

5) 鹿島学術振興財団 2007 年度研究助成

5) - 1 重要文化財五重塔の動的挙動の調査研究

－地震・台風および常時微動の観測－

Dynamic Performance of Five-Storied Pagoda Registered as Cultural Properties － Monitoring of Earthquake, Wind and Microtremore －

(研究期間 平成 20～21 年度)

構造研究グループ

河合直人

Dept. of Structural Engineering

Naohito Kawai

The objectives of this study are 1) to understand the inherent potentialities of Japanese historical timber five-storied pagodas that have survived for many centuries against large earthquakes and strong typhoons and 2) to complete the database of the fundamental dynamic properties of the timber existing five-storied pagodas constructed before Edo period in Japan. The microtremore measurement of the historical five-storied pagoda in Kaijyusen-ji Temple was conducted in 2008. And from October in 2008, earthquake monitoring of the historical five-storied pagoda in Hokekyou-ji Temple was performed by conventional accelerometers, as well as, wind monitoring was conducted by new technique utilizing an image processing system with LED and CCD camera.

【研究目的及び経過】

我が国において、木造五重塔が地震で倒壊した記録はないとされており、その耐震性に関する研究も行われている。しかしながら、文化財五重塔において、心柱系も含めた詳細な多点観測は行われておらず、地震時の大変形時の実挙動の把握、台風等の強風時における実挙動の把握が課題として残されている。

本研究は、重要文化財五重塔の耐震・耐風性能に関わる動的挙動の把握を目的として、重要文化財・中山法華経寺五重塔（1622 年、千葉県市川市）の地震・台風観測と国宝・海住山寺五重塔（1214 年、京都府木津川市）の常時微動測定を行うことを主たる内容としている。

なお本研究は、研究代表者、花里利一（三重大学・教授）、共同研究者、箕輪親宏（防災科学技術研究所・研究参事）、河合直人、前川秀幸（職業能力開発総合大学校・准教授）、日塔和彦（東京芸術大学・客員教授）、森井順之（東京文化財研究所・研究員）による研究組織で実施された。

【研究内容】

1) 法華経寺五重塔の地震・台風観測

法華経寺五重塔の地震・風観測では、加速度計を地盤、初重から五重までの塔身および心柱に設置し、計 10 か所、18 成分の連続モニタリング観測を行った。また、風応答による長周期の揺れの精度よい観測のため、LED を用いた画像計測システムを導入し、2008 年 10 月末から長期モニタリングを行った。地震観測及び風観測

のシステムをそれぞれ図 1、図 2 に示す。

2) 海住山寺五重塔の常時微動測定

16 台の高感度速度計を用い、設置パターンを順次変えて、地盤及び塔身、合計 38 点における常時微動測定を行った。併せて、1 次、2 次の固有振動数に合わせて加振する人力加振を行った。

【研究結果】

1) 法華経寺五重塔の地震・台風観測

2009 年度に記録された地震として、2009 年 8 月 9 日東海道南方沖地震(M=6.9,震源距離約 320km)、同年 12 月 18 日栃木県南部地震(M=5.1,震源距離約 80km)があり、法華経寺五重塔に設置した地盤の地震計によればピーク加速度はそれぞれ約 20Gal、約 8Gal が記録された。入力地震動の周期特性により、東海道南方沖地震では、1 次モード(固有振動数 0.78Hz)、栃木県南部地震では、2 次モード(固有振動数 2.2Hz)が卓越する動きがみられた。また、頂部の最大変位(計算値)は、それぞれ約 5mm、約 2mm であった。さらに、スペクトル解析の結果、1 次固有振動数には変位依存性がみられることも確認した。2008 年度に観測された地震もいずれも震度Ⅱ～Ⅲ級の地震動であり、五重塔頂部変位は最大で約 10mm、層間変形角も最大約 1/2000 であり、変形レベルは微小であった。

一方、台風観測では、平成 21 年台風 18 号が 10 月 8 日に関東地方を通過した際の記録が観測された。台風が法華経寺に接近した時間帯は午前 8 時～10 時である。

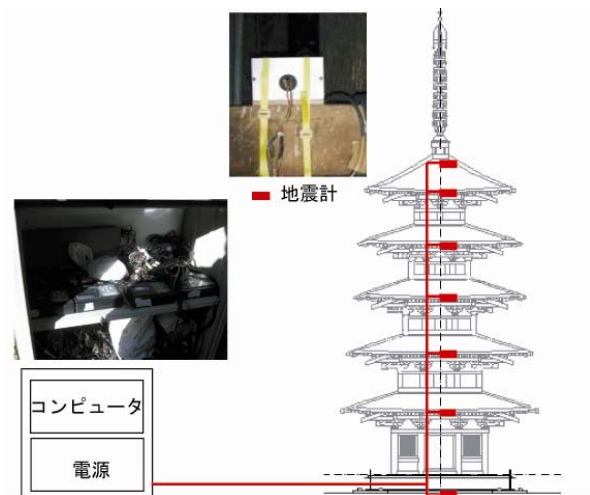


図 1 地震観測システム

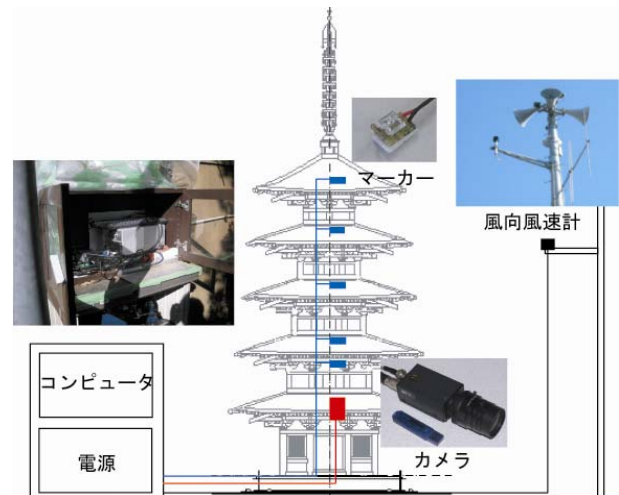


図 2 風観測システム

法華経寺に設置した風向風速計によれば、最大瞬間風速は 27m/s であり、その時間の風向きはほぼ南風であった。

図 3 は、五重頂部の 10 分間における最大変位(瞬間値)と平均風速を連続して示したもので、風向きの方向に変位を合成している。図に示すように、静的な成分も精度よく記録することができ、初重天井位置との相対変位は五重頂部で約 50mm であり、平均変位との比(ガスト影響係数に対応)を求めると約 3.4 であった。また、図 4 は五重頂部の軌跡を示したものである。風向方向が卓越しており、風向直交方向の変形は小さい。このことは、搭状建造物の不安定現象を引き起こすいわゆるフラッター現象は発生していないことを示している。本研究では、2008 年 10 月末から、五重塔水平変位の長期連続モニタリング観測を実施している。その記録によれば、季節変動の可能性も考えられる動きを示している。

2) 海住山寺五重塔の常時微動測定

常時微動測定の結果、並進モード 1 次固有周期 0.88 秒、2 次固有周期 0.32 秒、ねじれ 1 次固有周期 0.62 秒、鉛直方向 1 次固有周期 0.15 秒の基本的な振動特性をもつことがわかった。また、人力を加振源とした並進方向の自由振動実験の結果、減衰定数は約 2.4~2.9%であることがわかった。この測定により、既往の研究成果をふまえて、江戸期以前に建てられて現存する文化財五重塔 22 基すべての固有振動特性に関するデータベースを完成させることができた。

【参考文献】

1) 箕輪親宏, 河合直人, 前川秀幸, 花里利一, 日塔和彦「重要文化財五重塔の地震と風の応答観測 その 1、その 2」建築学会大会梗概集, 2008

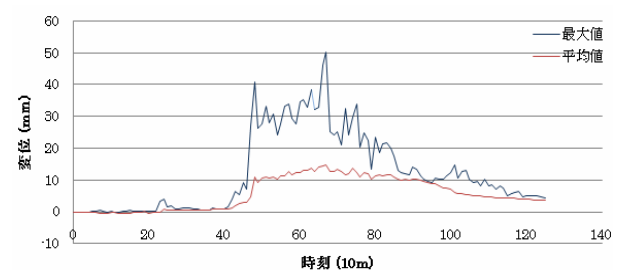


図 3 台風 18 号による五重塔頂部の最大変位と 10 分間平均変位の時刻歴

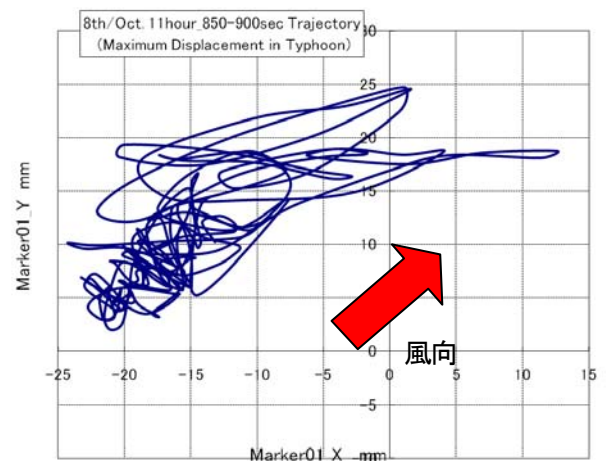


図 4 台風 18 号による五重塔頂部の変位軌跡と風向

2) C. Minowa, N. Kawai, H. Maekawa, K. Nitto, T. Hanazato and Yasushi Niitsu: "Observation of Wind and Earthquake Responses of National Heritage Five Story Wooden Pagoda" Proc. of WCTE2010 (投稿中)