

# 解体修理を行う木造寺院建築物の 工事過程ごとの微振動計測による 構造特性調査の事例

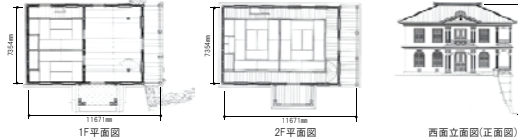


向井 洋一  
神戸大学大学院工学研究科

## 懸造により支持される木造建築物の振動性状の検証 ～半解体修理に伴う振動性状の変化～

### ■ 奈良県生駒市の獅子閣（重要文化財）

- 擬洋風建築(明治15年上棟)
- 高さ約5mの懸造を有する
- 寄棟造椽瓦葺2階建
- 桁行約12m、梁間約7m
- 昭和36年に国指定重要文化財に指定
- 建物南面の懸造軸部が沿う石垣の地盤沈下に伴い、建築物が変形、傾斜した為、平成18～22年にかけて半解体修理が行われた。



## 解体修理概要

### ◆ 修理前後の構造的な変更点

- 懸造軸部の前方への転倒を防ぐ為の引張材が1階土台レベルに入れられた。
- 壁の一部には、塗壁部分の柱間下地に金物付筋交が入れた。
- 小屋組南側のベランダにかかる軒の出には枯木が入れられ、小屋組内に火打梁が入れた。
- 屋根の葺き土を除いた。



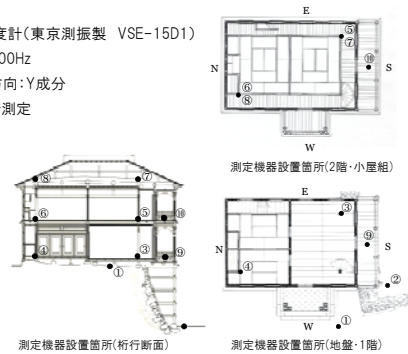
## 常時微動計測概要

### ◆ 測定概要

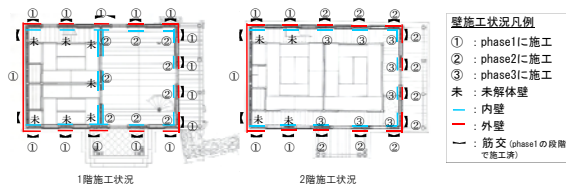
- 測定器：サーボ型速度計(東京測振製 VSE-15D1)
- サンプリング周波数：100Hz
- NS方向：X成分、EW方向：Y成分
- 4段階での施工状況で測定

### 代表測定箇所-測定成分凡例

- 主屋地盤(X,Y,Z成分)
- 懸造地盤(X,Y成分)
- 1階南東(X,Y成分)
- 1階北西(X,Y成分)
- 2階南東(X,Y成分)
- 2階北西(X,Y成分)
- 小屋組南東(X,Y成分)
- 小屋組北西(X,Y成分)
- 1階ベランダ(X,Y成分)
- 2階ベランダ(X,Y成分)



## 常時微動計測状況

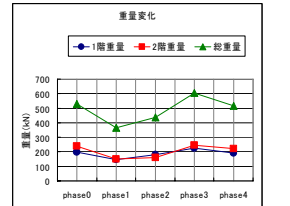
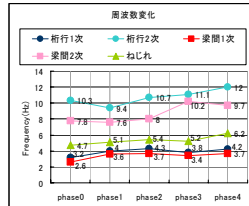


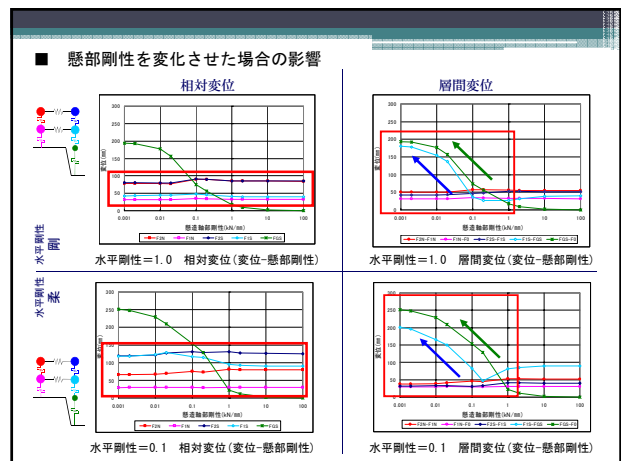
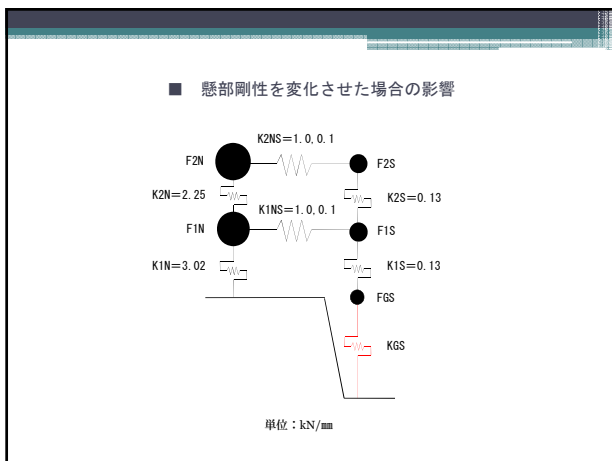
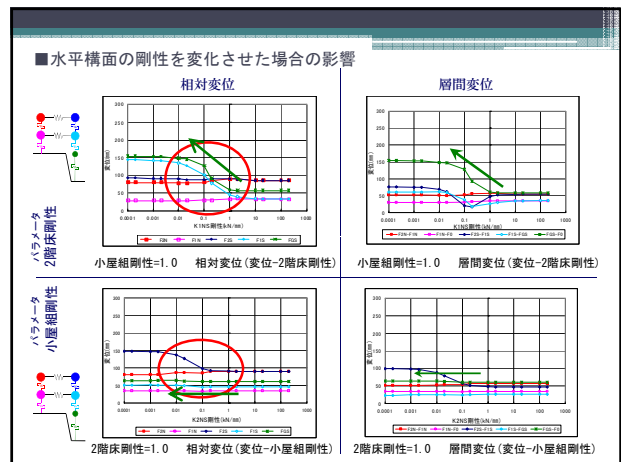
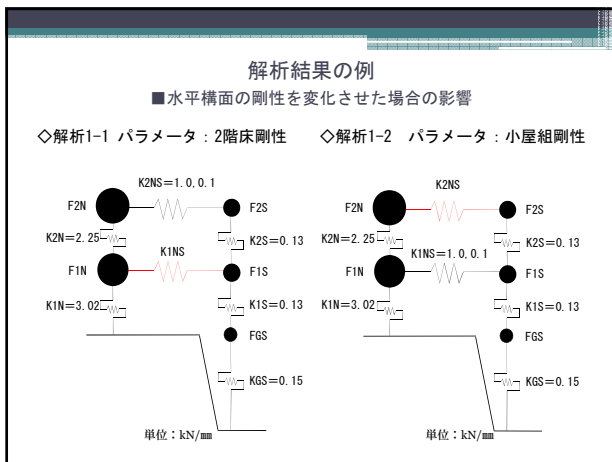
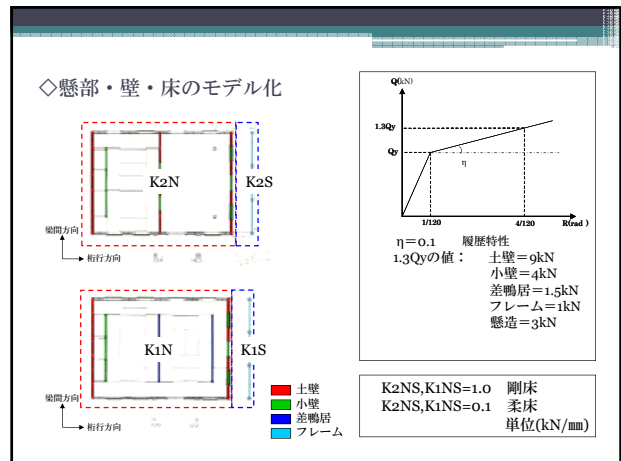
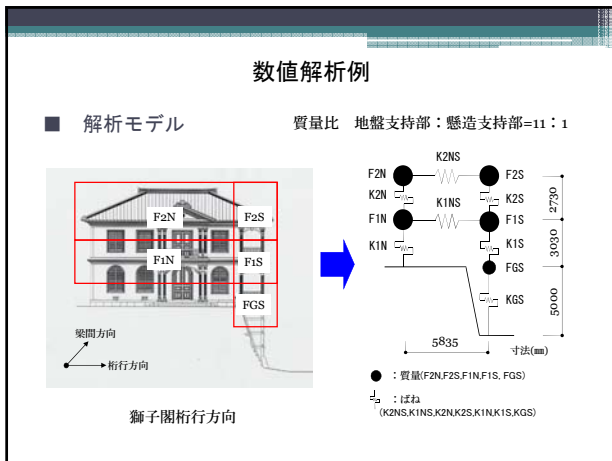
- ### 壁施工状況凡例
- ① : phase1に施工
  - ② : phase2に施工
  - ③ : phase3に施工
  - 未 : 未解体壁
  - : 内壁
  - : 外壁
  - : 筋交 (phase1の段階で施工済)

phase	屋根施工状況	壁施工状況	概要
0 (解体前)	椽瓦葺(葺土有) 小屋組(枯木葺)	全壁面: 漆喰壁(筋交無)	解体修理前
1	小屋組	1,2階北側内壁: 漆喰壁 1階外壁、2階北側外壁: 荒壁施工のみ	軸部～小屋組軸部と壁一部施工
2	小屋組	1,2階北側内壁: 漆喰壁 1階内外壁、2階外壁: 荒壁施工のみ	軸部～小屋組(野地板含む)と壁一部施工
3	椽瓦葺 小屋組	1,2階北側内壁: 漆喰壁	軸部～椽瓦葺と全壁面施工(荒壁箇所有)
4 (修理後)	椽瓦葺 小屋組	全壁面: 漆喰壁施工	建具以外の解体修理後

## 常時微動計測結果

phase	1次並進 (桁行(NS)) (Hz)	2次並進 (桁行(NS)) (Hz)	1次並進 (梁間(EW)) (Hz)	2次並進 (梁間(EW)) (Hz)	ねじれ (Hz)	1階重量 (kN)	2階重量 (kN)	総重量 (kN)
0	3.2	10.3	2.6	7.8	4.7	197.1	238.0	530.2
1	4	9.4	3.6	7.6	5.1	146.7	148.9	366.4
2	4.3	10.7	3.7	8	5.4	181.5	160.9	436.0
3	3.8	11.1	3.4	10.2	5.2	227.0	247.0	604.4
4	4.2	12	3.7	9.7	6.2	192.7	220.9	514.4





### 解体修理における各過程での振動・ひずみ計測調査の意義

- ・ 構造特性(剛性・質量)の推定。減衰の評価。
- ・ 振動特性・振動モード形状の推定。
- ・ 骨組の剛性：重量負担時と除荷時での相違。
- ・ 修理前と修理後前後での構造特性変化の比較。
- ・ 部材にかかる軸力変化(部材のひずみ計測等より推定)の推定。

など

### 伝統的木造住宅の屋根改修に伴う常時微動応答の変動性状

改修前

#### ■ 奈良市奈良町の町家

建築年：明治時代中頃(推定)  
 構造様式：切妻屋根(棧瓦葺き) 厨子二階建て  
 建築面積：168.52㎡  
 屋根面積：220.22㎡  
 改修期間：2008年6月末～9月末

改修後

### 建物概要

敷地内には、主屋と、便所・浴室を挟んで土蔵がある。伝統的な町家で、小屋組は和小屋組、1階南側にはトオリニワ、オクドサンと呼ばれる竈(かまど)、火袋(ひぶくろ：竈の煙を逃がすための吹き抜け)があり、屋根には煙出しが設けられている。

1階平面図

板張床部分

厨子部分

1階断面図

### 屋根面の劣化状況

野地板の張替え箇所

今回の改修工事は、屋根における経年劣化で瓦には割れや剥がれが目立ち、また小屋組み内部においても雨漏りが見られ、野地板には割れや腐食が生じており、屋根の全面葺き替えがなされることになった。

改修前の屋根仕様は、葺き土を有する棧瓦葺きで、改修後は、葺き土を取り除いた棧瓦葺きとされた。

一方、建物の外壁も風化が進んでおり、正面外観ファサードの改修も行われたが、壁の耐力などに影響するような構造的な補修は行われていない。

### 建物重量について

改修前の建物重量：433.52

改修途中：240.86

改修後：362.44

重量差：-192.66kN (瓦・葺き土除去), +121.58kN (新葺き)

参考：「屋根・葺き土がある場合：980N/m<sup>2</sup> (下地及びたるきを含み、もやを含まない)」

屋根の構成要素	改修前	改修途中	改修後
瓦			
葺き土		0.8kN/m <sup>2</sup>	
野地板	192.66kN		
垂木		0.51kN/m <sup>2</sup>	
野地板			121.58kN
垂木			

新しい棧瓦

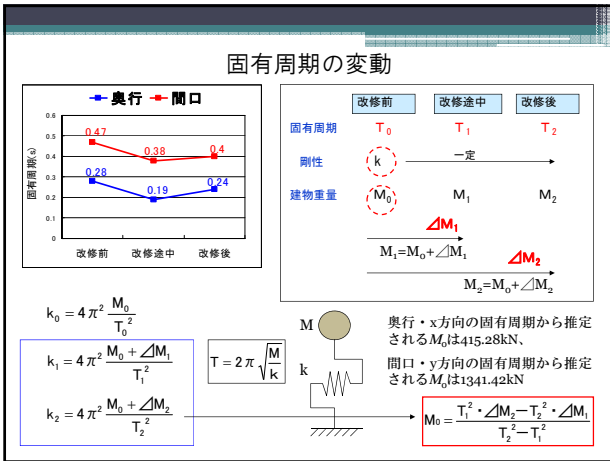
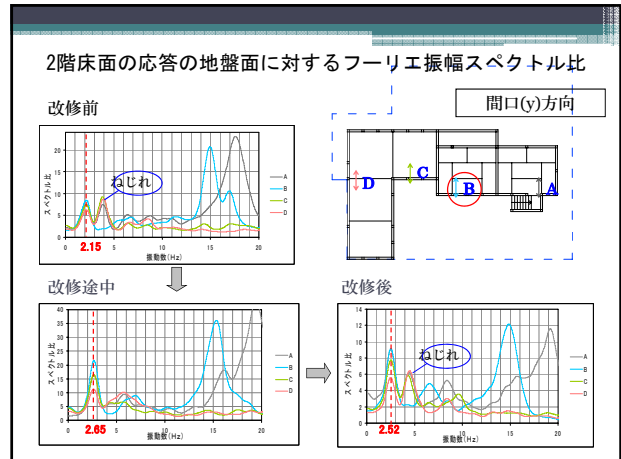
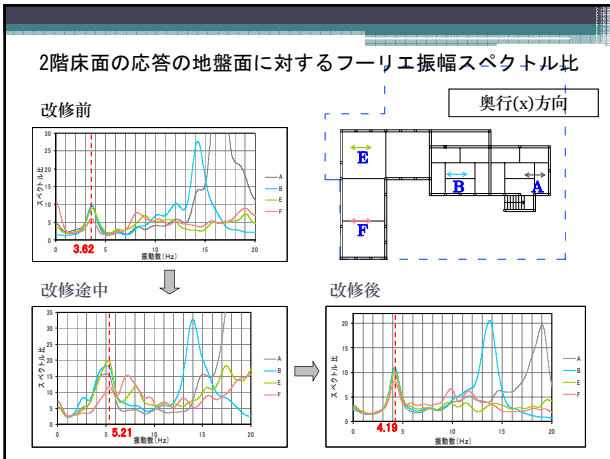
### 常時微動計測

サーボ型速度計(静島製)：  
SD-V120H(水平動) 6台  
SD-V120V(上下動) 3台

1階

2階

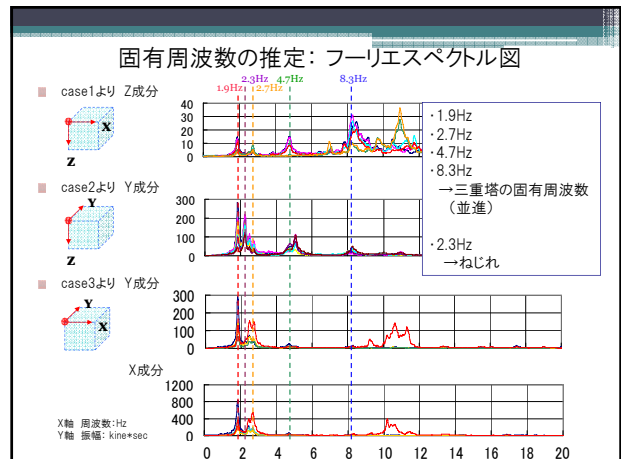
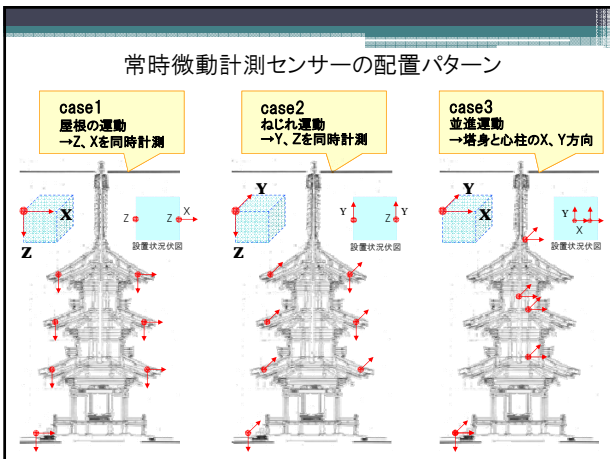
【微動計の設置パターン】  
CASE-1：奥行(東西・梁間)x方向の測定  
CASE-2：間口(南北・桁行)y方向の測定  
上下方向

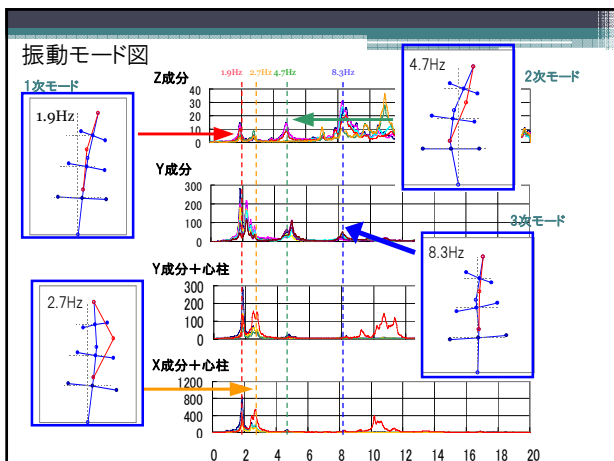


### 微動計測とフレームモデル解析による木造多層塔の構造特性評価に関する研究

■ 奈良県生駒市の木造三重塔 (重要文化財)

- 常時微動測定**  
調査建物の固有振動数と振動モードを推定。
- フレームモデルの作成**  
図面・写真等の資料を元に構造的長を分析して数値解析用フレームモデルを作成。弾性固有値解析を行い、固有振動数・振動モードが実測値に近づくようにパラメータ調整。
- 弾性固有値解析**  
2,3層目に追加されている筋交いの効果について補強有/無モデルを作成して補強の影響を考察。
- 地震応答解析**  
地震時挙動の分析。

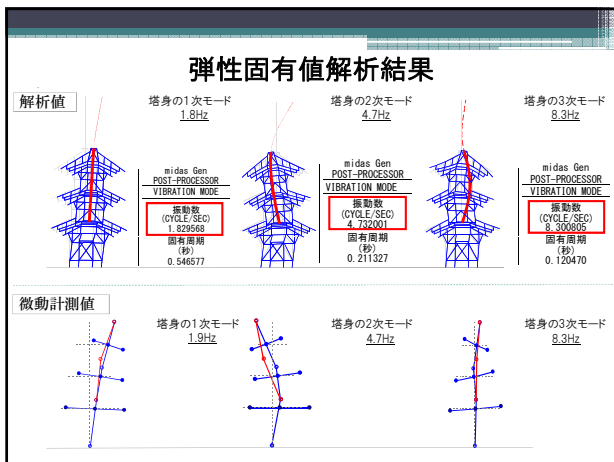




### フレームモデルの作成

- 使用ソフト
  - midas-Gen (構造計画研究所)
- モデルの概要
  - 大まかな挙動確認のための2次元モデル → Y方向を拘束(変形はX、Z方向のみ)
  - 2・3層目に耐震補強の筋交い
- 初層は剛性確保のため壁を筋交いに置換
- 弾性固有値解析によるパラメータの検討
  - 少しずつ値を変えて弾性固有値解析を繰り返し、固有値がSTEP1の常時微動の結果と合うようパラメータを調整。

木材の材料的特性 (異方性・めり込み・摩擦)は無視



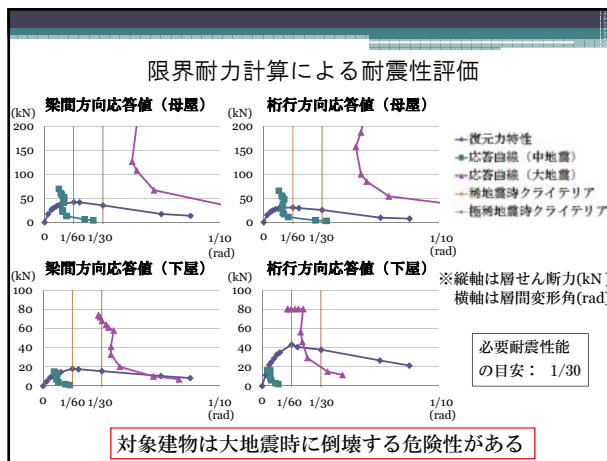
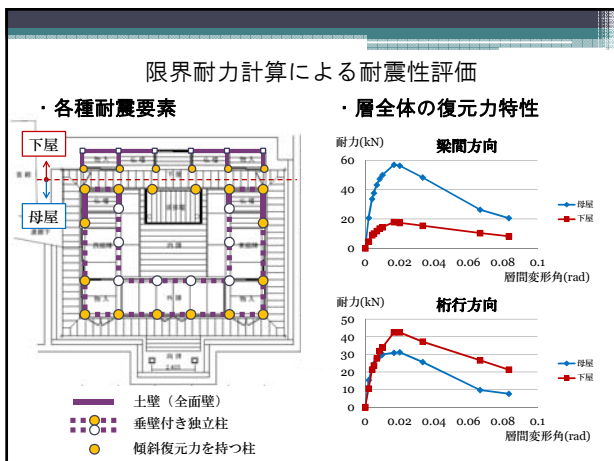
### 解体修理中の寺院建築に対する微振動計測

奈良県生駒市の寺院 (重要文化財)

奈良県生駒市、生駒山麓  
鎌倉時代後期に建立  
木造本瓦葺、単層  
国指定重要文化財


約100年おきに修理  
明治37年(1904)に解体修理

けや下屋  
もや母屋




### 振動計測時の対象建物の状態

ケースA (5/31)




・瓦、葺土あり  
・小屋組あり  
※修理前の状態

ケースB (7/16)



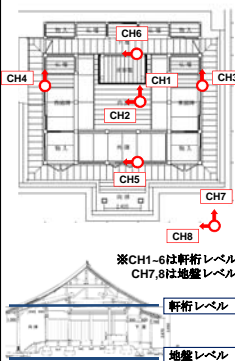
・瓦、葺土なし  
・小屋組あり

ケースC (11/13)

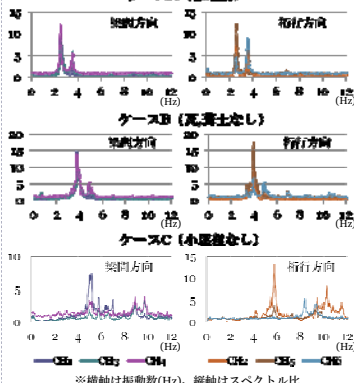


・瓦、葺土なし  
・小屋組なし

### 微動計測

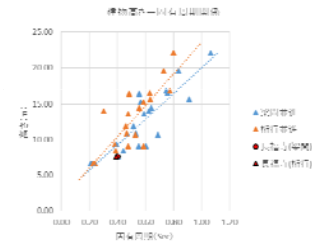


※CH1-6は軒桁レベル  
CH7,8は地盤レベル



※横軸は振動数(Hz), 縦軸はスペクトル比

### 固有周期と建物高さの相関



建物名称	建物高さ (m)	固有周期(sec)
平城宮跡南院第一殿	6.60	0.22
平城宮跡南院第二殿	6.60	0.21
長福寺本堂	7.60	0.40
元興寺極楽坊本堂	7.40	0.44
常陸寺奥院本堂(改修前)	9.05	0.60
常陸寺奥院本堂(改修後)	9.05	0.55
円覚寺普賢殿	9.27	0.40
真木寺新堂門	10.84	0.69
薬師寺東院堂	10.88	0.53
元興寺極楽坊本堂	11.88	0.51
法隆寺大講堂	13.58	0.59
清水寺仁王門	14.00	0.63
法隆寺中門	14.44	0.64
醍醐寺本堂	15.28	0.56
醍醐寺金堂	15.66	0.91
法興寺金堂	16.41	0.56
円覚寺山門	16.50	0.76
光明寺山門	16.80	0.75
建礼寺山門	19.60	0.83
南禅寺三門	22.01	1.06

### 微動計測による振動特性の推定

	ケースA(修理前)	ケースB(瓦,葺土なし)	ケースC(小屋組なし)
1次モード	 2.49Hz	 3.83Hz	 5.10Hz
2次モード	 2.56Hz	 3.95Hz	 5.78Hz
3次モード	 3.57Hz	 4.83Hz	いくつかのモードに分散

### 見かけの水平剛性の算出

水平剛性 k (kN/mm)	ケース A	ケース B	ケース C
梁間方向(1次モード)	16.03	14.47	10.39
桁行方向(2次モード)	16.95	15.39	13.35

(※建物重量: ケースA: 65.51ト, ケースB: 24.99ト, ケースC: 10.12ト)

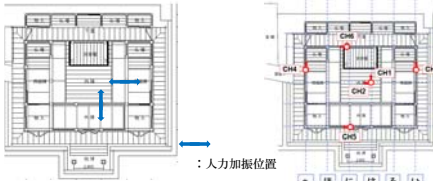
屋根重量が大きいくほど、みかけの水平剛性は大きい

	建物重量 (ton)	梁間方向(1次)		桁行方向(2次)		
		固有振動数	水平剛性	固有振動数	水平剛性	水平剛性
ケースA	65.51	2.49	16.03	2.56	16.95	—
ケースB	24.99	3.83	14.47	3.95	15.39	0.91
ケースC	10.12	5.10	10.39	5.78	13.35	0.87

### 人力による加振実験

ケースA(修理前)、ケースB(瓦,葺土なし)

・人力加振実験 → 建物の減衰定数を推定した



減衰定数(%)		梁間方向			桁行方向		
		CH1	CH3	CH4	CH2	CH5	CH6
ケースA	人力加振	2.95	4.01	2.15	3.30	3.31	3.54
	RD法	2.83	2.82	1.43	1.80	1.89	2.08
ケースB	人力加振	2.26	2.28	2.35	3.31	3.54	3.36
	RD法	1.82	2.30	1.94	1.94	2.20	2.37

