

# 文化財の耐震性向上のための社寺建築の振動特性に関する研究

正会員	藤井 智規 <sup>*1</sup>	正会員	飛田 潤 <sup>*3</sup>
同	福和 伸夫 <sup>*2</sup>	同	吉田 明義 <sup>*4</sup>
社寺建築	耐震補強	振幅依存性	
常時微動計測	振動実験	強震観測	

## 1. 序論

近い将来発生すると言われている巨大地震に対して、歴史的価値を持つ文化財を守ることは緊急の課題である。その中でも、社寺建築は地域の拠点として象徴的な存在であると同時に、広い境内を避難所として活用出来る。そのためにも社寺建築の耐震化は必要不可欠であるが、現状の課題として実物大の社寺建築の詳細な研究の不足、効果的な耐震補強の手法の未確立、そして社寺建築の景観を損なわない補強の必要性が挙げられる。

本論では、愛知県内にある 6 棟の社寺を対象に常時微動計測と振動実験を実施し、建築物の微動レベルの振動と、起振機で加振したときの挙動を多点で計測した。更に、一部の建築物に対して強震観測を実施している。

## 2. 社寺建築の概要

社寺の位置関係と表層地盤、及び外観写真を図 1 に示す。計測対象の社寺 6 棟のうち 4 棟は、堅い地盤とされる洪積層上に立地している。

常時微動計測及び振動実験のセンサー設置点



図 1 各社寺の位置、表層地盤、及び外観写真

の一例を図 2 に示す。浄照寺を例に挙げたが、残りの 5 棟も概ね同様のセンサー配置である。社寺建築は地震時にねじれながら倒壊することが多いため、小屋裏の数箇所や向拝の梁上に微動計を設置し、ねじれを計測した。

各社寺の概要、計測メニュー、及び計測結果を表 1 に示す。円楽寺、光西寺は建立当初の姿であるが、浄照寺、興禪寺は周囲を鉄骨の斜材で横方向に支持している。海蔵寺は既存の柱に新しい柱を添えて補強し、亀壁やトグル制震装置により変形時の減衰を確保している。永平寺別院・山門はすべり支承の免震装置を基礎部分に持つ。

浄照寺、円楽寺、興禪寺は、耐震補強が予定されている。今後は補強後に同様の計測を実施し、補強効果を確認することが重要である。

各社寺の宗派は表 1 に示す通りである。宗派によって、向拝の有無や屋根構造などの建て方に違いが生じる。

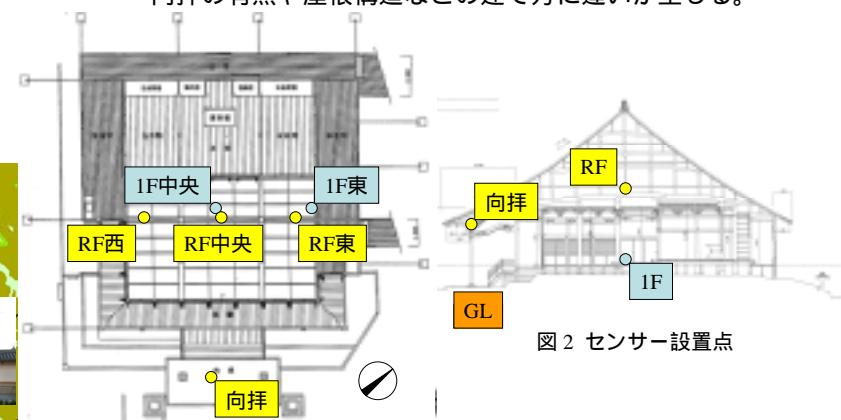


図 2 センサー設置点

表 1 概要・計測メニュー・計測結果

	浄照寺	円楽寺	興禪寺	光西寺	海蔵寺	永平寺別院山門
表層地盤	洪積層	洪積層	洪積層	沖積層	沖積層	洪積層
本堂建立年 [年]	1898	1848	1881	1805	1769	2005
軒高 [m]	14.19	12.69	11.51	11.80	13.21	7.55
面積 [m <sup>2</sup> ]	322	309	214	341	250	
柱の径 [mm]	300	260	200	250	260	350
鉄骨補強	有	無	有	無	無	無
耐震補強	未	未	未	未	制震	免震
宗派	浄土真宗	浄土真宗	臨済宗	浄土真宗	浄土宗	曹洞宗
常時微動計測						
スワイプ試験						
自由振動実験						
強震観測						
地盤探査	PS検層	PS検層	表面波探査			
GL卓越振動数 [Hz]	0.55	0.50	2.04	0.26	-	0.30
1次固有振動数 [Hz] (常時微動)	梁間 1.68	梁間 1.61	柱間 2.13	柱間 1.95	柱間 2.34	桁行 5.00
ねじれ [Hz]	1.86	1.44	2.27	1.61	2.69	-
減衰定数 (%) (常時微動)	梁間 1.86	梁間 2.27	柱間 1.59	柱間 1.69	柱間 2.76	柱間 1.59
1次固有振動数 [Hz] (振動実験)	梁間 1.61	梁間 2.48	柱間 1.68	柱間 0.22	柱間 3.49	-
(振動実験) [Hz] (振動実験)	桁行 1.55	桁行 1.56	柱間 2.05			
	桁行 1.78	桁行 1.30	柱間 2.20			

### 3. 社寺建築の振動特性とその比較

常時微動計測に基づく地盤の H/V スペクトルの卓越振動数を表 1 に示す。地盤の卓越振動数はやや長周期となっている。興禪寺では、1 次固有振動数と地盤の振動数が近接しているが、他の社寺の H/V スペクトルを確認したところ、地盤と共振するようなピークは見られなかった。

常時微動計測から求めた地盤-建物連成系の伝達関数の 1 次固有振動数、及び RD 法より求めた減衰定数を表 1 に示す。ねじれを確認した社寺はその振動数を記し、加振実験を行った社寺は共振時の振動数を記す。加振時の最大振幅はいずれも  $100\mu\text{m}$  未満の僅かな振幅であるが、振動数が 5~10% 程度小さくなつたことから、これらの社寺は振幅依存性の影響が大きいことがわかる。

最高高さと固有周期の関係を図 3 に示す。6 棟の社寺と既往の研究を比較すると、概ねよい対応が得られた。本論の社寺は 10m 前後の高さに集中しているが、周期にはらつきがある。海蔵寺は耐震補強済のため、他の社寺に比べて剛性が大きくなつたと考えられる。また、鉄骨支持のある淨照寺や興禪寺は、支持の無い円楽寺や光西寺に比べ、周期がやや短いことから、補強効果が周期に大きな影響を及ぼすことがわかる。

社寺のねじれを検討するため、RF 東、RF 中央及びその 2 波形を減算した南北成分の平均フーリエスペクトルを図 4 に示す。RF 東に見られる  $2.54\text{Hz}$  のピークが減算後のスペクトルにも同様に見られることから、これがねじれの振動数と考えられる。

### 4. 強震観測記録との比較

淨照寺では強震観測を行つてあり、30 以上の地震記録を得た。この記録から地盤-建物連成系の伝達関数を求め、固有振動数と

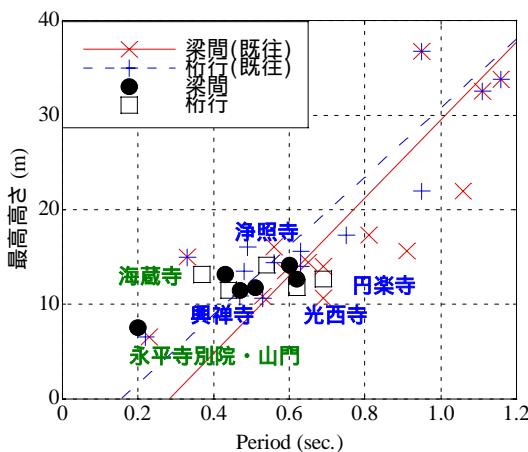


図 3 最高高さと周期の関係

\*1 魚津社寺工務店・工修

\*2 名古屋大学大学院環境学研究科・教授・工博

\*3 名古屋大学大学院環境学研究科・助教授・工博

\*4 魚津社寺工務店・工修

減衰定数を推定し、最大振幅を横軸にして振幅依存性の検討を行い、常時微動計測と振動実験の結果とともに図 5 に示す。自由振動実験と地震では入力が違うが、比較的よく対応している。振動数と減衰に振幅依存性が明確に見られる理由は、社寺に二次部材が少なく、建築物に及ぼす影響が小さいため、接合部の摩擦による減衰が支配的になるためと考えられる。

### 5. 結論

本論では、日本の伝統木造建築の歴史を残す 6 棟の社寺の計測を実施し、その振動特性をまとめた。最高高さと周期の関係では、耐震補強や鉄骨の斜材が周期に与える影響を確認できた。また、社寺のねじれや振幅依存性を計測によって明らかにした。

今後は、耐震補強後に同様の計測を実施し、剛性及び屋根重量の比較検討を行う予定である。同時に、既存の社寺建築の計測を継続的にを行い、データの充実を図る。

【謝辞】 光西寺・海蔵寺の計測において、日本大学の石丸辰治教授及び石垣秀典助手の協力と、計測全般に関して、名古屋大学の小島宏章助手及び平墳義正技官の協力を得た。ここに謝意を表する。

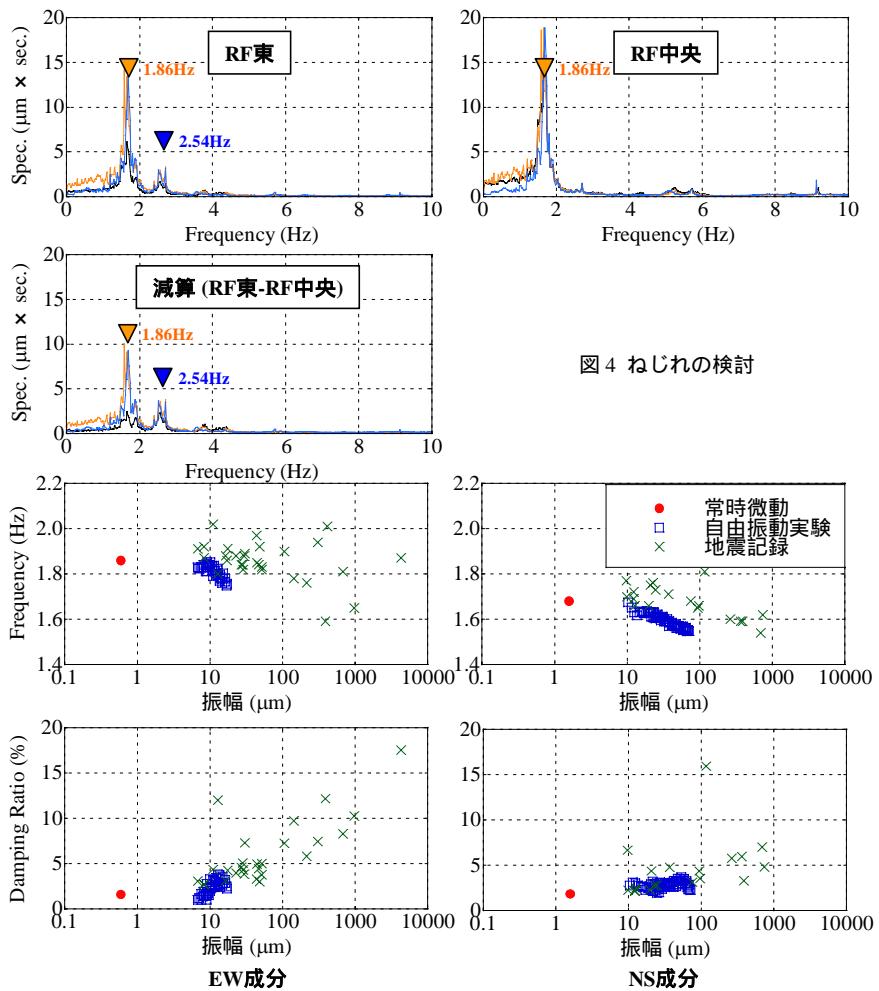


図 4 ねじれの検討

図 5 振幅依存性の地震記録との比較

\*1 Uotsu Shaji Corporation, M.Eng

\*2 Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr.Eng.

\*3 Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr.Eng.

\*4 Uotsu Shaji Corporation, M.Eng