

伝統木造社寺建築物の耐震性能評価
Evaluation of Seismic Safety of Traditional Timber Temples

2.構造-7.木質構造 準会員 ○伊藤 陽介*5 Yosuke Ito 正会員 小野 徹郎*1 Ono tetsuro
 伝統木造社寺建築物 復元力特性 正会員 亀山 義比古*2 Yoshihiko Kameyama 正会員 佐藤 篤司*3 Atsushi Sato
 地震応答解析 正会員 羽生田 善将*2 Yoshimasa Hanyuda 正会員 菅野 貴孔*4 Takahiro Kanno

1. 序

伝統木造社寺建築物の耐震要素として貫などのめり込み、小壁付き独立柱及び柱傾斜復元力特性などがある。これらは多くの実験などにより復元力特性の基本は一応明らかになっているが、現実の寺院でどの程度これらの耐震要素が骨組の復元力特性に寄与しているかを検討している研究は少ない。

本報では、耐震要素別に復元力特性を算定し、既報¹⁾で行った伝統木造社寺建築物の水平加力実験の結果と比較する事で、伝統木造社寺建築物の構造性能、対水平力機構の把握及び耐震性能を明らかにすることを目的とする。また、算定した復元力特性を用いた1質点系モデルの弾塑性地震応答解析による耐震安全性の検討も行った。

2. 水平加力実験の概要

写真1及び図1に祐正寺本堂の写真と平面図を、写真2及び図2に新福本堂寺の写真と平面図を示す。寺院の概要を表1に示す。樹種は主として、祐正寺本堂、新福寺本堂ともに柱はヒノキ(ヤング係数; 8,820N/mm²)、横架材はマツ(ヤング係数; 7,840N/mm²)である。

実験装置は図3に示すように建物の外部に鉄骨フレームを組み、水平力は建物の基壇及び加力装置と地面の摩擦を水平反力とし、水平力によって生じる転倒モーメントはカウンターウエイトにより押さえている。加力方法は建物後面の桁梁レベルの柱のH型鋼を取り付け、PC鋼棒及びワイヤを介してジャッキによって引張っている。祐正寺本堂は、層間変形角 1/30rad で最大水平力は163.05kNを示し、新福寺本堂は層間変形角 1/15rad で最大水平力は70.05kNを示した。

表1 本堂の概要

	平面	棟高	軒高	概算建物重量
		[m]		[t]
祐正寺	13.5×13.5	11.5	5	100
新福寺	13.7×12	10.6	4.7	77



写真1 祐正寺本堂正面 写真2 新福寺本堂正面

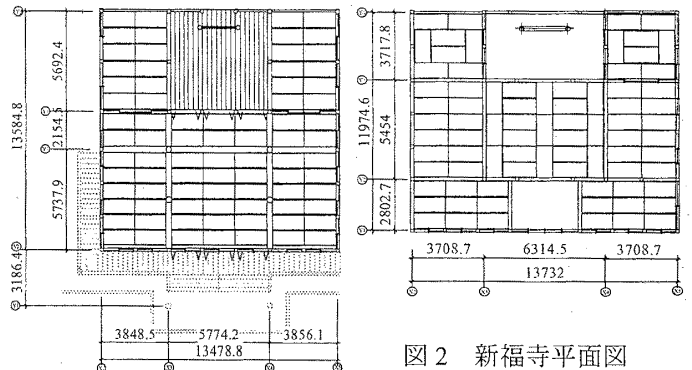


図1 祐正寺平面図

図2 新福寺平面図

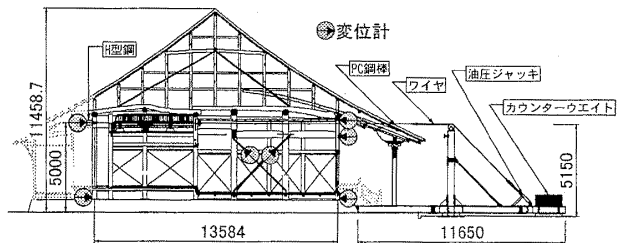


図3 祐正寺の実験装置図

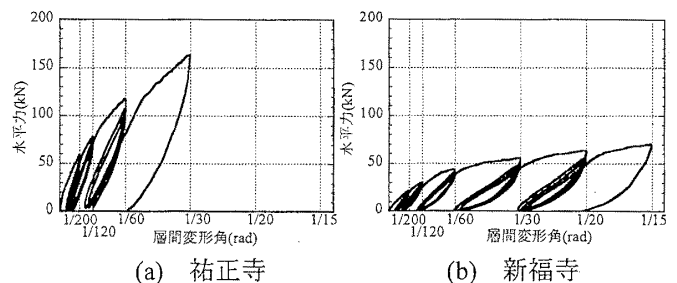


図4 実験結果

*1 名古屋工業大学大学院社会学専攻 教授 工博
 *2 亀山建設株式会社
 *3 名古屋工業大学大学院社会学専攻 助手 工博
 *4 名古屋工業大学大学院社会学専攻 修士課程
 *5 名古屋工業大学社会開発工学建築系 学部生

*1 Professor, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.
 *2 Kameyama Construction
 *3 Research Associate, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.
 *4 Graduate Student, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.
 *5 Student, Dept. of Architecture & Design, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

3. 復元力特性の算定

3-1 算定の概要

水平加力実験を行った寺院を対象に復元力特性を算定した。復元力特性の計算にあたり、新福寺は小壁付独立柱、貫を耐震要素として考慮した。祐正寺は柱の幅が大きく、柱傾斜復元力も期待できるため、小壁付独立柱、貫架構、柱傾斜復元力を耐震要素として考慮する。各要素の復元力の算定し、それらを全て足し合わせることで寺院全体の復元力特性を得る。

各耐震要素について、基本的な復元力特性の小壁付独立柱は文献 3)を、貫架構は文献 2)を、柱傾斜復元力は文献 4)に基づいている。

以下に対象建物における各耐震要素の復元力特性の算定方法を示す。

3-2 耐震要素

(1) 小壁付独立壁

伝統建築特有の小壁の影響を考慮し、小壁付独立柱の耐震性能を評価する。鴨居より上の小壁と柱からなる小壁付独立柱はラーメン効果が期待でき、せん断抵抗要素の一つである。図 5 に小壁付独立柱の復元力特性を示す。小壁付独立柱の変形は、小壁のせん断変形と柱の曲げ変形の総和とし、最大耐力は、小壁のせん断耐力と柱の曲げ耐力の小さい値とする。なお、小壁のせん断弾性係数 (G) は実験後の解体調査により、祐正寺については小壁に筋交いが入っており大きな耐力が見込めるため $G=10(N/mm^2)$ とし、新福寺については小壁の損傷が見られたため、 $G=5(N/mm^2)$ とした。

柱についても貫による断面欠損や、柱の劣化に伴い柱の断面二次モーメントを、祐正寺については 0.7 倍し、新福寺については 0.65 倍に低減した。

(2) 貫架構

貫接合部の耐力は、回転する貫に柱がめり込むことによって生じるめり込み抵抗によるものであり、その特性にめり込みによる回転剛性を与える。図 6 に示す降伏曲げモーメントや回転剛性は、稲山式のめりこみ理論によって求める。貫についても実験後の解体調査により、新福寺、祐正寺とも貫の損傷を考慮し、祐正寺は耐力を 0.9 倍、新福寺は耐力を 0.8 倍とした。

(3) 柱の傾斜復元力

柱断面が大きい社寺建築物では、水平力に対する構成要素として図 7 に示すような柱傾斜復元力を考慮できる。本研究では柱径 200mm 以上の柱について柱傾斜復元力を算入した。祐正寺については柱径 230mm と 324mm の柱を考慮している。新福寺については、柱径 200mm 以上の柱が無いので、柱傾斜復元力を考慮していない。

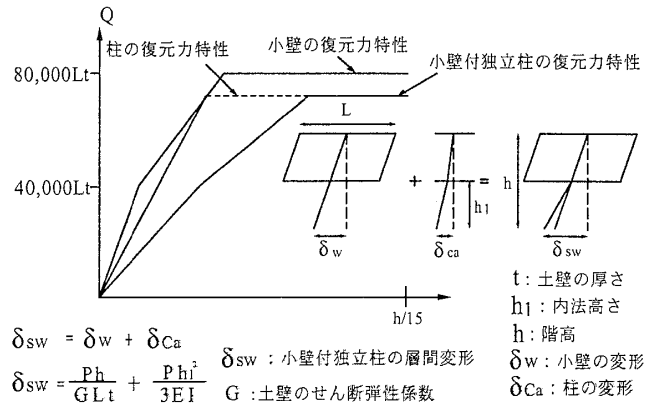


図 5 小壁付独立柱の復元力特性

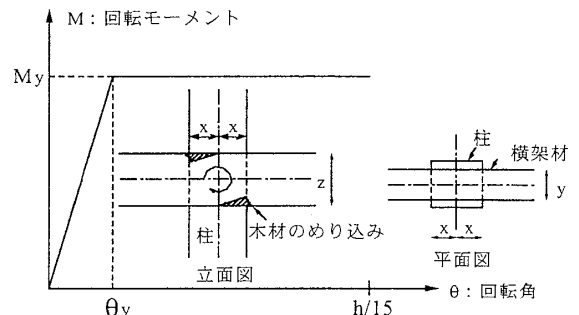


図 6 貫架構の復元力特性

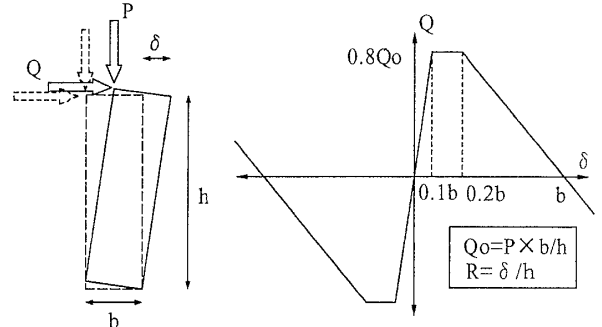


図 7 柱傾斜復元力の復元力特性

3-3 復元力特性算定結果

以上の考え方をもとに得た復元力特性と実験により得た復元力特性を図 8 に示す。縦軸は水平力 (kN)、横軸は層間変形角 (rad) である。また、桁行方向の計算値も示した。祐正寺、新福寺ともに、実験によって得た復元力特性と計算によって得た復元力特性は初期剛性に多少のずれはあるものの概ね一致している。新福寺は梁間方向に比べ、桁行方向に小壁が多いため、桁行方向の耐力は梁間方向の耐力に比べ大きな値となっている。

図 9 に祐正寺、新福寺の耐震要素別の復元力特性を示す。最大水平力は祐正寺については、梁間方向 158.44kN、桁行方向 158.02kN、新福寺については、梁間方向 62.80kN、桁行方向 128.48kN である。最大水平力時の小壁の水平力は、祐正寺については梁間方向 118.83kN、桁行方向 119.13kN、新福寺については梁間方向 49.42kN、桁行方

向 103.60kN となっている。いずれも建物の最大水平力の 75%以上を占める値となっており、建物の復元力特性において小壁の復元力特性の占める割合は大きい。また、祐正寺の最大水平力のときの柱傾斜復元力は梁間方向 13.55kN、桁行方向 13.65kN となっており、全体の耐力の 8.6%程度であり、柱傾斜復元力が建物の復元力特性に与える影響は小さい。

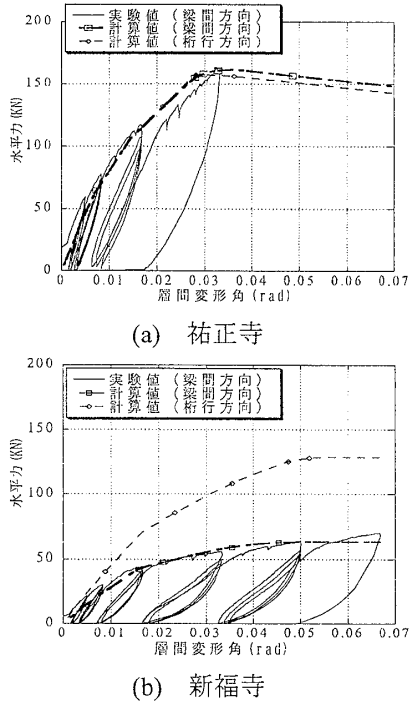


図8 復元力特性の比較

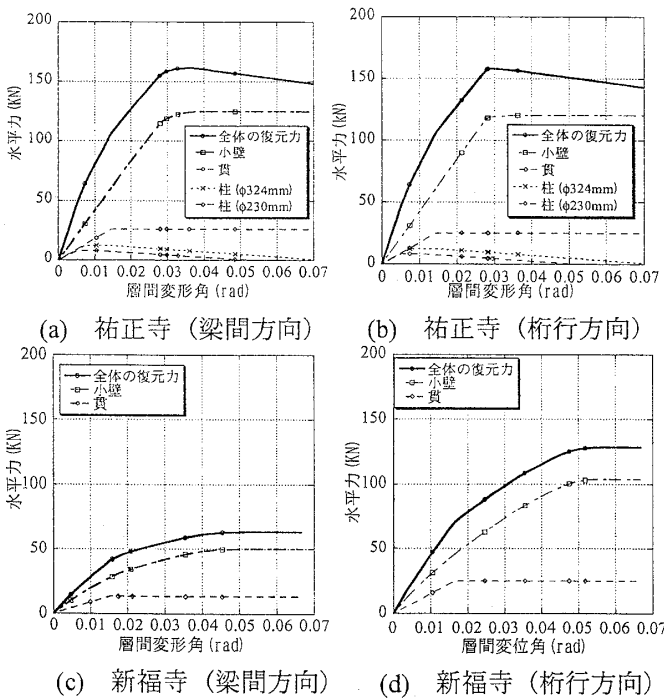


図9 耐震要素別の復元力特性

4 地震応答解析

4-1 解析方法

前節で求めた各耐震要素の復元力特性を履歴面積が等しくなるように線形にモデル化し、解析を行った。図 10 に復元力特性をモデル化したものを示す。

小壁付独立柱の復元力特性について、祐正寺は図 11 に示す Slip1 型とし、新福寺については図 12 に示す Slip2 型とした。貫の復元力特性については図 11 に示す Slip1 型とした。入力地震波は、bcj11, bcj12, EL Centro, Taft, Fukiai, Hachinohe の 6 波とし、それぞれ最大地動速度が 25kine, 50kine, 75kine, 100kine となるように基準化したものを用いた。減衰定数は既報¹⁾の振動実験の結果 (祐正寺 $h=0.037$ 新福寺 $h=0.076$) を用いた。応答計算は線形加速度法を用いた。

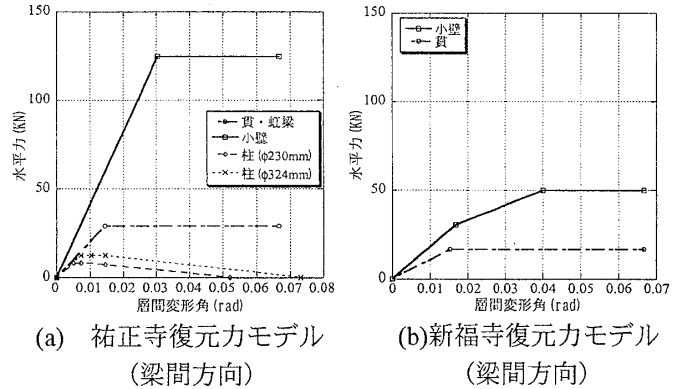


図10 復元力モデル

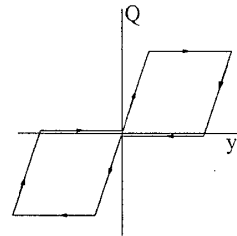


図11 Slip1 型

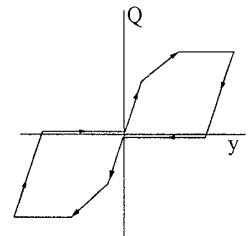


図12 Slip2 型

4-2 解析結果

1) 地震波の違いが最大変位応答に与える影響

図 13 に応答変形角(rad)ー最大地動速度(kine)関係を示す。倒壊限界を層間変形角 1/15rad と設定し、黒い太線で示した。

地震波の違いによる応答変形角のばらつきは最大地動速度が大きくなるにつれて大きくなっている。祐正寺、新福寺とも、最大地動速度 50kine (レベル 2) では、ほとんどの地震波に対して倒壊限界変形角(1/15rad)以下であるが、新福寺梁間方向については、50kine を超えると応答変形角が急激に大きくなっている。これは、新福寺梁間方向の復元力特性が、他の復元力特性より小さいためである。

2) 減衰増加による応答変形角の変化

減衰増加による応答変形角の変化を検討するため、減衰定数をパラメータとして、地震応答解析を行った。減衰定数は $h=0.05, 0.10, 0.15, 0.20$ とした。既往の実験によって測定した減衰定数（祐正寺は $h=0.037$ 、新福寺は $h=0.076$ ）についても同時に解析を行った。図14に最大地動速度50kine（レベル2）時の応答変形角—減衰定数関係のグラフを示す。倒壊限界として層間変形角 $1/15\text{rad}$ を設定し黒い太線で示した。

祐正寺、新福寺とも、地震波によるばらつきも大きいですが、減衰定数を増加させることによって応答変形角は小さくなっている。

祐正寺は減衰定数 $h=0.05$ 以上となれば全ての地震波について層間変形角 $1/15\text{rad}$ を下回る結果となったが新福寺は全ての地震波について層間変形角 $1/15\text{rad}$ を下回るには減衰定数 $h=0.20$ 程度必要である。図14(a)の祐正寺梁間方向と図14(c)の新福寺梁間方向の結果を比較すると応答変形角は同じ減衰定数では祐正寺梁間方向の方が小さくなっている。これは、復元力特性が祐正寺梁間方向の方が大きいからである。よって、建物の応答変形角を低下させるには、減衰だけでなく復元力特性を大きくする必要がある。

5. 結論

- 1) 祐正寺本堂、新福寺本堂ともに実験後の解体調査をもとに復元力特性を算定した結果、水平加力実験によって得られた復元力特性と概ね一致した。
- 2) 伝統木造社寺建築の復元力特性は小壁付独立柱の復元力特性の影響が大きい。
- 3) 伝統木造社寺建築の応答変形角は最大地動速度50kineを超えると復元力特性の影響が顕著になった。
- 4) 祐正寺本堂、新福寺本堂ともに減衰定数を上げることにより応答変形角の低減がみられた。
- 5) 伝統木造社寺建築の耐震性能を上げるには減衰定数を上げるだけでなく、復元力特性も大きくする必要がある。

参考文献

- 1) 小野徹郎他：伝統木造社寺建築物の耐震性能に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）（その1）～（その2）、p439-p442、2005. 9
- 2) (財)日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法の許容応力度設計 2004. 3
- 3) 文化庁文化財保護部構造物課：重要文化財（建造物）耐震診断指針 2001. 3
- 4) 京都府建築士会、日本建築学会近畿支部（木造部会）：木造軸組構法の新しい耐震設計法—京町家の改修促進に向けて—、2002. 7
- 5) 柴田明徳：最新耐震構造解析第2版、森北出版、2003. 5

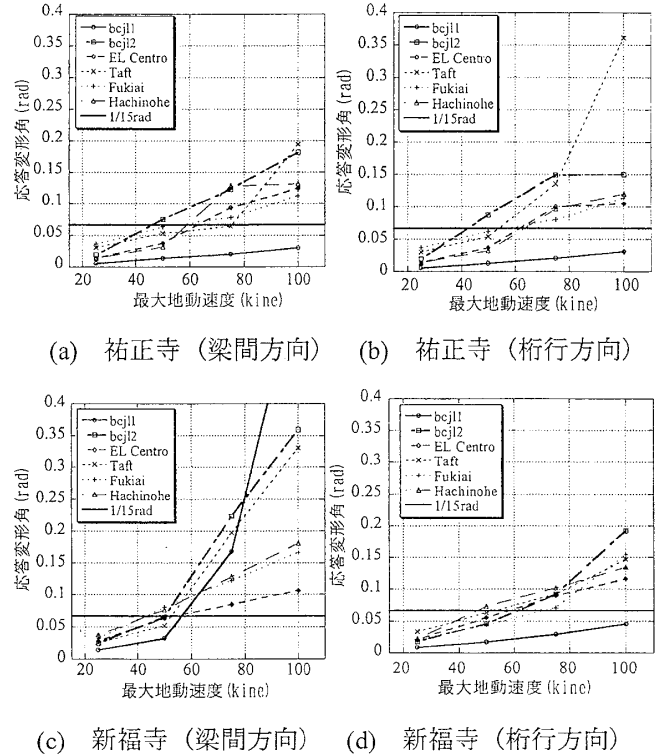


図13 応答変形角—最大地震動速度関係

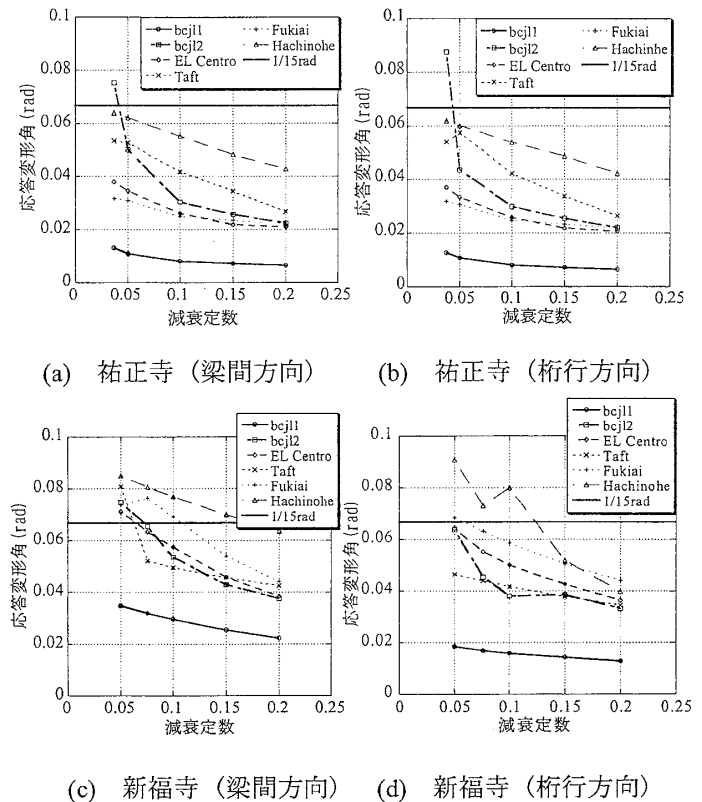


図14 減衰定数と最大応答変形角