

アンコール遺跡地域のラテライト

盛合 禱夫*

Laterite in the Angkor ruins area

Tomio MORIAI

Abstract

In the same way that the ancient Greeks ruled the Mediterranean, the Angkor dynasty ruled South East Asia and their ruins still remain here. However, these remains, which are considered to be among the priceless artistic treasures of the world are now being damaged and are in danger of complete disappearance.

The Angkor monuments were erected on the red soil of the area, the laterite. As far as the eye could see the land was red and even the rivers and lakes took a reddish appearance. After such a long exposure to the moist, tropical climate, the earth weathered and the silicic acid dissolved out of it. Only aluminium and iron therefore remained in the soil and made it turn red. The soil is soft when moist, but becomes very hard when it is dry. This hard soil is used for the bases of the buildings and the stone statues. However, over the years these developed holes, dissolved or became uneven and angled, leading the buildings it supported to eventually collapse. On the other hand, all the buildings are made of sandstone. These pieces of stones are believed to have been carved out from nearby stone mountains.

1. はじめに

筆者は 1990 年からアンコール遺跡の災害の研究に関わってきた(写真-1)。例えば、中国の文化遺産の華清池の傍の驪山(りざん)地帯は多くの地震に見舞われ、また、地すべりの恐怖に怯えてきた。これらの災害は単に文化財の被害だけではなく、多数の観光客および、付近の住民の人命、財産にも及ぶものである。これらの原因として、物理的なものでは外力による圧縮、引張り、せん断、曲げ、振動などで、さらに水がある。水は破壊、浸透、剥離現象を起こす最大なものであり、生物学的には植物の繁茂や微生物による損傷がある。しかし、これらの検証にはすべて、材料を採取して、実験を行わなければならない。貴重な文化財なので、採取はできないので、筆者らが開発した新共振法を用いた(参考文献 7)。また、遺跡には地域特有のラテライトが各所に使用されているので、詳しく述べた。



写真-1 アンコール・ワット

2. 写真-1のアンコール遺跡と地質

アンコール遺跡はインドシナ半島の中央部に位置する(図-1)。半島全体は安定した Platform で、ベトナム・ラオス・カンボジア・タイ・ミャンマー・マレーシア・シンガポールの国々がある。地質は先古生代・古生代・中生代・新生代の地層がカンボジアを中心にして、緩い盆状の構造を呈している。アンコール遺跡の最上部層のラテライト性赤色土の上に築造されている。また、9世紀-15世紀のクメール王朝の石造、レンガ造の遺跡が見られ、その数は 2300 ヶ所あり、主要なものは 60 数ヶ所存在する(参考文献 10)。なお、地域全体がサバナ

2015年10月3日受理

*東北工業大学 名誉教授

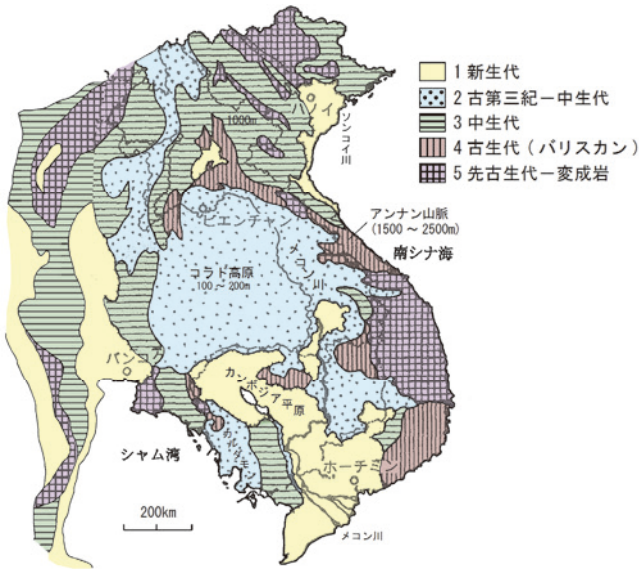


図-1 インドシナの地質概要
(Workman, 1979 に加筆)
(各時代の堆積岩類の分布域の概要を示す)

や熱帯地方に属しているため、ラテライトの分布が広く見られる。また、ラテライトは水との関係で、粘土の生成が著しい。この粘土が水や遺跡の荷重で変形して地盤沈下を生じさせている。この粘土の厚さやその粘土の不規則な形、さらに、揚水による影響や乾季と雨季の地下水位の 3m-4m (参考文献 3) の上下差と圧密現象と密接にかかわって、地表に凹凸を生じさせている (写真-2, 写真-3) (参考文献 6)。

3. ラテライト

この語源はラテン語の Later(レンガ)に由来する。ブキャナンが 1807 年に命名した。地下にあるラテライト性赤色土を採取して、日干しにすると硬い岩石状のレンガのようになる。湿った時は柔らかく、乾くと非可逆的に硬くなる。数十万年から 1 千万年にもおよぶ風化作用によって生成されたものと言われている。主要構成物としてはゲーサイト [$\alpha\text{-FeO}(\text{OH})_2$]、ギブサイト [$\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$]、ペーマイト [$\gamma\text{-AlO}(\text{OH})$]、ダイアスポア [$\text{AlO}(\text{OH})$] などである。

一般的には高温多湿な熱帯地方で造岩鉱物が急速に分解して、Fe と Al の水酸化物になったものをラテライトと称している。

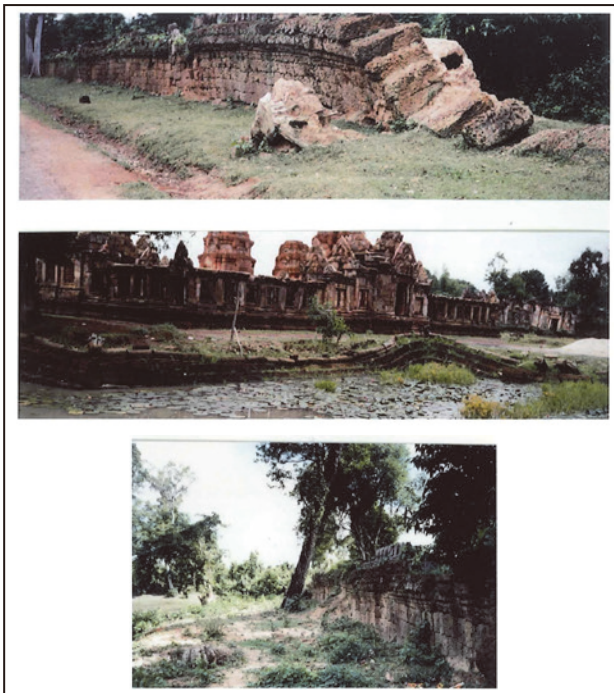


写真-2 アンコール遺跡の地すべり

表-1 アンコール遺跡の微生物

菌種	名称	採取地
中性域の硫黄細菌	<i>Thiobacillus thioparus</i>	アンコール・ワット, ロレイ
	<i>T.neapolitanus</i>	アンコール・ワット, ロレイ
酸性域の硫黄細菌	<i>T.thiooxidans</i>	アンコール・ワット, ロレイ
地衣類	<i>Dirinaria</i> sp	アンコール・ワット, ロレイ
	<i>Lepnaria</i> sp	アンコールワット, タ・プローム
藻類	Cyanophyta	タブローム
	Caloplaca	タ・ケウ
	Cyanophyta	タ・プローム
不完全菌類	<i>Cladosporium</i> sp	タ・プローム
	<i>Trichoderma</i> sp	タ・プローム
	<i>Aspergillus niger</i>	タ・プローム
	<i>Aspergillus</i> sp	タ・プローム

上智大アジア文化研究所 1989.3



写真-3 石造の首の盗掘
(アンコール・ワット)

東南アジア地域では太陽熱、水、微生物 (表-1) によって強い化学的、生化学的風化作用によって、岩層の中の K, Na, Ca, Mg イオンが溶脱する。これらのイオンは地表や地中の水を中性あるいは弱アルカリ性に変える。この作用により岩層中の溶脱しにくい Si が溶脱する。Fe や Al は弱酸性には溶脱しやすいが、アルカリ性の水には溶脱しにくいので地表や地表近くに残留す

る。この、溶脱しなかった Fe, Al は酸素や水分子と結合して、水酸化物を新たに作り出す。これが、さきほどの主要鉱物である。そして、これらの鉱物がレンガ色を呈する。ギブサイト、ダイアスポアを多量に含む土がボーキサイト(Al₂O₃ 52-57%含)とよばれ、Al の鉱石である。さらに、溶脱したイオンのうちの Si と Al イオンは O と結合して、二酸化ケイ素 [SiO₂] や酸化アルミニウムに変化する。以上の化学反応によって生成された SiO₂ や Al₂O₃ は地下水と結合して nSiO₂, mAl₂O₃, lH₂O(n, m, l は 1, 2, 3 の整数という)になる。この組成がラテライト粘土鉱物の最も基本的な化学組成であって Na, Ca, Mg, K イオンなどの溶脱したイオンや水分子が結晶構造の中にとりこまれて、主たる粘土鉱物が誕生している。このようにして出来た粘土鉱物は、地中で、さらに酸性の水や生物の働きによって別の粘土鉱物になってしまう。一例をあげると、モンモリロナイトという粘土鉱物の構造層間域にある水分子や交換性陽イオンが溶脱して、代わりに K イオンが層間域に入って固定されると、イライトという粘土鉱物に変わる。Fe イオンについても O イオンと結合すれば、水酸化鉄となる (FeO や Fe₂O₃)。水分子と結合すれば酸化鉄 FeO · H₂O や Fe₂O₃ · 3H₂O となる。これは、空気に触れながら生成した水酸化鉄が褐色を呈する原因を作る物質である。赤土と呼ばれる土壌は粘土鉱物と水酸化鉄と動植物の遺体やその分解物からの有機酸(腐食)の集合体である。さらに、岩石を粘土に変える働きは地表や地中の水だけではなく、温泉水や熱水の働きの化学変化による場合もある。これを熱水変質、温泉変質と呼んでいる。例えば、酸性白土、ベントナイト鉱床があげられる。

4. ラテライトの分析値

ラテライトの源岩の推定は困難であるが、ハーダー(1952)は中央インドの玄武岩の風化を研究し、玄武岩質岩がラテライト質に変質することを示した。しかし、オーストラリアでは花崗岩質岩がラテライトに変質していることをグリークス, ショルツ, デモック(1973)が指摘している。しかし、ラテライトには鉄、アルミニウムが含有していることを考えると塩基性または超塩基性が源岩である可能性が高い。また、ラテラ

イト中には流紋岩、花崗岩および他の岩石をとりこんでいることが多いので、残積・残留だけではなく、運積したものや2次堆積したものもあることが考えられる。ラテライトの分析値は表-2に示したように、鉄分が約21% - 49%含まれており、MgO, MnO, CaO, Na₂O, K₂Oは殆ど溶脱している。また、砂岩の珪酸の平均が78%前後に対して、ラテライトの珪酸は51% - 25%であり非常に小さい(参考文献2)。

表-2 ラテライトの分析値

Components	Laterite				
	6	7	8	9	10
SiO ₂	51.12	25.10	34.26	46.65	40.08
TiO ₂	0.71	0.45	0.66	0.53	0.74
Al ₂ O ₃	17.09	13.22	15.45	11.38	14.53
Fe ₂ O ₃	20.92	49.33	37.81	31.31	33.93
FeO	0.10	0.17	0.29	0.14	0.08
MnO	0.10	0.08	0.04	0.16	0.02
MgO	0.06	0.10	0.05	0.23	0.05
CaO	0.03	0.05	0.03	0.13	0.03
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00
K ₂ O	0.20	0.21	0.07	0.33	0.01
H ₂ O ⁺	8.33	9.75	9.53	7.38	9.14
H ₂ O ⁻	1.21	1.30	1.67	1.30	1.24
P ₂ O ₅	0.12	0.24	0.13	0.23	0.13
Total	99.99	100.00	99.99	100.00	99.98

Sample No.	Date	Sample site	X-ray Diffraction
6	3/8/90	Ta Prohm	Quartz, Kaolin, Goethite
7	2/8/90	Bayon	Quartz, Kaolin, Goethite Hematite
8	2/8/90	Siem Reap river bed	Quartz, Kaolin, Goethite
9	2/8/90	Bayon	Quartz, Kaolin, Goethite Hematite
10	2/8/90	Bayon, Terrace of the Leper king	Rather lithic

(採取地・X線分析)

5. まとめ

アンコール遺跡を支持する地層として、地盤の大半を占めるラテライトについて述べてきた。アンコール遺跡のあるインドシナ半島は、 Gondwana大陸から分離、解体統合してきた経緯を持ち、全体としては地震、褶曲、断層帯が多数存在しているはずであるが、基本的にはプラットフォームの硬い安定地塊である。しかしながら、多数の遺跡は損傷しており、これは大局的な観点によると、どこにでも必ず存在する別の問題があることを意味している。すなわち、このプレートからのマクロ的問題から由来する地史的問題点や実際の遺跡の構造上の問題点から発生する破壊の原因をよく調査しなければ、遺跡を守ることはできない。今回は特に熱帯地方の特殊なラテライトの性状の基本的なことを遺跡との関係でまとめた。

参考文献

- 1) 大槻健四郎 (1982) ; アジアのプレート内応力場とそれを複製する試み, 地球 No.3.pp.7-14.
- 2) Moriai, T (1991) ; Study on the Ground and Stones of the Angkor Monuments, Institute of Asian Cultures, Sophia University, No.4(1991), pp.121-172.
- 3) Moriai, T.(1991) ; Ground and Groundwater of Banteay Kdei and Prah Khan, Institute of Asian Cultures, Sophia University, No.5(1991), pp.40-60.
- 4) 石沢良昭・河野 靖・盛合禱夫・藤木良明・遠藤宣雄(1991) ; 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・遠藤宣雄(1991) ; 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.
- 6) 盛合禱夫(2000) ; アンコール遺跡の地質学, 連合出版, pp.1-166.
- 7) 盛合禱夫・松村吉康他(2001) ; 地すべりに関する新共振法による研究, 地すべり, Vol.38, No.1, pp.69-77.
- 8) Moriai, T.(1992) ; Geological Study on the Angkor Monuments, Institute of Asian Cultures, Sophia University, No.7(1992), pp.138-147.
- 9) 盛合禱夫(1992) ; アンコール遺跡の地盤及び石材の劣化, 土と基礎, Vol.40, No.1.Ser.No.408(1992), pp.41-46.
- 10) 石澤良昭(2013) ; 新古代カンボジア研究, 風響社, pp.1-766.