

微動アレイ観測による表層地盤構造の推定に関する研究

正会員 ○石井 匠* 正会員 山本 俊雄**
正会員 荻本 孝久**

微動アレイ SPAC 法 短周期微動
分散性 地盤構造

1. はじめに

微動アレイ観測とは、微動の位相速度を利用した地盤構造推定法で、微動計を地表面に適切に空間配置し微動を観測し、SPAC法などを利用して周波数ごとの微動の位相速度を推定する手法である。位相速度は地下構造に依存した分散現象を示す。分散は地下構造と密接に関係しており、逆解析により地下のS波速度構造が推定可能となる。S波速度構造は、地震時の地盤の振動特性に支配的な影響をもつ要因の一つであり、これを知ることにより地震時の建物被害の想定を適切に評価することができる。地盤構造を調査する手法としては微動調査法以外に、ボーリング調査、標準貫入試験、PS 検層などがあるが、どれも経済的な問題や騒音、安全性の問題が指摘される。それに比べ微動アレイ観測は、低コストで実施しやすく、騒音もない。また、広範囲な場所を必要としないので市街地でも観測出来るという利点がある。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、ボーリングデータによる理論分散曲線と比較し、異なる地盤における微動アレイ調査法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。

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。

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。

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

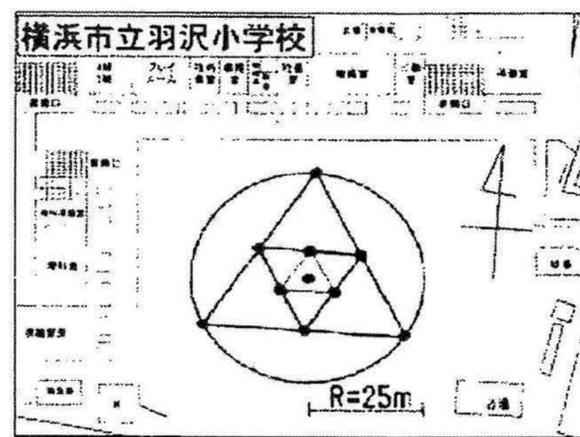


図1. アレイ配置図(例: 羽沢小学校)

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

$P_{ij}(f, \theta)$: 微動記録から得られる2観測ij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 f 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。

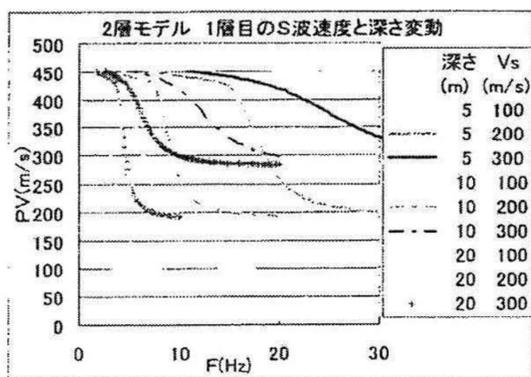


図2. 2層モデルによる理論分散曲線

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。

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 V_s を変化させて再検討を行った。その結果 V_s 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あると考えられる。

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。

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	1.691	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	1.566	1	125	70	1	1.609	5	320	80
2	1.687	15	670	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

洋光台第四小学校					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	1820	390
3	1.931	1	1770	680	3	1.991	4	2040	460

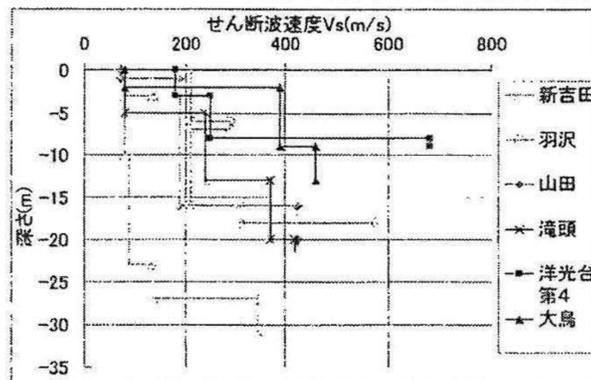


図3. ボーリングデータによるS波速度構造

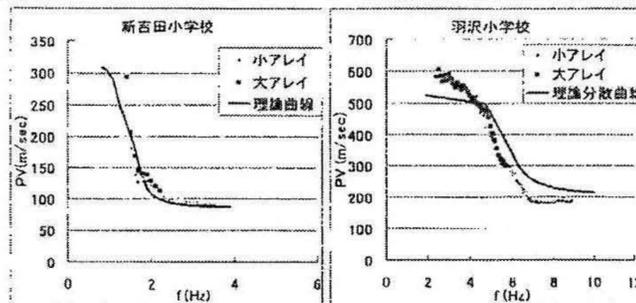


図4. 軟弱地盤における分散曲線の比較

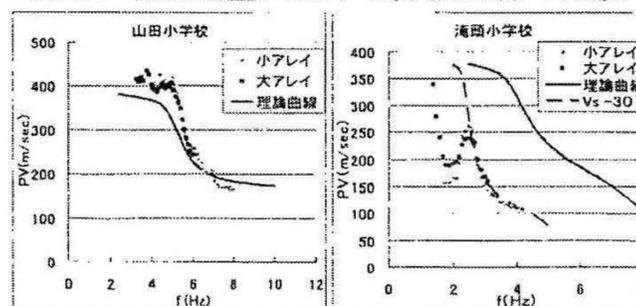


図5. 普通地盤における分散曲線の比較

【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、神奈川大学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。

* 神奈川大学大学院工学研究科

* Graduate School of Engineering, Kanagawa University

** 神奈川大学工学部建築学科

** Department of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University