

アンコール遺跡の地盤および石材の劣化

Study on Deterioration of Foundation and Construction Material of Angkor Monuments

盛 合 禧 夫 (もりあい とみお)

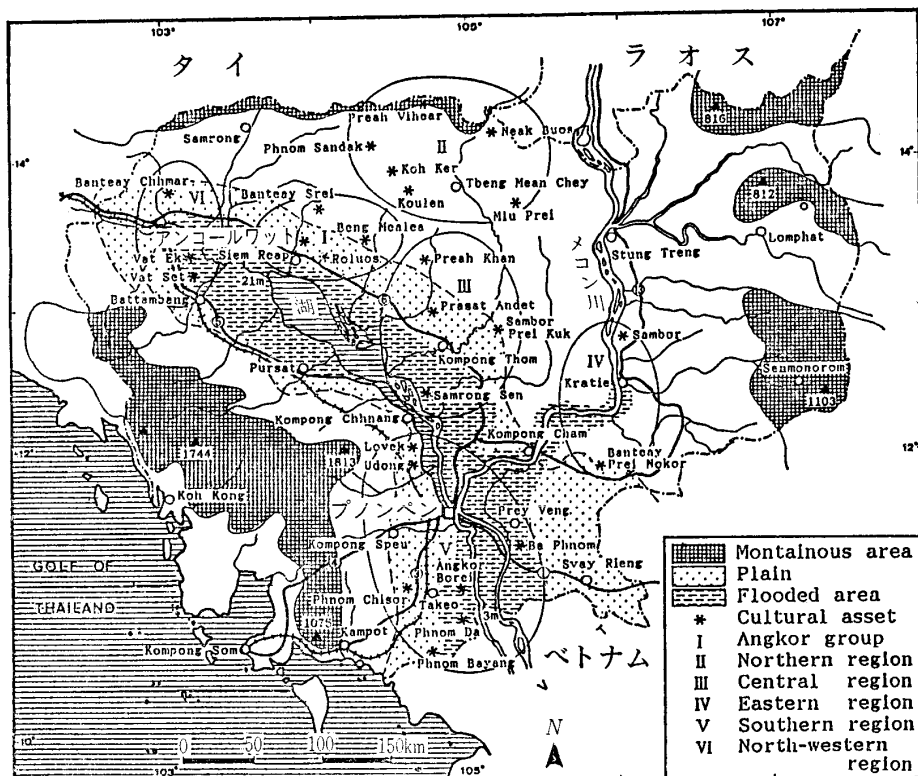
東北工業大学教授 工学部土木工学科

1. はじめに

筆者は1990年7月28日から8月13日までの第4次上智大学アンコール遺跡研究調査団と1991年3月9日から3月30日までの第5次調査団に参加する機会を得た。

カンボジア情勢は、最近まで極めて深刻な環境におかれ、アンコール遺跡は倒壊の危機にひんしていた。しかし、調査団長の石沢良昭上智大教授は、この世界文化遺産の保存修復のため、戦乱の困難な情勢のなかで計画され勇断された調査研究には心から敬意を表すものである。それでこのような厳しい条件下の調査研究であったので、野外調査の行動範囲、日数、調査用具、サンプルの持出し等は最少限であったので、一部は観察程度の域を脱していない。

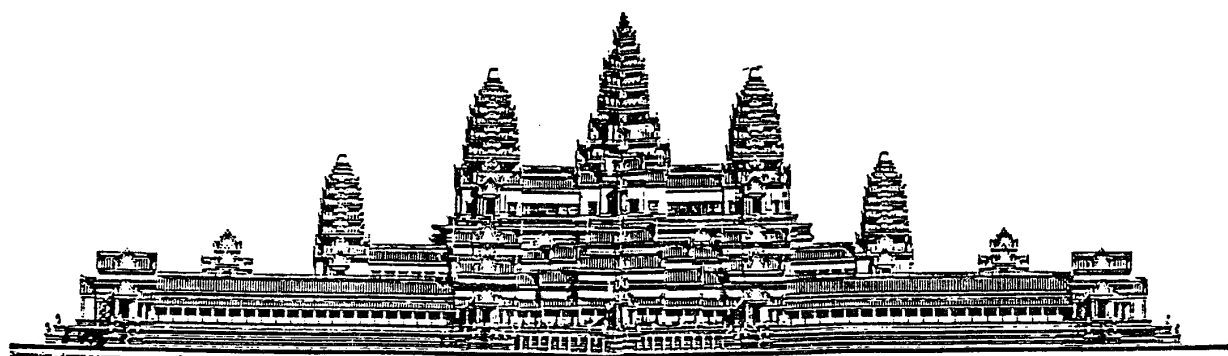
アンコール遺跡は、巨大な石造建築物であり(図一1, 2, 口絵写真一2)、地盤はラテライト性赤色土



図一1 アンコール位置図

(アンコール地域の社会文化発展と環境保全—ラオ・キム・リアン, 1991—より)

を中心とした沖積土で、地下水の賦存も含めて、構造物の構造および荷重の問題、石材の風化、地盤の構成などが保存修復に大きくかかわっている。



図二 アンコール・ワット正面

(—Nafilyan, Guy: Angkor Vat, description graphique du Temple, Paris, 1969—より)

2. アンコール遺跡

アンコール遺跡は20年にもわたる国内混乱のなかに放置されてきた。このなかには、アンコール・ワットをはじめ、大小含めて国内には1080の遺跡があり、その27%がシェムレア州に散在している。その大半の遺跡がアンコール地域に集中していて、9世紀～13世紀にかけてアンコール王朝が造ったもので、絢爛たる浮彫りや彫刻で飾られた巨大な石造建築寺院である（表—1）。アンコール・ワットとは寺院のある町という意味で、中央の最も高い堂塔（65m）は世界の中心山で神々が棲むメール山を象徴し、周壁は雄大なヒマラヤ連峰を、環濠は無限の太平洋をそれぞれ意味していた。

3. アンコール地域の自然環境

カンボジアの気候は熱帯モンスーンに属し、乾期（11月～4月）と雨期（5月～10月）に区別される。シェムレア州地方は年間の総雨量は約1500mmであり、9月の280mmに対して1月は3mm程度といわれる。気温は最低14℃から最高50℃であり、平均値は27℃であり、湿度は77～88%であり、高温多湿で植物の生育にとっては適しており、アンコール全域は森林に覆われている。また、アンコールの西南部にはカンボジア最大の湖トンレサップ湖がある。面積は乾期には約3300km²（琵琶湖の約5倍）であるが、雨期にはその3倍に増大し、メコン川下流領域の洪水を防ぎ、自然の調整池としての役割を果たしている。この湖や河川は、漁業・農業に大いに関係し、地域社会発展に貢献してきた。アンコール王朝も当然この優れた立地条件を基盤にしていたものである。

4. 地質概説（図—3）

図—3に示されたように、トンレサップ湖を中心として、南東に開く馬蹄形状に沖積層が厚く堆積し

表—1 クメール美術様式と遺跡

（—石沢良昭，アンコールワット，1989—より）

西暦		様式名	主な遺跡
400- (年)	前 アン コ ー ル 期	プノン・ダ様式	プノン・ダ（彫刻のみ）
		サンボール様式	サンボール・ブレイ・クック
		ブレイ・クメン様式	ブレイ・クメン プラサット・アンデット
		コンボン・プラ様式	コンボン・ツラ、アク・ヨム
		クレーン様式	ブレイ・フラサット（北部） クレーン諸遺跡
		過渡期	プラサット・コク・ポー
		プラ・コー様式	プラ・コー(897)、パコン(881)、 ロレイ(893)
		バケン様式	プノン・バケン、プノン・クロム プラサット・クラヴァン(921)
		過渡期 コー・ケー様式	バクセイ・チャンクロン コー・ケー諸遺跡
		過渡期	東メボン(952) プレ・ループ(961)
1000- 1100- 1200- 1300- 1400- 1500- 1600- 1700- 1800- (年)	ア ン コ ー ル 期	バンテアイ・スレイ様式	バンテアイ・スレイ(967)
		クレアン様式	(1)タ・ケウ・北クレアン (2)ピミヤナカス、南クレアン王宮楼門
		過渡期	プノン・チソル、ブリヤ・ヴィヘア
		バプーオン様式	バプーオン、西メボン
		アンコールワット様式	(1)ブリヤ・パリライ・ピマイ(1108) (2)ベン・メアレア、ブリヤ・ピトウ トマノン、バンテアイ・サムレ アンコール・ワット コンボン・スヴァイのブリヤ・カン
		バイヨン様式	(1)タ・プローム(1186)、バンテアイ・クディ アンコールのブリヤ・カン(1191) (2)施療院と宿駅、アンコール・トムの城壁と 城門 (3)バイヨン、バンテアイ・チュマール (4)王宮テラス

ている。この下部は、この周辺に発達する古生層、中生層が地下において一種の盆状構造をなしているものと推定される。さらに、これらに花崗岩、安山岩、流紋岩、玄武岩等の火成岩が進入、貫入している。これらのことから、アンコールの地盤構成は、メコン川を中心とした上流から運ばれ沈殿した厚い堆積土である。またラテライト性赤色土が広く分布しているが、上記の岩石類が長年月強風化を受けて生成されたもので、これは高温・多湿な地域で非金属元素が分解し、流失し、鉄とかアルミニウムのような重い元素が、水酸化物あるいは酸化物として残った結果によるものである。これは水分があると軟

報文-2183

ちかく、乾燥すると固くなって石状の鉄塊状になり、これをラテライトという（口絵写真-4, 7）。これは古くから建築材料とされており、アンコールでも土台・基壇、周壁に使用されている。また、遺跡の主要な材料は既述の古・中生層の砂岩であり、周辺に賦存していたものを採掘・加工したものであろう（口絵写真-3）。

5. 地盤について

既述のとおり、調査内容が限定されており、 N 値、貫入試験、土の物理的、力学的性質、水質などは測定していない。しかしプノンペン大学の学生実習用として行ったバンテアイ・クデイ（アンコール・ワットの北東約4km）で、試掘坑3本と手動ソイルオーガー7本と、ブリヤ・カン（アンコール・ワット北方約6km）で1本実施したので地盤の概要を知りえた（図-4）。この結果によるバンテアイ・ク

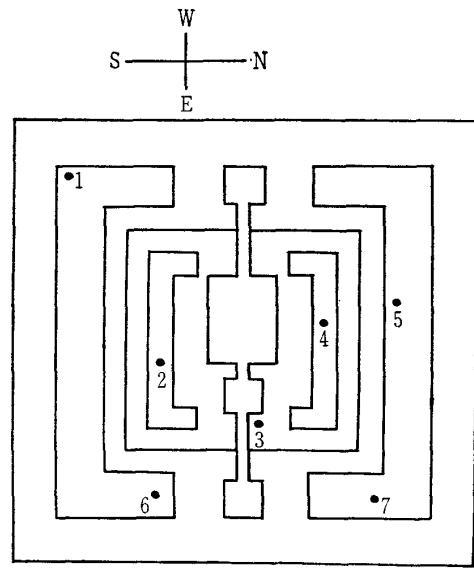


図-4 バンテアイ・クデイのオーガー位置図

デイの地盤の構成の概要を示すと次のとおりである。

A 表土および上部砂、赤色土層（1～1.5m）

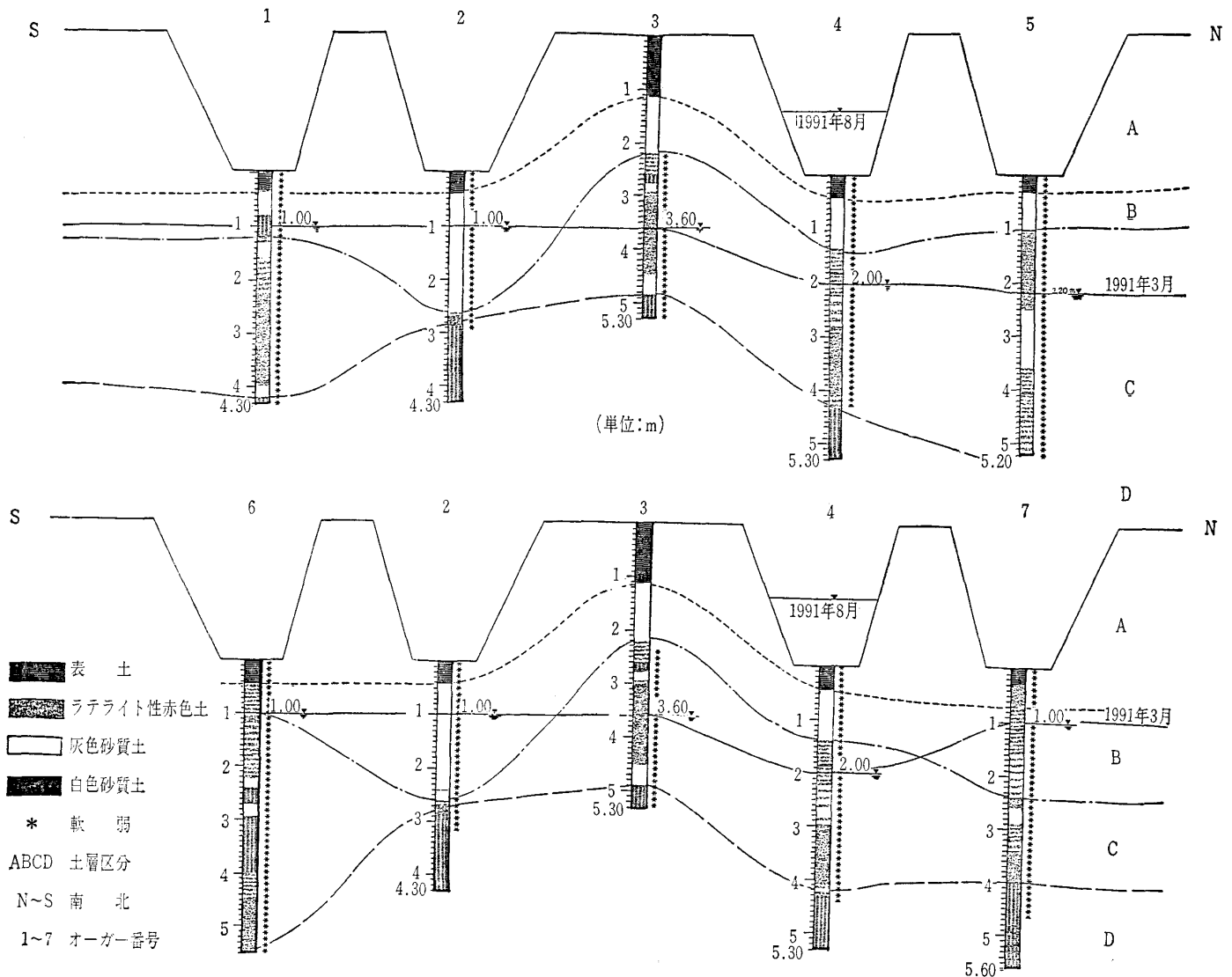


図-5 バンテアイ・クデイの土層と地下水

- B 中部灰色砂質土層 (1~1.3m)
- C 下部ラテライト性赤色土層 (0.5~4m)
- D 最下部白色砂質土層 (2m)

より成り立っている (図-5)。A・C土層はラテライト性赤色土層が主で、B・D土層は灰色~白色土層であり、これらが交互になっている特徴を示す。X線回折でもA・C層は通常ラテライトに見られる針鉄鉱が認められるのに対し、B・D層はほとんどそれがなく石英、カオリンがめだつ。これは地下水の上下移動や酸性水の影響などでB・D層のような一種の白土化がこの土層中に形成されたものと推定される。

次に、バンテアイ・クデイでは地盤変状している地域が何箇所か認められた (口絵写真-5)。これは土壌侵食、表面侵食、雨裂侵食、地隙侵食などの洗掘現象によるものである。また地盤内部の軟弱部の圧縮性、砂質土のパイピング現象、上記のA~D層の厚さの差などの原因による変状も認められた。

6. 地 下 水

アンコール付近の水は、乾期においてほとんど見ることができないので、地下水はその存在すら疑問をもっていたが、オーガーで確認した限りでは一般に浅い。また、水温も高く生ぬるい。オーガーでの結果によると地下水は地表面から1~3mのところ に存在しており、雨期と乾期では3~4mの上下差があり、長年月間では地盤内部に影響が出るものと思われる。

7. 遺跡建造物を構成する石材

石造建築物であるアンコール遺跡はその材料が砂岩類とラテライトである。これらが劣化して倒壊の危機にひんしており、これは人工的な原因もあるが、岩石類の無放置による劣化によることが多い。

石材の劣化は堆積年代、造岩鉱物、堆積岩の構造などが基本的なものであるが、もっとも重要なものは地域特有の風化作用である。すなわち、機械的風化作用と化学的風化作用である。前者では例えば気温の温度差が30℃もあり、これが造岩鉱物のひび割れを作る。また、冷熱の影響で岩石の表面と内部での膨張差が鱗脱につながる (写真-1)。また雨水が毛管圧で孔隙を拡大する。後者では酸化、炭酸化、

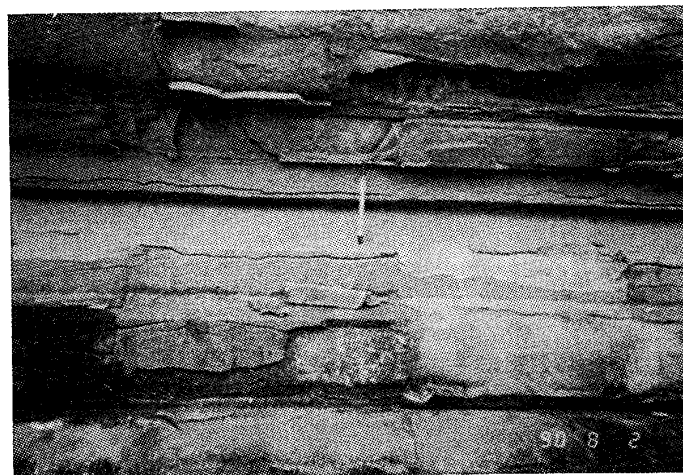


写真-1 タ・ケウの鱗脱現象



写真-2 アンコール・ワットの柱脚部の侵食現象



写真-3 バンテアイ・クデイの砂岩中の層理

溶解 (写真-2) があり、また岩石を破壊する。さらに植物の有機酸が岩石をとかし、植物はコケ類、地衣類、藻類などで岩石を風化させ、榕樹 (ガジマ

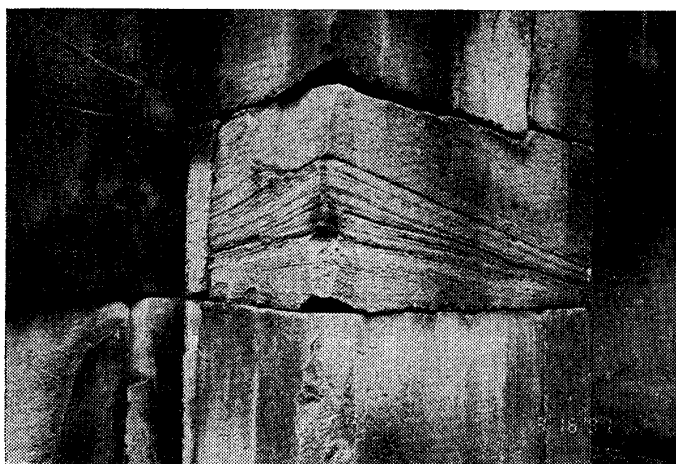


写真-4 柱の中の層理沿いの劣化

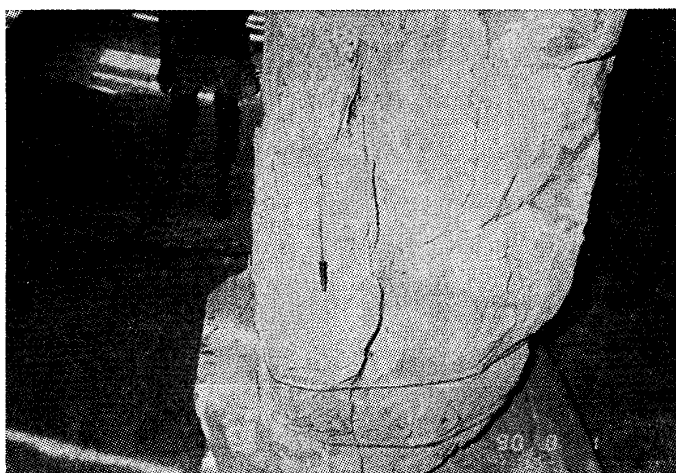


写真-5 アンコール・ワットの柱脚部の圧縮亀裂

ル)のような巨木や蔦系の植物は遺跡を倒壊におこむ(口絵写真-6)。

7.1 砂岩

中, 古生層の砂岩系では砂岩, 泥質砂岩, 石灰質砂岩, 細礫質砂岩の諸種のものがあり色も赤褐色, 灰色, 淡緑色のものがある。構成鉱物は石英, 長石, 雲母が主体で, 変質しているものは緑泥石, 褐鉄やカオリンなどの粘土鉱物が発生している(X線回折による)。また砂岩中には斜交層理, 級化層理, 葉理などがみられ, これが風化侵食, せん断, 圧縮破

壊へと進展する(写真-3, 4, 5)。

7.2 ラテライト

褐鉄, アルミニウムに富み土壌の総称であったが, 土壌学的に好ましくないということで, 土壌状態のものをラテライト性赤色土と呼び, 石のように固くなったものをラテライトと呼ぶようになった。この鉄塊状のラテライトは大別して礫状(口絵写真-7)のものや塊状なものが存在しており, 特に前者のものは成因的に重要な示唆を与えるものであった。さらに成因についてだけでなく, 礫がぬけることによって強度低下につながり, 泥土化にも関係している。成分としてはX線回折すると針鉄鉱, 赤鉄鉱, カオリン, 石英が検出された。

8. ま と め

今回はX線回折などの詳細な説明とか, 地下水と地盤の関係, 石材の風化のプロセスなどの説明は出来なかった。しかし今後, カンボジア和平が実現し, 科学的調査および精査などがなされる時に, 何らかの指針になれば幸いである。また土壌に関しては, 山形大学農学部東山勇教授に諸種のご助言をいただいた。記して謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 石沢良昭: アンコール・ワット, 日本テレビ, pp. 1~160, 1989.
- 2) 石沢良昭・千原大五郎・河野 靖: カンボジアの文化復興(2), 上智大学アジア文化研究所, pp. 1~189, 1989.
- 3) 石沢良昭・河野 靖・遠藤宜雄: カンボジアの文化復興(3), 上智大学アジア文化研究所, pp. 1~335, 1990.
- 4) 石沢良昭・河野 靖・盛合禱夫・藤木良明・遠藤宜雄: カンボジアの文化復興(4), 上智大学アジア文化研究所, pp. 1~393, 1991.
- 5) 石沢良昭・河野 靖・盛合禱夫・藤木良明・遠藤宜雄: カンボジアの文化復興(5), 上智大学アジア文化研究所, pp. 1~633, 1991.

(原稿受理 1991. 10. 21)