

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

岩 井 哲*

(平成18年10月30日受理)

The Relationship between Earthquake-Bearing Wall Area Index, Micro-Tremor Property and Earthquake Damage of Conventional Wooden-Framed Houses

Satoshi IWAI

(Received Oct. 30, 2006)

Abstract

At Kure City and Kumano-cho, Aki-gun in Hiroshima Prefecture, the seismic intensity rose to the highest level, 6 or less, in the 2001 Geiyo earthquake. This research aims to investigate the relationship of wall area index of conventional wooden-framed houses for earthquake-proof and micro-tremor property to the roof-tile damage. The micro-tremor property measurements are commonly taken to survey the earthquake damage of the wooden houses and the site ground condition. However, their close relations to earthquake damage, wall area index, the micro-tremor property are not so clear. The observed results shows that as the construction year of the house is newer, the natural frequencies becomes higher and the tile-roof damage due to the Geiyo earthquake is smaller. Concerning the relatively old houses, natural frequencies decrease as wall area index decreases, especially in the short-span direction of the house.

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

1. 研究 目 的

2001年3月24日に発生した芸予地震において最高震度の震度6弱を記録したのは、広島県の呉市と安芸郡熊野町であった。熊野町における最大加速度は826Gal(=826cm/s²)で、被災記録によると、建物被害は全壊はなく、半壊17件、一部損壊854件、家屋被害率は9.7%であった。熊野町は周囲を広島市、呉市、東広島市に囲まれたほぼ中心に位置する。標高は約220m、周囲を300～500mの山々に囲まれた高原盆地で、表層地盤の多くは沖積層の砂や砂礫で構成されている。人口は25,392人、世帯数は8,985世帯(2000年度の国勢調査データによる)である。

本研究は芸予地震による被災地域の熊野町において、木造住宅ならびにその敷地地盤の常時微動特性を調べ、入手

できた設計図面から耐震壁量を求めて、被害との関連を調べることを目的とする。木造住宅を対象とする常時微動計測は数多く実施されているが、住宅の地震被害との相関についてはまだ明確に示されていない。また家屋の耐震壁量や振動特性と瓦屋根被害等の軽微な地震被害との関連についての研究もほとんど見当たらない。2004年に安芸郡熊野町の木造住宅9件について調査を行い、家屋の常時微動特性と芸予地震被害の関連を検証した。^{1), 2)} 2005年は図1に示す熊野町の木造住宅5件を追加調査した。これらを合わせて報告する。

2. 常時微動計測した家屋の概要

常時微動の計測は家屋被害の多い地域の周辺を対象とし

* 広島工業大学工学部建築工学科

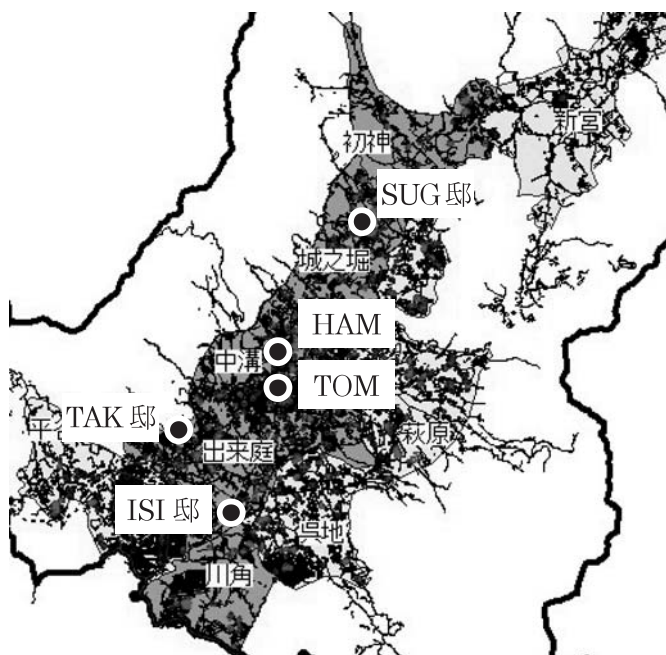


図1 熊野町の常時微動計測家屋位置

た。追加調査した5件は比較的建設年が新しいものばかりで、いずれも芸予地震ではほとんど被害がなかった。

ISI邸は、1990年築造の家屋である。平地に建っており、交通量は比較的少ない。HAM邸は、1993年築造の家屋である。2世帯住宅で、2階に冷蔵庫等の電化製品があるため、常時微動計測する際にノイズが含まれることに注意した。近くに団地があるが、交通量は比較的少ない。TOM邸は、1988年築造の家屋である。周囲は、家が建ち並び、交通量の多い旧道の側に建っている。TAK邸は、1990年築造の家屋である。芸予地震では、屋根瓦が2～3枚落下したが、大きな被害はない。山地の上部に建ち、比較的安定した地盤にある。交通量は比較的少ない。SUG邸は、芸予地震の後の2003年に築造された家屋である。なだらかな平地に建ち、周囲にも比較的新しい家が建ち並ぶ。交通量は比較的少ない。

3. 常時微動の計測および解析処理の方法

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。データ収録には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、保存している。

常時微動の測定は、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。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秒間の校正電圧値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。常時微動計測は2005年7月9日と8月6日の昼間に行った。

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16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、校正電圧値を含む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伝達関数の平均とした。

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H/Vスペクトルをまず求めた後、3～5サンプルを各振動数域で平均して求めている。

4. 家屋の壁量計算と耐震診断方法

測定した家屋5件のうち、ISI邸、TAK邸、SUG邸の3件は家屋の設計図面を入手できた。その図面をもとに、建築基準法施行令46条による壁量の「充足率」と壁の配置のバランス比（「充足率の比」）を算出した。さらに耐震診断を行った。壁量の「充足率」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」で除したものである。存在壁量は、耐力壁の長さ（建築基準法施行令による壁倍率をかけたもの）の合計であり、充足率が1.0以上であることを満足する必要がある。一方、「充足率の比」は、建物外周部の側面について、平面上の端から1/4の範囲の壁量充足率を求め、両側面の壁量の小さい方の充足率をもう一方の大きい方の充足率で除したものである。両端から1/4の範囲の充足率がそれぞれ1.0以上であるか、または、充足率の比が0.5以上であることを満足する必要がある。

木造住宅の耐震診断は、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」³⁾（改訂版）に基づいて実施している。住宅に必要とされる耐力と、住宅が実際に保有している耐力との比較で行われる。耐震診断

は、大地震動での倒壊の可能性等について評価される。「必要耐力」は、想定する地震動と住宅の仕様と形状により算定し、「保有耐力」は床の仕様や接合部などを考慮した耐力壁、耐力が期待できる無開口準耐力壁、腰壁・垂れ壁、等の耐震要素の耐力の和で評価される。

筋かい等の壁仕様に関する記載がなかったSUG邸の場合においては、筋かいを建設年代当時に一般的に使用されている45mm×90mmの木材と仮定した。また内壁・外壁に関して記載がなかった場合は、外壁は、倍率=1.6のモルタル塗り壁として算出し、内壁は、倍率=1.9の「不明」壁とした。ISI邸とTAK邸は、内壁に関する記載がなかったため、倍率=1.0の化粧合板、倍率=1.6の「不明」壁として算出した。

5. 家屋の常時微動特性

常時微動によって得られた各家屋の伝達関数、ならびに同家屋の敷地地盤のH/Vスペクトルを図2～6に示す。計測した家屋と地盤の卓越振動数の値を、平均したサンプル数ごとに表1に示す。また2004年の分と合わせて木造家屋の壁量充足率と充足率の比を表2に示す。2004年調査の家屋は建物固有振動数が2.7～5.9Hzに、地盤の卓越振動数が2.2～5.5Hzに分布していた。2005年調査の5件は家屋・地盤とも比較的高い値を示した。

(1) ISI邸

伝達関数はX軸方向では5.2Hz付近で卓越し、Y軸方向では6.0Hz付近で卓越している。地盤のH/VスペクトルはX軸方向、Y軸方向とも17.9Hz付近で卓越しておりかなり高く、硬い評価となった。壁量充足率は1、2階とも筋かいのみとして算定した場合でも1.0以上を確保している。充足率の比については1階のX軸方向は0.5以下となった。耐震診断結果については、上部構造評点は1・2階のX方向、Y方向とも1.5以上の高い値になった。

(2) HAM邸

伝達関数はX軸方向では5.9Hz付近、Y軸方向では5.0Hz付近でそれぞれ卓越している。地盤のH/VスペクトルはX軸方向、Y軸方向とも3.7Hz付近で卓越しており、今回調査した5件の中では比較的低い方である。

(3) TOM邸

伝達関数はX軸方向では5.2Hz付近、Y軸方向では4.3Hzでそれぞれ卓越している。地盤のH/VスペクトルはX軸方向では4.3Hz付近で、Y軸方向は2.1Hz付近で卓越しており今回調査した中では最も低い。

(4) TAK邸

伝達関数はX軸方向では6.3Hz付近、Y軸方向では5.4Hzでそれぞれ卓越している。地盤のH/VスペクトルはX軸方向は7.6Hzで、Y軸方向は6.9～7.4Hzの間で卓越して

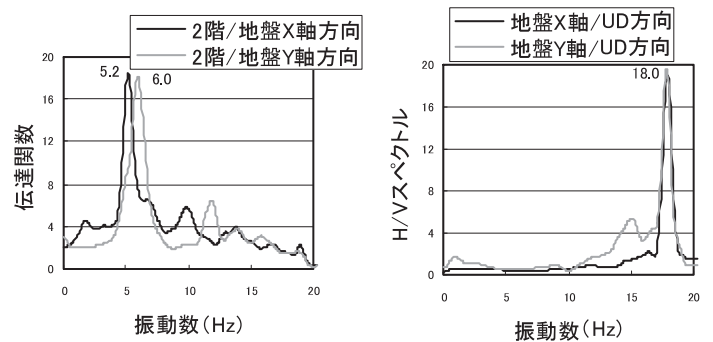


図2 ISI邸 伝達関数と地盤のH/Vスペクトル

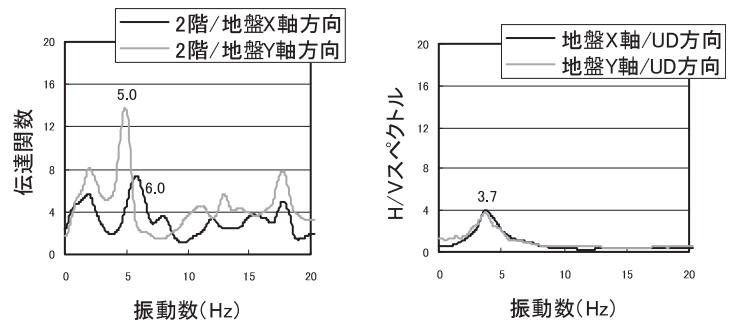


図3 HAM邸 伝達関数と地盤のH/Vスペクトル

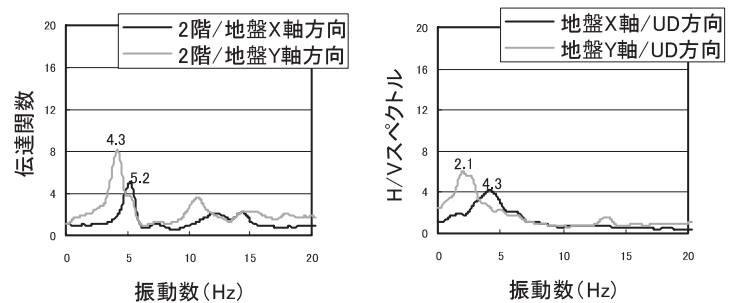


図4 TOM邸 伝達関数と地盤のH/Vスペクトル

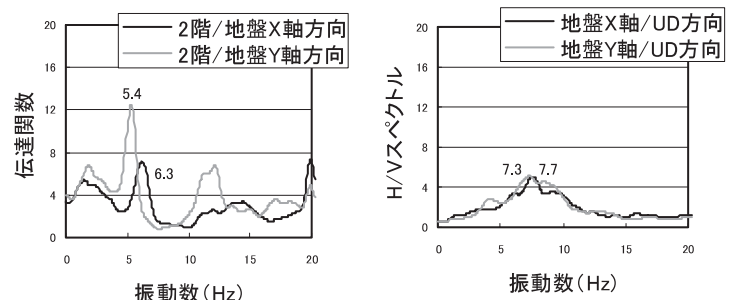


図5 TAK邸 伝達関数と地盤のH/Vスペクトル

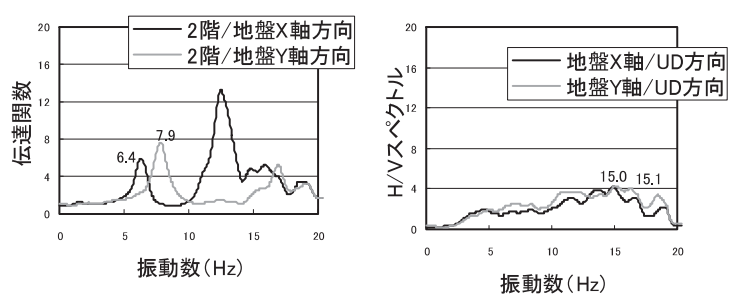


図6 SUG邸 伝達関数と地盤のH/Vスペクトル

いる。壁量充足率は1, 2階とも筋かいのみとして算定した場合でも1を越える値をとっている。充足率の比は、1階の筋かいのみの場合で0.5以下の値になった。耐震診断結果の上部構造評点は1階のX方向, Y方向とも1～1.5

という結果になった。

(5) SUG邸

伝達関数はX軸方向では6.4Hz付近で、Y軸方向では7.9Hz付近で卓越している。地盤のH/VスペクトルはX

表1 計測した家屋の伝達関数と地盤のH/Vスペクトルにおける卓越振動数

建物名称	建築年	被害の有無	平均したサンプル数	伝達関数 卓越振動数 (Hz) (伝達関数値)			H/V スペクトル卓越振動数 (Hz) (H/V スペクトル値)	
				X軸方向	Y軸方向	UD方向	X軸方向	Y軸方向
ISI邸	1990年	無	15個	5.22 (12.49)	6.05 (16.39)	17.97 (7.06)	17.97 (13.45)	17.92 (17.70)
			5個	5.18 (18.38)	6.01 (18.09)	17.97 (12.53)	17.97 (18.80)	17.97 (19.79)
			3個	5.18 (18.38)	6.01 (17.00)	18.01 (12.90)	17.91 (19.07)	17.91 (19.07)
HAM邸	1993年	無	15個	5.91 (5.40)	5.08 (18.38)	4.83 (2.13)	3.76 (3.70)	3.76 (2.87)
			5個	5.96 (7.28)	4.98 (13.67)	4.83 (2.94)	3.66 (4.09)	3.76 (3.78)
			3個	5.90 (6.36)	4.93 (10.86)	4.83 (3.27)	3.96 (4.21)	3.81 (4.27)
TOM邸	1988年	無	15個	5.22 (12.49)	4.25 (8.11)	2.53 (2.65)	4.25 (3.77)	2.05 (3.34)
			5個	5.18 (18.38)	4.25 (8.11)	1.90 (3.05)	4.30 (4.15)	2.05 (5.92)
			3個	5.18 (18.38)	4.25 (8.11)	2.64 (3.02)	4.29 (4.24)	2.63 (6.89)
TAK邸	1990年	無	15個	6.35 (7.44)	5.37 (13.17)	3.52 (15.41)	7.62 (4.49)	6.93 (4.71)
			5個	6.30 (7.57)	5.37 (11.19)	3.42 (13.63)	7.67 (5.04)	7.28 (5.22)
			3個	6.30 (7.57)	5.37 (11.41)	3.71 (14.73)	7.62 (5.51)	7.42 (5.23)
SUG邸	2003年	無	15個	6.40 (5.90)	7.86 (7.65)	13.57 (7.43)	15.04 (2.32)	11.04 (2.48)
			5個	6.40 (5.90)	7.86 (7.56)	13.45 (10.11)	14.94 (4.14)	15.19 (4.34)
			3個	6.40 (5.90)	7.86 (7.64)	13.57 (11.88)	14.89 (6.31)	12.35 (3.84)

表2 木造家屋の壁量充足率と充足率の比

建物名称	築年数	被害の有無	耐力壁算定	方向	充足率				充足率の比			
					1階		2階		1階		2階	
ISI邸	16年	無	筋かいのみ	X軸	1.15	OK	1.61	OK	0.45	NG	0.65	OK
				Y軸	1.20	OK	1.61	OK	0.55	OK	0.96	OK
TAK邸	16年	無	筋かいのみ	X軸	1.13	OK	1.09	OK	0.36	NG	0.79	OK
				Y軸	1.23	OK	1.31	OK	0.46	NG	0.34	NG
SUG邸	3年	無	筋かいのみ	X軸	1.07	OK	1.31	OK	1.00	OK	0.60	OK
				Y軸	1.19	OK	1.96	OK	0.47	NG	0.60	OK
SY邸	14年	有	筋かいのみ	X軸	1.13	OK	1.03	OK	0.28	NG	0.97	OK
				Y軸	1.03	OK	1.55	OK	0.50	OK	0.98	OK
TY邸	24年	無	筋かいのみ	X軸	0.61	NG	1.52	OK	0.76	OK	0.54	OK
				Y軸	0.64	NG	1.27	OK	0.42	NG	0.80	OK
YS邸	28年	有	筋かいのみ	X軸	0.19	NG	1.29	OK	0.47	NG	1.00	OK
				Y軸	0.14	NG	0.86	NG	0.53	OK	1.00	OK
KK邸	34年	有	筋かいのみ	X軸	0.18	NG	0.74	NG	0.89	OK	0.50	OK
				Y軸	0.29	NG	0.98	NG	0.75	OK	1.00	OK
KT邸	37年	無	筋かいのみ	X軸	0.34	NG	0.38	NG	0.77	OK	0.98	OK
				Y軸	0.13	NG	0.41	NG	0.88	OK	0.87	OK

軸方向では15Hz付近で、Y軸方向でも11～15Hzで卓越しており比較的高いが、スペクトル分布は他に比べて広い振動数の帯域でフラットな傾向にある。壁量充足率は1, 2階とも筋かいのみとして算入した場合でも1以上の値をとっている。充足率の比は1階Y軸方向で0.5を下回った。耐震診断結果の上部構造評点は1階のX方向は1.0未満となった。

6. 卓越振動数と建築年数、壁量充足率の関係

(1) 家屋の建築年数と卓越振動数

調査した全14家屋のX軸・Y軸方向の卓越振動数を図7に、地盤の卓越振動数を図8に示す。建築年数と家屋の卓越振動数の関係を各方向ごとに図9に示す。2005年の調査家屋は5件とも建築年数20年未満であり、卓越振動数は4.3～7.9Hzと比較的、高い方になっており、地震被害はなかった。一方、地震被害のあったものを含む2004年に計測した家屋の建築年数は14年～37年で、卓越振動数は3～5Hzと、新しく調査した家屋に比べやや低い方

である。建築年が新しいほど、卓越振動数は高くなり、地震被害も生じにくくなる傾向が認められる。

(2) 家屋の壁量充足率と卓越振動数

図10に家屋の壁量充足率と卓越振動数の関係を示す。2005年に計測した家屋の壁量充足率は3件とも1.0を越えていた。2004年に計測した家屋は建築年が比較的古いせいか、壁量充足率が1.0を満足しない場合が多かった。特に建家の短手のY軸張間方向に関して壁量充足率の低い方が卓越振動数も低くなる傾向が現れている。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がある。

謝 辞

本研究は平成17年度卒業研究課題(高田瑠子, 高野優子)として取り組んだ。また研究の実施には平成17年度科学研究費[基盤研究(C)(2)課題番号16560518, 研究課題名: 人工造成宅地における木造家屋と瓦屋根の地震被害に関する研究(研究代表者: 岩井 哲)]の補助金を一部利用させていただきました。ここに記して深く感謝します。

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年2月
- 2) 神鳥和志, 岩井 哲: 木造住宅の常時微動特性と2001年芸予地震による被害との対応, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第28巻, 2005年3月, pp.1049-1052.
- 3) 国土交通省住宅局建築指導課(監修): 「木造住宅の耐震診断と補強方法」(改訂版), 日本建築防災協会, 2004年7月.

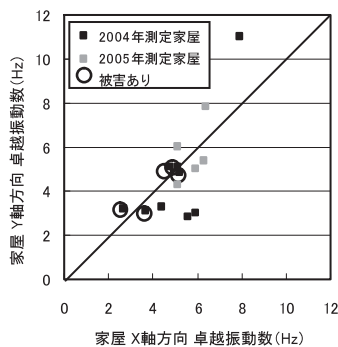


図7 家屋の卓越振動数

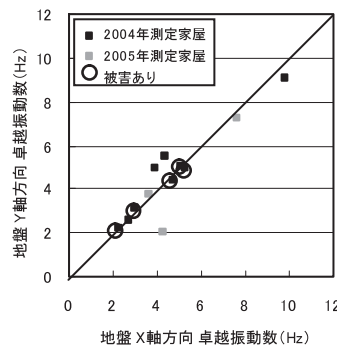


図8 地盤の卓越振動数

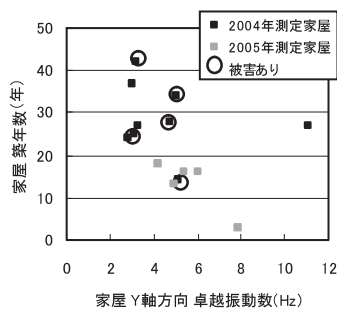
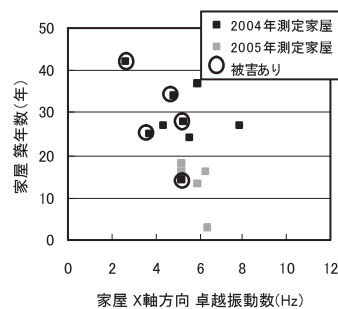


図9 建築年数と家屋の卓越振動数

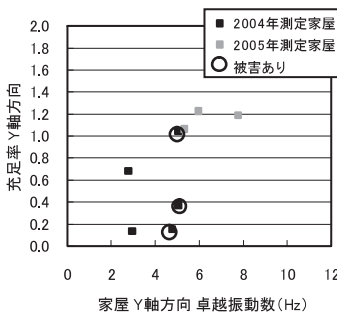
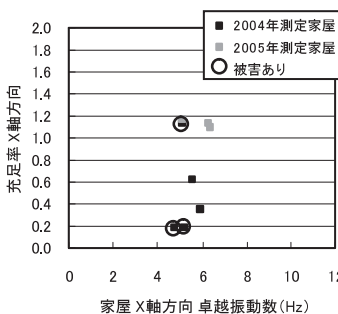


図10 家屋の壁量充足率と卓越振動数

