

1. はじめに

地盤構造を明確にするためには、微動探査法以外にもさまざまな地盤構造推定法があるが、どれも精度や経済面の問題があり、コストがかかるというデメリットがある。しかし、微動アレイ探査法は直接、S 波速度構造を推定できるというメリットがある。この微動アレイ探査法は表面波であるレーリー波を仮定して、主に微動の上下動成分の観測結果からレーリー波の分散を求めて、地盤の大局的な地盤構造を把握する方法である。ここでは、SPAC 法を用いて、算定される位相速度の分散性に着目し、逆解析を行なうことによって表層面の S 波速度を求め位相分散曲線を推定することを行う。

本研究では、異なる地盤で微動アレイ探査を行い、分散曲線を計算し、ボーリングデータによる理論分散曲線と比較することにより、異なる地盤における微動アレイ探査法の有用性を検討することが目的である。

2. 微動アレイ探査

(1) 観測地点

観測地点は、神奈川県逗子市立逗子小学校、新潟県新潟市鐘木の市有地、神奈川県平塚市立豊田小学校、平塚市湘南海岸公園と横浜市立大鳥小学校の 5 つの異なる地盤構造をもつ場所で観測を行った。表 1 に、名称、観測地点、基盤深度を示す。図 1 にアレイ観測地点の例(大鳥小学校)を示す。

(2) 観測・解析

観測は、サーボ型速度計 (7 台) を使用し、SPC51 で観測を行い、サンプリング周波数を 100~1000Hz で図 1 の観測位置に示す地点で行った。アレイ半径はボーリングデータから得られる物性値を考慮し、工学的地盤までの距離を仮定して観測地点に応じて、大きいアレイは半径 100m から半径 3.125m まで、観測時間を 15 分でアレイ半径を変えて 2~5 セットずつ観測を行った。SPAC 法は、レーリー波を主に解析し、観測された常時微動データの鉛直成分を用いて分散曲線を算出する。

名称	観測地点	基盤深度 (m)
ZUSHI	逗子市逗子小学校	18
NIIGATA	新潟県鐘木	133
SHOUNAN	平塚市湘南海岸公園	70
TOYODA	平塚市豊田小学校	44
OOTORI	大鳥小学校	16

表 1 微動アレイ観測地点

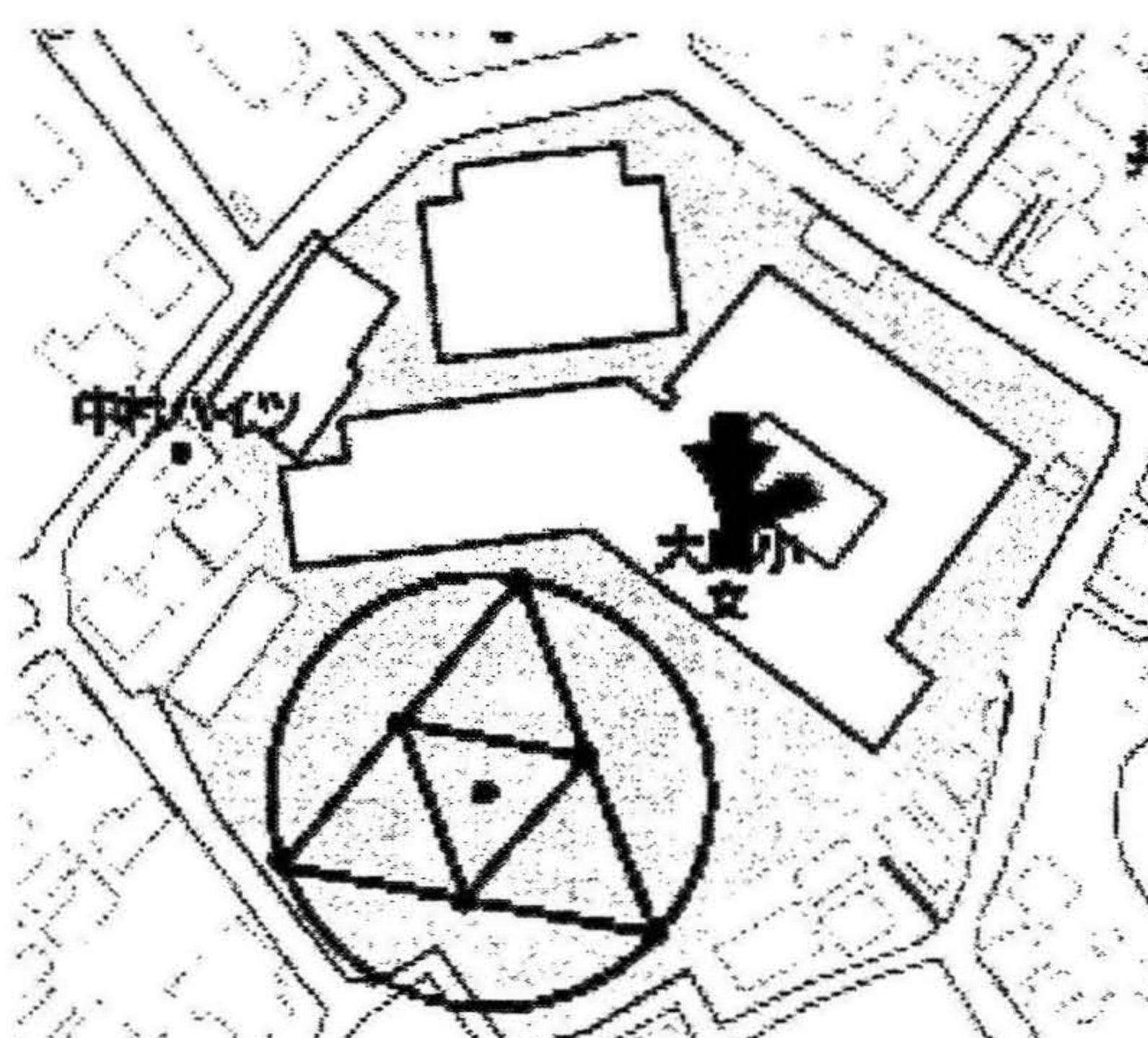


図 1、アレイ配置図 (例：大鳥小学校)

(3). SPAC 法(空間自己相関法)

位相速度の分散性を求めるために、位相速度は周波数ごとに複数点の空間自己相関関数から求めることができる。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次式で求められ、

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

$P_{ij}(f, \theta)$: 微動記録から得られる 2 観測点 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 f について、(2)式を用いて位相速度を求めた。

3. 理論分散曲線

理論分散曲線を得るためには地盤が成層構造をなしているとは仮定し、地盤の物性値(層厚、密度、P波速度、S波速度)が必要である。そのため、P S検層を実施していない地盤(豊田小学校、湘南海岸公園)では、参考文献4)によるN値からS波速度を求める換算式を用いた。次に、参考文献5)に掲載されている、神奈川全域を対象としたP波速度と密度について換算式を用いて算定した。以上のデータを元に、層厚をボーリング資料による地盤に合わせることで、理論的な位相速度分散曲線を求めた。また、逗子小学校、新潟鐘木と大鳥小学校の地盤では、P S検層データがあるため、これにより理論的な理論分散曲線を算定した。

4. 観測分散曲線と理論分散曲線の比較・検討

異なる観測地点で観測された観測分散曲線と、ボーリングデータから得られた理論分散曲線のフィッティングを行った。ボーリングデータは図2、S波速度構造を図3、理論分散曲線とのフィッティング結果を図4に示す。

逗子小学校と新潟県鐘木において、それぞれ比較検討を行った結果、観測分散曲線と理論分散曲線とが比較的良く一致した(図4)。

湘南海岸公園と豊田小学校のボーリングデータの深さが十分でなかったため、深い地盤構造データは参考文献6)を参考に推定した。層厚はそのままにし、深さとS波速度を、参考文献7)を参照しつつ推定した。その結果、算出した理論分散曲線と良く一致した。

大鳥小学校は昨年の研究より硬質地盤だと推測されたが、理論分散曲線との整合性が悪く再度検討した。その結果、16mほど表層面に100m/s以下のS波速度をもつ軟質層が存在する地盤と確認された。よって、図4に示すとおり、理論分散曲線と一致した。

5. まとめ

異なる地盤における観測分散曲線とボーリングデータにより算定した理論分散曲線の比較を行った。その結果、多少地盤構造を修正することによりフィッティングすることを確認した。これにより地域の異なる地盤で、ほぼ一致することが確認された。

以上のことから、微動アレイ探査法を用いて、適切なアレイサイズの推測と観測回数やアレイサイズの組み合わせを増やすことによって、より正確な地盤構造を推定することができ、その有用性が認められた。

ZUSHI				
層	密度	層厚(m)	P波速度	S波速度
1	1.83	15	1339	130
2	1.85	2	1869	587
3	1.84	-	1961	735

TOYODA				
層	密度	層厚(m)	P波速度	S波速度
1	1.82	5	1253	202
2	1.85	9	1403	260
3	1.84	30	1366	250
4	1.86	-	1600	500

OOTORI				
層	密度	層厚(m)	P波速度	S波速度
1	1.78	16	1108	86
2	1.85	-	1404	322

SHOUNAN				
層	密度	層厚(m)	P波速度	S波速度
1	1.83	8	1297	230
2	1.85	7	1404	322
3	1.86	28	1320	240
4	1.89	27	1500	380
5	1.90	-	1600	600

NIIGATA				
層	密度	層厚(m)	P波速度	S波速度
1	1.80	9	1107	140
2	1.83	123	1522	279
3	2.14	-	2269	613

図2、ボーリングデータ

S波せん断速度比較表

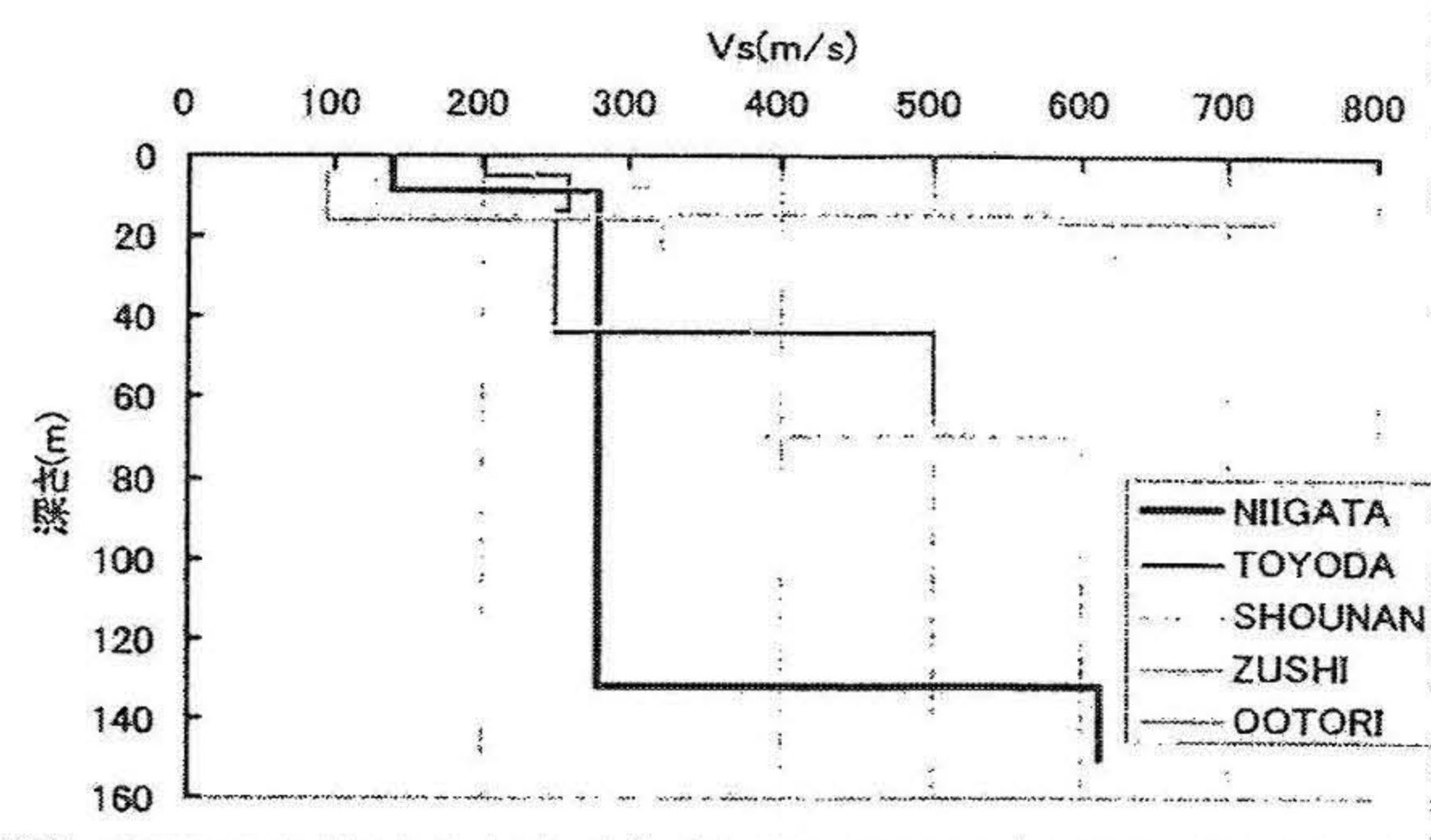


図3、各観測地点のS波速度構造

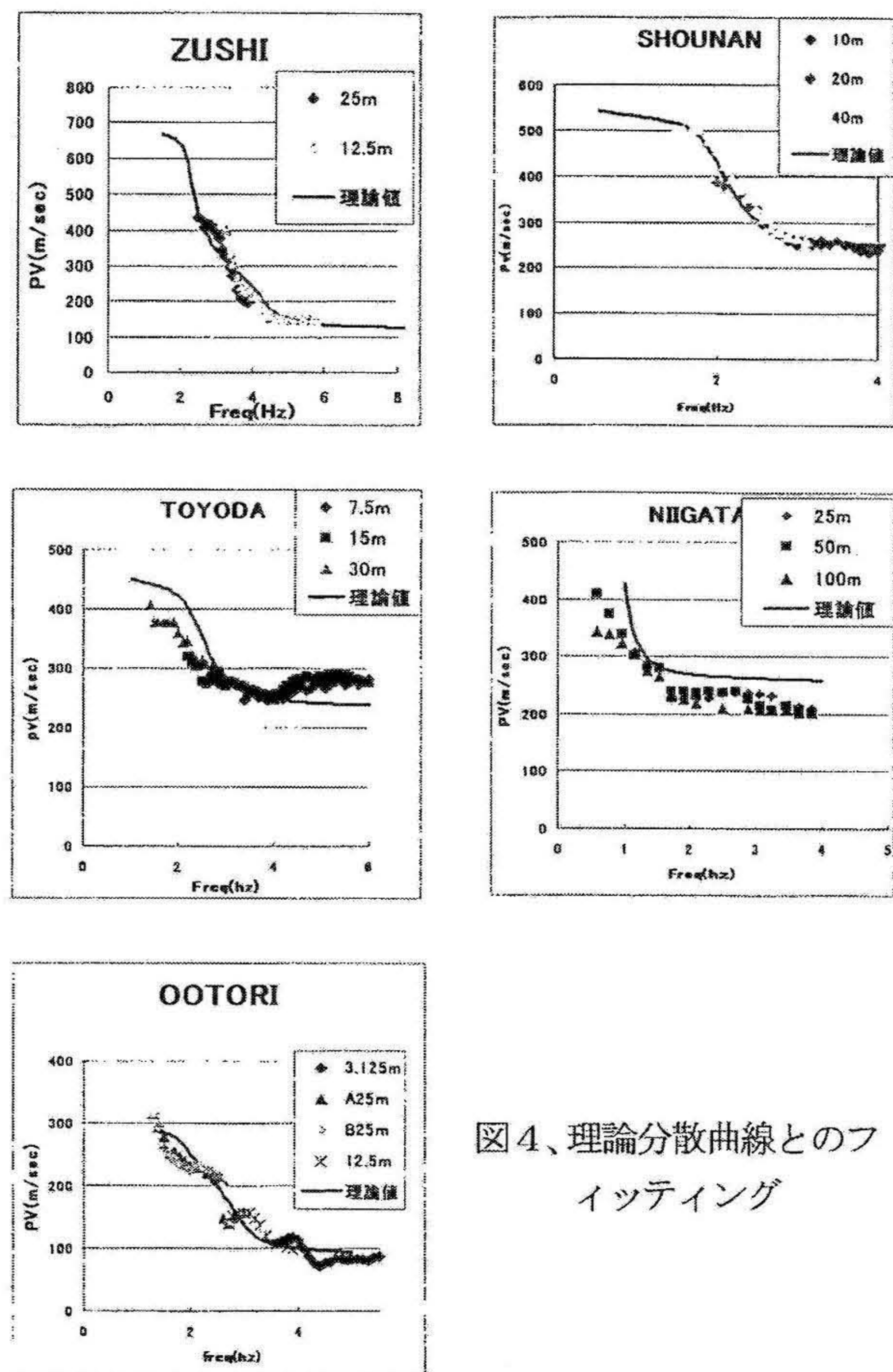


図4、理論分散曲線とのフィッティング

- 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、2006
- 3) 新倉直明:「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」神奈川大学卒業論文、2006
- 4) 地震防災マップ作成技術資料 内閣府防災情報
- 5) Ludwig et al. (1970)
- 6) 平塚市博物館研究報告『自然と文化』第27号
- 7) 落合勉「高密度微動観測を用いた相模平野の3次元地盤構造の推定と地震動伝播特性に関する研究」、神奈川大学修士論文 2000