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後における振動特性の比較――

長野工業高等専門学校　正員 服部秀人　小林 清
信濃伝統建築研究所　和田 勝　　信濃建築史研究室　吉澤政己
大林組技術研究所　正員 菊地敏男　奥田 暁　　トランス・コスモス　大沼万孫
東京都立大学　正員 岩楯敞広　　信州大学名誉教授　島 坦

１．はじめに

2000 年度に, 長野県御代田町の有形文化財真楽寺三重塔の修理が行われた．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．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．一重の外回りについて，縁(えん)の下部の石を据え直し，縁の板を張り直した．外周に雨落(あまおち)溝と，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(うらごう)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)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，人力加振を行い，減衰自由振動の速度波形を収録した．常時微動の予備測定から 1 次卓越振動数を調べ，それに合わせて人力加振(1.5Hz)を行った.

３－１　修理前後の測定位置

修理前の測定は 2000 年 7 月 [1], 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.

４．測定結果および考察

（１）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

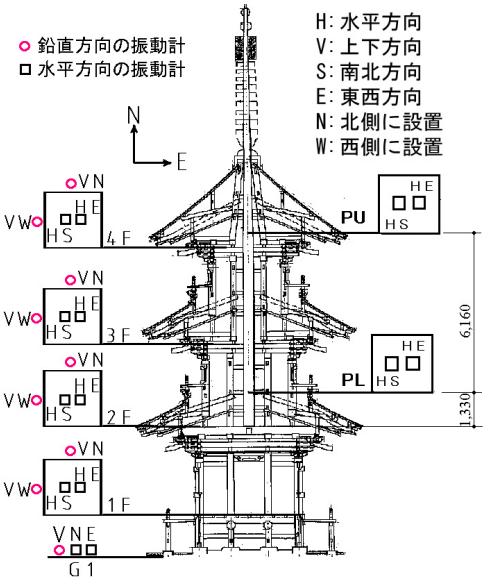

図１　修理後の速度計配置

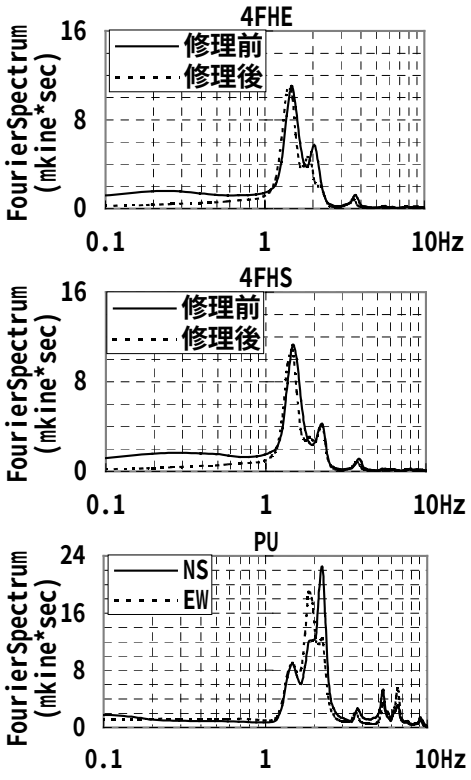

図２　フーリエスペクトル(常時微動)

キーワード：三重塔，常時微動，振動特性，伝統的木造建築物
連絡先：〒381-8550 長野市徳間 716　長野工業高等専門学校 環境都市工学科

（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ろうと思われる．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．

（２）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．

（３）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）図４に自由振動波形を示す．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．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ような貴重な知見が得られた．

①１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．

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，小林他：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，Ⅰ-9，2001．

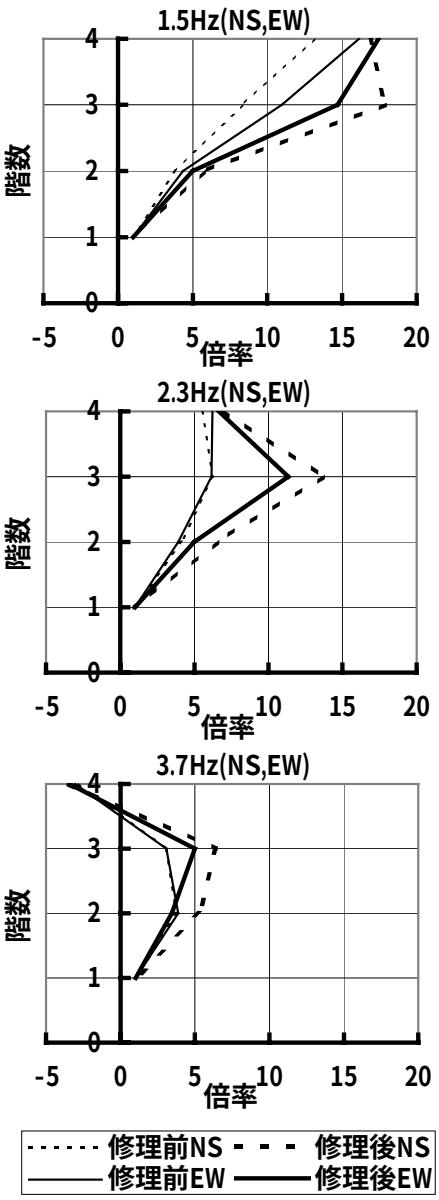

図３　振動モード

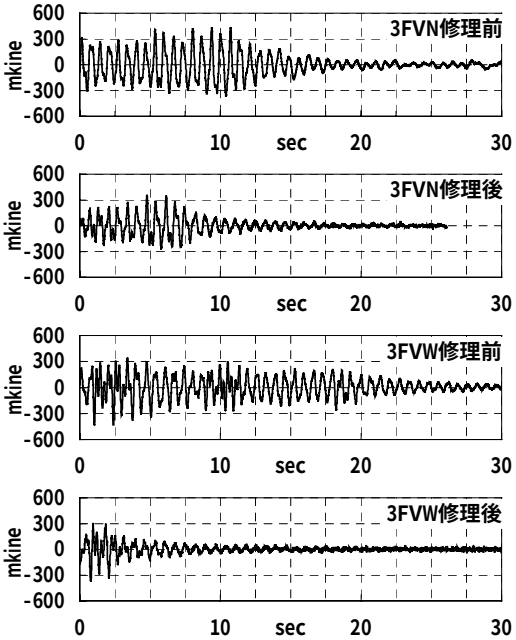

図４　減衰自由振動の波形