

12-10 微動アレイ探査法と地震波干渉法

Microtremor Array Exploration and Seismic Interferometry

(独) 建築研究所 横井俊明

Building Research Institute, Toshiaki Yokoi

「地震波干渉法」は、使われる文脈により様々な意味を持つが、ここでは、Wapenaar & Fokkema (2006)により“Retrieval of Elastodynamic Green’s Function from Microtremor”の意味で用いる。その適用は、基本的に2点で観測した微動記録の相互相関の計算に拠るが、既に確立されている微動を使った地下探査法であるSPAC法(Aki, 1957; 1965, Okada, 2003), また近年提案されたCCA法(Cho et al., 2006; Tada et al., 2007)においても、そのデータ解析は主として相互相関(相互スペクトル)に拠る。ここでは、これらの関係を考慮した研究を紹介し、さらに地震波干渉法を作業仮説として仮定して導出されるパワー分配係数を複数のモードが存在する場合でのSPAC法やCCA法に応用し、数値実験でその成否を確認する。

今まで報告されている地震波干渉法の成功事例のほとんどが、短波長領域での応用であったのに対して、SPAC法やCCA法は停留位相近似が使えない長波長領域の問題である。Yokoi & Margaryan(2008)は、Wapenaar & Fokkema (2006)が導出した地震波干渉法の式から、SPAC法の基本式がほぼ導出され、coherenceの方位平均の要不要が唯一の矛盾点であることを示した。そして、同じパワーの点ノイズ源を滑らかな境界面に分布させるWapenaar & Fokkema (2006)の微動場の表現では穏やかに方位依存した波動場しか表現できず、そういう場合には方位平均が近似的に不要となるのであろうと解釈した。Yokoi & Margaryan(2008)は、また高次モードが存在する場合のSPAC係数の定式化も示した。その導出過程から、複数のモードが存在する場合のパワー分配係数を地下構造によって一意的に決定される正規化された水平成層構造の固有関数で表現できることが示された(Yokoi & Margaryan, 2008)。さらに、このパワー分配係数を使って、複数モードが存在する場合のSPAC係数 $\rho(r, \omega)$ とCCA係数 $s(r, \omega)$ を次の様に定式化することができる(横井, 2009)。

$$\rho(r, \omega) = \frac{\sum_{n=0}^M \text{Re}[\hat{r}_2(k_n, 0)^2] J_0^2(k_n r)}{\sum_{n=0}^M \text{Re}[\hat{r}_2(k_n, 0)^2]}$$
$$s(r, \omega) = \frac{\sum_{n=0}^M \alpha_n(\omega) J_0^2(k_n r)}{\sum_{n=0}^M \alpha_n(\omega) J_1^2(k_n r)} = \frac{\sum_{n=0}^M \text{Re}[\hat{r}_2(k_n, 0)^2] J_0^2(k_n r)}{\sum_{n=0}^M \text{Re}[\hat{r}_2(k_n, 0)^2] J_1^2(k_n r)}$$

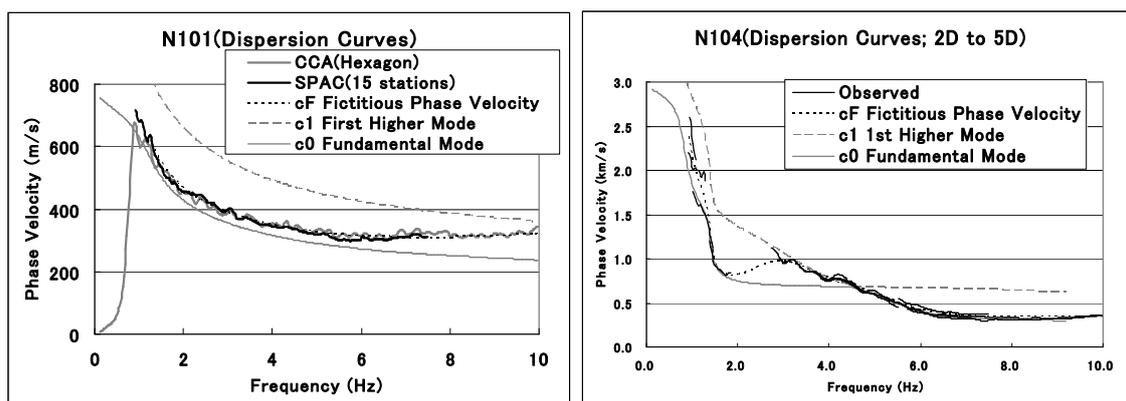
ここに、

$$\hat{r}_2(k_n, z)^2 = r_2(k_n, z)^2 / 4c_n^R(\omega) U_n^R(\omega) I_1^{R(n)}(\omega), \quad I_1^{R(n)}(\omega) = \frac{1}{2} \int_0^\infty \hat{\rho}(z) \{r_1(k_n, z)^2 + r_2(k_n, z)^2\} dz,$$

$c_n^R(\omega)$ と $U_n^R(\omega)$ はRayleigh波の位相速度と群速度、 $r_i(k_n, z)$, $i=1,2$ は水成層構造の固有関数を示す(Aki & Richards, 2002)。

数値実験は、「地震動に及ぼす表層地質の影響に関する国際シンポジウム(ESG2006)」の一環として実施された微動記録解析のブラインドテスト(NBT)に際して参加者に配布された、有限差分法を使って水平成層構造に対してシミュレートされた合成微動記録N101及びN104を使って実施した(Cornou et al. 2006 参照)。基本モードと高次1次モードの存在を仮定して、上式を使って計算した理論分散曲線(図1中、Fictitious Phase Velocityと記載)は、SPAC法及びCCA法に於いて決められた観測分散曲線と、両ケースでよく一致した。これにより、上式及びそれらが導出された基礎である地震波干渉法の妥当性が支持された。

なお、上式を適用した基本モードと高次1次モードの存在を仮定したデュアルモードインバージョンは、良好な結果を与えている(横井, 2009)。



第1図 N101 (左) と N104 (右) の合成微動記録の, SPAC 法(左: 黒太実線、右: 黒実線)及び CCA 法(左: 灰太実線)による解析で決定した観測分散曲線と地震波干渉法から導出された定式による理論分散曲線(c_F)の比較 (横井(2009)に加筆).

Fig.1 Comparison of the observed dispersion curves determined by SPAC and CCA methods with the theoretical ones calculated using the formulas derived from Seismic Interferometry for the cases N101(left) and N104(right)(Modified from Yokoi(2009)).

参考文献

- Aki, K., 1957, Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors: Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, **35**, 415-457.
- Aki, K., 1965, A note on the use of microseisms in determining the shallow structure of the earth's crust: Geophysics, **30**, 665-666.
- Aki, K., and P. G. Richards, 2002, Quantitative seismology, 2nd Edition: University Science Books.
- Cho, I., T. Tada, and Y. Shinozaki, 2006, Beyond the SPAC method: Exploiting the wealth of circular-array methods for microtremor exploration, Bull. Seism. Soc. Am., **97**, 2080-2095.
- Cornou, C., M. Ohrnberger, D. M. Boore, K. Kudo and P.-Y. Bard, 2006, Derivation of structural models from ambient vibration array Recordings: result from an interpretational blind test: Proc. of the Third International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion 2006, Grenoble, France, edited by Bard, P-Y, vol. 2, pp NBT
- Okada, H., 2003, Microtremor Survey Method, SEG of Japan, K. Suto, trans: Geophysical Monograph Series, No. 12, SEG.
- Tada, T., I. Cho, and Y. Shinozaki, 2007, Beyond the SPAC method: Exploring the wealth of circular array methods for microtremor exploration: Bull. Seism. Soc. Am., **97**, 2080-2095.
- Wapenaar, K., and J. Fokkema, 2006, Green's function representations for seismic interferometry: Geophysics, **71**, SI33-SI46.
- 横井, 2009, 微動の相関解析により得られる表面波分散曲線の地震波干渉法理論に基づくデュアルモード・インバージョン, 物理探査第 62 巻第 5 号, 印刷中.
- Yokoi, T., and S. Margaryan, 2008, Consistency of the spatial autocorrelation method with seismic interferometry and its consequence: Geophys. Prospecting, **56**, 435-451.