

タイ国アユタヤー遺跡の劣化調査と修復方法の提案

○長谷川哲也¹・畑中重光²・PRINYA Chindapasirt³・THANUDKIJ Chareerat⁴

1. はじめに

わが国では、現在、歴史的建造物の補修・補強工事が増加しつつあるが、煉瓦造や石造建造物(目地・結合材には、モルタルが多く用いられている)の調査・診断・補修・補強技術については、まだ十分な研究がなされておらず、場当たり的な方法が採られることが多い。特に、調査・診断方法について言えば、重要文化財などに指定された煉瓦造や石造建造物では、コア供試体の採取やはつり作業が許されない場合が多く、非破壊検査技術の適用性に関する検討が強く望まれている。また、補修・補強方法についても、外観を損なうことなく、遺構を残したままにするという大前提があるため、従来 RC 構造物で適用されてきた補修・補強方法がそのままでは採用できない場合が多い。

本報は煉瓦造建造物の調査・診断としてタイ国アユタヤー地区の煉瓦造建造物の診断・修復活動に着手することを目的に、初期調査を行い、その概要を報告するものである。

2. アユタヤー遺跡について

2.1 アユタヤーの歴史概要

アユタヤー遺跡は、バンコクから北へおよそ 80km、チャオプラヤー川とその支流に囲まれた中州にある。1350 年から 417 年間にわたり、35 代の王がこの地でアユタヤー王国の歴史を築いた。寺院等の遺跡が点在するこの地は、1991 年に世界文化遺産に登録された。

2.2 ワット・プラ・マハタートの現状調査

アユタヤー地区の遺跡には寺院が多く存在し、そこにはビルマ軍によって破壊された仏塔(チェディ)や仏像が数多く残っている。寺院の遺跡の一例として、ワット・プラ・マハタートの仏塔群を調査した。現在の遺跡の様子を写真1~2に紹介する。

2.3 構造的視点

アユタヤー地区は、チャオプラヤー川の中州状になっており、構造体にとって地盤条件が極めて悪い。そのため、ほとんどといって良いほど多くの仏塔が不同沈下を生じて傾いている(写真2)。

2.4 材料的視点

(1) 外観

当初はほとんどすべての仏塔の表面に化粧漆喰(スタッコ)の仕上げが施されていたと思われるが、現在では漆喰が残っている仏塔は少なくなっている。すなわち、大部分の仏塔はほとんどの漆喰が消失して煉瓦が剥き出しになっている。写真3に示した仏塔では比較的多くの部分で漆喰が残っている。ここで、A部の拡大を写真4(a)に示す。三角形部の周辺は漆喰で出来た見事なレリーフで飾られている。この漆喰のレリーフは当時の技術のすばらしさを証明するもので、伝承者の居なくなった現在の技術では復元するのは大変難しいものと思われる。写真4(b)は異なる面の同様な箇所(B部)を拡大したものである。ここでは三角形の部分のどこにも漆喰が残っていない。したがって、失われたレリーフを再現するためには、まず現在わずかにしか残っていない部分をできる限りすみやかに



写真1 頭部のない仏像群

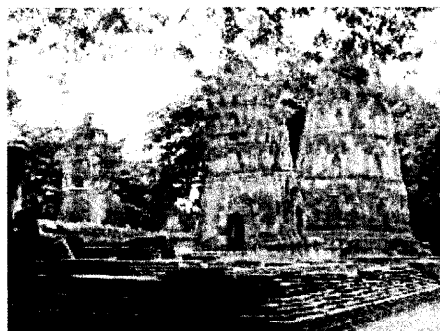


写真2 傾いた仏塔

The deterioration investigation of the Ayutthaya remains, Thailand

HASEGAWA Tetsuya¹ HATANAKA Shigemitsu² PRINYA Chindapasirt³ THANUDKIJ Chareerat⁴

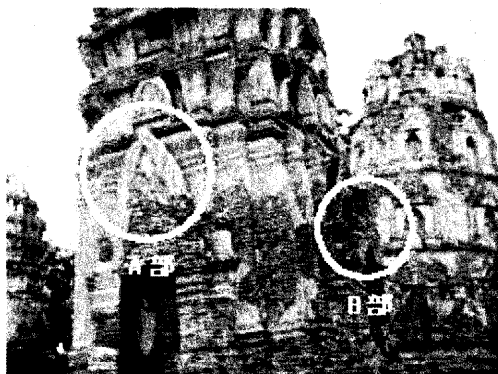


写真3 劣化しつつある仏塔の一例



写真4(a) A部の拡大



写真4(b) B部の拡大

写真5 溶解したように見える煉瓦
(手で触れると砂状になる)

現状保存することが重要であると考えられる。

(2) 劣化原因

以上の変状・劣化を材料的視点に基づいて考察すれば、以下の原因等が考えられる。

- a. 降雨、日射などの環境外力による劣化
- b. 塩類の析出による劣化⁴⁾⁻⁶⁾ (写真5)
- c. 植物・地衣類の生育による劣化⁷⁾
- d. 生物の食害による劣化

アユタヤー地区は年間を通じて最高気温が30-35℃と高く、湿度は70-80%程度(乾季を除く)である。寺院の建設後およそ730年以上も経過していることから、一般的には、主な原因として、項目a.が考えられるが、最近では、重要な劣化原因として「塩類風化」(項目b.)に着目した研究⁴⁾⁻⁶⁾も報告されている。

また、ある程度まで表層劣化が進行した場合であろうが、煉瓦の目地に草木が生えるという不具合も多く生じている。さらに最近のアユタヤー地区の企業活動を考えると、酸性雨による劣化現象についても考慮する必要がある。

また、漆喰だけでなく、前述のように、煉瓦そのものが風化し、形が大きく変わっている仏塔も多い(写真5,6)。建設当初は漆喰仕上げで表層が保護されていたと考えられるため、内部の煉瓦に生じた風化の多くは漆喰の剥落・消失の後から生じたと考えられることができる。ここで、アユタヤー遺跡で使用された煉瓦は野焼煉瓦であるといわれていることに注目したい。もし仮に、全ての煉瓦が十分に高い温度で焼成されたものであればこれらの写真に見られるような風化が生じるとは考えがたい。著しい風化が生じている箇所では、指先で削ることのできる土壌のような状態の箇所も見られ、日干し煉瓦並みといわざるを得ないほど、極めて低い強度の煉瓦も多く使われていることが推定される。

3. 診断・補修方法の提案

アユタヤー遺跡群の保存工事は、例えば以下の4つのステップで実現できる。

- ①現状の材料物性と劣化程度の把握
- ②高含浸性強化剤(塩類風化抑制剤)の調査・製造
- ③サンプル試験および現地でのテスト施工
- ④補修効果の確認

以下、上記の説明を行う。

3.1 現状の材料物性と劣化程度の把握

(1) 現状の材料物性の把握

仏塔に使われている煉瓦、漆喰および目地モルタルの化学組成をX線回折などによって分析する必要がある。これらを把握することにより現時点での劣化状況を詳細に議論できるほか

りでなく、前述した植物劣化、生物劣化、塩類風化など、今後も続くと考えられる劣化外力に対する検討を化学的側面から進めることができる。

煉瓦に関しては、成分だけでなく、その焼成温度の推定も可能であろう。もし、筆者らが目視結果から指摘したように多くの煉瓦の強度が極めて低いものであった場合には、乾燥した気候のエジプトなどと異なり、降雨量が比較的多く高温多湿のタイの気候条件から考えるとアユタヤーの遺跡群は耐久性上、極めて厳しい条件下に置かれていると言わざるを得ないことになる。

使用された漆喰の成分と日本の砂漆喰（すさや糊が添加される）との比較も興味深い。

(2) 現状の劣化程度の把握

写真7に筆者らの考案した表層強度試験器¹⁷⁾を示す。この試験器は、構造体の表面から内部に向かって強度分布を測定するもので、煉瓦やモルタルがどの深さまで、かつどの程度劣化しているかを表層から連続的に把握できる（2005年大会研究発表論文集1637参照）。

見方を変えれば、内部に存在する（劣化前の健全な）材料の強度をも知ることができる。この情報は、歴史的建造物の保存を考える上では極めて重要な意味を持つと言える。すなわち、強度に関しては、当該材料を単に強化するというのではなく、建設当時のレベルに戻すという哲学を全うすることも可能になるのである。

(3) 仏塔の構成材料における劣化の分析例

現時点では、タイ政府から構成材料を入手して分析・試験を行うことができていない。ここでは、ワット・プラ・マハタート内のある一仏塔を選択し、現地に於ける目視調査レベルの情報のみに基づいて若干詳しく考察を加えたい。

a. 断面構成

対象とした仏塔における漆喰の厚さは、20 mm程度である。しかし、これは1回で塗ったわけではなく、何層かを塗り重ねてある。**写真8**（別の仏塔の壁面）に示すように、表面から削られており時折、平らな層が露出する。この平らなところが各層の塗り継ぎ面である。これを測定した漆喰の断面構成を示す。これによれば、表層（以下、上塗り）は2 mm以下で、その下の層（以下、中塗り）が約6 mmであった。さらにこの下には、日本の漆喰技法から推定すれば、むら直し層7 mm、下塗り2 mm程度が存在し、全体で20 mm弱となっていると考えられる。

b. 劣化原因

ワット・プラ・マハタートの仏塔群では、漆喰施工直後に昆虫に食われて消失したように見

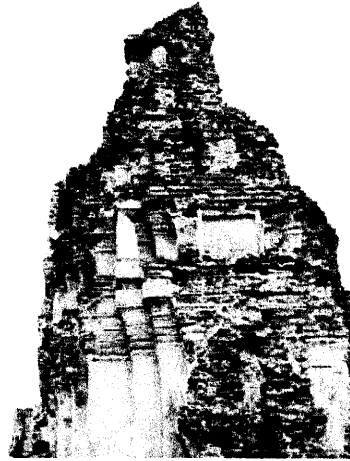


写真6 頂部が瓦解している仏塔
（目地および煉瓦の溶解が原因か）

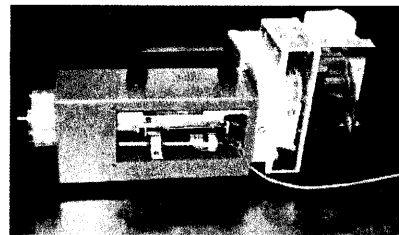


写真7 表層強度試験器



写真8 漆喰内部の塗り継ぎ面

える部分も残っている。すなわち、上塗り漆喰が昆虫に食われて消失し、防水性・耐摩耗性に劣る中塗り漆喰が露出したものでは、その後の劣化の進行が加速し、漆喰層全体の消失にもつながったものと考えられる。さらにこの漆喰層は、煉瓦の保護層の役割も担っており、漆喰層の消失は、日干し並みともいえる耐水性に劣った煉瓦の劣化をも加速させることになるのである。

3.2 高含浸性強化剤（塩類風化抑制剤）の調合・製造

無黄変性で高耐久性なウレタン系樹脂（筆者らが開発¹⁾）を煉瓦、漆喰および目地モルタルの脆弱部から健全部まで浸透させる。これによって構成材料の劣化進行を防止し、かつ剥離・剥落を防止する。さらにこの高含浸性強化剤に塩類風化防止用として、親水基を持ったポリシロキサンを混入する。これによって、この材料に触れた水の表面張力を下げ水の移動を低減させ

ると共に親水基が水を引きつけることによって水の蒸発速度も低減させる。この高含浸性強化材を、当該材料の劣化程度に合わせて調合・製造することも重要なポイントである。

3.3 サンプル試験

当該材料のそれぞれに対して調合・製造された高含浸性強化剤をまず採取サンプルにてテスト施工し、色・テクスチャー、耐候性などを確認し、良好な結果が得られた場合には現地でのテスト施工を行う。

(1) 準備試験

3.1(2) に示した表層強度試験器で、高含浸性強化剤による補修効果の確認を行った。図1は砂岩に対する補修効果の確認例³⁾である。図中の記号 non1 と non2 は薬剤無塗布であり、EPO はエポキシ樹脂を含浸し易くするために分子量を小さくしたもの、ISO は著者らが開発した新型の薬剤である。図中のグラフの折れ曲がり点で判断すると、塗布した薬剤は表層から 7.5 mm 内部まで浸透している。この薬剤は配合を変えることによって強度を変えることもモルタル中により深く浸透させることも可能である。当該材料の状況と補修目標に応じて材料設計できるところに大きな利点がある。

(2) サンプル試験概要

サンプル試験はタイの煉瓦、日本の煉瓦、日本の煉瓦の上にタイ風（スコタイ・アユタヤ時代）の漆喰を塗ったもの、およびセメントモルタルを対象に以下の試験を行う。

a. 水分蒸発抑制試験

各種配合の薬剤および無処理のモルタル板について、吸水速度および乾燥速度を計測し、より効果の高い配合を選定する。

b. 強制塩類による劣化程度測定試験および補修剤塗布後の効果確認試験

煉瓦もしくは煉瓦にタイ風（スコタイ・アユタヤ時代）漆喰を塗ったものを強制的に塩類風化させて、その劣化程度を表層強度試験器で評価する。次にその劣化した材料を含浸強化後再度強制的に塩類風化させて、その劣化程度（補修効果）を再び表層強度試験機を用いることにより評価する。

c. 補修剤の耐候性試験

煉瓦もしくは煉瓦にタイ風漆喰を塗ったもの

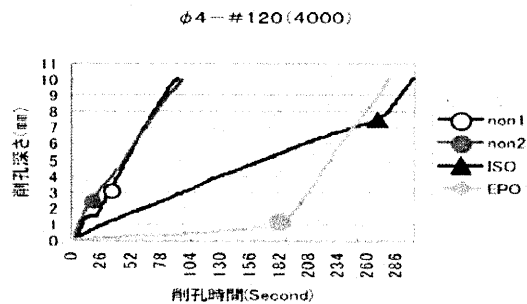


図1 表層強度試験器による結果の例(砂岩)

に高含浸性強化剤を塗布し、耐久性（サンシャインウェザーメーターによる環境外力+流水の条件における）を表層強度試験機で評価する。

4. まとめ

今回の簡易調査では、仏塔の不同沈下と表面のレリーフおよび煉瓦構造体の表層劣化が問題であると思われた。

今後の目標は仏塔の表面のレリーフおよび煉瓦構造体表層の保存を行うことである。そのためには、まずサンプル試験によって最も適切な高含浸性強化剤の配合を決定する必要がある。

その結果が良好なことが確認できた時点で現地での試験施工を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 長谷川哲也, 畑中重光, 長谷川直司, 三島直生, 谷川恭雄: 新型表層強度試験器によるテラコッタの強度劣化および含浸強化処理効果の評価, 日本建築士学会・2005年大会学術講演会研究発表論文集, pp.155-158, 2005.10
- 2) 長谷川哲也, 三島直生, 長谷川直司, 畑中重光, 谷川恭雄: 構造体の表層部強度を推定するための携帯用測定機器の開発, 日本非破壊検査協会シンポジウム, コンクリート構造物の非破壊検査への期待論文集, Vol.1, pp.107-114, 2003.7
- 3) 長谷川哲也, 三島直生, 長谷川直司, 畑中重光, 谷川恭雄: 構造体の表層部強度を推定するための携帯用測定機器の開発, 日本建築学会・コンクリートの試験方法に関するシンポジウム, pp.2-79~2-84, 2003.11.2
- 4) 島田博明, 小口千明, 松倉公憲: レンガの塩類風化に関する一室内実験, 筑波大学陸域環境研究センター報告, No.3, pp.59-65, 2002
- 5) 朽津信明, 早川典子: 文化財の保存を目的とした煉瓦の樹脂処理効果に関する研究, 保存科学, No.40, pp.35-45, 2001
- 6) Kuchitsu, N., Ishizaki, T., Nishiura, T.: Salt weathering of a brick monuments in the Ayutthaya Site, Thailand, Engineering Geology, No.55, pp.91-99, 1999
- 7) 西浦忠輝, 石崎武志, チラボン・アラニヤナク, キッチャ・ユホー: スコタイ遺跡のスリ・チュム寺院大仏の保存修復(1), 保存科学, No.38, pp.146-153, 1999

*1 日本診断設計(株) 代表取締役 President of Japan Architectural Examination Design Office CO.,LTD

*2 三重大学教授 工学部建築学科 工博 Prof., Dept. of Arch., Faculty of Eng., Mie Univ., Dr.Eng.

*3 コーンケン大学助教授 工学部土木学科 工博 Former President of Khon Kaen Univ, Ph.D.

*4 コーンケン大学大学院生 工学部土木学科博士課程 Graduate Student, Khon Kaen Univ., M. Eng.