

KiK-NET 永平寺観測地点と K-NET 福井観測地点の 地盤速度構造の検討

安 井 譲*・野 口 竜 也**

Examination on Velocity Structure of Sites at KiK-NET Eiheiiji and K-NET Fukui Station through Microtremor Array Observation

Yuzuru Yasui and Tatsuya Noguchi

In this paper soil velocity profile of Eiheiiji point of KiK-NET and Fukui point of K-NET are focused. The former point has precise soil structure model deep into GL-103m by the logging test, but there is inconsistency between the observed H/V spectra and the calculated ones obtained by using the soil structure model. The structure at the latter point is surveyed down to only GL-20m depth, and so the deeper soil structure data are desired. Therefore the authors conducted microtremor array observation by the SPAC method. Through the observation and examination it is shown that in the Eiheiiji site the soil data of the surface layer should be modified, and in the Fukui site a new model down to some depth is proposed.

1. はじめに

福井地方で将来生起する可能性がある大地震の規模や被害の予測を的確に予測するためには当該地方特有の地震動特性や平野部での地盤増幅特性を把握しておく必要がある。K-NET や KiK-NET で観測される地震波は、これらの課題を検討する上で大変貴重なデータとなるものであって大いに活用されるべきものである。特に、KiK-NET の永平寺観測点 (FKIH01) は、福井平野に比較的近い基盤で観測されていることから福井平野への入力地震動を考える上で重要な観測点であるといえる。また、K-NET の板垣にある福井観測点 (FKI003) は福井平野内にある唯一の観測点であって、福井平野の地盤増幅特性を考える上で貴重な観測点といえる。一方、永平寺地点の観測地震波をシミュレーション解析した結果によると公表されている地盤情報を修正する必要があることが示唆されている^{1),2)}。また、福井観測点の地震計は地表面のみにセットされており地盤調査も地表面下 20m 程度までしか行われていない。観測データの有効利用のためにはよ

* 建設工学科地球環境工学専攻 ** 鳥取大学工学部土木工学科

り深い地盤の速度構造の解明が望まれるところである。そこで、永平寺観測地点と福井観測地点とで微動アレイ観測³⁾を行いこれらの地点の速度構造を同定することを試みた。その結果、永平寺観測地点では最表層の地盤の速度と厚さを修正する必要があることがわかった。また、福井観測地点では既往のモデル^{4),5)}に比べて第3紀層の深度を深く、厚さを大幅に大きくすると近似度がより改善される可能性が示唆された。

2. 永平寺観測地点

2.1 調査地点の概要

KiK-NETの永平寺観測点(FKIH01)は吉田郡永平寺町吉波23-10-33にある。表-1に同観測地点の地盤構造を示した(原型モデルと称する)。最表層には厚さ4m、S波速度150m/secの砂層があり、それ以深はS波速度1,000m/sec以上の硬質の砂礫または岩からなっている。また、地震観測は地表面と地中(GL-103m)の岩盤上で行われている。

表-1 永平寺地点の地盤構造
(原型モデル)

深度(m)	層厚(m)	地層名	単位質量 (ton/m ³)	S波速度 (m/sec)
0	4	砂	1.8	150
4	2	礫	2.2	1,000
6	6	花崗岩	2.2	1,650
12	7	安山岩	2.5	2,100
19	46	花崗岩	2.5	2,500
65	38	安山岩と花崗 岩の互層	2.5	2,500
103	—	安山岩	2.5	2,500

2.2 対象とした地震波と常時微動観測

表-2に対象とした地震の諸元を示した。最大加速度(Amax)30Gal以上の地震を選択して用いた。常時微動の測定はKiK-NET地震観測小屋近傍の地表面で行った。測定計器は携帯型の加速度計(アカシ製 GPL-6A3P)で、測定時間は15分とし、サンプリング周波数は100Hz、倍率は10,000倍、ローパスフィルタの折点周波数は5Hzとした。なお、H/Vスペクトルを計算する際の継続時間は、地震波の場合はすべて120秒間とし、常時微動の場合は5分間(30,000秒)とした。

表-2 対象とした地震の諸元

年	月/日	M	Δ	D	Amax
2003	6/5	4.1	24	10	36.3
2003	2/11	4.0	5	6	156.2
2002	9/8	3.9	23	10	45.2
2002	8/18	4.5	17	11	35.8

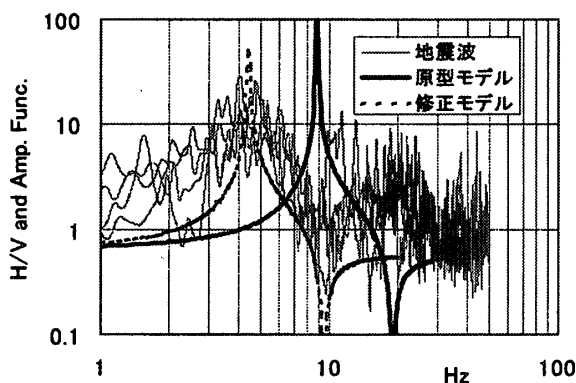


図-1 H/V スペクトル
(永平寺・地震波)

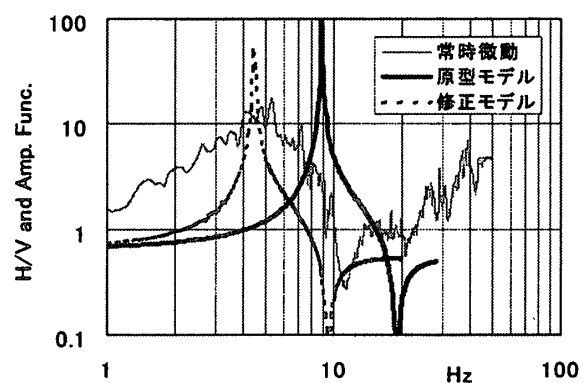


図-2 H/V スペクトル
(永平寺・常時微動)

2.3 原型モデルの震動特性

図-1 に、H/V スペクトルについて地震波から求めたものと計算により求めた原型モデルの表面波の H/V 曲線とを比較して示した。また、図-2 には微動測定から求めた H/V スペクトルと原型モデルの表面波の H/V 曲線とを比較して示した。観測値と原型モデルによる計算値との対応は良いとはいえない。

2.4 微動アレイ観測と分散曲線

SPAC 法³⁾に基づき、半径が 3m、10m および 28m の 3 ケースについてアレイ観測を実施した。使用計器は、携帯型の加速度計（アカシ製 GPL-6A3P）である。測定時間は 10 分とし、サンプリング周期を 2msec、倍率を 1,000 倍、フィルターの折点周波数を 50Hz とした。データ解析は、雑音がない良好な区間 10 組を選定して行った。ここに、各区間のデータ長は 16.384 秒としている。

図-3 に微動アレイ観測から得られた分散曲線を示した。同図には理論分散曲線も示してある。こ

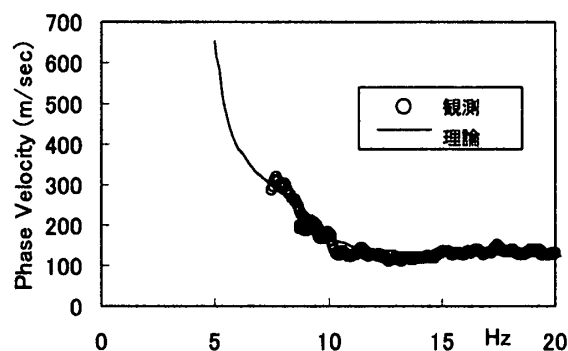


図-3 分散曲線（永平寺）

表-3 修正モデル

深度 (m)	層厚 (m)	地層名	単位質量 (ton/m ³)	S波速度 (m/sec)
0	7	砂	1.8	130
7	5	花崗岩	2.2	1,650
12	7	安山岩	2.5	2,100
19	46	花崗岩	2.5	2,100
65	38	安山岩と花崗岩の互層	2.5	2,500
103	—	安山岩	2.5	2,500

こに、観測に適合する表層地盤の S 波速度は 130m/sec（原型モデルでは 150m/sec）、その層厚は 7m（同 4m）とそれぞれ得られた。表-3 に観測結果に適合する修正モデルの速度構造を示した。なお、P 波速度の算定は狐崎の式⁶⁾によった。

2.5 修正モデルの震動特性

図-1 と図-2 にはそれぞれ地震波と常時微動の H/V スペクトルと修正モデルの表面波の H/V 曲線を比較して示してある。計算値は観測値とほぼ一致しておりその妥当性が示されているといえる。

表-4 福井地点の地盤構造

深度 (m)	層厚 (m)	地層名	単位体積質量 (ton/m ³)	S 波速度 (m/sec)
0	0.75	表土	1.7	95
0.75	4.3	粘性土	1.6	95
5.05	0.8	シルト	1.7	95
5.85	2.15	粘性土	1.6	95
8.00	2.8	粘性土	1.6	150
10.80	2.15	粘性土	1.6	150
12.95	6.45	砂質土	1.7	150
19.40	—	(洪積層) 礫質土	2.1	150

3. 福井観測地点

3.1 調査地点の概要

K-NET の福井観測点（FKI003）は福井市板垣 5 丁目 803 にある。この観測点では地震観測は地表面のみで行われており地盤の速度構造も G-20m あたりまでしか調査されていない。表-4 に同地点の地盤構造を

示した。なお、以後の計算（表-5、表-6 参照）では簡単のため GL-20mまでを S 波速度 127m/sec、単位体積質量 1.7ton/m³の単層でモデル化することとした。ここに、これらの値は表-4 を用いて層厚の重みつき平均で定めたものである。

3.2 対象とした地震波と常時微動観測

地震波は永平寺地点と同様に表-2 に示したものをを用いた。常時微動観測は K-NET 観測地点近傍の地表面で行った。観測条件や H/V スペクトルの計算時間等も永平寺地点と同様である。

3.3 既存のモデルについて

GL-20m以深に山中ら⁴⁾のモデルを付加したものを考えそれを初期モデルとした。参考のため、福井県が提案しているモデル⁵⁾の深部に上述の山中らのモデルを付加して作成した地盤モデル（県のモデルと称する）も考えた。県のモデルは土木事務所の地盤構造⁵⁾を反映しているものと考えられる。表-5 と表-6 にそれぞれ初期モデルと県のモデルを示した。ここに、初期モデルと県のモデルをあわせて既存のモデルと呼ぶことにする。

3.4 既存のモデルの震動特性について

図-4 には、H/V スペクトルについて地震波から求めたものと既存のモデルの表面波の H/V 曲線とを比較して示した。また、図-5 には微動測定から求めた H/V スペクトルと表面波の H/V 曲線とを比較して示してある。観測値と既存のモデルによる計算値との対応は良いとはいえない。

3.5 微動アレイ観測と分散曲線

SPAC 法に基づき、半径が 3m、10m および 30m の 3 小アレイ観測と、半径が 125m、250m、および 500m の大アレイ観測を実施した。測定条件とデータ解析条件は次の通りである。すなわち、小アレイでは永平寺観測地点と同様に、測定時間を 10 分とし、サンプリング周期を 2msec、倍率を 1,000 倍、フィルターの折点周波数を 50Hz とした。一方、大アレイでは、測定時間を 50 分とし、サンプリング周期 10msec、倍率は 1,000 倍、フィルターの折点周波数は 5Hz とした。データ解析は、雑音がない良好な区間 10 組を選定して行った。各区間のデータ長は小アレイで 16.384 秒とし、大アレイでは 81.92 秒とした。

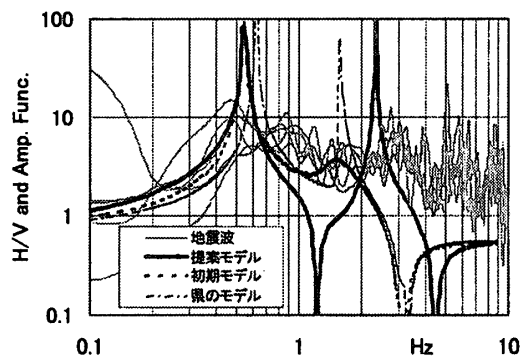


図-4 H/V スペクトル
(福井・地震波)

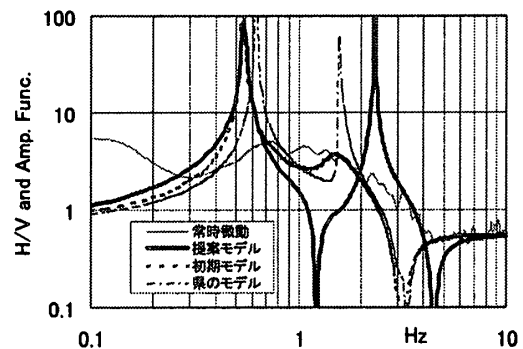


図-5 H/V スペクトル
(福井・常時微動)

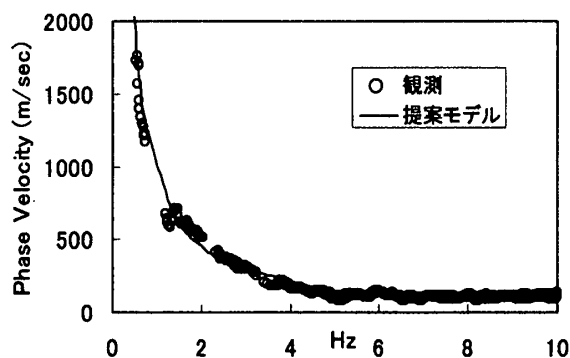


図-6 分散曲線 (福井)

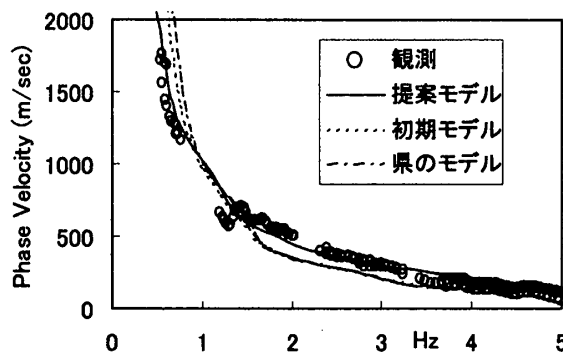


図-7 提案モデルと既存のモデル

図-6に小アレイと大アレイの微動観測から得られた分散曲線を示した。同図には理論分散曲線も示してある。理論分散曲線は、初期モデルをもとに観測結果と適合するよう試行錯誤的に定めた最適モデル（提案モデルと称する）による計算値である。表-7にはその提案モデルの地盤構造を示してある。図-6の横軸を0から5Hzの範囲で拡大して、提案モデルのほかに初期モデルと県のモデルについて比較したものを図-7に示した。提案モデルの妥当性が窺える。

3.6 提案モデルと震動特性

提案モデルではS波速度670m/sの層が厚くなり第三紀層表面位置がGL-272mと初期モデルや福井県のモデルに比べて深くなった。また、第三紀層厚も1,000mと厚くなった⁷⁾。図-4に地震波のH/Vスペクトルと3つの地盤モデルの表面波のH/V曲線とを比較したものを示してある。提案モデルが最適とは断定できない様相も呈している。さらなる検討が必要であるといえる。

4. おわりに

KiK-NET 永平寺地点および K-NET 福井地点で微動アレイ観測を行い、それぞれ良好な分散曲線を得た。永平寺地点では、公表データの最表層厚4mに対して7mと得られ、S波速度も150m/secを130m/secに修正する必要があることがわかった。修正モデルによる地盤震動特性は観測値による特性と調和しその妥当性が示された。

福井地点では、最表層の層厚とS波速度がそれぞれ12mおよび110m/sと得られた。また、第三紀層までの深度は約270mと得られ、県のモデルの150mや既往のモデルの230mに比べて深

表-5 初期モデル

深度 (m)	層厚 (m)	地質	質量 (ton/m ³)	S波速度 (m/sec)
0	20	沖積層	1.7	127
20	70	洪積層	1.7	400
90	140	洪積層	1.8	670
230	470	第三紀層	2.0	1,800
700	-	-	2.5	3,200

表-6 県のモデル

深度 (m)	層厚 (m)	地質	質量 (ton/m ³)	S波速度 (m/sec)
0	20	沖積層	1.7	127
20	130	洪積層	1.9	450
150	470	第三紀層	2.0	1,800
620	-	-	2.5	3,200

表-7 提案モデル (最適モデル)

深度 (m)	層厚 (m)	地質	質量 (ton/m ³)	S波速度 (m/sec)
0	12	沖積層	1.7	110
12	80	洪積層	1.7	400
92	180	洪積層	1.8	670
272	1,000	第三紀層	2.0	1,800
1,272	-	-	2.5	3,200

い値となった。さらに第3紀層の厚さは1,000mと得られ既往のモデルの470mに比べ2倍強の厚さとなった。提案モデルによる地盤震動特性と観測値による特性とを比較したところ提案モデルが最適とは断定できない様相も呈していることからさらなる検討が必要であることが示唆された。

おわりにあたり、本論文は参考文献の8)と9)がもとになっていることを付記しておきたい。

謝辞

本論文は、卒業研究生の愛下直樹君、上木一君、澤田造君、廣川陽大君および森川弘基の労に負うところが多い。また、測定にあたり福井大学大学院の伊藤雅基君の協力を得ました。地震観測記録や地盤データはK-NETとKiK-NETの公表データを使用させて頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 北野敏邦、小林宏茂、安井譲：K-NETとKiK-NETで観測された地震波のシミュレーション解析、平成14年度卒業研究発表概要集、福井工業大学工学部建設工学科土木工学専攻、平成15年1月、pp.17-20
- 2) 愛下直樹、澤田造、安井譲：K-NET永平寺地点の地盤増幅特性の検討、平成15年度卒業研究発表概要集、福井工業大学工学部建設工学科土木工学専攻、平成16年1月
- 3) 岡田廣、松島健、森本武男、笹谷努：広域・深層地盤調査のための長周期微動探査法、物理探査、第43巻第6号、pp.402-417, 1990年
- 4) 山中浩明、栗田勝実、瀬尾和大、小嶋啓介、佐藤浩明、宮腰研、赤澤隆士：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年
- 5) 福井県：福井県地震被害予測調査報告書、平成9年3月
- 6) 狐崎長琅、後藤典俊、小林芳正、井川猛、堀家正則、斎藤徳美、黒田徹、山根一修、奥住宏一：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、9-3、pp.1-17, 1990年
- 7) 小林直城、平松良浩、河野芳輝、竹内文朗：重力異常による福井平野の3次元基盤構造の推定—福井地震およびその周辺の活断層との関係—、地震、第2輯、第54巻、pp.1-8, 2001年
- 8) 安井譲、野口竜也、愛下直樹、澤田造、上木一、廣川陽大、森川弘基、伊藤雅基：KiK-NET永平寺地点の地盤増幅特性の検討、土木学会第59回年次学術講演会講演概要集、I-767、pp.1531-1532, 2004年
- 9) 安井譲、野口竜也：微動アレイ観測による地盤速度構造の検討—KiK-NET永平寺観測地点とK-NET福井観測地点を対象として—、日本建築学会2004年度大会学術講演梗概集、B-2、構造II、pp.663-664, 2004年

(平成16年12月1日受理)