

空間自己相関法の円形アレイにおける地震計配置の検討

山本 英和、岩本 鋼司、斎藤 徳美、吉田 篤
(岩手大学工学部)

Discussion on Sensor Location in Circular Array
for Spatial Autocorrelation Method

Hidekazu YAMAMOTO, Koji IWAMOTO, Tokumi SAITO
and Atsushi YOSHIDA

(Faculty of Engineering, Iwate University)

1. はじめに

微動に含まれる表面波の分散現象を利用して地下構造を求める手法には、良く知られているものとして周波数-波数解析法 (F-K法) や空間自己相関法 (SAC法) がある。また最近の報告の中で、同じ地震計配置ならば SAC法の方がより深部までの構造推定ができることが言われているにもかかわらず、良く利用されているのは F-K法の方である。それはF-K法が観測時の地震計配置が任意でよいのに対して、SAC法の地震計配置は同一円周上に均等に配置しなければならないという厳しい制約が有るためである。

そこで本研究では、実際に観測された微動データを用いて、SAC法をF-K法と同様に任意の地震計配置での観測に適用できないかを検討した。ただしここでは円周方向に対する地震計の個数、偏りの検討のみを行い、別紙の方で半径方向に対する検討を行った。

2. 観測・解析

観測は岩手大学構内において正五角形から正八角形のアレイ (図1) を半径各15・25・45mで展開し行った。ただし3及び4角形はそれぞれ6及び8角形から解析時に抜き出すことで解析を行った。使用したシステム (図2) は、固有周期1秒の上下動地震計 (UP252、振動技研 (株))、増幅器 (TA403、振動技研 (株))、A/Dコンバーター (ADN1400、カノープス (株))、ノート型パソコン (NS/A、NEC (株)) であり、振動特性

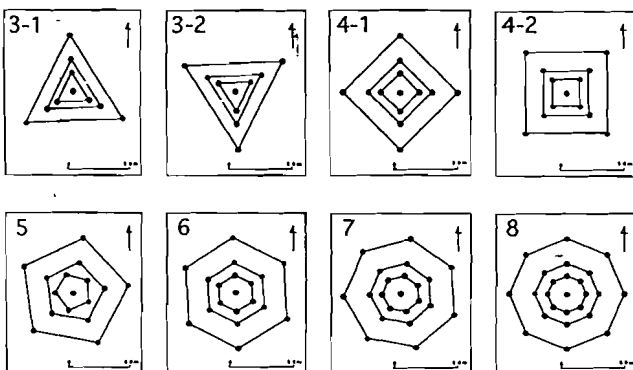


図1 3角形から8角形までのアレイ配置。
内側から半径各15m、25m、45m。

Seismometer Array

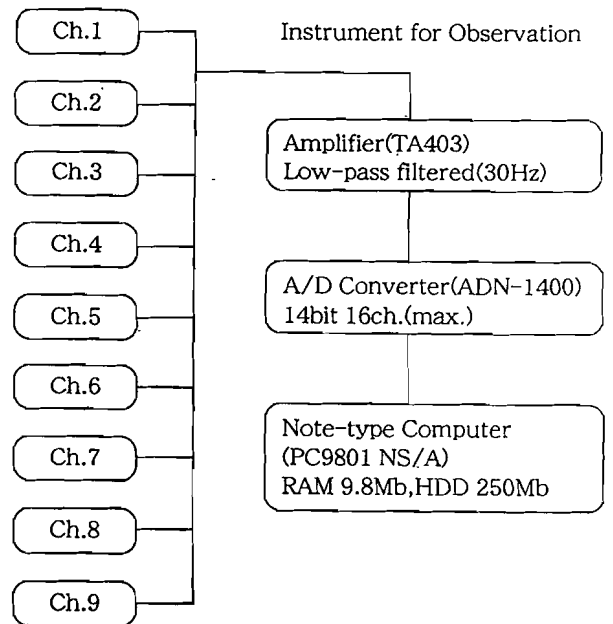


図2 微動観測システム。

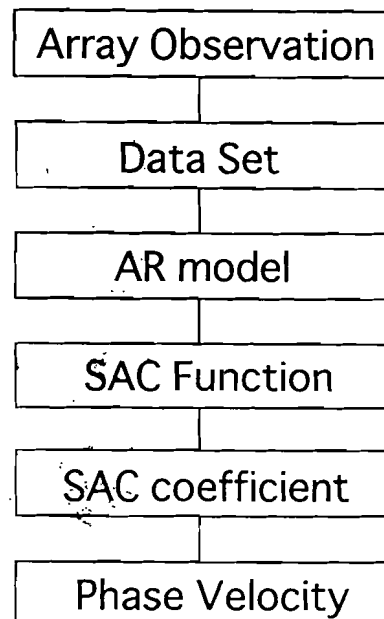


図3 空間自己相関法の解析フローチャート。

は1~25Hzではフラットである。

解析には赤池情報量基準 (AIC) を用いて地震計間の最適クロススペクトルを求めるARモデルを利用したSAC (山本他: 1997; 物理探査学会) を使用した。その解析手順を図3に示す。

3. 円周方向均等配置における地震計の個数の検討

まず均等配置における地震計の個数の違いが推定位相速度に及ぼす影響を検討した。各アレイにより求められた表面波の分散現象 (位相速度) を図4に示す。この位相速度は、全てのアレイでの地震計間隔を用いて計算してある。これから地震計個数が多いほどなめらかな位相速度が得られているのがわかるが、それほどの違いは見取れない。そこで、過去の観測により得られている同地点での地下構造から理論位相速度を求め対比してみる (図4; 実線)。この図4より5~15Hzではほぼ同じ位相速度が得られていることがわかる。この区間を解析可能範囲とする。解析可能範囲内での各アレイのずれ具合を (1) 式を用いて図5, 図6に示す。

$$\sigma' = \left\{ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{c'_i - c_i}{c_i} \right)^2} \right\} \times 100 \% \quad (1)$$

c'_i : 比較する位相速度

c_i : 基準となる位相速度

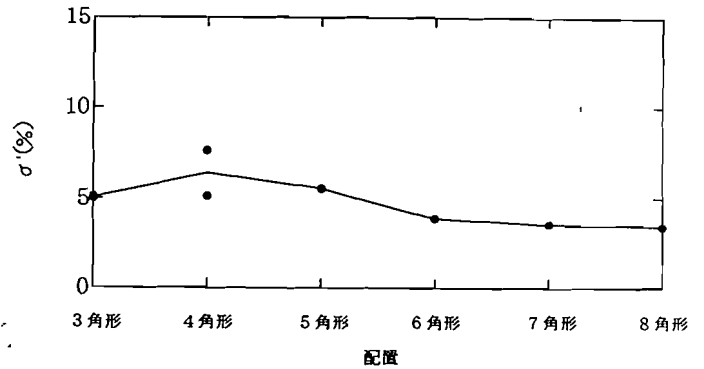


図5 理論位相速度を基準とした場合の各アレイの相対誤差。実線が平均値、黒丸が各アレイにおける誤差。

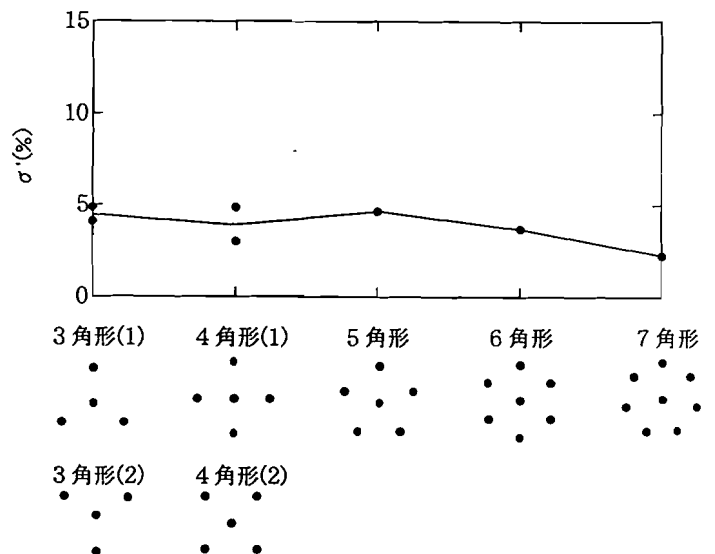


図6 最も誤差の少ないと考えられる8角形を基準にした場合の各アレイの相対誤差及び地震計配置。実線が平均値、黒丸が各アレイにおける誤差。

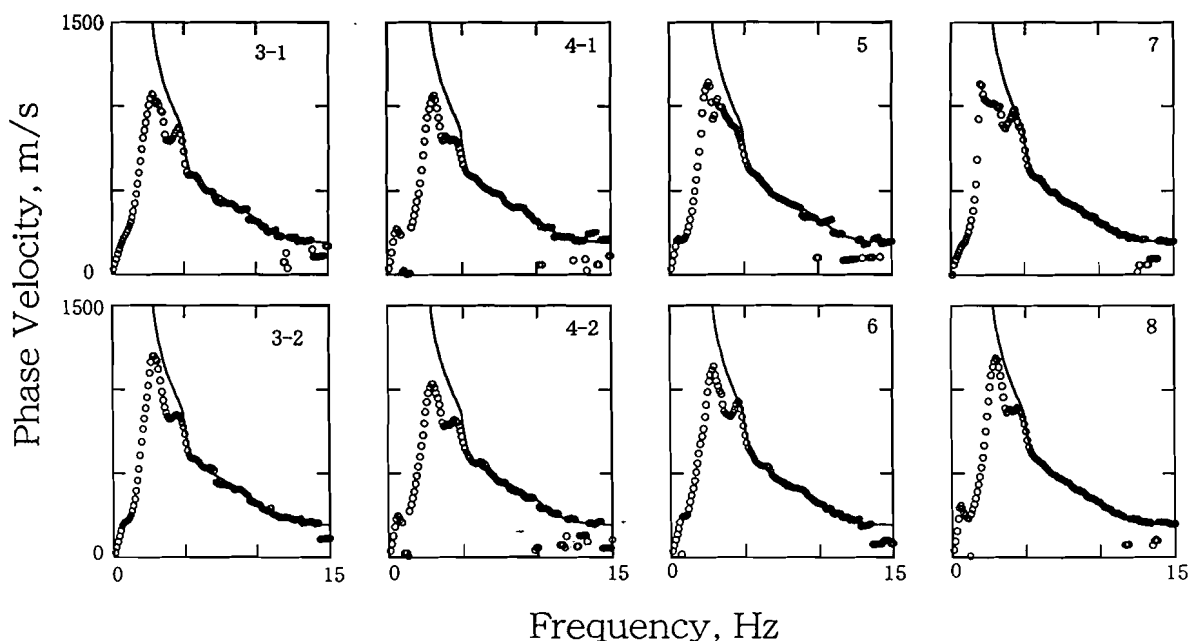


図4 図1の各アレイにより推定された位相速度 (白丸) と過去の観測により得られている地下構造での理論位相速度 (実線)。

理論位相速度を基準とした場合（図5）、最も誤差が少ないと考えられる八角形を基準にした場合（図6）、共に、各アレイの誤差はほぼ5%以内に収まっている。これから多少の誤差は含むものの、観測時の手間を考慮すれば3角形アレイで十分である。

4. 円周方向不均等配置の検討；その1

以上の検討から観測は3角形アレイで十分であることが言えたが、これは円周上に均等配置された場合であった。そこでここでは八角形を基本とし、円周上に均等配置できない場合の検討を行う。八角形から地震計を減らしていくと、図7に示す地震計配置が可能となる。それぞれのアレイから位相速度が計算されるが、ここでは(1)式を用いての誤差評価のみを図8に示す。丸で示すのがそれぞれのアレイ、実線で示すのが平均値である。この図から地震計の個数が減るにつれ、誤差平均は大きくなっていくのがわかる。しかし先ほどの5%を基準とすれば、地震計を5台抜いた場合、すなわち地震計が円周上に3台あれば5%以内に入っている。このことから、地震計が円周上に均等に配置されていない場合でも地震計が同一円周上に3台あれば十分であることが予想される。

5. 円周方向不均等配置の検討；その2

図8において誤差平均が5%に入っているものでも、それぞれのアレイの誤差を比べた場合、大きなバラツキがみられる。この原因として地震計配置の偏りがあるかと思ひ検討したが、最も偏っている5-1配置での誤差が3.5%であるのに対し、8.6%と最も誤差の大きな配置が5-2配置であり、特に地震計配置の偏りと誤差の間に関係はみられなかった。そこでもう一つの原因と考えられる波の到来方向との検討を行った。その手法は、図9、図10のように、もっとも偏っている5-1配置、均等に近

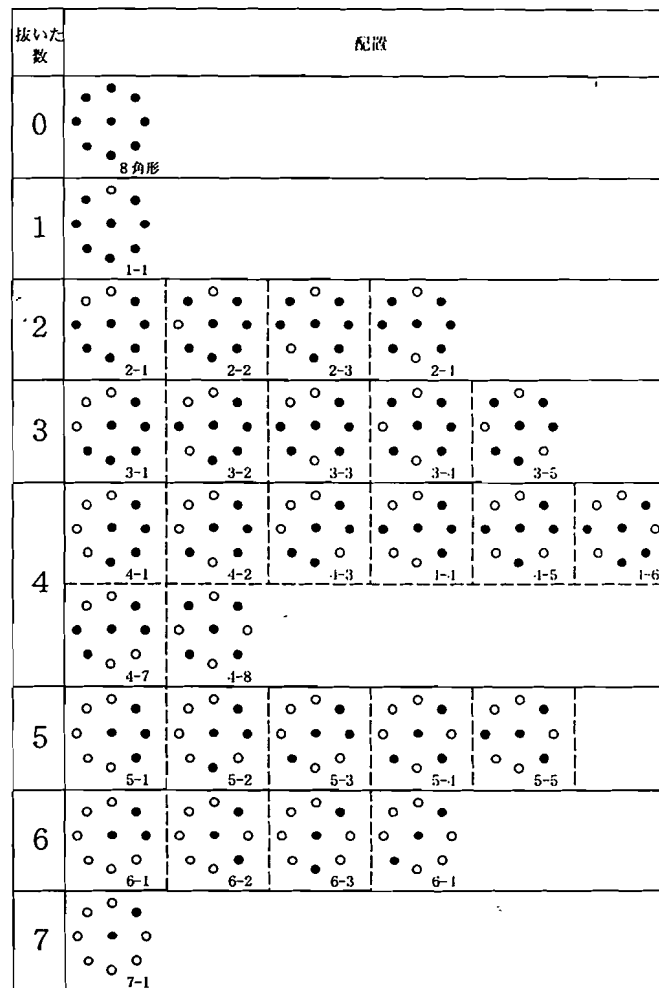


図7 八角形から考えられる均等配置でない地震計配置。回転させたときに同じ配置となるものは除いてある。

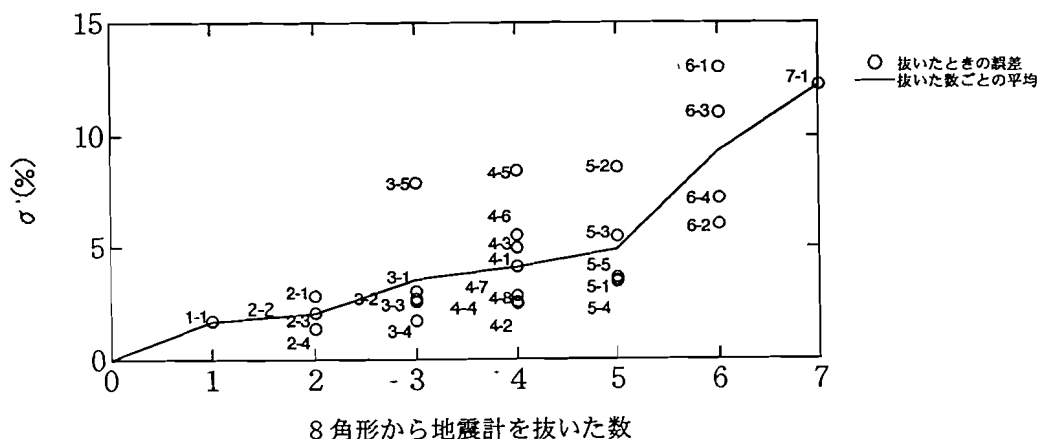


図8 図7の各アレイ配置における相対誤差。実線が同地震計個数での平均値、白丸が各アレイにおける誤差。数字は図7で示した配置番号。

い5-5配置の地震計を回転させていくことによって到来方向との検討を行うものである。F-K法によるこの地点での到来方向を図11に示す。誤差評価を、図12・図13に示す。これから5-1配置のような偏った配置では、波の到来方向に対する地震計配置によって誤差、すなわち得られる位相速度が大きく変化する可能性があることがわかる。それに対し5-5配置の様なより均等に近い配置では、地震計の配置によって結果が大きく変化する可能性は低い。このことはSAC法を任意アレイに適用する場合、留意すべき点であると言え、地震計配置は可能な限り均等な方がよいことが言える。

6. まとめ

以上の検討から、以下のことが言える。

- (1) SAC法を適用するにあたっての地震計配置は、同一円周上に少なくとも3台あればよい。
- (2) その地震計は必ずしも均等配置にする必要はないが、波の到来方向・地震計配置によって得られる位相速度が変化してしまう場合があるため、より均等に近い配置で観測することが望ましい。

また予稿には載せなかったが、地震計を2台のみ使用した場合でも、得られた位相速度の誤差は12%とそれほど大きくない結果が得られた。この値が許容できるかできないかの議論はできないが、それほど大きいとは考えられない。

本研究と別紙の研究とにより、SAC法を任意アレイに適用できるとまでは言い切れないが、SAC法に与えられた初期条件（制約）よりも任意アレイへの適用可能性は広がったと言える。

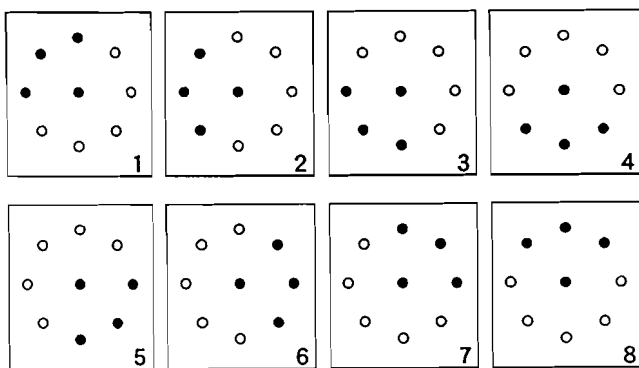


図9 図7の5-1配置を回転させたときの地震計配置、及び配置番号。

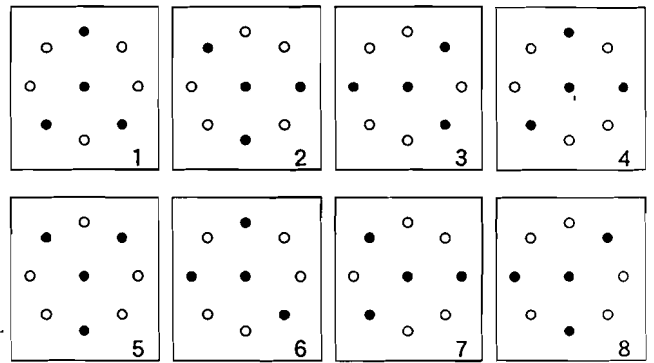


図10 図7の5-5配置を回転させたときの地震計配置、及び配置番号。

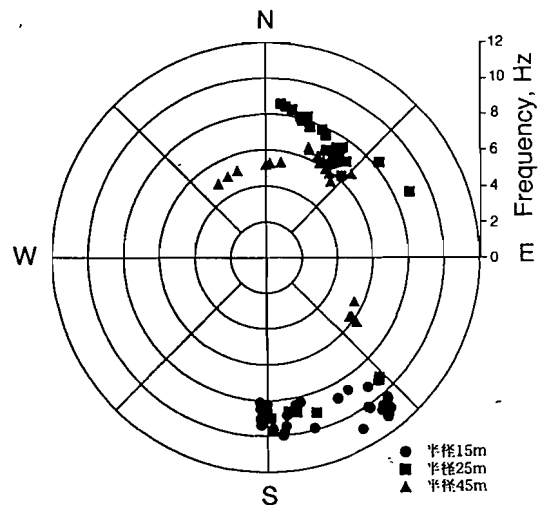


図11 同観測地点の8角形配置のデータにF-K法を用いて計算した波の到来方向. 黒丸が半径15m、黒四角が半径25m、黒三角が半径45m.

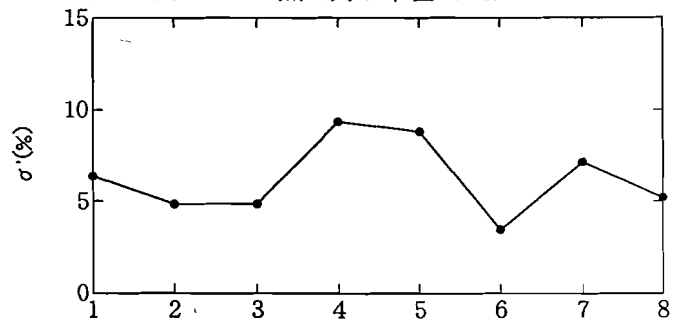


図12 図9の各アレイでの相対誤差.

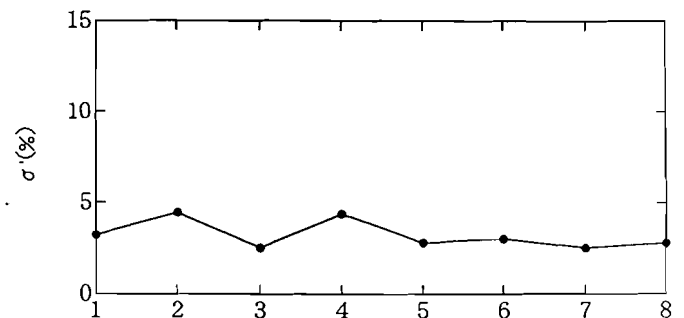


図13 図10の各アレイでの相対誤差.