

CCA法の実用化による浅部微動探査の新展開

A new development in shallow explorations using microtremors based on a practical use of a CCA method

長 郁夫^{1*}, 先名 重樹², 中澤 努¹, 藤原 広行²

Ikuo Cho^{1*}, Shigeki Senna², Tsutomu Nakazawa¹, Hiroyuki Fujiwara²

¹産総研, ²防災科研

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ²National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

1. はじめに

我々は常時微動の上下動アレイ観測からレーリー波の位相速度を抽出する道具として Centerless Circular Array 法 (CCA 法) の開発を 10 年近く続けてきた。開発初期は、地震計 3 個からなる不規則アレイへの適用性をもって CCA 法の特徴とした (Cho et al. 2004)。後に、データの質によっては SPAC 法よりもアレイサイズに比べて長波長を扱えることを示した (Cho et al., 2006)。近年は、半径 1 m 以内のアレイ (極小アレイ) でもノイズを補正しながら解析することにより、波長 100 m 以上の波を扱えることを示した (Cho et al., 2013)。このように、我々はこれまで CCA 法の手法開発を主眼としてきたが、今回は実用化とその応用について検討したので以下に報告する。

2. コヒーレンス CCA 法と疑似 S 波速度断面

CCA 法の実用化のために我々は基礎式に含まれるクロススペクトルをコヒーレンスに置き換えた (以下、コヒーレンス CCA 法と呼ぶ)。これは実用法として定着した SPAC 法でもクロススペクトルの代わりにコヒーレンスが用いられていることから着想である。様々なサイト、サイズのアレイデータにコヒーレンスを用いる SPAC 法と CCA 法の両方を適用して比較し、コヒーレンス CCA 法の信頼性と安定性を確認した。特に極小アレイにおけるノイズ補正の安定化に効果があり、多くの場合において SPAC 法を適用した場合の解析能力をはるかにしのぐことが明らかになった。

我々はアレイ半径に対する解析可能波長帯域、解析結果の信頼性、安定性の観点から、コヒーレンス CCA 法による極小アレイ ($r < 1$ m) と、必要に応じて 3 点からなる不規則形の「小アレイ」 ($r < 10$ m) を別途実施することで従来よりも実用的な浅部 (深さ数 10 m ~ 100 m 程度) 構造探査が可能になると考えている。3 点からなる不規則小アレイは路地や 5 m 幅の道路の両側の空きスペースに設置できることから市街地での観測に効果がある。CCA 法による極小アレイや小アレイは観測が簡単なので、測線に沿う複数点で観測して「疑似 S 波速度断面」 (凌他, 2003) や「チェーンアレイ」 (原口他, 2010) と呼ばれるような 2 次元構造解析を実施するのも簡単である。これらは適当な変換式によって分散データを S 波速度構造に変換する簡易逆解析である。

3. H/V 構造

H/V スペクトルに関する過去の研究は微動の振幅情報が地下構造推定に有効なことを表している。H/V スペクトルのピーク周波数は速度コントラストの強い軟弱層の厚さや速度に、ピーク高は層間の速度コントラストあるいはインピーダンス比に関連すると考えられている (例えば, Konno and Ohmachi, 1998)。しかし H/V で地盤構造を推定しようとするすべての既存研究には、(i) H/V スペクトルのピークによって示される深さスケールの解釈には地盤速度と層厚のトレードオフに起因する任意性がある、(ii) ピークが低く複数あるためにピークの読み取り自体が難しい場合も多い等の問題が常につきまってきた。

この問題は、単点観測の隣で上下動極小アレイを実施するか、あるいは単に 3 成分地震計で極小アレイを実施することで解決できる。アレイ解析で得られる周波数と波長の関係を H/V スペクトルに適用すれば、周波数 H/V の関係を波長 - H/V の関係に変換できるからである。波長に適切なファクターをかけて深さとみなせれば、H/V スペクトルのピークに対応する深さスケールが一目で分かるようになる。スペクトル全体が速度コントラストの情報になるので、ピークの読み取りが難しいような場合も問題にならない。深さ H/V の関係をここでは H/V 構造と呼ぶ。H/V 構造は、定性的には速度コントラストもしくはインピーダンス比の構造に対応すると考えられる。

4. CCA 法による疑似 S 波速度断面・H/V 断面

我々は、浅部構造探査のために 3 成分単点観測と CCA 法による極小アレイ、小アレイを多点で展開して疑似 S 波速度断面と H/V 断面 (それぞれ疑似 S 波速度構造, H/V 構造の空間補間で得られる 2 次元プロット) を解析し、統合的に解釈することを提案する。こうすることでこれまでよりも多くの情報を簡易に抽出できると期待する。CCA 法による極小アレイ・小アレイ観測は作業コストが低いので多点データの取得に適する。またアレイサイズが小さいので水平方向の空間分解能が高い。今後は適用例を増やしながらか本提案の有効性を検証していきたいと考えている。

防災科学技術研究所と白山工業 (株) の共同開発による微動 / 強震観測キット JU215 (先名他, 2006) はこの目的に適し

SSS33-04

会場:103

時間:5月19日 10:00-10:15

ている。図1は約10 kmの測線に沿う疑似S波速度断面とH/V断面である。これは調査員一名が現地調査を含むのべ二日間の観測でJU215により得たデータの解析結果である。発表では、JU215によるデータの解析例(つくば, 柏, 浦安, 潮来等)と地質構造との関係を示しながら手法の有効性と課題について報告する。

キーワード: 微動, 速度構造, 表面波, 位相速度, 探査, アレイ

Keywords: microtremor, velocity structure, surface waves, phase velocity, expolation method, array



図1 上: 柏測線(約10 km).
下: 疑似S波速度断面(左)とH/V断面(右).

