

木造伝統的軸組構法住宅の耐震診断評価と常時微動性能

岩西 正晴*・岩井 哲**

(平成20年10月31日受理)

Seismic Diagnosis Evaluation and Micro-Tremor Performance of Traditional Wooden-Framed Houses

Masaharu IWANISHI and Satoshi IWAI

(Received Oct. 31, 2008)

Abstract

This research aims to investigate the relationship between the earthquake diagnosis evaluation and the fundamental natural frequency based on the micro-tremor measurement. The unbalanced arrangement of the bearing wall reduces an earthquake-proof grade point for superstructure due to the effect of the eccentricity, even if the house was newly constructed after 1981 and the amount of bearing walls was enough against the Japanese Building Code. The earthquake diagnosis evaluated as a traditional wooden-framed house was applied to wooden houses older than 50 years, whose column size is smaller than 140 mm, so it is not adequate to treat as a traditional wooden-framed structure. The earthquake-proof grade-point as a conventional wooden-framed structure is compared with that as a traditional wooden-framed structure. The micro-tremor measurements are also employed to investigate the fundamental natural frequency of the house. Then it can be found that the superstructure grade-point increases with natural frequency of the wooden house, based on the micro-tremor measurement.

Key Words: traditional wooden framed houses, earthquake-proof diagnosis, micro-tremor measurement, wall-length ratio, superstructure diagnosis grade-point, natural frequency,

1. 研究目的

1995年兵庫県南部地震により、木造建築物は甚大な被害を受け、多くの死傷者が生じた。それ以降、木造建築物の耐震性能の確保・向上は重要な課題となり、既存木造住宅の耐震診断・改修を推進することが急務となった。国土

交通省の住宅・建築物の地震防災推進会議の提言（平成17年6月）を受け、耐震改修促進法が改正（平成18年1月施行）された。国や地方自治体の基本方針において、住宅及び多数の者が利用する建築物（学校、病院、百貨店、事務所など）の現状の耐震化率75%を平成27年までに少なくとも90%にするという目標設定がなされた。広島県

* 広島工業大学大学院工学研究科建設工学専攻

** 広島工業大学工学部建築工学科

表1 調査対象家屋一覧

建物名称	建築年	延べ面積(m ²)	耐力壁	階数	壁量充足率		偏心率		上部構造評点	
					X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向
① TH邸	1988年	95.23	三つ割筋かい(想定)	2階	2.00	1.88	0.09	0.19	1.03	1.09
				1階	0.73	1.09	0.09	0.36	0.65	0.95
② FJ邸	1986年	88.61	三つ割筋かい(想定)	2階	2.26	1.91	0.06	0.39	1.13	0.99
				1階	1.20	1.04	0.16	0.03	0.58	0.72
③ FR邸	1959年	127.94	土壁	1階	1.43	1.95	0.22	0.16	0.59	1.03
④ ST邸	1957年	198.02	土壁	2階	1.44	1.27	0.78	0.64	0.21	0.52
				1階	0.69	1.14	0.27	0.34	0.70	0.95
⑤ SN邸	1945年	114.17	不明	1階	0.00	0.00	-	-	0.70	0.42

表2 上部構造評点の判定基準¹⁾

上部構造評点	判定
1.5以上	◎倒壊しない
1.0以上～1.5未満	○一応倒壊しない
0.7以上～1.0未満	△倒壊する可能性がある
0.7未満	×倒壊する可能性が高い

の住宅における耐震化率は72%と全国平均よりも低く、耐震性が劣るとされる古い木造住宅も多い。広島近郊の築年数50年程度を経過した木造住宅は壁が少なく、柱や垂れ壁を耐震要素にした構造で伝統的構法に区分される住宅である。しかし、これらの中には、柱径が110～130mm程度で伝統的構法として扱うには柱太さが充分でないものが存在する。このような木造軸組構法住宅を在来軸組構法と伝統的構法として耐震診断し、性能を比較することが本研究の目的である。それと同時に、常時微動測定を行い、家屋の固有振動数と耐震診断値の関係を調べることで、これまでの木造在来軸組構法住宅の耐震性能と合わせて評価につなげるものである。

2. 研究方法

2.1 家屋の概要

調査した家屋は、広島県内の木造家屋、計5軒である。表1に全家屋の建築年・延べ床面積・耐力壁をまとめた。①TH邸・②FJ邸・⑤SN邸は住宅平面図情報から耐震診断を行い、③FR邸・④ST邸は現地調査によって耐震



写真2 ST邸外観

診断を行った。①TH邸は、1988年築造の2階建家屋で壁仕様は不明である。建築年から耐力壁には壁量充足率1.0程度を満足する三つ割筋かいを想定した。②FJ邸は、1986年築造の2階建家屋で壁仕様は不明である。建築年から耐力壁には壁量充足率1.0程度を満足する三つ割筋かいを想定した。③FR邸は、1959年築造の平屋建て家屋で耐力壁に土壁を有している。主要な柱径は130mmである。写真1に外観を示す。④ST邸は、1957年築造の2階建家屋で耐力壁に土壁を有している。主要な柱径は110mmである。写真2に外観を示す。⑤SN邸は、1945年築造の平屋建て家屋で耐力壁は不明である。各住宅の平面図を図1～5に示す。各平面図の濃い色になっている領域は、四等分割法による診断における壁量不足などの危険領域を示している。

2.2 耐震診断方法

木造住宅の耐震性能を評価する方法として、国土交通省住宅局建築指導課(監修)の「木造住宅の耐震診断と補強方法」(改訂版)¹⁾に対応して作成された、株式会社インテグラルの住宅性能診断プログラム・ホームズ君「耐震診断Pro」を使用し、壁量充足率・上部構造評点を得た。

プログラムでは、まず建物概要として建物名・建築地・竣工年月・建物用途・高さ・寸法・屋根形状・構法・地盤といった建物情報を入力する。次に、建物の平面図を基に、



写真1 FR邸外観

2階



1階

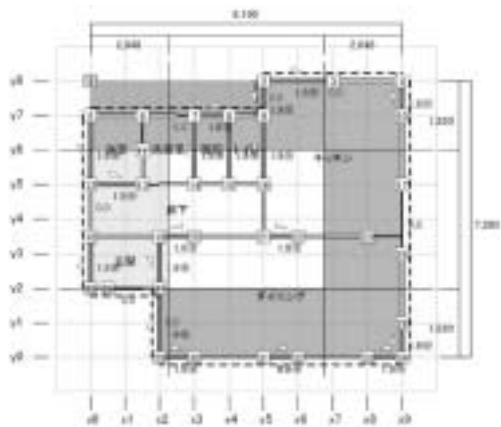
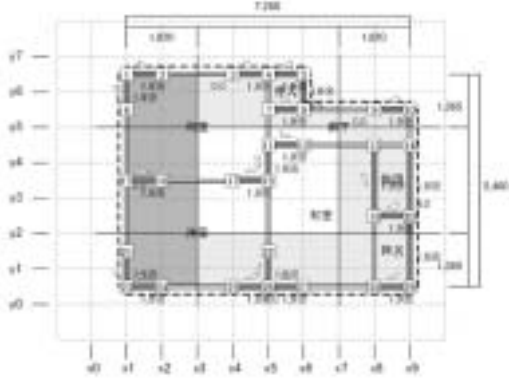


図1 TH邸平面図

2階



1階

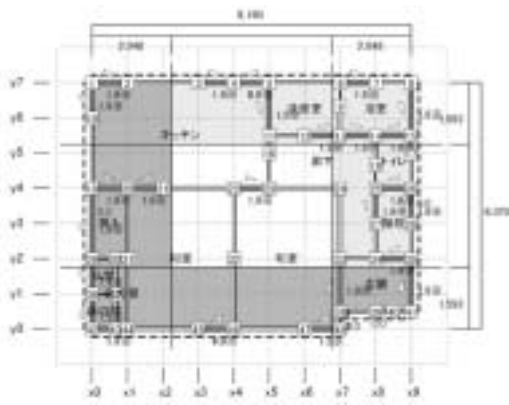


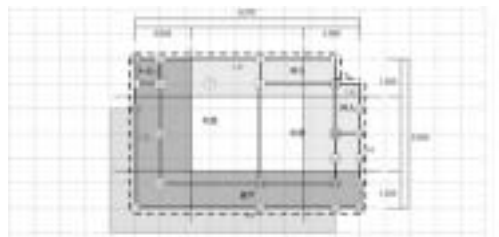
図2 FJ邸平面図

1階



図3 FR邸平面図

2階



1階



図4 ST邸平面図

1階



図5 SN邸平面図

壁・開口部・耐力壁・柱等を CAD を用いて入力する。診断には、算定条件・劣化度・接合部状況を入力すると、一般診断・精密診断・壁量計算を行うことが出来る。ここでは X 方向を家屋の長手方向・Y 方向を家屋の短手方向として入力した。

「壁量充足率」²⁾とは、建物に実在している「存在壁量」を、建築基準法で最低でも必要と決められている「必要壁量」で除した値である。また、「上部構造評点」¹⁾は、保有耐力を必要耐力で除した値で、外力に対して保有する耐力の安全率に相当し、家屋の各階・各方向について算出した最小値で表される。ここでは、壁の仕様が不明の場合、壁倍率 0.5 で評価した。

「上部構造評点」の算出方法には、壁を主な耐震要素とする在来軸組構法で建てられた住宅を主な対象とする「方法 1」と、太い柱や垂れ壁を主な耐震要素とする伝統的構法で建てられた住宅を対象とする「方法 2」がある¹⁾。その際、「方法 2」の診断では主要な柱の径が 140mm 以上（耐力要素として評価される柱は径が 150mm 以上）あることを確認する必要がある。

上部構造評点の判定基準を、表 2 に示す。

2.3 常時微動の測定および解析処理の方法

常時微動測定に用いた機器は、動コイル型電磁変換方式小型長周期振動計【水平動（東京測振社製，SM-121）、上下動（同 SM-122）；固有周期 2.0 秒，測定周波数 0.5Hz ～ 50Hz】である。アナログ電圧の増幅には、低周波増幅器（東京測振社製，AL-120）を用いた。データ収録は A/D 変換器（キーエンス製，NR-2000）を通して計測記録は速度成分を採った。ノート PC を用いて計測結果を即時分析した後、データ保存した。

常時微動は、水平動測定用の振動計 2 台と上下動測定用の振動計 1 台の 3 台を 1 組とし、それを木造 2 階中央付近の床上と建物敷地内の地盤の 2 箇所に設置し、2 組 6 台を同時に測定を行った。2.2 節の耐震診断方法と合わせるため、家屋の水平長手の桁行方向を X 軸、その直交の張間方向を Y 軸、鉛直の上下方向を UD 軸と定め、家屋と地盤のそれぞれの X 軸方向と Y 軸方向で測定方向が同じになるよう水平動計測用の振動計を設置した。データの採取はサンプリング間隔 0.01 秒で、ローパスフィルターは使用していない。計測開始時に約 10 秒間の較正電圧値 5V を記録した後、各々約 5 分間を連続して 6 台同時収録した。

データ処理では、5 分 20 秒間の記録の中で大きなノイズがなく波形の安定している約 20 秒間（2,048 データ）を 1 サンプルとし、5 分間の 15 サンプルについて、1 サンプルごとに水平 2 成分、上下 1 成分をそれぞれバンド幅

1.0Hz で平滑化している。家屋特性に関しては、較正電圧値を含む第 1 サンプルを除いた 15 サンプルについて、家屋 2 階床の地盤に対する同一方向のスペクトル比を求め、3 ～ 5 サンプルについて各振動域で平均を取ったものを家屋の伝達関数とした。

地盤に関しては、上下微動に対する水平微動のフーリエスペクトルの比（以下、H/V スペクトルと表示する）として求めている。平均 H/V スペクトルは、1 つのサンプルの水平 2 成分、上下 1 成分についてそれぞれを平滑化したフーリエスペクトルから、X、Y 各方向についてまず H/V スペクトルを求めた後、3 ～ 5 サンプルを各振動数毎に平均して求めたものである。

家屋の伝達関数、地盤の H/V スペクトルで最も卓越している振動数をそれぞれ、家屋の固有振動数ならびに地盤の卓越振動数として表 3 に示した。

3. 研究結果

3.1 壁量充足率と上部構造評点の関係

診断を行った 5 軒の壁量計算・耐震診断結果を表 1 に示す。壁量充足率を図 6 に、在来軸組構法住宅を主な対象とする方法 1 の算定による一般診断の上部構造評点を図 7 に示す。

1981 年の新耐震設計基準以降に建てられた TH 邸・FJ 邸は、表 1 と図 6 の壁量充足率を見ると、耐力壁に三つ割筋かいを想定して、TH 邸 1 階 X 軸方向を除いておおよそ 1.0 以上になり基準を満たしていることになる。しかし、耐力壁の配置は当時の建築基準法に明確な基準がないこともあり、偏心率が 0.3 を超え、耐力壁のバランスが悪い。従って図 7 の上部構造評点もかなり低くなり、新耐震設計基準以降の建物でも耐震性能を満足していない家屋が存在することが確認できる。

3.2 伝統的構法住宅の耐震診断

3.1 節で行った耐震診断は、前述したように壁を主な耐震要素とした在来軸組構法で建てられた住宅を主な対象とする方法 1 による評価である。写真 1・2 を見ると、これらの家屋は本来、太い柱や垂れ壁を主な耐震要素とする伝統的構法で建てられた住宅を対象とする方法 2 で診断すべきと考えられる。方法 2 の診断は主要な柱の径が 140mm 以上（耐力要素として評価される柱は径が 150mm 以上）あることを確認する必要がある。FR 邸の主な柱径は 130mm、ST 邸は 110mm であったが、方法 2 を適用した。FR 邸の耐震診断値を図 8 に示し、ST 邸の耐震診断値を図 9 に示す。図 8、図 9 から 2 軒とも、一般診断の上部構造評点は、方法 1 の在来軸組構法と見なした評点が、方法

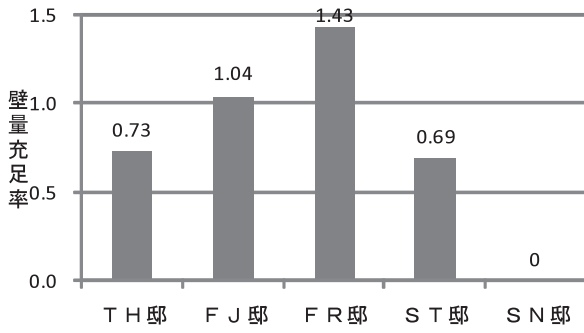


図6 壁量充足率

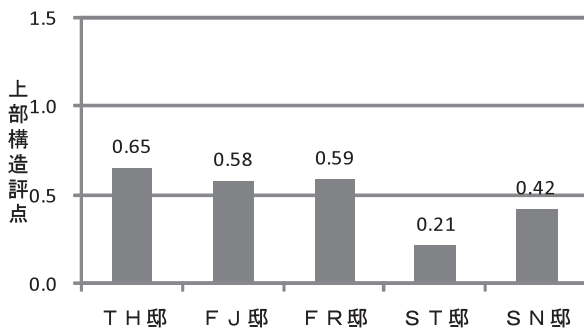


図7 一般診断による上部構造評点

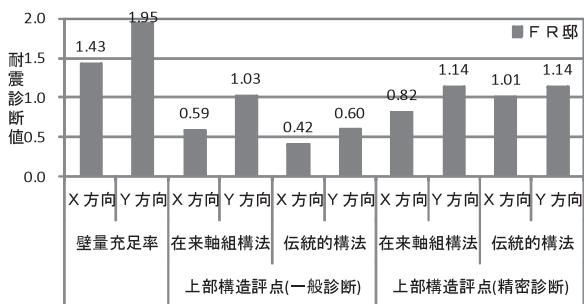


図8 FR邸耐震診断値まとめ

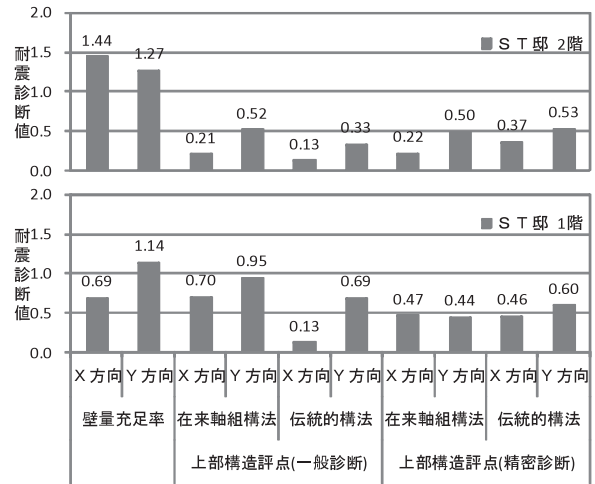


図9 ST邸耐震診断値まとめ

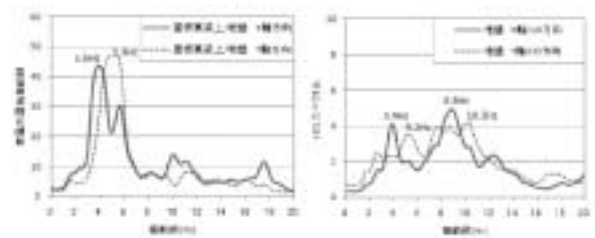


図10 FR邸 伝達関数と地盤のH/Vスペクトル

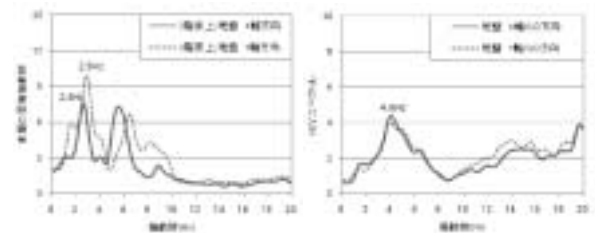


図11 ST邸 伝達関数と地盤のH/Vスペクトル

表3 FR邸・ST邸の耐震診断値と常時微動測定結果

建物名称	階数	上部構造評点(一般診断)				上部構造評点(精密診断)				伝達関数(Hz)		H/Vスペクトル(Hz)		
		在来軸組構法		伝統的構法		在来軸組構法		伝統的構法		家屋の固有振動数		地盤の卓越振動数		
		X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向	
③	FR邸	1階	0.59	1.03	0.42	0.60	0.82	1.14	1.01	1.14	3.9	5.3	3.9	5.2
④	ST邸	2階	0.21	0.52	0.13	0.33	0.22	0.50	0.37	0.53	2.6	2.9	4.0	4.0
		1階	0.70	0.95	0.13	0.69	0.47	0.44	0.46	0.60				

2の伝統的構法と見なした評点より大きな値を示している。一般診断の場合、方法1では壁の耐力と、その他の耐震要素の耐力として必要耐力の25%を加えたものを保有耐力にするが、方法2は壁の耐力と径150mm以上の垂れ壁付き独立柱の耐力を加えたものを保有耐力にするため実質、壁耐力しか算入されないからである。

しかし、精密診断の上部構造評点では方法2の伝統的構法と見なした評点の方が大きな値を示している。これは、

精密診断になると方法2で径150mm以下の柱も個別に耐力要素として評価されるからである。

3.3 常時微動性能

FR邸・ST邸の伝達関数と地盤のH/Vスペクトルを図10・11に示す。耐震診断から得られた上部構造評点と常時微動測定から得られた家屋の固有振動数と地盤の卓越振動数を表3に示す。

FR 邸の家屋の伝達関数のスペクトルは、X 軸方向で 3.9Hz 付近、Y 軸方向は 5.3Hz 付近でそれぞれ卓越し、比較的固い家屋である事が分かる。地盤の H/V スペクトルは X 軸方向で 3.9Hz 付近、Y 軸方向は 5.2Hz 付近で卓越している。

ST 邸の家屋の伝達関数のスペクトルは、X 軸方向で 2.6Hz 付近、Y 軸方向は 2.9Hz 付近でそれぞれ卓越し、軟らかい家屋である事が分かる。地盤の H/V スペクトルは X 軸方向・Y 軸方向ともに 4.0Hz 付近で卓越している。

2 軒共に、耐震診断の一般診断・精密診断と在来軸組構法・伝統的構法の上部構造評点すべてにおいて、X 方向に比べて壁量の多い Y 方向の診断値が大きくなり、家屋の固有振動数に対応している。

4. 結 論

- 1) 1981 年の新耐震設計基準以降に建てられた木造住宅では、壁量充足率 1.0 以上の基準を満たしている場合においても、偏心率が 0.30 を超え、耐力壁の配置バランスが悪い住宅が存在し、最新の耐震診断評価値の上部構造評点で見ると、1 階部分ではどれも 1.0 を下回り耐震性能が低い評価になった。
- 2) 木造伝統的構法住宅の耐震診断法では、耐力要素と評価される柱は径 150mm 以上とある。一般診断では

150mm 以下の柱の耐力は考慮されないが、精密診断では全ての柱径が個別に耐力評価される。木造伝統的構法住宅の場合は、主要な柱の径が 140mm 以下でも、方法 2 (伝統的構法) を合わせて診断を行う必要がある。

- 3) 壁量が多いと、耐震診断から得られる上部構造評点が高くなり、常時微動測定から得られる家屋の固有振動数も高い傾向があり、関連が認められる。

謝 辞

本研究の実施には、住宅図面ならびに調査家屋の提供と共に、お住まいの方々にご協力を頂きました。また広島工業大学工学部建築工学科・足立繕隆君、菊地利博君、森藤嘉一君に平成 19 年度卒業研究として取り組んで頂きました。ここに、記して深く感謝します。

文 献

- 1) 日本建築防災協会：木造住宅の耐震診断と補強方法—木造住宅の耐震精密診断と補強方法（改訂版）—，2004
- 2) 岩井 哲：木造在来構法住宅の耐震壁量と常時微動特性ならびに地震被害の関係，広島工業大学紀要研究編，第 41 巻，pp.61-65，2007