

# 伝統的木造住宅の固有周期の簡易推定法に関する研究

# RESEARCH ON THE SIMPLE WAY OF ESTIMATING THE CHARACTERISTIC PERIOD OF THE TRADITIONAL WOODEN HOUSE

岩田真次 ——\*1 川口陽子 ——\*2  
中園真人 ——\*3 藤田香織 ——\*4  
坂本 功 ——\*5

Shinji IWATA ——\*1 Youko KAWAGUCHI ——\*2  
Mahito NAKAZONO ——\*3 Kaori FUJITA ——\*4  
Isao SAKAMOTO ——\*5

キーワード：  
伝統的木造住宅, 固有周期, 簡易推定法

Keywords:  
Traditional wooden house, Characteristic period, Simple way of estimating

As for the traditional wooden house, the performance which is excellent because structural behavior at the time of the earthquake isn't made clear fully isn't reflected on the structural design.

It is important to calculate the characteristic period of the traditional wooden house to make action in the earthquake clear. The purpose of this research is the proposal of the method which the characteristic period is estimated at simply.

## 1. はじめに

伝統的木造住宅は、地震時における優れた変形性能および減衰性能などが十分解明されていないため、構造設計においてこれらの特徴が十分に反映されていないのが現状である。平成12年改正建築基準法・施行令第81条により伝統的木造住宅を限界耐力計算で評価する道が開け、施行令第82条6項、告示1457号により「建築物の損傷限界固有周期および安全限界固有周期について、建築物の各部分の質量及び剛性に基づき固有値解析等の手法によって当該周期を計算できる場合には計算によることができる」ことになった。これにより、伝統的木造住宅の耐力変形性能を固有周期との関係で把握することが重要となった。

本研究では、伝統的木造住宅について実大家屋の実測値と立体解析モデルによる計算値を検討して求めた固有周期の簡易推定法を提案する。

## 2. 目的と方法

伝統的木造住宅の固有周期はかなり実測されているが、理論的な解明は十分なされていない。また、学会「木質構造設計規準・同解説」によれば伝統的木造住宅のように「床の面内剛性が十分期待できない場合や立体的な架構特性を有する建物では、その立体剛性を考慮した立体応力解析が必要である」と解説している。

しかし、伝統的木造住宅は、軸組み、仕口接合部が多様であり、その都度立体架構モデルを作成して固有周期を算定することは非常に困難な作業である。そこで、伝統的木造住宅の固有周

期を計測するとともに、計測した家屋の軸組図から立体架構モデルを作成し、立体解析プログラムで固有周期を算出した。また、固有周期の実測値と計算値を比較検討することで、立体架構モデルの仮定条件を明らかにして、固有周期を簡易に推定できる計算方法を提案することを目的としている。

## 3. 固有周期の計測結果

### 3.1 計測方法

計測対象家屋を表1に示す。参考として、伝統的木造住宅のほかに、在来軸組工法住宅を計測した。

表1 計測対象家屋

No.	民家名	所在地	構造形式	創建年代	平面形	床面積(m <sup>2</sup> )
1	小田家母屋	柳井市	木造瓦葺2階建	江戸中期	曲り屋	429.45
2	小田家半間	柳井市	木造瓦葺2階建	江戸中期	長方形	140.00
3	小田家蔵	柳井市	木造瓦葺2階建	江戸中期	長方形	127.76
4	兼重町の家	山口市	木造瓦葺平屋	昭和初期	曲り屋	113.11
5	西山邸	菊川町	木造瓦葺平屋	江戸末期	正方形	141.81
6	平生邸	山口市	木造瓦葺平屋	昭和戦後	長方形	128.79
7	榎本邸	山口市	木造瓦葺2階建	明治	曲り屋	147.75
8	山村邸	防府市	木造瓦葺平屋	昭和初期	長方形	91.39
9	萩森井邸	萩市	木造瓦葺2階建	江戸中期	長方形	200.29
10	雨村邸	山口市	木造瓦葺2階建	明治初期	長方形	241.35
11	香原邸	山口市	木造瓦葺2階建	明治	長方形	80.27
12	藤木邸	山口市	木造瓦葺平屋	明治初期	正方形	116.59
13	時政邸	防府市	木造瓦葺2階建	明治中期	長方形	126.70
14	兼重邸	美東町	木造瓦葺2階建	昭和初期	長方形	190.93
15	池田邸	美東町	木造瓦葺2階建	昭和初期	長方形	148.50
16	水沼邸	山口市	木造瓦葺2階建	H10	長方形	158.68
17	竹田邸	山口市	木造瓦葺2階建	H3	曲り屋	213.08
18	長尾邸	小郡町	木造瓦葺平屋	H12	長方形	157.27
19	石本邸	日置町	木造瓦葺平屋	H9	長方形	124.50
20	松崎邸	日置町	木造瓦葺2階建	H11	長方形	155.00
21	岩本邸	日置町	木造瓦葺平屋	H12	長方形	120.00
22	中村邸	日置町	木造瓦葺2階建	H10	正方形	166.36
23	泉民1号	山口市	木造瓦葺2階建	H8	長方形	140.00
24	泉民2号	山口市	木造瓦葺2階建	H7	曲り屋	149.13
25	建売20号	山口市	木造瓦葺2階建	H7	長方形	133.31
26	建売29号	山口市	木造瓦葺2階建	H8	長方形	134.51
27	内田邸	宇部市	木造瓦葺2階建	平成初期	正方形	164.14
28	野村邸	楠町	木造瓦葺2階建	H11	長方形	208.29
29	高海邸	宇部市	木造瓦葺2階建	H13	曲り屋	142.08
他	建売31号	山口市	鉄筋コンクリート	H8	正方形	131.25

\*1 ㈱グリーンデザインオフィス 代表取締役  
(〒755-0093 宇部市北迫新町2-5-14)

\*2 トステム㈱

\*3 山口大学工学部 教授・工博

\*4 東京都立大学大学院 助手・工博

\*5 東京大学工学部 教授・工博

\*1 Chief Executive Officer, Green Design Office Corporation

\*2 Engineer, Tostem Corporation

\*3 Prof., Dept. of Perceptual Sciences and Design Engineering, Yamaguchi-  
Univ., Dr. Eng.

\*4 Research Assoc., Graduate School of Eng., Tokyo Metropolitan Univ.,  
Dr. Eng.

\*5 Prof., Graduate School of Eng. the Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

常時微動測定および人力加振による自由振動試験に使用した測定機器は、サーボ型速度計 VSE-15-D・SPC-35、計算機 NECPC-9821 Ls150Aile で、測定点は地盤面、1階（または2階）床面、小屋組高さ3点に2カ所ずつ配置し、梁間方向、桁行方向を同時に測定できるようにした。また、ねじれの影響を避けるため、建物の重心の位置に近いと思われる大黒柱を中心に測定した。自由振動試験は、建物の重心と思われる大黒柱を1名が人力で押して瞬間的に開放することによって、自由振動させて測定した。計測時間は常時微動測定、自由振動測定ともに20secとした。

各測定及びFFT解析の条件は、サンプリング周波数100Hz、サンプリングデータ2000、測定単位は速度、HPF（ハイパスフィルター）0.1Hzである。計測機器を写真1に示す。

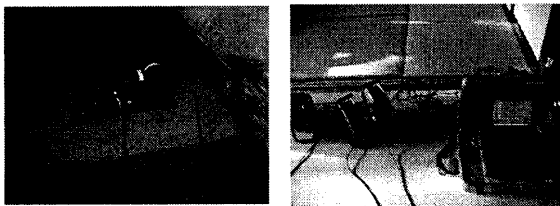


写真1 計測機器

### 3.2 固有周期の実測値

常時微動測定値から得られた速度の時刻歴波形をもとにFFT解析を行い、固有周期を求めた。算定した固有周期を表2に示す。また、梁間方向と桁行方向の固有周期の実測値を図1に示す。

表2 固有周期の実測値

No.	建物名	梁間方向(s)	桁行方向(s)	No.	建物名	梁間方向(s)	桁行方向(s)
1	小田家母屋	0.466	0.301	16	水沼邸	0.201	0.186
2	小田家半閑舎	0.250	0.427	17	竹田邸	0.180	0.142
3	小田家蔵	0.427	0.205	18	長尾邸	0.128	0.126
4	黄金町の家	0.320	0.256	19	石本邸	0.125	0.125
5	西山邸	0.293	0.427	20	松崎邸	0.155	0.16
6	平生邸	0.171	0.205	21	岩本邸	0.118	0.125
7	榎本邸	0.277	0.320	22	中村邸	0.183	0.180
8	山村邸	0.218	0.263	23	建売20号	0.146	0.180
9	萩	0.731	0.445	24	県民1号	0.163	0.151
10	雨村邸	0.256	0.177	25	県民2号	0.118	0.118
11	香原邸	0.148	0.366	26	建売29号	0.163	0.168
12	藤木邸	0.284	0.190	27	内田邸	0.209	0.205
13	時政邸	0.284	0.330	28	野村邸	0.142	0.142
14	兼重邸	0.244	0.270	29	高瀬邸	0.142	0.174
15	池田邸	0.256	0.301	30	建売31号	0.107	0.107
	平均	0.289	0.286		平均	0.140	0.141

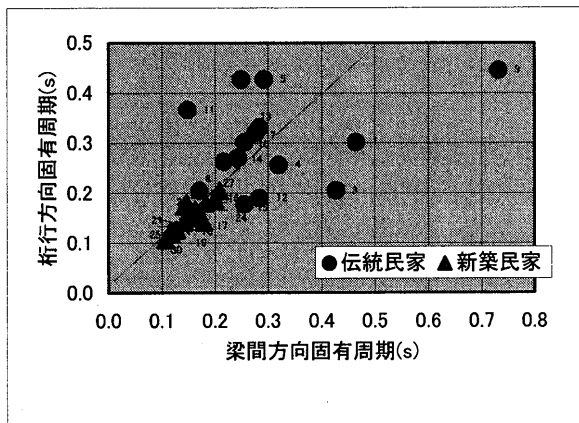


図1 梁間方向と桁行方向の固有周期の実測値

### 3.3 減衰定数の実測値

自由振動試験の結果から、1周期ごとの振幅（揺れ幅）を求め、その減少する程度を表す減衰定数は、下式を用いて算出した。

$$h = \frac{1}{2\pi} \lambda_n \frac{d_i}{d_{i+2}}$$

算出した伝統的木造住宅の減衰定数を表3に示す。

表3 減衰定数の実測値

No.	建物名	減衰定数(%)	
		梁間方向	桁行方向
1	小田家母屋	1.53	8.46
2	小田家半閑舎	3.84	5.68
3	小田家蔵	8.88	12.05
4	黄金町の家	3.10	6.42
5	西山邸	7.91	5.55
6	平生邸	3.35	4.23
7	榎本邸	4.14	9.76
8	山村邸	2.39	4.27
9	森井邸	7.34	12.10
10	雨村邸	10.20	9.35
11	香原邸	7.16	4.74
12	藤木邸	8.39	8.62
13	時政邸	9.78	25.27
14	兼重邸	1.77	1.96
15	池田邸	2.23	3.43
	平均	4.908	7.550

### 3.4 実測値のまとめ

伝統的木造住宅を含む木造民家30棟の振動特性について、建物の特徴との関係をまとめると、以下のようなものである。

#### (1) 固有周期

木造民家30棟の固有周期は0.1~0.5secに分布しており、一般に言われている木造住宅の固有周期の範囲にある。固有周期は建築年代の古い伝統的木造住宅は0.3sec以上の大きい数値を示し、1970年代以降特に壁量規制を強化された1981年以降の筋交いの入った在来軸組工法住宅は0.2sec以下の小さい数値を示した。この在来軸組み工法住宅は、正方形・長方形・曲り屋などのように複雑な平面形であっても、梁間、桁行方向ともに剛性が高く、両方向での固有周期がほぼ等しい値になった。これに対して、伝統的木造住宅は、経過年数が大きいものほど梁間、桁行方向のどちらかに大きく振動する特徴がみられる。

#### (2) 減衰定数

伝統的木造住宅の減衰定数の実測値は1.0~12%に分布しており、一般的に言われている1~10%の範囲内であった。減衰定数と固有周期の間にはっきりした相関関係は見出せなかったが、経過年数の大きいものほど、減衰定数値が高いという傾向がみられる。減衰定数と建築年代との間に特に顕著な関係は認められず、一般に使用されている5%程度の数値を採用してよいと考えられる。これらの値は既往のデータとほぼ同程度であり、今回測定した対象家屋は一部を除いて一般的な木造住宅であったと考えられる。

#### 4. 3次元モデルによる簡易推定法の提案

##### 4.1 立体架構モデル

固有周期を数値解析するため立体解析モデルは、1層2×2スパンの田の字プランとし、軸組みは、柱、梁、桁、差鴨居、足固めでフレームを構成した。柱と梁、差鴨居、足固めとの節点は剛接合とし、柱脚、間柱、束はピン接合と仮定した。構面は、土壁の垂れ壁、そで壁、全面壁による数種類のパターンを組み合わせた。仮定した各部材の寸法を表4に示す。木材のヤング係数は $8 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ とし、土壁のヤング係数は既往の文献から、 $0.71 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ と仮定した。この解析に使用した任意形状立体解析プログラムでは面材のヤング係数は軸組みと同一に設定されているので、面材の断面2次モーメント、軸断面積、せん断変形用断面積を設定する際の土壁は、等価な木材の面材に置換した。使用した立体架構モデルを図2に、壁要素パターンを図3に示す。また、柱・梁などの部材寸法を120×120とした基準フレーム(Frame)及び部材寸法を変更した8種類のフレーム(Frame1~8)について計算した。

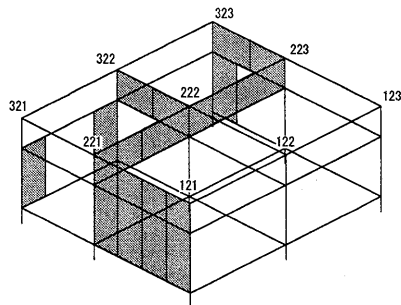


図2 立体架構モデル

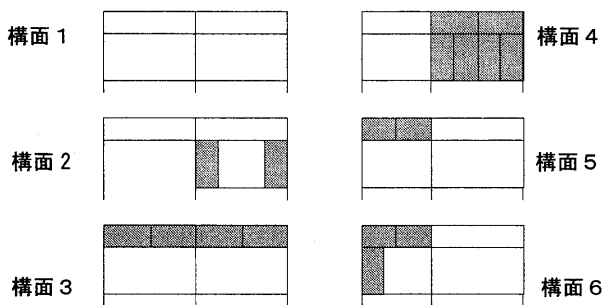


図3 壁面構成要素パターン

表4 部材断面一覧表

	柱	足固め	差し鴨居	梁	桁	備考
Frame	120×120	120×120	240×120	240×120	120×120	基本形
Frame1	120×120	120×120	240×120	240×120	240×120	桁240×120
Frame2	150×150	150×150	240×120	240×120	240×120	柱・足固め⇒150×150
Frame3	120×120	240×120	240×120	240×120	240×120	足固め240×120
Frame4	120×120	120×120	240×120	240×120	240×120	筋違い
Frame5	120×120	120×120	240×120	240×120	240×120	片側筋違い
Frame6	120×120	120×120	240×120	240×120	240×120	小屋組
Frame7	150×150	120×120	240×120	240×120	240×120	柱を150×150
Frame8	120×120	120×120	240×120	240×240	240×120	梁を240×240

##### 4.2 軸組みの剛性

###### (1) 計算過程

立体架構モデルの節点 NO. 121~323 に、建物重量に相当する水

平荷重を均等に与えて、立体解析プログラムにより各節点の変位  $\delta$  (mm)を求め、この変位から各フレームの剛性  $K$  を下式で求めた。

$$K = Q \div \delta \quad (Q = \text{節点荷重}, \delta = \text{変位})$$

次に、壁面要素別に柱頭の変形を一定にするための柱の剛度を算定して、これを  $D$  値とした。構面1の柱の  $D$  値を基準(分布係数  $D$  値=1)とし、その他の柱の  $D$  値との比率を計算した。その結果を表5に示す。また、各構面の  $D$  値の平均を図4に示す。

###### (2) $K_0$ 値

基準とした構面1の柱の  $K$  値を基準  $K_0$  とし、柱とこれに接合される梁、差鴨居、足固めの寸法に応じた数値を表6に示す。

##### 4.3 固有周期の計算値

以上から、伝統的木造住宅の簡易な推定法による固有周期の計算値は下式から求められる。

$$\delta = W \div K \quad (K = \Sigma D \cdot K_0)$$

$$T = 0.201 \sqrt{\delta}$$

ここに、 $T$ : 建物の固有周期(sec)

$\delta$ : 建物の水平変位(m)

$W$ : 建物重量(KN)

$K$ : 建物の剛性(KN/m)

$D$ : 建物の剛度(表5、図4)

$K_0$ : 柱の基準剛性(KN/m)(表6)

表5 柱の剛度  $D$  値

	構面0	構面2	構面3	構面4	構面5	構面6
Frame	1.000	2.201	1.481	9.951	2.215	3.756
Frame1	1.000	2.320	1.444	9.280	2.195	3.516
Frame2	1.000	1.921	1.366	8.328	1.788	2.750
Frame3	1.000	2.197	1.437	8.798	1.888	3.301
Frame4	1.000	2.400	1.518	11.876	2.324	4.903
Frame5	1.000	2.361	1.511	11.464	2.302	4.640
Frame6	1.000	2.407	1.359	9.774	2.170	3.092
Frame7	1.000	2.217	1.407	9.200	1.945	3.008
Frame8	1.000	2.133	1.418	8.806	2.208	3.397

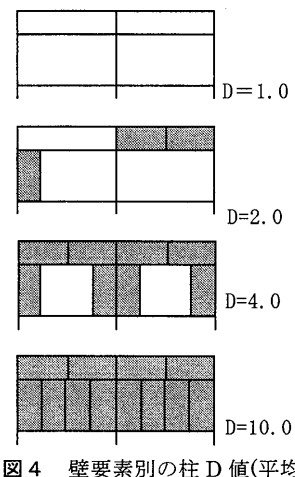


図4 壁要素別の柱  $D$  値(平均値)

表6 基準柱の剛性( $K_0$  値) 単位:  $1 \times 10^3 \text{ KN/m}$

	$K_0$ 値	概要
I	0.075	柱、足固め、桁:120×120 梁、差し鴨居:240×120 筋
II	0.100	柱:150×150程度(太め)
III	0.125	足固め:150×150(太め)
IV	0.150	柱、足固め:150×150(ともに太め)

5. 推定値と実測値の比較

固有周期の推定値と実測値の比較を表7に示す。また、梁間方向、桁行方向の固有周期の推定値と実測値の比較を図5に示す。柱と小屋梁、差鴨居で構成された軸組みの場合は、固有周期に大きい影響を与える要因として、土壁、足固め、部材断面寸法などが挙げられる。また、K<sub>o</sub>値、D値を使用して求めた固有周期の計算値は、実測値にかなり近似しており、実際の民家の立体架構モデルを作成する際の仮定条件は、前項の方法で妥当であることが判明した。以上から、この簡易法による計算値は、伝統的木造住宅の固有周期を計算する方法としては有効であると思われる。

表7 固有周期の推定値と実測値の比較

建物名	方向	測定値(s)	略算計算値(s)
黄金町の家	梁間	0.320	0.339
	桁行	0.256	0.303
西山邸	梁間	0.293	0.269
	桁行	0.427	0.339
平生邸	梁間	0.171	0.257
	桁行	0.205	0.271
山村邸	梁間	0.218	0.247
	桁行	0.263	0.265
藤木邸	梁間	0.284	0.308
	桁行	0.190	0.313
香原邸	梁間	0.148	0.268
	桁行	0.366	0.360
兼重邸	梁間	0.244	0.334
	桁行	0.270	0.333
原田邸	梁間	0.301	0.278
	桁行	0.330	0.354

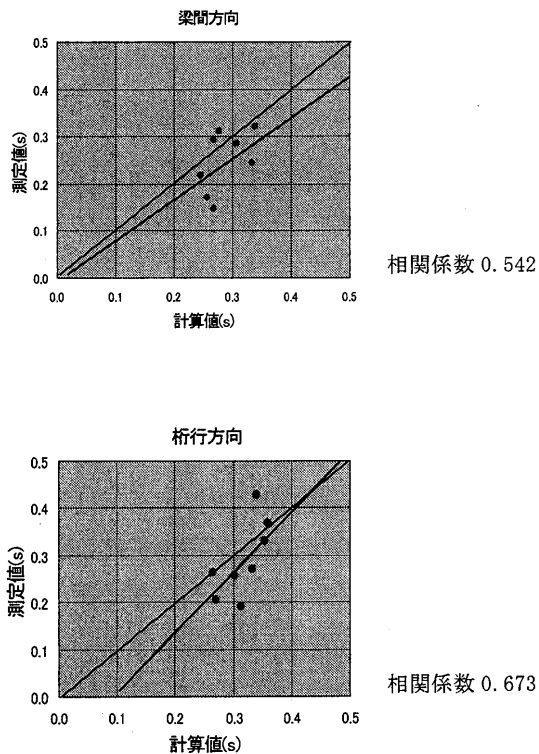


図5 推定値と実測値の比較

6. 結論

固有周期の実測値から、伝統的木造住宅の固有周期は平均値で梁間方向が0.289sec、桁行方向が0.286secであり、一般に言われている伝統的木造住宅の固有周期0.3sec程度であった。これに対して、在来軸組工法住宅の固有周期は梁間方向が平均0.140sec、桁行方向が0.205secで、0.2sec程度以下であった。また、伝統的木造住宅の減衰定数は梁間方向が平均5%、桁行方向が平均8%であり、優れた減衰性能を示した。

本研究では、これらの実測値の固有周期を適切に評価できる簡易推定法を、立体架構モデルによる要因分析結果をもとに見出し、この方法で求めた計算値は実測値にかなり近似することが確認された。また、固有周期に大きく影響する軸組構成要素としての①壁量と壁配置、差し鴨居・足固めおよび断面寸法、②土壁の剛性などが定量的に確認できた。

伝統的木造住宅は柱と梁を中心とした軸組構造であるが、柱梁以外の土壁も建物の固有周期にかなり影響することが判明した。また、軸組構成要素の検討結果から、軸組みを構成する軸線が建物の外端部まで通り、かつ足固めを柱に緊結したものは、建物の水平方向の振れに対してかなり効果を発揮することが判明した。

今後の課題としては、限界耐力計算に使用する損傷限界耐力時および安全限界変位時の固有周期を簡易法により算出するため、柱と梁接合部の弾塑性域におけるばね定数を適切に評価した弾塑性立体解析モデルによる固有周期の算定とこの結果をもとに弾塑性域における固有周期の簡易推定法を検討することが必要である。

謝辞  
今回の木造住宅の固有周期測定にあたり指導、協力していただいた東京大学大学院坂本・松村研究室腰原幹雄助手、山口芸術短期大学福田東亜教授、(株)金子工務店、(有)石本工務店石本治氏に深甚なる謝意を表します。

[参考文献]

- 坂本功：伝統木造住宅の水平加力ならびに振動実験  
その1 建物概要と実験の目的・方法  
日本建築学会大会学術講演概要集 pp1227-1228、1985.10
- 河合直人：伝統木造住宅の水平加力ならびに振動実験  
その2 水平加力実験  
日本建築学会大会学術講演概要集 pp1229-1230、1985.10
- 杉山秀男、野田弘行、鈴木秀三、安藤直人：  
江戸時代に建築された農家の水平加力試験の結果  
日本建築学会構造系論文報告集第360号 pp23-25、1986.2
- 坂本功：木造建築を見直す 岩波新書 2000.4
- 大崎順彦：地震と建築 岩波新書 1983.4
- 杉山英男：地震と木造住宅 丸善 1996.7
- 日本建築学会 木質構造設計基準・同解説 1995.1改訂
- 建築知識 地震に強い「木造住宅」の設計マニュアル 建築知識 1996.1
- 大橋好光：木造住宅の構造設計 建築技術別冊 2001.3
- 建築技術 木造軸組住宅[性能表示]の構造チェック 2001.6

[2002年4月19日原稿受理 2002年11月8日採用決定]