

微動測定による鳥取県の伝統的木造建物の振動特性の把握

鳥取大学 学生会員 ○今津 慶大
 鳥取大学 正会員 野口 竜也
 鳥取大学 正会員 香川 敬生

1. はじめに

鳥取県には現在も活用されている伝統的木造建造物が数多く存在し、その耐震性を把握しておくことは重要である。微動測定に基づく調査は精度や適用性には限界があるものの、簡便かつ低コストで、非破壊で実施可能なことから期待は高い。本研究では常時微動測定・人力加振による測定及び地盤でのアレイ解析を行い、振動特性・地盤構造の推定を行う例として示す。



図1 南門脇家の外観

2. 観測対象建物

南門脇家(図1)は大山北麓の所子集落の南西端に位置する築162年の木造二階建住宅である。安政7年(1860)に現在の主屋が再建された。主屋以外の建物は明治から大正時代にかけて新築・改築が行われた。普請帳から建築履歴が明確であること、建造物が良好な保存状態であることが評価されて国の登録有形文化財・県指定保護文化財に指定されている。

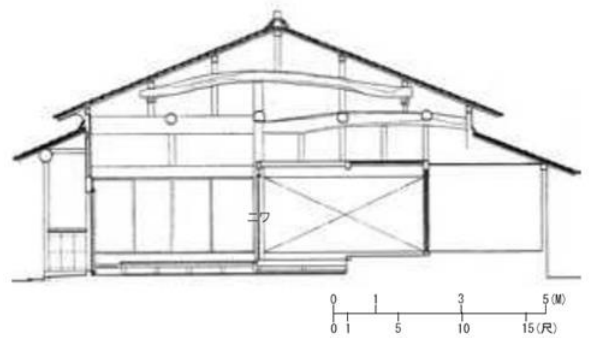


図2 南門脇家の断面図

構造的特徴としては、梁は曲がりの強い自然木が用いられ、屋根は棧瓦葺きで棟には安山岩の棟石が載っている。広い土間や高さを抑えた軒高など江戸時代後期の大規模農家の特徴をよく示している(図2)。

3. 観測概要

観測機器は白山工業製の3成分の加速度型微動計JU410を用いた。南門脇家の主屋は切妻平入りであるため、桁行方向を短手方向、梁間方向を長手方向として微動計を地盤上・床上・梁上・天井面に配置し(図3)、GPSクロックにより事前に同期させて同時観測を行った。常時微動計測の観測時間は10分間とした。

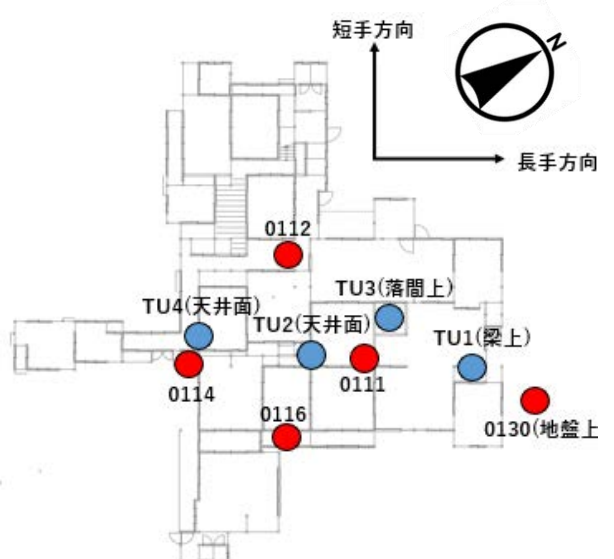


図3 南門脇家の微動計配置図

その後、人力加振による振動測定も行った。短手・長手方向に対し、建物内の複数の柱を7人で同時に瞬間的に押して振動を与え、10秒間休止し再度振動を与える方式で10回加振した。

建物の同時観測とは別に敷地内の地盤上でアレイ半径を1m、5mとした微動アレイ観測を行った。観測時間は10分間とした。

キーワード 伝統的木造建造物, 微動測定

連絡先 〒680-8550 鳥取市湖山町南4-101 鳥取大学工学部 社会システム土木系学科

香川 敬生 TEL0857-31-6097

4. 常時微動計測による振動特性の把握

観測で得られた微動波形を TremorDataView¹⁾を用いて、1 区間 20.48 秒を建物と地盤と同じ区間抽出して、フーリエ変換して解析を行った。各観測点における建物上及び地盤上の水平 2 成分のフーリエスペクトル(それぞれ S_B , S_G とする)を求め、建物上に対する地盤上の水平動のスペクトル比 H_B/H_G を求めた。短手・長手 2 成分の H_B/H_G に共通する明瞭なピークが見られる周期を卓越周期とした。

$$\frac{H_B}{H_G} = \frac{S_B}{S_G} \tag{1}$$

短手・長手方向別に水平動のスペクトル比と立体的なイメージ図(図 4, 5)と全体をまとめたもの(図 6)を示す。

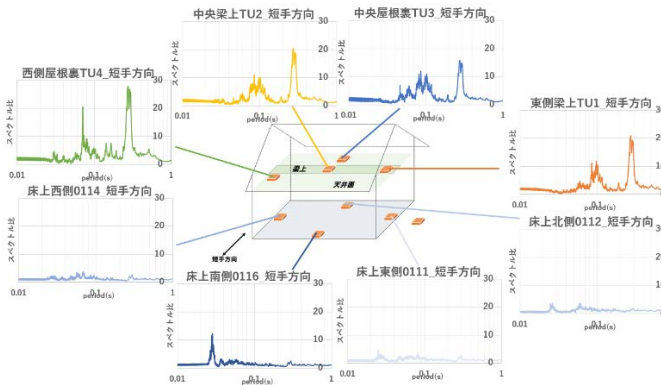


図 4 南門脇家の短手方向の水平動スペクトル

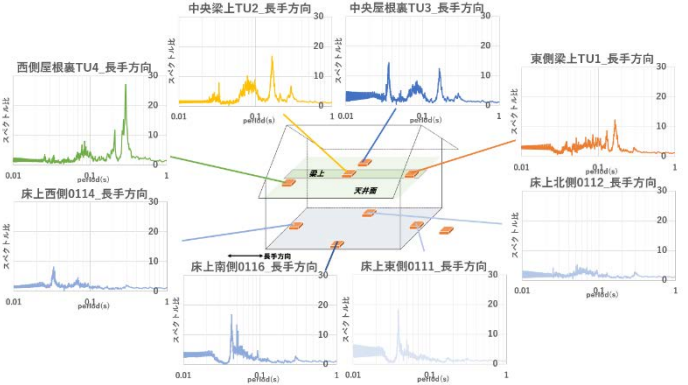
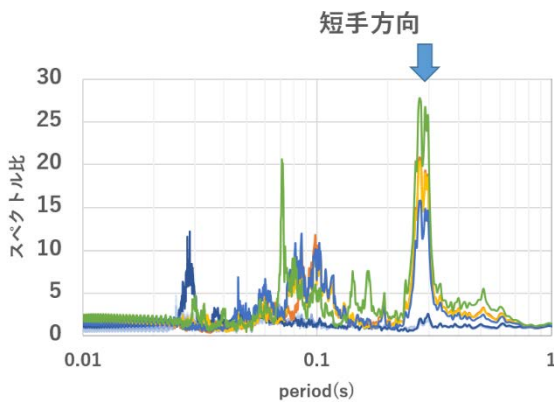
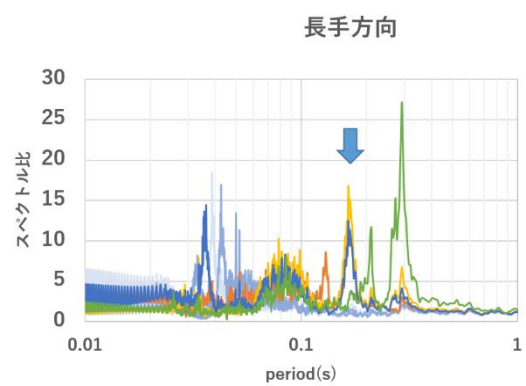


図 5 南門脇家の長手方向の水平動スペクトル比



卓越周期:0.28s 最大スペクトル比:28



卓越周期:0.17s 最大スペクトル比:27

図 6 南門脇家の全体の水平動スペクトル比

南門脇家における卓越周期とピーク時の地盤との最大倍率を(表 1)にまとめた。地震計 TU4 は配置時に不安定な板上に配置したため精度が低く、考察の際には他データと分けて考察する。結果から短手方向の卓越周期は 0.28s,長手方向の卓越周期は 0.17s と読み取れる。全体的に水平動スペクトル比は短手方向のほうが大きい。既存研究²⁾にみられる建築年代が古い木造の建物の卓越周期である 0.7~0.9(s)の長周期のピークは確認できなかった。

表 1 南門脇家の振動特性

地震計	短手方向		長手方向	
	卓越周期(s)	スペクトル比	卓越周期(s)	スペクトル比
床上東側0111	-	-	0.04	18
床上北側0112	-	-	-	-
床上西側0114	-	-	0.03	8
床上南側0116	0.03	13	0.03	17
東側梁上TU1	0.28	21	0.17	13
中央梁上TU2	0.28	21	0.17	17
中央屋根裏TU3	0.28	16	0.04,0.17	15
西側屋根裏TU4	0.07,0.28	28	0.20,0.30	27

5. 人力加振による観測結果

建物の人力加振によって得られた波形を図7のように平滑化し、取り出した減衰波形から振幅 y_j , 振幅比 d を求め、減衰率を算出する。

振幅比 d と減衰定数 h との関係は次のように表せられる³⁾。

$$d = \frac{y_1}{y_2} = \frac{y_2}{y_3} = \dots \dots (\text{片振幅})$$

$$= \frac{y_1 + y'_1}{y_2 + y'_2} = \frac{y_2 + y'_2}{y_3 + y'_3} = \dots \dots (\text{全振幅}) \quad (2)$$

$$= e^{h\omega T'} = e^{2\pi h / \sqrt{1-h^2}}$$

$$h = \left(\frac{\ln d}{2\pi}\right) / \sqrt{1 + \left(\frac{\ln d}{2\pi}\right)^2} \quad (3)$$

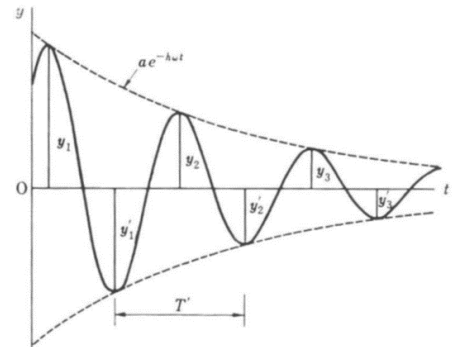


図7 減衰波形のイメージ図³⁾

表2 南門脇家の減衰率と固有周期

算出結果を表2に示す。南門脇家の短手方向固有周期0.303s, 長手方向固有周期0.171sであり、微動のピークとほぼ一致した。また、短手方向減衰率7.01%, 長手方向減衰率3.44%で卓越周期, 減衰定数は一般的な伝統的木造建物の値の範囲内であった¹⁷⁾。

地震計	短手方向	短手方向減衰率		長手方向	長手方向減衰率	
	固有周期(s)	片振幅(%)	全振幅(%)	固有周期(s)	片振幅(%)	全振幅(%)
東側梁上TU1	0.310	6.72	6.95	0.170	3.47	3.50
中央梁上TU2	0.300	6.88	7.13	0.172	3.99	3.56
中央屋根裏TU3	0.300	7.10	7.31	0.172	3.40	2.70
西側屋根裏TU4	0.290	8.39	8.87	0.198	4.25	4.14
平均	0.300	7.27	7.57	0.178	3.78	3.47
平均(TU4なし)	0.303	6.90	7.13	0.171	3.62	3.25

減衰定数 h ・固有周期 T と振幅倍率 R により早稲田式動的耐震性能診断の式⁴⁾を用いて耐震性能評価指数 c を算出し、建物の振動的性質を数値的に評価する。耐震性能評価指数 c 値は短手方向, 長手方向それぞれについて(表3)のように評価される⁴⁾。

$$c = \left(\frac{T}{0.1}\right)^2 \times \sqrt{Q \times R} \quad (7)$$

$$Q = \frac{1}{2} \times h \quad (8)$$

表3 耐震性能の評価方法

$c \leq 20$	十分安全
$20 < c \leq 30$	倒壊の恐れは少ない
$30 < c \leq 40$	倒壊の恐れが若干ある
$40 < c$	倒壊の恐れが大きい

算出結果を表4に示す。耐震性能指数は短手・長手方向ともに20以下であり、十分安全で倒壊の恐れは少ないといえる。

表4 南門脇家主屋の耐震性能指数

地震計	短手方向					地震計	長手方向						
	固有周期T(s)	減衰定数h		振幅倍率R	耐震性能指数c		固有周期T(s)	減衰定数h		振幅倍率R	耐震性能指数c		
		片振幅	全振幅		片振幅			全振幅	片振幅		全振幅		
東側梁上TU1	0.310	0.0672	0.0695	21	8.07	8.21	東側梁上TU1	0.170	0.035	0.035	13	1.37	1.38
中央梁上TU2	0.300	0.0688	0.0713	21	7.65	7.79	中央梁上TU2	0.172	0.040	0.036	17	1.72	1.62
中央屋根裏TU3	0.300	0.0710	0.0731	16	6.78	6.88	中央屋根裏TU3	0.172	0.034	0.027	15	1.49	1.33
西側屋根裏TU4	0.290	0.0839	0.0887	28	9.12	9.37	西側屋根裏TU4	0.198	0.043	0.041	27	2.96	2.92
平均	0.300	0.0727	0.0757	21.50	7.91	8.06	平均	0.178	0.038	0.035	18.00	1.88	1.81
平均(TU4なし)	0.303	0.07	0.07	19.33	7.50	7.63	平均(TU4なし)	0.171	0.04	0.03	15.00	1.53	1.44

6. アレイ観測による位相分散曲線と地盤構造モデル

アレイ観測では CCA 法⁵⁾・V 法⁶⁾により位相速度分散曲線を求めた。SH 波伝達関数は、地盤構造の妥当性や観測点の地盤増幅特性を表す。地盤構造モデルから得られるレイリー波基本モードの理論分散曲線と理論 H/V スペクトルが、観測位相速度分散曲線と観測 H/V スペクトルに各々一致するように地盤構造モデルを試行錯誤で決定した。H/V スペクトル、SH 波伝達関数、位相速度分散曲線、地盤構造モデルを図 8, 9, 表 5 に示す。

地盤の卓越周期は 0.04s と読み取れる。既存研究⁷⁾より、南門脇家の堆積層は 2.5m と薄く、S 波速度は 200m/s となった。大山町の地質は、大山の影響で大山ローム層、火山砕屑物、凝灰岩質岩石礫、砂礫で構成されているため地盤は硬い。南門脇家の南門脇家の短手方向固有周期 0.28s、長手方向固有周期 0.17s とともに、SH 波伝達関数のピークに近いが完全には一致していない。

7. まとめ

- ・微動の水平動スペクトル比の卓越周期は長手方向 0.17s、短手方向 0.28s であり、既存研究⁷⁾にみられる伝統的木造建造物における長周期のピークは確認できなかった。
- ・地盤と建物の卓越周期の一致度は低いことが分かった。
- ・減衰率は短手方向が小さく長手方向が大きいことが分かった。
- ・耐震性能指数は低い値を示し、十分に安全であることが分かった。
- ・南門脇家は硬質な地盤上にあることが分かった。

参考文献

- 1) 防災科学技術研究所：防災科学研究所研究報告 第 313 号 2008
- 2) 齊藤一茂(2018)：微動観測に基づく鳥取県智頭町における避難施設の建物振動特性および地盤構造の把握,鳥取大学,卒業論文
- 3) 柴田明德：最新耐震構造解析(第 3 版) p14
- 4) 木造家屋の早稲田式動的耐震性能診断:http://geofile.o.oo7.jp/pdf_files/taishin.pdf (最終閲覧日 2022.1.17)
- 5) 多田 卓, 澤入雅弘, 篠崎祐三(2007)：極小微動アレイ観測による表面波位相速度の推定その 1.CCA 法,ノイズ補正 CCA 法,CCA 円位相法,日本建築学会大会学術講演概要集,265-266,2007
- 6) Cho, T. Tada, and Y.Shinozaki(2007): Beyond the SPAC Method: Exploiting the Wealth of Circular-Array Methods for Microtremor Exploration
- 7) 狐崎長琅,後藤典俊,小林芳正,井川猛,堀家正則,齊藤徳美,黒田徹,山根修一,奥住宏一(1990)：地震動予測のための深層地盤 P・S 波速度の推定, 自然災害科学, 9-3,pp4-10.

表 5 南門脇家の地盤モデル

大山町		南門脇家	
層厚(m)	ρ (t/m ³)	Vp(m/s)	Vs(m/s)
2.5	1.5	1500	200
45	1.8	1800	600
60	2	1900	700
300	2.2	2200	800
550	2.4	2800	1400
-1	2.6	3500	2000

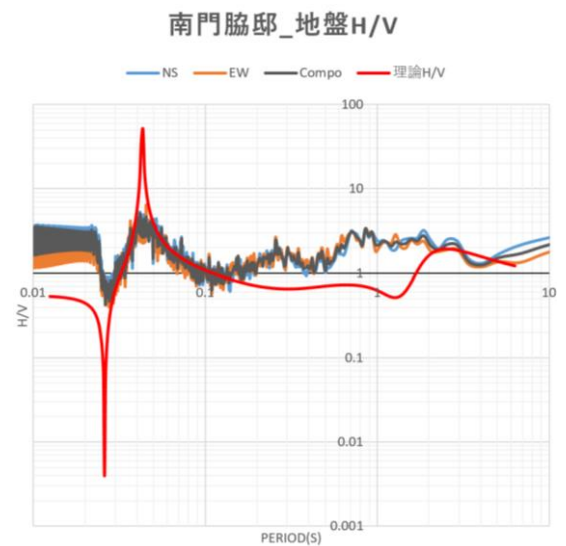


図 8 アレイ中心の H/V スペクトル

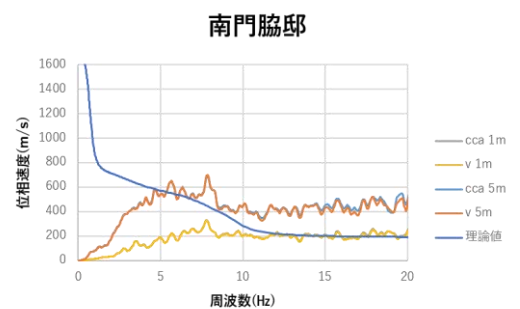


図 9 南門脇家の地盤モデル