

# 木造在来軸組構法住宅と地盤の常時微動特性

岩 井 哲\*・神 鳥 和 志\*\*

(平成16年9月9日受理)

## Micro-tremor properties of wooden framed houses and the housing site ground

Satoshi IWAI and Kazushi KANDORI

(Received Sep. 9, 2004)

### Abstract

The influence on earthquake damage of wooden houses by the difference in the dynamic properties between cut ground and fill ground is investigated. Moreover, relation between the dynamic characteristics of wooden houses and their earthquake damages is clarified, in Ajina area of Hatsukaichi City, where the many roof-tiles were damaged. The transfer function in 2 stories of wooden houses has a clear peak in 3.57~7.50Hz. On the other hand, the H/V spectrum at the housing site has a clear peak in 2.45~3.24Hz on fill ground, and on boundary between fill ground and cut ground. It is probable that the earthquake damage to roof-tiles of wooden houses, due to the 2001 Geiyo earthquake, is strongly related to the predominant frequency of the housing site on the fill ground with the resonance effect of the wooden framed structure.

**Key Words:** natural frequency, micro-tremor measurement, roof-tile damage, fill ground, wooden framed structures, the 2001 Geiyo earthquake

### 1. 研究目的

2001年3月24日に発生した芸予地震によって、丘陵の宅地造成地における木造住宅で瓦屋根被害が多く見られた。地震後1ヶ月の時点で広島県廿日市市阿品地区および阿品台地区の木造住宅の全数に対して、住宅の外観目視で、防水シートがかけられた瓦屋根被害を調査した。この調査結果では盛土地盤上で瓦屋根の被害が集中しているのに対し、切土地盤では被害が少ない傾向が認められた。このことから、盛土・切土の違いと木造住宅の地震被害には何らかの関連性があると推測された(図1)<sup>1), 2)</sup>。

その後、2001~2002年に、上記の廿日市市阿品・阿品台で地盤の常時微動計測を行い、盛土地盤・切土地盤における常時微動特性を調べた<sup>3), 4)</sup>。その結果、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スペクトルと表記する)で盛土地盤では振動数3~4Hzで卓越する傾向が見られるが、切土地盤では顕著な卓越振動数が見られないことがわかった。しかし、瓦屋根の地震応答には、地盤の振動特性だけでなく、木造住宅自体の振動特性が関わる。従って木造住宅の振動特性を調べることによって、地盤の振動特性と芸予地震による瓦屋根被害と直接の関連性があるのかを調べる必要があると考えた。そこで、在来軸組木造住宅の常時微動特性を調査する目的で、被害地域の廿日市市阿品地区の木造住宅Y邸、N邸、F邸の3軒を対象として計測を行った。各住宅は、それぞれ盛土上、切土・盛土境界上にあると推定されている。

### 2. 対象建物と測定の方法

\* 広島工業大学工学部建設工学科

\*\* 広島工業大学大学院工学研究科博士前期課程土木工学専攻

## 2.1 対象建物概要

廿日市市阿品4丁目において木造家屋の常時微動計測を行った。図1に計測家屋を☆で示す。表1に木造家屋の概要をまとめた。対象とした木造家屋はいずれも2階建の軸組構法である。N邸はセメント石綿版屋根、Y邸・F邸は日本瓦屋根を有する。

写真1のY邸は1979年築造の2階建瓦屋根木造家屋である。住人によると芸予地震では、かなり速い繰り返しの横ゆれを長い時間に亘り感じたが、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見られたが、Y邸では瓦屋根の被害は見られなかった。

写真2のN邸は1980年中頃に建てられた築20年程の2階建木造家屋である。住人によると芸予地震で、ギシギシと非常に激しいゆれを長い時間に亘り感じられたが、被害はわずかに壁にひびが入る程度であった。N邸は瓦屋根でなく、セメント石綿版屋根のため屋根被害は見られなかったが、図1にみるように、周辺の多くの家屋では瓦屋根



写真1 Y邸



写真2 N邸



写真3 F邸

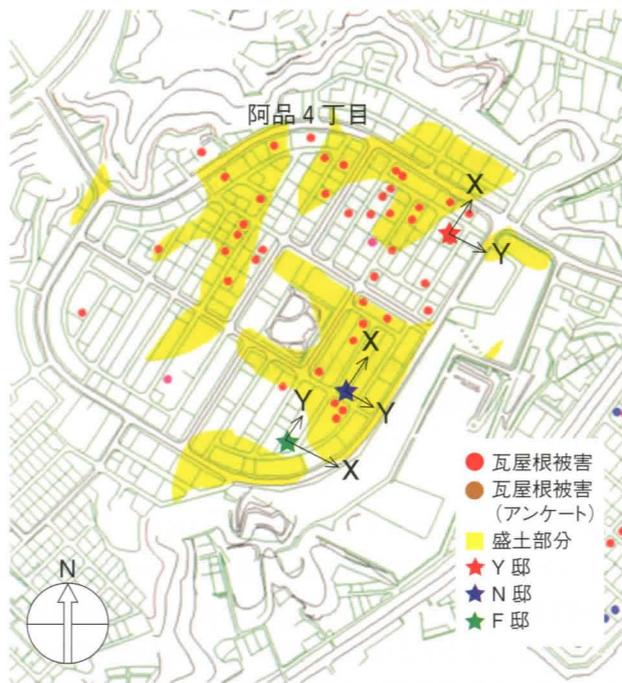


図1 廿日市市阿品地区の木造瓦屋根被害箇所

表1 木造家屋の概要

	建築年	屋根の種類	地盤の種類
Y邸	1979年	日本瓦屋根	切土・盛土の境界の切土地盤
N邸	1980年中頃	セメント石綿版屋根	盛土地盤
F邸	1984年	日本瓦屋根	切土・盛土の境界の切土地盤

被害がでた。

写真3のF邸は1984年築造の2階建瓦屋根木造家屋である。耐力壁には筋かいと土壁を有している。住人によると芸予地震では、突き上げるようなゆれが感じられたが大きな被害は見られなかった。F邸では瓦屋根の被害は見られなかった。

## 2.2 計測方法

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【東京測振社製、SM-121（水平動）および、SM-122（上下動）固有周期：2.0秒、測定周波数 0.5Hz～50Hz】である。データ収録装置には PC カード型データ収集システム【キーエンス製、NR-2000】を用い、微動計測記録は速度成分を採っている。採取データ

はサンプリング間隔0.01秒で、毎回計測開始直後に約15秒間の較正電圧値（キャリブレーション）を記録した後、約5分間を連続して波形を収録した。計測箇所は、家屋については家屋中心付近でなるべく根太の上などの硬いところを選び、地盤については家屋から2mほど離れた土の地盤上とした。建物周辺地盤上と家屋1階床上、家屋1階と2階の各床上の計測を行った。計測は家屋長手方向をX軸方向とし、短手方向をY軸方向とした。X、Y軸方向水平動2成分、上下動1成分の3成分を1箇所とし、1回の計測で2箇所の合計6成分を同時に行った。Y、N邸については北東方向がX軸、F邸については南東方向がX軸となっている（図1参照）。

計測は2003年11月28日14時から17時、12月13日10時から12時の間に行った。

### 2.3 解析方法

データ解析では、約20秒間（2048データ）を1サンプルとし、約5分間で16サンプル（内、第一サンプルは較正值）の記録の中で大きなノイズがなく波形の安定している、5サンプルを選定した。サンプル毎の速度記録についてフーリエスペクトルを求め、バンド幅1.0Hzで平滑化している<sup>5)</sup>。解析結果は、地盤についてはH/Vスペクトルを、家屋については同一方向のスペクトルから家屋の伝達関数を求め、比較している。今回は、地盤と1階床、1階床と2階床については同時計測を行っているが、地盤と2階は同時計測を行っていないため、地盤の5つのフーリエスペ

クトルを各振動数について平均した平均フーリエスペクトルにより地盤と2階の伝達関数を求めることにした。

## 3. 常時微動特性

### 3.1 地盤の振動特性

家屋周辺地盤のH/Vスペクトルを図2に示す。3軒の各周辺地盤について、X軸方向とY軸方向について、5サンプルのスペクトルをまとめたものである。このスペクトル図より卓越振動数を取り出したものを図3に、H/Vスペクトルの大きさを取り出したものを図4に示す。

図2より盛土地盤だけでなく、切土・盛土の境界付近の切土地盤上でもH/Vスペクトルが明らかな卓越振動数を持つことがわかる。

Y邸は切土・盛土の境界に近い切土地盤上にあるが、明確な卓越振動数を持ち、X軸方向は2.69~3.86Hzで平均3.24Hz、標準偏差は0.45Hz、Y軸方向は2.98~3.37Hzで平均3.13Hz、標準偏差は0.15Hzである。卓越しているところのH/Vスペクトルの比の大きさは、X軸方向は2.59~5.41で平均3.80標準偏差は1.08、Y軸方向は3.19~5.71で平均4.46、標準偏差は0.98である。

N邸は盛土地盤上にある。明確な卓越振動数を持ち、X軸方向は2.69~2.83Hzで平均2.76Hz、標準偏差は0.06Hz、Y軸方向は2.29~2.59Hzで平均2.45Hz、標準偏差は0.11Hzである。卓越しているところのH/Vスペクトルの比の大きさは、X軸方向は3.85~5.29で平均4.69標準偏差は0.67、Y軸方向は4.90~6.02平均5.42、標準偏差は0.41で

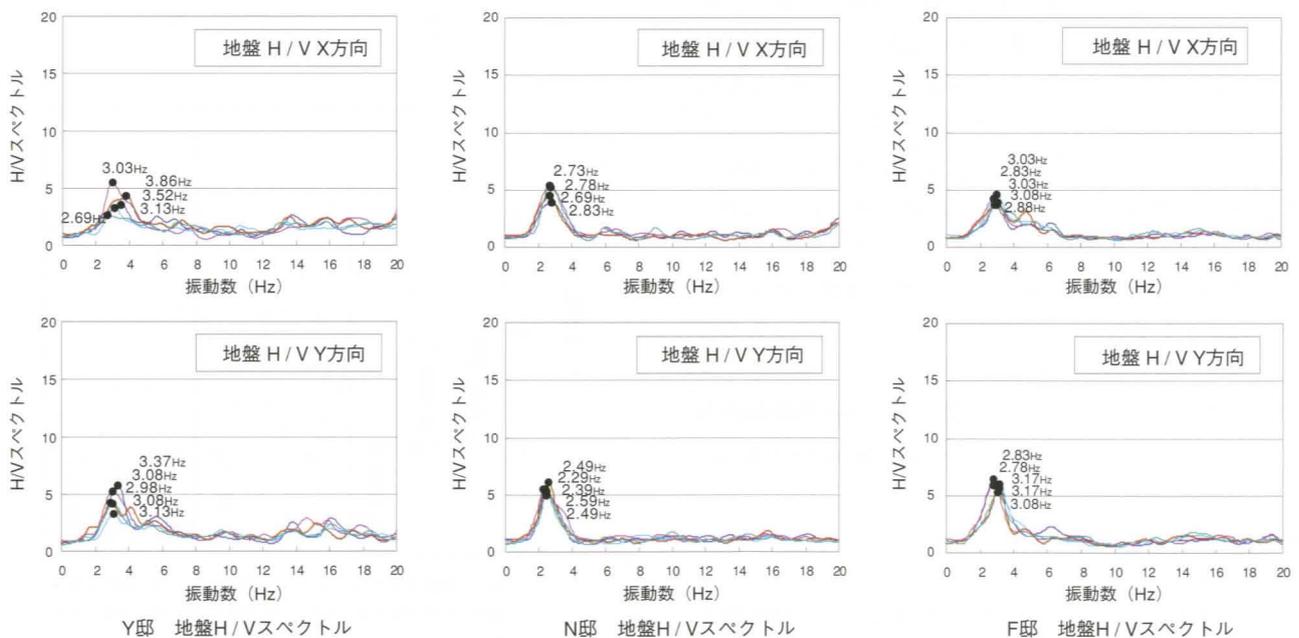


図2 地盤のH/Vスペクトル

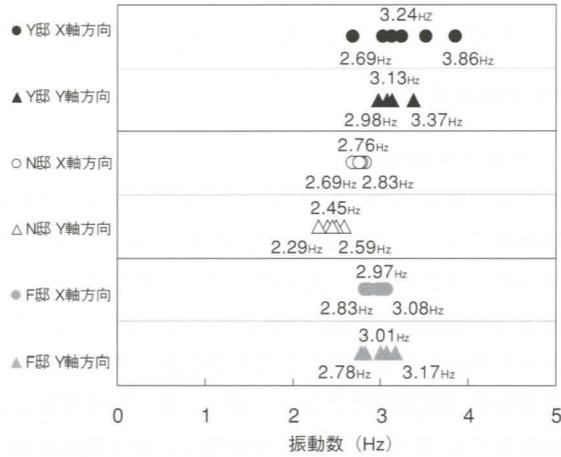


図3 地盤の卓越振動数 (最大・最小と平均の値)

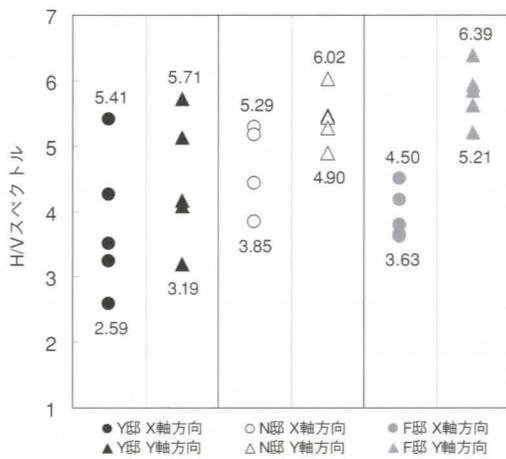


図4 地盤の H/V スペクトルの卓越したところの比の大きさがある。

F 邸は切土・盛土の境界付近の切土地盤上にある。明確な卓越振動数を持ち、X 軸方向は 2.83~3.08Hz で平均 2.97Hz、標準偏差は 0.11Hz、Y 方向は 2.78~3.17Hz で平均 3.01Hz、標準偏差は 0.19Hz である。卓越しているところの H/V スペクトルの比の大きさは、X 軸方向は3.63~4.50で平均3.94標準偏差は0.38で、Y 軸方向は5.21~6.39で平均 5.80、標準偏差は0.43である。

N 邸の盛土地盤では Y 邸・F 邸の切土地盤と比べると卓越振動数がやや低く、5 サンプルの H/V スペクトルがよく揃っている。地盤を建物の長さ方向により整理してみると、建物の長手方向である X 軸方向で卓越振動数が高く、H/V スペクトルの大きさは低くなる傾向がみられる。

### 3.2 木造家屋の微動特性

#### (1) Y 邸

Y 邸の微動計測により得られた速度波形の一例を図5に示す。速度波形を解析したフーリエスペクトルを図6に示す。フーリエスペクトルは2階 (2F と表示) の水平の

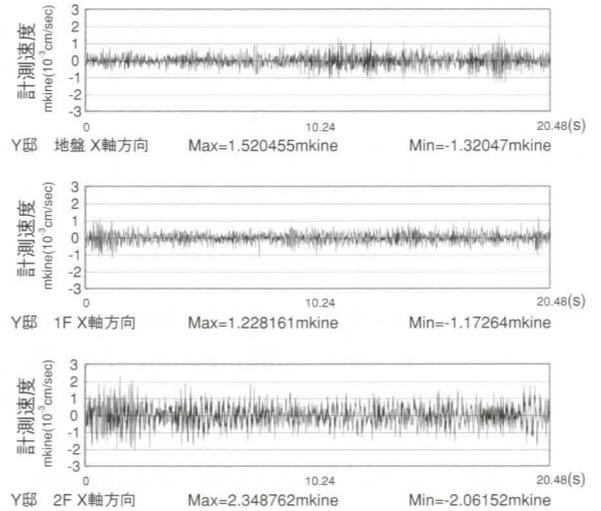


図5 Y 邸 速度波形

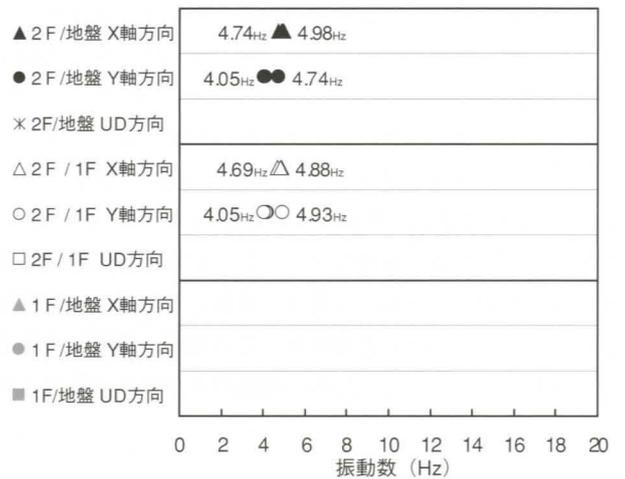


図8 Y 邸 卓越振動数一覧

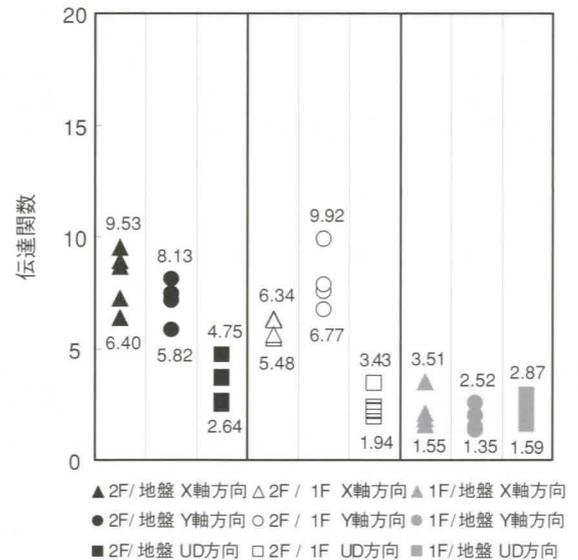


図9 Y 邸 伝達関数一覧

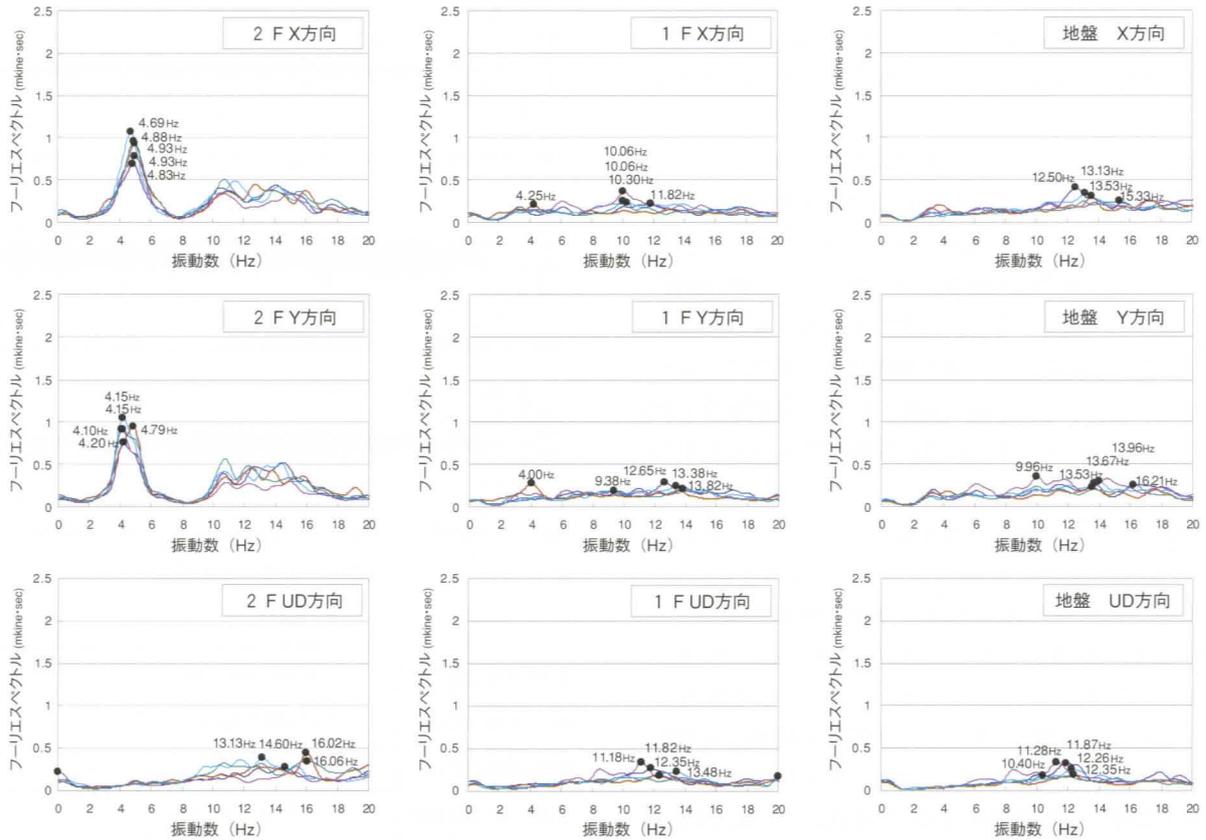


図6 Y邸 フーリエスペクトル

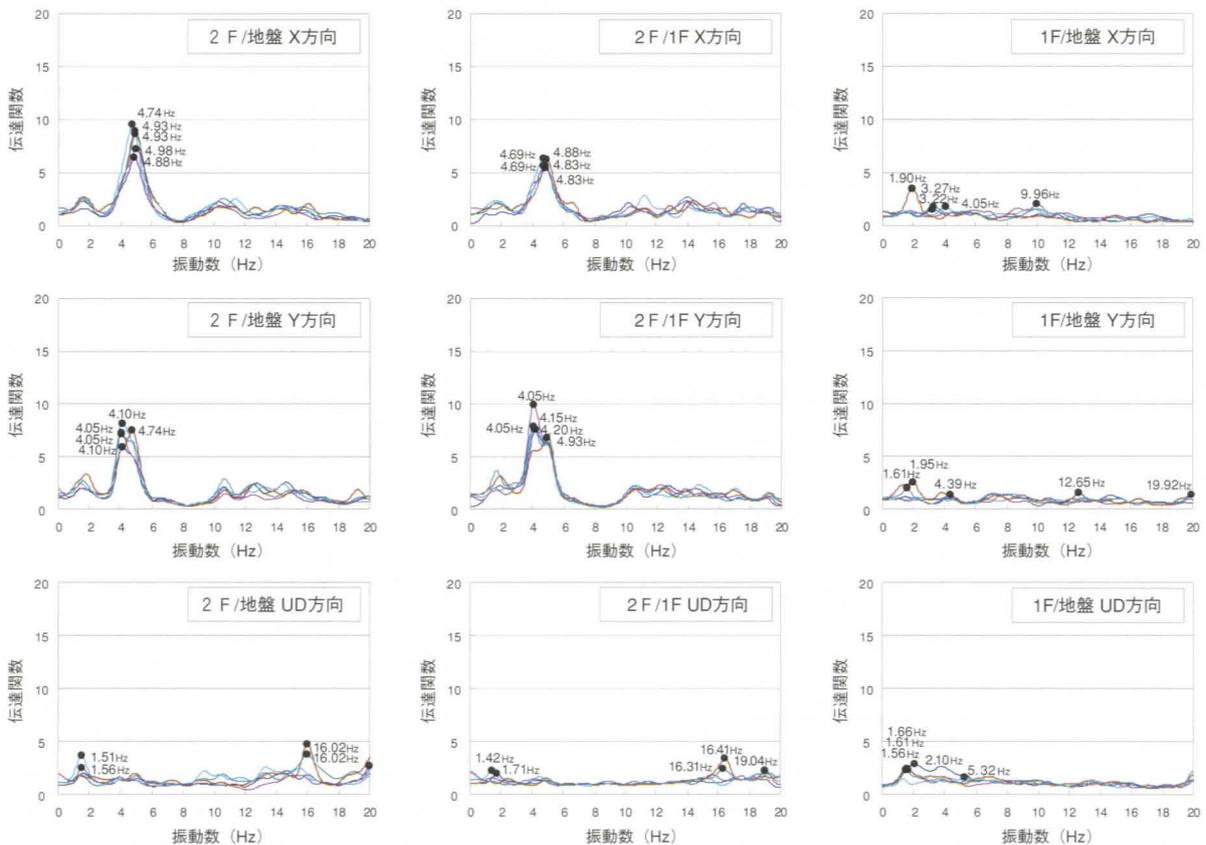


図7 Y邸 伝達関数

2方向で大きく卓越することが確認できる。各階とも上下方向については卓越するところは明確でない。1階（1Fと表示）、地盤については大きく卓越するところは確認出来ない。

伝達関数を図7に示す。伝達関数は2階について水平方向は大きくなるが、上下方向については水平方向に比べて大きくはならない。“2階/地盤”と“2階/1階”の伝達関数の値は異なるが卓越振動数はほぼ等しい。“1階/地盤”については水平、上下のすべての方向で大きくなり、ほぼ1に近いところにある。1階と地盤は良く似たスペクトル特性をもつといえる。長手方向の X 軸方向が短手方向の Y 軸方向よりわずかながら高い振動数をもつことがわかる。

伝達関数が大きく卓越する振動数をまとめたものを図8に、そのときの伝達関数の値をまとめたものを図9に示す。“2階/地盤”の伝達関数は明確な卓越振動数を持つ。X軸方向は4.74~4.98Hzで平均4.89Hz、標準偏差は0.10Hz、Y軸方向は4.05~4.74Hzで平均4.21Hz、標準偏差は0.30Hzである。“2階/1階”の伝達関数も明確な卓越振動数を持つ。X軸方向は4.69~4.88Hzで平均4.79Hz、標準偏差は0.09Hz、Y軸方向は4.05~4.93Hzで平均4.28Hz、標準偏差は0.37Hzである。一方、上下方向ならびに“1階/地盤”水平 X、Y軸方向で大きく卓越するところは確認出来ない。

(2) N 邸

N 邸の微動計測により得られた速度波形の一例を図10に示す。速度波形を解析したフーリエスペクトルを図11に、伝達関数を図12に示す。フーリエスペクトルは2階の水平方向 X、Yとも大きく卓越することが確認できる。しかし、1階、地盤については大きく卓越するところは確認出来ない。上下方向については各階・地盤とも、特に卓越するところはない。

伝達関数が大きく卓越する振動数をまとめたものを図13に、そのときの伝達関数の値をまとめたものを図14に示す。“2階/地盤”の X 軸方向は6.98~7.52Hzで平均7.36Hz、標準偏差は0.25Hz、Y軸方向は5.71~5.86Hzで平均5.78Hz、標準偏差は0.07Hz、上下方向は1.56~1.61Hzで平均1.57Hz、標準偏差は0.02Hzで明確な卓越振動数を持つ。“2階/1階”の X 軸方向は7.42~7.62Hzで平均7.50Hz、標準偏差は0.09Hz、Y軸方向は5.71~5.91Hzで平均5.86Hz、標準偏差は0.08Hzで明確な卓越振動数を持つ。“1階/地盤”の上下方向\*は大きな伝達関数を持ち、卓越するところをもつが、ばらつきが大きく評価は難しい。

“2階/地盤”と“2階/1階”の伝達関数の値は異なるが卓越振動数はほぼ等しい。長手方向の X 軸方向が短手

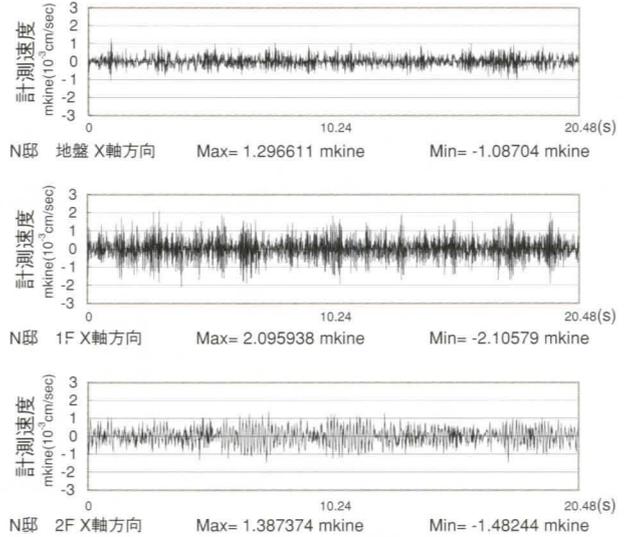


図10 N 邸 速度波形

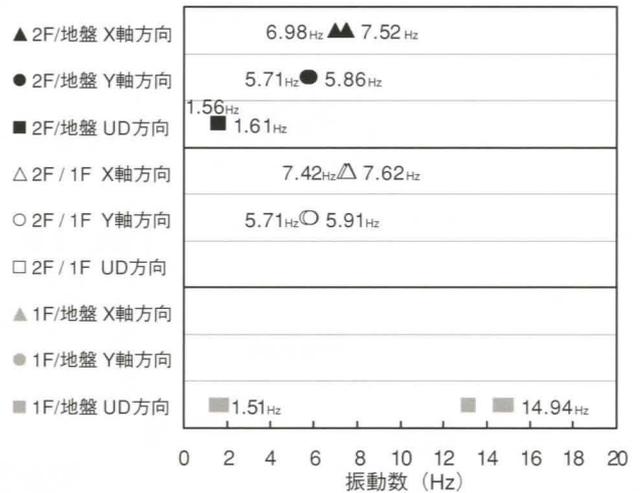


図13 N 邸 卓越振動数一覧

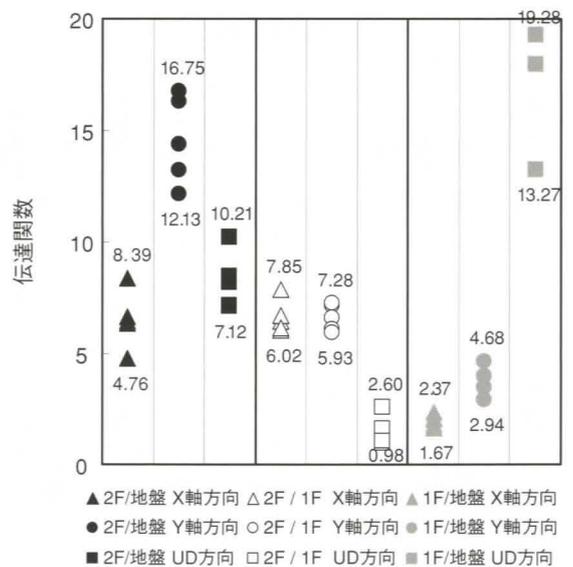


図14 N 邸 伝達関数一覧

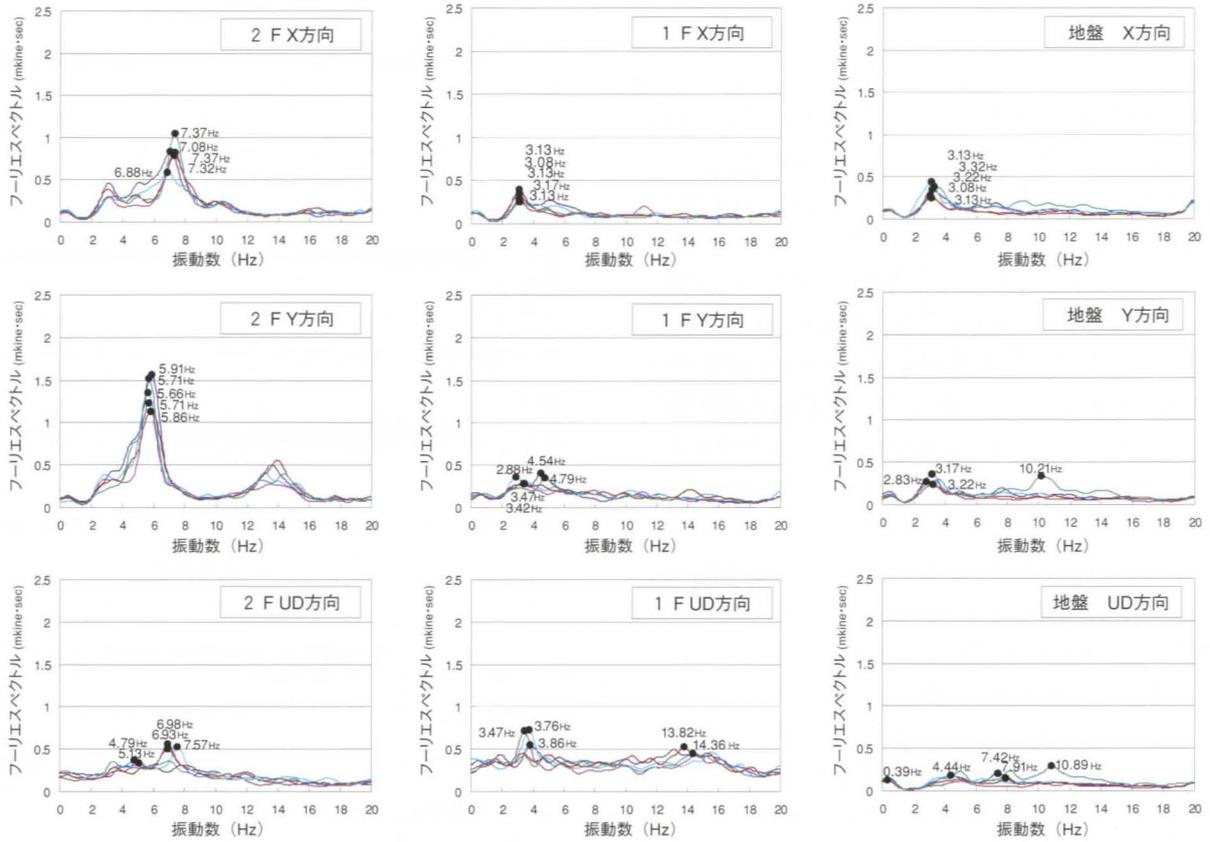


図11 N邸 フーリエスペクトル

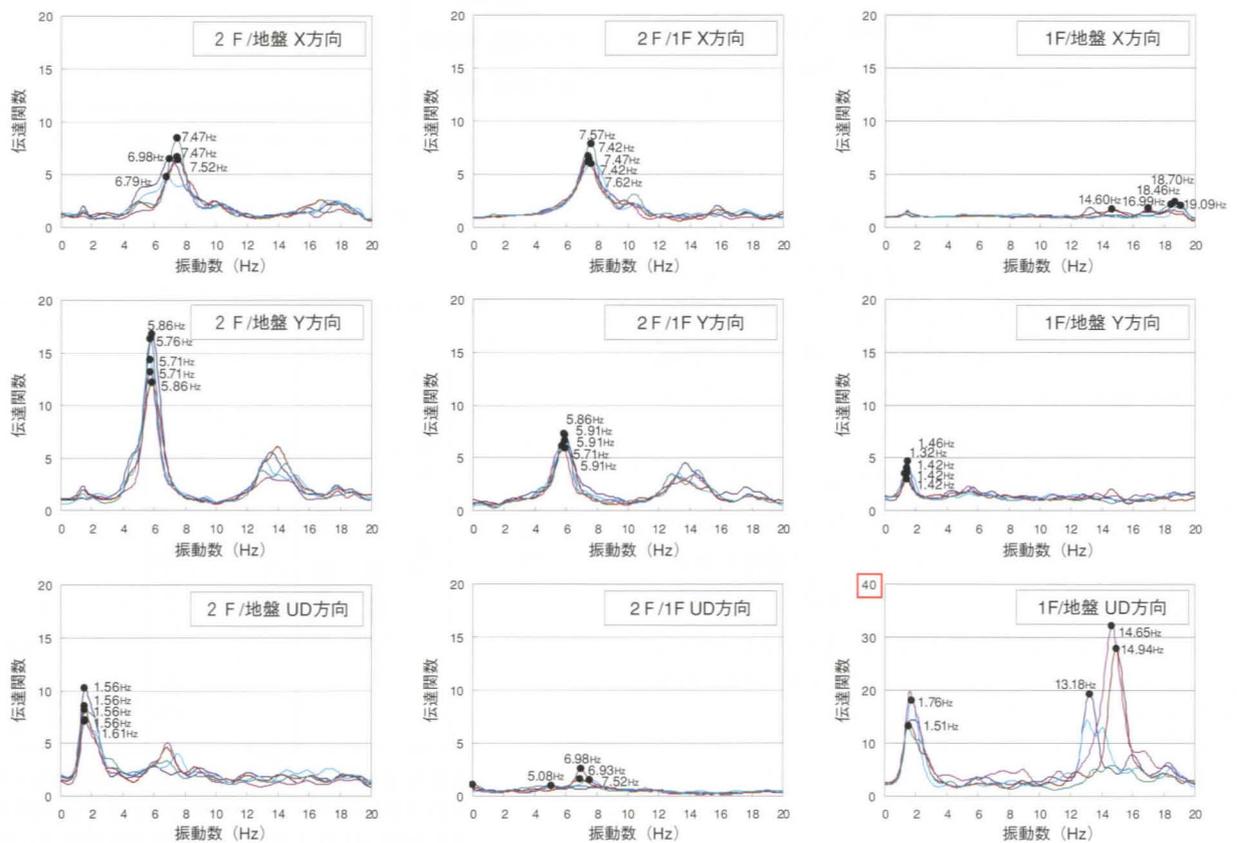


図12 N邸 伝達関数

方向の Y 軸方向よりも 1.5Hz ほど高い振動数をもつ。

(3) F 邸

F 邸の微動計測により得られた速度波形の一例を図15に示す。速度波形を解析したフーリエスペクトルを図16に、伝達関数を図17に示す。フーリエスペクトルは2階の水平方向で大きく卓越することが確認出来る。しかし、2階上下方向については卓越するところは確認出来ない。1階、地盤については水平、上下とも大きく卓越するところは確認出来ない。特に1階 Y 軸方向ではスペクトルが出ていない。計測に不備があったと考えられる。現地で速度波形の確認だけでなく、スペクトルの確認をする必要がある。従って、Y 軸方向スペクトル、伝達関数\*については参考程度とする。

伝達関数が大きく卓越する振動数をまとめたものを図18にそのときの伝達関数をまとめたものを図19に示す。“2階/地盤”の X 軸方向は 3.76~3.86Hz で平均 3.83Hz、標準偏差は 0.04Hz、Y 軸方向は卓越するところが多くあり評価しにくい。上下方向は 15.04~18.70Hz で平均 17.66Hz、標準偏差は 1.58Hz で明確な卓越振動数を持つ。

“2階/1階”の X 軸方向は 3.71~3.96Hz で平均 3.81Hz、標準偏差は 0.10Hz、Y 軸方向（参考程度としたが）は 3.22~3.71Hz で平均 3.57Hz、標準偏差は 0.20Hz、上下方向は 18.65~19.04Hz で平均 18.80Hz、標準偏差は 0.21Hz で明確な卓越振動数を持つ。“1階/地盤”で大きく卓越するところは特にない。“2階/地盤”と“2階/1階”の X 軸方向の卓越振動数はほぼ等しい。

3.3 まとめ

表2に木造家屋と周辺地盤の卓越振動数をまとめた。“2階/地盤”と“2階/1階”の卓越振動数に差はほとんど見られない。3件の家屋の卓越振動数にそれぞれ差はあるが、同じ家屋で5サンプルの時間領域の違いによる卓越振動数の標準偏差は小さく、ばらつきは少ないことがわかる。

盛土・切土の境界付近の地盤の卓越振動数と瓦屋根を有するような重い木造家屋の卓越振動数とは 0.5Hz~1Hz の差はあるものの、共振に近い現象を生じる可能性もある。丘陵の宅地造成地の盛土部、またその境界付近に建つ木造家屋の地震被害は、地盤の卓越振動の差異が顕著に現れている可能性は高い。瓦屋根を有する家屋の振動特性が被害を生じた原因となっている可能性も認められる。

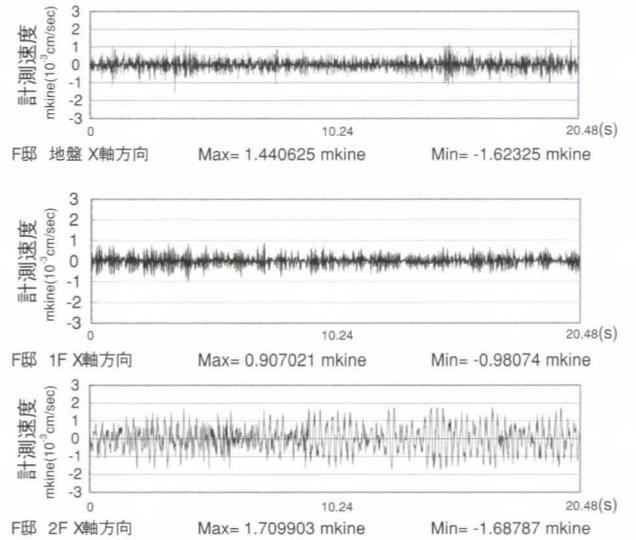


図15 F 邸 速度波形

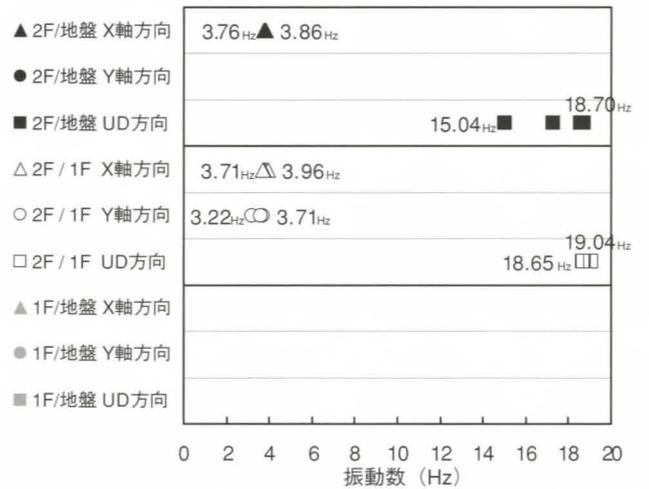


図18 F 邸 卓越振動数一覧

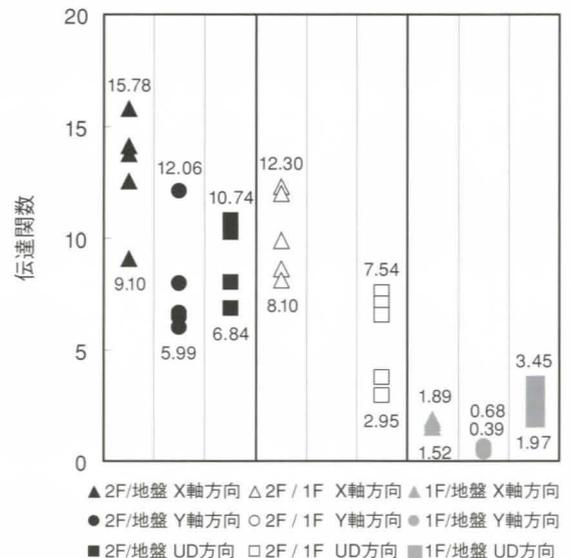


図19 F 邸 伝達関数一覧

\*一部伝達関数の縦軸のスケールを変えている。

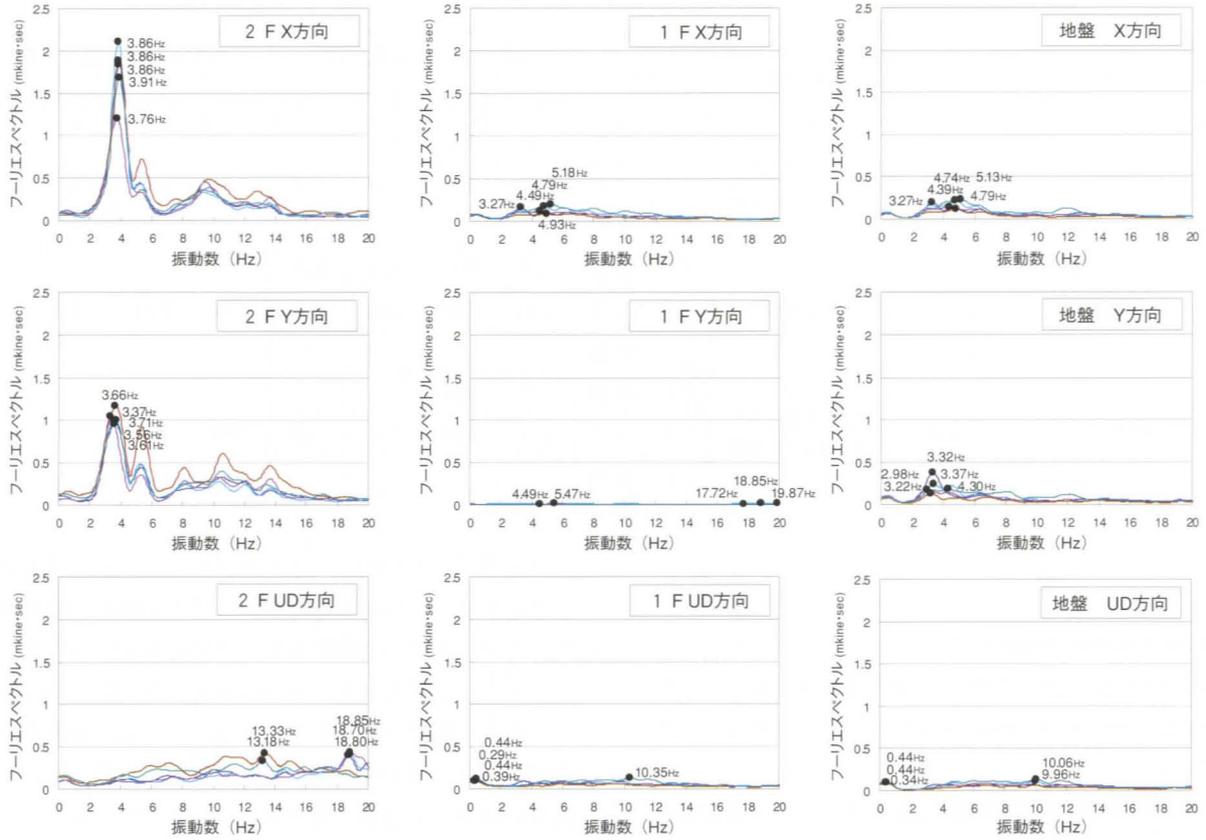


図16 F 邸 フーリエスペクトル

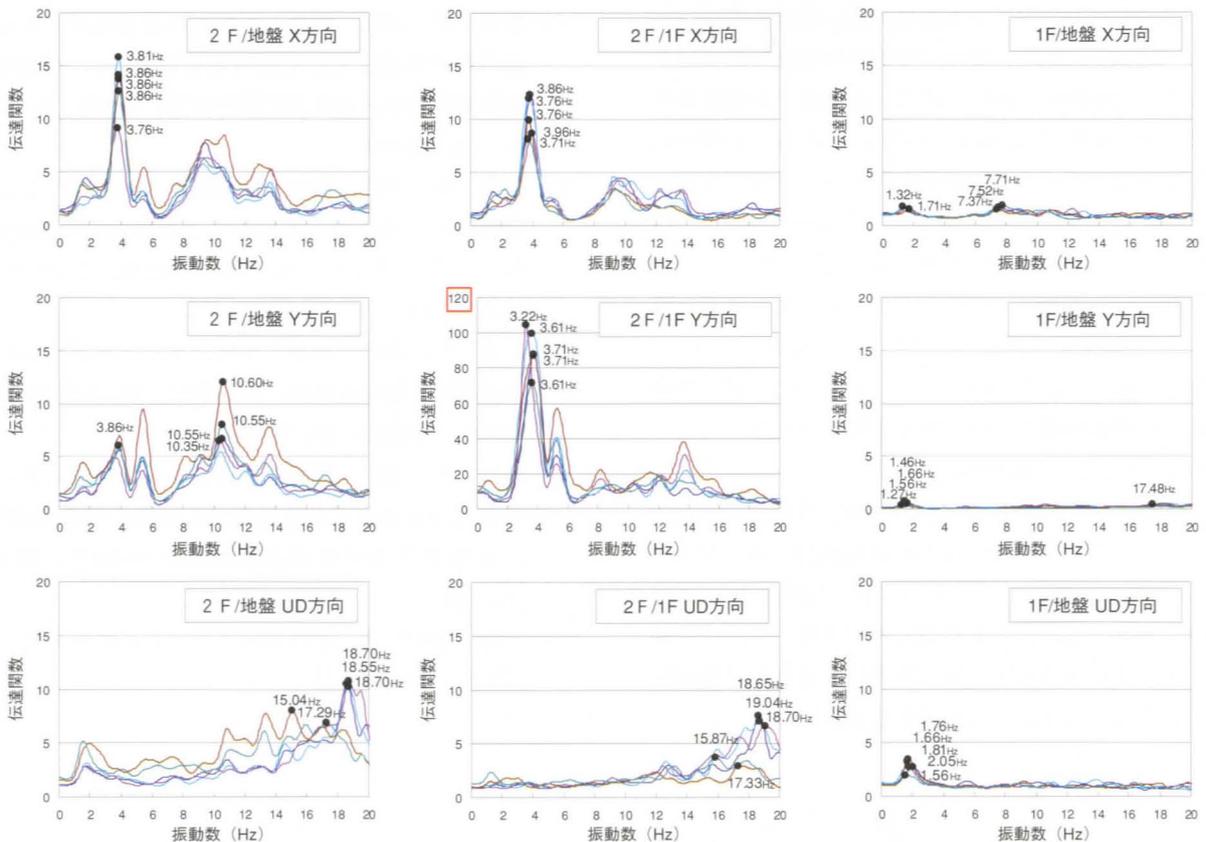


図17 F 邸 伝達関数

表2 木造家屋と地盤の卓越振動数

	建築年	屋根の種類	地盤の種類	階数	建物の卓越振動数 (Hz)				地盤の卓越振動数 (Hz)			
					X軸方向	標準偏差	Y軸方向	標準偏差	X軸方向	標準偏差	Y軸方向	標準偏差
Y邸	1979年	日本瓦屋根	切土・盛土の境界の切土地盤	2F / 地盤	4.89	0.10	4.21	0.30	3.24	0.45	3.13	0.15
				2F / 1F	4.79	0.09	4.28	0.37				
				1F / 地盤	-	-	-	-				
N邸	1980年中頃	セメント石綿版屋根	盛土地盤	2F / 地盤	7.36	0.25	5.78	0.07	2.76	0.06	2.45	0.11
				2F / 1F	7.50	0.09	5.86	0.07				
				1F / 地盤	-	-	-	-				
F邸	1984年	日本瓦屋根	切土・盛土の境界の切土地盤	2F / 地盤	3.83	0.04	-	-	2.97	0.11	3.01	0.19
				2F / 1F	3.81	0.10	3.57	0.20				
				1F / 地盤	-	-	-	-				

#### 4. 結 論

木造家屋と地盤の振動特性ならびに2001年芸予地震による被害との関連性を調べるため、廿日市市阿品地区において木造住宅と地盤の常時微動計測を行った。結果は、次の通りである。

- (1) 木造2階建家屋の常時微動によるスペクトルを水平成分の長手方向をX軸方向、もう一方向をY軸方向としてまとめた場合、木造家屋の伝達関数はX軸方向・Y軸方向ともに2階では明確な卓越振動数をもつ。築20年程のセメント石綿版の軽い屋根の家屋では5.78~7.50Hzにあり、築20~25年の日本瓦屋根家屋では3.57~4.89Hzにある。特に、瓦屋根で土壁を有するやや重い家屋では3.57~3.83Hzにある。1階の伝達関数では明確な卓越振動数をもたず、2階と1階では明確な差が現れている。また長手方向であるX軸方向のほうがやや高い卓越振動数をもつ。
- (2) 阿品地区での地盤のH/Vスペクトルは切土部では際立った卓越振動をもたないが、盛土部では2.45~2.76Hz、盛土・切土の境界付近では2.97~3.24Hzの振動域で卓越振動数をもつ。盛土地盤より盛土・切土の境界付近が高い卓越振動数をもつ。
- (3) 盛土・切土の境界付近の地盤の卓越振動数と瓦屋根を有するような重い木造家屋の卓越振動数とは0.5Hz~1Hzの差はあるものの、共振に近い現象を生じる可能性もある。丘陵の宅地造成地の盛土部、またその境界付近に建つ木造家屋の地震被害は、地盤の卓越振動の差異が顕著に現れている可能性は高い。

#### 謝 辞

本研究の実施には平成16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(研究代表者名:岩井 哲)の補助金を一部利用させていただきました。また、使用した住宅地図 Zmap-TOWN IIは株ゼンリンからご提供頂きました。木造住宅の常時微動調査には藤原健蔵氏、横山和典氏、難波督雄氏、ならびに住宅にお住まいの方々にご協力頂きました。ここに、記して深く感謝します。

#### 参 考 文 献

- 1) 岩井 哲, 浅野 照雄:平成13年芸予地震による丘陵造成地の木造住宅瓦屋根被害と地盤の常時微動特性, 自然災害科学, 日本自然災害学会, Vol.22, No.4, 2004年, pp.429-440.
- 2) 岩井 哲, 浅野 照雄:平成13年芸予地震による丘陵造成地の木造住宅瓦屋根被害と地盤の常時微動特性, 広島工業大学紀要 研究編 第38巻, 2004年2月, pp.111~120.
- 3) 岩井 哲, 浅野 照雄:平成13年芸予地震による木造家屋被害と地盤の関係, 日本建築学会学術講演梗概集, 2002年, 構造II, pp.17-20.
- 4) 岩井 哲, 浅野 照雄:平成13年芸予地震による丘陵造成地の木造住宅瓦屋根被害と地盤の常時微動特性, 日本建築学会学術講演梗概集, 2003年, 構造II, pp.77-80.
- 5) 大崎 順彦:新・地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 1994年5月