

常時微動から推定される伝統的木造建築物の振動特性*

——真楽寺三重塔修理前後の特性比較——

服部秀人*¹ 小林 清*² 菊地敏男*³ 桂本孝久*⁴ 和田 勝*⁵

吉澤政己*⁶ 大沼万孫*⁷ 奥田 暁*³ 岩楯徹広*⁸ 島 坦*⁹

Vibration Characteristics of Traditional Wooden Three-storied Pagoda Estimated from Microtremors

Hideto HATTORI, Kiyoshi KOBAYASHI, Toshio KIKUTI, Takahisa ENOMOTO,
Masaru WADA, Masami YOSHIZAWA, Kazuhiko OONUMA,
Satoshi OKUDA, Takahiro IWATATE, Hiromu SHIMA

In order to clarify the vibration characteristics of the traditional wooden pagoda with three-storied of Shinraku-ji temple, the microtremors and the vibration tests by man-powered excitations were carried out before and after repairs.

From microtremors, three predominant frequencies and modes were obtained, as 1.5Hz, 2.3Hz and 3.7Hz, respectively. From vibration tests, the damping coefficient of 1st mode frequency of the pagoda was obtained as about 0.03.

Comparing the vibration characteristics of the pagoda before and after repairs, the natural period was slightly increased (7%).

キーワード: 三重塔, 常時微動, 振動特性, 伝統的木造建築物

1. はじめに

我が国の伝統的木造建築物は比較的地震に強いといわれている。筆者らはこれまで、善光寺地震(1847)におけるお寺の被害をもとに、お寺本堂の振動特性や本堂の被害と地震動強度について調べてきた¹⁾²⁾。それら一連の研究を通して、確かに木造のお寺の古い本堂は強震動に対して強いとの印象を抱いている。五重塔については、山辺・金井(1988)が耐震性につ

いて考察しており、五重塔が地震で倒壊したという資料が無いことや、関東地震(1923, M=7.9)の際、下町の多くの木造家屋が倒壊したにもかかわらず浅草寺の五重塔には被害がなく、今でも語り草になっていると述べている³⁾。また、内田ら(1996)が法隆寺五重塔について微動観測を行っている⁴⁾。ここに述べる真楽寺三重塔は長野県御代田町の有形文化財で、2000年に修理工事が行われた。その際、修理の前と後に常時微動測定と人力加振による共振実験を行い、三重塔の振動特性を調べた。以下に振動測定とその結果について報告する。

2. 真楽寺三重塔および修理の概要

2-1. 真楽寺三重塔

* 2001年土木学会第56回年次学術講演会で一部発表

¹環境都市工学科教授 ²環境都市工学科技官

³大林組技術研究所 ⁴神奈川大学工学部

⁵信濃伝統建築研究所 ⁶信濃建築史研究室

⁷トランスコスモス ⁸東京都立大学工学部

⁹信州大学名誉教授

原稿受付 2002年5月17日

真楽寺は浅間山麓にある真言宗の古寺で、山号を浅間山と称し、浅間山鎮静の寺とされている。1万余坪の境内に本堂、庫裏、書院、三重塔、仁王門、観音堂などがある。三重塔は観音堂の東に南を正面として立っている。建築年代は、露盤銘に寛延4年(1751)と有り、18世紀中期と推定されている。塔の規模は、高さが相輪を含めて約22.5m、初重の1辺が12.5尺(3.787m)の計画寸法で、三重塔としては中規模である。各重の減衰率は少なく、縁(えん)が高く屋根の勾配も急で、江戸時代の三重塔の特徴を有している。

2-2 修理の概要

今回(2000~2001年)の修理は1951年に行われて以来のものである。その概要を以下に記す。一重(いちじゅう)の外回りについて、縁の下部の石を据え直し、縁の板を張り直した。外周に雨落溝(あまおちみぞ)と、地面から縁への石の階段を設置した。一、二、三重の屋根を銅板で葺き替えた。屋根の葺き替えに先立ち、裏甲(うらこう)と軒付(のきづけ)を外へ移動して屋根の輪郭を広げ、元来の大きさに屋根を復元した。三重の屋根の野地板(のじいた)を取り替えた。相輪(そうりん)下部の露盤(ろばん)が割れて心柱(しんばしら)に水が入り、心柱を支える盤木(ばんぎ)の一部が腐っていたので補修し、露盤も修理した。露盤を支える左義長柱(さぎちょうばしら)を修理し、その内1本を取り替えた。相輪に修理と塗装を施した。

3. 振動測定

三重塔の固有振動数と振動モードを推定するために、常時微動の速度波形を約30分間測定した。また、減衰定数を推定するために人力加振を行い、減衰自由振動の速度波形を収録した。常時微動のスペクトルから1次卓越振動数が1.5Hzであることが確認された。メトロノームを1.5Hzにセットし、そのリズムに合わせて人力加振を行った。

3-1 修理前後における振動計の配置

修理前の測定は2000年7月⁵⁾、修理後は2001年7月に実施した。修理後の速度計配置を図1に示す。速度計は各々のF(階)ごとに水平2成分(HS, HE)上下2成分(北側にVN, 西側にVW)を配置した。また、修理後では、心柱(P)の上部(U)に水平2成分、低部(L)に同じく水平2成分の振動計を配置し、塔の本体と心柱が互いにどのように振動しているか調べることにした。心柱の測定は修理後にのみ実施した。

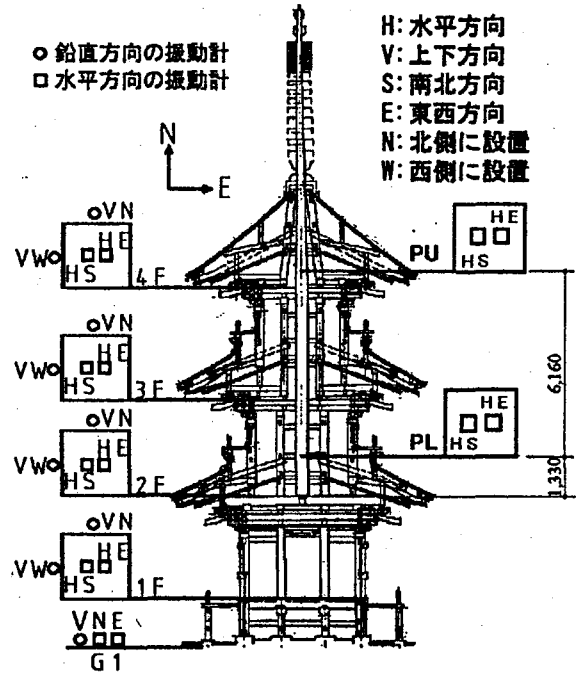


図1 修理後の速度計配置

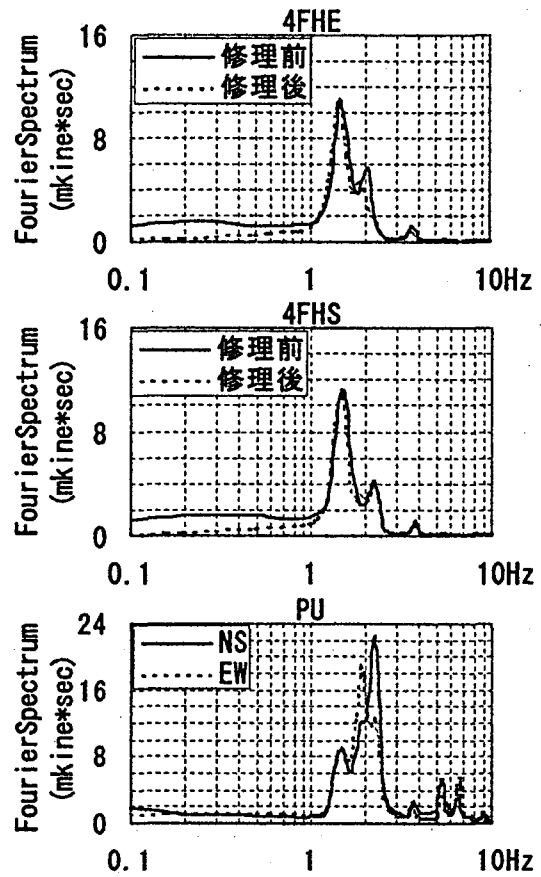


図2 フーリエスペクトル

4. 測定結果と考察

4-1 卓越振動数

図2に修理前後の常時微動波形のフーリエスペクトルを示す。4階(4F)の正面-奥行き方向(4FHS)において、低次から順に1.46(1.46)Hz, 2.25(2.25)Hz, 3.81(3.71)Hzに3つの卓越振動数が存在する。

()内は修理後の数値である。左右方向(4FHE)では1.46(1.46)Hz, (1.86Hz), 2.05(2.25)Hz, 3.71(3.61)Hzとなっている。修理後における4FHEの2番目の卓越振動数1.86Hzは、心柱上部(PU)の卓越振動数(1.86Hz)と一致している。これら2Hz付近の卓越値は心柱の固有振動と関連したものであると思われる。上記の卓越振動数(1.46(1.46)Hz, 2.25(2.25)Hz, 3.81(3.71)Hz)は三重塔の固有振動数と対応した値と考えられる。これら3つの卓越振動数を1次, 2次, 3次と呼ぶことにする。この度の修理によって剛性・質量ともに少し増大したと考えられるが、微動による1次と2次の卓越振動数には修理の前後における差異が見られず、わずかながら3次の固有振動数が3%ほど小さくなっている。

4-2 振動モード

図3に修理前後の振動モードを示す。1~3次の卓越振動数について、各階(2F, 3F, 4F)の1Fに対する各スペクトル比から倍率と位相差を読み取り、1Fの動きを1とした振動モードを示したものである。各振動モードは1次が片持ち構造の曲げ変形的であり、2次がせん断変形的である。3次は片持ち梁の2次モード的である。

4-3 振動モード

1Fに対する心柱のスペクトル比から、心柱の振動モードを調べてみたが、塔本体と同位相で振動しており、逆位相による免振性は見られなかった。

4-4 減衰定数

人力加振による共振実験で測定された自由振動波形を図4に示す。これらの波形から対数減衰率と減衰固有振動数を読み取り、減衰定数を求めた結果、減衰定数はおおよそ0.03であった。修理前後における減衰定数はほとんど同程度の値であった。1次固有振動数は修理前で平均1.51Hz, 修理後で1.40Hzとなり7%ほど低下している。

5. まとめ

本測定を実施して、真楽寺三重塔について以下の

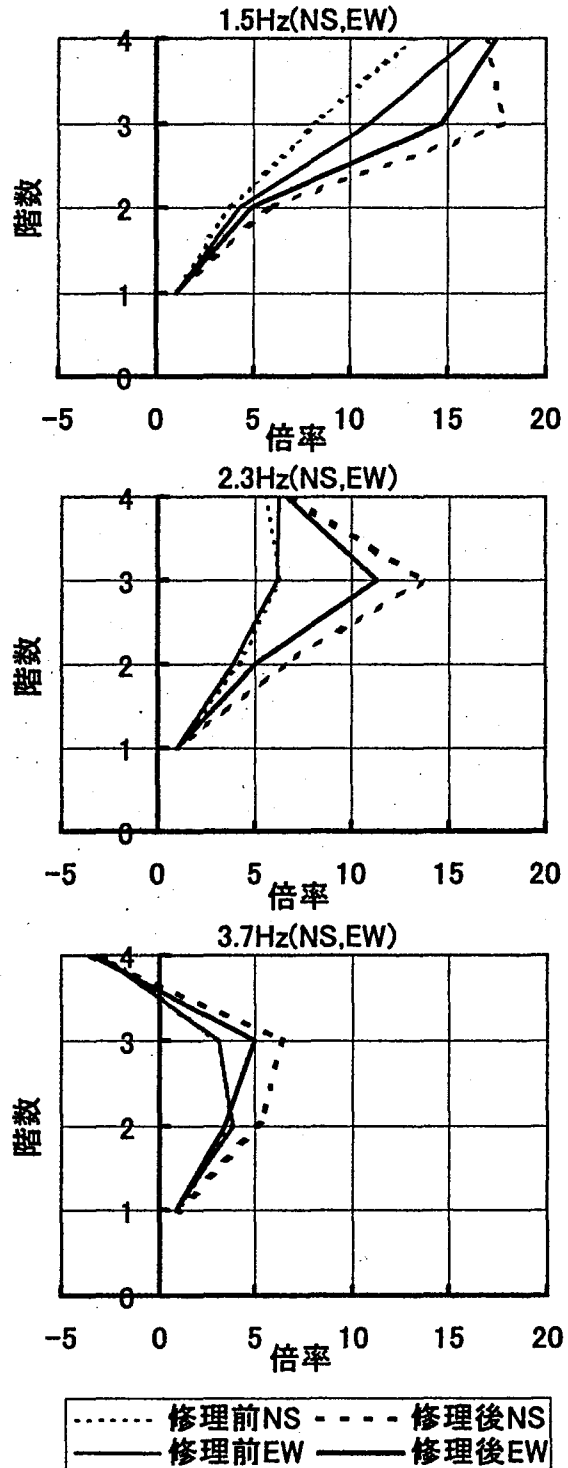


図3 三重塔の振動モード

ような貴重な知見が得られた。

① 1次, 2次, 3次の卓越振動数はそれぞれ1.5Hz, 2.3Hz, 3.7Hz付近の値である。

② 振動モードは1次が片持ち構造の曲げ変形的で

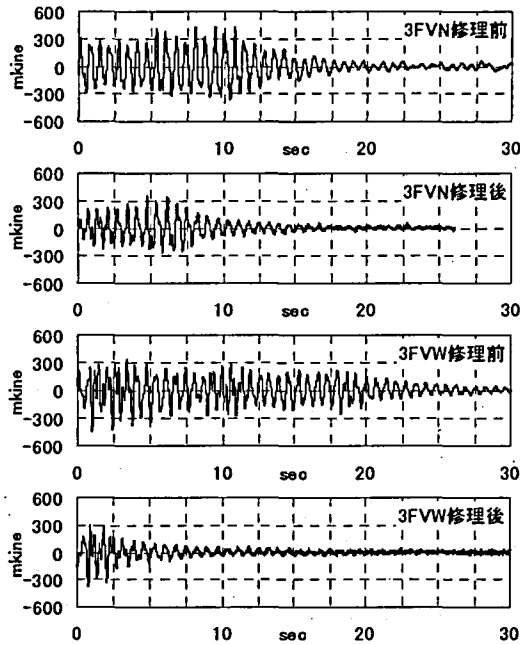


図4 減衰自由振動

あり、2次がせん断変形的である。3次モードは片持ち梁の2次モード的である。

③修理後の固有振動数がわずかに低下した。

④100~200mkine程度の自由振動における減衰定数は0.03程度である。

心柱の挙動については、今後、免振性について解析的な考察を加えたいと考えている。

謝辞

貴重な文化財の振動測定をお許しいただいた真楽寺ご住職向井深道師はじめ総代の皆様ならびに御代田町教育委員会に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 服部秀人：「善光寺地震（1847）におけるお寺の被害と地盤・本堂の振動特性」，地盤工学会中部支部 信州地域地盤研究会第1回信州ジオテクセミナー，pp5-11（2000.1）
- 2) 服部秀人，小林清 他：「善光寺地震（1847）におけるお寺の被害——山崩れによる本堂の倒壊と地震動強度——」，第17回歴史地震研究発表会講演要旨集，pp53-54（2000.9）
- 3) 山辺克好，金井清：「五重塔の耐震性に関する研究」，日本大学生産工学部報告，第21巻，第2号，pp91-110（1988.2）
- 4) 内田昭人「常時微動測定による古建築の構造安定性に関する研究」平成6年度～平成8年度科学研究費補助金(基盤研究B)研究成果報告書，（1997.4）
- 5) 服部秀人，小林清 他：「伝統的木造建築物(三重塔)の振動特性——真楽寺三重塔の修理前における微動観測——」土木学会第56回年次学術講演会講演概要集，I-A074，（2001.10）