

ネパール・カトマンズにおける歴史的建造物の振動特性の評価

京都大学大学院 学生会員 辰巳雅俊

京都大学大学院 正会員 清野純史

立命館大学歴史都市防災研究センター 正会員 Hari Ram Parajuli

立命館大学歴史都市防災研究センター 正会員 谷口仁士、土岐憲三

1. 目的

ネパールの首都であるカトマンズには、17世紀に建てられた貴重な煉瓦造の寺院や宮殿、民家が多く存在する。カトマンズはヒマラヤ造山帯の一部に位置しており、地震多発地帯である。そのため、カトマンズ谷の歴史的建造物は、100年に1回程度生じる大地震の度に倒壊を含む被害を受け、その度に形を変えたり、消滅したり、あるいは近年の鉄骨や鉄筋コンクリートを用いた補強工事により、伝統的工法とは異なった姿になることがある。

本研究では歴史的建造物の地震に対する耐力を調査するため、常時微動観測から、固有振動数や減衰定数、ねじれや並進モードを調べることで歴史的建造物の振動特性を評価することを目的とする。

2. 観測対象建物の概要

今回対象とした建物は、パタン市北西部に位置し(図1)、17世紀中頃に建てられた伝統的な煉瓦造で(図2)長辺約16.5m、短辺約5.6m、最高高さ約7.5mの長方形型の煉瓦造2階建てである。地震や老朽化により補修が行われ、部分的に新しい煉瓦が存在する。また、壁面には多数のクラックや煉瓦の欠損が確認できる(図3)。煉瓦の大きさは約5cm×10cm×25cmで、煉瓦同士をモルタルでつなぎ合わせている。



図1 対象建物の位置

建物内部の特徴は、各フロア中央に長辺方向に厚さ下部約60cm 上部約50cmの壁があり、その壁によってフロアが幅2-3mの2列の細長い空間に分けられている。



図2 対象建物外観



図3 対象建物

床は木製の梁や板の床であったものを、近年コンクリートで覆ったものである。2階天井は、両端とフロア中央の壁に掛けられた多くの梁のみとなっている(図4)。本論文で



図4 フロア中央の壁

は短辺方向をY方向、長辺方向をX方向とする。

3. 観測の概要

今回はミットヨ製ポータブル地震計GPL-6A3Pを用いて水平2成分・鉛直1成分を記録した。GPSアンテナにより時刻補正を行い、自動トリガシステムにより収録する。サンプリング周波数は100Hzで収録時間は20分間とした。周辺地盤と建物内部で観測を行った。建物内部の観測地点を図5に示す。

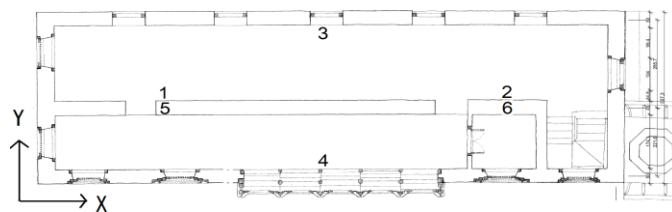


図5 地震計配置

キーワード 常時微動 歴史的建造物 フーリエスペクトル 固有振動数

連絡先 京都市西京区京都大学桂Cクラスター 地震防災システム研究室(075-383-3252)

1 階は観測点 1～4 で観測し、2 階は観測点 1～6 で観測を行った。観測点 5 と 6 はどちらも 2 階中央の壁の上に地震計を設置して測定を行った(図 4)。

4. 周辺地盤の振動特性

対象建物の周辺地盤 3 カ所で常時微動観測を行った。観測データからノイズを含まない連続した 4096 個のデータ($\Delta t=0.01$ 秒)を 8 組選び出し水平成分と鉛直成分のスペクトル比である H/V スペクトルを算出し、0.3Hz の Parzen Window で平滑化した(図 6)。

図 6 から低周波数領域でピークがあるように見えるが、測定器の特性により 1 Hz 以下の低周波数は正確に測定することができないため、1Hz 以上の周波数を見ると、どの地点の H/V スペクトルもおおよそ 4Hz～7Hz の範囲にいくつかのピークが見られるが、どれも値が小さく、明確な卓越振動数を得ることができない。そのため対象建物周辺の地盤は固く、良好な地盤であると考えられる。

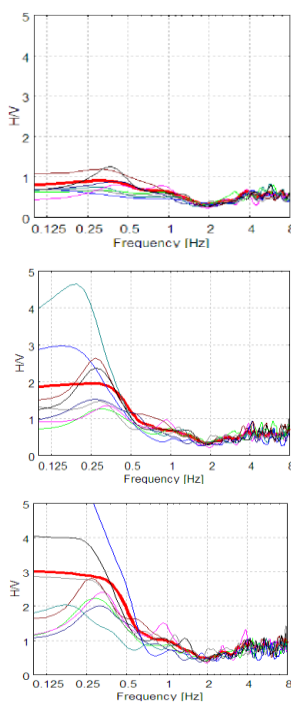


図 6 H/V スペクトル

5. 建物内の常時微動測定

建物の揺れ振動を考察するため、観測点 1 と観測点 2 の Y 方向成分から、それぞれの和を並進成分、それぞれの差をねじれ成分とし、並進とねじれ 2 成分のフーリエスペクトル、X 方向については観測点 3 と 4 から並進とねじれ成分を求め、図 7 に示す。また X、Y 両方向の位相差のグラフも同時に図 7 に示す。図 7 より X 方向については 6.8Hz が並進が卓越するモードで 5.8Hz がねじれが卓越するモード、Y 方向について 4.3Hz は並進が卓越するモードで、5.8Hz はねじれが卓越するモードであると判断できる。また、Y 両方向の位相のグラフは、並進が卓越

する振動数では 0 度に近い値となっており、ねじれが卓越する振動数では 180 度となっている。

6. 減衰定数

地震計を観測点 5 と 6 に設置し、X、Y 方向それぞれに 3 回、ノイズとなる振動が少ない時に、人力加振実験を行い建物を自由振動させた。観測データを 1Hz～8Hz のバンドパスフィルターに通してノイズを除去し、減衰波形から対数減衰率を用いて建物の減衰定数を求めたところ、X 方向が約 5.64%、Y 方向が約 3.10%であった。

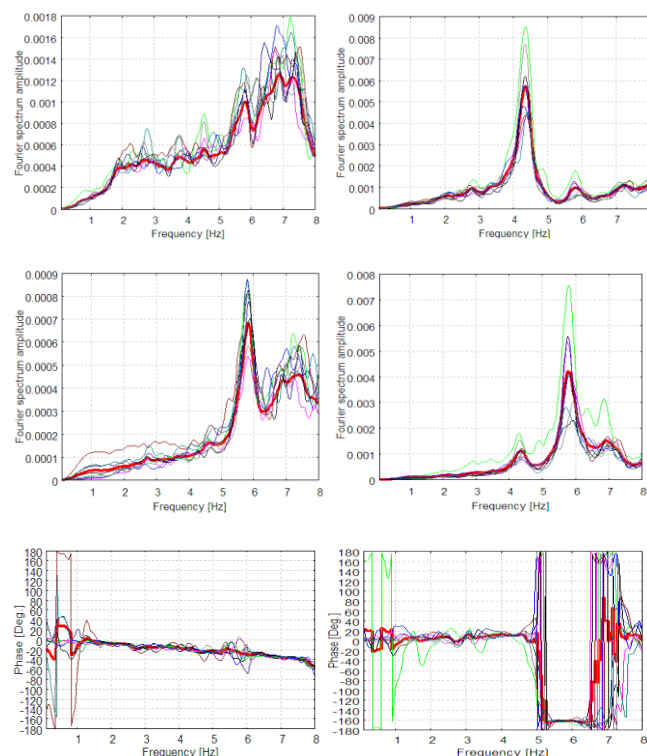


図 7 上から並進・ねじれ・位相のグラフ(左 X 方向、右 Y 方向)

7. 結論

本研究で得られた結果は以下のとおりである。

1. 対象建物の周辺地盤は、H/V スペクトルに明確なピークが現れなかったことから、周辺地盤は固く良好な地盤であると考えられる。
2. 対象建物の X 方向の 1 次固有振動数は、6.8Hz で並進が卓越するモード、2 次固有振動数は 5.8Hz で、揺れが卓越するモードである。
Y 方向の 1 次固有振動数は、4.3Hz で並進が卓越する s モード、2 次固有振動数 5.8Hz で揺れが卓越するモードである。
3. 対象建物の減衰定数は、X 方向が約 5.6%、Y 方向が約 3.1%である。