

## 福井県の KiK-net 観測地点の微動小アレイ観測

安井 譲<sup>\*1</sup>, 鬼木健太<sup>\*2</sup>, 小竹原明啓<sup>\*3</sup>, 橋本勇一<sup>\*4</sup>

### Microtremor array survey on surface soil velocity of KiK-net site in Fukui Prefecture

Yuzuru YASUI<sup>\*1</sup>, Kenta Oniki<sup>\*2</sup>, Akihiro Kotakehara<sup>\*3</sup>  
and Yuichi Hashimoto<sup>\*4</sup>

Microtremor small array observations were conducted at seven KiK-net earthquake observation station sites in Fukui Prefecture and dispersion curves were obtained. The S wave velocity structures in the vicinity of the surface ground were presumed by inversely analyzing the dispersion curves using genetic algorithm and the corresponding published data were examined. As a result, it was shown to have to check the published data of Izumi Site and Mikata Site, besides Eiheiji Site pointed out that there was problem before.

Keywords: KiK-net, Fukui prefecture, microtremor, small array, CCA, dispersion curve, surface soil velocity

#### 1. はじめに

福井県には7つの KiK-net<sup>1)</sup>観測地点があるが、それらの地震観測データを有効に活用するためには正確な地盤情報が必要である。特に表層近くの地盤の速度構造は、観測地震波の伝達関数から当該地点の速度構造や減衰特性の検討を行う場合に<sup>2)</sup>重要な影響を与える。そこで、これらの KiK-net 観測地点において微動小アレイ観測を行い、表層地盤の速度構造を探查することとした。

#### 2. 測定地点と観測の概要

図-1 に福井県にある7つの KiK-net 観測地点を示した。嶺北には永平寺、織田および和泉の3地点があり、嶺南には三方、敦賀、高浜および小浜の4地点がある。微動小アレイ観測は CCA 法<sup>3)</sup>の適用を前提として実施した。即ち、携帯型の地震計 GPL-6A3P (ミットヨ製) 6台を、正五角形の中心と5つの頂点に配置して加速度の上下動成分を観測した。その正五角形の半径は1m

---

\*1 土木環境工学科 \*2 土木環境工学科学生 (現 ㈱時岡組) \*3 土木環境工学科学生 (現 西川電業㈱)

\*4 大学院工学研究科修士課程建設工学専攻院生 (現 第一電機工業㈱)

と 3m の 2 ケースを原則としたが、織田、和泉と高浜地点は 5m の場合も実施した。各ケースの測定時間は 15 分で、サンプリング周波数は 500Hz、フィルターの折点周波数は 50Hz、倍率は 1000 倍とした。また、嶺北の地点については平成 22 年 10 月の 1 日と 2 日に、嶺南については 11 月の 6 日と 7 日に、それぞれ測定した。



図-1 KiK-net 観測地点

### 3. データ解析の概要と分散曲線

分散曲線の算出は Web 公開プログラム BIDO<sup>3)</sup> によった。その際、解析時間は 10.24 秒で Parzen ウィンドウのバンド幅は 0.3Hz とした。図-2 に全 7 地点の分散曲線を示した。同図には公表データに基づく地盤モデル (PS)<sup>1)</sup> の理論分散曲線<sup>4)</sup> も示してあるが、永平寺、和泉および三方の 3 地点は観測値と大きくかけ離れていることが分かる。

### 4. 分散曲線の逆解析

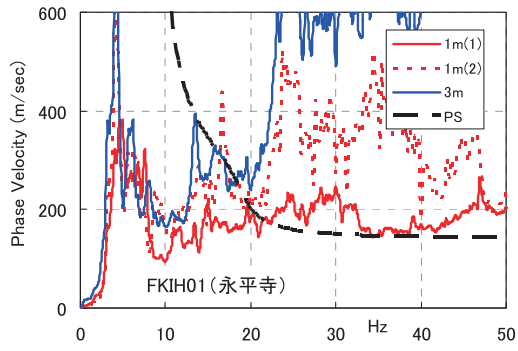
#### 4.1 逆解析の概要

対象とする振動数範囲を設定したのち各半径で得られた分散曲線を目視で編集して連続した 1 本にしたものを逆解析に用いた。逆解析では、その理論分散曲線<sup>4)</sup> が 1 本化した分散曲線を近似できるような地盤モデルを GA (遺伝的アルゴリズム)<sup>5),6)</sup> で探索する方法によった。その際、層厚については公表データ<sup>1)</sup> に従うものとし、S 波速度  $V_s$  を探索の対象とすることとした。その探索範囲は公表データの 0.5~1.5 倍を初期値としたが、探索の状況に応じて適宜変更した。P 波速度  $V_p$  は(1)式により  $V_s$  を用いて定める<sup>7)</sup>ものとし、密度  $\rho$  は同じく  $V_s$  を用いて (2)式をもとに定める<sup>8)</sup>こととした。

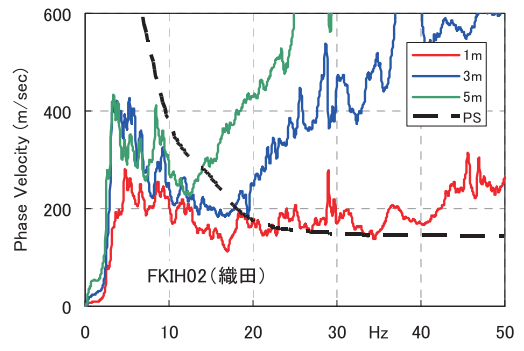
$$V_p = 1,290 + 1.11 \times V_s \quad (1)$$

$$\rho = 1.4 + 0.67 \sqrt{V_s / 1,000} \quad (2)$$

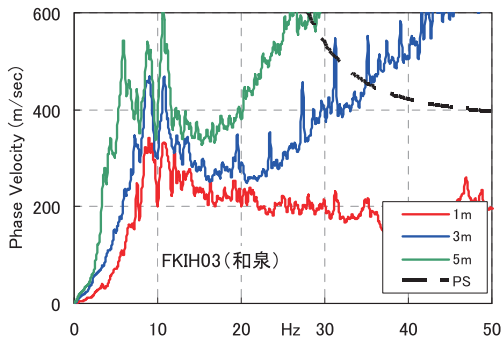
まず、事前逆解析を行って探索の対象を表層から何層までにするかを検討した。また、探索する層より深い地盤の速度は公表データを既定値として用いることとした。なお、GA による解析の条件として、世代数を 20、試行回数を 1 としても十分な精度で収斂することが確認されたため



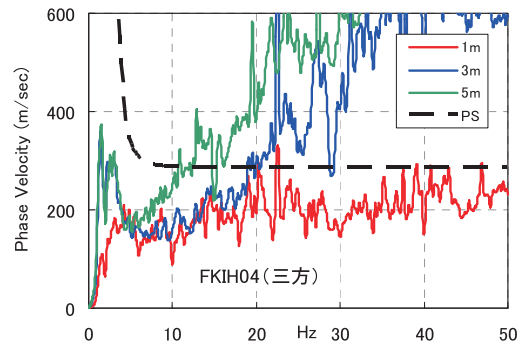
(a) 永平寺



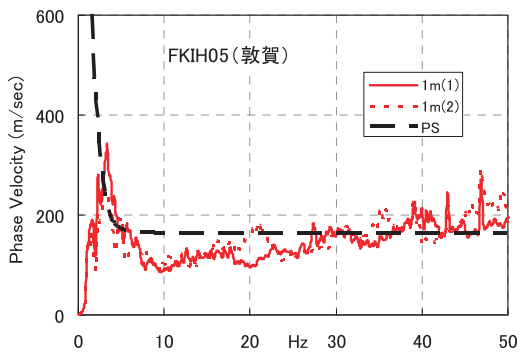
(b) 織田



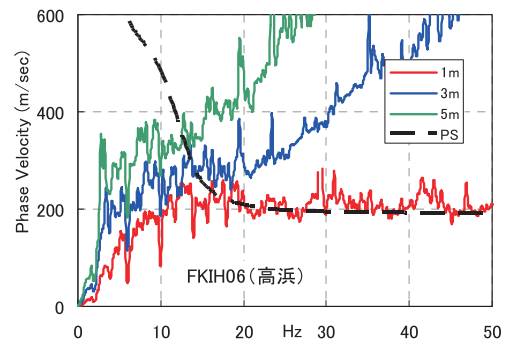
(c) 和泉



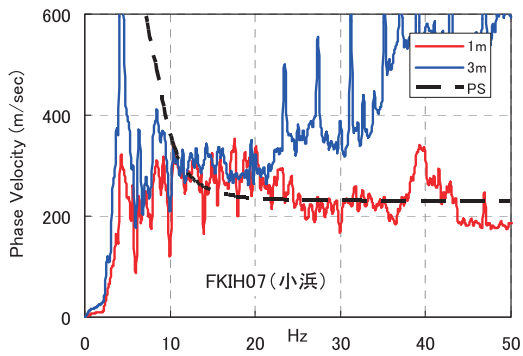
(d) 三方



(e) 敦賀



(f) 高浜



(g) 小浜

図-2 分散曲線

これらの条件で逆解析を行った。また、個体数を 40、ビット数を 6、交叉確率を 0.7、突然変異確率を 0.01 とし、グレイコード、動的突然変異およびエリート選択を考慮している。

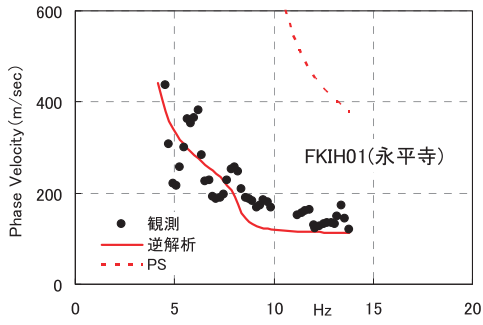
#### 4.2 逆解析の結果

全 7 測点の逆解析の結果を、観測値および公表データに基づく地盤モデル (PS) の理論分散曲線と比較して、図-3(a)~(g)に示した。また、全 7 観測地点の推定地盤構造を公表データと比べて表-1(a)~(g)に示した。これらの表の網掛け部分が探索層である。同表から、永平寺、和泉および三方の 3 地点と高浜の第 2 層以外の逆算値は、PS の  $V_s$  値とほぼ同じ値となっていることが分かる。一方、PS の  $V_s$  値と大幅に異なった逆算値が得られた層として、永平寺地点の第 2 層 (公表 1000m/s に対して 73m/s)、和泉の第 1 層 (公表 400m/s に対して 187m/s)、三方の第 1 層と第 2 層 (それぞれ 300m/s に対して 113m/s、同じく 300m/s に対して 177m/s)、および高浜の第 2 層 (320m/s に対して 196m/s) があげられる。なお、永平寺地点については第 2 層の 1000m/s を 100~130m/s に置換するモデル<sup>2),9)</sup>が提案されており、今回の逆算結果はそれらと調和する傾向にある。

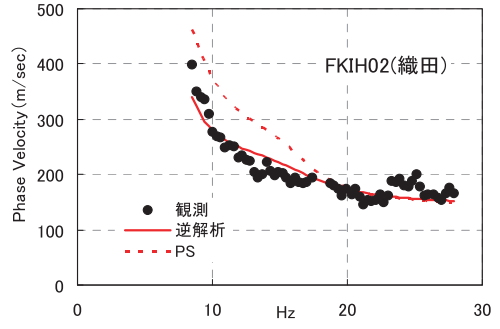
#### 5. H/V スペクトルによる考察

図-4 に、別に行った<sup>2)3</sup>成分常時微動観測による H/V スペクトルと、逆算した地盤構造を用いて計算したレイリー波の基本モードの H/V スペクトル<sup>4)</sup>を比較して示した。特に、分散曲線が公表データによるものと大きく食い違った永平寺、和泉および三方の 3 地点についてみると、以下のように考察できる。

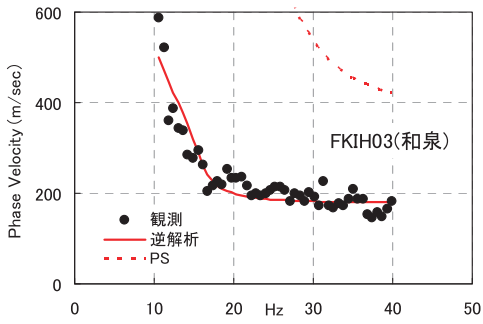
和泉については逆算モデルと観測値の近似度が PS モデルによるものに比べて改良されていることがわかる。三方については逆算モデルのピーク振動数は観測値の低振動数側に移動する結果となった。また、永平寺については H/V スペクトルのピーク振動数が大きく低振動数に移動している。これらの考察から、逆算モデルは必ずしも最適なモデルとは言えず、今後さらに照査・検討する必要があると考えられる。



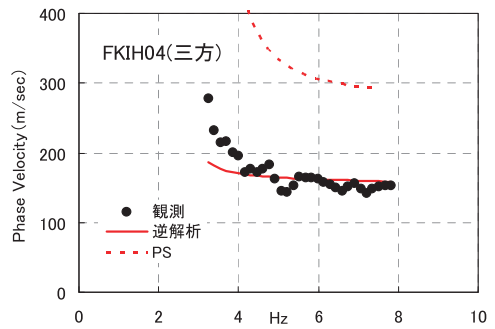
(a) 永平寺



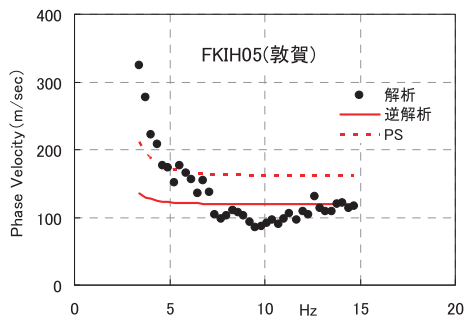
(b) 織田



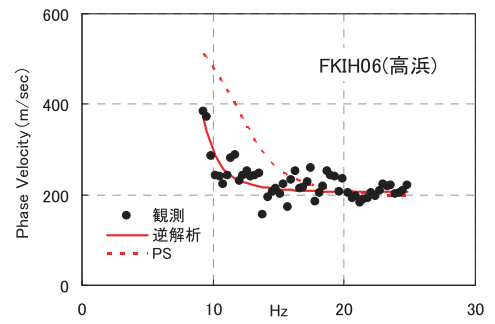
(c) 和泉



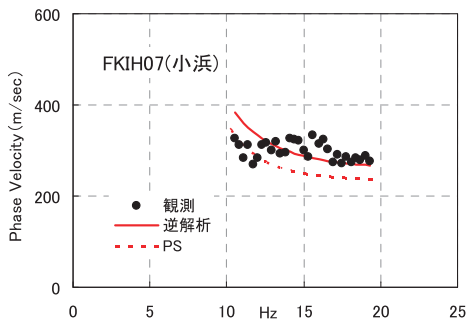
(d) 三方



(e) 敦賀



(f) 高浜



(g) 小浜

図-3 分散曲線の逆解析

表-1 地盤構造

(a) 永平寺

| No. | H (m) | Vs (m/s) |       |
|-----|-------|----------|-------|
|     |       | PS       | 逆算    |
| 1   | 4     | 150      | 131   |
| 2   | 2     | 1,000    | 73    |
| 3   | 14    | 1,650    | 1,650 |
| 4   | 44    | 2,100    | 2,100 |
| 5   | —     | 2,500    | 2,500 |

(b) 織田

| No | H (m) | Vs (m/s) |       |
|----|-------|----------|-------|
|    |       | PS       | 逆算    |
| 1  | 4     | 150      | 153   |
| 2  | 12    | 320      | 272   |
| 3  | 30    | 600      | 600   |
| 4  | —     | 1,840    | 1,840 |

(c) 和泉

| No. | H (m) | Vs (m/s) |       |
|-----|-------|----------|-------|
|     |       | PS       | 逆算    |
| 1   | 6     | 400      | 187   |
| 2   | 6     | 740      | 740   |
| 3   | 26    | 1,100    | 1,100 |
| 4   | 42    | 1,300    | 1,300 |
| 5   | —     | 1,570    | 1,570 |

(d) 三方

| No | H (m) | Vs (m/s) |       |
|----|-------|----------|-------|
|    |       | PS       | 逆算    |
| 1  | 4     | 300      | 113   |
| 2  | 30    | 300      | 177   |
| 3  | 46    | 650      | 650   |
| 4  | 18    | 940      | 940   |
| 5  | —     | 2,300    | 2,300 |

(e) 敦賀

| No | H (m) | Vs (m/s) |       |
|----|-------|----------|-------|
|    |       | PS       | 逆算    |
| 1  | 22    | 170      | 125   |
| 2  | 6     | 250      | 250   |
| 3  | 22    | 300      | 300   |
| 4  | 30    | 440      | 440   |
| 5  | —     | 1,160    | 1,160 |

(f) 高浜

| No | H (m) | Vs (m/s) |       |
|----|-------|----------|-------|
|    |       | PS       | 逆算    |
| 1  | 6     | 200      | 217   |
| 2  | 4     | 320      | 196   |
| 3  | 6     | 600      | 600   |
| 4  | 22    | 600      | 600   |
| 5  | 48    | 700      | 700   |
| 6  | —     | 1,050    | 1,050 |

(g) 小浜

| No | H (m) | Vs (m/s) |       |
|----|-------|----------|-------|
|    |       | PS       | 逆算    |
| 1  | 10    | 240      | 269   |
| 2  | 14    | 440      | 440   |
| 3  | 14    | 1,300    | 1,300 |
| 4  | —     | 2,180    | 2,180 |

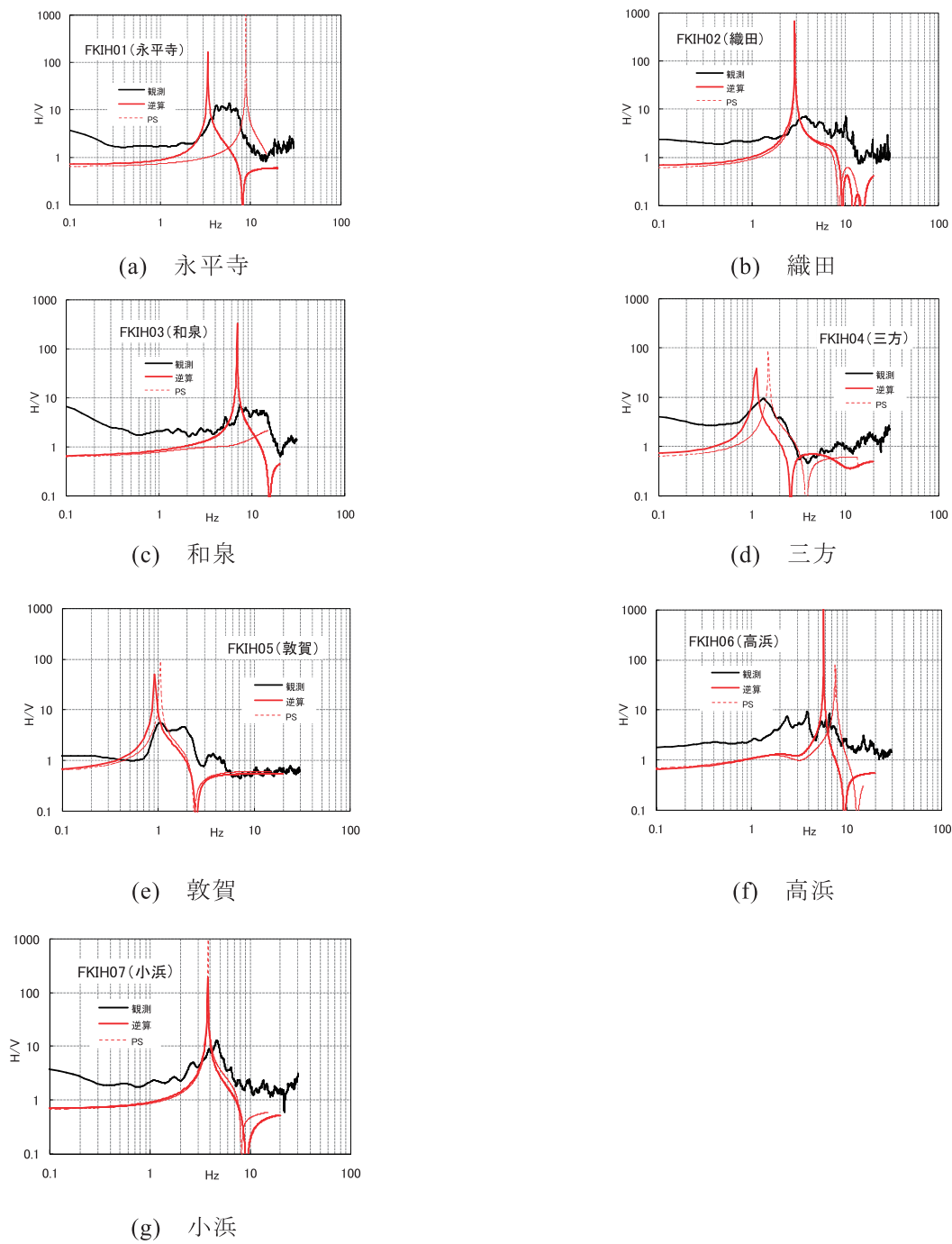


図-4 H/V スペクトルの比較

## 6. まとめ

- 1) 福井県の 7 つの KiK-net 観測地点で微動小アレイ観測を行い、その観測結果に CCA 法を適用して分散曲線を求めた。
- 2) 観測により得られた分散曲線と公表データに基づく S 波地盤モデルの理論分散曲線とを比較したところ、永平寺、和泉および三方の 3 つの地点において大きく食い違うことが分かった。
- 3) 観測により得られた分散曲線から表層地盤の S 波速度を逆算して 7 つの地点の地盤モデルを求めた。その結果、永平寺の第 2 層、和泉の第 1 層、三方の第 1 層と第 2 層と高浜の第 2 層において、逆解析値は公表データの値と大きく異なる結果を得た。
- 4) H/V スペクトルにより上記 2) の 3 つの地点の逆解析モデルの妥当性を検討したところ、和泉についてはほぼ妥当であると考えられたが、三方と永平寺については逆解析モデルが必ずしも最適なモデルとは言えない結果となった。
- 5) 以上の検討結果から、永平寺、和泉および三方の 3 つの地点の S 波速度構造について今後さらに照査・検討する必要があると考えられる。

## 謝辞

防災科学技術研究所の KiK-net の地盤情報を使用致しました。また、本研究を進めるにあたり、卒業研究生（現 ㈱ムラタ）の白崎貴也氏の協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 防災科学技術研究所：基盤強震観測網 KiK-net, <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>
- 2) 安井譲, 西川隼人：福井県の KiK-net 観測地点の速度構造と減衰特性の検討, 第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集, GO45-Fri-AM-2, pp.2299-2305, 2010.
- 3) 長郁夫, 多田卓, 篠崎祐三：一般理論が切り開く微動アレイの可能性：解析ツール BIDO の公開, 日本地震学会講演予稿集, 2009 年度秋季大会, P.2-68, 2009.
- 4) 久田嘉章：成層地盤における正規モード解及びグリーン関数の効率的な計算法, 日本建築学会構造系論文集, 第 501 号, pp.49-56, 1997.
- 5) 山中浩明, 石田寛：遺伝的アルゴリズムによる位相速度の逆解析, 日本建築学会構造系論文集, 第 468 号, pp.9-17, 1995.
- 6) 石田良平, 村瀬治比古, 小山修平：パソコンで学ぶ遺伝的アルゴリズムの基礎と応用, 森北出版, 1997.
- 7) 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.
- 8) 小林喜久二, 阿部康彦, 植竹富一, 小林啓美：地震動初期微動部の上下動・水平動スペクトル振幅比の逆解析, 日本建築学会大学学術講演梗概集, pp.307-308, 1995.
- 9) 安井譲, 野口竜也：K-net 福井観測地点と KiK-net 永平寺観測地点の地盤速度構造の検討, 日本地震工学会・大会 - 2004 梗概集, pp.328-329, 2005.

(平成 23 年 3 月 31 日受理)