

# 福井土木事務所地点のH/Vスペクトルの特性について

安井 謙・植本安彦・野口竜也・小嶋啓介・前田寿朗

## H/V Spectra Characteristics of the Fukui Doboku Jimusho Site

Yuzuru Yasui<sup>\*1</sup>, Yasuhiko Uemoto<sup>\*2</sup>, Tatsuya Noguchi<sup>\*3</sup>, Keisuke Kojima<sup>\*4</sup>  
and  
Toshiro Maeda<sup>\*5</sup>

Because the Fukui Doboku Jimusho site is the only one point where PS logging test was done up to the depth that reaches on the tertiary layer in Fukui plain, it has been often used as a reference point of the microtremor measurement. Authors also conducted microtremor observations in the point at the fixed time for about one year, and found that H/V spectra observed were divided roughly into two types : one having single peak at about 1.6Hz and the other having two peaks at about 1.6Hz and 0.8Hz. And it was guessed that the appearance of the peak of about 0.8Hz had relation to the wave height of the Sea of Japan. It has been understood not to be able to simulate the two types by one model simultaneously through the numerical analysis by using 2-D FEM.

### 1. はじめに

1948年に起こった福井大地震の再来に備えその被害を最小限に抑えるためには、適正な地盤モデルを構築して正確に地震動予測を行うことが必要である。また、地盤モデルの構築にはPS検層などにより直接的に地盤の速度構造を探查した地点が必要で、その深さは深いほど、その数は多いほどよい。ところが、福井平野では第3紀層まで到達する深さまで調査された地点は福井土木事務所<sup>1)</sup>しかない。一方、地盤構造を探查する手法の分野の一つに常時微動観測に基づく探查法がある。微動探查法は経済的で機動性に富む手法なので多用されており、福井平野でも微動アレイ観測法<sup>2)</sup>やH/Vスペクトル法<sup>3)</sup>に基づく探查が試みられてきた。これらの微動探查法により地盤構造を推定する際、その構造が精査された地点があれば探查手法の妥当性やモデル化に当たっての留意点が確認できて都合がよい。福井土木事務所地点はこうした参照地点、すなわちレファレンスポイントとし

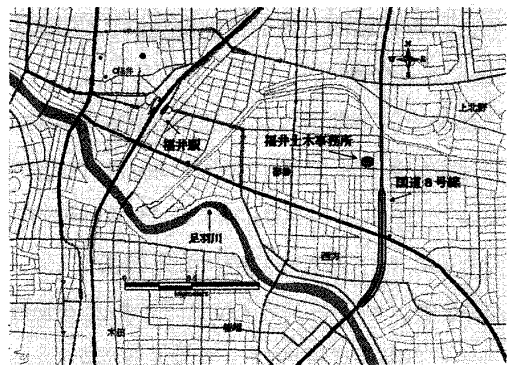


図-1 福井土木事務所地点

\*<sup>1</sup> 建設工学科, \*<sup>2</sup> 同大学院生, \*<sup>3</sup> 鳥取大学工学部土木工学科, \*<sup>4</sup> 福井大学工学部建築建設工学科, \*<sup>5</sup> 早稲田大学理工学部建築学科

てしばしば活用されてきた<sup>3),4)</sup>。著者らも、H/V スペクトル法により福井平野の面的な地盤構造を把握することを考え、手始めに当該地点で常時微動観測を行ったところ、観測日より異なる性状を示すことが認められた<sup>5)</sup>。本来、H/V スペクトル<sup>6)</sup>は観測日時や微動源によらず安定的に当該地点の地盤特性を示すといわれており、福井平野の唯一のレファレンスポイントにおける特異な現象の原因を究明することは微動探査法を同平野に展開する上で意義があるものと考え、種々の検討を加えることとした。

2. 福井土木事務所地点について

福井土木事務所地点は、福井市城東4丁目28番1号にある。図-1に同地点の位置を示すが、同地点の東側約50mの位置に国道8号線が通っている。現在、PS 検層が行われたボーリング孔は埋め戻されており、その直上にはプレハブ形式の水防倉庫が建っている。表-1に同地点の地盤速度構造<sup>1)</sup>を示す。地表面からやわらかい地盤の沖積層が続いた後、GL-24m~GL-32mにS波速度が590m/secの硬い層(中間支持層)があり、その下にS波速度290m/secの比較的軟らかい層が約20m続き、さらにその下にS波速度660m/secの礫を主体とする厚さ96mの地盤が続き、GL-150mでS波速度1,800m/secの第3紀層の火山岩が現われる。

図-2に同地点で得られたH/V スペクトルの2つのタイプを示す。タイプAは1.6Hz付近にピークを有する単峰型のスペクトルで、タイプBは1.6Hzのほかに0.8Hzにもピークを有する複峰型のスペクトルである。

3. 定点常時微動観測と移動観測

H/V スペクトルが2つのタイプに大別された要因を検討するために、定点観測、周辺移動観測および広域同時観測を行った。

3.1 定点観測

福井土木事務所における定点定時観測は、2003年4月25日から2004年4月15日の期間に行われた(2003年8月26日から2003年12月17日は欠測)。測定時間は、2003年4月25日から2003年5月15日の場合は30分とし、2003年5月16日から2004年4月15日の場合は15分とし、いずれも15時に測定開始とした。使用計器は、携帯型の加速度計(アカシ製 GPL-6A3P)で、倍率は1,000倍、ローパスフィルターの折点周波数は5Hz、サンプリング周期は0.01secとした。

データ解析の手順は以下のようなものである。まず、対象とする微動観測記録から雑音が少ない20.48秒の区間を10個から20個選択し、これら各区間の水平2成分・上下1成分の区間波形( $X_i, Y_i, Z_i$ )のフーリエスペクトル( $H_{X_i}, H_{Y_i}, V_i$ )を求める。次に、水平2成分のRMS値を求めそれを水平スペクトル( $H_i$ )とし、この水平スペクトル

表-1 福井土木事務所地点の地盤速度構造

深度 (m)	層厚 (m)	地層名	質量 (ton/m <sup>3</sup> )	S波速度 (m/sec)	P波速度 (m/sec)	
0	4	盛土など	1.8	80	600	
4	12	沖積層	細砂・中砂など	1.7	155	1,500
16	8		砂質粘土など	1.8	225	1,500
24	8		砂礫	2.1	590	1,500
32	22	洪積層	細砂など	1.8	290	1,500
54	96		礫質土	2.1	660	1,500
150	-	第3紀層	火山岩類	2.5	1,800	3,800

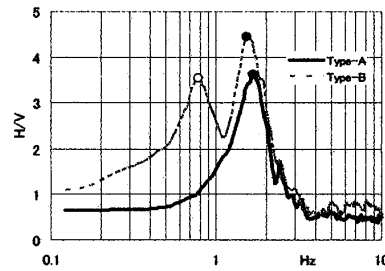


図-2 H/V スペクトルの2つのタイプ

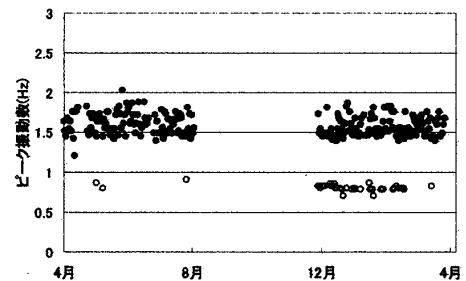


図-3 H/V スペクトルの経日変化

と上下スペクトル( $V_i$ )を選択区間の個数で相加平均する。続いて、それらの絶対値を 0.3Hz の Parzen Window で平滑化したものを、それぞれ水平スペクトル(H)と上下スペクトル(V)とし、HをVで除したものをH/V スペクトルとした。

(1) 経日観測

図-3 に H/V スペクトルのピーク振動数の経日変化を示す。ここに(○)印は、(●)印のピーク値の 70%以上あるものを選んでいいる。概して、1.6Hz 付近のピークは定常的に観測されるのに対して、0.8Hz 付近のピークは 12月～3月の冬期に現われる頻度が高いことがわかる。

(2) 経時観測

図-4 に H/V スペクトルのピーク振動数の経時変化を示す。観測期間は 2003年4月25日から5月11日である。経日変化と同様に(○)印は、(●)印のピーク値の 70%以上あるものを選んでいいる。1.6Hz 付近のピークは定常的に観測され、0.8Hz 付近のピークは間欠的に現われることが確認される。なお、0.8Hz 付近のピークが現れる時間は比較的静穏と思われる時間帯にあることが注目される。

3.2 周辺移動観測

H/V スペクトルへの国道 8 号線の車両振動の影響をみるために同国道に直交する測線上で移動観測を行った。測定は 2005年12月7日の13時から16時にかけて実施した。図-5 に H/V スペクトルのピーク振動数を、国道 8 号線からの距離に対してプロットしたものを

示す。1.6Hz 付近のピークは定常的に現われたが、0.8Hz 付近のピークはまったくみられなかった。

3.3 広域同時観測

福井土木事務所地点の H/V スペクトルの特性と福井平野の堆積層の地盤増幅特性との関連性を検討するために、福井土木事務所地点と、同地点の南西 3.5km にある足羽山地点(ASW)、および南東 4.0km の東山地点(HGY)において 3 点同時観測を行った。測定日は 2006年4月22日で、測定時間は同日の12時50分から13時20分の30分間である。図-6 に DBK、ASW および HGY の H/V スペクトルを示す。DBK には 1.6Hz 付近にピークが見られるが、ASW と HGY では目立ったピークは見られない。従って、1.6Hz 付近のピークは堆積層の影響により生じたものと考えられる。図-7 に ASW に対する DBK と HGY の EW 成分のフーリエスペクトル比を示した。同図から、DBK の ASW に対する 1.3Hz 付近のピーク値は約 20 倍と大きいことが認められる。また、0.8Hz 付近の応答倍率も約 10 倍と大きい。

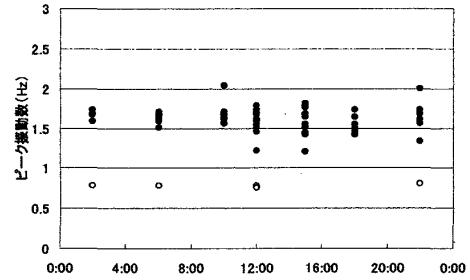


図-4 H/V スペクトルの経時変化

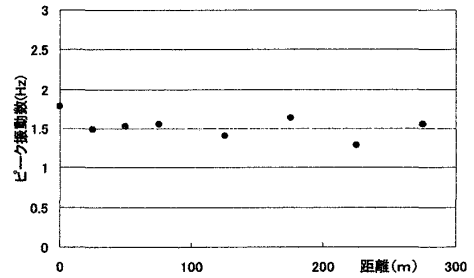


図-5 国道 8 号線からの距離との関係

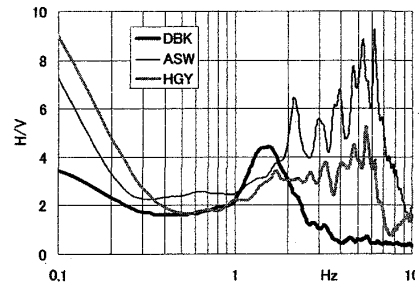


図-6 H/V スペクトル

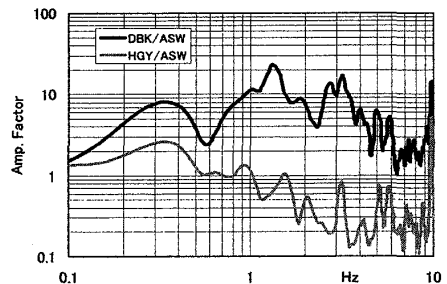


図-7 EW 成分のスペクトル比

一方で、0.5Hz から 2Hz の範囲では ASW と HGY は大略同様な動きをしているものと考えられることから、定点・定時観測に現れた 2 つのピークは基盤（岩盤路頭）に対する堆積層の増幅特性と何らかの関係があることが推察される。なお、上述したように DBK の ASW に対する 1.3Hz 付近のピーク値が大きいことから堆積層の重複反射だけでは説明できない可能性も残されている。

#### 4. H/V スペクトルの特性と気象との関連について

H/V スペクトルの 0.8Hz のピークの出現と気象との関連について検討した。

##### 4.1 波高

図-8 に、京都府京丹後市の経ヶ岬<sup>7)</sup>で 2003 年 4 月から 2004 年 4 月の期間に観測された波高（有義波高<sup>8)</sup>）の経日変化<sup>9)</sup>を示す。0.8Hz 付近のピークが集中的に現われた時期は波高が高いことが分かる。また、3 月から 4 月の時期は 0.8Hz 付近のピークの出現頻度が減少することから 0.8Hz 付近のピークが現れる波高の閾値は 2m 程度であると考えられる。なお、文献 4) の観測は 5 月で、文献 3) の観測は 12 月である。

##### 4.2 地下水

図-9 に、福井県福井市木田 1 丁目 1360 の明倫中学校校庭内にある木田観測所で 2003 年 4 月から 2004 年 4 月までに観測された地下水の経日変化を示す。融雪のため 1 月から 2 月の水位が急激に低下しているが、0.8Hz 付近のピークが現われる 12 月から 3 月の時期と重なる期間は短いことから、地下水の影響はないものと推察される。

##### 4.3 風

図-10 は福井県福井市豊島 2-5-2 の福井地方気象台で 2003 年 4 月から 2004 年 4 月までに観測された最大風速の経日変化<sup>10)</sup>を示す。風速に季節的な強弱はみられないことから、0.8Hz 付近のピークの出現に風の影響はないものと考えられる。

##### 4.4 地震

福井土木事務所地点では別に地震観測が行われている。観測装置は SMAD-3IC で、3 成分の加速度を 0.01 秒間隔で記録している。表-2 に観測された地震波の諸元

<sup>11)</sup>を示す。また、図-11 に観測地震波の H/V スペクトルを示す。0.8Hz 付近のピークが微動観測のものに比べ

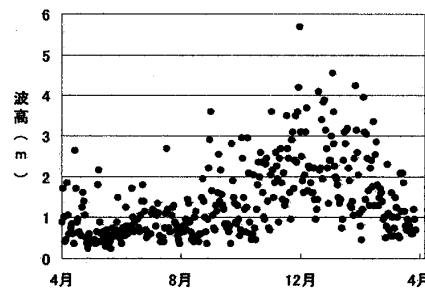


図-8 波高の経日変化

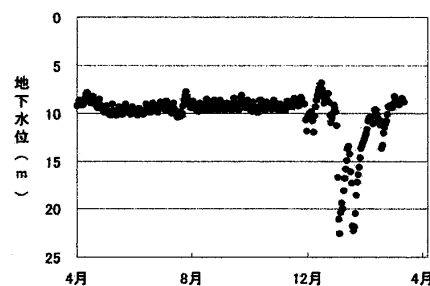


図-9 地下水の経日変化

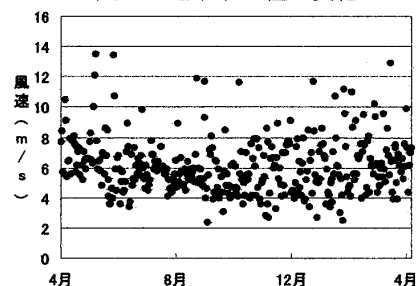


図-10 風速の経日変化

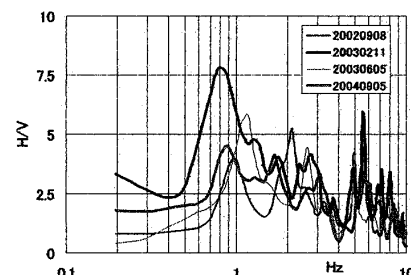


図-11 地震波の H/V スペクトル

表-2 観測地震波の諸元

年	月	日	緯度	経度	M	深さ	震央距離	$\theta$	$\theta_s$
2002	9	8	35.967	136.573	3.9	10	32	72.6	32.5
2003	2	11	36.053	136.342	4.0	6	10	59.0	28.8
2003	6	5	36.267	136.311	4.2	12	26	65.2	30.7
2004	9	5	33.032	136.797	6.9	38	338	83.6	34.0

て顕著に現われているが 1.6Hz 付近のピークは明瞭にはみられない。なお、表-2 の  $\theta$  は震央距離と震源深さから求めたもので、 $\theta_s$  は後述する解析モデルへの入射角で、 $\theta$  から地震基盤の S 波速度を 3,200 m/sec とし定めたものである。震源からの伝播経路を考慮すると実際の  $\theta_s$  は 30 度以下と考えられる。

4.5 豪雨

福井豪雨<sup>12)</sup>では2004年7月18日の未明より降雨が始まり24時間降水量338mmが記録された。そこで、福井豪雨とH/Vスペクトルの関係について検討を行った。図-12に福井豪雨前後2ヶ月のH/Vスペクトルのピーク振動数の経日変化を示す。豪雨当日に0.8Hz付近のピークが出現したが、その後しばらく0.8Hz付近のピークはみられないことから、福井豪雨との関連はないものと推察された。なお、地下水位測定のための木田観測所は豪雨のため計測不能となったことを付記しておく。

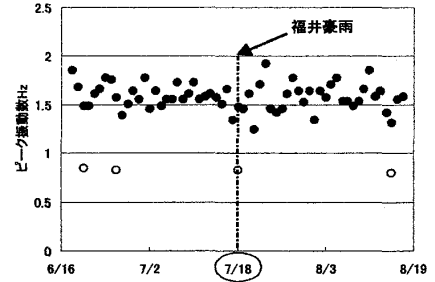


図-12 前後2ヶ月のH/Vスペクトル

5. シミュレーション解析

2つのタイプのH/Vスペクトルが生じた原因を解析的に検討するために2次元FEMモデルでシミュレーション解析を行った。

5.1 解析モデル

解析手法は、側面に波動伝達境界を、底面に粘性境界を有する2次元FEM<sup>13),14)</sup>である。図-13に解析モデルを示す。解析振動数範囲を0.3Hzから2.5Hzとし、最大波長の2分の1を目安としてモデルの深さを、最小波長の6分の1以下になるように最小メッシュ幅をそれぞれ定めた<sup>15)</sup>。ここに、解析モデルの幅は4mで水平方向に4等分してあり、深さは3,150mで薄層の数は64層(底面粘性境界を含む)である。また、地表面には幅2m、根入れ深さ1mの剛基礎を設置し、これを加振することにより生活振動を模擬した。ところで、地盤増幅特性の計算や生活振動を模擬した地表面基礎加振解析では図-13に示したモデルの他にGL-150m、GL-54mとGL-24mに底面粘性境界を設置した「浅いモデル」も対象とした。そこで、深さ3,150mを有する図-13のモデルを「深いモデル」と呼んで区別することとする。

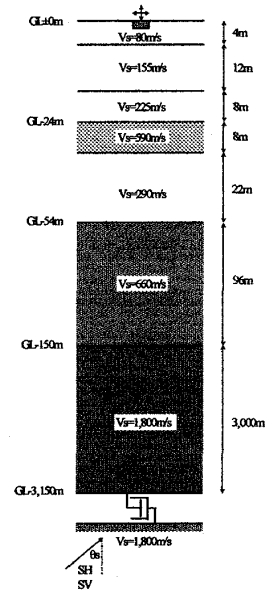


図-13 解析モデル

また、図-13のS波速度590m/secの間支持層以浅の地盤の卓越振動数 $f_G$ を式(1)により計算すると1.53Hzとなり、観測のH/Vスペクトルに定常的に現れたAタイプのピーク振動数

$$f_G = \frac{1}{4 \sum_{i=1, n} \frac{H_i}{V_{Si}}} \quad (1)$$

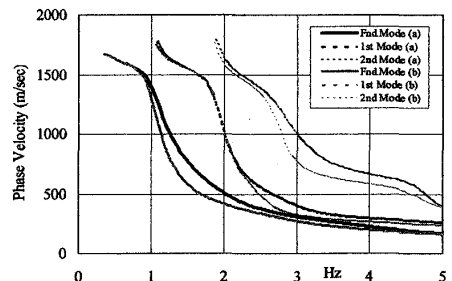


図-14 レイリー波の分散曲線

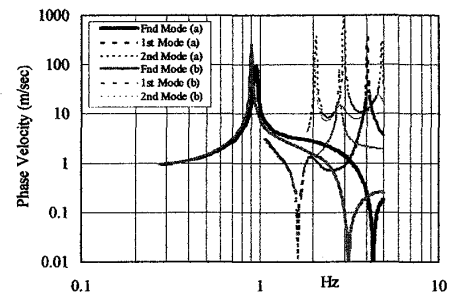


図-15 表面波モードのH/Vスペクトル

1.6Hz に近い。そこで、深いモデルについては図-13 の「中間支持層を考慮したモデル (ケース a)」の他に中間支持層が直下の地盤と同じ物性を有するとした「中間支持層がないモデル (ケース b)」についても検討を行うこととした。ここに、 $V_{si}$  と  $H_i$  はそれぞれ中間支持層以浅の  $i$  層の S 波速度と層厚である。

### 5.3 解析ケースと解析結果

#### (1) 分散曲線

図-14 に自由地盤のレイリー波の分散曲線を示す。ケース a と ケース b の基本モード(Fundamental mode)、1 次モード(First mode)と 2 次モード(Second mode)をそれぞれ比較している。ケース a と ケース b に大きな差は見られない。

#### (2) 表面波モードの H/V スペクトル

図-15 に表面波モードの H/V スペクトル<sup>16)</sup>を示した。同図をみるとケース a とケース b とともに 1.0Hz 付近と 2Hz 付近にピークがみられる。両ケースともに 1.6Hz 付近にはピークはみられない。

#### (3) 地盤増幅特性

H/V スペクトルは地盤増幅特性と関連が深いといわれている<sup>9),17)</sup>。図-16 に GL-24m、GL-54m および GL-150m に正弦地動が入射したときの地表面の増幅特性をそれぞれ示した。GL-150m 入射の場合のピーク振動数は 1Hz 付近と 2Hz 付近にあり、ケース a と b の間に大きな差はみられない。GL-54m 入射の場合は 1.3Hz 付近にピークが現われていて、GL-150m 入射の場合と同様にケース a と b の間に大きな差はみられない。GL-24m 入射では 2Hz 付近にピークがみられる。

#### (4) 地震波の斜め入射解析

図-17 に地震波が斜め入射したときの地表面での H/V スペクトル<sup>18)</sup>を示した。入射角度が 15 度、30 度および 45 度の場合について示してある。入射角度が 15 度と 30 度の計算結果は、図-11 の 2003 年 6 月 5 日の地震を除いて、観測結果とほぼ対応している。なお、図-17 はケース a であるが、ケース b との差はほとんどないことを付記しておく。

#### (5) 地表面加振解析

図-18 に地表面加振により求めた深いモデルの H/V スペクトルを示した。基礎を、面内の上下と水平に、さらに、面外の水平に、それぞれ単位変位加振したときの 1,550m までの 50m ピッチ位置の地表面の水平および上下応答成分に距離を乗じたものの二乗平均値<sup>17)</sup>から求めた H および V から H/V を計算したものである。同図からわかるように、大局的にはケース a、b とともに 1Hz 付近でピークを示し、深いモデルを地表面加振したとき、観測に現れた 2 つのタイ

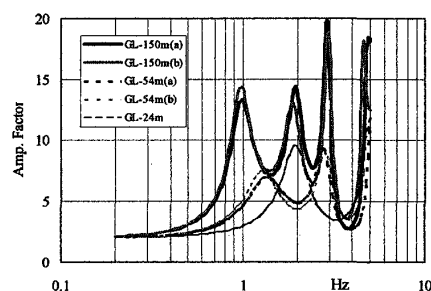


図-16 地表面の地盤増幅特性

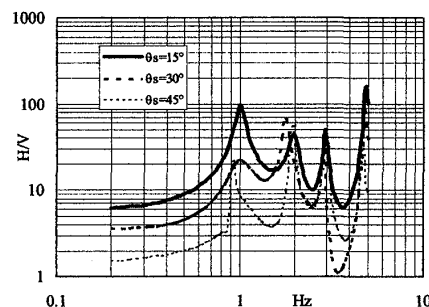


図-17 地震波が斜め入射したときの地表面での H/V スペクトル

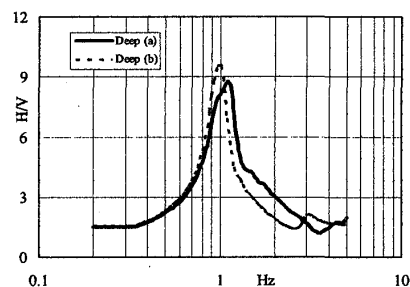


図-18 深いモデルの H/V スペクトル

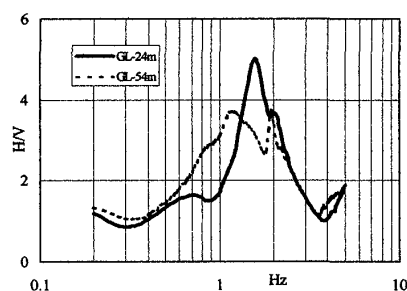


図-19 浅いモデルの H/V スペクトル

ブを解析的に再現することができなかった。また、中間支持層の影響はないものとも考えられた。

図-19に地表面加振により求めた浅いモデルのH/Vスペクトルを示した。ここに、GL-54mは中間支持層があるケースを示してある。GL-24mケースについてみると、1.6Hz付近に単一のピークを有していることがわかる。

## 6. 結論

以上の検討の結果得られた結論は以下のようである。

- 1) 福井土木事務所地点で観測されたH/Vスペクトルは、2つのタイプに大別されることがわかった。タイプAは1.6Hz付近に単峰型のピークを有するもので、タイプBは1.6Hz付近の他に0.8Hz付近にもピークを持つ複峰型のものである。
- 2) 経日変化を検討した結果、H/Vスペクトルの1.6Hz付近のピークは定常的に現れるのに対して、0.8Hz付近のピークは12月から3月の冬季に表れる頻度が高いことがわかった。また、経時変化をみたところ、1.6Hz付近のピークは定常的に現れたが、0.8Hz付近のピークも静穏な時間帯に間欠的に現れることがわかった。国道8号線からの距離をパラメータとして行った周辺移動観測結果から、距離によらず1.6Hzのピークが定常的に現れることがわかった。広域同時観測結果から、堆積層の地盤増幅特性と0.8Hzと1.6Hzのピークは何らかの関連があるものと推察された。
- 3) 波浪との関連について検討した結果、10月から3月にかけて波高が高くなり0.8Hz付近のピークが現れる時期と重なることがわかった。また、0.8Hz付近のピークが出現する波高の閾値は2m程度であると考えられた。地下水との関連について検討した結果、融雪のため1月と2月の2ヶ月間に地下水位が低下しているが、0.8Hz付近のピークが出現する時期と重なる期間が短いためタイプBの出現との関係はないものと考えられた。風との関連について検討した結果、特定の時期に集中して風速が大きくなるため0.8Hz付近のピークとは関係がないものと考えられた。
- 4) 地震観測波のH/Vスペクトルを検討した結果、0.8Hz付近のピークが卓越しているのに対して1.6Hz付近のピークは明瞭には見られなかった。0.8Hz付近のピークは地下深部が刺激される場合に発生する可能性が高いことを示している。
- 5) 特別な場合として福井豪雨時のH/Vスペクトルについて検討を行った。豪雨の影響で0.8Hz付近のピークが出現した可能性は小さいものと判断された。
- 6) 2つのタイプのH/Vスペクトルが生じた原因を解析的に検討するために2次元FEMモデルでシミュレーション解析を行った。観測で得られた1.6Hz付近のピークと中間支持層との関連を、分散曲線、表面波モードのH/Vスペクトル、地盤増幅特性、地震波の斜め入射波解析および生活振動を模擬した地表面加振解析により検討したが、中間支持層の影響はないものと判断された。
- 7) 地下深部の構造が反映されると考えられる表面波モードのH/Vスペクトル、地盤増幅特性および地震波の斜め入射波解析の解析結果には、0.8Hz付近のピークが再現された。特に入射角15度と30度の地震波の斜め入射波解析結果は観測結果とよく一致した。
- 8) 深いモデルにより生活振動を模擬した地表面加振解析を行った結果、タイプBの0.8Hz付近のピークは再

現されたが、タイプ A の 1.6Hz のピークは再現されなかった。そこで、浅いモデルを用いて同様な解析を行った結果、中間支持層上面で底面粘性境界を有するモデルにおいて 1.6Hz のピークが再現された。

- 9) タイプ B の 0.8Hz 付近のピークは波浪や地震のように地下深部が刺激されたときに生じ、タイプ A の 1.6Hz のピークは地表面の生活振動源により生じると考えられる。また、1.6Hz のピークを再現するためには浅いモデルが必要であったが、これは生活振動源による振動が地盤の減衰や地盤の局所的な不整形性のため地下深部まで到達しない場合があることを示しているといえる。

## 謝辞

福井市市民生活部環境事務所環境保全課より地下水位に関するデータを提供していただきました。東京工業大学の瀬尾和大教授から貴重な助言を頂きました。分散曲線の計算結果の妥当性を確認するために工学院大学の久田嘉章教授のプログラムを使用させて頂きました。(株)大林組技術研究所の栗本修博士とは解析結果の妥当性について議論させて頂きました。また、FEM 領域のデータ作成法に関して(株)地震工学研究所の椿康子室長からアドバイスを頂きました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 福井県：福井県地震被害予測調査報告書、PS 検層総合柱状図、pp. 283、1997
- 2) 山中浩明、栗田勝美、瀬尾和大、小嶋啓介、佐藤浩章、宮腰研、赤澤隆：微動アレイ観測による福井平野の S 波速度構造の推定、地震、第 2 輯、第 53 巻、pp. 37-43、2000
- 3) 若松邦夫、野畑有秀：福井平野の地下構造と 1948 年福井地震の被害 - その 1 微動 H/V の特性と推定地下構造 -、日本建築学会大会学術講演概要集 (九州)、pp. 227-228、1998
- 4) 前田俊之、樺木紀男：常時微動により推定した福井平野の表層地盤振動特性、- 1948 年福井地震との対応 -、地域安全学会論文集、No. 3、pp. 147-156、2001
- 5) 安井謙、嶋田雅彦、清水貴義、菅本晃直、田向弘典：H/V スペクトルによる福井平野南部の地盤構造の検討、土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集、pp. 575-576、2003
- 6) 中村豊、上野真：地表面震動の上下成分と水平成分を利用した表層地盤特性推定の試み、第 7 回日本地震工学シンポジウム、pp. 265-270、1986
- 7) Uebayashi, H., Kawabe, H. and Takeuchi, Y. : A High-Resolution Modeling Technique of Irregular Subsurface Structures using H/V Spectral Ratio of Long-Period Microtremors, 13th World Conference on Earthquake Engineering, 2004
- 8) 気象庁：気象等の知識・海洋・波浪の知識、<http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/wave/comment/term/yuugi.html>
- 9) 財) 気象業務支援センター：気象庁波浪資料第 9 号 (2004)
- 10) 気象庁：気象統計情報・気象観測 (電子閲覧室)、<http://www.data.kishou.go.jp/etern/prefecture/index57.html>
- 11) 防災科学技術研究所：強震ネットワーク K-NET、<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/quake/>
- 12) 牛山素行：2004 年 7 月 18 日の福井県における豪雨災害の特徴、日本災害科学、Vol. 23、No. 3、pp. 443-452、2004
- 13) Waas, G. : Earth Vibration Effects and Abatement for Military Facilities, Report 3, Analysis Method for Footing Vibrations through Layered Media, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Technical Report S-71-14, Sept. 1972
- 14) Yasui, Y., Takano, S., Takeda, T., Miyamoto, A., Kurimoto, O. and Ishikawa, R. : Finite Element Method for Obliquely Incident Seismic Wave Problems, Proc. 9<sup>th</sup> WCEE, III, pp. 447-452, 1988
- 15) 日本建築学会：入門・建物と地盤との動的相互作用、pp. 168-172
- 16) 時松孝次、宮寺泰夫：短周期微動に含まれるレイリー波の特性と地盤構造の関係、日本建築学会構造系論文報告集、第 439 号、pp. 81 - 87、1992
- 17) 若松邦夫、安井謙：短周期微動の水平上下スペクトルによる地盤増幅特性評価の可能性に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第 471 号、pp. 61-70、1995
- 18) 佐藤智美、川瀬博、松島信一：微動と S 波、P 波、 coda から求められる地盤特性の違いとその理論的解釈、地震、第 2 輯、第 51 巻、pp. 291-318、1998

(平成19年3月22日受理)