

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

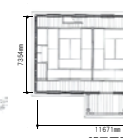


向井 洋一
神戸大学大学院工学研究科

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
- ・寄棟造枝瓦葺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、建物に変形、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られた。
- ・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られた。
- ・屋根の葺き土を除いた。



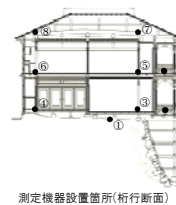
常時微動計測概要

◆ 測定概要

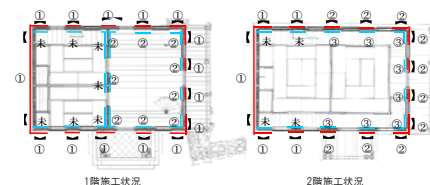
- ・測定器：サーボ型速度計(東京測振製 VSE-15D1)
- ・サンプリング周波数:100Hz
- ・NS方向:X成分、EW方向:Y成分
- ・4段階での施工状況で測定

代表測定箇所・測定成分凡例

- ①:主屋地盤(X,Y,Z成分)
- ②:懸造地盤(X,Y成分)
- ③:1階南東(X,Y成分)
- ④:1階北西(X,Y成分)
- ⑤:2階南東(X,Y成分)
- ⑥:2階北西(X,Y成分)
- ⑦:小屋組南東(X,Y成分)
- ⑧:小屋組北西(X,Y成分)
- ⑨:1階ベランダ(X,Y成分)
- ⑩:2階ベランダ(X,Y成分)



常時微動計測状況



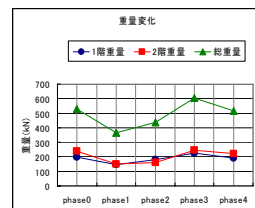
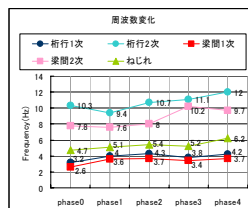
壁施工状況凡例

- 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)	棟瓦葺(葺き有) 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	棟瓦葺	1.2階北側内壁: 漆喰壁 1.2階北側内壁以外の全壁面: 荒壁施工のみ	軸部～棟瓦葺と全壁面施工(荒壁箇所有)
4 (修理後)	棟瓦葺 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

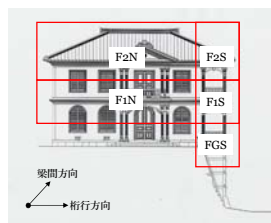
phase	1次並進 (桁行(NS)) (Hz)	2次並進 (桁行(NS)) (Hz)	1次並進 (梁間(EW)) (Hz)	2次並進 (梁間(EW)) (Hz)	ねじれ (Hz)	1階重量 (kN)	2階重量 (kN)	総重量 (kN)
0	3.2	10.3	2.6	7.8	4.7	197.1	238.0	530.2
1	4	9.4	3.6	7.6	5.1	146.7	148.9	366.4
2	4.3	10.7	3.7	8	5.4	181.5	160.9	436.0
3	3.8	11.1	3.4	10.2	5.2	227.0	247.0	604.4
4	4.2	12	3.7	9.7	6.2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



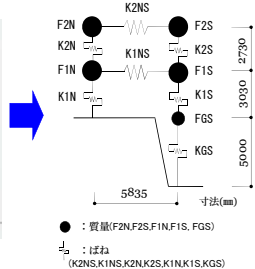
数値解析例

■ 解析モデル

質量比 地盤支持部：懸造支持部=11：1

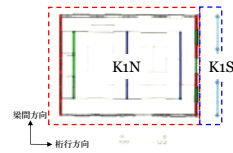
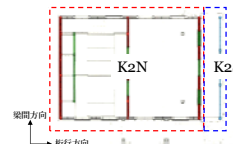


獅子閣桁行方向

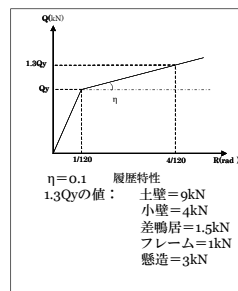


● : 質量(F2N,F2S,F1N,F1S, FGS)
 ○ : ばね (K2NS,K1NS,K2NK2S,K1NK1S,KGS)

◇懸部・壁・床のモデル化



■ 土壁
 ■ 小壁
 ■ 差鴨居
 ■ フレーム



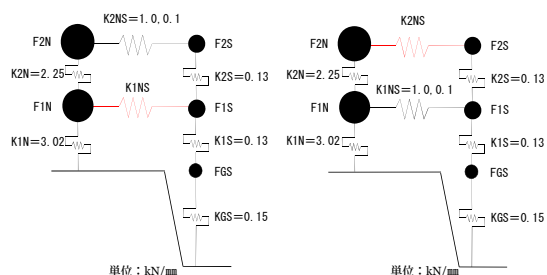
K2NS,K1NS=1.0 剛床
 K2NS,K1NS=0.1 柔床
 単位(kN/mm)

解析結果の例

■ 水平構面の剛性を変化させた場合の影響

◇解析1-1 パラメータ：2階床剛性

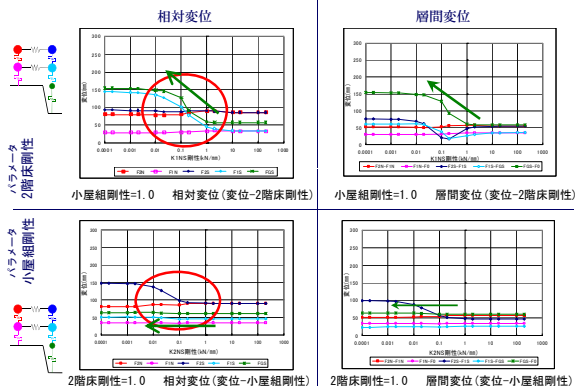
◇解析1-2 パラメータ：小屋組剛性



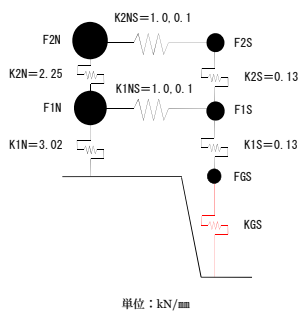
単位：kN/mm

単位：kN/mm

■ 水平構面の剛性を変化させた場合の影響

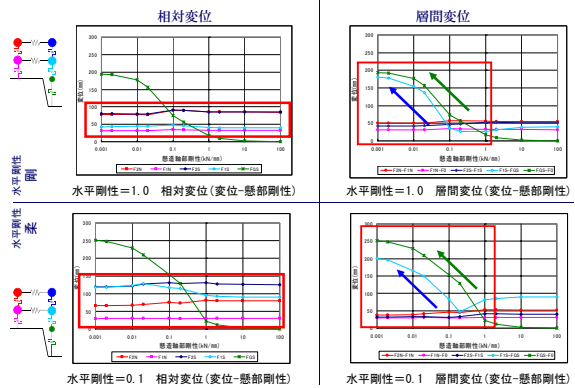


■ 懸部剛性を変化させた場合の影響



単位：kN/mm

■ 懸部剛性を変化させた場合の影響



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

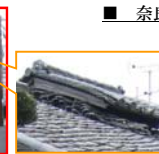
- ・ 構造特性(剛性・質量)の推定。減衰の評価。
- ・ 振動特性・振動モード形状の推定。
- ・ 骨組の剛性： 重量負担時と除荷時での相違。
- ・ 修理前と修理後前後での構造特性変化の比較。
- ・ 部材にかかる軸力変化(部材のひずみ計測等より推定)の推定。

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

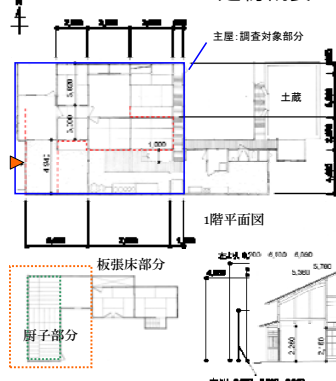
■ 奈良市奈良町の町家

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



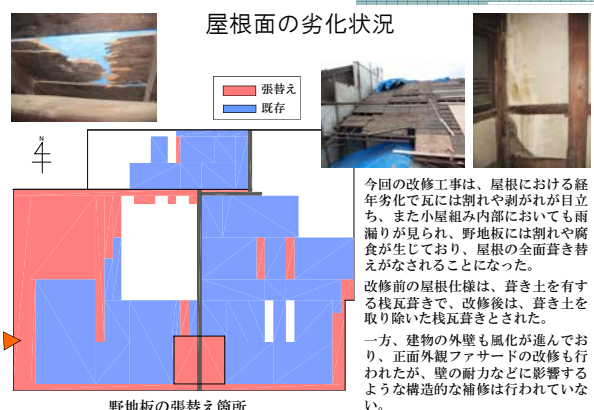
改修後

建物概要

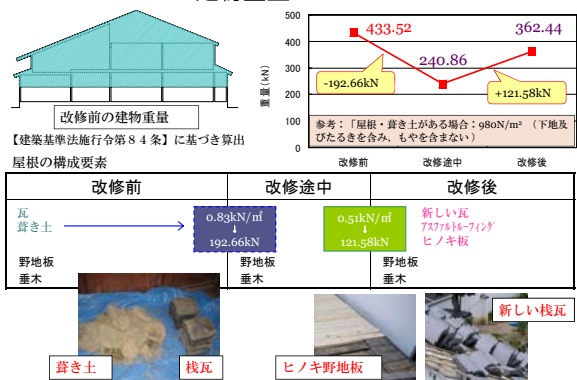


敷地内には、主屋と、便所・浴室を挟んで土蔵がある。伝統的な町家で、小屋組は和小屋組、1階南側にはトオリニワ、オクドサンと呼ばれる竈(かまど)、火袋(ひぶくろ：竈の煙を逃がすための吹き抜け)があり、屋根には煙出しが設けられている。

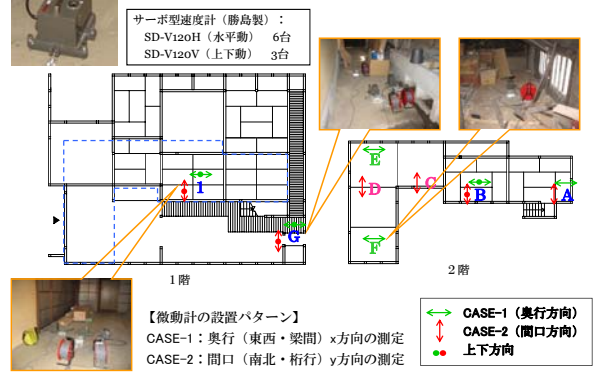
屋根面の劣化状況

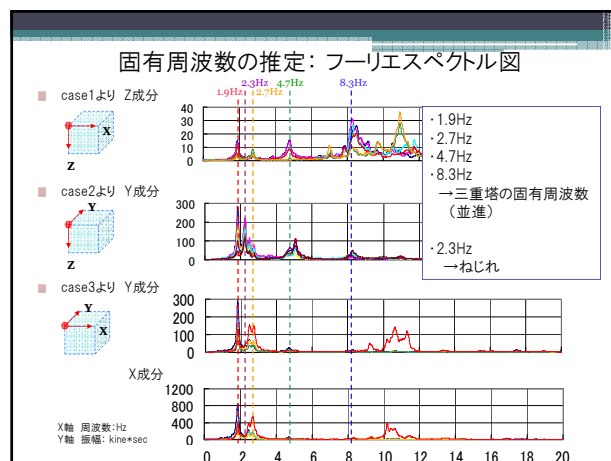
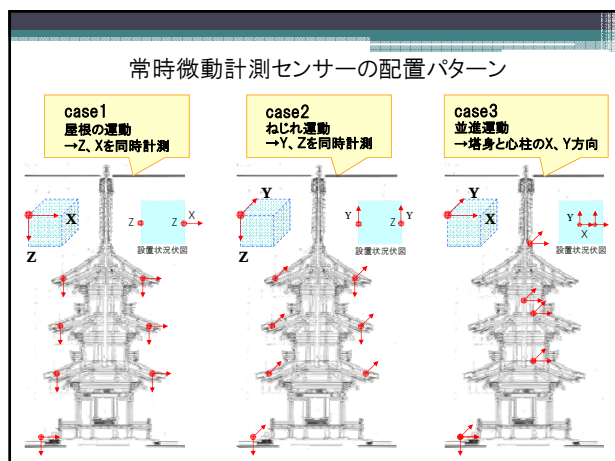
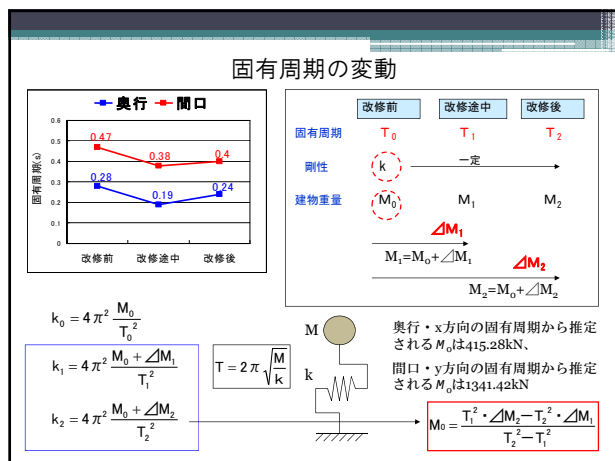
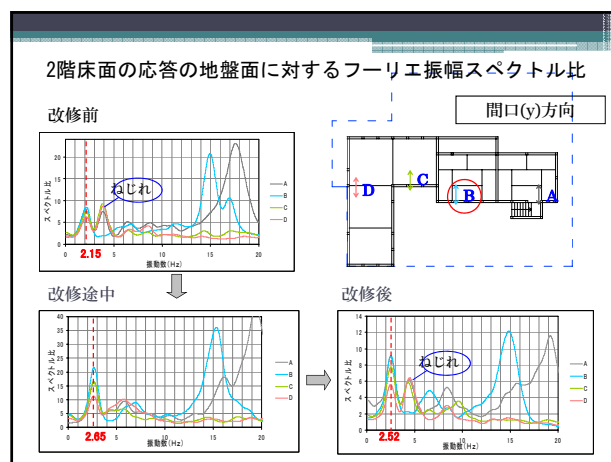
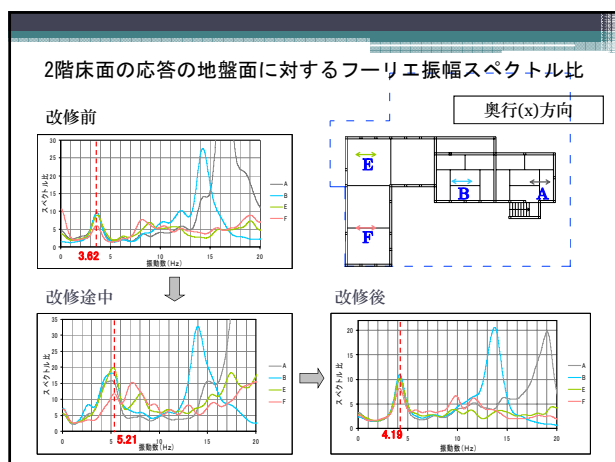


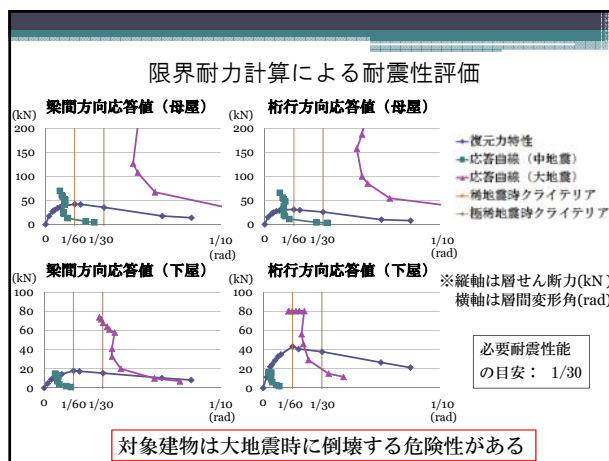
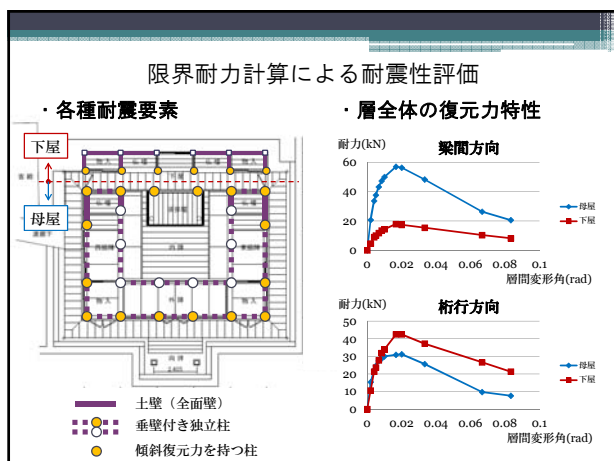
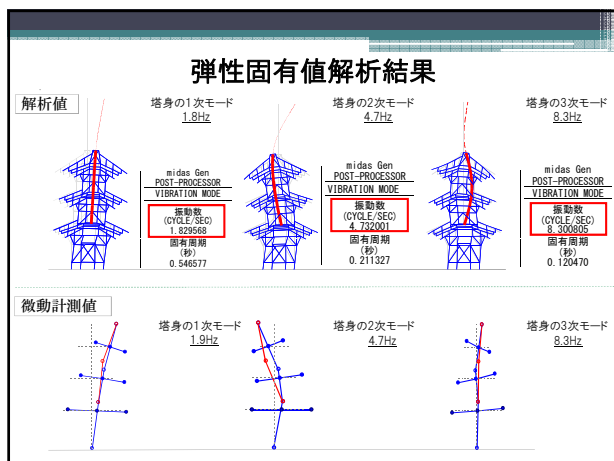
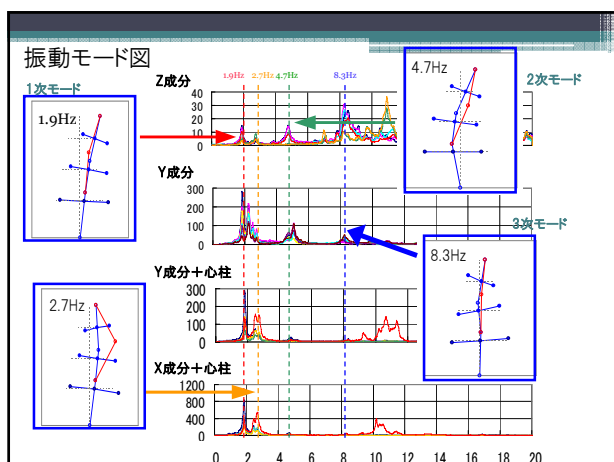
建物重量について



常時微動計測







振動計測時の対象建物の状態

ケースA (5/31)

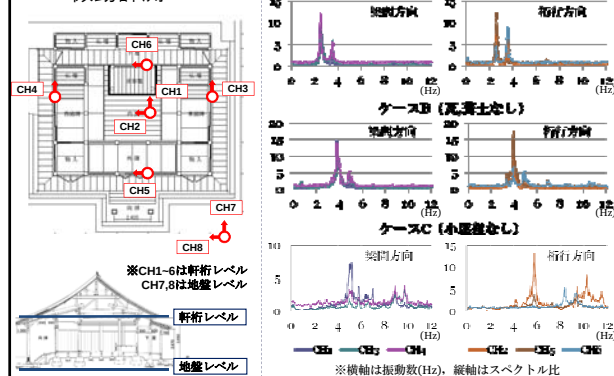
ケースB (7/16)

ケースC (11/13)

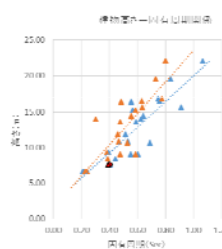


- ・瓦、葺土あり → ・瓦、葺土なし → ・瓦、葺土なし
 ・小屋組あり → ・小屋組あり → ・小屋組なし
 ※修理前の状態

微動計測



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	2.40	0.44
富雄寺奥院本堂(改修前)	9.05	0.80
富雄寺奥院本堂(改修後)	9.05	0.55
門東寺舍利殿	9.27	0.40
東大寺新堂門	10.84	0.80
薬師寺東院堂	10.86	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
唐招提寺金堂	15.66	0.91
法隆寺金堂	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トﾝ ケースB: 24.99トﾝ ケースC: 10.12トﾝ)

屋根重量が大きいほど、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
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
ケースC	10.12	5.10	10.39	5.78	13.35

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

梁間方向: 約2.5%
 桁行方向: 約3.3%

→ 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

