

## PS-P 時間を付帯条件とした福井平野の深部地盤構造の照査・検討の試み

早稲田大学 正会員 ○安井 謙 舞鶴高専 正会員 西川 隼人 福井大学 正会員 小嶋 啓介  
 福井大学 非会員 大堀 道広 早稲田大学 非会員 前田 寿朗 東京大学 非会員 額額 一起  
 金沢大学 正会員 宮島 昌克

### 1. はじめに

福井平野に展開されている地震観測網の観測記録からレシーバー関数が検出され PS-P 時間<sup>1)</sup>が求められている。これらの PS-P 時間を付帯条件として地震動 H/V スペクトル<sup>2)</sup>を同定して地盤構造を逆算<sup>3)</sup>することにより既存の地盤モデル<sup>4)</sup>の深部構造を照査・検討することを試みた。

### 2. PS-P 時間を付帯条件とした同定方法

川瀬他<sup>2)</sup>は、地表面の観測点に様々な方位と角度から到来する地震波群を平均的に捉えれば拡散波動場と仮定でき、地震動 H/V スペクトル (H/V) は(1)式で表されるとしている。ここに、 $V_{p_n}$  : 地震基盤の P 波速度,  $V_{s_n}$  : 同・S 波速度,  $TH(f)$  : 地震基盤に対する地表面の水平伝達関数,  $TV(f)$  : 同・上下伝達関数,  $f$  : 振動数, である。

$$\frac{H}{V} = \sqrt{\frac{2V_{p_n} TH(f)}{V_{s_n} TV(f)}} \quad \dots (1) \quad H_{n-1} = \frac{t_{ps} - \sum_{i=1}^{n-2} \left( \frac{H_i}{V_{s_i}} - \frac{H_i}{V_{p_i}} \right)}{\left( \frac{V_{p_{n-1}} - V_{s_{n-1}}}{V_{s_{n-1}} V_{p_{n-1}}} \right)} \quad \dots (2)$$

(1)式を用いれば地表面の地震観測記録の H/V スペクトルを同定することにより当該地点直下の S 波と P 波の速度構造を逆算することが可能<sup>3)</sup>である。しかしながら深部構造の取り扱いについては他の先験的情報<sup>例えは5)</sup>を利用する必要があり一貫性にやや欠ける面があった。そこで、地震基盤直上の層の層厚と他の層の層厚と速度との関係を表す(2)式を付帯条件として同定することとした。ここに、 $t_{ps}$  : PS-P 時間,  $n$  : 地盤の層数(地震基盤を含む),  $H_i$  :  $i$ 層の層厚,  $V_{s_i}$  :  $i$ 層の S 波速度,  $V_{p_i}$  :  $i$ 層の P 波速度, である。なお、対象とする地盤はその速度構造が微動探査などによりある程度の精度で分かっているものとし、本方法はその精度をさらに高める目的で使用されるものであることを断っておきたい。

### 3. 解析モデルと解析条件

PS-P 時間が求められている福井平野の 15 個所の地震観測地点<sup>1)</sup>の地盤構造を検討の対象とする。既存の地盤モデル<sup>4)</sup>は約 1km 四方ごとに一つ与えられていて、その層構成は 沖積層, 洪積層, 新第三紀層および地震基盤の 4 層で、各層の S 波速度は 170m/s, 580m/s, 1800m/s, 3200m/s で P 波速度は狐崎他<sup>6)</sup>で得られる値とし、層厚は微動 H/V スペクトルを同定して定められている。観測点ごとに以下に述べる 3 つの解析モデルを考える。即ち既存の地盤モデルの層厚を距離で補間して観測点直下の地盤モデルとしたもの<sup>1)</sup> (Model-A) と、観測による PS-P 時間と一致するように Model-A の最下層の厚さのみを調整したモデル<sup>7)</sup> (Model-B), Model-A を初期値として地震動 H/V を遺伝的アルゴリズム (GA) で同定して地盤減衰と各層の層厚を逆算するモデル (Model-C) の 3 つである。ここに、Model-C の同定の際、速度は固定して、第 1 層の層厚の探索範囲は Model-A の 0.9~1.1 倍とし、第 2 層の探索範囲は 0.8~1.2 倍とした。また、第 3 層の層厚は(2)式に基づいて他の層厚の従属変数とした。散乱減衰の探索範囲は 0~60%とし、内部減衰の探索範囲は 0 から実験値<sup>3)</sup>の 1.5 倍とした。なお、GA 探索の他の条件は以下のようである。即ち、振動数範囲 : 0.1~20Hz, 標本数 : 30, 世代数 : 100, ビット数 : 8, 試行回数 : 3, 等である。

### 4. 解析結果と考察

表-1 に解析結果を示した。最下層の厚さ H3 の Model-C に対する Model-A の比 (A/C) が 4 割以上の差がある測  
 キーワード 福井平野, PS-P 時間, 地震動 H/V, 地震基盤, GA

連絡先 〒204-0003 東京都清瀬市中里 1-721-27 042-493-6728 yasui@mx5.mesh.ne.jp

点は7測点(表-1のA/C列に薄墨で表示)で、これらの測点はPS-P時間の観測値と計算値の差が0.05秒以上の測点とほぼ対応している。これは、間接的にはあるがModel-Cの計算結果の妥当性を示しているものとも言える。また、Model-BとModel-CのH3の比(B/C)はFUG測点(表-1のB/C列に薄墨で表示)を除いて殆ど2割以内に収まっていることが分かる。図-1に提案手法の有効性が顕著に表れたFUG測点の地震動H/Vスペクトルの同定結果を示した。同図からModel-Cでは0.5Hz付近の近似度が改良されていることが確認できる。ここに、同図のModel-AとModel-Bの減衰はそれぞれのモデルについて地震動H/VをGAで同定して得たものを用いている。図-2に同測点の微動H/Vスペクトルの観測値と計算値とを比較して示した。ここに、同図の計算値は表-1の層厚と3章で述べた速度を用いて計算したレイリー波の基本モードの水平・上下の振幅比で、観測値はFUG観測点の最寄りの微動観測点<sup>4)</sup>(FKI-87, FKI-97)のものである。同図からもModel-Cの改善の様子が確認できる。

5. おわりに

速度構造が微動探査などによりある程度の精度で分かっている地盤を対象として、PS-P時間を付帯条件とした地震動H/Vスペクトルの同定方法を提案し、提案手法を用いて福井平野の地盤モデルの照査・検討を試みた。その結果、提案手法は地盤モデルの照査・検討に有効であることが示された。

謝辞: 福井県の自治体の震度計および防災科学技術研究所のK-NETの地震観測記録を使用させて頂きました。記して謝意を表します。

参考文献 1) 西川隼人他: 福井平野のPS-P時間の評価, 土木学会第69回年次学術講演会, 2014(発表予定). 2) Kawase, H., Sanchez-Sesma, F.J. and Matsushima, S.: The optimal use of horizontal-to-vertical spectral ratios of earthquake motions for velocity inversions based on diffuse-field theory for plane waves, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.101, No.5, pp.2001-2014, 2011. 3) 安井譲他: 拡散波場理論に基づく地震動H/Vスペクトルの計算法に関する考察—福井地域の地震観測記録を対象として—, 土木学会第33回地震工学研究発表会, 11-B-5, 2013. 4) 安井譲他: 微動H/V探査に基づく福井平野の3次元地盤構造の推定, 土木学会第67回年次学術講演会, I-221, 2012. 5) 田中清和: 地震波干渉法による敦賀半島周辺地域の深部地盤構造モデルの評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造B-II, pp.133-134, 2011. 6) 狐崎長琅他: 地震動予測のための深層地盤P・S波速度の推定, 自然災害科学, Vol.9, No.3, pp.1-17, 1990. 7) 松島祐介他: 強震観測に基づく福井平野の第四紀および第三紀層構造の推定, 土木学会第62回年次学術講演会, I-514, 2007.

表-1 解析結果

観測点コード	観測点名	解析モデル	層厚(m)			PS-P時間(s)		H3の比	
			H1	H2	H3	計算値	観測値	A/C	B/C
SES	新郷小学校	Model-X							
		A	35	119	601	0.48	0.52	0.9	1.2
		B	35	119	780	0.52			
C	36	138	654	0.52					
FDG	福井県 福井土木事務所	A	31	150	682	0.51	0.49	1.1	0.9
		B	31	150	587	0.49			
		C	31	137	649	0.49			
MHS	丸岡高校 城東分校	A	19	119	515	0.37	0.36	1.3	1.2
		B	19	119	473	0.36			
		C	18	141	385	0.36			
MSL	丸岡 スポーツランド	A	21	145	648	0.45	0.39	1.6	1.0
		B	21	145	425	0.39			
		C	21	147	413	0.39			
INS	道の駅いおす	A	27	184	773	0.56	0.52	1.3	1.0
		B	27	184	622	0.52			
		C	27	186	613	0.52			
FEC	福井県 衛生環境 研究センター	A	17	105	449	0.33	0.33	1.1	1.1
		B	17	105	450	0.33			
		C	16	122	399	0.33			
HTH	春江工業高校	A	24	219	887	0.61	0.6	1.1	1.0
		B	24	219	847	0.60			
		C	23	223	837	0.60			
FUC	福井大学 自然教育 センター	A	18	121	547	0.38	0.33	1.8	1.2
		B	18	121	354	0.33			
		C	17	140	296	0.33			
FUG	福井大学 グラウンド	A	25	188	782	0.56	0.47	3.5	2.0
		B	25	188	441	0.47			
		C	28	223	223	0.47			
FKIP01	福井市役所 (福井市大手)	A	23	102	478	0.37	0.45	0.5	0.9
		B	23	102	815	0.45			
		C	21	89	926	0.45			
FKIP15	あわら市役所 (あわら市市姫)	A	23	145	612	0.45	0.52	0.6	0.9
		B	23	145	886	0.52			
		C	25	125	959	0.52			
FKIP16	丸岡町役場 (丸岡町 西里丸岡)	A	15	70	302	0.24	0.31	0.6	1.2
		B	15	70	585	0.31			
		C	17	81	492	0.31			
FKIP17	春江町役場 (春江町随応寺)	A	29	226	931	0.66	0.66	1.0	1.0
		B	29	226	946	0.66			
		C	28	240	906	0.66			
FKIP18	坂井市役所 (坂井町下新庄)	A	28	149	656	0.49	0.55	0.7	0.9
		B	28	149	892	0.55			
		C	27	142	959	0.55			
FKI003	K-NET福井	A	24	129	576	0.43	0.39	1.1	0.9
		B	24	129	429	0.39			
		C	24	113	503	0.39			

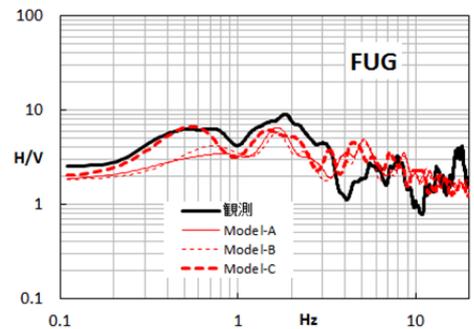


図-1 地震動H/Vスペクトル(FUG)

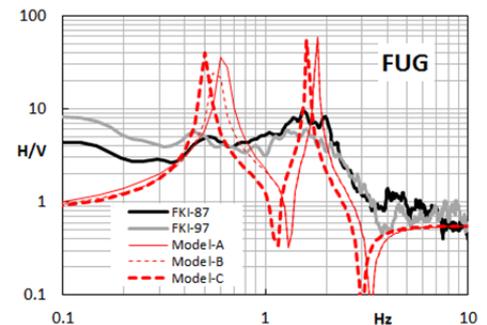


図-2 微動H/Vスペクトル(FUG)