

# 異なる微地形・地盤における短周期微動アレイ観測を利用した 表層地盤構造の推定

The estimation of surface soil structure by microtremor array observation  
at different micro topography and underground condition

○石井 匠<sup>1</sup>, 杉本 実<sup>2</sup>, 山本俊雄<sup>1</sup>, 荻本孝久<sup>1</sup>  
Takumi Ishii<sup>1</sup>, Minoru Sugimoto<sup>2</sup>, Toshio Yamamoto<sup>1</sup> and Takahisa Enomoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>神奈川大学工学部建築学科

Department of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University

<sup>2</sup>元横浜市環境科学研究所

Former Yokohama Environmental Science Institute

The micro topographical features and the surface ground structures are greatly involved in the earthquake damage of structures. Recently, the microtremor array observation can be used for the estimation of soil structure. In this paper, we performed the microtremor array observation by the SPAC method at three kinds of different ground condition sites, soft ground condition, medium ground condition and hard ground condition, and we compared the experimental dispersion curve with the theoretical dispersion curve by using soil structure model evaluated from boring data. Then, we investigated the utility of microtremor array observation method.

**Key Words :** Microtremor array observation, SPAC method, Ssurface ground structure, Yokohama City

## 1. はじめに

微地形や表層地盤構造は構造物の地震被害に大きく関与する。地盤構造を探索する手法としては、ボーリング調査、標準貫入試験、PS検層、地震探査などがあるが、どれも経済的な問題や騒音・安全性の問題が指摘される。微動アレイ観測は、これらの問題を回避し直接地盤構造の推定が可能である。本研究では、軟弱地盤、普通地盤、硬質地盤の3種の異なる地盤においてSPAC法による微動アレイ観測を行い、ボーリング資料による理論分散曲線と比較し、異なる微地形・地盤における微動アレイ観測の有用性を検討する。

## 2. 微動アレイ観測

### 2-1. 観測地点

ボーリングデータにより地盤構造が明確になっている横浜市高密度強震計ネットワークの強震計設置場所 150箇所の地点から、地盤のコントラストが明瞭な地点、基盤までの深さ、軟弱層の厚さなどにより、軟弱、普通、硬質地盤に分類し、各々2地点の合計6地点を観測地点として選定した。観測地点を表1に示す。

表1. 微動アレイ観測地点

分類	名称	場所 (区)	基盤深度 [m]	軟弱(地表 から)[m]	地層数
軟弱 地盤	新吉田小学校	港北	28	28	7
	羽沢小学校	神奈川	18	18	7
普通 地盤	山田小学校	都筑	16	16	5
	滝頭小学校	磯子	18	13	7
硬質 地盤	洋光台第四小学校	磯子	5	4	5
	大島小学校	中	4	3	6

### 2-2. 観測・解析

図1に示すように、観測地点に三角形で構成されるアレイを作り、図中の黒点に微動計を配置して観測する。本研究では微動計の所持数の問題により、小アレイと大

アレイに分け、サンプリング周波数 100Hz で2回ずつ測定を行った。SPAC法では常時微動の鉛直成分を解析の対象とするため、鉛直成分のみを観測した。観測したデータについてSPAC法を用いて解析を行い、解析により得られた位相速度分散曲線を観測分散曲線と定義する。

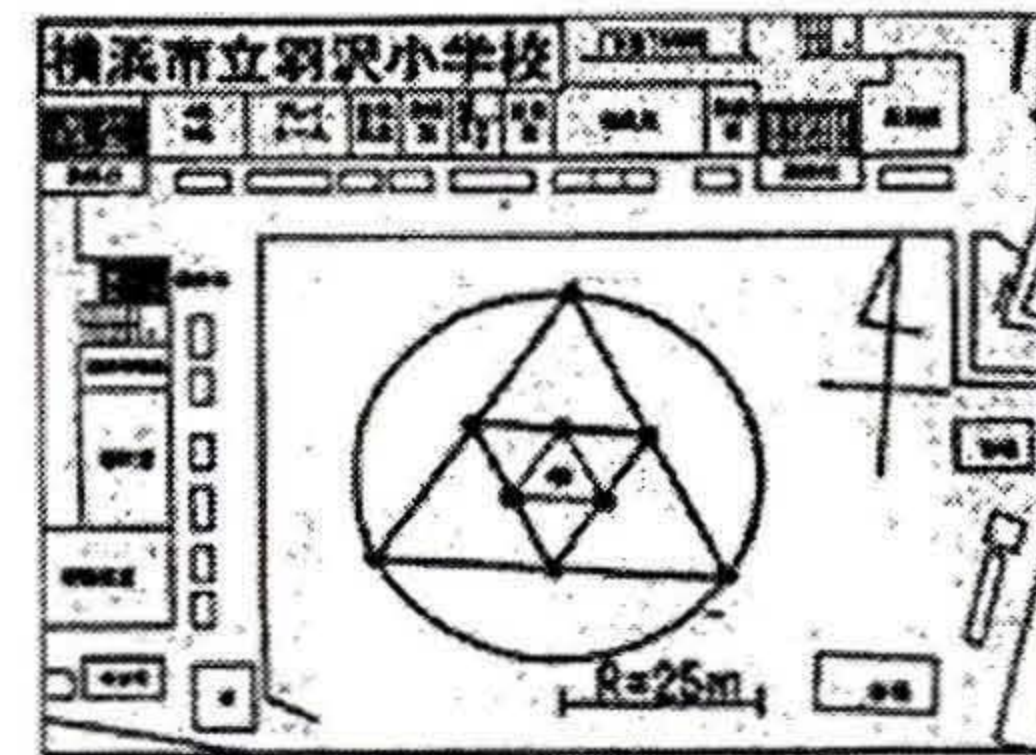


図1. アレイ配置図(例: 羽沢小学校)

### 2-3. SPAC法(空間自己相関法)

位相速度は複数点の空間自己相関関数から求めることが出来る。空間自己相関関数は、各微動観測データから得られたパワースペクトルとクロススペクトルの実数部を用いて次の様に求めた。

$$\rho(f, r) = \frac{\text{real}\{P_{ij}(f, r)\}}{\sqrt{P_{ii}(f) \cdot P_{jj}(f)}} \quad (1)$$

$P_{ij}(f, \theta)$ : 微動記録から得られる2観測i, j点間のクロススペクトル

$P_{ii}(f, \theta)$ : 基準点iの微動記録から得られるパワースペクトル

$P_{jj}(f, \theta)$ : 観測点jの微動記録から得られるパワースペクトル

この空間自己相関関数は、2観測点間の距離rと周波数fを変数としており、どちらを横軸に設定してプロットしても第1種0次のベッセル関数と同じ形になることが知られている。

空間自己相関係数と第1種0次のベッセル関数から次式が導かれる。

$$\rho(f, r) = J_0\left(\frac{2\pi fr}{C(f)}\right) = J_0(x) \Leftrightarrow C(f) = \frac{2\pi fr}{x} \quad (2)$$

$C(f)$ : 位相速度

空間自己相関関数の変数を2観測点間の距離とした場合、特定の周波数について、(2)式を用いて位相速度を得ることができる。

### 3. 理論分散曲線の特性

地盤の構造(層厚、密度、P波速度、S波速度)から理論的に位相速度分散曲線を得ることが出来る。これを理論分散曲線と定義する。今回、様々なモデル地盤(2、3、4層モデル)を作成し理論分散曲線を算出し、その特性を調べた。結果、理論分散曲線に大きな影響を持つ変数は1層目の層厚とS波速度( $V_s$ )であることが明確になった。これは、地表からある程度固い地盤までの地質と厚さに関係し、複数層の地盤構造でも2層構造と考えることで、容易に理論分散曲線を推定できる。表層地盤が柔らかいほど長周期側に、固いほど短周期側に曲線が移動する。2層モデルによる理論分散曲線を図2に示す。

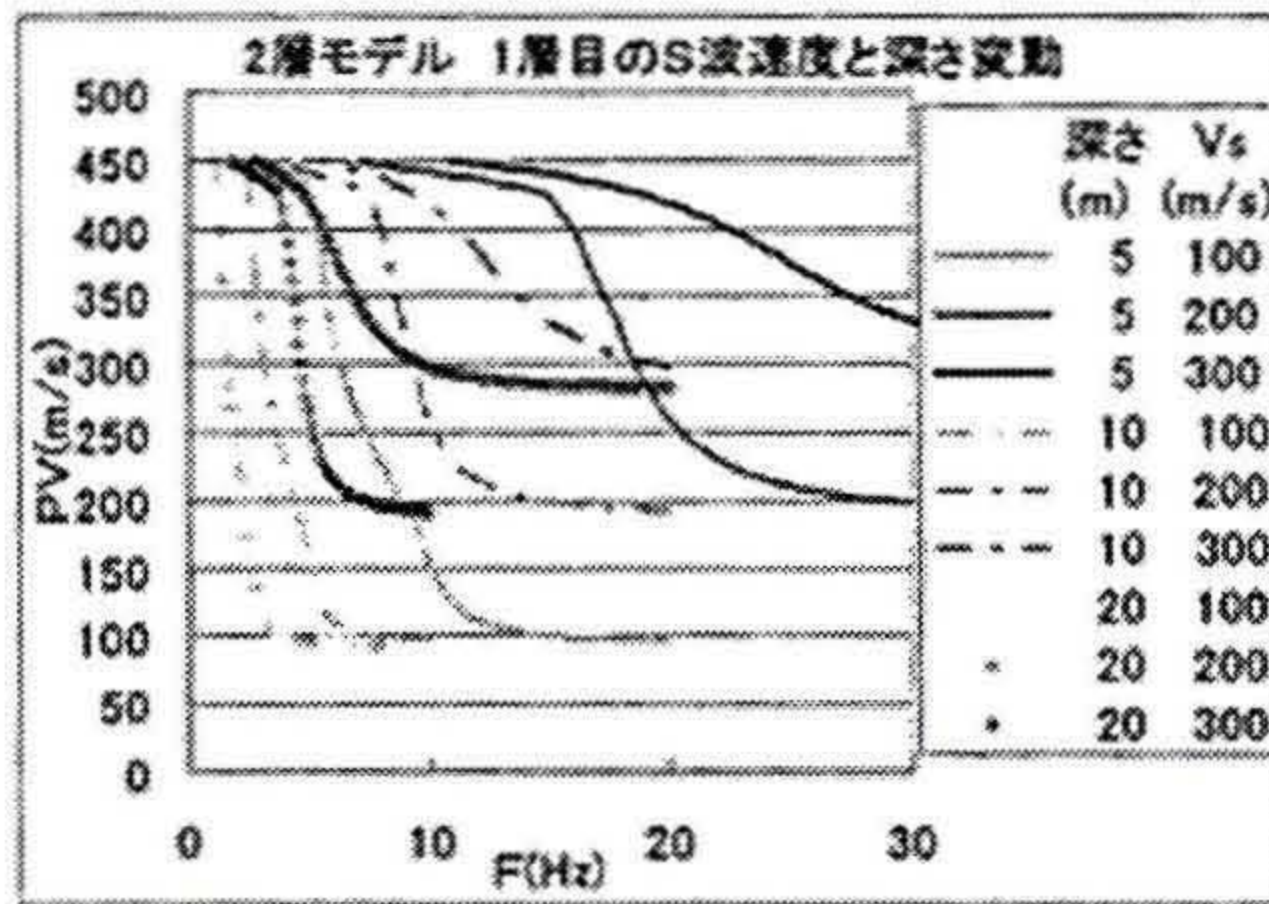


図2. 2層モデルによる理論分散曲線

### 4. 観測分散曲線と理論分散曲線の比較・検討

各観測地点で、観測結果より得られた観測分散曲線と、ボーリングデータから各観測地点の地盤構造を忠実に再現して求めた理論分散曲線のフィッティングを行った。ボーリングデータを表2、それによるS波速度構造を図3、フィッティング結果を図4、5に示す。

比較・検討の結果、軟弱地盤においては、新吉田小、羽沢小ともに観測分散曲線と理論分散曲線は良く一致した。

表2. 観測地点のボーリングデータ

新吉田小学校				羽沢小学校					
層	密度(g/cm3)	層厚(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	層	密度(g/cm3)	層厚(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)
1	1.891	3	690	135	1	1.807	6	1210	210
2	1.782	7	1100	80	2	1.855	1	1430	290
3	1.782	13	1100	90	3	1.873	9	1510	210
4	1.782	4	1100	135	4	1.904	2	1650	310
5	1.882	4	1550	345	5	1.938	4	1800	580

山田小学校				滝頭小学校					
層	密度(g/cm3)	層厚(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	層	密度(g/cm3)	層厚(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)
1	1.568	1	125	70	1	1.609	5	320	80
2	1.887	15	870	190	2	1.88	8	1540	240
3	1.92	4	1720	425	3	1.929	7	1760	370
					4	1.929	1	1760	420

浮光台第四小学校				大島小学校					
層	密度(g/cm3)	層厚(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	層	密度(g/cm3)	層厚(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)
1	1.625	3	390	180	1	1.616	2	350	80
2	1.758	5	990	250	2	1.942	7	1620	390
3	1.931	1	1770	680	3	1.991	4	2040	460

普通地盤においては、山田小は観測分散曲線と理論分散曲線がほぼ一致した。しかし、滝頭小では多少のずれ

が生じた。このため、ボーリングデータの1層目のVsを変化させて再検討を行った。その結果Vsを80m/sから50m/sに設定し算出した理論分散曲線と一致した。

硬質地盤において、両地点ともに基盤までの深さがかなり浅かったため、明確な観測分散性を得ることができなかった。これは、観測時にアレイ半径を小さくする、サンプリング周波数を大きく設定する必要が考えられる。

### 5. まとめ

観測により得られた観測分散曲線と、ボーリングデータにより算出した理論分散曲線は、硬質地盤を除いて、軟弱地盤、普通地盤のそれぞれでほぼ一致した。このことから、微動アレイ探査法は地盤構造に適したアレイサイズを選択することが必要であり、より正確なS波速度構造を推定するためには、多くのアレイサイズの組合せが必要である。

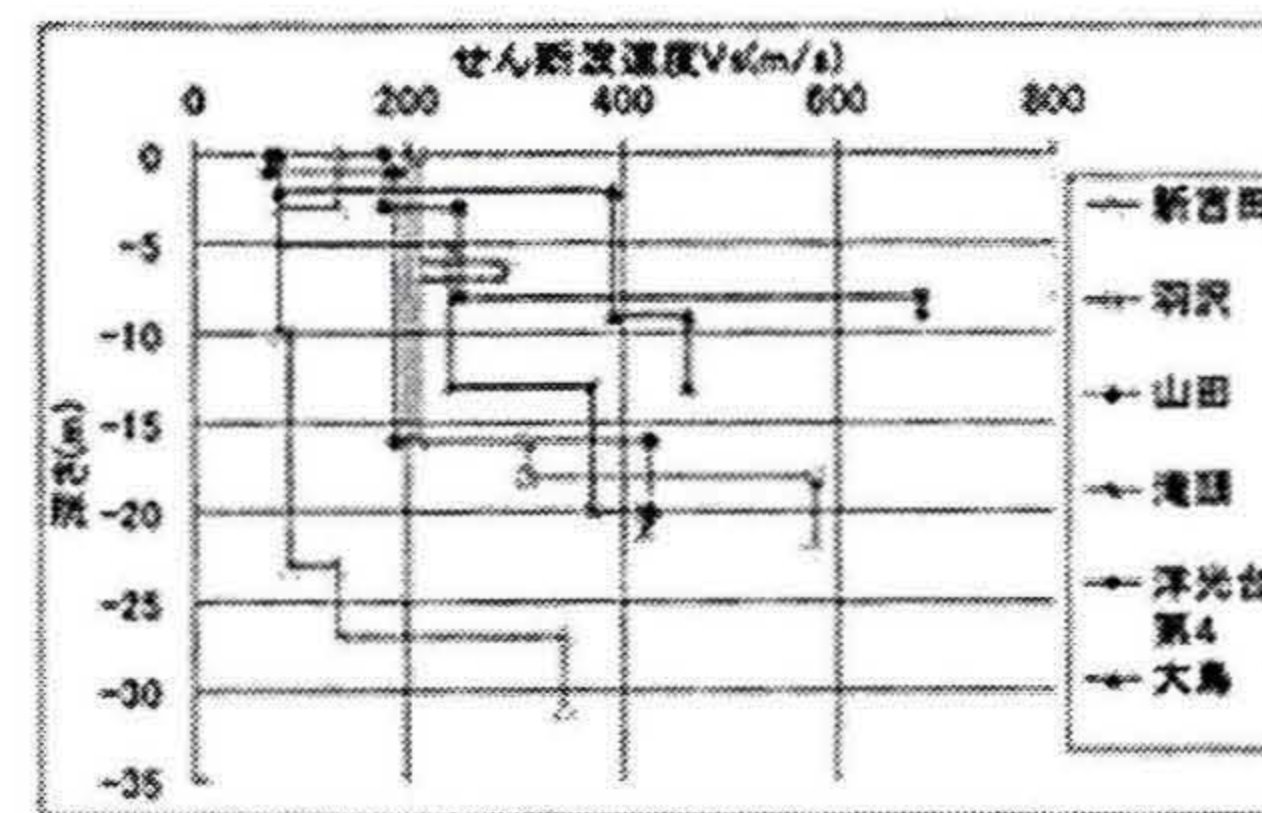


図3. ボーリングデータによるS波速度構造

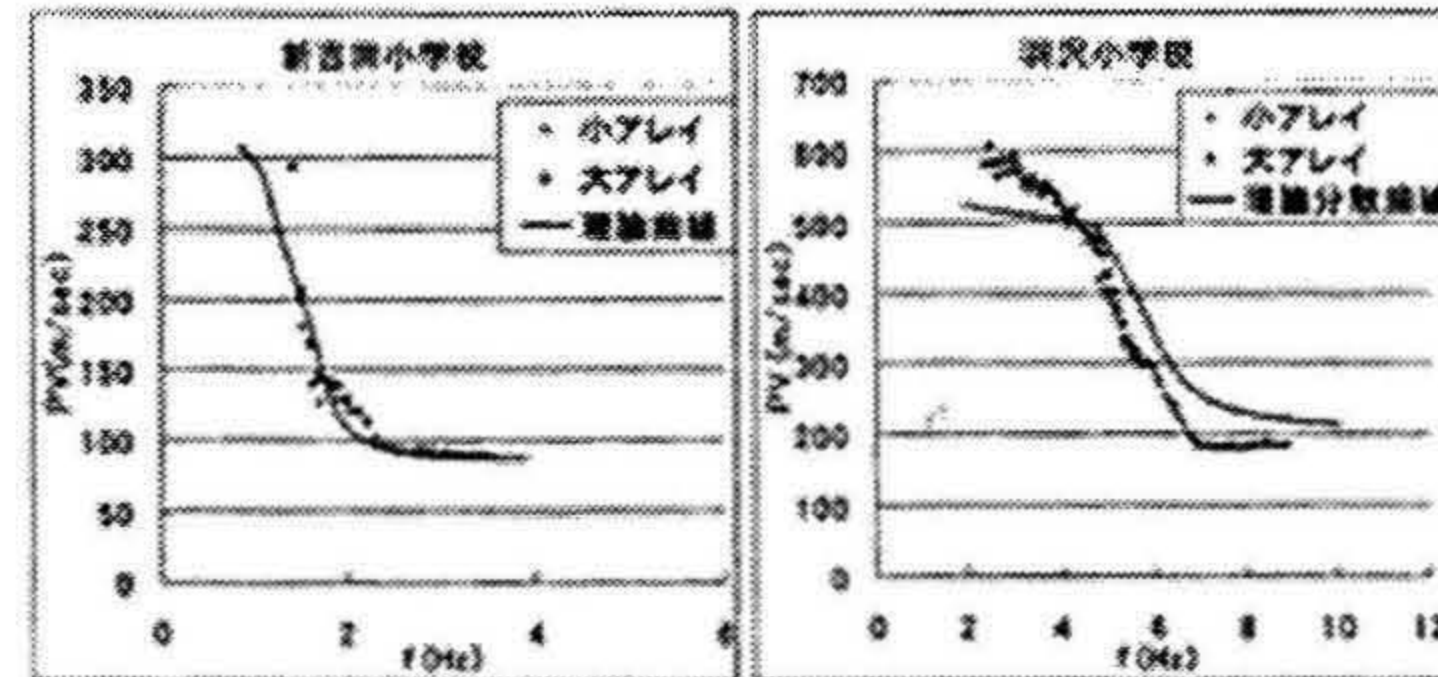


図4. 軟弱地盤における分散曲線の比較

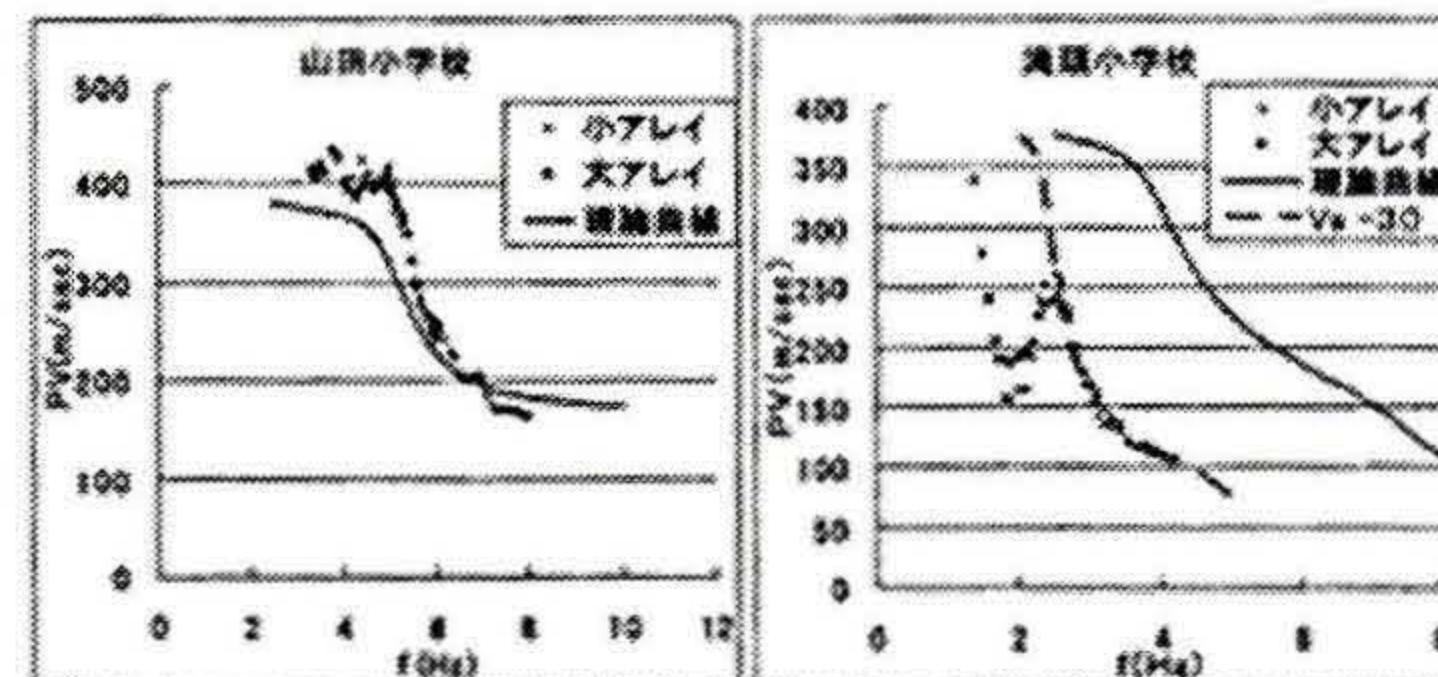


図5. 普通地盤における分散曲線の比較

#### 【参考文献】

- 1) 北野栄二郎:「SPAC法による地盤構造推定に関する研究」早稲田大学修士論文、2003
- 2) 石井匠:「SPAC法を用いた微動アレイ観測による地盤構造の検討」神奈川大学卒業論文、2004
- 3) 横浜市:「横浜市域内における地盤・地質調査」、1997

#### 【謝辞】

本研究は、神奈川県における文部科学省学術フロンティア研究プロジェクト「災害リスク軽減を目的としたソフト・ハード融合型リスクマネジメントシステムの構築に関する研究(研究代表者:荏本孝久)」の一環として実施したものであり、記して感謝いたします。