

I - B217

やや長周期微動の2点同時観測記録によるアレー観測法

京都大学工学研究科	正会員	盛川 仁・土岐憲三
京都大学防災研究所	正会員	澤田純男・赤松純平
九州旅客鉄道(株)	正会員	中島大輔
(株)大林組技術研究所	正会員	江尻譲嗣
(財)大阪土質試験所	正会員	宮腰 研

1. はじめに やや長周期微動のアレー観測記録を用いて地盤の深部構造を推定する試みは多数行われているが、特に、4点以上の同時観測記録を用いた周波数-波数スペクトル(F-K)法¹⁾や空間自己相関(SPAC)法²⁾は精度の良い推定結果を与える手法としてしばしば利用されている。本研究は、アレーを構成する多数の地点のなかから2点ごとの同時観測を繰り返し実施することでアレー観測と同等の結果を得るための手法について述べる。この手法によれば非常に限られた機材と人員のもとでも精度良くレイリー波の分散曲線を推定できるようになり、その応用範囲は非常に広いものと期待される。

2. 2点同時観測のみで行うアレー観測法 SPAC法は同時に観測された2観測点間の空間自己相関係数を求め、同じ距離だけ離れたすべての観測点間の組み合わせに対して方位平均をとり、その関数がBessel関数になるという性質を使って位相速度を決定するというアルゴリズムである^{3),4)}。従って、波動場が観測中に時間・空間的に定常ならば、少なくとも2観測点間の記録の同時性を確保するだけで十分であり、アレーを構成する全観測点において必ずしも同時に記録が得られている必要はない。すなわち、1人はアレーの中心に位置する固定点で観測を続け、もう1人がアレーを構成する観測点を移動しながら、2観測点で同時観測をすることによりアレー観測を実施することが可能となる。以下では2点同時観測に基づくアレー観測手法を2sSPAC法(2 sites SPatial Auto-Correlation Method)と呼ぶことにする。

ただし、2sSPAC法は移動をしながら観測を行なうため一つのアレーを構成するのに長時間が必要となる。そのため、震源が人工的ノイズであると考えられる短周期微動は、観測期間中に震源や振幅が人間活動とともに変化する可能性が高く、2sSPAC法は適用しにくいと考えられる。一方、やや長周期領域(周期1~10秒)の微動は、一般に海洋の波浪が震源といわれており、おもな変動の要因は天候であるとされている。従って、脈動域の微動を対象とする場合には、天候が安定している場合には定常性の仮定が成立するものと考えている。

3. 観測場所及び観測方法 以上の考え方を実際の記録に適用可能であるかどうかを確かめるために奈良盆地北部に位置する平城宮跡において7点同時観測と2sSPAC法を行ない、その結果を比較した。観測は、1997年7月11日、12月28日、1998年1月6日の3回にわたって実施した。7/11の観測は天候に恵まれず不調であったため、主として12/28と1/6の観測結果について述べる。なお、12/28は7点同時観測、1/6は2sSPAC法に基づく2点同時観測の繰り返しで、12/28に行なった観測点と全く同じ場所で観測を行なっている。

7/11と12/28の観測はすべての観測点で、固有周期が約10秒の速度型換振器PELS-73(振動技研製)を用いた。また、1/6の観測は中心点ではPELS-73を用いたが移動点は作業効率を考慮し、短周期地震計でも振幅、位相角ともに十分な精度でやや長周期領域を扱えることを確かめた上で⁵⁾、固有周期が約1秒のPK-110(勝島製作所製)を用いた。アレーはほぼ正三角形となるように構成し、中心点では3成分を、それ以外の点は、7/11と12/28は上下動成分のみ、1/6は3成分で観測している。記録は、アレーの大きさにあわせて、50~200Hzのサンプリング周波数を選び、12~45分間にわたって換振器の速度出力をデジタルレコーダーに収録した。その際、1~10Hzのカットオフを有するローパスフィルターを適宜通過させている。また、GPS時計を用いて刻時信号を記録して、十分な精度で記録の同時性を確保している。

Keywords: やや長周期微動, アレー観測, 空間自己相関法, 基盤構造, 逆解析

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-5133 FAX 075-762-2005

4. 結果と考察

2sSPAC 法を適用するに当たっては、微動の時間的な定常性がもっとも重要な要素となるが、中心点で連続して記録した3成分の振幅スペクトル特性の時間的変化を調べた。その結果、1秒より長周期側では、スペクトル特性はほとんど時間的に変化していないことが分かった。1地点の記録のみでは微動の方位特性まではわからないが、振幅スペクトルが時間的に変動していない周期帯では、おおむね時間的には定常であったとみなせると考えている。

7点同時観測記録にF-K法とSPAC法を適用して求めたレイリー波の位相速度の分散曲線と、2点同時観測に基づく2sSPAC法の結果を重ねて図1に示す。F-K法による結果と、SPAC法による結果はほとんど同じになっており、同じ記録から手法によらず同じ結果が導かれていることから、記録は信頼に足ると考えられる。従って、2sSPAC法による結果がF-K法やSPAC法による結果とどの程度一致するかという観点から議論を進める。図1を見ると、2sSPAC法による結果は周期1秒以下では位相速度はやや速く、それ以上ではやや遅くなっていることがわかる。1秒より短い周期帯では人工ノイズが微動の震源であるため、時間的な定常性が満足ず、大きな誤差が生じたのであろう。

1秒よりも長い周期帯ではアレー半径が十分でなかったために長い波長の波に対して分解能が足りなかったことが誤差の原因であると考えられる。つまり、7点同時観測の場合はアレー半径の約1.7倍の頂点間の距離も解析では有効であるのに対して、2点同時観測の場合にはアレー半径以上の距離をとることができない、ということが長周期側での結果に大きく影響を及ぼしているのであろう。一連の観測では、より大きなアレー半径を持つ観測を行っていないため、シミュレーションによって上の考えを検討した。7点同時観測で得られた記録を3つのデータセットに切りわけ、あたかも、2頂点での同時観測の組合せを変えつつ3回観測を実施したかのようにして2sSPAC法を適用し、位相速度を求めた。その結果、0.5Hz付近まで高い精度で位相速度を求めることができた。

最後に、2sSPAC法によって得られた分散曲線を説明できるような地盤構造を逆解析法によって求めた。近隣の法華寺で行なわれた深層ボーリング注状図と比較してもよい一致を示しており、位相速度の推定結果が合理的なものであったことを示唆している（図2参照）。

5. おわりに

以上の結果より、2sSPAC法は微動の時間的な定常性が長時間にわたって成り立ちにくい短周期側では精度が劣るものの、1秒より長周期側では従来の7点同時観測に基づいて求めた位相速度とほぼ同等の精度で位相速度を推定できることがわかった。

謝辞 7点同時のアレー観測では、(財)大阪土質試験所の香川敬生氏、(株)大林組の前島大吾氏のご協力を得た。また、F-Kスペクトル法による解析では大阪工業大学の堀家正則、前出の香川敬生の両氏によって作成されたものを使用させていただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献 1) Capon, *Proc IEEE*, **57**, pp.1408-1419, 1969. 2) Aki, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **35**, pp.415-456, 1957. 3) 岡田ほか：物理探査，**43**, pp.402-417, 1990. 4) 松岡ほか：物理探査，**49**, pp.26-41, 1996. 5) 盛川ほか：第10回日本地震工学シンポジウム論文集，1998（投稿中）。

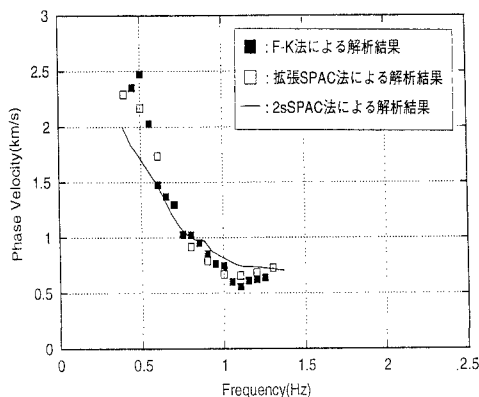


図1 3つの解析法から求められた位相速度

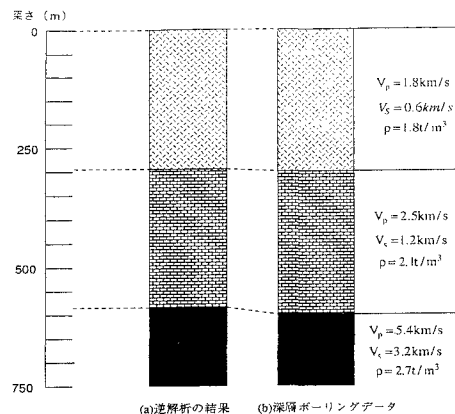


図2 逆解析法によって求められた地盤構造