、パイヨン寺院全体に込められたメッセージ、国王ジャヤヴァルマン VII 世の宗教観と、12 世紀後半のクメールの宗教観や歴史観に少しでも近づけると考えている。

## 2. 美術史班の調査活動の概要

JSA 美術史班のパイヨン修復に関連する調査活動は、1997 年から 2002 年に渡って行われた。まず、我々が取りかかったのは、パイヨンを代表する彫刻モチーフともいえる巨大な尊顔の解明である。現存 173 面を写真撮影を行い、各面の調書を作成する取り組みを試みた。パイヨンの尊顔を彫刻作品として取り組む意義を考察し、そこから導かれる成果の見通しを立て、それを指針としてより綿密な調書を作成、さらに、アンコール・トム、バンテアイ・クデイなど、パイヨン期の城壁および寺院に見られる尊顔をも視野に入れ、その成果をまとめた。パイヨンの尊顔は、従来言われてきたような仏教の観音菩薩、ヒンドゥー教のシヴァ神、またはデーヴァ・ラージャではなく、天界にあまねく存在する普遍的な神々、デーヴァ、アシュラ、デーヴァターであるという調査報告を、JSA 年次報告書およびパネル展示という形で報告してきた。また、これらの尊顔を塔堂の頂部に配することが、後期密教の金剛鈴、金剛杵の鬼目にあらわされる菩薩面や忿怒面などを参考に取入れられた可能性が高いとの仮説を持っている。

また、尊顔に端を発した上述のような「普遍的な」「あらゆる」神々の庇護のもと、国および王家の安寧を願った寺院であることを証明するため、調査対象をパイヨン全体に拡大させた。祠堂の入口に設けられたペディメントおよびリントル、その他パイヨンにちりばめられた数々の彫刻モチーフを微細な文様に至るまで確認した結果、パイヨンの東側は、15 堂の入口左右を飾るジャヤヴァルマン VII 世の王妃を象ったとみられる特殊なデーヴァター像など、ジャヤヴァルマン VII 世王家の逸話とその信仰、西側はヴィシュヌ神に対する信仰、北側はシヴァ神に対する信仰を謳った区域となっており、信仰の棲み分けが意図的に為されていることが明らかとなった。残された南側は、本来は仏教信仰の区域であったが、ある時期に行われた仏教的側面を排除する意図的（政治的ともいえるであろう）動きにより、全体的にはシヴァ神色が強いが、シヴァとヴィシュヌをあわせた色彩に変色されている。このことは、パイヨン内に見いだせる仏坐像の破壊状況を丹念に調べることによって、明らかである。

この「棲み分け」の構成は、そのまま内廻廊のレリー

ments, lintels or column decorations. The panels are constructing various scenes of mythology or deeds by the king, containing various messages.

As described previously, at Bayon there are no small numbers of "destroyed" carving motifs by human or natural deterioration. With detailed observation of chisel marks and from the result of carving demonstration, there are quite a few unnatural points clarified. As to images of Buddhist deities like seated images of Buddha and images of Bodhisattva Avalokitesvara it is notable and it is extremely rare that they escaped from destruction. Because of this situation, in the process of above investigation it was necessary to confirm possible original deity images of the Bayon period, enlisting all comparable examples, not only deity images of Buddhism but also those of Hinduism. For this relevant investigation, we have investigated art-works owned by the Preservation and Restoration office of the Angkor Monuments, the National Museum in Phnom Penh, as well as Khmers art-works of the Bayon period owned by the Bangkok National Museum, Thailand, the National Museum of Phimai. We have turned our eyes certainly to temple monuments of the Bayon period located in Angkor area and Banteay Chmar, located to the north-western area of Cambodia, which is considered to be one of the strongholds, or an advance base of Jayavarman VII. Among them the result obtained from Banteay Chmar was beyond our expectation and produced a strong clue to understand the original way of belief by Jayavarman VII.

In this way while we grasp historical characteristics of icons in the Bayon Period, on a parallel we have always kept our eyes on the characteristics of universal and, in a sense, national icons which are seen in the Khmer sculptures. This is also to prevent us from forming an "extraordinary" and "misdirected" opinion by mistake. This further led us to investigate ruins in the Angkor area in the pre and post Bayon period, ruins around Battambang, art-works possessed by the Battambang Municipal Museum and ruins in the suburbs of Phnom Penh.

Let us take an example of the Hindu mythological motif, "the Churning of the Ocean of Milk." The huge naga (Vasuki), which coils itself around the Mount Mandara floating in the sea, is pulled by the Devas from the right and by the Asuras from the left or the other round. The side serves as an indicator to measure strength of local characteristics and the Indian influences. In this connection, there are reliefs of "the Churning of the Ocean of Milk" at Wat Ek (in the 11th century) around Battambang, at Angkor Wat (in the first half of the 12th century) and at Bayon (in the latter half of 12th century). Comparing among the three, while formation is the same at Wat Ek and Bayon, divines at Angkor Wat are reversely placed. A phenomenon like this will be used effectively when we examine the Khmer kings' descent in various periods and their external contacts.

Our investigation, which may look as deviated from Bayon at first sight, aimed to examine more comprehensively on

フにまで基本的に活かされている。さらに、内廻廊においては、ベディメントやリントルおよび付柱の装飾等に比べ、大画面での物語構成が可能である。そこには、様々なメッセージを含有しながら、神話の、または、王の事蹟の各場面を構成しているといえる。

先述のように、バイヨンには人為的に、または自然劣化によって「破壊された」彫刻モチーフが少なくない。石彫鑿の痕を詳細に観察し、実演した結果においても、数々の不自然な点は明らかである。仏坐像および観音菩薩像などの仏教尊像に関しては顕著で、破壊を免れた例は極めて少ない。そのため、上記のような調査活動の過程で、尊像の本来の図像について、比較作例を列挙しながら、バイヨン期の各尊像の図像としてより可能性の高い図像を、仏教尊像のみならず、ヒンドゥー教の尊像についても確認しておくことが必要であった。このような関連調査として、アンコール遺跡保存修復事務所、プノンペン国立博物館に所蔵されるバイヨン期の作品をはじめ、タイ・バンコク国立博物館、ピーマイ国立博物館に所蔵されるバイヨン期のクメール作品についても調査を試みた。アンコールに位置するバイヨン期の寺院遺跡はもちろん、ジャヤヴァルマン VII 世の本拠地の一つもしくはその前進基地と目されているカンボジア西北部に位置するバンテアイ・チュマーにも目を向けた。中でも、バンテアイ・チュマーにおける成果は予想を超えるものであり、ジャヤヴァルマン VII 世の本来の信仰のあり方をうかがう有力な手がかりを得られた。

このようにバイヨン期の時代的な図像の特徴を把握すること、それと並行してクメール彫刻に見られる民族的とも言える普遍的な図像の特徴にも常に目を向けてきた。それは、誤って「突飛な」「的はずれな」見解を生み出さないためでもある。アンコール地区におけるバイヨン以前・以後の遺跡はもとより、バタンバン周辺の遺跡の調査、バタンバン市立博物館の所蔵作品、プノンペン近郊の遺跡にも目を向けた。

「乳海攪拌」というヒンドゥー教の神話モチーフを例に挙げよう。海に浮かぶマンドラ山に巻き付けられた巨大なナーガ（ヴァースキー）をデーヴァ軍が右側、アシュラ軍が左側から引っ張るのか、もしくはその逆か。これにより地域的特徴とインド影響の強弱を測る指針にもなる。ちなみに、バタンバン周辺のワット・エク（11世紀）、アンコール・ワット（12世紀前半）、バイヨン（12世紀後半）に「乳海攪拌」のレリーフがあるが、三者を比較すると、ワット・エクとバイヨンが同じ構成、アンコール・ワットのみ各神々の配置が逆になっている。このような現象は、各時代におけるクメールにおける国王の出自、対外関係などを考察する際に生かされるであろう。

Bayon, a monumental ruins representing the latter half of the 12th century. This is the very standpoint that we have been aiming at consistently throughout our activities of the Art History Units at Bayon for the real restoration of the Bayon Temple.

### 3. Themes for Preservation-Restoration

What is a real restoration of Bayon?

Restoration of ruins is not just recovering fallen stone materials to compile for construction, nor maintaining a peripheral area as a monument park. Surely it may reflect figures of Bayon of bygone days. However, so long as Bayon is religious construction, it was constructed for a specific purpose, and only when its purpose and function are clarified, Bayon can be said to be restored to the original figure. Without deep understanding of the ruin itself, such as religious background, functions of the temple and pilgrimage and pilgrimage route of those days, the restoration will not achieve the original figure of Bayon. For one of the effective methods to elucidate its original purpose and function, we believe, investigation by art history can be put forward. A significance of the contribution by art history approach in the restoration activities, indeed, lies in this point.

As we stated in the beginning of this report, temples are more historical relics decorated with religious art than buildings. In religious art there exists no moulding motif that bears "no meaning." In every shape is contained some "meaning." In these days when no script documents were left, religious art is its very beneficial spokesperson. We grasp "meaning" of each individual motif, and compile them to understand whole Bayon.

We present the role of art-historical investigation in the restoration of Bayon and its procedure along with themes as below.

Before everything through the investigation of deity faces as previously stated, we have gained the fact that "comparative examination among related objects is effective." The comparative objects are carvings in the round of the Bayon period in the Angkor area, needless to say carving motifs attached to buildings, traditions of moulding in the Angkor area, mouldings in the area closely related to Jayavarman VII, and mouldings in the hostile area against Jayavarman VII, which may seem strange.

Firstly, so long as Bayon is existing royal building in the Angkor area, it must carry moulding tradition and moulding principles that had been inherited until the latter half of the 12th century. We believe Bayon could not deviate from this framework totally.

When we think of history of Japanese religious art, this is often referred as "royal capital flavor" and artworks found in Kinki district with Kyoto at its center exhibit difference that was originated from incompatible tradition of moulding to that of Kanto, Tohoku or Kyushu districts in the same period. It

一見バイオンを逸脱したかに見える我々の調査は、12世紀後半を代表する記念碑的な遺跡であるバイオンを、より総合的に考察することを目指したものである。それこそ、バイオンにおける美術史班の活動を開始した当初から一貫して、バイオンの真の修復に対する我々が目指してきた立場である。

### 3. 保存修復への課題

バイオンの真の修復とは何か。

遺跡の修復は、単に散在している石材を元通りに積み上げ建物として整える、または周辺を遺跡公園として整備することだけではない。確かに、それで在りし日のバイオンの姿をうかがうことはできる。しかし、バイオンが宗教建築である以上、ある特定の目的のために建造されたものであり、その本来の目的や機能が明らかにされてはじめて、その本来の姿を取り戻すことができるといえる。当時の宗教的背景、寺院の機能、巡礼や礼拝順路など、遺跡そのものを深く理解した上での修復でなければ本来のバイオンの姿は取り戻すことができない。そして、その本来の目的や機能を明らかにする有効な手段の一つとして、美術史的な調査があげられると考えている。遺跡の修復活動における美術史的アプローチの貢献の意義は、まさしくそこにある。

本稿の最初にも述べたとおり、寺院は建築である以上に宗教美術に彩られた歴史的遺物である。宗教美術に「意味がない」モチーフは存在しない。すべての形に何らかの「意味」が込められているのである。文字資料として残されていない今日、宗教美術こそがその有益な代弁者である。そのモチーフ個々の「意味」を把握し、バイオン全体へと集積させていくのである。

以下、バイオンの修復において、美術史的な調査研究が果たすことができる役割と、その際の手段を課題を含めて提示しておきたい。

まず、前述の尊顔の調査を通し、「関連する対象との比較考察が有効である」という事実を得ることができた。関連する対象とは、アンコール地域におけるバイオン期の丸彫像、建築物に付属する彫刻モチーフはもちろん、アンコール地域での造形の伝統、ジャヤヴァルマン VII 世に関係の深い地域の造形、さらには、一見奇妙に思われるかもしれないが、ジャヤヴァルマン VII 世と敵対関係にあった地域の造形である。

第一に、バイオンがアンコール地域に現存する国王の建造物である以上、12世紀後半までに脈々と受け継がれてきた都の造形伝統と造形理念があるはずであり、バイオンもこの枠組みからは逸脱することが完全にはあり得ないと考えられる。

これは、日本の宗教美術の歴史を見ても、いわゆる「都ぶり」と称されるように、京都を中心とした

is comparing a scene of "royal capital" and "out-of-the-way place." Confirming beforehand religious art of the pre Bayon period in the Angkor area, would help to correct our erroneous view with logical leap about Bayon.

Secondly, we take notice of moulding tradition from the birthplace of Jayavarman VII who constructed Bayon. In case we observe some motif that is not explained only by moulding tradition in the royal capital, this second approach is utilized to a great extent. Human being tends to produce his own birthplace "color" as a matter of course. Jayavarman VII, who had attained achievements in the war against Champa, was said to originally come from a military force based in area from the current northwest of Cambodia to the northeast of Thailand. (In this connection it is especially essential that we investigate temples in the northwest of Cambodia, the northeast of Thailand and southeast of Myanmar, which are considered to be his territory of influence) It is considerable that the King may utilize moulding tradition of his birthplace or intentionally may not use it in order to manipulate his own identity. To this end it is necessary that we confirm religious construction and transition of accompanying carving motifs in his birthplace.

Thirdly, we should understand mouldings in hostile territory. It may be paradoxical, but when the enemy's territory comes under control, it may be not a few cases that mouldings inherited in the particular area are adopted on purpose. It is because easier to visualize "poetic justice" clearly in terms of "Khmer" vs. "Enemy (including Champa, and any resistance against the King like a domestic rebel army)." When one sees a scene of fierce battle engaged in a melee by the Khmer and the Champa, he must distinguish which one is Khmer and its enemy at a glance, and not only distinguishing, but he must read straightforwardly which side is dominating from the relief. Otherwise, the effect as a relief will be diminished by half. There are some agreed principles in mouldings which everyone of those days should be familiar with, and it is imperative that we should also become aware of it. Accordingly, we should acquire no little knowledge about Khmer's hostile nations, from Vietnam down.

There are many battle scenes against Champa depicted on reliefs of the Inner Gallery of Bayon. For the purpose of specifying a motif correctly in these reliefs, we need to investigate Vietnamese works as a comparative example, because clothing worn by those who have been assumed to be "Champa soldiers" thus far can hardly found in Vietnam. We will have to revisit by which characteristics people of those days distinguished Khmer soldiers from hostile Champa soldiers. Depending on a result from such investigation, a new interpretation to the theme of the reliefs in the galleries of Bayon might be brought forth. By completing these works one after another, we would like to elucidate complicated character of Bayon one by one.

Only where above three approaches intersect, we believe, we can envisage a real aspect of Bayon. Our big remaining task for further investigation of Bayon is to explore this inter-

近畿圏の美術作品には、同時代の関東、東北、九州とは相いれない造形の伝統から生じる差異があるのである。「都」と「鄙」という構図である。アンコールにおけるバイヨン以前の宗教美術をあらかじめ確認しておくことは、バイヨンについての誤った、飛躍しすぎた見解を正してくれるであろう。

第二は、バイヨンを建立したジャヤヴァルマン VII 世の出身地での造形伝統である。都の伝統的な造形理念だけでは解釈しきれないモチーフがある場合、この二つ目のアプローチが大いに活用される。人間は、自分の出身地の「かおり」を自ずと醸し出してしまうものである。チャンパとの戦争において功績を積んだジャヤヴァルマン VII 世は、本来は現在のカンボジア西北部からタイ東北部を本拠地とする軍事勢力の出身であったといわれている。(特に、ジャヤヴァルマン VII 世の勢力範囲と見られているカンボジア西北部、東北タイ、ミャンマー東南部における諸寺院の調査は必要である。) 王は、自らが生まれ育った地域における造形伝統を使う、もしくは意図的に使わないことによって、自らのアイデンティティを図ろうとしたとも考えられる。そのためには、王の出身地における宗教建築、それに付随する彫刻モチーフの流れを確認しておくことが必要であろう。

第三は、敵対する地域の造形を知ることである。逆説的ながら、敵対する地域を制圧し、支配したとき、これらの地域で行われていた造形を意図的に取り入れることは少なくない。なぜなら、一つは敵方を象徴するモチーフを端的に表しておくことによって、「クメール」と「敵 (チャンバ群やクメール国内の反乱軍など、王に対する抵抗勢力を含む)」という勧善懲悪の図式を明確に視覚化することが容易であるからである。クメールの戦士とチャンパの戦士が入り乱れて相争う激戦の場面を見たとき、どちらがクメールでどちらが敵なのか一目で区別でき、さらにその区別にとどまらず、この場面においてどちらが優勢なのかさえも端的に見て取ることができなければ、浮彫として効果は半減してしまうであろう。当時のひとであれば誰でも知っていた造形上の約束事、我々もこれに気付くことが必要である。そのためには、ヴェトナムをはじめとする、クメールと敵対関係にあった国々についても、少なからぬ智識が必要であろう。

バイヨンの廻廊にはチャンバ軍との戦闘場面が多数にわたって浮彫されているが、このような場面に登場するモチーフを正しく特定するために、比較作例としてベトナムの作品調査が必要と思われる。なぜなら、従来「チャンバ軍の兵士」と見なされている人物達が身に付けている服装は、ヴェトナムには見出し難いからである。どのような特徴をもって当時の人々はクメール兵士と敵国チャンバ兵士とを

section. In order to achieve each elucidation, we consider it is necessary to conduct investigation of temples in the northwest of Cambodia, northeast of Thailand and southeast of Myanmar which are presumed as Jayavarman VII's territory of influence and investigation of Champa, let alone investigation of the Angkor area.

### 4. Summary

As stated above, this report presents the results of the survey of the Bayon Temple conducted by the Art History Unit from an art history approach, and what we have learned from the survey so far. For our next step, we intended to aim for a more comprehensive research that embraces the entire realm of the Khmer art, as well as the trends in the Southeast Asia region.

A research on religious arts in the Southeast Asian countries, except remarkable achievement by Thai researchers in recent years, had relied heavily on that of the l'Ecole Francaise d'Extreme-Orient in the pre-war era, and we can hardly say that its current level is better than each individual research from those days when European countries governed these countries. Now that situation of these Southeast Asian countries has improved, we should regard these Southeast Asian countries as one common cultural region lying between two giant cultural regions of India and China, and engage comprehensive research thereof. By this approach we believe we are able to elucidate an original aspect of Bayon, one of the representative constructions in the largest nation of Khmer of the Indochina Peninsula in the 12th century.

The research of religious art in the regions from India to the East Asia is today in the hands of researchers brought up in the East Asia including ourselves. By an approach to the studies of the Angkor ruins based on our religious awareness of the East, we believe we can surely take a first step to a new research of the Khmer art. Only when each individual, who is engaged in the restoration, becomes aware of "what is Bayon?" accompanied with religious awareness of the East, there appear new buds of significance of real restoration. They will be passed on to a new generation and eventually bloom and bear fruits. Architecture is not "a container," because it is providing "a stage" where various human dramas are unfolded.

識別していたのか、検討し直す必要があろう。その結果次第ではバイヨンの廻廊の浮彫の主題に対する新しい解釈が導き出されるものと思われる。このような作業を積み重ねていくことで、バイヨンの複雑な性格の一片一片を明らかにしていきたい。

上記の三つのアプローチが交錯するとき、そこにこそ、真のバイヨンの姿が浮かび上がってくると思われる。この交錯点を明らかにすること、それが、今後のバイヨン研究に残された大きな課題であり、それぞれの解明のためには、アンコール地域の調査はもとより、ジャヤヴァルマン VII 世の勢力範囲と見られているカンボジア西北部、東北タイ、ミャンマー東南部における諸寺院の調査、さらにはチャンパの調査は必要であると言える。

### 4. まとめ

以上のように、バイヨンの修復に際し美術史班がこれまで行ってきた彫刻史的アプローチにもとづいた調査の結果、現段階において得られた見解を提示してきた。今後、さらにクメール美術全体さらには東南アジア地域における動向をも踏まえた複合的な研究を目指している。

東南アジア諸国の宗教美術に関する研究は、近年におけるタイの研究者のめざましい発展を除けば、従来の研究はその大部分を戦前のフランス極東学院のそれに依存するものであり、いまだヨーロッパ各国が支配していた時代の個別の研究の域を脱したとはいえない。各国の状況が好転した今、インドと中国という巨大な二大文化圏に挟まれた東南アジア諸国を一つの文化共同体と見なして総合的な調査に取り組んでいくことで、12 世紀のインドシナ半島における最大の国家クメールの代表的建造物の一つバイヨンについて、本来の姿を明らかにすることができると思われる。

インドから東アジアにおける宗教美術の研究が、我々を含めた東アジアに生きる研究者たちによってほぼ確立されようとする今日、東洋の宗教認識にもとづいたアンコールの遺跡へのアプローチは、きっと新しいクメール美術の研究の一步を踏み出すことができると確信している。修復に携わる一人一人の人間が東洋的な宗教認識を持ち、「バイヨンは何なのか」を意識することこそ、真の修復活動の意義が芽生えるのであり、その芽は、次世代に受け継がれ、やがて花となり結実するであろう。建築は「箱」ではない。人間の様々なドラマが織りなされる「舞台」なのだから。

## 2.4 Outline of Archaeology Investigation and Theme for Conservation and Restoration

KONG Vireak, KOU Vet

### 1. Background

Since the previous century, much research has been conducted on the architecture, art history, and inscriptions of the Bayon complex. Archaeological research has also yielded fruitful results. Beginning in 1919, the scholars of the École Française d'Extrême-Orient (EFEO), Henri Marchal and Jacques Dumarçay, conducted excavations at many sites inside the Bayon complex<sup>1</sup>. Dumarçay and Bernard Phillip Groslier published a report detailing the excavations entitled *Le Bayon*.<sup>2</sup> Later, during the dark years of the Khmer Rouge, when Cambodia became isolated from the rest of the world, many archaeologists were killed and all research in the country ceased. In 1990, the *Ateliers for Conservation of Cultural Property* (PKZ), resumed archaeological excavations on the east side of the complex and published reports.<sup>3</sup>

### 2. Archaeological Excavation Conducted by JSA at Bayon (Fig. 2.4-1)

Since then, no new archaeological surveys were conducted at Bayon until the formation of the Japanese Government Team for Safeguarding Angkor (JSA). The purpose of the archaeological investigations conducted by JSA is to reveal the concepts of the building's construction, which are indispensable to formulate the restoration plan. The goal of these archaeological surveys is to shed light on structural concepts to formulate a restoration plan. The excavations at Bayon were conducted with two goals in mind. One was to conduct a survey in order to formulate a plan for the restoration of the Northern Library, and the other was to offer hypotheses on its construction process.

#### 2.1 Excavation Survey of Bayon's Northern Library

In order to restore Bayon's Northern Library, this excavation survey set out to discover the construction techniques used in building the foundation and to verify the period in which it was built by analyzing remains recovered from the site.

##### 2.1.1 Excavation of the Southern Side of the Northern Library

Part of the excavation area adjacent to the foundation of the Library platform overlapped the trench excavated by the EFEO in the 1960s (Fig. 2.4-1). The Northern Library was partially dismantled when the excavation was conducted, and the survey began by dismantling the sandstone pavement composing the upper-tier and lower-tier laterite blocks (Pl. 2.4-2). Beneath the pavement was the rammed earth compacted sand foundation normally seen in these structures. The results of this excavation revealed nearly the same foundation layer stratigraphy as that found in the EFEO survey report. In this survey, the rammed earth sand foundation layers were excavated down to the 15

## 2.4 考古学調査の概要と保存修復への課題

コン・ヴィリアック、コー・ベット

### 1. 背景

バイヨン寺院については、前世紀から建築・美術史・碑文などの分野から研究が進められており、考古学的研究についても幾つかの成果が報告されてきた。1919 年以来、フランス極東学院 (EFEO) のアンリ・マルシャル (Henri Marchal) とジャック・デュマルセ (Jacques Dumarçay) によって、バイヨン寺院内のいくつかの地点で発掘が行われている<sup>1</sup>。デュマルセは、ベルナル＝フィリップ・グロリエ (Bernard Philippe Groslier) と共に、その成果を『バイヨン (*Le Bayon*)』<sup>2</sup> にまとめている。その後クメール・ルージュの暗黒の時代、すなわちカンボジアが世界から閉め出されていた時期に、多くの考古学者が不慮の死を遂げ、研究はいったん途絶えた。しかし 1990 年からは、The Ateliers for Conservation of Cultural Property (PKZ) によりバイヨン東側で発掘が再開され、報告書が発表されるようになった<sup>3</sup>。

### 2. JSA によって行われたバイヨンの考古学的発掘 (Fig. 2.4-1)

PKZ による発掘の後、日本国政府アンコール遺跡救済チーム (JSA) が結成されるまで、バイヨンにおける考古学的調査に新たな進展は認められなかった。JSA による考古学的調査は、修復計画の立案のために不可欠な当時の建造の構想を解明することが目的とされる。バイヨン寺院では 2 つの目的をもって考古学的発掘調査が行われた。1 つは北経蔵の修復計画立案のための調査であり、いま 1 つはバイヨン寺院の建造過程の仮説を提示することである。

#### 2.1 バイヨン北経蔵における発掘調査

バイヨン北経蔵の修復のため、発掘調査では基礎部分の建造技術の解明と出土遺物による建造年代の確定が課題とされた。

##### 2.1.1 北経蔵南側における発掘

経蔵基壇基礎に隣接した発掘区域は、一部 1960 年代に行われた EFEO の発掘トレンチと重複する (Fig. 2.4-1)。調査は北経蔵の部分解体と同時に行われ、上層を砂岩、下層をラテライトとするテラス床面を解体することから始められた (Pl. 2.4-1)。その床面の下には、建造物の基礎に通常みられるように、盛土を版築して突き固めた砂地業層が認められた。ここでの発掘の結果は、EFEO の調査で報告されている地業層の層序とほぼ同じものであった。掘削は 15 層上面で終了し、その下層は地山に達するまでハンド

layers, and the area below that was surveyed down to the natural soil layer by coring with a hand auger.

### 2.1.2 Structural Survey of the Platform of the Northern Library<sup>4</sup>

#### 1) Excavation of the Area beneath the Platform

One theory held that the library might have been built on the pavement of the courtyard, but when the stones of the terrace floor were partially removed, no floor surface could be detected. It was confirmed that beneath the structure was a rammed earth sand foundation similar to the one beneath the platform foundation. To save time and for reasons of safety, the survey had to be continued by hand auger. The result showed that the rammed earth sand foundation on the interior of the platform was adjacent to the sandstone blocks of the terrace floor. This soil continued to approximately 160cm from the surface of the terrace floor when the auger struck a hard material assumed to be laterite. The tier of the laterite located beneath the pavement had been severely damaged. According to Dumarçay, Bayon underwent four phases of modification and the library is believed to have been constructed in fourth phase. Our survey showed that the present Northern Library was built after the construction of the courtyard pavement, and that the pavement was removed and constructed the foundation for building the Library.

#### 2) Excavation Survey of the Library Platform

In order to restore Bayon's Northern Library, an excavation survey was necessary along with the partial dismantling and reconstruction of the foundation inside the platform. The excavation survey was conducted with the aims of elucidating the construction techniques and the present condition of the platform, and determining the period in which it was built. A multi-disciplinary approach to the excavation was considered in order to shed light on the construction techniques and structural design, and the key questions to clarify were the characteristics of the rammed earth inside the platform and the methods used in building it. Observations were made of the characteristics and composition of the earth in the foundation's central and lateral sections, and of the earth buttressing the laterite walls, the mortar between the stone blocks and the earth in every other location. The upper, middle, and lower tiers of platform were surveyed in sequence (Fig. 2.4-2), and the stratigraphy of each one was observed and recorded (Pl. 2.4-3). Architectural, geotechnical and structural data were also collected. Fragments of ceramics that might aid in determining the structure's age were recovered from each soil layer and carefully recorded. Needless to say, the stratigraphic record of the artificial laid soil inside the foundation was made in a single period. These excavations, as mentioned above in their purpose, were for the architectural analysis. Soil stratigraphy from the top of the upper platform to the lowest of the platform bottom blocks was recorded. From this, it became clear that the platform was

オーガーによる層位確認探査を行った。

### 2.1.2 北経蔵における基壇構造調査<sup>4</sup>

#### 1) 基壇直下の調査

経蔵は内回廊と外回廊の間のテラス床面上に建てられたという見解が提示されていた。しかしながら、これを検証するため部分的にテラス床面の石材を取り除いてみたところ、テラス床面に相応する構造は確認されなかった。基壇内部の土層と同じ版築された砂地業層が建物の下からも確認されている。時間的な制約と安全上の理由により、発掘調査に代えてハンドオーガーによる調査に変更されたが、基壇内部の版築された砂地業層はテラス床面の砂岩ブロックに連続していることが確認された。この砂地業層はテラスの床面から 160cm 続き、その下層はラテライトと推測される堅固な礫に阻まれたため、そこでボーリング調査は中断している。床面の下層にあたるラテライト層は、深刻な損傷を受けていた。デュマルセによれば、バイヨンの建造過程は 4 期に分けられ、経蔵は 4 期目に建てられたものであるとされている。本調査の結果では、現存する北経蔵は内回廊と外回廊の間のテラス床面が敷設された後に建てられたものの、後に経蔵造営のために床面は取り除かれ、新たに基礎が構築された可能性を示している。

#### 2) 基壇の発掘調査

バイヨン北経蔵の修復のためには、基壇内部の部分的な解体と復原に伴う調査が必要であった。本調査は基壇の建造技術と現状、そして造営年代の解明という目的をもって行われた。各専門分野間で建造技術と構造を解明するために有効な発掘方法が検討されたが、基壇内部の版築土の特徴と版築方法の解明が主題であった。基壇中核部分、外装の砂岩材と接している部分、ラテライトと版築土の間の調整土、そして部材間の土など、基壇各部の土の特徴と組成が観察された。基壇は上・中・下各段を順に調査し (Fig 2.4-2)、それぞれの土層が観察され、記録された (Pl. 2.4-3)。また同時に建築学、土質工学、そして構造学的研究のためのデータが収集された。陶磁片など建物の年代を決定する可能性のある遺物は、出土層位を慎重に記録した。また言うまでもなく、基壇内部の土層は同時期に構築されたものである。前述の通り、これらの発掘調査は建築学的分析に資するものである。上部基壇から、下部基壇までの全ての土層に記録され、その結果、基壇は上段最上部から下段最下部まで 58 層で構成されていることが判明した。

### 2.2 外回廊における発掘調査

1999 年には、バイヨン北側の内回廊の基壇から外



composed of 58 layers from the top of the uppermost section to the bottom of the lowermost section.

## 2.2 Excavation Survey at the Outer Gallery

An excavation using a long trench extending from the Inner Gallery platform passing through the Outer Gallery to the surrounding road on the north side of the Bayon Complex had been conducted in November 1999 (Fig. 2.4-1). The Outer Gallery platform was partially dismantled for the excavation. The purpose of this excavation was to reexamine the hypotheses advanced by Jacques Dumarçay and Claude Jacques on the construction process of the complex. Another goal was to detect the existence of a moat surrounding the complex. These excavations revealed new discoveries about the construction process and the drainage system. It became clear that no moat had existed on the northern side of the complex. For details of this survey, see *ARJSA* 2000.<sup>5</sup>

### 2.2.1 Summary of detected Remains in the Long Trench

The following lists the recovered remains and an outline of the stratigraphy in the excavated Long Trench.

#### 1) Tunnel Running North-South through the Inner Gallery (Fig. 2.4-3)

The existence of a tunnel running north-south through the Inner Gallery platform was confirmed when excavating the rammed earth layer of the Inner Courtyard (Pl. 2.4-4). The entrance to the tunnel was blocked with sandstone blocks when it was discovered. It measures about 38cm wide, and 68cm high. The excavation continued up to the 11m-point, where it was halted when nothing but a layer of sandy soil was detected. It is assumed that this tunnel served as a conduit to drain rainwater from center of the complex. This tunnel was probably in use at the same time as the lower laterite pavement (mentioned below) and may have been blocked up later, when the floor of Outer Courtyard was raised. In any case, to ascertain the function of this tunnel, an excavation survey of the Inner Courtyard will be necessary.

#### 2) "Lower Laterite Pavement"

A laterite pavement laid about 1.4m beneath the present Outer Courtyard pavement was detected (Pl. 2.4-5). Dumarçay had interpreted this as a pavement used in an earlier period, but there was no evidence of a sandstone pavement laid over it.

#### 3) "Laterite Walls"

Two "Laterite Walls" running east-west parallel to the Outer Gallery were discovered under the Outer Courtyard (Fig. 2.4-3). This feature was also mentioned in the reports of Marchal and Dumarçay. JSA found another laterite wall when excavating the Outer Gallery platform. This laterite wall may have been built during the same period as the floor discovered

回廊を横断し、周回道路に至るロングトレンチの発掘調査が行われた (Fig. 2.4-1)。本調査により、外回廊の基壇は発掘のために一部解体された。この発掘の目的は、ジャック・デュマルセやクロード・ジャックによって提唱されてきた建造過程説の再検証であった。また伽藍を取りまく環濠の検出ももう1つの目的であった。発掘の結果、建造過程と排水システムに新たな知見が得られた。また伽藍の北側には環濠が存在しないことも明らかとなった。調査の詳細はJSAの『アンコール遺跡調査報告書2000』を参照されたい<sup>5</sup>。

### 2.2.1 ロングトレンチにおける検出遺構の概要

ここではロングトレンチ出土遺構と層序について述べる。

#### 1) 内回廊を南北に貫通する横穴 (Fig. 2.4-3)

内回廊と外回廊の間の版築砂層を発掘した際、内回廊の基壇を南北に貫通する横穴の存在が確認された (Pl. 2.4-4)。発見時、横穴の入口は砂岩ブロックによって塞がれていた。横穴の規模は幅38cm、高さ68cmである。横穴を11m地点まで掘り進んだところで砂層となったため、それ以上の発掘を中止した。横穴は伽藍内の中心部から雨水を排出する排水溝であったと推測される。横穴は、おそらく後述の「下ラテライト・ペープ」と同時代の遺構と考えられ、その後内回廊と外回廊の間の床面が高められたときに塞がれた可能性がある。いずれにせよ、本横穴の機能を確定するためには、内回廊とその内側の発掘調査が必要である。

#### 2) 「下ラテライト・ペープ」

内回廊と外回廊の間の現床面よりおよそ1.4m下で、ラテライトの床面(「下ラテライト・ペープ」)が検出された (Pl. 2.4-5)。デュマルセは古い時期の床面と考えているが、その上に砂岩敷の痕跡は認められない。

#### 3) 「ラテライト壁体」

外回廊に平行して東西に走る2筋のラテライト壁体は、内回廊と外回廊の間の中庭下から発見された (Fig. 2.4-5)。これらの存在は、すでにマルシャルやデュマルセによっても報告されている。今回JSAの発掘で、外回廊の基壇からも同様のラテライト壁体が発見された。このラテライト壁体は、内回廊と外回廊の間の中庭床面下から発見された「下ラテライト・ペープ」と同時期に建造された可能性がある。

#### 4) 「暗渠」 (Fig. 2.4-4)

外回廊を南北に貫通する暗渠が2本検出された。

beneath the "lower laterite pavement".

#### 4) The "Culvert" (Fig. 2.4-4)

Two "culverts" were discovered running north-south through the Outer Gallery. One of these had already been reported by Marchal (Pl. 2.4-6). These "culverts" were connected to the blocked holes found in the wall of the Outer Gallery platform (Pl. 2.4-7). Both were blocked up with a sandy soil. These are both thought to have been part of the Bayon complex's drainage system.

#### 2.2.2 Summary of Long Trench Stratigraphy

The trench is 80m long, and is divided into 4 zones. Trench BY-99A is located at the Outer Courtyard, trench BY-99B at the Outer Gallery platform, trench BY-99C from the Outer Gallery platform to the outer laterite wall, and trench BY-99D from the laterite enclosure to north side of the surrounding road. A cross-section of the trench walls are recorded in a sectional chart (Fig. 2.4-5). The soil stratigraphy observed was not much different from that in the EFEO reports except for trench BY-99D, which had not been excavated before. The soil strata can be roughly divided into five layers starting with the topsoil of the area belonging to trench BY-99C and BY-99D. Layer 1 (the topmost layer) is soil that has accumulated naturally from the completion of the Bayon complex up to the present day. This soil contains a mixture of earthenware fragments and newer remains. Layer 2 was dated back to the Bayon period. Layer 3 corresponds to the building of the sand foundation of all the structures (Pl. 2.4-8). Layer 4 is the layer between the sand foundation and the natural soil layer. This looks very much like the natural soil of layer 5, but as this layer is mixed with natural soil and the artificial sand foundation layer, it is thought to have been buried when the foundation for the entire Bayon complex was laid. Layer 5 is the natural soil. The soil is densely packed, sticky silt. This natural soil slopes downward from the Inner Gallery toward the center of the Bayon complex. Ground water flowing into the trench obscured the natural soil layer.

### 2.3 Artifacts Recovered from the Bayon Excavation Survey

#### 2.3.1 Ceramics: Khmer and Trade Ceramics

The ceramics excavated from this building consist of fragments of locally-made earthenware and ceramics and trade ceramics of mostly Chinese origin. At present, the local and Khmer ceramics and Chinese ceramics are being dated. By ascertaining the relationship of the local and Khmer ceramics to the Chinese ceramics they were unearthed with, chronological parallels may enable dating of the local and Khmer ceramics.

#### 2.3.2 Metal Objects

An iron artifact was discovered beneath the sandstone pavement of the Northern Library platform. When discovered, the

その1つはすでにマルシャルの発掘によって報告されている (Pl. 2.4-6)。これらの暗渠は外回廊基壇側面に穿たれた穴と繋がっていたが、両者は土砂で塞がれていた (Pl. 2.4-7)。これらはバイヨン寺院の排水システムの一部と考えられる。

#### 2.2.2 ロングトレンチ内検出土層の概要

トレンチの長さは80mで、4つの区域に分けられる。トレンチBY-99Aは内回廊と外回廊の間の中庭、トレンチBY-99Bは外回廊の基壇、トレンチBY-99Cは外回廊基壇からラテライト外周壁まで、トレンチBY-99Dはラテライト周壁から外周道路の北側までである。トレンチの断面図はFig. 2.4-5に示す。土層断面はこれまで発掘が行われていなかったトレンチBY-99Dを除き、EFEOの報告とほぼ同じものであった。トレンチBY-99CとトレンチBY-99Dの上部に堆積する土層は5層に大別される。第1層(最上層)はバイヨン完成以降から現代までの自然堆積による表土層である。土質は土器片や新しい遺物が混在している。第2層はバイヨン期に位置づけられる。第3層は各遺構構築に伴う砂地業層である (Pl. 2.4-8)。第4層は砂地業と地山表面との間層である。第5層に類似しているが、この層には自然砂層と砂地業層が混入しており、バイヨン創建時の掘り込み地業層と考えられる。第5層は地山である。シルト質で粘性、しまりともに強い。地山は内回廊からバイヨン中心部に向かって傾斜を示す。このトレンチでは地下水により、自然層を確認できなかった。

### 2.3 バイヨン発掘調査における出土遺物

#### 2.3.1 陶磁器 - クメール陶器と貿易陶磁 -

発掘された遺物は、在地の土器と陶器、中国陶磁を中心とする貿易陶磁である。現在、在地土器とクメール陶器の分類、中国陶磁の実測を進めている。中国陶磁との出土共伴関係を明確にすることによって、今後、クメール陶器、土器の編年研究を推し進めることが可能となる。

#### 2.3.2 金属製遺物

北経蔵基壇砂岩床面下の基壇中央部から鉄製品を検出した。錆で覆われているが、石材彫刻用の鑿であることが判明した。

### 2.4 編年上の問題点

これまでバイヨン寺院の建造過程に絶対年代を当てるための試みは、主に各祠堂に残される碑文史料を基に行われている。既往の発掘調査は、建造過程の仮説に対する検出を目的とするものであった。既往の発掘調査は建造過程の仮説に対する検出を目的

artifact was covered with rust, but proved to be a stone-carving chisel.

## 2.4 The Problem of Chronology

Until now, the main method of dating the Bayon complex was by studying inscriptions of the each sanctuary. Archaeological excavations have been conducted to test hypotheses about the construction processes, but until now, no detailed chronological research has been done on Chinese ceramics. In addition to research on construction methods, JSA has also put their effort into determining the chronology of artifacts. The fragments of the ceramics recovered from Bayon's Northern Library are also mentioned in *Report on the Conservation and Restoration Work of the Northern Library of Bayon*. Most of the Chinese ceramics recovered from the Northern Library platform date from the mid-13th through the mid-14th centuries. Chronological research on the Chinese ceramics excavated from the long trench set from the Inner Courtyard to the surrounding road is still in progress.

## 3. Suggestion: Issues to future archaeological investigation at Bayon

Archaeological surveys of the Bayon complex are still in their infancy. Sandstone and Laterite pieces now lie scattered all around the area. They have been buried for many years in the wet soil and spend almost half of every year immersed in water. During the restoration of Prasat Suor Prat's N1 tower, much of the pediment materials dug out of the Pond were found seriously deteriorated and worn. The sandstone blocks buried all around the Bayon complex are in a similarly serious condition. Because these materials are very important to the restoration of Bayon, future excavation surveys will be able to protect these fallen sandstone materials from further deterioration and obtain new archaeological knowledge in the process. This can be expected to further advance chronological research on the Bayon complex.

The Bayon temple complex is said to have been begun to constructed during the reign of Jayavarman VII (1181~1210), but the Chinese ceramics recovered from the rammed earth layer inside the Northern Library platform date mainly from first half of 13th century to the early 14th century. It is thought that the Bayon Complex underwent numerous renovations that led to its present form, and because the process of these many renovations has obscured the true dates of the structures, the next task will be to apply chronological research and AMS C14 dating to the Chinese trade ceramics recovered from the sites.

## Notes

- 1 H. Marchal, "Sondages au Bâyon," *BEFEO* 37(2), 1937, pp. 637-650; J. Dumarchay, *Le Bayon, Histoire architecturale du temple*, Mémoire archéologique III-2, PEFEQ, Paris, 1973.

とするものであった。しかしながら、考古学遺物、特に年代特定に有効な中国陶磁に基づく年代考察は十分に行われていない。設計方法の研究に加えて JSA では、遺物の編年にも力を注いできた。バイヨン北経蔵から出土した陶磁片は『バイヨン北経蔵修復工事報告書』でも既に言及されている。北経蔵基壇から出土した中国陶磁は 13 世紀中頃から 14 世紀中頃にかけてのものが大半を占めている。内回廊から周回道路まで設定されたロングトレンチから発掘された中国陶磁器の編年研究は現在進行中である。

## 3. バイヨン寺院の考古学的調査における今後の課題

バイヨン寺院を中心とした地域の考古学的調査は未だ初期的段階を脱してはいない。現在このエリアには崩落した砂岩やラテライトの部材が散在している。それらは長期間、湿った土に埋もれ、一年の半分は水の中に放置されている。プラサート・スーブラ N1 塔の修復時に池から掘り出された多くのベディメント部材は、著しく劣化、磨耗していた。バイヨン周辺に埋まっている砂岩材も同様に深刻な状況に置かれている。これらの部材はバイヨンの修復において極めて重要なものである。今後の発掘調査によって、散在した砂岩材を劣化から保護すると同時に、新たな考古学的知見を得られるものと期待される。さらに、バイヨン寺院の編年研究も明確な形で前進するであろう。

バイヨン寺院はジャヤヴァルマン VII 世 (1181 ~ 1210 年) の治世に建立が開始されたと言われるが、北経蔵の基壇内部の版築土層からは、主に 13 世紀中頃から 14 世紀中頃の中国陶磁片が出土している。バイヨン寺院は数回の改築を経て今日に至っているものと考えられるが、その数次にわたる改築のプロセスを実年代で追うためには、遺構から出土した中国陶磁の編年研究や、AMS14C 年代測定などによるクロスチェックが今後の課題である。

## 註

- 1 H. Marchal, "Sondages au Bâyon," *BEFEO* 37(2), 1937, pp. 637-650; J. Dumarchay, *Le Bayon, Histoire architecturale du temple*, Mémoire archéologique III-2, PEFEQ, Paris, 1973.
- 2 J. Dumarchay, *Le Bayon*, op.cit.
- 3 PKZ ed.: *The Bayon Temple, the Report of the Polish-Cambodian Archaeological and Preservation Mission 1990-vol. 1*, 1991.
- 4 JSA ed.: *Report on the Conservation and Restoration Work of the Northern Library of Bayon, Angkor Thom, Kingdom of Cambodia*, JICE-TOKYO 2000.
- 5 ARJSA 2000.

- 2 J. Dumarçay, *Le Bayon*, op. cit.
- 3 PKZ ed.: *The Bayon Temple, the Report of the Polish-Cambodian Archaeological and Preservation Mission* 1990-vol. 1, 1991.
- 4 JSA ed.: *Report on the Conservation and Restoration Work of the Northern Library of Bayon, Angkor Thom, Kingdom of Cambodia*, JICE-TOKYO 2000.
- 5 ARJSA 2000.

## References

H. Marchal:

- "Sondages au Bâyon," *BEFEO* 37(2), 1937, pp. 637-650.

J. Dumarçay:

- *Le Bayon, Histoire architecturale du temple*, Mémoire archéologiques III-2, PEFEO, Paris, 1973.

JSA:

- ARJSA 1995-2000, JICE-TOKYO, 1995-2000.
- *Report on the Conservation and Restoration Work of Bayon's Northern Library, Angkor Thom, Kingdom of Cambodia*, JICE-TOKYO 2000

PKZ:

- *The Bayon Temple. The Report of the Polish-Cambodian Archaeological and Preservation Mission* 1990-vol.1, Warsaw, 1991.

## 参考文献

H. Marchal:

- "Sondages au Bâyon," *BEFEO* 37(2), 1937, pp. 637-650.

J. Dumarçay:

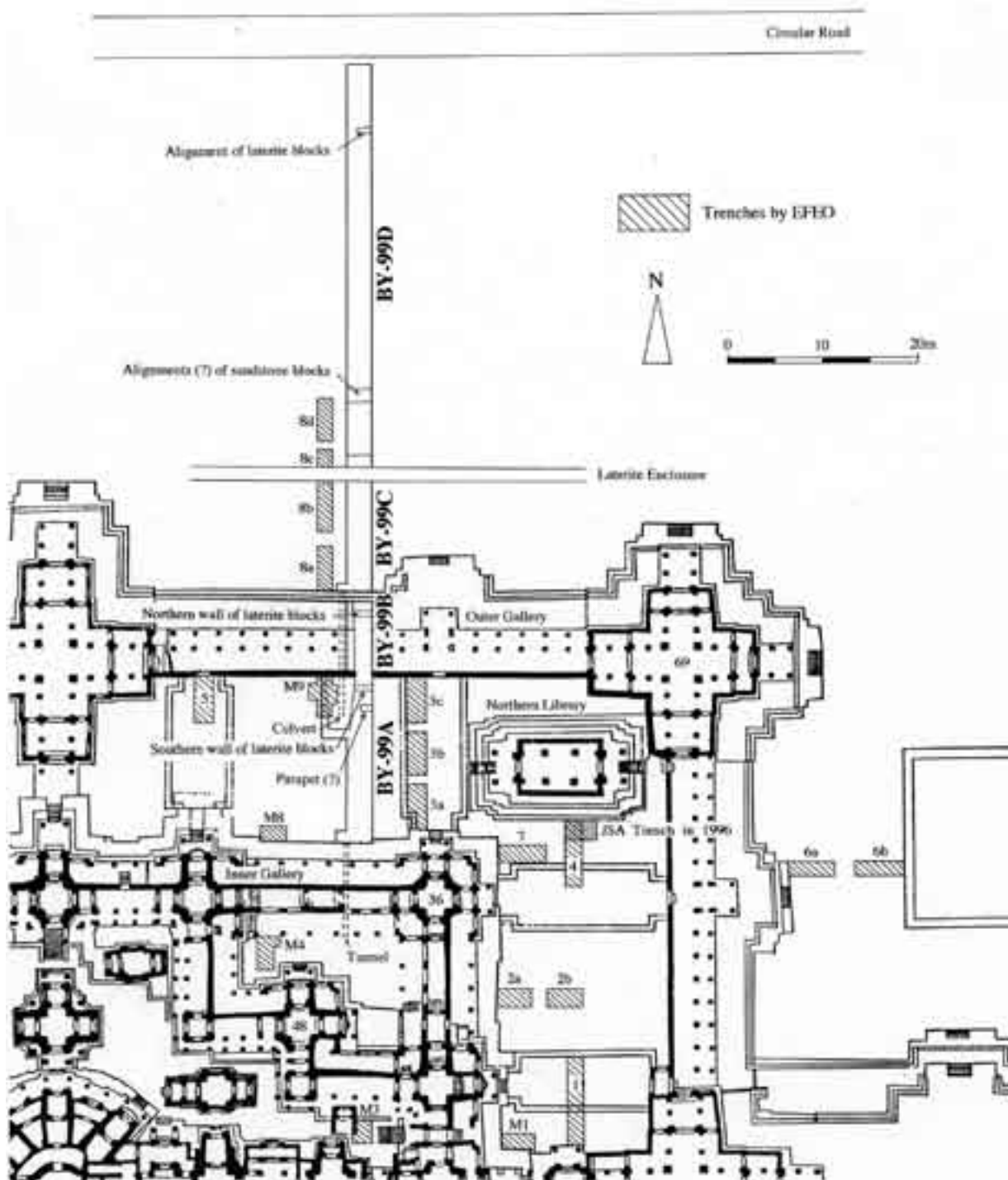
- *Le Bayon, Histoire architecturale du temple*, Mémoire archéologiques III-2, PEFEO, Paris, 1973.

JSA:

- 『アンコール遺跡調査報告書』 JICE-TOKYO, 1995-2000.
- *Report on the Conservation and Restoration Work of Bayon's Northern Library, Angkor Thom, Kingdom of Cambodia*, JICE-TOKYO 2000.

PKZ:

- *The Bayon Temple. The Report of the Polish-Cambodian archaeological and Preservation Mission* 1990-vol.1, Warsaw, 1991.



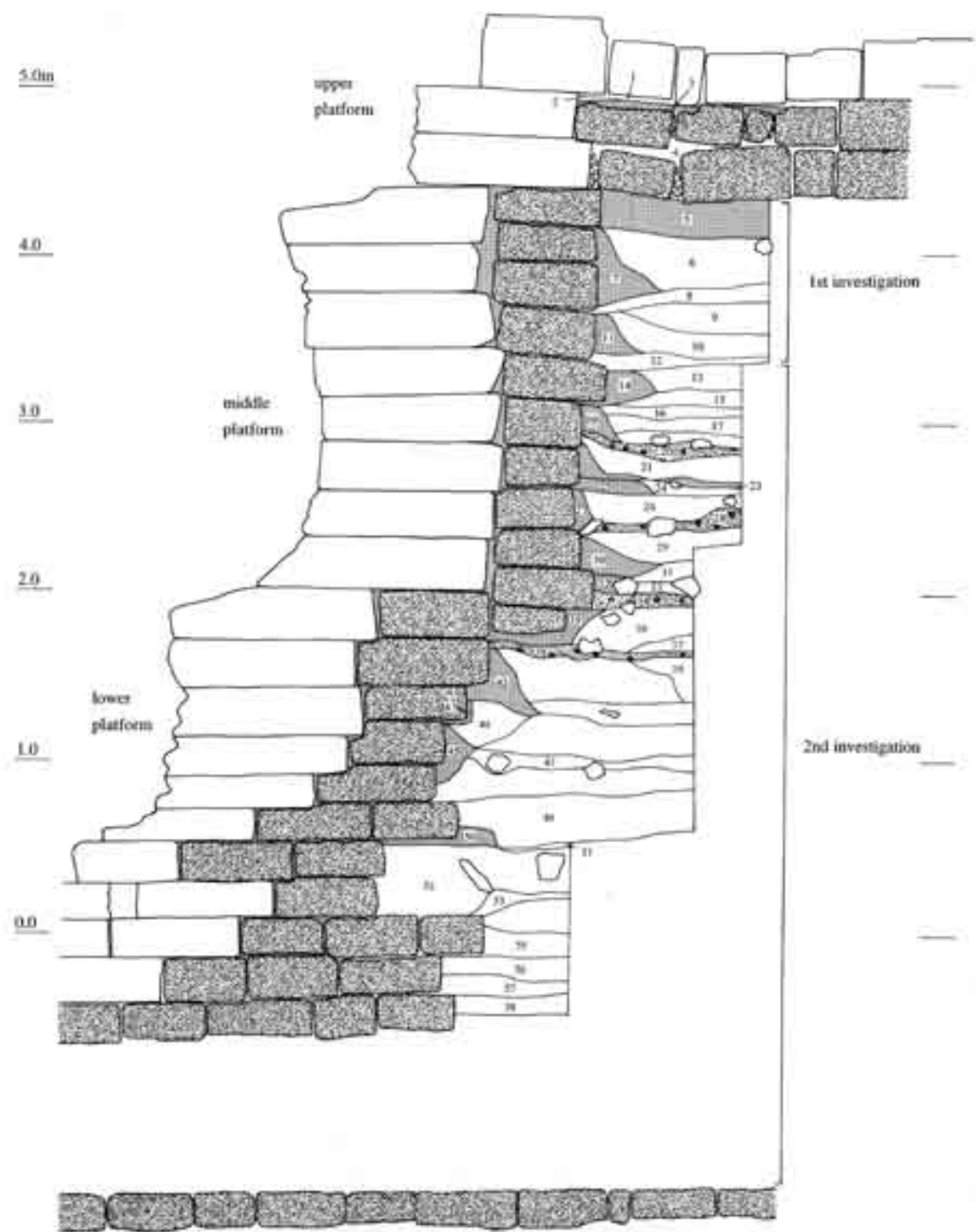


Fig. 2.4-2 Profile on the rammed earthed of the platform (schematic representation).  
基壇の版築土層概要〔概略図〕。

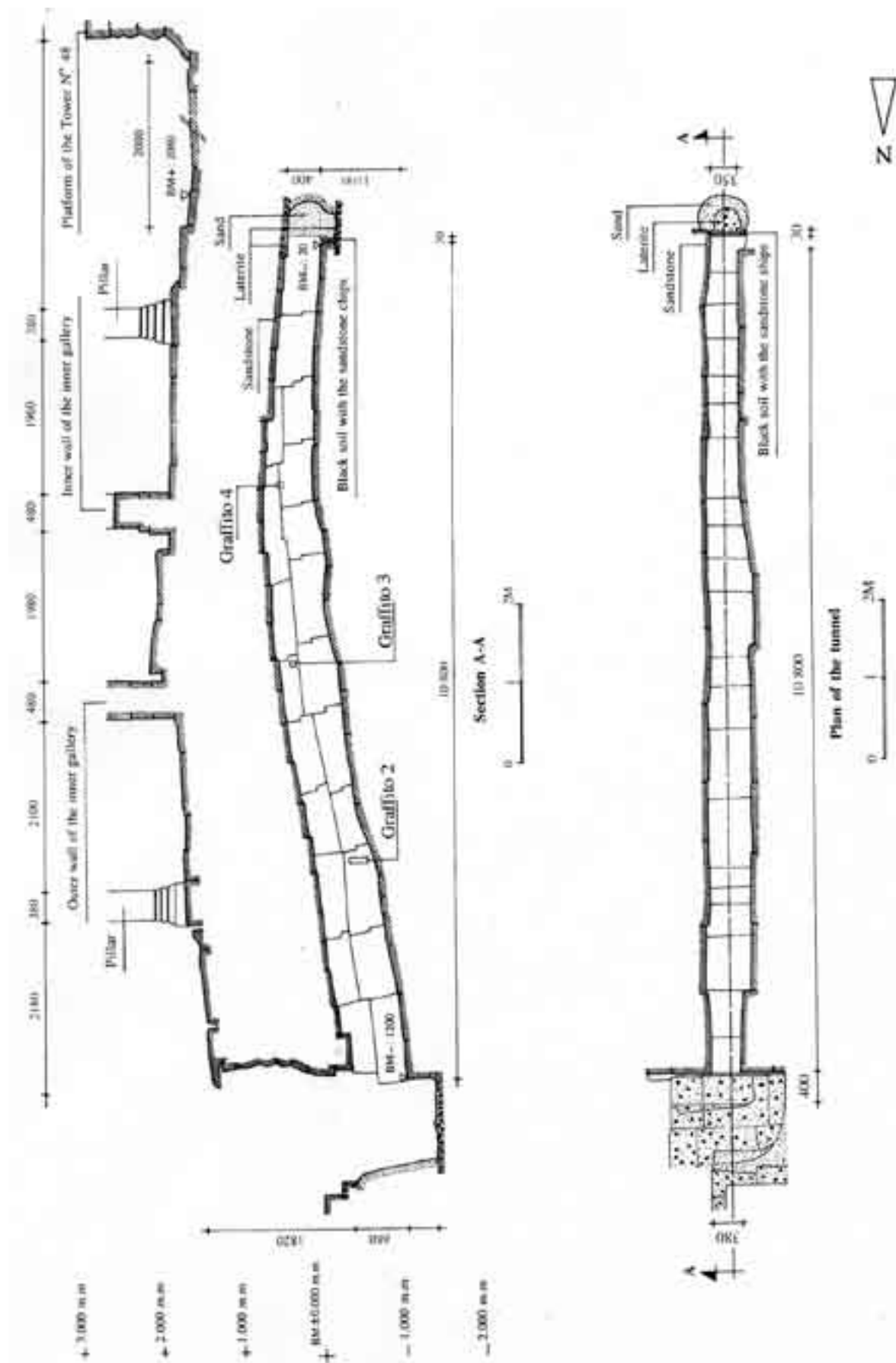


Fig. 2.4-3 Plan and cross section of tunnel under the Inner Gallery. / 内回廊基壇横穴平面図及断面図.

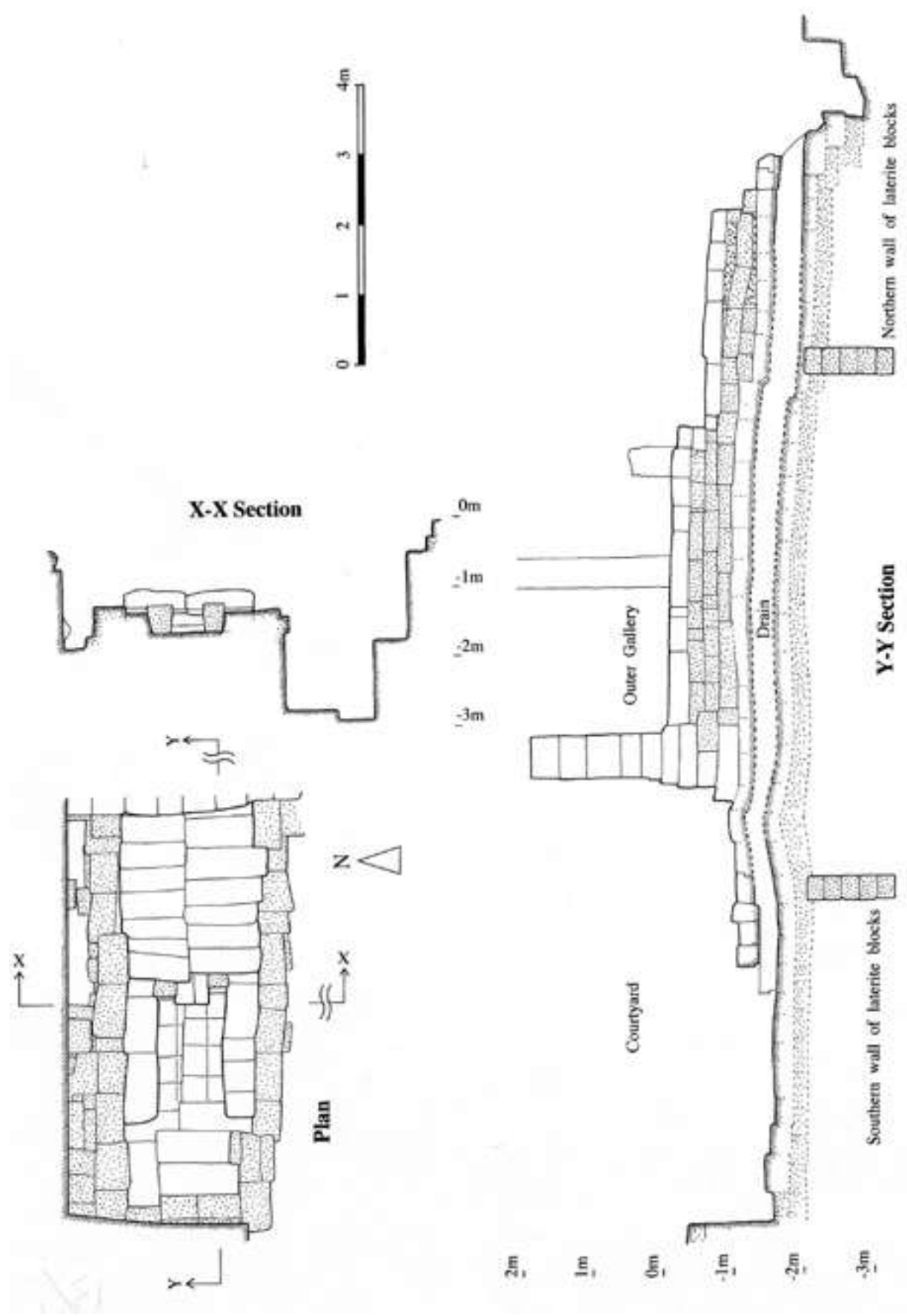


Fig. 2.4.4 Plan and cross section of the "Culvert" and "Laterite Walls." / 暗渠とラテライト壁体の平面図及び断面図 .







Pl. 2.4-1 Trench directly beneath the 2nd tier of laterite pavement on the south side of the Northern Library.  
トレンチのラテライト敷2層目の直下〔北経蔵の南側〕.



Pl. 2.4-2 East wall of the excavation trench at the south side of the Northern Library.  
トレンチの東側壁〔北経蔵の南側〕.



Pl. 2.4-3 Northern edge of the northwest corner raised one level at the finishing stage of the excavation.  
北西隅の一段高くなっている北端部（発掘終了段階）.



Pl. 2.4-4 The tunnel running south-north across the Inner Gallery, viewed from the north.  
内回廊基壇を南北に貫通する横穴〔北から〕.



Pl. 2.4-5 "Lower laterite pavement" viewed from the south.  
下ラテライト・ペーブ〔南から〕.



Pl. 2.4-6 Entrance to the drainage "Culvert" viewed from the south.  
暗渠排水溝入口〔南側から〕.



Pl. 2.4-7 "Culvert" exit found on the wall of the Outer Gallery platform, viewed from the north.  
外回廊基壇の壁体で検出された暗渠排水溝出口〔北から〕.



Pl. 2.4-8 Cross section of the layer 3, viewed from the northwest.  
第3層の断面〔北西から〕.

## 2.5 Outline of Building Structure, Geo-technological Investigation and Theme for Conservation and Restoration

IWASAKI Yoshinori, FUKUDA Mitsuharu

### 1. Recommendations of Tokyo Conference (1993) and Scope of the Study

The Inter-governmental Conference on Safeguarding Angkor in Tokyo 1993 resulted in important technical recommendations under a chapter titled "Future Challenges." Among them, three topics were introduced on the mechanical problems of soils and stone structures as follows,

1. Effects of degradation of drainage system,
2. Effects of ground to structural behaviors, and
3. Shrinkage and swelling effects of ground caused by rainy and dry season.

Based upon the above viewpoints, JSA had carried out such studies as deep boring to obtain basic knowledge of geological and geotechnical characteristics, dynamic cone test for surface ground, and laboratory soil tests for samples for site characterization. We also performed installing flow meter to know drainage capability against rain fall water, water level meter, ground extensometer, and suction meter for ground, inclinometer and crack gage for stone structure, as well as metrological data of rainfall, temperature, and wind force. We intended to keep measurement once every hour for 365 days of continuous monitoring. However, we often experienced the recorder was interrupted because of severe climate and other reasons.

Based upon the analysis for monitored data, we found the fourth factor in addition to three factors aforementioned as

4. Effects of strong wind against masonry structure.

We explain general aspects of study of natural ground and measurement of structural behavior and their results. We also show steps towards safeguarding Bayon Temple.

### 2. Surface Topology and Hydraulic Characteristics

25km south of the Angkor site, we reach north-west beach of Tonle Sap Lake, the largest lake in Cambodia, and 25km north of the site, we arrive Kuhlen mountains that run from east-south to north-west parallel to the lake. The Angkor plain expands 50km between the mountains and the lake with very gentle inclination of 1/1000 in average. The special feature of the lake is the long continuity of very shallow depth of 3m of the lake in all the length of 150km, which indicates the stable characteristic of the region with no active fault movements. The Kuhlen Mountains extend their wings with 60km in two mountains against the lake. The Siem Reap River, whose water is supplied mainly from the East Kuhlen mountain, originates between two mountains and had flowed south-west direction to Tonle Sap Lake in the past. When the East Barai was constructed, the river was diverted southwards to the Barai by manmade canal. The present river runs to the north end of the East Barai, turns to west and flows along the north of the Barai, changes

## 2.5 建築構造および地盤調査の概要と保存修復への課題

岩崎好規、福田光治

### 1. アンコール救済東京会議（1993）の提言と調査の方針

1993 年 10 月に各国の政府機関が参加したアンコール救済東京会議（1993）で、重要な技術上の提言がなされている。報告書の中の“Future Challenges”と題する章において、土および構造に関する力学的観点からの問題点として以下のような 3 項目が指摘<sup>1</sup>されている。

1. 雨水排水システムの劣化の影響
2. 構造物に対する地盤挙動の影響
3. 雨季乾季に伴う地盤の収縮および伸張

JSA は、上記の提起に対して、地盤状態を知るための基盤岩までの長尺地質ボーリング、表層地盤に対しては動的コーン貫入試験、サンプリングした試料には土質試験を実施した。雨水に対する排水機能を調査するために流量計、遺跡の力学挙動の実態を把握するために、地盤系には地下水位計、地盤沈下計、およびサクシオン計、構造系には傾斜計、目地変位計などの計測センサーを設置し、降雨、温度、風などの気象についてもモニタリングを実施した。計測頻度は 1 時間 1 回を基準として 365 日の連続計測を目指したが、過酷な気象条件などもあって、欠測期間も多々見られた。

このような計測されたデータの解析に基づく実態把握により、先に挙げた 3 つの要因に加えて、

4. 強風による積み石構造への影響

が存在していることが判明した。

以下においては、まず、自然地盤に関する調査の概要とその結果、構造物挙動の実測とその結果、さらにバイヨン寺院の保存修復への課題を示す。

### 2. 表面地形および水利特性

遺跡の南 25km にはカンボジア最大の湖であるトンレサップ湖の西北岸に至り、北 25km には湖に平行して東南－北西に走るクーレン山系がある。その山と湖の間の幅 50km にわたり広がるアンコール平野は、平均傾斜 1/1000 という緩傾斜面である。

トンレサップ湖は東南－北西に長く約 150km で、深度 3m という浅い湖であることからわかるように、地殻構造は安定していて、いわゆる活断層は存在しないとされている。

クーレン山は、全長約 60km を有する東西 2 つの山で両翼を張る形で湖に対峙している。東クーレン山を主な水源とするシェムリアップ川は、往時、東西の山間を発して方向を西南西に流下していた。アンコールの人造湖、東バライの造営に伴って途中か

to south at mid point between the Barai and Angkor Thom, and reaches at French Dam leading to Angkor Wat, Siem Reap city, and Tonle Sap in the end. The river is diverted to west at French Dam supplying water to West Barai and recently further diverted to south before West Barai to reach moat of the Angkor Wat. The Siem Reap river that run enough water in rainy season can not sustain necessary flow to keep the river clean and far from the image of "Aqua-Angkor" in dry season.

### 3. Geological study by deep boring

JSA had planned deep borings in Angkor region to study geological conditions down to reach base rock in 1994. The boring was performed with SPT (standard penetration test) for soil layers and with core sampling for rock formations. In soil layers, an additional boring was carried out for sampling. These two borings were used as monitoring underground water level.

### 4. Ground Characteristics based upon boring results

Soils from the surface (ground level GL=+22m) to 40m show SPT, N-value less than about 50 as shown in Fig. 2.4-1.

The SPT, N-value is the number of blows of dropping weight to drive boring rod 30cm into the ground. N-value increases with the hardness of the ground. Based upon the cyclic nature of N-value along the depth, we may assume two depositional stages. In quaternary period, each stage corresponds to glacial cycle. The topsoil from surface to 18m corresponds to the deposit in Holocene (since 10,000 years before present) after the last glacial period. The lower deposits down to the depth 40m correspond to much older geological period of Pleistocene.

Based upon soil classification, these deposits constitute mainly fine sand and silt with clay. Below GL-40m, sandy silt soft stone continues 42.5m that was identified Tertiary based upon hardness of samples down to GL-82.5m where very hard rock was sampled as identified as Pre-Tertiary of geological period.

According to the results of other borings including Bayon site, soil deposits of 10~40m in thickness covers over the surface of Angkor plain. The soils, whose mother rock are sand stones in Kuhlen Mountains and decomposed by weathering, are brought by flood and river flows. The size of the deposit near the foot of the mountain may prevail gravel and sand and becomes smaller soils of sand, silt, and clay in the mid of Angkor plain.

### 5. Geotechnical characteristics

Soils are alternation of mainly fine sand and salty clay layers in yellow brown in color. The color is due to oxidation of iron and aluminum and characteristics of lateritic soils.

Grain size distribution of the sampled soil is shown in Tab. 2.5-1. Geotechnical engineering treats soils as clay or sand type. Based upon composition, sand part exceeds more than 50% and called sandy soil. However, clay content is nearly

ら分流南下させる人工河川となった。現在のシェムリアップ川は、東バライまで南下したのち、バライの北側に西に流れ、東バライとアンコール・トムの間を南下してフランス堰を通り、アンコール・ワットの東側、さらにシェムリアップ市を経てトンレサップ湖に至っている。フランス堰においては、人工河川によって西に分流され西バライに灌漑水を供給してきたが、最近西バライの前でさらに南に分流されアンコール・ワットの環濠に通じるようになった。シェムリアップ川は雨季には豊富な水流であるが、乾季となれば、河川の自然浄化のための最低水流が保持できず、水都のイメージにはほど遠くなる。

### 3. 長尺ボーリングによる地質調査

アンコール域での地質調査のために、JSA は基盤岩に到達するまでの長尺ボーリングを 1994 年度に計画した。ボーリングは、土質地盤では標準貫入試験を実施し、岩盤においては試料採取した。標準貫入試験を実施した約 40m の深度までの土質地盤では、さらに 1 本掘削してサンプリングを行い、これらの 2 孔を利用して、以後の地下水位の計測を行った。

### 4. ボーリング調査による地盤構成

地表（地盤高さ GL= 約 +22m）から、約 40m までは標準貫入試験による N 値約 50 以下の土質である。N 値はロッドが 30cm 貫入するに要した重錘の落下回数で、N 値が大きいくほど地盤は堅固となる。N 値の深度変化の特徴から大きく 2 回の堆積過程が存在したと考えられる。第四紀地質の堆積過程は氷期を 1 サイクルとして考えられることから、表層から GL-18m までの堆積サイクルは、最終氷期以後（完新世：約 1 万年以降）に形成されたと考えられる。さらにその下位に続く堆積サイクルは、それ以前の地質年代の更新世に対応していると考えてよい。土質分類からみると、これらは粘性土と細砂層の互層で構成されている。

GL-40m に続く 42.5m 間は、砂質シルト軟岩でその固結度から第 3 紀層と考えられる。さらに GL-82.5m 以深には硬質の先第 3 紀の岩盤が続いている。バイヨン地点以外でのボーリング調査結果をみると、アンコール平野の地表面には厚さ地表から数十 m の土砂が堆積している。これらの堆積物は、北のクレーン山の砂岩を母岩とするもので、風化によって削剥され、洪水、河川によって運ばれたものである。クレーン山麓付近では砂礫が堆積していると思われるが、アンコール平野の中部までに至ると粒度も小さい土となり、細砂-シルト-粘土などの地質となる。

### 5. 表層の土質特性

土質は、シルト質粘土や細砂の互層であって黄褐色を呈する。この色調は、酸化鉄などによるもので、



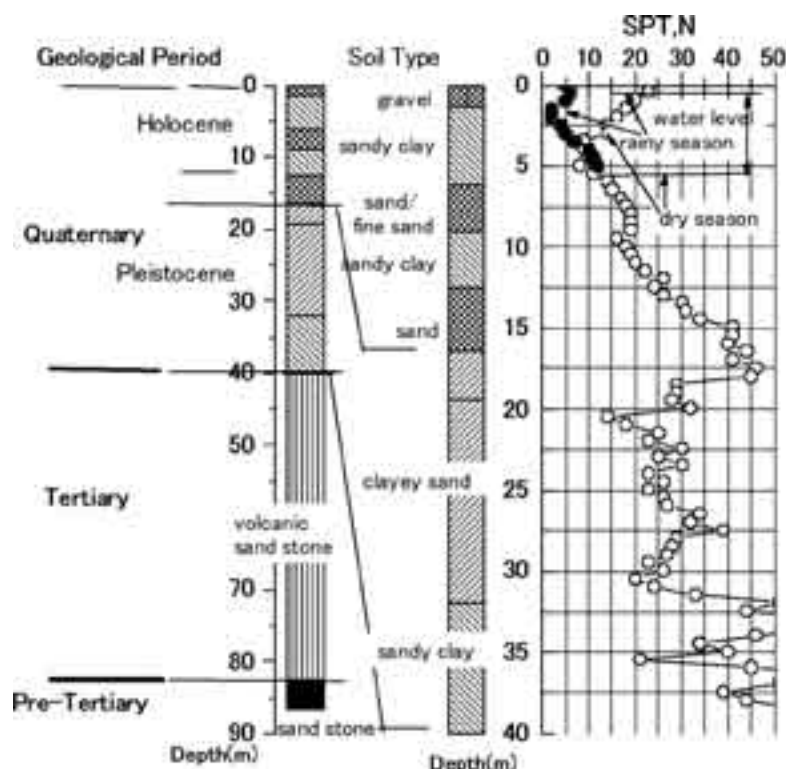


Fig. 2.5-1 Geological/Geotechnical Boring at Bayon Site.

Tab. 2.5-1 Grain size distribution of soils in Angkor (depth &lt; GL-40m).

Soil Type	Clay	Silt	Sand	Gs
Grain size range	$d < 0.005\text{mm}$	$0.005 < d < 0.075$	$0.075 < d$	Specific Density
Weight Percentage	$25 \pm 9\%$	$15 \pm 9\%$	$57 \pm 14\%$	$2.614 \pm 0.023\%$

Tab. 2.5-2 Average Atterberg Limits of clays in the surface layer in Angkor.

Natural W/C	Liquid Limit	Plastic Limit	Plasticity Index
11-12%	$37 \pm 11\%$	$11 \pm 3\%$	$27 \pm 10\%$

30% and behaves clayey like characteristics and called as "intermediate soil" that shows complicated behavior than simply called sandy soil.

The diffraction X-ray analysis shows two major mineral components as quartz and kaolinite, whose average specific densities (2.65~2.66 for quartz and 2.60~2.68 for kaolinite) are near the obtained  $G_s=2.61$ . Among clay minerals, no such clay minerals as montmorillonite to show strong swelling characteristic is not identified.

Clay soil changes its mechanical characteristics according to water contents.

Atterberg Limits are obtained by laboratory test and shows boundary water contents that correspond three phases of liquid, plastic solid, and half solid, as shown in Tab. 2.5-2. Water con-

ラテライト性地盤の特徴の一つである。ボーリング試料で行って得られた粒度分布を、Tab. 2.5-1 に示した。

地盤工学では土質を砂地盤か粘土地盤かの2者選択方式で扱うが、粒度からみると、砂分が50%を越えているから、粒度的には砂質系である。しかし、粘土分が約30%近くもあり、力学的には粘性土的な挙動を示すもので、いわゆる中間土と称される土質であって、砂か粘土かということでは割り切れない特徴がある。X線回折解析によれば、石英とカオリンが主鉱物と検出された。

土粒子密度は、 $G_s=2.61$  で石英やカオリンの平均比重 (2.65 ~ 2.66, 2.60 ~ 2.68) に近く、砂と粘土

tent of soft clay usually ranges around the Liquid Limit. If the water content decreases the clay soil becomes harder. It shows very stiff when the water content is around Plastic Limit. The water content of clayey soil in Angkor is  $w/c = 10 \sim 11\%$  that is the same level of the Plastic Limit and considered as not likely to cause large settlement like soft clay ground.

Ground deeper than GL-5m to GL-18m shows gradual increase of SPT N-values and reaches  $N = 40$ . The average is 20 and the ground is not considered soft soil of  $N$  less than 10 but identified as relatively dense/stiff ground. Top surface ground, however, being affected by water level change, shows seasonal change of soil strength.

## 6. Underground water level and ground characteristics

Top soil from the ground to GL-5m changes its character due to water level. In dry season, the water level becomes lower and the water content decreases. When the water contents decrease, the soil becomes unsaturated and hardens by negative water pressure (suction) between soil particles. In rainy season, the suction decreases and the cohesion between soil particles becomes low, which results in expansion of the soil with softer strength. SPT, N-value changes according to season as shown in Fig. 2.5-1. This is because of change of water level. Based upon the monitored results of the underground water level, the suction, the contraction and expansion of the surface soil, 3~5mm change of ground level was observed (Prasat Sour Prat site). If these changes of ground settlement/heave take place and cause settlement of the structure, the opening of the stones due to uneven settlement continues to increase. These opening gaps are observed in stone structures of Angkor.

## 7. Change of underground water level and underground water flow

Based upon the observed data, underground level increases in rainy season from May and decreases in dry season gradually to GL-5m at the end of the dry season of April. Supply of the underground water has two sources of horizontal flow from Mt. Kuhlén and vertical infiltration from rainwater. Let's us consider velocity of horizontal flow in the Angkor plain. The average permeability of the ground based upon field test and estimated from grain size is  $k = 10^{-3} \text{cm/sec}$ . Gradient of the flow water is considered as the same of the ground surface inclination of  $i = 1/1000$ . The average velocity may be obtained as the order of 0.1km/year and requires more than 100 years from the mountain to the lake. The annual change of the surface water level of 5m is observed in whole area of Angkor plain. What causes the change of water level? A model that changes inflow rate at the north boundary of the Angkor plain does not explain the annual change. Observation of rainwater and water level revealed that underground water level increases by infiltration of rainwater (1,500mm/year) and decreases by evaporation (1,500mm/year) from the surface.

の母岩鉱物の主成分を反映しているものとみられる。粘土鉱物でも膨潤性の高いモンモリロナイトは認められない。

粘性土は、含水比による力学的特性が問題とされるが、含水比変化による粘土の特性は Atterberg Limit によって知ることができる。

Liquid Limit (液性限界) は、それ以上では粘土が液体のような流動性を示す含水比であり、それ以下になると固体となり可塑性 (変形を与えるとそのまま残る) を示すようになるが、Plastic Limit (塑性限界) は、可塑性の限界の含水比で、それ以下では粘土を変形させようとするバラバラになって半固体状となるのである。軟弱粘土は液性限界に近い高い含水比であり、硬質の粘土は塑性限界に近い低い含水比である。

アンコール域の自然含水比は  $w/c = 10 \sim 11\%$  で、塑性限界に等しいレベルである。このことから、粘土の含水比は相当に低く、いわゆる軟弱粘土のような粘土の圧密による大きな沈下の可能性はないことがいえる。

地表から 5m を除く約 18m までの間での  $N$  値は、深度とともに増加し、GL-15m で  $N = 40$  に達する。平均的な  $N$  値は  $N = 20$  であって、いわゆる軟弱地盤とされる  $N$  値 10 以下ではなく、相当に堅固な地盤である。しかしながら、地表付近は地下水による含水比の変化があり、このため強度の季節変化がある。

## 6. 地下水位と地盤の特性

地表面から 5m までの間は、地下水位面が変動するため、地盤の表層部の性質も変化する。乾季においては地下水位が降下し、含水比も低下する。土の含水比が低下すると不飽和状態となり土粒子間の水には負の水圧 (サクション) が作用して土は収縮して固結する。雨季となると、サクションが減少し土粒子間の接合力が弱まり、土は膨張し、軟弱となる。Fig. 2.5-1 に示したように、乾季と雨季の貫入抵抗が異なる。これは、地下水位変動によるものである。地下水位、サクション、地盤の収縮・膨張の関係を現地計測 (プラサート・スープラ地点) によって観測されたデータによれば、3m 程度の地下水の変化に伴って、3~5mm 程度の地盤のレベル変化が発生したことが確認された。このような沈下が季節変動で繰り返して発生すると、たとえ、沈下は復元性のものであっても不等沈下であると、水平の目地に発生した開口変位量は、復元しないで累積していく。このような開口変位はアンコールの石積み構造体で観察される。

## 7. 地下水位変動と地下水流動

観測によれば、地下水位は 5 月からの雨季の間に上昇して、10 月には地表面近くまで到達するが、

## 8. Foundation structure of man-made compacted fill at Bayon

The fundamental structure of the foundation structure in Bayon was revealed by the archaeological trench work of JSA (2000) that excavated from outside of the inner north gallery to Outer Gallery to outside of the surrounding until the boundary of manmade fill. According to the result, top surface soil of one meter is identified as soil deposited after the construction of the temple, the original ground level is estimated as one meter below the present ground surface.

The foundation beneath the lower terrace was made by excavation of two meters from the old surface and construction of multi-material foundation structure that consists of compacted fill with two meters and one meter, followed by pavement of laterite block, manmade fill of one meter in thickness, upper pavement of laterite block, and sand stone pavement at the top surface. The lower terrace was three meters higher than the original old ground.

## 9. Compacted Fill and Effects of Infiltration of Water

The fill is mainly made of fine sand and densely compacted. Based upon the dynamic cone test for manmade ground at Prasat Suor Prat which shows equivalent to SPT,  $N = 15$  of comparable to natural ground density. Plate loading test (diameter of the plate  $d = 10\text{cm}$ ) at Northern Library, Bayon showed a yielding stress greater than  $p_y = 1.15\text{MPa}$ . The maximum load expected in Bayon as  $0.45\text{MPa}$  beneath the central tower and has a safety factor of  $F_s = 2.5$ .

While we performed a plate loading test for the compacted fill at Prasat Suor Prat, the settlement was suddenly increased under the constant load when water was poured into the testing ground. We confirmed the compacted fill became very weak against wetting condition. We measured relative height of the peripheral of the foundation ( $d = 25\text{m}$ ) of the central tower and found the maximum differential settlement of about  $25\text{cm}$  that might well be resulted from the settlement of compacted fill caused by wetting.

The drainage system is very important for keeping stable foundation in Angkor where the structure is founded upon man-made fill that suffers settlement due to swelling by rainwater.

Rain flow was measured at one of the drain outlet of outside of west middle terrace. A comparison between the measured flow and expected rainwater in the catchment area to the outlet concluded that drain flow reaches only about 30% of the total rain and the rest of 70% had infiltrated into the foundation system.

## 10. Foundation system and masonry structure in Angkor

One of typical characteristics of the foundation-structure system in Angkor is well compacted man-made fill covered by laterite blocks. Fig. 2.5-2 shows a typical example of the foundation system at Northern Library at Bayon. There are no

乾季が始まると次第に低下して乾季の終わりの4月末にはGL -5m程度まで低下する。地下水の供給は、北にあるクーレン山からの水の水平流動によるものと雨水による表面浸透によるものと二つがある。水平流動による流動速度を検討してみよう。現場試験と粒度から求められる代表的な透水係数 ( $k = 10^{-3}\text{cm/sec}$ ) と地下水の流動勾配 (地表面勾配と同程度だとして  $i = 1/1000$ ) より地下水の流動速度を求めると  $0.1\text{km/year}$  程度の値で、クーレン山麓からトンレサップ湖までは100年以上の期間を要することが分かる。5mにおよぶ地下水位の年間変動は、アンコール域全体で観測されるが、この地下水変動は、なにが原因なのか？ クーレン山麓の平野の北端における水源の年変化させた水平流動モデルでは、平野全体にわたる1年間の季節変動を説明できない。地下水位と降雨の連続計測結果から、雨季の降雨 (年平均約  $1500\text{mm}$ ) によって地表から浸透補給され、また乾季には同等レベルの蒸発 (年平均  $1500\text{mm}$ ) によって低下することが判明している。

## 8. 版築盛土によるバイヨンの基礎地盤構造

バイヨン寺院における基本的な地盤基礎構造は、JSA 考古班によるバイヨン北側の内回廊から外回廊の外構部に至る版築盛土の境界を含んだトレンチ掘削 (2000) によって解明された。これによれば、外回廊の外側の地盤の表層約  $1\text{m}$  は、バイヨン建設後に堆積したいわゆる表土層である。この表土層の下部を創建当時の地表面レベルとすれば、基礎地盤の地業は次のようであったと考えられる。

旧地表面から、約  $2\text{m}$  の深さまで掘削の後に、約  $2\text{m}$  とさらに約  $1\text{m}$  厚さの人工盛土、ラテライトブロックの敷石層、約  $1\text{m}$  厚さの人工盛土層、ラテライトブロックの敷石層、さらに砂岩による敷石層という多重材料構造で低段テラスが構成されている。低段テラスは、外回廊の旧地盤高からは、約  $3\text{m}$  の高さを保持している。

## 9. 版築盛土と盛土表面排水

これらの版築盛土は主として細砂でよく締固められており、プラサート・スーブラにおける版築土のコーン貫入抵抗試験からみると、標準貫入試験の  $N = 15$  程度の貫入抵抗で地山ほどの強さであった。バイヨン北経蔵における平板載荷試験 (載荷板直径  $d = 10\text{cm}$ ) によれば、降伏荷重は  $p_0 > 1.15\text{MPa}$  の大きい値が得られている。バイヨン中央塔の荷重強度は中央部で  $0.45\text{MPa}$  程度だから、安全率としては  $F_s = 2.5$  である。

プラサート・スーブラ N1 塔における版築盛土を同様に載荷試験を実施し、荷重を保持したままで地盤に水を浸透させたところ、大きな沈下が発生した。よく締まった版築盛土は、乾燥状態では高い強度を



recognizable differential settlements at the lower platform of the foundation systems around the lower terrace level of the ground.

The pillars at the both end of the each side of the porch suffer severe settlement and porch and stairway portions are separated by continuous cracks of the stones at the side face of the platform from the central part of the main platform.

If we study carefully the arrangement of the structural element in Fig. 2.5-2, we recognize that the Upper structural load at the pillar is supported not only by stone elements but also by laterite blocks and further by manmade fill as well at lower level. If laterite blocks becomes thinner due to weathering, as clearly found at Southern Library, it is easily anticipated that differential settlements occurs and causes structural unbalance that results in failure of the upper roof structure and induces slide out of the porch portion from the platform.

Khmer engineer did not take account the different characteristics of each structural elements of sand stone, laterite block, and fill that they used. If the weak portion of laterite block suffers weathering, local settlement may take place. If the man-made fill is infiltrated by rainwater, local settlement also occurs. If these local settlements take place, differential settlements of the upper structure follow, resulting flow out of sand, and possibly final failure at the worst case.

保持するけれども、浸水により極端に強度が減少低下することが分かる。

たとえば、最上段テラスは高さ 12m の盛土マウンドであるが、直径 25m のパイヨン中央主塔の基礎回りの不等沈下量は約 30cm に達している。これなどは、版築盛土の浸水沈下が大きな原因ではないかと思われる。

このように版築盛土は浸水により、大きな沈下を引き起こすから、版築盛土の上に基礎を置くアンコール遺跡での排水は重要な課題である。

パイヨンの内回廊西南地点の排水孔において排水量の計測を実施した。対象降雨面積あたりの雨量と排水量との比較から、降雨量の約 30% が排水口から流出していて、雨量の 70% は基壇内部に浸透しているという結果を得た。

#### 10. 基礎構造とアンコールにおける石積み構造

アンコールにおける基礎構造の特徴の一つは、版築盛土の上にラテライトブロックを置いて基礎としていることにある。たとえば、パイヨン北経蔵の事例を Fig. 2.5-2 に示そう。

パイヨン北経蔵・南経蔵における変状をみると、低段テラス高さの基礎の極度な不等沈下はみられない。

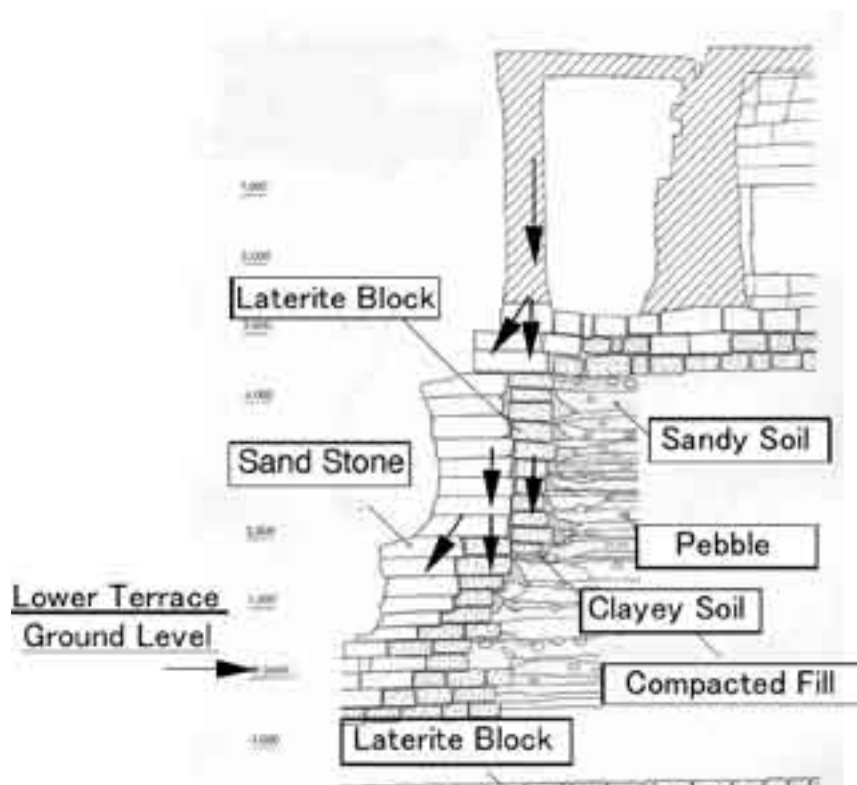


Fig. 2.5-2 Character of Stone Structure in Angkor (Arrows indicate flow line of forces).

Results of the measurements of inclination of four face towers in Bayon (2002), the maximum inclination is found for the tower No.32 at the north-western corner of the Inner Gallery. The top of the central tower has moved 66.8cm with towards north-west direction, with an inclination of 4.94/100(cm/cm)(= 2.8 degrees).

Tab. 2.5-3 shows the distribution of the measured inclinations and the tower with larger inclination than 1/100 reaches more than 30%. These inclined towers might have some problems at foundation systems.

### 11. Restoration of Northern Library, Bayon

The foundation of North Library, Bayon is made of compacted fill. Experience at Baphuon showed that fill failed when the height exceeded five meters. The height of the North Library, Bayon is also five meters and the fill is not necessarily safe as far as geotechnical engineering viewpoint. JSA introduced soil mixed with slaked lime (2000) that has resulted in higher ground strength and smaller permeability compared to the original compacted fill.

### 12. Inclination and fall off stones of the central tower

There are eight sub-towers surrounding the central tower. Most of the stone beams bridging among the sub-towers have been destroyed and fallen. The shape of the top of the main tower lacks original symmetry. The mechanical stability is one of the main theme for safeguarding Bayon Temple.

There is a workable space at the middle height (+25m) of the central tower(+45m at the top). To study the stability of the main tower, we installed inclinometers on each side face of the central tower and displacement sensors between gaps between stones of sub-towers. Based upon inclination of the central tower, daily change is found 0.05mm/m or less and annual change is 0.2mm/m at the maximum. We do not find any meaningful change of inclination and the rate of the inclination common to the each inclinometer. We conclude at present there is no impending danger of the tower failure.

Based upon the gap measurement, we found the daily change is caused by shrink and expansion of the stones by temperature and its recoverable nature. However, we also noticed non-recoverable event that corresponds to wind generated movement caused by stronger than the wind velocity 4~5m/sec.

Outside of the stone columns of the main central tower does not necessarily interlocked with the adjacent columns and

経蔵の両端部に位置するポーチの独立柱に沈下が発生し、東西両端部の階段およびポーチ部が、基壇と分離されるような連続した目地が基壇側部に観察されていた。

Fig. 2.5-2 から分かるように、上部構造からの荷重を砂岩とラテライトブロックで分担し、さらに下方にはラテライトブロックの直下の盛土に分担させている。現に南経蔵で観察されるように、ラテライトブロックが風化で痩せると、不等沈下が発生して、力学的バランスが崩れて上部構造の崩壊、さらに、基壇のすべり出しを誘発する。

クメールにおいては、石材とラテライトおよび版築盛土材の材料としての力学的な特性の違いを考慮に入れているようには思えない。このために、ラテライトの弱い部分が風化したりすると、局所的な沈下が発生する。さらに版築盛土は浸水に弱いから、浸水があるとやはり局所的な沈下の発生をよぶことになる。

このような局所的沈下が発生すると、石積み構造に不等沈下が発生し、砂の流出を招き、最悪の場合には、崩壊に至るのである。

バイヨンに林立する四面像のある塔の傾斜測定結果 (JSA2002) によれば、最大の傾斜は西北隅部 No.32 塔で、塔中心は 66.8cm 西北方向へ移動している。これは 49.4mm/m (2.8 度) に相当する、計測された 38 塔の塔傾斜角分布を Tab. 2.5-3 に示したが、傾斜角が 1/100 以上に達するものは、約 3 割強ある。これらの塔の基礎構造はラテライト部材や排水などに問題があると思われる。

### 11. バイヨン北経蔵の修復

バイヨン北経蔵の基壇は、土の版築盛土でできている。バプーオンにおける盛土は 5m の高さになると崩壊したという歴史があり、バイヨンの基壇の高さもほぼ 5m であって、地盤工学的に必ずしも安全な盛土高さではない。JSA は、消石灰混合処理による盛土強化工法を採用した (2000)。本工法の採用により、在来版築工に比べて、高い地盤強度、高い支持力と低い浸透性を得ることができた。

### 12. 中央塔の傾斜と強風による石材の崩落

バイヨン中央塔には 8 つの副塔があるが、副塔間に架けられた砂岩の梁材は破損あるいは崩落してい

Tab. 2.5-3 Inclination of Towers with four faces.

Inclination : $\theta$	$5/100 > \theta > 1/100$	$1/100 > \theta > 0.5/100$	$0.5/100 > \theta$
Number	12	13	13
(%)	31.6%	34.2%	34.2%

stand as independent vertical one. Several stone elements are found to have cracks on side face of the stone. If these cracks develop within the stone by any reason, the stone element may fail and invites failure of column system or results in fall-off of all the stone elements above the failed stone.

The lack of the symmetry of the central tower is caused by fall-off of the stone elements at the tower top, which might well be caused by very strong wind.

### 13. All of sudden phenomena

Displacements of the heritage structures are considered as taking place all the time gradually. However, we observed the phenomena took place all of sudden according to the observed result of inclination of N1 Tower at Prasat Suor Prat (1998). When the heavy rain reached 180mm for 24hours in September 25, 1997, N1 Tower began to incline northwards and kept the movement as creep reaching 3.2mm/m after several months. The change of the inclination was 1/13 of the present angle of 40mm/m. The tower was constructed in the end of 12th century of about 800 years ago. If the same change inclination took place under very heavy rain in every 50~60 years, the present amount of inclination could be understood. Such extraordinary heavy rain and strong wind might be major reason to cause water infiltrated settlement of manmade fill and fall-off stones of the central tower.

### 14. Tasks for restoration and safeguarding

10 years of experiences of field study and monitoring of structural behavior in Angkor are summarized as tasks for restoration and safeguarding Angkor as follows,

The mechanical principals to have caused the present deformation of masonry structure in Angkor are the effects of water and wind as well as temperature upon ground, laterite and sand stone.

Water infiltration into compacted ground causes local settlement and flow-out of sand. Water level changes have caused cyclic effects of ground contraction/expansion to the foundation. Laterite material being weathered by water and temperature deteriorated itself and lost its strength as foundation resulted in deformation of upper structures.

Wind had strong effects on the development of the cracks in the sandstones that have resulted in failure of the sandstone and fallout of sandstone element from the central tower.

At present, not all of the cause is known to us; however, we like to point out several tasks for restoration works to handle two major components that compose main principal factor to develop mechanical failure.

Natural ground: Natural ground affects upon heritage site by ground movement caused by change of underground water level. The present change of water level is about 5m. Recent construction rush of hotels in the area accelerated to pumping up underground water and the development of

るものも多く見られる。また、中央塔の塔頂付近は、創建当初の対称性を喪失して見る方向によって形状が異なっている。中央塔の力学的安定性は、バイヨン寺院保存にとって重要な検討事項である。高さ45mの中央塔と副塔との間の高さ25m付近には人間が回って歩ける空間がある。中央塔の安定性を検討するために、この空間を利用して、中央塔の各側面に傾斜計、さらに副塔の積石間の目地間隔を計測する変位計を設置した。

塔の傾斜計測結果によると、日変動量は0.05mm/m程度以下が記録されている。年間を通しての季節変動も最大で0.2mm/m程度認められる側面もあるが、各側面に共通したものはない。傾斜変動および傾斜変動率に、これまでのところ塔の倒壊に関して特別に危険の差し迫るような兆候はない。

副塔の積石間の目地間隔の計測から、目地間隔の日変化は石材の温度収縮・膨張に起因していることが判明したが、この温度による変動は基本的に復元性を示している。しかしながら、非復元性の目地間隔変動がみられる場合もあり、これは4~5m/sec以上の強風時に対応していることが分かった。

主塔を構成する縦積みめの石積柱は、隣接する柱とかみ合っていない場合がある。積み柱を構成する部材には、水平から斜めの方向に亀裂が見られる部材があり、このような亀裂が進展して破壊すれば、柱構造を崩壊に導くが、独立柱の場合、この石材から上部の積み石はすべて容易に崩落すると考えられる。

現在の中央塔の塔頂付近が非対称となって痩せているが、これは、塔頂付近の積石が崩落しているためであるが、崩落の原因の主因は、強風による積み石の崩落であろうと推察される。

### 13. 突発性現象

遺跡構造物の変状は、経年的に徐々に発生していると考えられがちであるが、プラサート・スープラのN1塔の傾斜計測結果(1998)からすると、崩壊は突発的に発生する事例が観測された。1997年9月25日総雨量180mmに達した豪雨時に、N1塔は北方向へ傾斜しはじめ、クリープ的に数ヶ月継続し、増加偏移傾斜量は3.2mm/mに達した。これは、現状のN1塔傾斜角40mm/mの約13分の1である。この遺跡は12世紀末とされているから約800年経過している。何が原因であったかの確定はなされていないが、仮に豪雨による影響だとすると、50~60年に一回程度の豪雨という異常気象の繰り返しで現在の塔傾斜は説明できる。このような異常な降雨や強風が、版築盛土の浸水沈下やバイヨン中央塔の崩落などを誘発したのではないかとと思われる。

### 14. 保存修復への課題

10年間の現地調査や地盤構造物の挙動観測で判明

source for water supply for Siem Reap city was decided to use underground water. If large drawdown of water level takes place, the ground settlement is anticipated to occur. The settlement could cause crucial problem not only for Bayon but also for whole Angkor area, the pumping water should be restricted and monitoring of water level as well as settlement is necessary at various points in the area. Ground settlement caused by dewatering may appear in large area and cause unrecoverable damage, we should keep warning to the concerned authorities to realize the importance of the matter.

**Manmade compacted fill:** Man-made fill is well compacted, however, settlement caused by wetting or flow-out of sand might have resulted in partial settlement. The soil mixed with slaked lime that JSA have introduced improves the characteristics with higher strength and smaller permeability. We recommend this method to extend to restore the manmade fill in Bayon in general because of high strength as well as the counter measure against rainwater infiltration.

Water content of manmade fill is adjusted as the optimum water content when compaction. There is some question if the water content may change due to water infiltration with time and reach to any stable level. We need to install some sensors to measure water contents inside the fill and monitor for a rather longer duration.

**Laterite block:** Weathering is caused by wetting and severe temperature change. Recent development of chemical membrane that prevents water infiltration from the surface but allows moisture transfer through the membrane. Though the test is necessary to confirm the effectiveness against weathering, the surface treatment of the membrane might be useful countermeasure to keep the laterite and postpone the weathering.

**Sandstone:** It is necessary to understand the reason why element of sandstone displaces and crack is induced in the stone as well as how the crack develops. We assume most of these deformations have been caused by differential ground settlement and weathered laterite blocks. Therefore, it is the basic and necessary treatment to repair and restore foundation system of the monument before treatment of sandstone element.

**Restoration of Bayon Temple:** Bayon may be restored by several procedures of steps. One of the possible procedures is to adapt the method of partial dismantling and performing at a site to another continuously until the whole Bayon is restored. If we consider preventing rainwater from infiltration as well as matching each stone corner continuously, the restoration work may start from the central tower to

したことは、次のような崩壊原因と今後の課題に要約されよう。

現在のアンコール石積み構造物の変状の力学的素因としては、地盤、ラテライト材、砂岩材に対する水と風および温度変化による影響が考えられる。

水によるものは、浸水により版築盛土が圧縮沈下したもの、また砂の流出による盛土の弱体化とがあり、地下水の変動による地盤の繰返し圧縮膨張によると思われる目地開きなどの基礎への影響も見られる。ラテライトブロックが風化という過程を経て、変質崩壊し、基礎としての強度特性を喪失したために、上部構造に変状を誘発したものもある。風によるものは、強風により石材亀裂が進行し、石積み部材の破壊や、砂岩部材の落下や崩落を招いたものである。

**自然地盤:** 自然地盤の遺跡に与える影響は、地下水位による地盤変動である。現在の地下水の変化は、年間 5m 内外であるが、最近のホテルの地下水揚水が増大しており、さらにシェムリアップ市による水道源として地下揚水が決定されている状況にある。もし、地下水位の降下があると地盤沈下が発生する可能性がある。バイヨン寺院のみならず、積石構造のアンコール遺跡全域に大きな問題を起こすので、典型的な地点での地下水および地盤沈下のモニタリングが必要である。基本的には地下水を用いない水源の確保が必要であり、地下水揚水の規制が必要であろう。地盤沈下が発生すれば、取り返しのつかない損壊を引き起こすから、関係方面への十分の喚起が必要である。

**版築地盤:** 人工地盤はよく締固められているが、その後の浸水、砂の流出、掘削調査後の不十分な埋戻しなどで盛土体が部分的に沈下を起こしたりしている場合がある。JSA が採用した消石灰混合処理土による盛土は、強度が高く、透水性は低いので版築盛土の弱点を補強できるから、バイヨンの修復も消石灰混合処理土の採用がよい。

**ラテライトブロック:** ラテライト材の風化は、主として浸水と過酷な温度変化である。この風化を防止する方法として表層からの直接の雨水浸潤を防ぎつつ、しかも材表面からの通気性を保持するような表層保護膜材が最近開発されている。実験による確認が必要であるが、このような表面処置でラテライト材の風化遅延が図られるならば、有効な手法となろう。

**砂岩材:** 砂岩部材の変状、および部材に発生している亀裂の発生の原因、さらにその進行の過程を各サイトごとに把握する必要がある。変状や亀裂の

middle gallery, further to Outer Gallery. It is better to dismantle all the area of compacted fill to the depth at least say 30cm and to be replaced by soil mixed with slaked lime as a countermeasure to prevent rainwater infiltration. Laterite blocks might well be treated by coating of the anti-water membrane.

Central tower: It is necessary to fix stone elements by winding the central tower with rope to prevent fall-out of stone element from the central tower. It is also better to inject cementing material into the open cracks.

Observational Procedure: The monitoring of ground and structural members as well as meteorological data has been the key to understand the various behaviors of the masonry structures in Angkor. During the restoration work of Bayon hereafter, it should be continued.

In addition, longtime change of water contents and strength of slaked lime mixed soil is necessary to follow and it also need a system with triggering ability of monitoring strong ground motion to study behavior of tower under strong wind.

## References

UNESCO:

- *Safeguarding and Development of Angkor, The Report of Intergovernmental Conference on Safeguarding and Development of the Historical Area of Angkor*, Tokyo, 1993.

Y. Iwasaki and M. Fukuda:

- "Geotechnology, Geology, and Environment," *ARJSA* 1996, JICE-TOKYO, pp. 325-369.

JSA:

- *Report on the Conservation and Restoration Work of the Northern Library of Bayon, Angkor Thom, Kingdom of Cambodia*, JICE-TOKYO, 2000.

発生の原因の多くは、地盤やラテライトの基礎の変状によるものである。それゆえ、砂岩材の修復とともに、まず、基礎地盤における地盤およびラテライトブロックの修復強化がより基本的なものとなろう。

バイヨン寺院における修復：バイヨン修復の方法としては、全解体か、あるいは部分解体かという選択肢がある。工事の容易さと盛土内への雨水浸透防止、石積みの目地合わせなどを考えると、中央塔から開始して中回廊、さらに外回廊への順序で修復を進めることがよいと考えられる。できるだけ盛土部分まで解体を進め、最小でたとえば30cm程度の厚さの消石灰混合盛土材を用いた版築盛土工を行い、表面強度の増加と雨水浸透の防止を図ることがよい。ラテライトブロックは、試験の結果がよければ、先述した防水皮膜処理を行って基礎工とすればよい。

中央塔に対する対応：特に中央塔の崩壊に関しては、積石部材の亀裂への接着剤の注入養生や、大回しなどによる部材の固定による崩落の防止工が必要である。

挙動観測の継続：JSAが実施してきた気象、地下水、建築系構造物の傾斜や目地開き、流出量の計測などは、アンコール遺跡の石積構造物挙動を科学的に理解するうえで大きな貢献をしてきた。今後のバイヨン修復工事においても、できるだけ継続することが望ましい。

さらに、たとえば、消石灰混合盛土の特性の含水比や強度、透水性などの経時変化の追跡が必要であり、強風時の塔の応答などは、強風時にトリガーするような、強震地震計のようなシステムが必要となる。

## 参考文献

UNESCO:

- *Safeguarding and Development of Angkor, The Report of Intergovernmental Conference on Safeguarding and Development of the Historical Area of Angkor*, Tokyo, 1993.

岩崎好規、福田光治:

- 「地盤・地質・環境学」、『アンコール遺跡調査報告書1996』、JICE-TOKYO、1996年、pp. 293-346.

JSA:

- 『バイヨン北経蔵修復工事報告書』、JICE-TOKYO、2000年。

## 2.6 Outline of Petrology Investigation and Theme for Conservation and Restoration

UCHIDA Etsuo

### 1 Stone materials

#### 1.1 Stone materials used for Bayon

Sandstone, laterite and brick are main construction materials used in the Angkor monuments. Brick is used for only relatively old monuments constructed from the ninth to tenth century and thus it is not found in Bayon. Laterite is one of the main construction materials used frequently in the Angkor monuments as well as sandstone. However, in Bayon, laterite is used only in the inner part of the platform and is not observed in the surface of the buildings. On the other hand, the enclosure of Angkor Thom is made of laterite except for the Tower Gates. Laterite can be roughly classified into porous laterite and pisolitic laterite. Laterite used for Bayon and the enclosure of Angkor Thom is porous laterite of low quality.

Sandstone is used for important parts in the Angkor monuments. In the Angkor monuments, three types of sandstones, that is, gray to yellowish brown sandstone, red sandstone and greenish graywacke are observed, but red sandstone and greenish graywacke are used for restricted monuments, whereas gray to yellowish brown sandstone is commonly used. Until the early Bayon period, gray-colored and homogeneous sandstones of high quality without remarkable bedding planes are used, but after the construction of Bayon, yellowish brown or reddish brown sandstones with remarkable bedding planes is observed frequently, and the quality of the sandstones is not high. But no difference is recognized in constituent minerals and in the chemical composition. Therefore it is judged that they are petrologically classified into the same category.

Gray to yellowish brown sandstones are supposed to be supplied from the Terrain Rouge Formation ( $J_{1-2}$ ) in Cambodia, corresponding to the Phu Kradung Formation in the lower part of the Khorat Group in Thailand. It belongs to Middle to Upper Jurassic in age (Meesook *et al.*, 2002). The Formation crops out in the foot of Khorat plateau in Thailand, and is also distributed from Northeast Cambodia to South Laos, gradually diminishing westward. The Formation is mainly composed of reddish siltstones, sandstones and conglomerates of continental origin. However, it is interceded by coastal or lagoon deposit (5 to 10m in thickness) where gray to yellowish brown sandstones used in the Angkor monuments were supplied. Several old quarries of the gray to yellowish brown sandstones are found in the southeast foot of Mt. Koulen corresponding geologically to Khorat plateau in Thailand.

The gray to yellowish brown sandstones are of fine-to middle-grained and consist mainly of quartz, plagioclase, alkali feldspar, biotite, muscovite and rock fragments. Biotite is often altered into chlorite and goethite, which is a cause of yellowish brown color of the sandstones. Large amounts of biotite and muscovite are contained in the sandstones, and they show pre-

## 2.6 岩石学調査の概要と保存修復への課題

内田悦生

### 1. 石材

#### 1.1 バイヨンの石材

アンコール遺跡では建築材料として砂岩、ラテライトおよびレンガが使用されている。レンガ材は、9世紀から10世紀にかけて建造された相対的に古い遺跡にのみ使用されており、バイヨンではその使用が認められない。ラテライトは、砂岩と並んでアンコール遺跡で多用されている石材の一つであるが、バイヨンでは、基壇内部に使用されているのみであり、建造物表面には認められない。ただし、アンコール・トム周壁は、塔門部を除いてラテライト造である。ラテライトは、大きく多孔質ラテライトとピソライト質ラテライトに分けることができるが、バイヨンおよびアンコール・トム周壁に使用されているラテライトは、多孔質ラテライトであり、あまり質の良くないラテライトである。

アンコール遺跡では主要部に砂岩が用いられている。アンコール遺跡では、砂岩として、灰色～黄褐色砂岩、赤色砂岩、緑灰色硬砂岩の3種類が用いられているが、赤色砂岩と緑灰色硬砂岩は、一部の遺跡にのみ使用されており、灰色～黄褐色砂岩が一般的な砂岩である。バイヨン期初期までは、主として灰色で、層理が顕著でなく、均質な質の良い砂岩が使用されているが、バイヨン建造開始頃から黄褐色や赤褐色を呈し、葉理が顕著なものを多く混在し、質の悪い砂岩材が使用されている。ただし、構成鉱物や化学組成等において違いがほとんど認められず、岩石学的には同じ砂岩であると考えられる。

灰色～黄褐色砂岩は、カンボジアでは、Terrain Rouge( $J_{1-2}$ )と呼ばれ、タイでは下部コラート層群のPhu Kradung層に対応する地層から供給されている。時代的には中部ジュラ紀から上部ジュラ紀に属する(Meesook *et al.*, 2002)。タイのコラート高原の麓に露出し、カンボジアの北東部からラオス南部にかけて多く分布し、西に向かって徐々に消滅している。この地層は大陸性の赤色を呈するシルト岩、砂岩および礫岩よりなるが、沿岸性ないしラグーン性の海成堆積物を挟み(5-10mの厚さ)、この中にアンコール遺跡で多用されている灰色～黄褐色砂岩が産出する。タイのコラート高原に対応するクレン山の南東部裾野にはこの灰色～黄褐色砂岩の石切り場跡が数多く見られる。

灰色～黄褐色砂岩は、細粒～中粒砂岩であり、主として石英、斜長石、カリ長石、黒雲母、白雲母および岩石片より成る。黒雲母は、変質していることが多く、緑泥石と針鉄鉱に変質しており、このとき

ferred orientation along the bedding planes. Therefore the gray to yellowish brown sandstones tend to be broken along the bedding planes, and this is one of the causes of deterioration.

Main chemical compositions of the gray to yellowish brown sandstones are almost in the ranges of  $\text{SiO}_2 = 66 - 72 \%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12 - 14 \%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (total iron)  $= 3.8 - 5.2 \%$ ,  $\text{MgO} = 1.6 - 2.6 \%$ ,  $\text{CaO} = 0.9 - 3.3 \%$ ,  $\text{Na}_2\text{O} = 2.5 - 3.1 \%$ , and  $\text{K}_2\text{O} = 1.8 - 2.3 \%$ , and no difference in the chemical compositions is recognized among the monuments.

## 1.2 Magnetic susceptibility of sandstone blocks

As mentioned above, no difference was recognized in the constituent minerals and in the chemical composition of the gray to yellowish brown sandstones, which are used commonly in the Angkor monuments, and thus it is judged that the sandstones belong to the same petrological category. However, a difference was recognized in the magnetic susceptibility and the value is different by the construction age. Fig.2.6-1 shows the magnetic susceptibility of the gray to yellowish brown sandstones used for the principal Angkor monuments. In the figure, a difference in the magnetic susceptibility is recognized by the construction age and it is supposed that there were seven quarries through the Angkor period. But enlargement and renovation were performed in the monuments constructed in the Bayon period, and the sandstone blocks are in general supposed to have been supplied from plural quarries. Thus the detail measurement of the magnetic susceptibility of the gray to yellowish brown sandstones was carried out for representative monuments of the Bayon period. The measurement was done for 50 sandstone blocks at each point. A measurement result for Bayon is shown in Fig. 2.6-2. In the Bayon period, the magnetic susceptibility is high at the early period, then decreased, but becomes high again in the later period. Bayon itself belongs to the middle to later period as well as Banteay Kdei, and the sandstones of low quality are used for Bayon. In Bayon, three stages are confirmed based on the magnetic susceptibility (Fig. 2.6-3), and the Central Tower and the Inner Gallery belong to the first stage, the Outer Gallery and the lower part of the East Terrace to the second stage and the Northern and Southern Libraries and the upper part of the East Terrace to the third stage. The obtained result agrees fundamentally with the result obtained by the EFEO.

Bayon is the temple situated in the center of Angkor Thom. The magnetic susceptibility measurement was carried out for the sandstones used for the five Gate Towers and Prasat Chrungs in the four corners of the enclosure of Angkor Thom, and the relation in the construction age between Bayon and them was discussed (Fig.2.6-4). As a result of measurement, all shows low magnetic susceptibility similar to the first stage of Bayon, and therefore it is concluded that the enclosure was constructed in the same age as the Central Tower and the Inner Gallery.

に生成された針鉄鉱が黄褐色の原因であると思われる。黒雲母および白雲母を多く含有しており、これらは層理面に沿って定向配列している。そのため灰色～黄褐色砂岩は層理面に沿って割れやすい性質があり、これが石材劣化の一つの要因となっている。

灰色～黄褐色砂岩の主要化学組成は、ほぼ  $\text{SiO}_2 = 66 - 72 \%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12 - 14 \%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (全鉄)  $= 3.8 - 5.2 \%$ 、 $\text{MgO} = 1.6 - 2.6 \%$ 、 $\text{CaO} = 0.9 - 3.3 \%$ 、 $\text{Na}_2\text{O} = 2.5 - 3.1 \%$ 、 $\text{K}_2\text{O} = 1.8 - 2.3 \%$  の範囲であり、遺跡による違いは認められない。

## 1.2 砂岩材の帯磁率

上述したようにアンコール遺跡で最も多く使用されている灰色～黄褐色砂岩は、その構成鉱物、化学組成において違いは認められず、同種の砂岩であると判断される。しかしながら、帯磁率には違いが認められ、時代により異なった値を示している。Fig. 2.6-1 は、アンコール遺跡主要遺跡に使用されている灰色～黄褐色砂岩の帯磁率を示す。この図から時代により帯磁率に違いが認められ、アンコール時代を通じて7つの石切り場が存在したことが推測される。ただし、バイヨン期の遺跡では増改築が行なわれており、全体として複数の石切り場から石材が供給されたように思われる。そこで、バイヨン期の代表的な遺跡にて灰色～黄褐色砂岩の帯磁率の詳細測定を行った。測定は、主要な箇所にて、50個の砂岩材に対して行い、平均値を求めた。バイヨンに関する測定結果を Fig. 2.6-2 に示す。バイヨン期において帯磁率は、初期のステージで高く、その後減少するが、後期になると再度高くなる傾向を示す。

バイヨンは中期から後期に属し、質の悪い砂岩が使用されている。バイヨンでは、帯磁率において3ステージが確認され (Fig. 2.6-3)、第一ステージは、主として中央塔と内回廊が属し、第二ステージには外回廊と東側テラスの下部が、第三ステージには南北経蔵と東側テラスの上部が属している。このような結果は基本的に EFEO による調査結果と一致している。

バイヨンは、アンコール・トムの中心寺院であるが、アンコール・トム周壁の5つの塔門と周壁の四隅にあるプラサート・チュルンを構成する砂岩の帯磁率測定を行ない、建造時期に関する両者の関係を探った (Fig. 2.6-4)。測定の結果、いずれもバイヨンの第一ステージと同じ低い帯磁率を示し、周壁はバイヨン中央塔および内回廊とほぼ同じ時期に建造されたことが推定される。

## 1.3 砂岩材の形および大きさ

アンコール遺跡主要遺跡において砂岩材のサイズ

### 1.3 Shape and size of sandstone blocks

The result of the size measurement of the sandstone blocks used for the principal Angkor monuments is shown in Fig. 2.6-5. The measurement was carried out generally for monotonous walls, 50 stone blocks were measured in each place, and then the average value was obtained.

Besides the Roluos monuments belonging to the pre-Angkor period, the sandstone blocks before Angkor Wat have the ratio of about 1:1:2 for the width, thickness and length, and the width is generally in the range of 40 to 50cm. After that, the width and length are the same, whereas the thickness of sandstone blocks becomes thin, and their section is changed from square to rectangular. In Bayon, the ratio of thickness to width of the sandstone blocks is around 3:5, and stone blocks become thin. In addition, the sandstone blocks show the large variation in the shape and size, and the shape and size are not unified.

### 1.4 Stacking method of sandstone blocks

As mentioned above, the shape and size is not unified in Bayon (Pl. 2.6-1), and the stacking of the stone blocks is supposed to have been carried out without a plan. Until the Angkor Wat period, the horizontal joint of sandstone blocks is regulated. In the construction period of Bayon, the horizontal joint of sandstone blocks is not well regulated, lengthwise stone blocks are also recognized, and therefore it seems that the stacking of stone materials was carried out without a plan. In addition, the vertical joint is frequently coincided, and therefore there are many places collapsing due to this reason.

### 1.5 Bedding planes of sandstone blocks

The examination result for the orientation of the bedding planes of the sandstone blocks in the principal monuments is shown in Fig. 2.6-6. The sandstone blocks used for opening frames and pillars are excluded from the examination. The ratio of the stone blocks with vertical bedding planes is high in the monuments constructed before Angkor Wat and reaches to 30 to 50%. However, the ratio decreases suddenly to less than 10% after Angkor Wat. In the latter case, the adjustment blocks, so-called wedge stones, mainly occupy sandstone blocks with vertical bedding planes, and the sandstone blocks are fundamentally settled so that the bedding planes is horizontal. The same tendency is observed in Bayon, and the ratio of the sandstone blocks with vertical bedding planes is less than 10%.

## 2. Deterioration of sandstone blocks

### 2.1 Deterioration pattern of sandstone blocks

Various types of deterioration of the sandstone blocks as shown below are recognized in Bayon. Among them, tafoni observed in the inner pillars of the Outer Gallery is characteristic and sometimes shows beautiful aspects.

a) Salt weathering due to bat excrement

測定を行った結果を Fig. 2.6-5 に示す。測定はできるだけ単調な壁面にて行なうよう心がけ、各遺跡で 50 個の石材に対して測定を行ない、平均値を求めた。

プレ・アンコール期に属するロリュオス遺跡を除いて、アンコール・ワットより前では、幅：厚さ：長さの比がほぼ 1：1：2 であり、幅は 40～50cm の範囲内にある。それ以降になると幅および長さは同じであるが、厚さが薄くなり、正方形の断面から長方形の断面を呈するようになる。パイヨンでは幅：厚さの比は 5：3 程度になり、石材は薄くなっている。また、形や大きさにおいて変化が大きく、統一されていない。

### 1.4 砂岩材の積み方

上述したようにパイヨンでは石材の大きさ、形が統一されておらず (Pl. 2.6-1)、石材の積み方も計画的でないように思われる。アンコール・ワット期までは、横目地はほぼ揃っているが、パイヨン建造期では、横目地の揃い方が悪く、縦長の石材も認められ、石材の積み方は計画的でないように思われる。また、縦目地の揃っているところも多く、それが原因で崩壊している箇所が多く見受けられる。

### 1.5 砂岩材の層理面

主要な遺跡に対し、石材の層理面方向を調べた結果を Fig. 2.6-6 に示す。ただし、開口部や柱に使用されている砂岩材に関しては調査の対象外とした。アンコール・ワットより前の時期では縦層理を示す石材の割合が高く、30～50%程度の値を示している。しかしながら、アンコール・ワット以降では縦層理を示す石材の割合が 10%以下と急に小さくなっている。この場合でも、縦層理を示す石材の多くは、楔石と呼ばれる調整材が占めており、基本的には層理面が水平になるように置かれている。パイヨンでも同じ傾向が認められ、縦層理を示す石材の割合は 10%以下である。

## 2. 砂岩材劣化

### 2.1 砂岩材劣化パターン

パイヨンでは、次に示すような各種の石材劣化が認められる。この中で外回廊内柱に見られるタフォニは、パイヨンにおける特徴的な石材劣化であり、美しい様相を呈しているものも見られる。

a) コウモリの排泄物に起因する塩類風化

パイヨンの中央塔および内回廊ではコウモリの棲息が認められる。コウモリの排泄物にはリンやイオウ成分が含まれており、イオウはイオウ酸化細菌の働きにより酸化され、硫酸を生じる。この硫酸によ



Habitation of bats is recognized in the Central Tower and the Inner Gallery of Bayon. Phosphorus and sulfur components are included in bat excrement. Sulfur is oxidized by the action of sulfur oxidation bacteria, and then sulfuric acid is produced. Stone materials are attacked and deteriorated by this sulfuric acid. The rainwater containing phosphoric and sulfate ions ascends pillars and walls by a capillary action. When rainwater evaporates, phosphoric and sulfate ions combine with cations contained in the bat excrement and the sandstones, and then precipitate as phosphates and sulfates. They expand interstices of mineral grains by the crystallization pressure, and finally cause deterioration of the sandstones (Pls. 2.6-2 and -3). Such deterioration is recognized in 50 to 60cm high above the floor inside the buildings, and gypsum and various phosphate minerals are recognized. This type of deterioration is observed remarkably in Angkor Wat and Phnom Krom.

#### b) Salt weathering due to calcite crystallization

This is a deterioration phenomenon caused by the crystallization of calcite and is observed in the inner surface of roof, the surface of platform, the reentrant and so on. Such deterioration is observed in the places where water evaporates one-sidedly and no rainwater falls down directly. While water moves inside stone materials, Ca component in stone materials is dissolved into water, and then Ca crystallizes as calcium carbonate (calcite,  $\text{CaCO}_3$ ) on the stone surface with the evaporation of water. The crystallization pressure of calcite exfoliates the stone surface. Ca does not concentrate at the place where rainwater falls down directly. Therefore this kind of deterioration occurs in the inner surface of the roof and the surface of the foundation where rainwater does not fall down directly (Pls. 2.6-4 and -5). This kind of deterioration is observed typically in the platform of pyramid-style temples such as Ta Keo and Phnom Bakheng.

#### c) Stress concentration

Stress concentration occurs with the transformation of buildings, and causes the breakage of stone materials. Particularly with unequal subsidence of the ground, breakage of stone materials is taken place by stress concentration occurs.

#### d) Cracks along the bedding planes

A large amount of mica is contained in the gray to yellowish brown sandstones and they are arranged along the bedding planes. Because mica has the property of exfoliation, sedimentary rocks containing a lot of mica are easily broken along the bedding planes. Therefore the sandstone blocks, which are settled so that the bedding planes are vertical, are easily broken along the bedding planes. In Bayon, the stone blocks are settled fundamentally so that their bedding planes are horizontal. In general, the bedding plane is vertical in pillars, vertical frames in opening parts (doors and windows) and wedge stones, and thus cracks along the bedding planes are often observed in

り石材が劣化するとともに、リン酸および硫酸基を溶かし込んだ雨水が毛管現象により柱および壁面を上昇し、雨水が蒸発するに伴い、リン酸および硫酸基が、排泄物あるいは岩石起源の陽イオンと結びつき、リン酸塩および硫酸塩を生成し、その結晶圧により鉱物粒間を押し拡げ、石材劣化を引き起こす (Pls. 2.6-2、-3)。このような劣化は、建物内部の床から 50 から 60cm 程度の高さにおいて顕著に認められ、石膏あるいは各種リン酸塩鉱物が生成している。このタイプの劣化は、アンコール・ワットおよびプノム・クロムで最も顕著に見られる。

#### b) 方解石析出による塩類風化

方解石の析出に伴って生じる劣化現象であり、屋根内側、基壇表面や入隅等で観察される。この劣化は、水分が一方的に蒸発し、雨水のかからないところに見られる。すなわち、水分が石材中を移動する間に石材中の Ca 成分を溶かし込み、石材表面での蒸発に伴い Ca が炭酸カルシウム（方解石、 $\text{CaCO}_3$ ）として析出・濃集し、そのときの結晶圧により石材表面が劣化する現象である。このような機構から雨水のかかりやすいところでは、炭酸カルシウムの濃集が起こらず、この種の劣化は屋根内側や雨の当たらない基壇部分に生じる (Pls. 2.6-4、-5)。この種の劣化は、堂山形式の基壇に典型的に見られ、タ・ケオとプノム・バケンで最も顕著に見られる。

#### c) 応力集中

建物の変形に伴って石材に応力集中が生じ、石材破壊が生じる現象であり、特に地盤の不等沈下に伴い、応力集中による石材破壊が多く認められる。

#### d) 層理面方向の亀裂

灰色～黄褐色砂岩には多くの雲母が含有され、層理面方向に定向配列している。雲母はシート状に剥がれやすい性質があるため、雲母を多く含有した堆積岩では層理面に沿って割れやすい性質を持つ。それゆえ、層理面が縦方向になるように積まれた砂岩材では、層理面方向に沿った亀裂が生じやすい。バイヨンでは、基本的に砂岩材の層理面が水平になるように積まれているが、柱材、開口部縦枠材（出入り口、窓）や楔石では層理面が縦になっており、しばしば層理面に沿って亀裂が見られる (Pls. 2.6-6、-7)。

#### e) 除荷による亀裂

岩石の地表までの露出過程あるいは石材採掘過程に伴う除荷作用に起因して、岩石中、特に層理面に沿って亀裂を生じることがある。不均質な堆積岩

these blocks (Pls. 2.6-6 and -7).

e) Cracks due to unloading

Due to unloading in the exposure process to the earth surface or the mining process, cracks are often produced in rocks, especially along the bedding plane. Inhomogeneous sedimentary rocks are easy to be broken, especially along weak bedding planes (Pl. 2.6-8).

f) Decay by the expansion-shrinkage cycle

According to the measurement result of the surface temperature of sandstone blocks, the minimum temperature is recorded in the early morning, and the maximum temperature is reached in the early afternoon. The temperature change in a fine day exceeds 40°C, and the expansion-shrinkage cycle of minerals with such a temperature change causes decay of stone materials. In particular, rainwater in the daytime cools stone surfaces abruptly and promotes deterioration of stone materials. According to the measurement result with a thermal infrared camera, roof materials show the largest temperature change in a day and are also easily attacked by rainwater. Therefore surface exfoliation due to the expansion-shrinkage cycle is frequently observed in the roof.

g) Tafari

In the typical case, honeycomb-like holes are formed on the stone surface. Such a weathering phenomenon of stones is called tafoni. The formation process of tafoni is not necessarily clarified yet, but it is said to be a kind of salt weathering.

Tafari is a rare phenomenon in the Angkor monuments, but it is recognized remarkably in the inner pillars of the Outer Gallery of Bayon. Due to tafoni weathering, big hollows are formed in the lower part of the pillars, relief on the surface of the pillars become like a skeleton, or the bedding planes of the sandstone blocks used for the pillars is emphasized (Pls. 2.6- 9, -10 and -11). Clear explanation cannot be given yet why tafoni is observed remarkably only in the inner pillars of the Outer Gallery. Such a weathering phenomenon is observed remarkably in the south part of the Outer Gallery (Color Fig. 2.6-1) and also in the outer side of pillars. Therefore it is supposed that sunlight is related to this phenomenon.

h) Others (decay caused by heterogeneity of stone materials)

Detachment of relief is recognized in some places of the Inner and Outer Galleries of Bayon. Such sandstone blocks are inhomogeneous and show brown color inside. Thus the detachment of the relief is considered to be due to heterogeneity of sandstone blocks and this is related to low quality of the sandstone blocks used in Bayon (Pl. 2.6-12).

## 2.2 Change in the moisture content

Water is indispensable in the deterioration of stone materials such as salt weathering. Thus the measurement of the mois-

ture is particularly weak on the bedding plane and cracks are easy to occur (Pl. 2.6-8).

f) 膨張収縮による劣化

砂岩材の温度測定結果によると朝方最低温度を示し、昼過ぎに最高温度に達する。晴れた日における温度変化は 40℃を超え、このような温度変化に伴う鉱物の膨張・収縮に起因して石材劣化が引き起こされる。特に日中雨が降ると岩石表面が急冷され、石材劣化が助長される。熱赤外線カメラによる測定結果によると屋根材における温度変化が最も大きく、また、雨もかかり易いため、膨張・収縮による砂岩材の表面剥離が多く見受けられる。

g) タフォニ

典型的なものでは表面に蜂の巣状の穴があくような岩石劣化現象をタフォニと呼んでいる。この原因に関しては必ずしも明確になっていないが、塩類風化の一種であると言われている。

タフォニは、アンコール遺跡では稀な現象であるが、バイヨンの外回廊の内柱において顕著に認められる。柱の下部に大きな窪みが生成されたり、柱表面のレリーフが骸骨状となったり、柱材の層理面が強調されるような現象が認められる (Pls. 2.6-9、-10、-11)。なぜ外回廊内柱に顕著に見られるのか、明確な説明はできないが、このような現象が南側で顕著に見られ (Color Fig. 2.6-1)、また、各柱においても外側において最も顕著であることから、太陽光が関連していると推測される。

h) その他 (石材の不均質性に起因する劣化)

バイヨンの内回廊および外回廊においてレリーフの脱落が若干認められるが、このような砂岩材では内部が不均質で褐色になっている。このようなことから、レリーフの脱落は砂岩材の不均質性によるものであり、これはバイヨンでは全体的に質の悪い石材が使用されていることの反映である (Pl. 2.6-12)。

## 2.2 含水率変化

塩類風化を始めとした石材劣化では、水の存在は不可欠であり、その年変化を把握するためにバイヨンの主要箇所において雨季と乾季において含水率測定を行った。測定は、1999年9月と2000年3月に行い、比較・検討した。測定には、ケツト科学研究所製の誘電率タイプの含水率計 HI-500 を用いた。また、測定に先立ちアンコール遺跡の砂岩材を用いてキャリブレーションを行った。

バイヨンでの測定結果を Fig. 2.6-7 に示す。測定は、外回廊、内回廊、中央塔および北経蔵等の計 29

ture content was done in the main parts of Bayon both in the wet season and in the dry season in order to grasp the annual change of the moisture content. The measurement was carried out in September 1999 and March 2000, and the results were compared. The moisture meter HI-500 of a dielectric type made by Kett Science Laboratory was used for the measurement. Before measurement, the calibration was done using sandstone blocks used for the Angkor monuments.

The measurement result for Bayon is shown in Fig. 2.6-7. The measurement was carried out in 29 places of the Outer and Inner Galleries, the Central Tower and the Northern Library. The moisture content in the Outer and Inner Galleries and the Northern Library is low as about 0.2 to 0.5%. On the other hand, the moisture content in the inner wall of the Central Tower is relatively high as 1.8 to 4.8%, and the highest value was recorded in the inner wall of the center part of the Central Tower. In other words, the moisture content is low in the places where ventilation is good, but high in the inner wall where ventilation is not enough. In addition, no remarkable difference in the moisture content was observed between the wet season and the dry season.

### 3. Suggestions to conservation and restoration

The sandstone blocks used for Bayon is of relatively low quality and yellowish brown colored sandstone blocks are frequently observed. They are rich in color variation and show remarkable bedding planes. The shape and size of the stone blocks are not unified and thus it is supposed that they were piled up without a plan. Therefore the buildings constructed in the Bayon period tend to easily collapse.

Though it is not so severe as in Angkor Wat and Phnom Krom, deterioration due to bat excrement is observed in the lower part of the interior of Bayon. This deterioration is not leading to immediate collapse of buildings. However, because a lot of bats are now inhabiting in Bayon, some measures for the exclusion of bats are expected.

Characteristic weathering of the sandstone blocks so called tafoni is observed in the inner pillars of the Outer Gallery of Bayon. In the typical case, holes reaching to 10cm in depth are formed on the surface of the pillars. However, as the roof has already collapsed in the Outer Gallery, collapse of the pillars will not give any serious influence to the monument. Rather it is a beautiful weathering phenomenon and so this is supposed to become one of sightseeing spots.

In the relief of the Outer and Inner Galleries of Bayon, detachment of stone materials due to low quality of sandstone blocks is observed. Therefore periodical inspection by a percussion rod and immediate repair are indispensable.

箇所において行った。外回廊、内回廊および北経蔵での含水率は低く 0.2 から 0.5% 程度である。これに対して中央塔内壁の含水率はやや高く 1.8 から 4.8% で、中央塔中央内壁が最も高い値を示した。すなわち、風通しの良いところでは含水率が低く、風通しの悪い内壁では含水率が高い傾向が得られた。また、雨季と乾季では含水率にあまり顕著な違いが見られなかった。

### 3. 保存修復への課題

バイオンでは相対的に質の悪い石材が使用されており、色においては黄褐色を呈するものが多く混在し、変化に富んでいるとともに、層理面が顕著に見られる。石材の形、大きさにも統一性がかけ、石の積み方も無計画的である。それゆえ、バイオン期の建造物は崩れやすくなっている。

アンコール・ワットやプノム・クロムほどではないが、バイオンでもコウモリの排泄物による石材劣化が建物内部の下部に見られる。この劣化は、すぐに建物の崩壊につながるものではないが、バイオンでは、今現在でもコウモリが棲息しているため、コウモリの排除に関する何らかの対策が望まれる。

バイオンでは特徴的に外回廊の内柱にいわゆるタフォニと呼ばれる石材劣化現象が生じており、最も顕著なものでは石材表面に 10cm 位の深さの穴が空いている。外回廊では既に屋根部が崩落しているため、柱の崩壊が遺跡に対して重大な影響を与えることはない。むしろ、見た目に美しい劣化現象であり、一つの観光スポットにもなり得ると思われる。

バイオンの外回廊および内回廊のレリーフでは、石材の質の悪さに基づく、石材の割れが観察されるが、打診棒等により定期的な調査を行ない、即座に石材の補修を行なう必要がある。

## Captions of Figures and Plates

### 図およびプレートの説明

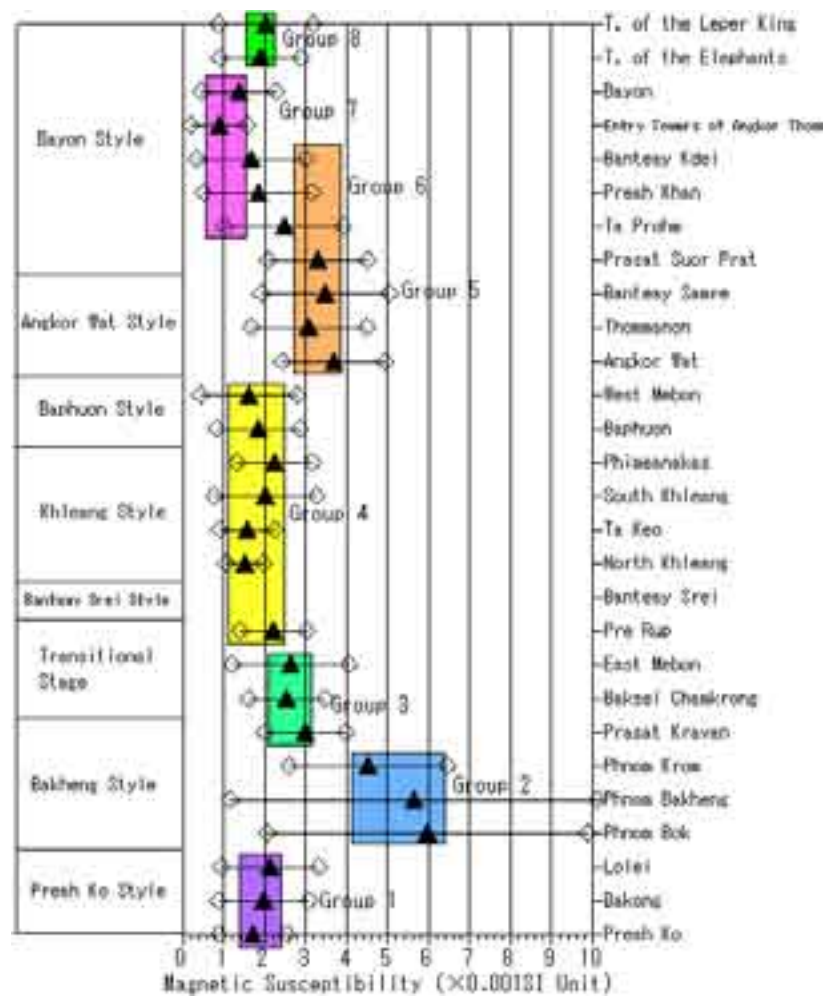


Fig. 2.6-1 Grouping of the Angkor monuments (older to younger monuments from the bottom to the top) based on the average magnetic susceptibility of the gray to yellowish brown sandstones commonly used in the Angkor monuments. The investigated monuments can be classified into 8 groups. Bayon belongs to Group 7.

アンコール遺跡で一般的に使用されている灰色～黄褐色砂岩の平均帯磁率に基づくアンコール遺跡のグループ化（下から上に向って古い遺跡から新しい遺跡の順に並んでいる）。調査した遺跡は8グループに分けられ、バイヨンは第7グループに属する。

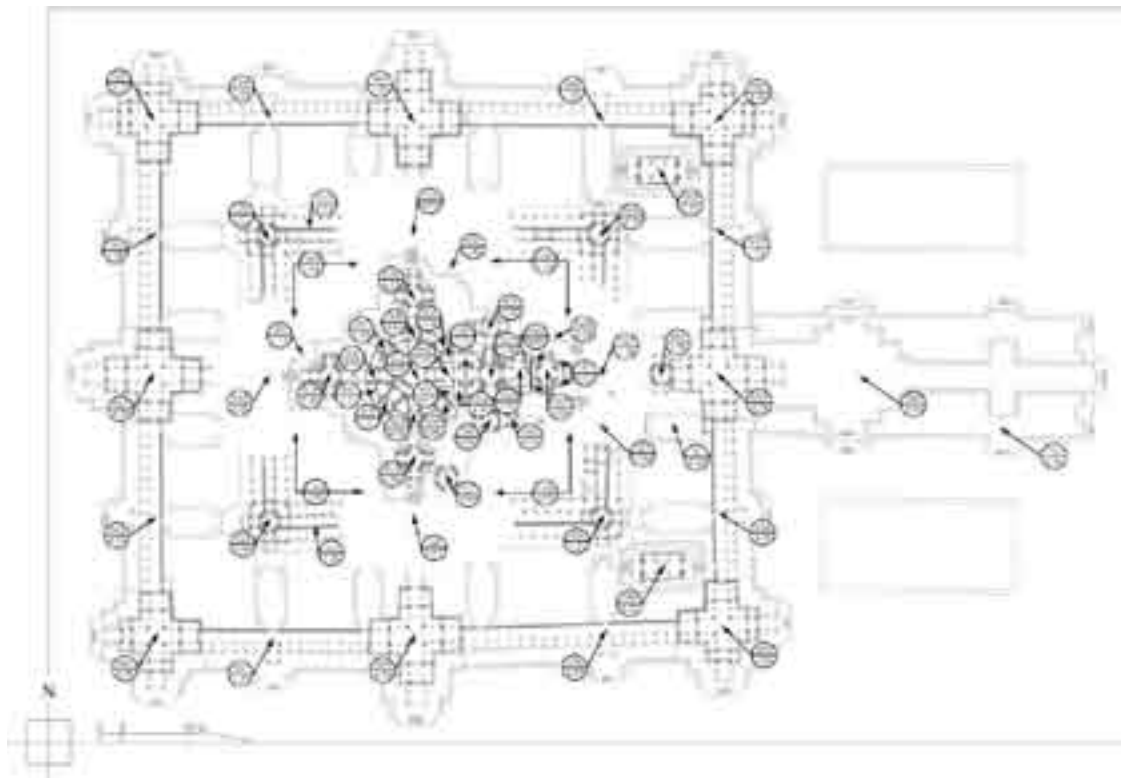


Fig. 2.6-2 The distribution of the average magnetic susceptibility of the gray to yellowish brown sandstones in Bayon by  $10^{-3}$ SI unit.  
 バイヨンにおける灰色～黄褐色砂岩の平均帯磁率の分布（単位： $10^{-3}$ SI unit）.

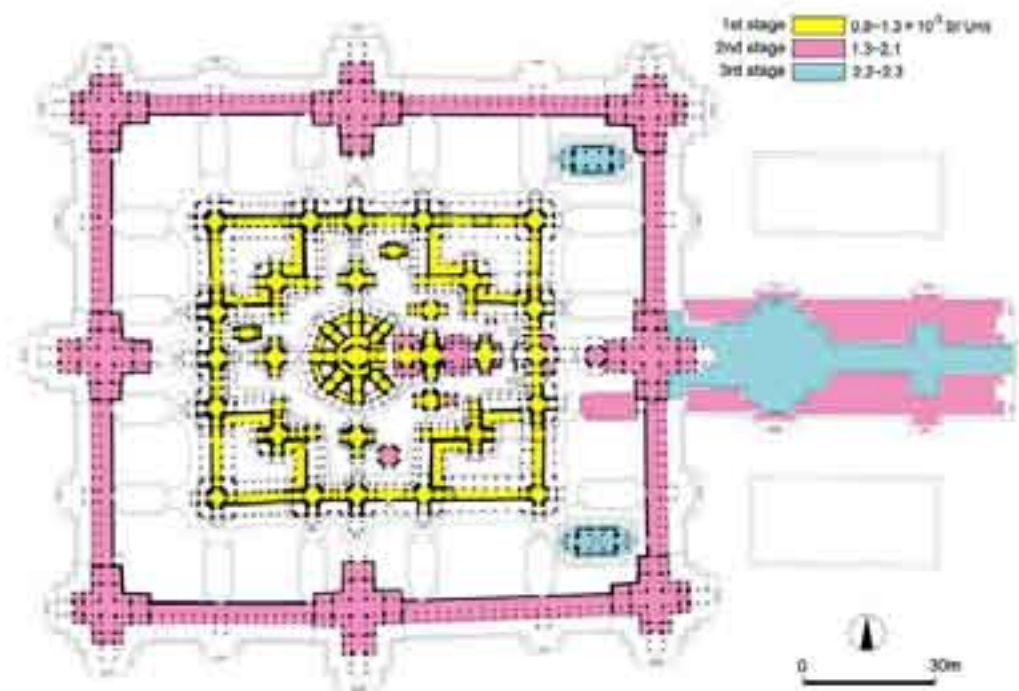


Fig. 2.6-3 The construction sequence of Bayon deduced from the magnetic susceptibility of the gray to yellowish brown sandstones. Three stages can be distinguished based on the magnetic susceptibility.  
 灰色～黄褐色砂岩の帯磁率から推定されるバイヨンの建造順序．帯磁率から3ステージが認識された．

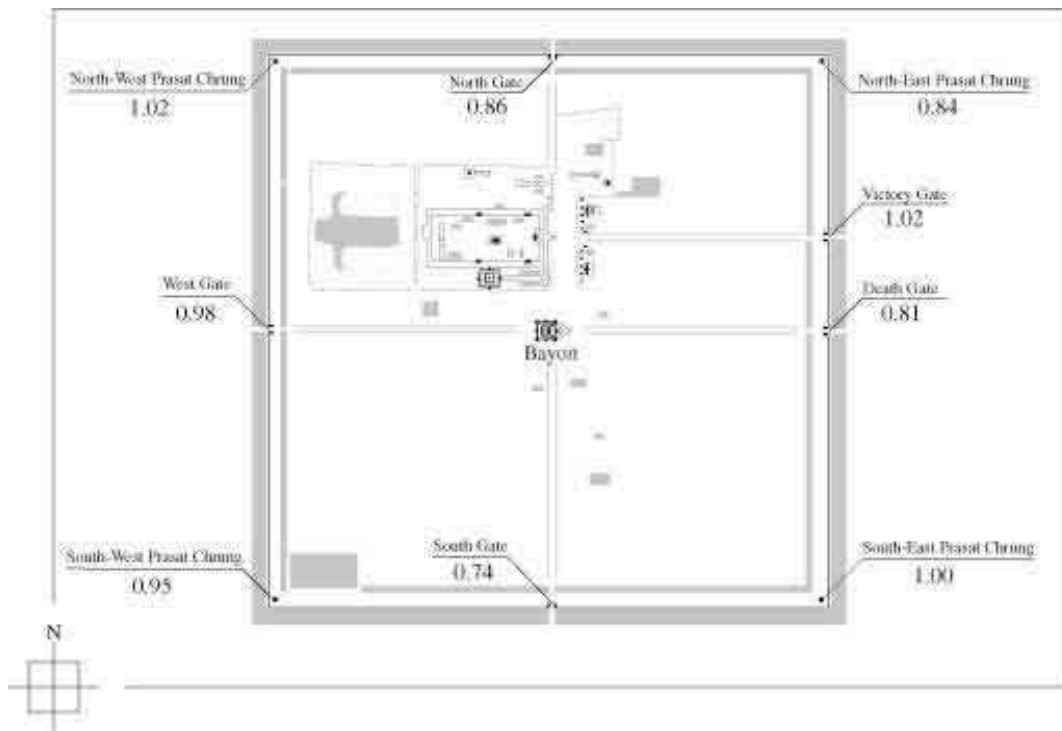


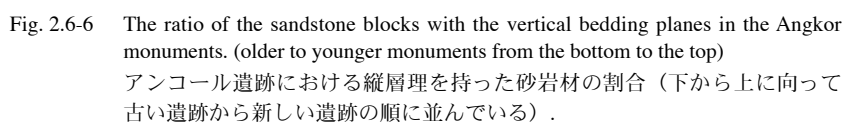
Fig. 2.6-4 The magnetic susceptibility of the gray to yellowish brown sandstones used for five Gate Towers and four Prasat Chungs of the enclosures of Angkor Thom.

アンコール・トムの外壁にある5つの門と4つのプラサート・チュルンに使用されている灰色～黄褐色砂岩の帯磁率。



Fig. 2.6-5 The change in the size (thickness, width and length) of the sandstone blocks by age in the Angkor monuments (older to younger monuments from the bottom to the top).

アンコール遺跡に使用されている砂岩材の大きさ（厚さ、幅、長さ）における時代変化（下から上に向かって古い遺跡から新しい遺跡の順に並んでいる）。





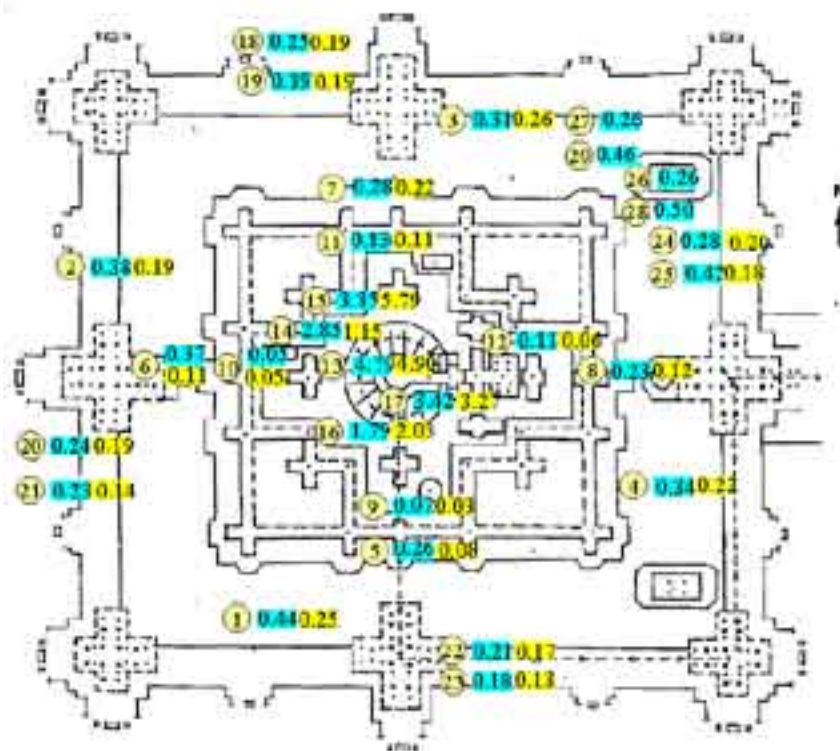


Fig. 2.6-7 The moisture content of the gray to yellowish brown sandstone blocks in Bayon. Blue color indicates the value in the wet season and yellow color that in the dry season (in %). (1)Wall in the south side of the Outer Gallery (100cm above the floor), (2)wall in the west side of the Outer Gallery (100cm above the floor), (3)wall in the north side of the Outer Gallery (100cm above the floor), (4)wall in the east side of the Outer Gallery (100cm above the floor), (5)outer wall of the south side of the Inner Gallery, (6) outer wall of the west side of the Inner Gallery, (7) outer wall of the north side of the Inner Gallery, (8) outer wall of the east side of the Inner Gallery, (9)inner wall of the south side of the Inner Gallery, (10) inner wall of the west side of the Inner Gallery, (11) inner wall of the east side of the Inner Gallery, (12) inner wall of the north side of the Inner Gallery, (13)inner wall of the Central Sanctuary(central part), (14) inner wall of the Central Sanctuary(west part), (15) inner wall of the Central Sanctuary(northwest part), (16) inner wall of the Central Sanctuary(south part), (17) inner wall of the Central Sanctuary(southeast part), (18)inner pillar of the north side of the Outer Gallery(165cm above the floor), (19) inner pillar of the north side of the Outer Gallery(45cm above the floor), (20) inner pillar of the west side of the Outer Gallery(165cm above the floor), (21) inner pillar of the west side of the Outer Gallery(45cm above the floor), (22) inner pillar of the south side of the Outer Gallery(165cm above the floor), (23) inner pillar of the south side of the Outer Gallery(45cm above the floor), (24) inner pillar of the east side of the Outer Gallery(165cm above the floor), (25) inner pillar of the east side of the Outer Gallery(45cm above the floor), (26)inner wall of the south side of the Northern Library, (27)inner wall of the north side of the Northern Library, (28)outer wall of the south side of the Northern Library, (29)outer wall of the north side of the Northern Library.

バイヨンにおける灰色～黄褐色砂岩の含水率。青色は雨季における値を示し、黄色は乾季における値を示す（重量％）。  
 (1) 外回廊南側壁（床から 100cm の高さ）、(2) 外回廊西側壁（床から 100cm の高さ）、(3) 外回廊北側壁（床から 100cm の高さ）、(4) 外回廊東側壁（床から 100cm の高さ）、(5) 内回廊南側外壁、(6) 内回廊西側外壁、(7) 内回廊北側外壁、(8) 内回廊東側外壁、(9) 内回廊南側内壁、(10) 内回廊西側内壁、(11) 内回廊北側内壁、(12) 内回廊東側内壁、(13) 中央祠堂内壁（中央部）、(14) 中央祠堂内壁（西側）、(15) 中央祠堂内壁（北西側）、(16) 中央祠堂内壁（南側）、(17) 中央祠堂内壁（南東側）、(18) 外回廊北側内柱（床から 165cm の高さ）、(19) 外回廊北側内柱（床から 45cm の高さ）、(20) 外回廊西側内柱（床から 165cm の高さ）、(21) 外回廊西側内柱（床から 45cm の高さ）、(22) 外回廊南側内柱（床から 165cm の高さ）、(23) 外回廊南側内柱（床から 45cm の高さ）、(24) 外回廊東側内柱（床から 165cm の高さ）、(25) 外回廊東側内柱（床から 45cm の高さ）、(26) 北経蔵南側内壁、(27) 北経蔵北側内壁、(28) 北経蔵南側外壁、(29) 北経蔵北側外壁。





Pl. 2.6-1 The gray to yellowish brown sandstones used for the Outer gallery of Bayon. The size and shape of the sandstone blocks are variable and the stacking of the blocks seems to have been performed without a plan.

バイヨンの外回廊に使われている灰色～黄褐色砂岩。砂岩材の大きさと形は変化に富み、砂岩材は無計画に積まれたと推測される。



Pl. 2.6-2 The exfoliation of the sandstone blocks by salt weathering due to bat excrement in the lower part of the inner wall in the Inner Gallery (west side) of Bayon.

バイヨン内回廊（西側）の内壁下部に見られるコウモリの排泄物に起因する塩類風化による砂岩材の剥離。



Pl. 2.6-3 The exfoliation of the sandstone blocks by salt weathering due to bat excrement in the lower part of the inner wall of the Tower 7 in the central part of Bayon.

バイヨンの中心にある第7塔の内壁下部に見られるコウモリの排泄物に起因する塩類風化による砂岩材の剥離。



Pl. 2.6-4 The exfoliation due to crystallization of calcite in the under bed of the architrave in the Outer Gallery (East Entrance) of Bayon.

バイヨン外回廊（東側入口）のアーキトレーヴ材下面に見られる方解石の析出による剥離。



Pl. 2.6-5 Holes formed in the reentrant due to crystallization of calcite in the West Tower on the cruciform platform of Bayon.

バイヨンの十字基壇西側に位置する塔の入り隅に見られる方解石の析出により生成された穴。



Pl. 2.6-6 Cracks along the bedding planes in the pillar with the vertical bedding planes in the Inner Gallery (south side) of Bayon.

バイヨン内回廊（南側）にある縦層理を持つ柱に見られる層理面に沿った亀裂。



Pl. 2.6-7 Crack along the bedding plane in the gray to yellowish brown sandstone block with the vertical bedding planes in the Outer Gallery (north side) of Bayon.

バイヨン外回廊（北側）にある縦層理を持った灰色～黄褐色砂岩材に見られる層理面に沿った亀裂。



Pl. 2.6-8 Cracks along the bedding planes in the pillar constructed with sandstone blocks with the horizontal bedding planes in the Northern Library of Bayon.

バイヨン北経蔵の水平層理を持つ砂岩材から構成される柱に見られる層理面に沿った亀裂。



Pl. 2.6-9 Reliefs of dancing Apsaras on the pillars in the southeast corner building of the Outer Gallery of Bayon. (a) intact Apsaras and (b) weathered Apsaras due to tafoni.

パイヨン外回廊の南東角にある建造物の柱に見られる踊るアプサラのレリーフ。(a) 無傷なアプサラと (b) タフォニにより風化したアプサラ。



Pl. 2.6-10 Emphasized bedding planes due to tafoni in the pillar in the southeast corner building of the Outer Gallery of Bayon.

パイヨン外回廊の南東角にある建造物の柱に見られるタフォニにより顕著となった層理面。



Pl. 2.6-11 Large hole formed by the action of tafoni, observed in the inner pillar of the Outer Gallery (in the south part of the east side) of Bayon.

パイヨン外回廊（東側南部）の内柱に見られるタフォニにより形成された大きな穴。



Pl. 2.6-12 Detachment of relief due to heterogeneity of the sandstone block in the Outer Gallery (in the east part of the south side) of Bayon.

パイヨン外回廊（南部東側）に見られる砂岩材の不均質性によるレリーフの剥落。

## 2.7 Outline of Conservation Science Investigation and Theme for Conservation and Restoration

ARAI Hideo

### 1. Introduction

At the time the late Dr. Daigoro Chihara and his colleagues conducted a survey of the state of the monuments of Angkor site in 1989, it was reported that these monuments had received severe damage due to various organisms. When the Japanese Government Team for Safeguarding Angkor (JSA) was organized in 1994, the authors participated in the survey of damage from the viewpoint of biodeterioration, since cultural properties in a tropical climate zone are deteriorated severely by various organisms that inhabit high-temperature and high-humidity regions. They have also been studying measures to be taken against such damage.

There have been severe biodeterioration caused by trees, lichens, algae, microorganisms, termites, bats and so on at Angkor site. It may fairly be said that Bayon is covered by lichens. Blackening effects and scaling-like deteriorating of stone materials can also be found at Angkor site. In addition, many bats have been inhabiting the Central Mass of Bayon and its surroundings, and an old termite nest was found in the foundation of the Northern Library of Bayon.

The authors first carried out the taxonomical and ecological investigations of lichens and algae not only at Bayon but also at other monuments of Angkor site. Moreover, they conducted experiments of 9 chemicals for their effects as lichenocides and algaecides; that is, their growth inhibiting effect and removal effect against lichens and algae were monitored for 4 years. Secondly, when they carried out microbiological analyses of scaling-like deteriorating parts of stone materials, particularly on sulfur bacteria and nitrifying bacteria, sulfur oxidizing bacteria were detected in these samples. The result informed the authors that the scaling-like deterioration of stone materials at Angkor site are closely related to the inhabitation of bats. Therefore, it should be said that bat control is an important problem for the conservation of Angkor site.

## 2. Causes of biodeterioration in Angkor site

### 2.1 Lichens

#### 2.1.1 Identification

In Angkor site, the growth of lichens is most severe at Bayon. The Northern Library of Bayon is also without exception, and various kinds of lichens cover all its pillars and wall. Genera *Pyxine*, *Dirinaria* and *Lepraria* were identified among the samples taken from the Northern Library of Bayon. Genera *Dirinaria*, *Buellia* and *Lepraria* were identified among the samples from the faced towers and the west corridor. However, there are many unknown lichens which are impossible to identify because they are imperfect lichens.

There is a great number of carved statues and reliefs with a unique style in the Central Mass of Bayon. Compared with the other monuments, Bayon is surrounded by trees that inhibit

## 2.7 保存科学調査の概要と保存修復への課題

新井英夫

### 1. はじめに

アンコール遺跡の保存状態の調査が、故千原大五郎博士らによって1989年に実施され、この遺跡には各種の生物によって甚大な被害の存在していることが報告された。1994年に日本国政府アンコール遺跡救済チーム(JSA)が結成されたとき、熱帯性気候地域に分布する文化財は、その高温多湿な環境に生息する種々の生物によって著しい劣化を被るので、筆者らは文化財の生物劣化の観点からアンコール遺跡の被害調査に参加した。同時にそれら被害の防除対策についても検討した。

アンコール遺跡には、樹木、地衣類、藻類、微生物、シロアリ、コウモリ等に起因する被害が認められる。パイオンは、地衣類によって覆われていると言っても過言ではない。また石材に黒変現象やスケーリング様(粉状)劣化が存在している。さらに、パイオンの中央塔やその周辺にコウモリが多数生息し、パイオンの北経蔵基壇に古いシロアリの巣が認められた。

筆者らは、最初にパイオンのみならず、その他のアンコール遺跡に分布する建造物に繁茂する地衣類と藻類の分類学及び生態学的調査を実施した。さらに、9種類の防藻・防地衣剤を塗布処理後、地衣類と藻類の生育制御効果及び除去効果を4年間観察記録して比較検討した。次いでアンコール遺跡石材のスケーリング様(粉状)劣化部位の微生物、特に硫黄細菌と硝化細菌の分析によって、硫黄酸化細菌がこれらの試料から検出された。その結果は、アンコール遺跡の石材に認められるスケーリング様(粉状)劣化が、コウモリの生息と密接に関連していることを示唆していた。それ故に、アンコール遺跡の保存対策として、コウモリの制御が重要な課題であると考えている。

## 2. アンコール遺跡の生物被害要因

### 2.1 地衣類

#### 2.1.1 同定

アンコール遺跡では、パイオンで地衣類の繁殖が最も顕著である。パイオン北経蔵も例外ではなく、種々の地衣類が柱や壁面のいたるところを覆っていた。パイオン北経蔵で採取した試料には、クロボシゴケ(*Pyxine*)、チリナリア(*Dirinaria*)およびレブラゴケ(*Lepraria*)に属する地衣類が同定された。また人面塔や西回廊で採取した試料からは、チリナリア(*Dirinaria*)、スミイボゴケ属(*Buellia*)、およびレブラゴケ(*Lepraria*)に属する地衣類が同定された。その他、未知の地衣類が多数着生していたが、これ

ventilation. Also, it is ill-ventilated because of its complicated structure and enclosing walls. Moreover, stone materials used at Bayon are inferior in quality from the sandstones in Angkor Wat. These reasons may have caused severe growth of lichens. When measures for the conservation and restoration of the Central Mass of Bayon are planned in future, methods of cleaning and controlling lichens should be carried out.

### 2.1.2 Deteriorating process by lichens

It is said that lichens are a consortium in which fungi and algae live in symbiosis. They form lichenic products which cannot be found unless both fungi and algae exist. Characteristic organic acids produced by lichens called lichenic acids are one of the important features for the identification of lichens.

When lichens grow over the surface of stone materials, the stone covered by the thalli holds water over a long time, causing dusts and soil to accumulate between stone and thalli; in some cases depending on the species, hyphae penetrate into the stone. In other words, the provision of water and nutrients on the surface of the stone create an environment that allows various soil microorganisms to grow, and the metabolic materials of these microorganisms encourage biodeterioration. The stone materials break down, crumble and turn into soil by this process over a long period of time.

Stone cultural monuments may be furnished with inscriptions and reliefs, and if lichens start to grow over their surface, these may ultimately become impossible to decipher. The inscriptions on cultural monuments provide information of inestimable value about their origins and so it is essential to maintain them as far as possible in a state that allows them to be deciphered. It is therefore desirable to find ways to remove the lichens growing on such monuments and prevent them from recolonizing.

## 2.2 Algae

### 2.2.1 Identification

Members of 6 genera belonging to Cyanophyceae and 6 genera of Chlorophyceae were found among samples from Angkor site. These algae are so called "aerial algae" but are also found in aquatic environment or on damp soil. Most aerial algae have a thick gelatinous sheath enveloping the cells. They are also able to endure drought without entering into a special resting stage because of their thick sheath and easily form various dormant spores in the dry season.

#### Genus *Gloeocapsa* (colonial Cyanophyceae)

Colonies of this genus consist of 2, 4 or 8 cells enveloped with thick, soiled and lamellated sheath of brown, reddish-brown or bluish-green. Many species having aerial habitat are included in this genus. Two species forming colored colonies of this genus were observed among the samples. One form having large cells enveloped with solid sheath was found in many samples; the other one is rather smaller.

らは不完全地衣類に属するため種の同定が不可能であった。

パイヨンの中央部には、独特な様式の彫像やレリーフが数多く存在している。パイヨンは周囲が高い樹木で囲まれているので、他の建造物に比較して、通気性に欠けている。さらに建造物が複雑に入組み、多数の仕切り壁の存在で空気の流通が阻害され湿気がこもり易い。パイヨンの石材は、アンコール・ワットの砂岩に比べると石材の質が低下している。このような理由が重なって地衣類の著しい繁殖を促しているのかもしれない。今後パイヨンの保存と修復方法を考究するときには、地衣類の除去と生育制御を検討する必要がある。

### 2.1.2 地衣類による石材の劣化過程

地衣類は、菌類と藻類が共生する共同体である。地衣類は菌類と藻類が共存しなければ存在しない特異な地衣成分を形成する。例えば地衣酸という地衣類が生成する特徴的な有機酸は、地衣類の同定に重要な特徴の一つである。

地衣類が石材表面に生育すると、まず地衣体で覆われた石材は長期間その部位に水分を保持する。次いで石材表面と地衣体の間に塵埃や土壌を蓄積するようになり、微生物の種類による菌糸が石材中に侵入することがある。換言すれば、石材表面に水分と養分が供給されるので種々の土壌微生物が増殖する環境を醸成し、それらの微生物の代謝生成物が生物劣化を促進する。この過程が長期にわたって持続する結果として、石材が崩壊し、遂に土壌に変化するのである。

石造建造物には、碑文やレリーフ等の装飾がある。もし地衣類がその表面に繁殖すると、遂には解読できない状態を来す。文化財建造物の碑文等は、由来の貴重な情報源であるから、出来る限り碑文等の消失を阻止する必要がある。それゆえに、石造文化財建造物等の保存には、繁殖している地衣類を除去する方法の開発や、さらに地衣類の増殖を防止する必要がある。

## 2.2 藻類

### 2.2.1 同定

アンコール遺跡の試料から、らん藻類 (Cyanophyceae) 6 属と、緑藻類 (Chlorophyceae) 6 属を検出した。これらは気生藻類と呼ばれる一群であるが、水域や湿潤土壌にも生息している。気生藻類は、細胞が厚いゼラチン状粘質の鞘に包まれている。そのために特別の休眠期をとらずに著しい乾燥状態での耐性があり、乾季でも容易に種々の休眠胞子を形成する。



Genus *Chroococcus* was found as the other genus of colonial Cyanophyceae.

#### Genus *Scytonema* (filamentous Cyanophyceae)

Filaments of this genus consist of short cylindrical cells enveloped with thick, lamellated sheath of yellow or yellowish-brown, and are dichotomously branched in places. Many species of this genus grow on a moist habitat and in water. Two species of this genus were found in the samples. One species was found in many sample forming felt-like blackish- or greenish-brown colonies. The other one had larger cells than the former and a few colonies of this species were observed in some samples.

Genus *Stigonema* and *Lyngbya* were found as the other filamentous Cyanophyceae.

#### Genus *Protococcus* (unicellular Chlorophyceae)

Cells of this genus are solitary or in flattened packets of 2, 4 or more. Solitary cells are globose or ellipsoid and with a thick wall rather than being in gelatinous envelope. Cells have a single parietal laminate chloroplast without a pyrenoid. Cells are usually arranged in a cruciform just after division, and sometimes show irregularly branched short filamentous conditions in colonies. This genus is generally found forming a green coating on stone materials, woodwork or tree trunks in moist conditions. One species showing unicellular or short filaments was found in some samples.

Genus *Chlorococcum* was found as the other unicellular Chlorophyceae.

#### Genus *Trentepohlia* (filamentous Chlorophyceae)

Species of genus *Trentepohlia* are a strictly aerial alga. Their filaments consist of barrel or fusiform cells arranged in a single row and irregularly branched. They grow as a felt-like layer on rocks or leaves and the bark of trees. The cells have many laminate chloroplasts in vegetative stage. However, the chloroplasts are completely obscured by many carotene grains in dried conditions and the felt-like mass generally appears yellowish- to brownish-red in color. Colonies of this genus are easily recognized by their unique color. One species was found in some samples from the dry stone materials on the sunny side.

Genus *Hormidium* and *Phisolium* were found as the other filamentous Chlorophyceae.

#### 2.2.2 Succession of algae on stone materials

Aerial algae obtain their water wholly or in large part from moisture in the air and are autotrophic in nutrition. They are also able to endure drought without a special resting stage and easily form thick walled dormant spores. Aerial algae are of considerable ecological importance as pioneers in the colonization of rocky habitats.

Succession of algae on stone materials might have progress

#### グロエオカプサ属 (*Gloeocapsa*) 群体性らん藻

本属のコロニーは、褐色、赤褐色または青緑色の厚い平板状粘質鞘に包まれた、2個、4個または8個の細胞からなっている。この属には、気相に生息する多くの種が含まれている。アンコール遺跡の試料には、着色コロニーを形成するグロエオカプサ属の2種が認められた。固い鞘に包まれた大型の細胞の一種が、採集した多くの試料に検出された。他の一種は、前者より細胞が小型であった。その他の群体性らん藻として、クロオコックス属 (*Chroococcus*) が検出された。

#### スキトネマ属 (*Scytonema*) 糸状体らん藻

糸状体の本属は、黄色または黄褐色の厚い平板状粘質鞘に包まれた、短円筒状の細胞で構成されている。場所によって変状に分岐している。多くの本属の種は、湿潤環境または水域に生育する。採集した試料中には、スキトネマ属の2種が検出された。多くの試料中に検出された1種は、フェルト状黒色または緑褐色のコロニーを形成する種類であった。その他の1種は、前者よりやや大型の細胞のコロニーのスキトネマ属を検出した。

その他の糸状体らん藻類としては、スチゴネマ属 (*Stigonema*) とリングピア属 (*Lyngbya*) を検出した。

#### プロトコックス属 (*Protococcus*) 単細胞性緑藻類

本属の細胞は、単独または2個、4個またはそれ以上の扁平な群塊である。単独の細胞は球形または楕円形で、ゼラチン状鞘中にあるよりもむしろ厚い外壁を持つ。細胞はピレノイドのない単一の側膜層状葉緑体を保有する。細胞は、通常分裂直後に十字形に配列され、時々コロニーが不規則に分岐した短糸状の状態になる。一般にこの属は、湿潤な環境の石材、木製品、樹幹等に緑色を形成しているところに見受けられる。単細胞または短い糸状体を示している1種がいくつかの試料で検出された。

その他の単細胞性緑藻類としてクロロコックム属 (*Chlorococcum*) を検出した。

#### スミレモ属 (*Trentepohlia*) 糸状体性緑藻類

スミレモ属は全くの気生藻類である。円筒状または紡錘状の細胞からなる糸状体が一列に配列し、不規則に分岐している。スミレモは、岩石または葉上や樹皮上にフェルト様の層状をなして繁殖する。この細胞は生長期に沢山の層状葉緑体を保有している。しかしながら、葉緑体は乾燥条件下では多量に生成するカロチン粒子によって完全に目立たなくなり、フェルト様のスミレモの糸状体は

in Angkor site as follows;

- a) First, growth of colonial Cyanophyceae, e.g. genera *Gloeocapsa* or *Chroococcus*, having drought resistance due to the thick gelatinous sheath.
- b) Next, growth of colonial unicellular Chlorophyceae, e.g. genera *Protococcus* or *Chlorococcum*, in or between colonies of Cyanophyceae, thus holding moisture.
- c) And then, growth of filamentous Cyanophyceae, e.g. *Scytonema*, *Stigonema* or *Lyngbya*, having thick gelatinous sheaths.
- d) Finally, growth of filamentous Chlorophyceae, e.g. genera *Hormidium*, *Trentepohlia*, or *Phisolium*, between or mingling with the former colonies of filamentous Cyanophyceae.

Spores of lichens and mosses will be able to grow gradually on these algal colonies.

## 2.3 Microorganisms

Deterioration of stone cultural property is a part of the process by which stones turn into soil in nature. For example, scaling, one of the deterioration effects found on stone materials, means that stones exfoliate in layers and powderize under its layers. Rocks in nature change gradually into soil by actions of wind, rain, animals, plants and microorganisms. Soil cannot be formed without biological factors. Particularly, the role of microorganisms is impossible to neglect in the formation process of soil from rock.

The authors analyzed microorganisms in the deteriorating stone materials of Angkor site. The analyses concentrated more in the detection of sulfur bacteria and nitrifying bacteria than of other kinds of microorganisms.

### 2.3.1 Microbial analyses of deteriorating stone materials

Detection of sulfur bacteria was mainly tried on the hypothesis that the deteriorating effects of stone pillars, like scaling, in Angkor Wat were caused by soil microorganisms. Well growing media of these autotrophic bacteria were prepared and samples of deteriorating stone materials from Angkor site were inoculated aseptically in the media.

### 2.3.2 Results obtained

- a) It was proved by microbial analyses that *Thiobacillus* spp. inhabit the deteriorated parts of stone materials at Angkor site. This matter is of great importance to the conservation for stone cultural property, because when *Thiobacillus* spp. grow on the surface of stone materials, sulfuric acid is metabolized by the oxidation of sulfur and compounds including sulfur. Since sulfuric acid is an inorganic and non-volatile strong acid, stone materials are gradually dissolved and weathered. And then, scaling as a deteriorating effects is formed on the surface of stone materials. Finally, calcium sulfate is produced and stone materials turn into powder.

一般に黄色ないし黄赤色を呈する。本属のコロニーは、その特有の色によって容易に識別できる。本属の1種が、日当りのよい乾燥石材上の数試料中に検出された。

その他の糸状体性緑藻類としては、ホルミジウム属 (*Hormidium*) とフィゾリウム属 (*Phisolium*) を検出した。

### 2.2.2 石材上での藻類の遷移

気生藻類は、必要とする全水分またはその大部分を空気中の湿気から獲得し、養分は無機栄養で増殖する。さらに気生藻類は特別な休眠期を経ずに乾季にも耐え、厚い被膜の休眠胞子を形成することができる。気生藻類は、岩石上に着生生育する生態学的にかなり重要な先駆的生物である。

アンコール遺跡の石材上での藻類の遷移は、次のように進行したと思われる。

- a) 最初、群体性らん藻類、グロエオカプサ属 (*Gloeocapsa*) またはクロオコックス属 (*Chroococcus*) が繁殖。厚いゼラチン状粘質鞘により耐乾性の抵抗力を保持。
- b) 次に、単細胞性緑藻類、プロトコックス属 (*Protococcus*) またはクロロコックム属 (*Chlorococcum*) が繁殖。これらは群体性らん藻類の間に繁殖し、水分を保持。
- c) それから、糸状体性らん藻類、スキトネマ属 (*Scytonema*)、スチゴネマ属 (*Stigonema*) またはリングビア属 (*Lyngbya*) が繁殖。これらは厚いゼラチン状粘質鞘を保有している。
- d) 最後に、糸状体性緑藻類、ホルミジウム属 (*Hormidium*)、スミレモ属 (*Trentepohlia*) またはフィゾリウム属 (*Phisolium*) 等が繁殖。前述の糸状体性らん藻類のコロニーの間または混在して生育する。

こうして、地衣類や苔類の胞子が、これら藻類のコロニー上に徐々に生育できるようになる。

## 2.3 微生物

石造文化財の劣化は、自然界で岩石が土壌に変化する過程と揆を一にする。例えば、石材の劣化現象の一つにスケーリング (scaling) がある。これは石材表面が層状に剥離し、その層の下部は粉状化する現象である。自然界の岩石は、風・雨・動物・植物・微生物等の作用を受けて、徐々に土壌に変化する。土壌は、生物因子の作用がなければ形成されない。特に岩石から土壌の形成過程で微生物の役割を無視することはできない。

筆者らは、アンコール遺跡の劣化石材中の微生物分析を実施した。この分析は、微生物の中でも硫黄

- b) In a preliminary experiment of samples from Angkor site, it was found that when feces of bats were incubated in a medium of sulfur oxidizing bacteria, there was a drop of pH value. This shows that the feces of bats are closely related to the growth of *Thiobacillus* spp.

In this microbial analyses of deteriorating stone materials, samples in which *Thiobacillus* spp. were detected have a close relationship to the inhabitation of bats and their feces. For example, the northeast tower of Angkor Wat has been called the "tower of bats" because a great number of bats had inhabited it for a long time. Severe deterioration can be seen on the stone materials of this tower. Sample No. Aw-3 gathered from wall of the tower showed remarkable drop in the pH value of the medium by *Thiobacillus* spp. Moreover, many feces of bats could be seen at many parts in the corridors of Angkor Wat. Sample No. Aw-5, which was gathered from a pillar at the north side in the first corridor of Angkor Wat, showed a drop in the pH value of the medium by *Thiobacillus* spp. The drop in pH value of the medium could be seen also with sample No. By-2-1, which was gathered from a pillar of the entrance to the central shrine of Bayon. Feces of bats were also found here. Based on these results, it may be considered that the deterioration of stone materials in Angkor site is closely related to *Thiobacillus* spp. derived from bats.

- c) Ammonium oxidizing bacteria and nitrite oxidizing bacteria could not be detected in the samples of deteriorating stone materials from Angkor site.

## 2.4 Termites

When the foundation of the Northern Library of Bayon appeared, a nest of termites was found. Termites inhabiting areas around Bayon were hunted and their genera and species were identified.

### 2.4.1 *Macrotermes* sp.

The nest of termites found in the foundation of the Northern Library of Bayon was built by genus *Macrotermes* belonging to subfamily Macrotermitinae, family Termitidae and order Isoptera. The species seems to be *Macrotermes gilvus*.

Termites belonging to subfamily Macrotermitinae are distributed mainly in Africa and partially in Asia. These termites have unique habits in that they cultivate a mushroom in the nest and that the structure of their nests is highly developed. These termites build a large ant hill on the earth with sand and their saliva. Particularly, their nests have special rooms in order to cultivate mushrooms.

### 2.4.2 *Nasutitermes* sp.

Genus *Nasutitermes* belonging to subfamily Nasutitermitinae and order Termitidae. The genus distributed in tropical regions. Soldiers of this genus have a characteristic head whose tip jut out like a long-nosed genie. The nest is built by a paper-

細菌と硝化細菌の検出に重点を置いた。

### 2.3.1 劣化石材の微生物分析

アンコール・ワット回廊の石柱に認められるスケーリング様（粉状）の劣化現象は、土壤微生物に起因するという仮説に基いて、硫黄細菌の検出を試みた。硫黄細菌のような独立栄養細菌に好適な培地を準備し、アンコール遺跡の劣化石材の試料をその培地に無菌的に接種した。

### 2.3.2 結果

- a) アンコール遺跡で硫黄酸化細菌 (*Thiobacillus* spp.) が石材の劣化部位に生息していることが立証された。このことは、石造文化財の保存にとって極めて重要である。それは、硫黄酸化細菌が石材の表面で繁殖するとき、石材中の硫黄や硫黄含有化合物を酸化して硫酸を代謝生成するからである。硫酸は無機酸で、不揮発性の強酸なので、石材は徐々に溶解され風化する。そうしてスケーリング様（粉状）劣化が、劣化現象として石材表面に形成される。最終的に、硫酸カルシウムを生成し、石材は粉状に変化する。
- b) アンコール遺跡の試料の予備実験で、コウモリの糞を硫黄酸化細菌用培地に接種したとき、培地の pH が低下した。これはコウモリの糞が硫黄酸化細菌 *Thiobacillus* spp. の生育と密接に関連していることを示している。

この劣化石材の微生物分析で、*Thiobacillus* spp. が検出された試料は、コウモリの生息とその糞に密接に関係している。例えば、アンコール・ワット北東塔には、無数のコウモリが長年にわたって生息していたので、「コウモリの塔」と呼称されてきた。この塔の内外部の石材は著しい劣化の様相を示している。この壁面から採取した試料 Aw-3 を培養すると、培地の pH が顕著に低下し（酸性となり）、硫黄酸化細菌 (*Thiobacillus* spp.) が増殖していることを示した。さらに、アンコール・ワットの回廊にコウモリの糞が多数存在している。その中のアンコール・ワット第 1 回廊の北面の柱から採取した試料 Aw-5 でも培地の pH が低下し、硫黄酸化細菌の生息が判明した。同様の現象は、パイヨン中央祠堂入口の柱から採取した試料 By-2-1 でも認められた。ここにも常時コウモリの糞が散乱していた。上述の結果から、アンコール遺跡石材のスケーリング様（粉状）劣化とコウモリの生息との間に密接な関係があると考えられる。

- c) アンモニウム酸化細菌と硝化細菌は、アンコー



like material made mainly by feces, and clay is added to the nest of some species. Species of this genus in wet regions build their nests on trees and species in dry regions build their nests in ant hills on the earth.

## 2.5 Bats research

It is well known that numerous bats have inhabited the Angkor sites. Scientific researches of bats are essential for the conservation of historical monuments. JSA carried out ecological and taxonomical researches of bats inhabiting the Angkor sites for the first time.

Bat species of Angkor sites consist of 9 species, 4 families. All species are insectivorous. *Hipposideros larvata* was the dominant species in Bayon and *Rhinolophus affinis*, *R. shamelli*, *Hipposideros bicolor* and *H. cineraceus* were identified as other species. *Taphozous melanopogon* was the dominant species in Angkor Wat and *Hipposideros armiger* and *Pipistrellus pulveratus* were found as other species.

## 3. Preventing lichenic and algal growth

### 3.1 Chemicals used

Nine chemicals of algacides and lichenocides were applied in tests for preventing lichenic and algal growth at Angkor site, and comparisons were made of their effects as growth inhibitor for lichens and algae as well as their effects as removal agents for lichens and cyanobacteria. The chemicals used in these experiments are shown in Tab. 2.7-1.

### 3.2 Comparative experiments for the effects of chemicals used

#### 3.2.1 Effects as growth inhibitor for lichens and algae

Stones heavily colonized with lichens and algae were selected from fallen masonry accumulated on the west side of the approach to the north entrance of Bayon. The colonized parts were cleaned with a high pressure water spray, and then divided into 10 sections about 200 to 300 cm<sup>2</sup> in size. In each treatment, chemicals were applied with a brush to each of the 9 sections. The control areas between the 7 and 8 sections and between the 8 and 9 sections were left untreated after cleaning for the purpose of comparison.

The results of 17 months after treatment were described. Since the growth of lichens is very slow, they had not yet grown on these stone surfaces, even on the untreated sections. But as cyanobacteria (blue-green algae) grow faster than lichens, their growth could be found both on the untreated and on some treated sections.

Sections 1 to 6 were treated with chemicals A to G, and growth of cyanobacteria was indicated in all these sections. However, in sections 7 and 8 treated by chemicals H and I, no growth of cyanobacteria could be found at all. Section 9 was inoculated with a mixture of algae and lichens, and here the growth of cyanobacteria was remarkable. In section 10 which was untreated with chemical, cyanobacteria had grown most

ル遺跡の劣化石材から検出されなかった。

## 2.4 シロアリ

バイヨン北経蔵の解体修理の過程で、基壇が現われたとき、基壇内にシロアリの巣が発見された。バイヨン周囲に生息するシロア리를採集して同定し、バイヨン基壇に生息したシロアリの種を推定した。

### 2.4.1 キノコシロアリ属 (*Macrotermes*)

バイヨン北経蔵の基壇で発見されたシロアリの巣は、シロアリ目 (Isoptera)、シロアリ科 (Termitidae)、キノコシロアリ亜科 (subfamily Macroterminae)、キノコシロアリ属 (*Macrotermes*) によって構築された巣であった。その種は、*Macrotermes gilvus* と思われる。

キノコシロアリ亜科に属するシロアリは、主としてアフリカ地域と一部アジア地域に分布している。これらのシロアリは、巣の中でキノコを栽培する。すなわち、砂と唾液で、地上に大きなアリ塚を構築する。特に、その巣の中にキノコを栽培する特別の部屋を所持している。

### 2.4.2 テングシロアリ属 (*Nasutitermes*)

このシロアリは、シロアリ科 (Termitidae)、テングシロアリ亜科 (Nasutitermidae) に属する。このテングシロアリ属 (*Nasutitermes*) は、熱帯地域に分布している。この属の兵蟻は、頭部の先端が天狗の鼻のように突出した特徴をもっている。巣は、主として糞で作った紙状の物質で構築されている。種類によっては、粘土を加えた巣もある。多湿地域のテングシロアリ属の種は、巣を樹上に構築し、乾燥地域の種は、地上のアリ塚の中に巣を構築する。

## 2.5 コウモリの調査

アンコール遺跡には、コウモリ類が多数生息している。遺跡保存の観点から、コウモリの基礎的調査が必須である。カンボジアにおいては、JSA がアンコール遺跡に生息するコウモリ類の生態学的、分類学的調査を初めて実施し、対策についても検討した。

アンコール遺跡のコウモリ類は、食虫性の4科9種の生息を明らかにした。すなわち、バイヨンではホースフィールドコウモリ (*Hipposideros larvata*) が優占種で、その他ナカキクガシラコウモリ (*Rhinolophus affinis*)、シャメルキクガシラコウモリ (*R. shamelli*)、フタイロカグラコウモリ (*Hipposideros bicolor*)、ヒナカグラコウモリ (*H. cineraceus*) 等が生息。アンコール・ワットではクロヒゲツムコウモリ (*Taphozous melanopogon*) が優占種で、その他ヒマラヤカグラコウモリ (*Hipposideros armiger*) やシナアブラコウモリ (*Pipistrellus pulveratus*) が生息

widely in the control area between sections 7 and 8. This was due to the strong influence of the areas above the test sections that had not been cleaned. In other words, cyanobacteria grew faster and spread more widely in those sections that had cyanobacteria growing above them. The most striking effects as growth inhibitor for lichens and cyanobacteria could be found in chemicals H (Koretrel-2) and I (Koretrel-3) which have lichenic extract as their main component mixed either with triazine group compound or urea group compound and tetrachloroisophthalonitrile. However, chemical G (Koretrel-1), which contains lichenic extract only, could not control the growth of cyanobacteria.

### 3.2.2 Effects for removal of lichens

The chemicals designed for this purpose were D, G, H and I of Tab. 2.7-1. The result of 17 months after treatment was described. In section 1 which was treated with chemical D (Guanidine), the lichens were sterilized and their thalli had flaked away, but the treatment had no effect on cyanobacteria. However, in section 3 and 4 which were treated with chemicals H (Koretrel-2) and I (Koretrel-3), containing lichenic extract as main components, the lichens were sterilized and their thalli had flaked away completely. Cyanobacteria had also lost color, indicating the effect of these chemicals on their removal as well. Chemical G in section 2 (Koretrel-1) sterilized the lichens and caused the thalli to flake almost completely, but was only partially effective in controlling cyanobacteria.

### 3.2.3 Effects for removal of cyanobacteria

Chemicals D, G, H and I of Tab. 2.7-1 were applied for this purpose. The results of 17 months after treatment was described. No effect in removing cyanobacteria could be expected from chemical D, and chemical G also had little noticeable effect. However, in section 3 and 4 which were treated with chemical H (Koretrel-2) and I (Koretrel-3), having lichenic extract as their main components, cyanobacteria had lost color considerably and much of the cyanobacteria that had been growing in the sections had disappeared.

### 3.2.4 Application of new algacidal and lichenocidal agents (Koretrel-1)

Although many methods to sterilize and remove lichens growing on stone materials have been tried, an effective treatment has not yet been found. Recently, new lichenocidal chemicals, which contained lichenic extract as their main components, have been developed based on a new conception. Koretrel-2 is a denatured alkyltrihydroxybenzene polyoxide + alkylaminotriazine + N<sup>1</sup>-(3,4-dichlorophenyl)-N, N-dimethyl urea dissolved in lower alcohol alkyleneoxide addition compound; Koretrel-3 is a denatured alkyltrihydroxybenzene polyoxide + urea compound + isophthalic acid chlorinated compound dissolved in lower alcohol alkyleneoxide addition compound.

New lichenocidal chemical, Koretrel-2 and -3, have the following characteristics:

していた。

## 3. 地衣類・藻類の生育制御

### 3.1 供試薬剤

アンコール遺跡において9種類の防藻・防地衣剤を供試して、地衣類とらん藻類に対する生育阻止効果と除去効果を比較検討した。供試薬剤は、Tab. 2.7-1に示した。

### 3.2 防藻・防地衣効果の検討

#### 3.2.1 地衣類・藻類の生育制御効果

バイヨン北口参道の西側に集積してある落下石材のなかで、特に地衣類・藻類が著しく着生している石材(砂岩)について、藻類・地衣類の生育している部位を高圧水洗機で洗浄した後、約200cm<sup>2</sup>～300cm<sup>2</sup>の10区画を作成した。その9区画に各供試薬剤の25mlを塗布した。そして、第7と8区画及び第8と9区画の間は薬剤処理せず、対照区とした。

供試薬剤を塗布して17か月後の結果を観察記録した。地衣類の生育は緩慢なので、薬剤処理区も対照区にも認められなかった。しかしらん藻類は地衣類より生育が速いので、一部の処理薬剤区画と対照区に生育が認められた。

第1から第6区画にはAからGの薬剤を塗布したが、らん藻類はすべての区画で生育した。しかし、第7と8区画のHとIの薬剤を塗布したところにはらん藻の生育が認められなかった。第9区画は、藻類と地衣類の混合液を塗布した。ここにはらん藻が著しく繁殖した。第7と8区画の間の対照区とした第10区画には、らん藻が広範囲にわたって生育した。これは高圧水洗していない薬剤テスト区画の上部の影響を受けていた。換言すればらん藻が繁殖している下部の薬剤テスト区画には、らん藻が広範囲かつ速やかに生育した。地衣類とらん藻類の生育制御剤として最も顕著な効果を示したのは、地衣成分を主剤とし、トリアジン系、または尿素系化合物、テトラクロロイソフタルニトリル系等の混合液の防藻・防地衣剤H(コレトレール2)とI(コレトレール3)であった。しかし地衣成分単独のG(コレトレール1)はらん藻を防除できなかった。

#### 3.2.2 地衣類の除去効果

地衣類・藻類に薬剤を直接塗布し、地衣体等の自然消失による除去効果を検討した。供試した薬剤は、Tab. 2.7-1に記載したD、G、H、Iの4種で、処理後17か月後の結果を記録した。第1区画は、薬剤D(グアニジン系)を塗布したところ、地衣は死滅し地衣体は剥落したが、らん藻の除去効果はなかった。しかし、地衣成分を主剤とする薬剤H(コレトレール

- (1) Lichens growing on stone materials need not be cleaned off prior to treatment.
- (2) After thalli of lichens are treated directly by spreading or spraying these chemicals, the thalli are sterilized and removed within 3 to 12 months without brushing.
- (3) For rapid removal of crustose lichens, it is possible to remove thalli artificially by soft brushing with a wet sponge, after the discoloration of the thalli is recognized by the treatment of these chemicals.
- (4) Cyanobacteria (blue-green algae) can also be sterilized and removed.

#### 4. Conclusion

Elimination of lichens and cyanobacteria (blue-green algae) growing on stone cultural monuments has been a subject of research in many parts of the world over a long period of time. In recent years the effectiveness of lichenocides and algaecides having lichenic extract as their main active component, a new conception developed in Japan, has been tested on stone objects and monuments. In addition, tests were carried out on stonework at Angkor site with various types of lichenocides and algaecides to compare their effectiveness.

These new lichenocidal and algaecidal chemicals (Koretrel) indicated the possibility that lichens can be sterilized and removed simply by spraying or spreading application, and without the need for abrasive measures. This means that lichens and cyanobacteria can be eliminated without any risk of damage to stone surfaces. Thus, the use of lichenocides and algaecides having lichenic extract as their main active component offers an extremely effective means of preserving stone cultural monuments.

It was found microbial analyses that the deteriorated stone materials of the northeast tower of Angkor Wat, where numerous bats were said to have inhabited, showed significant lowering of pH value caused by *Thiobacillus* as also seen on other samples of Bayon in Angkor site. Moreover, results that suggest the existence of sulfur oxidizing bacteria in feces of bats were also obtained. Thus, it is possible to see some connection between the presence of sulfur oxidizing bacteria in the scaled stone materials and the existence of bats. One of authors considers that it is possible to control the progress of scaling at Angkor site by coating stone materials with some porous waterproofing agents that allow air to pass but prevent water to penetrate from outside.

Ecological investigations of bats in the Angkor sites showed that the dominant species in Bayon was *Hipposideros larvata* while in Angkor Wat it was *Taphozous melanopogon*. Moreover, the presence of *Rhinolophus affinis*, *R. shamelli* and *Pipistrellus pulveratus* were reported for the first time in Cambodia by these researches.

2) と I (コレトレール 3) を塗布した第 3、4 区画では、地衣は死滅し、地衣体が完全に剥落した。また、らん藻の退色が認められ、同様に除去効果を示した。薬剤 G (コレトレール 1) を塗布した第 2 区画は、地衣が死滅し、地衣体は殆んど剥落していた。しかしらん藻の防除は部分的に止まった。

#### 3.2.3 らん藻類の除去効果

らん藻で黒変した石材のらん藻除去効果を検討した。供試薬剤は、Tab. 2.7-1 に記載した D、G、H、I を塗布し、17 か月後に観察記録した。薬剤 D (グアニジン系) を塗布した第 1 区画では、らん藻類の除去効果は認められず、薬剤 G (コレトレール 1) を塗布した第 2 区画でも顕著な変化はなかった。しかし、地衣成分を主剤とする薬剤 H (コレトレール 2) と I (コレトレール 3) を塗布した第 3、4 区画は、らん藻の退色が著しく進行し、繁殖していたらん藻は殆んど消失した。

#### 3.2.4 新防藻・防地衣剤コレトレールの応用

石造物に着生する地衣類の殺菌と除去する方法について多くの研究が行われてきたが、効果的な方法は未だ認められていない。近年、地衣成分を主剤とする新しい防藻・防地衣剤が開発された。コレトレール 2 は地衣成分を主剤とし、これに変性アルキルトリハイドロキシベンゼン酸化縮合物、アルキルアミノトリアジン系、N'- (3, 4-ジクロロフェニル) -N、N-ジメチル尿素を低級アルコールのアルキレンオキシド付加物に溶解している。コレトレール 3 は、地衣成分に変性アルキルトリハイドロキシベンゼン酸化縮合物、特殊尿素系化合物、イソフタル酸・塩素化合物を低級アルコールのアルキレンオキシド付加物に溶解した薬剤である。

新防藻・防地衣剤コレトレール 2、3 は、次の特徴を有する。

- (1) 石造物上に着生している地衣類をあらかじめ洗浄する必要がない。
- (2) 地衣類の地衣体にこれらの薬剤を直接塗布または吹付け処理すると地衣体は殺菌され、3～12 か月の間に自然に剥落する。
- (3) 固着地衣を早急に除去したいときは、コレトレール処理で地衣体が退色したら、湿らせたスポンジで軽く拭きとれば地衣体を人為的に除去できる。
- (4) らん藻も殺菌・除去が可能である。

#### 4. 結論

石造文化財建造物に着生する地衣類やらん藻類の除去は、古くから世界の各国で研究されてきた。近年新たな構想の下に、防藻・防地衣剤の主たる活性

Tab. 2.7-1 Chemicals used.  
供試薬剤.

Chemicals 化学薬品	Main ingredients 主成分
A	Urea group compound 尿素系化合物
B	Triazine group compound トリアジン系化合物
C	Triazole group compound トリアゾール系化合物
D	Guanidine group compound グアニジン系化合物
E	Ampholytic surfactant 両性界面活性剤
F	Concentrated microbe agent 高濃度微生物製剤
G	Lichenic group compound (Koretrel-1) 地衣成分系化合物 (コレトレール 1)
H	Mixture of lichenic, benzimidazole and triazine group compounds (Koretrel-2) 地衣成分系化合物及びベンズイミダゾール系、トリアジン系化合物の混合剤 (コレトレール 2)
I	Mixture of lichenic and urea group compounds and tetrachloroisophthalonitrile (Koretrel-3) 地衣成分系と尿素系の化合物、及びテトラクロロイソフタロニトリルの混合剤 (コレトレール 3)

物質として地衣成分を含有する薬剤が日本で開発され、その効果を石造物と石造建造物で検討してきた。加えて、アンコール遺跡において、地衣類及びらん藻類の生育制御効果、除去効果を他の薬剤と共に比較検討した。

供試した新防藻・防地衣剤コレトレールは、吹付けまたは塗布するだけで地衣類の殺菌・除去が可能であることを示した。これは、石材表面に損傷を与えずに地衣類・らん藻類を除去できることを意味している。したがって、主たる活性物質として地衣成分を含有する防藻・防地衣剤は、石造文化財建造物の保存に極めて有効な手段を提供するものである。

アンコール・ワット北東塔は、無数のコウモリが生息していたので、コウモリの塔と言われている。この塔の著しい劣化石材の微生物分析を行ったところ、硫黄酸化細菌 (*Thiobacillus*) の繁殖による培地の pH の顕著な低下(酸性)を示した。これはアンコール遺跡の他の建造物 (Bayon) の劣化石材でも認められた。さらに、コウモリの糞に硫黄酸化細菌の存在している結果も得られた。これは、スケーリング様(粉状)劣化石材中の硫黄酸化細菌の存在とコウモリの生息との間に何らかの関係があることを示している。アンコール遺跡石材のスケーリング様(粉状)劣化の進行は、気体は通すが外部から水の浸入は防止する通気性防水剤で石材を処理すれば防止が可能と考えている。

アンコール遺跡に生息するコウモリ類の生態学的調査を実施し、バイヨンの優占種がホースフィールドコウモリ (*Hipposideros larvata*)、アンコールワット優占種がクロヒゲツムコウモリ (*Taphozous melanopogon*) であることを明らかにした。さらに、カンボジアでナカキクガシラコウモリ (*Rhinolophus affinis*)、シャメルキクガシラコウモリ (*R.shamelli*)、シナアブラコウモリ (*Pipistrellus pulveratus*) の生息を初めて記録した。

## 2.8 Outline of the Drainage System of the Bayon Temple and Theme for Conservation and Restoration

So Sokuntheary

### 1. Introduction

The drainage investigation was carried out as a part of preparatory work to compile a master plan for the conservation and restoration of the whole Bayon Complex.<sup>1</sup> To properly drain mountain temple structures has long been a common challenge for many monuments in the Angkor region. Therefore the purpose of the study was to identify and distinguish each drain by its purpose, physical features and function as well as to analyze how the present malfunction of these drains is contributing to the temple building deterioration.

Prior to the ongoing investigation, H. Marchal first discovered in 1919 three drain outlets in the east wing of the outer gallery's north end. He also discovered similar drains in the west wing of the north end, as well as in the east and west wings of the Outer Gallery's south end.<sup>2</sup> In 1967, J. Dumarçay took on Marchal's discovery and made further study on the drains, drawing up a drain plan with a short explanation on water evacuation. This drain plan (Fig. 2.8-1) includes those located in Inner Gallery, the cruciform gallery, and the Outer Gallery.<sup>3</sup> Our study was based upon Dumarçay's original plans and his theory of the Bayon drainage system.

### 2. Research Methodology

The most recent major research project regarding drains has been conducted by the Japanese Government Team for Safeguarding Angkor (JSA) since 1995.<sup>4</sup> In addition, the team, led by the authors, conducted a series of individual drain tests from August 1997 to January 1998. The purpose of the field survey was to confirm the setup of the entire drainage network system as well as to verify its present function. After the clearance work, tests were conducted by pouring water into the drains to clarify its structure and function (Pls. 2.8-1 and -2). During this process, we became aware of new drains and gained a clearer understanding of the general network system.<sup>5</sup> The plan in Color Fig. 2.8-1 shows the drain locations. Many of these drains were found buried in sand and earth due to lengthy neglect. Some drains requiring particular attention were confirmed using a microscopic camera inserted into the cavity while the images were monitored by a portable computer in situ to verify their underground routes and internal structure while causing no damage (Pl. 2.8-9).<sup>6</sup> Very few of them were confirmed to be functioning as originally intended. Research into the drainage system included various field surveys in the field of petrology, archaeology, surveying, and geology. This chapter attempts to ascertain drainage systems based upon the cross-referenced data obtained from the above-mentioned surveys.<sup>7</sup>

### 3. Types of Drains

As a result of document research and a series of field sur-

## 2.8 バイヨン寺院の排水システムの概要と保存修復への課題

ソ・ソクンテリー

### 1. はじめに

バイヨン寺院全域の保存修復のためのマスタープラン策定に向けた予備調査の一環として、排水路に関する調査が実施された<sup>1</sup>。ピラミッド型構造を呈する寺院における適切な排水は、アンコール地域の遺跡群全てに共通する長年の課題である。そのため同研究の目的は、それぞれの排水路を目的や物理的特徴、機能によって識別すること、またこれらの排水路が現在、適切に機能していないことが寺院建築の劣化にどのように影響しているかを分析することであった。

本調査に先行して H. マルシャルは 1919 年、外回廊北辺東部分において 3 つの排水口の存在を初めて明らかにした。彼はまた外回廊北辺西部分、南辺東部分および西部分においても同様の排水路を発見した<sup>2</sup>。1967 年には J. デュマルセがマルシャルの発見を引き継ぎ、排水路に関するさらなる調査を遂行した。彼は短い解説を伴う一枚の排水図を作成したが、同図 (Fig. 2.8-1) には内回廊、十字回廊および外回廊における幾つかの排水路が示されている<sup>3</sup>。本研究はデュマルセによるこの最初の図面とバイヨンの排水システムに関する仮説に基づいている。

### 2. 調査方法

排水路に関する最近の主要な調査は 1995 年より日本国政府アンコール遺跡救済チーム (JSA) が実施しており、現在も進行中である<sup>4</sup>。加えて 1997 年 8 月から 1998 年 1 月までの期間中、筆者ら率いるチームはその一つ一つに対して、一連の排水試験を試みた。この実地調査の目的は、排水網システムの全体像を明らかにすると同時に、それらの現状の機能を確認することであった。同試験では清掃作業の後、排水路の構造と機能とを明確にするために、その内部に水を注ぎ入れた (Pls. 2.8-1、-2)。清掃作業中にも新たな排水路が複数確認され、排水網システムの全容がほぼ明らかとなった<sup>5</sup>。Color Fig. 2.8-1 は排水路の位置を示している。多くのものは長年の放置のため、土砂に埋もれた状態で発見された。特に注意を要した幾つかの排水路に関しては、内部に顕微鏡カメラを挿入し、携帯用コンピュータの画面にて映像をその場でチェックしながら、地下のルートや解体できない箇所の内部構造を確認した (Pl. 2.8-9)<sup>6</sup>。これらの排水路のうち、本来意図されたように機能していたものは極少数に過ぎなかった。排水システムに関する調査は、岩石学や考古学、測量、地理学など様々な分野での実地調査をも含む。本章はそれらの調査

veys, drains in the Bayon can be categorized largely into two types according to their purpose: those made for special purposes and those made to function as regular drains. Drains with special purposes were created to discharge sacred water (Somasutra) used for rituals and religious ceremonies (Pls. 2.8-1 ~ -5).<sup>8</sup> While the importance of these special drains is never to be dismissed, we would like to leave that subject for a later opportunity. Only the rainwater drains (3) through (14), described below, were to be the subject of this study.

### 3.1 Drains with special purposes

- (1) Drains (a~o) were built to evacuate water from the inside of the towered shrines to the outside (Pls. 2.8-1 ~ -5).
- (2) Drain A adjusted the water level of the so-called "Lucky Well" (Pls. 2.8-6 and -12).

These sets of drains are obviously distinguished from the others for their purposes and function; therefore, they have been excluded from the following discussion.

### 3.2 Drains to evacuate rainwater

- (3) The B group drains (B-1~B-7), built at the foot of the upper terrace platform to let rainwater flow down from the upper terrace and accumulate in the area between the upper terrace and the cruciform gallery (Pl. 2.8-6). This accumulated water will eventually run through the C and D group drains.
- (4) The C group drains (C-1 and C-2), built across the cruciform gallery to evacuate the above-mentioned accumulated rainwater from the foot of the upper terrace to the inner courtyard (four corner courtyards inside the inner galleries).
- (5) Unlike groups B and C, the D group drains (D-1~D-7) were built in the structure located at the four ends of the cruciform gallery and run through the foundation platform (Fig. 2.8-2). The drains are designed to let the water come out from the outlets found in the Inner Gallery foundation wall. These drains evacuate accumulated rainwater from the foot of the upper terrace drain to the outside of the inner galleries (Pls. 2.8-8 ~ -10).
- (6) Grooves carved into pavement stones in the cruciform gallery, inner courtyard, and outer courtyard, allowing water to run through and into the inlets found in the cruciform gallery, Inner Gallery, and Outer Gallery (Pl. 2.8-13).
- (7) The E group drains (E-1~E-5), built across the Inner Gallery to evacuate accumulated rainwater from the inner courtyard to the outside of the Inner Gallery.
- (8) The F group drains (F-1~F-19), built under the porch steps connecting the Inner Gallery to passage halls (no longer in existence). These drains evacuate accumulated rainwater from the outer courtyard of the lower terrace between the inner and outer galleries.

から得られた複合的なデータに基づき、排水システムの解明を試みるものである<sup>7</sup>。

### 3. 排水路の種類

文献調査および一連の実地調査の結果、バイヨンにおける排水路は、その目的から大きく2つのタイプに分類された。すなわち特別な目的のために作られた排水路、そして通常の排水機能のために作られた排水路である。特別な目的のための排水路とは、宗教的儀式に使用された聖水を排出するためのものであり、“ソーマストラ”と称される (Pls. 2.8-1, ~ -5)<sup>8</sup>。その重要性は決して忘れるべきではないが、本研究では以下に(3)から(14)として示す、雨水排出のための排水路として分類される排水路のみを対象とした。

#### 3.1 特別な目的のための排水路：

- (1) 排水路 (a~o) は祠堂塔内部から外部への排水用に作られたものである (Pls. 2.8-1 ~ -5)。
- (2) 排水路 A はいわゆる「幸運の井戸 (“Lucky Well” )」の水位を調整するためのものである (Pls. 2.8-6, -12)。

上記の一連の排水路は、その目的及び機能において明らかに他と区別されるため、以下の論考からは除外するものとする。

#### 3.2 雨水排出のための排水路

- (3) B グループの排水路 (B-1~B-7) は雨水を上部テラスから下方へ流し、その水を上部テラスと十字回廊との間のエリア内に集積するため、上部テラス基壇足元に設けられたものである (Pl. 2.8-6)。集積された雨水はその後、C および D グループの排水路へと流れ込む。
- (4) C グループの排水路 (C-1, C-2) は前述の上部テラス足元に集積した雨水を内庭 (内回廊内四隅の中庭) へ排出するため、十字回廊を横切るように設けられたものである。
- (5) D グループの排水路 (D-1~D-7) は B および C グループとは異なり十字回廊四端に位置する構造体内部に設けられ、基壇内部を貫通している (Fig. 2.8-2)。これらの排水路は内回廊の基壇壁において発見された排出口から水を流し出すように設計されたものであり、上部テラス基壇足元に集積する水を内回廊外側へと排出するためのものである (Pls. 2.8-8 ~ -10)。
- (6) 十字回廊、内回廊の内側の中庭および内外両回廊の間の中庭の敷石上面に彫り込まれた溝であり、水はこの中を通して十字回廊、内回

- 9) The G group drains (G-1~G-13), built to cut across the Outer Gallery and evacuate accumulated rainwater from the outer courtyard to the outside of the Outer Gallery (Pls. 2.8-7, -13 ~ -17).
- (10) The H group drains (H-1~H-5), built on the causeway (east) to evacuate rainwater from the causeway to the lower marsh ground located to the north and south of the causeway.
- (11) Drains built under the naga balustrades in the causeway, Outer Gallery, and upper terrace. The outlets of these drains are found at the base of each balustrade (Pl. 2.8-12).
- (12) Grooves carved into the surface of the roof ridge to drain the rainwater that had accumulated on the roof, especially at the roof ridge of the gallery eaves.
- (13) Tunnel and culverts that run under the inner and Outer Gallery platforms (Figs. 2.8-3 and -4). These drains were discovered while conducting excavation research.<sup>9</sup>
- (14) Sumps (S-I~S-V) were built around the foot of the upper terrace to collect rainwater and rubbish (Pl. 2.8-6).

#### 4. Analyses of Drains - Value of finding chronological order of drains

Looking closely into the drains chronologically to identify their construction processes brings about a new discussion of the Bayon's architectural history. The archaeological excavation survey (Fig. 2.8-5) revealed a tunnel and a culvert inlet.<sup>10</sup> This became an important piece of evidence that supports J. Dumarçay's theory of architectural chronology. In accordance with a summary of Dumarçay's theory, the building phases of the Bayon were divided into four stages.<sup>11</sup> Furthermore, the results of a petrological survey that mapped distributions of the magnetic susceptibility of the sandstone blocks also favorably support J. Dumarçay's theory. The summary of Bayon's succinct relative chronology made by the petrological survey was divided into three stages: the first stage, the central tower to the cruciform gallery and Inner Gallery; the second stage, the Outer Gallery; and the last stage, attributed to the construction of libraries and the causeway's raised terrace.<sup>12</sup>

The characteristics of the "drain" itself are worthy of description. Of particular note was how some drains were abandoned while other drains were added. Additions could have been made later to ameliorate problems, but never placed independently. Thus a detailed chronological analysis of the Bayon's drainage system is of value in revealing the temple's complex constructional phases. Fig. 2.8-6 summarizes the drainage system's chronology.

#### 5. Analyses by their physical features and function

The Bayon's basic drainage system evacuated rainwater from the uppermost terraces, making use of a series of drains in various locations and eventually reaching the outside at ground level.

廊および外回廊で発見された入水口へと流れ込む (Pl. 2.8-13)。

- (7) E グループの排水路 (E-1~E-5) は内回廊を横切るように設けられ、内回廊の内側の中庭に集積する雨水を内回廊外側へと排出するためのものである。
- (8) F グループの排水路 (F-1~F-19) は内回廊を現存しない通廊と連結するポーチ階段下に設けられた。これらの排水路は内回廊と外回廊との間に位置する下部テラス内外両回廊の間の中庭に集積する雨水を排水するためのものである。
- (9) G グループの排水路 (G-1~G-13) は外回廊を横切るように設けられ、内外両回廊の間の中庭に集積する雨水を外回廊外部へと排出するためのものである (Pls. 2.8-7, -13 ~ -17)。
- (10) H グループの排水路 (H-1~H-5) は(東)参道に設けられ、雨水を参道からその南北下方の沼地(かつて沐浴池)へと排出するためのものである。
- (11) 参道、外回廊および上部テラスのナーガ欄干下に設けられた排水路である。これらの排出口は各欄干足元に存在している (Pl. 2.8-12)
- (12) 屋根の入隅部表面に彫り込まれた溝であり、特に回廊底屋根の入隅部に集積する雨水を排出するためのものである。
- (13) 内回廊および外回廊基壇下を貫通する横穴および暗渠 (Figs. 2.8-3, -4) であり、これらの排水路は発掘調査によって発見されたものである<sup>9</sup>。
- (14) 集水枥 (S-I~S-V) は雨水および廃物を集積するため、上部テラス足元周囲に設けられている (Pl. 2.8-6)。

#### 4. 排水路の分析-排水路の編年的評価

排水路の建造過程を明らかにするために実施された内部の詳細な観察は、バイヨンの建築史に新たな見解をもたらしている。考古学的発掘調査によって横穴および入水口が発見されたが (Fig. 2.8-5)<sup>10</sup>、それらはJ. デュマルセの説を支持する一つの重要な証拠となった。バイヨンの建造過程はデュマルセの説を要約すれば、4段階に分けられる<sup>11</sup>。さらに岩石学的調査による砂岩帯磁率分布の結果は、デュマルセの説を有利に支持している。同調査によると、バイヨンの相対編年はおおよそ3段階に分けられ、中央塔から十字回廊および内回廊までが第1段階、外回廊は第2段階、そして経蔵と参道の嵩上げされたテラスは第3段階とされる<sup>12</sup>。

「排水路」の性質そのものが特筆に値し、ここで

However fine the drainage system in the Bayon could have been, the present condition of these drains is obviously far from working properly. The reasons for their malfunction could either be original poor design, lack of maintenance, displacement of the building itself, or a drastic change in local weather patterns.

As far as the entire drainage system is concerned, what puzzles the observer are the sizes of drains and their placement. Though it is quite natural to place larger drains on the exterior, the existing drains do not show such a tendency; on the contrary, the drains tend to become even smaller. This tendency is more evident in the southwest section of the building (Tab. 2.8-1). According to Tsukawaki's research conducted in 1996, generally speaking the climate condition in the area must not have been too different from what it is today, therefore it is unlikely that the people at that time were not used to heavy precipitation.<sup>13</sup> The investigation into drained water volume conducted by the Geotechnology, Geology, and Environment unit of JSA in 2002, together with an analysis of the four-step drainage design, resulted in an unprecedented yet credible hypothesis in regard to the traditional approach for draining rainwater: to make excessive water distribute throughout the building and seep intentionally into the internal foundation mass.<sup>14</sup> This hypothesis was backed up by an unfavorable phenomenon apparent in various places: sand is being washed out with rainwater through the small joint openings in the foundation walls (Pl. 2.8-18).

What has been happening to the building over time due to its unique system seems to be adversely affecting the building. Since the system allows the internal sand to flow out continuously and lessen the absolute volume of the foundation mass, eventually it led to uneven displacement of the building, shifting of vertical architectural members, and inclination of horizontal surfaces, all of which contribute to further malfunction of various drains, thus creating a vicious cycle of building deterioration. The lengthy stay of unwanted water also becomes a direct factor in chemical and biological problems that degrade the building material: sandstones (Pl. 2.8-19).

During JSA's summer mission in August 2004, Bayon's drainage system was checked again to observe its drainage function. Tab. 2.8-2 shows the results of the drainage system observation on a rainy day. The level of drain function was divided into four categories A, B, C and D; only 13 percent of the drains still functioned well, while 35 percent were not functioning at all.

On the other hand, a May 2002 report states that rainwater remains inside Bayon after every rainfall.<sup>15</sup> The rainwater flooded the lower level for at least two or three days (Fig. 2.8-7). Rainwater infiltrating the foundation mass contributes to the ongoing foundation displacement, subsidence, gap formation, and accelerated erosion, ultimately causing the towers to incline and the bas relief to decay, as well as inviting damage due to vegetation and the erosion of walls and pillars. All

特に注目されるのは、その増設と放棄とが如何に行われたものかということである。増設はおそらく問題点の改善のため、後から手を加えたものであろうが、それは決して個別に配置されたのではなかった。従ってパイヨンの排水システムに関する詳細な編年的分析は、その複雑な建造過程を解き明かしていく可能性を有している。Fig. 2.8-6は排水システムの編年の概要を示したものである。

## 5. 物理的特徴および機能による分析

パイヨンの基本的な排水システムは、雨水を最上段テラスから様々に配置された一連の排水路を利用しながら最終的に地表レベルの外部にまで至るよう、段階的に排出するというものである。

同システムは、パイヨンにおいて申し分ないものであったとは言え、現状では明らかに適切に作用するとは言いがたい。それらがうまく機能しない要因としては、設計の拙さ、メンテナンス不足、建物の移動、あるいは同地域における気候パターンが激変した可能性も考えられる。

排水システム全体に関する限り、観察者を当惑させるものは排水路の大きさとそれらの配置である。通常であれば、外側に位置するものほど大きな断面を有しているはずであるが、実存する排水路はそうした傾向を呈してはおらず、むしろ逆に外側ほど小さくなっている。この傾向は建物の南西部分において、より顕著に表れている (Tab. 2.8-1)。1996年に行われた塚脇氏の調査によれば、同地域の天候は一般的には現在と大きく変化していないはずであり、従って当時の人々が習慣的な豪雨を経験していなかったとは考えにくい<sup>13</sup>。JSA地盤・地質・環境班が2002年に実施した排水量調査と4段階の排水計画の分析とを併せて考えると、雨水排出のための伝統的手法に関する新たな、しかし未だ不確かな、一つの仮説が浮上する<sup>14</sup>。それは過剰な水量を建物外部へと分散させるために、水を意図的に基礎内部へと浸透させた可能性があるということである。この仮説は、様々な場所に現れる好ましくない現象、すなわち基壇壁の細く開いた目地から砂が雨水と共に流出しているという事実によって裏付けられている (Pl. 2.8-18)。

この建築が長年にわたって経験してきたことは、実際、建物に悪影響を及ぼしていると考えられるその独自の排水システムに起因している。同システムによって基壇盛土を形成する砂層が流出し、基礎内部の絶対容量を減少させているため、これがゆくゆくは建物の不規則な移動、垂直建築部材の沈下、水平面の傾斜を引き起こし、それらの全てが排水路のさらなる機能不全へと繋がり、従って建物劣化の悪



of these phenomena are tied to the deterioration of the general hydrological system.<sup>16</sup>

## 6. Restoration and maintenance of the Drainage System

Most of the Khmer monuments seen to have the problem of malfunctioning drainage systems. There are many cases that renovation of the drainage systems or installation of a new additional drainage to support existing one had taken place in conjunction of the restoration of temples in the Angkor region. The restoration projects of Candi Borobudur, Angkor Wat and Baphuon supply a model for the Bayon temple. Nevertheless, the question here still remains to be answered concerning the best way and method in order to conserve and restore unique characteristics of the Bayon among the Khmer architecture. This is a challenging subject, we believe, of conserving and contriving an effective drainage system at Bayon.

### 1) Protection of the Terrace Platform from Rainwater

#### Penetration

Some intervention should be carried out to protect the present inner foundation platform from rainwater penetration and consequently to improve the flow of water from taking place in the foundation mass. In practice, the existing stone pavement of the platform should be removed in part and re-aligned so as not to leave any gap in-between for improved flow of rainwater, especially on the sandstone pavement.<sup>17</sup> By sealing the surface on the foundation and ensuring the quick drain of rainwater, the monuments will be able to avoid the problem of dampness inside the complex in the long run.

### 2) Revival and Renovation of the Original Drainage System:

At Angkor the drainage facilities were installed under the pavement or in tunnels under galleries so that rainwater drains from the inside the monument complex toward outside. The drainage system itself is laid as a tunnel crossing under the pavement surface or the gallery. When the drainage becomes inadequate or malfunctions, rainwater starts penetrating into the foundation mass and consequently weakens the inner soil mass. On the contrary, if the drainage network runs well, it will reduce the penetration of water into the inner embankment. The terrace pavement, however in the present state, has sunk and it will be difficult to bring rainwater to the original inlets of the drain. In some cases the pavement has to be dismantled and re-set in order to align the inlet and outlet points at the same level so that rainwater can be evacuated.

The culvert tunnels at Bayon were constructed during the third phase, stage-1. These drains lost their function when the replacing drain of E-group for the Inner Gallery and the new drain of G-group for the Outer Gallery were installed in the third phase, stage-2.<sup>18</sup> During the excavation of the long trench carried out by JSA in 1999, we found the tunnel at the northeastern corner of the Inner Gallery and the inlets of culverts in the Outer Gallery. We assume that there should

循環を生み出している。不要な水分が長期間、建物内部に滞っていることはまた、化学的および生物学的問題の直接的要因となり、その建築部材である砂岩を侵食している (Pl. 2.8-19)。

2004 年 8 月の JSA 夏期ミッション期間中に再び、バイヨンの排水システムの機能を観察するための調査を実施した。Tab. 2.8-2 は、降雨時の排水システムの観察から得られた結果である。排水機能は 4 つのカテゴリーに分類され (A, B, C, D)、適切に機能していた排水路は全体の僅か 13% であったことが示された。21% は機能していたものの良好とは言えず、流量は微少であり、残りの水は基壇内部に浸透していた。31% はさらに僅かな量の雨水が流れるのみで、殆ど機能していなかった。また残る 35% は全く機能していなかった。

他方、2002 年 3 月の報告書には毎回の降雨の後、バイヨンの内部に雨水が残存していたことが報告されている<sup>15</sup>。下層のエリアは少なくとも 2~3 日の間、冠水していた (Fig. 2.8-7)。基礎内部に浸透した雨水は、基壇盛土の移動の進行、沈下、目地の開きを引き起こし、これらが結果的には塔の傾斜、浅浮彫りの劣化、植物による被害などの複数の要因、壁体および柱の基部を湿気により蝕む、水利システム全般の劣化に繋がっている<sup>16</sup>。

## 6. 排水システムの修復とメンテナンス

クメール建築の大半は、このように機能的には不十分に思われる排水システムを有している。アンコール遺跡保護地域には、その修復に際し、同時に既存の排水システムをも修繕、あるいは新たな排水溝を挿入して補強する例が数多く見受けられる。ポロブドゥール寺院、アンコール・ワット、バプーオンの修復例は、バイヨンにとって良いモデルケースである。ただし問題は、クメール建築の中でもバイヨンが有する比類ない特徴を保存修復していくための最善策とは何か、またそのためには如何なる処置、あるいは手法が採用されるべきか、ということにある。これはバイヨンにおいて効果的な排水システムの保存と整備方法を考案していく上での非常に重要な課題である。

### 1) 浸透する雨水からのテラス基壇の保護:

基壇内部の盛土をさらなる雨水の浸透から保護し、盛土内部に発生する水の流れを改善するための処置が必要である。既存の基壇敷石を幾つかの箇所において取り外し、目地を埋めることで基壇表面の防水を行うことにより、特に砂岩敷石表面での雨水の流れを改善することが望まれる<sup>17</sup>。基壇上部の表面を密封し、雨水を確実にすばやく外部へと排出するこ

be tunnels at the northeastern, southeastern and southwestern corners respectively as well.<sup>19</sup> If they are found, we are possibly able to renovate the inlets and outlets of the tunnels and to make connections to the outlets of culverts, thereby forming new channels between the inner and outer galleries. (Color Fig. 2.8-2)

### 3) Improving against the Infiltration and the Insertion of a New Structure

In the long history of restoration work that has been carried out by EFEO at the Angkor Wat as well as other monuments in the Angkor complex, the technique of inserting a new structure by concrete and a drainage pipe has been developed to prevent the infiltration. The aim is to isolate the wall materials from the infiltrated inner embankment by creating the new structural system.<sup>20</sup> In the actual case of Banteay Srei, the new drainage system included the installations of trickle shafts in various places in the complex and a new underground discharge channel with mud boxes. The trickle shaft performs an important function of letting the rainwater trickle down to the groundwater level, thereby minimizing the infiltration and preventing the structure from sagging down.<sup>21</sup> At the Bayon temple, as shown in Color Fig. 2.8-2, it is one idea to install the mud boxes at the inlet and outlet of the tunnel, at the inlets of the culverts, then to construct the new underground channel for connecting the tunnel and culvert. The mud box will be made of appropriate materials like laterite or sandstone. The over of the mud box should allow the accumulated rainwater on the pavement to flow through to the box and must be easily cleaned when it is necessary. Like the mud box, the underground channel should also be made of laterite or sandstone (stone masonry).

We should be seeking additional intervention measures and recommendations on this subject from the world leading experts, while considering the authenticity of Bayon.

## 7. Conclusion

In conclusion following arguments are to be recognized as an outcome of the study. As a result of comprehensive investigation conducted by the authors with a cooperation of JSA, it is noteworthy that several drains as well as tunnels were newly confirmed. With a due to the nature of drain functionality, value of chronological analysis of the drainage system should not be ignored as far as the research on construction chronology of the Bayon. It is not unreasonable to say that the findings based upon existing research or future discovery in regard to the drainage system would directly affect various theory of construction chronology of the Bayon. How existing drainage system does not function as expected greatly contribute to the degradation of the building at the present. Conservation and maintenance of the drainage system is an important issue for future restoration work, and to create alternative measures and the original system is insufficient to ameliorate existing problems could possibly prevent further deterioration of the building.

とは、伽藍内部における長期的な滞水を避けることに繋がるであろう。

### 2) オリジナルの排水システムの再生と改善 :

アンコールにおける排水設備は、雨水を伽藍内部から外部へと排出するために設けられている。排水システムそのものは、表面敷石の下や回廊を横切る横穴として敷設されている。排水路が十分に、あるいは全く機能なくなると雨水は基礎内部へと浸透し、盛土の脆弱化を招く。逆に排水網が上手く作用すれば、盛土内部への浸水を軽減させることが可能となる。だが現状では基壇敷石が沈下しているために、雨水をオリジナルの入水口へと導くことは難しい。敷石を一旦取り外し、雨水が適切に排出されるよう入排水口のレベルを調整する必要性も、幾つの場合においては生じてくるだろう。

バイヨンにおける横穴暗渠は、その建造段階の第3ステージ-1において敷設されたが、これらは次なる第3ステージ-2において内回廊のEグループ、および外回廊のGグループという新たな排水施設の敷設により、その機能を失っている<sup>18</sup>。JSAが1999年、長いトレンチを掘削して発掘調査を行った結果、内回廊北東隅の横穴と外回廊の入排水口が発見されたが、我々は同様の横穴が内回廊北西・南東・南西隅にも発見できるものと推測している<sup>19</sup>。これらの横穴の入排水口を修繕し、互いの排水口を連結することによって、内外回廊の間に発見したオリジナルの排水溝跡の位置に、排水ルートを創出することも考えられる (Color Fig. 2.8-2)。

### 3) 浸水の改善と新たな構造体の導入 :

アンコール・ワットをはじめ、アンコール遺跡群においてEFEOが長年にわたり実施してきた修復活動は、浸水防止のためにRC造と排水パイプからなる新たな構造体を挿入する技術を発展させてきた。その目的は新たな構造体系を築き、浸水した内部盛土から壁体を引き離すことであった<sup>20</sup>。バンテアイ・スレイの場合、新たな排水システムは伽藍内の様々な箇所における落水坑〔trickle shaft〕の設置、および集泥柵〔mud box〕を備えた排水用地下暗渠の新設を伴うものである。この落水坑とは、雨水を地下水のレベルまで落下させ、浸水と構造体の沈下を軽減するために重要な役割を果たす<sup>21</sup>。これらをバイヨンに応用するならば、Color Fig. 2.8-2に示すように横穴の入排水口、および暗渠の入水口に集泥柵を設置し、横穴と暗渠とを連結するよう新たな地下暗渠を挿入することも一案として考えられよう。集泥柵はラテライトや砂岩などの適切な材料によって作られ、またその蓋材は、敷石上部に集積した雨水を流し、

## Notes

- 1 T. Narita and S. Sokuntheary: "Survey of the Drains at Bayon," *ARJSA* 1998, pp. 48-60; S. Sokuntheary, T. Nakagawa and S. Nishimoto, "The Drainage System of The Bayon Complex and its Problem -Master Plan for Conservation and Restoration The Bayon, Angkor Thom (1)," *AIJ ed.: Summaries of Technical Papers of Annual Meeting 2002*, F-2, No. 9322, pp. 643-644.
- 2 H. Marchal, *Journal de Fouilles*, Tome II, Juin 1919, p. 71 and p. 79; ditto, "Cambodge, Bayon," *BEFEO* 19, 1919, pp. 115-117; ditto, "Sondages au Bayon," *BEFEO* 37, 1937, pp. 637-651.
- 3 J. Dumarçay, *Le Bayon, Histoire architecturale du temple, Atlas et notice des planches*, EFEO, Paris, 1967, pl. VIII; J. Dumarçay, *Le Bayon, Histoire architecturale du Temple*, EFEO, Paris, 1973, p. 24, Phs. 79 and 82.
- 4 *ARJSA* 1995-2003.
- 5 T. Narita and S. Sokuntheary, *op.cit.*, pp. 48-60; S. Sokuntheary, *et al.*, *op.cit.*, pp. 643-644. Those were concerned with only the types of the drains and the main drain, if counted the number of the drains it would be more than hundred. For instance, the drains inside the tower shrines 14 drains, drains on the east entrance terrace 5 drains, drains located under the porch step between inner galleries porch's towers and the passage halls 19 drains, drain under the east staircases to the upper terrace 2 drains, water and rubbish accumulated sumps 5 places, drains built to evacuate water from inside of towered shrines 13 drains, drains under the naga balustrade of east entrance terrace, under the naga balustrade of Outer Gallery and drains under the naga balustrade of upper terrace 43 drains, drains on the terrace surfaces 32 places. These numbers not included the ditch carved on the roof, the ditch carved on the surface platform and the ditch on the central top.
- 6 CCD camera: a camera uses a small, rectangular piece of silicon rather than a piece of film to receive incoming light. This is a special piece of silicon called a charge-coupled device (CCD), the survey was conducted in JSA's 33rd mission, August 2002.
- 7 O. Cunin and E. Uchida, "Contribution of the magnetic susceptibility of the sandstones to the analysis of architectural history of Bayon style monuments," *ARJSA* 2002, pp. 205-253; T. Narita *et al.*, "Outline of Excavations and investigations at the Outer Gallery of the Bayon complex," *ARJSA* 2000, pp. 3-22; N. Shimizu, "Archaeological excavations and investigation in the Bayon complex," Sixth International Symposium on the Preservation and Restoration of Bayon (SB), Siem Reap, 17-18 December 2001, Final report, UNESCO, Paris, 2000, pp. 51-61; Y. Iwasaki, "Geology, Conservation of Angkor Monument, Surface and Underground Water," The eighth of SB, 2004, February 6-7, Presentation paper, pp. 14-18.
- 8 J. Boisselier, *Le Cambodge*, Manuel d'archéologie d'Extrême-Orient, Première Partie, Asie du Sud-Est, Tome I, EFEO, Paris, 1966, pp. 136-137, p. 216 and p. 318.
- 9 T. Narita, *et al.*, *op.cit.*
- 10 T. Narita, *et al.*, *op.cit.*, pp. 3-22; N. Shimizu, *op.cit.*, pp. 51-61.
- 11 J. Dumarçay, *op.cit.*, 1967, plan LX; J. Dumarçay, *op.cit.*, 1973, pp. 63-64.
- 12 O. Cunin and E. Uchida, *op.cit.*, pp. 205-253, Fig. 27.
- 13 S. Tsukawaki, "Natural Environment of Cambodia, from the Past to the Present, and the Future," *JSA News* 7, 2002, pp. 8-9.
- 14 Y. Iwasaki, *op.cit.*, pp. 14-18. As part of geological survey the

かつ清掃が必要な際には容易に動かせるものとする。

パイヨンのオーセンティシティを重視しながらその排水システムを保全していくためには、世界の専門家の叡智と経験を集めて慎重に協議する必要があるだろう。

## 7. 結語

以上により本研究の概要を述べてきたが、JSAによる包括的な調査の結果、複数の排水路および暗渠が新たに確認されたことは特筆すべきであろう。排水機能という性質から、パイヨンの建造過程に関する研究を行っていく上で排水システムの編年的分析の重要性は無視できない。本調査による現在までの、また将来的な成果は、パイヨンの建造過程に関する様々な見解に直接関わってくるものである。現存する排水システムが意図されたように機能していないことは、建造物の劣化に甚大な影響を及ぼしている。排水システムの保存およびメンテナンスは、今後の修復活動において重要な作業となるが、データから既存のシステムが十分ではないことが示された場合、建物のさらなる損壊を予防するための慎重な代替案の策定が必要となるだろう。

## 註

- 1 成田剛、ソ・ソクンテリ、「パイヨン排水路調査」、『アンコール遺跡調査報告書 1998』, pp. 42-52; ソ・ソクンテリ、中川武、西本真一、日本建築学会大会梗概集、2002 年、No. 9322, pp. 643-644.
- 2 H. Marchal, *Journal de Fouilles*, Tome II, Juin 1919, pp. 71 and 79; ditto, "Inside of Cambodge, Bayon", *BEFEO* 19, 1919, pp. 115-117; ditto, "Sondages au Bayon", *BEFEO* 37, 1937, pp. 637-651.
- 3 J. Dumarçay, *Le Bayon : Histoire architecturale du temple, Atlas et notice des planches*, EFEO, Paris, 1967, plan VIII : EFEO, Paris, 1973, p. 24, Phs. 79 and 82.
- 4 *ARJSA*, 1995-2003, JSA, UNESCO/Japanese Trust Fund for the Preservation of World Cultural Heritage.
- 5 成田剛、ソ・ソクンテリ、「パイヨン排水路調査」前掲論文、pp. 48-60; ソ・ソクンテリ他、*op.cit.*, pp. 643-644. ただしこれらは排水路の種類と主な排水路に関するもので、排水路全体の本来の数は 100 を上回っている。例を挙げると、祠堂塔内部には 14、東玄関テラスには 5、内回廊ポーチ塔と通廊との間のポーチ階段下には 19、上部テラスへの東階段下には 2、雨水と廃物のための集水桝は 5 箇所、祠堂塔内部から外部への排水用に設けられたものが 13、東玄関テラス・外回廊・上部テラスのナーガ欄干下には 43、テラス上面には 32 箇所に排水路が存在する。以上の数は屋根面に彫り込まれた溝、基壇上面に彫り込まれた溝および中央最上部の溝を含まない。
- 6 CCD カメラ：入射光を受けるためにフィルムではなく矩形の小型シリコン片を用いるカメラ。この特殊なシ

- precipitation in situ has been recorded since 2002. In 2003, the amount of rainwater that was evacuated successfully to the outside of the Bayon were measured using electro-magnetic digital flow gage devices. From the brief data that recorded by installed a flow gage measurement (electro-magnetic digital flow gage) of drained water in Bayon in 2003, which set up at drain D-3 by geological team.
- 15 Cheam Pross, "Report on rainwater remaining check, 24 May 2002," JSA, Bayon Temple.
  - 16 I. Shimoda, "Destruction and Degradation Phenomenon in the Bayon", *Master Plan for the Conservation and Restoration of the Bayon Complex*, Chapter 3.
  - 17 In the case of Preah Ko, which is constructed of brick and was showing evidence of accelerated erosion caused by rainwater with increasing the damage to the static integrity of the tower. The intervention involved inclining the pavement to let rainwater flow through over the terrace platform. I. Massari, *The Preah Ko temple: Emergency consolidation at Angkor, Cambodia, Phase II*, Royal Angkor Foundation, 1995, pp. 31-37; Chhim Phet. *et al.*, "The Conservation and Restoration of the Six Towers at the Preah Ko site," Fourth International Symposium on the Preservation and Restoration of Bayon (SB), Siem Reap, 13-14 December 1999, UNESCO, Final report, pp. 147-162.
  - 18 The construction phase was divided into four phases by J. Dumarçay and divided into main three phases by O. Cunin. In the chronology of the drainage system this was divided into six stages based on Dumarçay's theory and Cunin's theory, but in the third phase of construction the drainage system had to be divided into four stages, as assumed in the conclusion.
  - 19 T. Narita *et al.*, *op.cit.*, pp. 3-22, and Naho Shimizu, *op.cit.*, pp. 51-61.
  - 20 P. Royère, "The various projects of consolidation of the bases of Khmer structures," The second of SB, Siem Reap, 1997, pp. 91-104.
  - 21 The channel can be made from materials like sandstone (sandstone masonry), plastic PVC or stainless steel PVC. In the case of Banteay Srey the drainage conservation work is done by installing a new underground channel made of stainless steel. The trickle shaft is made of geotex wrap filled with gravel, which permits the water to trickle down to groundwater level. Banteay Srey Conservation Project, report 2004.
- 
- pp. 51-61.
- 20 P. Royère, "The various projects of consolidation of the bases of Khmer structures," in the second of SB, Siem Reap, 1997, pp. 91-104.
  - 21 この排水路は砂岩などの石造組積、およびプラスチック PVC あるいはステンレス・スチール PVC により製造可能である。バンテアイ・スレイの場合、排水路の保護はステンレス・スチール製の新たな地下暗渠を設置することによって行われている。落水坑は砂利を詰めた geotex wrap 製で、これにより雨水を地下水レベルまで落としている。Banteay Srey Conservation Project, report 2004.
- リコン片は「charge-coupled device (CCD)」と称される。この調査は 2002 年 8 月、第 33 次 JSA ミッションにおいて実施された。
  - 7 オリヴィエ・クニン、内田悦生、「岩石学：バイヨン様式建造物の建築史構築における砂岩帯磁率の寄与」、『アンコール遺跡調査報告書 2002』, pp. 197-245 ; 成田剛他「バイヨン外回廊発掘調査の概要」、『アンコール遺跡調査報告書 2000』, pp. 3-18 ; 清水菜穂、「バイヨン考古学的発掘調査」、第 6 回バイヨン保存修復に関する国際シンポジウム、シエムレアップ、2001 年 12 月 17-18 日、最終報告書、UNESCO, Paris, 2000 年、pp. 51-61 ; 岩崎好規、「地理学：アンコール遺跡の保存、地上および地下水」第 8 回バイヨンシンポジウム、2004 年 2 月 6-7 日、presentation paper, pp. 14-18.
  - 8 J. Boisselier, *Le Cambodge : Manuel d'archéologie d'Extrême-Orient*, Première Partie, Asie du Sud-Est, Tome I, Paris, 1966, pp. 136-137, p. 216 and p. 318.
  - 9 成田剛他、前掲論文。
  - 10 成田剛他、前掲論文、pp. 3-18 ; 清水菜穂、前掲論文 pp. 51-61.
  - 11 J. Dumarçay, *op.cit.*, 1967, plan LX; and J. Dumarçay, *op.cit.*, 1973, pp. 63-64.
  - 12 オリヴィエ・クニン、内田悦生、前掲論文、pp. 197-245, Fig. 27.
  - 13 塚脇真二「カンボジアの自然環境：過去から現在、そして将来」、in *JSA News*, No. 7, 2002 年、pp. 8-9.
  - 14 岩崎好規、前掲論文、pp. 14-18. 2002 年より地理学的調査の一環としてサイトにおける降水量の記録が行われた。2003 年にはバイヨンの外部に全ての排水路から連続的に排出される雨水総量が電磁式デジタル流量計測器を用いて計測された。2003 年のバイヨンにおけるこの簡易データは、地理班によって排水路 D-3 に設置されたデジタル流量計測器によって記録されたものである。
  - 15 Cheam Pross, "Report on rainwater remaining check, May, 24, 2002," JSA, Bayon Temple.
  - 16 下田一太、「バイヨン寺院の破損と劣化」、『バイヨン寺院全域の保存修復のためのマスタープラン』, 第 3 章、pp. 93-111.
  - 17 煉瓦造建築であるブレア・コーの場合、雨水による劣化が明らかに進行しており、塔の安定性におけるダメージが増加している。保存作業は敷石に傾斜をつけ、テラス基壇に雨水を流すことも行われている。I. Massari, *The Preah Ko temple: Emergency consolidation at Angkor, Cambodia, Phase II*, 1995, Royal Angkor Foundation, pp. 31-37; Chhim Phet *et al.*, "The Conservation and Restoration of the Six Towers at the Preah Ko site", Fourth International Symposium on the Preservation and Restoration of Bayon (SB), Siem Reap 13 and 14 December 1999, UNESCO, Final report, pp. 147-162.
  - 18 バイヨンの建造段階は J. デュマルセによって 4 期に、O. クーニンによって 3 期に分けられている。排水システムの編年に関してはデュマルセの説とクーニンの説とを踏まえ 6 期に分けたが、それは建造段階の第 3 期において排水システムが 4 段階に分割されるためである。
  - 19 成田剛他、前掲論文、pp. 3-18 ; 清水菜穂、前掲論文、

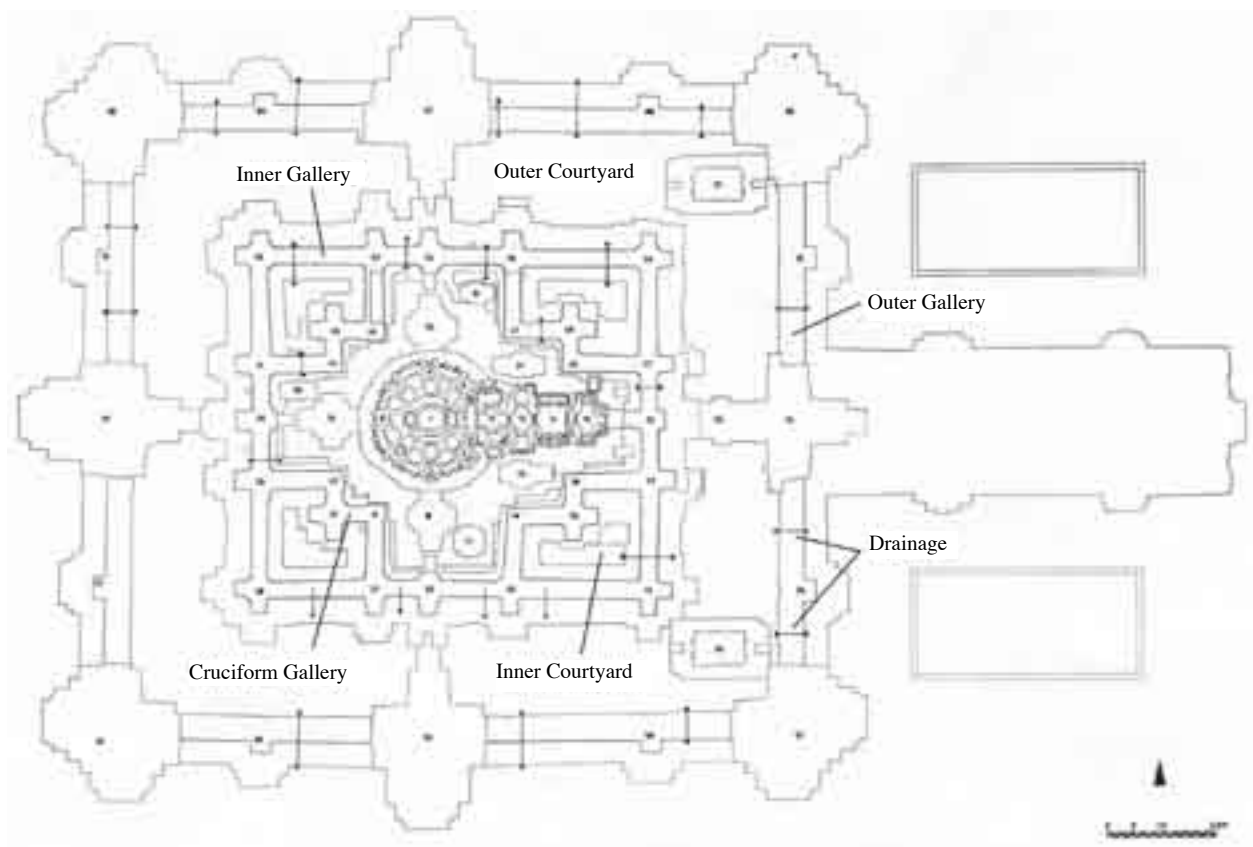


Fig. 2.8-1 Bayon, Plan of drains by J. Dumarçay.

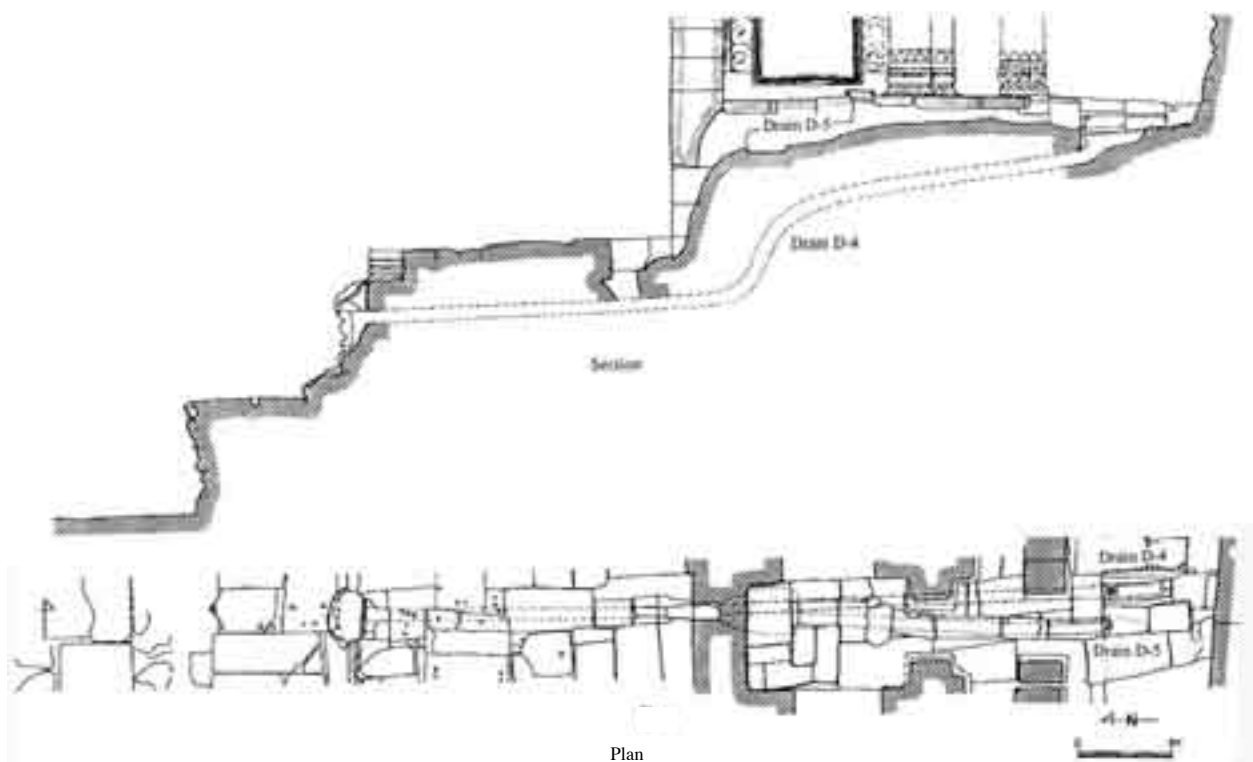


Fig. 2.8-2 The plan and section of Drains D-4 and D-5.

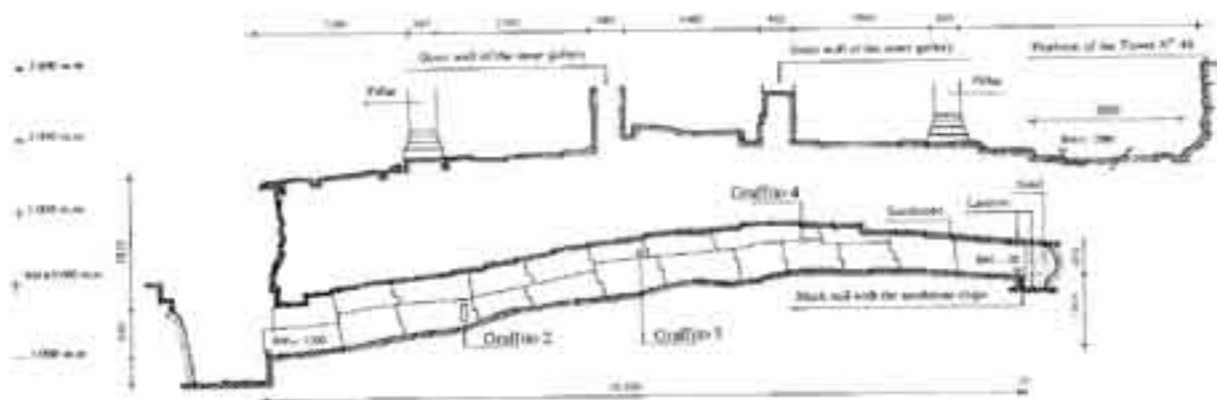


Fig. 2.8-3 Bayon, The section plan of tunnel, JSA, 1999.

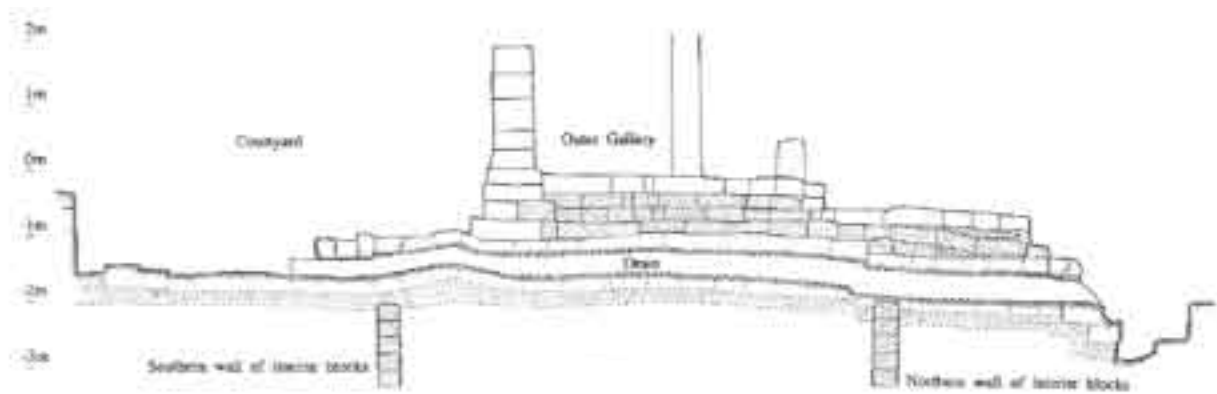


Fig. 2.8-4 The section plan of culvert, JSA, 1999.

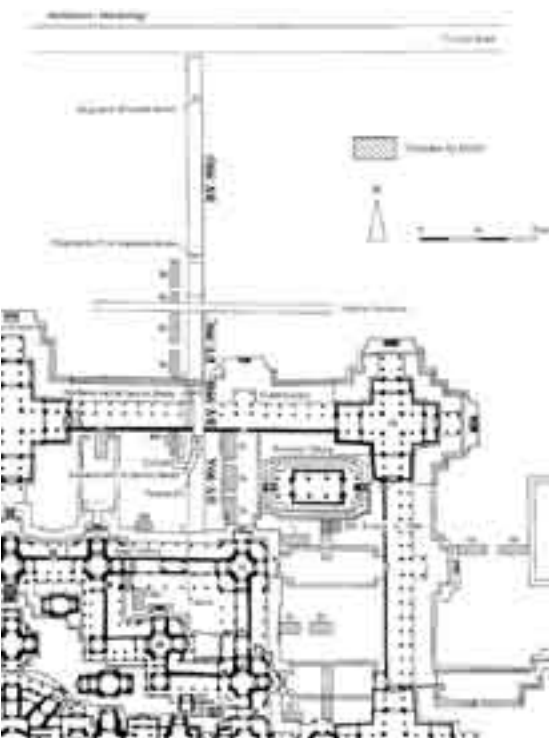


Fig. 2.8-5 Excavation plan, JSA, 1999.

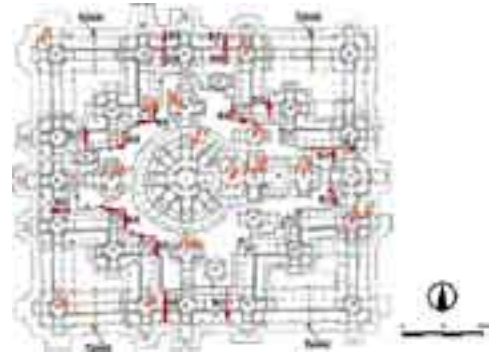
Tab. 2.8-1 Rainwater obtained area and size of outlet.

No.	Measurement Place	Area (m <sup>2</sup> /min)				Size of Drain Outlet		
		Area	Drain point	10mm/h	40mm/h	Width (m)	Length (m)	Size (m)
1	Upper terrace SE	842.41	D-1	0.14	0.56	0.18	0.20	0.04
2	Upper terrace SW	610.81	D-2	0.05	0.20	0.18	0.28	0.05
			D-3	0.05	0.20	0.22	0.30	0.06
3	Upper terrace NW	581.2	C-1	0.05	0.19			
			D-4,5	0.05	0.19	0.20	0.17	0.03
4	Upper terrace NE	806.14	C-2	0.07	0.27			
			D-6,7	0.07	0.27	0.19	0.28	0.05
5	Inner courtyard 84	448.74	E-1	0.04	0.15			
			E-2	0.04	0.15			
6	Inner courtyard 85	392.27	E-3	0.07	0.26			
7	Inner courtyard 86	392.89	E-4	0.07	0.26			
8	Inner courtyard 87	446.34	E-5	0.07	0.30			
			G-1	0.14	0.57			
9	Outer courtyard SE	2149.80	G-2	0.14	0.57			
			G-3	0.14	0.57			
			G-4	0.14	0.57	0.20	0.26	0.05
10	Outer courtyard SW	1915.65	G-5	0.49	1.95	0.26	0.20	0.05
			G-6	0.12	0.48			
11	Outer courtyard NW	1917.30	G-7	0.12	0.48			
			G-8	0.12	0.48			
			G-9	0.12	0.48	0.44	0.24	0.05
			G-10	0.14	0.57			
12	Outer courtyard NE	2150.65	G-11	0.14	0.57	0.16	0.16	0.03
			G-12	0.14	0.57			
			G-13	0.14	0.57			
13			G-4/C1	-	-	0.24	0.25	0.06
14			G-4/C2	-	-	0.20	0.25	0.05
15			G-5/C1	-	-	0.17	0.17	0.03
16			G-5/C2	-	-	0.24	0.10	0.02
17			G-9/C1	-	-	0.22	0.15	0.03
18			G-9/C2	-	-	0.26	0.13	0.03
19			G-11/C1 outlet	-	-	0.40	0.31	0.12
20			G-11/C1 inlet	-	-	0.25	0.30	0.07
21			G-11/C2	-	-	0.36	0.34	0.12
22			Tunnel outlet	-	-	0.38	0.68	0.26
23			Tunnel inlet	-	-	0.35	0.40	0.14

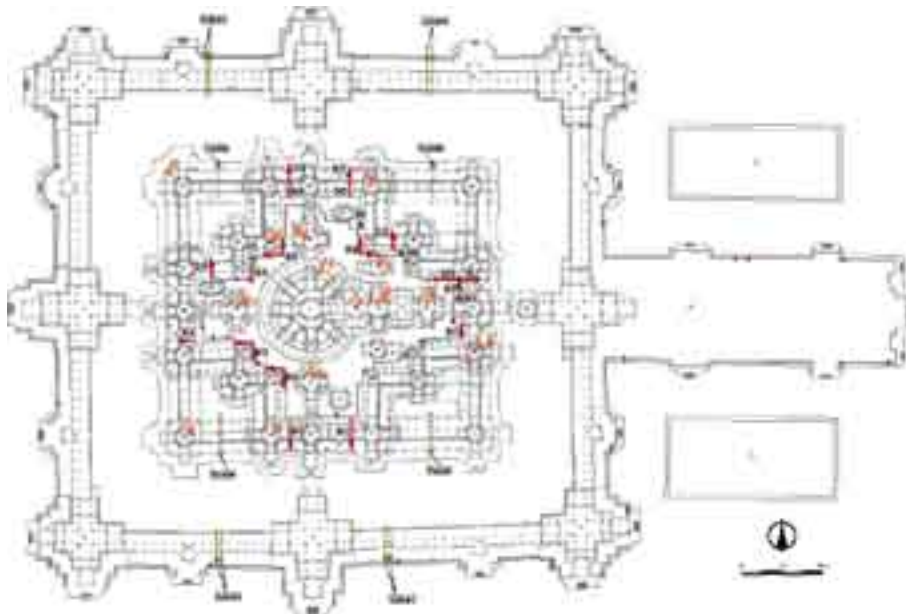
First Stage



Second Stage



Third Stage-1



Third Stage-2

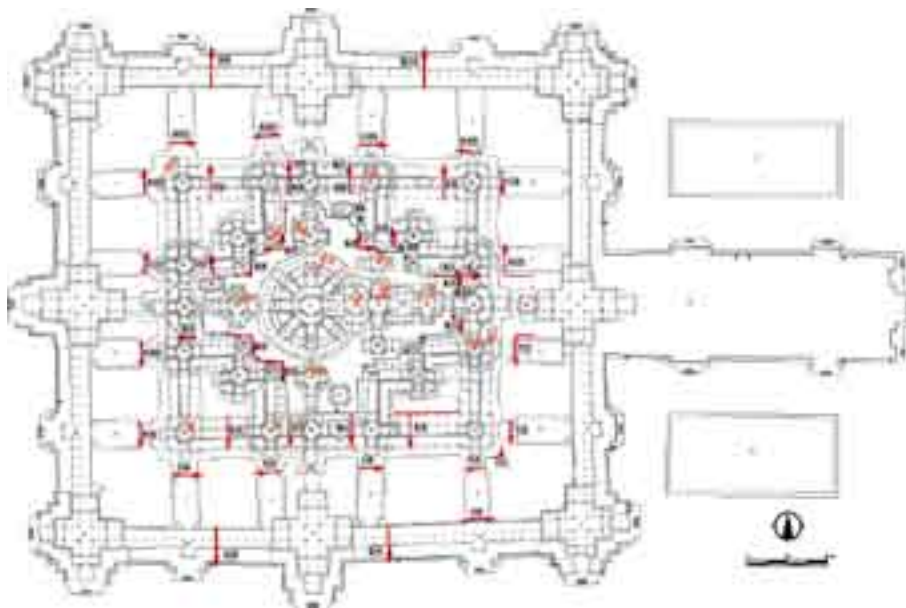
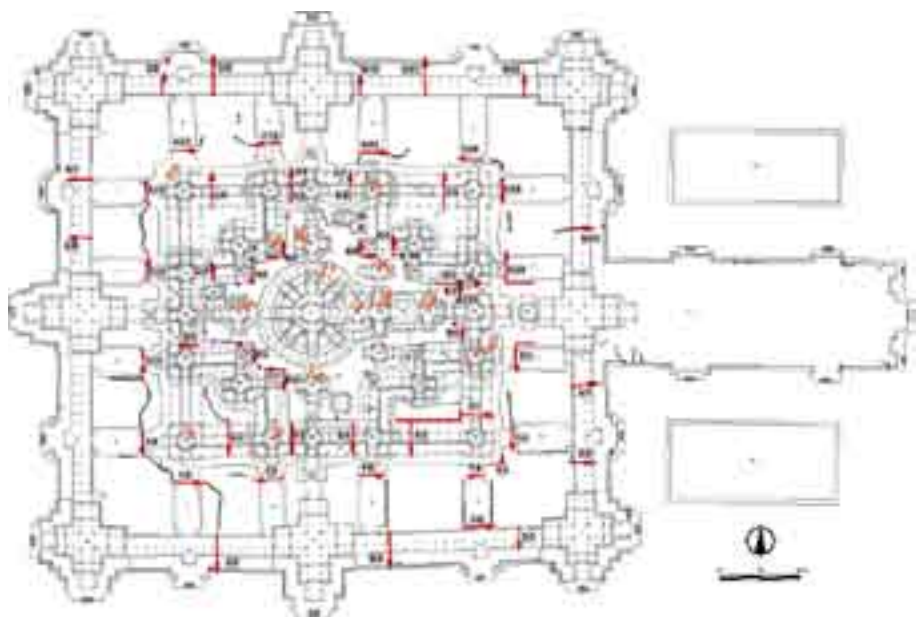


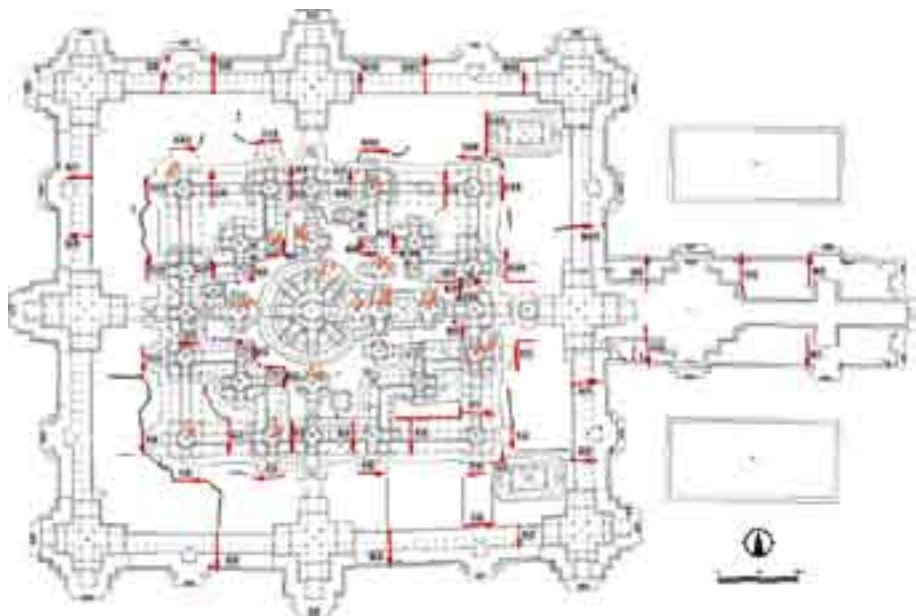
Fig. 2.8-6 (pp. 79-80) The chronology of drainage system, Bayon.



Third Stage-3



Third Stage-4



- Key/Note:**
- |   |   |
|---|---|
|  Drains: A, B, C, D, E, F, G and H group |  Ramps (I)-(Y)                 |
|  Drains inside the lower shrine          |  Drains on the terrace surface |
|  Tunnel and Culverts                     |  Water accumulated place       |
|  Drains under the bulwark                |   |

Original plan by J. Dumarçay, Revised and digitalized plan by O. Cemin.  
Drainage plan added by So Sokuntheary



Tab. 2.8-2 Actual Functioning Drain of Bayon Temple.  
(Observing during the raining day, August 20, 2002 and August 21, 2004)

No.	Drain name	Rank			
		A	B	C	D
1	A-1				▲
2	B-1			●	
3	B-2				▲
4	B-3				▲
5	B-4				▲
6	B-5				▲
7	B-6			●	
8	B-7			●	
9	C-1		○		
10	C-2		○		
11	D-1	◎			
12	D-2	◎			
13	D-3	◎			
14	D-4			●	
15	D-5		○		
16	D-6				▲
17	D-7		○		
18	E-1	◎			
19	E-2			●	
20	E-3		○		
21	E-4		○		
22	E-5			●	
23	F-1		○		
24	F-2		○		
25	F-3			●	
26	F-4			●	
27	F-5				▲
28	F-6			●	
29	F-7			●	
30	F-8			●	
31	F-9			●	
32	F10			●	
33	F-11			●	
34	F-12			●	
35	F-13				▲

No.	Drain name	Rank			
		A	B	C	D
36	F-14			●	
37	F-15			●	
38	F-16			●	
39	F-17				▲
40	F-18			●	
41	F-19				▲
42	G-1			●	
43	G-2	◎			
44	G-3			●	
45	G-4				▲
46	Culvert G-4, C1	◎			
47	Culvert G-4, C2		○		
48	G-5				▲
49	Culvert G-4, C1	◎			
50	Culvert G-4, C2		○		
51	G-6				▲
52	G-7				▲
53	G-8				▲
54	G-9				▲
55	Culvert G-4, C1		○		
56	Culvert G-4, C2				▲
57	G-10	◎			
58	G-11			●	
59	Culvert G-4, C1				▲
60	Culvert G-4, C2				▲
61	G-12				▲
62	G-13				▲
63	H-1		○		
64	H-2		○		
65	H-3		○		
66	H-4	◎			
67	H-5				▲
68	DUB*1				▲
69	DIT*2				▲
70	DTS*3			●	

## Notes:

A(◎): Well functioning drain: drains, which the amounts of rainwater runoffs so well through the drain

B(○): Functioning drain but not so good: drains, which small amount of rainwater runoff through the drain, and other amount disappear through the platform

C(●): Not functioning well drain: drains, which very small amount of rainwater runoff through the drain

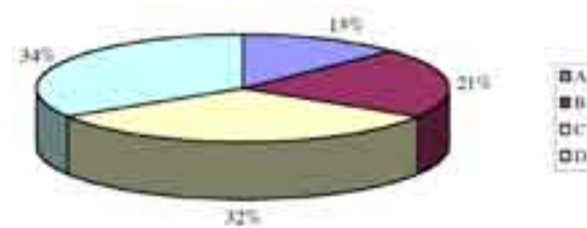
D(▲): No functioning drain: drains, which no rainwater runoff through the drain

\*1 DUB: Drains Under the Balustrates of upper terrace and outer gallery terrace

\*2 DIT: Drains Inside the Tower shrines of upper terrace, cruciform gallery and Inner Gallery

\*3 DTS: Drains on the Terrace Surfaces of upper terrace, inner gallery, inner courtyard, outer courtyard and on east front terrace

These datas was collected in during the raining day in August 2002 and August 2004, by observing the characteristic of the rainwater flows through the drainage system.







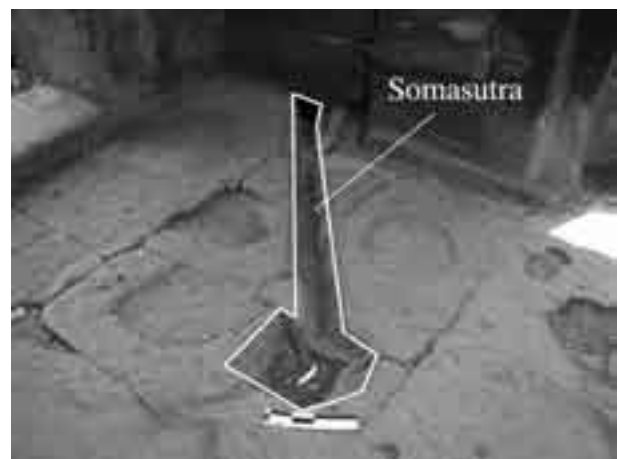
Pl. 2.8-1 Tower 46, Drain (m), Inside.



Pl. 2.8-2 Tower 46, Drain (m), Outlet.



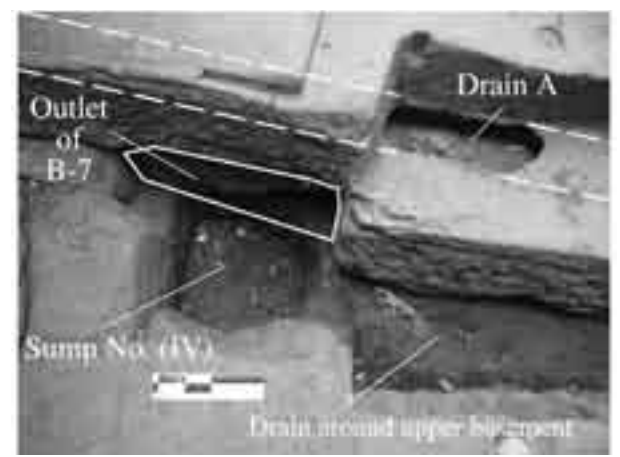
Pl. 2.8-3 Central tower, Outlet (a).



Pl. 2.8-4 Tower 15, Inlet (d).



Pl. 2.8-5 Tower 15, Outlet (d).



Pl. 2.8-6 Drain A, Drain B, and Around basement.



Pl. 2.8-7 Drain G-7, Chisel traces (additional drain).



Pl. 2.8-8 Drain D-1, Inlet.



Pl. 2.8-9 Drain D-1, Internal structure.



Pl. 2.8-10 Drain D-1, Outlet.



Pl. 2.8-11 Present state of Lucky Well.



Pl. 2.8-12 Drain under balustrade.



Pl. 2.8-13 Inlet of G-2, Drain of surface.



Pl. 2.8-14 Drain G-4 and two culverts below.



Pl. 2.8-15 Drain G-5 and two culverts below.



Pl. 2.8-16 Drain G-9, Culverts.



Pl. 2.8-17 Drain G-11, Culverts.



Pl. 2.8-18 After rain, sand from inside of upper platform.



Pl. 2.8-19 After rain, rainwater remained on courtyard ES.



Pl. 2.8-20 Rainwater remained on the pavement of pavilion 55, the lady guard try to sweep and clean the rainwater.



Pl. 2.8-21 Drain G-2, drain works.



Pl. 2.8-22 Drain G-4, culvert G-4, C1 and G-4, C2.



Pl. 2.8-23 Drain G-5, culvert G-5, C1 and G-5, C2.



## 2.9 Bayon, As a Living Temple -Message from the Scene of the Bas-relief of the Bayon Temple-

ANG Choulean

It is practically impossible to produce an exhaustive bibliography on Bayon, one of the main monuments of Angkor and Cambodia. Just take even one sector of study "the iconography," for example, you may find it difficult to obtain a complete list of works which covers the study of various scenes depicted in bas-reliefs as well as brief interpretations.

Having been investigating on rituals of funeral, especially from the viewpoint of diacritic ethnology, in current Cambodia for some time, I have naturally become aware of the plastic representation of this subject. At Bayon my attention was attracted to such scene on the bas-reliefs of the walls at various places of the gallery. In this note, I would like to state one of the scenes<sup>1</sup> among them. The scene gives an impression that a provisional pavilion of cremation of current Cambodia has a direct filiation to that of ancient Cambodia, at least of the Angkor period.<sup>2</sup> Pl. 2.9-1 is the display of the scene.

The pavilion, open in four directions, is seen from the front. Its structure is fundamentally no different from that of *Mén*,<sup>3</sup> or of *Phnom Yong*,<sup>4</sup> which have been built actually for cremation in several villages of Angkor. The pavilion has four spans between the pillars, and consists of a nef in the centre and two bas-côtés on both sides. On the pediment is drawn a *Rahu* (a monster who makes solar and lunar eclipse).

In this scene at Bayon, two successive ritual scenes are coincided into one. First phase is shown by the presence of the cinerary urn on the left bas-côté. The cinerary urn is to be installed at the top of the step-wise pyramid in the centre of the pavilion. The installation requires a delicate and complex procedure, employing an inclined plane. If we refer it to today's ritual, this urn, which contains a corpse in a position of like a fetus, has been brought in solemn procession from another place. The second phase is expressed by the presence of the same urn on the central pyramid. I present a few photographs, which I had borrowed from the collection of the late professor Madeleine Giteau on the cremation of Venerable chief of the order Thomayut in the 1960's. Pl. 2.9-4 shows the erection of the pyramid and Pl. 2.9-5 is the descending pedestal, sliding down on the inclined plane, which receives the urn and then goes up the plane. Pl. 2.9-6 is showing the urn was finally laid in state, which scene can be compared with a fresco painting of the Silver Pagoda (Pl. 2.9-7).

In this brief note I have simply taken up just one example, and even if that is an obvious statement, I would like to emphasize again the importance of the bas-reliefs at Bayon. Customarily, while it is pointed out that the Outer Gallery displays daily life of those days and important historical scenes, the Inner Gallery appears to contain less "vivid" motifs at a glance. Nevertheless, we should be careful lest it is left neglected or underestimated. As a matter of fact, above example clearly

## 2.9 生きた寺院としてのバイヨン —バイヨンに描かれた浅浮彫りの一場面から—

アン・チュリアン

アンコール、そしてカンボジアを代表するモニュメントのひとつであるバイヨンについての、余すところのない、網羅的な書誌を作成することは現実的には不可能である。それは例えば「図像学」といったような、ひとつの研究分野をとってさえも、浅浮彫りに描かれたあれこれの場面に関する研究、あるいはそのちょっとした解釈といったものを全て包括した、完全なるリストを入手することは容易ではないだろう。

私はこのところ、特に通時的民族学の観点から現代カンボジアの葬儀について調べていることもあって、自然とそうしたテーマに関連する造形表現に意識的になっている。バイヨンでの私の関心は、回廊内の異なる場所において、その壁面に彫刻された幾つかのシーンへと惹きつけられた。ここではそれらの中から、あるひとつの場面<sup>1</sup>を紹介したいと思う。それは現代カンボジアの仮設的な火葬小屋が、古の、少なくともアンコール期のカンボジア<sup>2</sup>のそれと、まさに直結しているかのような印象を与えるものである。Pl. 2.9-1 がそのレリーフの場面である。

四方に吹き放ちにされた小屋は、ここでは正面からの眺めとなっている。その構造は現在、アンコールの幾つかの村落で実際に火葬用に建設された *Mén*<sup>3</sup> の構造、あるいは幾つかの *Phnom Yong*<sup>4</sup> の構造と基本的に変わらないものである。柱間は四間で、中央の身舎と両側室とがこれによって形成されている。ペディメントには大きく *Rahu* (日食・月食の悪魔) が描かれている。

バイヨンの場面には、連続する儀式の二つのシーンが同時に描かれているようである。第一の段階は、左側室における葬儀用の甕棺の存在によって示されており、この甕棺はこれから小屋中央に位置する階段ピラミッドの頂上に安置されることになるのだが、それには斜面を利用する、ひどく込み入った手順が必要とされた。そして現代の儀式にならえば、胎児の体位を再現するように身体を屈めた亡骸が収められたこの甕棺はおそらく、どこか別の場所から盛大な行列によって運ばれてきたばかりであった。第二の段階は、この同じ甕棺が、中央ピラミッドの頂上に存在することによって明示される。以下にお見せするのは、故マドレーヌ・ジトー教授の写真資料の中から拝借した、1960年代のトマユトの大徳の葬儀における幾つかの場面である。Pl. 2.9-4 はピラミッドの建立を、Pl. 2.9-5 は斜面を下降する台座をそれぞれ示しており、台座はこの後、甕棺を載せて再び斜面

denies such conventional concept. I just wish I could elucidate here all about the scenes and depicted objects and ritual equipments, but, to me, they still remain to be under a mysterious veil. Moreover, a scene, even where the motif is identified, remains to be enigmatic. A well-known example is the scene of "Sacrifice of water buffalo" in the south wing of the eastern Outer Gallery. A question arises as to; whether it was a special, or rather rare ritual at least in the Angkor region among the Khmer of those days, or whether it was a ritual of animism prevailed among the Khmer, as is similarly practiced by the "Mountain people"<sup>5</sup> currently.

I have attempted interpretation of ritual practices, but, not only to this extent, the bas-reliefs at Bayon provide us with an immeasurable source of ethnography on the daily life of different social layers.

## Notes

- 1 My remarks on the scene that represents closeness to funerals may possibly be challenged by other interpretations. For example, an object I believe to be a coffin installed in the centre of a pavilion open to four directions, is described as a linga in some other books.
- 2 I have pointed out this representation in the east wing of the northern Inner Gallery in "La mort-renaissance en abstraction iconographique," *UDAYA 5* (APSARA, planned to be published in 2005).
- 3 This is transliterated from *Meru*. The phonetic corruption in pronunciation is ascribed from the Siamese. Normally this appellation is reserved to the pavilions for cremation of important persons, such as royalty or clergymen, whereas the appellation of Phnom Yang (see note 4), less solemn word but the similar meaning of mountain, is applied to the pavilions of common people.
- 4 It is transliterated from *bhnam yon*. This generic term means "soaring mountain" alluding to *Meru* or sacred mountain, the places of rest after death.
- 5 Not stating its crucial importance among the plural peoples in Indonesia.

を上昇する。Pl. 2.9-6 は甕棺がようやく最終的な場所に安置された状態を示しているが、この場面はシルヴァー・パゴダのフレスコ画と比較されるものである (Pl. 2.9-7)。

この短い覚書では、たった一例を取り挙げたに過ぎないが、たとえそれが自明のことであろうとも、私はバイヨンの浅浮彫りが有する重要性をここに改めて強調したかったのである。通常、日常生活や歴史上の重要な場面は主に外回廊に描かれていることが指摘される一方で、内回廊には「生き活きとした」モチーフが一見、少ないと捉えられがちであるが、だからと言ってそれらをなおざりにしたり、過小評価したりすることのないよう留意しなければならない。事実、上に挙げた例はそうした既成の概念をはっきりと否定している。様々な場面やそこに描かれた対象、儀式用の設備などについて、ここに明らかにできれば良かったのであるが、それらは私にとってなおも神秘のベールに包まれている。のみならずモチーフが特定された場面さえも、実に多くの謎が残されたままなのである。例えば良く知られた、東側外回廊の南半分における「水牛の生贄」の場面。それは果たして、当時のクメール人たちにとっての、少なくともアンコール地域では何か特別な儀式、むしろ稀少な儀式として描かれたものだろうか。あるいは現在の「山の人々」<sup>5</sup>と同様に、クメール人たちの間にも普及していたアニミズムの儀式だったからなのだろうか。

ここでは儀式をめぐる表現について解釈を試みてきたが、バイヨンのレリーフはこれにとどまらず、様々な社会層の日常生活に関する民族学にとって汲み尽くせぬほど豊かな、あらゆる情報の源なのである。

## 註

- 1 葬儀との近い、あるいは遠い関係性を呈すると私が考える全ての表現は、それが他の解釈と食い違う可能性があることも承知の上である。例えば四方に開放された小屋の中央に安置された甕棺と私が解釈するものは、他の書物ではリングアとして記述されている。
- 2 北側内回廊の東半分におけるこの表現については“La mort-renaissance en abstraction iconographique”、*UDAYA 5* (APSARA, 2005 年に発刊予定) において指摘した。
- 3 *meru* の翻字。発音の崩れはシャム語に起因する。この語は通常、王侯や聖職者といった重要人物の火葬用の小屋に限って用いられるものであり、同じく山を意味する言葉であっても一般の人々のための小屋に対しては、より荘厳な意味合いの低い Phnom Yang (次註参照) という呼称が使用される。
- 4 *bhnam yon* の翻字。この総称は「聳え立つ山」を意味し、死者の死後の住まいである *Meru*、あるいは聖なる山を暗に指している。
- 5 ここではインドネシアの複数の民族におけるその絶対的な重要性については触れないものとする。





Pl. 2.9-1 Pavilion of cremation. The same cinerary urn is seen on the left bas-côté and on the summit of the pyramid.  
火葬小屋, ここには同じ甕棺が左側室と中央ピラミッド頂上とに描かれている。



Pl. 2.9-2 Phnom Yong in the simplest structure (*Srè Changhaut* village, Angkor region): four pillars at the corners are supporting the roof of *Mukh Dach* type. A *Rahu* is visible on the pediment.

最も簡素な造りの Phnom Yong (アンコール地域, *Srè Changhaut* 村): 四隅の柱が *Mukh Dach* タイプの屋根を支えている。ペディメントの *Rahu* の存在が目される。



Pl. 2.9-3 *Mén* for cremation of a monk (*Vat Run*, Angkor region): the roof is supported by each four pillars in four lines. It is consisting of a *nef* where the coffin is laid in state (in the box made of banana timber) and two *bas-côtés*. A *Rahu* is also seen on the pediment.  
ある僧侶の火葬用 *Mén* (アンコール地域, *Vat Run*): 屋根は四列に配された四本の柱で支えられており、棺(ここではバナナの木で外装された箱内に収められている)を収容する身舎と両側室とが形成されている。ペディメントにはやはり *Rahu* が見受けられる。



Pl. 2.9-4 Construction of the pyramid.  
ピラミッドの建立.




Pl. 2.9-5 Descent of the mobile pedestal for bringing the urn onto the top of the pyramid.  
甕棺をピラミッドの頂上へ運ぶための可動式台座の下降.



Pl. 2.9-6 The urn finally lies in state on the pyramid.  
ピラミッドの頂上に安置された甕棺.



Pl. 2.9-7 Scene of cremation (a fresco of the Silver Pagoda).  
火葬の場面 (シルヴァー・パゴダのフレスコ画).



Introduction - Chapter 3

**Destruction and Degradation Phenomenon  
in the Bayon Temple**

序論 第三章

バイヨン寺院の破損と劣化

Introduction - Chapter 3

序論 第3章

## Chapter 3 : Destruction and Degradation Phenomenon in the Bayon Temple

SHIMODA Ichita

## 第3章 バイヨン寺院の破損と劣化

下田一太

### 1. Introduction

It is not confined to the matters of one particular historic building, but the process of deterioration happening in the Bayon is complicated: multi lateral interrelationships of deteriorating elements and causes simultaneously affect the building intricately, and as a result brought the monument to its present state. JSA has been conducting investigations and surveys to find the best possible ways to sustain this historic architecture made of stones.<sup>1</sup> Our approaches for the investigation is to look into the individual problems from all related fields microscopically, while comprehensive and macroscopic analysis shall be given by paying attention to the interrelation of problems, which could be achieved by cooperation of professionals from various fields and in some case to create a multidisciplinary effort if necessary.<sup>2</sup> This section of the paper attempts to provide an overview and a summary regarding destruction and deterioration of the Bayon in accordance with numbers of separate JSA reports or papers publicized either in the annual reports or public symposiums. It should be used more like an annotated directory that leads to the further detailed analyses given in another section of this report.

### 2. Definitions of Destruction and Degradation

The temples of Bayon period tend to have strong characteristics of integrated art in architecture and plastic art. Therefore, an each stone element as well as the compilations of these numerous stone elements are inextricable to constitute significance of the structure. However, to better understand the process and mechanism how the structure became damaged the paper classified the problems, for descriptive purposes, as follows: *destruction* includes the damage affecting the architecture which one could detect by the naked eye as supposed to *degradation* includes deterioration affecting the chemical components of the structure or structural elements, which eventually led into the physical damage of the architecture.

Destruction in this context is caused by the relative displacements occurred in between each stones, or a stone and foundation earth mound originated by physical movements. Destruction in general could be seen in the forms of collapse, shearing, deformation, cracks, or detachments. On the other hand, degradation phenomenon is generally self-contained in each stone caused by chemical and biological effects.<sup>3</sup> Strictly speaking, the stone elements constitute the Bayon are of sandstone and laterite, however, the paper discusses only on degradation of sandstones. Degradation phenomena appear to our eyes in the forms such as exfoliation, scaling, micro-cracks, lifting, dissolution and others. Each phenomenon, however, are difficult to isolate and classify individually since degradation symptoms are closely linked one another.<sup>4</sup>

### 1. はじめに

バイヨン寺院が崩壊に至る過程は複雑で、多様な因子が相関しながら影響を及ぼしている。崩壊の機構を解明するために、すでに多数の研究が行われているが<sup>1</sup>、JSA では新たな保存修復の方法を検討するにあたり、改めてこの石造建築の破損と劣化について多様な分野から検証し、時にはそれらの境界となる学際的な研究にも注目している<sup>2</sup>。本稿では、これらの研究によって明らかになりつつある、主流となる崩壊の過程を示すと共に、仮説的な推測も含む多様な劣化原因を包括的に示すことを試みるものである。このことにより、本マスタープラン及び、これまでの年次報告書やシンポジウム等において報告された、破損と劣化に関する JSA の調査研究を統合して概説し、より専門的に特化した内容についてはその元になる報告を手繰り寄せるための索引として利用されることを目的とする。

### 2. 破損と劣化の定義

バイヨン期の寺院は、建築と彫刻とが融合した芸術的造形作品としての性格が強い。よって、無数の石材によって構成される構造体と石材単体とは不可分の価値を持つ。しかし、それらが崩壊してゆく過程や機構は、互いに関係してはいるものの区別して考えることができる。本稿では、構造体が肉眼で見える範囲において破壊してゆく現象を「破損」、各石材などの建築構成材が化学組成のレベルにおいて破壊され、自然に物理学的な破壊へ連動していく現象を「劣化」と区別して扱うものとする。

破損は石材と石材の間もしくは版築土と石材の間における運動が引き起こすものであり、物理的な作用に起因する。破損は一般的に、崩壊・倒壊・破断・亀裂・欠損といった現象に細分化される。一方、劣化そのものは各石材内で完結する現象であり<sup>3</sup>、化学的・生物的作用に起因する。バイヨン寺院を構成している石材は砂岩とラテライトであるが、本稿では砂岩の劣化のみを取り扱うものとする。劣化の様態は、剥離・剥落・微小亀裂・浮き・溶解など多様であるが、それらの症状を明確な区分を持って分類することが困難であることが多い<sup>4</sup>。

破損と劣化は関連した多様なプロセスの中で説明される (Fig. 3-1)。多種の劣化因子により石材の物性が低下することで構造体の破損を誘発する一方、構造体が破損することによる微気象変化や応力変化により劣化は別の段階へと移行する。特に、ラテライトや版築盛土といった材料は劣化が進行しており、構造上致命的となる破損を引き起こす主因となっている。

The following diagram exhibit how the process and mechanism of destruction and degradation works under such complex context. (Fig. 3-1) While degradation on a stone element progressively degrades due to various causes instigate physical destruction of the structure, destruction caused by various problems changes the equilibriums by altering microclimatic condition or internal force brings degradation of elements to another degree. Especially, the degradation of laterite and compacted earth hidden underneath of sandstone superstructure are in progress without being detected that could bring forth detrimental destruction that affect the structure as a whole.

### 3. Destruction of the Bayon

#### 3.1 Overview of destruction phenomena in the Bayon

The Bayon is essentially comprised of the Outer Gallery, the Inner Gallery and the main building built on top of the three layered foundation mass. Although the detail of the interior structure of the foundation mass is not exactly known, following method of construction to build foundation is largely accepted as far as the Angkor monuments are concerned: first dig in to the ground and fill back in with sand to form a mound and then build outer encasement with sandstone backed by laterite, then fill more compacted sand to form a base structure; upper structures are built on top of such base structure under dry masonry construction. The Bayon is one of the so-called mountain temples, however, its interior mass has not slipped off as seen in Baphuon because the gradient of the Bayon is relatively gentle. Moreover, there is no particular evidence of displacement both in horizontal and vertical direction, again relatively speaking; the state of structural condition is fairly stable.<sup>5</sup> Nevertheless, the mountain temple in general in the region that expects heavy rain regularly is structurally less stable than the horizontally comprised temples that situated many pavilions over a man-made platform. When JSA made precise survey of inclination of 38 remaining towers, condition of which are considerably well, it is confirmed that the tendency of inclination is all leaning outward, which reflects the structural weakness of this type of architecture.<sup>6</sup>

The section most conspicuous in destructive state is the Outer Gallery in the temple plan. All the roofs with corbelled arch were collapsed. At the same time, the roofs of the corner pavilions were also collapsed and the original roof form is not certain.<sup>7</sup> Outer gallery walls were covered with bas-reliefs: themes of the bas-reliefs depict one of the most unique characteristics special to the Bayon among monuments in Angkor. Voices are raised for reconstruction wall or even just to reconstruct the bas-relief elements of fallen stones. Following the Outer Gallery, attentions are called for the porches in the main building. Independent pillars on the extended terraces used to support corbelled arch roof, but almost none are in original state. Movements appeared in the stone layers of the porch foundation as well as the independent pillars which were supposed to carry concentrated load of the roof both became struc-

### 3. バイヨン寺院の破損

#### 3.1 バイヨン全体の破損の概要

バイヨンは外回廊、内回廊、上部テラスの三段に積み重ねられた基壇により構成されている。基礎の構造についての詳細は明らかではないものの、地面を掘り込んで砂を締め固めた掘り込み地盤上に、外装面を砂岩、その背面にラテライトを積み上げて版築盛土を包みこむ基壇を載せ、その上に砂岩の切石積みで上部構造を構築している。バイヨンはいわゆる堂山型の寺院であるが、比較的各段の勾配が緩いことから、バプーオンのように各テラスの盛土構造がすべりを起こして崩壊するといった現象は認められない。また、伽藍各部の基壇が水平・鉛直方向に目立って大きく変位している傾向も認められず<sup>5</sup>、伽藍全体を巨視的に見れば比較的安定した構造を保っている。とはいえ、集中的な豪雨に見舞われるこの地域において、堂山型寺院は、人工的な盛土上に各祠堂を配する水平展開型の寺院と比べて構造的に不安定な伽藍形式であることには違いなく、伽藍内の残存状態の良好な塔、計 38 基の傾斜を計測した結果、その大半が伽藍の外側に向けて放射状に傾斜している傾向が認められたことも、この形式の寺院における構造的な弱点を示唆するところである<sup>6</sup>。

伽藍の中で特にその崩壊が目立つのは外回廊であり、全ての持送り式のヴォールトは崩落している。同様に、外回廊の隅楼の屋根も全て崩落しており、その原型となる屋根形式については未だ定かではない<sup>7</sup>。外回廊には全体にわたって浅浮彫りが巡らされており、特にアンコール遺跡の中でも特徴のある題材が描かれていることから、注目度も高く、屋根のない状態であっても欠落している壁体、浮彫りのある石の積み直しといった修復を望む声は高い。

次に、伽藍全体で共通して崩壊が著しい箇所として吹放ちのポーチがある。張り出したテラス上に独立柱を立てて支持される持送り式の屋根の多くが崩落している。吹放ちの張り出しテラスの基壇石積みと屋根荷重を集中的に支持している柱の両者が構造上の弱点となり、多数の崩落危険箇所が散見される。

内回廊内に林立する塔は、既往の修復により部分的に解体され積み直されているものが多いものの<sup>8</sup>、頂部まで残存もしくは再構築されているものは限られる。特に壁厚に複数の部材を組積する中央祠堂の屋蓋では、表層の部材から崩落が進み、当初の外装面を構成する部材はほとんど残されていない<sup>9</sup>。

背の高い三層の基壇上に建つ経蔵は、基壇が外に押し出されるように大きく変位し、その上に立つ壁体も歪んでおり、現時点で南経蔵はバイヨン寺院において構造的に最も危険な状態にある遺構である。

この他にも、伽藍各部には多数の構造的な危険箇所が散見され、JSA によって作成されている危険箇所マッピングには 529 の登録箇所が記されている<sup>10</sup>。

#### 3.2 破損のプロセス

tural weaknesses, which led to the partial destruction seen here and there.

Forest of towers in the main building, having been the subject of previous partial restoration, rarely retains the original state all the way to the top.<sup>8</sup> Especially, the roof part of the main tower where multiples of elements were thickly layered, lost from its outer surface: now almost no element that constituted the outer surface of the tower.<sup>9</sup>

The library building stood on top of the layered, proportionally tall foundation platform severely suffers from deformation: the foundation mass is bulging out in the middle; displacement of the superstructure is evident. At the moment, the South Library perhaps is the structure facing most imminent danger in the monument. In addition, there are numerous structurally dangerous areas or members in different degree of seriousness all over the monument. Presently 529 entries are registered to JSA's watch-list and a map of dangerous-parts.<sup>10</sup>

### 3.2 Process of destruction

Hypothetically, if no external environment factors affected architectural elements such as stones or earthen mass, original state of the architecture would be retained almost as it was. Therefore, what instigates destruction is mainly caused by external factors and then its pathology progresses.

What constitutes the outer factors that may alter the condition include: climatic environmental factors such as rain, wind, sunshine, temperature, humidity or underground water; biological environmental factors such as vegetation or infestation of microbiology; and human factors. Being located in the tropical monsoon climate zone, though it is free from the reservations from earthquakes and freeze-thaw effects, under the harsh climatic condition of intense temperature and high humidity, individual destruction factor amplifies and affect the monument. The process of destruction is how an each factor influences the physical substance that used to be in an equilibrium state to move and eventually lead into another state of equilibrium. Human factors described above do not only mean negative factors such as vandalism, but also mean an intervention for the purpose of conservation, preservation and restoration. In a broad sense, preservation and conservation activities could be considered as an action to bring physical monument from one equilibrium state to another in a human society, but exceptionally the human action affects the equilibrium state of the monument in reverse manner.

In organizing these multiple factors by putting them on the course of destruction processes, it is effectual to see the problems from the underground up of the monument. Although destruction phenomena can happen simultaneously basic principle could be as simple as: what lies underneath affects what lies on top. Therefore, cause of the problems are in the order that problem underground foundation followed by the foundation platform and then the superstructure.(Fig. 3-2) Since it is rare to have the lower section affected by the upper section,

石材や盛土といった構造体そのものは、もし仮に環境変化がない状態に保持されているとするならば、殆ど変化することなく、建設当初の姿が保存され得るものと考えられる。よって、建物の破損は変化する外的因子によって引き起こされ、そのプロセスが進行する。

変化をもたらす外的因子には、気象的環境要素である、雨・風・日射・温度・湿度・地下水位の他、生物的環境要素である植物や微生物、人間活動が挙げられる。特に熱帯モンスーン気候に位置するバイヨン寺院は、地震や凍結といった問題とは無縁であるものの、高温多湿の極めて過酷な自然環境におかれていることから、各劣化因子はそれぞれ強度の影響力を有している。それぞれの要素が導く新たな平衡状態へと遺構が変化していくプロセスが、一般に破損のプロセスになる。ここに人間活動を加えているが、人間活動の一端である保存修復もまた広い意味での社会的平衡状態への対応変化であると考えられ、これは例外的に破損のプロセスから回帰する作用となる。

これらの複数の要素が果たす作用を一連のプロセスに整理した場合に、主たる破損のプロセスは、遺構を下部から上方へと追うことにより説明することが可能である。つまり同時に連動する作用ではあるものの、下部の変位はその上に設置されている構造体の変位に連動し、新たな破損原因を引き起こすために、破損の原因は基礎、基壇、上部構造という順列のプロセスに並べられる (Fig. 3-2)。上部の破損が下部の破損を引き起こすことはそれほど多くないことから、下部から上部へと破損要因は増加することになる。

### 3.3 各部の破損原因

下部から上方、つまり基礎地盤→基壇盛土→上部構造と順を追って、その破損原因を整理する。

#### 3.3.1 基礎地盤

##### a) 地盤の圧縮沈下

建物の荷重により地盤が圧縮され、引き起こされる地盤沈下は、漸次的に進行する可能性がある。ただし実際には圧縮対象層になる粘性土層は薄く、圧密降伏応力も大きいことが予想されるため、圧密沈下は小さく、また弾性的なものであると考えられている<sup>11</sup>。現状では、すでに残留沈下量は小さく、安定した地盤状況にあるものと考えられる。

##### b) 地下水位の変動と地下水位の変動にともなうサクション作用による地表面の浮沈

バイヨン寺院では約4mの地下水位の年間変動が観測されている<sup>12</sup>。プラサート・スープラN1塔周辺における地下水位の変動もほぼ同様であるが、そこでは地下水位の変動に伴う地盤の年間変状は約6mm



causes of destruction increases as architectural parts keep going upwards.

### 3.3 Causes of destruction

As described earlier, causes of destruction systematically organized according to the architectural parts from the underground up as follows:

#### 3.3.1 Ground foundation

##### a) Settlement

Settlement occurred to the formation ground due to the structural load of a building above could happen over long period of time. However, the clay layer in the soil that is subject for consolidation is relatively thin and consolidation yield stress is expected to be large, therefore the settlement due to consolidation in this case is fairly small in scale and rather elastic.<sup>11</sup>

##### b) Movement of underground water and how it affect on the ground surface by the suction effect

Annual fluctuation of underground water in the Bayon area was observed to be 4 m.<sup>12</sup> The behavior of the underground water in the vicinity of Prasat Sour Prat Tower N1 where more precise investigation was conducted is considered to be similar to the ones of the Bayon and its annual differences in the ground level is about 6mm.<sup>13</sup> However, this kind of fluctuation is rather seasonal and not believed to be accumulating.

##### c) Rainwater

Loss of strength in the ground surface due to the rainwater is inevitable and in the region recurrence of softening and hardening between dry and wet seasons is the norm. As expected, the plasticity of the ground surface increases seasonal instability would apply to the superstructure during the wet season. The soil penetration test conducted on the same ground in different seasons confirmed that the properties of bearing capacity of the soil largely fluctuate depending on the season.<sup>14</sup>

##### d) Settlement due to leaching of soil minerals

Mineral composition of the soil largely consisted of quartz grain ( $\text{SiO}_2$ ), Aluminum Silicate Hydroxide{  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  } and underground water quality holds  $\text{pH}<6$ . The results indicate chemically stable condition thus suggest low probability of occurrence of settlement due to leaching of soil minerals in the Bayon.<sup>15</sup>

##### e) Loss of the soil grains due to rush of groundwater flow

Void space between natural ground and dug under foundation construction as well as the penetration coefficient are both small in scale, it is not likely to see great amount of loss in soil grain.<sup>16</sup>

であることが確認されており<sup>13</sup>、バイヨンでもほぼ同様の挙動量が推測される。このような地盤変状は季節的変動であるために、変位が累積することは考えにくい。

##### c) 雨水による地表面の湿潤化による強度変化

降水に伴う表層地盤の強度低下は必然的なものであり、雨季と乾季で地盤の硬軟が繰り返される。地盤強度が低下している時の変位は、塑性的な変形を生じやすいことから、このときに上部構造の変位が蓄積されることが予想される。雨季と乾季での同地点における貫入試験により、地盤の支持力特性は季節によって大きく変動していることが確認されている<sup>14</sup>。

##### d) 地盤鉱物の溶脱にともなう地盤沈下

地盤を構成する鉱物は石英粒子( $\text{SiO}_2$ )が多く、カオリナイト (Aluminum Silicate Hydroxide/ $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) 主体であり、水質は  $\text{pH}<6$  である。これらの条件下では化学的に安定なために、溶脱に伴う沈下の可能性は小さいものと考えられる<sup>15</sup>。

##### e) 地下水流による土粒子の流出

堀り込み地業の周囲を取り囲んでいる地山の間隙径は小さく、透水係数も小さいことから、地中内での土粒子の流失は考えにくい<sup>16</sup>。ただし、バイヨンの周囲を取り巻く環濠状の水溜まりへの水道や雨季の恒常的な流路がある場合には、基礎の版築土が流出し、それによって地盤が変状していることも考えられる。

#### 3.3.2 基壇盛土

##### f) 基礎の不等沈下と連動する変位

基礎の上面に基壇が配されていることから、当然、基礎の変形が基壇の不等沈下および外側への押し出しといった変位に連動する。

##### g) 基壇内部の版築土の流出

浸透水流により盛土が流出することにより、基壇の沈下が生じる<sup>17</sup>。バイヨン寺院の場合、排水溝が建造当初から十分な容量を有していないことに加え、長らく放置されていた期間にそれらの排水溝が堆積土砂により目詰まりするなどの、排水システムの機能不全により、滞留雨水は石積みの目地開きから基壇内部に浸透することによって排出されていた分量が少なくなかったものと考えられる<sup>18</sup>。これらの雨水の浸透による盛土の流出が基壇の変位を助長し、目地開きを拡張するために、雨水の浸透量も増加し、この破損のプロセスは加速される。また、蟻道等へ流水経路が集中することによっても、盛土の流出は加速されることが推測される。



### 3.3.2 Foundation platform

#### f) Uneven settlement of the foundation platform and relative superstructure movements

Behavior of foundation mass such as uneven settling or structural deformation outward is inevitably affected directly by the behavior of ground foundation since the foundation mass was piled up on top of the foundation ground.

#### g) Loss of compacted soil of foundation mass

Penetrated water flows out eventually from the foundation platform, at the same time some amount of compacted soil grains are lost together with such water flow.<sup>17</sup> In case of the Bayon, since there were not enough drain system built originally for the building, in addition, many of existing drains are malfunctioning because they were blocked with accumulated dirt, retained overflow water gets penetrated in the foundation mass then were slowly dissipated out from the small vacancy in between stone elements.<sup>18</sup> At the same time compacted sand forming the foundation mass have been slowly disintegrated and loss out together with such water flow. Once this viscous cycle begins, disintegration of the foundation mass causes deformation of foundation building, thus opening between stones widens, and more water will dissipate: the progression rate of deterioration accelerates. When the water flow is concentrated to some unwanted voids made such as by ants or other insects contribute further destruction of the structure.

#### h) Weathering and compression of laterite materials in foundation platform

There are evidences in other temples made of laterite that some laterite materials present deformation due to compressive strength over time. The same phenomenon is expected to have happened to the laterite materials laid inside against the sandstone materials. In addition to such compression, recurrence of wet and dry condition along with water flow weathers laterite greatly and disintegrated much faster than sandstones. Disintegration of laterite also helps invite more rainwater to penetrate and accelerate the rate of vicious water flow cycle occurs in the foundation mass.

#### i) Loads of superstructure and compression occurred in the compacted sand layers

Settlement in the foundation platform occurs mostly under the same condition and the same mechanism happening in the ground foundation. Except, while load distribution for the ground foundation is even over wide area, concentrated stress load of the superstructure are unevenly distributed and applied to the foundation mass, which causes local compressive settlement. The uneven floor surface is also attributed to the difference in stress resistance coefficient of laterite, sandstone and compacted sand.

#### h) 基壇内部のラテライトの風化・圧縮

ラテライト造の祠堂では、集中的な荷重を長期間受けたラテライト部材が圧縮変形している様子が認められ、パイヨンの基壇内部のラテライトにおいても同様の変形が生じていることが窺われる。また集中応力と雨水の流動に伴う乾湿の繰り返しにより、ラテライトは土砂化するように風化する。風化によって、雨水の流入ならびに基壇内部の土砂を伴った流水の排出が加速される。

#### i) 上部構造の荷重と版築土の圧縮

基礎地盤の圧縮沈下と同じ現象であるが、基礎地盤では広く均一な基壇の荷重を受けていたのに対して、基壇の場合には上部構造の荷重を受けることになるために、上部構造の壁や柱の集中荷重や、傾斜によって生じる偏荷重によって基壇内部の版築への負担はより大きく、局所的な圧密が生じることとなる。また、基壇は外装に砂岩を、その内側にラテライト、さらにその内部に版築土を内包しており、それぞれ異なる圧縮への対抗力をもつため、床面の不等沈下が生じることとなる。

#### j) 蟻塚の形成

遺構の室内には、かなり大きな塚状の蟻塚が認められることがあるが、営巣に必要な土砂は遺構の基壇内部の版築土から採取されているようである。場合によっては採土により基壇内部の空洞化、それに伴う突発的な陥没、またその空洞内が菌床室として子実体を形成することによる土壌の軟弱化が懸念される<sup>19</sup>。

### 3.3.3 上部構造

#### k) 基壇の変位に連動するもの

地盤の変位が基壇に連動することと同様に、基壇の変位は当然上部構造へ連動する。柱や壁に生じた回転・傾斜変位は微小であっても部材上端では拡大されることから、屋蓋へはより大きな変位として連動することになる。特にヴォールトは壁体が内外に転び不安定な起拱点上に載っている上に、桁行方向にも目地開きが生じるために、切妻部分より崩落しやすく、さらにこの崩落が連鎖的にヴォールトの崩壊へと連動している状況が広く認められる。

#### l) 基礎・基壇の変位に伴う応力集中

壁体の回転や傾斜、部材間のズレといった運動は、部材角部へ応力集中を生じ欠損を引き起こす。また扉周りの不均一荷重は敷居部材の破断を生じる。これらの部分的な破壊が、周囲の石積みの崩落を誘発することもあり、さらには部材の崩落による衝撃で部材の破損、また構造体の変位が生じる。

#### j) Formation of anthill

Inside the temple there are numbers of large anthills. These ants were often bringing compacted sand out from the foundation mass. It could be expected that some void spaces created by these ants contribute to a sudden fall of the superstructure, which would be hard to detect from outside. Furthermore, the void space can become nurturing ground for fungus and would help growing more spores.<sup>19</sup>

#### 3.3.3 Superstructure

##### k) Destructive movements affected by the movement of the foundation mass

As movements of the foundation mass are directly affected by the one's of the ground foundation, ones of the superstructure are directly affected by the ones of the foundation mass. Rotation or inclination observed in the pillars and walls may appear to be minuscule but since each degree amplifies at the top of structural elements, what affects to the roofs becomes substantial. The corbelled roof structure in particular is very unstable because: the structure is originated from the walls and pillars that are already displaced; stones are loosened in the girder direction, which will be led to the fall from the gable side that will eventually become a source of roof destruction.

##### l) Uneven stress concentration

Movements such as rotation, inclination, or sliding often apply concentration of compressive strength at the corner of each stone material to cause either detachment or breakage. When over-concentration of compressive strength is applied to a doorjamb, and then transfers to a sill, which eventually causes breakages in a sill. This also triggers cyclical destruction process: detachment or breakage occurred in an element breaks the equilibrium and may cause fall of other elements, a force of collapsed elements may cause another detachment or breakage, and so on. Destruction occurred whether small or large in degree, will definitely cause structural deformation as a whole.

##### m) Vegetation problems

According to historic photographs taken in the early 20th century, we know that the jungles were taking over the Bayon.<sup>20</sup> At present, trees are cultivated and periodical removal of grass as part of maintenance, but one can easily imagine the magnitude of natural force that could have destroyed the stone monuments when you compared the monuments state of Ta Phrom today. Large trees typical of the region manifest signs of life form through their own unique appearances, the effect is even more enhanced when they are entangled together with stoic historic stones. Some even pose an almost discrepant question for discussion: how to coexist with such natural life forms and historical monuments. Higher plants tend to be rooted in between the stones and widening the gaps as they grow bigger. Once they grew larger, bending forces during the storm are so great that often become a cause of collapse. These

##### m) 樹根の浸入と成長

20世紀初頭のバイヨン寺院の古写真には、鬱蒼とした樹林に浸食された伽藍の様子が記録されている。現在ではそれらの樹木は伐採され<sup>20</sup>、本報告書を作成時のバイヨンでは定期的な除草作業が行われているが、遺跡が発見されるまでの放置期間における高等植物による被害は甚大であったようで、それは現在タ・プロム遺跡に示されているとおりである。建物に絡みついて大きく成長した樹木は、独特の外観を創り出し、一種の深い風土的印象を与えている。このような自然と遺構との対立的共生を保ちながら、遺構を延命化するという相容れない問題への解決が求められている。高等植物は目地に樹根が浸入しそれが肥大化することで目地を広げたり、石材を持ち上げる。また、絡みついた樹木が強風の煽りを受けて撓むことにより、石組みが崩落したり、朽ちた樹木が倒壊するといった被害を及ぼすこともある<sup>21</sup>。

##### n) 風圧

アンコール地域では20m/s以上の強風が観測されることがある。強風の煽りを受けることにより、建物には突発的な挙動が生じることがあるようである<sup>22</sup>。普通、このような挙動は弾性的なものであり、数時間から数日をかけて徐々に原位置に復帰することが観測されているが<sup>23</sup>、挙動によって一時的に生じた微小な目地開きに砂や礫などの異物が入ると、石材は原位置に復帰することができずにズレが蓄積される。また、一度目地が開くと風などの外力により容易に振動が発生することになり、部材の変位に影響を及ぼす。

##### o) 組積工法の欠陥

バイヨンでは他のアンコール建築と同様に金属製の錠<sup>24</sup>の利用や開口部上方の荷重分散のための空隙<sup>25</sup>など、構造的な安定化を図ることを目的とした工法上の工夫が各所に認められる一方で、時に誤った工法や欠陥のある砂岩の使用方法も認められ、破損や劣化の進行を早めている。

例えば、堆積岩である砂岩は層理を水平に用いることにより高い強度を発現するが<sup>26</sup>、大きな荷重を受ける柱材では層理面が鉛直に配されるため、節理に沿って無数の亀裂を生じている<sup>27</sup>。特に斜めに層理面が走るようにして砂岩が使用されている場合には、柱が傾斜することにより、層理面方向に剪断力が生じて破損することがある。また、柱の設置方法には伽藍内でも幾つかの種類が認められるが<sup>28</sup>、柱を敷石の上面にほぞ継ぎによって設置するタイプのものは、滑りや回転変位が生じやすいという弱点を有している。この他、伽藍内には独立柱を長手一材で用いずに、切石を積み上げるものもあり、やはり構造的な弱点となっている。バイヨンでは詳細な調査が行われていないものの、クメール建築では柱を内転びに設置させる工法は確認されておらず<sup>29</sup>、柱

trees are susceptible for sudden collapses since they tend to grow big quickly because they are relatively hallow inside and frequently their cores are infested by insects.<sup>21</sup>

#### n) Wind pressure

Wind velocity of 20m/s is not so unusual during the tropical storm season of the Angkor. Strong wind pressure could cause sudden damage to the building.<sup>22</sup> Such damage tend to be an elastic behavior and the changes made usually retain back to how it was either in a couple of hours or days.<sup>23</sup> However, once foreign objects such as sands or dirt were invited in between the temporary gaps, they will not go back and changes made accumulate over time. Wind pressure also affects displacement of the elements once gaps between the elements become widened.

#### o) Default failure of original masonry construction

Like other monuments in Angkor region, use of special construction techniques to strengthen the stability of structure such as the use of an old iron cramps,<sup>24</sup> or to create voids to distribute load concentrations were confirmed also in the Bayon.<sup>25</sup> On the other hand, some evidences of default failure of original construction that contribute to accelerate destruction processes were also confirmed.

For example, main architectural element, sandstone is a sedimentary stone, which must be placed lateral to the grain layer of the material.<sup>26</sup> There are quite a numbers of sandstones used in pillars for example are used vertically to the grain layer, therefore numerous cracks occur along the joint layers.<sup>27</sup> When joint layers run diagonally in the material, inclination of the pillars became detrimental to the shear force of the structure. Among the several construction types of pillar placement confirmed in the same building, the weakness for sliding and rotation is evident with a type that is to place a pillar with a tenon made in a plinth.<sup>28</sup> In addition, there are other examples such as using cut stones instead of one stone for independent stones became weakness for structural stability. However not enough detailed investigation in the Bayon there are, construction techniques to adjust declination of pillars were not found in Khmer architecture, simple pillars do not withstand against the thrust of the corbelled roof.<sup>29</sup>

In dry masonry technique applied in Khmer architecture, frictional force between stones brings about the stability. Technical improvements such as mortise and tenon type of joints for higher structural stability are evident in Angkor but not in the Bayon.<sup>30</sup> It is not rare to see evidence of straight joints that became a cause of destruction, the question would be raised how to deal with such default constructional failures when "original construction method" must be respected in preservation of the historical monuments.

自体で持ち送り式の屋根において発生するスラストに対抗することはない。

この他、空積みによって構築されるクメールの石造建築では石材間の摩擦力によって構造的な均衡が保たれているが、これに加えて部材間の相決り等の工法によってこれを強化していることがある。しかしながら、パイヨンでは石積みの安定化を意図したこのような工法は認められず、石積みの崩落を容易にしている<sup>30</sup>。また、芋目地の認められる石積み箇所が弱点となり崩壊が進んでいる場所も少なくなく、当初材の形状を尊重することが望まれる修復方針に対して複雑な問題提起を強いられることもある。

## 4. 劣化

### 4.1 バイヨン寺院の石材劣化の概要

石材劣化の問題は、構造的な崩壊と異なり瞬時にその価値を消失するような危険性を導くことはないが、石材の表面に彫り込まれた彫刻表現を緩やかに剥奪していくものであり、破損の問題と同等の重要性を占めている。特に、内外回廊の浮彫りは各場面が物語性に豊かで、様式的なパターンとして配される他の彫刻装飾と比して際だって重要な価値を有する<sup>31</sup>。

20世紀初頭の浮彫りの記録写真<sup>32</sup>との定点観察による経年調査では、石材の劣化がここ一世紀だけでも進行している様子が確認されている<sup>33</sup>。アンコール遺跡群に認められる石材の劣化プロセスの多くは共通しているが、パイヨンの砂岩の劣化状況は他の遺構と比べてとりたてて劣悪な部類には属さない。

砂岩の劣化は、その材質に起因する問題と、建物の構造形式や組積部位に関係して引き起こされる問題とに分けられる。石材の質に関しては、石材の色によって多少異なるようである。というのも、パイヨンでは微妙に異なる色の石材がモザイク状に積み上げられているが、その色の違いが石材の耐性の違いを示している場合が多い。後者の問題には、堂山型寺院に共通する基壇側面の石材剥離劣化などが挙げられる<sup>34</sup>。また、柱や扉縦枠材の足下、屋根裏面や窓や扉の框の下面といったある特定の部位に集中して発生するアンコール遺跡に共通する劣化現象はパイヨンにおいても同様である<sup>35</sup>。

劣化は多様な原因からの複合的な作用によるものであるが、主として温度変化、塩類風化などの物理化学的作用と、植物、地衣類、真菌類、細菌などによる生物学的作用が原因となる。劣化への対処策には、付着物の除去、石材の強化、撥水性の付与が一般的であるが、特に年間を通じて高温多湿なアンコールにおいては、材料、工法ともに現行の技術水準では十分な対応が難しい状態にある<sup>36</sup>。

劣化の様態もまた多様であり、薄く一枚剥離している箇所から、多層に剥離している箇所、脆く土壌化して直ぐにでも剥落してしまう箇所、表層は残存しているものの、打診すると石材の内部で浮いてい

## 4. Degradation

### 4.1 Overview of degradation phenomenon of the Bayon

Unlike some destruction phenomenon that may bring the monument in sudden danger of collapse, degradation problems of stone material hardly affects the monument abruptly but instead they gradually but surely deprive artistic expressions appeared on the stone surface that can never be replaced once lost. The bas-reliefs of the inner and outer galleries are full of life in subjects and exceptionally unique even compared with other decorative sculpture that could be categorized in styles.<sup>31</sup>

Under the photographic comparison survey conducted by JSA,<sup>32</sup> degradation of stones are seriously progressed even in this 100 years.<sup>33</sup> What could be said for the degradations of the stone element is by and large similar throughout Angkor monuments, but relatively speaking, degradation state of the Bayon is not considered to be serious.

Degradation of dimension stones is either originated by the property of the material, or by the structural formation or settings of materials. As far as the quality of stones are concerned, colors of the stones can tell the difference in quality. Stones in the Bayon are patch-worked with sandstones of slightly different colors, but this subtle difference in colors can be the indications of durability. One of the examples of the cases of degradation caused by the structural formation is delamination phenomenon occurring on the side of foundation mass walls.<sup>34</sup> Degradation phenomena appear specific to a certain architectural parts such as: bases of pillars and doorjambs, behind the roof, or stiles and rails of fenestrations are communal problems of monuments in Angkor.<sup>35</sup>

Although degradation is complex and multi-lateral problem, its causes can largely be classified by the physical-chemical causes affected by such as thermal change and efflorescence and biological infestation causes affected such as by plants, lichens and algae, or bacteria. Countermeasures for degradation of stones usually include removal of infested substances, consolidation, or application of repellants, but in case of the Bayon, the choice of materials and methodology are extremely limited because of harsh environmental condition throughout the year.<sup>36</sup> How causes of degradation appear to the surface is not uniform as well. There is an occurrence of a thin scaling to delamination of progressed to the several layers. Decomposition of the substance is so progressed in some areas that the surface shows sugaring. Lifting and micro cracks can occur not only on the surface but also inside of the stone, which only could be detected either by knocking on the surface as an in situ non destructive test. It was recorded that some stones has lost layers of more than 100mm from the surface.

### 4.2 Causes for degradation

Understanding how difficult it is to make clear distinction of each cause for degradation, dividing causes either by chemical or biological factors will help organize and better comprehend

る箇所、微小な亀裂が入っている箇所、半球状の窪みができて風化している箇所などが認められ、場所によってはすでに当初の石材表面から十数 cm も剥離している箇所もある。

### 4.2 各劣化要因

石材の劣化破損の要因を単純に区分することは困難であるものの、ここではその一次要因を化学的作用、生物的作用に分類して考えてみたい。これらの作用はいずれも相関的なものであり、幾つかの作用が一連のプロセスを有する場合が多い。劣化の様態と劣化箇所、そして劣化原因とはそれぞれ因果関係を有するものの、様々な要因が複合的に作用していることから、同箇所においても劣化は一樣ではない。以下に推測される劣化要因を示すが、特に強く劣化に影響している塩類風化についてはそのプロセスを整理した。

#### 4.2.1 化学的劣化

石材が劣化するという現象は最終的には物理的な作用に至るものであると考えられるため、実際には物理化学的劣化というのが正確であるかもしれない。岩石中の成分と空気、雨水、浸透水との化学的反応により鉱物の変質、分解などが引き起こされたものが主因である。

##### a) 熱膨張と収縮

昼夜の厳しい温度変化、降雨による急激な冷却による砂岩の収縮などが繰り返されることにより、各造岩鉱物間の体膨張率の違いによる疲労破壊が劣化原因の一つであると推測されている。感熱式赤外線カメラを利用した調査では、例えば、屋根材の表面では一日の温度変化は 40°C に達し、降雨時には一瞬にして 30°C 以上もの温度変化が生じており、熱による膨張・収縮の繰り返しが剥離を助長していると考えられている<sup>37</sup>。

##### b) 乾湿の繰り返しや流水による鉱物の溶解流出や摩耗

砂岩が湿潤と乾燥を繰り返すことにより、構成鉱物中の粘土質分が流出し、細片化、粒状化することが推測されている。また、石材の細孔内への水分の出入りが作用していること、石材表面に堆積した埃や砂粒を伴って雨水が集中的に流下することによる石材表面の摩耗なども石材劣化の原因とする考え方がある。

##### c) 塩類風化

塩類風化は化学的劣化における原因としてその最たるものである。塩類風化のメカニズムとしては、水和作用によって生じる応力、溶液から結晶化する際の応力の二種類が考えられる。塩の供給源については未だ明らかではないものの、岩石を構成する

the state of degradation phenomenon presently occurring in the Bayon. Following analyses are thus made somewhat hypothetically since all degradation phenomenon changes its course of progression and symptom depending of relativity to one another. As the most influential factor separate section is made for efflorescence problems.

#### 4.2.1 Chemical degradation

Since chemical degradation eventually comes out to surface by physical destruction in minor scale for our eyes, it is perhaps more suitable to describe chemical-physical degradation.

##### a) Thermal expansion and shrinkage

It is suggested that recurrence of shrinkage and expansion caused by drastic thermal difference within a day or rapid drop in temperature mostly after heavy rainfalls eventually result into fatigue failure that occurs by the differences in cubical expansion coefficient of each rock-forming minerals. According to the investigation using thermal infrared camera, changes in surface temperature of the roof within a day are as high as 40°C and after the rain temperature can drop lower by 30°C. This severe condition is considered to be contributing to the degradation of the material.

##### b) Decomposition of rock minerals

Repetitively being under the condition of dry and humid, sandstone material loses its clay minerals or its cementitious mineral, which will have the material eventually decompose over time by the chemistry of compound substances. Cementitious material in the subject sandstone here are mostly of mica group (belongs to Aluminum silicate compounds group  $+ (AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$  or of kaolinite.  $(Al_2(Si_2O_5)(OH)_4)$  Thus, the material gradually disintegrates and eventually granulates and crumbles. Moreover, with an introduction of water into pores and subject to heat, micas are turned into vermiculite (hydrated laminar-magnesium-aluminum-iron silicate). Vermiculite under subject to heat (helped by introduction of water) breaks the bond of silica ( $SiO_2$ ) to instigate chemical reaction causing mechanical separation of layers, i.e. expansion of volume would occur: exfoliations of layers push off to the surface. In addition, this physical change in property allows more water to penetrate deeper into the stone to accelerate chemical reaction further. Generally speaking, these mineralogical degradations of material precede biological degradations.<sup>37</sup>

##### c) Efflorescence

Perhaps the most directly affecting chemical degradation phenomenon in dimension stones we have to deal with is efflorescence. Mechanism of efflorescence could either by the force caused by hydration or the force caused by crystallization. Although where the problematic sodium comes from is not exactly confirmed, chloride contained naturally in the ore, phosphoric acid or nitric acid contained in bat guano,<sup>38</sup> or cal-

鉱物自体に元来含まれている塩類、土壌中の塩類、藻類や地衣類といった石材表面の付着生物の代謝物として生じた塩類が雨水により流出したもの、コウモリの排泄物<sup>38</sup>に含まれたリン酸や硫酸、既往修復時に使用されたセメント中の化合物の水和反応物などが推測される。

主要な劣化原因と考えられる、コウモリの排泄物に関連する塩類風化、雨水の炭酸に関連する塩類風化については後述する。

##### d) 鉱物の変質

砂岩の膠結物質には粘土鉱物が含まれている。粘土の鉱物はカオリナイトもしくは黒雲母や金雲母などの雲母類であるが、雲母類は水を含むことによりパーミキュライトに変質し、膨張を伴う劣化が推進する。その結果、砂岩に膠結力を与えていた二酸化ケイ素の結合が崩壊する。この崩壊により水の浸透が容易になるため、劣化はより加速される。このような鉱物学的劣化が生物学的反応よりも先に起こり、さらなる劣化を助長するものと考えられている<sup>39</sup>。

##### e) 酸性雨

1960年代の計測ではアンコールにおける雨水はpH5.95~8.35の値を示している<sup>40</sup>。また最近の計測でも降り始めて約pH6.0、降雨時の平均でもpH6.5程度であって<sup>41</sup>、化学的劣化を引き起こす程の酸性度には至っていない。ただし、雨水が石材表面に着水した時点で、地衣類や細菌が排出した酸を加え、石材劣化に影響を及ぼすことが推測されている<sup>42</sup>。

アンコールの建物を構成している砂岩のマトリックス部は耐酸性に乏しい炭酸塩鉱物が若干含まれているために、強い酸性の雨水が降雨した場合には、これらが溶解し、砂粒の接合が弱まり脱落するという劣化の過程が推測される。心配される中国の工業化や工場廃棄物の影響は、北風の吹く乾期に集中することが予想される。

#### 4.2.2 生物的劣化

##### f) 高等植物による劣化

高等植物の樹根による物理的な問題については破損の項で前述したとおりである。高等植物の及ぼす問題は石材劣化には直接的には関与しない<sup>43</sup>。ただし、植物は温度や湿度を保持し、蒸発速度を低下し、降雨の激しさを和らげるにより遺構内の微気象を安定化させ、その劣化速度を減速させている一面を持つ。

##### g) 地衣類や藻類による劣化

地衣類や藻類が付着すると、石材表面には長時間水分が保持されることにより石材の鉱物劣化が助長される<sup>44</sup>。また、塵埃や土壌が蓄積されることにより石材表面に有機物が供給され、劣化に関与する微生物の生育環境が形成される。さらに、石材中に進

cite contained in the rainwater are probable. For further detail in regard to efflorescence please see sections below.<sup>39</sup>

#### e) Acid rain

According to the survey of 1960, the rainwater collected in Angkor region retain pH factor of 5.95 to 8.35.<sup>40</sup> In recent survey, in comparison, pH factor was recorded of 6.0 in the beginning of precipitation and by average throughout the precipitation of 6.5.<sup>41</sup> The number indicates it is not yet reached in the range of danger as far as the precipitation acidity is concerned. However, when the rainwater is collected on the surface of the stone, soluble acid generated by lichens or algae should be in consideration when investigating influences of acid in the stone.<sup>42</sup>

Sandstones used in Angkor region carries small portion of carbonized mineral low in acid resistance. In case when the stones are exposed to the water with high acid content, these substance will be dissolved and bondage between particles will be weaken. Undesirable factor such as industrialization and toxic waste problems in China may affect the moment during the dry season when northerly wind likely occur.

#### 4.2.2 Biological degradation

##### f) Degradation due to higher plants

How the higher plants could affect the monument with their powerful roots were described above under one of the destruction causes. The higher plants, on the contrary, have no effect on the monument directly in terms of degradation of materials.<sup>43</sup> Except, plants retain the power to control microclimate the surrounding by containing temperature and humidity, reducing evaporation rate and harshness of rainstorms. They would rather contribute to retard the rate of degradation.

##### g) Degradation due to lichens and algae

When lichens and algae found their beds on the surface of a stone, they interfere the stone from breathing naturally from its surface: they tend to make the stone to retain moisture longer than usual, which contributes to the factors that accelerate chemical degradation of mineral compound as described earlier.<sup>44</sup> In addition, when the surface are soiled on top of these organism, it provides suffice living environment for lichens and algae. Some organism that live by releasing spores could damage the stone with their spores sent inside of the stone. Ionic exchange is assisted by the acid released by lichens: negative Hydrogen ions released from lichens attract charges from positive metal ions contained in the stone to activate some kinds of chemical reactions. Algae are said to have been contributing to control the amount of nitrogen contained in the air.<sup>45</sup> The sandstones used in the Bayon are all quite greenish in color. If one compares to the surface of sandstones in Angkor Wat, obvious difference in living condition of the surface are noticed immediately. There was no research conducted to look into the relativity between the previous chemical cleaning intervention

入する菌糸により物理的な破壊が及ぼされるに至る場合もある。この他、酸の分泌に助長されたイオン交換、地衣類から生じた水素イオンが鉱物中の金属イオンとの交換を加速することが窺われている。藻類は空中窒素の固定にある程度の役割を果たしている可能性がある<sup>45</sup>。バイヨンの砂岩は全体的に緑色を帯びており、アンコール・ワットと比較すると石材表面の藻類の生息状況に明らかな違いがある。アンコール・ワットで過去に行われた化学的な全体清掃はバイヨンでは行われたことがないが、石材の化学的清掃を検討する場合には、こうした比較調査が重要となろう。

##### h) 微生物による劣化

劣化に関与する微生物は大きく分けて有機物を栄養分にする従属栄養細菌と、無機物を栄養分にする硫黄酸化細菌や硝化細菌などに分けられる。

細菌類や真菌類で構成されている従属栄養細菌は、地衣類や藻類が付着することにより保持された有機物を栄養分とし、それらを分解しプロピオン酸、乳酸などの弱い酸性物質を細胞外に排出する。排出される酸性物質は石材の表面を徐々に溶かすと考えられているが、その速度は極めて緩やかなものであると考えられる。JSAによる調査では、供試した全ての試料において1gあたり $10^4$ CFUのオーダーで計数され、試料間で大きな差は見られなかった<sup>46</sup>。

硫黄酸化細菌や硝化細菌は、コウモリの排泄物などに含まれる硫黄やアンモニウムなどの無機体物質を利用して生育し、硫酸や硝酸などの強酸を細胞外に排出する。細胞の外に排出された酸性物質は石材を溶かすことにより劣化を進める。また、硫酸や硝酸は、後述する柱根本の細りに関与する塩類風化の過程においても重要な役割を果たしている。

硫黄酸化細菌については、ここ数年の経時的な調査により、年々減少し酸化活性が弱くなっていることが明らかとなっている。伽藍内の清掃が行き届くようになったことにより、一般微生物の生育がより困難な酸性環境において生存可能な、無機物でより低いpHを至適とする種類の菌相に変わりつつあることが推察されている。

従属栄養細菌、硫黄酸化細菌の両者ともに、雨季には活性が強化していることが確認されており、水分の抑制が細菌の生育に大きく影響することが判明している<sup>47</sup>。

#### 4.3 主要な塩類風化のプロセス (Fig. 3-3)

##### 4.3.1 硫酸塩による塩類風化

塩類風化の中でも硫酸塩による劣化は大きな影響力を及ぼしている。硫酸塩は湿気があっても結晶化するため、アンコールの高湿環境下においても破壊を及ぼす。この劣化は、柱や壁体といった床面から立ち上がる部位の60cm程の高さまでで目立って認められる剥離の主要な原因である<sup>48</sup>。実際にアンコー

that could have alter the condition of susceptibility for growing algae on the surface.

#### h) Degradation due to microorganism

Microorganisms related to degradation on architectural stones are largely classified by its carbon source nutritional group: autotrophic bacteria that require carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) include bacteria such as nitrifying oxidizer or sulfuric oxidizer; and heterotrophic bacteria that require organic substrate.

Autotrophic groups are consisting mainly of bacteria or fungi, taking nutrients from algae or lichens that live on a surface of a stone. Studies on stone degradation found that the acid substances, though weak, affect the stone material eventually, but the speed of degradation are very slow.<sup>46</sup> On the other hand, nitrifying and sulfuric oxidizing bacteria release much stronger acid. Moreover the nitric and sulfuric substrate are becoming serious source of problems of efflorescence that are most evident in the foot of pillars and wall elements. The mechanism of such efflorescence degradation is further described in the following section.

According to the recent survey, amount of sulfuric oxidizing bacteria is in the tendency of decline. Periodic cleaning of bat guano must be the direct contribution to alter such environmental change for microorganisms. The same survey noted that activities of bacteria are more prevalent during the rainy season, which suggest that activities of bacteria could be regulated if water source is controlled with some means.<sup>47</sup>

### 4.3 Principal process of efflorescence appeared in the Bayon (Fig. 3-3)

#### 4.3.1 Efflorescence due to sulfuric acid

Sulfuric type of acid affects is the most influential substance that causes efflorescence on the stone. Sulfuric acid crystallizes even under the presence of humidity, degradation occurs in the humid tropical climate environment. This type of degradation is most conspicuous in the form of delamination occurring about bottom 60cm of vertical architectural unit such as walls or pillars.<sup>48</sup> In fact, according to the investigative analyses, the chemical compound of the pillar bottom of Angkor Wat presented higher contents of sulfurous material as compared to the upper part of the same pillar.<sup>49</sup> From the material analyses conducted on the core samples taken from the pillar bottom under 40cm, the higher concentration of sulfur was confirmed in the surface 1cm layers.

Origins of sulfuric substance are presumed for several sources.<sup>50</sup> Sulfur contained in bat guano is the highest probability. Sulfuric contents in rainwater was also confirmed.<sup>51</sup> In addition, sulfuric substances generated by the microorganism living in the soil sucked up by capillary action are accumulated in the stone overtime. Sulfuric compound originally contained in the sandstone should also be taken in an account. Portland cement used for previous intervention also contains sulfuric substance.<sup>52</sup> *Streptomyces* also reduces sulfuric substance.

ル・ワット柱下部の劣化部砂岩の化学組成は健全なものに比べて高濃度の硫黄が確認されている<sup>49</sup>。また、柱下部をコアサンプリングして硫黄の含有量を分析した結果からも、剥離劣化している高さ 40cm までのサンプリング石材においては、表面 1cm 程度までに硫黄が濃集していることが確認されている<sup>50</sup>。

硫黄の起源については、幾つかの起源が推測されている。その最たるものは、コウモリの排泄物に含まれている硫黄成分である<sup>51</sup>。また、雨水にも硫黄成分が含まれていることが窺われている<sup>52</sup>。この他、土壤中で硫黄還元細菌より還元された硫黄成分が毛管現象により建物の壁面や床面に上昇して供給されるもの、石材に元々含まれているもの、修復時に使用されたポルトランドセメント中に含まれているもの<sup>53</sup>、また放線菌により還元されるもの<sup>54</sup>等が挙げられる。

これらの還元型の硫黄成分は、硫黄酸化細菌によって酸化され、雨水に溶け込み石材内に取り込まれる。細菌の仲介がない場合には酸化反応は緩慢にしか進まないことから、細菌の仲介は必須である。この水分は石材内を毛細管現象により上昇するが、その過程において石材内のカルシウムを溶解し、毛細管現象の上限となる高さ 60cm 以下の面での水分の蒸発に伴い石材表面に硫酸塩が濃集する。この時、溶解されたカルシウムと反応して石膏となって結晶化し、石材を破壊する。カルシウムの供給源はコウモリの排泄物、石材内に当初から含有されているもの、修復時のセメントなどが考えられる。

#### 4.3.2 カルサイトによる塩類風化

雨水には空気中の炭酸ガスが含まれており、わずかな酸性を帯びている。また、雨水が石材表面に接触すると微生物の活動や植物根の呼吸によって排出された炭酸ガスを取り込み、酸性度を増す。このような雨水が石材中に染み込むと、石材の結合材となっている炭酸カルシウム等のカルシウムを溶かし込みながら移動する。また、酸性化された雨水は、修復に使用されたコンクリートを中性化し、水酸化カルシウムを炭酸カルシウムに変化させ、カルシウム分を補充する働きを伴う。カルシウムは雨水に溶け込んでいた炭酸水素イオンと結合し、水分の蒸発する面において集中して炭酸カルシウムとして再晶化する。この結晶圧により石材表面が破壊され、剥離を引き起こす。屋根や、窓枠、扉枠、繋ぎ梁といった部材の下面では、屋根から染み込んだ雨水が重力によって下降し、蒸発面として作用していることに加えて、砂岩の層理面が水平に用いられていることもあり、このような劣化が顕著である。

#### 4.3.3 リン酸塩による塩類風化

コウモリの排泄物に含まれているリン成分が、硫酸塩による塩類風化と同様に、雨水に溶解して毛管現象により上昇し、磷酸塩鉱物として結晶化する。

Sulfuric substance produced by chemical reduction is oxidized by *Thiobacillus thiooxidans* and dissolved into rainwater then into the stone. The speed of the process is much slower without the presence of microorganism. The water, into which sulfuric substance is dissolved, further goes upward by capillarity, keeps dissolving calcareous material contained in the stone. Thus, in the process of chemical reaction occurring within the upper limit of capillarity: about 60cm, sulfate is produced on the surface by dehydration. During this process, calcium sulfate, or gypsum is produced by the chemical reaction of concentrated sulfur and dissolved calcareous materials, which eventually change the volumetric property and result into disintegration of stone as a unit. Origins of calcareous materials are found not only from the stone itself but also from bat guano or cementitious materials used in previous restoration intervention.<sup>53</sup>

#### 4.3.2 Efflorescence due to calcite

Rainwater contains carbon dioxide in the air and slightly high in acidity. When the water hits the stone surface the contents of carbon dioxide gets higher since it is produced by microbiology living in and on the stone. This water also assists in chemical reaction of dissolving calcareous materials contained in the stone and by dehydration it forms calcium carbonate, like calcium sulfate, increasing volumetric property that causes physical destruction of the stone. Architecturally speaking, the stone used for the roofs, window frames, or joint members are subject for this type of degradation since exposure to sun and air helps dehydration process. Stone grain is used horizontally in this case affects adversary to instigate degradation processes.

#### 4.3.3 Efflorescence due to phosphoric acid

Phosphate contained in bat guano forms crystallization of calcium phosphate. Process and mechanism of formation is just like the ones of calcium sulfate described above. In addition, phosphate contained in bat guano is acid and water soluble without an assistance of oxidization by microbiology. Phosphate is rapidly suck up into the water.

#### 4.3.4 Efflorescence due to nitric acid

Ammonium substance contained in bat guano turns into strong nitric acid. This strong acid with an assistance of nitrifying bacteria decomposes the stone. Formation of nitric acid is either by oxidization from ammonium to nitric oxide, or by the nitrite nitrogen produced as a middle form in the nitrification process. Chemical reaction process of nitrite nitrogen is faster than the one from ammonium.

## Notes

- Following lists include reports and publications that discuss deterioration of materials or structures in Angkor monument site:  
[Materials in French]

コウモリの排泄物に含まれているリン成分の殆どは酸化された形で存在しているために、酸化細菌の仲介を必要とせず、また水に易溶であることから、石材へは速やかに吸収される。

#### 4.3.4 硝酸塩による塩類風化

コウモリの排泄物に含まれているアンモニアは、酸化されて硝酸となることで、その強酸により石材が溶解することが考えられる。酸化作用には硝化細菌の働きが必須であるが、亜硝酸細菌によるアンモニアから亜硝酸への酸化と、硝酸細菌による亜硝酸から硝酸への酸化という段階的な変化によって、最終産物である硝酸が生産される。

## 註

- フランス極東学院による石材劣化に関する研究の中でも重要なものとしては次の文献が挙げられる。P. Fusey, *Altérations biologiques des grès cambodgiens et recherche de moyens de protection*, Paris, 1991; J. Dervet, "Recherches sur l'ÉROSION des grès des monuments d'Angkor," *BEFEO* 51(2), Paris, 1963, pp. 453-534; E. Saurin, "Quelques remarques sur les grès d'Angkor," *BEFEO* 46(2), Saigon, 1954, pp. 619-634. アンコール・ワットの修復に参与したインド考古局は、その修復前後に修復前調査報告書にあたる K. M. Srivastava, *Angkor Wat and cultural ties with India*, Books & Books, New Delhi, 1987 と、工事完了報告書にあたる B. Narasimhaiah, *ANGKOR VAT: India's Contribution in Conservation 1986-1993. Memoirs of the archaeological survey of India*, New Delhi, 1994 において、石材の劣化問題について触れている。1990 年より、パイヨンの修復工事を計画していたポーランドもまた、保存修復に先立って岩石学的な調査を実施しているが、これについては PKZ ed: *The Bayon Temple: the Report of the Polish-Cambodian archaeological and preservation mission*, vol.1, n.p., 1990 において報告がなされている。現在アンコール・ワットのアプサラ像およびペディメントを中心とした浮彫りの修復を進めている GACP は、石材劣化について、各種の研究を行っているが、H. Leisen and E. V. Plehwe-Leisen, "Untersuchung und Konservierung der Apsara- und Devata-Reliefs am Tempel Angkor Wat, Kambodscha," in W. Altermann, E. V. Plehwe-Leisen and H. Leisen (Hrsg.), *Beiträge aus der Lagerstättenforschung, Archaeometrie, Archäologie und Denkmalpflege*, Münchener Geologische Hefte; Reihe A 23: 203-214; München, 1998 などの報告がある。構造的な破損の問題については、ブレ・ルプ寺院およびアンコール・ワットの護岸の修復を実施したイタリア隊により、G. Croci, *The structural behavior of the temples of Angkor*, Phnom Penh, 1998; G. Croci, *The conservation and structural restoration of architectural heritage*, Advances in architecture series, UK, 1998 などにおいて報告されている。バンテアイ・スレイにおいて保全活動を行っている上智大学の調査隊では共振法による石材劣化評価の研究等の研究が行われ、T. Moriai, Y. Matsumura and K. Sorith, "Diagnosis of the stone of Banteay Kdei using the resonance method," *Culturelle du Cambodia Institute of*



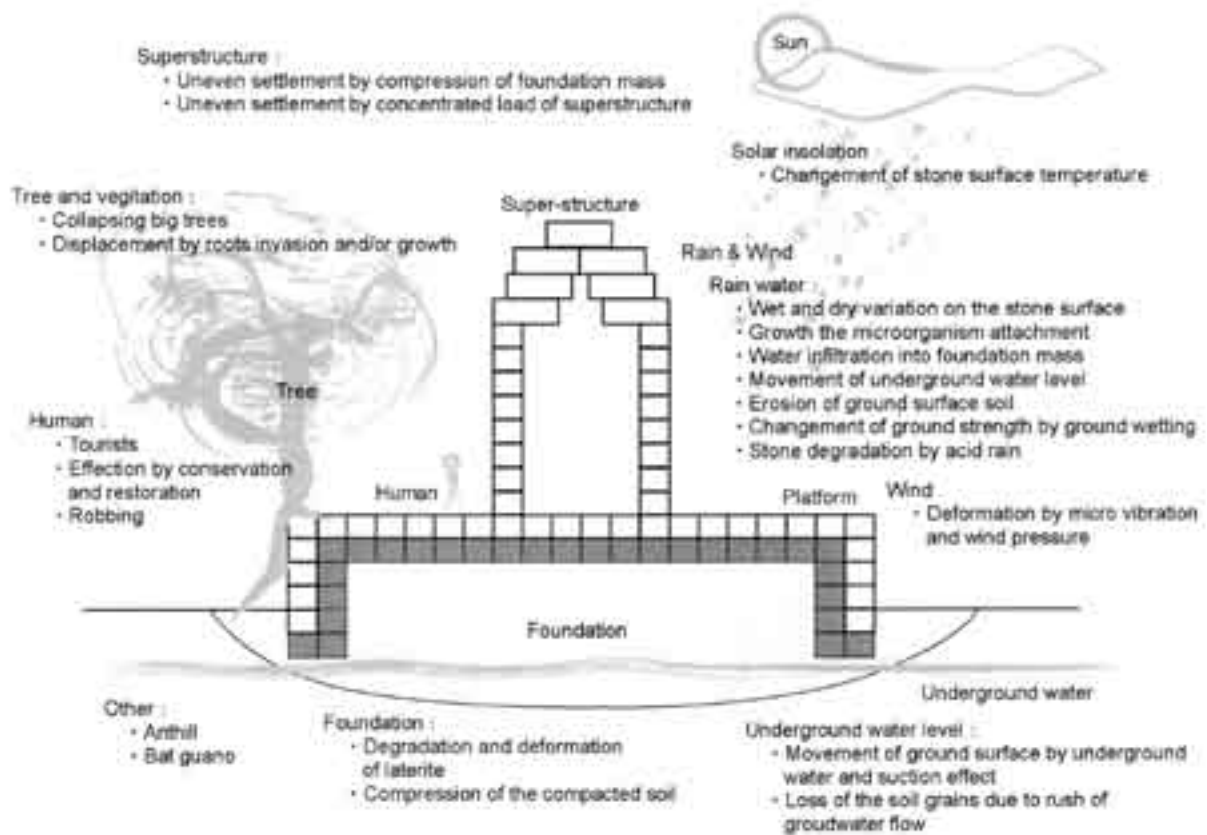
- P. Fusey, *Altérations biologiques des grès cambodgiens et recherche de moyens de protection*, Paris, 1991; J. Dervert, "Recherches sur l'ÉROSION des grès des monuments d'Angkor," *BEFEO* 51(2), Paris, 1963, pp. 453-534; E. Saurin, "Quelques remarques sur les grès d'Angkor," *BEFEO* 46(2), Saigon, 1954, pp. 619-634. [Materials relating to the previous intervention of Angkor Wat by Indian Team]
- K. M. Srivastava, *Angkor Wat and cultural ties with India*, Books & Books, New Delhi, 1987; B. Narasimhaiah, *ANGKOR VAT: India's Contribution in Conservation 1986-1993. Memoirs of the archaeological survey of India*, New Delhi, 1994. [Materials by Polish Team]
- The Atelier for Conservation of Cultural Property ed.: *The Bayon Temple: the Report of the Polish-Cambodian archaeological and preservation mission*, vol.1, n.p., 1990. [Materials by GACP]
- H. Leisen and E. V. Plehwe-Leisen, "Untersuchung und Konservierung der Apsara- und Devata-Reliefs am Tempel Angkor Wat, Kambodscha," in W. Altermann, E. v. Plehwe-Leisen and H. Leisen (Hrsg.), *Beiträge aus der Lagerstättenforschung, Archäometrie, Archäologie und Denkmalpflege*, Münchener Geologische Hefte; Reihe A 23: 203-214; München, 1998. [Material relating to the general structural behavior]
- G. Croci, *The structural behavior of the temples of Angkor*, Phnom Penh, 1998; G. Croci, *The conservation and structural restoration of architectural heritage*, Advances in architecture series, UK, 1998. [Material relating to new investigative method]
- T. Moriai, Y. Matsumura and K. Sorith, "Diagnosis of the stone of Banteay Kdei using the resonance method," *Culturelle du Cambodia Institute of Asian Cultures, Sophia University*, no. 14, 1997. In addition, Tokyo National Institute of Cultural Properties is in process of making a report in relation to the stone deterioration found in Tanei site.
- 2 For establishing countermeasures for deterioration of the monument, investigation teams of JSA are divided in the following units: 1) Geology, geotechnology and environment, 2) Petrology, 3) Conservation science, 4) Restoration design, 5) Architecture.
  - 3 Tafoni degradation is not discussed in this context. For more detailed discussion, please refer to: E. Uchida *et al.*, "Deterioration of the Sandstone Material in the Angkor Monument, 2. Tafoni observed in the inner pillars of the Outer Gallery of Bayon," *ARJSA* 2002, pp. 188-189.
  - 4 Classification of pathology of deterioration by GACP are: 1) Single scale - thin, 2) Single scale - thick, 3) Multiple scale, 4) Flaking, 5) Sanding, 6) Exfoliation, 7) Splitting, 8) Chipping/Disintegration, 9) Weathering of components, 10) Cracks - micro cracks / wide cracks / breakage, 11) Sub florescence, 12) Efflorescence, 13) Mineral inclusions.
  - 5 Architecture unit of JSA confirmed that the central points of each towers in Bayon are located accurate geometrical position. And Geology, geotechnical and environment unit also confirmed little uneven subsidence around the central tower, please refer to; Geology, geotechnical and environment unit of JSA: "Measurement Survey of Inner Gallery and the Main Tower in the Bayon," *ARJSA* 1999, pp. 213-214.
  - 6 N. Matsukura *et al.*, "Investigation on Inclination Tendency of the Towers in Bayon," *ARJSA* 2002, pp. 337-358.
- Asian Cultures, Sophia University*, no. 14, 1997 等の報告がある。
- タ・ネイをサイトとして石材保存に取り組んでいる独立行政法人文化財研究所東京文化財研究所では微気象環境と石材劣化の関係について調査が進められている。
- 2 JSA では、地盤・地質・環境班、岩石班、保存科学班、修復設計班、建築班の各調査班が破損と劣化の研究に取り組んでいる。地盤・地質・環境班は土木環境、地盤工学、構造工学の各分野から主に構造体の破損に関する調査を行っている。また、修復設計班と建築班は、主に構造解析、建築材料、建築構造、建築工法から破損に関する調査を行っている。岩石班と保存科学班は石材劣化に関する調査を行っているが、岩石班は主に物理化学的劣化作用に注目した研究を、保存科学班は生物学的劣化作用に注目した研究をそれぞれ行っている。
  - 3 バイヨン外回廊の身舎柱に広く見られるタフォニー劣化は部材を横断して劣化が進んでおり、ここでは例外とする。なお、タフォニー劣化が、限定的な箇所では認められない理由、またその劣化機構については今のところ不明である。内田悦生ほか「アンコール遺跡に見られる砂岩材の劣化 2. バイヨン外回廊内柱に見られるタフォニー」、『アンコール遺跡調査報告書 2002』、p. 179.
  - 4 アンコールの石材劣化の分類については、ドイツの修復隊である GACP による試みがある。ここでは、1) Single scale - thin, 2) Single scale - thick, 3) Multiple scale, 4) Flaking, 5) Sanding, 6) Exfoliation, 7) Splitting, 8) Chipping/Disintegration, 9) Weathering of components, 10) Cracks - micro cracks / wide cracks / breakage, 11) Subflorescence, 12) Efflorescence, 13) Mineral inclusions の 13 の症状に細分化される。
  - 5 JSA による測量の結果では、バイヨン各塔の中心はほぼ直線上に配されており、建設当初の施工精度の高さと経年変位が小さいことが確認されている(未報告資料)。また、主塔基礎の周囲では大きな浮沈差は認められない。「第 6 章 地盤・地質・環境学 Bayon 中回廊および主塔基礎の水準測量結果」、『アンコール遺跡調査報告書 1999』、pp. 204-210.
  - 6 松倉信裕ほか「バイヨン尊顔塔の傾斜傾向」、『アンコール遺跡調査報告書 2002』、pp. 329-349.
  - 7 内外回廊の修復は 1911 年より Jean Commaille によって始められ、山積していた石材は外回廊の内側に積み上げられ、現在では「コマイユの積石 "tas Commaille"」と呼ばれている。1916 年の回廊壁体の部分修復を経て、1931 年から 1932 年には Georges Trouvé の指揮下において、倒壊していた回廊の柱が再設置された。隅楼の屋根形式については、尊顔塔と交差ヴォールト式の屋根であった二つの可能性が指摘されている。
  - 8 塔の一部解体再構築は主に Maurice Glaize の指揮の下で進められた 1939 年から 1946 年にかけての修復で実施されている。
  - 9 岩崎好規「バイヨン主塔の安定」、『アンコール遺跡調査報告書 2000』、pp. 233-245.
  - 10 危険箇所マッピングは、緊急の処置が必要である箇所、できるだけ早急な処置が望ましい箇所、状況の観察を要する箇所の三段階に分類されている。また、構造的崩壊の危険箇所を中心に登録しているが、部材の剥落や亀裂など部分的な破損に留まる危険箇所も含んでいる。
  - 11 「第 4 章 地盤・地質・環境学 2. ボーリング調査結果」、『アンコール遺跡調査報告書 1996』、pp. 296-324.

- 7 Stone piles compiled in the inner courtyard is often referred as "tas Commaille" after Jean Commaille who took on the major restoration campaign in 1911 under EFEO project.
- 8 Maurice Glaze directed the partial reconstruction project of the towers in Bayon from 1939 to 1946.
- 9 Y. Iwasaki, "Stability of Main Tower at Bayon and Some Results based upon Monitored Structural Behavior," *ARJSA* 2000, pp. 281-296.
- 10 Dangerous-parts are classified in to three levels; 1) Need an emergency measure, 2) Need a measure and 3) Need a monitoring.
- 11 Geology, geotechnical and environment unit of JSA: "Boring results and ground condition," *ARJSA* 1996, pp. 328-358.
- 12 Underground water behavior has been monitored since April of 1995 by Geology, geotechnical and environment unit of JSA.
- 13 M. Fukuda, "Behavior of the ground near N1 Tower and Suction," *ARJSA* 2000, pp. 271-280.
- 14 Geology, geotechnical and environment unit of JSA: "Seasonal Change of Underground Water and Ground Characteristics," *ARJSA* 1996, pp. 362-363; Y. Iwasaki *et al.*, "Study of Ground near the Northern Library inside the Outermost Enclosure of Angkor Wat by Dynamic Cone Penetration Test," *ARJSA* 2002, pp. 295-304.
- 15 Geology, geotechnical and environment unit of JSA: "Geological and Geotechnical Study," *ARJSA* 1995, pp. 240-248.
- 16 Geology, geotechnical and environment unit of JSA: "Boring Results and Ground Condition," *ARJSA* 1996, pp. 328-358.
- 17 According to the recent monitor of condition on Southern Library of the Bayon, loss of interior soil is evident after the precipitation.
- 18 T. Narita and S. So, "Survey of the drains at Bayon," *ARJSA* 1998, pp.48-60. And efficiency of the drainage system in Bayon is argued in; Y. Iwasaki, "Conservation of Angkor Monument: Surface and Underground Water," in JSA ed. *Final report of the 8th Bayon Symposium on the Preservation and Restoration of Bayon*, UNESCO, Siem Reap.
- 19 K. Yamano, *et al.*: "Conservation science survey (1), Investigation of termites," *ARJSA* 2002, pp. 313-314.
- 20 EFEO commenced the maintenance work such as weeding and removing the dangerous trees since 1901. In recent years, JSA carried out the removing the big trees around restoration site in Bayon and Prasat Sour Prat. N. Matsukura, "Cutting down of dangerous big trees around Bayon for dismantling," *ARJSA* 1998, pp.527-528.
- 21 About 200 kinds of the plant were identified in and around the Banteay Kdei and Preah Khan. J. Yokoyama, "Biological environment surrounding the monument," *Renaissance culturelle du Cambodge* (5), 1991, pp.124-138.
- 22 Wind velocity and direction have been monitored by Geology, geotechnical and environment unit of JSA in the Bayon. Y. Iwasaki and M. Fukuda, "6.2 Meteorological and underground water study," *ARJSA* 1998, pp.331-340.
- 23 *op. cit.*, note 9.
- 24 Metal clamp has been used on the stone masonry in Khmer architecture. By the chemical analysis of clamp that was found from Northern Library of Bayon, this clamp is by iron and buffer material between clamp and stone is by lead. Petrology unit of JSA, "Chemical analysis of the clamp discovered from Northern Library of Bayon," *ARJSA* 1997, p. 265.
- 25 Though head of the door opening is one of the weak points of general stone masonry, Khmer structure adopted the various shape of JSA の地盤・地質・環境班では 1995 年 4 月よりパイヨンにおいて地下水位の自動観測を行っている。
- 13 福田光治「N1 塔の地盤挙動とサクション」、『アンコール遺跡調査報告書 2000』, pp.227-231.
- 14 「第 4 章 地盤・地質・環境学 4.2 地下水位の変動と地盤特性の変化」、『アンコール遺跡調査報告書 1996』, pp. 328-329、またアンコール・ワット北経蔵の近傍における同様の調査については、岩崎好規ほか「動的コーンによるアンコール・ワット外周壁内北経蔵地盤の調査」、『アンコール遺跡調査報告書 2002』, pp.287-295.
- 15 「第 4 章 1.4.3. 現地地盤および地質調査」、『アンコール遺跡調査報告書 1995』, p.198.
- 16 「第 4 章 2. ボーリング調査結果」、『アンコール遺跡調査報告書 1996』, pp.296-324.
- 17 JSA ではパイヨン南経蔵において、基壇内部からの土砂の流出に関する観測を行っているが、降雨後には土砂の流出が認められている。
- 18 パイヨンの排水システムについては、成田剛、So Sokuntheary 「第 2 章 4. パイヨン排水路調査」、『アンコール遺跡調査報告書 1998』, pp.42-52. また、排水溝による排水雨量の試算では、内回廊を横断する排水溝水量の観測結果を勘案して、雨量の 30% が排水溝から排出されていることが報告されている。Y. Iwasaki, "Conservation of Angkor Monument: Surface and Underground Water," UNESCO ed.: *Final report of the 8th International Symposium on the Preservation and Restoration of Bayon*, UNESCO, Siem Reap.
- 19 アンコールにおけるシロアリの調査としてはアンコール・ワット東門での同定調査が挙げられる。山野勝次ほか「保存科学調査 (1) 4. シロアリの調査」、『アンコール遺跡調査報告書 2002』, p. 303.
- 20 フランス極東学院は、その拠点がアンコールに設立される以前、1901 年よりパイヨン寺院の除草作業や樹木の伐採を行っていた。また、近年の JSA では、修復サイト近傍の危険大樹の伐採を実施した。「付章 4. パイヨンおよびプラサート・スープラ周辺における危険大樹の伐採」、『アンコール遺跡調査報告書 1998』, p. 507.
- 21 バンテアイ・クデイおよびブレア・カンを中心としたアンコール遺跡の植物相に関する報告では、約 200 種の植物の同定に取り組み、植生の除去に関する提言が与えられている。横山潤「遺跡をとりまく生物環境：特に植物について」カンボジアの文化復興、5 号、1991 年、pp. 124-138.
- 22 JSA ではパイヨン寺院の風速及び風向の自動観測を行っている。「第 6 章 2. 気象、地下水調査結果」、『アンコール遺跡調査報告書 1998』, pp. 316-325.
- 23 前掲書註 9 に同じ。
- 24 構造的に崩落が危険視される箇所には、石材上面に隣り合う部材間を連結するように鋸が使用されている。修復工事の解体時には、鋸が設置されていた痕跡だけが残り、鋸が認められない事例が認められており、施工時の石材固定のために鋸が一時的に使用されたものと推測されることもある。なお、パイヨン北経蔵の修復工事中に発見された鋸は鉄製で、鋸と石材の間を充填していた緩衝材は鉛であった。「第 5 章 6. パイヨン北経蔵の千切りの分析」、『アンコール遺跡調査報告書 1997』, p. 224.
- 25 組積造建築において大きな引張り力を負担する開口部は構造的な弱点となるが、これを補強するために、荷重を開口部の脇に逃がすための空隙が扉開口部の上方には設けられている。この空隙には多様な形状のものが認められるが、パイヨンでは概して形式的な空隙の形状は認められず粗雑な造りである。

- open space above this element in order to reduction the load. Generally, this shape in Bayon is rough triangle.
- 26 Stone elements were placed intentionally in horizontal bedding layers after Angkor Wat style period. E. Uchida: "3.3 Petrological Investigations," in JSA ed.: *Report on the Conservation and Restoration Work of the Northern Library of Bayon, Angkor Thom, Kingdom of Cambodia*, 2000, p. 68.
  - 27 As every Khmer quarries that have been discovered up to now are strip mining type of method, long material is supposed to be cut off in horizontal direction.
  - 28 B. Choi, *Study on the development of construction technique of the religious architecture in Angkor Period, Khmer empire*, Doctoral thesis in Japan University, 2001, pp.112-113.
  - 29 Though the nave-eaves structure has tendency to incline the pillar inside because of uneven load of roofing structure, there are no technique to set the pillar with inclination for increase the stability in Khmer architecture. I. Shimoda: "Present State of Displacement in the Northern Library inside the Outermost Enclosure of Angkor Wat," *ARJSA* 2002, pp. 55-72.
  - 30 Following articles discuss the masonry techniques in Angkor monuments. H. Parmentier, "La construction dans l'architecture khmère classique," *BEFEO* 35, Paris, 1935, pp.243-309; J. Dumarçay, "La stéréotomie de l'Asie méridionale du VIIIe au XIVe siècle," *BEFEO* 63, Paris, 1976, pp.397-445; B. Bruguier, "Sur quelques procédés de liaison utilises dans l'architecture de l'ancien Cambodge," *BEFEO* 78, Paris, 1991, pp.179-202; J. Dumarçay and P. Royere, *Cambodian architecture- eighth to thirteenth centuries*, Handbood of oriental studies vol. 12, Leiden, 2001, pp.14-17; H. Mauger, "L'Àsram Mahà Rosei," *BEFEO* 36(1), Hanoi, 1936, pp.65-94.
  - 31 Bas-relief on the Outer Gallery is better condition than Inner Gallery. This reason is supposed that rain water removing the crystalized salt on the stone at the Outer Gallery without roof.
  - 32 Photographs of bas relief on each gallery of Bayon (Inner Gallery 135 sheets and Outer Gallery 128 sheets) were taken from 1901 to 1904. H. Dufour: *Le Bayon d'Angkor Thom, Bas-Reliefs*, Paris, 1910.
  - 33 C. Pross, "Preparatory Investigation of the Present Condition of the Inner Gallery of Bayon," *ARJSA* 2000, pp. 23-32; Architecture unit of JSA, "Preparatory investigation of the present condition of the Outer Gallery of Bayon," *ARJSA* 1999, pp. 48-49.
  - 34 Especially, Ta Keo is remarkable temple to be confirmed such king of degradation phenomena. E. Uchida *et al.*, "Tabular exfoliation in the surface of the sandstone material in platforms," *ARJSA* 2002, p. 189.
  - 35 *ibid.*, "The deterioration pattern of the sandstone material observed in the Northern Library of Angkor Wat," pp. 185-188.
  - 36 T. Ebisawa *et al.*: "Conservation Science Survey (3), Preventing deterioration of the reliefs of the Inner Gallery of Bayon," *ARJSA* 2003, pp. 205-206.
  - 37 E. Uchida, *et al.*: "Investigation of the deterioration of sandstone blocks using a thermal infrared camera," *ARJSA* 2003, pp. 171-172.
  - 38 Study on the behavior of bat living in Angkor monuments was carried out by the conservation science unit of JSA in order to migrate them from monuments. M. Yoshiyuki *et al.*, "Notes on Bat fauna in Angkor Wat and Bayon Temple in Cambodia," *ARJSA* 2000, pp. 305-332; M. Yoshiyuki *et al.*, "Conservation Science Survey
  - 26 クメール建築では、アンコール・ワット期以降、意図的に層理面を水平方向に組積していることが報告されている。E. Uchida, "3.3 Petrological Investigations," in JSA ed.: *Report on the Conservation and Restoration Work of the Northern Library of Bayon, Angkor Thom, Kingdom of Cambodia*, 2000, p. 68.
  - 27 これまでに確認されているクメール建築に利用されたと考えられている採石場痕は、いずれも露天掘りであり、長材を鉛直方向に切り出すことは困難な作業を伴うものであることが推察される。
  - 28 柱の設置方法には、柱を敷石に呑み込ませるようにして設置するタイプ、柱を敷石上に設置するタイプ、それぞれのタイプの柱の下面にほぞを取り付けるタイプなどに大きく分類される。崔炳夏「クメール王朝アンコール期の宗教建築における建築構法の発展に関する研究」日本大学学位論文、2001年、pp. 112-113.
  - 29 身舎庇構造の三廊形式の建物では、大きな荷重を受ける身舎柱の沈下が、庇の壁体の沈下よりも大きいために、柱が内に転ぶ現象が良く認められるが建造当初は鉛直に設置されていたものと考えられる。下田一太「アンコール・ワット最外周壁内北経蔵の変位現状」、『アンコール遺跡調査報告書 2002』、pp. 53-69.
  - 30 クメール建築の相決り等の工法については、J. Dumarçay, "La stéréotomie de l'Asie Méridionale du VIIIe au XIVe siècle," *BEFEO* 63, Paris, 1976, pp. 397-445; B. Bruguier, "Sur quelques procédés de liaison utilises dans l'architecture de l'ancien Cambodge," *BEFEO* 78, Paris, 1991, pp. 179-202; 前掲書 28, pp. 107-113; J. Dumarçay and P. Royère: *Cambodian architecture- eighth to thirteenth centuries*, Handbood of oriental studies vol. 12, Leiden, 2001, pp.14-17; H. Parmentier, "La construction dans l'architecture khmère classique, Paris: *BEFEO* 35, 1935, pp. 243-309. に報告されている。特にアンコールも初期の頃は、石材間の水平面や鉛直面において相決りを施したり、ほぞによって固定したりする入念な造作が認められるが (H. Mauger, "L'Àsram Mahà Rosēi," *BEFEO* 36(1), Hanoi, 1936, pp. 65-94 など)、このような組積工法は時代を下るに従って認められなくなる。バイヨンでは持送り式の擬似アーチにおいて、隣り合う石材間で相決りが施されるが、雨水の浸入を防ぐことを一義的な目的とするものであり、構造を安定させるための意識的な処置であったのかは定かではない。また、アンコール・ワット期までは各石材層の部材成はほぼ一定に保たれ、上下の層間の微細な欠き込みにより構造体の一体化が図られているように推察されるが、バイヨン期になると不規則な寸法の石材が場当たりの使用されるようになり、石積み時の構造安定に対する意識は希薄化する。このように、組積工法は歴史的に徐々に石材の摩擦力だけに頼られる過程を経て、バイヨン期には最も省力的な組積作業が行われるに至り、部材間の結合力は著しく低下する。
  - 31 外回廊の浮彫りも内回廊と同様に重要であるが、外回廊の浮彫りは比較的良好な状態で保たれている。これは外回廊の屋根が崩落して、雨水が直接浮彫りを流水することによる結晶塩が洗浄される効果が生じているためであると考えられている。
  - 32 1901年から1904年にかけて行われた写真撮影で、内回廊では135枚、外回廊では128枚の浮彫りが記録されている。H. Dufour, *Le Bayon d'Angkor Thom, Bas-Reliefs*, Paris, 1910.
  - 33 Cheam Pross 「バイヨン内回廊の現況予備調査」、『アンコール遺跡調査報告書 2000』、pp. 19-26; Seur Sothy 「第2章 建築学 4.2 バイヨン外回廊の現況予備調査」、『ア

- (3), Bat ecological research for exchange the roosting site," *ARJSA* 2002, pp. 319-327.
- 39 P. Fusey, *Altérations biologiques des grès cambodgiens et recherche de moyens de protection*, Paris, 1991.
- 40 *ibid.*.
- 41 Geology, geotechnical and environment unit of JSA measured the pH of rain water in Angkor Wat in 2002.
- 42 S. Warrack, "Stone conservation : The emergency treatment of the stone elements of the sanctuary towers at Preah Ko," G. Fajcsák and Z. Renner eds.: *The Preah Ko Temple: Emergency consolidation at Angkor, Cambodia* vol.2 (Phase II 1995), Budapest, 1996, pp. 71-98.
- 43 Corrosive action does not confirmed on the stone by tree roots. *op.cit.*, note 39.
- 44 Conservation science unit of JSA, "Aerial Algae Collected from Angkor Monuments," *ARJSA* 1996, pp. 430-438.
- 45 H. Arai *et al.*, "Deteriorating Process of Stone Materials by Lichens," *ARJSA* 1998, p. 395.
- 46 Y. Katayama *et al.*, "Conservation science survey (2) Research on microorganisms," *ARJSA* 2003, pp. 195-204.
- 47 Y. Katayama *et al.*, "Conservation Science Survey (2) Research on Microorganisms," *ARJSA* 2002, pp. 321-328.
- 48 Petrology unit of JSA monitored the seasonal change in the moisture content of the nave pillars in the Northern Library inside the Outermost Enclosure of Angkor Wat. By this monitor, it developed that the height of 60cm above the floor keeps the most dry condition through one year. *op.cit.*, note 34, "Moisture content of the interior nave pillars in the Northern Library inside the Outermost Enclosure of Angkor Wat," p. 190.
- 49 *op.cit.*, note 34, "Chemical composition of the deteriorated sandstones," p. 188.
- 50 Y. Iwasaki, "Weathering of independent pillar at Northern Library inside the Outermost Enclosure of Angkor Wat," *ARJSA* 2002, pp. 283-294.
- 51 *op.cit.*, note 37, "Leaching Experiment," pp. 175-176.
- 52 Petrology unit of JSA considers the sulfur contained in rain water play the important role for the efflorescence due to sulfuric acid because of the analysis on the isotope ratio between strontium and sulfur.
- 53 In general, regular Portland cement contains 4% of sulfur.
- 54 When sulfuric oxidizing bacteria and actinomycetes are both present, sulfuric chloride generated by sulfuric oxidizing bacteria are reduced by actinomycetes. *op.cit.*, note 39.
- ンコール遺跡調査報告書 1999』, pp. 40-41.
- 34 基壇内部の水分蒸発に起因して剥離が進行するものと考えられるが、特にタ・ケオ寺院ではこのような基壇の劣化が顕著である。内田悦生ほか「アンコール遺跡に見られる砂岩材の劣化、3. 基壇砂岩材表面に見られる板状剥離」、『アンコール遺跡調査報告書 2002』, pp. 179-180.
- 35 前掲書註 34, pp. 177-179 では、アンコール・ワット北経蔵を事例にクメール寺院の劣化部位の分布について報告している。
- 36 海老澤孝雄ほか「保存科学調査 (3) バイヨン内回廊のレリーフ劣化防止対策の検討」、『アンコール遺跡調査報告書 2003』, pp. 183-184.
- 37 内田悦生ほか「2002 年度岩石学調査 2. 熱赤外線カメラによる砂岩材の劣化調査」、『アンコール遺跡調査報告書 2003』, pp. 151-160.
- 38 コウモリの排泄物を除去するための根本的な対処法として、コウモリを伽藍内から外部へ移住する方法が検討され、このために伽藍内に生息するコウモリ類の生態調査が行われた。吉行瑞子ほか「アンコール・ワットおよびバイヨン寺院内におけるコウモリ類の調査」、『アンコール遺跡調査報告書 2000』, pp. 253-282 ; 吉行瑞子ほか「保存科学調査 (3) アンコール・ワット遺跡のコウモリ類調査 : 移住のためのコウモリ類生態調査」、『アンコール遺跡調査報告書 2002』, pp. 319-327.
- 39 Fusey, P.: *Altérations biologiques des grès cambodgiens et recherche de moyens de protection*, Paris, 1991 においては、顕微鏡観察、示唆熱分析、示唆熱重量分析、X 線回折分析、化学組成分析の一連の分析を経て、この鉱物の変質について言及されている。
- 40 前掲書註 39。
- 41 2002 年 8 月のアンコール・ワットにおける計測結果 JSA 地質地盤環境調査班の計測による (JSA 未報告資料)。
- 42 S. Warrack, "Stone conservation : The emergency treatment of the stone elements of the sanctuary towers at Preah Ko", G. Fajcsák and Z. Renner eds.: *The Preah Ko Temple: Emergency consolidation at Angkor, Cambodia*, vol.2 (Phase II 1995), Budapest, 1996, pp. 71-98.
- 43 例えば、前掲書註 39 では、根の付近の石に腐食性の作用は認められないことが指摘されている。
- 44 山岸高旺「第 6 章 2. アンコール遺跡建造物に着生する藻類」、『アンコール遺跡調査報告書 1996』, pp. 394-405.
- 45 新井英夫ほか「第 8 章 保存科学 2. 地衣類の石造物劣化機構」、『アンコール遺跡調査報告書 1998』, p. 383.
- 46 片山葉子ほか「保存科学調査 (2) 微生物学的調査」、『アンコール遺跡調査報告書 2003』, pp. 173-181.
- 47 片山葉子ほか「保存科学調査 (2) 微生物学的調査」、『アンコール遺跡調査報告書 2002』, pp. 311-317.
- 48 アンコール・ワットの室内独立柱における含水率の調査により、柱は下部 60cm 辺りが最も乾燥していることが確認されている。おそらく、屋根に降り注いだ雨水が降下するものと、室内の床面上に溜まった雨水が毛細管現象で上昇する二つの水分供給のいずれもがこの高さにはあまり到達しないことによる。内田悦生ほか「4. アンコール・ワット北経蔵室内独立柱の含水率」、前掲書 34, p. 180.
- 49 内田悦生ほか「1.8 劣化材の化学組成」、前掲書註 34, p. 179.
- 50 岩崎好規ほか「アンコール・ワット最外周壁内北経蔵の身舎柱の風化」、『アンコール遺跡調査報告書 2002』, pp. 275-285.
- 51 内田悦生ほか「5.3 溶出実験」、前掲書註 37, pp. 154-155.
- 52 最近の JSA 岩石班によるストロンチウムとイオウの同位体測定では、雨水がイオウの起源物質として果たしている役割について注目されている。
- 53 一般のポルトランドセメントには約 4% の硫黄成分が含まれている。
- 54 前掲書註 39 では、硫酸酸化細菌と放線菌が同居する場合には、硫酸酸化細菌が形成する硫酸塩を放線菌が還元するという循環が推測されている。

## 1st destruction causes



## 2nd destruction causes

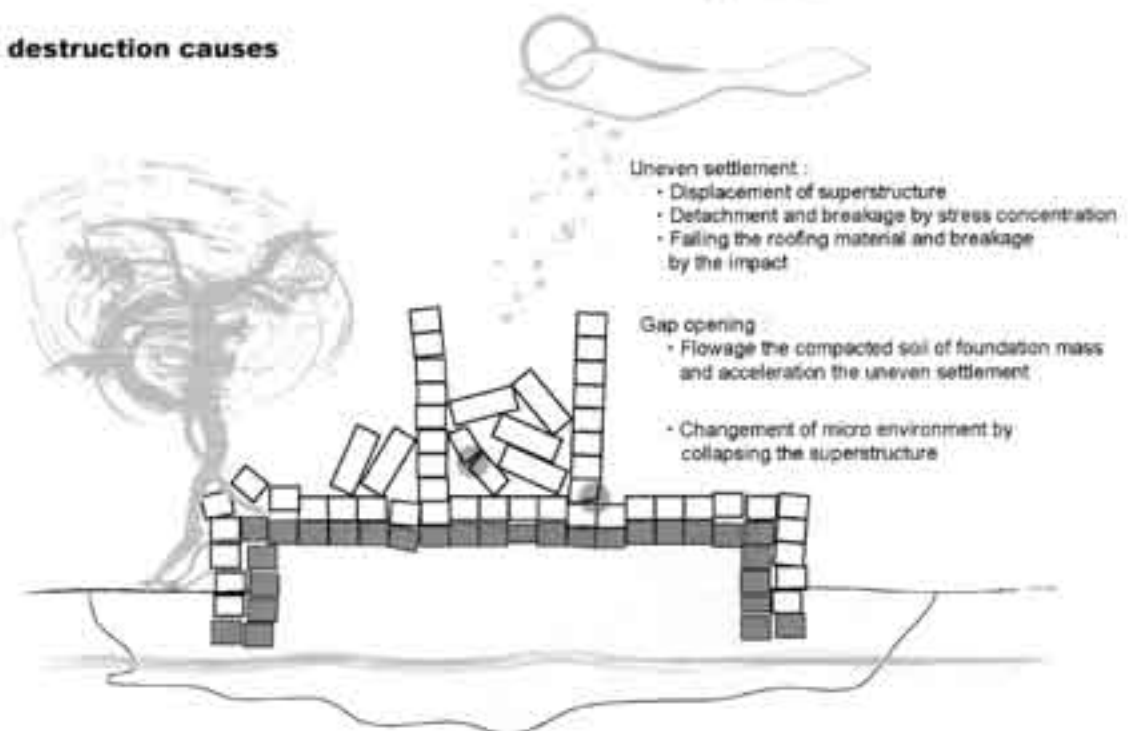


Fig. 3-1 Destruction and degradation causes.

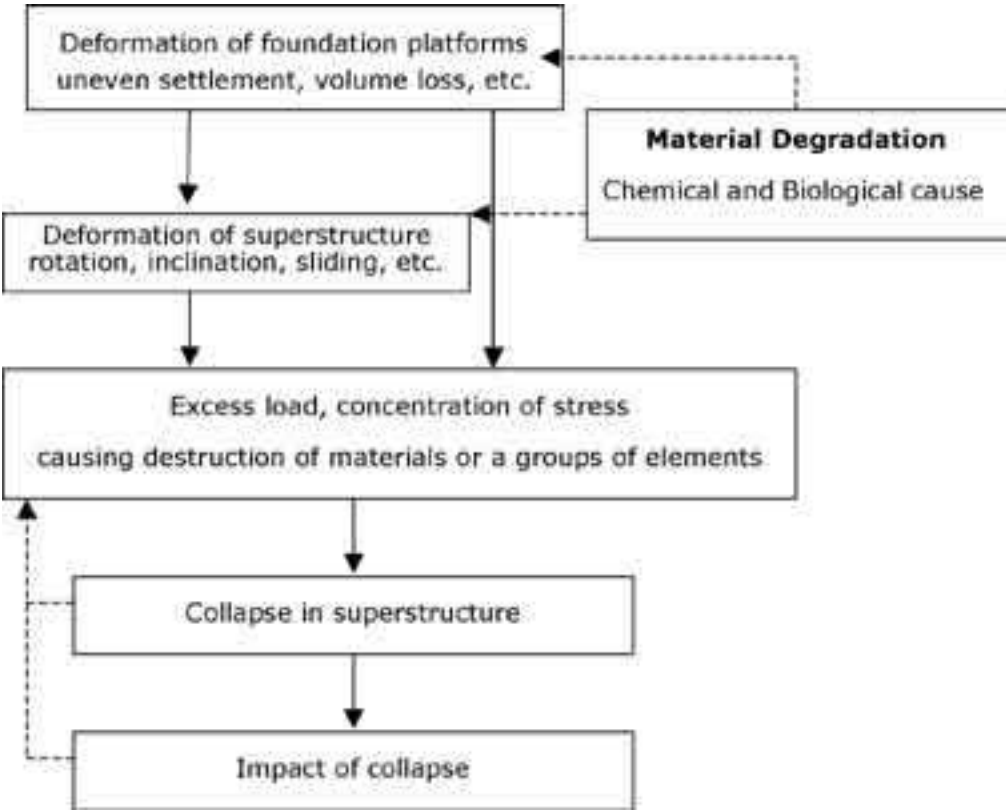


Fig. 3-2 Main process of destruction.

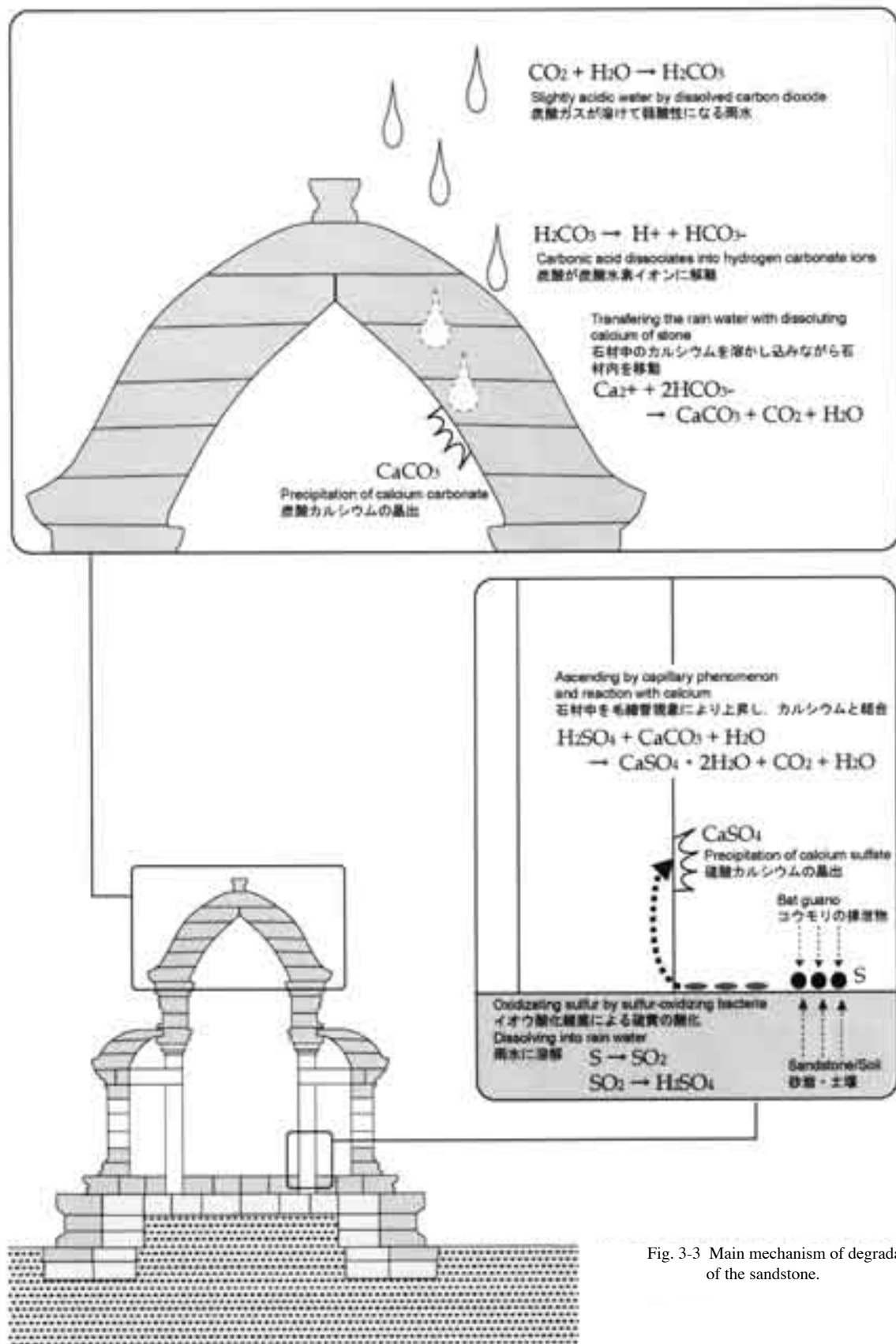


Fig. 3-3 Main mechanism of degradation of the sandstone.

