

耐震診断による上部構造評点を用いた 木造在来軸組構法住宅の地震時性能評価

岩 西 正 晴*・岩 井 哲**

(平成19年10月31日受理)

Earthquake-Resistance Evaluation of Conventional Wooden-Framed Houses Using Superstructure Grade Points by the Earthquake Diagnosis

Masaharu IWANISHI and Satoshi IWAI

(Received Oct.31,2007)

Abstract

This research aims to investigate the relationship between the amount of bearing-wall in an earthquake diagnosis evaluation, the fundamental natural frequency based on the micro-tremor measurement and the actual earthquake damage to conventional wooden-framed houses in Japan. The micro-tremor measurements are widely taken to survey the earthquake damage to wooden houses and the site ground condition. However, a close relationship between the earthquake damage, the amount of bearing-wall of wooden house, and the micro-tremor property is not established. The wall-fulfillment ratio shows an amount of existing bearing-wall with an effective length against the wall required by the Building Code. The diagnosis grade-point for superstructure of wooden house corresponds to the wall-fulfillment ratio, that is, the safety factor of the load-carrying capacity against the external force such as an earthquake or a wind. It is said that, when the grade-point in the evaluation falls to 1.0-0.7, earthquake damage may occur and, when the grade-point is less than 0.7, the collapsing possibility is very high under a severe earthquake.

Key Words: wooden framed structure, micro-tremor measurement, natural frequency, roof-tile damage, the 2001 Geiyo earthquake

1. 研究目的

2001年3月24日の15時27分、安芸灘(北緯34.1度, 東経132.7度)の深さ51kmを震源とする「平成13年芸予地震」が発生した。マグニチュード6.7, 広島県内では最大震度6弱を記録し, 広島県, 愛媛県, 山口県を中心として広域かつ多地点で震度5弱以上の揺れが記録された。広島県内では, 全壊7棟, 半壊19棟, 一部損壊6,441棟にのぼる

家屋被害をもたらした。木造家屋には倒壊にいたるような大きな被害は多く見られず, 最大の震度6弱を記録した広島県安芸郡熊野町でさえ瓦屋根被害等の軽微な被害であった。

木造家屋の振動特性を知る方法として, 常時微動測定がある。常時微動測定とは, 地盤・構造物に固有の微小な揺れを測定するものである。常時微動により家屋の固有振動数や地盤の卓越振動数を測定することは多く行われてい

* 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

る。岩井研究室でこれまで木造在来工法住宅ならびに敷地地盤の常時微動特性を調査した。調査結果から、建築年が新しいほど、家屋の固有振動数は高くなり、地震被害も生じにくくなる傾向が認められた^{1,2)}。また、壁量充足率が低いと家屋の固有振動数も低くなる傾向が現れ、芸予地震における瓦屋根被害の発生もそれらに関わる可能性のある事が分かってきた。

本研究では、以前に調査した家屋と、今回調査を行った家屋に対して診断プログラムソフトを使って、再度、耐震診断を行った。新たに上部構造評点という評価法を用いて、築年数・壁量充足率・常時微動測定による家屋の固有振動数との関係性を見る事で、木造在来構法住宅の地震時性能評価を行うことを目的とする。

2. 対象建物と耐震診断及び常時微動測定の方法

2.1 対象建物概要

2.1.1 安芸郡熊野町地区の家屋

安芸郡熊野町地区では、8軒の木造在来軸組構法2階建家屋について調査を行った。これら、安芸郡熊野町地区の家屋は、参考文献^{1,2)}に既出しているので概要は省略する。

2.1.2 廿日市市阿品地区の家屋

廿日市市阿品地区では、2軒の木造在来軸組構法2階建家屋について調査した。

(1) Y K 邸

1979年築造の2階建瓦屋根木造家屋である。芸予地震では、住人はかなり速い繰り返しの横ゆれを長い時間に亘り感じ、被害はわずかに壁にひびが入る程度であった。周辺の家屋には瓦屋根被害が多く生じていたが、YK邸では瓦屋根の被害はなかった。なお、耐震診断において図面情報しかなく、壁仕様は設計平面図に明記されていないので、壁仕様を不明として診断した。

(2) F K 邸

1984年築造の2階建瓦屋根木造家屋である。耐力壁には三つ割り筋かいを有している。芸予地震では、住人は突き上げるようなゆれを感じたが、大きな被害も、瓦屋根の被害もなかった。

2.1.3 安芸郡海田町の家屋(MY邸)

安芸郡海田町では、1軒の木造家屋について追加調査した。1972年築造の2階建瓦屋根木造家屋である。耐力壁には土壁を有している。芸予地震では、大きな被害はなかった。この診断では、耐震診断の現地調査手法³⁾に基づき、図面情報以外に劣化状況も調査できたので、精密診断も行った。平地に建ち、北側に山・南側に川があり、近くに比較的交通量の多い旧道がある。

2.2 耐震診断方法

木造住宅の耐震性能を知る方法として、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)³⁾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士 ホームズ君「耐震診断Pro」を使用し、壁量充足率・上部構造評点を得る。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、建物の平面図の壁・開口部・耐力壁・柱等をCADを用いて入力する。診断時には、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できる。

X方向を家屋の長手方向・Y方向を家屋の短手方向にして入力した。

ここで言う、「壁量充足率」²⁾とは、建物に実在している「存在壁量」を建築基準法等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」³⁾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。なお、壁の仕様が不明の場合、壁倍率0.5で評価する。

上部構造評点の判定基準を、表1に示す。

表1 上部構造評点の判定基準³⁾

| 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 |

2.3 常時微動の計測および解析処理の方法

常時微動計測に用いた機器は、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ている。ノートPCを用いて計測結果を即時分析した後、データ保存している。

常時微動は、水平動測定の振動計2台と上下動測定の振動計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ている。2.2の耐震診断方法と同じく、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階床の同一方向の地盤に対するスペクトル比から伝達関数を求め、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。

地盤特性に関しては、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。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ている。

3. 耐震診断結果

3.1 安芸郡熊野町地区の家屋

(1) K T 邸

診断結果は、上部構造評点の最小値が0.47になり判定基準から「倒壊する可能性が高い」評価になる。築年数は37年で家屋の劣化があり、壁量充足率も0.10であると共に、建物形状が細長い建物なので短手方向のY方向1階部分の評価が低い。

(2) K K 邸

診断結果は、上部構造評点の最小値が0.64になり判定基準から「倒壊する可能性が高い」評価になる。築年数は34年で家屋の劣化があると共に、壁量充足率も0.17である。これは、芸予地震で被害を生じた事に対応する。

(3) Y S 邸

診断結果は、上部構造評点の最小値が0.63になり判定基準から「倒壊する可能性が高い」評価になる。築年数が28年で家屋の劣化があると共に、X方向1階部分の偏心率が0.33と大きい値である。これは、芸予地震で被害を生じた事に対応する。

(4) T Y 邸

診断結果は、上部構造評点の最小値が0.39になり判定基準から「倒壊する可能性が高い」評価になる。築年数が24年で家屋の劣化があると共に、X方向1階部分の偏心率が0.18と比較的大きい値である。

(5) I S I 邸

診断結果は、上部構造評点の最小値が1.26になり判定基

準から「一応倒壊しない」評価になる。家屋に劣化は無く、壁量充足率の値も1.0以上で評価が良い。

(6) T A K 邸

診断結果は、上部構造評点の最小値が1.18になり判定基準から「一応倒壊しない」評価になる。家屋の劣化は無く、壁量充足率も最小値で0.92と、1.0に近い。

(7) S Y 邸

診断結果は、上部構造評点の最小値が0.71になり判定基準から「倒壊する可能性がある」評価になる。築年数が14年と比較的新しい建物であるが劣化もあり、Y方向1階部分の偏心率が0.32と大きい値である。これは、芸予地震被害を生じた事に対応する。

(8) S U G 邸

診断結果は、上部構造評点の最小値が0.94になり判定基準から「倒壊する可能性がある」評価になる。築年数3年と新しい家屋であるが、X方向1階部分は開口部が多いため、評価が低い。

3.2 廿日市市阿品地区の家屋

(1) Y K 邸

診断結果は、上部構造評点の最小値が0.60になり判定基準から「倒壊する可能性が高い」評価になる。設計平面図から筋かいと土塗り壁の位置が分からないので壁量充足率が0となっている。上部構造評点では、壁の仕様が不明であり、雑壁等の耐力から、0.6になる。

(2) F K 邸

診断結果は、上部構造評点の最小値が0.68になり判定基準から「倒壊する可能性が高い」評価になる。築年数は22年だが、壁量充足率は0.54で家屋の保有耐力が低い。

3.3 安芸郡海田町の家屋(M Y 邸)

(1) 一般診断法

診断結果は、上部構造評点は0.45になり判定基準から「倒壊する可能性が高い」評価になる。

(2) 精密診断法

診断結果は、上部構造評点は0.26になり判定基準から「倒壊する可能性がある」評価になる。

一般診断・精密診断ともに言えることは、現地調査を行い外壁にひび割れが多く存在し、壁仕様であるラスモルタルが剥がれかかっている事から、外壁材の耐力が0となり上部構造評点を下げた。さらにY方向1階部分の偏心率が1.51と大きい値であることから分かるように家屋の壁バランスが悪い。

3.4 耐震診断まとめ

表2に熊野町・阿品・海田町の計11件の「建築年」・「芸

予地震による瓦屋根被害等の軽微な地震被害の有無」・各階各方向の「偏心率」・「壁量充足率」・「上部構造評点」を示す。また、壁量充足率と上部構造評点・築年数と壁量充足率・築年数と上部構造評点の関係を図1～3に示す。

図1から壁量充足率と上部構造評点は比例関係になっている事が確認できる。また、図2・図3から、築年数が大きいほど、壁量充足率・上部構造評点ともに低くなる傾向が見られる。相関係数は壁量充足率よりも、上部構造評点の方が低くなった。また、芸予地震によって瓦屋根被害等の軽微な被害があった家屋を○で示した。軽微な被害があった家屋は、上部構造評点がKK邸(0.64)・SY邸(0.71)・YS邸(0.63)のようにいずれの家屋もおよそ0.7かそれを下回る数値となった。なお、上部構造評点には、偏心率等の壁配置のバランスも考慮されているので、比較的新しいSY邸のように、壁量充足率は高いが上部構造評点が低くなるものがある。

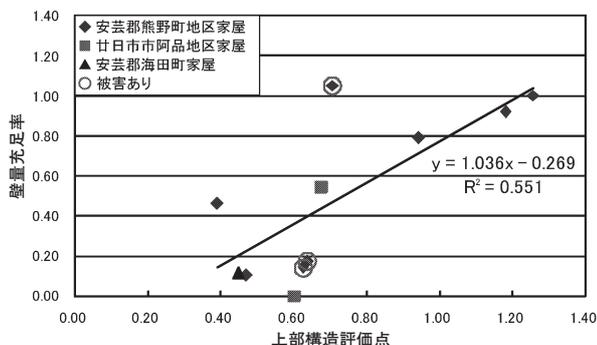


図1 壁量充足率と上部構造評点

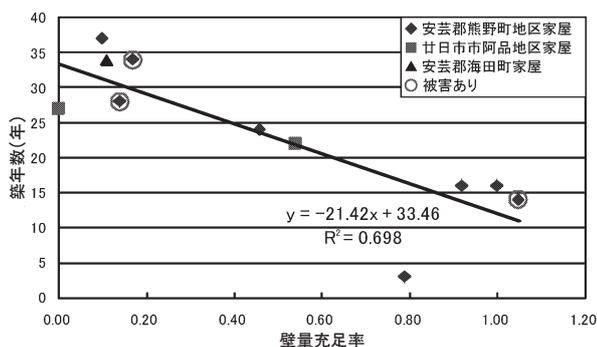


図2 築年数と壁量充足率

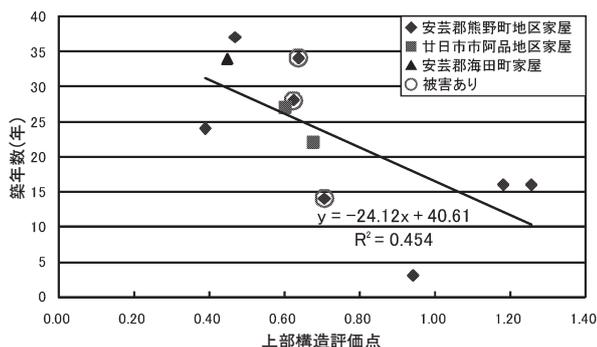


図3 築年数と上部構造評点

4. 常時微動特性結果

常時微動測定から得られた家屋の伝達関数・地盤のH/Vスペクトルにおける卓越振動数を表3に示す。築年数と家屋の固有振動数についてX軸方向は図4、Y軸方向は図5に示す。地盤の卓越振動数について図6に、家屋の固有振動数について図7に示す。

図4、5からX軸方向・Y軸方向ともに築年数が大きいほど、固有振動数が低い値が出る傾向にある。

地震被害ありの家屋の固有振動数は、X軸方向では2～5Hz、Y軸方向では3～5Hzになっている。一方、被害なしの家屋の固有振動数は、X軸方向では、5～6Hz、Y軸方向では、4～7Hzになっている。被害があった家屋は、固有振動数が低く、被害のなかった家屋は、固有振動数が高い傾向にある。

図6から、X軸方向とY軸方向の地盤の卓越振動数は比例関係にあり、地盤には方向によって変化が無い事が確認できる。

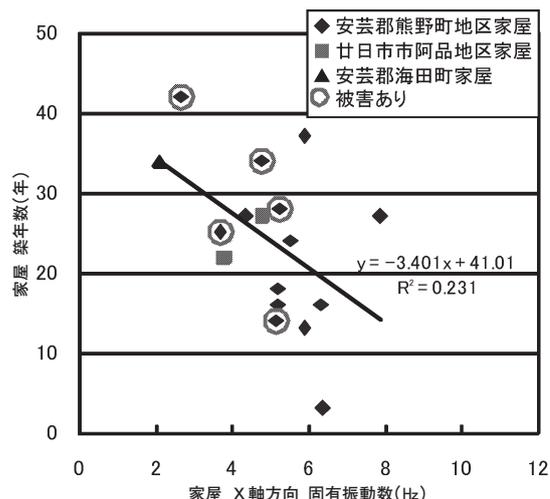


図4 築年数と家屋の固有振動数 (X軸方向)

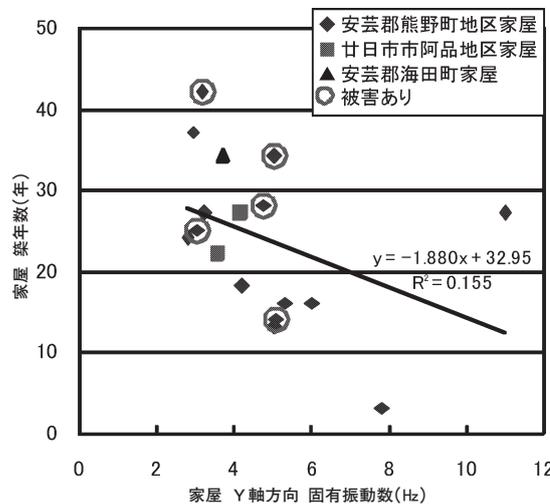


図5 築年数と家屋の固有振動数 (Y軸方向)

表2 耐震診断結果まとめ

| 建物名称 | 建築年 | 築年数 | 被害の有無 | 階数 | 偏心率 | | 壁量充足率 | | 上部構造評点 | |
|------|------|-----|-------|----|------|------|-------|------|-----------|-----------|
| | | | | | X軸方向 | Y軸方向 | X軸方向 | Y軸方向 | X軸方向 | Y軸方向 |
| KT邸 | 1969 | 37 | - | 2 | 0.01 | 0.26 | 0.54 | 0.57 | 1.08 | 0.71 |
| | | | | 1 | 0.08 | 0.02 | 0.49 | 0.10 | 0.92 | 0.47 |
| KK邸 | 1972 | 34 | 有 | 2 | 0.13 | 0.00 | 0.73 | 0.53 | 0.71 | 0.92 |
| | | | | 1 | 0.00 | 0.13 | 0.17 | 0.28 | 0.64 | 0.76 |
| YS邸 | 1978 | 28 | 有 | 2 | 0.00 | 0.00 | 1.02 | 0.71 | 0.63 | 0.74 |
| | | | | 1 | 0.33 | 0.15 | 0.18 | 0.14 | 0.67 | 0.73 |
| TY邸 | 1982 | 24 | - | 2 | 0.02 | 0.02 | 1.51 | 0.71 | 1.22 | 1.61 |
| | | | | 1 | 0.18 | 0.08 | 0.48 | 0.46 | 0.39 | 1.08 |
| ISI邸 | 1990 | 16 | - | 2 | 0.13 | 0.10 | 1.61 | 1.06 | 1.87 | 2.72 |
| | | | | 1 | 0.14 | 0.15 | 1.14 | 1.00 | 1.26 | 1.34 |
| TAK邸 | 1990 | 16 | - | 2 | 0.01 | 0.25 | 1.24 | 1.08 | 2.09 | 1.45 |
| | | | | 1 | 0.24 | 0.17 | 1.12 | 0.92 | 1.18 | 1.28 |
| SY邸 | 1992 | 14 | 有 | 2 | 0.09 | 0.18 | 1.05 | 1.53 | 0.92 | 0.91 |
| | | | | 1 | 0.17 | 0.32 | 1.12 | 1.18 | 0.71 | 0.81 |
| SUG邸 | 2003 | 3 | - | 2 | 0.11 | 0.10 | 1.30 | 1.45 | 1.58 | 1.95 |
| | | | | 1 | 0.14 | 0.20 | 0.97 | 0.79 | 0.94 | 1.19 |
| YK邸 | 1979 | 27 | - | 2 | - | - | 0 | 0 | 1.15 | 1.16 |
| | | | | 1 | - | - | 0 | 0 | 0.60 | 1.16 |
| FK邸 | 1984 | 22 | - | 2 | 0.05 | 0.07 | 0.68 | 0.54 | 0.74 | 0.68 |
| | | | | 1 | 0.01 | 0.18 | 0.73 | 0.91 | 0.75 | 0.82 |
| MY邸 | 1972 | 34 | - | 2 | 0.29 | 0.11 | 0.46 | 0.28 | 0.44 0.90 | 0.61 0.81 |
| | | | | 1 | 0.04 | 1.51 | 0.15 | 0.11 | 0.77 0.83 | 0.26 0.45 |

表3 常時微動特性結果

| 建設地区 | 建物名称 | 建築年 | 築年数 | 被害の有無 | 家屋の伝達関数 | | | 地盤のH/Vスペクトル | |
|--------|------|------|-----|-------|---------|-------|-------|-------------|-------|
| | | | | | X軸方向 | Y軸方向 | UD方向 | X軸方向 | Y軸方向 |
| | | | | | 固有振動数Hz | | | 卓越振動数Hz | |
| 安芸郡熊野町 | MK邸 | 1964 | 42 | 有 | 2.69 | 3.20 | | 4.69 | 4.39 |
| | KT邸 | 1969 | 37 | - | 5.91 | 2.98 | | 3.91 | 4.98 |
| | KK邸 | 1972 | 34 | 有 | 4.82 | 5.07 | | 2.24 | 2.16 |
| | YS邸 | 1978 | 28 | 有 | 5.27 | 4.79 | | 3.03 | 3.08 |
| | BK邸 | 1979 | 27 | - | 4.39 | 3.27 | | 2.73 | 2.54 |
| | WF邸 | 1979 | 27 | - | 7.91 | 11.04 | | 9.81 | 9.03 |
| | UK邸 | 1981 | 25 | 有 | 3.71 | 3.08 | | 5.27 | 4.93 |
| | TY邸 | 1982 | 24 | - | 5.57 | 2.83 | | 4.39 | 5.52 |
| | TOM邸 | 1988 | 18 | - | 5.22 | 4.25 | 2.53 | 4.25 | 2.05 |
| | ISI邸 | 1990 | 16 | - | 5.22 | 6.05 | 17.97 | 17.97 | 17.92 |
| | TAK邸 | 1990 | 16 | - | 6.35 | 5.37 | 3.52 | 7.62 | 6.93 |
| | SY邸 | 1992 | 14 | 有 | 5.18 | 5.13 | | 5.10 | 5.00 |
| | HAM邸 | 1993 | 13 | - | 5.91 | 5.08 | 4.83 | 3.76 | 3.76 |
| | SUG邸 | 2003 | 3 | - | 6.40 | 7.86 | 13.57 | 15.04 | 11.04 |
| 廿日市市阿品 | YK邸 | 1979 | 27 | - | 4.79 | 4.21 | | 3.24 | 3.13 |
| | FK邸 | 1984 | 22 | - | 3.83 | 3.57 | | 2.97 | 3.01 |
| 安芸郡海田町 | MY邸 | 1972 | 34 | - | 2.15 | 3.71 | 2.10 | 2.39 | 2.15 |

※WF邸は木質パネル構造である。

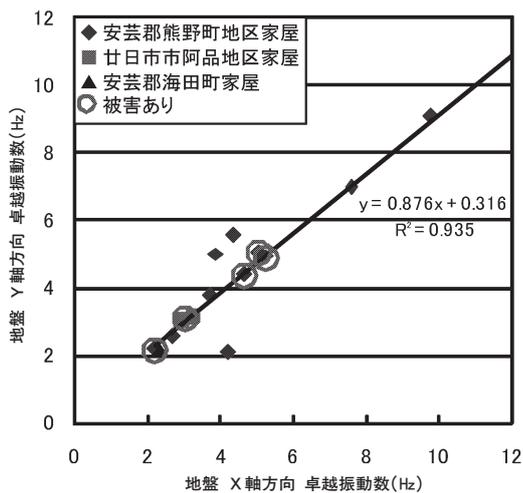


図6 地盤の卓越振動数

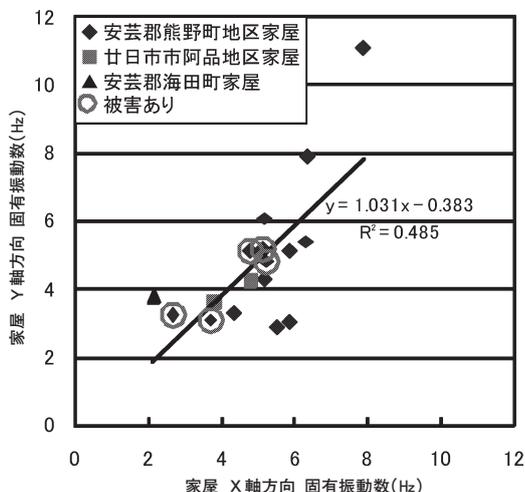


図7 家屋の固有振動数

図7から、X軸方向とY軸方向の家屋の固有振動数は図6の地盤の卓越振動数ほどでは無いがほぼ比例関係にあり、家屋の長手方向と短手方向で剛さに変化はあまり無い事が確認できる。

5. 壁量充足率・上部構造評点と家屋の固有振動数の関連性

「3. 耐震診断結果」と「4. 常時微動特性結果」を合わせて考慮し、木造在来工法住宅の地震時性能評価を行う。

ここでの主な検討事項は、耐震診断から得られた壁量充足率・上部構造評点と、常時微動測定から得られた家屋の卓越振動数とする。

耐震診断結果(表2)と常時微動特性結果(表3)を参照し、X軸方向とY軸方向のそれぞれにおける、壁量充足率と家屋の固有振動数の関係(図8・図9)同様にX軸方向とY軸方向における上部構造評点と家屋の固有振動数の関係(図10・図11)を示す。

図8～図11において、壁量充足率・上部構造評点が大き

くなると、家屋の固有振動数が大きくなる傾向がある。また、相関係数R²はいずれも高くないが、上部構造評点と固有振動数の関係に比べ、壁量充足率と固有振動数にやや相関がある。

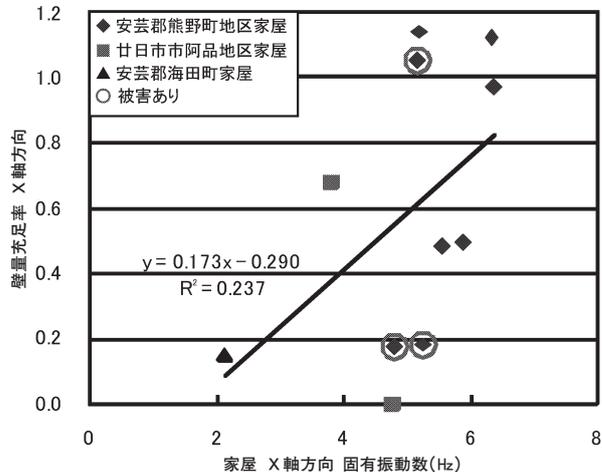


図8 壁量充足率と固有振動数 (X軸方向)

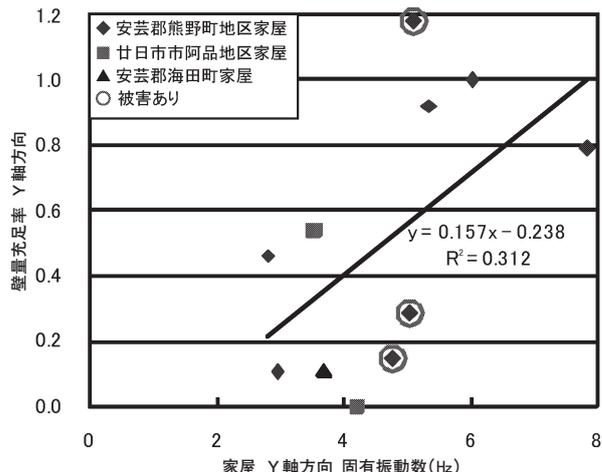


図9 壁量充足率と固有振動数 (Y軸方向)

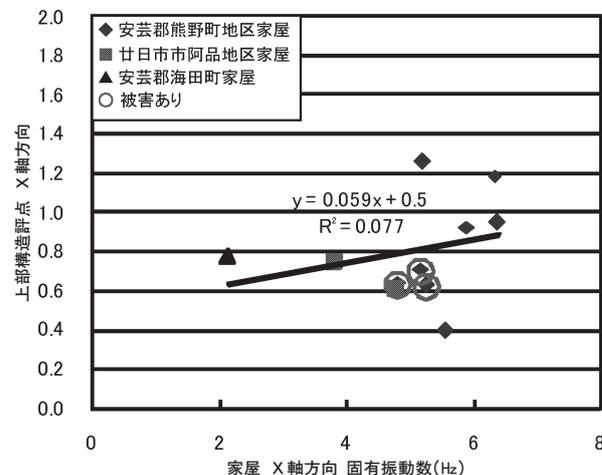


図10 上部構造評点と固有振動数 (X軸方向)

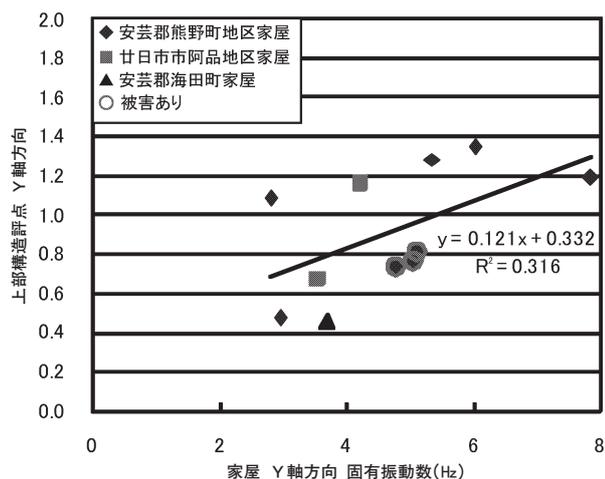


図 11 上部構造評点と固有振動数 (Y軸方向)

6. 結 論

(1) 築年数と壁量充足率および上部構造評点

建築年が新しいほど、壁量充足率の診断結果が高くなる傾向があり、築年数28年～37年で壁量充足率が0.10～0.17、築年数3年～16年で壁量充足率が0.79～0.92になる。また、建築年が新しいほど、上部構造評点の診断結果が高くなる傾向があり、築年数24年～37年で上部構造評点が0.39～0.64、築年数3年～16年で上部構造評点が0.94～1.26になる。築年数と壁量充足率の相関係数は0.69、築年数と上部構造評点の相関係数は0.45になり、築年数と壁量充足率の方が相関がやや高い。

(2) 築年数と家屋の固有振動数

建築年が新しいほど、家屋の固有振動数は高くなる傾向があり、築年数34年～42年で家屋の固有振動数が2.1～

5.9Hz、築年数3年～18年で家屋の固有振動数が4.2～7.8Hzになる。

(3) 軽微な地震被害と上部構造評点、固有振動数との関係

瓦屋根被害などの軽微の地震被害にあった家屋は、家屋の固有振動数が低くX軸方向で2.6～5.2Hz、Y方向で3.2～5.1Hzになっている。また、上部構造評点は0.63(YS邸)・0.64(KK邸)・0.71(SY邸)のようにいずれの家屋もおよそ0.7かそれを下回る数値となった。

(4) まとめ

瓦屋根被害などの軽微な地震被害と家屋の固有振動数、ならびに壁量充足率・上部構造評点において、関連性があると考えられる。また、耐震診断に基づく壁量充足率・上部構造評点が大きくなると、常時微動計測に基づく家屋の固有振動数も大きくなる傾向が見えてきたが、相関係数はあまり高くない。しかし、木造在来軸組構法住宅の地震時性能は、壁量充足率より偏心率を考慮した上部構造評点の方が、正確に評価できる。

文 献

- 1) 神鳥和志：2001年芸予地震により被害を受けた地域の木造住宅と地盤の常時微動特性に関する研究，広島工業大学大学院工学研究科修士論文，(2005)。
- 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)。
- 3) 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)。