

氏名	いわ ざき よし のり 岩 崎 好 規
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3612 号
学位授与の日付	平成 13 年 11 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	Geotechnical Study on Ground and Masonry Structures in Angkorfor Safeguarding Monuments (アンコールにおける遺跡救済保存のための地盤と石積構造の地盤工学的研究)
論文調査委員	(主 査) 教授 足立紀尚 教授 大西有三 教授 岡 二三生

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、アンコール遺跡の修復保存に供すべき地盤工学ならびに石積み構造物の技術的問題の解明に関する研究成果をまとめたものであって、序章・序論および結論を含め11章から成っている。

第1章、2章は、序文・序論であって、1900年初頭から始まり幾多の変遷を有するアンコール遺跡保存の歴史を論じ、遺跡保存手法の基本思想であるアナストロースがアンコール遺跡には、とくに地盤工学上の特性から必ずしも適用できないことを述べ、修復に対する地盤工学的な問題解明の必要性を強調し、本論文の目的と内容の概要を示している。

第3章では、ベトナム地質調査部によるベトナム、ラオス、カンボジアの地質図やメコン委員会による水理地質図に基づき、アンコール遺跡地区の地表地質が第4紀系の沖積・洪積地盤から成ることは理解できるが、遺跡保存に密接に関係する上層部の土質特性は、確度の高い地盤調査がこれまでなく、不明であることを論じている。

第4章では、アンコール遺跡のおかれる地域の気象および水環境を論じている。すなわち、当該地域はアジアのモンスーン地帯に属し、5月から10月までの雨季と11月から4月までの乾季とに分れ、年間平均降雨量が1400mmであること、とくに乾季の4月は気温が39℃と高く、河川は干上がり、草木も枯れるほどであって、雨季と乾季による乾湿の繰り返しが、基礎地盤のみならず石積み構造物にも多大な影響を与えることを明示している。

第5章では、日本グループが実施した5本の100m級長尺ボーリングにより明らかにされた地質構造について論じている。それによると、表層40mは黄褐色のシルト質細砂層で、基盤岩は地表面下約80mに存在すること、また極表層部は乾季にはN値=20程度の硬質地盤であるが、雨季にはN値=5程度にまで低下することを明らかにした。また、地下水水面が雨季には地表近くにあるものの乾季には-4~5mまで低下し、地表面近傍の地盤が地下水変動の影響を受けることと、さらに住民の井戸の利用が地盤沈下を招き、アンコール遺跡にさらなる不等沈下を生じせしめる恐れがあるため、地下水汲み上げ規制の必要性を強調している。ついで、当該地域のボーリングサンプルを用いた土質試験により、地表から40mまでのシルト質砂層の土質特性を論じている。この地層の鉱物は、主として石英とカオリンから成り、含水比は10%~20%、また地下水の水素イオン濃度は平均でph=6程度であることを示している。

第6章では、アンコールトムの王宮広場、ロイヤルプラザの東端に南北に並ぶ12の独立塔から成るプラサートスプラの安定性の現状について観察と計測に基づいて論じている。

これらの塔は、基礎が10m×10m、高さが15mの独立構造物であって、北側へ約0.4m/10m傾斜し、4面にある入口部の下端が上端より大きく開き、さらに基礎部のラテライトブロックにも水平方向の開きが見られることを示している。このような構造物の傾斜や目開きの経時的な進行は、季節的変動ではなく突発的な変動により増加していることを明らかにしている。すなわち、内部石積み柱の壁面に設置した傾斜計は、1997年秋の豪雨のあとに突如変動を始め、半年程度クリープ性的な変動を示したが、これは基礎部ラテライトブロックの内部的崩壊が原因であると推定している。

第7章は、バイヨンの中心塔の安定問題をピサの斜塔との対比で論じている。塔の崩壊は、個々の積み石の剝離による進行性破壊によるとし、以下の剝離崩壊過程を提示している。それは、1)石積み柱が基盤の変状により外側に傾斜する、2)

柱の水平方向変位が基礎の石材に引張り亀裂を生じさせる、3)この亀裂の拡大で石材が破壊し、4)この基部石材の破壊による石積柱全体の崩壊に至る、というものである。なお、強風によって非可逆的な目開きの発生が認められ、風外力が積石間の塑性変形を増大させることを明らかにしている。また、この防止策として塔周りをロープで巻く緊急的対策法を提案している。

第8章では、崩壊の進行が顕著であるバイヨン北経蔵の修復保存工事について論じている。当該構造物は、東西両端部のポーチ部の変状が激しく、上部積石の解体後、両端部の部分解体を行い、基壇部の支持力の調査を実施した結果、基礎地盤の地盤改良の必要性が明らかとなった。そこで、種々検討の結果、化学的に安定し、かつ耐久性に優れた日本独自の叩き工法である消石灰混合土工法の採用を決定した。

第9章では、アンコール遺跡における基本的建設材料であるラテライトについて述べている。ラテライトは、熱帯域で岩石が溶解して鉄やアルミニウムの成分が地表面付近に集積し、酸化鉄や酸化アルミニウムが形成され、それらが砂や礫間のポンドとなりラテライトが生成する。しかし、構造物の破壊はラテライトの風化に起因することを明らかにするとともに、P波速度による風化度合いの判定手法を提案している。

第10章では、アンコール遺跡の保存に対する地盤工学に立脚しての提言をまとめている。まず、構造物の崩壊要因を明らかにすることによって、基礎地盤の地盤改良が必要であることを述べ、消石灰混合土工法を提案、実施するとともに、塔のロープによる緊急的安定化工法を提示している。

第11章は、結論であって、本研究により得られた結論を要約するとともに今後の課題について述べている。

#### 論文審査の結果の要旨

世界的文化遺産であるアンコール遺跡保存においては、遺跡保存手法の基本思想であるアナストローシスが、地盤工学上の問題から必ずしも適用できないことが明らかになり、修復保存に関する地盤工学的な問題解決が要請されていた。本論文は、これに答え、アンコール遺跡の修復保存に資する地盤工学ならびに石積構造物の技術的基盤の構築を目的とした研究成果をまとめたものであり、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. 遺跡保存に密接に関係する、基礎地盤構造、土質特性ならびに地下水環境を100m級の長尺ポーリングにより調査した。それにより、表層40mはシルト質細砂層からなり基盤岩は地表面下80mに位置すること、表層部は乾季にはN値=20程度の硬質地盤であるが、雨季にはN値=5程度まで低下すること、さらに地下水面が雨季には地表近くにあるが、乾季には-4~5mまで低下することを明らかにした。

2. この地下水位変動は、地表面近傍の地盤に影響を与えるが、周辺住民の井戸利用がさらなる地盤沈下を招き、アンコール遺跡に不等沈下等を生じせしめる恐れがあり、地下水汲み上げ規制の必要性を強調している。

3. アンコールトムの王宮広場の東端に並ぶ12の独立塔の安定性を観察と計測に基づき考察し、これら構造物の傾斜や目開きの経時変化は季節変動のみではなく突発的な変動によっても増加することを見出している。すなわち、強風による変状や基礎部のラテライトブロックの内部的破壊がその要因であると推定している。

4. 塔の崩壊過程を以下のように推論した。すなわち、①石積柱が基盤の変状により外側に傾斜する、②柱の水平方向変位により基礎の石材に引張り亀裂が生じる、③亀裂の拡大で石材が破壊する、④これにより石積柱全体の崩壊に至る。また、強風により積石間に非可逆的な変形が生じることを明らかにし、塔周りをロープで緊張する緊急対策を提案している。

5. 塔基壇部の支持力増強のための地盤改良が必要なことを示し、化学的に安定で耐久性に優れる、日本独自の叩き工法である消石灰混合土工法を提示するとともにP波速度にもとづく石材の風化判定手法を提案している。

以上要するに本論文は、アンコール遺跡の修復保存において中心的役割を果たす基礎地盤ならびに石造構造物に関する地盤工学上の基礎的知見を与えたもので、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成13年10月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。