

起振器を用いた木造古民家住宅の耐震性評価について

高谷富也¹・西川隼人²・西村良平³

要旨：小浜西組における古民家住宅の耐震性を評価するために、起振器を用いた振動実験を行った。本研究は、木造古民家住宅の耐震診断を行い、起振器を用いた耐震性評価結果との比較検討を行ったものである。また、最近行われている木造建築物の微動計測による耐震性評価の妥当性を検討するために、起振器による振動実験結果との比較も併せて行った。

キーワード：古民家、起振器実験、共振振動数、上部構造評点、常時微動、伝達関数、耐震診断

1. はじめに

近年、耐震改修促進法¹⁾および改正耐震改修促進法²⁾の施行により、1981年以前に建てられた耐震性に問題があるとされる伝統的構法で建てられた木造建築物および在来軸組構法による古民家や木造住宅の耐震診断や補強改修等が行われてきている。

一般に、(財)日本建築防災協会発行の2004年³⁾または2012年改訂版「木造住宅の耐震診断と補強方法」⁴⁾に記載されている診断法に従って、上部構造評点を指標とした木造建築物の耐震診断を行うとともに、耐震補強を行っているのが現状である。

本研究では、小浜西組における京町屋風の木造古民家住宅「町並み保存資料館」を対象として、上部構造評点に基づいた耐震診断を行うとともに、起振器を用いて木造建築物の固有振動数や減衰定数を求め、常時微動計測による固有振動数の推定を行ったものである。特に、起振器実験と常時微動計測から得られる固有振動数の比較検討を通じて、木造建築物の微動計測による耐震性評価の妥当性を調べたものである。

2. 起振器実験について

ここでは、起振器による木造建築物の共振振動数および減衰定数の測定について概説する。

振動実験の測定システムをFig.1に示す。この振動測定システムはPhoto.1に見られる計測部、Photo.2に示す起振部および解析部などから成っている。測定は、まず、Photo.2に示す起振器(サンエ

1 舞鶴工業高等専門学校 建設システム工学科 教授

2 舞鶴工業高等専門学校 教育研究支援センター 第1技術部門主任(技術専門職員)

3 舞鶴工業高等専門学校 教育研究支援センター 技術職員

ス社製、永久磁石起振機SSV-125、最大加振力:490N、振動数範囲 0.1~100Hz)によって固有振動数 3~10Hz のスイープ波加振を 360 秒間実施するとともに、Photo.3 に示すサーボ型加速度計(ミツトヨ社製、V405-BR、測定範囲: ±30m/s²、振動数範囲: DC~400Hz)によって振動波形を記録する。起振機と加速

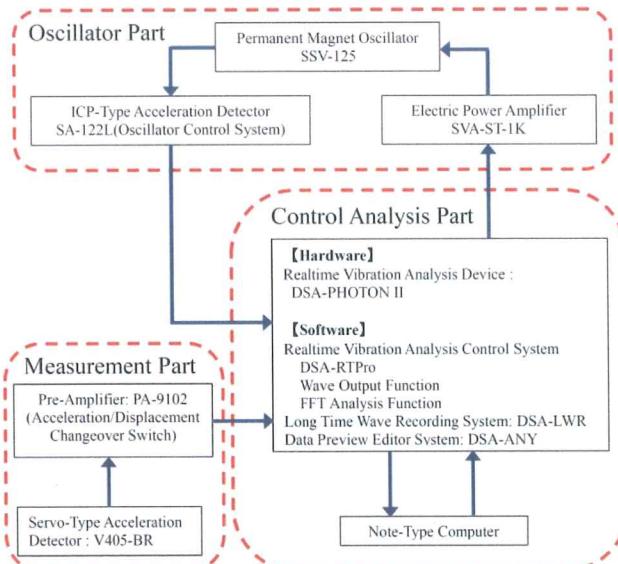


Fig.1 System schematic



Photo.1 Measurement system



Photo. 2 Oscillator system



Photo. 3 Sensor

度計で得られた波形から求めたスペクトルの比(伝達関数)から木造建築物の共振振動数を求める。続いて、求めた共振振動数を固有振動数とする正弦波加振によって木造住宅を振動させ、定常時に起振機を急停止させて得られた減衰自由振動波形から木造住宅の減衰定数を評価する。また、常時微動を測定して得られた波形から伝達関数を求め、起振器による振動で得られたものと比較する。なお、起振器による振動と常時微動の測定は桁行と梁間方向に対して行った。Fig. 2, 3 および 4 に共振振動数を探索する際に加速度計で得られた波形、減衰自由振動波形および常時微動波形の一例を示す。

3. 起振器による古民家の耐震性評価

3. 1 起振器および加速度計の設置について

Photo. 4 は、対象としている小浜西組における京町屋風の木造古民家住宅「町並み保存資料館」の道路に面した前景写真を示したものである。また、Fig. 5 は対象としている「町並み保存資料館」の平面図を示したものである。起振器は 2 階の平面図における重心位置に設置し、長辺方向（梁間・南北方向）および短辺方向（桁行・東西方向）の起振を行い、それぞれの方向における固有振動数を求めた。

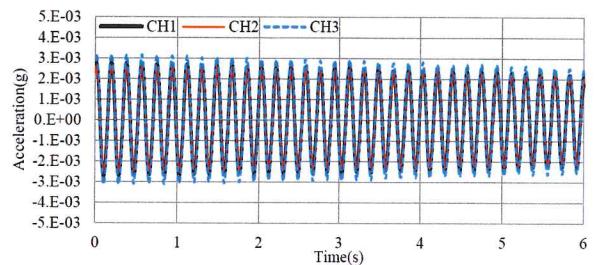
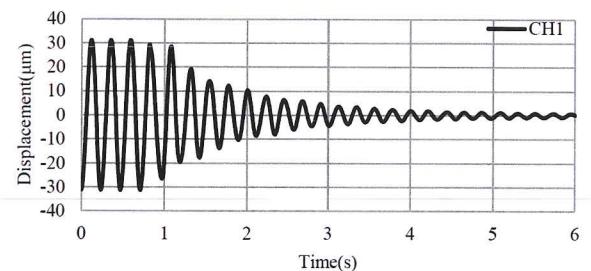
Fig. 2 Sweep vibration wave (g : gravitational acceleration)

Fig. 3 Damping free vibration wave

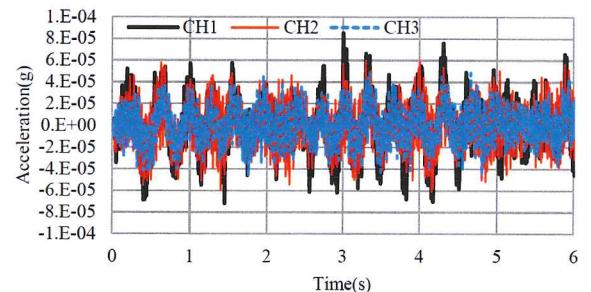


Fig. 4 Microtremor wave

Photo. 5 は、起振器を用いた長辺方向（梁間方向）の振動実験風景を示したものである。また、4 つの加速度計の設置位置は、2 階の玄関側吹き抜け近くの2階談話室床上(CH1)、北側階段2階踊り場(CH2)、



Photo. 4 Full view of an old Japanese-style house

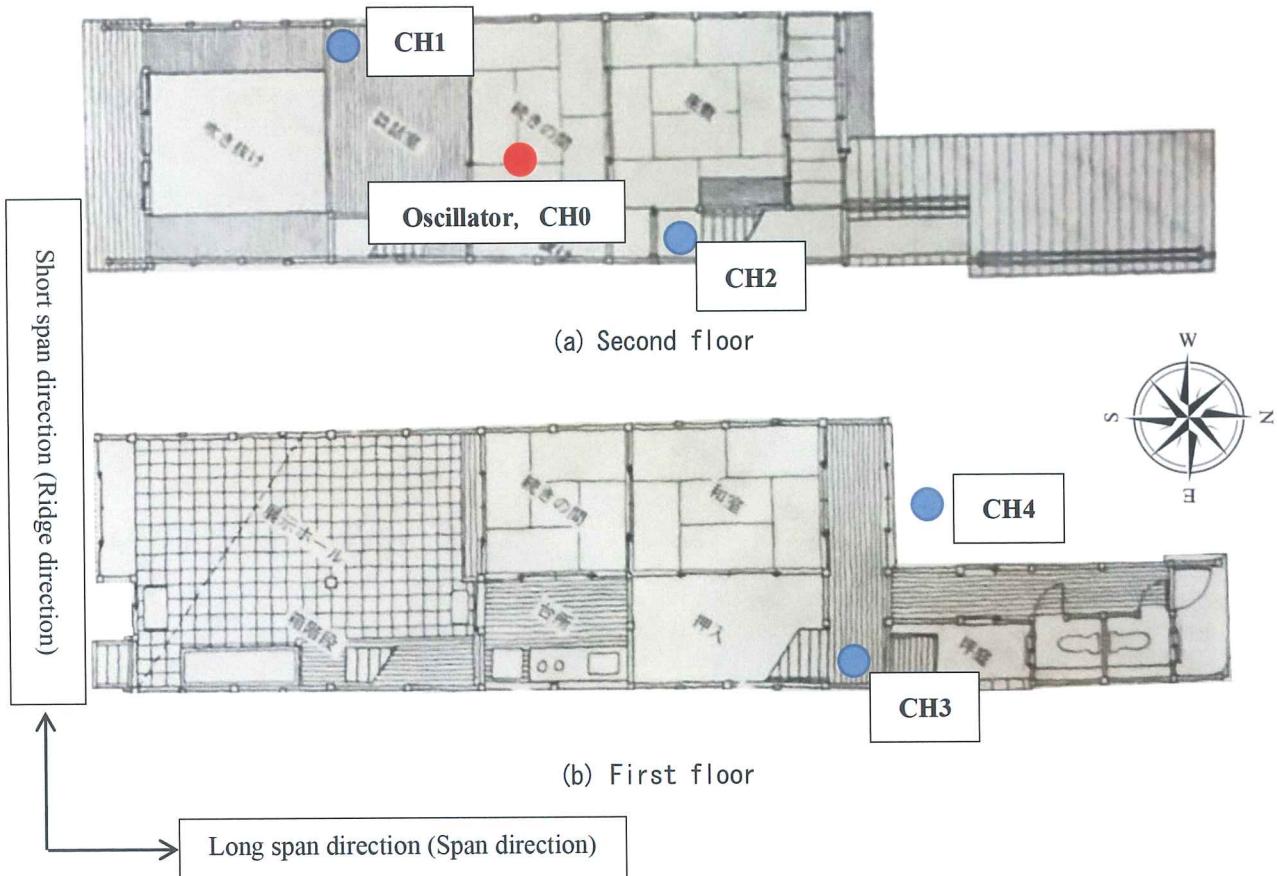
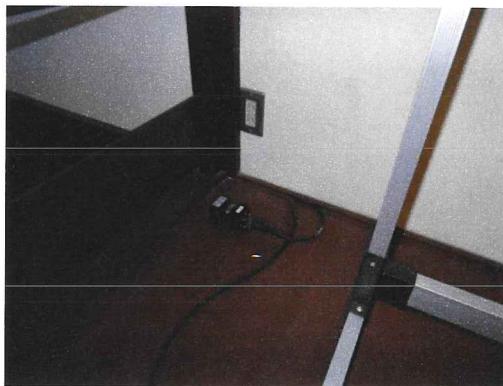


Fig. 5 Floor plan of an old Japanese-style house



Photo. 5 Oscillation experimental full view (Oscillation direction : Long span direction)

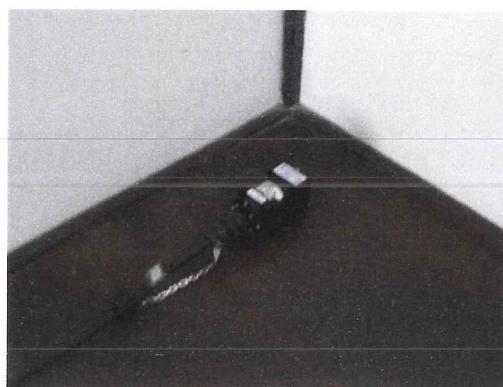


(a) Long span direction(Span direction)

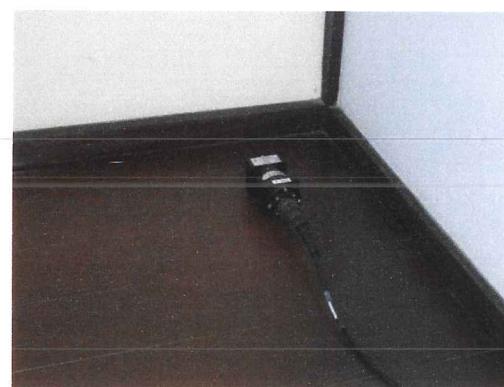


(b) Short span direction(Ridge direction)

Photo. 6 CH1 installation on the second floor above a stairwell

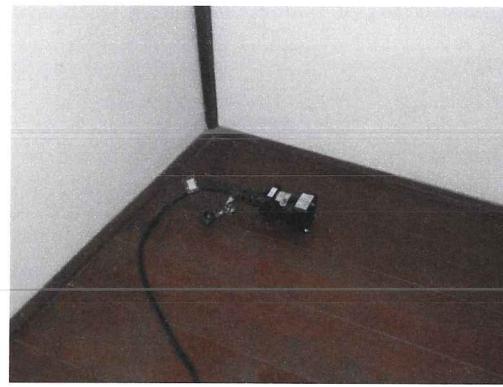


(a) Long span direction(Span direction)

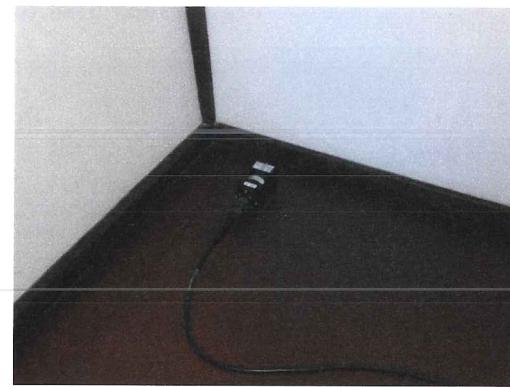


(b) Short span direction(Ridge direction)

Photo. 7 CH2 installation on the stair landing of second floor



(a) Long span direction(Span direction)

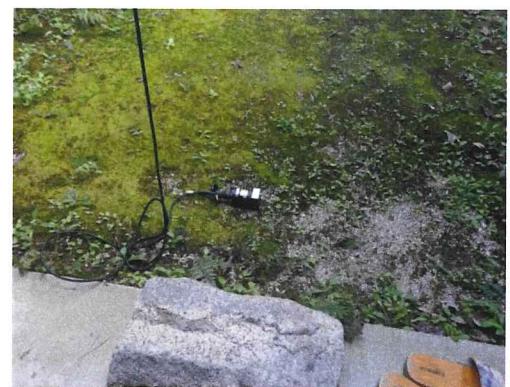


(b) Short span direction(Ridge direction)

Photo. 8 CH3 installation on the first floor



(a) Long span direction(Span direction)



(b) Short span direction(Ridge direction)

Photo. 9 CH4 installation on the ground



Photo. 10 Microtremor experiment of the ground

1階の北側階段下(CH3)および裏庭の地盤上(CH4)となっている。Photo. 6~9は、それぞれCH1からCH4までの長辺方向(梁間方向)および短辺方向(桁行方向)の加速度計設置風景を示したものである。

一方、Photo. 10は、地盤の微動計測のために裏庭に設置した3つの加速度計(水平2成分、上下1成分)を示したものである。

3. 2 起振器による実験結果

(1) 長辺方向(梁間方向)

Fig. 6は、長辺方向(梁間方向)の起振器実験および微動計測において用いたCH1およびCH2の加速度計で計測された振動数と振幅比(起振器の加速度計CH0に対するCH1またはCH2との比)の関係、すなわち伝達関数を示したものである。また、Table 1およびTable 2はFig. 6に示す起振器および微動計測から求められた第1次~第3次固有振動数の結果をまとめたものである。さらに、Table 3は長辺方向の第1次および第2次固有振動数で共振振動させた場合に計測された減衰定数を示したものである。

CH1における第1次固有振動数は4.06Hzにピークが見られるが、CH2にはピークが観測されておらず、CH1の第1次固有振動数とCH2の第2次固有振動数が一致していることがわかる。これは、CH1が設置された玄関側吹き抜け上の2階談話室の板張り床付近の剛性とCH2が設置された北側階段の2階踊り場の剛性が異なるためと考えられる。このため、2階では吹き抜け構造によって部分的な剛性の違いが生じ、これに起因すると考えられる「ねじれ振動」の影響がCH1に表れたものと思われる。

一方、微動計測結果においても上述したCH1の固有振動数とCH2のそれには同様の傾向が見られる。したがって、起振器による固有振動数と微動計測による固有振動数と異なる値となっている。これらの現象の検討には、CH1の設置位置を変えた実験が必要であろう。

Table 3に示した長辺方向のCH1の第2次固有振動数4.53Hzおよび第3次固有振動数6.56Hzで共振振動させた場合に計測された減衰定数としては、CH1

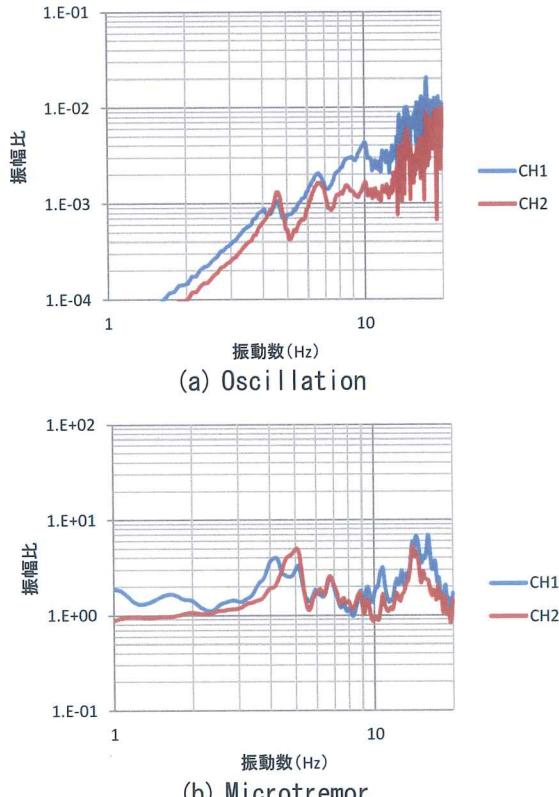


Fig. 6 Transfer function of long span direction

Table 1 Natural frequency of long span direction
(Oscillation case, unit: Hz)

	第1次	第2次	第3次
CH1	4.06	4.53	6.56
CH2	4.53	6.64	8.52

Table 2 Natural frequency of long span direction
(Microtremor case, unit: Hz)

	第1次	第2次	第3次
CH1	4.19	5.13	6.81
CH2	5.06	6.75	-

Table 3 Damping coefficient of long span direction

	共振振動数	
	4.53Hz	6.56Hz
CH1	7.12%	7.88%
CH2	4.31%	7.06%

が第2次固有振動数で7.12%, 第2次固有振動数で7.88%となっており、いずれの固有振動数においても7%を超える値となっている。これらの減衰定数値については、耐震性が低い木造建築物の減衰定数と比較して高いものとなっており、地震による揺れが早期に弱まるため耐震性が高いと言えよう。一方、CH2の第1次固有振動数4.53Hzで共振振動させた場合に計測された減衰定数は4.31%となっており、第2次固有振動数6.56Hzにおける減衰定数7.06%に比べて小さな値となっている。第1次固有振動数で共振振動させた場合には、玄関側吹き抜け上の2階談話室の板張り床付近(CH1)に比べて、北側階段の2階踊り場付近(CH2)は揺れが大きく、CH1に比べて揺れが弱まりにくいことがわかる。第2次固有振動数で共振振動させた場合には、CH1とCH2はほぼ同じような減衰定数の値を示しており、同じ減衰振動をすることがわかる。

(2) 短辺方向(桁行)

Fig. 7は、短辺方向(桁行方向)の起振器実験および微動計測から得られたCH1およびCH2の加速度計で計測された伝達関数を示したものである。また、Table 4およびTable 5はFig. 7に示す起振器および微動計測から求められた第1次～第3次固有振動数の結果をまとめたものである。さらに、Table 6は短辺方向の第2次固有振動数3.05Hzおよび第3次固有振動数5.31Hzで共振振動させた場合に計測された減衰定数を示したものである。起振器による実験現場においては、第1次固有振動数でのピークが明瞭ではないと判断したため、第2次と第3次固有振動数での共振振動を実施した。CH1およびCH2の第1次、第2次および第3次固有振動数が一致していることがわかる。これは、短辺方向の起振においては、CH1とCH2が設置された箇所が同じ振動をしていることを意味している。しかしながら、CH1の振幅がCH2のそれに比べて大きな値となっている。これは、玄関側吹き抜け上の2階木板張り床付近(CH1)に比べて、CH2が設置された北側階段の2階踊り場付近の振動が小さいことを意味している。

一方、微動計測結果においては、起振器から求められたCH1およびCH2の第1次固有振動数と微動計測における第1次固有振動数はほぼ同じ値となっていることがわかる。

Table 6に示した短辺方向の第2次固有振動数3.05Hzおよび第3次固有振動数5.31Hzで共振振動させた場合に計測された減衰定数としては、CH1およびCH2がそれぞれ13.10%および6.99%と、いずれの固有振動数においてもほぼ7%を超える値とな

っている。特に、第2次固有振動数3.05Hzにおける減衰定数についてはCH1およびCH2とともに13.10%および10.48%と、10%を超えており、かなり高いものとなっている。これは、長辺方向に比べて短辺

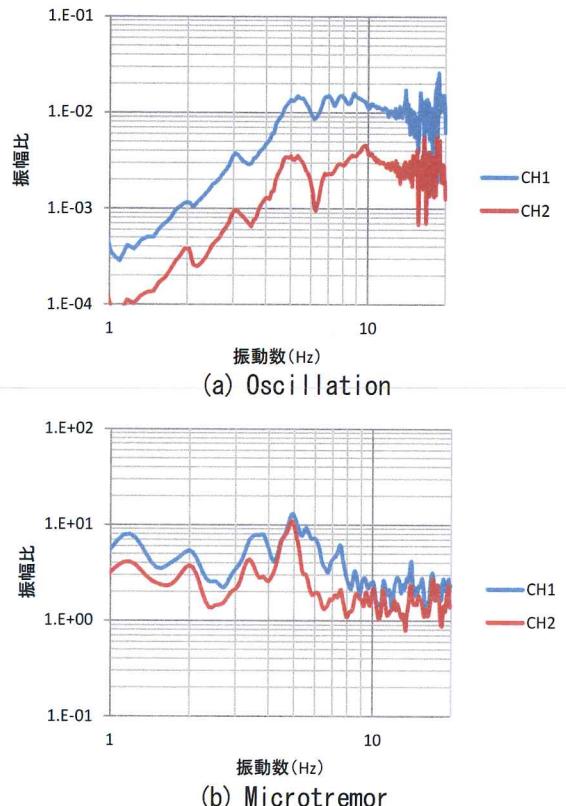


Fig. 7 Transfer function of short span direction

Table 4 Natural frequency of short span direction
(Oscillation case, unit: Hz)

	第1次	第2次	第3次
CH1	2.03	3.05	5.31
CH2	2.03	3.05	5.31

Table 5 Natural frequency of short span direction
(Microtremor case, unit: Hz)

	第1次	第2次	第3次
CH1	2.00	3.81	4.94
CH2	2.00	3.38	4.88

Table 6 Damping coefficient of short span direction

	共振振動数	
	3.05Hz	5.31Hz
CH1	13.10%	6.99%
CH2	10.48%	7.23%

方向については揺れが早期に弱まることを意味している。

(3) 考察

Fig. 6 および Fig. 7 に示す起振器および微動計測から算定された伝達関数より、いずれの場合においても、長辺方向の振幅比が短辺方向の振幅比に比べて小さくなっている。これは、短辺方向に比べて長辺方向の剛性が大きいことが分かる。これは、短辺方向に比べて長辺方向における壁が多く存在することによる壁量の違いが剛性に表れているものと考えられる。しかしながら、Table 3 および Table 4 に示されている減衰定数からは、長辺方向の減衰定数に比べて短辺方向の減衰定数が大きいものとなっており、短辺方向における揺れが早期に弱まることが分かる。これは、木造建築物の構法などに起因しているものと考えられることから、今後、伏図をもとに構法の観点から減衰定数の違いを考察する必要がある。

ところで、起振器実験および微動計測から求められる固有振動数の関係について、長辺方向における固有振動数には違いがみられたが、短辺方向における固有振動数はほぼ同じ値となっている。また、Table 3 および Table 4 に示されている減衰定数の値からも明らかなように、長辺方向に比べて短辺方向の減衰定数が大きな値を示している。このため、木造建築物の減衰定数が大きい短辺方向については、起振器実験による第1次固有振動数と微動計測から求められる第1次固有振動数がほぼ一致しているが、長辺方向については、起振器実験による第1次固有振動数と微動計測から求められる第1次固有振動数が一致していないことがわかる。これは、吹き抜け構造による2階の部分的な剛性の違いに起因すると考えられる「ねじれ振動」によるものと推察される。

4. 地盤の固有振動数の評価

Fig. 8 は、裏庭に設置した3つの加速度計（水平2成分、上下1成分）から算定された常時微動から算出した微動H/V（水平・鉛直スペクトル比）を示したものである。この図より、地盤の微動H/Vのピーク（固有振動数）は2.89Hzであることがわかる。また、山や谷が明瞭となっているため、対象としている木造建築物の周辺地盤にはコントラストの大きな地層が存在するものと考えられる。ただし、ピーク振幅比が5程度となっているため、表層地盤はあまり軟らかくないものと思われる。この確認は、対象となっている木造建築物周辺の地盤ボーリングデータによる確認を踏まえて、より詳細に判明するものと考える。

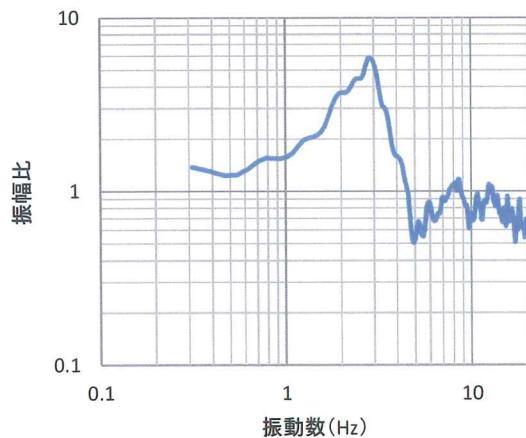


Fig. 8 Microtremor H/V of the ground (Horizontal and vertical spectral ratio)

5. 木造古民家の耐震診断について

Fig. 9 は、インテグラル社製耐震診断ソフトである「耐震診断 Pro Ver.4.1」を用いて表示した対象としている木造古民家の平面図を示したものである。また、Fig. 10 は、2012年改訂版「木造住宅の耐震診断と補強方法」⁴⁾に準拠した一般診断法による診断結果である上部構造評点を示したものである。なお、木造古民家の劣化度低減係数は1.0、地盤および基礎はそれぞれ「良い」および「健全」としている。Fig. 10(b)には、必要耐力と保有耐力の詳細な情報が示されており、また Fig. 10(c)には耐力要素の配置等による低減係数の情報が示されている。

一方、Fig. 11 は精密診断法（保有耐力診断法）による診断結果である上部構造評点を示したものである。Fig. 11(b)には、一般診断の場合と同様に必要耐力と保有耐力の詳細な情報が示されており、また Fig. 11(c)には偏心率と床仕様による低減係数の情報が示されている。また、Fig. 12 は限界耐力計算により算定した耐震診断結果を示したものである。Fig. 12(b)には、各階におけるX方向およびY方向の安全限界耐力と荷重変形関係の詳細な情報が示されており、また Fig. 12(c)には各階に作用するX方向およびY方向の地震力の情報が示されている。

一般診断法および精密診断法では、次式より上部構造評点を算定する⁴⁾。

$$\text{上部構造評点 } \frac{Q_{\text{u}}}{Q_{\text{r}}} \quad (1)$$

ここに、 Q_{u} は保有耐力を、 Q_{r} は必要耐力を意味する。また、限界耐力計算法では、次式より上部構造評点を算定する⁴⁾。

$$\text{上部構造評点 } \frac{Q_{\text{si}}}{Q_{\text{sni}}} \quad (2)$$

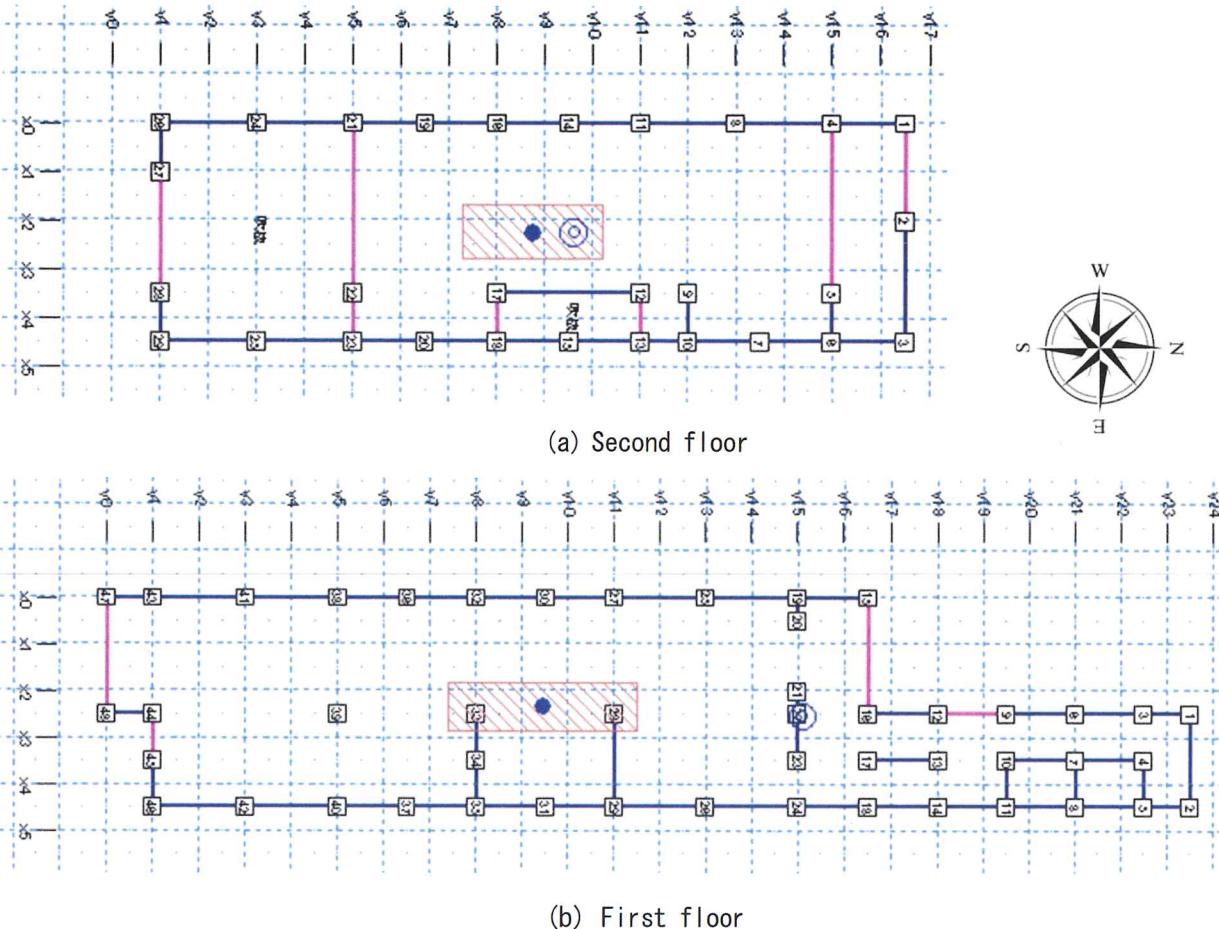


Fig. 9 Floor plan of an old Japanese-style house for seismic diagnosis

ここに, Q_{si} は安全限界耐力を, Q_{smi} は作用する地震力を意味する.

一般診断法における必要耐力 Q_r の算定においては, 床面積を基準として床面積当たりの必要耐力係数, 多雪区域加算, 地震係数, 軟弱地盤割増, 形状割増, 混構造割増が考慮される. また, 精密診断法(保有耐力診断法)における保有耐力 Q_u の算定においては, 建築基準法施行令第 88 条の 2 に準じて求めるもので, 地震係数, 振動特性係数, 層せん断力分布係数、標準せん断力分布係数, 各階の重量, 形状割増、軟弱地盤割増が考慮される.

一方, 一般診断法における保有耐力 Q_u の算定においては, 無開口壁耐力, 有開口壁長または無開口壁率, 耐力要素の配置・床仕様による低減(4分割法および偏心率), 劣化度が考慮される. また、精密診断法(保有耐力診断法)における保有耐力 Q_u の算定においては, 無開口壁耐力, 有開口壁耐力, 剛性率による低減係数, 偏心率と床の仕様による低減, 劣化度が考慮される.

限界耐力計算による診断方法は, 建築基準法施行令第 82 条の 6 に準じて求めるもので, 評点は安全限界

変形時の必要耐力と限界耐力の比較により行うものである.

Fig. 10 より, 一般診断法による木造古民家の上部構造評点は 0.16, また, Fig. 11 より精密診断法による上部構造評点は 0.07 となっており, いずれの場合においても震度 6 強または震度 7 の地震動に対して「倒壊する可能性が高い」ことがわかる. さらに, Fig. 12 より, 限界耐力計算による木造古民家の評点は 0.13 となっており, 一般診断法および精密診断法と同じ「倒壊する可能性が高い」という結果となっている. Fig. 9 からも明らかなように, X 方向(桁行・短辺方向)は壁量が Y 方向に比べて極端に少ない. このため、一般診断法においては木造古民家の 1 階および 2 階の X 方向の上部構造評点は, それぞれ 0.16 および 0.57 となっている. 一方, 精密診断法においては木造古民家の 1 階および 2 階の X 方向の上部構造評点は, それぞれ 0.07 および 0.46 となっている.

起振器実験および微動計測から得られた伝達関数より, 木造古民家の長辺方向(梁間方向, Y 方向)の剛性が, 短辺方向(桁行方向, X 方向)に比べて

総合評価		必要耐力Or、保有耐力edQu		配置等による低減係数 eKfI	
地盤・基礎		対策		選択	
地盤	状態 よい・普通 悪い	対策		選択	
	表層の地盤改良を行っている (埋立地、盛り土、軟弱地盤)			●	
	特にない				
地形	状態 平坦	対策		選択	
	コンクリート擁壁			●	
	かけ地・急斜面	石積			
	特別な対策を行っていない				
基礎	形式 鉄筋コンクリート 基礎	状態		選択	
	健全 ひび割れが生じている			●	
	健全 ひび割れが生じている 足場内・脚場コントラボルト緊結				
	足場内のみまたは足場の無し				
	その他				

上部構造評点								
階	方向	筋の耐力 Qu (kN)	配置低減 係数 eKfI	劣化度 dk	保有耐力 edQu (kN)	必要耐力 Or (kN)	評点 edQu/Or	判定
3	X							0 0.7 1.0 1.5 2.0
	Y							
	Z							
2	X	13.59	1.00	1.00	13.59	23.53	0.57 × 倒壊する可能性が高い	●
	Y	68.69	1.00		68.69	2.91	● 倒壊しない	
1	X	16.18	0.484		7.83	0.16 × 倒壊する可能性が高い	●	
	Y	106.01	1.00		106.01	47.75	2.22 ● 倒壊しない	

総合評価		
上部構造評点 のうち最低の値		評点
1.5以上 0.16	1.0以上～15未満 0.7以上～10未満 0.7未満	◎ 倒壊しない ○ 一応倒壊しない △ 倒壊する可能性がある × 倒壊する可能性が高い

<その他の注意事項>

※「その他の注意事項」の入力は必須です。
問題が無い場合はその旨を入力ください。

(a) Comprehensive evaluation

総合評価		必要耐力Or、保有耐力edQu		配置等による低減係数 eKfI	
必要耐力 (Or)	① × (② + ③) × ④ × ⑤ × ⑥ × ⑦ × ⑧				
①床面積 (m ²)	3	床面積 床面あたりの必要耐力 (kN/m ²)	0.99	床面用 必要耐力 (kN/m ²)	0.99
②地盤	3	地盤地域 軟弱地盤 割合 Z		軟弱地盤 割合 Z	
③形状割増 率	1	形状割増 率	1.00	形状割増 率	1.00
④構造割増 率	1	構造割増 率	1.00	構造割増 率	1.00
⑤必要耐力 割増		必要耐力 割増	1.00	必要耐力 割増	1.00
⑥必要耐力 Or (kN)	1	必要耐力 Or (kN)	28.53	必要耐力 Or (kN)	47.75
⑦無間口壁の 耐力 Qu	1	無間口壁の 耐力 Qu	106.01	無間口壁の 耐力 Qu	106.01

必要耐力 (Or)=①×(②+③)×④×⑤×⑥×⑦×⑧

①床面積の必要耐力(kN/m²)、壁面の耐力割増し、建物の重さ割増し、建物、重い建物、非常に重い建物)
 ②地盤の必要耐力(kN/m²)、建物の重さ割増し、建物の重さ(kN/m²)、積荷2mのとき0.26(kN/m²)、積荷2mのとき0.52(kN/m²)を加算する。
 ③多音区地盤加算：多音区域の地盤音の計測値の計測値(1.00~0.90~0.80~0.70)を選択。多くの地盤が1.00。
 ④地盤係数Z：令第38条に規定する地盤地盤係数(1.00~0.90~0.80~0.70)を選択。多くの地盤が1.00。
 ⑤軟弱地盤割増：地盤が薄く軟弱だと想われる地盤の場合は、「必要耐力」を15倍する。
 ⑥形状割増率：いずれかの階の外壁の直角の長さが6m未満の場合は、その階の下の階の必要耐力を割増す。
 ⑦無間口壁割増：構造割増率の割増部分が、既存の外壁の面積と同一の面積の場合は、「必要耐力」を12倍する。
 ⑧構造割増率：診断結果の判断にによって床面積や床面積を算出して考慮した場合の系数。

保有耐力 (edQu) = 「壁の耐力 Qu」×「配置低減 率 eKfI」×「劣化低減 dKf

「壁の耐力 Qu」

層	方向	無間口壁の 耐力 Qw	その他の耐震要素の耐力 Qe			壁の耐力 Qu Qu=Qw+Qe
			無間口壁率 外壁面1 K1n / 外壁面2 K2n	$\alpha_w = 0.25 \sim 0.2$	必要耐力 Or	
3	X					
	Y					
2	X	9.81	0.56	0.45	0.16	23.53 0.78 13.59
	Y	67.52	1.00	1.00	0.05	1.00 1.17 68.69
1	X	6.40	0.45	0.22	0.21	47.75 0.97 16.18
	Y	103.05	0.94	1.00	0.06	1.00 2.96 106.01

無間口壁の耐力Quw = $Qw = Fw \times L \times K$

Fw:壁基準耐力(kN/m)、間口切妻柱、外壁の仕様別(下地材・土材・筋かい・面材等)の標準耐力。

筋かい・壁下地材の面積の和とする。

L:壁長(m)、面積(m²)、筋かいの面積は、80cm以上を勘定とする。

Kt:柱接合部における耐力低減係数(1.0~0.2)

筋柱接合部における耐力低減係数(1.0~0.2)

その他耐震要素の耐力Qe: $Qe = \alpha_w \cdot Qr$ $\alpha_w = 0.25 \sim 0.2$ kN/m、無間口壁壁厚(東西・南北の外壁面同士で小さくほどの値)ただし、垂直・腰壁を構成していない構造物の診断では $\alpha_w = 0.10$ とする。

(b) Required strength and possession strength

総合評価		必要耐力Or、保有耐力edQu		配置等による低減係数 eKfI	
耐力要素の配置等による低減係数 eKfI					
耐力要素の配置等による低減係数 eKfI					
層	方向	偏心率 Re	偏心率 Re	配置等による 低減係数 eKfI	
3	X				
	Y				
2	X		0.09	1.000	
	Y		0.00	1.000	
1	X		0.42	0.484	
	Y		0.07	1.000	
配置等による低減係数表(偏心率)					
偏心率 Re					
I	Re < 0.15	0.15 ≤ Re < 0.3	0.3 ≤ Re < 0.45	0.45 ≤ Re < 0.6	0.6 ≤ Re
	$(3.3 - Re) / (3.3 \times 3.3 Re + 0.5)$	$(3.3 - Re) / 6$	0.450		
II	1.00	$1 / (3.3 \times 3.3 Re + 0.5)$	$(2.3 - Re) / (2 \times 3.3 Re + 0.5)$	$(2.3 - Re) / 4$	0.425
			$(3.6 - 2Re) / (3 \times 3.3 Re + 0.5)$	$(3.6 - 2Re) / 6$	0.400

(c) Reduction coefficient due to arrangement

Fig. 10 Seismic diagnosis of an old Japanese-style house (General seismic diagnosis)

総合評価		必要耐力、保有耐力		偏心率と床仕様による低減係数Fe	
上部構造評点		必要耐力、保有耐力		偏心率と床仕様による低減係数Fe	
階	方向	保有耐力 edQu (kN)	必要耐力 Or (kN)	上部構造評点 edQu/Or	判定
3	X				0 0.7 1.0 1.5 2.0
2	X	10.91	23.53	0.46 × 倒壊する可能性が高い	●
	Y	67.52	23.53	2.09 ○ 倒壊しない	
1	X	3.52	47.75	0.07 × 倒壊する可能性高い	●
	Y	103.60	47.75	2.16 ○ 倒壊しない	
保有耐力 edQu = (保有耐力(修正前) Qu × 偏心率による低減係数 Fe × 偏心率と床仕様による低減係数 Fe)					
※各階各方向の上部構造評点の最低点を総合評点とします					

※「他の注意事項」の入力は必須です。
問題が無い場合はその旨を入力ください。

(a) Comprehensive evaluation

総合評価		必要耐力、保有耐力		偏心率と床仕様による低減係数Fe	
必要耐力(Or)	必要耐力を用いる方法	①	②	③	④
①	床面積 (m ²)	3	偏心率 床面あたり の耐力 Qu (kN/m ²)	10.91	0.46
②	地盤地盤 割合 Z	2	偏心率 地盤あたり の耐力 Qu (kN/m ²)	67.52	2.09
③	形状割増 率	1	偏心率 形状割増 率	3.52	0.07
④	偏心率 耐力 Or			103.60	2.16
必要耐力(Or)=①×(②+③)×④×⑤×⑥×⑦×⑧					
①床面積(m ²)					
②床面積あたりの耐力(kN/m ²)					
③多音区地盤加算					
④地盤地盤割合					
⑤形状割増率					
⑥偏心率					
⑦形状割増率					
⑧偏心率耐力					

必要耐力(Or)=①×(②+③)×④×⑤×⑥×⑦×⑧×⑨

①床面積(m²)、②床面あたりの耐力(kN/m²)、③多音区地盤加算、④地盤地盤割合、⑤形状割増率、⑥偏心率、⑦形状割増率、⑧形状割増率、⑨偏心率耐力

①(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

②(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

③(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)

④(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑤(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑥(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑦(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑧(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑨(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑩(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑪(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑫(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑬(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑭(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑮(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑯(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑰(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑱(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑲(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

⑳(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

㉑(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

㉒(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

㉓(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

㉔(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

㉕(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

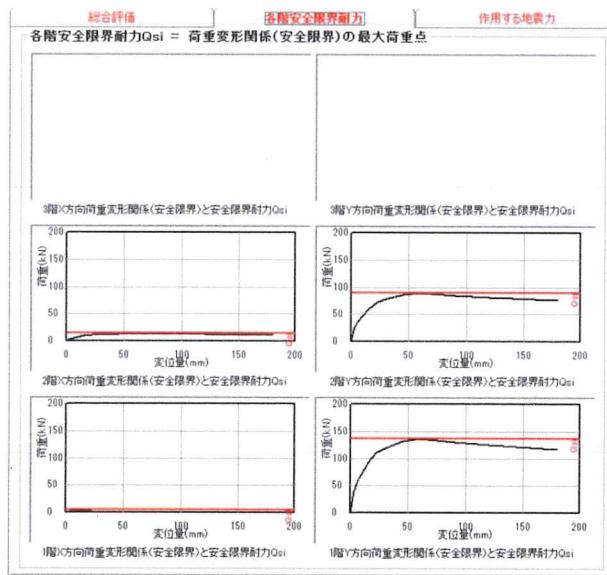
㉖(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

㉗(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力)×(地盤地盤割合)×(形状割増率)×(偏心率)×(形状割増率)×(偏心率耐力)

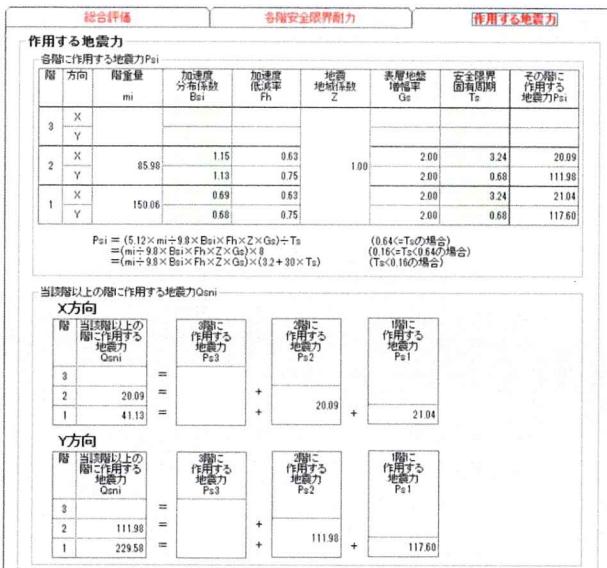
㉘(偏心率耐力)×(床面積)×(床面あたりの耐力



(a) Comprehensive evaluation



(b) Safety limit-state strength at each floor



(c) Seismic load acting on each floor

Fig. 12 Seismic diagnosis of an old Japanese-style house (Limit strength calculation method)

大きいため、一般診断法および精密診断法とともに、短辺方向（平行方向、X方向）における上部構造評点が小さい値となっている。また、Fig. 10 に示す 2 階の平面図より明らかのように、2箇所の吹き抜けを有する構造となっているため、起振器による振動実験時に観測された「ねじれ振動」が発生したものと考えられる。

6. まとめ

対象とした木造古民家住宅の強震時における耐震性を評価するために、現地調査に基づいた木造古民家の耐震診断を行うとともに、木造古民家を起振器で揺らし木造古民家が最も揺れやすい振動数、いわゆる固有振動数を測定した。同時に、微動計測を実施して、起振器を使用せず固有振動数を算出することが可能かどうかの検討も行った。また、木造古民家の揺れが弱まる程度を表す減衰定数を起振器による振動実験結果から算出した。その結果、次に示す事項が明らかとなった。

- 1) 起振器実験および微動計測から得られた伝達関数より、対象とした木造建築物の長辺方向（梁間方向）の剛性が、短辺方向（平行方向）に比べて大きい。これは、短辺方向に比べて長辺方向における壁が多く存在することによる壁量の違いが剛性に表れているものと考えられる。
- 2) 起振器実験から得られた減衰定数より、長辺方向（梁間方向）の減衰定数に比べて短辺方向（平行方向）の減衰定数が大きく、短辺方向（平行方向）における揺れが早期に弱まる。短辺方向は長辺方向に比べて耐震性は低いと考えられるが、揺れが早期に弱まることを示している。これは、長辺方向における壁量の多さと木造建築物の構法に起因しているものと考えられる。
- 3) 起振器実験および微動計測から得られた伝達関数より、木造建築物の長辺方向（梁間方向）における第1次固有振動数の値は一致せず、微動計測による伝達関数には、第1次固有振動数に明瞭なピークが見当たらない。これは、吹き抜け構造による2階の部分的な剛性の違いに起因すると考えられる「ねじれ振動」の影響を受けたものと考えられる。
- 4) 減衰定数が大きい短辺方向（平行方向）については、起振器実験による第2次固有振動数と微動計測から求められる第1次固有振動数がほぼ一致する。しかしながら、長辺方向（梁

間方向)については、起振器実験による第1次固有振動数と微動計測から求められる第1次固有振動数が一致しない。これも、上記3)と同様に「ねじれ振動」の影響を受けたものと考えられる。

- 5) 常時微動から算出した地盤の微動 H/V のピーク（地盤の固有振動数）は 2.89Hz である。また、地盤の微動 H/V において山や谷が明瞭となっているため、木造建築物の周辺地盤にはコントラストの大きな地層が存在するものと考えられる。ただし、ピーク振幅比が 5 度となっているため、表層地盤はあまり軟らかくないと思われる。
- 6) 起振器実験および微動計測から得られた伝達関数より、木造古民家の長辺方向（梁間方向、Y 方向）の剛性が、短辺方向（桁行方向、X 方向）に比べて大きいため、一般診断法および精密診断法とともに、短辺方向（桁行方向、X 方向）における上部構造評点が小さい値となっている。
- 7) 耐震診断に使用した平面図に記述されている重心位置と剛心位置のずれ幅が、木造古民家の 2 階のずれ幅に比べて 1 階のずれ幅は大きくなっているため、起振器による振動実験時に観測された「ねじれ振動」が発生したものと考えられる。

今後、著者らが行なっている柱、梁、壁から構成される木造架構モデルを用いた地震時倒壊解析を通じて、より詳細に木造古民家住宅の耐震性の評価を明らかにしたと考えている。これについては、稿を改めて報告したい。

謝辞 :

最後に、小浜市役所教育委員会文化課主査の野瀬昌寿様には、お忙しい時期に対象とした小浜西組重要伝統的建造物群保存地区の「町並み保存資料館」における起振器実験および微動計測へのご協力を頂き、紙面を借りて感謝の意を表します。

参考文献 :

- 1) 国土交通省:耐震改修促進法(平成 7 年 12 月), 1995.
- 2) 国土交通省:改正耐震改修促進法(平成 18 年 1 月), 2006.
- 3) (財)日本建築防災協会:2004 年改訂版「木造住宅の耐震診断と補強方法」, 2004.
- 4) (財)日本建築防災協会:2012 年改訂版「木造住宅の耐震診断と補強方法」, 2012.
- 5) Takatani, T. and Nishikawa, H. : On Seismic Behavior of Japanese-Style Three-Story Wooden Hotel During a Strong Earthquake Ground Motion, Proceedings of the 2014 World Congress on Advances in Civil, Environmental, & Material Research (ACEM2014) , W3F.1.SM459_115F, Busan, Korea, 2014.

(2015. 11. 30 受付)

EVALUATION OF SEISMIC PERFORMANCE OF AN OLD WOODEN JAPANESE-STYLE HOUSE BY VIBRATION OSCILLATION SYSTEM

Tomiya TAKATANI, Hayato NISHIKAWA and Ryohei NISHIMURA

ABSTRACT : In order to evaluate seismic performance of an old Japanese-style house in Obama-Nishikumi district, Obama city, against a strong earthquake motion with the Japan Meteorological Agency of “6 upper” or “7” seismic level, an oscillation vibration for this house was conducted. In this paper, seismic diagnosis of this Japanese-style house was carried out, and also the predominant frequencies and damping coefficients for both long span and short span directions were evaluated from an oscillation vibration experiment. In addition, the predominant frequencies for both long span and short span directions were done from the microtremor observation. A validity of microtremor observation to seismic performance evaluation of an old Japanese-style wooden structure was discussed based on the oscillation vibration experiment results.

Key Words : Old Japanese-style house, Oscillation vibration, Predominant frequency, Upper structural index, Microtremor, Transfer function, Seismic diagnosis