

# 常時微動測定に基づく在来木造建物の振動特性に関する研究

Study on the Shaking Characteristics of Wooden Houses Constructed  
by Conventional Method Based on Microtremor Measurements

○荏本 孝久<sup>1</sup>, 山本 俊雄<sup>1</sup>, 箕輪 拓実<sup>2</sup>

Takahisa ENOMOTO<sup>1</sup>, Toshio YAMAMOTO<sup>1</sup> and Takumi MINOWA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>神奈川大学 工学部

Faculty of Engineering, Kanagawa University

<sup>2</sup>神奈川大学 工学部 建築学科

Department of Architecture, Faculty of Engineering, Kanagawa University

The wooden houses are typical Japanese private individual housing and, almost in everywhere in Japan, a large number of wooden houses are still existed. In 1995 Hanshin-Awaji Great Earthquake Disaster, so many wooden houses were seriously damaged due to the strong motion and it was pointed out that the construction ages and construction method were influenced to the damage grade and ratio of the destroyed houses. We investigated the shaking characteristics of wooden houses constructed by conventional method by using microtremor measurements. In this paper, we will report the preliminary results for the basic characteristics, natural period and aseismic capacity, obtained from this investigation.

**Keywords :** Wooden House, Conventional Method, Natural Period, Aseismic Capacity, Microtremor Measurements

## 1. はじめに

1995年の阪神淡路大震災では、在来軸組構法の木造住宅の被害が大きく、古い建物ほど被害が大きかったことが指摘されている。木造住宅は、現在も数の上では我国の建物の大半を占めており、近い将来発生が想定される大地震の際には大きな被害を受ける危険性がある。大地震の発生時において被害を軽減させるためには、既存の木造住宅の耐震性能を把握する必要がある。一方、常時微動測定は非破壊の簡易な試験により、建物の周期特性を把握できる事から、多くの構造物の振動周期の検討に用いられている。

本研究では、実在する在来木造工法の木造住宅の固有周期と建築年代の関係を調べ、建物特性の分類別に振動特性を検討することを目的とする。また、測定データを基に地震時の振動解析用モデルの作成に関して検討を行い耐震について若干の考察を実施した。

## 2. 建物概要

木造建物の周期特性を分析するため、本研究では、まず建築年代の異なる木造在来軸組構法の戸建住宅28棟を対象として常時微動測定を行った。

(表1参照 ※グレー字は平屋建物)。耐震基準の変遷、老朽化等によって耐震強度が変化するため、建築年代を建築基準法施行令や、耐震設計基準の改正などを勘案して表2に示した6区分に分類した。固有振動数は建築年代が新しくなるにつれて、必要壁量が増加し水平剛性が高くなるため、平均値が高くなる傾向があると考えられる。

## 3. 常時微動測定およびデータ処理

### 3.1 常時微動測定

各建物の基礎的な振動性状を調べるために常時微動測定を行った。測定場所は各建物とも、建物周辺地盤、1

階床面、2階床面（建物中心部）の3ヶ所とし、それぞれ水平方向2成分（x：長辺方向、y：短辺方向）とする。測定時間は、各測定とも5分間として2回ずつ測定した。

表1 常時微動測定の建物概要

	建築年数	2F固有周期x	2F固有周期y	伝達関数x	伝達関数y
対象建物1	0.5	0.124	0.126	0.124	0.126
対象建物2	5	0.149	0.168	0.149	0.168
対象建物3	10	0.161	0.141	0.161	0.141
対象建物4	14	0.117	0.200	0.133	0.205
対象建物5	17	0.161	0.159	0.161	0.159
対象建物6	19	0.180	0.157	0.177	0.156
対象建物7	24	0.149	0.143	0.148	0.123
対象建物8	26	0.187	0.161	0.178	0.158
対象建物9	30	0.164	0.156	0.164	0.156
対象建物10	31	0.210	0.170	0.203	0.165
対象建物11	31	0.141	0.144	0.135	0.111
対象建物12	33	0.118	0.152	0.116	0.148
対象建物13	35	0.149	0.145	0.140	0.147
対象建物14	35	0.191	0.189	0.183	0.164
対象建物15	37	0.170	0.171	0.155	0.159
対象建物16	37	0.196	0.195	0.195	0.175
対象建物17	38	0.135	0.144	/	/
対象建物18	38	0.170	0.163	0.169	0.174
対象建物19	39	0.235	0.200	0.223	0.197
対象建物20	40	0.235	0.209	0.213	0.195
対象建物21	40	0.132	0.120	0.132	0.120
対象建物22	45	0.168	0.138	0.165	0.140
対象建物23	50	0.309	0.236	/	/
対象建物24	52	0.196	0.187	0.191	0.185
対象建物25	73	0.194	0.176	/	/
対象建物26	78	0.239	0.230	0.263	0.230
対象建物27	80	0.196	0.185	/	/
対象建物28	80	0.261	0.310	/	/

表2 建築年代の分類

分類	建築年代	個数(平屋含まない)	個数(平屋含む)
①	昭和19年以前	1	4
②	昭和20~33年	1	2
③	昭和34~45年	7	8
④	昭和46~56年	7	7
⑤	昭和57~平成7年	4	4
⑥	平成8年以降	3	3
	合計	23	28

### 3.2 解析方法および結果

當時微動測定で得られた全記録から、外乱の少ない安定した区間を対象として、20.48秒のタイムウインドウを5区間抽出してフーリエ解析を行い、その平均値を算出する。この結果を用いて(2階/1階)によりx、y方向それぞれの伝達関数を計算し固有周期を求めた。その結果を図1に示す。1次固有周期は、建物の建築年数が増えるごとに長くなっている。ただし、対象建物4の場合は2階が長方形の顕著な住宅ではx、y方向で剛性に差があるためか、y方向の周期が大きくなっているケースもある。

固有周期と建築年代の関係を図1に示した。決定係数( $R^2$ )は、x方向で0.3979、y方向では0.2022となった。x方向では固有周期と建築年代が比較的良好な相関性を示している。一方、y方向は決定係数が低くなっているが、原因と思われる対象建物4を除くと $R^2=0.3271$ となるため、特異なものを除外するとy方向についても相関性を有しているものと考えられる。

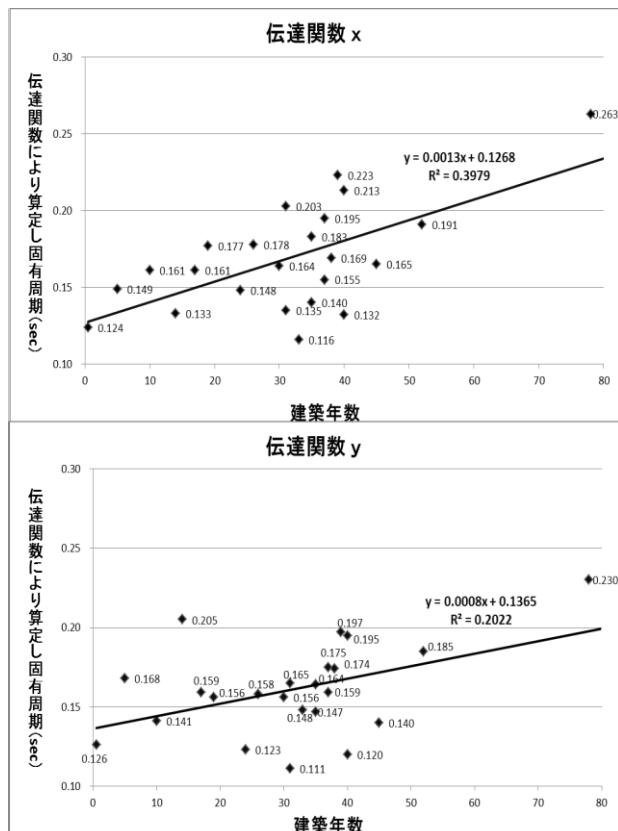


図1 伝達関数による固有周期と建築年数との関係

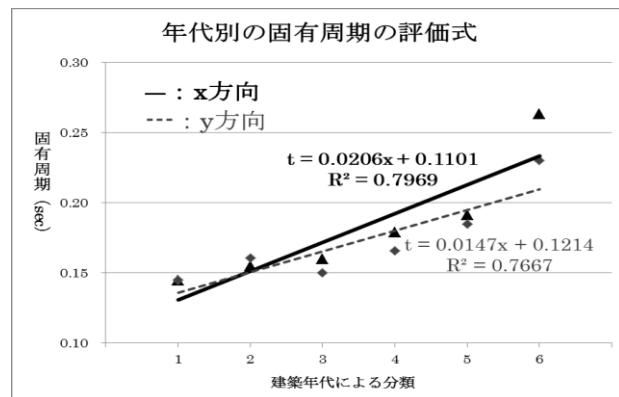


図2 年代別の固有周期の評価式

### 3.3 年代別の固有周期の評価式

6区分の年代別に伝達関数により算定した固有周期を平均化した結果を図2に示した。また、この結果から、固有周期の建築年代別の回帰式を求めた結果、以下のようにになった。

$$t(x) = 0.0206x + 0.1101 \quad (1)$$

$$t(y) = 0.0147x + 0.1214 \quad (2)$$

### 3.4 振動特性評価のための剛性評価

當時微動測定結果は、微小変形領域のみを対象とするため、初期剛性の評価が中心となるため、一般的な振動特性評価のためには剛性評価を修正する必要がある。本研究では、実在建物の起振機実験結果(図3)(文献1)と本研究の測定結果の比較から、修正倍率と固有振動数の推定式を求めた。

その結果、修正倍率は0.814となり、推定式は式(3)に示す結果となった。しかしながら、この値は、年代区分別の平均な修正倍率の値であり、建築年代が古い建物では倍率は小さく、建築年代が新しい建物では倍率は大きくなる傾向を示している(図4参照)。この原因として、測定した調査棟数が少ないと挙げられるが、建築基準法施行令や耐震設計基準により、必要壁量が増加し水平剛性が増加したため、修正倍率は年代が新しくなるにつれ増大するものと考えられる。

$$y = 0.4785x + 3.0459 \quad (3)$$

y : 修正後の固有振動数

x : 年代区分

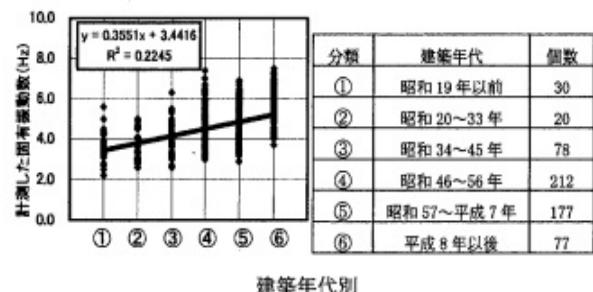


図3 起振機実験結果図(文献1)

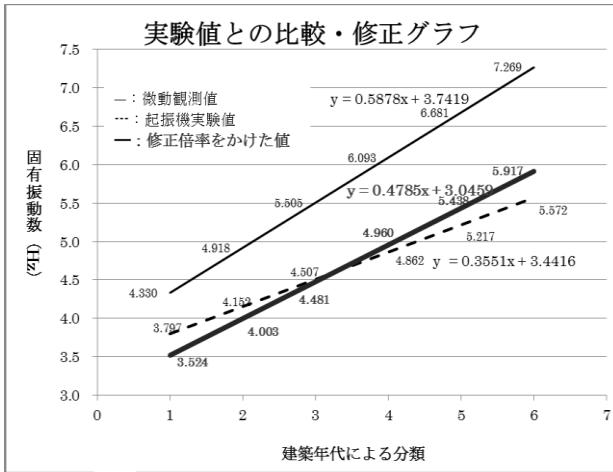


図4 実験値との比較・修正グラフ

#### 4. 建物の振動モデルの検討

##### 4.1 対象建物の振動特性

本研究では、別途常時微動測定を実施した建築年代の異なる木造在来軸組構法の2階建て戸建住宅6棟を対象として検討した(表3参照)。

上述と同様に常時微動測定で得られた全記録から、外乱の少ない安定した区間を対象として、20.48秒のタイムウンドウを5区間抽出してフーリエ解析を行い、その平均値を算出する。この結果を用いて、(2階/1階)についてx、y方向それぞれの伝達関数を計算した。その結果を図5に示す。

1次固有周期は、ほとんどの建物が0.14~0.16秒程度を示した。ただし、築半年(対象建物I)と築40年(対象建物VI)の建物は0.12~0.13秒程度を示した(表3参照)。

また、6棟の建物を比較すると、固有周期の長い建物はx、y方向の耐力壁のバランスが悪く、短い建物はバランスが良いという傾向が見られた。

##### 4.2 減衰定数の算出

初期減衰定数として、木造の場合は5%程度が慣用的に用いられる。本研究では、人力加振を行った建物については加振結果から算出し、加振を行えなかった建物については、常時微動測定結果から2種類の方法(ハーフワーリント法とRD法)で算出した。加振を行えなかった建物については2つの結果を比較し、比較的安定した値となるRD法の結果を用いることとした。

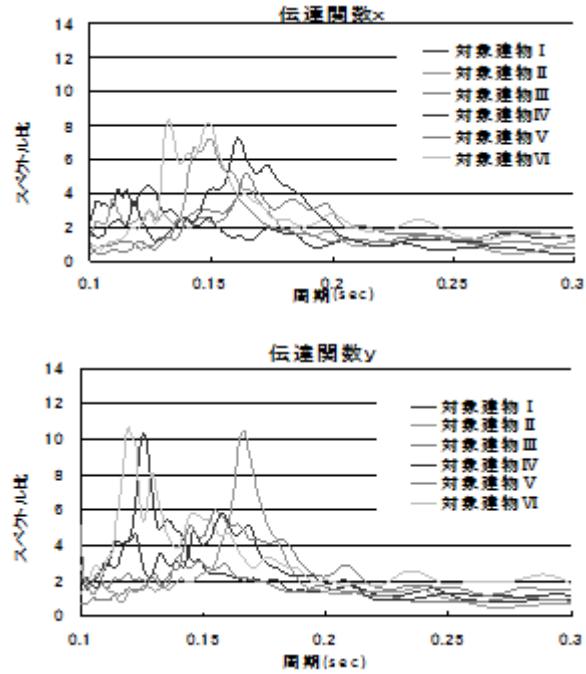


図5 伝達関数

##### 4.3 モデル化と剛性算出

本研究の対象建物は2層の木造住宅なので、壁の量が多く低層で比較的剛な建物と言える。そのため、曲げ変形を起こしにくいことから、解析モデルはせん断2質点系で振動モードを逆三角形分布と仮定し、剛性を算出した(図6参照)。なお、剛性算出式を以下に示す。

$$k_1 = m_1 \omega^2 + \frac{u_2 - u_1}{u_1} k_2$$

$$k_2 = m_2 \omega^2 \frac{u_2}{u_2 - u_1}$$

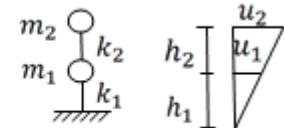


図6 解析モデル

##### 4.4 復元力特性の決定

本研究では、引用文献3)より、実大実験結果を参考として復元力特性を決定した(表4参照)。初期剛性K0は、常時微動測定結果から求めた剛性k1、k2をそれぞれ1階、2階のK0として基本モデルを作成した(図7参照)。また、図8のようにパリニア型とスリップ型それぞれのQ, αを決定した。

表3 振動モデルの作成対象とした建物概要

	対象建物 I	対象建物 II	対象建物 III	対象建物 IV	対象建物 V	対象建物 VI
築年数	半年	5年	10年	17年	30年	40年
1F面積(m <sup>2</sup> )	49.7	61.8	56.3	77.9	57.8	87.4
2F面積(m <sup>2</sup> )	44.8	55.5	59.6	81.2	41.9	72.5
固有周期x(sec)	0.124	0.149	0.161	0.161	0.164	0.132
固有周期y(sec)	0.126	0.168	0.141	0.159	0.156	0.12

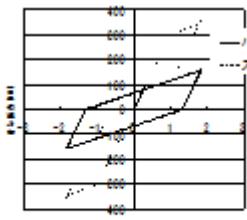


図 7(a) 復元力特性

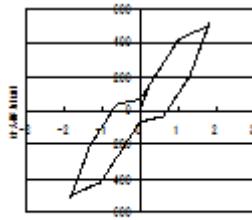


図 7(b) 基本モデル

表 4 基本モデルの特性

バイリニア型要素	
BK1/K0	0.513
BK2/K0	0.083
Bγ σy(rad)	1/944
スリップ型要素	
sk1/K0	0.487
sk2/K0	0.088
sγ σy(rad)	1/234

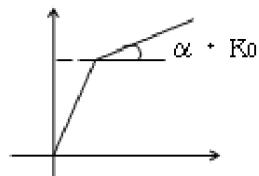


図 8 層せん断力-変形関係

#### 4.5 剛性の修正

常時微動測定結果は微小変形領域のみを対象とするため、一般的な変形レベルで扱えるように剛性を修正する。本研究の対象建物を①昭和46～56年、②昭和57～平成7年、③平成8年以降、の3つの年代に分け、実在建物の起振機実験結果（文献1）と本研究の測定結果の比をとり、修正倍率を0.525とした。

#### 4.6 応答解析および耐震性

解析ソフトRESP-M/IIを用い、5つの地震（EL CENTRO、TAFT、八戸、東京101、兵庫県南部地震）を入力地震動として解析を行い、その結果から得られる層間変形角Xが、① $X \leq 1/120$ （ほぼ損傷無し）、② $1/120 < X \leq 1/60$ （小破・中破）、③ $1/60 < X \leq 1/30$ （大破）、④ $1/30 < X$ （倒壊）のどの範囲にあるかで、建物の被害を示す。また、入力地震動をレベル1（稀に発生する地震）、レベル2（極めて稀に発生する地震）、兵庫県南部地震相当レベル、にした場合についての解析も行った。

#### 4.7 解析結果・考察

レベル2と、兵庫県南部地震相当レベルの地震動を入力した場合の結果を図9に示す。最も固有周期の長い対象建物Vが一番大きな変形量を示した。対象建物Vは年代も古く、基礎が十分でないため、このような結果になったと考えられる。

それに対し、固有周期の短い対象建物IとVIは変形量が小さかった。対象建物IとVIは、耐力壁のバランスが良いためこのような結果になったと考えられ、更に、対象建物Iの方が耐力壁が多く、変形量が小さいという結果になった。

また、解析結果の履歴ループを図10に示す。建物被害判定が小さいとバイリニア型に近いループを描き、大きいと基本モデル型に近いループになることが分かった。

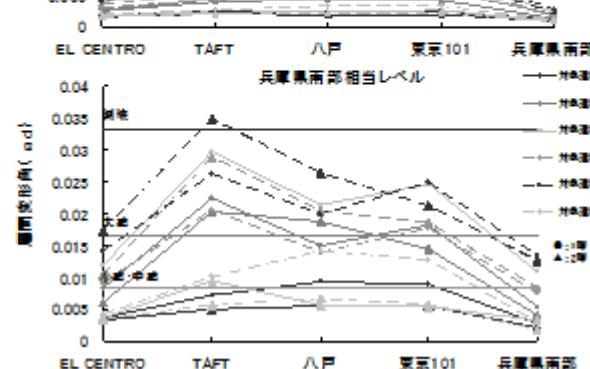
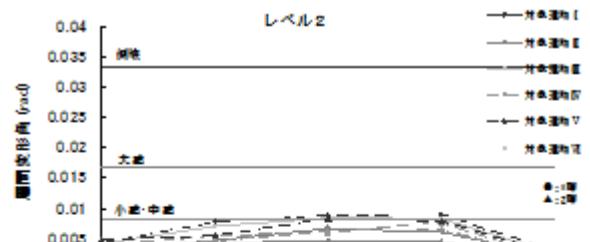


図 9 建物被害判定

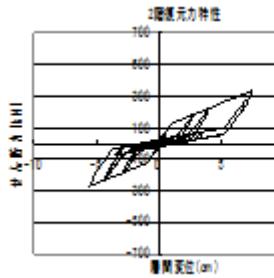


図 10(a) 被害：大

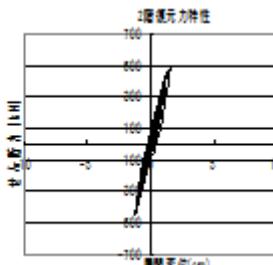


図 10(b) 被害：小

#### 5.まとめ

本研究では、在来木造建物の常時微動観測結果から固有周期と建築年代の関係性について検討を行い、振動モデルを作成して耐震性について若干の考察を行った。結果を以下に記す。

- 1) 建築年代毎の固有周期については、建築年数が増すと固有周期が長くなる傾向が認められた。
- 2) 常時微動観測による固有周期の結果は、初期剛性に対する数値であり、一般的な振動特性としての剛性値と比較すると修正倍率は0.814となった。
- 3) 固有周期の長い建物は、変形量が大きく耐震性が低く、被害判定が大きくなる結果となった。
- 4) 壁量が多くバランスの良い建物は、耐震性が高く評価され、建築年代のみでは耐震性評価は難しい。

#### <参考文献>

- 1) 城殿他：「起振実験による在来軸組み木造2階建住宅の固有振動数に関する研究・その1」建築学会大会学術講演梗概集, pp249-250, 平成19年8月
- 2) 日本建築学会：「建築物の減衰」平成12年10月
- 3) 下村：「粘弾性制振壁を有する木造戸建て住宅の弾塑性風応答解析法に関する研究」学位論文, 平成21年3月
- 4) 日本建築構造技術者協会：「木造建築構造の設計」平成16年8月