

伝統木造構法で建てられた寺院本堂の免震改修事例 その2 応答解析

正会員 ○飯田秀年\*<sup>1</sup> 正会員 福本有希\*<sup>2</sup>  
正会員 魚津忠弘\*<sup>3</sup> 正会員 花井 勉\*<sup>4</sup>

伝統木造構法 寺院本堂 免震改修  
屋根重量 時刻歴応答解析

1. はじめに

前報に引き続き、寺院本堂を対象とした免震レトロフィットの解析的検討について報告する。

2. 時刻歴応答解析の概要

2.1 設計クライテリア

数世代のうちに経験する地震動でも被害がほとんど出ないようにするため、以下のように各部のクライテリアを設定した。

- 上部構造：応答層間変形角 ≤ 弾性限界変位
- 免震層：1.1 (ねじれ補正) × 応答変位 ≤ 地震時設計限界変位 (0.475m)、免震層層間速度 ≤ 減衰材設計限界速度 (150cm/s)
- 基礎構造：短期許容応力度以内

2.2 上部構造のモデル化

上部構造の水平剛性は、柱と横架材の節点端部及び節点間に復元力を仮定した構面モデル (図 1) により算定する。各復元力特性は静加力実験等の既往研究<sup>1-3)</sup>に基づき設定する。偏心率が小さい ( $Re \leq 0.15$ ) ことを確認し、各構面の剛性・耐力を加算により算定し、補強前後の復元力特性を各方向最大耐力までバイリニア型の骨格曲線としてモデル化した (図 2)。図では 1/100 を越えてもほとんど剛性が変化していないことから、1/100 を弾性限とし、解析では線形モデルとして扱うことにする。1/100 でのせん断力係数は 0.31 である。また、図 3 には補強後の各耐震要素の剛性負担割合を示す。既存耐震要素の負担する剛性の割合は極めて小さいこと、内側の本堂を囲む四隅等に新設した格子+合板補強の負担割合が大きいことがわかる。

上部構造の重量としては屋根重量、小屋組等架構重量、壁重量が見込まれるが、屋根重量の比率が大きく、葺き土の量も推定であるため、文献<sup>1)</sup>を参考に寺院建築で最も重い屋根均し荷重として 2.5kN/m<sup>2</sup> (水平面あたり) を採用した場合 (「非常に重い屋根」) も設計で見込むこととする。なお仕口寸法や軸組材の曲げ剛性等は既存状態での把握に限界があり未知として残るが、上記重量のばらつきに含まれるものとした。

2.3 免震層のモデル化

免震層は転がり支承 25 基、復元ゴム 5 基、減衰材 4 基 (X,Y 方向合計で 8 基) で構成する。免震装置及び梁の配置を図 4 に、各免震装置の復元力特性を図 5 に示す。

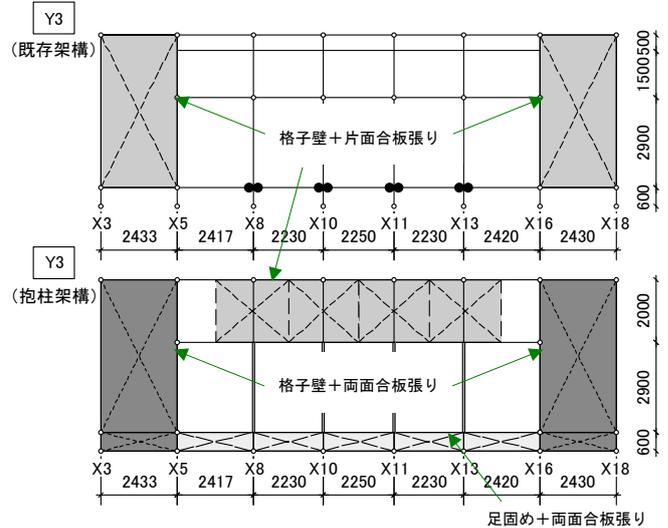


図 1 上部構造 構面モデル図

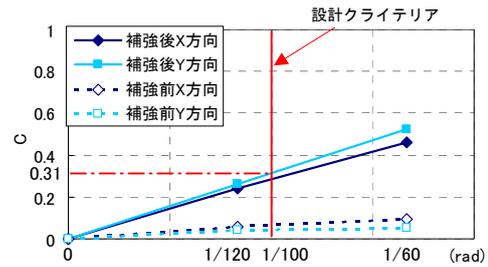


図 2 上部構造の特性

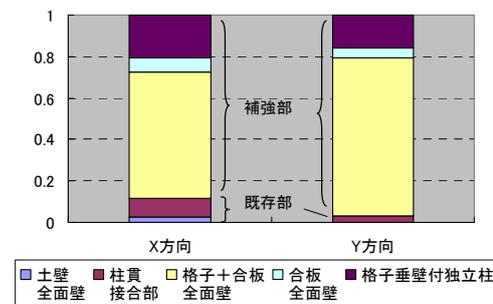


図 3 耐震要素別の剛性負担割合

表 1 解析モデルの層重量及び水平剛性

階	Wi (kN)	Ki (kN/cm)		Ti	
		X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向
上部構造	Wi = 2144 (2786)	122.4	131.8	0.84 (0.96)	0.81 (0.92)
免震層	Wo = 6765 (6814)	15.3 (15.5)		4.84 (4.99)	
合計	Σ Wi = 8909 (9600)	-			

( ) 内は「非常に重い屋根」の場合

## 2.4 振動系モデル

対象物件を上部構造、人工地盤及び免震層からなる2質点2自由度せん断系モデルとする(図6)。各質点の重量及び剛性は表1のように設定されるが、上部構造と免震層の固有周期比は「標準屋根荷重」の場合5.8~6.0倍、「非常に重い屋根」の場合5.2~5.4倍と既往の研究<sup>4)</sup>で望ましいとされた4倍以上である。

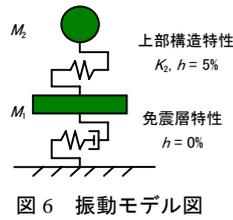


図6 振動モデル図

上部構造には5%の粘性減衰定数を考慮する。

## 2.5 採用地震動

極めて稀に発生する地震動として、このサイトの表層地盤特性を考慮した告示波(位相別3波)と50cm/sに基準化した標準観測波4波を採用した。なお、想定する東海・東南海地震における地震動として文献<sup>5)</sup>の連動型地震動(52367629NS,EW)を採用したが、図7の擬似速度応答スペクトルに示すように、免震周期帯において応答が他の波より小さいことを確認した。

## 3. 解析結果

表2に時刻歴応答解析による解析結果の最大値を示す。いずれの荷重ケースにおいても免震層変位、上部構造層間変形角、免震層層間速度とも応答値はクライテリア以内に収まっている。特に地震動のレベルに敏感な免震層の応答には十分な余裕があり、免震建築物として構造上安全であると考えられる。ただし、このような免震システムにおいても上部構造の応答せん断力係数は0.24程度となることから、上部構造は0.30程度まで弾性域であるよう補強設計をおこなうことが望ましい。

## 4. まとめ

寺院本堂の免震レトロフィット実例について設計の要点と解析的検討を報告した。得られた知見は以下のようによまとめられる。

- ・寺院本堂の性格上、耐震化には免震改修が有効である。
- ・基礎及び免震層の施工を確実にするため、境内を利用した曳き家工事を併用することが有効である。
- ・設計では屋根重量などの不確実性を考慮すべきである。
- ・免震構造といえども、上部構造はせん断力係数として0.3程度まで弾性域であるのが望ましいことがある。

## 参考文献

- 1)文化庁文化財保護部建造物課：重要文化財(建造物)耐震診断指針
- 2)稲山正弘：「めり込み抵抗接合の設計」建築技術 1995年11月号 pp.108-109
- 3)日本住宅・木材技術センター：土塗壁・落とし込み板壁の壁倍率に係る技術解説書 pp.131
- 4)飯田秀年、花井勉ほか：「伝統木造構法で建てられた民家の免震改修事例 その2 構造モデルによる応答性状の比較」日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1、pp.453-454、2008

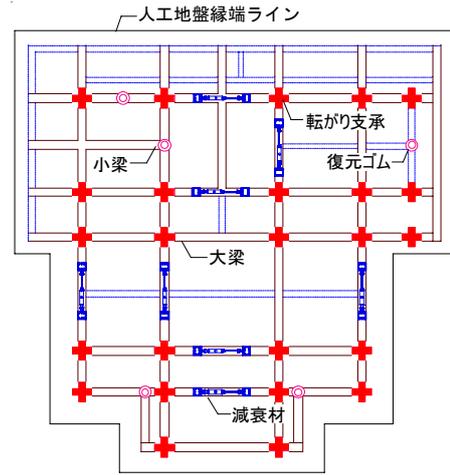


図4 免震装置配置図

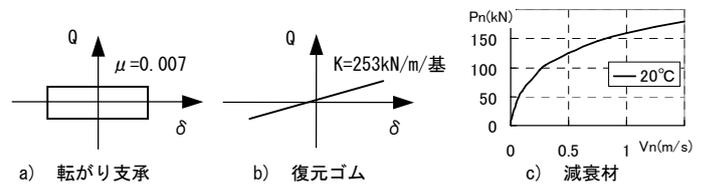


図5 免震装置の復元力特性

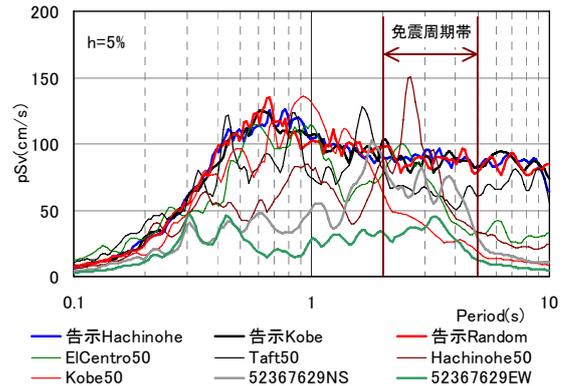


図7 入力波の速度スペクトル

※ 52367629：東海・東南海地震動連動型の基盤波を建設地表面層地盤により増幅した地震動

表2 最大応答値、クライテリア及び検定値

		極めて稀に発生する地震動			
		最大応答値		クライテ リア	検定値
		X方向	Y方向		
上部 構造	応答層間 変形角 (rad.)	1/134 (1/107)	1/148 (1/117)	1/100	0.74 (0.94)
	応答せん断 力係数	0.235 (0.228)	0.231 (0.224)		
免 震 層	応答層間 変位 (cm)	21.5 (23.2)	21.5 (23.2)	47.5	0.45 (0.49)
	応答速度 (cm/s)	57.1 (62.7)	57.0 (61.6)		

( )内は「非常に重い屋根」の場合

5)愛知県設計用入力地震動研究協議会発表、2006.2

<sup>1)</sup> えびす建築研究所

<sup>2)</sup> 東京大学大学院工学系研究科・修士(工学)

<sup>3)</sup> 魚津社寺工務店

<sup>4)</sup> えびす建築研究所・博士(工学)

<sup>1)</sup> Ebisu Building Laboratory Co.

<sup>2)</sup> Grad. Student, School of Engineering, The University of Tokyo, M. Eng.

<sup>3)</sup> Uotsu Shaji Corporation

<sup>4)</sup> Ebisu Building Laboratory Co., Dr. Eng.