

## タイ北部に所在する仏塔の常時微動調査 —地震対策の有効性の評価指針として—

○中村 豊(株SDR、東京工業大学)、原本 知実、二神 葉子(東京文化財研究所)

### 1. はじめに

タイ北部には多くの、中には長さ 300km を超す活断層があり、伝承や古文書の記録、現存する文化財にも地震被害の痕跡が認められる。チェンセーンの高台にある煉瓦造の仏塔チョームキティパゴダは、15 世紀の創建以降長年にわたり仏塔本体が傾斜沈下し地震の影響が示唆されている。また、チェンマイのステープ山頂にあるドイステープ寺院では、建造物自体の地震被害に加え北側斜面の地滑りが懸念され、対策が施されつつある。今回、両仏塔周辺の地盤の常時微動を調査した。常時微動はいつでもどこでも計測できる非常に微細な振動で、その発生要因は、自然界の営み(風雨、波浪など)や人間の社会活動(道路、鉄道、工場など)に求められる。対象を破壊することなく簡単に調査できる常時微動調査の特性を活かし、文化財の耐震性評価に適用して良い結果を得たので報告する。

### 2. 微動の測定方法と分析方法

表層地盤内で S 波が重複反射して生じる堆積地盤の地震動増幅特性(固有振動数、増幅倍率など)を H/V 法を用いて推定する。具体的な計測方法や解析方法は以下のとおりである。

計測方法: 各測定点毎に 1 回 40.96 秒の微動測定を 3 回行う。

解析方法: 各測定毎に、各方向成分の周波数分析を行い、水平と上下のスペクトル比 H/V を算定する。原則として 3 回の測定に対して算定された各方向スペクトルおよび H/V スペクトル比を平均して、各測定点の計測量とする。これから卓越振動数 F と増幅倍率 A を推定し、基盤の S 波速度  $V_b$  を 600m/s と仮定して、(1)式から基盤までの深さ h を推定し、(2)式によって表層地盤の壊れやすさ指数  $K_g$  を算定した。

$$h = V_b / (4AF) \quad (1)$$

$$K_g = A^2 / F \quad (2)$$

### 3. 測定箇所

チョームキティパゴダでは、図 1(a)に示すように、仏塔を中心に域内および仏塔基壇内の 29 箇所ならびに域外の地盤上の 1 箇所、合計 30 箇所にて微動を計測した。仏塔が傾斜している方向や域内の一部が崩壊したことを念頭において計測点を配置した。

ドイステープ寺院では、図 1(b)に示すように、地盤改良工事を実施している部分を中心に、縦横に計測点を配置した。仏塔域内で 4 箇所、地盤改良工事区域内で 5 箇所、その周辺で 6 箇所の合計 15 箇所にて常時微動を計測した。図 2 に両地点の Y 方向の H/V スペクトル比を例示する。

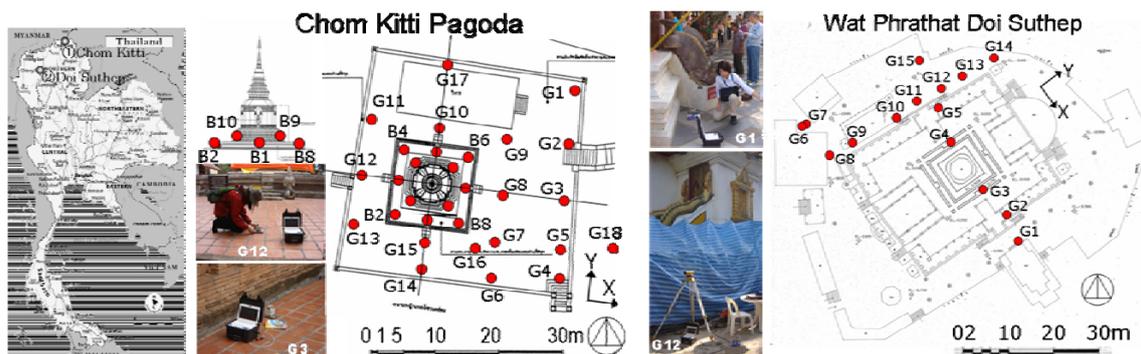


図 1 測定箇所と状況: (a) チョームキティパゴダ(CK) (b) ドイステープ寺院(DS)

### 4. 測定結果と分析

#### (1) チョームキティパゴダ

G3 については、付近を人が通ると異常に大きな上下動が計測され、付近のコンクリート被覆と地盤の間に空隙が生じているものと推測される。

H/V スペクトル比から卓越振動数と増幅倍率を読み取り、これらから  $K_g$  値ならびに堆積層厚を推定した。図 3 左に、計測された  $K_g$  値を、仏塔を中心に図示した。H/V スペクトル比を見ると、卓越振動

数は概ね 2.5Hz~2.8Hz で一定しているのに対して、増幅倍率は 3 倍~15 倍と場所により大きく変動している。これに伴い、堆積層厚の推定結果も場所により変動しているが、仏塔が傾斜している側の角部周辺で浅くなっていた。コンクリートで被覆されていることもあり、地表面の水平方向の地震動は場所によって大きく変わらないと考えられる。したがって、堆積地盤に生じるせん断歪みは堆積層厚が薄いところで大きくなると推測され、Kg 値は仏塔が傾斜している方向の角部周辺から南の部分で大きくなっている。45 (10<sup>6</sup>Gal) 以上と大きな Kg 値であり、概ね 20Gal 以上 (ほぼ震度 4 以上に対応) の地震動で何らかの地盤変状が生じると考えられる。

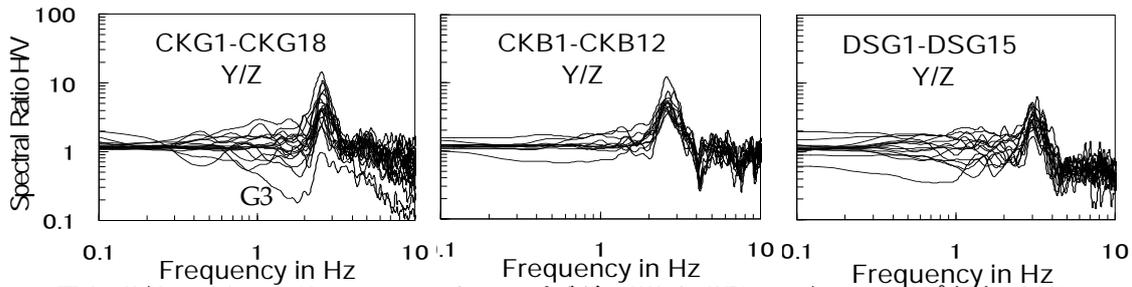


図 2 H/V スペクトル比: チョームキティパゴダ (CKG と CKB)、ドイステープ寺院 (DSG)

(2) ドイステープ寺院

H/V スペクトル比からピーク振動と増幅倍率を読み取り、Kg 値と基盤までの深さ (堆積層厚) を推定した。図 3 右には Kg 値を、仏塔を中心に各測点に対応させて示した。H/V スペクトル比をみると、卓越振動数は概ね 3Hz で、増幅倍率も 3~6.5 倍で変動は小さい。堆積層厚が小さいところや Kg 値が大きいところは、地盤改良をしているところと一致しており、地滑りの危険性が高いと判断している場所と一致していることになる。ただし、Kg 値は概ね 9 程度以下と小さく、地盤変状は 100Gal (震度 5 以上に対応) をかなり上回る地震動で生じると推測される。

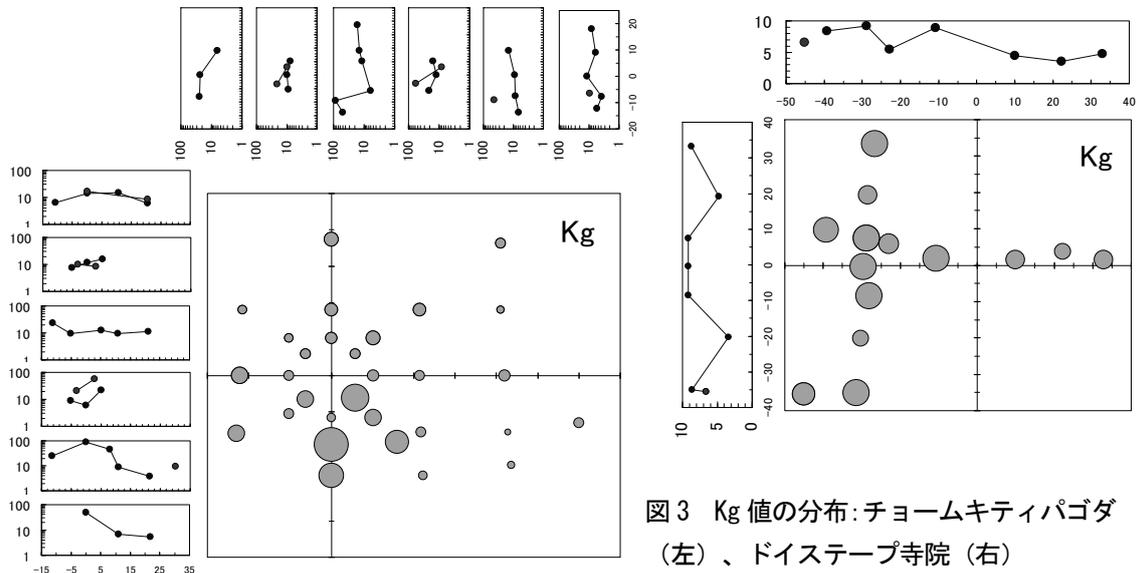


図 3 Kg 値の分布: チョームキティパゴダ (左)、ドイステープ寺院 (右)

5. おわりに

以上、常時微動調査によって文化財の周辺地盤の耐震性が的確に把握でき、具体的な地震対策の策定や評価が可能になることが確認された。今後は、さらに文化財そのものについて常時微動調査を用いた的確に耐震評価を行う手法の確立を図りたい。

謝辞: 本研究は、文化庁委託「被災文化財復旧に係る調査」の一環として実施された。測定にあたっては、タイ文化省芸術局の Sudchai Phansuwan 土木技師、Manatchaya Wajvisoot 建築士の協力と支援を受けました。記して謝意を表します。

参考文献: Nakamura, Y.: Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and its Applications, Proceeding of 12<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, #1256, 2000.