

常時微動測定を用いた伝統的木造住宅の水平耐力推定法に関する基礎的研究

野口卓也

指導教官 助教 千葉一樹

教授 栗田 哲

1. 研究背景と目的

伝統的木造住宅の耐震診断は、部材寸法の実測と目視による劣化診断に基づいて行われる¹⁾。より正確な診断には、壁内の状況や床下等の調査が必要であり、軽微な損傷や解体を伴うこともある。現在、比較的簡易に建物の基礎的な振動特性を把握できる常時微動測定の活用が期待されている。しかしながら、常時微動測定結果から直接に耐震性能を評価することができないため、耐力推定を推定ための補間方法が必要とされてきた。

そこで、本研究では世田谷区に所在する伝統的木造住宅 4 棟を対象に、常時微動測定から得られる微動時 1 次固有振動数と最大耐力との関連付けを検討し、伝統的木造住宅の水平耐力推定法に関する基礎的な知見を与えることを目的とする。

2. 対象建物概要

世田谷区が管理する次大夫堀公園民家園と岡本公園民家園に所在する 4 棟の農家型伝統的木造住宅を対象とした。建物概要を表 1 に示す。4 棟の建築年代はともに江戸時代であり、1980 年代に民家園に移築復元されている。屋根形状は茅葺屋根の寄棟造、壁は真壁形式土壁となっている。平面積は旧安藤家が比較的大きく、その他 3 棟は同程度の面積を有している。

旧加藤家は江戸時代後期に見られる典型的な整形四間取りである。旧城田家は半農半商としての店構えをもった平面形式となっている。旧安藤家は式台を持ち、名主の役宅を兼ね備えた八間取りである。旧長崎家は喰違い四間取りである。真壁造りの農家型伝統的木造住宅における平面積と総重量の関係の図 1 から得られた重量速算法²⁾を用いて 4 棟の建物重量を推算した。算定結果を表 1 に示す。

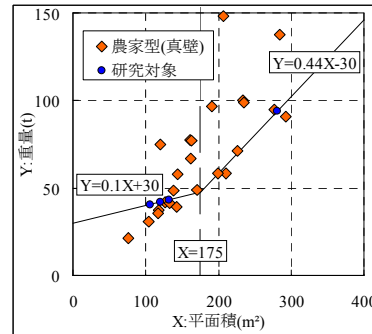


図 1 平面積と建物重量の関係²⁾



図 2 測定計画(旧加藤家)

3. 常時微動測定

測定計画の代表例を図 1 に示す。測定には速度計（東京測振製 VSE-15D）を使用し、平面中央部の梁上及び土間上それぞれ 2 方向に設置した。サンプリング周波数 200Hz で 5 分間測定の常時微動測定を行った。

地盤振動を入力、建物振動を出力としてパワースペクトル、クロススペクトルを算出し、スペクトル比から伝達関数を算出した。伝達関数から得られた 4 棟の微動時 1 次固有振動数を表 1 に示す。また 4 棟の伝達関数 (Y 方向 (梁間)) に図 3 に示す。

4 棟の微動時 1 次固有振動数は X (桁行)・Y (梁間) 方向において近い振動数で励起されていることが読み取れる。また各方向併せても 3~4Hz に収まっている。このことは、既往の研究³⁾と類似した傾向を示しており、農家型伝統的木造住宅の標準的な結果といえる。

表 1 対象建物概要

建物名	旧加藤家	旧城田家	旧安藤家	旧長崎家
所在地	次大夫堀公園			岡本公園民家園
建築年代	江戸時代末期	江戸時代末期	江戸時代後期	江戸時代中期～後期
復元年	1988			1980
外観				
平面図				
平面積(m²)	120	132	281	106
建物重量(t)	42	43	94	40
建物種別	養蚕農家・平屋	酒屋・平屋一部中二階	名主家・平屋一部中二階	農家・平屋
屋根	寄棟造・茅葺			
1次固有振動数(Hz)	X 3.96 Y 4.08	X 3.22 Y 3.56	X 3.71 Y 3.74	X 3.54 Y 3.86

4. 構造解析

4.1 解析概要

表 1 中の平面図に示した全面壁と垂壁を主要耐力要素として、各壁の荷重変形関係を各鉛直構面ごとに加算することにより、建物全体の荷重変形関係を算定し、簡易に最大耐力を推定した。

水平構面は剛床を仮定し、小屋組のせん断変形は考慮しないものとした。柱脚は固定、接合部の回転剛性は考慮していない。また、剛性偏心や部材劣化による低減は行っていない。

全面壁の荷重変形関係は、既往研究より提案される土壁の荷重変形関係の近似式⁴⁾(図 4・式 1)を用いた。垂壁付き独立柱の荷重変形関係は、垂壁を有する柱 1 本あたりの耐力性能を評価し、図 5 のように垂壁のせん断変形と柱の曲げ変形の加算則¹⁾が成り立つと仮定して算出した。

4.2 解析結果

解析結果から求められた 4 棟の荷重変形関係 (Y 方向) を図 6 に示す。求められた荷重変形関係は、土壁の降伏点である 1/60rad 付近で最大耐力となり、柱の折損を伴いながら耐力が低下する。旧安藤家以外の 3 棟は類似した荷重変形関を示した。表 2 に 4 棟各方向の最大耐力を示す。4 棟各方向の層せん断力係数 C_0 は 0.15~0.30 と求まった。

4.3 初期剛性の実測値と解析値の比較

4 棟を 1 質点振動系と仮定し、伝達関数から得られた 1 次固有振動数と建物重量から微動剛性 K_m を算出した。また荷重変形関係から求めた初期剛性 K_s (常時微動時の応答変形角における割線剛性) との比較結果を表 3 に示す。 K_m に対する K_s の比は 4 棟各方向ともに 20% 程度となった。この要因として以下のことが挙げられる。解析に用いた土壁近似式 (式 1) は微小変位時の荷重変形を適切に評価していないこと、また接合部剛性や仕上げ等の微小変形に寄与する構造要素の詳細評価を行っていないことが考えられる。

5. 微動時 1 次固有振動数と最大耐力の関係性

微動時 1 次固有振動数と層せん断力係数の関係を図 7 に示す。図 7 には伝統的木造住宅を対象に行った実大水平加力実験結果⁵⁾、本研究と同様最大耐力を構造解析により求めた既往研究⁶⁾を比較対象として示した。ただし建物重量の記載がないものに関しては重量速算法²⁾を用いて層せん断力係数を算出した。

図 7 には本研究 4 棟に対して作成した回帰直線を併せて示した。微動時 1 次固有振動数の上昇に伴う最大耐力の上昇が読み取れる。しかしながら、既往研究における相関性は明瞭化しなかった。今後は知見の蓄積を増やすとともに、劣化低減評価など含めた詳細評価が必要であると考えられる。

6. まとめ

世田谷区に所在する農家型伝統的木造住宅四棟の常時微動測定結果と荷重変形関係から微動時 1 次固有振動数と簡易解析により算定した最大耐力の関係を示した。本研究 4 棟においては微動時 1 次固有振動数の上昇に伴う最大耐力の上昇が認められた。しかしながら、既往研究の蓄積を含めた傾向を説明するには至らなかった。

今後、さらに伝統木造住宅に関する同様の知見を蓄積するとともに、接合部や水平構面、劣化低減等を含めた解析精度の向上を進めていく必要がある。

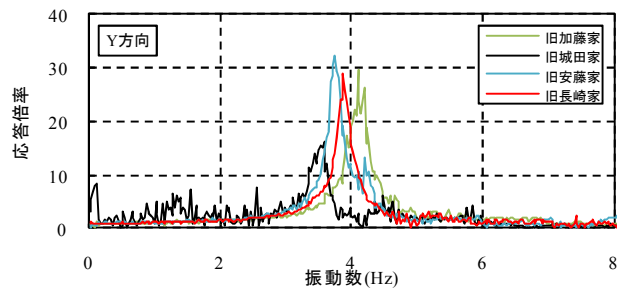


図 3 伝達関数 (Y 方向)

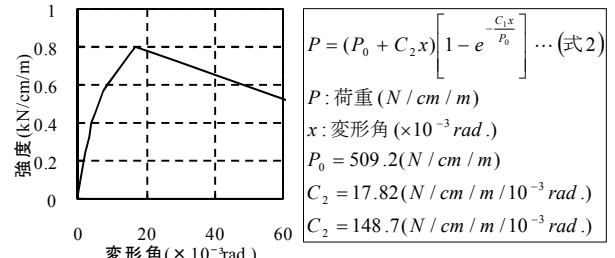


図 4 土壁の荷重変形関係

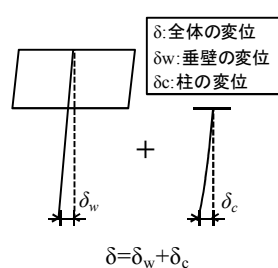


図 5 垂壁付き独立柱

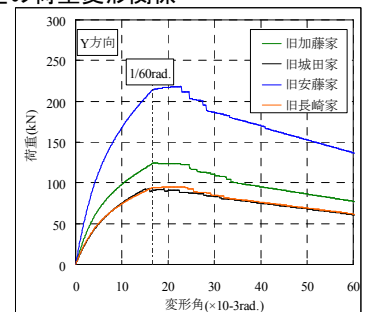


図 6 荷重変形関係 (Y 方向)

表 2 最大耐力の比較

建物名	最大耐力 (kN)	変形角 $\times 1$ ($\times 10^{-3}$ rad.)	$C_0 \times 2$
旧加藤家	X	121	0.29
	Y	124	0.30
旧城田家	X	113	0.27
	Y	93	0.22
旧安藤家	X	246	0.27
	Y	218	0.24
旧長崎家	X	63	0.16
	Y	95	0.24

※1: 最大耐力時の変形角
※2: 最大耐力/建物重量

表 3 初期剛性の比較

$K_m \times 3$ ($\times 10^4$ kN/m)	$K_s \times 4$ ($\times 10^4$ kN/m)	$K_s/K_m \times 100(\%)$
2.60	0.54	21
2.76	0.59	21
1.77	0.47	26
2.16	0.38	17
5.10	0.98	19
5.18	0.96	18
2.01	0.27	13
2.39	0.43	18

※3: 固有振動数から算出した剛性
※4: 荷重変形関係の微動時の応答変形角相当における割線剛性

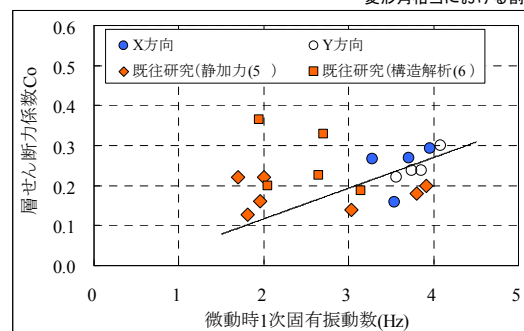


図 7 固有振動数と最大耐力の関係

※5: 農家型伝統的木造住宅を対象に行った水平加力試験結果⁵⁾及びその他既往研究⁶⁾ (建物重量がない研究には重量早算法²⁾を用いた)

【謝辞】本研究で行った常時微動測定及び構造部材寸法調査には、世田谷区教育委員会のご協力を頂きました。また次大夫堀公園民家園、岡本公園民家園を管理される民家園保の石井様、牧野様には現地調査に際し、特にご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。なお本研究は平成 20 年度トステム財団助成金による研究の一環として行いました。

【参考文献】1) (財)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),2004.7. 2)花吉ほか:文化財建造物の重量について-重要文化財民家の重量速算法の検討-,日本建築学会大会学術講演梗概集 F-2,pp241-242,2000.7. 4) (財)日本建築防災協会:平成 20 年度耐震診断法の高度化に関する検討 報告書,2009.3. 5)文化庁:重要文化財(建造物)基礎診断実施要領,2001.4. 6)佐藤ほか:現地実験による伝統的木造住宅の構造性能に関する研究-山口県の農家を対象とした静的水平加力実験-,日本建築学会構造系論文集, No.602,187-194,2006.4