

FK 解析における平均化手法の比較

Comparison of averaging techniques for F-K spectral analysis

早川 崇[1]

Takashi Hayakawa[1]

[1] 清水建設・技研

[1] Institute of Technology, SHIMIZU Corporation

1. はじめに

アレー微動に含まれる、交通振動等の局所的な震動や観測装置ノイズ等の観測点間を伝播しない成分（以下、ノイズ）は、FK パワースペクトル（Capon, 1973）の形状を歪ませる大きな要因であり、結果として表面波の位相速度の読み取り誤差の原因となる。ノイズによる誤差を軽減する方法として、1) 観測波形を小区間に分割し、小区間毎の位相速度の平均を算定する方法（例えば、佐藤他、1998）[以後、位相速度平均法]、2) 観測波形全体をフーリエ変換し、そのクロススペクトルを Parzen ウィンドウで平滑化して FK パワースペクトルを算定する方法（松島他、1989）[Direct Fourier Transform: 以後、DRFT 法]、3) 観測波形を小区間に分割してフーリエ変換し、小区間のクロススペクトルを平均して FK パワースペクトルを算定する方法（Capon, 1973）[Block Average Fourier Transform: 以後、BAFT 法]、が用いられている。実際のアレー解析ではノイズ等により安定した位相速度が得られない場合もあり、これらの方法は FK 解析において非常に重要である。しかしながら、これまで手法間の比較は十分なされておらず、各手法の特性や優位性に関してはほとんど検討されていない。そこで実測された表面波の FK パワースペクトルをモデル化した上で、表面波とノイズから構成される理論アレー微動波形を合成し、逆に上記手法を用いて位相速度を推定して手法の有効性を比較検討した。

2. 理論波形

理論アレー微動波形の作成にあたっては、まず表面波の平均位相速度 V_0 を仮定した。理論波形の下限の振動数 0.36Hz で $V_0=2\text{km/s}$ 、上限の振動数 2.5Hz で $V_0=0.5\text{km/s}$ とし、 $0.36\sim 2.5\text{Hz}$ 間は振動数で直線補間した。アレーは辺長 $1:2:4$ の 3 つ正三角形の頂点と中心からなる 10 観測点である。アレーのサイズは観測点間の最大距離 r_{\max} が下限振動数での表面波の波長の $1/8$ となるように設定した。波数スペクトルは実測された FK パワースペクトルを模擬して 2 次元の正規分布 $P(k_x, k_y, f) = 1/(2\pi a k) \exp(-1/2[(a-a_0)/a]^2 + ((k-k_0)/k)^2)$ とした。 a_0 と k_0 はそれぞれ進行方向の平均 (45°) と波数の平均 ($k_0=2\pi f/V_0(f)$)、 a は進行方向の標準偏差 (30°)、 k は波数の標準偏差 (k_0 の 10%) である。観測波形 $w(x, y, t)$ は三次元逆フーリエ逆変換 $1/(2\pi)^3 \int \int \int \sqrt{P(k_x, k_y, f)} T^* L^2 \exp(i(k_x x + k_y y + 2\pi f t + \phi(k_x, k_y, f))) dk_x dk_y df$ により求めた。 ϕ はランダム位相、 T は継続時間、 L はモデル辺長である。ノイズは RMS 比が 0.25 であるランダム波形を各観測点に付与した。

3. FK 解析

FK 解析は、継続時間が 204 秒、 409 秒、 614 秒、 819 秒、 1228 秒、 1638 秒の理論波形に対して、上記の 3 種類の方法で FK パワースペクトルを算定し、その最大値の波数から位相速度を推定した。対象とした振動数は、波長 λ が $\lambda/r_{\max} = 1\sim 4$ に収まる複数の振動数である。位相速度平均法と BAFT 法では小区間長を 51.2 秒とし、DRFT 法では Parzen ウィンドウ幅を松島 (1989) と同様に $20\pi f$ で平滑化した。理論波形はランダム位相 ϕ を変えて継続時間毎に 10 作成し、位相速度の平均と標準偏差を算定した。

4. 解析結果

解析の結果、位相速度平均法では小区間で推定された位相速度が大きく、継続時間を長くしても平均が位相速度 V_0 に収束しなかった。DRFT 法と BAFT 法では平均値はほぼ V_0 となったが、推定値のばらつきはやや BAFT 法の方が小さい結果となった。今回の検討条件では、BAFT 法が最も安定して正しい推定が可能であった。

参考文献

- 1) Capon, J., Methods in Computational Physics, 13, 1973
- 2) 佐藤他, 日本建築学会構造系論文集, 503, 1998
- 3) 松島他, 北海道大学地球物理学研究報告, 52, 1989