

## 1. はじめに

近年、地震時の地盤振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、地震計が所定の方角に正しく設置されているかどうかという問題がある。そこで、確率過程論に基づき地震波データの各成分同士の相関を調べ、振動数領域で2組の波形間のコヒーレンス関数を最大化する方法<sup>1)</sup>、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するプログラムを作成し解析を行った。また、上記の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

今回は鉛直軸回りの設置誤差 $\alpha$ のみを検討することにする。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 $x(t)=\{x_1(t), x_2(t)\}$ 、また設置方位が不確かな地点での波形ベクトルを $y(t)=\{y_1(t), y_2(t)\}$ とする。これらはいずれも相関が強くなるように、振動数帯域として伝達関数の1次ピークを与える振動数以下の範囲を取り出したものとする。 $y(t)$ を $\alpha$ だけ回転して得られる波形ベクトル過程 $y'(t)$ と $x(t)$ との振動数軸上での相関係数、すなわちコヒーレンス関数は $x(t)$ 、 $y'(t)=\{y'_1(t), y'_2(t)\}$ 各々の $i=1, 2$ 成分について次式で表される。

$$coh_{x,y}^2(f) = \frac{|S_{x,y'}(f)|^2}{S_{x,x}(f) \cdot S_{y,y'}(f)} \quad \cdots \cdots (1)$$

 $S_{x,y'}(f)$ :  $x(t)$ と $y'(t)$ の相互スペクトル

 $S_{x,x}(f)$ :  $x(t)$ のパワースペクトル

 $S_{y,y'}(f)$ :  $y'(t)$ のパワースペクトル

なお、相互スペクトル、パワースペクトル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。

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

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 0.5Hz 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

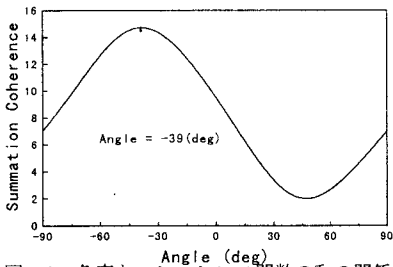
域からの距離はそれぞれ約 15Km, 35Km, 65Km である。最も深い測点は 4 地点とも G.L. -80m~-100m の基盤にあり、この基盤層は KNK が硬岩であるほかは、いずれも大阪層群の砂礫層あるいは硬質粘土層からなる。地表から-20m 程度までは埋土や沖積の砂や粘土層からなり、特に PI では表層に 17.5m の厚さの埋立て砂層がある<sup>2)</sup>。なお、本解析では 4 地点とも地表付近にある地震計の方位を基準とした。

### 3. 解析結果及び考察

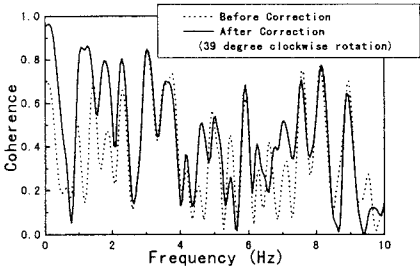
4 地点の設置誤差は解析の手法により、表－1 のように検出された。なお、本研究では反時計回りを正として設置誤差を検出している。既往の報告<sup>2)</sup>により、KNK 地点における地表の地震計の EW 方向、及び SGK 地点における地表に設置されている地震計の NS 方向の極性が反転していること<sup>2)</sup>は既知であるが、解析の手法では式(2)より極性の反転を検出できないのは明らかである。そこで表－1 にまとめた設置誤差をオービットを描かせることで確認を行った。以後 SGK 地点の G.L.-97m を例として考察する。図-1 は式(2)を図化したものである。 $\alpha = -39$  度付近で  $C(\alpha)$  が最大になっているので、この測点での設置誤差が約-39 度であると言える。図-2 は設置誤差の補正前後での EW 方向のコヒーレンス関数の比較である。補正により波形間の相関が強まっていることがわかる。ただし、NS 方向の極性が反転した場合にも図-1、図-2 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-3 である。破線が補正前、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) |
|------------------|----------|-------|
| ポートアイランド<br>(PI) | 16.4     | 9     |
|                  | 32.4     | 7     |
|                  | 83.4     | 25    |
| 海南港<br>(KNK)     | 25       | 64    |
|                  | 100      | 48    |
| 高砂<br>(TKS)      | 25       | -19   |
|                  | 100      | 12    |
| 総合技術研究所<br>(SGK) | 24.9     | 6     |
|                  | 97       | -39   |



図－1 角度とコヒーレンス関数の和の関係



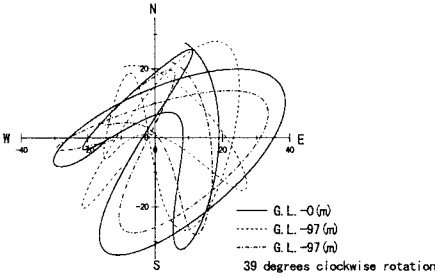
図－2 設置誤差補正前後のコヒーレンス関数の比較

### 4. 結論

以上の通り、解析の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) T.Kokusho et.al. (1996):NONLINEAR DYNAMIC SOIL PROPERTIES BACK-CALUCULATED FROM STRONG SEISMIC MOTIONS DURING HYOUGOKEN-NANBU EARTHQUAKE, WCEE (Mexico)



図－3 地表と設置誤差補正前後の軌跡の比較