

タイ王国アユタヤ遺跡における 2011 年大洪水と仏塔測量について

藤井幸泰

深田地質研究所

2011 Thailand floods in Ayutthaya historical site and survey measurement of stupas

FUJII Yukiyasu

Fukada Geological Institute

要旨：世界遺産であるタイ王国のアユタヤ遺跡は、2011年の洪水により浸水被害を受けた。アユタヤは水路に囲まれた港湾都市として栄えた一方、この水路が度重なる洪水を引き起こしたようである。2012年1月と7月の調査により、遺跡内の浸水跡を多数観察できたが、重要構造物の標高は比較的高く、浸水被害を免れたところが多い。また浸水被害を受けた仏塔を対象に、写真測量とトータルステーションを利用した測量作業についても記録する。

キーワード：アユタヤ遺跡、タイ洪水、仏塔、測量、写真測量

Abstract: Historic city of Ayutthaya, which is one of the UNESCO World Heritage Sites in Thailand, had been suffered from the big flood during October to December, 2011. It is located in the valley of the Chao Phraya River, and had been developed as a port city surrounded by rivers during about 400 years. The rivers might have caused floods many times during its prosperous years. Investigations of the flood disaster had been conducted in January and July, 2012. There are many traces of the flood levels in that area. However some important monuments are located on relatively high ground levels. Therefore many of them have not been suffered from the flood. A few stupas, which had been suffered from the flood, were documented by photogrammetry and survey measurement with Total Station.

Keywords: Ayutthaya historical site, 2011 Thailand flood, stupa, measurement survey, photogrammetry

1. はじめに

1351年に建国されたアユタヤは、400年以上もタイの王都として発展した都市である。バンコクの北部約70kmに存在するアユタヤはチャオプラヤー川とその支流に囲まれ、水路は外敵を防ぐ堀と同時に船の通り路となり、港湾都市として交易・外交が栄えた。またアユタヤからバンコクに至る地域は海拔3m以下の低地となっており（大津, 2012）、この水路は度重なる洪水の原因にもなったようである。王都の平和と芸術の繁栄を示す

ように、煌びやかな王宮や大小の仏塔が設けられたアユタヤであったが、1767年に陥落してビルマ軍によって破壊をうけた。その後にバンコクに遷都し、アユタヤの遺跡群は1991年に世界遺産登録がなされた。

アユタヤにおける地盤は沖積層であり、不安定で地下水面も高い。著者は一般財団法人日本建設情報総合センター（JACIC）の研究助成事業として、雨期と乾期における季節変動が、遺跡に及ぼす影響の把握を目的に研究を行っている。2011年の夏～秋にかけて、アユタヤ地域では大洪水が起

こり、アユタヤの遺跡群も1~2 mほどの浸水を被った。本報では2012年1月と7月に行った現地調査において観察された、アユタヤ遺跡群への洪水の影響などについて報告する。

また仏塔のモニタリングとして行った写真測量作業の概要についても記録する。

2. アユタヤ遺跡における浸水

2.1 マハータート寺 (Wat Maha That)

写真1の構造物はマハータート寺の入口近くのトイレである(マハータート寺の位置は図1に示す)。写真の後ろに水路がみえているように、水辺の近くであり、水位は地面から2 m近くまで上昇したことがわかる。一方、写真2は境内での浸水

跡である。境内に入るとやや標高が高くなり、浸水高さは地面から1 m程度となる。レンガの色が変わっているのは泥が付着しているものと、塩類が析出しているものの両方である。



写真1 マハータート寺の境外の構造物。建物奥には水路が拡がる。水位は2 m以上あがったことが伺える。



図1 アユタヤ歴史地区の地図 (Google マップ, 地図データ 2012 Google Tele Atlas)



写真 2 マハータート寺の境内の構造物。重要構造物を取り囲む壁。ここでの水位は地面から約 1 m である。

写真 3 は写真 2 の奥に位置するマハータート寺の中心的な構造物である。土台の上の仏塔は既に崩壊してほとんど存在しない。土台の足下には洪水跡がみられるが、仏塔本体は洪水の影響は受けなかったようである。



写真 3 マハータート寺の境内の中心的構造物。土台の上の仏塔は既に崩壊してほとんど存在しない。

写真 4 はマハータート寺の象徴ともいえる、ガジュマルに取り囲まれた仏像頭部である。売店で売られていたポストカードを参考にすると、写真中の点線まで、地面からおよそ 60~70 cm 高さまで浸水したようである。ところでガジュマルの気根の上部（幹に近い部分）をみると、洪水跡のようなものがみられる。今回の洪水跡よりも 1 m 程度上部に位置する（矢印）。アユタヤ地域は過去に何度も洪水による浸水を受けた記録が残っており、



写真 4 ガジュマルに取り囲まれた仏像頭部。点線が今回の洪水跡。矢印はさらに上部の洪水跡（?）。

近年最大の洪水は 1942 年であり、水位が 5.15 m まで上がって観測史上最高と言われている。今回の洪水の水位上昇は 4 m 前後と言われており（石, 2011）、写真 4 中の上部の洪水跡の高さともおおよそ一致している。

ところでマハータート寺境内の仏塔は傾いているものが多い。傾きの方向は西側のもが多く（写真 5）、マハータート寺の西側にはため池のような水路が存在する。



写真 5 マハータート寺の境内の仏塔群。西側に傾いている仏塔が多く、西側に水路が存在する。

2.2 ラーチャブラーナ寺 (Wat Ratchaburana)

写真6はラーチャブラーナ寺の外からの写真である。お寺を囲む堀には高さ1m程度の洪水跡が残っている。



写真6 ラーチャブラーナ寺の外からの写真。堀には高さ1m程度の洪水跡が残っている。

ところが写真6の中心奥に移っている仏塔は基礎が高く、重要構造物に影響はほとんど見られない(写真7)。このクメール式仏塔の内部には小さな空間があり、宝物箱等が安置されていたようである。



写真7 ラーチャブラーナ寺中心の仏塔(右)。右の入り口から内部の空間に入ることが出来る。

また中心仏塔の隣の構造物も床上まで浸水することは無かったようである(写真8)。しかしいくつかの基礎の低い部分は仏像でも浸水した跡がみられる(写真9)。



写真8 中心の仏塔横の構造物。床上まで浸水はしなかったようである。



写真9 洪水跡のみられる仏像群。浸水しても一部が欠落しても、仏像は大切にされている。

2.3 チャイワッタナーラーム寺 (Wat Chaiwattanaram)

河川に囲まれたアユタヤ歴史公園の外に位置するお寺であり、チャオプラヤー川の畔に位置する。このお寺の中央に位置する仏塔もクメール式建築物である(写真10)。写真10は入り口付近から撮影したものであるが、中心に行くにつれて段階的に土台が高くなっており、中心仏塔は洪水により大きな被害は受けていないようである。ただ

しこのお寺は修復中で立ち入り禁止であった（写真 11）。なおチャオプラヤー川に面した堤防の上には、洪水対策として写真 12 のような新しい設備



写真 10 チャイワッタナーラーム寺の中心に位置する仏塔群。



写真 11 チャイワッタナーラーム寺の修復。中心の仏塔と言うよりは、周辺の壁などの修復が主体であった。



写真 12 チャオプラヤー川横の堤体。写真の左側にチャイワッタナーラーム寺がある。洪水時には鉄板を立てて浸水を防ぐわけである。

が設置されていた。通常は写真手前のように堤体上部として利用されている鉄板であるが、洪水時には堤防の嵩上げに役立つわけである。

3. 仏塔の測量

藤井ほか（2012）や Fujii et. al（2012）はヤイ・チャイ・モンコン寺境内の仏塔を対象に、洪水前後の変化を写真測量にてモニタリングすることに成功している。しかしながらヤイ・チャイ・モンコン寺境内には複数の構造物が存在して多数方向から同一仏塔を写真測量で三次元化することは難しい。そこで以下の 2 つの仏塔を対象に、4 方向から立体写真を撮影し、同時に測量機器による測量も行い、全方向から閲覧可能な三次元モデルの作成に取り組んでいる。この試みは洪水後のモデルだけであるが、ここでは測量作業について概説する。

3.1 ランカーカーオ寺（Wat Langkhakhao）

マハータート寺の西側に位置するお寺であり、仏塔と共に東側に構造物の床だけが残っている（写真 13）。



写真 13 ランカーカーオ寺

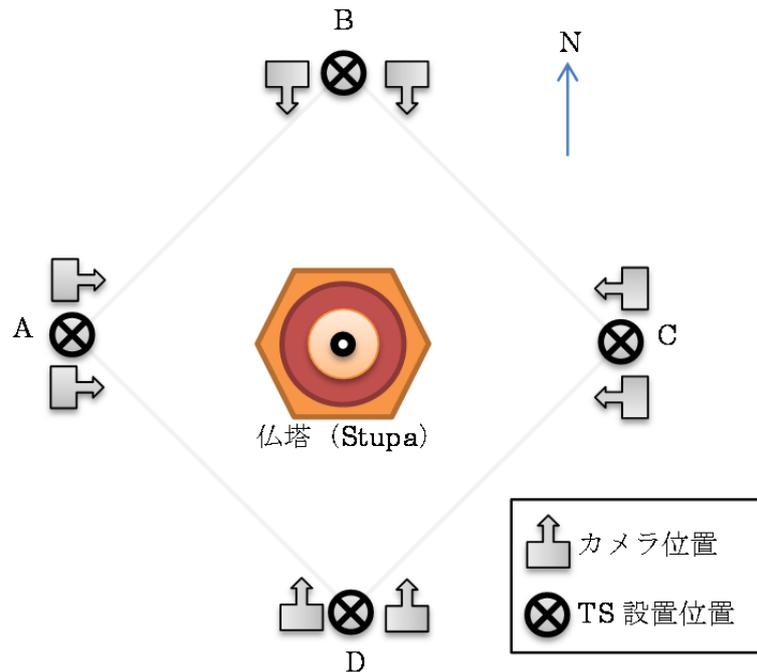


図2 ランカーカーオ寺における4方向からの立体写真撮影とTSによる測量

ランカーカーオ寺の仏塔を対象に、4方向からの写真測量を実施した。実際の作業としては、図2に示すように仏塔を取り囲むように4方向から立体写真を撮影し、A～Dにトータルステーション(TS)を設置し、それぞれの位置から隣の2地点を測量すると共に、立体写真に写し込んだ標定点の測量も行った。ここではTSを設置したA～Dの4地点における、近似的図形調整法を用いた最確値計算を行った。詳しくは測量の教科書(例：森, 2001)などを参照されたい。

まずは角度に関する条件のみを独立に満足するように角度の最確値の第一次調整値を求める。表1に $\angle A \sim D$ の観測値を示す。 $\angle A \sim D$ の合計の理想値は360度であるが、閉合差 $\omega = +0.015$ 度の誤差をもっている。いずれの角度も同じ測量機器で等精度に観測しているので、閉合差 ω を均等に配分すればよい。すなわち $\omega/4$ を角計測角度に均等配分してやればよい。したがって角度の最確値結果は表1のようになる。

表1 角条件による調整(単位はDegree)

	観測角	最確値
$\angle A$	89.605	89.601
$\angle B$	93.048	93.044
$\angle C$	90.308	90.304
$\angle D$	87.056	87.052
合計	360.015	360.000
閉合差 ω	0.015	

次に座標条件による調整を行う。角条件による第一次調整値と距離の観測値を用いて座標に関する条件式のみを独立して満足させたものを最終の最確値とする。わかりやすくするため、A-BをY軸上で正として、A-Dの向きでA-Bに直交する方向をX軸とする。表2にそれぞれの方位と観測距離を示す。X軸およびY軸方向距離のそれぞれの合計の理想値は0であるが、それぞれ閉合差 $\omega_{\Delta X} = -0.004$, $\omega_{\Delta Y} = 0.007$, をもつ。バウディッチ法則によれば、各測線の補正量は、閉合差をその測線長に比例配分した値とする。すなわち閉合差

表2 座標条件による調整 (単位は m)

	方位	観測距離	X軸方向 距離	Y軸方向 距離	X軸方向 最確値	Y軸方向 最確値
A-B	89.601	31.225	0.217	31.224	0.218	31.222
B-C	2.645	29.819	29.788	1.376	29.788	1.374
C-D	-87.052	32.636	1.679	-32.592	1.680	-32.594
D-A	-180.000	31.687	-31.687	0.000	-31.686	-0.002
合計		125.367	-0.004	0.007	0.000	0.000
		閉合差	$\omega_{\Delta X}$	$\omega_{\Delta Y}$		

に観測距離の合計に対する測線長の比率を掛けてやり、これを補正量とする。したがって測線の最確値結果は表2のようになる。

高さ方向 (Z 軸) についても同様に、角度に関する条件、座標条件 (測線) による条件という順序で調整を行った。

これらの座標値を基に、それぞれの TS 設置点から放射トラバースとして観測された仏塔上の標定点の座標も計算した。

3.2 ランカーダム寺 (Wat Langkhadum)

ランカーカーオ寺の南側に位置するお寺であり、仏塔と共に東側に構造物も残っている (写真 14)。



写真 14 ランカーダム寺。基礎には高さ 1 m 程度の洪水跡が残っている。

ランカーカーオ寺の仏塔を対象に、4 方向から

の写真測量を実施した。実際の作業としては、図 3 に示すように仏塔を取り囲むように 4 方向から立体写真を撮影し、A~D に TS を設置し、それぞれの位置から、仮基準点 E を含む隣の 2 地点を測量すると共に、立体写真に写し込んだ標定点の測量も行った。ここでも TS を設置した A~D と仮基準点 E の 5 地点における、近似的図形調整法を用いた最確値計算を行った。なお仮基準点 E にも TS を設置できればよかったのだが、①仏塔の土台と構造物の土台に段差があり TS 設置に十分な平面が無かった、②無理に TS を設置して遺跡の破壊につながることを避けたかった、などの理由から断念した。こちらも詳しくは測量の教科書 (例: 森, 2001) などを参照されたい。

仮基準点 E に TS を設置できなかったため、ランカーダム寺における TS による測量は閉合トラバースになっていない。したがって角度に関する条件のみを独立に満足するように角度の調整値を求めることができない。したがって観測値を最確値として扱う。表 3 に角度の観測値を示す。

表3 角度の観測値 (単位は Degree)

	観測角
$\angle A$	53.884
$\angle B$	93.841
$\angle C$	101.083
$\angle D$	60.908

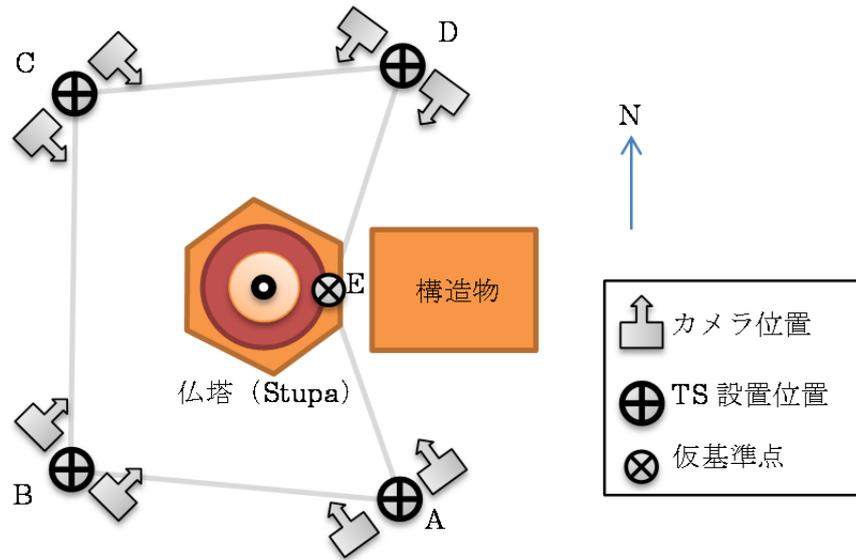


図3 ランカーダム寺における4方向からの立体写真撮影と仮基準点も含めたTSによる測量

次に座標条件による調整を行う。角の観測値と距離の観測値を用いて座標に関する条件式のみを独立して満足させたものを最終の最確値とする。わかりやすくするため、A - B 方向を Y 軸上で正として、A - E の向きで A - B に直交する方向を X 軸とする。表 4 にそれぞれの方位と観測距離を示す。X 軸および Y 軸方向距離のそれぞれの合計の理想値は 0 であるが、それぞれ閉合差 $\omega_{\Delta X}=0.016$, $\omega_{\Delta Y}=0.000$ をもつ。バウディッチ法則によれば、各測線の補正量は、閉合差をその測線長に比例配分した値とする。すなわち閉合差に観測距離の合計に対する測線長の比率を掛けてやり、これを補正量とする。したがって測線の最確値結果は表 4

のようになる。

高さ方向 (Z 軸) についても同様に、角は観測値を最確値と考え、座標条件 (測線) による条件で調整を行った。

これらの座標値を基に、それぞれの TS 設置点から放射トラバースとして観測された仏塔上の標定点の座標も計算した。

4. おわりに

アユタヤ遺跡における 2011 年大洪水の影響について、いくつかの例を示した。また仏塔での写真測量の概要について説明した。

表 4 座標条件による調整 (単位は m)

	方位	観測距離	X軸方向 距離	Y軸方向 距離	X軸方向 最確値	Y軸方向 最確値
A-B	53.884	40.866	24.087	33.013	24.083	33.012
B-C	-32.275	32.718	27.662	-17.471	27.659	-17.471
C-D	-111.192	32.787	-11.853	-30.570	-11.856	-30.570
D-E	-230.284	19.537	-12.484	15.029	-12.486	15.029
E-A	-180.000	27.397	-27.397	0.000	-27.400	0.000
合計		153.305	0.016	0.000	0.000	0.000
		閉合差	$\omega_{\Delta X}$	$\omega_{\Delta Y}$		

ところで仏塔とは何であろうか？ 以下に簡単に説明する。英語では stupa とか pagoda とよばれるがこの 2 つの単語に、明確な定義(使い分け)は無いようである。元々は釈迦のお墓にあたるもので、仏舎利(お釈迦様の遺骨)を祀る塔である。仏教の広まりと共に各地に広まり、宝石・経文・高僧の遺骨などを、読経等した上で仏舎利とみなすようになったそうである。日本では三重塔や五重塔が仏塔にあたる。以上、Wikipedia などを参照した。

謝辞

この調査は一般財団法人日本建設情報総合センター (JACIC) の研究助成事業として、代表：渡邊邦夫教授 (埼玉大学) によって行われたものの一部である。現地調査では、埼玉大学大学院生の河野聡氏にご協力頂いた。また現地調査ではバンコクの the Fine Arts Department の協力を得られると共に、Thammasat 大学の Urya Weesakul 准教授、Nakhorn Poovarodom 准教授、大学院生の Bhakapong Bhadrakom 氏にお世話になった。ここに感謝を記します。

参考文献

藤井幸泰・渡邊邦夫・Urya Weesakul・Nakhorn Poovarodom・Bhakapong Bhadrakom・河野 聡 (2012) : 写真測量による 2011 年タイ王国アユタヤ洪水前後の仏塔の変化について, 第 47 回地盤工学研究発表会, 59 - 60.

Fujii, Y., Watanabe, K., Weesakul, U., Poovarodom, N., Bhadrakom, B. and Kawano, S. (2012): Deformation of stupas measured by photogrammetry before and after Ayutthaya Flood in Thailand, 2011, Proceedings of the 4th Central Asian Geotechnical Symposium, Geo-Engineering for Construction of Cultural Heritage and Historical site, 157 - 162.

石 弘之 (2011) : タイの大洪水はなぜ起きた, ECO JAPAN, <http://eco.nikkeibp.co.jp/article/column/20111124/110011/?P=2>.

森 忠次 (2001) : 測量学 1 基礎編, 丸善株式会社, 325 p.

大津康宏 (2012) : バンコク地下鉄駅部における洪水対策, 土と基礎, 60, 3, 30 - 33.