

S波速度構造同定のためのレーリー波探査システム(その3)

東京工業大学 時松孝次 ○新澤健一郎 小島久弥  
 榑武智工務所 桑山晋一

1. はじめに

地表面の微動の鉛直成分に卓越するレーリー波の分散性を求めることができれば、地盤のS波速度構造を推定することが可能である。深い地盤(深さ数百m以上)の探査に必要な長周期微動の記録に対して、F-K(周波数-波数)スペクトル解析を適用して分散曲線を求め、S波速度構造を推定する試みはいくつか行なわれている。しかし、表層地盤探査に必要な短周期微動に対して、この手法の適用性を検討した例はほとんどない。短周期微動の観測により表層地盤構造が推定できれば、従来の手法に比べて、計測システムの軽量化と、計測法自体の簡便化が可能となる。そこで本研究では、表層地盤のS波速度構造推定に短周期微動のF-Kスペクトル解析を適用し、既知の地盤データと比較することで、その可能性を検討する。

2. F-Kスペクトル解析

地表面の複数点で同時記録された波形に対して、F-Kスペクトル解析を行えば、観測波の位相速度と到来方向を調べることができる。CAPONの最尤法<sup>1)</sup>によると、F-Kスペクトルは周波数 $f$ 、波数ベクトル $k$ に対して次式で与えられる。

$$P(f, k) = \sum_{i=1}^N A_i^*(f, k) A_n(f, k) S_{i,n}(f) \exp[ik \cdot (r_i - r_n)] \quad (1)$$

ここで $N$ はセンサーの数、 $r$ はセンサーの位置、 $S_{i,n}(f)$ はセンサー $i, n$ 間の正規化クロススペクトルを表す。 $A_i(f, k)$ は分解能を上げるための重み関数である。ある周波数 $f$ について波数ベクトル $k$ を変えながら(1)式によりスペクトルの値を求めていく。スペクトルがピークを示すときの $k$ が観測波の波数ベクトルである。波数 $k$ と位相速度 $v_r$ の関係 $v_r = 2\pi f / |k|$ および、 $v_r = f \lambda$ の関係より、位相速度と波長が求まる。このような操作を各周波数に対して行ない、レーリー波分散曲線を得る。これを逆解析して、地盤のS波速度構造を推定する。

3. 観測システムの概要

浦安市幕張および新潟市内で観測を行なった。観測システムの概要を図-1に示す。観測地点の地表面に複数の鉛直センサーを配置したアレイを組む(例えば図-2)、地表面の短周期微動をラップトップ・コンピュータにサンプリングした。なおセンサーの間隔により対象波長が限定されている<sup>2)</sup>ので、間隔を漸次変えて観測を行ない、必要な波長の範囲をカバーした。

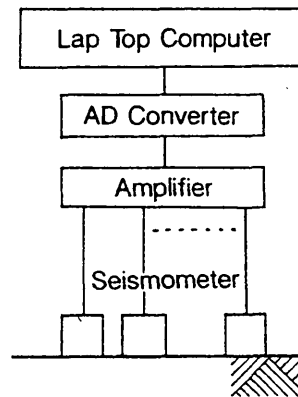


図-1 観測システムの概要

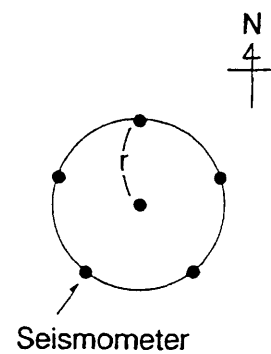


図-2 センサーの配置例

4. F-Kスペクトルおよび分散曲線

観測波に対して(1)式によってF-Kスペクトル解析を行ない、波の位相速度を調べる。幕張で得られたF-Kスペクトルの一部を図-3(a)~(d)に示す。縦、横軸を波数とし(上が北側を示す)、スペクトルを最大ピーク値に対して-2dBおきにコンター表示した。\*印、+印はそれぞれ1番目、2番目のピークを示す。(a)~(d)いずれの場合も北東方向からの波が支配的である。また、異なる周波数では、ピークの波数が変化しており、周波数によって、観測波の位相速度が異なることがわかる。

System for Evaluating Vs Profiles based on Rayleigh Wave Method (part III); TOKIMATU, K., SHINZAWA, K., KOJIMA, H. (TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY) and KUWAYAMA, S. (TAKECHI ENGINEERING Co.,LTD)

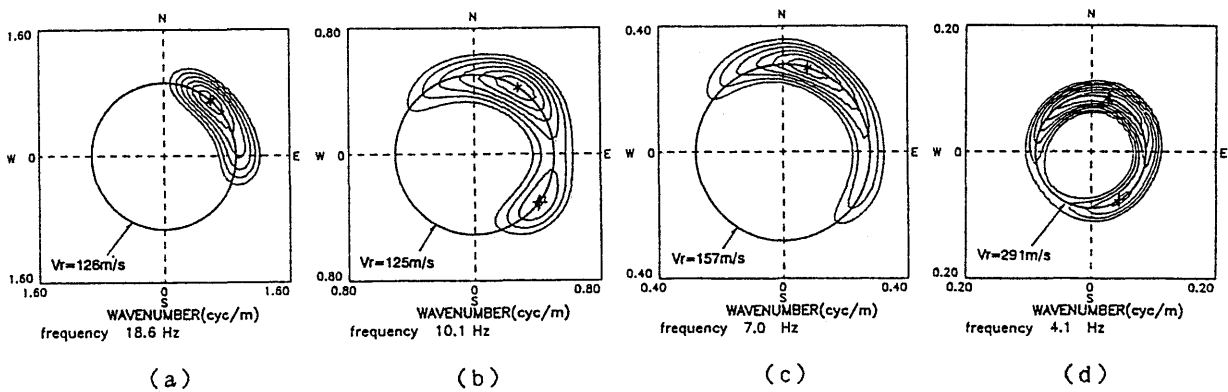


図-3 幕張で得られたF-Kスペクトルの例 (Vrは1番目のピークに対応する位相速度)

このように各周波数に対して求めたF-Kスペクトルのピークの波数から位相速度-波長の関係を求めると図-4(a)に示すような分散曲線が得られる。測定分散曲線は波長数mから180mまで安定した分散性を示した。図-4(b)は新潟市内での観測記録に対して、同様の解析を行ない求めた測定分散曲線である。この場合も安定した曲線が得られた。

5. S波速度構造の推定、PS検層結果との比較

次に測定分散曲線に対し逆解析<sup>3)</sup>を行ない、S波速度構造を推定し図-5に示す。図-4の実線は逆解析の結果より求めた理論分散曲線である。比較のため図-5には同一地点で行なったPS検層から求めたS波速度構造を示した。S波速度構造の大きく変化する深度、各層でのS波速度の双方とも、よい一致を示した。

6. まとめ

短周期微動の観測記録にF-Kスペクトル解析を適用し、ラーレー波分散曲線を得た。得られた分散曲線から推定したS波速度構造は、PS検層結果とよい一致を示した。以上により短周期微動の鉛直成分を地表の複数点で同時観測し、その内に含まれるラーレー波の分散性を検出することにより、表層地盤のS波速度構造が簡便に求められる可能性が示された。

《参考文献》

- 1) CAPON, J. (1969): "High-Resolution Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis", Proc. IEEE, 57, 1408-1418.
- 2) Asten, M.W. and Henstridge, J.D. (1984): "Array estimators and the use of microseisms for reconnaissance of sedimentary basins", Geophysics, 49, 1828-1837.
- 3) 時松・桑山(1990): "ラーレー波探査を用いた液状化危険度予測", 土と基礎, 38-6, 15-20.

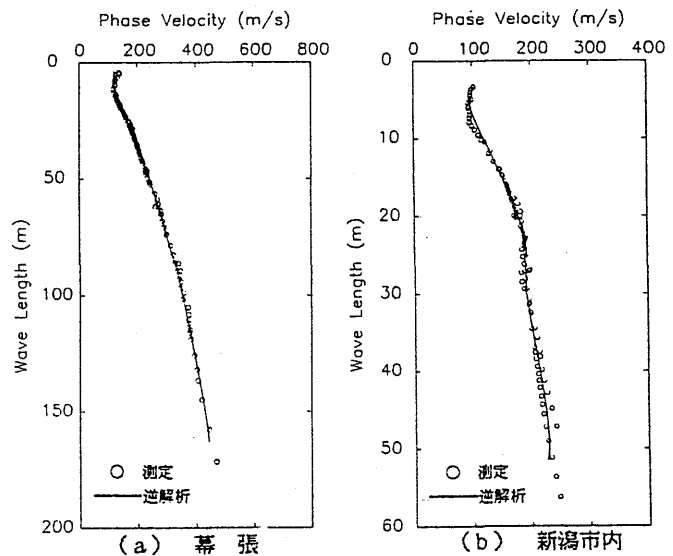


図-4 分散曲線

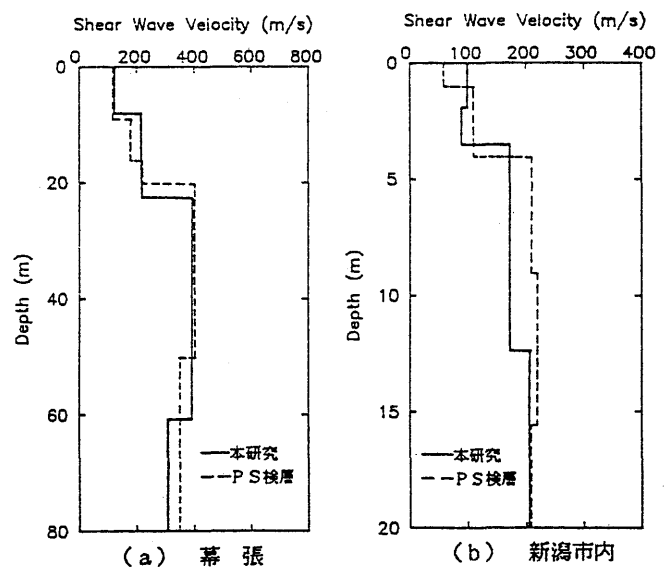


図-5 S波速度構造