

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：82405

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360403

研究課題名(和文)アレイの指向性制御による Focused 微動探査法の開発

研究課題名(英文) Research for a new exploration technique of microtremor survey method through controlling over vertical directivities of sensor arrays

研究代表者

白石 英孝 (Shiraishi, Hidetaka)

埼玉県環境科学国際センター・土壌・地下水・地盤担当・担当部長

研究者番号：60415396

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円、(間接経費) 3,990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、微動のアレイ観測によって地下構造を推定する微動探査法に関するもので、現行の手法では適用が困難なアレイ内構造変化(不均質、傾斜)等を推定・評価できる新しい探査法の導出を目的としている。アレイ内の情報を抽出する方法として深度方向指向性に着目し、その特性及び制御可能性を明らかにした。また、アレイ内の構造変化に由来する誤差を避けるために、構造変化の存在を示す指標を明らかにした。さらに、本研究ではアレイ形状の変更によって深度方向指向性を任意に制御することを試みたが、より総合的な手法が必要であることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：This research has aimed to develop a new estimation technique that allows us to evaluate subsurface structures including structural boundaries or gradient layers within sensor arrays which used in microtremor survey method (MSM). Such heterogeneity decreases accuracy of the current MSM. We have focused on vertical directivities of sensor arrays, and elucidated some of its characteristics and controllability, and spotted an index function which indicates heterogeneity within arrays. Though we tried to arbitrarily control the vertical directivities through deforming sensor placement, it was found that it is necessary to further consideration.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学 地球・資源システム工学

キーワード：地球計測 微動探査法

1. 研究開始当初の背景

微動探査法は地震計アレイを用いて微動に含まれる表面波の位相速度を検出し、その分散を逆解析することにより地下の成層構造の物性（特にS波速度構造）を推定する技術である（図1）。この手法は堆積平野の資源・環境および地震防災分野に広く適用できる受動的探査法で、4～10地点での受動的微動アレイ観測によりS波速度構造を推定できるため、人工震源を用いる能動的手法と比べて経費・計測時間は格段に少ない。

微動探査法を資源・地震防災分野に適用する際には地下数100～数1000m程度までの速度モデルを同定する必要があるが、既往の方法では、こうした大深度での推定精度は必ずしも高くなく、また、計測に用いる数10～数100m程度のアレイ内の平均的な速度が推定されるため、アレイ内部の構造変化（不均質、傾斜）を推定・評価することができない。そのため、深度方向および水平方向に高い分解

能を有する微動計測法の導出が望まれてきた。

2. 研究の目的

本研究は、微動探査法の既往の手法における大深度での推定精度の低下やアレイ内部の構造変化（不均質、傾斜）を推定・評価できないという課題の解消に向けて、アレイの深度方向指向性を制御し、計測対象付近にフォーカシングした地下情報の収集を可能にする新たな計測法の導出を試みようとするものである。

本研究では、

- ・深度方向指向性の解明
- ・深度方向指向性の制御可能性（ビームフォーミング）を明らかにする
- ・特定深度の情報を選択的に抽出する手法の開発

を目的として、次に述べる方法により、検討を行った。

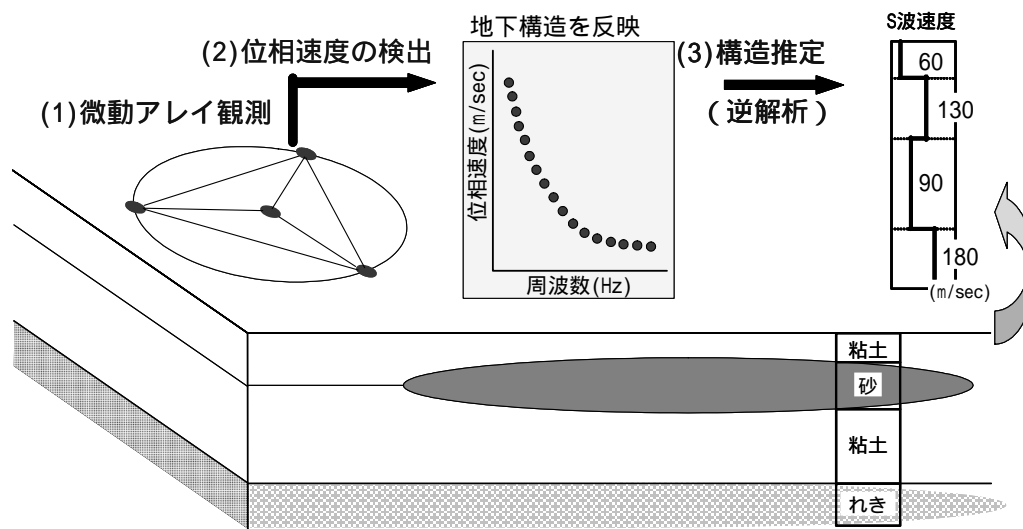


図1 微動探査法によるS波速度構造推定概念：微動探査法は、海洋波浪や交通に由来して表面波が卓越する微動をアレイ観測し、位相速度分散を逆解析することによりアレイ直下のS波速度構造を推定する技術である。既往の手法では、大深度での推定精度の低下やアレイ半径内の構造変化（不均質、傾斜）を推定・評価する方法が存在しない等の課題がある。

3. 研究の方法

(1) 深度方向指向性の解明

深度方向指向性の表現式については、2点アレイの出力として白石ほか(2006)で導かれた複素コヒーレンス関数(以下、CCFと呼ぶ。)を用いることとし、これを深度方向を含む座標系に拡張して深度方向指向性の挙動を調べた。

(2) 深度方向指向性の制御可能性

2点アレイを複数組み合わせた場合の深度方向指向性を、(1)で導いた式の組み合わせによって表現し、その形状の変化を比較して制御可能性について検討を行った。

(3) アレイ内構造変化の識別可能性

はじめにアレイ内部に構造変化がある場合の位相速度推定値の挙動を検討した。具体的には、2つの構造の境界をまたいだ2点アレイのCCF理論式を導き、そのCCFを用いてアレイ内部の構造境界の位置に対する位相速度推定値の変化を調べた。次にその結果を数値実験及びフィールド実験によって検証した。さらに、アレイ内部に構造変化があることを示す指標について数値実験による検討を行った。

4. 研究成果

(1) 深度方向指向性の解明

探査対象の地盤の波数を k 、2点アレイのセンサ間距離を r とおくと、深度方向指向性はパラメータ kr の値によって変化し、 kr の値が小さいと地下からの入射角によらずほぼ一定の感度をもつことがわかった。また kr の値が大きくなると、深度方向指向性はアレイに直交する方向からの入射波に対しては高い感度が維持されるが、それ以外の方向の感度は低下し、ナイキスト条件 ($kr = \pi$) を超えると

複雑に変化することがわかった。ただし、アレイ直下からの入射波に対しては、 kr の値に依らず常に高い感度が維持されていた。

(2) 深度方向指向性の制御可能性

深度方向指向性の制御可能性を検討するために、2組の2点アレイを交差させた場合の深度方向指向性の変化を調べた。その結果、交差角度によって深度方向指向性の形状が変化することがわかった。また、SPAC法で使われるアレイについて検討したところ、深度方向指向性はアレイ直下方向に伸びていることがわかった。これらの結果から、深度方向指向性はアレイの幾何学的形状に応じて変化し制御は可能であるとの結果が得られた。しかし、本研究で意図した特定の計測対象付近に指向性をフォーカシングし情報を選択的に抽出することは、地表面でのアレイ形状の変更だけでは難しく、センサ間の位相制御などを含むより総合的な手法が必要であると考えられた。

(3) アレイ内構造変化の識別可能性

構造境界を含むアレイの位相速度推定特性
2つの構造 p 、 q の境界を挟む位置に2つのセンサを配置した場合のCCF理論式を導いた。この式には、センサ間距離 r 内に含まれる構造 p の長さ x がパラメータとして含まれる。この式を用いて、構造境界をまたぐ位置にSPAC法の正三角形アレイを設置した場合の、 x の値による位相速度推定値の変化を調べた。その結果、 x に従って位相速度推定値が変化し、構造境界の存在を認識せずに解析を行うと誤差が生じることがわかった。同様の傾向は数値実験の結果およびフィールド実験での実測結果にも現れていた。

アレイ内構造変化を示す指標の検討

地表面にアレイを設置する場合、一般には

その内部に構造境界等の不均質性が含まれることを事前に知ることは困難である。そこで不均質性の存在を推定するための指標について検討を行った。その結果、アレイを構成する観測点ごとの位相スペクトルを比較することで、アレイ内の構造変化の存在を推定する可能性があることがわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計2件)

Shiraishi H. and H. Asanuma(2012)、
Vertical directivities of seismic arrays on the ground surface、 Abstract 51C-2440 presented at 2012 Fall Meeting、 AGU、 San Francisco、 Calif.、 3-7 Dec.

Shiraishi H. and H. Asanuma(2013)、
Detection properties of phase velocities with SPAC arrays including structural boundary、 Abstract NS43A-1743 presented at 2013 Fall Meeting、 AGU、 San Francisco、 Calif.、 9-13 Dec.

6. 研究組織

(1)研究代表者

白石 英孝 (SHIRAISHI HIDETAKA)
埼玉県環境科学国際センター・土壌・地下水・地盤担当・担当部長
研究者番号：60415396

(2)研究分担者

浅沼 宏 (ASANUMA HIROSHI)
産業技術総合研究所・地圏資源環境研究部門・上席主任研究員
研究者番号：50250717

(3)連携研究者

八戸 昭一 (HACHINOHE SHOICHI)
埼玉県環境科学国際センター・土壌・地下水・地盤担当・専門研究員
研究者番号：70415397

石山 高 (ISHIYAMA TAKASHI)
埼玉県環境科学国際センター・土壌・地下水・地盤担当・専門研究員
研究者番号：80297621

濱元栄起 (HAMAMOTO HIDEKI)
埼玉県環境科学国際センター・土壌・地下水・地盤担当・主任
研究者番号：40511978