

微動データを用いた分散曲線解析手法の再検討：円過程解析法の実用性を吟味するための数値実験

Numerical experiments on the feasibility of a method estimating dispersion curves using correlated microtremors

長 郁夫[1]

Ikuo Cho[1]

[1] 東理大・工・建築

[1] Architecture, Faculty of Engineering, Science Univ. of Tokyo

Henstridge (1979)の分散曲線解析法は、微動の相関場に適用可能で到来方向も解析可能という特徴を持ちながら、これまで適用例がなかった。本論ではこの手法の実用性を数値実験により吟味した。微動到来方向依存性も考慮して観測点数による解析可能波長帯域の相違を調べた結果、効果的な観測点数は6点であることが分かった。アレイ半径の2-15倍程度の波長帯域で分散曲線が解析できる。現実的な観測状況を考慮した数値実験から、分散曲線、到来方向の解析はともにアレイ半径の数%程度の観測点設置位置の誤差には大きな影響を受けないが、分散曲線の解析結果は地震計設置状況のばらつきにより大きく乱されることが分かった。

1. はじめに。Henstridge (1979)が提案した分散曲線解析法は、微動の相関場に適用でき到来方向も解析可能ながら、これまで適用例がなかった。SPAC法、FK法は相関場への適用が難しいこともあって、微動到来方向に広がりがある場合、微動が複数方向から到来する場合は先見的に無相関が仮定されてきた。この仮定は自然だが、反射や散乱により微動が相関を持つような場合は問題である。

本論の目的は、Henstridgeの方法(円過程解析法、CPA法)の実用性の数値実験による吟味である。期待される解析可能波長帯域を得るための効果的な観測点数を明らかにする。観測点設置位置の誤差、観測点ごとのゲインのばらつきに対する解析結果の安定性を吟味する。実際の観測では地図精度、測距時の問題、地理的要因等で設置位置の誤差が避けられない。微動波形振幅は、各地震計直下の局所的構造、設置状況、記録系の増幅特性の調整不良等で観測点ごとにばらついているかもしれない(ゲインのばらつきと総称)。

2. 数値実験。概要：微動上下動のアレイ観測を想定する。微動上下動はレイリー波基本モードの平面波入射、アレイ直下の地下構造は均質等方な水平多層構造、微動の場合は時間的に定常、空間的に等質とする。パワースペクトル一定のランダム位相波を数値的に作成し、基準(中心)観測点における計算微動波形とする。仮定した地下構造に基づく理論分散曲線および仮定した微動到来方向から基準観測点と各観測点間の位相差を計算し、基準観測点の計算微動波形に周波数領域でこの位相差を与えて各観測点の計算微動波形とする。上記手順で計算微動波形を作成しCPA法を適用する一連の作業を $N(=50)$ 回繰り返し、与えた分散曲線と到来方向の復元性を統計的に評価する。ここでは短周期微動観測を想定してアレイ半径 R に20m、地下構造に関東平野の典型的な3種類の土質構造を適用したが、スケールは一般化して解釈できる。

観測点数：4, 6, 8観測点で構成される円形アレイを設定し、単一あるいは複数の微動をアレイに入射する。解析可能波長帯域および解析結果の微動到来方向への依存性が観測点数によりどう変化するか観察する。その結果、分散曲線、到来方向、コヒーレンス(到来方向解析条件の判断基準)のいずれも、効果的な観測点数は6点となった。分散曲線の解析可能波長帯域は $2R-15R$ 程度(SPAC法と同程度)である。到来方向、コヒーレンスについては最大波長はアレイ半径に制限されず、観測精度とデータ長に依存する。理論から期待される結果である。

観測点設置位置の誤差とゲインのばらつき：観測点設置位置の誤差を想定して、微動波形計算の際は想定した観測点設置位置に正規分布の誤差を与え、CPA法適用の際は想定通りの設置位置を仮定する。ゲインのばらつきを想定して、周波数非依存で正規分布に従う観測点固有の倍率を計算微動波形にかける。6観測点から成る円形アレイに単一あるいは複数の微動を入射し、解析結果の安定性を吟味する。その結果、 $0.1R$ 程度までの設置位置誤差が解析結果の正確さ(バイアスとばらつきで評価)に与える影響は、分散曲線、到来方向、コヒーレンスのいずれに関してもほとんど問題とならない程度だった。しかし、ゲインのばらつきは、分散曲線の解析結果に大きな影響を与えるようである。倍率のばらつきが観測点間で5%程度でも解析可能波長帯域がかなり狭まり、最大波長は $5R-6R$ 程度となってしまう。観測点数を増やしても改善されない。到来方向は、分散曲線ほどにはゲインのばらつきの影響を受けない。倍率のばらつきが観測点間で10%程度でも8方位で到来方向を見分けられる。コヒーレンスは、微動到来方向が単一か否かを見分けるためには、ゲインのばらつきの影響をほとんど受けない。

3. 考察とまとめ。CPA法適用のための効果的な観測点数は6点である。観測点設置位置にアレイ半径の数%程度の誤差が許容されるにしても、円周上に5観測点を配置するのは地理的条件から難しいことが多いだろう。またCPA法による分散曲線の解析はゲインのばらつきに弱い。6観測点から成る円形アレイの展開とゲインのばらつき

を抑えるための設置状況均質化の必要性を考慮すると、CPA法は小規模アレイ($R < \text{数 } 10\text{m}$)による浅部探査への適用が効果的と考えられる。