

## 5) - 4 地盤増幅特性評価用極小微動アレイ探査法の実用的現場

### 測定技術【基盤】

#### Study on Microtremor Array Exploration Method Using Mini-Size Array for Estimating Ground Amplification Characteristics

(研究期間 平成 21~23 年度)

国際地震工学センター  
International Institute of Seismology and Earthquake Engineering  
構造研究グループ  
Dept. of Structural Engineering

横井俊明  
Toshiaki Yokoi  
小山 信  
Shin Koyama

The technical details of Microtremor exploration using mini-size array (CCA method) are investigated for the purpose of earthquake disaster prevention of buildings and houses through estimating ground condition, especially shear wave velocity structure shallower than the engineering bedrock. A new method to exclude the influence of the higher harmonic modes and also a new formulation for the system correction are proposed and confirmed by field observation.

#### 【研究目的及び経過】

構造物の地震防災対策では、地盤のせん断波速度( $V_s$ )構造は基本的な情報である。この簡便な推定の為に、波浪・交通振動等による地動ノイズ(微動)を利用した推定法(微動探査)が提案されている。1点3成分観測の水平/上下動のパワー比による方法(H/V)は、 $V_s$ にははっきりした境界が無い地盤での精度が疑問視される。多点での微動の同時観測記録を使う微動アレイ探査のうち実用段階にある SPAC 法は、探査深度と同程度のアレイ径を要し、特に都市での観測の煩雑さが指摘されている。

直径数 m 以下の円形アレイを使って数十mの深さまで探査可能とされる CCA 法<sup>1)</sup>は、カーポート程度のオープンスペースで実施可能(図1)であり、また SPAC 法に遜色ない分解能を得られるので、都市での地盤状況の把握用の、簡便な方法として利用できる可能性がある。本研究では、CCA 法に対して、理論的背景の検討・観測機器の仕様の検討・屋外観測実験・解析用ソフトウェア開発等を通じて、開発途上国等での普及を目指した実用的現場測定技術を確立することを目的とする。

#### 【研究内容】

微動アレイ探査のタスク・フローを図2に示す。野外観測(左上)で得られた記録を解析し(左下)、微動中に含まれる表面波の位相速度を推定し(右上)、それから  $V_s$  構造を逆解析する(右下)。

(1) CCA 法で表面波の位相速度を推定する際に用いる長波長近似に基づく換算式を改良し<sup>2)</sup>、地盤最浅部の  $V_s$  推定の誤差を軽減した(図3)。

(2) 比較的廉価な(動コイル型)短周期地震計を使う

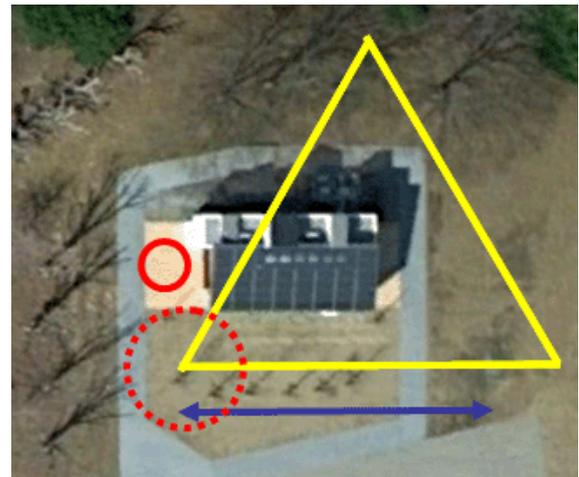


図1 微動観測アレイの大きさの例：(建研構内(LCCM 実験住宅)：円(CCA法、半径2m)、点円(CCA法、半径5m)、三角(SPAC法、一辺30m)。

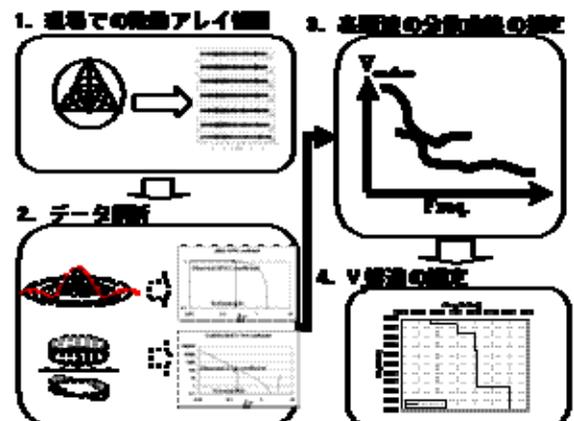


図2 微動アレイ探査法(SPAC法及びCCA法)のタスク・フロー

場合、CCA 法では、表面波の位相速度を推定する際に地震計の固有周波数付近の周波数帯でのチャンネル間の計器特性の差異が精度を悪くするが、この対策として計器特性及び地震計設置点の極く局所的な増幅の影響の補正法を提案した(図 4)<sup>2)</sup>。

(3) SPAC 法と CCA 法では、アレイ径が波長と同程度或いはより短い表面波を解析するので、同じ周波数、異なる位相速度で伝播する高次モード波を区別できず、その影響が Vs 構造推定の誤差となる。本研究では、地震波干渉法理論を応用して開発した、これら高次モードを考慮した逆解析法<sup>3)</sup>を、実記録で検証した<sup>4)</sup>。

(4) 表面波の位相速度から Vs 構造を逆解析する為にヒューリスティック探索が用いられる場合が多いが、推定誤差の評価法は未だ確立していない。本研究では、このひとつである高速焼き鈍し法と Down Hill Simplex 法の組み合わせ<sup>4)</sup>に対して、収束判定された解の周りの編微分係数の計算を定式化し、ヒューリスティック探索ではない一般的な逆解析手法のそれに相当する誤差の評価法を提案した。

#### 【研究結果】

地表から工学的基盤まで、またさらに深い地層までの CCA 法による探査が、比較的廉価な機材(地震計)を使っても実施可能であり、加えて、そのアレイサイズにより都市域での探査実施に有利であることが示された。今後、研究実施期間 3 年分の成果を取り纏めて研修教材を作成する予定である。

#### 【参考文献】

- 1) Cho, I., Tada, T. and Shinozaki, Y., 2006, Centerless circular array method: Inferring phase velocities of Rayleigh waves in broad wavelength ranges using microtremor records, *Jour. Geophys. Res.*, 111, B09315.
- 2) 横井俊明、小アレイ微動探査の為に計器特性等の補正について、物理探査学会第 126 回学術講演会講演論文集、平成 24 年度
- 3) Yokoi, T., 2010, New formulas derived from seismic interferometry to simulate phase velocity estimates from correlation methods using microtremor: *Geophysics*, 75, No. 4, SA71-SA83.
- 4) 横井俊明・林宏一、茨城県常総市における二重モード SPAC 法の野外実験、物理探査学会第 123 回学術講演会講演論文集、平成 22 年度
- 4) 横井俊明、Down Hill Simplex 法との結合による高速焼き鈍し法の最適化-表面波分散曲線のインバージョン解析用冷却スケジュールの検討-、日本地震学会 2005 年度秋季大会予稿集

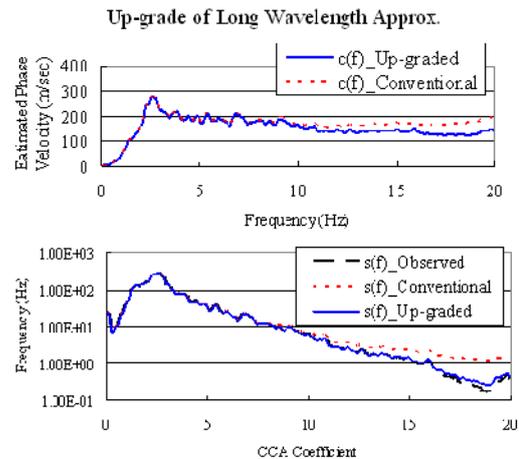


図 3. 長周期近似の改良の効果：(上) 推定された位相速度(点線：従来の近似、実線：改良された近似)、(下) CCA 係数(破線：観測値、点線：従来の近似、実線：改良された近似)

#### Effect of System Correction

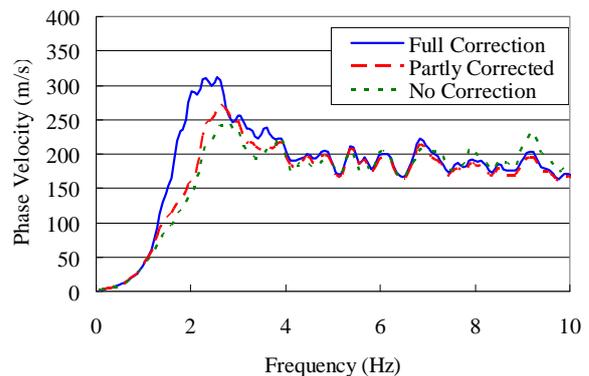


図 4. 計器特性等補正の効果の例：(LCCM 実験住宅脇空地、L22D( $f_0=2\text{Hz}$ )、半径 2m の正六角形アレイ)。実線：計器の位相・振幅特性と局所的な増幅の振幅特性を補正、破線：計器の振幅特性と局所的な増幅の振幅特性を補正、点線：補正なし

平成 22 年度以前の課題名：

極小アレイ微動探査法の実用化と観測・解析マニュアル作成