

I - B 218

兵庫県南部地震のアレー観測における地震計設置誤差の評価

中央大学理工学部 学生員 高橋 佳宏  
 同 上 正会員 國生 剛治  
 同 上 学生員 本山 隆一

1. はじめに

近年、地震時の地盤震動特性を調べるべく、多点同時観測、すなわちアレー観測が各地で盛んに行われるようになった。従来の1点観測ではあまり注意を払われていなかったことの1つとして、地震計が所定の方向に正しく設置されているかどうかという問題がある。本研究では、山崎らの方法<sup>1)</sup>(以後方法1)と和泉らの方法<sup>2)</sup>(以後方法2)によりコヒーレンスを算出し、それを最大化する方法、すなわち最大コヒーレンス法を用いて地震計の設置誤差を評価し、比較を行った。また、最大コヒーレンス法では地震計の極性の反転を検出できないので、解析的に検出された設置誤差を確認するために、地震観測データの長周期部分を取り出して水平面上に描かせることで、設置誤差の解析結果を視覚的にも確認した。

2. 検討手法

1) 設置誤差の評価方法

地震計の設置方位が確かめられている基準点での地震波形ベクトルを  $x(t)$ 、また設置方位が不確かな地点での波形ベクトルを  $y(t)$  とし、 $y(t)$  を鉛直軸に対する角度  $\alpha$  だけ回転して得られる波形ベクトルを  $y'(t)$  とする。本研究ではコヒーレンスを算出する上で、方法1と方法2を用い、それらの式は次のように表される。

$$\begin{aligned} \text{方法1: } coh_{x,y}^2(f) &= \frac{|S_{x,y}(f)|^2}{S_{x,x}(f) \cdot S_{y,y}(f)} & S_{x,y}(f): x(t) \text{ と } y'(t) \text{ の相互スペクトル} \\ \text{方法2: } coh_{x,y}^2(f) &= \frac{tr\{[H(f)][S_{x,y}(f)]\}}{tr[S_{x,x}(f)]} & S_{x,x}(f): x(t) \text{ のパワースペクトル} \\ & & S_{y,y}(f): y'(t) \text{ のパワースペクトル} \\ & & tr[\ ]: \text{行列の対角成分の和} \\ & & H(f): x(t) \text{ と } y(t) \text{ の伝達関数} \end{aligned}$$

なお、相互スペクトル、パワースペクトル、伝達関数を求める上で必要なフーリエスペクトルには、Hanning Window により平滑化したものを用いた。このコヒーレンス関数を、伝達関数の1次ピーク以下の振動数帯域  $f(f_2-f_1)$  で積分し、 $i=1, 2$  についての和をとると次のように表される。ここに、 $\Delta f$  はフーリエ変換における振動数刻みである。

$$C(\alpha) = \sum_{i=1}^2 \int_{f_1}^{f_2} coh_{x,y}^2(f) df = \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^m coh_{x,y}^2(f_k) \Delta f \quad \left( \Delta f = \frac{f_2 - f_1}{m} \right)$$

このCを最大にするような  $\alpha$  が地震計の設置方位の鉛直軸に対する誤差であると考えられる。

また、視覚的評価では、地震観測データのフーリエスペクトルから周波数 0.488Hz 以下の長周期部分を取り出し、それを逆フーリエ変換により時刻歴に戻し、上記の方法で求めた  $\alpha$  だけ回転させたもののオービットを水平面上に描かせた。

2) 解析に用いた記録

解析には、兵庫県南部地震により得られた4地点(PI, SGK, TKS, KNK)での鉛直アレー記録を用いた。これらの4地点は、震源域からそれぞれ異なる距離に位置している。PI が震源域に最も近く、SGK, TKS, KNK の震源域からの距離はそれぞれ約15Km, 35Km, 65Kmである。なお、本解析では4地点とも地表付近にある地震計の方

キーワード : 鉛直アレー、設置誤差、コヒーレンス関数

連絡先 : 〒112-8551 文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 TEL 03-3817-1799 FAX 03-3817-1803

位を基準とした。

### 3. 解析結果及び考察

4地点の設置誤差は解析的手法により、表-1のように検出された。表-1左が方法1、中央が方法2により検出された設置誤差である。なお、本研究では反時計回りを正としており、また検出された角度は、その角度を回転させれば地震計が本来設置されているべき方向に修正される角度を表している。表-1右は、既往の報告<sup>3)</sup>による設置誤差であるが、これらは定量的な差はあっても傾向は良く一致している。この報告により、KNK地点における地表の地震計のEW方向、及びSGK地点における地表に設置されている地震計のNS方向の極性が反転しているとされている。しかしその後、SGKについては地表の極性は正しく、地中の2深度の地震計のNS方向が反転していたことが明らかとなった<sup>4)</sup>。しかし、表-1ではその修正結果は反映されていない。以後KNK地点のG.L.-25mを例として考察する。図-1は設置誤差補正前後でのEW方向のコヒーレンス関数の比較である。補正により方法1、方法2のどちらの方法を用いても、波形間の相関が強まっているのが明らかである。ただし、EW方向の極性が反転した場合にも図-1の結果は全く変わらないことになるので、視覚的評価が重要となる。そこで加速度記録のオービットを図化したものが図-2である。点線が補正前、一点鎖線が補正後の結果である。地中のオービットの主軸が、実線で示された地表のオービットと同じ方向に補正されているのが明らかである。

表-1 4地点での鉛直軸に対する設置誤差

観測地点名	地震計深度(m)	誤差(度)		
		本研究		文献3
		方法1	方法2	
ポートアイランド (PI)	16.4	9	14	/
	32.4	7	11	
	83.4	25	31	
海南港 (KNK)	25	64	64	60
	100	48	53	/
高砂 (TKS)	25	-19	-18	-30
	100	12	32	/
総合技術研究所 (SGK)	24.9	6	6	/
	97	-39	-37	-34

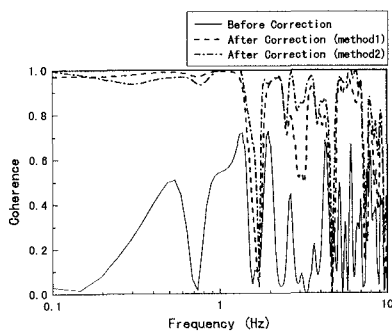


図-1 設置誤差補正前後のコヒーレンス関数の比較

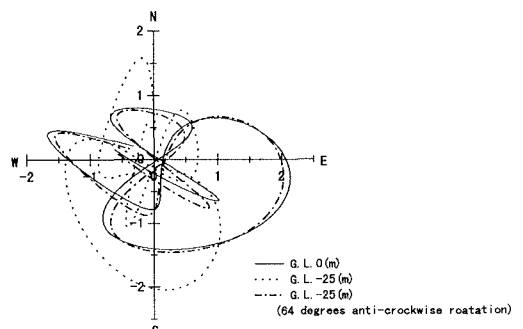


図-2 地表と設置誤差補正前後の軌跡の比較

### 4. 結論

以上の通り、コヒーレンスの算出方法を変えても傾向的にはよく一致した設置誤差を検出でき、既往の報告ともよく一致した誤差を検出できた。また、本手法により得られた設置誤差を視覚的手法で確認したところ、これを裏付けるような結果を得ることができた。よって、地震計の設置誤差を検出するには、解析的・視覚的の両手法を用いればより確実に設置誤差を評価できることがわかった。

謝辞：今回用いた地震データを提供して頂いた関西電力(株)建設部、ならびに関西地震観測協議会、及び数値解析の御指導を頂いた佐藤工業(株)吉田望様、末富岩雄様に感謝の意を表します。

参考文献：1)山崎文雄ほか(1991)：アレー観測における地震計設置誤差の評価、土木学会論文集 No. 432/ I-16, pp231-240 2)和泉正哲ほか(1989)：統計解析に基づく地震波の多次元波動伝播特性に関する研究、日本建築学会構造系論文集報告集、第 398号 3)T.Kokusho et al.(1996)：NONLINEAR DYNAMIC SOIL PROPERTIES BACK-CALCULATED FROM STRONG SEISMIC MOTIONS DURING HYOUGOKEN-NANBU EARTHQUAKE, WCEE (Mexico) 4)関係者からの私信による