

H/Vスペクトルに基づく微動源特性に関する一検討

理化学研究所地震防災フロンティア研究センター 正会員 ○新井 洋 久保 哲夫
東京工業大学 正会員 時松 孝次

1. はじめに

地盤のS波速度構造を簡便に精度良く評価するための手法として、微動の表面波的特性を利用する方法がある^(例えば1),2)。これらの手法の適用限界を議論する上で、微動の振動源(微動源)スペクトル特性を把握しておくことは重要と考えられる。しかし、微動源の多様性やモデル化の困難さから、そのスペクトル特性を検討した例は少ない。そこで本研究では、微動源スペクトル特性の把握に関する予備的検討として、微動源を地表面にランダム分布する点加振源に単純化し、観測微動の水平鉛直スペクトル比(H/Vスペクトル)に基づいて微動源の水平鉛直加振力比の推定を試みる。

2. H/Vスペクトルに基づく微動源水平鉛直加振力比の推定

地盤を3次元水平成層構造とし、各層の層厚、密度、P波・S波速度は既知とする。このとき、地表面にランダム点加振源を仮定した場合の、高次モードまで考慮した表面波のH/Vスペクトル $(H/V)_S$ および水平動中のレイリー波ラブ波振幅比R/Lが次式で表せる²⁾。

$$(H/V)_S = (\sum P_{HSj} / \sum P_{VSj})^{1/2} \quad (1)$$

$$R/L = (\sum P_{HRj} / \sum P_{HLj})^{1/2} \quad (2)$$

$$P_{VSj} = P_{VRj} = (A_{Rj}/k_{Rj})^2 \{1 + (\alpha^2/2)(u/w)^2_j\} \quad (3)$$

$$P_{HSj} = P_{HRj} + P_{HLj} = P_{VRj}(u/w)^2_j + (\alpha^2/2)(A_{Lj}/k_{Lj})^2 \quad (4)$$

ここに、Aはミディアムレスポンス、kは波数、u/wはレイリー波の粒子軌跡縦横比、 α は水平鉛直加振力比、 P_{Vj} 、 P_{Hj} はj次モード表面波の鉛直・水平成分の相対パワー、添字R,Lはレイリー波・ラブ波を表す。既報²⁾では、R/Lの値を経験的に0.7と仮定することで、 $(H/V)_S$ が微動H/Vスペクトル $(H/V)_m$ をほぼ説明できることが示されている。そこで本研究では、表面波H/Vスペクトルが微動H/Vスペクトルと等しいと仮定し、(1)式を逆算することで α の値を推定する。

3. 検討地点の微動H/Vスペクトルと地盤特性

東京都江東区夢の島、釧路市旭小学校、同市寿小学校、神戸市東灘区向洋中学校(六甲アイランド)(以下、サイトA-D)で観測された3成分微動波形データ^{1),3)}を検討対象とした。観測は、サイトAでは日中に、サイトB-Dでは深夜に行われた。微動のH/Vスペクトル $(H/V)_m$ は次式により求めている。

$$(H/V)_m = (S_{NS}^2 + S_{EW}^2)^{1/2} / S_{UD} \quad (5)$$

ここに、 S_{NS} 、 S_{EW} 、 S_{UD} はNS、EW、UD成分のフーリエスペクトル振幅である。図-1にサイトA-Cで得られた微動のH/Vスペクトルを示す。

各サイトのS波速度構造を図-2に示す。サイトAではP-S検層結果¹⁾を、サイトB-Dでは検層結果がないため微動のアレイ観測から推定した構造^{1),3)}を用いた。これよりも深い構造は、既往の地震探査結果など^(例えば4),5)を参考に仮定した。なお、各サイトの微動H/Vスペクトルのピーク周期(1.4, 0.3, 1, 5.6s)は、図-2の構造から計算される地盤の1次固有周期と対応している。

4. 推定加振力比

各サイトの微動H/Vスペクトルと地盤構造を用いて(1)式を逆算し、 α を求めた。ここで、サイトAでは、交通振動の距離減衰特性の逆解

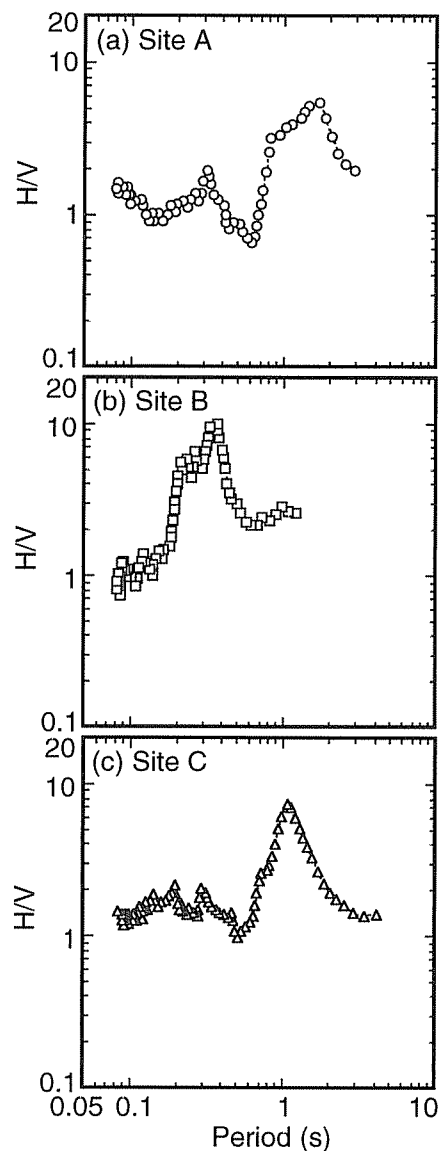


図-1 サイトA-Cでの微動H/Vスペクトル

A study on source characteristics of microtremors using H/V spectra :

Hiroshi ARAI, Tetsuo KUBO (EDMRC, The Inst of Phys. and Chem. Res.), and Kohji TOKIMATSU (Tokyo Inst. of Tech.)

析から振動源の水平・鉛直加振力および両者の比 α_t が周期 0.5 秒以下の範囲で推定されている⁶⁾。そこで図-3に、サイト A の微動 H/V スペクトルから逆算された $\alpha = \alpha_m$ (丸印) を α_t (実線) と比較して示す。図には、逆解析における α_t の推定標準誤差 (破線) も示してある。 α_m の値は周期 0.5 秒以下では 1 程度であり、 α_t の推定誤差範囲内に概ね収まっている。このことは、本手法から得られた α_m の妥当性のある程度を示している。

図-4に、逆算から得られた各サイトの α_m の周期特性を示す。図から、 α_m は、どの周期帯でもサイトによるばらつきがやや大きく、日中 (サイト A) と夜間 (サイト B-D) とでその値を区別することは難しい。しかし、各サイトとも、 α_m は、地盤の固有周期に依らず、周期 0.7 秒程度を境にして、短周期側と長周期側とで値が異なる傾向が認められる。この傾向は、周期 1 秒程度を境にして、短周期側では主として人間活動が、長周期側では主として気象活動が微動源となっているという既往の研究報告⁷⁾と概ね調和的である。このことから、周期 0.7 秒程度以下の α_m の値 (0.3-3 程度) は人間活動による微動源加振力比に、それ以上の周期帯での α_m の値 (0.1-0.7 程度) は気象活動による微動源加振力比にそれぞれ対応するものと推察される。

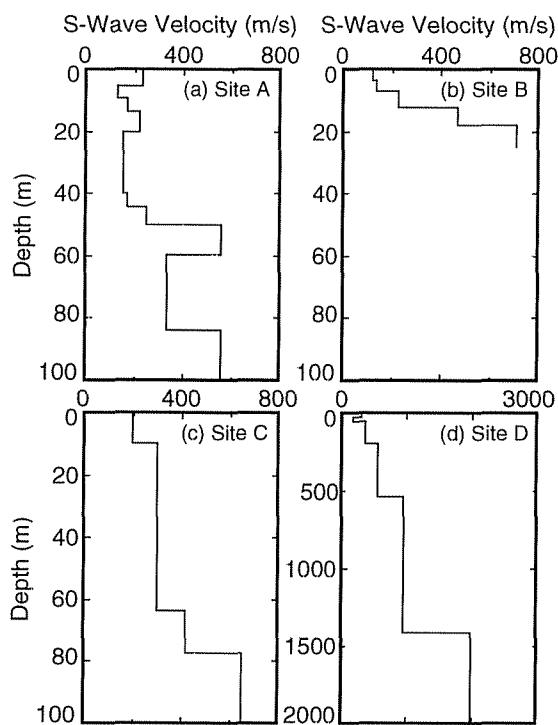


図-2 サイト A-D の S 波速度構造

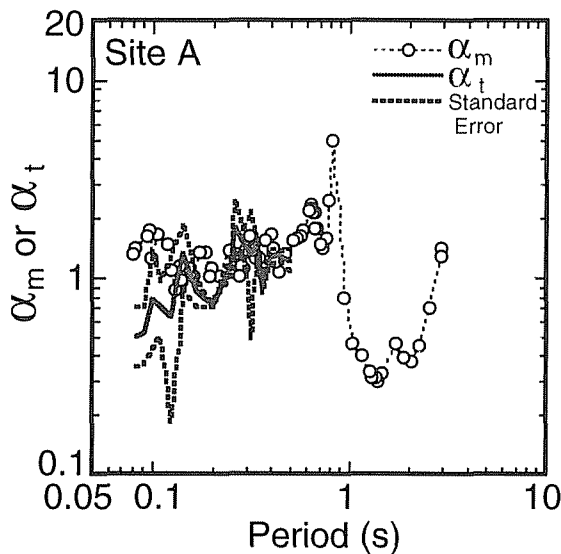


図-3 α_m と α_t の比較 (サイト A)

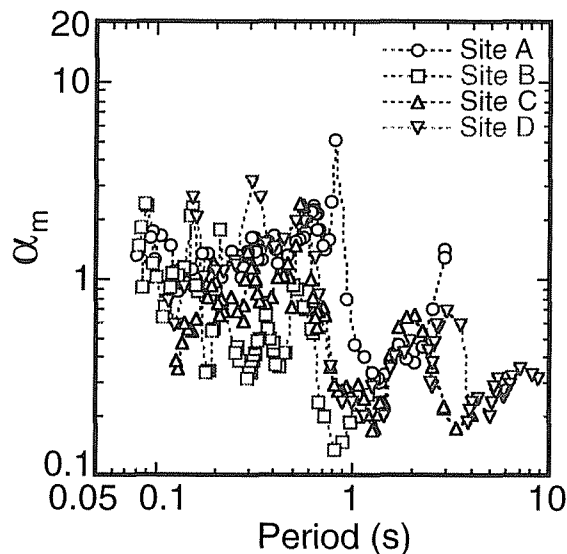


図-4 サイト A-D の α_m

5. まとめ

地盤構造既知の地点で、H/V スペクトルを用いて微動源の水平鉛直加振力比の推定を試みた。推定された加振力比の値は、交通振動の距離減衰特性から求めた値とほぼ対応した。また、推定加振力比は、周期 0.7 秒程度を境にして、短周期側では 0.3-3 程度、長周期側では 0.1-0.7 程度と、値が変化する傾向が認められた。これらの値は、それぞれ人間活動および気象活動による微動源加振力比に対応するものと推察される。

《参考文献》 1) Tokimatsu : Geotechnical site characterization using surface waves, Proc. 1st Int. Conf. Earthq. Geotech. Engrg., 3, 1333-1368, 1995. 2) 時松, 新井 : レイリー波とラブ波の振幅比が微動の水平鉛直スペクトル比に与える影響, 日本建築学会構造系論文集, 511, 69-75, 1998. 3) 時松, 新井, 浅香 : 微動観測から推定した神戸市住吉地区の深部 S 波速度構造と地震動特性, 日本建築学会構造系論文集, 491, 37-45, 1997. 4) 嶋ほか : 東京の基盤構造 (その 2), 東大地震研彙報, 51, 45-61, 1976. 5) Iwata et al. : Evaluation of strong ground motions in the source area during the 1995 Hyogoken-nanbu (Kobe) earthquake, Proc. 10th JEES, 1, 73-78, 1998. 6) 新井, 若井, 時松 : 距離減衰から推定した交通振動源のスペクトル特性と地盤の減衰定数, Proc. 10th JEES, 1, 1059-1064, 1998. 7) 例えば, 堀家 : 微動の研究について, 地震 2, 46, 343-350, 1993.