

伝統的木造建築物の振動特性

—元興寺極楽坊本堂・禅室の常時微動測定—

はじめに 1993年度から科研費等により「伝統的木造建築物の振動特性に関する研究」として、国土交通省国土技術政策総合研究所・職業能力開発総合大学校と共同研究を行っている。これまでに、宮内省南殿2棟・法隆寺建物4棟・薬師寺建物3棟・東大寺建物1棟・平城宮朱雀門・清水寺仁王門・南禅寺三門を対象として常時微動測定を実施した。この測定方法の有効性について検討を進めるとともに、研究成果については逐次国内外の学会で発表してきた。本稿では元興寺極楽坊本堂及び禅室建築物の常時微動を測定した結果について報告する。

測定対象建築物の概要 対象建築物は、奈良南都七大寺の一つで、国宝に指定された元興寺極楽坊本堂と同禅室である。現存する伽藍は奈良時代の創建当初のものではなく、鎌倉時代に改築再建されたものである。その後間仕切りの変更や模様替が行われたが、両建物とも昭和に入って解体修理がなされ、鎌倉時代の姿に復されている。建物の平面図及び断面図を図30に示す。

本堂の構造形式は、寄棟造、妻入、本瓦葺で、建物正面にある一間の通り庇は、改築再建後につけられたものである。正面庇の柱は角柱であるが、それ以外の堂内の柱はすべて円柱である。建物規模は梁間（6間）17.14m、桁行（6間）17.74mとほぼ正方形をしている。大棟までの高さは11.86mで、禅室に比べ3m程高くなっている。堂内には基壇の背面に土塗壁があるが、その他は間仕切りとなる壁は存在しない。

禅室は、北側西端の土塗壁で囲まれた小部屋とその他の間仕切のない広間とに分かれている。柱は主として円柱であり、間柱として角柱が存在する。桁行方向の正面と背面には土塗壁がなく、すべて開口部となっているが、梁間方向の両側面は開口部がなく、完全に土塗壁に覆われている。

測定方法及び解析 常時微動測定は15台の微動計を図30の断面図に示す各レベルに順次設置し、配置パターンを変えて複数回行った。また人力加振により建物の固有振動数に近い振動数で強制振動させ、急停止させることによって建物の減衰波形を得た。測定時の風速の測定には、サーミスタ風速計を用い、平均風速1m/sec以下の時間

帯に測定した。得られた速度波形をFFT解析処理し、建物の伝達関数を求め、建物の固有振動数、減衰定数及び振動モードを推定した（内田ほか「伝統的木造建築物の振動特性 その3,4,6,7,8」『日本建築学会大会学術講演梗概集C-1』1996・97・98・99）。

測定結果と考察 測定から以下の成果を得た。

1) 固有振動数、振動モードと減衰定数 振幅のレベルは、両堂とも地動で0.05mkine（ミリカイン）程度、梁上（レベル3）1次で最大1.2mkine程度であった。FFT解析結果（伝達関数）の例を図31に示す。10Hz以下では5~8Hzにピークが見られるものもあるが、それぞれのパターンに共通する顕著なピークを整理すると、いずれの配置パターンでも見られた明確なピークは2~3Hzあたりに確認できたことから、これらのピークを建物の固有振動数とする。得られた固有振動数、振動モードと減衰定数を表1に示す。

各固有振動数における各測定点の振幅と位相から作成したレベル3の高さにおける振動モード図を図32に示す。本堂では1.95Hzが梁間方向の並進モードとなり、振幅比は、背面より正面が大きいことを示している。これは本堂の正面側に壁が全く存在しないためと考えられる。2.19Hzでは桁行方向の並進モードを示した。両側面とも同程度の壁量を有するため、振幅比に大きな差が生じないことがうかがえる。2.81Hzではねじれモード（回転）を示した。禅室では2.27Hzが桁行方向の並進、2.58Hzが梁間方向の並進、3.36Hzがねじれモードであることがわかる。

2) 建築物の荷重変形関係の推定 両堂について柱傾斜復元力と土塗壁の耐力を考慮した荷重変形関係の推定を行った（文化庁文化財部建造物課「重要文化財（建造物）耐震診断指針」参考資料集、2000）。計算結果を図33に示す。計算結果より、禅室の梁間方向の耐力が最も大きく、両側面の土塗壁の影響がうかがえる。禅室の桁行方向及び本堂両方向の耐力は、禅室の梁間方向のほぼ1/2程度であると推定できる。

3) 固有振動数の比較 荷重変形関係の初期剛性及び質量を用いて固有振動数を算出し、常時微動測定結果と比較した。既往の測定結果を併記した結果を図34に示す。本堂・禅室とも測定値が計算値より若干高い結果となった。計算値が低い値となるものの、各建物とも比較的高い相関を示している。

（内田昭人）

表1 固有振動数・振動モード・減衰定数

| 次数 | 本堂 (Hz) | 振動モード | 禅室 (Hz) | 振動モード | 減衰定数 (%) |
|----|---------|-------|---------|-------|----------|
| 1次 | 1.95 | S | 2.27 | R | 3.7 |
| 2次 | 2.19 | R | 2.58 | S | 1.4 |
| 3次 | 2.81 | T | 3.36 | T | — |

S: 梁間方向並進振動
R: 桁行方向並進振動
T: むじれ振動

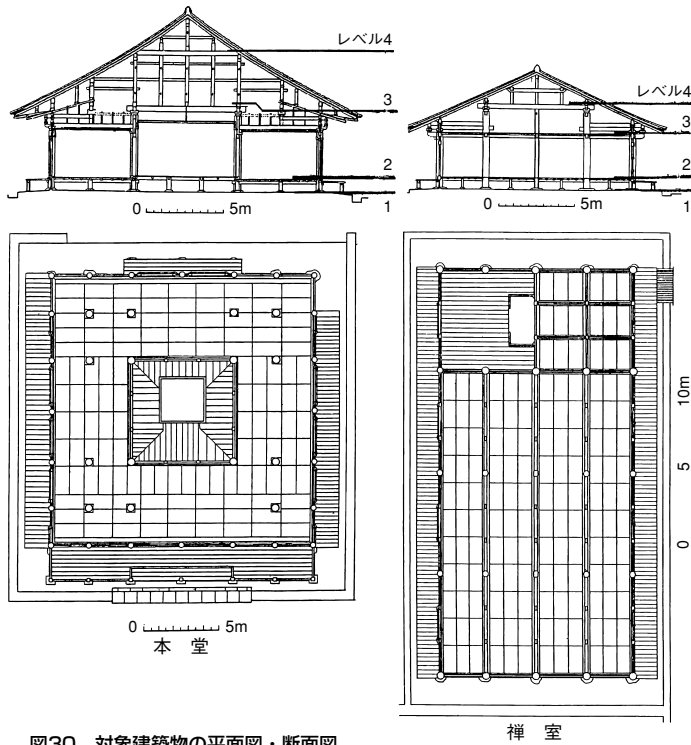


図30 対象建築物の平面図・断面図

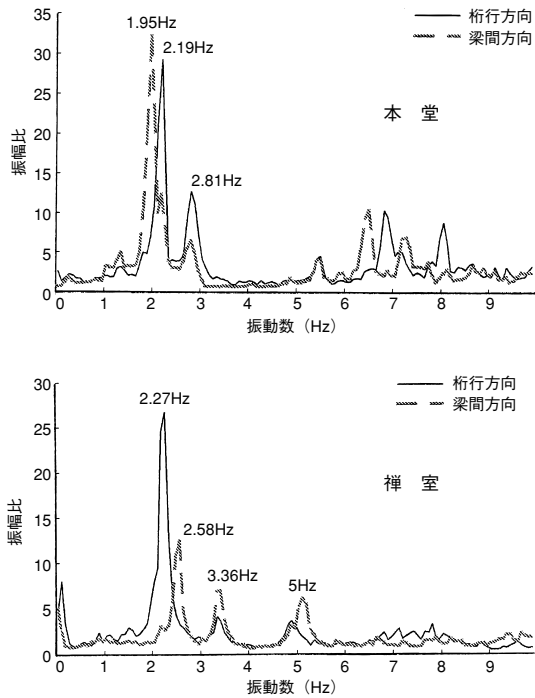


図31 FFT解析結果

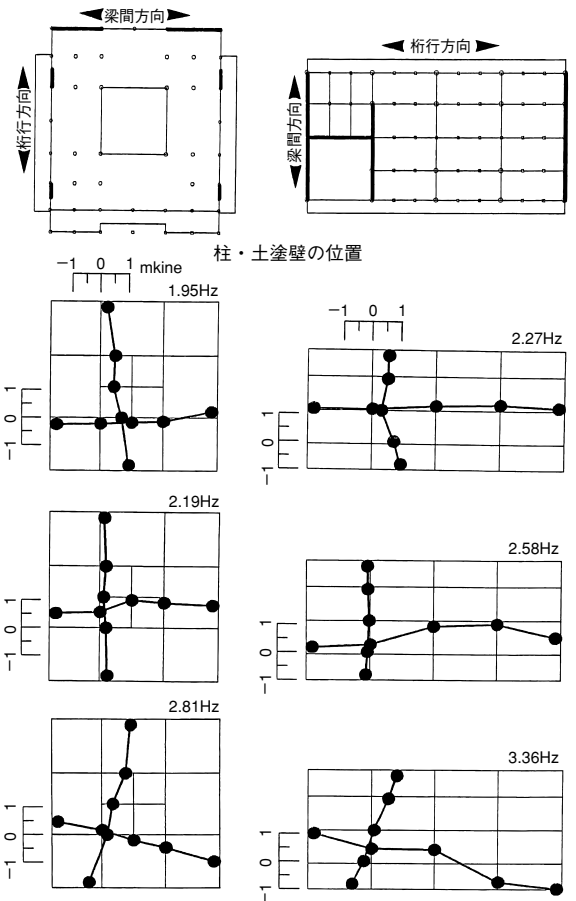


図32 振動モード (レベル3)

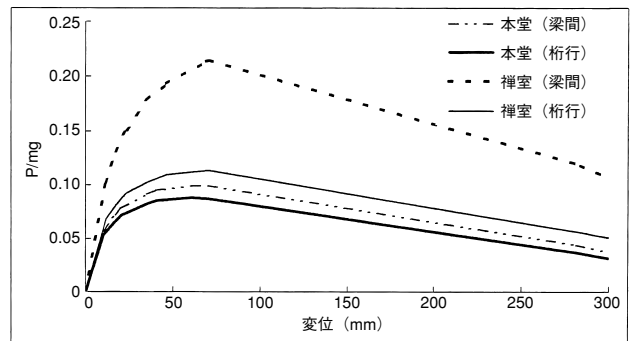


図33 荷重変形関係の計算結果

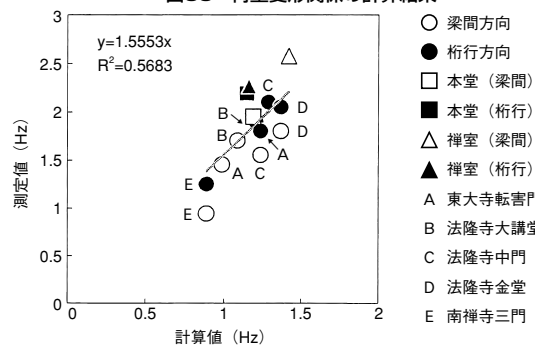


図34 固有振動数の計算値と測定値の比較